

Jämförande provning av Nätanslutna solelsystem 2014

(5 bilagor)

Sammanfattning

Rapporten redovisar resultatet av en jämförande provning och utvärdering av komponenter och system för nätanslutna solelproduktion i storlekar mellan 3 och 10 kW. Uppdraget utfördes av SP på uppdrag av Energimyndigheten under juli till och med december 2014. Syftet med uppdraget är att ta fram ett bra informations- och beslutsunderlag i första hand riktat till potentiella köpare av solelanläggningar. Systemstorlekarna motsvarar normalstora anläggningar för villor, små flerbostadshus eller småföretag men tack vare teknikens modulära natur har en stor del av resultaten relevans även för större anläggningar. I första hand gäller detta upp till 100 Amperes anslutning vilket är den övre gränsen för den nya lagen om skattereduktion för mikroproduktion av förnybar el. Underlaget baseras dels på provningar och effektivitetsmätningar på nio¹ olika typer av solcellsmoduler och tio olika växelriktare samt på jämförelser mellan provresultat och av leverantörer uppgivna prestanda. Beräkningar av energiutbyten för ett representativt urval av systemlösningar på den svenska marknaden utgör ytterligare en del av resultaten som syftar till att vägleda konsumenterna i sina val.

Rapporten presenterar i kapitel 2 en kort bakgrund till uppdraget och ger en situationsbeskrivning av solelmarknaden i Sverige i dag. I kapitel 3 presenteras en kort sammanfattning av de olika delproven, som sedan beskrivs utförligt i kapitel 6, och av beräkningarna, som beskrivs i detalj i kapitel 7. En beskrivning av teknikläget för de två huvudkomponenterna solcellsmodul och växelriktare ges i kapitel 4.1 och i kapitel 4.2. I kapitel 8 och 9 redovisas sammanställningar av resultaten av de olika provningarna, av dokumentationsgranskning och av beräkningarna av årliga energiutbyten för ett antal olika systempaket baserade på de provade komponenterna. Detaljerade resultat för enskilda komponenter liksom deras tekniska specifikationer följer sedan i bilaga 1 och 2. Rapporten avslutas med kapitel 10 som beskriver erfarenheter från inköpsprocessen och kapitel 11 Diskussion.

Resultaten av modulprovningarna visade efter inledande flashermätningar av maxeffekt vid standard test conditions STC att sju av nio modultyper låg strax under leverantörens

¹ En av nio moduler har lyfts bort från testet i väntan på nya tester

specifikation. Två modultyper låg 5 respektive 6% under angiven maxeffekt. Mer än hälften av modulerna fick anmärkningar på flammighet i utseendet efter hållbarhetsprovningen ”fukt/frys”. Granskning av tillverkares och leverantörers dokumentation och produktmärkningar visade med några få undantag på god ordning. Anvisningar för modulmontage saknas dock hos flera av de stickprovsmässigt granskade leverantörerna.

Växelriktarprovningar visade lägre verkningsgrader, från 0.5 % till 3.7 % lägre, jämfört med tillverkarnas uppgivna data. De större av dessa avvikelser skulle kunna förklaras av att för några av de större omriktarna gjordes testen vid betydligt lägre effekt än den maximala. Det beror på att testen endast kunde göras på en av flera MPP trackers åt gången (se kapitel 6.5.2) för varje växelriktare, en begränsning som inte kunnat förutses inför mätningarna. Som en följd av detta blev även maximal ström begränsad. De praktiska proven visade att det finns stora skillnader i MPP tracker-funktionaliteten, speciellt när det gällde snabbheten. Dock klarade de flesta växelriktarna av de ändringshastigheter som krävdes i de dynamiska testet. Övertonshalterna för utströmmen från växelriktarna var vid höga effekter mindre än 20 % för alla utom en växelriktare vilket får anses tillfredsställande.

Årliga energiutbyten för 24 av SP sammansatta systempaket baserade på komponenterna i provningen har beräknats och jämförts teoretiskt. Verkliga mätningar på kompletta system har inte ingått i uppdraget. Systemen är storleksmässigt på mellan 3 och 10 kW toppeffekt och motsvaras i några fall av paket som erbjuds av svenska leverantörer. Systemstudien redovisar också beräkningar av några generaliseringar med avseende på modulmontage, underdimensionering av växelriktare m.m. Någon ekonomisk analys av lönsamheten i en investering har inte gjorts. Däremot redovisas inköspriser för moduler och växelriktare i bilaga 1 och 2. Rapporten har reviderats eftersom en av modulerna har lyfts bort från testet.

Innehållsförteckning

1	Syfte	5
2	Bakgrund.....	6
2.1	Solel i Sverige	6
3	Genomförande.....	8
4	Tekniker – solcellsmoduler och växelriktare	10
4.1	Solcellsmoduler.....	10
4.1.1	Polykristallina celler.....	11
4.1.2	Monokristallina celler	11
4.1.3	Tunnsfilmsceller	12
4.2	Växelriktare.....	12
5	Provobjekt.....	16
5.1	Solcellsmoduler.....	16
5.2	Växelriktare.....	16
6	Provningsutförande	19
6.1	Förkonditionering av solcellsmoduler.....	19
6.2	Prestandaprovning av moduler enligt IEC 60904-1	19
6.2.1	Kalibrering, kvalitetssäkring och mätosäkerhet vid mätningar på solcellsmoduler	20
6.3	Temperatur- och fuktcykling av moduler enligt IEC 61215/61646.....	21
6.4	Snö- och istest av modulerna	22
6.5	Prestandaprovning av växelriktare	23
6.5.1	Växelriktarens verkningsgrad, η_{conv}	23
6.5.2	Förmåga att optimera effekt (<i>MPP tracking efficiency</i> , η_{MPP})	23
6.5.3	Total verkningsgrad, η_{tot}	24
6.5.4	EU-viktad verkningsgrad	24
6.5.5	Mätning av verkningsgrad.....	24
6.5.6	Prov av växelriktarens verkningsgrad enligt standarden EN 50530 ^[8,9]	24
6.5.7	Begränsningar i provningen av verkningsgrad, noteringar	24
6.5.8	Mätning av strömdistorsion.....	25
7	Energiutbytesberäkningar	27
7.1	Beräkning av energiutbyte inklusive analys av systemlösningar	27
7.2	Analyserade systempaket	27
7.3	Indata till beräkningarna	28
7.3.1	Klimatdata för beräkning av energiutbyte.....	31
7.3.2	Övrig indata till simuleringsprogramvaran (PVSyst 6.3.0).....	32
8	Provningsresultat.....	33
8.1	Solcellsmoduler - sammanfattning.....	33
8.1.1	Effektivitet jämfört med katalogdata och modulmärkning	33
8.1.2	Snö- och istest	34
8.1.3	Temperatur- och fuktcykling.....	35
8.2	Växelriktare - Sammanfattning	36
9	Resultat av Energiutbytesberäkningar inklusive analys av systemlösningar och dokumentation.....	40
9.1	Resultat från initiala beräkningar	40
9.2	Generalisering av resultat från beräkningar	41

9.2.1	Skillnader i utbyte	41
9.2.2	Dimensionering av paket.....	43
9.2.3	Variationer med avseende på montering.....	45
9.2.4	Variationer av modullutning och orientering/väderstreck.....	45
9.3	Resultat av dokumentationsgranskning.....	48
10	Erfarenheter från inköpsprocessen.....	56
11	Diskussion.....	57
	Nomenklatur	58
	Referenser	60
	Bilaga 1 – Solcellsmoduler	1
	Q CELLS - Q.PRO BLK-G3	1
	Renesola Jiangsu Ltd. – JC250S-24/Bb-b.....	3
	JA Solar – JAM6(BK)-60-260/SI	5
	Centro Solar – S255P60 Professional	7
	PPAM – Paladium.....	9
	Solar World – Sunmodule Plus SW 250 mono black	11
	Yingli Panda – YL270C-30b	13
	SunPower - SPR-E20-327.....	15
	Bilaga 2 – Växelriktare	1
	Power-ONE/ABB PVI-10.0-TL-0UTD-S.....	1
	Enphase M 215-60-230-S22	5
	Fronius Symo 3.0-3-S	7
	Involar MAC 250.....	9
	Samilpower 3000 TL	11
	Steca Grid 3000.....	13
	Sungrow SG_10KTL-EC.....	15
	Sunny SMA STP 5000 TL.....	17
	Centrosolar Powerstoc 5.5 Excellent.....	19
	Omniksol-3k-TL	21
	Bilaga 3 – Systempaket 3, 5 och 10 kW	1
	Bilaga 4 – Metodbeskrivning – Snö- och istest	1
	Bilaga 5 – Mätutrustningar och mätosäkerheter	1

1 Syfte

Syftet med uppdraget är att ta fram material till ett bra informations- och beslutsunderlag i första hand riktat till potentiella köpare av soleanläggningar i storlekar mellan 3 och 10 kW. Rapporten är alltså ställd till Energimyndigheten och inte i sig avsedd som ett informationsmaterial. Underlaget baseras dels på provningar och effektivitetsmätningar på ett antal solcellsmoduler och växelriktare samt på jämförelser mellan provresultat och den av leverantörerna angivna prestandan. Beräkningar av energiutbyten för ett representativt urval av systemlösningar på den svenska marknaden utgör ytterligare en del av resultaten som syftar till att vägleda konsumenterna i sina val. Vidare har även en dokumentationsgranskning gjorts för de provade modulerna där modulmärkningen bland annat har jämförts med de krav som ställs i standarden IEC 61215:2005^[1].

2 Bakgrund

SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut (nedan kallat SP) genomförde på Energimyndighetens uppdrag en jämförande provning på nätanslutna solelsystem under 2009-2010. Denna omfattade åtta olika system med en nominell topp effekt på 1 kW_p vardera. Under de år som gått sedan dess har solbranschen haft en mycket stark utveckling, främst på grund av stora prissänkningar och marknaden ser i dag väldigt annorlunda ut. Diskussioner mellan SP och Energimyndigheten om en uppföljning till denna provning resulterade i att en förstudie genomfördes under 2014^[2]. De viktigaste slutsatserna av denna var

- Att en ny jämförande provning ses som positivt av potentiella köpare
- Att denna bör ha ett annorlunda, komponentbaserat upplägg jämfört med den förra provningen och eventuellt kompletteras med besiktningar i fält
- Att okunskap och bristande tillgång på information hos installatörer, beställare, nätägare m.fl. är avgörande hinder för en stark och kvalitetspräglad tillväxt av den svenska marknaden för sol
- Att det finns ett stort behov av samlad marknadsneutral information om solel teknik, ekonomiska förutsättningar, produkternas hållbarhet m.m.

Mot denna bakgrund har uppdraget som redovisas i denna rapport definierats i diskussioner mellan SP och Energimyndigheten.

2.1 Solel i Sverige

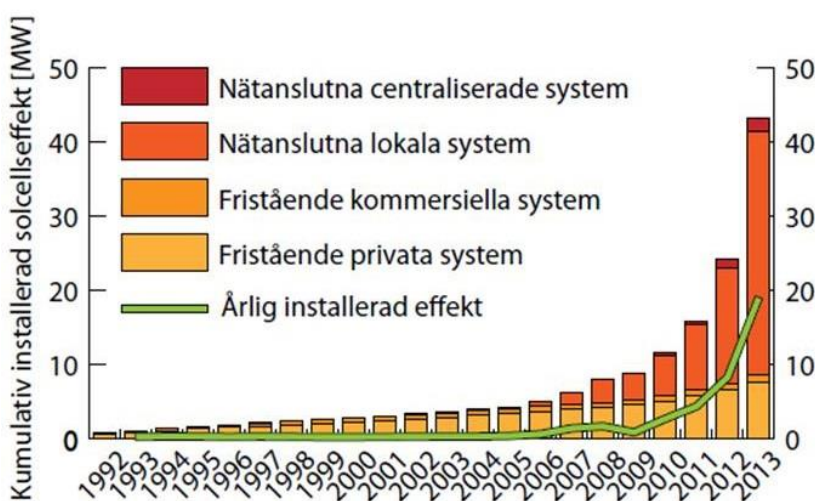
Utvecklingen av marknad och företagande kring sol i Sverige under de senaste tio åren kan sammanfattas i följande punkter:

- Innan 2005 bestod marknaden enbart av fristående (ej nätanslutna) system
- År 2005 kom det första statliga stödet till sol och 2009 utökades omfattningen till att gälla privatpersoner och företag (inte bara offentliga byggnader). Procentsatsen i stödet har successivt minskat från inledningsvis 70% till nuvarande 30% (företag) respektive 20% (övriga) av total investeringskostnad², i takt med att priserna på framförallt solcellsmoduler har sjunkit, se Figur 2
- Det nuvarande stödet gäller till och med 2016 men tillgänglig budget anses redan vara intecknad. I den numera överspelade budgeten som presenterades i december 2014 föreslogs 100 Mkr/år till och med 2018.
- Olika förslag kring hur framförallt mikroproducenter av sol skall kunna erhålla en nytta av den överskottsproduktion man matar in på elnätet har utretts sedan 2008. Framförallt har nettodebitering och skatteavdrag diskuterats och från 1/1 2015 gäller att mikroproducenter (definitions mässigt under 63 A anslutning och nettokonsument på årsbasis men i detta sammanhang under 100 A) får ett skatteavdrag på 60 öre per kWh. I tillägg till detta kan man erhålla en ersättning för överskottet från en elhandlare på mellan 0,3 och 1,0 kr/kWh beroende på vilken handlare man sluter avtal med.

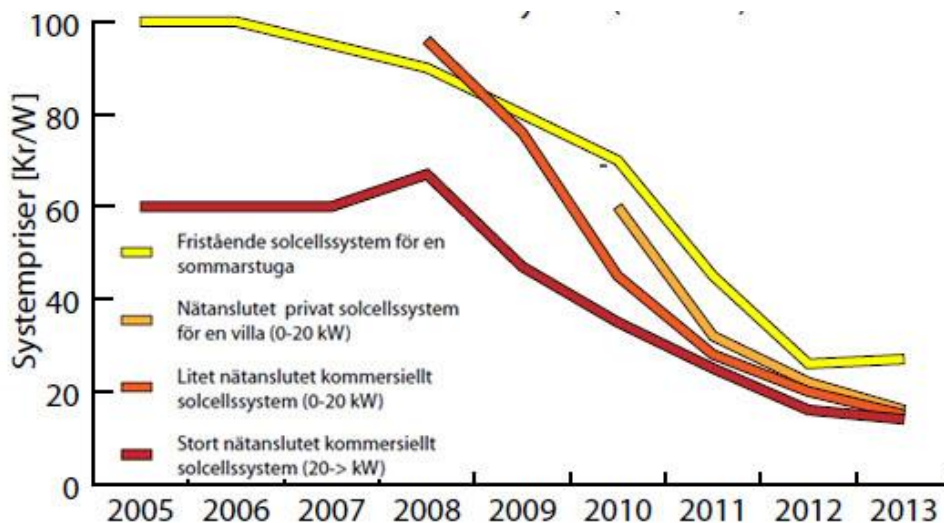
² De stödberättigande kostnaderna får maximalt uppgå till 37 000 kronor exkl. moms per installerad kilowatt elektrisk topp effekt

Ytterligare saklig och oberoende information om solelens kostnader och möjliga ersättningar för överskottsel finns att läsa i en IEA-rapport som redovisar solenergiläget i Sverige 2013^[3]. Även Bengts villablogg^[4] anses vara en bra källa till information.

- Sjunkande modulpriser har lett till att marknaden vuxit rejält (se Figur 1), men detta har delvis skett på bekostnad av branschens marginaler och framförallt har det slagit hårt mot den Europeiska och svenska tillverkande industrin. I Sverige har 4 av 5 modultillverkare upphört med sin verksamhet sedan 2010. Samtidigt har antalet leverantörsföretag ökat mångfald under samma period.



Figur 1 Marknadsutvecklingen för sol i Sverige. Källa Johan Lindahl, Uppsala universitet/ IEA PVPS.



Figur 2 Prisutvecklingen på solesystem inom olika marknadssegment i Sverige. Källa Johan Lindahl, Uppsala universitet/ IEA PVPS.

3 Genomförande

Projektet som genomfördes under juli till och med december 2014 har bestått av följande delmoment:

- a) Prestandamätning av 27 moduler av 9 olika fabrikat³ (före och efter punkt b och c. Batch #1, 2 och 3)
- b) Snö/ is-test av 9 olika typer av moduler (batch #1)
- c) Temperatur- och fuktcykling av 9 olika typer av moduler (batch #2)
- d) Prestandamätning av växelriktare
- e) Beräkning av energiutbyte inklusive analys av systemlösningar och dokumentation

Inledningsvis köptes nio³ olika typer av solcellsmoduler och tio olika växelriktare in (se Tabell 1 och Tabell 2) genom olika svenska återförsäljare - tre exemplar av varje modultyp och ett exemplar av varje växelriktare. För modulerna så har Batch #3 endast använts som referenser och inte genomgått någon annan provning än förkonditionering och upprepade prestandamätningar. Produkterna har valts ut för att spegla utbudet på den svenska marknaden men skiljer sig ändå något från utbudet av moduler i två avseenden. Testet omfattar sex monokristallina och tre polykristallina kiselmoduler men i praktiken säljs fler moduler av polykristallint kisel än av monokristallint i Sverige. Det finns vidare ett mycket begränsat utbud av tunnfilmsteknik i Sverige men denna teknik saknas i urvalet eftersom det inte var möjligt att köpa in tre moduler från någon leverantör.

Indata till beräkningarna enligt e) som beskrivs i kapitel 7.1 utgörs av leverantörsdata styrda av certifikat. Detta motiveras av att dessa data grundar sig på ett större antal provobjekt som skall vara representativa för hela populationen jämfört med denna provning där endast tre moduler och en växelriktare valts ut av varje fabrikat. I båda fallen är dessutom de provningar som ligger till grund för leverantörsdata betydligt mer omfattande än de som varit möjliga att genomföra inom ramen för detta projekt. Att blanda data från leverantören med data från SPs mätningar har heller inte ansetts vara en tillförlitlig lösning. SPs mätningar av de viktigaste prestandaparametrarna för moduler och växelriktare tjänar därför främst två syften. Det ena är att kontrollera att leverantörens uppgivna data är korrekta, inom de gränser som mätosäkerheten gör det möjligt att verifiera detta. För de två moduler där mätningarna visade på maxeffekter som med säkerhet kunde sägas ligga under specifikationen, se 8.1.1, kan man diskutera om energiutbytesberäkningarna möjligen skulle baseras på SPs mätta data. Det andra syftet är att med prestandamätningarnas hjälp avgöra vilken påverkan de olika hållbarhetstesterna haft på modulernas prestanda. I detta fallet vore det inte relevant att basera energiutbytesberäkningarna på prestanda som uppmätts efter hållbarhetstesterna eftersom dessa inte är representativa för nya eller måttligt begagnade produkter. Mätningen utgör i detta fall bara grund för ett pass/ fail-omdöme.

Provningarna enligt momenten a) t.o.m. d) beskrivs i detalj i kapitel 6 Provningsutförande. En sammanställning av resultaten från dessa redovisas i kapitel 8 Provningsresultat och i sin

³ Se fotnot till Tabell 1

helhet i Bilaga 1 – Solcellsmoduler. Utförandet av moment e) ”Energiutbytesberäkningar” redovisas i kapitel 7 Energiutbytesberäkningar och en sammanställning av beräkningsresultaten från dessa redovisas i kapitel 9 Resultat av Energiutbytesberäkningar inklusive analys av systemlösningar och dokumentation.

4 Tekniker – solcellsmoduler och växelriktare

Här följer en kort beskrivning av de olika kommersiellt tillgängliga teknikerna för de två huvudkomponenterna i ett solesystem: solcellsmodulen och växelriktaren. Karakteristiskt för soletekniken är att den är modulär och i stort sett skaloberoende. Det innebär att man i princip använder samma komponenter i små och stora anläggningar och att effektiviteten i stort sett kan bli lika hög i en liten anläggning som i en stor. De systemstorlekar som behandlas i detta projekt motsvarar normalstora anläggningar för villor, små flerbostadshus eller småföretag men tack vare teknikens modulära natur har en stor del av resultaten relevans även för större anläggningar. I första hand gäller detta upp till 100 amperes anslutning vilket är den övre gränsen för den nya lagen om skatteavdrag för mikroproduktion av förnybar el.

En viktig komponent i ett solesystem är fästeanordningarna som används för att montera solcellsmodulerna på eller i ett tak. Förstudien till detta uppdrag visade att kvalitén i installationen av systemen, inklusive montagesystem, ifrågasattes mer än kvalitén på moduler och växelriktare av branschföretagen. Någon bedömning av på marknaden tillgängliga fästen har inte ingått i detta uppdrag, men det ska ändå framhållas att detta är en viktig del av ett högkvalitativt solesystem. Ett flertal certifierade montagesystem finns att tillgå i Sverige.

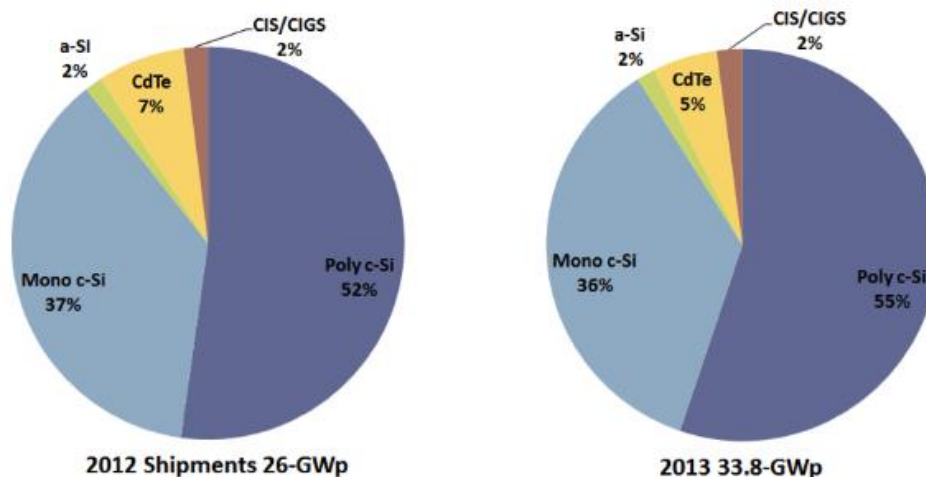
4.1 Solcellsmoduler

Dagens kommersiella moduler har en omvandlingsverkningsgrad⁴ på 10-20 % beroende på vilken teknik som tillämpas. De tre tekniker som i dagsläget är aktuella för tillämpningen ”solel på eller i nära anslutning till byggnader” presenteras kortfattat i följande kapitel. Utvecklingen går snabbt både på teknik, mot högre verkningsgrader, och mot lägre kostnader där den senare trenden varit den absolut starkaste de senaste fyra-fem åren, se Figur 2. De kommande fem till tio åren förutspås ge fortsatta långsammare kostnadsänkningar men också vissa prestandaökningar, kring 0,5 % per år i absoluta tal enligt en roadmap från IEA [ENREF 5](#)^[5]. Något revolutionerande är knappast att vänta men möjligheten kan inte heller helt uteslutas eftersom det forskas intensivt på nya material och tekniker i en rad olika riktningar. En ”bubblare” är så kallade Perovskiter som av vissa anses kunna revolutionera området medan andra hävdar att materialen inte kommer att kunna göras tillräckligt stabila. Kristallint kisel förefaller dock bli kvar som den helt dominerande tekniken med för närvarande mer än 90 % av marknadsandelarna, se Figur 3 .

Livslängden för kommersiella högkvalitativa moduler bedöms till mer än 30 år och det finns inget som tyder på att någon av teknikerna beskrivna nedan skulle avvika från detta. Däremot kan tillverkare av konventionella kiselceller referera till många undersökningar som visat på i stort sett oförändrade prestanda efter 15 till 20 års användning vilket representerar för nyare tekniker som tunnfilm inte kan. Prismässigt är polykristallint kisel generellt sett något billigare än monokristallint som i sin tur är mer kostnadseffektivt än tunnfilm, allt räknat som kronor per watt topp effekt. En annan aspekt på kostnader är att monteringsutrustning och installationsarbete och de kostnader som är kopplade till dessa minskar med ökande moduleffektivitet eftersom en dubbelt så effektiv modul, för samma installerade maxeffekt i

⁴ Vid en instrålning på 1000 W/m² omvandlas 100 till 200 W/m² till elenergi.

en anläggning bara tar upp hälften så stor area och grovt räknat bara kräver halva installationstiden. Är tillgänglig takarea begränsad innebär dessutom en högre modulverkningsgrad att man får plats med fler kilowatt toppeffekt på en given area.



Figur 3 Globala marknadsandelar för olika solcellstekniker och total världsmarknad för 2012 och 2013. Den svenska marknaden motsvarar ungefär en halv promille av denna.

4.1.1 Polykristallina celler

Moduler baserade på polykristallina celler dominerar marknaden internationellt och i Sverige. Generellt sett har de något lägre verkningsgrader än monokristallina celler men spannen för tillgängliga modulverkningsgrader överlappar varann. Kommersiella moduler ligger på mellan 14 till 17 % verkningsgrad. Polykristallina celler har ofta, men inte alltid, ett karakteristiskt ”spräckligt” utseende, se Figur 4. Modulen i figuren nedan har en vit baksidestäckning men de flesta moduler går även att få med svart eller mörk täckning vilket ger ett diskretare utseende.

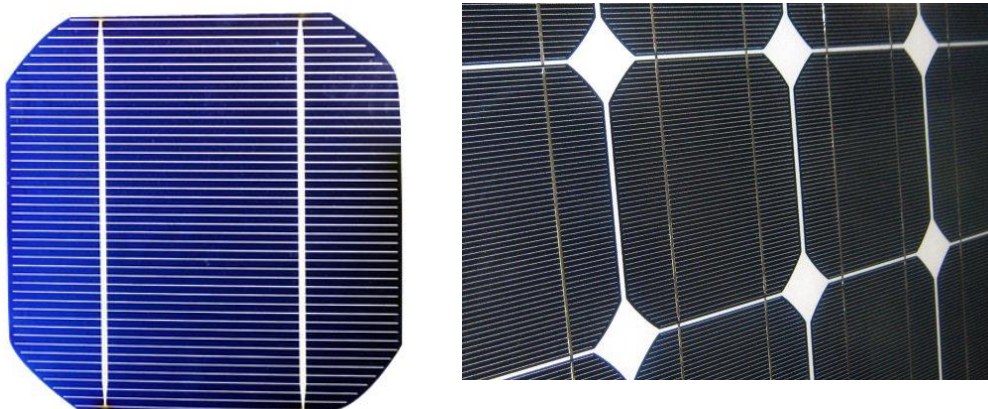


Figur 4 Poly- eller multikristallin kiselcell och modul

4.1.2 Monokristallina celler

Monokristallina solcellsmoduler består, till skillnad från de polykristallina modulerna, av celler byggda av enkristallsblock. Modulverkningsgraderna ligger mellan 15 och dryga 20%. Cellerna känns oftast igen på de avskurna hörnen, se Figur 5, men helt rektangulära celler

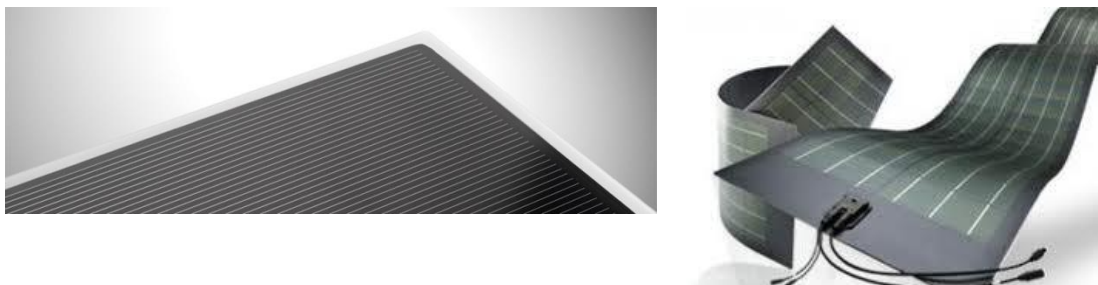
förekommer också. På samma sätt som för de polykristallina modulerna går även dessa att få med svart eller mörk baksidestäckning.



Figur 5 Monokristallin kiselcell och modul

4.1.3 Tunnfilmceller

Som framgår av Figur 3 så finns det inom tunnfilmstekniken i huvudsak tre olika materialkombinationer. Gemensamt för dem är att väldigt tunna materialskikt appliceras på ett substrat. Detta ger en större frihet i utformningen av cellernas geometri men också en större frihet i valet av substrat vilket bland annat innebär att man kan producera väldigt flexibla, böjbara celler och moduler. Andra fördelar som brukar framhållas är att de är mer materialsnåla och lämpar sig bättre för masstillverkning än moduler av kristallint kisel. För den tillämpning som är aktuell för detta projekt (villasystem) är dock endast konventionella moduler, ofta i form av så kallade glas-glas moduler med tunnfilmsbeläggning intressanta och dessa har rent principiellt samma egenskaper som moduler baserade på kiselceller. Modulverkningsgraderna kan dock variera från cirka 10% för α -Si eller amorft kisel till 12-15% för övriga beläggningar. CIGS-celler har sedan länge en stark ställning inom svensk forskning men som tidigare nämnts har tekniken än så länge en mycket marginell marknad i Sverige.



Figur 6 Moduler baserade på tunnfilmsteknik. Glas-glasmodul t.v. och en flexibel modul t.h.

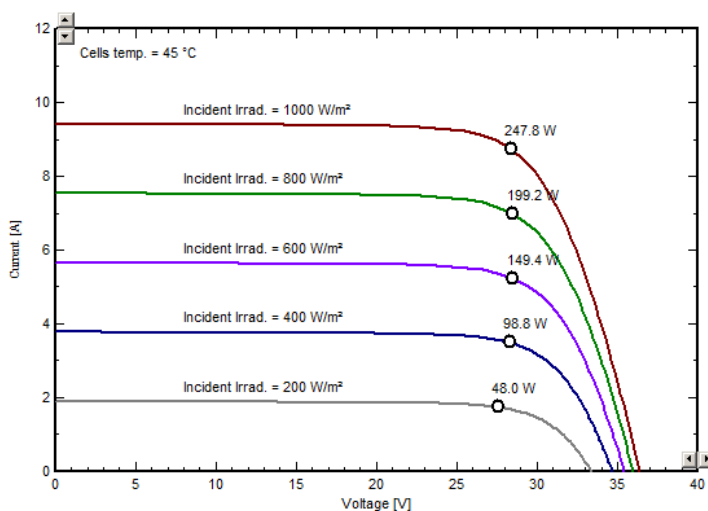
4.2 Växelriktare

I normalfallet har växelriktare för solet två viktiga uppgifter.

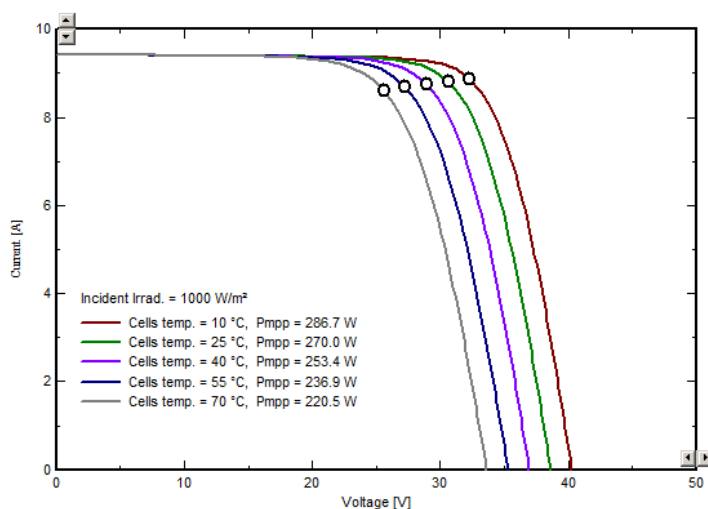
- De skall överföra solmodulernas likströmsenergi till växelström så effektivt som möjligt

- De skall vid varje tidpunkt belasta solmodulerna optimalt så att mesta möjliga mängd energi tas ut oavsett solintensitet och andra förhållande som påverkar modulernas förmåga att generera el, se Figur 7 - Figur 9.

