

Kontaktperson RISE

Datum

Beteckning

Sida

Jon Persson
Energi och resurser
010-516 58 17
Jon.persson@ri.se

2021-10-05

2P03024-03/ P109947

1 av 113

Statens Energimyndighet
Jonas Pettersson
Box 310
631 04 ESKILSTUNA

Provning av solelsystem för villor

Slutrapport 2021



RISE Research Institutes of Sweden AB

Postadress

Besöksadress

Tfn / Fax / E-post

Box 857
501 15 BORÅS

Brinellgatan 4
504 62 BORÅS

010-516 50 00
033-13 55 02
info@ri.se

Detta dokument får endast återges i sin helhet, om inte RISE i förväg skriftligen godkänt annat.

Innehållsförteckning

1	Sammanfattning.....	4
2	Inledning.....	6
3	Val och upphandling av solelsystem	6
3.1	Teknikval	6
3.2	Projektets inramning och begränsningar	7
3.3	Upphandling.....	8
4	Anläggningarnas utformning.....	8
4.1	Introduktion av solelsystem	9
4.2	Grundläggande data.....	13
4.3	Montage: Estetik och byggnadsintegration.....	15
4.4	Modulteknik: monokristallint kisel och tunnfilm.....	16
4.5	Systemkostnader.....	16
5	Detaljer i systeminstallation.....	18
5.1	Förberedelse av takytor och läkt.....	18
5.2	Kabelförläggning	19
5.3	Kontroll före idrifttagning	37
5.4	Datainsamling, datalagring, presentation och larm	39
5.5	Märkning och skyltning	41
5.6	Dokumentation	42
5.7	Kvalitet och säkerhet verifierad genom provning och certifiering	46
5.8	Beställare, leverantör och installatör	49
6	Energiproduktion och mätresultat	50
6.1	Specifik energiproduktion (kWh/kWp) för de olika systemen.....	52
6.2	Avvikelse i energiutbyte enligt offert	53
6.3	Performance Ratio	54
6.4	Anmärkningar angående avvikande prestanda	55
6.5	Modultemperatur och koppling till energiproduktion.	57
6.6	Diffusverkningsgrad	62
6.7	Belastningsgrad av växelriktare.....	64
6.8	Egenanvändning och självförsörjning av solel.....	66
6.9	Batteriets funktion vid strömavbrott	71

7	Inspektion av solelsystem efter 1 års drift	73
7.1	Fotografering med värmekamera	73
8	Slutsatser och rekommendationer.....	76
8.1	Rekommendationer och förtydliganden om beställarens ansvar	76
8.2	Rekommendationer kring tekniskt utförande	76
8.3	Integrerat montage jämfört med utanpåliggande	77
8.4	Slutsatser från prestandamätningar.....	78
8.5	Slutsatser från inspektion efter ett års drift	79
	Bilaga 1. Upphandlingsunderlag	81
	Bilaga 2. Mätning och Datainsamling.....	95
	Bilaga 3. Fysiska takmått.....	97
	Bilaga 4. Bilder – noteringar vid inspektion efter 1 års drift.....	102

1 Sammanfattning

Många villaägare tilltalas av tanken på en egen solelanläggning som ett sätt att ta aktiv del i omställningen till ett hållbart samhälle och energisystem. Intresset återspeglas i att solceller installerade på villatak år 2020 svarade för cirka 50% av den totala svenska installationsvolymen och marknadstillväxten har de senaste fem åren varit mycket kraftig; mellan 55 och 80% ökning per år. Villamarknaden är det marknadssegment där kunderna är som mest beroende av att själva införskaffa den kunskap om tekniken och marknaden som de behöver för att kunna göra en bra affär. Det är också det segment där man hittar flest nystartade installatörs- och återförsäljarföretag. Mot denna bakgrund har Energimyndighetens Testlab de senaste tre åren gett RISE ett antal uppdrag som alla haft som mål att skapa underlag för mer välinformerade privatkunder och en ökad kvalitetsmedvetenhet på leverantörssidan.

Denna rapport redovisar upplägg, genomförande och resultat av det senaste av dessa uppdrag där RISE och Energimyndigheten planerat ett omfattande test av totalt nio olika solelsystem representativa för vad som erbjuds svenska villaägare. Testet har inneburit en noggrann uppföljning av bland annat arbetsutförande och teknikens funktionalitet i syfte att utförligt beskriva en mångfacetterad marknad, men också syftat till att identifiera eventuella kvarvarande generella brister.

Bland de nio systemen finns fyra system som bygger på tunnfilmsteknik och sex takintegrerade system. Urvalet motiveras med att diversiteten bland utanpåliggande system baserade på kiselteknik är mycket begränsad och att många integrerade lösningar kommit in på marknaden helt nyligen. RISE handlade sedan upp systemen med hjälp av de stöddokument och mallar som finns allmänt tillgängliga och följde leverantörernas installation och driftsättning av systemen vid RISE energilab i Borås. Systemens energiproduktion och prestanda har därefter mätts under ett helt års drift varpå systemens status inspekterats. Det minsta systemet i testet är 2,95 kWp och det största är 6,2 kWp, där det största även är försett med ett 5,7 kWh stort batteri.

Leveransen av solelsystem

Erfarenheterna ifrån installationsfasen tydliggör ett utbildningsbehov bland dem som arbetar med leveransen och installationen av systemen, och i synnerhet vad gäller byggnadsintegrerade system så krävs en bred förståelse för krav både rörande takläggning och elinstallation. Användning av tillgängliga mallar och referensdokument är ett bra stöd för såväl beställare som leverantörer för att nå ett slutresultat som svarar upp mot alla väsentliga krav. Detta kräver dock en mer än genomsnittligt påläst villaägare och ett alternativ kan vara en enklare tredjepartsbesiktning i samband med att anläggningen driftsätts.

Sammanställningen av produkttester och certifieringar visar att flera av de nya byggnadsintegrerade solcellssystem inte har genomgått lika omfattande tester som de mer etablerade, och det kan finnas anledning för beställaren att förhandla om starkare produktgarantier än normalt. Samtidigt får man vara beredd att betala lite mer för en takintegrerad och förhoppningsvis snygg och mer resurseffektiv installation, och lägga lite extra tid till planeringen för att integrationen med byggnaden ska bli bra. Utanpåliggande montage av standardmoduler är oftast billigare och kan göras med ett större utbud av produkter.

Prestandamätningar

Med antalet producerade kilowattimmar per installerad topp effekt (kWh/kWp/år) som mått på energiprestanda, så noteras en prestandavariation på cirka 15% mellan de olika systemen. De system som producerar mest i relation till sin installerade effekt är systemen med moduler baserade på monokristallin kisel. Undantaget är Borås Elhandels paket Hybrid som ligger något lägre, trots moduler med monokristallin kisel. Dock har detta system ett batteri kopplat på likströmsidan av växelriktaren, och inlagringen av solel i batteriet kostar lite omvandlingsförluster, vilket är del av förklaringen.

Det är ganska stor skillnad på hur mycket solcellsmodulerna värms upp då solen skiner på dem, vilket delvis beror på hur god ventilation av modulerna som monteringsmetoden sörjer för. Utanpåliggande solcellsmoduler är bättre ventilerade än byggnadsintegrerade och tenderar att inte bli lika varma. Relationen mellan uppmätt energiprestanda och uppmätt modultemperatur tycks dock vara underordnad andra skillnader mellan solelssystemen. Beräkningar visar att den uppmätta modultemperaturens avvikelse från 25°C bidrar till en förlust på mellan 1% - 6% av det årliga energiutbytet för de olika systemen i testet.

Egenanvändningen och självförsörjningen av solel beräknas för de enskilda systemen i relation till en antagen lastprofilen för ett hus som använder 16 400 kWh/år. Under dessa förutsättningar ser vi att för systemen utan batteri, är egenanvändningen på veckobasis som lägst 35% under sommaren och stiger sedan till 100% under vinterns mörka månader. Ju mer producerad solel, desto lägre grad av egenanvändning. Självförsörjningen å andra sidan närmar sig 47% under vissa sommarveckor, och går sedan ner till nära noll under vinterns mörka månader. Ju mer producerad solel (större system), desto högre grad av självförsörjning.

Solelssystemet Borås Elhandel paket Hybrid, med ett batteri som är konfigurerat för att optimera egenanvändningen och självförsörjningen av producerad solel, har en egenanvändning närmare 20%-enheter högre under utvärderingsperiodens ljusa månader relativt ett motsvarande system utan batteri. Batteriet höjer även självförsörjningsgraden på sommaren. Med nuvarande konfiguration är batteriet överksamt under vintern och ofta under nattetid då det inte finns något överskott av solel att lagra in, och skulle med en annan konfiguration kunna användas för att ge andra nyttor, så som t.ex. kapning av effektoppar, utökad reservkapacitet vid strömavbrott nattetid eller elnätstjänster.

2 Inledning

RISE har fått i uppdrag av Energimyndighetens Testlab att genomföra ett testprojekt för att belysa bredden av tekniklösningar bland de solelsystem för villasegmentet som finns tillgängliga på den svenska marknaden. Uppdraget gick ut på att definiera ett urval av solelsystem som speglar de valmöjligheter en villakund har, handla upp dessa med hjälp av de stöddokument och mallar som finns allmänt tillgängliga samt följa leverantörernas installation och driftsättning av systemen. Systemens energiproduktion och prestanda har därefter mätts under ett helt års drift. I denna rapport redovisas slutgiltiga resultat och erfarenheter från uppdraget efter ett års drift. Utvärderingarna är begränsade till en omfattning och inriktning som föreslagits av RISE i samråd med Energimyndighetens Testlab utifrån ett systemperspektiv.

Totalt har nio solelsystem som vardera är i storleken 3-6 kWp installerats vid RISE avdelning för Energi och Resurser i Borås, och driftsatts i slutet av april/början av maj 2020. Mätningarna avslutades i början av juni 2021. Systemen beställdes som nyckelfärdiga och har monterats på takkonstruktioner av trä som uppförts för att efterlikna förhållandena för villatak, om än i enklaste version, utan takutsprång, skorstenar, ventilationshuvar, fönster, m.m. Leverantörerna informerades inledningsvis om förutsättningarna och syftet med testet men RISE har därefter i möjligaste mån försökt att ta rollen som en villakund och leverantörskontakterna har primärt skett genom etablerade försäljningskanaler.

Rapporten syftar till att belysa det vi vill lyfta som god praxis, förtydliganden som behövs gällande både övergripande administrativa och tekniska aspekter, samt systemspecifika egenskaper som kan underlätta val av tekniklösning. Rapporten baseras på de erfarenheter som gjorts från första offertförfrågan till dess systemen varit i drift under ett år.

Projektet ingår i en serie av studier som RISE genomfört på uppdrag av Energimyndighetens Testlab. Tidigare studier redovisas i rapporterna "Besiktningar av mindre solcellsanläggningar i drift", rapport nr 9P04225-04, "Marknadsöversikt för solcellsmoduler, växelriktare, infästningsanordningar och kompletta system", rapport nr 9P04225-03, samt i rapporten "Sammanställning av incidenter i svenska solcellsanläggningar", rapport nr 9P04225-02. För en fördjupning kring marknadens olika produkter och tekniska lösningar och kring de brister som uppmärksammats i några svenska solcellsanläggningar hänvisas till dessa rapporter.

3 Val och upphandling av solelsystem

3.1 Teknikval

- Representation av på marknaden tillgänglig teknik, i huvudsak med avseende på solcellsmodulernas utformning och dess montering utanpå eller integrerat i taket. Ett av systemen utrustades med hybridväxelriktare, en så kallad power switch och batteri som möjliggör reservkraftsdrift.

- Val av leverantörer utifrån olika antagna kundgrupper, från Ikeas villapakets till energiföretagens paketerbudande och paket som marknadsförs som "deluxe" på olika sätt¹.
- Svenska tillverkare eller utformare av färdig produkt (Energihusgruppen, Lindab, Benders, Midsummer, Soltech)
- Blandning av system med strängoptimerare och med moduloptimerare.

3.2 Projektets inramning och begränsningar

Förutsättningarna att leveransen av testsystemen på ett realistiskt sätt ska efterlikna den för verkliga villasystem begränsas till viss del av projektets utformning.

- Även om RISE i möjligaste mån försöker agera "vanlig villakund", så är det fortsatt forskningsinstitutet RISE som handlar upp systemen inom ramen för ett testprojekt med offentlig finansiering från Energimyndigheten. Det finns ett intresse för projektet, en kommunikationsplan och en möjlighet till teknisk återkoppling som vore omöjlig vid en vanlig villainstallation. Det är uppenbart att detta påverkat kommunikationen med leverantörerna men eventuellt också prissättning och ambitionsnivån för det tekniska utförandet i leveransen.
- Systemens storlek begränsades till 3-6 kWp för att möjliggöra ett större antal medverkande leverantörer inom en given budget. Systemen med en nominell installerad effekt på 3-6 kWp är små i relation till de villasystem som säljs på den svenska marknaden som oftast ligger i intervallet 6-10 kWp. Med 3 kWp så tangeras den nedre gränsen för möjligheten att hitta trefasväxelriktare i standardutförande. Likaså blir proportionerna i kostnader något skev, då arbetstid för projektering, inköp, godstransport, resor och installation inte ändras i proportion till storlek på system. Det innebär att kostnaderna per installerad kilowatt för små system överlag blir högre.
- De taktytor som RISE förberett för installationen av solesystemen är helt rena; utan takutspång, skorstenar, ventilationshuvar, fönster, m.m. Taken är lättillgängliga, låga och med fast mark direkt vid takavslut, även om de är branta med en lutning på 45 grader. Taken förbereddes fram till och med ströläkt. Taken uppfördes på ett industriområde med bra access och mycket utrymme för godstransporter och kranbilar, vilket underlättade leverans och hantering av material.
- Taktytorna och testsystemen är inte utformade med hänsyn tagna till normalt förekommande förhållanden vad gäller takaccess och taksäkerhet för ett villatak. Diskussion kring taksäkerhet och tekniska lösningar för detta berörs inte i denna rapport, utan läsaren hänvisas till bland annat Taksäkerhetskommitténs särtryck "Taksäkerhet på tak med solpaneler"².
- RISE har förberett framdragning av el till en kopplingsdosa som placerats vid angiven installationsplats för vardera systems växelriktare. Den elinstallation som leverantörerna ansvarar för görs i sin helhet på denna installationsplats i direkt anslutning till växelriktaren. Likaså är det relativt korta avstånd mellan solcellsmoduler och växelriktare, med bra access till

¹ Ofta handlar "deluxe" om estetik, med homogent svarta moduler och möjlighet att följa systemet i diverse appar.

² https://www.taksakerhet.se/cdn.triggerfish.cloud/uploads/2019/10/Sartryck-branschregler_7-okt-2019.pdf

undersida tak, motsvarande vindsutrymmen. Vid en verklig villainstallation kan förutsättningarna vara mindre gynnsamma vilket medför att kabeldragning och elinstallation blir mer tidskrävande. Leverantörerna instruerades att betrakta kopplingsdosan som elcentral i en villa, och utforma sin egen elinstallation därefter med alla nödvändiga skydd och säkringar.

3.3 Upphandling

Kommunikationsprocessen med leverantörerna inkluderade ett förberedande steg med syfte att planera projektet i samråd med Energimyndighetens Testlab. RISE skickade ut en intresseförfrågan och bjöd brett in leverantörer att delta i projektet, samt efterfrågade en budgetoffert för de olika tekniklösningarna. Underlaget låg till grund för en övergripande ansats där önskad tekniklösning, systemstorlek och leverantör specificerades. Först därefter genomfördes beställningsprocess utformad att efterlikna förfarandet som en privat villakund genomgår, enligt stegen nedan.

3.3.1 Offertförfrågan

Testsystemen införskaffas som nyckelfärdiga system och offertförfrågan utformades utifrån de mallar som Aktea Energy AB tagit fram för Energimyndighetens räkning. Underlaget omfattar fem delar:

1. Offertförfrågan Småhusägare
2. Offertsammanfattning Småhusägare
3. Bilaga 1 – Uppdragets omfattning och utförande
4. Bilaga 2 – Betalning
5. Bilaga 3 – Övriga överenskommelser

Upphandlingsdokumenten hittas i bilaga 1 så som de utformades för testsystemen, och specificerar de krav som ställdes på tekniken i systemen, liksom på installationsarbetet, överlämnandet, dokumentation, märkning etc.

3.3.2 Offertmottagande

De flesta leverantörer besvarade offertförfrågan med ifylld ”Offertsammanfattning Småhusägare”, parallellt med egna dokument som beskriver deras erbjudande. Offerterna inkluderade i flera fall hänvisning till leverantörernas egna villkor och standarddokument rörande leveransen.

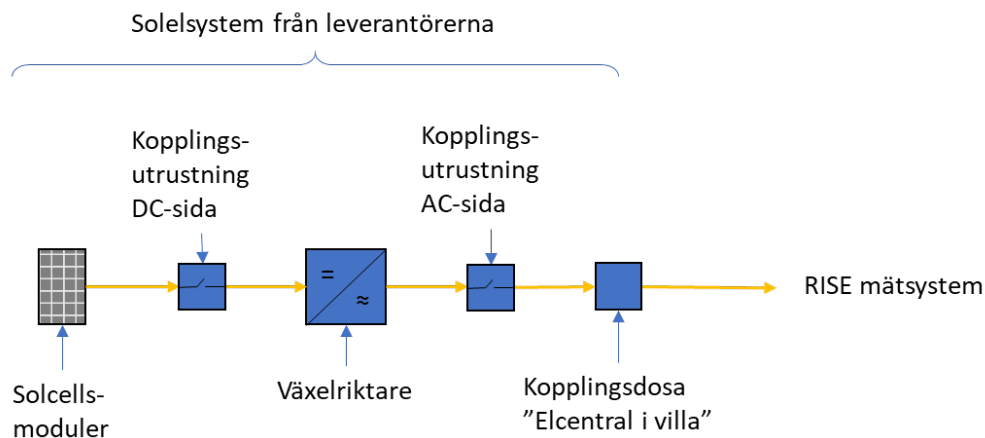
3.3.3 Beställning

Efter diskussion som huvudsakligen rörde tekniska och logistiska förtydliganden beställde RISE systemen som nyckelfärdiga installationer med hänvisning till utskickad offertförfrågan och respektive inkomna offerter.

4 Anläggningarnas utformning

Den principiella utformningen av solcellsanläggningarna illustreras i Figur 1 nedan. Solel genereras i solcellsmodulerna och matas som likström via kopplingsutrustning till växelriktaren. Växelriktaren omvandlar likström till växelström och matar elen vidare via kopplingsutrustning på växelströmssidan ut på nätet. Denna grundläggande systemutformning är densamma för alla systemen, med undantag för ett system där man på likströmssidan även har ett batteri kopplat till växelriktaren.

Detta kapitel redogör för utformningen av solcellsanläggningens delsystem och komponenter.



Figur 1. Övergripande funktionslayout för solcellsanläggningarnas utformning.

4.1 Introduktion av solesystem

Totalt installerades nio solesystem inom ramen för studien. Tre av systemen har utanpåliggande solcellsmoduler, medan de övriga sex använder någon form av byggnadsintegrerat takmontage. Bland de olika modulerna är fyra baserade på tunnfilm, medan övriga använder monokristallint kisel. Tre av systemen har moduloptimerare, de övriga använder strängväxelriktare med inbyggd optimering. Ett av systemen har också ett batteri anslutet till växelriktaren. Systemen betraktas i sin helhet, och ingen provning görs av modulerna, optimerarna, batteriet eller växelriktarna separat. Nedan ges en kort beskrivning av de olika systemen. Ytterligare tekniska specifikationer presenteras i avsnittet Grundläggande data nedan.

System 1: Benders SunWave

Benders SunWave är en svensktillverkad CIGS-tunnfilmsmodul som tagits fram i samarbete med Midsummer³. Cellerna är inkaplade i ett polymermaterial i stället för glas, vilket gör modulerna lätta och böjbara. SunWave är utformade att passa till Benders Palema betongpanna och läggs omlott med pannorna så att takets profil och betongpannornas estetik bevaras. Varje modul täcker fem tegelpannor och sammankopplas bakom tegelpannorna med kablar som fästs i träläkten. Modulerna fungerar tillsammans med standard strängväxelriktare.