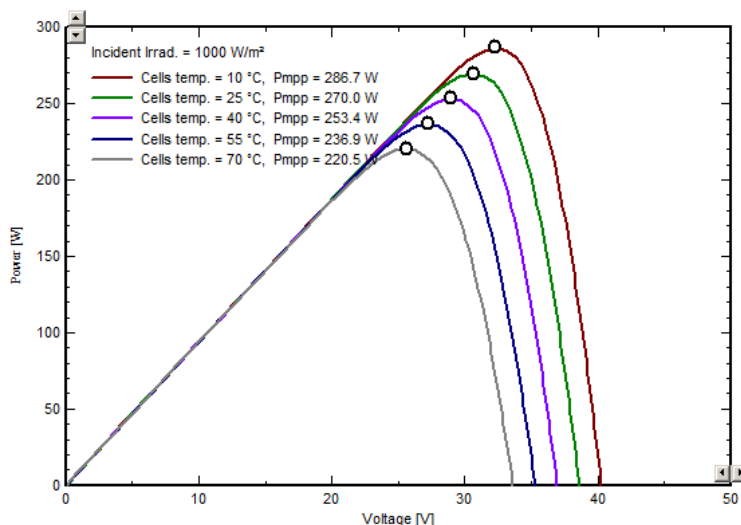
Denna driftoptimeringsfunktion kallas ”maximalpunktsföljare” eller ”*Maximum Power Point Tracker*” vilket ofta förkortas MPPT. I de allra flesta fall är dessa båda funktioner inbyggda i en och samma utrustning i form av en eller flera centralt placerade så kallade strängväxelriktare, se Figur 10. Varje växelriktare är då kopplad till en eller flera strängar där varje sträng består av en rad seriekopplade solcellsmoduler. En sådan växelriktare kan innehålla en eller flera MPPT:s och varje MPPT kan ha en eller flera ingångar. Flera maximalpunktsföljare kan bidra till ett högre energiutbyte från systemet om t.ex. en väsentlig del av systemet tidvis är skuggad medan en annan del är oskuggad eller om man har delar av anläggningen i olika väderstreck.



Figur 7 Modulens ström-spänningskurva och hur den beror av solinstrålningens intensitet. Punkterna indikerar den optimala driftspunkten (MPP) för varje instrålningsnivå.



Figur 8 Modulens ström-spänningskurva och hur den beror av celltemperatur. Punkterna indikerar den optimala driftspunkten (MPP) för varje temperaturnivå.



Figur 9 Modulens uteffekt som funktion av spänning vid olika temperaturnivåer

Samma grundidé kring utbytesoptimering har sedan några år tagits ett steg längre med de så kallade mikroväxleriktarna, se Figur 10 och Figur 11 där varje modul har sin egen växelriktare med MPPT. Mikroväxleriktaren är som regel (än så länge) inte sammanbyggd med modulen, men en modul med tillkopplad växelriktare kan ändå ses som en integrerad enhet: En modul som levererar växelström. Begreppet ”AC-modul” börjar dock synas vilket antyder att full integration bara är en tidsfråga. Mikroväxleriktaren gör systemet betydligt mindre känsligt för delskuggning och för så kallad mismatch mellan moduler. En annan fördel kan vara att systemet blir enklare att bygga ut bit för bit och det kan också vara enklare att diagnosticera eventuella fel i enskilda moduler i systemet. Samtidigt ger det fler väderutsatta kopplingspunkter i systemet vilket kan vara en svaghet med tanke på att ett solelsystem förväntas ha en livslängd på flera tiotals år.

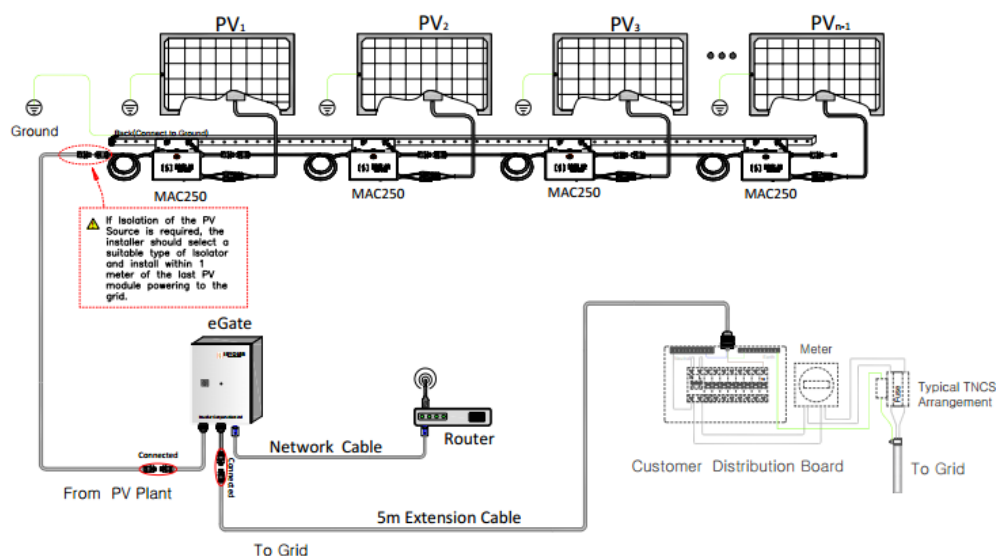
En variant på mikroväxleriktare är så kallade effektoptimerare eller ”*power optimizers*” där själva växelriktarfunktionen finns kvar i en central enhet men MPPT och eventuellt en del andra funktioner är utlokaliserade till en enhet som ansluts till varje modul eller möjligen par av moduler. Elsäkerhet framhålls ofta som ytterligare ett skäl till att använda någon form av decentraliserad styrning eftersom det gör det möjligt att stänga av modulerna direkt vid deras anslutningar t.ex. vid en brand eller om man vill byta ut en modul i ett större nät under drift, vilket i grundutförande inte är möjligt med en central enhet.



Figur 10 En av trefasväxleriktarna i testet (t.v.) och en mikroväxleriktare (t.h.)

De centrala växleriktarna finns, delvis beroende på storlek, för en- eller trefas matning in på elnätet. Trefasväxleriktare har kommit ner i storlek det senaste året så att det nu är lätt att hitta dessa ner till 3 kW effekt. Det har förekommit en del diskussioner kring detta där nätägarna bekymrat sig för ojämna belastningar på nätet om enfasväxleriktare skulle få väldigt stor spridning men det mesta talar för att oron varit obefogad. Ur anläggningsägarens synvinkel bör det så gott som alltid vara fördelaktigt att ha en trefasanslutning om anläggningen har en topp effekt på 3 kW eller mer eftersom det möjliggör en högre andel egenanvändning av den producerade elen.

Det kan finnas vissa fördelar med att koppla tre stycken enfasväxleriktare som en trefasanläggning i stället för att ha en trefasväxleriktare men på större anläggningar kan det ställas krav på att obalans i produktionen mellan faser inte får vara för stor. Sett till inköpspris lär en trefasväxleriktare så gott som alltid vara billigare än tre enfas dito.



Figur 11 Inkoppling av fyra paneler med separata mikroväxleriktare, först till en kommunikationsenhet och därefter till brukarens elcentral. (Schema från Involar)

5 Provobjekt

Urval av provobjekt i form av solcellsmoduler och växelriktare ska spegla den komponentmarknad som finns tillgänglig i Sverige för villasystem, se Tabell 1 och Tabell 2. Angivna värden i tabellerna är tagna från märkningen av respektive produkt om inget annat anges.

Inköpen har gjorts av SP genom en tredje part för att säkerställa att modulerna och växelriktarna är representativa för det som erbjuds på marknaden.

5.1 Solcellsmoduler

Solcellsmodulerna har valts med ungefär samma nominella toppeffekt (bortsett från Sunpower-modulen) – d.v.s. kring 250 W toppeffekt. Urvalskriteriet för modulerna har också varit sådant att både poly- och monokristallina celler finns representerade. Vidare har också pris och tillverkningsland för modulerna spelat in för att täcka ett så stort spann som möjligt. Allt urval har gjorts i samråd med Energimyndigheten.

De toleransvärden (egentligen ”effektsortering”) på moduler som anges i Tabell 1 innebär att tillverkarna mäter upp maxeffekten för varje nyproducerat modul varpå modulerna sorteras efter uppmätt effekt, normalt med en spridning på ± 2 till ± 5 % inom varje kategori. Tillverkaren väljer sedan en tolerans som kopplas till den maxeffekt som varje modell marknadsförs med. För moduler med angiven nominell toppeffekt på 250 W och en tolerans på $-0/+2$ % skall alltså verklig effekt på dessa moduler ligga mellan som lägst 250W och som högst 255 W. Plustolerans dvs ”alltid minst lika stor effekt som den som anges på märkskylten” betraktas i dag mer eller mindre som branschstandard. Här finns ett starkt incitament för tillverkarna att trimma noggrannheten i sina mätningar eftersom ett steg i angiven maxeffekt grovt räknat innebär 25 kr mer eller mindre per såld modul. En högre plustolerans kan dock också motiveras som ett försäljningsargument genom att det ger kunden ett mervärde. Resonemanget kring hantering av mätosäkerheter från avsnitt 6.2.1 bör också bli ett annat då det förs av en tillverkare som vill garantera sina produkters prestanda.

5.2 Växelriktare

Urvalskriteriet för växelriktarna har varit att få en spridning på pris och tillverkningsland liksom att få med minst två representanter för var storleksklass på 3, 5 respektive 10 kW. För 3 kW växelriktarna har dessutom både en- och trefasutrustningar valts ut. Vidare ingår två mikroväxelriktare eftersom dessa representerar en ny teknik som börjat bli allt vanligare. Allt urval har gjorts i samråd med Energimyndigheten.

Tabell 1 Provobjekt - solcellsmoduler⁵

Tillverkare	Modell	Solcellsteknik (mono-/polykristallin)	Tillverkningsland	Nominell toppeffekt (W)	Tolerans (± %)	Dimensioner (mm)
Q CELLS	Q.Pro BLK-G3	Polykristallin	Tyskland	250 ⁶	-0/+2	1670 x 1000 x 35
Centro Solar	S250P60 Professional	Polykristallin	Tyskland	255	-0/+2	1660 x 990 x 40
JA Solar	JAM6 (BK) -60-260/SI	Monokristallin	Kina	260	-0/+2	1650 x 991 x 40
PPAM	Paladium	Polykristallin	Kina	230	-0/+3	1640 x 990 x 40 ⁷
Renesola Jiangsu Ltd.	JC250S-24/Bb-b	Monokristallin	Kina	250	-0/+2	1640 x 992 x 40
Solar World	Sunmodule Plus SW 250 mono black	Monokristallin	Tyskland	250	-0/+2	1675 x 1001 x 31
Sunpower	SPR-E20-327	Monokristallin	USA	327	-0/+5	1559 x 1046 x 46
Yingli	Panda YL270c-30b	Monokristallin	Kina	270	-0/+2	1650 x 990 x 40

⁵ En av nio moduler har lyfts bort från testet i väntan på nya tester

⁶ Här skiljde sig toppeffekten på märkskylten från den på hemsidan (252,5 W)

⁷ Här skiljde sig dimensionerna på märkskylten från de på hemsidan (1640 x 995 x 45)

Tabell 2 Provobjekt - växelriktare

Växelriktare	Maxeffekt $P_{AC,r}$ (W)	$U_{MPP,min}$ (V)	$U_{DC,r}$ (V)	$U_{MPP,max}$ (V)	$U_{DC,max}$ (V)	I_{DCmax} /Ingång (A)	η_{max} (%)	η_{EU} (%)	Trafo J/N	Faser (1 el 3)	Antal MPP tracker
Involar MAC 250	235	24	32*	40	50	10,4	95,2	94,1	Nej	1	1
Enphase M 215-60-230-S22	215	22	29*	36	45	10,5	96,3	95,4	Nej	1	1
Samilpower 3000 TL	2600	210	355*	500	550	13,5	97	96,3	Nej	1	1
Steca Grid 3000	3 000	350	525*	700	845	12	98,6	98,3	Nej	1	1
Omniksol-3k-TL	3 000	120	360	500	590	19/19	97,6	97,0	Nej	1	2
Fronius Symo 3.0-3-S	3 000	200	595	800	1 000	16	97,6	96,2	Nej	3	1
SMA STP 5000 TL	5 000	245	580	800	1 000	11/10	98,0	97,1	Nej	3	2
Centrosolar Powerstoc Excellent 5.5 ⁸	5 500	360	605*	760	950	9/9/9	96,2	95,7	Nej	3	3
Sungrow SG_10KTL-EC	10 000	320	610*	900	1 000	20/20	98,0	97,6	Nej	3	2
Power-ONE/ABB PVI-10.0-TL-0UTD-S	10 000	300	580	750	900	17/17	97,8	97,1	Nej	3	2

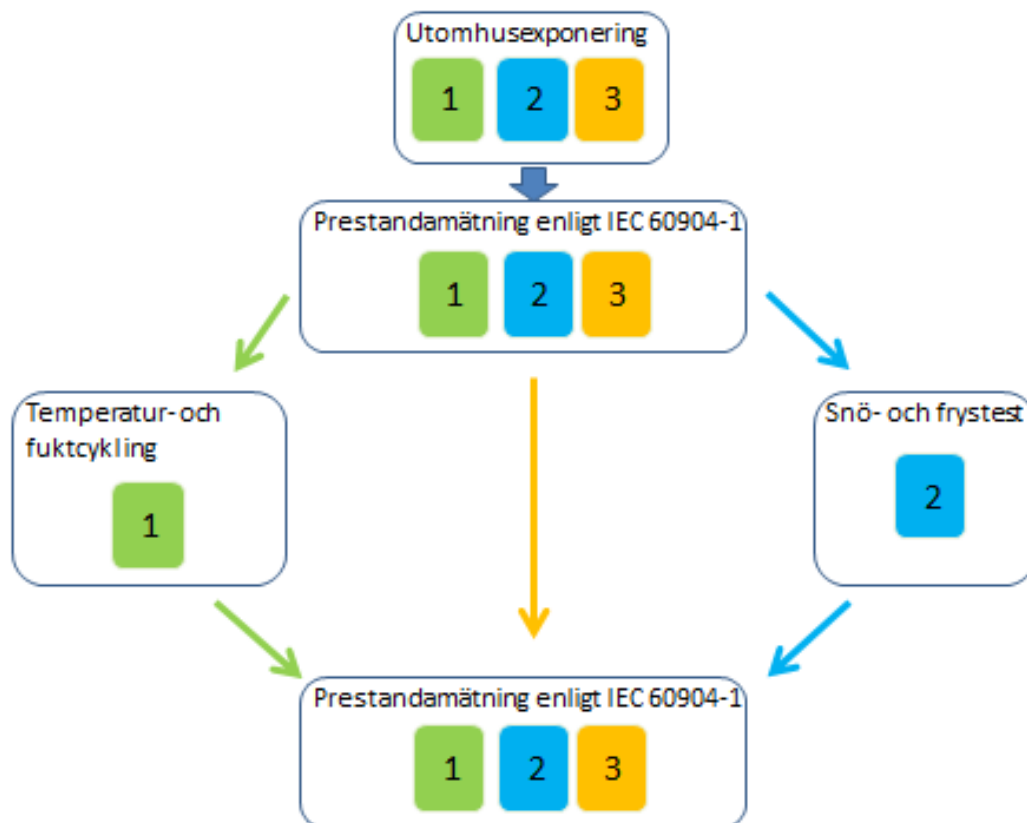
*Beräknat från $U_{MPP,max}$ och $U_{MPP,min}$ i enlighet standarden EN 50530

⁸ Marknadsförs även som, och är identisk med Kostal Piko 5,5

6 Provningsutförande

6.1 Förkonditionering av solcellsmoduler

Enligt standarden IEC 61215:2005^[1] ska solcellsmodulen innan effektmätning genomgå en förkonditionering utomhus eller i solsimulator där den samlade instrålade energimängden ska uppgå till minst 5 kWh/m². I samband med mätning av referensmoduler vid institutet Fraunhofer ISE i Tyskland framkom dock att de för att få ett säkrare ”starttillstånd” på provobjekten tillämpar förkonditionering med dosen 20 kWh/m² varför SP valt att tillämpa samma praxis.



Figur 12 Flödesschema över testsekvenserna för modulerna där 1, 2 och 3 anger respektive exemplar av varje modell (batch)

6.2 Prestandaprovning av moduler enligt IEC 60904-1

Bestämning av maxeffekt i enlighet IEC 60904-1^[6] genomfördes med hjälp av en solsimulator av typen singelblixt. Denna typ av mätning används genomgående i den omfattande kvalitetsprovningen av moduler (IEC 61215 och IEC 61646) för att verifiera om modulens prestanda påverkats av de olika hållbarhets- och miljötålighetstest den utsatts för. I detta fall har dessa mätningar två syften,

1. Verifiera att angivna värden på modulens märkskylt är korrekta. Tidigare erfarenheter har visat att det förekommer att modulmärkning baseras på mätningar på produkter

som inte är representativa för vad som saluförs. Enda sättet att få klarhet kring detta är att göra anonyma uttag från marknaden och mäta.

2. Att efter avslutade temperatur- och fuktcyklingstest samt snö- och istest kunna avgöra om modulens prestanda påverkats nämnvärt. Som gränsvärde använts här den av IEC 61215 angivna maximalt accepterade prestandaförsämringen på 5 %.

Inledningsvis, efter förkonditioneringen, har alla 27 moduler (3 exemplar x 9 produktmodeller/fabrikat⁹) genomgått en bestämning av maxeffekt som sedermera fungerat som initialvärde $P_{MPP, referens}$ i jämförelsen med uppgivna tillverkardata. För varje produktmodell har alltså tre separata moduler provats. Varje modul har i sin tur mätts tre gånger inledningsvis, vilket ger totalt 9 mätpunkter för varje modell. Modulerna har sedan delats upp för att genomgå olika stresstester samt att en modul av varje modell lämnats orörd för att påvisa om modulerna förändrats naturligt under testperioden (batch 3). Efter respektive stresstest upprepades bestämningen av maxeffekt för att se om/hur modulens prestanda påverkats. Kravet vid provning av moduler i enlighet med IEC 61215 eller 61646 är att ingen modul får tappa mer än 5 % i maxeffekt jämfört med det uppmätta initialvärdet. Detta har därför använts som ett riktvärde även i denna provning.

6.2.1 Kalibrering, kvalitetssäkring och mätosäkerhet vid mätningar på solcellsmoduler

Förutom en generell ackreditering enligt ISO 17025^[7] så baseras mätningar på solcellsmoduler på en ackreditering för solcellsstandarden SS-EN 60904-1^[6]. Till detta appliceras en intern vägledning som beskriver hur SP tillämpar standarden i praktiken.

Grunden för kvalitetsäkningen är en regelbunden spårbar kalibrering av mätningarna. Eftersom en solcells prestanda står i direkt proportion till mängden ljus som träffar den är det av största vikt att solsimulatorns irradians är så korrekt som möjligt. Detta säkerställs genom kalibrering med hjälp av en referensmodul. Irradiansen är direkt proportionell mot kortslutningsströmmen på en solcellsmodul. En referensmodul är en modul där just kortslutningsströmmen är välkänd för en given irradians. SP har två referensmoduler som kalibrerats och har spårbarhet till Fraunhofer ISE i Tyskland som i sin tur har spårbarhet till Tysklands nationella mätinstitut PTB¹⁰. Efter kalibrering överensstämmer SP's mätningar med Fraunhofer's mätningar till en osäkerhet på mindre än 0,1 %.

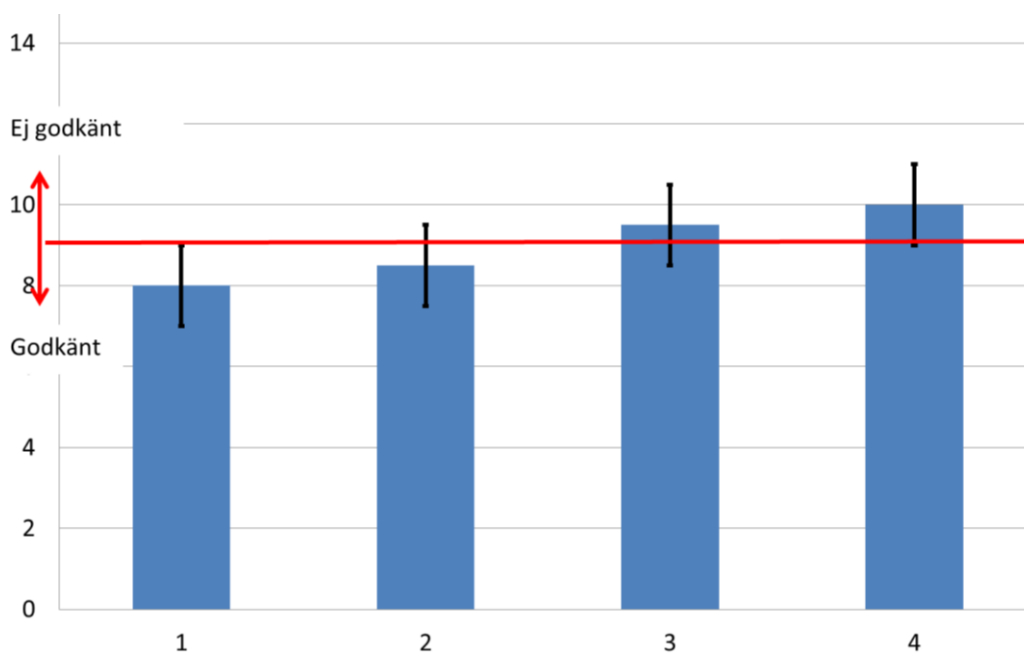
Utöver irradians så kalibreras även alla andra storheter som ingår i mätningarna. Detta innefattar främst spänning, ström och temperatur. Dessa storheter har dock en mindre påverkan på osäkerheten i mätningarna.

Mätosäkerheten är en kombination av osäkerheterna i de individuella kalibreringarna tillsammans med ojämnheter i irradians över hela modulytan samt de variationer som förekommer från en mätning till annan, till exempel på grund av temperaturfluktuationer. Tar man hänsyn till mätosäkerheten vid bedömningen av om slutresultatet är godkänt fås fyra möjliga fall, se Figur 13:

⁹ Se fotnot till Tabell 1

¹⁰ http://www.ptb.de/index_en.html

1. Resultatet uppfyller kravet och ligger väl innanför den angivna mätosäkerheten och är därmed godkänt
2. Resultatet uppfyller troligtvis kravet men kan med hänsyn till mätosäkerheten också vara underkänt
3. Resultatet uppfyller troligtvis inte kravet men med hänsyn till mätosäkerheten så kan det vara uppfyllt
4. Resultatet uppfyller inte kravet även om mätosäkerheten räknas förmånligt.



Figur 13 Exempel som beskriver fyra fall för tolkning av mätosäkerhet i förhållande till ett krav

SP uppfyller de krav som anges i standarden IEC 61215 med avseende på mätosäkerhet vid mätning av maximal effekt för solcellsmodulerna på:

- i. Omgivningstemperatur $\pm 1^\circ\text{C}$
- ii. Spänningsmätning $\pm 0,2 \%$
- iii. Strömmätning $\pm 0,2 \%$

Vid absolutmätningar har därför ingen hänsyn tagits till mätosäkerhet enligt ovan utan bedömningen av huruvida kraven har uppfyllts eller inte har enbart varit baserat på de faktiskt erhållna mätvärdena. Kraven motsvaras i detta fall av tillverkarnas angivna moduleffekter vid STC plus den (positiva) tolerans som samtliga tillverkare anger.

Vid de jämförelsemätningar som gjorts före och efter de olika hållbarhetstesterna har däremot reproducerbarheten i SPs mätningar tagits hänsyn till vid tolkningen av resultaten.

6.3 Temperatur- och fuktcykling av moduler enligt IEC 61215/61646

Modulerna utsattes för klimatest i enlighet med test 10.11 och 10.12 i IEC 61215^[1]. Syftet är att på kort tid utsätta modulerna för kraftigt varierande påkänningar orsakade av stora temperatur-och fuktvariationer. Detta kan leda till fysiska defekter eller sänkning av prestanda.

Mest utsatt är lödningar inne i modulen som påfrestas på grund av olika temperaturkoefficienter hos de ingående komponenterna.

Tabell 3 och Tabell 4 beskriver de moment och cykeltider som använts under testerna.

Tabell 3 Beskrivning av en full cykel i temperaturcyklning enligt test 10.11 i IEC 61215

Moment	Starttemperatur	Sluttemperatur	Tid (min)	Hastighet
Nedkylning	+25°C	-40°C	43	90°C/h
Stabilisering	-40°C	-40°	30	-
Uppvärmning	-40°C	+85°C	83	90°C/h
Stabilisering	+85°C	+85°C	30	-
Nedkylning	+85°C	+25°C	40	90°C/h

Tabell 4 Beskrivning av en full cykel i fukt/frystest enligt test 10.12 i IEC 61215

Moment	Starttemperatur	Sluttemperatur	Luftfuktighet	Tid (min)	Hastighet
Uppvärmning	+25°C	+85°C	85 %	40	90°C/h
Viloperiod	+85°C	+85°C	85 %	1200	-
Nedkylning	+85°C	+25°C	85 %	40	90°C/h
Nedkylning	+25°C	±0°C	Okontrollerat	17	90°C/h
Nedkylning	±0°C	-40°C	Okontrollerat	13	180°C/h
Stabilisering	-40°C	-40°C	Okontrollerat	30	-
Uppvärmning	-40°C	±0°C	Okontrollerat	13	180°C/h
Uppvärmning	±0°C	+25°C	Okontrollerat	17	90°C/h

Klimattesterna utfördes i två omgångar. Först 50 cykler av temperaturcyklning enligt Tabell 3 samt 10 cykler av fukt-/fryscyklning enligt Tabell 4. Senare utsattes modulerna för ytterligare 180 cykler enligt Tabell 3. Under den långa temperaturcyklningen (180 cykler) seriekopplades och strömsattes modulerna med 8 A vilket ungefär motsvarar maxeffektströmmen för modulerna. Även detta är i enlighet med IEC 61215.

Efter varje omgång av klimattester inspekterades modulerna visuellt för att se om några fysiska defekter kunde identifieras. Testerna följdes sedan upp av bestämning av maxeffekt för att undersöka om/hur prestandan påverkats.

6.4 Snö- och istest av modulerna

Det har uppmärksammats att vissa moduler som är installerade ute i fält har fallerat i ramens nederkant på grund av snö-/isbildning på modulernas glas och ram. Ett prov har därför

designats för att kontrollera hur väl modulerna kan stå emot en sådan belastning genom att upprepade gånger (10 cykler) låta dem täckas av snö som sedan delvis tillåts smälta, så att vatten kan lägga sig innanför ramen och sedan frysa till is. Resultaten av testet som inte avslöjade några påtagliga brister redovisas i kapitel 8.1.2 och utformningen av testet beskrivs mer i detalj i bilaga 3.

6.5 Prestandaprovning av växelriktare

Test av enbart en växelriktare utan inkopplade solcellsmoduler innebär att man simulerar en eller flera olika uppsättningar solcellsmoduler. Under testet mäter man in-och uteffekt under de förhållanden som är intressanta:

Genom att jämföra uppmätt energi före och efter växelriktaren kan man få ett mått på dess verkningsgrad, så kallad ”*conversion efficiency*”, vid olika solintensiteter och för olika typer av moduler, inom växelriktarens specifikation.

Genom att simulera variationer av solintensitet kan man testa växelriktarens flexibilitet och dynamiska egenskaper när det gäller att styra belastningen optimalt, så kallad ”*maximum power point tracking efficiency*” (MPPT *efficiency*),.

En relativt ny standard för dessa test finns i EN 50530. Denna standard har följts i möjligast mån under provningen.

6.5.1 Växelriktarens verkningsgrad, η_{conv}

Växelriktarens, verkningsgrad, ”*conversion efficiency*” beräknas enligt ekvation 1.

$$\eta_{conv} = \frac{P_{ut}}{P_{in}} = \frac{P_{AC}}{P_{DC}} \quad (1)$$

Växelriktarens verkningsgrad förväntas vara beroende på inspänning och ström. Strömmen varierar kraftigt med solinstrålningen. Dessutom beror både ström- och spänningsnivåer på den konfiguration av moduler som är anslutna. Därför bör verkningsgraden mätas upp vid en rad olika nivåer för att verifiera att växelriktaren klarar alla moduler som kan tänkas anslutas. Växelriktarens verkningsgrad antas ligga på över 90 procent i sitt optimala arbetsområde.

6.5.2 Förmåga att optimera effekt (*MPP tracking efficiency*, η_{MPP})

Växelriktarens förmåga att styra belastningen så att maximal effekt tas ut av solmodulerna i varje ögonblick oavsett solintensitetsförändringar m.m. kallas ”*MPP (maximum power point) tracking efficiency*” och beräknas enligt ekvation 2

$$\eta_{MPP} = \frac{E_{DC}}{E_{MPP}} \quad (2)$$

där E_{MPP} är den maximalt möjliga energi som kan tas ut under en viss tid och E_{DC} är den energi som faktiskt tas ut från (den simulerade) moduluppsättningen. Eftersom detta mäts under dynamiska förhållanden kommer den ögonblickliga verkningsgraden att variera kraftigt under mätningens gång. För att ge jämförbara resultat får man använda standardiserade solintensitetsmönster och mäta den totala verkningsgraden för hela körcykler snarare än att mäta och bedöma tillfälliga värden på verkningsgraden. Vidare är den maximalt möjliga

effekten eller energin inte möjlig att mäta eftersom den aldrig uppkommer eller är tillgänglig under mätningen.

6.5.3 Total verkningsgrad, η_{tot}

Total verkningsgrad (overall efficiency) beräknas (för varje enskild mätpunkt) enligt ekvation 3 där η_{conv} och η_{MPP} ges av ekvation 1 och 2,

$$\eta_{tot} = \eta_{conv} \cdot \eta_{MPP} \quad (3)$$

6.5.4 EU-viktad verkningsgrad

Den totala verkningsgraden kan vara kraftigt beroende av utmatad effekt. I praktiken beror alltså verkningsgraden sett över hela året på hur solinstrålningen har fördelat sig över tiden. För att ange ett mått på ”medelverkningsgrad” över året behöver man beräkna ett viktat medelvärde. Det finns några olika sådana viktningar men i Europa används vanligen en så kallad EU-viktning som ger en viktad verkningsgrad som skrivs som η_{EU} .

6.5.5 Mätning av verkningsgrad

Spänning och ström från simulatören mäts och effekten beräknas därefter för varje litet tidsintervall genom att multiplicera spänning och ström. Detta gäller både för likspänning och växelspanning. Genom att använda en wattmeter som kontinuerligt mäter effekt på detta sätt slipper man spara flera hundra värden i sekunden utan kan nöja sig med några eller upp till ett tiotal värden i sekunden. Effekten från växelriktare mäts med en trefasig precisionswattmeter och loggas med liknande tidsintervaller som likströmseffekten. Med användandet av en 6-kanalig wattmeter kan man mäta både likspänningsparametrar och växelspanningsparametrar samtidigt.

6.5.6 Prov av växelriktares verkningsgrad enligt standarden EN 50530^[8, 9]

Standarden anger att man skall mäta omriktarverkningsgrad vid statistiska förhållanden samt effektiviteten hos MPP-tracking både vid statistiska och dynamiska förhållanden.

Mätning av verkningsgrad skall ske vid tre inspänningsnivåer - *maximum*, ”*rated*” och *minimum* MPP-spänning. Det skall också ske för belastningsnivåerna 0,05; 0,1; 0,2; 0,25; 0,30; 0,50; 0,75; 1 gånger I_{max} . Det betyder att ”*conversion efficiency*” och ”*MPP tracking efficiency*” mäts i 24 punkter för statistiska förhållanden, se diagram i bilaga 2.

MPP tracking efficiency vid dynamiska förhållande mäts vid ”*rated*” spänningsnivå men med cyklade solintensitetsförhållanden. Tre olika cyklingar genomförs: dels cykling 10-50 % av maximal solintensitet, dels cykling vid 30-100% av maximal solintensitet, och slutligen cykling 0-10 %, vilket inkluderar start- och avstängningsfunktion. Inom varje cykling ligger moment med olika ändringshastigheter, från 0,5 W/m²/s till 50 W/m²/s.