Figur 2. Benders SunWave

³ Produkten saluförs nu även av Midsummer under namnet Midsummer WAVE.

System 2: Soltech Roof

Soltech Roof är en byggnadsintegrerad tunnfilmsprodukt som är utformad att passa tillsammans med Benders Carisma betongpanna. Produkten består av en glas-glas modul som monteras med en tillhörande metallram direkt i träläkten. Modulerna kopplas samman med kablar som fästs upp mot läkten. Om kablarna ges tillräckligt med spel så kan glasmodulen bytas utan att ramen demonteras. Modulerna ger en hög spänning och låg ström, vilket gör att systemet behöver utformas med flera strängar som parallellkopplas i ett separat kopplingskåp innan växelriktaren.



Figur 3. Soltech Roof

System 3: IKEA Solstråle Plus

Systemet är ett standardpaket som marknadsförs och säljs via IKEA och som både levereras och installeras av Svea Solar. Systemet består av utanpåliggande mono-kristallina moduler från en större tillverkare. Modulerna är kopplade till en strängväxelriktare.



Figur 4. IKEA Solstråle Plus

System 4: Lindab Solar Roof

Lindab Solar Roof är en produkt där en tunnfilmsmodul har limmats fast utanpå en bandplåt. Solcellsmodulen ligger i sin helhet på plåtens framsida, med kopplingsboxen i ovkant, vilket gör att plåten är helt plan på baksidan. Modulerna kopplas sida-vid-sida tillsammans med moduloptimerare, med kablar och kontakter fästa under nockplåt.



Figur 5. Lindab Solar Roof

System 5: Svea Solar Solar Stone

Solar Stone är en byggnadsintegrerad mono-kristallin solcellsmodul som är utformad att passa tillsammans med bland annat Benders Carisma betongpanna. Modulens fasta metallram skruvas i bärläkten och modulerna sammankopplas på baksidan med kablar som fästs upp i läkten. Modulerna kopplas tre och tre till moduloptimerare som även dessa monteras i läkten bakom modulerna.



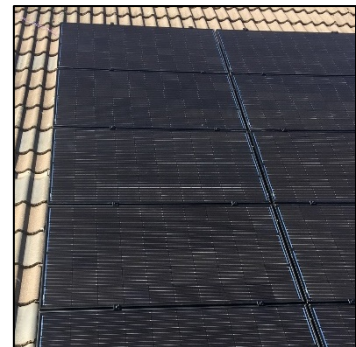
Figur 6. Svea Solar Solar Stone

System 6: Energihusgruppen⁴ Roofit

Roofit är en bandplåtsprodukt där plåten har laminerats ihop med de mono-kristallina solcellerna som tillsammans med en glasskiva på framsidan blir en integrerad del av modulen. Produkten finns i olika längder och med kopplingsboxen på baksidan. Modulerna kopplas med kablar som hängs i läkten bakom plåten, och strängen ansluts till en strängväxelriktare.

Figur 7. Energihusgruppen
Roofit**System 7: Borås Elhandel Paket Hybrid**

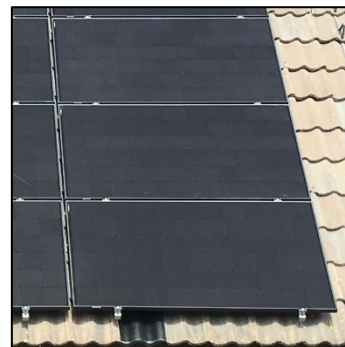
Solcellsdelen i systemet från Borås Elhandel består av utanpåliggande, monokristallina moduler. Växelriktaren är en hybridväxelriktare till vilken ett litiumjonbatteri har anslutits. Kompletteringen är dels avsedd att öka andelen solel som används på plats, dels för att tillhandahålla reservkraft i händelse av strömbrott. För att säkerställa jordning av elinstallationerna då systemet används som reservkraft så ingick i systemleveransen även grävning, etablering och uppmätning av ett lokalt jordtag.

Figur 8. Borås Elhandel Paket
Hybrid

⁴ Produkten saluförs numera i PLW Energihus.

System 8: Kraftpojckarna, Paket Energibolag

Kraftpojckarna är primärt en grossist för solcellprodukter och levererar bland annat flera av de system som de stora energibolagen säljer. Systemet motsvarar ett paket med homogent svarta, utanpåliggande, monokristallina solcellsmoduler som ansluts med moduloptimerare.



Figur 9. Kraftpojckarna, Paket Energibolag

System 9: Midsummer BOLD

Midsummer BOLD är en byggnadsintegrerad tunnfilmsmodul, där cellerna, likt i Benders SunWave är inkaplade i ett polymermaterial i stället för glas. Det gör modulen lätt och böjbar. Modulen har ingen ram och kopplingsboxen sitter på framsidan. Kopplingsboxar och kabelanslutningar förläggs under en vertikal täckplåt som sätts mellan modulkolumnerna. Växelriktaren är en hybridväxelriktare där det finns framtida möjlighet att ansluta ett batteri.



Figur 10. Midsummer BOLD

4.2 Grundläggande data

Tabell 1 Grundläggande data över de testanläggningar som installerats inom ramen för projektet.

	Syst. 1	Syst. 2	Syst. 3	Syst. 4	Syst. 5	Syst. 6	Syst. 7	Syst. 8	Syst. 9
Leverantör:	Benders	Soltech	IKEA	Lindab	Svea Solar	Energihusgruppen	Borås Elhandel	Kraftpojkarna	Midsummer
Produkt:	SunWave	Roof	Solstråle Plus	Solar Roof	Solar Stone	RoofIt	Paket Hybrid	Paket Energibolag	BOLD
Installerad solcellseffekt ⁵ , [Wp]	3080	2975	3900	3000	4080	3245	6200	4800	3289
Systemyta [m ²]	28,3	26,6	19,8	38,2	24,3	21,2	33,8	25,6	31,5
Specifik systemyta [m ² /kWp]	9,19	8,94	5,08	12,7	5,96	6,53	5,45	5,09	8,33
Modulteknik:	Tunntilm (CIGS)	Tunntilm (CdTe)	Mono ⁶	Tunntilm (CIGS)	Mono	Mono	Mono	Mono	Tunntilm (CIGS)
Växelriktare (nom. AC-effekt):	Fronius Symo 3.0-3-S 3kW	Fronius Symo 3.0-3-S 3kW	GoodWe GW4000-DT 4kW	SolarEdge SE5k 5kW	SolarEdge SE4k 4kW	Fronius Symo 3.0-3-M 3kW	RCT Power Storage DC 6.0 6kW	SolarEdge SE4k 4kW	Huawei ⁷ SUN2000-3KTL-M0 3kW
DC/AC - ratio	1,03	0,99	0,98	0,6	1,02	1,08	1,03	1,20	1,10
Batteri:	Nej	Nej	Nej	Nej	Nej	Nej	Ja (5.7 kWh)	Nej	Nej

⁵ I upphandlingen efterfrågades system med en nominell topp effekt på 3 kWp men av olika skäl har fyra av systemen högre installerad effekt. Detta påverkar förstås jämförelsen av systemens totala energiproduktion, men inte jämförelsen av deras specifika produktion räknad per installerad kWp.

⁶ Monokristallint kisel

⁷ Hybridväxelriktare. Växelriktaren i system 9 är förberedd för batterianslutning

	Syst. 1	Syst. 2	Syst. 3	Syst. 4	Syst. 5	Syst. 6	Syst. 7	Syst. 8	Syst. 9
Leverantör:	Benders	Soltech	IKEA	Lindab	Svea Solar	Energihusgruppen	Borås Elhandel	Kraftpojkarna	Midsummer
Produkt:	SunWave	Roof	Solstråle Plus	Solar Roof	Solar Stone	RoofIt	Paket Hybrid	Paket Energibolag	BOLD
Moduloptimerare: ⁸	Nej	Nej	Nej	Ja	Ja	Nej	Nej	Ja	Nej
Montage:	BIPV/BAPV ⁹	BIPV	BAPV	BIPV/BAPV	BIPV	BIPV	BAPV	BAPV	BIPV
Kostnad (inkl. moms) ¹⁰ [SEK]	104765	98750	91625	103451	143750	126438	211699	94266	167733
Specifik kostnad [SEK/kWp]	34015	33138	23494	34484	35233	38964	34073	19639	50998
Specifik kostnad [SEK/m ²]	3702	3712	4628	2708	5916	5964	6250	3682	5325

⁸ Valet mellan att inkludera moduloptimerare eller inte har stått varje leverantör fritt och alla system kan tekniskt sett förses med moduloptimerare

⁹ BIPV: Byggnadsintegrerad solcellsmodul, BAPV: Solcellsmoduler installerade utanpå byggnadens tak eller fasad. Förkortningarna är vedertagna termer inom branschen, men en tydlig definition saknas.

¹⁰ Pris för nyckelfärdigt system, utan subventioner.

4.3 Montage: Estetik och byggnadsintegration

Rent tekniskt skall en byggnadsintegrerad solcellsmodul (BIPV) ersätta annat tak- eller fasadmateriäl och utgöra en del av byggnadens skal som utöver kraftgenerering även fyller en funktion i byggnaden så som specificeras av Europaparlamentets och rådets förordning 305/2011 (Byggproduktförordningen)¹¹. För de flesta av de produkter som ingår i testet och som monteras på läkt med underliggande takpapp så kan deras funktion som väderskydd jämföras med takpannor eller bandplåt. Fyra produkter (Soltechs Solar Roof, Svea Solars Solar Stone, Energihusgruppens Roofit och Midsummers BOLD) uppfyller definitionen av att vara fullt byggnadsintegrerade, vilket innebär att solcellsmodulen, om den avlägsnas, måste ersättas av en annan produkt för att skyddet av taket ska förbli intakt. Mer allmänt brukar dock termen byggnadsintegrerat även användas för att beskriva system som rent estetiskt utformas så att de smälter väl samman med byggnaden, eller som på annat sätt skiljer sig från vanliga moduler som monteras utanpåliggande på befintliga tak. De två lösningarna från Benders och Lindab har mer av en estetisk integrering tillsammans med den vanliga taktäckningen, i Benders fall betongpannor, i Lindabs fall falsad plåt. Solcellerna utgör dock i sig själva inte en nödvändig del av byggnadens skyddande skal.

Kostnadsbesparingen för den taktäckning solcellerna ersätter är marginell i relation till systemkostnaden i stort, och valet av en byggnadsintegrerad lösning styrs främst av estetiska preferenser och en strävan efter en installation där solcellsmodulerna smälter in väl med taket i övrigt. Materialbesparingen som man åstadkommer med att ersätta annan täckning minskar i de flesta fall utnyttjandet av ändliga resurser. Produkter för byggnadsintegrering utgör i dagsläget en liten marknadsandel där det är viktigt att soleininstallationen av olika skäl är diskret, varvid de estetiska egenskaperna är avgörande. En BIPV produkt som är flexibel och kan justeras till att passa med olika takutformningar och mått kan ytterligare skapa förutsättningar för både en estetisk tilltalande installation och minskat behov av specialanpassade takavslut eller övergångar till närliggande byggnadsdelar. Exempel på detta är möjligheten att lägga Soltech Solar Roof och Benders SunWave i tegeltak med olika läktavstånd som anpassas efter höjden på taket, eller möjligheten till olika modulängder från Energihusgruppens Roofit och Lindab Solar Roof.

Aspekter som berörs i senare avsnitt är de tillkommande krav på kunskap om takläggning som ställs på de soleininstallatörer som lägger ett byggnadsintegrerat solesystem, eller för den delen kunskap om solesystem bland de takläggare som finner att deras vanliga takmaterial nu också utgör en elproduktionsanläggning. Det faktum att själva elinstallationen ofta förläggs svåråtkomligt och inträngt kan medföra tekniska risker och begränsade möjligheter till inspektion, men inbyggnaden innebär samtidigt att kablar, kontakter och kopplingsboxar är mindre utsatta för väder och vind. De formella tekniska kraven på en byggnadsintegrerad solcellsprodukt skiljer sig även något ifrån de som gäller produkter för utanpåliggande installation då de även fyller funktion som byggnadsmateriäl. Gällande standarder och krav lyfts fram i kapitel 5.7.

¹¹ Svensk Elstandard, SS-EN 50583-1 "Byggnadsintegrerade solceller – Del 1 Moduler", 2016

4.4 Modulteknik: monokristallint kisel och tunnfilm

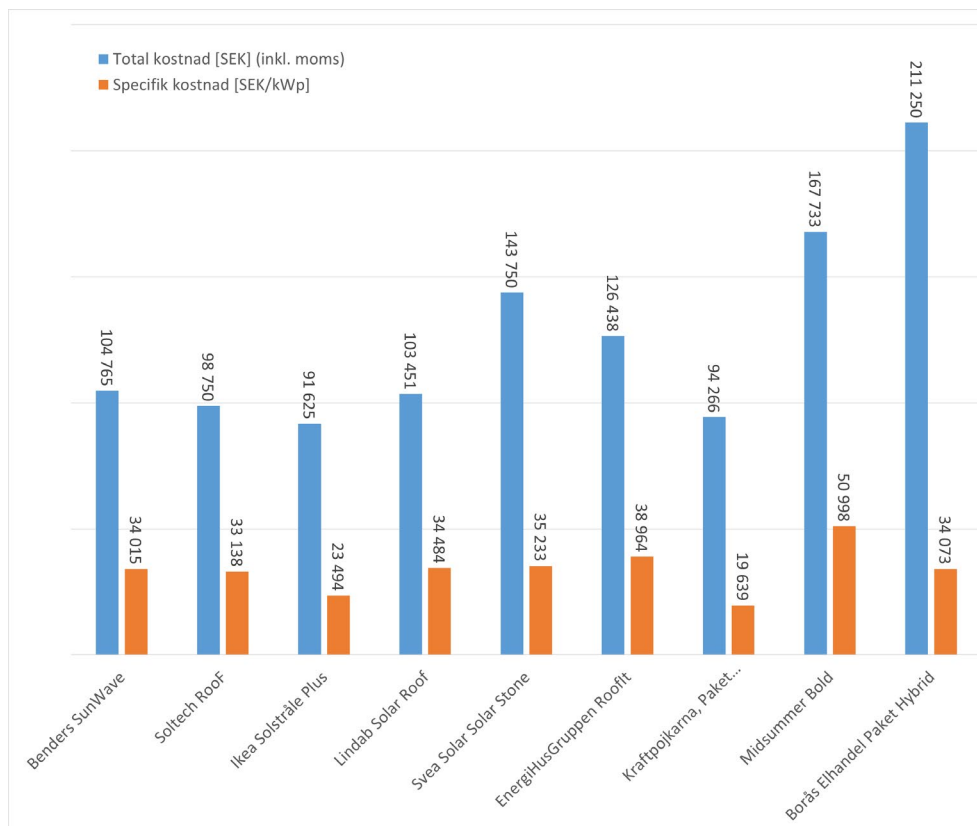
Det har skett en snabb förändring av marknaden för kristallina kiselmoduler. För bara några år sedan var majoriteten av de solcellsmoduler som såldes i Sverige av polykristallint kisel, medan monokristallina kiselmoduler med sin lite högre verkningsgrad och sin mer homogena färgsättning ansågs tillhöra lite av ett premiumsegment. Produktionen globalt har till stor del lagts om till monokristallin kisel, och idag importeras och säljs nästan inga polykristallina kiselmoduler i Sverige.

I och med att valet av solesystem i testet syftade till att visa bredden av valmöjligheter som en villakund har, inklusive flertalet byggnadsintegrerade lösningar, så är andelen tunnfilmsbaserade system i testet (4 av 9) mycket högre än andelen tunnfilmsbaserade solesystem på den svenska marknaden i stort (under 5 %). I dagsläget är standardmoduler med monokristallint kisel dominerande i såväl riktigt stora som i små anläggningar.

4.5 Systemkostnader

I den initiala kommunikationen med systemleverantörerna betonades att RISE önskade köpa in systemen nyckelfärdiga till ett fullvärdigt marknadspris. Kostnaderna som presenteras är dock att betrakta som indikativa och påverkas av de anpassade och delvis fiktiva förutsättningar som projektet skapat och som beskrivs i avsnitt 3.2 ovan.

Det uppskattade marknadspriset för ett villasystem på 5 kW med standardmoduler var 2019 17 900 kr/kWp inklusive moms, utan subventioner. De två system som med rimlig rättvisa kan jämföras mot denna kostnad är systemen från Ikea och Kraftpojarna, båda med moduler monterade utanpå tegeltaket. De byggnadsintegrerade systemen ligger mellan 33 000 och 51 000 kr/kWp och kan kostnadsmissigt jämföras med systemet från Borås Elhandel i vilket standardsystemet kompletterats med ett batteri, ett separat jordtag och system för att kunna fungera som reservkraftverk i ö-drift.



Figur 11. Grafen visar den totala kostnaden för installerat och färdigt system, samt motsvarande kostnad relativt den installerade effekten av solcellsmoduler. Se Tabell 1 för utformning av respektive system. Kostnaderna är inklusive moms och utan de bidrag som eventuellt kan vara tillgängliga för en villakund.

4.5.1 Kostnader för drift och underhåll

Inget av systemen förväntas ha några löpande kostnader för drift och underhåll. Framtida kostnader förväntas primärt röra byte av växelriktare, då denna beräknas ha kortare livslängd (och garantitid) än solesystemet i stort. Likaså har batteriet från Borås Elhandel en produktgaranti på 10 år, och en prestandegradering som delvis är avhängigt av hur det används. Kostnaden för batteriunderhåll eller batteribyte under solesystemets livslängd har därför inte kunnat bedömas.

5 Detaljer i systeminstallation

En mycket viktig aspekt vad gäller den övergripande kvaliteten och tillförlitligheten för en solelanläggning ligger i hur väl utformade installationslösningarna är och hur noggrant själva hantverksutförandet är. Även om det finns riktlinjer för hur en solelanläggning skall utföras, så är branta tak en utmanade plats att planera en elinstallation för. Avsnitten som följer berör några viktiga aspekter för att anläggningen i sin helhet ska kunna fungera på ett betryggande sätt under hela sin livslängd.

5.1 Förberedelse av takytor och läkt

Solelsystemen installerades alla på takytor som lutar 45° och är riktade mot söder. Takunderlag utgörs av råspont, takpapp och ströläkt. Bärläkten lades i varierande omfattning tillsammans med leverantörerna för att passa med de olika utformningarna av solcellsmoduler. Undantaget är Midsummer BOLD som lades utan läkt, och systemen med utanpåliggande moduler som erbjöds färdiga tegeltak.

Just förberedelsen av bärläkten var lite av en stötesten i kommunikationen med leverantörerna. Det är flera mått som behöver bli rätt för att de integrerade solcellsmodulerna ska få ett bra stöd av bärläkten och ligga rätt på taket, i relation till varandra och i relation till takavsluten. RISE satte ströläkten tillsammans med leverantörerna då de anlät, vilket ledde till ungefär en halv dags fördröjning innan själva modulerna kunde börja läggas.

RISE hade dessutom genomgående beställt standardläkt med dimensionen 42 x 35 mm, vilket krävde viss justering gentemot nominella mått i montageanvisningarna för bland annat Soltech Roof. Dessutom behövde exempelvis Svea Solar ha dubbla ströläkt för att få en större luftspalt i montaget av Solar Stone. Bedömningen är att installationstiden i stort kortades i och med att RISE avvaktat med att sätta ströläkten till dess att leverantörerna var på plats.

Soltech Roof modulerna är här monterade på dubbla ströläkt. Varannan bärläkt är lagd ståendes och positionen justerad för att ge stöd mitt under modulen. Avstånden mellan bärläkten anpassas så att varje modul får ett lämpligt överlapp med underliggande rad. I och med att läkten som användes inte hade samma dimension som den i montageanvisningarna så fick måtten anpassas på plats, vilket initialt tog lite tid.



Figur 12. Läktning för Soltech Roof. Måtten fick anpassas på plats för att ge bra stöd åt modulerna.

Utöver att hålla taket på plats, så utgör läkten i flera fall även stöd för uppfästning av likströmskablar och bygger upp en luftspalt som medger ventilation av solcellsmodulerna, vilket diskuteras ytterligare i följande avsnitt. Med anledningen av just ventilationen, och kylning av solcellsmodulerna, så rekommenderade vi som

beställare att läkt skulle användas även i de fall då montage av modulerna vore möjligt även utan läkt.