6.5.7 Begränsningar i provningen av verkningsgrad, noteringar

Standarden anger att proven kan köras både för monokristallint kisel (c-Si) och tunnfilm (TF), i så fall görs samma prov om med olika typiska ström-spänningskurvor. Mätningarna har enbart gjorts med referens till c-Si eftersom det är det vanligaste utförandet på modulerna på marknaden idag.

Några av växelriktarna har dubbla ”MPP-trackers”, bl.a. för att effekterna av skuggning skall kunna minskas. Ett fullt prov skulle då kräva dubbla solsimulatorer och dubbla DC-wattmetrar. Provingen har därför begränsats till en av ingångarna. Detta begränsar i vissa fall möjlig maxeffekt för dessa utrustningar eftersom full uteffekt kanske inte kan nås utan att använda båda ingångarna. Man bör ha detta i minnet när man utvärderar dessa utrustningars resultat mot deras specifikationer och/eller andra växelriktare.

Enligt standarden bör en typisk ström-spänningskurva användas. För c-Si ger denna en maxpunkt P_{MPP} , som ligger på cirka $0.8 \cdot U_{DC, max}$. Detta är ofta mindre än det specificerade $U_{MPP, max}$ för växelriktaren. Det betyder att oftast kan inte växelriktaren testas upp till sitt angivna $U_{MPP, max}$ utan provet får begränsas till $U_{MPP} = 0.8 \cdot U_{DC, max}$.

Standarden utgår från att det är växelriktarens maximala effekt och inspänning som ger begränsningarna hos växelriktaren. Men i något fall begränsas växelriktaren också av maximal ström vid låga spänningar. Då får man välja att inte köra de högsta strömmarna eller att begränsa maxeffekten för provningen. Standarden ger ingen vägledning. I detta test har vi valt att begränsa maxeffekten.

Använd solcellssimulator har begränsningarna 1000V och 15 A. Det betyder att hela ström-spänningskurvan måste ligga inom dessa begränsningslinjer. I praktiken betyder det att provningen alltid måste begränsa sig till ström-spänningskurvor och solintensiteter som ger $U_{MPP, max} < 800$ V och $I < 15$ A. Eftersom inga växelriktare i testet har $U_{max, DC}$ högre än 1000 V har inte detta haft någon inverkan, dock har 3 stycken omriktare en högsta tillåten ström som är högre än 15 A. I praktiken betyder de att dessa växelriktare har provats vid en lägre effektnivå än dess P_{max} .

Flera av provmomenten skall utföras vid $P_{DC, rated}$ men tillverkarna anger inte alltid denna parameter, då beräknas $P_{DC, rated}$ enligt ekvation 4,.

$$P_{DC, rated} = \frac{P_{AC, rated}}{\eta_{conv}} \quad (4)$$

6.5.8 Mätning av strömdistorsion

Det vanligast problemen med övertoner orsakas av att apparater (laster) drar en ström som inte är sinusformad d.v.s. distorderad. En icke sinusformad ström som ändå ser likadan ut period för period kan delas upp i en sinusformad ström plus ett antal övertoner. Halten av övertoner är alltså ett mått på distorsionen.

Strömövertoner ger i huvudsak problem på två sätt - genom ökade förluster och genom att ge upphov till störningar. Förlusterna uppkommer genom att övertonsströmmen är ”onödig” d.v.s. den hjälper inte till att överföra effekt men tar ändå upp plats i ledningarna. Den kan också ta ”genvägar” i systemet och orsaka kraftig lokal uppvärmning t.ex. i filter i nätet eller i andra apparater. Den kan också ge upphov till störningar genom att övertonsströmmen i sin tur ger upphov till övertonsspänning som kan störa apparater som för sin funktion förutsätter att spänningskurvformen är sinusformad. Det är dock inte något helt direkt eller självklart samband mellan övertonshalt och störningsrisk. Vissa typer av kurvformsdistorsion, till exempel sådan som ger upphov till kraftiga svängningar runt spänningens nollgenomgång är värre än andra.

Det finns standarder för apparater (laster), SS EN 61000-3-2^[10] och SS EN 61000-3-12^[11]. Apparater får dra olika mycket övertoner beroende på frekvensen hos övertonen. Gränserna sätts normalt i ampere och inte i % d.v.s. en mindre last får ha större övertonshalt. Man begränsar sig till övertoner vars frekvens är mindre än 2 kHz. Standarder för ”laster” är inte självklart applicerbara för genererande utrustning som växelriktare för solceller. En orsak är att generatorer inte i första hand producerar en (övertons)ström utan en spänning. Den (övertons)ström som uppkommer beror till stor del på impedansen i nätet, d.v.s. övertonsströmmen som genereras beror på hur nätet (och näraliggande laster) ser ut. Enligt standardernas tillämpningsområden (scope) så anges dock ”elektrisk och elektronisk utrustning som är gjorda för att anslutas till nätet” och det finns inga begränsningar som skulle kunna undanta växelriktare.

Det finns även andra typer av strömdistorsion. De ovannämnda standarderna utgår till exempel från att övertoner har en frekvens mindre än 2 kHz men i verkligheten förekommer högre frekvenser. Distorsion över 2 kHz är typiskt mer brusliknande, d.v.s. ser inte nödvändigtvis lika ut om man tittar på strömsignalen vid olika tidpunkter. Den här typen av distorsion har blivit betydligt vanligare och problem orsakas främst av medelstora till stora belastningar som värmepumpar och fläktar som internt använder så kallad pulsviddsmodulation. Detta gäller också de flesta av de här testade växelriktarna. Standarder för detta frekvensområde är under utveckling d.v.s. några tydliga gränsvärden finns inte.

7 Energiutbytesberäkningar

7.1 Beräkning av energiutbyte inklusive analys av systemlösningar

De solcellsmoduler och växelriktare som ingått i denna studie har använts för att beskriva ett antal olika fall gällande det kompletta solcellssystemets funktion. Studien har gjorts baserat på data från leverantören, i fallet solcellsmoduler styrda av produktcertifikat utfärdade av en oberoende part t.ex. TÜV¹¹. Beräkningar har gjorts med simuleringsprogramvaran PVSyst för ett referensfall baserat på väderdata för ett normalår i Stockholm från den internationella klimatdatabasen Meteonorm 6.1.

Tillvägagångssättet har i första hand varit att sätta samman ett antal olika tänkbara systempaket och visa på variationer/likheter i funktionalitet och design för dessa. Paketerna har satts samman för att spegla utbudet på den svenska marknaden men det har inte varit möjligt att hitta ett tillräckligt stort antal saluförda kombinationer som innehåller de komponenter som testats varför en del av paketerna får betraktas som möjliga lösningar. Dessutom har vi utifrån ett eller flera valda referenssystem försökt visa hur olika relevanta variabler (t.ex. dimensionering, modulernas lutning, orientering och montering) påverkar energiutbytet.

7.2 Analyserade systempaket

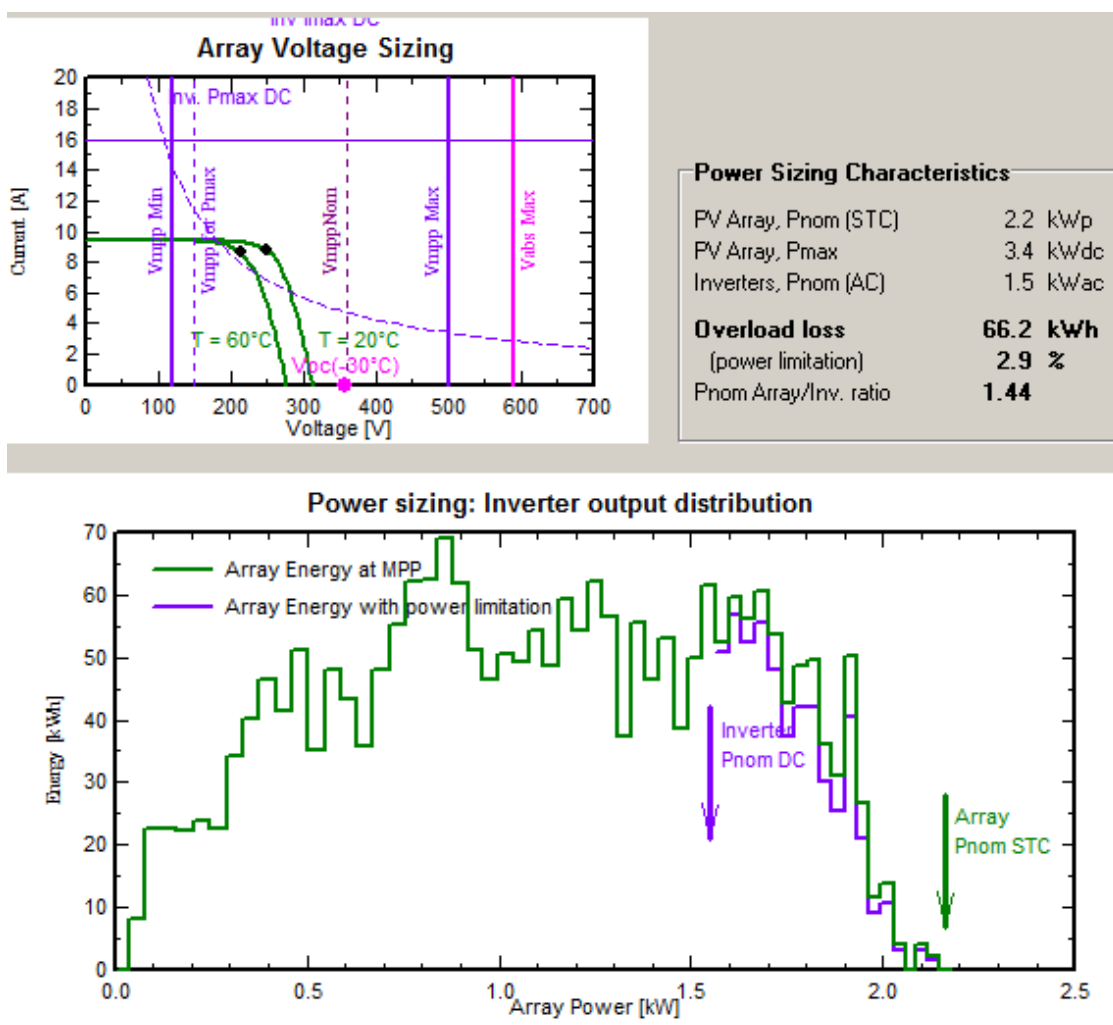
Ett antal exempel på system av storlekarna 3, 5, 10 kW har simulerats i PVSyst. Systemen är uppbyggda av de moduler och växelriktare som är inkluderade i detta projekt och är delvis baserade på befintliga paket hos leverantörer i Sverige (där dessa paket funnits tillgängliga på respektive websidor).

De olika paketerna som analyserats har designats utifrån följande kravspecifikation:

1. Växelriktaren får inte underdimensioneras så att effektbegränsning ger > 3% förluster med avseende på årligt energiutbyte.
2. Max systemspänning, V_{OC} , på växelriktarens DC-ingång får inte överskridas vid en modultemperatur på -30°C .
3. Minsta systemspänning, $U_{MPP, \min}$, på växelriktarens DC-ingång får inte underskridas vid en modultemperatur på $+60^{\circ}\text{C}$.
4. Modulernas maximala kortslutningsström, I_{SC} , får inte överstiga växelriktarens maximala tillåtna värde.

Simuleringsprogrammet PV-Syst ger grafisk feedback på hur systemets dimensionering påverkar energiutbyte, spänningar och strömmar i systemet, se Figur 14.

¹¹ <http://www.tuv.com/en/corporate/home.jsp>



Figur 14 PV-Syst återkopplar hur varje kombination av moduler och växelriktare påverkar spänning, ström, effekt och energi i systemet. I figuren visas att en 40-procentig överdimensionering av modulernas nominella effekt i förhållande till växelriktarens ger ett energitapp på knappt 3% på grund av växelriktarens effektbegränsning.

Målsättningen med förslagen är att belysa för konsumenter viktiga aspekter på systemets energitvättning samt exemplifiera ett antal olika systemlösningar för att visa på den bredd som finns på svenska marknaden. Resultaten av denna analys redovisas i kapitel 9 och i Bilaga 3.

7.3 Indata till beräkningarna

Indata till beräkningar har baserats på data från leverantörer. För moduler har data tagits från märkning på moduler, förutom i fallet PPAM där märkningen var felaktig ($I_{SC} \ll I_{MPP}$). Data togs då istället från produktblad för modulen ifråga, se Tabell 5. För växelriktare kommer alla data från leverantörsinformation, se Tabell 6.

Tabell 5 Indata för solcellsmodulerna till beräkningarna

Modul	Tolerans ¹² (± %)	I _{sc} (A)	I _{MPP} (A)	U _{oc} (V)	U _{MPP} (V)	P _{MPP} (W)	P _{LOSS, T} (%/°C)
Q CELLS – Q.PRO BLK-G3	-0/+2	8,62	8,21	37,32	30,76	250	-0,42
Centro Solar – S 255P60 Professional	-0/+2	8,99	8,54	37,69	29,87	255	-0,43
JA Solar – JAM6(BK)-60-260/SI	-0/+2	8,92	8,39	38,08	30,98	260	-0,43
PPAM – Paladium	-0/+3	8,78	8,01	36,20	29,50	230	-0,42
Renesola – JC250S-24/Bb-b	-0/+2	8,87	8,32	37,50	30,10	250	-0,43
Solar World – Sunmodule Plus SW 250 mono black	-0/+2	8,28	8,05	37,80	31,10	250	-0,45
Sunpower – SPR-E20-327	-0/+5	6,46	5,98	64,90	54,70	327	-0,38
Yingli Panda – YL270C-30b	-0/+2	9,43	8,68	38,60	31,10	270	-0,41

¹² Enligt modulmärkningen angiven tolerans på märkeffekt (se definition i kapitel 5.1)

Tabell 6 Indata för växelriktarna från PVsyst (tillverkardata) till beräkningarna. Enskilda parametrar kan skilja sig från motsvarande i **Tabell 2**.

Växelriktare	$P_{DC,r}$ (kW)	I_{max} (A)	U_{MPP} (intervall) [V]		$U_{MPP,max}$ (V)	Fas(er)	MPPT	# strängar/MPPT	η_{max}	η_{EU}
Involar MAC 250	0,25	10,4	24	40	50	1	1	1	95,0	93,5
Enphase M 215-60-230-S22	0,24	10,5	15	48	48	1	1	1	97,7	97,3
Samilpower 3000 TL	2,60	13,5	210	500	550	1	1	1	97,0	96,3
Steca Grid 3000	3,06	12	350	700	845	1	1	1	98,6	98,2
Omniksol-3k-TL	3,40	16/16	120	500	590	1	2	1	97,5	96,6
Fronius Symo 3.0-3-S	3,00	16	200	800	1000	3	1	3	97,9	96,2
SMA STP 5000 TL	5,00	11/10	245	800	1000	3	2	2	98,0	97,2
Centrosolar Powerstoccc Excellent 5.5 ¹³	5,50	9	180	850	950	3	3	1	96,2	95,7
Sungrow SG_10KTL-EC	10,60	20/20	250	950	1000	3	2	3	98,0	97,4
Power-ONE/ABB PVI-10.0-TL-OUTD-S	10,30	17/17	200	750	900	3	2	2	97,6	97,0

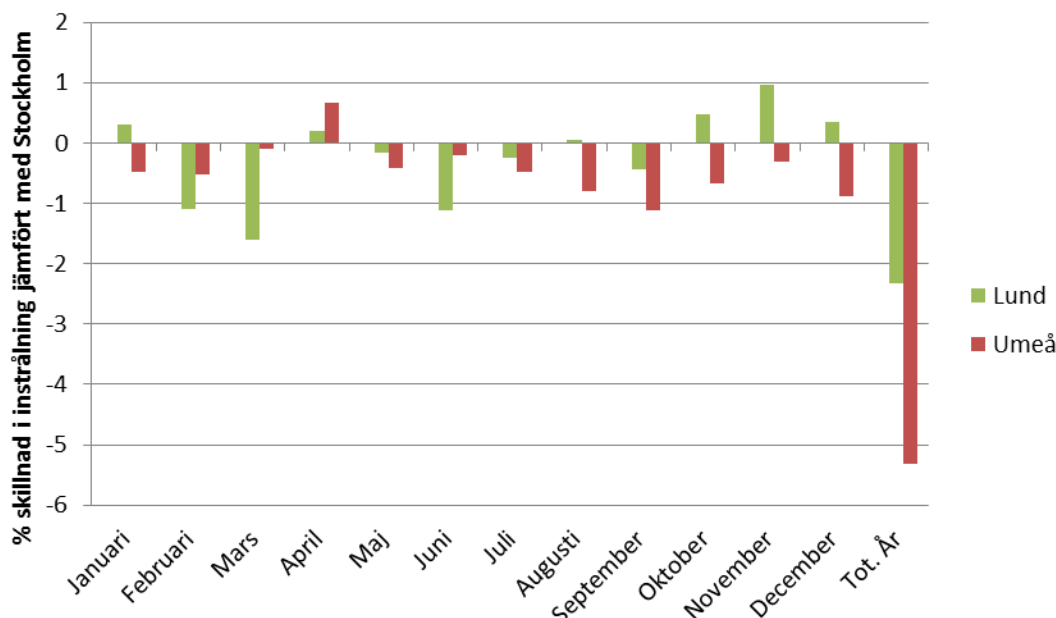
¹³ Marknadsförs även som och är identiskt lika med Kostal Piko 5.5

7.3.1 Klimatdata för beräkning av energiutbyte

Klimatdata har genererats av den väletablerade väderdatabasen Meteonorm 6.1¹⁴, för ett referensår och med Stockholm som lokaliseringsort. Samma väderdata används sedan flera år av t.ex. den Europeiska Solar Keymark certifieringen. Det är viktigt att påpeka att det finns osäkerheter inbakade redan vid val av klimatdata i denna typ av analyser, t ex beroende på uppskattningen/mätningen av solinstrålningen på lokaliseringsorten (Meteonormdata baseras på en kombination av mätningar, interpolerad data och beräknade värden). Utöver detta finns en osäkerhet relaterad till att man antar ett ”typiskt” år i klimatmodellen, medan variationen mellan det typiska och verkliga året kan vara betydande, framförallt på månadsbasis (upp till 20-30%)^[12]. På årsbasis ligger variationen typiskt inom 4-6 %^[12]. I förhållande till Stockholm, som valts eftersom orten är väl etablerad sedan tidigare från solvärmeområdet, så finns också en variation på ±10% beroende på var i landet anläggningen placeras. Dessa variationer med avseende på lokalisering exemplifieras i stapeldiagrammet nedan (data från Meteonorm 6.1). Den totala årliga skillnaden mellan Stockholm och Umeå är ca 5% medan Stockholm och Lund skiljer sig runt 2%. Trots att det är stora skillnader mellan orterna per månad, så blir bidraget till den årliga variationen låg (vilket visas i tabellen). Detta beror på att det är låg total instrålning de månader då variationen är störst (dvs på vintern).

Instrålning mot plan med optimal vinkel

- skillnad i % av årlig instrålning mellan Stockholm och två orter (Umeå, Lund)



Figur 15 Skillnader i instrålning beroende på geografisk placering jämfört med Stockholm

¹⁴ <http://meteonorm.com/>

7.3.2 Övrig indata till simuleringsprogramvaran (PVSyst 6.3.0)

För den gemensamma analysen av olika systempaket har deras grundläggande driftförutsättningar definierats enligt:

- Markreflektion/Albedo är 0,2 (konstant)
- Azimut är 0, dvs placering rakt i söderläge
- Panelerna är monterade med en vinkel på 45° mot horisontalplanet (45° används för kompatibilitet med t.ex. solvärmeberäkningar)
- Systemet antas vara nätanslutet utan någon möjlighet till lagring
- Systemet antas ha oändligt stor last, dvs behovet antas i varje tidsögonblick vara större än systemets elproduktion
- Modulerna antas vara oskuggade under hela året
- Modulerna antas vara "fritt" monterade vilket gör att modulerna i genomsnitt har en lägre temperatur och därmed producerar mer el än vid inbyggt montage (dvs den termiska förlustfaktorn, U , är satt till ett (högt) konstant värde på 29 W/m² K)
- Systemen antas vara opåverkade av smuts och snö

För de mer ingående analyserna har ett flertal av de ovan beskrivna parametrarna varierats

8 Provningsresultat

8.1 Solcellsmoduler - sammanfattning

Vid visuell inspektion efter att modulerna förkonditionerats kunde inga märkbara förändringar noteras som antydde på exempelvis utfällningar innanför ramen, interferensmönster eller liknande som skulle kunna påverka modulens prestanda.

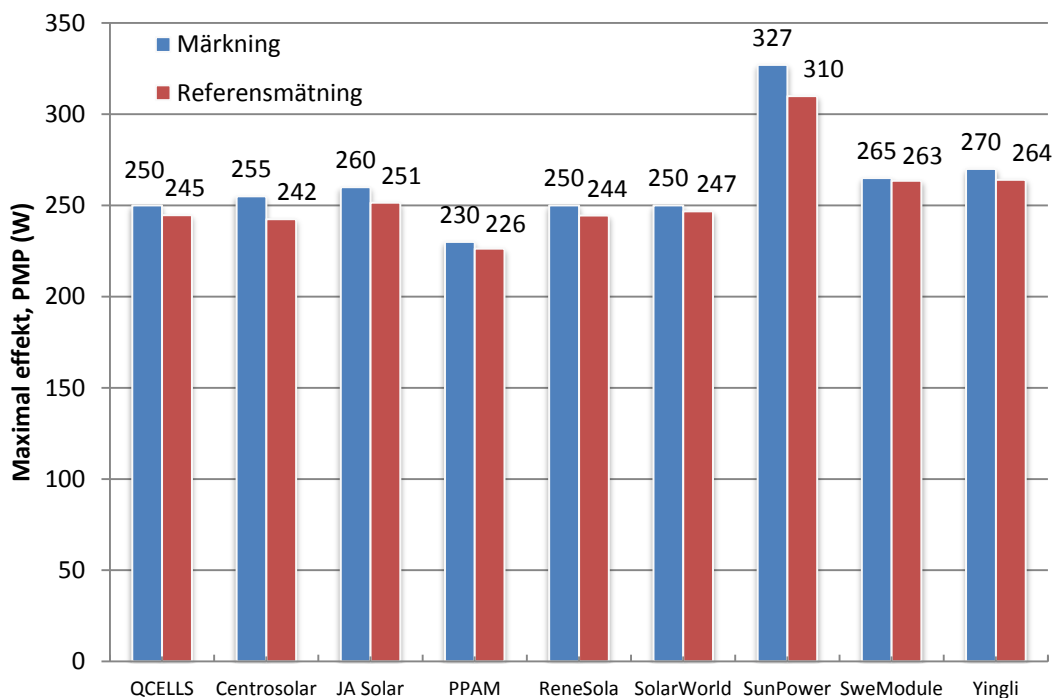
8.1.1 Effektivitet jämfört med katalogdata och modulmärkning

Tabell 7 redovisar resultaten från referensmätningen som gjordes innan hållbarhetstesterna med avseende på maximal effekt, $P_{MPP, referens}$ jämfört med de av tillverkarna angivna maximala effekterna, $P_{MPP, märkning}$. Värdena som presenteras från referensmätningen är medelvärde av nio provpunkter från tre separata moduler och batcher. Mätresultaten från varje separat modul återfinns i respektive produktbilaga, se_Bilaga 1 – Solcellsmoduler.

Tabell 7 Jämförelse mellan solcellsmodulernas $P_{MPP, referens}$, från SPs referensmätning enligt IEC 60904-1, samt den av tillverkarna angivna maximala effekten, $P_{MPP, märkning}$

Tillverkare	Modell	$P_{MPP, märkning}$ (W)	$P_{MPP, referens}$ (W)	Avvikelse
Q CELLS	Q.Pro BLK-G3	250	245	- 2 %
Centro Solar	S250P60 Professional	255	242	- 5 %
JA Solar	JAM6(BK)-60-260/SI	260	251	- 3 %
PPAM	Paladium	230	226	- 2 %
Renesola Jiangsu Ltd.	JC250S-24/Bb-b	250	244	- 2 %
Solar World	Sunmodule Plus SW 250 mono black	250	247	- 1 %
SunPower	SPR-E20-327	327	310	- 6 %
Yingli	Panda YL270c-30b	270	267	- 2 %

Eftersom alla testade moduler angetts med en plussortering så är det ingen som kan sägas ligga inom sin specifikation enligt Tabell 7. Se kapitel 5.1 för en förklaring kring sorteringen. Se även avsnitt 6.2.1 för en diskussion om mätosäkerhetens roll.



Figur 16 Jämförelse av maximal effekt från referensmätning, $P_{MPP, referens}$ och de av tillverkarna angivna värdena från modulmärkningen, $P_{MPP, märkning}$. Bara Centrosolar och SunPower avviker med 5% eller mer från specifikationen.

8.1.2 Snö- och istest

Den uppmätta avvikelser i P_{MPP} för respektive solcellsmodul i batch #2 (se Figur 12) före och efter snö- och istestet redovisas i Tabell 8 samt i Figur 17. I detta fall är skillnaden relativ och inte absolut som i fallet då referensmätningen jämfördes med tillverkarnas data (Tabell 7). Därför gäller i stället mätningarnas repeterbarhet som ett mått på osäkerheten i resultaten. Repeterbarheten har uppskattats till $\pm 1\%$. Resultatet från den visuella inspektionen, som inte kunde påvisa någon som helst påverkan, ges av Tabell 9.

Tabell 8 Avvikelse i maximal effekt (%) P_{MPP} före och efter snö- och istest för solcellsmoduler från batch #2

Tillverkare	Modell	Avvikelse
Q CELLS	Q.Pro BLK-G3	0 %
Centro Solar	S250P60 Professional	0 %
JA Solar	JAM6(BK) -60-260/SI	- 1 %
PPAM	Paladium	0 %
Renesola Jiangsu Ltd.	JC250S-24/Bb-b	0 %
Solar World	Sunmodule Plus SW 250 mono black	- 1 %
SunPower	SPR-E20-327	1 %
Yingli	Panda YL270c-30b	0 %

Tabell 9 Resultat från visuell inspektion efter snö- och istest

Modul	Ram	Glas
Q CELLS	0	0
Centrosolar	0	0
JA Solar	0	0
PPAM	0	0
ReneSola	0	0
Solar World	0	0
SunPower	0	0
Yingli	0	0

Skala för utvärdering

- 0: Ingen anmärkning
- 1: Mindre anmärkning
- 2: Större anmärkning

8.1.3 Temperatur- och fuktcykling

Följande visuella observationer gjordes på modulerna i samband med mätningar efter klimattestomgång 1, se Tabell 10. Inga ytterligare försämringar kunde konstateras efter omgång 2. Två avvikande observationer gjordes på framsidan av modulerna. Dels uppstod en flammighet där små fläckar kunde ses som antydde att de formats av något som kondenserat på glasets insida. Vidare kunde man utskönja att flammigheten uppvisade interferensmönster då reflekterat ljus uppvisade regnbågens färger. På någon av modulerna kunde man tydligt se att det var större påverkan på glaset mitt för baksidans kopplingsdosa.

Resultatet från prestandamätningen efter temperatur- och fuktcyklingen ges av Tabell 11 och Figur 17.

Tabell 10 Resultat från visuell inspektion efter första klimatkörningen

Modul	Flammighet	Interferens
Q CELLS	2	1
Centrosolar	2	1
JA Solar	1	0
PPAM	0	0
ReneSola	2	1
Solar World	1	0
SunPower	2	0
Yingli	2	0

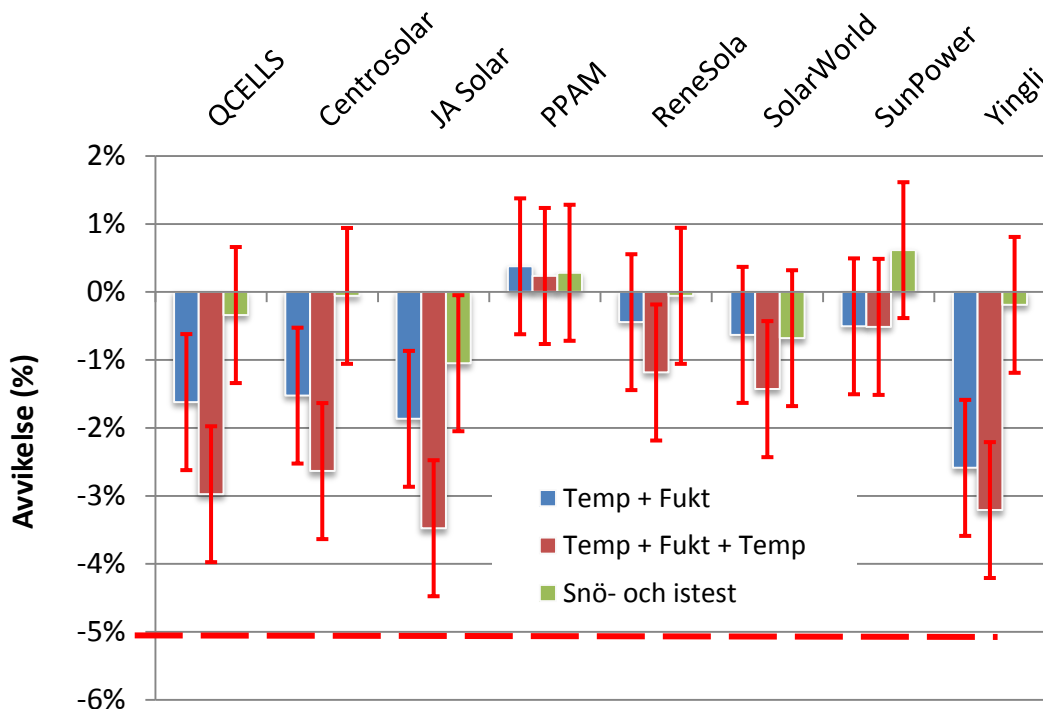
Skala för utvärdering

- 0: Ingen anmärkning
- 1: Mindre anmärkning
- 2: Större anmärkning

Samtliga moduler hade torkats av med vått papper innan mätning och innan observationerna gjordes.

Tabell 11 Avvikelse av maximal effekt P_{MPP} för respektive modul i batch #1 före och efter temperatur- och fuktcyklingen. Se kapitel 6.3 för en förklaring av de två klimattesterna.

Tillverkare	Modell	Avvikelse efter test 1 (Temp + Fukt)	Avvikelse efter test 2 (Temp + Fukt + Temp)
Q CELLS	Q.Pro BLK-G3	- 2 %	- 3 %
Centro Solar	S250P60 Professional	- 2 %	- 3 %
JA Solar	JAM6(BK) -60-260/SI	- 2 %	- 3 %
PPAM	Paladium	0 %	0 %
Renesola Jiangsu Ltd.	JC250S-24/Bb-b	0 %	- 1 %
Solar World	Sunmodule Plus SW 250 mono black	- 1 %	- 1 %
SunPower	SPR-E20-327	- 1 %	- 1 %
Yingli	Panda YL270c-30b	- 3 %	- 3 %



Figur 17 Avvikelser av maximal effekt (P_{MPP}) efter respektive hållbarhetsprov. Tillåten storlek för avvikelserna enligt IEC 61215 (kapitel 10.8.5) är markerat med en röd streckad linje. Reproducerbarheten i mätningarna ($\pm 1\%$) indikeras med röda vertikala markörer.

8.2 Växelriktare - Sammanfattning

Testen genomförs, där så är möjligt, i enlighet med SS EN 50530^[8]. Statisk test av verkningsgrad utförs vid tre olika spänningsnivåer (simulerade strängar med solcellsmoduler)

och vid 8 olika simulerade solintensitetsnivåer, se Tabell 12. De simulerade strängarna har alla samma maxeffekt som matchar växelriktaren.

Tabell 12 Testpunkter vid statistiskt prov. Se även diagram i bilaga 2.

Spännings-nivå	Simulerad I/U-kurva	Testpunkter - Relativ solintensitet (Max = 1000 W/m ²)							
		0,05	0,1	0,2	0,25	0,3	0,5	0,75	1
U _{MPP, min}	c-Si	0,05	0,1	0,2	0,25	0,3	0,5	0,75	1
U _{MPP, nom}	c-Si	0,05	0,1	0,2	0,25	0,3	0,5	0,75	1
U _{MPP, max}	c-Si	0,05	0,1	0,2	0,25	0,3	0,5	0,75	1

Avsnitt 4.2 förklarar hur växelriktaren optimerar solcellernas driftpunkt i förhållande till instrålningens intensitet och celltemperaturen. Både växelriktarens verkningsgrad och effektiviteten hos ”MPP tracking” mäts. Från resultatet för varje spänningsnivå beräknas en vägd så kallad EU-verkningsgrad. Den beräknas enligt ekvation (5)

$$\eta_{EU} = 0,03 \cdot \eta_{0,05} + 0,06 \cdot \eta_{0,1} + 0,13 \cdot \eta_{0,2} + 0,1 \cdot \eta_{0,3} + 0,48 \cdot \eta_{0,5} + 0,2 \cdot \eta_1 \quad (5)$$

EU-verkningsgraden beräknas för var och en av de tre testspänningarna. EU-viktingen görs främst på den totala verkningsgraden men i resultattabellen nedan finns även kompletterande EU-viktade ”conversion efficiency” och ”MPPT efficiency” värden med (Noteras kan att värdena vid 0,25 och 0,75 relativ solintensitet inte används i viktingen. Det är inte helt klart varför men 0,75-värdet används för en amerikansk viktningskurva och 0,25-värdet kan finnas med för historisk kompatibilitet med tidigare standard.)

Därefter utförs en dynamisk test av effektiviteten hos ”MPP tracking” vid nominell spänning. Här cyklas det mellan olika solintensitetsnivåer och med olika ändringshastigheter för instrålningen enligt Tabell 13.

Tabell 13 Testpunkter vid dynamiskt prov

Test 1: Nivå 10 %-50 %		Test 2: Nivå 30 %-100 %		Test 3: Nivå 0 %-10 %	
Deltest nr	Ändring W/m ² /s	Deltest nr	Ändring W/m ² /s	Deltest nr	Ändring W/m ² /s
1	800	1	10	1	0.1
2	400	2	14		
3	200	3	20		
4	133	4	30		
5	80	5	50		
6	57	6	100		
7	40				
8	29				
9	20				
10	13				
11	8				

Resultaten visar bland annat EU-vägd verkningsgrad. Den är uppdelad på effektivitet hos MPP tracker och på conversion efficiency, dessa värden har därefter lagt samman till en total verkningsgrad. Det är den senare som är av störst intresse då den anger hur mycket effekt som faktiskt kommer ut som växelströmseffekt av den totalt möjliga effekten från modulerna. Den

dynamiska testen prövar hur bra växelriktaren är på att följa växlingar i solintensitet. Om resultaten vid dynamiskt test av MPPT, test 1-2 är väsentligt lägre än MPP efficiency vid statiska förhållanden tyder det på att MPPT har dåliga dynamiska egenskaper. Om resultaten vid dynamisk test av MPPT, test 3, är väsentligt lägre än MPP efficiency vid statiska förhållande innebär det att MPPT:n har bekymmer framförallt med start eller väldigt låg solintensitet. Generellt bör MPPT-trackingen såväl statistiskt som dynamiskt ligga över 98%. Av tabell 14 kan man av detta dra slutsatsen att MPP-trackingen hos samtliga växelriktare utom Involar har goda statiska egenskaper och att alla utom Involar och Samilpower har goda dynamiska egenskaper vid nominell drift (Test 1-2). Vid startläge är det främst Involar och Omniksol som underpresterat (Test 3). SMA:s växelriktare kommer sammanfattningsvis ut bäst med avseende på effektivitet av de provade växelriktarna.

Strömdistorsionen bör idealt vara nära noll, gärna under 10%. Men det är i realiteten total distorderad ström som oftast ger problem, en liten apparat kan därför ha större distorsion utan problem så länge inte flera sådana kopplas in parallellt.

Majoriteten av växelriktarna anger i datablad eller ”*declaration of conformity*” att de uppfyller kraven i övertonsstandarderna SS EN 61000-3-2^[10] och/eller SS EN 61000-3-12^[11] (upp till 2 kHz). Eftersom de flesta växelriktare arbetar med en PWM-frekvens över 2 kHz blir distorsionen liten för frekvenser under 2 kHz. Däremot blir distorsionen i frekvensområdet över 2 kHz ibland betydande. Här ger mätning av övertonshalt ett något osäkert värde, dels beroende på frekvensgång hos testinstrumentet, dels på grund av inverkan av nätipedans och ibland även på grund av att distorsionen inte är konstant vilket ger upphov till en större variation i det mätta värdet.

De värden som getts i rapporten inkluderar även frekvenser över 2 kHz, vilket kan anses vara det mest relevanta värdet för enheter som bygger på pulsviddsmodulerande (PWM)-teknik. De gäller vidare i första hand vid de förhållanden som faktiskt rådde vid mätningen, och de ska i första hand ses som en indikation och fungerar bäst vid jämförelse med varandra.

Av de testade enheterna har alla utom Steca Grid en strömdistorsion under 20% vid hög effekt, vilket får anses vara tillfredsställande.

Tabell 14 Sammanställning av resultat från mätningar av MPPT-verkningsgrad, "conversion efficiency" och total harmonisk distorsion THD

Växelriktare	Nivå	EU-viktade verkningsgrader (%)				Dynamisk test av MPPT	Ström-THD
		η_{MPPT}	η_{conv}	η_{EU}	η_{EUlev}		
Power-ONE/ ABB PVI-10,0- TL-OUTD-S	U_{MPPMin}	99,8	93,5	93,2	97,1	Medelvärde test 1-2: 99,6% Test 3 (0-10%): 96,0 %	4,6- 6,4 % vid 5,4 A 16-31% vid 1,6 A
	U_{MPPnom}	98,7	94,5	93,4			
	U_{MPPmax}	98,2	93,4	92,1			
Enphase M 215-60-230-S22	U_{MPPMin}	99,1	94,9	94,0	95,4	Medelvärde test 1-2: 99,5 % Test 3 (0-10%) : 96,7 %	2,8- 2,9 % vid 0,84 A 8-10 % vid 75 mA
	U_{MPPnom}	99,2	95,1	94,3			
	U_{MPPmax}	99,5	95,3	94,9			
Fronius Symo 3,0-3-S	U_{MPPMin}	99,9	93,2	93,1	96,2	Medelvärde test 1-2: 98,8% Test 3 (0-10%): 96,5 %	1,5 - 2,8 % vid 4,4 A 30-100 % vid 0,2 A
	U_{MPPnom}	99,6	95,5	95,1			
	U_{MPPmax}	99,6	94,0	93,6			
Involar MAC 250	U_{MPPMin}	95,9	92,3	88,6	94,1	Medelvärde test 1-2: 97,1% Test 3 (0-10%) : 92,5%	5,1- 5,3 % vid 0,9 A 13-14 % vid 81 mA
	U_{MPPnom}	96,5	92,7	89,5			
	U_{MPPmax}	98,2	92,7	91,1			
Samilpower 3000 TL	U_{MPPMin}	99,7	93,9	93,6	96,3	Medelvärde test 1-2: 96,9% Test 3 (0-10%) : 96,0 %	17 % vid 11 A 40-41% vid 1 A
	U_{MPPnom}	99,6	95,2	94,8			
	U_{MPPmax}	99,5	94,2	93,7			

Steca Grid 3000	U_{MPPMin}	99,7	95,5	95,1	98,3	Medelvärde test 1-2: 99,5% Test 3 (0-10%) : 95,2 %	27- 28 % vid 12 A 38-39 % vid 0,6 A
	U_{MPPnom}	99,6	95,0	94,6			
	U_{MPPmax}	99,0	94,9	93,9			
Sungrow SG_10KTL-EC	U_{MPPMin}	99,4	94,8	94,3	97,6	Medelvärde test 1-2: 98,9% Test 3 (0-10%) : 97,9	8,6- 9,4 % vid 5,6 A 130-150 % vid 0,4 A
	U_{MPPnom}	99,3	95,2	94,6			
	U_{MPPmax}	97,7	95,0	93,0			
Sunny SMA STP 5000 TL	U_{MPPMin}	99,7	93,4	93,1	97,1	Medelvärde test 1-2: 99,3% Test 3 (0-10%) : 97,2%	6,3- 7,9 % vid 3,4 A 80-120 % vid 0,25 A
	U_{MPPnom}	99,5	95,4	95,0			
	U_{MPPmax}	99,4	93,2	92,7			
Centrosolar Powerstoccc Excellent 5,5	U_{MPPMin}	99,8	92,6	92,5	95,7	Medelvärde test 1-2: 99,0% Test 3 (0-10%) : 97,4 %	4- 5 % vid 4 A 11-26 % vid 0,5 A
	U_{MPPnom}	99,6	93,4	93,0			
	U_{MPPmax}	99,5	93,6	93,2			
Omnisol-3k- TL	U_{MPPMin}	99,2	93,3	92,5	97,0	Medelvärde test 1-2: 98,7% Test 3 (0-10%) : 93,7 %	2,1- 2,4 % vid 6,6 A 8-10 % vid 1,4 A
	U_{MPPnom}	98,9	95,5	94,5			
	U_{MPPmax}	98,8	95,0	93,9			

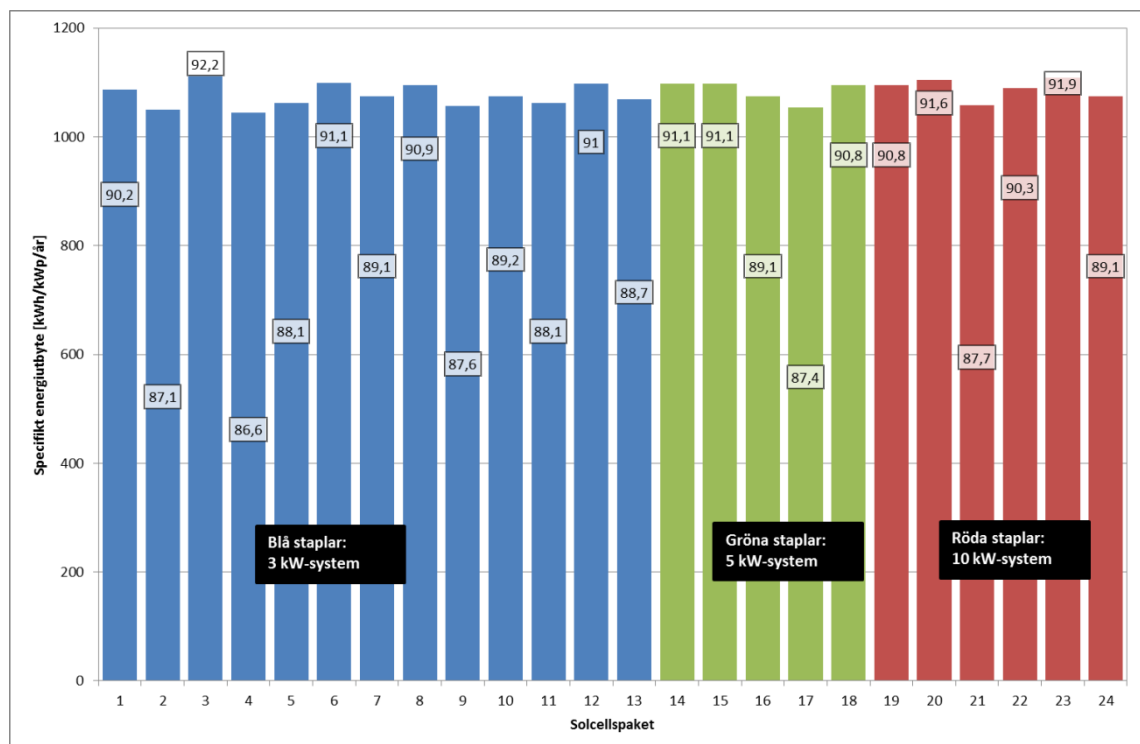
Testresultat för enskilda växelriktare redovisas i Bilaga 2 – Växelriktare. Där redovisas också en uppskattning av i vilken utsträckning SPs mätningar av η_{EU} för några av växelriktarna gett för låga värden på grund av att inte hela effektområdet kunnat provas. η_{EUlev} är den EU-verkningsgrad som anges på växelriktarnas märkskyltar och/ eller i medföljande dokumentation.

9 Resultat av Energiutbytesberäkningar inklusive analys av systemlösningar och dokumentation

9.1 Resultat från initiala beräkningar

Resultatet från den initiala analysen av ett antal olika pakettlösningar baserade på de testade modulerna och växelriktarna visas i

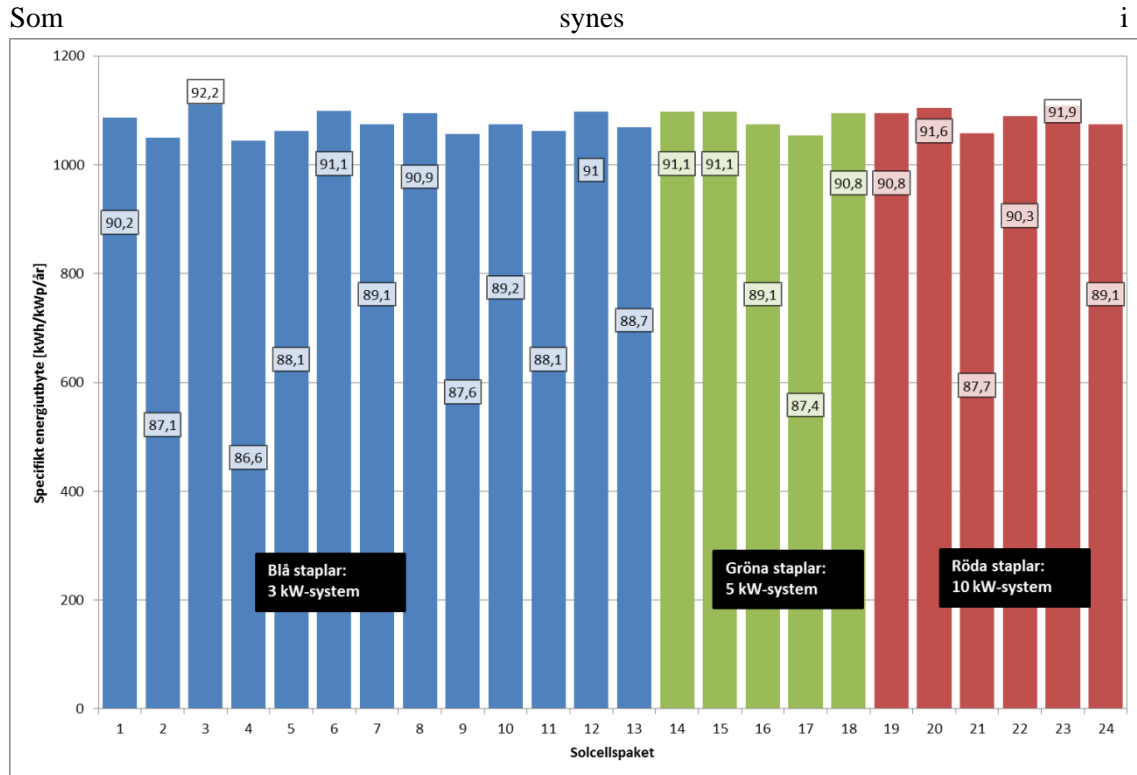
Som synes i figuren nedan är variationen i verkningsgrad eller ”Performance Ratio” mellan de olika system ca 5,5 procentenheter (mellan 86,6% och 92,2%) givet de antaganden som är satta vid beräkningarna. Observera att absolutvärdena på ”Performance Ratio” (PR, definierad som anläggningens specifika elproduktion över året (y-axeln i figuren nedan) delat med summerad solinstrålning i modulplanet (1206 kWh/m² i Stockholm), normerat med solinstrålningen vid STC (dvs 1000 W/m²) inte är av praktisk relevans eftersom alla verkliga förluster som förekommer i ett installerat system inte är inkluderade. Däremot motsvarar den ett teoretiskt mått på systemverkningsgraden. Värdena bör endast användas som en indikation på hur variationen i verkningsgrad ser ut för de system som är inkluderade här.



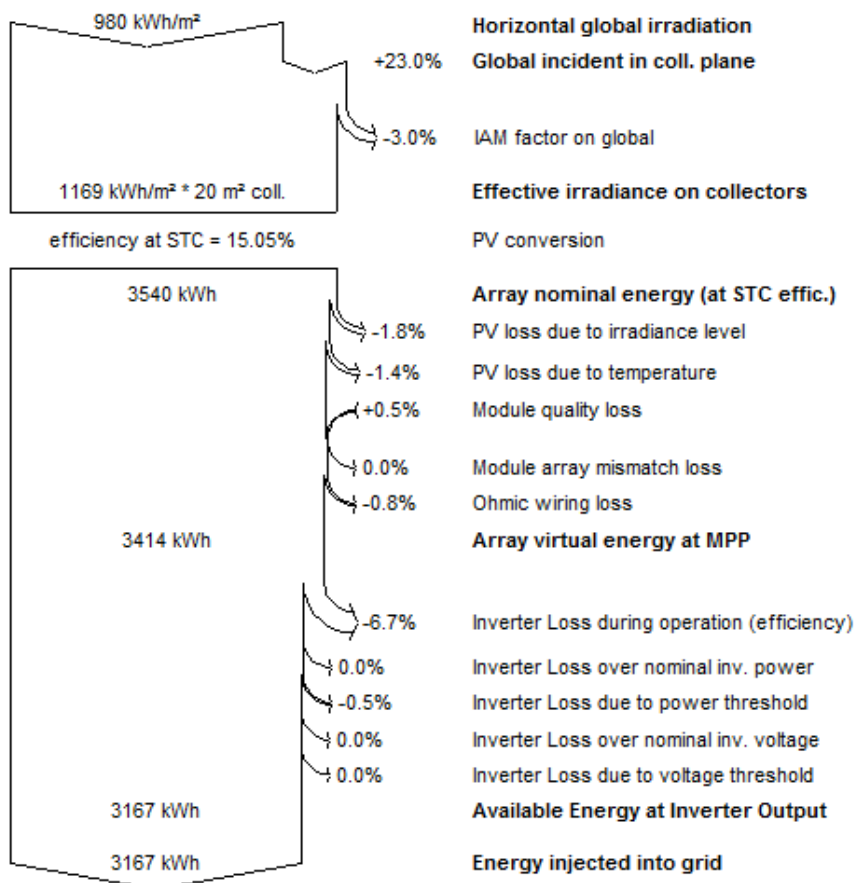
Figur 18 Performance Ratio (PR) i % samt specifikt årlig elproduktion i kWh/kWp/år för 24 olika systempaket. Paketens sammansättning redovisas i bilaga 3. Principerna för dimensionering redovisas i avsnitt 7.2.

9.2 Generalisering av resultat från beräkningar

9.2.1 Skillnader i utbyte



Figur 18 ovan finns en viss skillnad i verkningsgrad mellan de olika systemen. Från figuren kan man också se att det finns några system som presterar sämre än övriga, samt även några som har en hög PR. Intervallet är, som synes i figuren ovan, 86,6–92,2. För att visa vad dessa skillnader beror på presenteras här ett illustrativt exempel på förlustdiagram för ett genomsnittligt system, se Figur 19.



Figur 19 Förlustdiagram för ett genomsnittligt system, ett 3kW-system med Solarworld-moduler och Involar växelriktare.

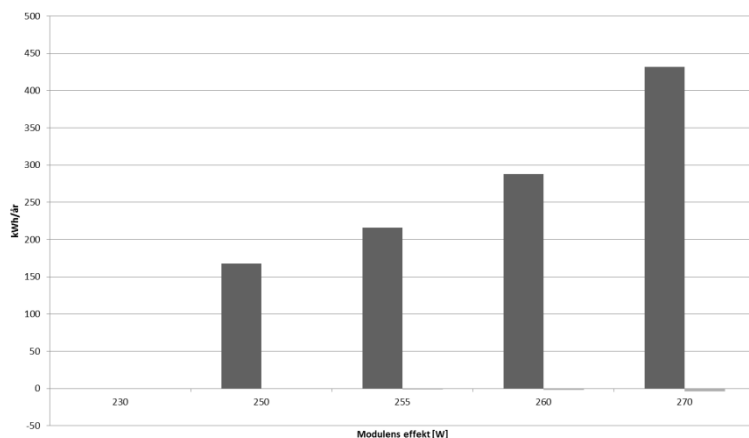
En summering av förluster för systemet i Figur 19:

- 3 % förluster för reflektioner (IAM faktor, konstant förlust för alla moduler).
- 1,8 % förluster på grund av lägre verkningsgrad på modulen vid låg instrålning.
- 1,4 % förluster på grund av hög temperatur.
- -0,5% förluster på grund av osäkerhet i effektutbyte på modulen (enligt indata i tabell ovan, 25 % över minimalt utbyte (För Sunpower är angiven tolerans -0/+2 %, vilket innebär att 25% över min-värdet då blir 0,5 %).
- 1,0 % förluster på grund av variationer i strömstyrka mellan moduler (lägsta I bestämmer totala I).
- 0,8 % förluster på grund av motstånd i kablar.
- 6,7 % förluster i växelriktare, uträknat från angiven verkningsgrad (η_{EU}).
- 0,0 % förluster när effektbegränsningen i växelriktaren driver spänningen över tillåtet U_{MPP}
- 0,0 % förluster när effektbegränsningen träder in och spänningen ökar

Av exemplet ovan framgår att det är ett stort antal parametrar i modul, växelriktare och kablage som tillsammans bestämmer det kompletta systemets effektivitet.

9.2.2 Dimensionering av paket

Det är inte självklart att det ekonomiskt optimala alternativet när det gäller dimensionering är att matcha moduler och växelriktare enligt vad som är gjort ovan. Till exempel gjordes en studie med beräkningar i PVSyst gällande en av de mikroväxelriktare som provats i detta projekt. Slutsatsen var att en underdimensionering av mikroväxelriktaren till en viss nivå (i deras fall ca 40 % större moduleffekt än växelriktarens nominella effekt) ökar det årliga utbytet mer än den årliga förlusten som uppstår på grund av att växelriktarens effektbegränsning aktiveras^[13]. En liknande övning har utförts med de olika moduler som är inkluderade i denna studie, se Tabell 15 och Figur 20 nedan. Utifrån tabellen kan man se att för en Enphase mikroväxelriktare så kommer en större underdimensionering (P_{nom} är 210 W enligt indatatabell) att resultera i ökade förluster men samtidigt också ökad andel av instrålning som omvandlas till växelström. Nu kan man inte dra för detaljerade slutsatser av detta eftersom de olika modulerna skiljer sig åt, men en tydlig trend är ändå att en underdimensionering av mikroväxelriktare kommer att ge ett större energiutbyte, vilket också påvisas i den refererade artikeln. Observera att inga kostnadsberäkningar är inkluderade här, men resultaten nedan och från den refererade artikeln visar att om man har en begränsad area att bygga på så skulle man upp till en viss gräns kunna få ut mer el per areaenhet vid en underdimensionering av växelriktaren som dessutom blir billigare i inköp än en större.



Figur 20 Variation i energiutbyte jämfört med en 230 W modul, samt (knappt synliga) växelriktarförluster för system med 12 moduler i fyra olika storlekar, samt Enphase mikroväxelriktare

Tabell 15 Visar på hur kWh/år ökar för en specifik mikroväxelriktare (Enphase) vid ökad kapacitet på modul. Som synes i tabellen ökar energiutbytet (systemeffektiviteten) mer än förlusterna som orsakas av växelriktarens underdimensionering för hela intervallet i detta exempel. Längst till höger i tabellen visas också skillnaden i energiutbyte för 12 moduler (ca 3 kW-system).

P_{nom} (W)	m^2	kWh/år	kWh/kW _p /år	PR	Förluster p.g.a. underdim.	% diff. (förluster)	η_{system}	% diff. (η_{system})	ack %	A_{tot} (m ²)	kWh _{tot} /år	diff. (kWh _{tot} /år)
230	1,632	258	1122	93,0	0 %		13,5 %			19,6	3096	
						0,1 %		0,8 %				168
250	1,627	272	1087	90,1	0,1 %		14,3 %		0,8 %	19,5	3264	
						0,1 %		0,1 %				48
255	1,643	276	1083	89,8	0,2 %		14,4 %		0,8 %	19,7	3312	
						0,2 %		0,4 %				72
260	1,635	282	1083	89,8	0,4 %		14,7 %		1,2 %	19,6	3384	
						0,4 %		0,6 %				144
270	1,634	294	1088	90,3	0,8 %		15,4 %		1,9 %	19,6	3528	

Överdimensionering av växelriktare är också en möjlighet som har för- och nackdelar. Fördelen är att det ger möjligheter till utbyggnad av ett system till en låg kostnad (inga nya växelriktare behövs), nackdelen är att spänningen för seriekopplade moduler kan bli låg i förhållande till det spänningsintervall som växelriktaren har, vilket i sin tur kan leda till försämrad verkningsgrad vid skuggning, nedsmutsning osv. Detta är dock svårt att utvärdera på ett bra sätt med hjälp av PVSyst, varför en dylik analys inte har inkluderats i denna studie.

9.2.3 Variationer med avseende på montering

Det initiala antagandet i denna analys är att modulen monterats fristående vilket innebär god ventilation av modulen vilket i sin tur bidrar till att hålla nere celltemperaturen. Om ventilationen hämmas kommer modulens celltemperatur öka, och dess verkningsgrad och energiutbyte minska. Effekten av detta exemplifieras här för systemen i denna studie, se Figur 21. Utvärderingen utfördes genom att variera inställningar för U-värde (värmeöverföringskoefficient) för de olika modulerna enligt PVSystems defaultvärden för fristående system (eg. monterat i 45 graders lutning på mark eller plant tak. $U = 29 \text{ W/m}^2/\text{K}$, basfallet), monterat system med ventilationskanaler (eg. moduler monterade på tak med en luftspalt mellan tak o modulens baksida. $U = 20 \text{ W/m}^2/\text{K}$), samt integrerat system (infällt i taket med begränsad ventilation. $U = 15 \text{ W/m}^2/\text{K}$).



Figur 21 Minskning av specifik årlig elproduktion för olika typer av montering jämfört med basfallet, fristående system $U = 29 \text{ W/m}^2/\text{K}$. $U = 20 \text{ W/m}^2/\text{K}$ representerar ett system med ventilation (självcirkulation) på baksidan av modulerna, $U = 15 \text{ W/m}^2/\text{K}$ representerar ett integrerat system utan ventilation

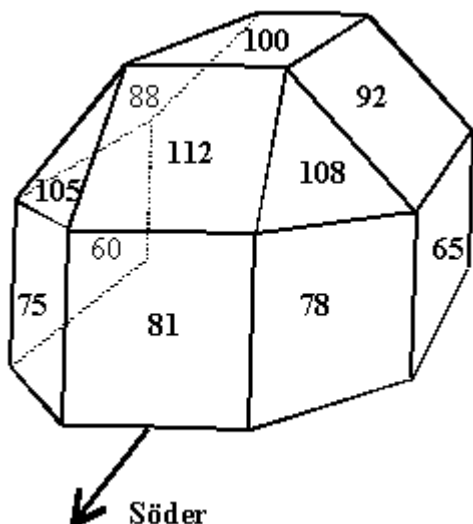
Som Figur 21 visar kommer den årliga elproduktionen att minska ju mer man bygger in sitt system. Minskningen är runt $30 \text{ kWh/kW}_p/\text{år}$ för takmonterade system med ventilation, och runt $65 \text{ kWh/kW}_p/\text{år}$ för helt integrerade system. Detta innebär också att PR minskar med 2-5% beroende på grad av integrering samt val av system. Som synes i figuren är också minskningen i elproduktion per kW installerad effekt oberoende av storleken på systemet.

9.2.4 Variationer av modullutning och orientering/väderstreck

Hittills i analysen har det antagits direkt söderläge och optimal lutning för modulerna. Eftersom dessa förhållanden inte gäller för många konsumenter så inkluderas här även en beskrivning av hur variationer med avseende på lutning och väderstreck påverkar dels

solinstrålningen mot modulens yta, och dels energiutbytet per år, se Tabell 16 samt Figur 22 [14].

Figur 22 anger också hur solinstrålningen varierar i procent vid olika orienteringar och taklutningar i förhållande till ett horisontellt tak. Observera att värdena nedan gäller under antagandet att det inte finns någon skuggning eller annan yttre påverkan.



Figur 22 Variation av solinstrålning (%) för olika orienteringar och lutningar (alla taklutningar är 45°). Källa: <http://www.solelprogrammet.se/Projekteringsverktyg/Energiberakningar/>. Skillnaderna mellan öst o väst kan bortses ifrån då dessa snarare beror av lokala förhållanden, t.ex. förekomst av molnighet på för-respektive eftermiddag, än på en generell skillnad.

Noterbart från Tabell 16 är att samma system med öst- västlig orientering (6 moduler i väst/6 i öst) ger drygt 78 % av det totala energiutbytet jämfört med ett system med optimal orientering och lutning (sydlig orientering monterat med 45° lutning). För att nå upp till samma årsutbyte (kWh_{tot}/år) för ett öst- västorienterat system så krävs det drygt 25 % större modularea (A_{tot}).

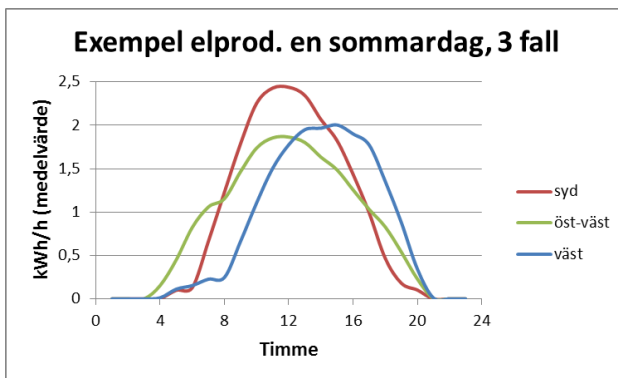
Skillnaden med ett öst-väst-orienterat system är att effektkurvan blir mer utbredd och att man inte får samma effekttopp mitt på dagen, se **Figur 23** och **Figur 24**. Detta är en fördel då solelproduktionen troligtvis sammanfaller bättre med elanvändningen och det som regel är mer lönsamt att använda solelen för att täcka de egna behoven än att mata ut den på nätet.

Tabell 16 Data från beräkningar på system av olika storlekar med öst- (-90°) och västlig (+90°) orientering jämfört med sydvänt montage

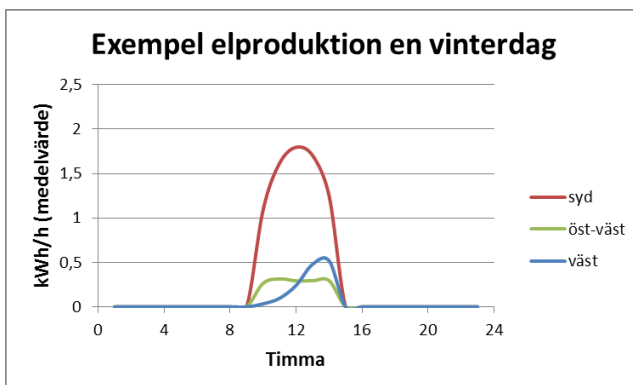
Modul/lutning	#moduler	Öst/Väst	A _{tot} (m ²)	PR	kWh _{tot} /år
Modul A, söder/45° (Referens)	12	12 vid ± 0° (syd)	19,6	90,8	3 548
Modul A, öst-väst/30° (Vid öst-väst	12	6 vid -90°/	19,6	90,0	2 783
		6 vid +90°			
	13	6 vid -90°/	21,2	90,1	3 018

Modul/lutning	#moduler	Öst/Väst	A _{tot} (m ²)	PR	kWh _{tot} /år
orientering är 30 graders lutning något mer gynnsamt än 45 grader)		7 vid +90°			
	14	7 vid -90°/ 7 vid +90°	22,9	90,3	3 256
	15	7 vid -90°/ 8 vid +90°	24,5	90,1	3 483
	16	8 vid -90°/ 8 vid +90°	26,1	89,8	3 704
Modul A, väst/30°	12	12 vid +90° (väst)	19,6	89,8	2 766
Modul A, väst/45°	12	12 vid +90° (väst)	19,6	89,8	2 671

Det näst sista fallet i tabellen, 12 moduler monterade i 30 graders lutning mot väst, visar inte så förvånande på ett årsutbyte i samma storleksordning som för ett jämnt fördelat öst-väst montage.