Figur 13. 6 av 9 solesystem installerades på takkonstruktioner som byggts specifikt för genomförandet av projektet. Två system samsas om utrymmet på ett tak som mäter 3,55 m x 20 m.

5.2 Kabelförläggning

5.2.1 Minimering av sling-area och kortslutningskydd

För att minimera risken för att åska ska leda till skadliga spänningspulser på likströmssidan så skall arean för den slinga som respektive sträng bildar göras så liten som möjligt. Det innebär i praktiken att man skall förlägga plus- och minuskabel nära varandra, och följa modulernas sammankoppling tillbaka från den sista modulen i slingan. En minimering av sling-arean minskar även risken för antennverkan och potentiell EMC¹² problematik. Alternativet, att gå med en kabel från vardera avslutande modul kortaste vägen till gemensam takgenomföring eller växelriktare, ska alltid undvikas, även då modultillverkare och leverantörer inte specifikt angett hur kablar ska förläggas.

Bland de nio system som installerades så var de flesta noga med att minimera sling-arean, och återledande kabel fästes upp rätt väg redan innan modulerna började monteras. Åtminstone två installationer har dock lämnats med onödigt stor sling-arean genom att man genat med återledande kabel. Det är viktigt att dokumentationen innehåller en ritning över hur kabelförläggningen på taket är gjord och hur de olika panelerna är sammankopplade i strängar.

¹² EMC=Elektromagnetisk kompatibilitet vilket bland annat handlar om att lednings- eller luftburna radiostörningar kan genereras av elektronisk utrustning



Figur 14. Återledande kabel ska om möjligt dras tillsammans med framledande kabel för att minimera den inneslutna "loop-arean", guldfärgad i figuren.

Tidigare hade Länsförsäkringar haft en skrivelse om att DC kablar ska förläggas med 10 cm separation för att undvika stående ljusbågar och antändning av brännbart material. Den specifika skrivningen är nu borttagen för att inte bidra till att anläggningar byggs med onödigt stor slingarea. Samtidigt ska kablarna förläggas så att risken för kortslutning eller jordfel minimeras. Separering av polerna kan vara en metod att i utsatta passager minska risken för kortslutning, ifall kablar exempelvis kläms eller skadas av vassa kanter.

5.2.2 Uppfästning av kablar

Förläggning och uppfästning av DC-kablar på taken, under modulerna, är en omdiskuterad och i många fall inte helt enkel uppgift. Liksom med all annan kabelförläggning, handlar det om att anordna kablarna så att de är skyddade och inte riskerar att skadas, eller bidrar till att användare eller andra delar av elinstallationen utsätts för risk. Solcellsmodulerna är ofta tänkta att sitta i 30-talet år, och då måste tillhörande kablage anordnas så att också det klarar minst samma tidsspann.

Om kabeluppfästningen inte görs ordentligt så riskerar fritt hängande kablar att röra sig och belastas genom egenvikt, temperaturvariationer eller vind, snö och regn som pressar in bakom modulerna. Kablarna kan då mattas ut, isoleringen skaver mot underliggande takbeläggning, kan fastna i vassa kanter eller ge belastning på kopplingsboxar och kontakter. Kablar längs med anläggningens kanter kan även utsättas för solens UV-strålning i onödigt stor omfattning vilket åldrar materialet i kablarna. Kablaget är i detta avseende bättre skyddat då det placeras bakom klimatskalet, men kravet på ordentlig kabeluppfästning gäller alla typer av solcellsanläggningar.

I synnerhet återföringskablar kan, beroende på montagesystem, arrangeras i förväg och fästas upp redan innan modulerna placeras. Svårare är det dock med själva modulablarna som inte kan kopplas ihop förrän modulen monteras. I många fall behövs ett visst spel i kablarna för att kunna hantera modulen, eller för att i framtiden kunna lyfta ut den, om så skulle behövas. Samtidigt är det ofta väldigt trångt att komma åt att arbeta under modulerna, och det kan vara svårt att nå till angränsande modul, beroende på takets, montagesystemets och strängarnas utformning. Med planering av arbete och systemutformning kan man dock underlätta hanteringen även av modulablarna.

5.2.2.1 Från buntband till metall-clips

I dagsläget används ofta stora mängder buntband för att fästa kablar mot skena, läkt, spikband eller andra anordnade stöd. Även om buntbanden utges för att vara UV-beständiga så blir de med tiden spröda och tappar i hållfasthet.

Det finns idag att köpa rostfria metall-clips som fästs på valfri plats längs med modulramen och i vilka kablar kan hängas upp. De utgör för systemet en liten kostnadspost, de underlättar arbetet, passar de flesta standardmoduler och i många lägen finns goda skäl att vara frikostig med dessa. Till flera av montagesystemen finns även speciellt utformade kabelfästen som kan ersätta buntband vid uppfästning av kablar mot skenorna och ge ett bra och mer pålitligt stöd. Bilderna nedan visar exempel på sådana kabelfästen till skenor och clips för infästning i modulram.

Därtill visas förberedelserna av en installation med standardmoduler och optimerare, där optimerare och återföringskabel arrangerats och fästs upp innan modulerna läggs. I och med att både moduler och optimerare kommer med anslutningskablar av standardlängd som man normalt inte klipper av och sätter nya kontakter på så blir det vid de flesta installationer ett visst spel i kablarna som behöver hanteras, vilket oftast innebär vikta kablar och många buntband.



Figur 15. Dedikerade fästeanordningar för kabelupphängning mot skena.



Figur 17. Rostfri metallclips för upphängning av kabel mot modulram.



Figur 16. Förberedelse av återföringskabel och optimerare innan montage av moduler.

Behovet av korrekt kabeluppfästning är för takintegrerade installationer i grunden det samma som för utanpåliggande, även om förutsättningarna i viss mån är annorlunda. Det är återigen viktigt med en välplanerad kabelförläggning och för flera av de integrerade systemen har man visat att man hittat relativt smidiga sätt att hantera kablarna under montagearbetet.

Bilderna nedan visar hur läkten används för uppfästning av kablar och hur de ansluter bakom modulerna. I de flesta fall används återigen buntband, även om man

i något fall har förlagt återledaren i rör. För några av systemen har man löst tillgängligheten under montagearbetet genom att man hanterar modulkablarna ovanför den rad av moduler man just installerar. Situationen med mycket spel i kablarna, många kontakter och många buntband är för flera av systemen densamma som vid utanpåliggande installationer. I synnerhet moduloptimerarna tenderar att samla många kablar som behöver hanteras, då en optimerare kan ansluta till både två och tre moduler.

Några av de integrerade systemen hanterar kablar och optimerare på framsidan av modulerna, vilket gör att man kan särskilja arbetsmomentet att lägga modulerna och att koppla ihop dem. Det gör det lättare att få till en korrekt och ordnad kabelförläggning, även om det naturligtvis fortsatt kräver en fungerande metod för hur det ska göras.



Figur 18. I montaget av Soltech Solar RooF är modulkablarna fästa i läkten, en rad ovanför. Det underlättar montage. Notera dubbla strökläkt för större luftspalt.



Figur 19. Kablar har förberetts inför att tegel och moduler ska placeras.



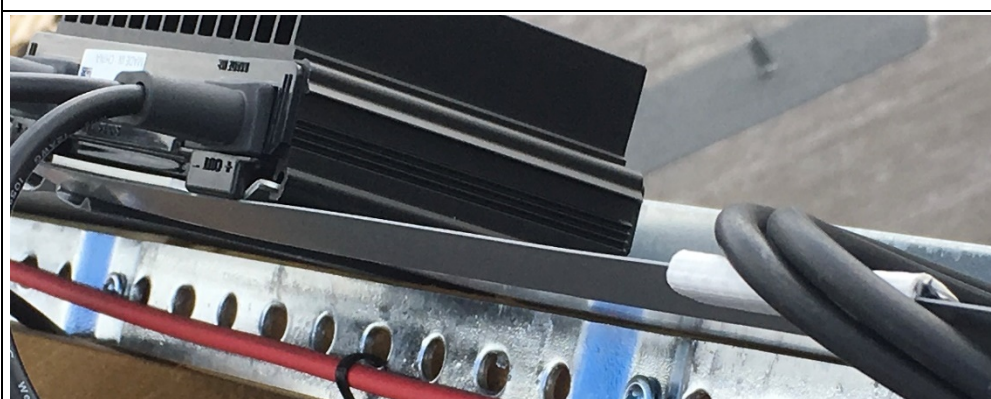
Figur 20. För Benders SunWave har modulerna inga fasta kablar, utan kontakterna sitter direkt i modulerna.



Figur 21. I Svea Solars Solar Stone system kopplas tre moduler till varje optimerare. Varje optimerare ansluter flera kablar och kontakter som behöver fästas upp. Funktionsjordning av modulramar ska inte göras med gul-grön kabel.



Figur 22. På Lindabs moduler monteras optimerare och kopplingsboxar på framsidan av solcellsmodulerna vilket underlättar arbetet vid montage.



Figur 23. Kablarna är bristfälligt infästa farligt nära vass plåtkant, med kort kantskydd, för att sedan släppas ner fritt hängande bakom modulerna.



Figur 24. Midsummers BOLD har kopplingarna på framsidan, och med lösa kablar kan längden anpassas till montage utan onödigt slack. Polseparerad takgenomföring.



Figur 25. Återföringskabeln ligger här helt parallellt med modulsammankopplingen, och täcks sedan med en täckplåt (ej monterad).



Figur 26. Kablarna ligger nära varandra, väl skyddade och lättåtkomliga på framsidan av modulerna under en täckplåt (ej ännu monterad).

5.2.3 Genomföringar

Genomföringen av kablarna från solcellsmodulerna ner till växelriktaren kräver i många fall att man gör hål i tätskiktet, samtidigt som genomföringen innebär att kablarna ofta passerar vassa kanter och ibland är svåra att lokalisera när de går in i byggnaden. Det är viktigt att genomföringen görs noggrant och skyddas både mot fukt och mekanisk påverkan.

Det tycks saknas bra och dedikerade produkter för ändamålet, och i några fall anpassas till exempel don för takavluftningar så att de kan utgöra ett skydd för genomföringen.



Figur 27. Polseparerad takgenomföring, där plus- och minusledare har var sin genomföring.



Figur 28. Ej polseparerad genomföring, skyddad med takavluftningsdon. Slangen med kablarna kläms mellan tegelpannorna.

5.2.4 Ventilation och tätskikt

Få av offerterna berörde garantier gällande takarbeten, och flertalet av produkterna saknar certifieringar som taktäckningsmaterial. Samtidigt kan de flesta montagesystem som fäster solcellsmodulerna i läkten göra det utan att underliggande takpapp penetreras, vilket gör att taktätheten inte riskeras på samma sätt som när montage görs genom tätskiktet.

Undantag är montage av de utanpåliggande modulerna för Kraftpojkarna och Borås Elhandel, där fästen som används för att hålla aluminiumskenorna, även kallade ”rails”, skruvas i råsponten. I synnerhet om taket har en klenare kvalitet av läkt så kan infästning i råspont eller underliggande regler vara ett bättre alternativ, förutsatt att man är noggrann med tätskiktet¹³. Hållarna för skenorna behöver även passera mellan takpannorna där de ligger omlott, vilket får till följd att tegelpannorna glipar lite om man inte sågar ur undersidan av tegelpannan för att ge plats åt stagen. Monteringsanvisningarna föreskriver oftast att ursågning ska göras vilket också gjordes på dessa system. Erfarenheter från besiktningar i fält visar dock att detta smutsiga och ganska tidskrävande arbete ibland inte blir gjort.

¹³ För att garantierna ska gälla är det viktigt att följa anvisningarna från tillverkaren av montagesystemet, både när det gäller tillåtna avstånd för klämmor som låser moduler vid rails och hur krokarna eller plattor ska fästas in i taket.



Figur 29. Stag skruvat ner i råsponten.

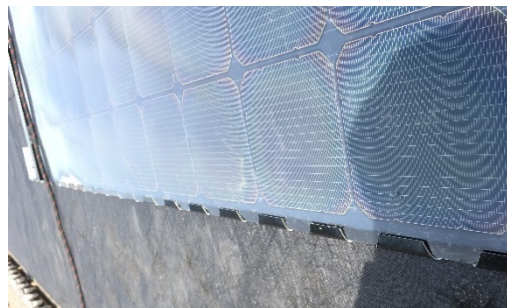


Figur 30. Stag som kläms i bärläkten.



Figur 31. Underkant tegelpanna är ursågad för att ge plats åt staget.

För båda systemen Midsummers BOLD och Lindabs Solar roof föreslog leverantörerna initialt att systemen skulle monteras utan läkt och luftspalt, direkt mot takpappen. I Lindabs fall landade diskussionen i en montering med läkt, medan Midsummers system monterades med lister och plåtarbeten som skruvas i underliggande råspont utan luftspalt.



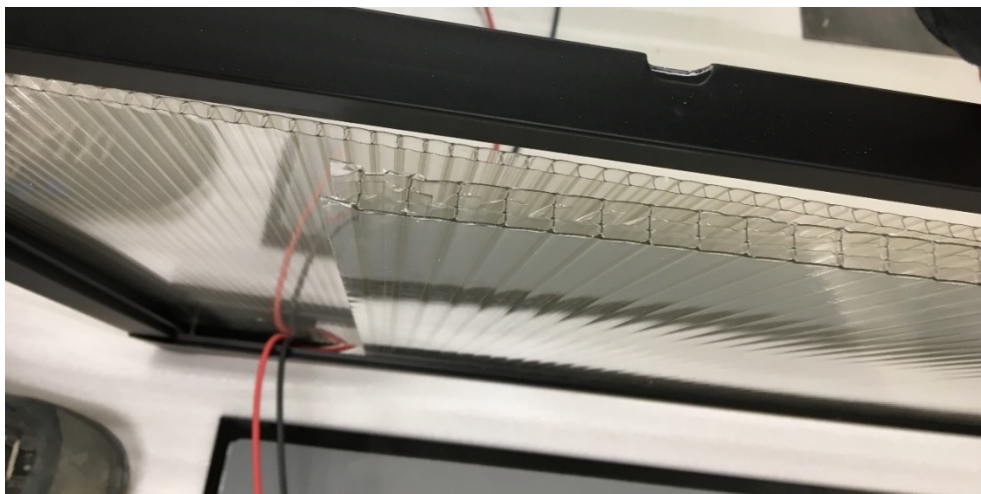
Figur 32. Midsummers installation direkt på takpappen.



Figur 33. Lindabs bandplåt vilar på läkt, men det saknas öppningar som tillåter cirkulation i luftspalten.

Läkt och luftspalt bidrar till en bättre ventilation av både tak och moduler om man kan säkerställa ett luftflöde i utrymmet. Även om Lindabs system monterades på läkt, så kläddes hela konstruktionen i plåt till att bli mer eller mindre en tät låda som hindrar genomflöde av luft. För de övriga byggnadsintegrerade systemen så har en luftspalt bibehållits vid takfoten, samtidigt somnockplåten tillåtit en luftpassage. Lösningen gör att man kan få ett luftdrag bakom modulerna, nerifrån och upp, i och med att modulerna värms av solen.

Soltech RooF har sina glas-glas moduler inskjutna i en metallram, med två skivor kanalplast monterad bakom solcellsmodulen. Enligt Soltech ska den tjockare av skivorna bidra till att ge ett mekaniskt stöd åt modulen så att man kan gå på dem, och den tunnare leda undan regnvatten från takpappen. Däremot avgränsar kanalplasten modulerna från luftspalten under och den ventilation som ett luftflöde där skulle kunna bidra med.



Figur 34. Soltech Roof kombinerar en glas-glas modul med två skivor kanalplast som hålls ihop i en metallram.

Hur välventilerade modulerna är i den färdiga installationen styr till viss del även hur varma de blir när solen ligger på. Mätningarna av modultemperaturer utreds ytterligare i avsnitt 6.5 nedan.

5.2.5 Växelriktarplacering och underlag

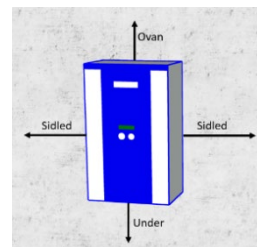
I samband med installationerna så anvisades leverantörsföretagen en plats där installation av växelriktare och kopplingsutrustning skulle göras. Platsen var i vissa fall förberedd med en 1,2m x 1,2m plywood, och i andra fall en naturligt ledig yta på befintlig vägg. I upphandlingsunderlaget specificerades att växelriktarna skulle installeras enligt tillverkarnas anvisningar, för att säkerställa säkerhet, märkningar, garantier och funktion. Alla växelriktare är gjorda för att klara montage utomhus, men ska placeras så att de inte utsätts för direkt solljus. Erfarenhetsmässigt är utomhusplacering av växelriktare i villasystem ovanligt vilket är märkligt med tanke på att det faktiskt innebär flera fördelar. Växelriktarens kylning blir till exempel oftast bättre utomhus vilket bidrar till ökad livslängd. Den viktigaste fördelen är dock att likströmskablar vid utomhusplacering av växelriktaren inte behöver dras in i huset vilket är en säkrare lösning som också underlättar arbetet med kabelgenomföringen in i huset.

I Tabell 2 nedan anges det minsta fria utrymme som krävs runtomkring växelriktarna för att säkerställa tillräcklig ventilation då de monteras inomhus, givet de växelriktare som ingår i testet¹⁴. Med en konservativ tolkning av anvisningarna där man inte tillåter några objekt monterade inom det fria utrymmet på väggen så kräver växelriktaren en del plats, vilket man behöver planera för.

¹⁴ Växelriktare från andra tillverkare, eller av annan modell än de som ingår i studien kan ha andra minimiavstånd att beakta.

Tabell 2. Tabellen listar minsta fria utrymme som krävs runtomkring växelriktaren vid installation för att säkerställa tillräckliga luftflöden och kylning.

	Minsta fria utrymme		
	Ovan	Under	Sidled
SolarEdge ¹⁵	20 cm	20 cm	10 cm
Fronius ¹⁶	15 cm	15 cm	10 cm
GoodWe ¹⁷	20 cm	50 cm	50 cm
Huawei ¹⁸	30 cm	40 cm	35 cm
RCT ¹⁹	30 cm	30 cm	20 cm



Midsummers installatörer krävde under installationen en större yta än den plats som initialt föreslagits för att slutföra arbetet, och passade samtidigt på att utrusta den större ytan med en gipsskiva för att undvika brännbart material direkt bakom växelriktaren. Borås Elhandel och Soltech påpekade vid installation att de egentligen skulle velat ha större utrymme, men använde ändå angiven plats.



Figur 35. Midsummers installation av växelriktare och kopplingsutrustning. Ingen utrustning har placerats inom det fria avstånd som installationsanvisningarna anger.

¹⁵ <https://www.solaredge.com/sites/default/files/se-inverter-installation-guide.pdf>

¹⁶ <https://www.fronius.com/en-au/australia/photovoltaics/infocentre/tech-support/operating-manuals>

¹⁷

<https://www.goodwe.com/Public/Uploads/sersups/Smart%20DT%20Series%20User%20Manual.pdf>

¹⁸ <https://support.huawei.com/enterprise/en/doc/EDOC1100059932/5ed1b520/product-introduction>

¹⁹ <https://www.rct-power.com/en/downloads-english.html>

5.2.6 Moduloptimering

Tre av de nio systemen är installerade med växelriktare och moduloptimerare ifrån Solar Edge. Inga moduloptimerare från andra tillverkare finns representerade i testet. Solar Edge systemet styr och optimerar solelproduktionen från vardera solcellsmodulen individuellt, eller som i fallet Svea Solars system, med tre moduler kopplade till en optimerare. Detta medger ett antal funktioner som normalt inte är möjliga för ett system som enbart använder en växelriktare med optimering på hela strängen av moduler.