Figur 23. Modulernas orientering påverkar energiproduktionens så att ett öst-väst montage ger en jämnare fördelning över dagen än ett sydvänt, dock på bekostnad av totalproduktionen över året.



Figur 24. Motsvarande som figur 24 för en typisk solig vinterdag

9.3 Resultat av dokumentationsgranskning

En del av uppdraget har bestått i att granska den dokumentation som finns för modulerna, främst vad gäller märkning, och att jämföra dessa värden med verkligt uppmätta värden, mot den information som går att finna på respektive hemsidor samt mot de krav som finns på modulmärkning från IEC 61215:2005 [ENREF 1](#)^[1].

IEC 61215:2005 (kapitel 4) ställer krav på att följande saker ska finnas väl synligt på modulmärkningen:

- Namn, monogram eller logga som visar vem tillverkaren är
- Typ- eller modulnummer
- Serienummer
- Polaritet för anslutningarna (färgkodning är tillåtet)
- Maximal systemspänning
- Datum och tillverkningsplats (kan vara en del av serienumret)

Resultatet från denna genomgång finns i Tabell 17 och serienumret för respektive modul återfinns även i Bilaga 1 – Solcellsmoduler.

Tabell 17 Sammanställning av resultatet från dokumentationsgranskning vid jämförelse mellan modulmärkning och de krav som ställs från IEC 61215:2005

Modul	Namn/monogram/logga	Typ- eller modulnummer	Serienummer ¹⁵	Polaritet	Maximal systemspänning	Datum och tillverkningsplats
Q-CELLS – Q.PRO BLK-G3 250	OK!	OK!	OK!	OK!	OK!	(OK!) Datum saknas
Centrosolar – S 255P60 Professional	OK!	OK!	OK!	OK!	OK!	OK!
JA Solar – JAM6(BK)-60-260/SI	OK!	OK!	OK!	OK!	OK!	--
PPAM Paladium	OK!	OK!	OK!	OK!	OK!	--

¹⁵ Mer information för respektive modul finns i Bilaga 1 – Solcellsmoduler

Modul	Namn/monogram/logga	Typ- eller modulnummer	Serienummer ¹⁵	Polaritet	Maximal systemspänning	Datum och tillverkningsplats
ReneSola – JC250S-24/Bb-b	OK!	OK!	OK!	OK!	OK!	--
Solar World – Sunmodule Plus SW 250 mono black	OK!	OK!	OK!	OK!	OK!	OK!
Sunpower – SPR-E20-327	OK!	OK!	OK!	OK!	OK!	--
Yingli Panda- YL270C-30b	OK!	OK!	OK!	OK!	OK!	--

”OK” – ingen anmärkning

”--” – uppgift saknas

Utöver de obligatoriska kraven från IEC 61215:2005 vad gäller märkning har även en genomgång gjorts för att kontrollera referensen till certifikatsnumret (i de fall det finns uppgifter på modulmärkningen), se sammanställning i Tabell 18.

Tabell 19 visar också resultatet från en jämförelse mellan modulmärkning och den information som finns från hemsida/datablad med avseende på moduldimensioner och maximal effekt.

Tabell 18 Dokumentationsgranskning med avseende på modulmärkningen och certifikatsnummer

Modul	Certifikatsnummer enligt märkskylt	Certifikatsnummer enligt hemsida/databas	Kommentar
Q-CELLS – Q.PRO BLK-G3 250	Ingen märkning	VDE certifikatsnummer: 40030222	Anmärkning – finns ingen referens till certifikatsnumret på modulen. Certifikatet finns under Hanwha Q.CELLS GmbH
Centrosolar – S 255P60 Professional	TÜV Rheinland, ID: 0000027145	TÜV Rheinland, ID: 0000027145	Ingen anmärkning – referensen på modulmärkningen stämmer överens med hemsida och databas.
JA Solar – JAM6(BK)-60- 260/SI	Finns ingen referens till certifikatsnumret på modulen	Söker man i VDE-databasen så finns de listade med certifikatsnummer 40034877 (Shanghai JA Solar).	Anmärkning – referens till certifikatnummer saknas på modulen.
PPAM Paladium	TÜV Rheinland, ID: 0000026037	TÜV Rheinland, ID: 0000026109	Anmärkning – referensen på modulmärkningen stämmer inte överens med hemsida och databas. TÜV ID 26109 har upphört gälla. Däremot finns certifikat enligt modulmärkning. Certifikatet är ursprungligen utställt till UE Solar Co., Ltd.
ReneSola – JC250S- 24/Bb-b	Ingen märkning	TÜV Rheinland, ID: 0000026920	Anmärkning – referens till certifikatnummer saknas på modulen.
Solar World – Sunmodule Plus SW 250 mono black	Certified to IEC 61215, IEC 61730-1, IEC 61730-2	Solarworld är certifierad av VDE. Hittar inget certifikat-ID på det. De har även ett ”Power Controlled” certifikat av TÜV som har IEC 61215 och IEC 61730 som grundkrav. TÜV Rheinland, ID: 0000039351	Anmärkning – saknas referens på modulmärkningen till giltigt certifikat.
Sunpower – SPR- E20-327	TÜV Rheinland, ID:0000022009	TÜV Rheinland, ID: 0000022009	Ingen anmärkning – referensen på modulmärkningen stämmer överens med hemsida och databas.
Yingli Panda- YL270C-30b	TÜV Rheinland, ID: 0088888888	<i>“This Master-ID (ID 0088888888) shows all Certipedia-IDs and certificates of TÜV Rheinland tested Photovoltaic (PV) modules or components of this</i>	ID 0088888888 är ett “Master-ID” som täcker in alla certifierade produkter för Yingli. Det specifika ID-numret för den testade modellen är

**RAPPORT**Datum
2015-04-29Beteckning
4P05081
Rev. 2015-06-15Sida
51(103)

Modul	Certifikatsnummer enligt märkskylt	Certifikatsnummer enligt hemsida/databas	Kommentar
		<i>company.</i> TÜV Rheinland, ID: 0000027045	0000027045.

Tabell 19 Jämförelse mellan modulmärkning och information från hemsida/datablad med avseende på moduldimensioner och maximal effekt (W)

Modul		Dimensioner (mm)	Max.-effekt (W)	Kommentar
Q-CELLS – Q.PRO BLK-G3 250	Märkning	--	250	Saknar dimensionerna på modulmärkningen. Maximal effekt skiljer sig också mellan modulmärkningen och den på hemsidan angivna maximala effekten. Skillnaden ligger dock inom den av tillverkaren angivna toleransen -0/+2 %.
	Hemsida/Datablad	1670 x 1000 x 35	252,5	
Centrosolar – S 255P60 Professional	Märkning	--	255	Saknar dimensionerna på modulmärkningen.
	Hemsida/Datablad	1660 x 990 x 40	255	
JA Solar – JAM6(BK)-60- 260/SI	Märkning	--	260	Saknar dimensionerna på modulmärkningen.
	Hemsida/Datablad	1650 x 991 x 40	260	
PPAM Paladium	Märkning	1640 x 990 x 40	230	Dimensionerna skiljer sig mellan modulmärkning och informationen på hemsidan.
	Hemsida/Datablad	1640 x 995 x 45	230	
ReneSola – JC250S-24/Bb-b	Märkning	1640 x 992 x 40	250	Inga anmärkningar.
	Hemsida/Datablad	1640 x 992 x 40	250	
Solar World – Sunmodule Plus SW 250 mono black	Märkning	--	250	Saknar dimensionerna på modulmärkningen.
	Hemsida/Datablad	1675 x 1001 x 31	250	
Sunpower – SPR- E20-327	Märkning	--	327	Saknar dimensionerna på modulmärkningen.
	Hemsida/Datablad	1559 x 1046 x 46	327	

Modul		Dimensioner (mm)	Max.-effekt (W)	Kommentar
Yingli Panda-YL270C-30b	Märkning	--	270	Saknar dimensionerna på modulmärkningen.
	Hemsida/Datablad	1650 x 990 x 40	270	

Ett sammanfattande omdöme om dokumentation som beskriver installation och drift av solesystem är att här finns en klar förbättringspotential hos många leverantörer, se **Tabell 20**. Detta är en viktig länk i kedjan för att de slutligt installerade systemen skall fungera som avsett under många år och som förstudien också visade så är själva installationsmomentet och montagesystemen något som bör ägnas större uppmärksamhet.

Tabell 20 Sammanställning av status för monterings- o driftinstruktioner hos ett urval av svenska leverantörer

Leverantör	Modul/er	Monteringsanvisningar	Garantier	Kommentar
PPAM	PPAM	<ul style="list-style-type: none"> • "Vi erbjuder våra egenutvecklade solcellspaneler, växelriktare av flera fabrikat, montagesystem och en hel del tillbehör." • Erbjuder både material för installation (<u>dock inga anvisningar</u>) och kompletta installationer med ett pris räknat som kr/W i olika kategorier (lutande tak, plana, etc.) 	<ul style="list-style-type: none"> • "Vi har 10 års produktgaranti och 25 års effektgaranti på våra solcellspaneler." 	
Nyedal Solenergi	Q Cells, LG	<ul style="list-style-type: none"> • Hänvisar till Schletter och att de (Nyedal) är certifierade installatörer av Schletters produkter. • Fick inte med några anvisningar när jag beställde modulerna 	<ul style="list-style-type: none"> • Tillverkaren är så säker på sin produkt att de utökat garantin till 12år och har en marknadens bästa 25åriga effektgaranti 	
Hallands Energiutveckling	CentroSolar, Axitec	<ul style="list-style-type: none"> • Finns en kategori som heter Monteringsystem som i sin tur hänvisar till tre underkategorier – "Lutande tak", "Plana tak" (tom) och "Kablar och kontakter". I det senare fallet finns bara en bild och ingen information. • För deras färdiga system står det "Vid montering med ROT ingår byggställning. Restilllägg tillkommer över 10 mil. Montering avser standardinstallation. Monteringskostnaden fastställs efter besiktning före installation." 	<ul style="list-style-type: none"> • 26 års effektgaranti (min 80 %) för sina CentroSolar-paneler • De lämnar 10 års systemgaranti för sina färdiga system 	<ul style="list-style-type: none"> • Använder sig av Schletter Standard monteringsystem för tegeltak (för deras färdiga system) • "Hallands Energiutveckling är ett Halmstadbaserat företag som har specialiserat sig på försäljning och installation av solcellsanläggningar."

Leverantör	Modul/er	Monteringsanvisningar	Garantier	Kommentar
				<ul style="list-style-type: none"> • ”Våra erfarna installatörer är utbildade av världens största företag inom monteringsutrusting för solceller, Schletter GmbH montage systems i Tyskland.” • Uppger sig vara en totalentreprenör av solcellsinstallationer
EURONOM	Sunpower, Yingli	<ul style="list-style-type: none"> • ”Tillkommande kostnader är Montaget och Behörig Elektriker samt material för 230V Installation” (gäller för deras systempaket) • Finns installationshänvisningar för solfångare under en separat rubrik men ingenting om solel • Priserna för deras kompletta paket inkluderar monteringsmaterial (är möjligt att man får anvisningarna i samband med köpet?). Jag fick dock inga anvisningar i samband med mitt inköp 		
Norrsol	TrinaSolar, SolarWorld, Panasonic, Q CELLS ¹⁶ , Sharp, LG	<ul style="list-style-type: none"> • Inga monteringsanvisningar följde med vid beställning av SolarWorld • Finns ingenting på deras hemsida om monteringsanvisningar eller material för montering 	<ul style="list-style-type: none"> • “25 year linear performance warranty and 10 year product warranty”¹⁷ 	

¹⁶ Dock ej köpt från dem

¹⁷ Från produktblad för **SolarWorld**

Leverantör	Modul/er	Monteringsanvisningar	Garantier	Kommentar
CO2 PRO	LG, Solar Frontier (tunnfilm), Innotech Solar, (Mitsubishi) ¹⁸	<ul style="list-style-type: none"> Hänvisar till K2 Systems som har monteringsanvisningar tydligt länkade Finns även hänvisningar till HIS som tillverkar kablar Renusolar (monteringssystemtillverkare) finns länkade på hemsidan JUAL (takinfästningar) finns refererade på deras hemsida (CO2's) 		<ul style="list-style-type: none"> Väldigt bra refererat till monteringsanvisningar och kablage!
JN Solar	Renesola & Winaico	<ul style="list-style-type: none"> Hänvisar i ett separat kapitel till Schletter och deras monteringsystem och produktkatalog Finns även hänvisningar vad gäller kablage Finns även en installationsmanual för Renesola 	<ul style="list-style-type: none"> "25 års effektgaranti" (Renesola) 	<ul style="list-style-type: none"> Bra hänvisningar för installationer & utrustning!
Lego Elektronik	JA Solar	<ul style="list-style-type: none"> <i>"Förutom solpanel och regulator, är det viktig att använda sig av monterings produkter som är avsedda för solceller eller solpaneler och som är gjorda för att tåla väderpåverkan. Här kan ni köpa produkter som är avsedda för solet och tål tuffa tag. Våra olika monteringspaket för solpaneler är väl utprovade och garanterar en långvarig och säker montering på taket. Montering är enkel men studera noga anvisningen"</i> 	<ul style="list-style-type: none"> <i>"Alla paneler har fulla garantier 25 års effektgaranti."</i> 	<ul style="list-style-type: none"> Hittar inga monteringsanvisningar för 230 V paneler på deras hemsida

¹⁸ Säljs inte längre av CO 2 PRO då de (Mitsubishi) bara valt att satsa på den japanska marknaden

10 Erfarenheter från inköpsprocessen

Alla testade produkter har köpts in via en tredje (oberoende) part för att säkerställa att de levererade produkterna överensstämmer med de som levereras till marknaden.

Merparten av kontakterna har initialt tagits via telefon för att på så sätt försöka skaffa en uppfattning över kunskapsnivån leverantörerna. Beställaren har agerat ”nyfiken amatör” inom området och därefter försökt ställa ett antal frågor av varierande nivå. Exempel på frågor är:

- Är produkterna testade/certifierade? Finns bevis?
- Hur går det till? Vad provas?
- Klarar det ett kallt och ”hårt” svenskt klimat?
- Hur mycket el ger de?
- Finns det någon garanti?
- Vilka saker brukar gå sönder?
- Hur skiljer sig de olika teknikerna? CIGS? Mono- och polykristallint? Tunnfilm?

Det generella intrycket om kunskapsnivån hos leverantörerna är att den är god. Ett problem som ibland uppstod var att vissa leverantörer inte samarbetade med privatpersoner eller hade svårt att leverera så små kvantiteter (3 paneler).

Många av leverantörerna har mindre lager men beställer i huvudsak in större kvantiteter efter beställning, främst nerifrån Europa (i huvudsak Tyskland) men även direkt från tillverkarna i exempelvis Asien. Prismässigt har det inte varit några större skillnader mellan olika leverantörer för samma produkt, varken beträffande solcellsmoduler eller växelriktare.

11 Diskussion

Projektets syfte har varit att ta fram ett bra informations- och beslutsunderlag i första hand riktat till potentiella köpare av soleanläggningar. Timingen för detta kunde knappast ha varit bättre med tanke på den dagsfärska informationen från Finansdepartementet som bekräftat att reglerna om skattereduktion för överskottsel från mikroproduktion träder i kraft 1/1-2015. Det innebär av allt att döma att 2015 kommer att bli ett rekordår för svensk solex.

Resultatet som har presenterats i denna rapport bör vara en bra utgångspunkt för att kunna presentera en aktuell konsumentinformation, men det återstår fortfarande att komplettera med andra uppgifter vilka inte ingått i detta uppdrag att ta fram. Exempel på viktiga sådana uppgifter är riktpriiser kopplade till de energiutbyten som har beräknats här samt vilka garantier som man kan förvänta sig på utrustning och installationsarbete. Myndighetskrav och regelverk kring installationen är ett annat exempel på viktig information. Med referens till förstudien som föregick detta uppdrag så uttrycker många kunder också ett behov av att så mycket information som möjligt finns samlad på ett ställe. En webbsida eller motsvarande skulle kunna vara en lösning på detta.

Provningarna har visat att SPs mätningar över lag stämmer väl överens med data som uppges av leverantörer och tillverkare. Mätningarna visade visserligen genomgående lägre effekter och verkningsgrader än de uppgivna men som regel var avvikelserna små och skulle för modulerna kunna förklaras av påverkan från transport och förkonditionering inför mätningar. I två fall låg modulerna dock cirka 5% under uppgiven maxeffekt. För växelriktarna ligger samtliga under uppgiven verkningsgrad men jämförelsen är här mer osäker, se 6.5.5-6.5.7. Hållbarhetstesterna av moduler har visat en degradering på som mest i storleksordningen 3%. Granskningen av märkning och dokumentation uppvisar också en del brister. En relativt allvarlig sådan är att vissa leverantörer inte tillhandahåller information om hur systemen skall installeras. Detta gäller såväl praktiskt utförande av t.ex. takinfästningar som säkerhetsmässiga hänsyn kring elinstallation. Som framgick av förstudien är felaktigt utförda installationer och modulmontage den kanske viktigaste frågan kring kvalitén på soleanläggningar. Här finns därför anledning för branschen att kraftsamla för att förbättra sin information, i synnerhet som marknaden förväntas växa kraftigt under de kommande åren.

Systemutbytesberäkningarna redovisar resultat under optimala betingelser i fråga om modulernas lutning och orientering och för installationens utförande i övrigt. Solinstrålningsdata motsvarar ett normalår och är samma data som används i den europeiska Solar Keymark-certifieringen av solfångare^[15]. Specifika energiutbyten angivna som kWh/ kW topp effekt ligger i intervallet 1000 till 1100 kWh för de 24 systemen vilket är i nivå med vad som uppgetts som absoluta toppvärden för verkliga anläggningar i Sverige. Det innebär att resultaten ligger 5-10 % över erfarenhetsmässiga värden för ett optimalt orienterat system under ett normalår vilket antas bero på att simuleringen underskattar systemens förluster något.

Nomenklatur

Symbol	Förklaring	Enhet
$I_{DC, max}$	Maximal likström (växelriktare)	A
I_{max}	Maximal ström (växelriktaren)	A
I_{MPP}	Ström vid maximalt effektuttag för solcellsmodulen	A
I_{SC}	Kortslutningsström	A
MPPT	Maximum Power Point Tracker [eng.]	-
P_{AC}	Effekt växelspänning	W
$P_{AC, max}$	Maximal effekt växelriktare (växelspänning)	W
$P_{AC, r}$	Nominell effekt växelriktare (växelspänning)	W
P_{DC}	Effekt likspänning	W
$P_{DC, r}$	Nominell effekt växelriktare (likspänning)	W
P_{in}	Ineffekt till växelriktare	W
$P_{LOSS, T}$	Temperaturkoefficient (solcellsmodul)	%/°C
P_{MPP}	Maximal effekt för solcellsmodulen	W
$P_{MPP, final}$	Maximalt uppmätt effekt från mätning efter hållbarhetsprovning	W
$P_{MPP, märkning}$	Den av tillverkarna angivna maximala effekten (enligt märkskylt)	W
$P_{MPP, referens}$	Maximalt uppmätt effekt från referensmätning	W
P_{nom}	Nominell effekt	W
PR	Performance Ratio [eng.]. Faktor för systemförluster	-
P_{ut}	Uteffekt till växelriktare	W
$U_{DC, max}$	Maximal likspänning (växelriktare)	V
$U_{DC, r}$	Nominell likspänning (växelriktare)	V
$U_{MPP, max}$	Spänning vid maximalt effektuttag för solcellsmodulen	V
$U_{MPP, min}$	Minsta systemspänning på växelriktarens DC-ingång	V
$U_{MPP, nom}$	Nominell systemspänning på växelriktarens DC-ingång	V
U_{OC}	Spänning vid öppen krets (open circuit)	V
η_{cell}	Cellverkningsgrad (moduler)	%
η_{conv}	Växelriktarens verkningsgrad (<i>conversion factor</i> [eng.])	%
η_{EU}	EU-viktad verkningsgrad för växelriktare (SP-mätning)	%
η_{EUlev}	EU-viktad verkningsgrad för växelriktare (Leverantördata)	%

Symbol	Förklaring	Enhet
η_{\max}	Växelriktarens maximala totalverkningsgrad	%
η_{modul}	Modulverkningsgrad	%
$\eta_{\text{modul, final}}$	Uppmätt modulverkningsgrad efter hållbarhetsprovning	%
$\eta_{\text{modul, referens}}$	Uppmätt modulverkningsgrad från referensmätning	%
η_{MPP}	<i>MPP (maximum power point) tracking efficiency</i>	%
η_{system}	Produkten av modulverkningsgrad och PR	%
η_{tot}	Totalverkningsgrad för växelriktare	%
η_{tot}	Växelriktarens totalverkningsgrad ($\eta_{\text{MPP}} * \eta_{\text{conv}}$)	%
σ	Standardavvikelse	-

Referenser

- [1] Second Edition 2005-04, *IEC 61215 Crystalline silicon terrestrial photovoltaic (PV) modules – Design qualification and type approval*. 2005,
- [2] Kovacs, P., Persson, M., Svensson, S., Åström, S. & Khajehalijani, M. , *Jämförande provning av mindre nätanslutna solesystem - En förstudie*, 2014. SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut, Energiteknik
- [3] Lindahl, J., *National Survey Report of PV Power Applications in SWEDEN*, 2013. Uppsala University
- [4] *Bengts villablogg - Solceller på varje hus i framtiden*. 2014; Tillgänglig: <http://bengts.blogg.viivilla.se/>.
- [5] International Energy Agency *Technology Roadmap - Photovoltaic Energy* 2014,
- [6] Second Edition 2006-09, *IEC 60904-1 Part 1: Measurement of photovoltaic current-voltage characteristics*. 2006,
- [7] Utgåva 2, *Allmänna kompetenskrav för provnings- och kalibreringslaboratorier (ISO/IEC 17025:2005)*. 2005,
- [8] First Edition, *SS-EN 50530 A1 Solcellsanläggningar - Sammanlagd verkningsgrad hos växelriktare för nätanslutning*. 2013,
- [9] *SS-EN 50530 Solcellsanläggningar - Sammanlagd verkningsgrad hos växelriktare för nätanslutning*. 2010,
- [10] Utgåva 5, *SS EN 61000-3-2 utg 5, 2014, "Elektromagnetisk kompatibilitet (EMC) – Del 3-2: Gränsvärden – Gränser för övertoner förorsakade av apparater med matningsström högst 16 A per fas"*. 2014,
- [11] Utgåva 2, *SS EN 61000-3-12 "Elektromagnetisk kompatibilitet (EMC) – Del 3-12: Gränsvärden – Gränser för övertoner förorsakade av apparater med matningsström större än 16 A men högst 75 A per fas"*, utgåva 2, 2012. 2012,
- [12] Sári, M., Huld, T., Dunlop, E. & Ossenbrink, H. , *Potential of solar electricity generation in the European Union member states and candidate countries*, 2007.
- [13] Briggs, D., *et al. Bigger is Better: Sizing Solar Modules for Microinverters*. Enphase Energy, enphase.com, 2012.
- [14] Luthander, R., Stridh, B. & Widén, J., *PV System Layout for Optimized Self-Consumption.*, 2014. 29th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition (EU PVSEC 2014). Amsterdam, 22-26 september 2014.
- [15] *Solar Keymark*. ESTIF - the European Solar Thermal Industry Federation 2015; Tillgänglig: <http://www.estif.org/solarkeymarknew/>.

SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut Energiteknik - System- och installationsteknik

Utfört av

Granskat av

Peter Kovacs

Lisa Ossman

Bilagor

- Bilaga 1 – Solcellsmoduler
- Bilaga 2 – Växelriktare
- Bilaga 3 – Systempaket 3, 5 och 10 kW
- Bilaga 4 – Metodbeskrivning – Snö- och istest
- Bilaga 5 – Mätutrustningar och mätosäkerheter

Bilaga 1 – Solcellsmoduler

Nedan följer en kort sammanställning av varje testad solcellsmodul med produktinformation och rådata från referensmätningen av modulerna (3 mätpunkter på var och en av 3 moduler) innan påbörjade provningar. Standardavvikelse (σ) anges som ett absolutvärde av respektive parameter. Om inget annat anges så avser mätpunkt 1-3 batch 1 (klimattester) och punkt 7-9 batch 2 (snö- och istest).

Information kring dimensioner, nominell effekt, certifiering och CE-märkning är taget från märkningen av respektive solcellsmodul om inget annat anges. Samtliga moduler är CE-märkta. Observera att angivna inköspriser gäller de priser SP betalt vid inköp av endast tre moduler eller en växelriktare. De är därför inte representativa för kostnadsläget hösten 2014 men de ger en indikation på relativa prisskillnader mellan olika fabriker. Även här får dock informationen behandlas med viss försiktighet eftersom enskilda priser även kan reflektera kampanjer eller prissättningspolicies som kan skilja sig åt mellan leverantörer.

Q CELLS - Q.PRO BLK-G3

Q CELLS Q.PRO BLK-G3 är en polykristallin modul i svart färg. Modulen tillverkas i Tyskland av Hanwha Q CELLS som är ett dotterbolag till det sydkoreanska företaget Hanwha (<http://www.hanwha.com/content/hanwha/en.html>).

Tabell 21 Produktinformation - Q CELLS - Q.PRO BLK-G3

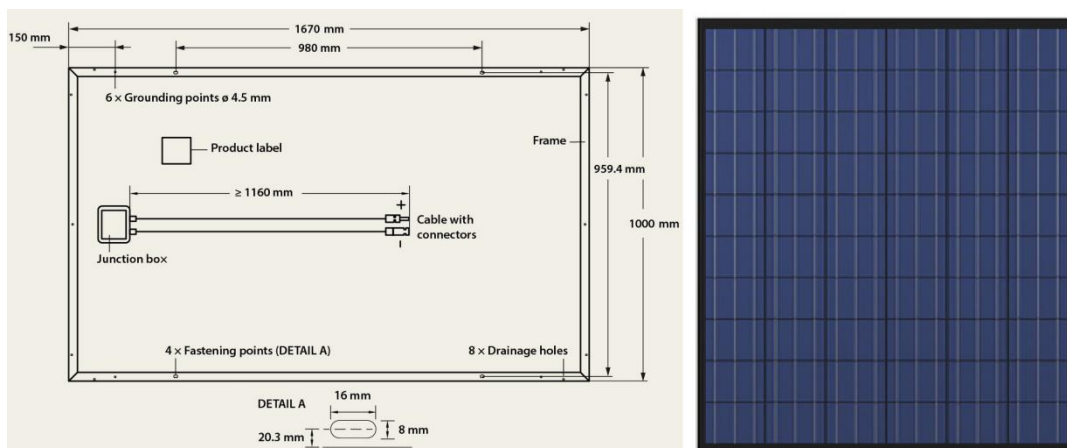
Modell	Q CELLS – Q.PRO BLK-G3
Tillverkningsland	Tyskland
Solcellsteknik	Polykristallin
Nominell topp effekt	250 W
Dimensioner (mm)	1670 x 1000 x 35
Watt per m ²	155,7 W/m ²
Vikt	19 kg
Inköpspris (inkl. moms)	2 375 kr
Pris per watt	9,13 kr/W
Serienummer	711514164154700193
Certifikatsnummer ¹⁹	VDE-ID: 40030222

Tabell 22 Resultat från referensmätningen

Mät punkt #	I _{SC} (A)	I _{MPP} (A)	U _{OC} (V)	U _{MPP} (V)	P _{MPP} (W)	FF (%)	η _{cell} (%)	η _{modul} (%)
1	8,74	8,23	37,27	30,05	247,21	75,87	16,93	15,20

¹⁹ Från VDE's databas (http://www.vde.com/en/Institute/OnlineService/VDE-approved-products/Pages/default_0.aspx). Certifikatet är utställt till Hanwha Q.CELLS GmbH

Mätpunkt #	I _{SC} (A)	I _{MPP} (A)	U _{OC} (V)	U _{MPP} (V)	P _{MPP} (W)	FF (%)	η _{cell} (%)	η _{modul} (%)
2	8,72	8,23	37,28	30,06	247,45	76,13	16,95	15,21
3	8,74	8,23	37,28	30,07	247,35	75,87	16,94	15,20
4	8,74	8,21	37,27	30,04	246,59	75,71	16,89	15,16
5	8,74	8,21	37,28	30,06	246,62	75,71	16,89	15,16
6	8,74	8,21	37,28	30,05	246,65	75,72	16,89	15,16
7	8,79	8,24	37,31	30,11	248,01	75,64	16,98	15,24
8	8,79	8,25	37,32	30,09	248,17	75,62	17,00	15,25
9	8,79	8,25	37,32	30,08	248,11	75,59	16,99	15,25
Medelvärde	8,76	8,23	37,29	30,07	247,35	75,76	16,94	15,20
σ	0,03	0,02	0,02	0,02	0,61	0,16	0,04	0,04



Figur 25 Q CELLS Q.PRO BLK-G3 ritning (t.v.) och modulens framsida (t.h.)

Renesola Jiangsu Ltd. – JC250S-24/Bb-b

Renesola Jiangsu Ltd. - JC250S-24/Bb-b är en monokristallin modul i svart färg. Modulen tillverkas i Kina av Renesola Jiangsu Ltd (<http://www.renesola.com/>).

Tabell 23 Produktinformation - Renesola - JC250S-24/Bb-b

Modell	Renesola JC250S-24/Bb-b
Tillverkningsland	Kina
Solcellsteknik	Monokristallin
Nominell topp effekt	250 W
Dimensioner (mm)	1640 x 992 x 40
Watt per m ²	153,7 W/m ²
Vikt	19 kg
Inköpspris (inkl. moms)	2 711 kr
Pris per watt	10,84 kr/W
Serienummer	OK
Certifikatsnummer ²⁰	TÜV-ID: 0000026920

Tabell 24 Resultat från referensmätningen. Här avser punkt 1-3 snö- och istestet (batch #2) och punkt 7-9 klimatestet (batch #1).

Mätpunkt #	I _{sc} (A)	I _{MPP} (A)	U _{oc} (V)	U _{MPP} (V)	P _{MPP} (W)	FF (%)	η _{cell} (%)	η _{modul} (%)
1	8,64	8,13	37,25	30,06	244,29	75,89	16,73	15,02
2	8,62	8,13	37,27	30,06	244,52	76,14	16,75	15,03
3	8,64	8,13	37,27	30,07	244,43	75,89	16,74	15,02
4	8,64	8,11	37,26	30,04	243,67	75,72	16,69	14,98
5	8,64	8,11	37,26	30,06	243,70	75,72	16,69	14,98
6	8,64	8,11	37,27	30,05	243,73	75,74	16,69	14,98
7	8,68	8,14	37,30	30,11	245,07	75,66	16,78	15,06
8	8,69	8,15	37,31	30,09	245,24	75,64	16,80	15,07
9	8,69	8,15	37,31	30,08	245,17	75,60	16,79	15,07
Medelvärde	8,65	8,13	37,28	30,07	244,42	75,78	16,74	15,02
σ	0,03	0,02	0,02	0,02	0,60	0,16	0,04	0,04

²⁰ https://www.certipedia.com/quality_marks/0000026920?locale=en



Figur 26 Renesola Jiangsu Ltd. – JC250S-24/Bb-b modulens framsida

JA Solar – JAM6(BK)-60-260/SI

JA Solar-Jam6 (BK) 60-260/SI är en monokristallin modul i svart färg. Modulen tillverkas i Kina av JA Solar (<http://www.jasolar.com/>).