- I och med att ström och spänning styrs för varje enskild modul, så kan modulprestandan mätas och visualiseras för användaren. Det var bland annat med hjälp av denna insyn i systemet som vi kunde få en första indikation på att några av Lindabs moduler som var trasiga. Vi har å andra sidan även sett Solar Edge systemen återkoppla prestanda för enskilda moduler som varit orimligt hög – långt över vad modulen rent fysiskt kunnat producera under givna förhållanden.
- Vid vissa typer av partiell skuggning av solelanläggningen eller om modulerna har stora inbördes variationer i toppeffekt så kan moduloptimerare bidra till en förbättrad prestanda. System i testet är i det närmaste helt oskuggade, och någon skuggstudie har inte varit del av utvärderingen i projektet. För mer information kring skuggning hänvisas till Energiforsks rapport ”Skuggningshandboken”.²⁰
- I och med dc-dc omvandlarna i vardera optimeraren så tillåter Solar Edge optimerarna att längre strängar byggs med fler moduler seriekopplade i vardera sträng, utan att strängspänningen mot växelriktaren blir för hög. Systemen i testet är dock relativt små, och spänningen i strängarna ligger inom arbetsområdet för de flesta relevanta växelriktare, även utan optimerare.
- Moduloptimerarna sänker modulspänningen till 1V när växelriktaren stängs av eller elnätet kopplas ifrån. Enligt tillverkarna höjer detta personsäkerheten, då det gör det möjligt att ”stänga av” solcellsmodulerna så att kablagen inte är spänningssatt med farligt höga spänningar.

Nackdelen med optimerarna är att man med dem bygger system som är beroende av betydligt fler elektroniska enheter, som monteras under modulerna uppe på taket, och som är svåråtkomliga vid inspektion eller då någon av dem skulle behöva bytas. Som bilderna i tidigare avsnitt visar så innebär användandet av optimerare i många fall dubbelt antal kontakter, och en mer komplicerad kabelförläggning på taket.

I en nyligen publicerad utredning kring EMC-problematik kopplad till solcellsanläggningar lyfter Elsäkerhetsverket fram att i samtliga fall av störningar som lett till tillsyn så har det handlat om system med moduloptimerare.²¹

Det är även värt att nämna att moduloptimerare från andra tillverkare än Solar Edge finns på marknaden. De erbjuder liknande, och i viss mån även andra funktioner,

²⁰ <https://energiforsk.se/program/solel/rapporter/skuggningshandbok-2017-385/>

²¹

<https://www.elsakerhetsverket.se/globalassets/publikationer/rapporter/elektromagnetiska-storningar-regeringsuppdrag-webb.pdf>

vilka kan vara värda att se till i den mån man anser sig behöva en soleanläggning med modulloptimering.

5.2.6.1 Byggnadsintegration, modulloptimerare och brandrisk

Kartläggningar av brandincidenter i soleanläggningar pekar på att fel i kontakter och kopplingsboxar är frekvent förekommande brandorsaker när en brand uppstår, och visar även på att byggnadsintegrerade system är överrepresenterade i statistiken [BRE 2017 "Fire and solar PV systems-Investigations and evidence" och Laukamp et al 2013 "PV fire hazard - analysis and assessment of fire incidents"]. Kontakter, kopplingsboxar, optimerare och kablar byggs in i taket och hamnar i det trånga utrymmet mellan takbeläggningen och råsponen. Dels har man i och med detta tagit bort det skyddande skikt som takbeläggningen, i form av tegel, plåt eller annat utgör, dels ligger komponenterna i det närmaste oåtkomliga för inspektion och brandbekämpning utifrån.

Byggnadsintegrerade system i kombination med modulloptimerare ökar i detta avseende risken ytterligare, då även optimeraren byggs in, tillsammans med fler kontakter och begränsat utrymme att arrangera en ordnad kabelförläggning. Som beskrivits i avsnitt 5.2.2 kan lösningarna förbättras genom en kombination av välplanerat installationsarbete, anpassning av kablarnas längder och mer ändamålsenliga produkter för uppfästning och genomföring av kablar.

5.2.7 Elinstallationer och utformning av skydd utanför växelriktaren

Utöver solcellsmodulerna och växelriktaren så består en installation av viss kopplingsutrustning för att skydda anläggningen och för att göra det möjligt att arbeta med den. Vissa delar måste ingå, medan andra delar kan betraktas som tilläggskydd. Tabell 3 nedan beskriver viktiga parametrar och komponenter i de installationer som gjorts för de nio testanläggningarna.

Tabell 3. Sammanställning av elektrisk kopplingsutrustning som installerats för de olika systemen på vardera sida av växelriktaren.

		Benders SunWave	Soltech RoofF	IKEA Solstråle Plus	Lindab Solar Roof	Svea Solar Solar Stone	Energihusgruppen Roofit	Borås elhandel Paket Hybrid	Kraftpojkarna Paket Energibolag	Midsummer BOLD
DC	Kortslutningsström, STC	6 A	1 A ²²	10 A	3,31 A	9 A	9 A	9 A	9 A	7 A
	Öppen spänning, STC	515 V	844 V	485 V	1215 V	599 V	495 V	808 V	660 V	670 V
	Antal moduler	56	35	12	25	48	22	20	15	18
	Antal parallella strängar	1	5	1	1	1	1	1	1	1
	Antal optimerare	-	-	-	13	16	-	-	15	-
	Modulramar jordade	-	-	-	-	-	Ja	-	Ja	-

²² Per sträng.

		Benders SunWave	Soltech RoofF	IKEA Solstråle Plus	Lindab Solar Roof	Svea Solar Solar Stone	Energihusgruppen Roofit	Borås elhandel Paket Hybrid	Kraftpojkarna Paket Energibolag	Midsummer BOLD
	Moduloptimerare	-	-	-	Solar Edge, P405	Solar Edge, P370	-	-	Solar Edge, P405	-
	DC-kablar	6 mm ²	2,5 mm ²	6 mm ²	6 mm ²	6 mm ²	6 mm ²	4 mm ²	4 mm ²	4 mm ²
	Strängsäkringar	-	gPV, 2A	-	-	-	-	-	-	gPV, 10A
	Lastfrånskiljare	16A	25A	25A	16A	16A	16A	-	-	10A
	Extern överspänningsskydd	-	T1, T2	T2	-	T2	-	-	T1, T2	T4
Vxl	Nominell ström	4,3 A	4,4 A	8,5 A	8 A	6,5 A	4,3 A	9,1 A	6,5 A	5,1 A
AC	Lastfrånskiljare	16A	16A	25A	16A	16A	16A	16A	40A	16A
	Överspänningsskydd	-	-	T1, T2	-	T1, T2	-	-	T1, T2	-
	Jordfelsbrytare	Typ A, 30mA	-	Typ A, 300mA	Typ A, 30mA	Typ A, 300 mA	Typ A, 30 mA	Typ A, 30 mA	Typ A, 30mA, -25°C	Typ B, 30 mA -25°C
	Säkring	C10A	C16A	C10A	C10A	C10A	C10A	C16A	C16A	B10A
	Lastfrånskiljare	40A	40A	40A	40A	40A	40A	63A		40A
	Montage ²³ :	Utomhus	Utomhus	Utomhus	Utomhus	Utomhus	Utomhus	Inomhus	Inomhus	Inomhus

²³ Utomhus eller inomhus styrdes av förutsättningarna på plats och de som monterades utomhus skyddades mot solinstrålning och direkt regn av ett litet skärmtak. Samtliga växelriktare kan monteras antingen utomhus eller inomhus.

5.2.7.1 Funktionsjordning av modulramar och montagesystem

Solcellsmodulerna och likströmskablar är dubbelisolerade och ska inte monteras med skyddsjord. Däremot funktionsjordade några av leverantörerna sina modulramar och montagesystem för att växelriktaren ska kunna genomföra en isolationsmätning av likströmssidan mot en i systemet närliggande jord.

Isolationsmätningen görs var gång systemet startar, i princip var morgon, för att avslöja eventuella brister i systemets isolering vilket kan leda till kortslutning.

Funktionsjordning av moduler eller montagesystem får inte göras med gul-grön ledare. Gul-grön ledare är enbart avsedd för skyddsjord.

5.2.7.2 DC-kontakter

Flera av växelriktarna är försedda med snabbkontakter i stället för skruvplintar för anslutning av likströmskablar från solcellsmodulerna. Det innebär att kontakterna kan användas för frånskiljning av solcellsmodulerna, och om växelriktaren har en inbyggd lastbrytare så behövs formellt sett ingen extern lastfrånskiljare på likströmssidan. Det bör dock finnas en tydlig instruktion om att lastbrytaren alltid ska vara i frånslaget läge innan dc-kontakterna kopplas. I villasystem bör man montera en lastfrånskiljare på dc-sidan för att undvika misstag.

Flera av dessa snabbkontakter inte har byglar över låsmekanismen, vilket gör att de går att öppna utan verktyg. Om kontakterna sitter åtkomliga för lekmän, vilket ofta är fallet för växelriktare och kopplingsutrustning, så får de enligt elinstallationsreglerna inte gå att öppna utan verktyg. Vissa kontakter har tilläggsbyglar som kan eftermonteras.

För de flesta system används dc-kontakter från antingen Stäubli MC4 eller Weidmüller PV-stick. Dessa kontakter är godkända enligt SS-EN 62852 "Solcellsanläggningar – Säkerhetsfordringar på anslutningsdon för likström", men det innebär inte att de är nödvändigtvis är kompatibla med varandra. Det saknas idag en standard som specificerar hur en "MC4" kontakt ska utformas, vilket innebär att de olika tillverkarna har sina egna recept. Elinstallationsreglerna hänvisar till tillverkarnas information om kompatibilitet med motsvarande kontakter från andra tillverkare och modeller. Även om man bör hålla sig till en och samma tillverkare och modell av dc-kontakter, så är det i verkligheten väldigt svårt då moduler, växelriktare, optimerare och andra komponenter ofta är förkontakterade. I de solesystem som installerats blandas i flera fall kontakter ifrån olika tillverkare.

5.2.7.3 Jordfelsbrytare

Det finns i dagsläget inget krav på att växelriktare i solesystem för villor skall installeras med jordfelsbrytare²⁴. Däremot tar elinstallationsreglerna upp anvisningar för val av jordfelsbrytare ifall man väljer att installera en sådan för att skydda en växelriktarinstallation:

712.530.3.101 Jordfelsbrytare

²⁴ Däremot finns krav på jordfelsbrytare för solesystem inom lantbrukets produktionslokaler.

Där jordfelsbrytare används för att skydda kretsen mellan växelströmsklämmorna på solcellsomriktaren och elcentralen ska de vara av typ B enligt SS-EN 62423 eller SS-EN 60947-2 om inte

- omriktaren har åtminstone enkel isolering mellan lik- och växelströmssidan, eller*
- installationen är utförd så att åtminstone enkel isolering uppnås mellan omriktaren och jordfelsbrytaren genom användning av en fulltransformator, eller*
- omriktaren inte fordrar skydd med jordfelsbrytare av typ B enligt tillverkarens anvisning.*

Det är ofta svårt att avgöra huruvida växelriktaren kan bedömas ha åtminstone enkel isolering mellan lik- och växelströmssida, då det sällan framgår av den medföljande dokumentationen, så som installationsmanualer. I de flesta villasystem är det inte aktuellt att installera någon fulltransformator eller annan extern utrustning som säkerställer åtminstone enkel separering.

Man hänvisas således till tillverkarens anvisningar. Dessa anvisningar hänvisar i sin tur sedan oftast tillbaka till nationella regelverk. De flesta större tillverkare har informationen tillgänglig, och för de växelriktarmodeller som installerats i systemen skriver exempelvis Fronius att om jordfelsbrytare Typ A²⁵ installeras, så bör man välja en med märkutlösningström på minst 100 mA. Om man väljer att använda en 30 mA jordfelsbrytare så behöver interna parametrar i växelriktaren justeras. På liknande sätt rekommenderar SolarEdge att man väljer en jordfelsbrytare Typ A på mellan 100 mA – 300 mA, men att typ B är tillåtet. Även SolarEdge föreslår att man justerar växelriktarens interna parametrar, det vill säga inställningar för den interna jordfelsbrytaren, ifall man vill använda en 30 mA jordfelsbrytare externt.

För de övriga modellerna är det första lagret av lättillgänglig dokumentation, det vill säga det informationsmaterial kunden har fått i handen av installatören, inte lika tydlig, utan föreslår bara jordfelsbrytare mellan 100 mA - 300 mA.

Samtidigt finns i SS-EN 62109-1 en skrivning om att det i dokumentationen skall finnas en informationstext där det explicit framgår ifall växelriktaren behöver installeras med en jordfelsbrytare av typ B. För en växelriktare som är certifierad enligt SS-EN 62109-1, och som behöver jordfelsbrytare av typ B, så borde det således framgå.

Skrivningarna är inte helt entydiga, och så länge anvisningarna ifrån tillverkarna saknar specifik information om val av jordfelsbrytare så råder viss oklarhet. De flesta solesystemen är installerade med en jordfelsbrytare av typ A, med märkutlösningström på antingen 30 mA eller 300 mA. Det framgår inte i dokumentationen ifrån leverantörerna ifall några interna parametrar justerades i de fall en 30 mA jordfelsbrytare valdes.

Endast Midsummers växelriktare från Huawei installerades med jordfelsbrytare av typ B. Vilket går i linje med att det inte finns någon anvisning i Huaweis dokumentation om vilken typ av jordfelsbrytare som bör användas. Midsummer och Kraftpojkarna valde även jordfelsbrytare vars funktion säkerställts ner till -25°C,

²⁵ Se t.ex. http://www.siemens.se/bu/AS/Insta/doc/Beta_jordfelsbrytarhandbok.pdf för mer information

medan övriga system som också placerats utomhus inte använder jordfelsbrytare märkta med ”snöstjärnan”.

5.2.7.4 Behov av överspänningsskydd på grund av kabellängd på likströmssidan

Huruvida det är befogat med överspänningsskydd på DC-sidan beror på längd (L) av kablarna som ansluter solcellsmodulerna till växelriktaren, samt hur frekvent blixtnedslag förekommer där anläggningen installeras (N_g). Om kabellängden överstiger kritisk kabellängd (L_{crit}), där $L_{crit} = 115/N_g$ för bostäder, så ska ett överspänningsskydd monteras. Enligt SEK Handbok 457 så befinner sig Borås i ett område med ungefär 16 åskvädersdagar per år, vilket enligt angiven formel ger ett värde på $N_g \approx 0,04 \times 16^{1,25} = 1,28$. Det innebär att kritisk kabellängd kan uppskattas till 90 m. Alla testanläggningarna har dc-kablar kortare än 90 m, och risken för överspänningar på grund av åska är därmed så pass liten att skydd inte borde vara nödvändiga. Ingen av leverantörerna har redovisat någon beräkning som stöder deras val att installera eller inte installera externa överspänningsskydd på DC-sidan. Se även Tabell 3.

5.2.7.5 Behov av överspänningsskydd på grund av kabellängd på växelströmssidan

I de fall där anläggningen är matad med en markförlagd kabel, samtidigt som man har använt materiel som är klassat för tillämpbara spänningsområden och har skyddsutjämnat ledande delar, så behövs normalt inte överspänningsskydd på AC-sidan²⁶. Om dessa förutsättningar inte är uppfyllda, eller om man vill genomföra en mer detaljerad utredning kring behovet av överspänningsskydd med hänsyn till åska, så kan man ta stöd i SEKs handbok 452²⁷.

För testsystemen i Borås kan en riskbedömning utföras enligt den metod som redovisas som exempel i elinstallationsreglernas informativa bilaga 44A. Testsystemen är installerade i stadsmiljö, och matade med markförlagd kabel. Kabellängd för lågspänning (L_{PCL}) uppskattas till 0,2 km, och kabellängd för högspänning (L_{PCH}) uppskattas till 0,5 km. Kabellängd för riskbedömning (L_P) beräknas till:

$$L_P = L_{PCL} + 0,2 \times L_{PCH} = 0,3$$

I och med stadsmiljö, antas en miljöfaktor (f_{ENV}) på 850. Risknivån (CRL) beräknas därefter till:

$$CRL = f_{ENV} / (L_P \times N_g) = 850 / (0,3 \times 1,28) = 2\,214$$

Med ett CRL-värdet högre än 1000 bedöms att testanläggningarna enligt dessa förutsättningar inte behöver skyddas av överspänningsskydd.

Ingen av leverantörerna har redovisat någon beräkning som stöder deras val att installera eller inte installera externa överspänningsskydd på AC-sidan.

²⁶ EUU:s handbok till Elinstallationsreglerna, Utgåva 3, EUU, Nyköping 2017.

²⁷ SEK Svensk Elstandard ansvarar för den svenska standardiseringen på elområdet. Handbok 457 kompletterar elinstallationsreglernas (SS 4364000) fordringar med vägledning och förtydliganden.

5.3 Kontroll före idrifttagning

En regelrätt besiktning utförd av en oberoende part är sällsynt för solcellsanläggningar i villastorlek. Det främsta skälet till det är sannolikt kostnaden som uppskattningsvis ligger på runt 10% av hela investeringen. Desto större anledning har man som villaägare att se till att den kontroll som installatören ska göra verkligen görs, att den dokumenteras och att redovisningen överlämnas tillsammans med övrig systemdokumentation. I SEK-handbok 457 ”Solceller-Råd och regler för elinstallationen” kan man läsa följande: All elinstallation ska kontrolleras under montage samt inspekteras och provas efter färdigställande. Generellt gäller SS 436 40 00 del 6 – ”Kontroll”. I standarden SS-EN 62446-1 Solcellsanläggningar – Fordringar på provning, dokumentation och underhåll – Del 1: ”Nätanslutna anläggningar –Dokumentation, provning för idrifttagning och besiktning” finns riktade kontroller och provningar för solcellsanläggningar. SEK-handbokens kapitel 26 presenterar en lista på vad som skall kontrolleras och mätas.

I Installatörsföretagens ”Handbok-Installation av solcellsanläggningar” bilaga 1 finns en mall för en checklista med punkter enligt ovan som bör eller ska ingå i en kontroll av en färdigställd anläggning. I Tabell 4 summeras hur leverantörerna hanterat kontrollen av sina system.

Tabell 4. Sammanställning av hur företagen arbetat med checklistor och genomfört kontroller av systemen innan överlämningen till RISE.

	Benders SunWave	Soltech Roof	Ikea Solstråle Plus	Lindab Solar Roof	Svea solar Solar Stone	Energihusgruppen Roofit	Borås elhandel Paket Hybrid	Kraftpojkarna Paket Energibolag	Midsummer BOLD
Kontroller enligt SEK-handbok 457 genomförda	Nej	Delvis	Ja	Nej	Ja	Delvis. Engelsk text	Ja	Delvis	Ja
Sammanfattande kommentar om kontrollerna	-	Egen checklista. Knapphändig jmf m SEK-handboken	Egen checklista. I paritet m SEK-handboken	Använder mer generell checklista för elinstallationer	Egen checklista. I paritet m SEK-handboken	Egen checklista. Knapphändig jmf m SEK-handboken	Leverantören följde en checklista. Ansvarig elinstallatör följde Installatörsföretagens checklista	Egen checklista. Knapphändig jmf m SEK-handboken	Följde Installatörsföretagens checklista
Mätning av strängspänning(ar)	Nej	Ja	Ja	Nej	Ja ²⁸	Ja men protokoll saknas	Ja	Ja	Ja
Mätning av ström(mar)	Nej	Nej	Ja	Nej	Ja	Nej	Nej	Ja	Ja
Mätning av IV-kurva	Nej	Nej	Nej	Nej	Nej	Nej	Nej	Nej	Nej
Mätning av isolationsresistans	Nej	Nej	Ja	Nej	Ja	Nej	Ja	Ja	Ja

²⁸ I system som använder moduloptimerare kontrolleras kontinuiteten i kablagen genom att mäta summan av de spänningar på 1 Volt som varje optimerar lägger ut i viloläge

5.4 Datainsamling, datalagring, presentation och larm

Samtliga system i testet erbjuder genom den aktuella växelriktartillverkaren olika applikationer ämnade för övervakning av systemets drift och kontroll av dess energiproduktion. Detta är ett ganska enkelt sätt för en användare som är van att hantera mobilappar att kontrollera att systemet fungerar som det ska. Observera dock att detta kräver att växelriktaren kopplats upp mot Internet via nätverkskabel eller wifi. För att säkerställa denna funktion rekommenderas:

- Att växelriktaren i samband med installationen ansluts med kabel till en router såvida inte förutsättningarna för wifi-anslutningen är väldigt bra
- Att installatören slutför konfigureringen av uppkopplingen, registrerar anläggningen hos växelriktartillverkaren och verifierar att den fungerar som den ska
- Att installatören går igenom funktionerna för kontroll av driften med användaren vid överlämnandet av anläggningen

I samtliga fall finns mobilappar fritt tillgängliga och alla system utom Borås Elhandel Paket Hybrid går även att följa på växelriktartillverkarens webbplats. På webbplatsen kan man också göra inställningar om man till exempel vill ha ett larm per E-post om något i anläggningen avviker från det normala. En erfarenhet från testet är att det kan vara svårt att hitta rätt nivå för larm som, om de triggas alltför lätt, kan leda till en strid ström av larm som användaren snabbt slutar att reagera på.

På webbplatsen har man som regel mycket större möjlighet att fördjupa sig i data och statistik. Någon erbjuder också utökad dataåtkomst mot en liten löpande kostnad.

Tabell 5 nedan ger en överblick av ett par grundläggande skillnader mellan de olika växelriktarnas övervakningsmöjligheter. Att i detalj beskriva de olika apparernas funktioner har inte ingått i uppdraget och vad som upplevs som bra eller dåligt av en användare kan delvis vara en fråga om tycke och smak. Vill man prova funktionerna så har de flesta växelriktartillverkare ett flertal projekt som man kan följa via webbplattformen, se sista raden i tabellen. Alla mobilappar fungerar på ungefär samma sätt med ett par undantag vilka också framgår av tabellen.

Tabell 5. Testets ingående växelriktare fungerar med några undantag på ett likartat sätt i hur de hanterar data och hur informationen förmedlas till användaren. Informationen i tabellen nedan belyser skillnader och är inte en allomfattande summering av tillgängliga funktioner.

	Solar Edge	Fronius	GoodWe	Huawei	RCT
Display på växelriktaren	Nej	Ja Mycket begränsad info	Ja	Nej	Ja
Webportal	Ja	Ja	Ja	Ja	Nej
Mobil-app	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja, men fungerar bara i närheten av växelriktaren
Datalagring	I molnet	I molnet	I molnet	I molnet	I växelriktaren
Avvikande aspekter	Möjliggör detaljerad uppföljning av varje solcellsmodul	-	-	Snygg design	Inget användargränssnitt online. Utformad av ingenjörer, för ingenjörer
Demonstration av web-applikationer	https://monitoringpublic.solaredge.com/solaredge-web/p/home/public?locale=sv_SE	https://www.solarweb.com/PvSystems/Widgets	https://www.semsportal.com/PowerStation/powerstatus	https://eu5.fusionsolar.huawei.com/singlePlant.html	https://www.rct-power.com/en/

En omfattande utvärdering av de olika hjälpmedel som erbjuds för uppföljning av elproduktion och drift av solcellsanläggningar pågår i projektet ”Solmätt-Mätning och utvärdering av solcellsanläggningar”, Energimyndighetens projektnummer: P49532-1.


5.5 Märkning och skyltning


Anläggningens komponenter ska märkas och förses med skyltning för att varna och vägleda privatpersoner som vistas i dess närhet, servicepersonal eller installatörer som kan komma att utföra arbeten på anläggningen samt räddningspersonal i händelse av brand. I föreskrifterna ELSÄK-FS 2008:2 redovisas generella krav på varselmärkning, men det finns idag inga specifika krav på skyltning (varselmärkning) av en solcellsanläggning. Viktigt att känna till är att det är anläggningsägaren som, när anläggningen överlämnats, ansvarar för att den är säker och uppfyller de krav som ställs. Samtidigt är installatören ansvarig för att leverera en anläggning enligt gällande regelverk, och med tillbörlig dokumentation och varselmärkning. Ansvaret för varselmärkning är således reglerat från båda håll.

- I Elinstallationsreglerna SS-EN 4364000 avsnitt 712.514, SS-EN 61446-1 avsnitt 5.2.10 och IEC TS 62548:2013 beskrivs krav på information som ska framgå av varaktigt hållbara varningsskyltar
- SEK-handboken ger exempel på lämpliga utföranden av allmänna varningsskyltar
- MSB:s ”RÅD Räddningsinsats i samband med brand i solcellsanläggning” ger exempel på lämpliga utföranden av varningsskyltar riktade till räddningspersonal
- Enligt SS-EN IEC 61730-1 avsnitt 5.2.2.1 ska varje solcellsmodul vara märkt med bl.a. tillverkarens namn, modulens serienummer och elektriska parametrar

Leverantörernas uppfyllande av krav och råd för märkning och skyltning framgår av Tabell 6.

Tabell 6. Sammanställning av hur leverantörerna uppfyllt krav och råd kring märkning och skyltning.

	Benders SunWave	Soltech Roof	Ikea Solstråle Plus	Lindab Solar Roof	Svea solar Solar Stone	Energihusgruppen Roofit	Borås elhandel Paket Hybrid	Kraftpojkama Paket Energibolag	Midsummer BOLD
	-	JA	JA	JA	JA	-	JA	JA	JA
”Spänningsatta delar går inte att fränkilja”	-	JA	-	-	-	-	JA	JA	-

	Benders SunWave	Soltech Roof	Ikea Solstråle Plus	Lindab Solar Roof	Svea solar Solar Stone	Energihus-gruppen Roofit	Borås elhandel Paket Hybrid	Kraftpojkarna Paket Energibolag	Midsummer BOLD
	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA
Märkning av solcellsmoduler	JA	JA	JA	Oåtkomlig	-	Oåtkomlig	JA	JA	-

Resultatet visar att det råder en viss oklarhet kring vilka krav som gäller för skyltning och märkning. Regelverket är visserligen inte utformat som specifika anvisningar, men en form av branschstandard skulle kunna bidra till att fler installatörer får till en mer komplett märkning. En installatör använde ett system där alla erforderliga märkningar fanns samlade på en karta som man plockade märkningarna från under arbetets gång vilket både underlättar arbetet och ökar sannolikheten för en komplett märkning.

Viktigt att tänka på är att märkningen ska vara så beskaffad att den sitter kvar och går att läsa under anläggningens hela livslängd.

5.6 Dokumentation

SS-EN 61446-1 definierar kraven på dokumentation som bland annat ska innehålla:

- Sammanställning av grundläggande systemdata
- Kontaktuppgifter till den som installerat anläggningen
- En enkel elritning (kallas enlinjeschema) från den aktuella anläggningen
- Stränglayout
- Specifikation på kablar
- Beskrivning av överströms- och överspänningsskydd, brytare etc på DC- och AC-sidan
- Beskrivning av eventuell jordning och anslutning till åskskyddssystem
- Datablad för moduler, växelriktare och monteringsystem
- Drift- och underhållsinformation inklusive eventuella inställningsvärden och kontrollintervall
- Garantiuppgifter för moduler och växelriktare

Leverantörernas uppfyllande av kraven på dokumentation framgår av Tabell 7

Tabell 7. Hur gällande krav på dokumentation har uppfyllts framgår av denna tabell.

	Benders SunWave	Soltech RooF	Ikea Solstråle Plus	Lindab Solar Roof	Svea solar Solar Stone	Energihus- gruppen Roofit	Borås elhandel Paket Hybrid	Kraftpojkarna Paket Energibolag	Midsummer BOLD
Sammanställning av grundläggande systemdata	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA
Kontaktuppgifter till den som installerat anläggningen	JA	JA	JA	Delvis	JA	JA	JA	Delvis	JA
Enlinjeschema från den aktuella anläggningen	-	JA	JA	-	JA	JA	JA	JA	JA
Stränglayout	-	JA	JA	-	JA	-	JA	JA	JA
Specifikation på kablar	-	-	JA	-	JA	-	-	JA	JA
Beskrivning av överströms- och överspänningsskydd, brytare etc på DC- och AC-sidan	-	JA	JA	-	JA	-	-	JA	JA

	Benders SunWave	Soltech Roof	Ikea Solstråle Plus	Lindab Solar Roof	Svea solar Solar Stone	Energihus- gruppen Roofit	Borås elhandel Paket Hybrid	Kraftpojkarna Paket Energibolag	Midsummer BOLD
Beskrivning av ev. jordning och anslutning till åskskyddssystem	JA	-	-	-	JA	-	Separat jordtag beskrivet.	-	-
Datablad för moduler, växelriktare och monteringssystem	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA	JA saknas för monteringssyste m	JA
Drift- och underhålls- information inklusive, eventuella inställningsvärden och kontrollintervall	-	JA	JA	JA	JA	JA	Knapphändiga	-	JA

	Benders SunWave	Soltech RooF	Ikea Solstråle Plus	Lindab Solar Roof	Svea solar Solar Stone	Energihusgruppen Roofit	Borås elhandel Paket Hybrid	Kraftpojkarna Paket Energibolag	Midsummer BOLD
Garantiuppgifter för moduler och växelriktare	Endast modulgarantier ²⁹	Produktgaranti: 10 års moduler, 5 år växelriktare	Inklusive 5 års funktionsgaranti för hela anläggningen och 10 år på utfört arbete	Endast modulgarantier	Inkl. 5 års funktionsgaranti för hela anläggningen och 10 år på utfört arbete	Produktgaranti 5 år växelriktare	Garantier för moduler, växelriktare, batteri samt komplett installation	Endast modulgarantier	Inkl. 5 års funktionsgaranti för hela anläggningen och 10 år produktgaranti montagesystem, växelriktare och solcellsmoduler

²⁹ Växelriktarna omfattas också av garantier, men dessa framgår inte tydligt av dokumentationen. I Fronius fall utökas garantin kostnadsfritt om man registrerar sin produkt på deras webbplats

5.7 Kvalitet och säkerhet verifierad genom provning och certifiering

Solcellstekniken och marknaden för solceller är liksom angränsande områden som batterier och laddinfrastruktur under snabb utveckling och det gäller i viss mån även de regelverk och den praxis som styr och vägleder marknaden. I detta avsnitt presenteras en översikt över de viktigaste krav som produkterna och de kompletta systemen i testet förväntas uppfylla och hur väl deltagande aktörer lyckats med detta. En utmaning för de företag som står för de lite mer okonventionella solcellsprodukterna, typiskt de integrerade lösningarna, är att det kan saknas både tid o pengar för att genomföra de omfattande testprogram som beskrivs i de standarder som listas nedan. Några av testets produkter kan vara så nya att man helt enkelt inte hunnit genomföra alla provningar men det kan också vara så att tillverkarna helt enkelt inte har de ekonomiska muskler som krävs för att bekosta dem.

5.7.1 Lagar, regler och råd för el- och byggområdet

Elsäkerhetslagen och till en mindre del plan- och bygglagen är de viktigaste lagarna som styr utformningen av en solcellsanläggning. Till stöd för efterlevnaden av dessa lagar utformas föreskrifter som i sin tur namnger standarder vilka beskriver hur till exempel en solcellspanel eller en växelriktare kan konstrueras och provas för att uppfylla lagarnas intentioner. De standarder som listas nedan är därför att betrakta som vägledande och det är i princip möjligt att uppfylla lagkraven på andra sätt. Det åligger i så fall tillverkaren, leverantören eller installatören att dokumentera hur man i stället har gått till väga. Mer information om lagar, förordningar och föreskrifter på elområdet finns att hämta på <https://www.elsakerhetsverket.se/om-oss/lag-och-ratt/foreskrifter-sorterade-per-omrade/>

Enligt de svenska **Elinstallationsreglerna**, standarden SS-EN 4364000 ”Elinstallationer för lågspänning – Utförande av elinstallationer för lågspänning” gäller:

- **712.511.101** Moduler ska överensstämja med fordringarna i tillämplig produktstandard, till exempel SS-EN 61730-1, SS-EN 61215-1 eller SS-EN 61646.
- **712.511.102** Omriktare ska uppfylla fordringarna i t ex SS-EN 62109-1 och SS-EN 62109-2.

RISE förfrågan till leverantörerna hänvisade även till följande standarder och vägledningar kring elsäkerhet, elkvalité och dokumentation:

- SS 430 01 10: Mätarskåp
- SS 437 01 02: Elinstallationer för lågspänning – Vägledning för anslutning, mätning, placering och montage av el- och teleinstallationer
- SS-EN 50618 som beskriver utformning av halogenfri och dubbelisolerad specialkabel för solelsystem av typ/beteckning H1Z2Z2-K
- SS-EN 62852 Vid användning av kontakter från olika tillverkare i kontaktpar skall elektrisk och mekanisk kompatibilitet bekräftas med testresultat enligt denna standard
- Växelriktarna ska i erforderlig omfattning uppfylla EU-förordningen EU2016/631 (RFG), Energimarknadsinspektionens föreskrift EIFS 2018:2 samt SS-EN 50549-1

- SEK Handbok 457: Solceller - Råd och regler för elinstallationen
- SS-EN 62446-1: Solcellsanläggningar – Fordringar på provning, dokumentation och underhåll – Del 1: Nätanslutna anläggningar – Dokumentation, provning för idrifttagning och besiktning
- Riskbedömning för behov av överspänningsskydd enligt SS 436 40 00 kap. 443 och kap. 712.443, samt installation av erforderliga överspänningsskydd enligt riskbedömningen, ingår i uppdraget
- Enligt **Elsäkerhetsverket** så skall solcellmoduler CE-märkas om de som enskilda produkter kan generera en spänning större än eller lika med 75V DC vilket innebär att många tunnfilmsmoduler skall CE-märkas. Moduler som ger mindre än 75 V DC får CE-märkas. Av testets nio deltagande modulfabrikat är det dock bara Soltechs moduler som kan leverera en spänning större än 75V DC.
- Enligt **Boverkets Byggregler** ska solceller som utgör taktäckning uppfylla brandklass Broof T2 vilket testas enligt standarden CEN/TS 1187:2012

5.7.2 Certifiering och auktorisation av personer och företag

En frivillig certifiering av installatörer av solelsystem har under 2021 etablerats i Sverige. Möjligen kan den framgent komma att krävas för att få tillgång till ett ROT-avdrag. Denna certifiering är inte kopplad till Elsäkerhetsverkets krav för elinstallationsarbete. Dessa krav innebär att företaget som installerar en solcellsanläggning ska vara registrerat hos Elsäkerhetsverket för verksamhetstypen "Elproduktionsanläggningar" samt att bara personer som ingår i företagets egenkontrollprogram får utföra elinstallationsarbetet.

5.7.3 Provning och certifiering av produkter och system

De standarder som pekas ut i Elinstallationsreglerna och i Boverkets byggregler beskriver egenskapskrav och provningsmetoder med vars hjälp produkttillverkare kan visa att tillämpliga lagkrav uppfylls. Tillverkare kan använda andra metoder om man av någon anledning inte tillämpat de som föreslås men behöver då kunna visa hur man gjort i stället.

En certifiering kan i sin enklaste form betyda att tillverkaren själv intygar att produkten överensstämmer med vissa uppställda krav vilket exempelvis är fallet i CE-märkningen av moduler och växelriktare.

En certifiering utförd av en tredje (oberoende) part som utför regelbundet återkommande kontroller av tillverkningen av en produkt ger en starkare garanti för att det som ursprungligen provats fortfarande är det som säljs. För solcellsmoduler har TUV-certifiering en dominerande roll på marknaden. Deras certifikat kan kontrolleras via <https://www.certipedia.com/>. Det finns inga svenska myndighetskrav på användning av tredjepartscertifierade solelprodukter. I RISE förfrågningsunderlag till leverantörerna efterfrågades dock certifiering av solcellsmodulerna från en oberoende certifieringsorganisation enligt IEC 61730 och IEC 61215.

Om respektive leverantör har redovisat uppfyllande av de standarder som efterfrågades i RISE förfrågningsunderlag, eller certifieringar baserade på dessa framgår av Tabell 8.

Tabell 8. Leverantörernas redovisning av vilka tester, certifieringar och märkningar produkterna har.

	Benders SunWave	Soltech Roof	Ikea Solstråle Plus	Lindab Solar Roof	Svea solar Solar Stone	Energihus- gruppen Roofit	Borås elhandel Paket Hybrid	Kraft- pojarna Paket Energibolag	Midsummer BOLD
EN IEC 61215 alt 61646 (Solcellsmoduler)	-	Ja	Ja	Ja	Endast vissa tester	-	Ja	Ja	-
EN IEC 61730 (Solcellsmoduler)	-	Ja	Ja	Ja	Endast vissa tester	Endast vissa tester. Uppfyller Broof t2	Ja	Ja	-
Tredjepartscertifiering av solcellsmoduler	-	-	Ja	-	-	-	-	-	-
CE-märkning (Solcellsmodul)	Inget krav	Ja (SS-EN IEC 61730, 61646 och EN 490 Takprodukter)	Inget krav	Inget krav	Inget krav	Inget krav	Inget krav	Inget krav	Inget krav
SS-EN 62109-1 och SS-EN 62109-2. (Växelriktare)	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
EU2016/631 (RFG), EIFS 2018:2 samt SS-EN 50549-1 (Växelriktaren)	Ja	-	-	-	-	-	-	-	-

5.8 Beställare, leverantör och installatör

För att säkerställa att slutresultatet av en investering i en egen solcellsanläggning ska bli det önskade behöver man i de flesta fall antingen vara någorlunda väl påläst som beställare eller anlita en tredje part som stöd vid upphandling och övertagande av den färdiga anläggningen. Stödet kan till exempel sökas hos en energi- och klimatrådgivare eller hos en konsult. Samtidigt utvecklas nu solcellsbranschen snabbt och utbudet av erfarna och professionella leverantörer och installationsföretag ökar liksom utbudet av utbildningar och certifieringar. Detta innebär att kraven på beställarens kompetens eller behovet av opartiskt stöd med tiden kommer att minska. För en engagerad beställare ökar också tillgången till omfattande, bra och välorganiserad information snabbt. Samtidigt kvarstår det faktum att anläggningsägaren, oavsett kunskap och intresse, alltid är ytterst ansvarig för att anläggningen är säker. För att kunna vila tryggt i rollen som ansvarig anläggningsägare ska man därför åtminstone se till att:

- Installationsföretaget är registrerat för verksamhetstypen elproduktionsanläggningar hos Elsäkerhetsverket
- Anläggningen är märkt och skyltad enligt vad som är god praxis, se avsnitt 5.5
- Företaget har genomfört en kontroll av den färdiga anläggningen, se avsnitt 5.3, dokumenterat den och bifogat den med övrig dokumentation, se avsnitt 5.6.

Behovet av kunskap hos beställaren och/ eller stöd av en tredje part styrs av flera faktorer:

- Installationsföretagets kompetens och erfarenhet
 - Som beställare kan man begära referenser på nyligen utförda installationer och titta på företagets historik inom området
- Om leverantör och installatör finns i samma företag eller om flera företag är involverade i installationen. Projektet har visat att det senare i större utsträckning gäller för byggnadsintegrerade lösningar vilket ökar behovet av bra kommunikation och samordning mellan parterna. En lärdom från projektet och tidigare undersökningar är också att alla inblandade behöver ha rätt kunskap och erfarenhet av sin del av solelsystemet för att leveransen skall bli bra. Generell kunskap om tak- eller elinstallationer räcker inte hela vägen.
 - Använd de mallar för upphandling och offertsammanställning som finns att tillgå från <http://www.energimyndigheten.se/solelportalen>, kanske i första hand som en checklista för eget bruk eftersom många företag ändå lämnar offerter enligt egna inarbetade system och mallar
 - Förvissa er om att ni tecknar avtal med en part som tar ansvar för helheten om det är möjligt
- Storleken och komplexiteten på anläggningen och investeringen
 - För en större investering står mer på spel men det kostar också relativt sett mindre att ta stöd från en tredje part

Som beställare kan man bidra till att minska risken för oförutsedda kostnader genom att vara uppmärksam på vad som faktiskt ingår i offererat pris och se till att offerten föregås av ett platsbesök där de praktiska förutsättningarna för installationsarbetet tydliggörs. Exempel på tillkommande kostnader man på så sätt kan undvika:

- Kostnader för frakt, byggställningar och avspärningar

- Kostnader för extra rails, fästen eller för tillkommande arbeten som inte kunnat förutses, till exempel vid etablering av jordtag för hybrid/ off-gridsystem

Mest avgörande för den slutliga investeringskostnaden är förstås storleken på anläggningen, givet att man bestämt vilken typ av anläggning man vill ha. De i testet ingående systemen är alla mindre än vad som idag är normalt i villasammanhang, se avsnitt 3.2. Vill man ha vägledning kring valet av storlek på anläggning hänvisas till avsnitt 5.4 i RISE-rapporten 9P04225-03 och till

<https://www.energimyndigheten.se/fornybart/solelportalen/hur-stor-anlaggning-passar-mig/>

6 Energiproduktion och mätresultat

Solelproduktionen mäts för vardera systemet på växelströmssidan av växelriktaren med kalibrerade energimätare som loggar mätdata en gång var 30:e sekund.