Tabell 25 Produktinformation - JA Solar JAM6(BK)-60-260/SI

Modell	JA Solar- JAM6(BK)-60-260/SI
Tillverkningsland	Kina
Solcellsteknik	Monokristallin
Nominell toppeffekt	260 W
Dimensioner (mm)	1650 x 991 x 40
Watt per m ²	159,0 W/m ²
Vikt	18,2 kg
Inköpspris(inkl. moms)	2 638 kr
Pris per watt	10,15 kr/W
Serienummer	OK
Certifikatsnummer ²¹	VDE-ID: 40034877

Tabell 26 Resultat från referensmätningen

Mätpunkt #	I _{SC} (A)	I _{MPP} (A)	U _{OC} (V)	U _{MPP} (V)	P _{MPP} (W)	FF (%)	η _{cell} (%)	η _{modul} (%)
1	8,75	8,25	37,78	30,52	251,80	76,22	17,24	15,40
2	8,75	8,24	37,79	30,56	251,75	76,17	17,24	15,40
3	8,75	8,25	37,79	30,53	251,88	76,20	17,25	15,40
4	8,77	8,25	37,70	30,48	251,46	76,03	17,22	15,38
5	8,78	8,25	37,70	30,47	251,46	75,95	17,22	15,38
6	8,78	8,25	37,71	30,48	251,40	75,97	17,22	15,37
7	8,74	8,23	37,70	30,51	251,01	76,17	17,19	15,35
8	8,74	8,24	37,71	30,47	251,09	76,17	17,20	15,36
9	8,76	8,23	37,71	30,49	251,10	76,04	17,20	15,36
Medelvärde	8,76	8,24	37,73	30,50	251,44	76,10	17,22	15,38
σ	0,02	0,01	0,04	0,03	0,31	0,10	0,02	0,02

²¹ Från VDE's databas (http://www.vde.com/en/Institute/OnlineService/VDE-approved-products/Pages/default_0.aspx). Certifikatet är utställt till Shanghai JA Solar

Centro Solar – S255P60 Professional

Centro Solar-S255P60 Professional är en monokristallin modul i svart färg. Modulen tillverkas i Tyskland av Centro Solar (<http://www.centrosolar.de>).

Tabell 27 Produktinformation - Centro Solar S255P60

Modell	Centro Solar-S 255P60 Professional
Tillverkningsland	Tyskland
Solcellsteknik	Polykristallin
Nominell toppeffekt	255 W
Dimensioner (mm)	1660 x 990 x 40
Watt per m ²	155,2 W/m ²
Vikt	19 kg
Inköpspris (inkl. moms)	3 157 kr
Pris per watt	12,38 kr/W
Serienummer	OK
Certifikatsnummer ²²	TÜV-ID: 0000027145

Tabell 28 Resultat från referensmätningen

Mätpunkt #	I _{SC} (A)	I _{MPP} (A)	U _{OC} (V)	U _{MPP} (V)	P _{MPP} (W)	FF (%)	η _{cell} (%)	η _{modul} (%)
1	8,75	8,12	37,34	29,92	242,79	74,28	16,70	14,77
2	8,76	8,12	37,34	29,88	242,69	74,23	16,69	14,77
3	8,77	8,11	37,32	29,92	242,75	74,19	16,69	14,77
4	8,79	8,13	37,31	29,82	242,41	73,94	16,67	14,75
5	8,79	8,09	37,31	29,92	242,10	73,83	16,65	14,73
6	8,80	8,11	37,31	29,88	242,28	73,81	16,66	14,74
7	8,78	8,10	37,33	29,90	242,33	73,96	16,66	14,75
8	8,78	8,11	37,33	29,91	242,49	74,01	16,68	14,76
9	8,78	8,11	37,34	29,89	242,46	74,00	16,67	14,75
Medelvärde	8,78	8,11	37,32	29,89	242,48	74,03	16,67	14,75
σ	0,01	0,01	0,01	0,03	0,22	0,16	0,01	0,01

²² https://www.certipedia.com/quality_marks/0000027145?locale=en



Figur 28 Centro Solar-S255P60 - modulens framsida

PPAM – Paladium

PPAM Paladium är en Polykristallin modul i blå färg. Modulen tillverkas i Kina men marknadsförs under eget namn av PPAM i Sverige (<http://www.ppam.se/>).

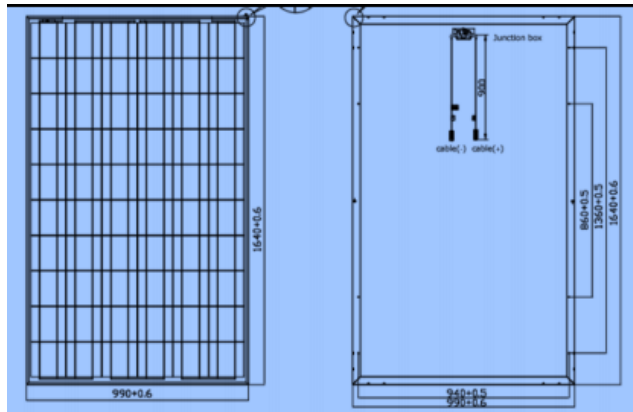
Tabell 29 Produktinformation - PPAM Paladium

Modell	PPAM - Paladium
Tillverkningsland:	Kina
Solcellsteknik	Polykristallin
Nominell topp effekt:	230 W
Dimensioner (mm):	1640 x 990 x 40
Watt per m ²	141,7 W/m ²
Vikt	18 kg
Inköpspris (inkl. moms)	2 690 kr
Pris per watt	11,70 kr/W
Serienummer	OK
Certifikatsnummer ²³	TÜV-ID: 0000026037

Tabell 30 Resultat från referensmätningen

Mätpunkt #	I _{SC} (A)	I _{MPP} (A)	U _{OC} (V)	U _{MPP} (V)	P _{MPP} (W)	FF (%)	η _{cell} (%)	η _{modul} (%)
1	8,45	7,86	36,74	28,75	225,94	72,76	15,47	13,85
2	8,46	7,85	36,73	28,77	225,96	72,75	15,47	13,85
3	8,46	7,85	36,74	28,79	226,08	72,74	15,48	13,85
4	8,47	7,87	36,66	28,79	226,48	72,95	15,51	13,88
5	8,47	7,86	36,65	28,82	226,45	72,98	15,51	13,88
6	8,47	7,86	36,66	28,81	226,42	72,91	15,51	13,88
7	8,49	7,86	36,71	28,77	226,03	72,49	15,48	13,85
8	8,49	7,86	36,78	28,83	226,71	72,62	15,53	13,89
9	8,49	7,87	36,79	28,80	226,70	72,56	15,53	13,89
Medelvärde	8,47	7,86	36,72	28,79	226,31	72,75	15,50	13,87
σ	0,01	0,01	0,05	0,03	0,29	0,16	0,02	0,02

²³ https://www.certipedia.com/quality_marks/0000026037?locale=en. Certifikatet är utställt till UE Solar Co., Ltd.



Figur 29 PPAM Paladium. Ritning modulens framsida (t.v.) och baksida (t.h.)

Solar World – Sunmodule Plus SW 250 mono black

Solar World- Sunmodule Plus SW 250 mono black är en monokristallin modul i svart färg. Modulen tillverkas i Tyskland av Solar World (<http://www.solarworld.de/>).

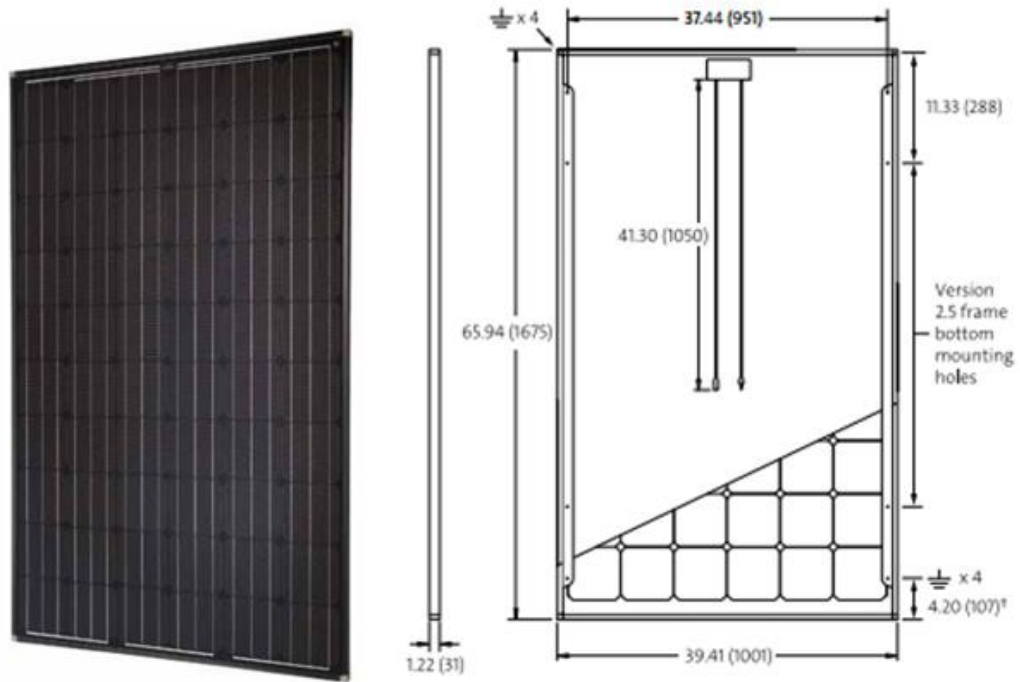
Tabell 31 Produktinformation - Solar World Sunmodule Plus SW 250 W

Modell	Sunmodule Plus SW 250 mono black
Tillverkningsland	Tyskland
Solcellsteknik	Monokristallin
Nominell toppeffekt	250 W
Dimensioner (mm)	1675 x 1001 x 31
Watt per m ²	149,1 W/m ²
Vikt	21,2 kg
Inköpspris(inkl. moms)	2 517 kr
Pris per watt	10,07 kr/W
Serienummer	OK
Certifikatsnummer ²⁴	TÜV-ID: 0000039351

Tabell 32 Resultat från referensmätningen

Mätpunkt #	I _{SC} (A)	I _{MPP} (A)	U _{OC} (V)	U _{MPP} (V)	P _{MPP} (W)	FF (%)	η _{cell} (%)	η _{modul} (%)
1	8,67	8,09	38,04	30,55	247,08	74,88	16,92	14,74
2	8,68	8,08	38,04	30,59	247,09	74,85	16,92	14,74
3	8,68	8,09	38,05	30,53	247,09	74,79	16,92	14,74
4	8,66	8,09	38,02	30,43	246,27	74,77	16,87	14,69
5	8,66	8,07	38,01	30,51	246,24	74,78	16,86	14,69
6	8,65	8,07	38,02	30,53	246,26	74,87	16,87	14,69
7	8,65	8,08	38,05	30,54	246,76	74,98	16,90	14,72
8	8,65	8,09	38,04	30,52	246,83	75,01	16,90	14,72
9	8,65	8,09	38,05	30,52	246,81	74,97	16,90	14,72
Medelvärde	8,66	8,08	38,04	30,52	246,72	74,88	16,90	14,71
σ	0,01	0,01	0,01	0,04	0,34	0,09	0,02	0,02

²⁴ https://www.certipedia.com/quality_marks/0000039351?locale=en



Figur 30 Solar World Sunmodule Plus SW 250 mono black modulens framsida (t.v.), ritning (t.h)

Yingli Panda – YL270C-30b

Yingli panda-YL270C-30b är en monokristallin modul i svart färg. Modulen tillverkas i Kina av Panda (Powered by yingli - www.yinglisolar.com).

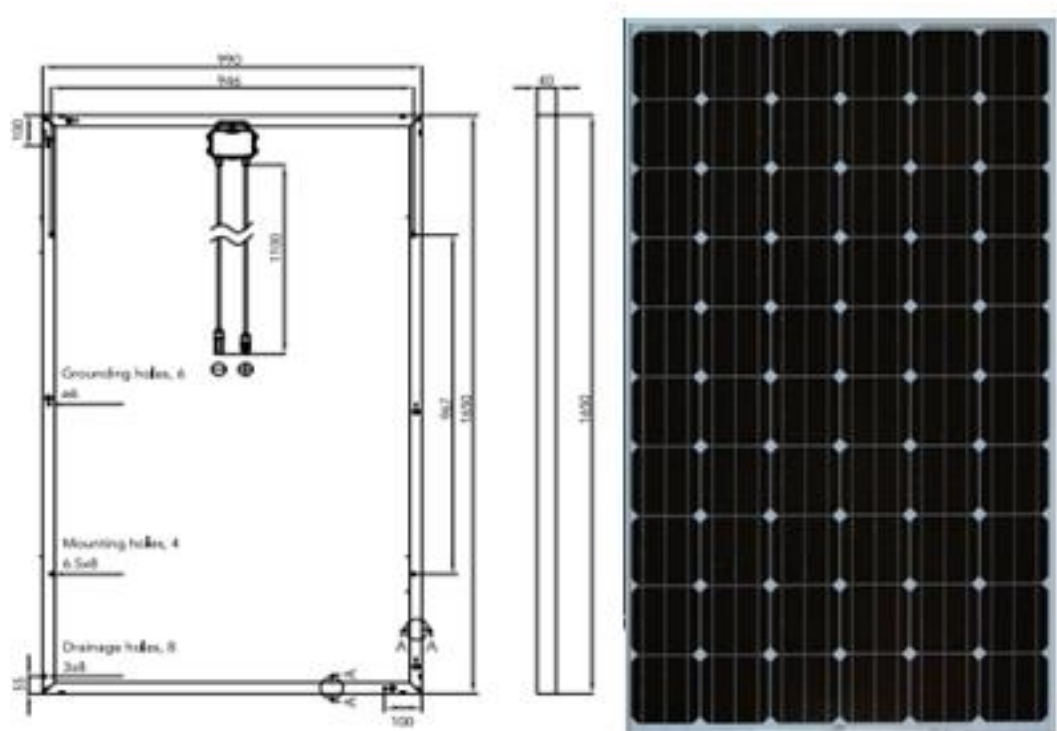
Tabell 33 Produktinformation - Yingli Panda YL270C-30b

Modell	Yingli Panda - YL270C-30b
Tillverkningsland	Kina
Solcellsteknik	Monokristallin
Nominell toppeffekt	270 W
Dimensioner (mm)	1650 x 990 x 40
Watt per m ²	165,3 W/m ²
Vikt (kg)	18,5
Inköpspris (inkl. moms)	2 760 kr
Pris per watt	10,22 kr/W
Serienummer	OK
Certifikatsnummer ²⁵	TÜV-ID: 0088888888/ 0000027045

Tabell 34 Resultat från referensmätningen

Mätpunkt #	I _{SC} (A)	I _{MPP} (A)	U _{OC} (V)	U _{MPP} (V)	P _{MPP} (W)	FF (%)	η _{cell} (%)	η _{modul} (%)
1	9,16	8,73	38,42	30,65	267,57	75,16	18,33	16,38
2	9,17	8,72	38,43	30,69	267,66	75,08	18,33	16,39
3	9,17	8,73	38,41	30,65	267,59	75,06	18,33	16,38
4	9,20	8,71	38,33	30,52	265,84	74,54	18,21	16,27
5	9,19	8,71	38,34	30,52	265,93	74,58	18,21	16,28
6	9,19	8,72	38,34	30,52	266,05	74,59	18,22	16,29
7	9,18	8,73	38,29	30,73	268,11	75,38	18,36	16,41
8	9,19	8,73	38,30	30,70	268,17	75,32	18,37	16,42
9	9,19	8,73	38,30	30,70	268,03	75,26	18,36	16,41
Medelvärde	9,18	8,72	38,35	30,63	267,22	75,00	18,30	16,36
σ	0,01	0,01	0,05	0,08	0,93	0,32	0,06	0,06

²⁵ Märkningen på modulen (TÜV-ID: 0088888888) refererar till ett Master-ID som gäller för alla produkter som företaget har certifierade. Det specifika TÜV-ID: 0000027045 gäller för den aktuella modellen - https://www.certipedia.com/quality_marks/0000027045?locale=en



Figur 31 Yingli Panda-YL270C ritning (t.v.) och modulens framsida (t.h.)

SunPower - SPR-E20-327

Sunpower-SPR-E20-327 monokristallin modul i mörkblå färg. Modulen tillverkas i USA. (<http://www.sunpowercorp/>). Till skillnad från de flesta andra moduler så finns strömledarna och kontakter för båda polerna på modulens baksida vilket innebär att det inte finns några synliga rutnätslinjer på modulens framsida, se Figur 32.

Tabell 35 Produktinformation - Sunpower SPR-E20-327

Modell	Sunpower - SPR-E20-327
Tillverkningsland	USA
Solcellsteknik	Monokristallin
Nominell toppeffekt	327 W
Dimensioner (mm)	1559 x 1046 x 46
Watt per m ²	200,5 W/m ²
Vikt (kg)	18,6
Inköpspris(inkl. moms)	5 310 kr
Pris per watt	16,24 kr/W
Serienummer	504210
Certifikatsnummer ²⁶	TÜV-ID: 0000022009

Tabell 36 Resultat från referensmätningen

Mätpunkt #	I _{SC} (A)	I _{MPP} (A)	U _{OC} (V)	U _{MPP} (V)	P _{MPP} (W)	FF (%)	η _{cell} (%)	η _{modul} (%)
1	6,33	5,80	64,77	53,44	310,16	75,67	20,68	19,02
2	6,32	5,80	64,77	53,46	310,07	75,80	20,67	19,01
3	6,32	5,81	64,79	53,42	310,15	75,77	20,68	19,02
4	6,28	5,78	64,47	53,68	310,26	76,66	20,68	19,03
5	6,28	5,78	64,46	53,70	310,50	76,66	20,70	19,04
6	6,29	5,78	64,48	53,71	310,49	76,60	20,70	19,04
7	6,29	5,78	64,68	53,46	309,05	75,91	20,60	18,95
8	6,30	5,79	64,68	53,42	309,20	75,91	20,61	18,96
9	6,30	5,79	64,69	53,43	309,38	75,89	20,63	18,97
Medelvärde	6,30	5,79	64,64	53,52	309,92	76,10	20,66	19,01
σ	0,02	0,01	0,13	0,13	0,52	0,39	0,03	0,03

²⁶ https://www.certipedia.com/quality_marks/0000022009?locale=en



Figur 32 Sunpower E20 327 W. Noterbart är att det inte finns några synliga ledare på modulens framsida

Bilaga 2 – Växelriktare

Nedan följer en kort sammanställning av varje testad växelriktare med produktinformation och mätta data. Samtliga växelriktare är CE-märkta enligt märkskylt och medföljande dokumentation. Beträffande inköspriser se inledning till bilaga 1.

Power-ONE/ABB PVI-10.0-TL-0UTD-S

Tabell 37 Elektrisk specifikation - Power-ONE/ABB

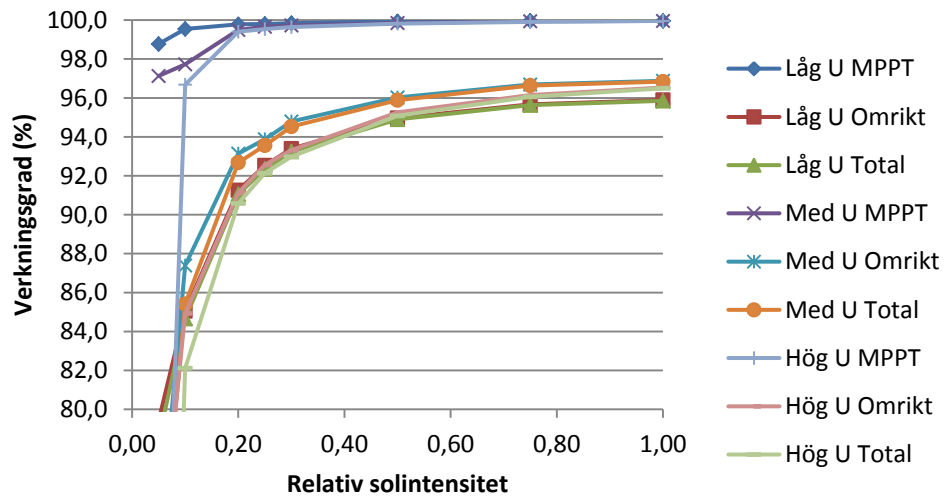
	$P_{AC,r}$ (W)	U_{MPPmin} (V)	$U_{DC,r}$ (V)	U_{MPPmax} (V)	U_{DCmax} (V)	I_{DCmax} (A)	Faser	#MPPT	$P_{AC,r}$ (W)
Specifikation	10000	300	580	850	900	17/17	3	2	10 000
Använda värden	4000	300	575	675		15.0		1	4000

Tabell 38 Övrig data – Power-ONE/ABB

	Trans- formator	Max Verkningsgrad η_{max}	EU verkningsgrad η_{EU}	Inköspris (SEK inkl. moms)
Specifikation	Nej	97,8	97,1	23805

Övrig information: Uppgift om verkningsgrad varierar något i olika källor. Denna enhet har 2 separata men lika ingångar med var sin ”MPP tracker”. På grund av begränsningarna i utrustning har endast en av dem testats. I detta fall verkar det finnas begränsningar i den maximala spänning som kan användas, därför har maximal använd spänning varit 675 Volt under testet. Maximal effekt vid test begränsas också av kombinationen lägsta spänning och högsta ström till 4000 W.

Statistiskt test



Figur 33 Resultat för statistiskt test av verkningsgrad för Power-ONE/ABB

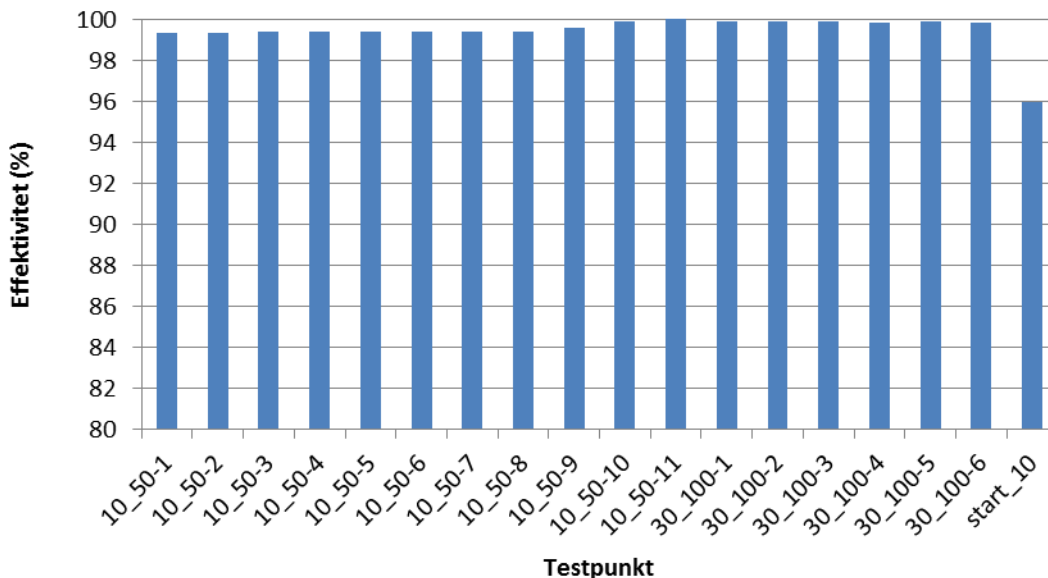
Tabell 39 Sammanfattning av statistiskt test: Europeisk verkningsgrad (vägd)

Spänningsnivå U_{MPP} (V)	”European Static MPPT Efficiency” (%)	”European Conversion Efficiency” (%)	”European Overall Efficiency” (%)
150	99,8	93,5	93,2
360	98,7	94,5	93,4
472	98,2	93,4	92,1

Uppmätt EU verkningsgrad ligger i sin bästa punkt 3,7 % lägre än vad som är uppgivet i specifikationen. En del av förklaringen till den relativt stora avvikelserna kan vara att mätningen har gjorts vid knappt halva maxeffekten på grund av ovan beskrivna begränsningar i mätningar. En beräkning av betydelsen av den lägre effekten pekar på att EU-verkningsgraden vid 10 kW maxeffekt skulle kunna ligga 1.8 % högre.

Dynamiskt test

Dynamisk test görs i 18 punkter enligt tabell nedan. Testet görs först för ändringar mellan 10% till 50 % effekt med allt snabbare ramper, sedan på liknande sätt för ändringar mellan 30 % och 100 % . Slutligen görs en långsam ramp som innefattar en start av omvandlaren.

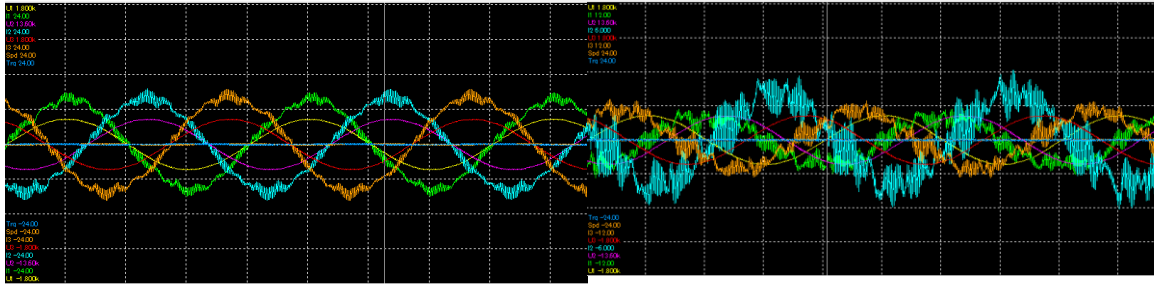


Figur 34 Testresultat för dynamisk test för POWER-ONE/ABB

Medelvärde för 10_50 % och 30_100 % test: 99,6%

Resultat för 0_10 %: 96,0 %

Strömkurvform



Figur 35 Kurvform hög respektive låg ström för Power-ONE/ABB

Strömdistorsionen mättes till

THDI = 16-31 % vid 1,6 A

THDI = 4,6-6,4 % vid 5,4 A

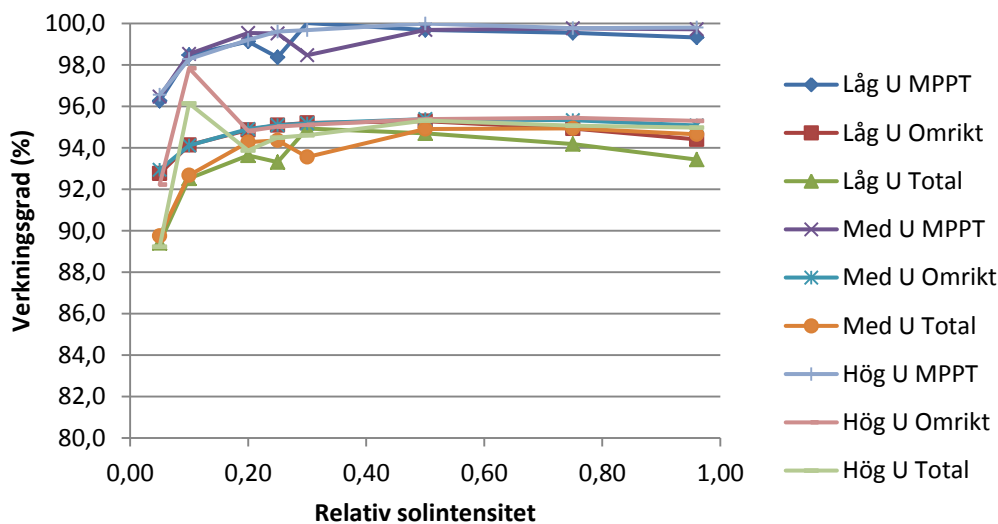
Enphase M 215-60-230-S22
Tabell 40 Elektrisk specifikation – Enphase M 215

	$P_{AC,r}$ (W)	U_{MPPmin} (V)	$U_{DC,r}$ (V)	U_{MPPmax} (V)	U_{DCmax} (V)	I_{DCmax} (A)	Faser	#MPPT
Specifikation	215	22	29	36	45	10,5	1	1
Använda värden	210	22	29	36		10,5		

Tabell 41 Övrig data – Enphase M 215

	Trans- formator	Max Verkningsgrad η_{max}	EU verkningsgrad η_{EU}	Inköpspris (SEK inkl. moms)
Specifikation	Nej	96,3 %	95,4	2010: Växelriktare (En per modul) 3994: Kommunikationsmodul (En per anl.)

Övrig information: Verkningsgradsangivelserna skiljer sig åt i olika källor.

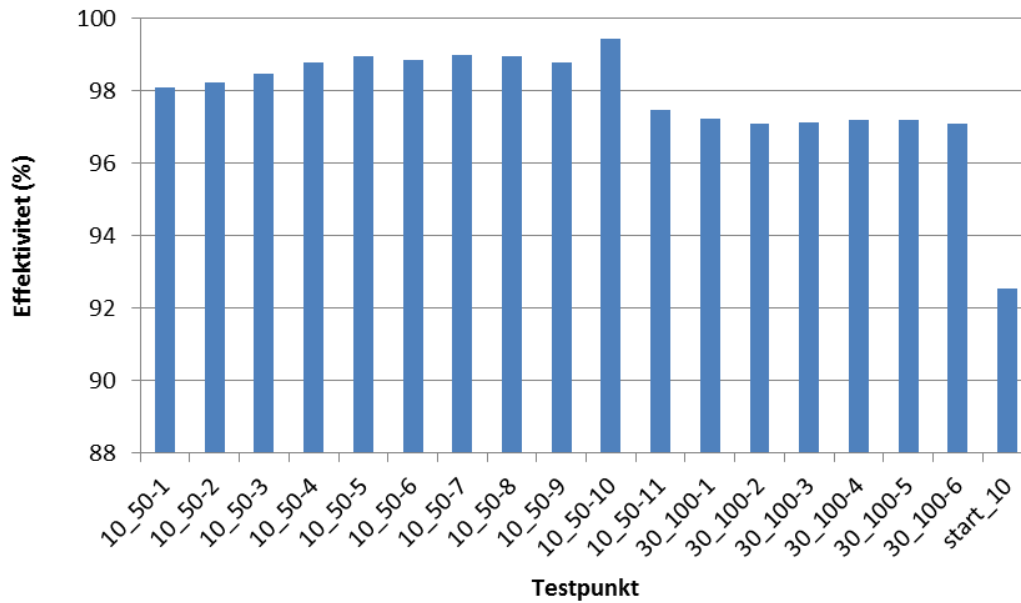
Statistiskt test

Figur 36 Verkningsgrad vid statistiskt prov för Enphase.

Tabell 42 Sammanfattning av statistiskt test: Europeisk verkningsgrad

Spänningsnivå U_{MPP} (V)	"European Static MPPT Efficiency" (%)	"European Conversion Efficiency" (%)	"European Overall Efficiency" (%)
150	99,1	94,9	94,0
360	99,2	95,1	94,3
472	99,5	95,3	94,9

Uppmätt EU verkningsgrad, η_{EU} ligger i sin bästa punkt 0,5 % lägre än vad som är uppgett i specifikationen.

Dynamiskt test

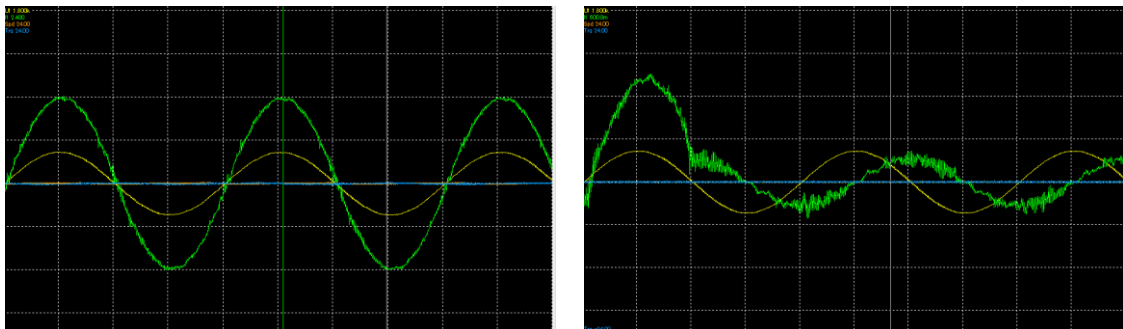


Figur 37 Resultat för dynamiskt test av Enphase

Medelvärde för 10_50 % och 30_100 % test: 99,5 %

Resultat för 0_10 %: 96,7 %

Strömkurvform



Figur 38 Kurvform hög respektive låg ström för Enphase.