Parallellt med energiproduktionen mäts solinstrålning, omgivningstemperatur och modultemperatur. Mätningarna som redovisas omfattar ett år och sträcker sig från 1/6-2020 till 31/5-2021. Detaljer kring mätsystemet finns i Bilaga 2. Mätning och Datainsamling.

Solelsystemet från Borås Elhandel särskiljer sig mättekniskt från de övriga då även batteriet ansluter till växelriktaren på likströmssidan. Med extern mätning på växelströmssidan kan man inte i varje ögonblick avgöra huruvida elen från växelriktaren kommer från solcellsmodulerna, batteriet eller en kombination av de båda. Denna skillnad i systemutformning gör att mätresultat för Borås Elhandels system inte kunnat redovisas i alla grafer och tabeller som följer i detta avsnitt.

Mätperioden juni-2020 till och med maj-2021 har varit ett sämre solår i Borås än vanligt med en global horisontell instrålning (GHI) på 852 kWh/m² enligt SMHI:s databas STRÅNG, vilket kan jämföras med ett "normalår" med 920 kWh/m² enligt SVEBY³⁰s klimatdata för Borås kommun. Det sämre solåret under mätperioden förklarar delvis att uppmät energiprestanda avviker från de i offerterna angivna värdena. Samtidigt är det fortsatt ganska stora skillnader mellan offerterna i vilka värden som angivits för energiprestandan (kWh/kWp/år) för de olika systemen i testet.

Tabell 9 nedan sammanställer nyckeltal från prestandamätningarna, och en analys följer i avsnitt 6.1 till 6.9.

³⁰ SVEBY (Standardisera och verifiera energiprestanda för byggnader) är ett utvecklingsprogram som drivs av bygg- och fastighetsbranschen och finansieras av Energimyndigheten och SBUF samt av branschrepresentanter. SMHI har tagit fram klimatdatafilerna för representativa typår, vilka syftar till att utgöra ett gemensamt underlag för simuleringar och energiberäkningar. Klimatfilerna finns att hämta på www.sveby.org

Tabell 9 sammanställer uppmätta prestandaparametrar för testsystemen över mätperioden 1/6-2020 till 31/5-2021.

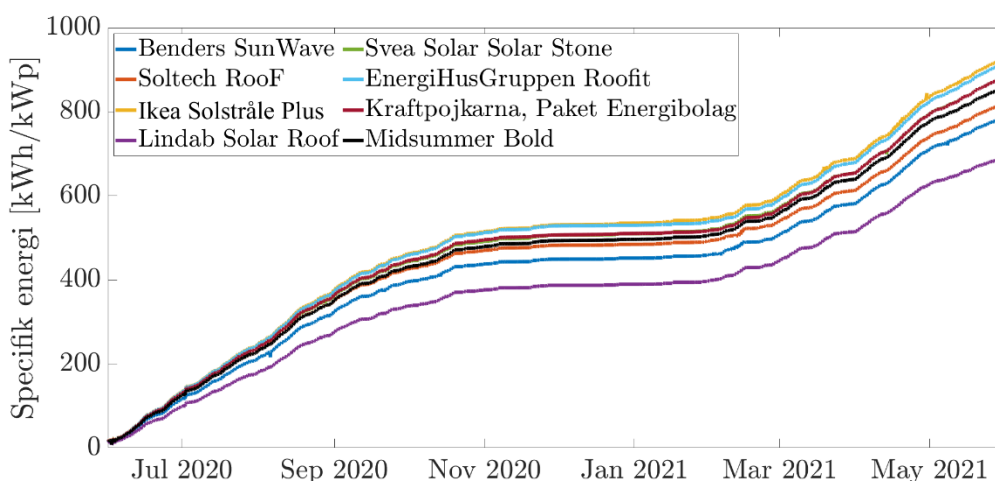
	Benders SunWave	Soltech RooF	Ikea Solstråle Plus	Lindab Solar Roof	Svea solar Solar Stone	Energihus- gruppen Roofit	Borås elhandel Paket Hybrid	Kraftpojkarna Paket Energibolag	Midsummer BOLD
Uppmätt total energiproduktion [kWh/år]	2465	2484	3680	2118	3665	3024	5423	4315	2872
Uppmätt specifik energiproduktion [kWh/(år*kWp)]	800	835	944	706	898	932	875	899	873
Enligt offert uppskattad specifik energiproduktion [kWh/(år*kWp)]	950	900	980	1017	980	Ej angivet	911	1020	850
Uppmätt specifik energiproduktion [kWh/m ²]	87	93	185	55	150	143	160	168	91
Årlig Performance Ratio	0.74	0.77	0.87	0.65	0.83	0.86	-	0.85	0.80
Systemverkningsgrad [%] ³¹	8,3	8,9	17,7	5,3	14,3	13,6	15,3 ³²	16,0	8,7

³¹ Systemverkningsgraden ges som uppmätt energiproduktion relativt total instrålad energi, räknad utifrån systemets grossarea installerat på taken, enligt Bilaga Bilaga 3. Fysiska takmått.

³² Prestanda är räknad utifrån energiproduktionen på likströmssidan, mätt av RCT växelriktaren. För övriga system är motsvarande beräkning gjord för växelströmproduktionen.

6.1 Specifik energiproduktion (kWh/kWp) för de olika systemen.

Energiproduktion (AC) per system, normaliserad till deras respektive installerade kapacitet, uttrycks som kWh/kWp och ger i detta fall ett slags verkningsgradsmått för systemen i sin helhet, under antagande att alla systemen får samma mängd solinstrålning. Kurvorna i Figur 36 visar den ackumulerade specifika energiproduktion ut från växelriktarna för de olika testsystemen över året. Slutvärdena efter ett fullt års drift redovisas i Tabell 9.



Figur 36. Ackumulerad specifik energiproduktion (växelström) över testperioden 1/6-2020 till 31/5-2021. Hybridsystemet från Borås Elhandel med batteri är inte redovisat här då batteriet ger andra förutsättningar för mätning på växelströmssidan.

Systemen producerar mellan 700-940 kWh/kWp under denna mätperiod. Dessa värden ligger i samtliga fall, undantaget Midsummer BOLD, under de prestandasiffror som presenterades i offerterna. Under perioden som testerna genomfördes uppmättes en medel(omgivnings)temperatur på 7,5 °C och en ackumulerad global instrålning i plan med solcellerna på 1070 kWh³³.

De fyra systemen med högst uppmätt specifik produktion har alla monokristallina kiselmoduler, där två av dessa använder standardmoduler. Normaliseringen av energiproduktionen är gjord utifrån systemkapaciteten för likströmssidan hos varje system, så som den redovisats av leverantörerna. Denna systemkapacitet är en summering av solcellsmoduler, vilket introducerar en viss osäkerhet då man oftast använder den nominella märkeffekten för modulerna.

- I de flesta fall plussorteras solcellsmoduler vilket betyder att de sorteras så att deras verkliga effekt är den samma som eller överstiger deras märkeffekt, men inte understiger märkeffekten.
- Plussortering har dock inte applicerats för alla testsystemen. Exempelvis kapaciteten för Midsummer BOLD har redovisats utifrån flash-data på de enskilda modulerna som användes i systemet.
- När modulerna placeras i en sträng begränsas strängens kapacitet av den svagaste modulen. I viss mån undviker systemen med moduloptimerare

³³ Lutning: 45°, Orientering: rakt i söder.

dessa mismatchförluster som kommer av att olika moduler i en sträng kan ha något olika prestanda.

Lindab Solar Roof och Benders SunWave har en markant lägre specifik energiproduktion jämfört med övriga system. Soltech Roof tycks tappa lite prestanda från hösten 2020 och framåt, vilket även indikeras i Figur 37 nedan. Orsaker till detta och särskiljande förutsättningar diskuteras ytterligare i avsnitt 6.4.

6.2 Avvikelse i energiproduktion relativt offert

Mätperioden juni-2020 till och med maj-2021 har varit ett sämre solår i Borås än vanligt med en global horisontell instrålning (GHI) på 852 kWh/m² enligt SMHIs databas STRÅNG, vilket kan jämföras med ett "normalår" med 920 kWh/m² enligt SVEBY³⁴s klimatdata för Borås kommun. Solinstrålningen under mätperioden är således 92,6% relativt angett normalår.

För att på ett mer rättvist sätt kunna jämföra uppmätt specifik energiproduktion med den specifika energiproduktion som angetts i offerten så har i Tabell 10 det uppmätta energiutbytet skalats upp enligt skillnaden i instrålning relativt normalår. Avvikelsen redovisas som skillnaden mellan uppmätt energiproduktion (normalårskorrigerad) och energiproduktion enligt offert angiven, satt i relation till produktionen som angetts i offerten.

Tabell 10. Tabellen redogör för jämförelse mellan uppmätt specifik energiproduktion och specifik energiproduktion enligt offert. Avvikelseerna är både positiva och negativa.

Specifik energiproduktion [kWh/kWp/år]	Benders SunWave	Soltech Roof	Ikea Solstråle Plus	Lindab Solar Roof	Svea solar Solar Stone	Energihus-gruppen Roofit	Borås elhandel Paket Hybrid	Kraftföretagarna Paket Energitbolag	Midsummer BOLD
Uppmätt (normalårskorrigerad)	864	902	1019	762	970	1006	944	971	943
Enligt offert angiven	950	900	980	1017	980	NA	911	1020	850
Avvikelse	-9%	0%	+4%	-25%	-1%	NA	+4%	-5%	+11%

På samma sätt som Lindab Solar Roof och Benders SunWave ligger lägst i uppmätt specifik energiproduktion, se även Figur 36, så är de också de två system vars uppmätta specifika energiproduktion avviker mest negativt från de värden som angetts i offerten. Orsaken till Lindabs anmärkningsvärda avvikelse diskuteras i avsnitt 6.4.1.

³⁴ SVEBY (Standardisera och verifiera energiprestanda för byggnader) är ett utvecklingsprogram som drivs av bygg- och fastighetsbranschen och finansieras av Energimyndigheten och SBUF samt av branschrepresentanter. SMHI har tagit fram klimatdatafilerna för representativa typår, vilka syftar till att utgöra ett gemensamt underlag för simuleringar och energiberäkningar. Klimatfilerna finns att hämta på www.sveby.org

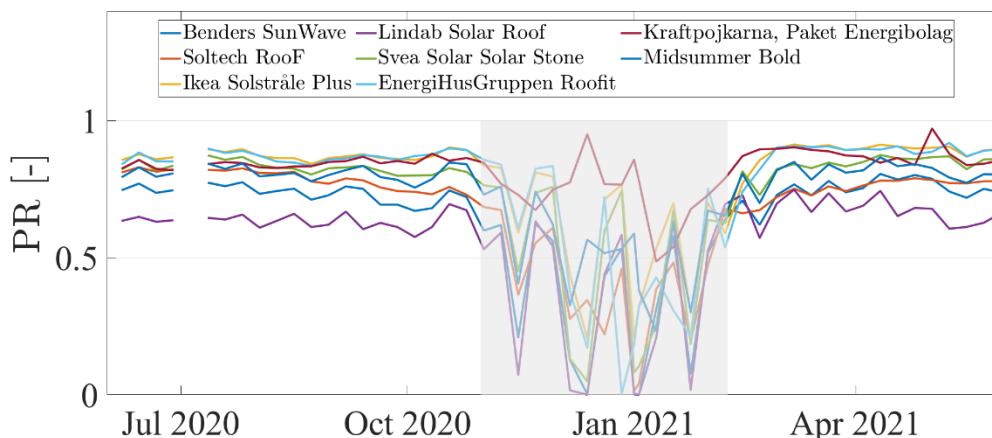
6.3 Performance Ratio

Performance Ratio, PR, är ett av de mer etablerade prestandamåtten för solesystem. Det anges relativt en nominellt maximal elproduktion. Ett PR-värde under 1 indikerar olika typer av förluster i systemet, t.ex. resistiva förluster i kablage, omvandlingsförluster i växelriktare, förluster på grund av förhöjd temperatur i solcellerna, nedsmutsning, m.m. PR anges ofta på årsbasis, men kan beräknas för olika tidsintervall enligt

$$PR = \frac{Y_f}{Y_r} = \frac{\sum P_{ac}/P_0}{\sum G_i/G_{STC}} \quad \text{Ekvation 1}$$

där P_{ac} är uppmätt växelströmseffekt, P_0 är installerad effekt, G_i är uppmätt momentan instrålning i solcellsmodulernas plan och G_{STC} är 1000 W/m².

Figur 37 visar PR veckovis för testsystemen under testperioden juni 2020 till och med maj 2021. Generellt ses att PR går ner under vintern, och med uppmätta värden som då varierar vecka till vecka. Både energiproduktionen och solinstrålningen är låg, och de påverkas lätt av att modulerna och/eller instrålningsgivare periodvis täckts med dagg, frost eller snö. Växelriktarna startar dessutom inte vid för låga instrålningsnivåer vilket påverkar PR negativt. Generellt är bedömningen att vi inte har tillräckligt bra informationsunderlag för att kunna presentera begripliga värden på PR under vintermånaderna. Även månaderna februari – mars omfattar perioder med snö. Trenden för Kraftpojkarnas Paket Energibolag avviker periodvis från övriga, vilket delvis beror på att en annan instrålningsgivare används för det systemet i beräkning av PR. Ett beräknat årligt PR-värde är angivet i Tabell 9 för vardera systemet.



Figur 37. Figuren visar performance ratio, PR, för testsystemen juni 2020 till och med maj 2021. Vintermånaderna november till februari med låg instrålning är svårbedömda.

6.4 Anmärkningar angående avvikande prestanda

Några av solelssystemen har karakteristika som skiljer dem eller påverkar deras förutsättningar för prestandautvärderingarna relativt övriga system.

6.4.1 Lindab Solar Roof

Lindab Solar Roof ligger markant under övriga system vad gäller energiprestanda. Systemet har inte fungerat korrekt någon del av mätperioden, med flera olika tekniska problem ända sedan driftsättningen.

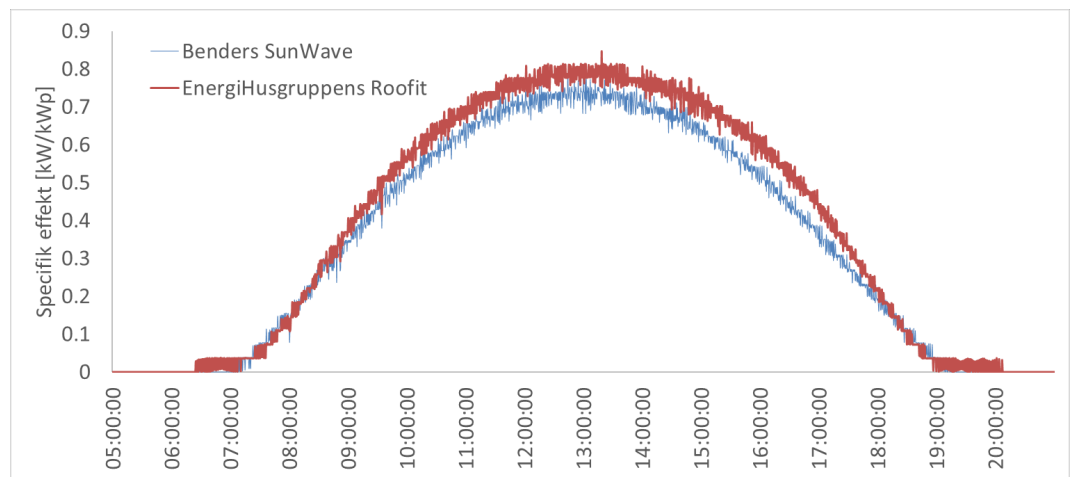
- Initialt hittades ett antal moduler som underproducerade. Problemet lokaliserades delvis med hjälp av moduloptimerarna, och Lindab informerades i början av vecka 30. Efter ytterligare felsökning med fältmätningstrustning ombads Lindab byta de berörda modulerna. Det dröjde 20 veckor innan Lindab i början av december-2020 bytte modulerna. Enligt plan skulle de nya modulerna limmas utanpå de gamla, men takläggarna kunde relativt enkelt dra bort de gamla modulerna och limma de nya direkt på plåten.
- I april-2021 byts ytterligare två moduler som inte producerade enligt specifikation.
- Solar Edge påpekade att systemet initialt hade en moduloptimerare för lite för att fungera optimalt. I början av februari-2021 monteras därför ytterligare en optimerare av Lindab.
- Både optimerare och växelriktare har visat på kommunikationsproblem gentemot Solar Edge webserver, vilket ledde till att Solar Edge bytte kommunikationsmodulen i växelriktaren. Detta har dock inte påverkat systemets energiprestanda.



Figur 38. Byte av de 8 av 25 solcellsmoduler från Lindab som var skadade och vars energiproduktion var avsevärt lägre än specificerat i datablad. Modulerna drogs bort från plåten och nya moduler limmades tillbaka.

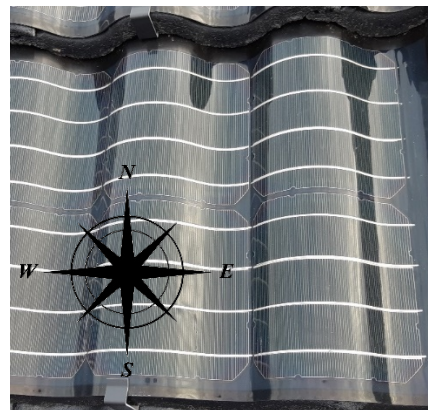
6.4.2 Benders SunWave

För Benders SunWave är anledningen till den lägre specifika produktionen inte lika uppenbar, och kanske inte nödvändigtvis relaterad till något fel i systemet. Modulerna är vågformade för att följa tegelprofilen, och solinstrålningen får således en svårdefinierad infallsvinkel relativt solcellernas aktiva yta. Strömmen genom systemet bestäms av den totala solinstrålningen på solcellerna, vilket för de böjda cellerna inte kommer att nå samma toppvärde som för en plan solcell som i sin helhet kan orienteras mot solen. Detta syns om man jämför normerade produktionskurvor för Benders SunWave och Energihusgruppens Roofit, då de ligger precis bredvid varandra. Graferna i Figur 39 visar hur Benders SunWave (blå linje) inte når samma specifika effekt som det plana Roofit-systemet från Energihusgruppen (röd linje) mitt på dagen. Tidig morgon och sen kväll är produktionen mer jämförbar.



Figur 39. Grafen visar specifik effekt för Benders SunWave och Energihusgruppens Roofit under en klar dag i augusti. Benders SunWave når inte samma topp effekt, och har även en produktionskurva som är något förskjuten mot morgontimmarna.

Benders SunWave följer produktionen hos Energihusgruppens plana Roofit system bättre på morgonen, och tappar snabbare på kvällen. Anledningen kan sannolikt härledas till fördelningen av solceller i modulen, och hur kurvformen får större delar av cellerna att vinklas mot öster där solen befinner sig under morgontimmarna, medan en mindre del av solcellerna möter solen på eftermiddagen då den går ner i väster.



Figur 40. Energiproduktionen över dagen påverkas av modulernas utformning, vilken gör att förmiddagens instrålning utnyttjas lite mer effektivt än instrålning under eftermiddagen.

6.4.3 Soltech Roof

Soltech Roof ser ut att tappa lite i performance ratio från hösten 2020 och framåt relativt övriga system. Vid inspektion efter ett år tycks solcellerna leverera en lägre spänning till växelriktaren än vad datablad nominellt anger, men ytterligare undersökning behövs för att förstå vad som hänt.

6.4.4 Midsummer Bold

Midsummer BOLD installerades mot råsponen utan läkt och med endast takpappen emellan. Den del av taket där testsystemet är placerat har ett ouppvämt men dåligt ventilerat vindsutrymme under sig. Detta vindsutrymme bör bli varmare än motsvarande baksidor av de taktytor som övriga testsystem använder, vilka är lite bättre ventilerade. Förhållandena bakom testtakets bidrar därför sannolikt till en något högre modultemperatur för Midsummer BOLD.

Temperaturen inne i vindsutrymmet mäts, men inte temperaturen bakom de övriga testtaken. Vindsutrymmet har en årlig medeltemperatur på 12 °C, medans utomhusluften har en årlig medeltemperatur på 7,5°C. Där övertemperaturen för Midsummer BOLDs moduler redovisats så används fortsatt utomhustemperaturen på samma sätt som för de övriga systemen.

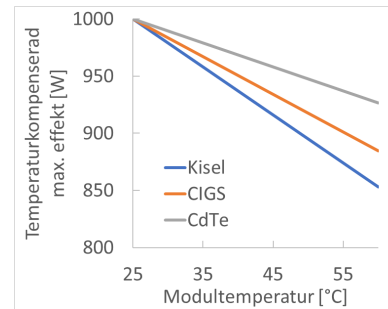
6.5 Modultemperatur och koppling till energiproduktion.

Elproduktionen från solcellsmoduler påverkas negativt då de blir varma. Temperaturkoefficienten, γ , för effektutbytet varierar huvudsakligen beroende på typ av aktivt material i solcellen. För systemen i testet gäller till exempel en temperaturkoefficient för maximal effekt (P_{\max}) på:

- $\gamma = -0,37$ till $-0,42$ %/K för monokristallina moduler (IKEA, Kraftpojkarna, Borås Elhandel, Svea Solar, Energihusgruppen),
- $\gamma = -0,33$ till $-0,35$ %/K för CIGS-tunntilm (Benders, Midsummer, Lindab),
- $\gamma = -0,21$ %/K för CdTe-tunntilm (SolTech).

Ju större (negativt) värde på temperaturkoefficient desto mer prestanda tappar solcellsmodulerna med en ökad celltemperatur. Tunntilm solceller med CdTe tappar mindre effekt när det blir varma än vad monokristallin kisel gör.

Om ett system har en nominell effekt på 1000W, givet dess märkeffekt vid STC³⁵ så minskar tillgänglig maximal effekt med ökad celltemperatur beroende på temperaturkoefficient enligt graferna till höger. För att behålla verkningsgraden på solelsystemet, så vill man således undvika att solcellsmodulerna värms upp.



Figur 41. Graferna indikerar hur maxeffekten på en solcell minskar med ökad celltemperatur. Olika material har olika egenskaper.

Vid installation av testsystemen monterades temperatursensorer på baksidan av solcellsmodulerna, se Figur 42, för att kunna uppskatta modultemperaturerna, och jämföra dessa mellan de olika systemen med sina olika moduler och montage. I Figur 43 nedan plottas övertemperaturen (temperaturskillnaden mellan omgivningstemperaturen och modultemperatur) mot solinstrålningen. Solstrålningen uttrycks här som y_r ; kvoten mellan uppmätt solinstrålning och en nominell nivå på 1000 W/m². Relationen mellan övertemperatur och solinstrålning betecknas termisk resistans och anger hur varma solcellsmodulerna blir när solen skiner. Den uppmätta termiska resistansen för systemen är angivna som k-värden i Figur 43.



a) PT100 givare med termisk pasta och tunn isolering mot omgivningen.

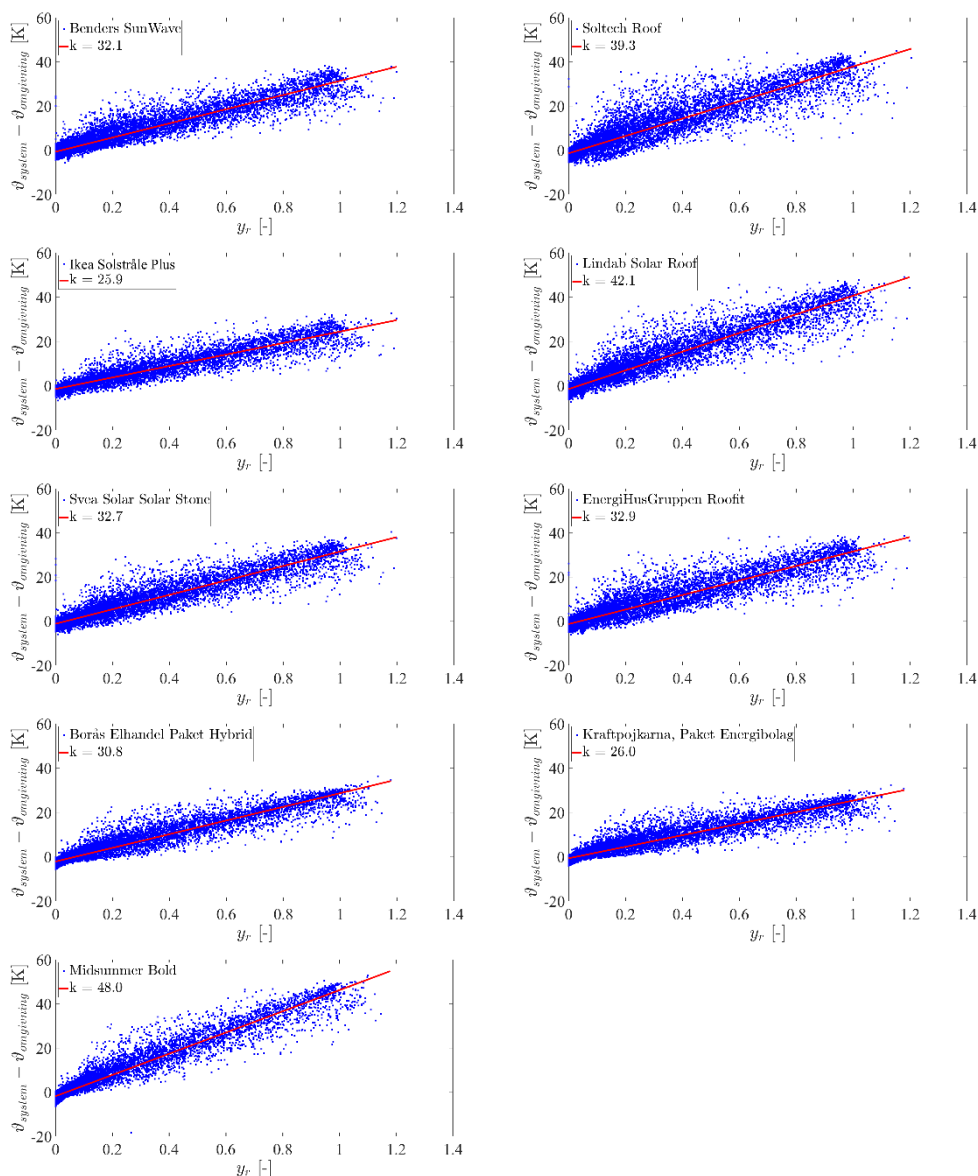


b) PT100 givare tejpad mot baksidan på solcellsmodul för mätning av modultemperatur.

Figur 42. Bilderna visar montage av PT100-givare för mätning av modultemperatur.

Modultemperaturen antas variera beroende på hur modulerna monterats och vilken naturlig luftcirkulation som tillåts ventilera bort värme från modulerna. Systemen Lindab Solar Roof, Soltech Roof och Midsummer BOLD använder takintegrerade moduler som blir signifikant varmare än övriga moduler i testet. Dessa använder alla tunnfilmmoduler som är mindre känsliga för höga temperaturer än kisel, sett till deras uteffekt, så som visas i Figur 41. De utanpåliggande standardmodulerna är bättre ventilerade och har lägst termisk resistans. I Figur 43 nedan redovisas den högsta termiska resistansen för Midsummer BOLD, men påverkas i viss mån av systemets placering ovan vindsutrymme som beskrivet i avsnitt 6.4.4.

³⁵ STC står för "Standard Test Conditions" vilket motsvarar 25°C celltemperatur, en instrålning på 1000W/m², samt ett väldefinierat frekvensspektrum



Figur 43. Graferna visar övertemperaturen för solcellsmodulerna i vardera system. Så som beskrivs i avsnitt 6.4.4 så är förutsättningarna för Midsummer BOLD lite annorlunda, vilket kan påverka redovisade övertemperaturer och k-värde för detta system.

I Figur 44 nedan ges en jämförelse mellan PR enligt Ekvation 1 ovan, och temperaturkorrigerad PR_{STC} enligt Ekvation 2 nedan.

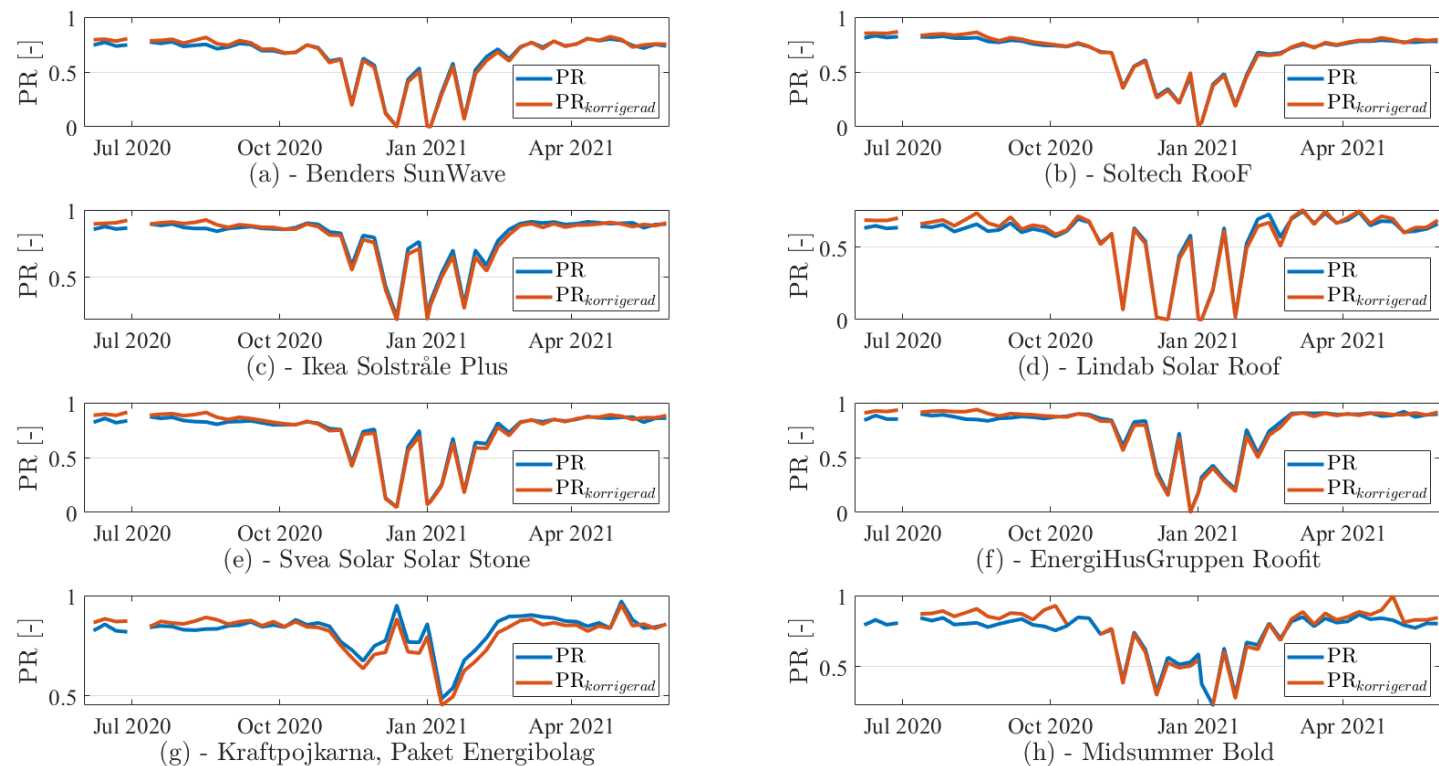
$$PR_{STC} = \frac{Y_f}{Y_r} = \frac{\sum P_{ac,k} \times \tau_k / (P_0 \times C_k)}{\sum G_{i,k} \times \tau_k / G_{STC}}, \text{ där}$$

Ekvation 2

$$C_k = 1 + \gamma \times (T_{mod,k} - 25)$$

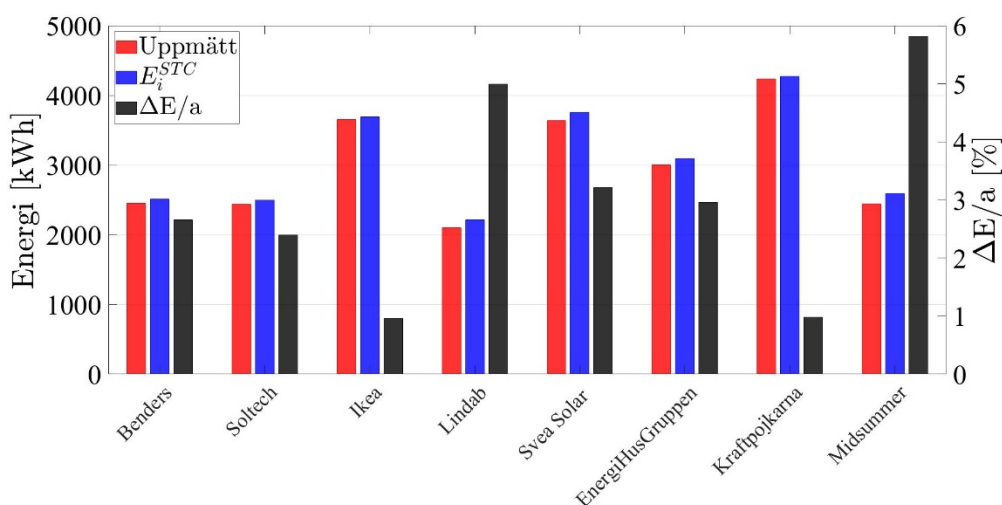
, där γ är den relativa maximum power point temperaturkoefficienten, hämtad från modulernas datablad, $T_{mod,k}$ är uppmätt modultemperatur under tidsintervallet k.

Skillnaden mellan PR och PR_{STC} visar på hur modultemperaturen påverkar energiutbytet hos testsystemen. I PR_{STC} kompenseras för modulernas faktiska temperatur relativt 25°C . De förluster som kvarstår och som fortsatt reducerar PR från idealvärdet 1, kommer av andra förluster i systemet och de faktiska förhållandenas avvikelser från STC . Överlag så kompenseras övertemperaturer under de varma sommarmånaderna och undertemperaturer under kyligare vårmånader, relativt 25°C celltemperatur. Det är dock svårt att särskilja markanta skillnader mellan systemen i Figur 44, möjligtvis med undantag för Midsummer BOLD där de höger modultemperaturen bedöms ha en inverkan på PR som blir tydligare än för de övriga testsystemen.



Figur 44. Graferna visar performance ratio för vardera systemet med (orange) och utan (blå) korrigering för modultemperaturen. Skillnaden mellan dessa värden indikerar effekt av modultemperatur på energiutbytet. Resterande avvikelse från ett idealt PR=1, beror av andra systemförluster och förutsättningar som avviker från STC.

Skillnaderna mellan PR och PR_{STC} kan översättas till en uppskattning av modultemperaturens inverkan på det totala årliga energiutbytet för systemen, så som visas i Figur 45. Även här är skillnaderna förhållandevis små. För de system med utanpåliggande solcellsmoduler, IKEA Solstråle Plus och Kraftpojkarna Paket Energibolag, uppskattas minskningen i årligt energiutbyte på grund av modultemperaturens avvikelse från 25 °C till cirka 1%. För de mer byggnadsintegrerade modulerna ligger motsvarande förlust på mellan 2,5% - 6% så som visas på höger axel av Figur 45.



Figur 45. Grafen visar skillnaden mellan uppmätta energiutbyten (röd) och uppskattade energiutbyten för motsvarande system med modultemperaturen omräknad till 25 °C (blå). De relativa skillnaderna ligger mellan 1% - 3%, med undantag för Lindab Solar Roof och Midsummer Bold där skillnaden uppskattas nå nästan 6%.

6.6 Diffusverkningsgrad

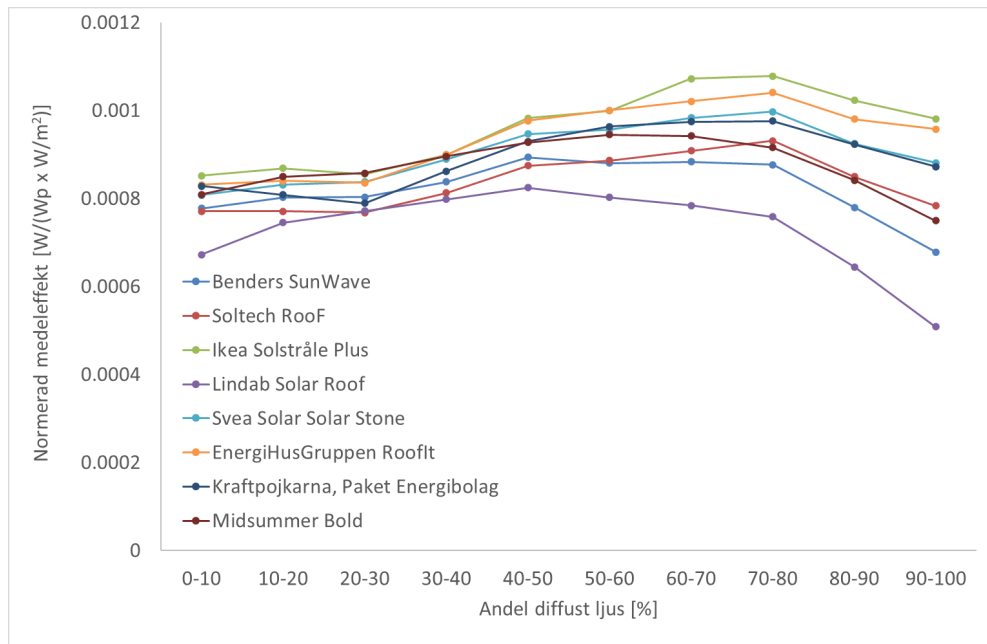
Diffusverkningsgrad rör solesystems prestanda vid olika andel diffust ljus relativt den totala instrålningen. Diffust ljus är ljus som kommer ifrån alla riktningar efter att det spridits i moln, dimma eller atmosfären i stort, och skiljer sig därigenom mot direkt instrålning.

Data som presenteras i Figur 46 och Figur 47 nedan har samlats under tre olika perioder från oktober 2020 till maj 2021. För att undvika inverkan av alltför låga infallsvinklar så har enbart data mellan 11:00 och 15:00 används. Trots detta kan vi se en stor mängd data med väldigt låg global instrålning, nästan uteslutande vid hög andel diffusinstrålning. Eftersom diffusinstrålningen är relativt konstant, så finns en stark koppling mellan hög diffusandel och avtagande global instrålning, så som visas i Figur 47 nedan. Det innebär att det är svårt att renodla diffusandelens effekt på testsystemens prestanda, utan att få med det faktum att den totala instrålningen också förändras, vilket i sig också påverkar modultemperaturen och arbetspunkten för växelriktaren.

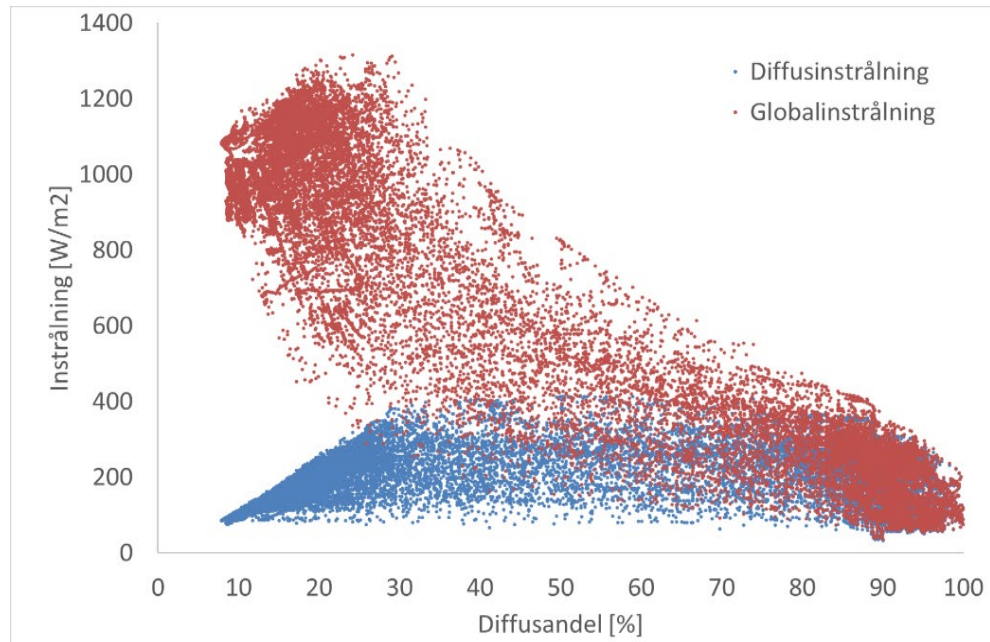
I Figur 46 nedan presenteras medeleffekten normerad mot installerad topp effekt och mängd solinstrålning för testsystemen, vilken kan läsas som ett slags prestandamått, som funktion av andelen diffust ljus.