Strömdistorsionen mättes till

THDI = 8-10 % vid 75 mA

THDI = 2,8-2,9 % vid 0,84 A

Fronius Symo 3.0-3-S

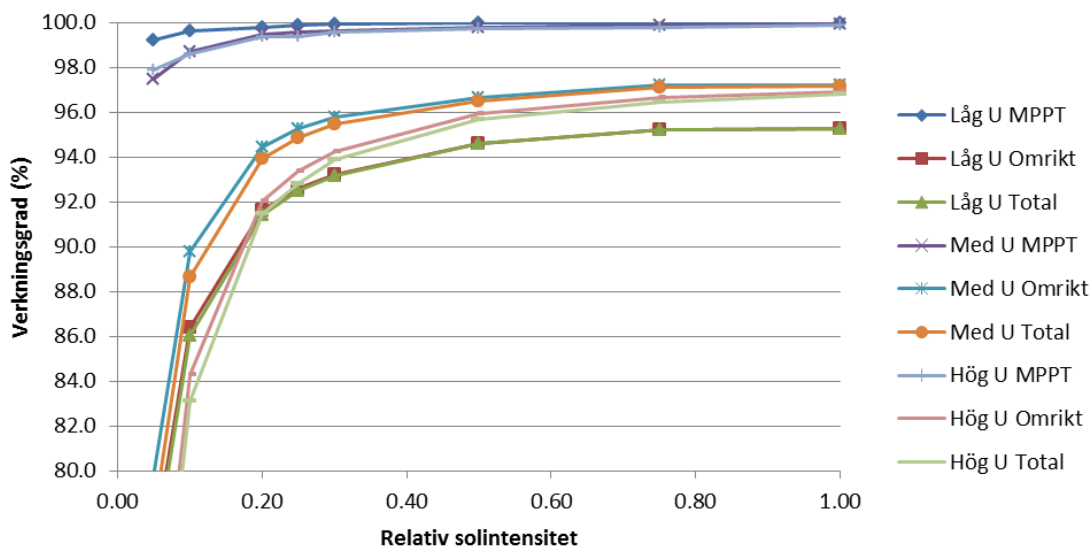
Tabell 43 Elektrisk specifikation – Fronius Symo

	$P_{AC,r}$ (W)	U_{MPPmin} (V)	$U_{DC,r}$ (V)	U_{MPPmax} (V)	U_{DCmax} (V)	I_{DCmax} (A)	Faser	#MPPT	$P_{AC,r}$ (W)
Specifikation	3 000	200	595	800	1 000	16	3	1	3 000
Använda värden	3 000	200	595	800		15			3 000

Tabell 44 Övrig data – Fronius Symo

	Trans- formator	Max Verkningsgrad η_{max}	EU verkningsgrad η_{EU}	Inköpspris (SEK inkl. moms)
Specifikation	Nej	97,9	96,2	12 000

Övrig information: Testet begränsas till 15A. Det är ändå möjligt att göra testet vid full uteffekt.

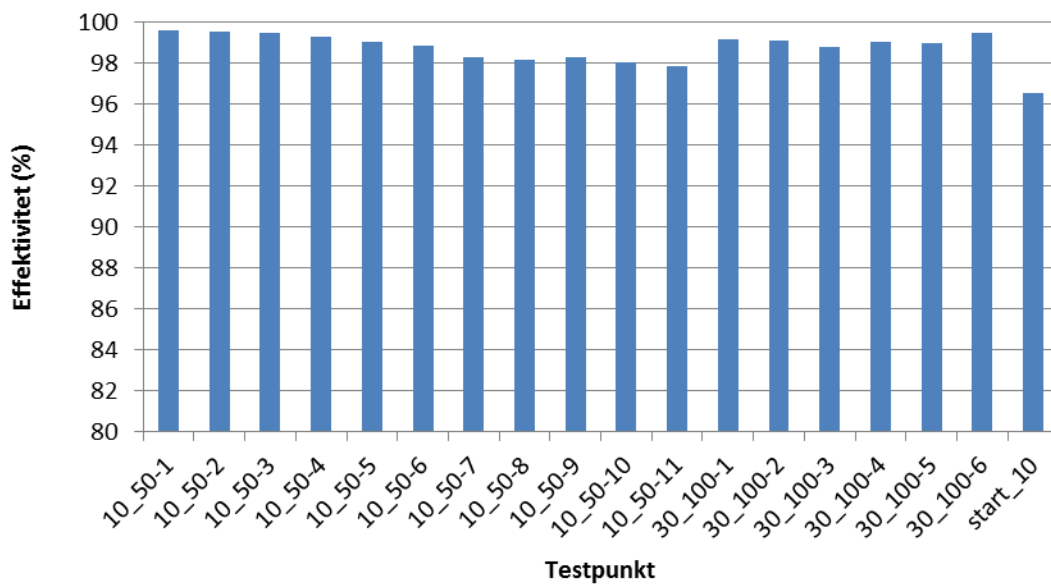
Statistiskt test

Figur 39 Verkningsgrad vid statistiskt prov för Fronius

Tabell 45 Sammanfattning av statistiskt test: Europeisk verkningsgrad

U_{MPP} Level (V)	"European Static MPPT Efficiency" (%)	"European Conversion Efficiency" (%)	"European Overall Efficiency" (%)
230	99,9	93,2	93,1
595	99,6	95,5	95,1
800	99,6	94,0	93,6

Kommentarer: Denna växelriktare har en mycket god funktion för MPP tracking. Uppmätt EU verkningsgrad, η_{EU} ligger i sin bästa punkt 1,1 % lägre än vad som är uppgett i specifikationen.

Dynamiskt test av MPP tracking

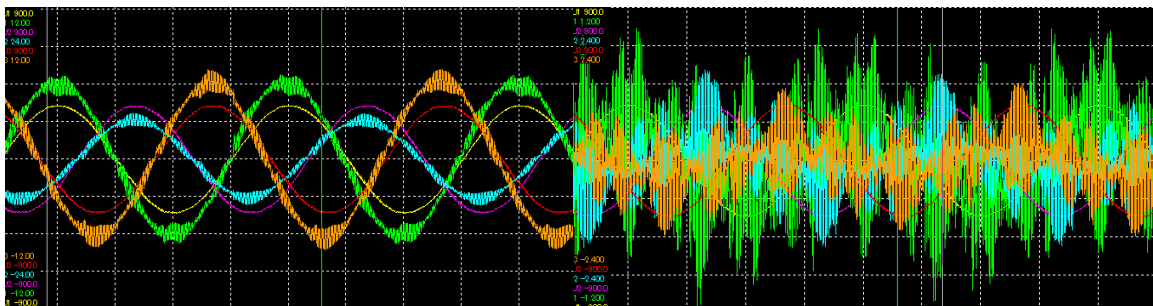


Figur 40 Testresultat för dynamiskt test för Fronius

Medelvärde av MPPT effektivitet för 10_50 % och 30_100 % tester: 98,8 %

Resultat för 0_10 % test : 96,5 %

Ström kurvform



Figur 41 Kurvform hög respektive låg ström för Fronius

Strömdistorsionen mättes till

THDI = 30 - 100 % vid 200mA

THDI = 1,5 - 2,8 % vid 4,4 A

Involar MAC 250

Tabell 46 Elektriskt specifikation – Involar MAC 250

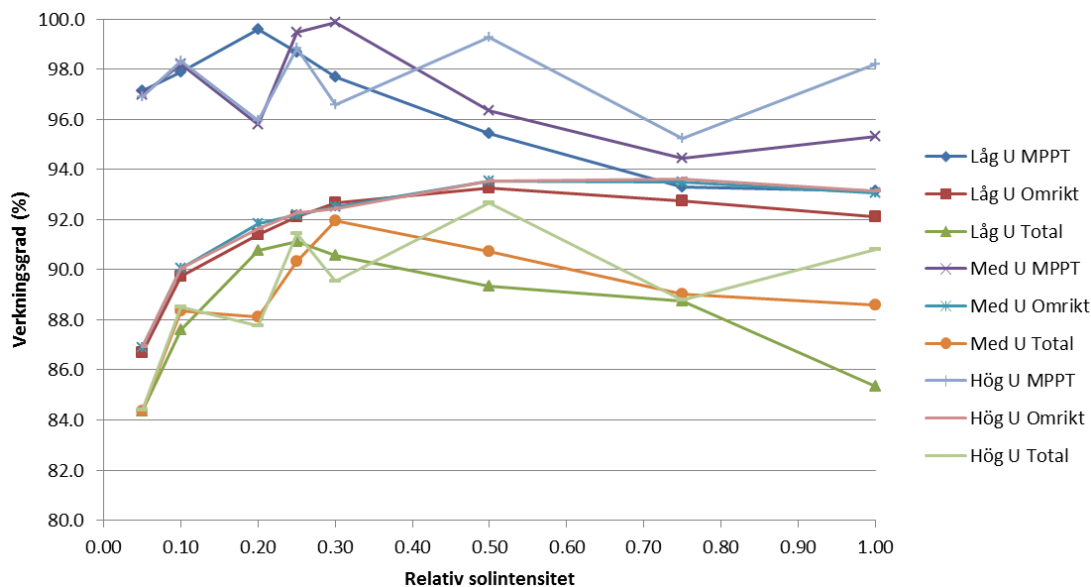
	$P_{AC,r}$ (W)	U_{MPPmin} (V)	$U_{DC,r}$ (V)	U_{MPPmax} (V)	U_{DCmax} (V)	I_{DCmax} (A)	Faser	#MPPT	$P_{AC,r}$ (W)
Specifikation	235	24	32	40	50	10,4	1	1	235
Använda värden	235	24	32	36		10,4			235

Tabell 47 Övrig data – Involar MAC 250

	Trans- formator	Max Verkningsgrad η_{max}	EU verkningsgrad η_{EU}	Inköpspris (SEK inkl. moms)
Specifikation	Nej	95,2 %	94,1 %	2395

Övrig information: Verkningsgradsuppgifterna varierar något.

Statiskt test

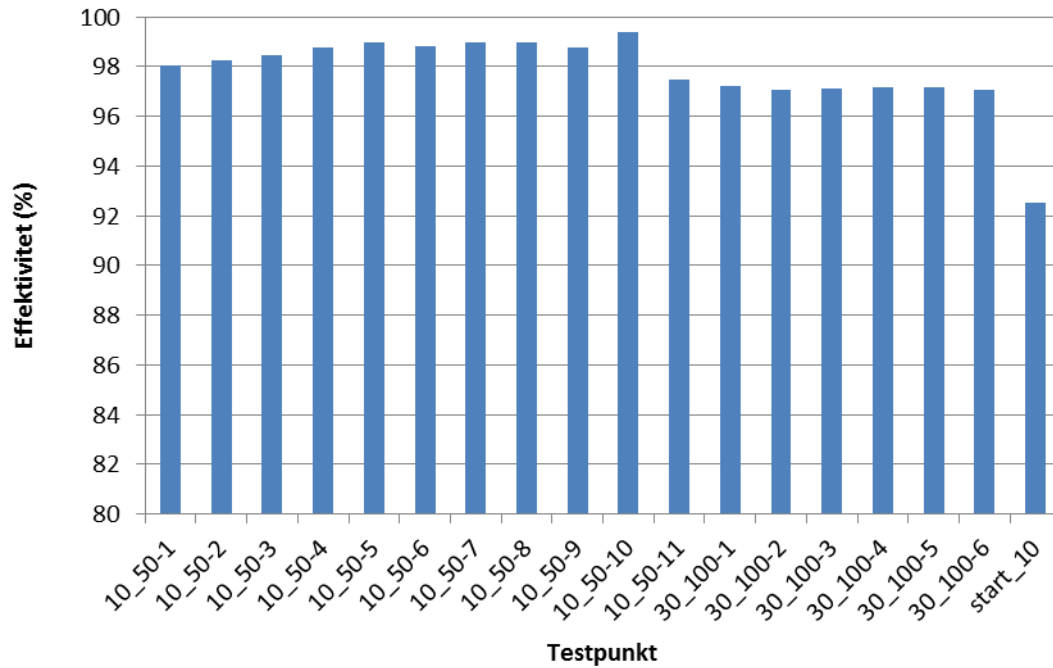

Figur 42 Verkningsgrader vid statiskt test för Involar

Tabell 48 Sammanfattning av statiskt test: Europeisk verkningsgrad

U_{MPP} Level (V)	"European Static MPPT Efficiency" (%)	"European Conversion Efficiency" (%)	"European Overall Efficiency" (%)
24	95,9	92,3	88,6
32	96,5	92,7	89,5
35	98,2	92,7	91,1

Kommentarer: Uppmätt EU verkningsgrad ligger i sin bästa punkt 3,0 % lägre än vad som är uppgett i specifikationen.

Dynamiskt test

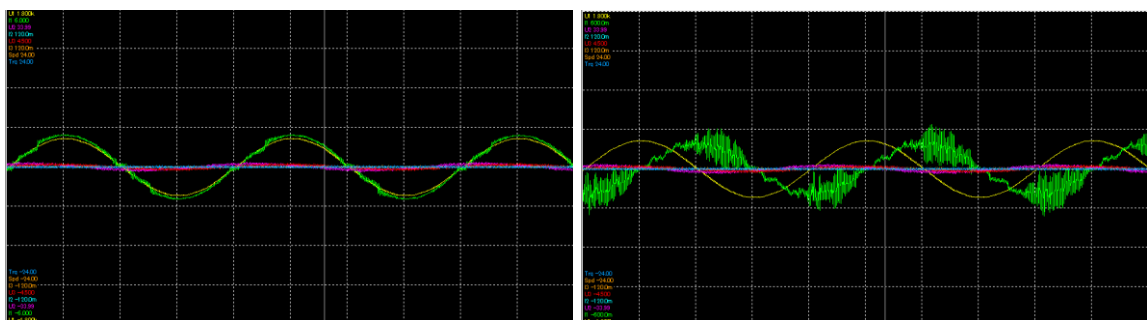


Figur 43 Testresultat för dynamisk test för Involar MAC 250

Medelvärde för 10_50 % och 30_100 % test: 97,1%

Resultat för 0_10 %: 92,5%

Strömkurvform



Figur 44 Kurvform hög respektive låg ström för Involar

Strömdistorsionen mättes till

THDI = 51,1 – 5,3 % vid 0,9 A

THDI = 13,4 – 13,9 % vid 81 mA

Samilpower 3000 TL

Tabell 49 Elektrisk specifikation - Samilpower 3000 TL

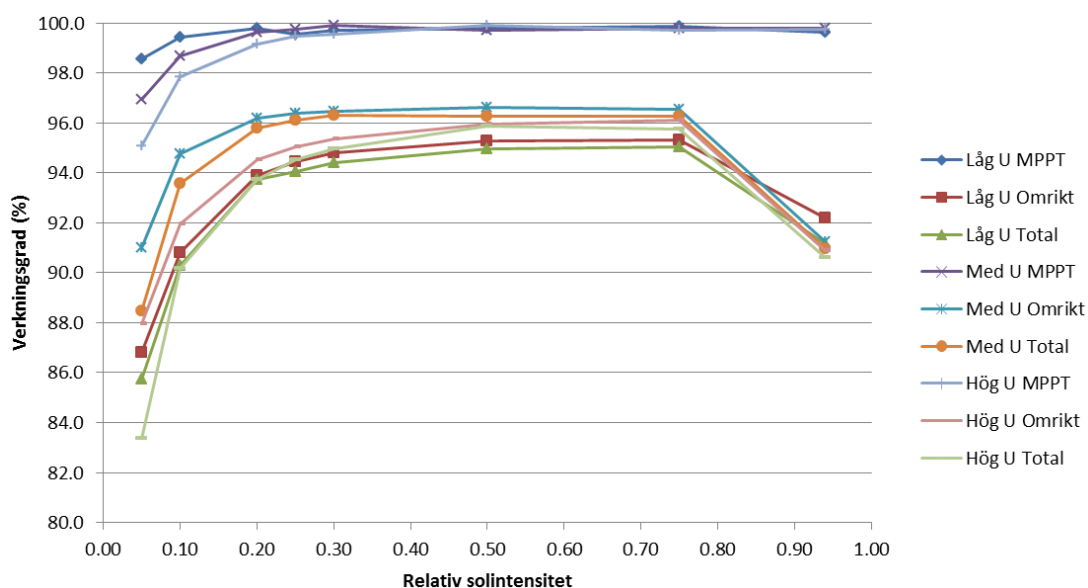
	$P_{AC,r}$ (W)	U_{MPPmin} (V)	$U_{DC,r}$ (V)	U_{MPPmax} (V)	U_{DCmax} (V)	I_{DCmax} (A)	Faser	#MPPT	$P_{AC,r}$ (W)
Specifikation	2600	210	355	500	550	13.5	1	1	2600
Använda värden	3000	210	355	480		13,5			3000

Tabell 50 Övrig data – Samilpower 3000 TL

	Trans-formator	Max Verkningsgrad η_{max}	EU verkningsgrad η_{EU}	Inköpspris (SEK inkl. moms)
Specifikation	Nej	97,0 %	96,3 %	9 900

Övrig information: Högsta U_{MPP} i testet begränsas av att den inte kan vara högre än $0,8 U_{DC,max}$.

Statiskt test

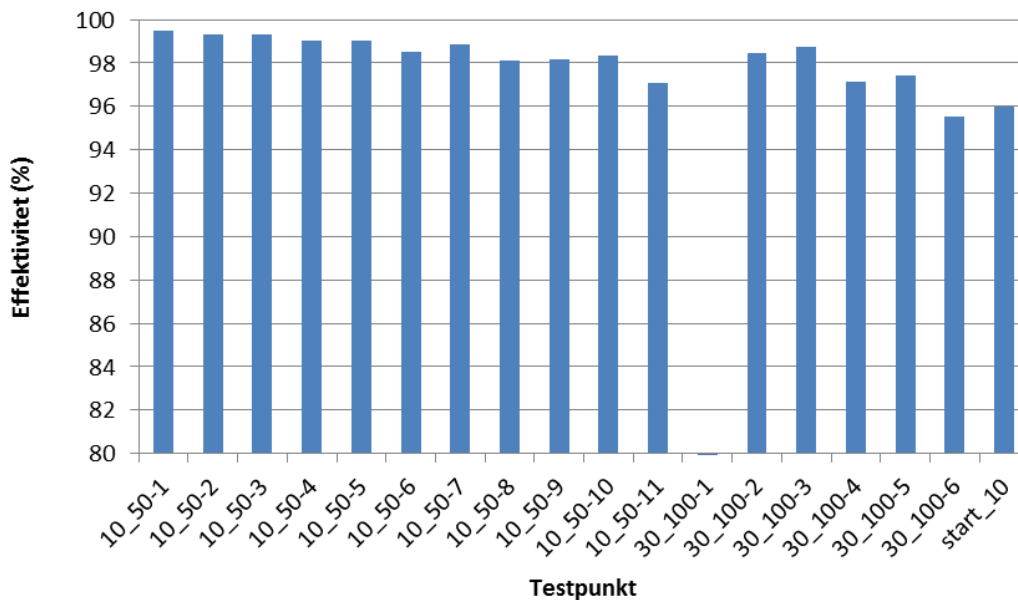

Figur 45 Resultat för statiskt verkningsgradprov, Samil Power 3000TL

Tabell 51 Beräknade EU-verkningsgrader, η_{EU} för Samil Power 3000TL

U_{MPP} Level (V)	"European Static MPPT Efficiency" (%)	"European Conversion Efficiency" (%)	"European Overall Efficiency" (%)
210	99,7	93,9	93,6
355	99,6	95,2	94,8
480	99,5	94,2	93,7

Kommentarer: Uppmätt EU verkningsgrad, η_{EU} ligger i sin bästa punkt 1,5 % lägre än vad som är uppgivet i specifikationen.

Dynamiskt test

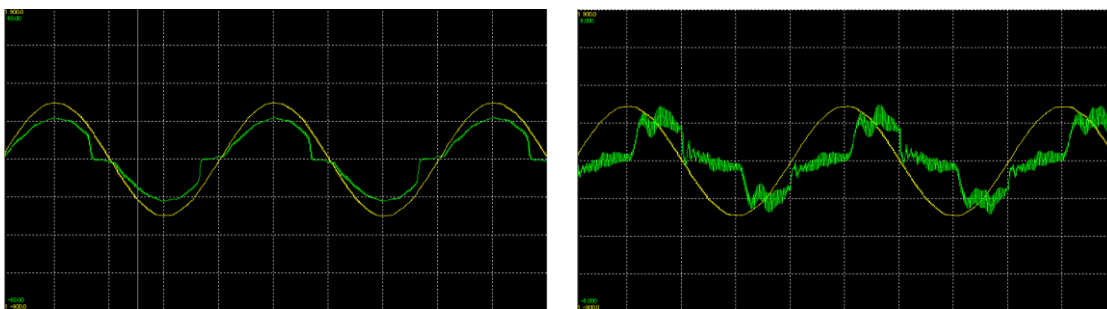


Figur 46 Testresultat för dynamisk test för Samilpower 3000 TL

Medelvärde för 10_50 % och 30_100 % test: 96,9 %

Resultat för 0_10 %: 96,0 %

Strömkurvform



Figur 47 Kurvform hög respektive låg ström, Samilpower

Strömdistorsionen mättes till

THDI = 17 % vid 11 A

THDI = 40-41% vid 1 A

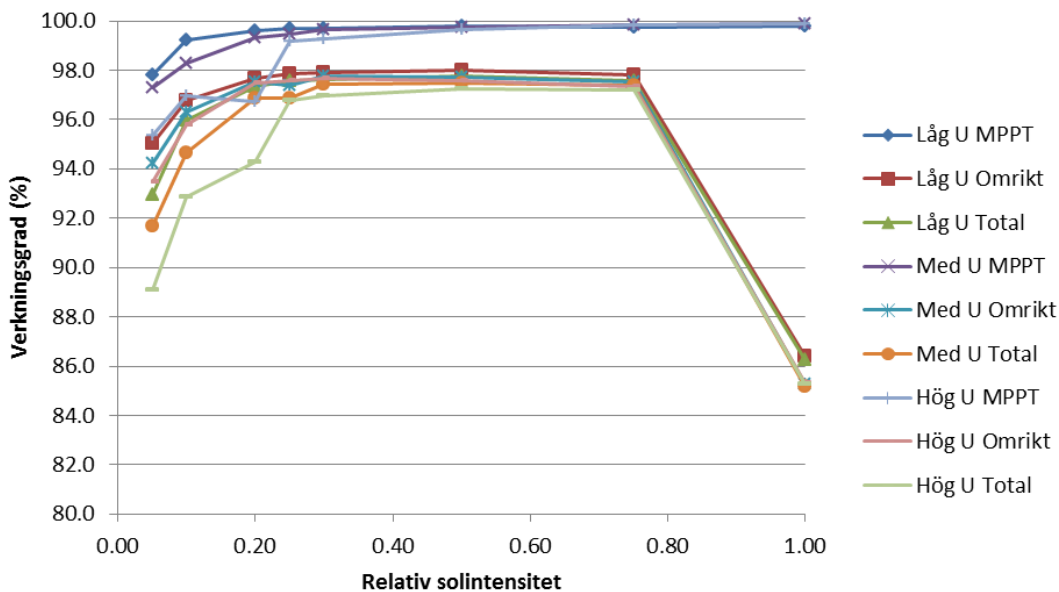
Steca Grid 3000
Tabell 52 Elektrisk specifikation - Steca Grid 3000

	$P_{AC,r}$ (W)	U_{MPPmin} (V)	$U_{DC,r}$ (V)	U_{MPPmax} (V)	U_{DCmax} (V)	I_{DCmax} (A)	Faser	#MPPT	$P_{AC,r}$ (W)
Specifikation	3000	350	525	700	845	12	1	1	3000
Använda värden	3000	350	525	676		8,6			3000

Tabell 53 Övrig data - Steca Grid 3000

	Trans- formator	Max Verkningsgrad η_{max}	EU verkningsgrad η_{EU}	Inköpspris (SEK inkl. moms)
Specifikation	Nej	98,6 %	98,3 %	12 488

 Övrig information: Högsta U_{MPP} i testet begränsas av $0,8 U_{DC, max}$.

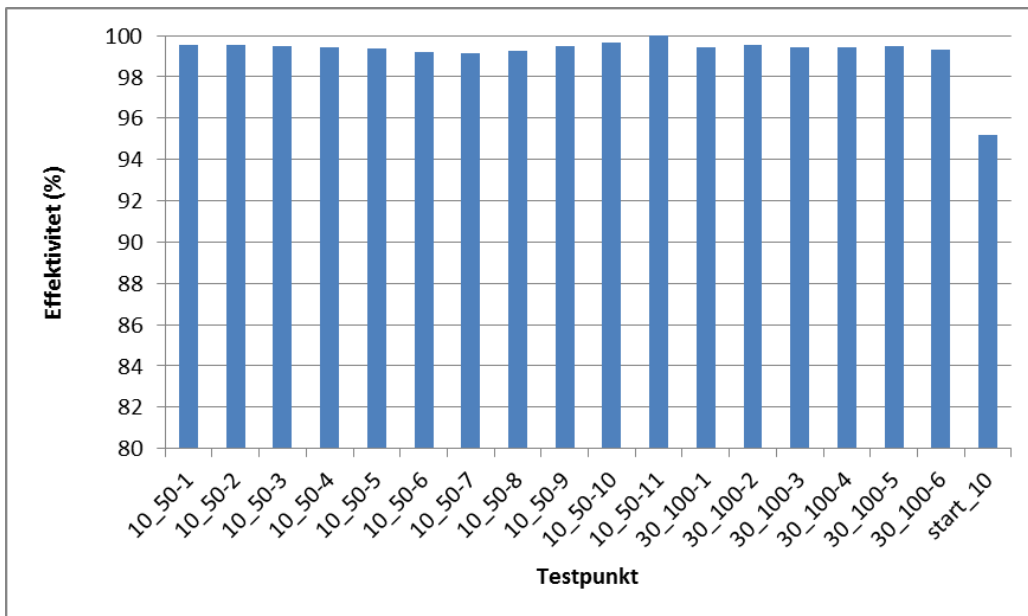
Statistiskt test

Figur 48 Verkningsgrad vid statistiskt prov för Steca Grid

Tabell 54 Sammanfattning av statistiskt test: Europeisk verkningsgrad

U_{MPP} Level (V)	"European Static MPPT Efficiency" (%)	"European Conversion Efficiency" (%)	"European Overall Efficiency" (%)
320	99,7	95,5	95,1
610	99,6	95,0	94,6
790	99,0	94,9	93,9

Kommentarer: Uppmätt EU verkningsgrad ligger i sin bästa punkt 3,2 % lägre än vad som är uppgett i specifikationen.

Dynamiskt test

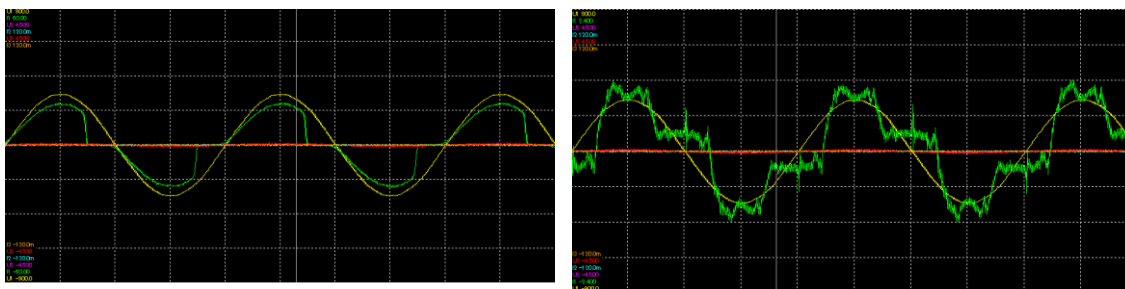


Figur 49 Testresultat för dynamisk test för Steca Grid 3000

Medelvärde för 10_50 % och 30_100 % test: 99,5 %

Resultat för 0_10 %: 95,2 %

Strömkurvform



Figur 50 Kurvform hög respektive låg ström för Steca Grid

Strömdistorsionen mättes till

THDI = 27-28 % vid 12 A

THDI = 38-39 % vid 0,6 A

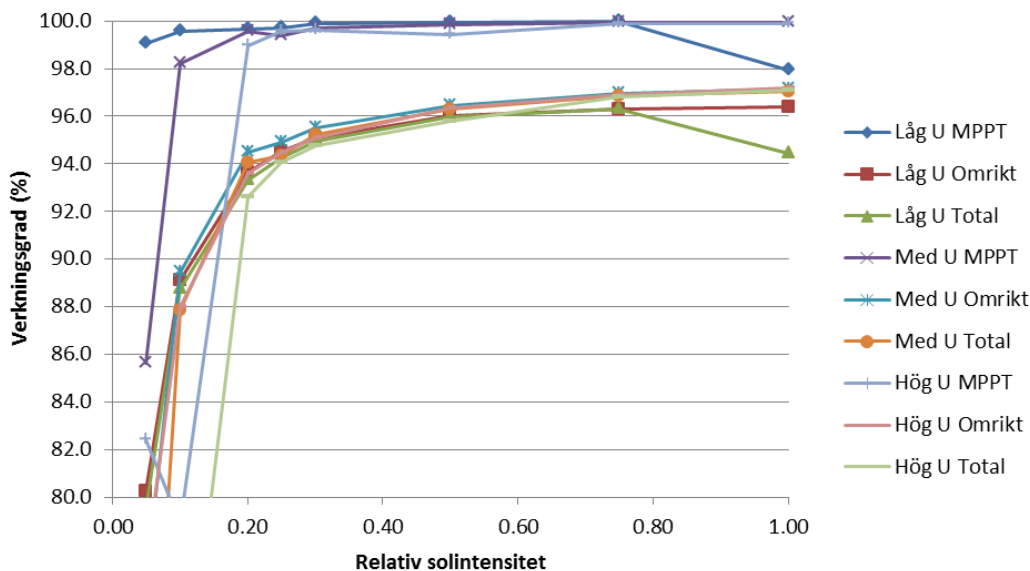
Sungrow SG_10KTL-EC
Tabell 55 Elektrisk specifikation – Sungrow

	$P_{AC, max}$ (W)	$P_{AC, r}$ (W)	$U_{MPP, min}$ (V)	$U_{DC, r}$ (V)	$U_{MPP, max}$ (V)	$U_{DC, max}$ (V)	$I_{DC, max}$ (A)	Faser	#MPPT
Specifikation	10000		320	610	900	1000	22/11	3	2
Använda värden		4000	320	610	790		15,0		1

Tabell 56 Övrig data – Sungrow

	Trans- formator	Max Verkningsgrad η_{max}	EU verkningsgrad η_{EU}	Inköpspris (SEK inkl. moms)
Specifikation	Nej	98,0 %	97,6 %	20 075

Övrig information: Uppgifter om verkningsgrad varierar något. Testet begränsades till 1 MPP tracker, samt när det gäller effekt av kombinationen högsta tillåtna ström och lägsta MPP spänning. Högsta testspänning begränsades av $0,8 U_{DC, max}$.

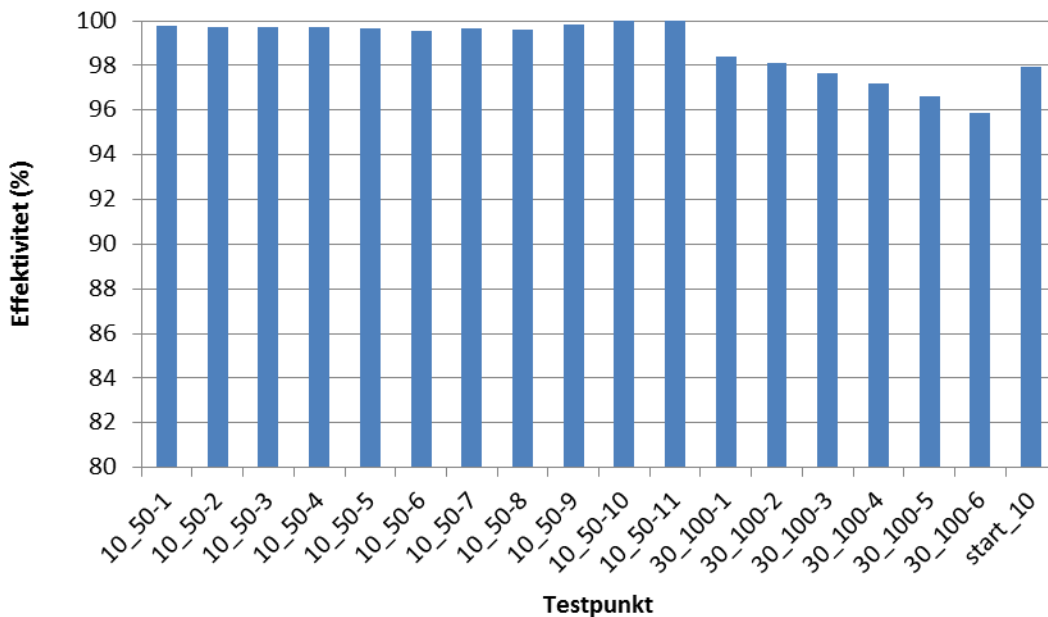
Statistiskt test

Figur 51 Verkningsgrad vid statistiskt prov för Sungrow

Tabell 57 Sammanfattning av statistiskt test: Europeisk verkningsgrad

U_{MPP} Level (V)	"European Static MPPT Efficiency" (%)	"European Conversion Efficiency" (%)	"European Overall Efficiency" (%)
320	99,4	94,8	94,3
610	99,3	95,2	94,6
790	97,7	95,0	93,0

Kommentarer: Uppmätt EU-verkningsgrad, η_{EU} ligger i sin bästa punkt 3,0 % lägre än vad som är uppgivet i specifikationen. En del av förklaringen till den relativt stora avvikelserna kan vara att mätningen har gjorts vid knappt halva maxeffekten på grund av ovan beskrivna begränsningar i mätningar. En beräkning av betydelsen av den lägre effekten pekar på att EU-verkningsgraden vid 10 kW maxeffekt skulle kunna ligga 1.8 % högre.

Dynamiskt test

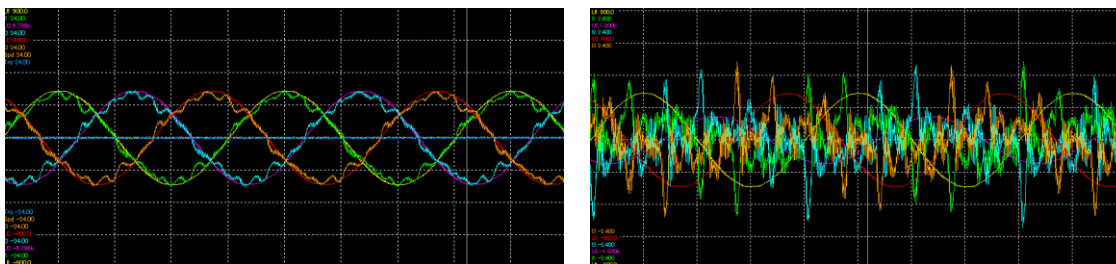


Figur 52 Testresultat för dynamisk test för Sungrow

Medelvärde för 10_50 % och 30_100 % test: 98,9 %

Resultat för 0_10 %: 97,9

Strömkurvform



Figur 53 Kurvform hög respektive låg ström för Sungrow

Strömdistorsionen mättes till

THDI = 130-150 % vid 0,4 A

THDI = 8,6-9,4 % vid 5,6 A

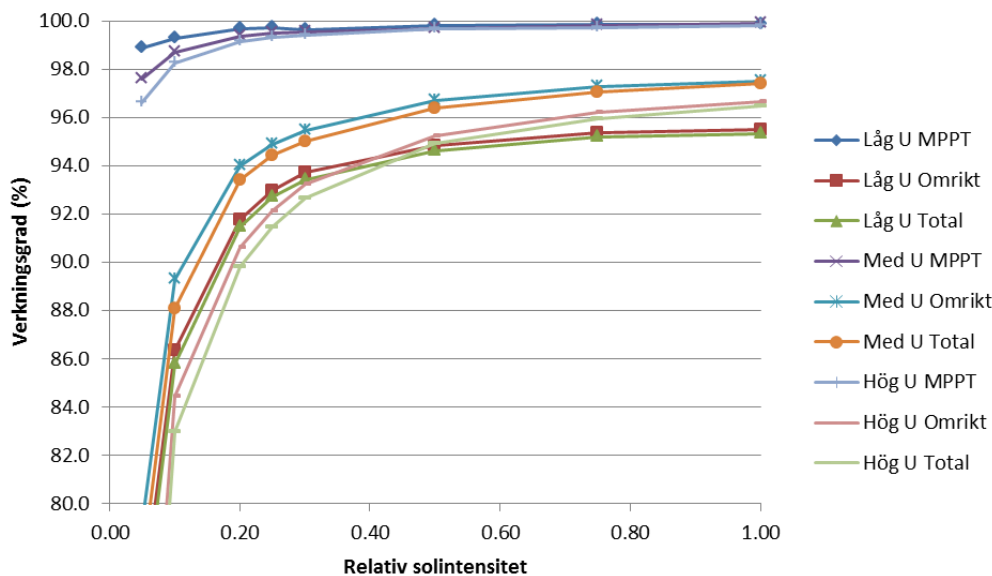
Sunny SMA STP 5000 TL
Tabell 58 Elektrisk specifikation – Sunny SMA

	$P_{AC,r}$ (W)	U_{MP} P_{min} (V)	$U_{DC,r}$ (V)	U_{MPPmax} (V)	U_{DCmax} (V)	I_{DCmax} (A)	Faser	#MPPT	$P_{AC,r}$ (W)
Specifikation	5000	245	580	800	1 000	11/10	3	2	5000
Använda värden	2400	245	580	790				1	2400

Tabell 59 Övrig data – Sunny SMA

	Trans- formator	Max Verkningsgrad η_{max}	EU verkningsgrad η_{EU}	Inköpspris (SEK inkl. moms)
Specifikation	Nej	98,0 %	97,1 %	18 963

Övrig information: Enheten har två ingångar med separata MPP tracker. Endast en testades. Max effekt begränsades i testet av kombinationen högsta tillåtna ström och lägsta MPP spänning. Uppgifter om verkningsgrad varierar något.

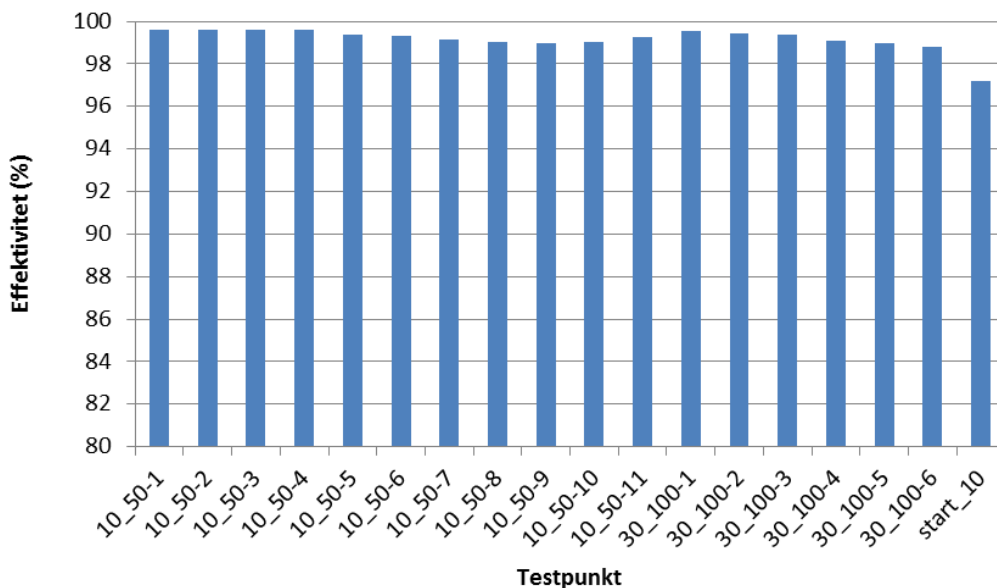
Statiskt test

Figur 54 Verkningsgrad vid statiskt prov för Sunny SMA.

Tabell 60 Sammanfattning av statiskt test: Europeisk verkningsgrad

U_{MPP} Level (V)	"European Static MPPT Efficiency" (%)	"European Conversion Efficiency" (%)	"European Overall Efficiency" (%)
320	99,7	93,4	93,1
610	99,5	95,4	95,0
790	99,4	93,2	92,7

Kommentarer: Uppmätt EU verkningsgrad, η_{EU} ligger i sin bästa punkt 2,1 % lägre än vad som är uppgett i specifikationen. En del av förklaringen till den relativt stora avvikelserna kan vara att mätningen har gjorts vid knappt halva maxeffekten på grund av ovan beskrivna begränsningar i mätningar. En beräkning av betydelsen av den lägre effekten pekar på att EU-verkningsgraden vid 5 kW maxeffekt skulle kunna ligga 1.5 % högre.

Dynamiskt test

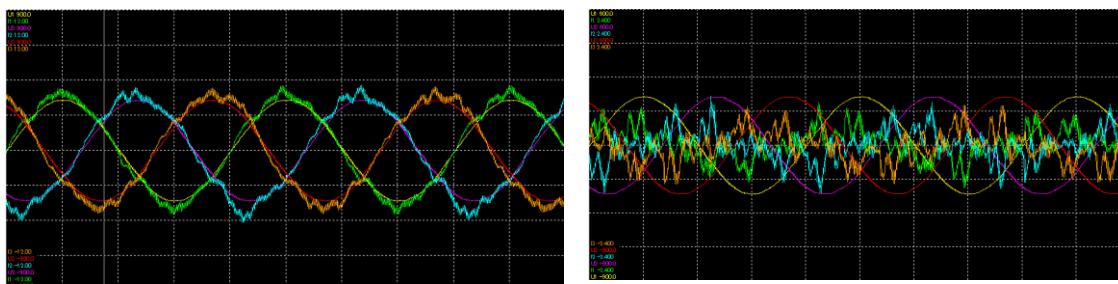


Figur 55 Testresultat för dynamisk test för Sunny SMA

Medelvärde för 10_50 % och 30_100 % test: 99,3%

Resultat för 0_10%: 97,2%

Strömkurvform



Figur 56 Kurvform hög respektive låg ström för Sunny SMA

Strömdistorsionen mättes till

THDI = 80-120 % vid 0,25 A

THDI = 6,3-7,9 % vid 3,4 A

Centrosolar Powerstoc 5.5 Excellent

Tabell 61 Elektrisk specifikation – Powerstoc

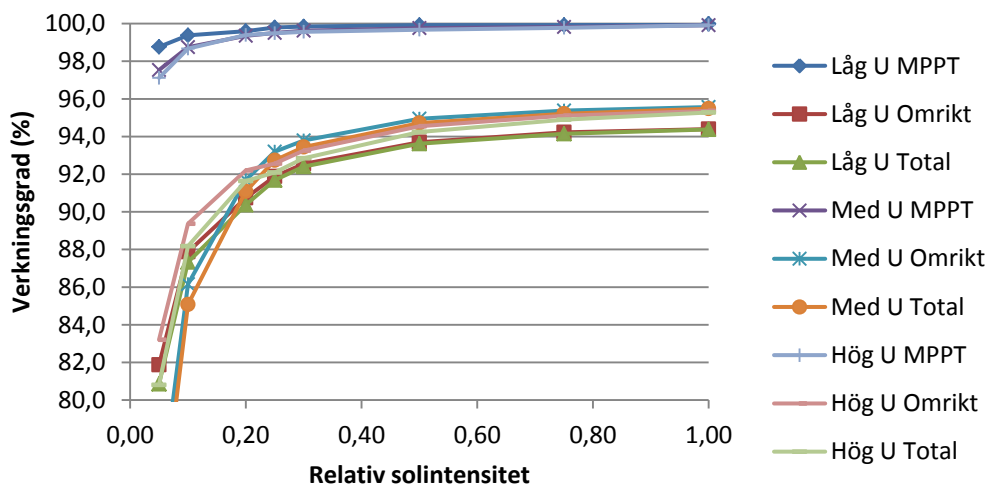
	$P_{AC,r}$ (W)	U_{MPPmin} (V)	$U_{DC,r}$ (V)	U_{MPPmax} (V)	U_{DCmax} (V)	I_{DCmax} (A)	Faser	#MPPT	$P_{AC,r}$ (W)
Specifikation	5500	360	605	850	950	9	3	3	5500
Använda värden	2900	360	680	760				1	2900

Tabell 62 Övrig data - Centrosolar

	Trans- formator	Max Verkningsgrad η_{max}	EU verkningsgrad η_{EU}	Inköpspris (SEK inkl. moms)
Specifikation	Nej	96,2 %	95,7 %	16 428

Övrig information: Enheten har tre separata MPP tracker, endast en har använts vid test. Högsta MPP testspänning har begränsats av $0,8U_{DC, max}$. Högsta testeffekt har begränsats av kombinationen högsta tillåtna ström och lägsta MPP spänning.

Statiskt test

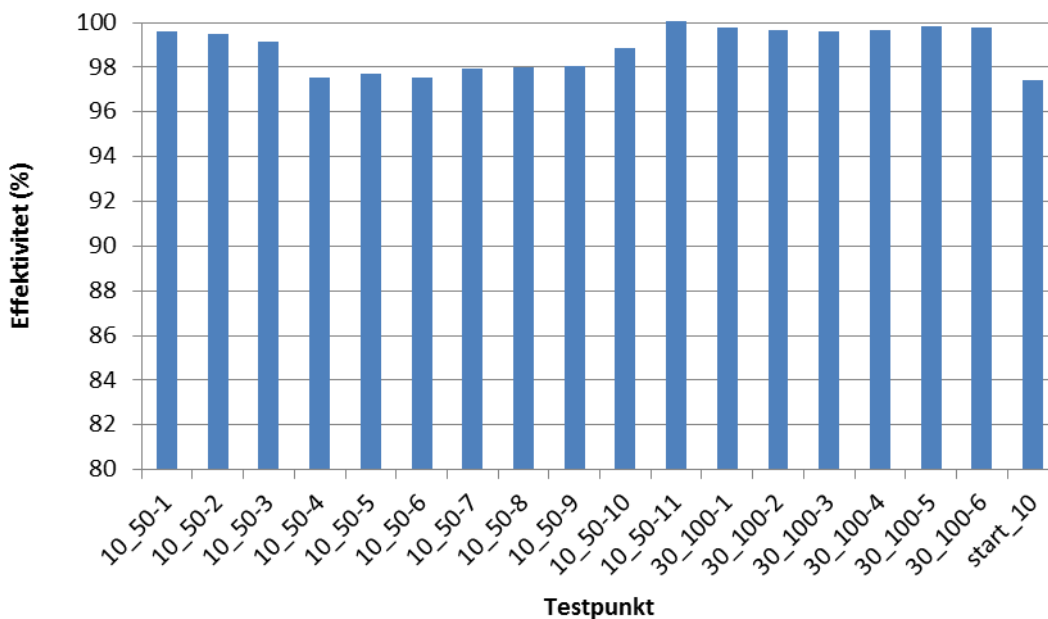

Figur 57 Verkningsgrad vid statiskt prov för Centrosolar

Tabell 63 Sammanfattning av statiskt test: Europeisk verkningsgrad

U_{MPP} Level (V)	"European Static MPPT Efficiency" (%)	"European Conversion Efficiency" (%)	"European Overall Efficiency" (%)
360	99.8	92.6	92.5
680	99.6	93.4	93.0
760	99.5	93.6	93.2

Kommentarer: Uppmätt EU verkningsgrad, η_{EU} ligger i sin bästa punkt 2,5 % lägre än vad som är uppgivet i specifikationen. En del av förklaringen till den relativt stora avvikelserna kan vara att mätningen har gjorts vid cirka halva maxeffekten på grund av ovan beskrivna begränsningar i mätningar. En beräkning av betydelsen av den lägre effekten pekar på att EU-verkningsgraden vid 5,5 kW maxeffekt skulle kunna ligga 1.5 % högre.

Dynamiskt test

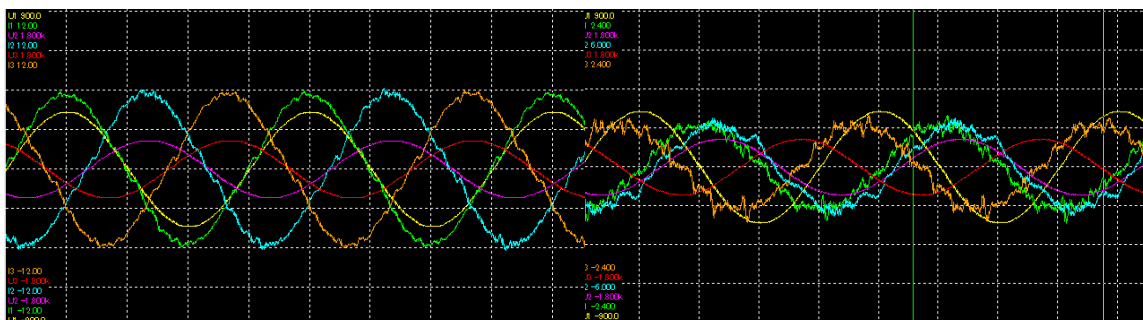


Figur 58 Testresultat för dynamisk test för Centrosolar

Medelvärde för 10_50 % och 30_100 % test: 99,0%

Resultat för 0_10 %: 97,4 %

Ström kurvform



Figur 59 Kurvform hög respektive låg ström för Centrosolar

Strömdistorsionen mättes till

THDI = 4-5 % vid 0,5 A

THDI = 11-26 % vid 4 A

Omnisol-3k-TL

Tabell 64 Elektrisk specifikation - Omnisol

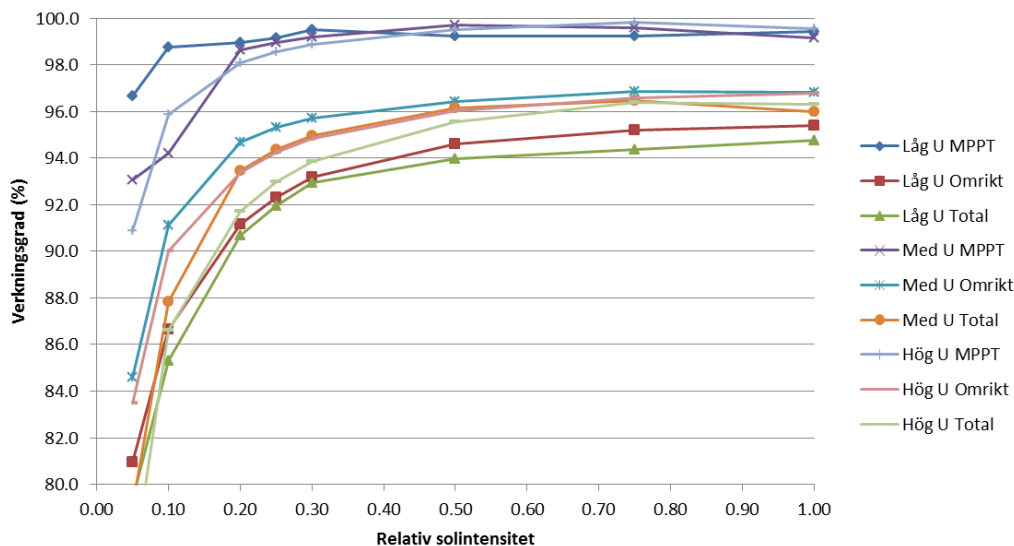
	$P_{AC,r}$ (W)	U_{MPPmin} (V)	$U_{DC,r}$ (V)	U_{MPPmax} (V)	U_{DCmax} (V)	I_{DCmax} (A)	Faser	#MPPT	$P_{AC,r}$ (W)
Specifikation	3000	120	360	500	590	19/19	1	2	3000
Använda värden	1550	150	360	472		15		1	1550

Tabell 65 Övrig data – Omnisol

	Trans- formator	Max Verkningsgrad η_{max}	EU verkningsgrad η_{EU}	Inköpspris (SEK inkl. moms)
Specifikation	Nej	97,6 %	97,0 %	10 200

Övrig information: Enheten har två separata MPP tracker, endast en har använts vid test. Högsta U_{MPP} testspänning har begränsats av $0,8U_{DC, max}$. Högsta testeffekt har begränsats av kombinationen högsta tillåtna ström och lägsta MPP spänning. Uppgifter om verkningsgrad varierar något.

Statistiskt test



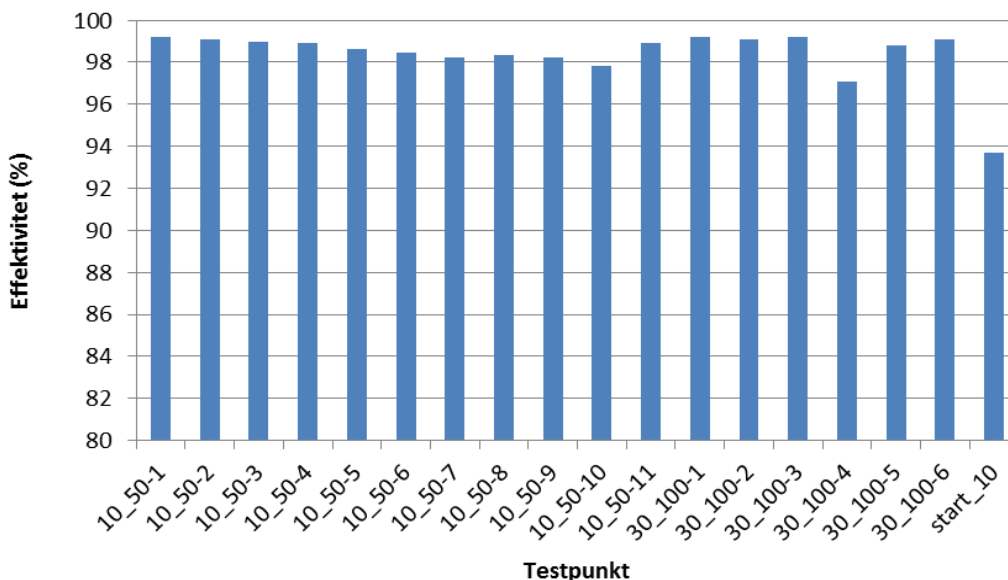
Figur 60 Verkningsgrad Omnisol 4k-TL

Tabell 66 Sammanfattning av statistiskt test: Europeisk verkningsgrad

U _{MPP} Level (V)	"European Static MPPT Efficiency" (%)	"European Conversion Efficiency" (%)	"European Overall Efficiency" (%)
150	99,2	93,3	92,5
360	98,9	95,5	94,5
472	98,8	95,0	93,9

Kommentarer: Uppmätt EU verkningsgrad ligger i sin bästa punkt 2,5 % lägre än vad som är uppgett i specifikationen. En del av förklaringen till den relativt stora avvikelsen kan vara att mätningen har gjorts vid knappt halva maxeffekten på grund av ovan beskrivna begränsningar i mätningar. En beräkning av betydelsen av den lägre effekten pekar på att EU-verkningsgraden vid 3 kW maxeffekt skulle kunna ligga 0,9 % högre.

Dynamiskt test

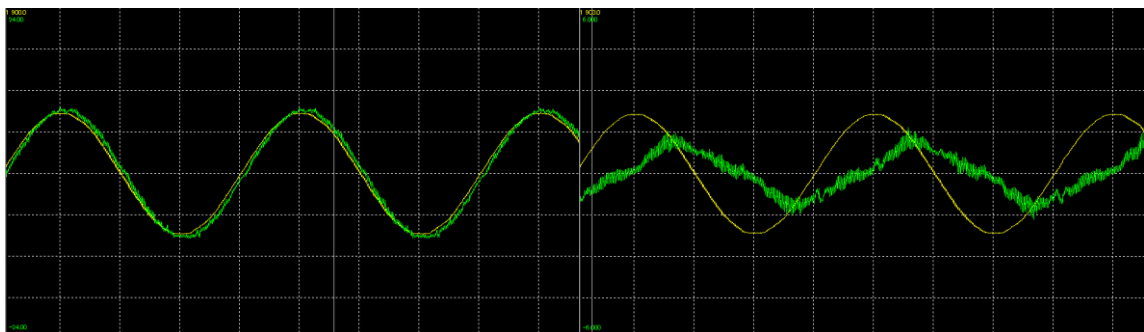


Figur 61 Testresultat för dynamisk test för Omniksol

Medelvärde för 10_50 % och 30_100 % test:98,7%

Resultat för 0_10%: 93,7%

Strömkurvform



Figur 62 Kurvform hög respektive låg ström för Omniksol



Strömdistorsionen mätes till

THDI = 2,1-2,4 % vid 6,6 A

THDI = 8-10 % vid 1,4 A

Bilaga 3 – Systempaket 3, 5 och 10 kW

3kW system	Modul	Växelriktare		P [kWp]	# moduler	# MPPT	#strängar MPPT1	#strängar MPPT2	Vmpp [V]	Imp [A]	Amoduler [m2]	PR	Energi [kWh/år]	Spec. [kWh/kWp/år]	
1	ReneSola	Samil Power	3000 TL	3	12	1	1	0	323	8,3	19,5	90,2	3261	1087	
2	ReneSola	Involar	MAC250	3	12	1	12	0	27	100	19,5	87,1	3149	1050	
3	SunPower	Steca	StecaGrid 3000	3	10	1	1	0	486	6,1	16,3	92,2	3636	1112	
4	PPAM	Omnik	Omniksol-3k-TL	3	13	1	1	0	338	8,1	20,9	86,6	3122	1044	
5	PPAM	Steca	StecaGrid 3000	3	15	1	1	0	390	8,1	24,1	88,1	3664	1062	
6	JA Solar	Enphase	M 215-60-230-S22	3	12	1	12	0	28	101	19,6	91,1	3428	1099	
7	JA Solar	Fronius	Symo 3.0-3-S	3	12	1	1	0	331	8,4	19,6	89,1	3351	1074	
8	Panda Powered by Yingli	Omnik	Omniksol-3k-TL	3	12	1	1	0	334	8,7	19,6	90,9	3549	1095	
9	SolarWorld	Involar	MAC250	3	12	1	12	0	28	95	20,1	87,6	3167	1056	
10	SolarWorld	Fronius	Symo 3.0-3-S	3	12	1	1	0	339	7,9	20,1	89,2	3226	1075	
11	Centrosolar	Samil Power	3000 TL	3	12	1	1	0	326	8,4	19,7	88,1	3251	1062	
12	QCELLS	Enphase	M 215-60-230-S22	3	12	1	12	0	27	98	20	91	3293	1098	
13	QCELLS	Fronius	Symo 3.0-3-S	3	12	1	1	0	329	8,1	20	88,7	3207	1069	
5kW system															
14	SunPower	SMA	STP 5000 TL	5	16	2	1	1	389	6,1	26,1	91,1	5744	1098	
15	Panda Powered by Yingli	SMA	STP 5000 TL	5	20	1	1	0	566	8,6	32,7	91,1	5634	1098	
16	SolarWorld	Centrosolar	Powerstocc Excellent 5.5	5	20	1	1	0	565	7,9	33,5	89,1	5371	1074	
17	Centrosolar	Centrosolar	Powerstocc Excellent 5.6	5	20	1	1	0	544	8,4	32,9	87,4	5375	1054	
18	QCELLS	SMA	STP 5000 TL	5	20	1	1	0	549	8,2	33,4	90,8	5475	1095	
10kW system															
19	ReneSola	Power-ONE/ABB PVI-10.0	PVI-10.0	10	40	1	2	0	538	17	65,1	90,8	10952	1095	
20	SunPower	Power-ONE/ABB PVI-10.0	PVI-10.0	10	32	2	2	2	389	12	52,2	91,6	11556	1104	
21	PPAM	SunGrow	SG_10KTL-EC	10	44	1	2	0	572	16	70,7	87,7	10707	1058	
22	JA Solar	Power-ONE/ABB PVI-10.0	PVI-10.0	10	38	1	2	0	524	17	62,1	90,3	10757	1089	
23	Panda Powered by Yingli	SunGrow	SG_10KTL-EC	10	38	1	2	0	528	17	62,1	91,9	11368	1108	
24	Centrosolar	SunGrow	SG_10KTL-EC	10	40	1	2	0	543	17	65,7	89,1	10960	1075	

Bilaga 4 – Metodbeskrivning – Snö- och istest

Solcellsmodulerna monteras 3 och 3 på ett ordinarie installationsstativ i en klimatkammare för att kunna efterlikna verklig installation och ett kontrollerat klimat under hela provningen, se Figur 63 för mätupställning före snöbegjutning. Montering av modulerna med avseende på infästningspunkter har gjorts enligt installationsmanualerna med infästningarna gjorda på modulernas långsidor.



Figur 63 Modulernas montering i klimatkammare under snö- och istest (modulernas infästningspunkter är markerade med röda cirklar)

Utförande

För att värdera hållbarheten mot snö- och isbildning så ska modulerna begjutas med snö vid ett kallt klimat tills ett snölager av 10 cm tjocklek har bildats på modulerna. Därefter höjs temperaturen i kammaren och hålls vid denna temperatur till dess att smältvatten börjat rinna längs modulernas glas, minst en liter från var modul per temperaturcykel. Det

kontrolleras att snön börjat smälta på samtliga moduler innan temperaturen åter sänks. Modulerna ska utsättas för 10 temperaturcyklningar där omgivningstemperaturen varierar mellan -20°C och 15°C, se Tabell 67. Rampningshastigheten på temperaturen är snabbast möjliga vilket motsvarar ca 1°C/ minut.

Snökanonen ska placeras med sitt munstycke 5 meter ifrån den främre kanten av den första modulraden och riktas i 45° lutning från horisontalplanet för att säkerställa en jämn snöspridning över alla testade moduler. Snötäckets tjocklek kontrolleras var 10e minut och vid behov riktas kanonen om för att säkerställa samma snötjocklek på alla moduler. I slutet av varje ”snöbegjutning” mäts o noteras snötäckets tjocklek på samtliga moduler 1 t.om 9 räknat från bakre vänstra hörnet. Vid behov ska även eventuellt överflödigt vatten ledas bort under tiningsperioden för att säkerställa att modulerna inte står i vatten.

Modulerna ska inspekteras visuellt före, under och efter avslutat prov för att identifiera eventuella fallerande ramar, sprickor i glas eller annat.

Tabell 67 Provningsutförande - snö- och istest

Cykel #	Provpunkt #	Omgivningstemperatur	Uppehållstid (min)	Gångtid kanon (min)	Snödjup på modul 1-9 i slutet av cykeln	Kommentar
1	1	Börvärde och start av snökanon vid -20°C	180			<i>Köldperiod</i> - säkerställ att tillräckligt mycket snö har bilats på glaset. Temperaturen i kammaren stiger uppskattningsvis med 15°C när snökanonen är igång
	2	10°C	60			<i>Tiningsperiod</i> - säkerställ att en del av snön har smält och att vatten bildats. Eventuellt överflödigt vatten ska ledas bort
...	...					
10	19	-20°C	180			<i>Köldperiod</i>
	20	10°C	60			<i>Tiningsperiod</i>

Bilaga 5 – Mätutrustningar och mätosäkerheter

Mätutrustningar

Solsimulator ENDEAS Quicksun 540Ei	SP inv. nr. BX42756
Mätenhet (Solsimulator) Quicksun Electronic Unit	SP inv. nr. BX42757
Uniformitetscell Uniformity Sensor M3	SP inv. nr. BX42758
Referensmodul Windon Wintatu255p	SP inv. nr. BX42759
DC-källa (Solsimulator) HP 6267B DC Power Supply	SP inv. nr. 500 499
Vötsch Klimatskåp VCS 7330-5/S	SP inv. nr. 902186
Datalogger (klimatskåp)	SP inv. nr. 300927
Chroma Solpanelsimulator 6215H-1000S	Snr. 00768
Chroma Solpanelsimulator 621100H600S	Snr. 00080
Yokogawa wattmeter WT1600	SP inv. nr. 503981
Holec strömtransformator 20A/5A, kl 0.2 S, snr C33057(L1), C33058(L2), C34353(L3)	

Mätosäkerheter

Ström (Solsimulator)	2,8 %
Spänning (Solsimulator)	0,5 %
Maxeffekt (Solsimulator)	3,0 %
Fyllnadsfaktor	6,6 %
Temperatur (Klimatskåp)	0,2 K
Relativ fuktighet (Klimatskåp)	1,5 % RH
Ström och effekt (Växelriktarprovning)	0,25%

Samtliga mätosäkerheter har beräknats enligt EA-4/16 med täckningsfaktorn $k = 2$.