Utifrån data som presenteras här så noteras tre olika trender;

- Med en diffusandel på runt 70-80% tycks prestandan för samtliga system nå ett maximum.
- Prestandan avtar vid diffusandel över 80%.
- De system som ligger lägst vid hög diffusandel är samtliga baserade på tunnfilmssolceller.



Figur 46. Normerad medeleffekt kan läsas som ett slags verkningsgradmått som här redovisas som funktion av andel diffust ljus. Alla fyra system som ligger lägst vid högre andel diffust ljus är baserade på tunnfilmsteknik.



Figur 47. Grafen visar global instrålning i solcellsmodulernas plan, tillsammans med diffusinstrålningen plottad mot andelen diffusinstrålning. Diffusinstrålningen är relativt konstant, medan direktinstrålningen huvudsakligen styr värdet på diffusandelen.

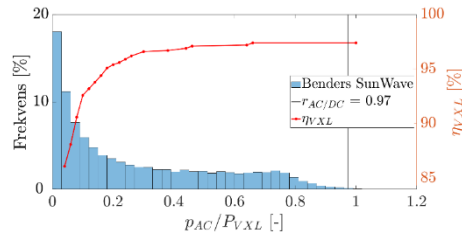
6.7 Belastningsgrad av växelriktare

I samband med leveransen av solesystemen så påtalade RISE att några system installerats med växelriktare vars storlek inte stod helt i relation till deras totala kapacitet solcellsmoduler. Detta ledde till att växelriktarna för Benders SunWave och SveaSolar Solar Stone byttes till mindre enheter, medan det maximalt tillåtna effektuttaget för växelriktaren till Energihusgruppen RoofIt ökades med 10% via justering av interna parametrar.

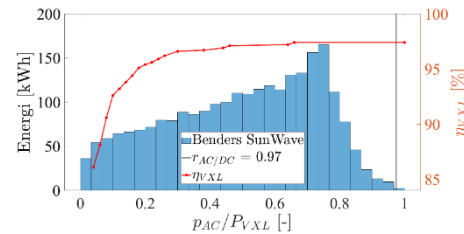
Figur 48 nedan visar hur växelriktarna används i termer av den relativa effektbelastningen, d.v.s. hur mycket effekt den levererar ut i relation till dess nominella storlek. Det är väldigt stor skillnad i att betrakta användningen i termer av hur stor andel av drifttiden som växelriktaren når upp till en viss nivå, och hur mycket energi som produceras vid en viss belastningsgrad. I Figur 48 redovisas både fördelningen i tid och i energiproduktion för vardera systemet (Borås Elhandel Paket Hybrid undantaget). I figurerna ligger även en vertikal markering, $r_{AC/DC}$, som indikerar hur växelriktaren är dimensionerad relativt installerad solcellskapacitet. Om detta värde är under 1 så är den nominella kapaciteten på växelriktaren lägre än den installerade solcellseffekten. För några av växelriktarna har vi även kunna lägga in deras ungefärliga verkningsgradskurva, η_{VXL} , så att användningen av växelriktaren kan sättas i relation till verkningsgraden.

Värt att notera i Figur 48 är att för många av system sker den största energiproduktionen mellan 60%-80% relativ belastning av växelriktaren då växelriktarens nominella storlek matchar installerad solcellskapacitet. I dessa fall klipper växelriktaren i princip ingen energi ens vid de högsta effekterna. Den enda

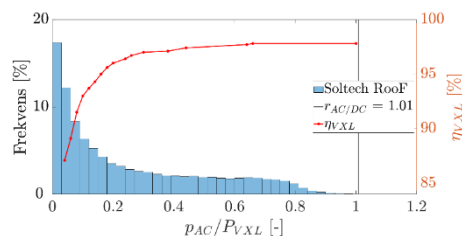
anläggning där växelriktaren tycks begränsa uteffekten är för Kraftpojarna Paket Energibolag, där $r_{AC/DC} = 0,83$, och där växelriktaren inte tycks tillåta att den överbelastas. För Midsummer BOLD däremot kan ses att växelriktaren inte klipper uteffekten, trots att uteffekten emellanåt överstiger växelriktarens nominella effekt.



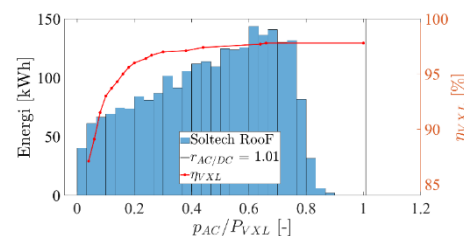
a) Tid - Benders SunWave



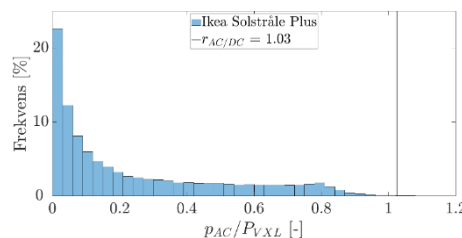
b) Energi - Benders SunWave



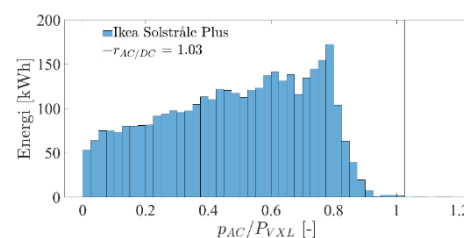
c) Tid - Soltech Roof



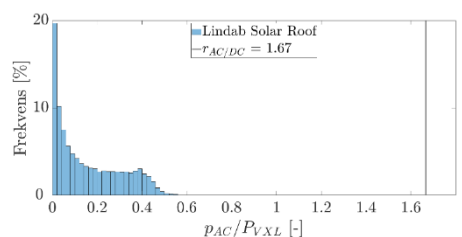
d) Energi - Soltech Roof



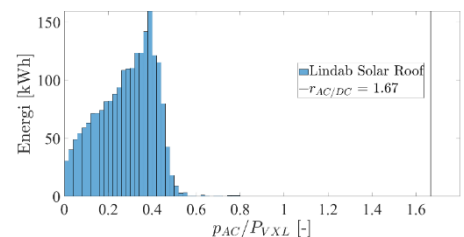
e) Tid - Ikea Solstråle Plus



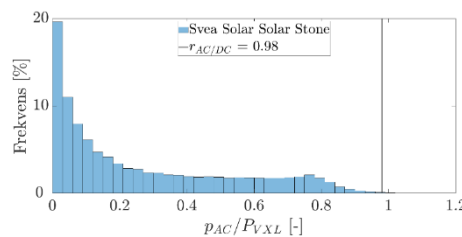
f) Energi - Ikea Solstråle Plus



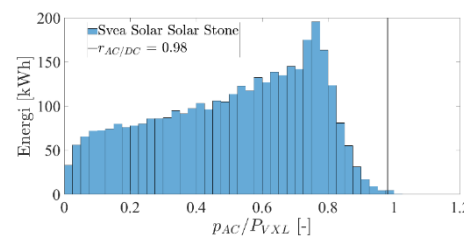
g) Tid - Lindab Solar Roof



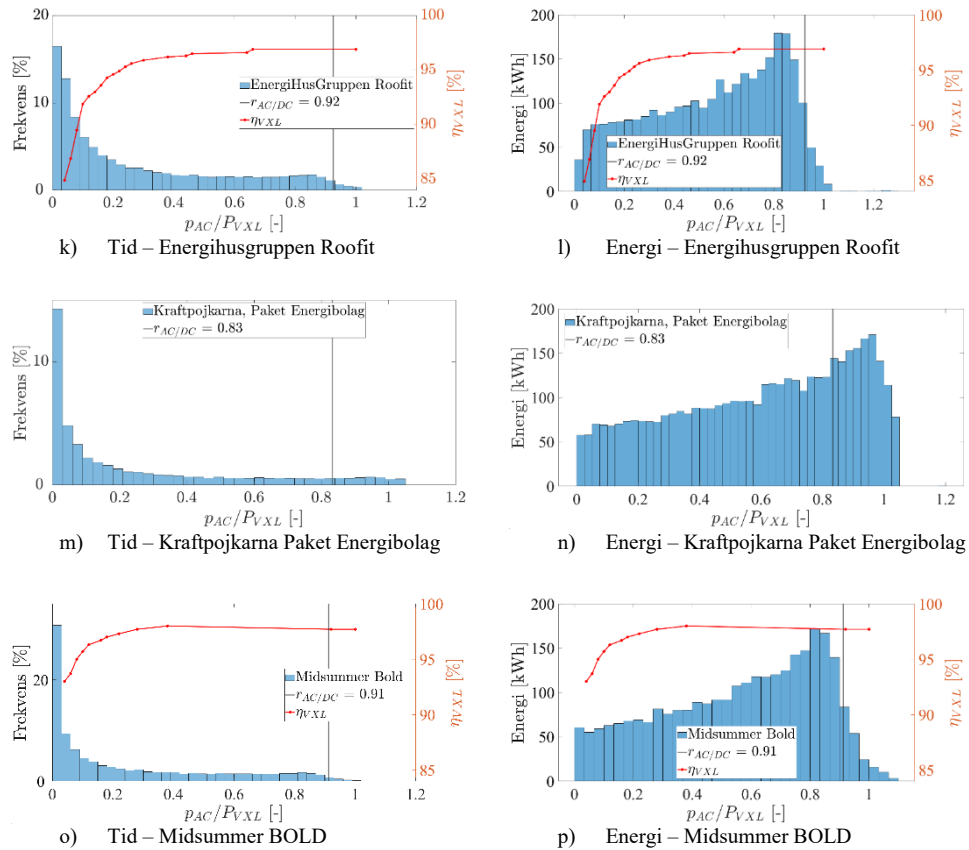
h) Energi - Lindab Solar Roof



i) Tid - Svea Solar Solar Stone



j) Energi - Svea Solar Solar Stone



Figur 48. Graferna visar hur mycket växelriktarna används i form av fördelning gentemot relativ effektbelastning av växelriktarna. Den vänstra kolumnen visar fördelning av tid och den högra kolumnen fördelningen av energiproduktion. I graferna visas även den relativa storleken på växelriktaren gentemot installerad solcellskapacitet, samt i vissa fall en ungefärlig verkningsgradskurva för växelriktaren.

6.8 Egenanvändning och självförsörjning av solex

I anslutning till analysen av hur mycket solex (kWh) de olika systemen producerar och hur den solexproduktionen förhåller sig till deras respektive storlek (kWh/kWp), så är det intressant att undersöka hur mycket av den producerade solex som används direkt i huset, och hur mycket som säljs ut till elnätet. Den solex som används direkt i huset där solcellsanläggningen är monterad innebär en motsvarande minskning i inköpt el under den tidsperioden.

I analysen särskiljs ”Egenanvändning” av solex och ”Självförsörjningsgrad”. Egenanvändningen är ett mått på hur stor andel av solexproduktionen som används i huset, d.v.s. den solex som inte skickas ut på nätet. Självförsörjningsgraden är ett mått på hur stor andel av den momentana elanvändningen i huset som täcks av solexproduktionen. Skillnaden på dessa mått består således i vilken energimängd som man normerar emot; antingen solexproduktionen eller elanvändningen. I och med att testanläggningarna är installerade på en industrilokal, så har elförbrukningen i en villa behövt efterliknas med hjälp av en styrbar trefaslast. Rent fysiskt är denna styrbara last kopplad till Borås Elhandels Paket Hybrid.

Direktanvändning av solex påverkas av testanläggningarnas systemstorlek på ett sätt som gör att det inte är så lätt att kompensera för skillnader i systemstorlek vid en jämförelse mellan systemen. Förändringen i överlapp mellan solexproduktion och elförbrukning är nämligen inte proportionellt mot storleken på systemet. Antaget den elförbrukning som beskrivs i avsnitt 6.8.1 nedan så skulle man på nästan alla geografiska platser i Sverige kunna ha en solcellsanläggning på 15 kWp kopplad till elförbrukningen och fortfarande vara nettokonsument, vilket är krav för att bli klassad som mikroproducent enligt nuvarande regelverk. Testsystemen på mellan 3-6 kWp kan därför anses små i relation till den last som använts och många villaägare hade sannolikt valt att investera i en större anläggning.

Utöver storleken på solcellsanläggning och elförbrukning så är det flera andra parametrar som kan påverka hur väl solexproduktionen och elförbrukningen överlappar; elförbrukningens lastprofil, konfiguration av växelriktare, orientering av solcellsmoduler, skuggning, m.m. Solelssystemen som berörs här har alla samma orientering³⁶ och matchas mot samma lastprofil.

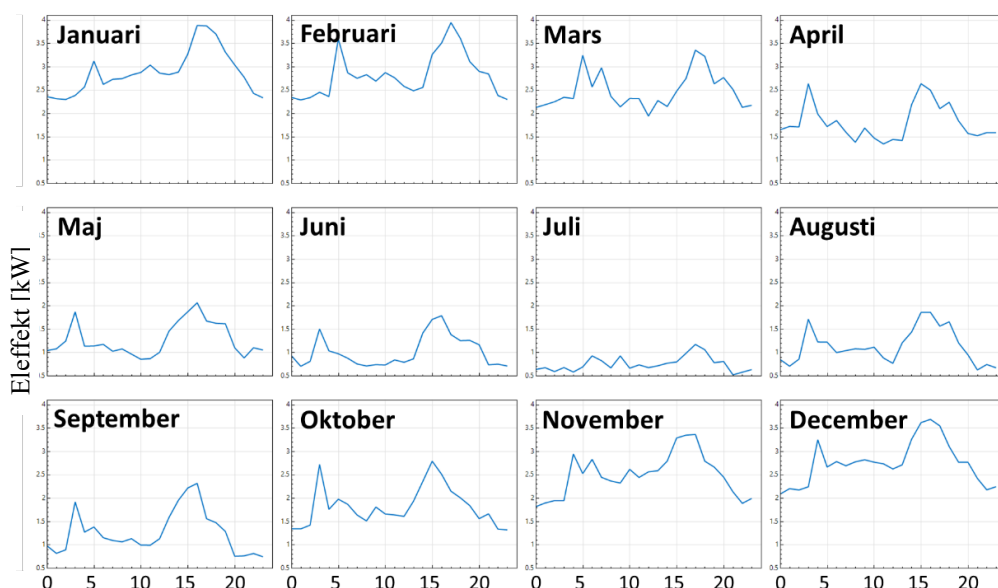
6.8.1 Elförbrukning i en villa

Lastprofilen som ansatts för att efterlikna en villalast i labbuppställningen, härrör från en faktiskt uppmätt elanvändning i ett hus i sydvästra Sverige. Profilen summerar över året till en total energianvändning på 16 400 kWh/år och en maximal elanvändning på 6 kWh/h. I Figur 49 nedan illustreras lastprofilen, månad för månad.

En stor del av elenergianvändningen är relaterad till uppvärmning då vi ser en hög baslast under vinterhalvåret, vilken sedan avtar under våren till att nästan försvinna helt mitt under sommaren. Med stor sannolikhet är detta ett hus som värms med värmepump. Lastprofilen valdes avsiktligt på grund av dess tydliga effekttoppar på morgon och kväll, vilket skapar bra möjlighet för ett batteri att ladda överskott av solex under dagen som sedan kan laddas ur för att täcka upp mot elförbrukningen på kvällen. Inte alla lastprofiler för villor visar samma förbrukningsmönster. Resultaten för egenanvändning och självförsörjningsgrad som redovisas nedan gäller således för denna lastprofil, och kan inte antas gälla villor i allmänhet.³⁷

³⁶ Testanläggningarna är orienterade rakt i söder, med en lutning på 45 grader.

³⁷ RISE och NIBE Energy Systems driver just nu ett projekt med finansiering ifrån Energimyndighetens forskningsprogram E2B2 för att mäta den faktiska egenförbrukningen av solex i nio olika villor i landet med olika typer av värmepumpar i syfte att se hur stor del av solexproduktionen som används direkt inom systemgränsen som används i Boverkets byggregler.



Figur 49. Graferna visar lastprofilen över dygnet för ansatt elförbrukning i en villa, redovisad månad för månad. Lastprofilen visar en högre elförbrukning under vinterhalvåret, vilket tyder på att uppvärmningen är elberoende. Samtidigt syns relativt tydliga förbrukningstoppar under morgon och kväll. Graferna är genererade via programvaran System Advisor Model.

Den simulerade lasten anslöts rent fysiskt till testsystemet från Borås Elhandel för att testet skulle kunna inkludera en utvärdering av hur batteriet påverkar egenanvändning och självförsörjningsgrad. För de övriga testsystem som inte inkluderar något batteri så har egenanvändning och självförsörjningsgrad i stället beräknats utifrån samma lastprofil och med mätdata från testsystemen.

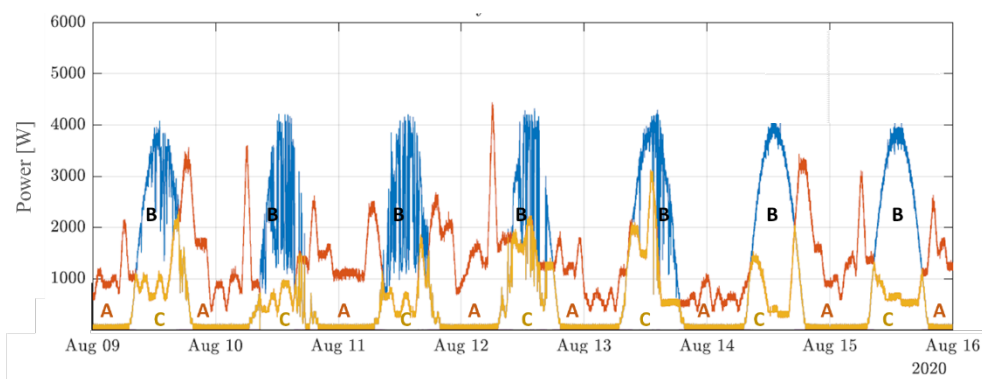
Graferna i Figur 50 illustrerar sambanden mellan solelproduktionen, den simulerade elförbrukningen i villan, direktanvändningen av solel och export av solel till elnätet för ett av testsystemen under en vecka i augusti. Ytorna under de olika graferna och deras överlapp utgör underlag för att beräkna egenanvändning och självförsörjning.

- Egenanvändningen, SC, ges som:

$$SC = \frac{C}{B + C} = \frac{\text{Direktanvändning av solel i byggnaden}}{\text{Total solelproduktion}}$$

- Självförsörjningsgraden, SS, ges som:

$$SS = \frac{C}{A + C} = \frac{\text{Direktanvändning av solel i byggnaden}}{\text{Total elförbrukning}}$$



Figur 50. Elenergiflöden inom och över husets systemgräns representeras av ytorna under givna grafer och deras överlapp; lasten [A+C], solelproduktionen [B+C], och den del av solenergin som används direkt av lasten [C]. Dessa storheter används för beräkning av grad av egenanvändning och självförsörjningsgrad så som delmängderna indikerats med bokstäver.

6.8.2 Egenanvändning

Graden av egenanvändningen beskriver hur stor del av solelproduktionen som används direkt i huset. Ju högre grad av egenanvändning, desto mindre solel skickas ut på nätet.

Alla testsystemen i Figur 51 visar en egenanvändning som är lägre på sommaren och högre på vintern. Det beror på att under sommaren är solelproduktionen hög medan elförbrukningen är låg, och endast runt 40%-60% av solelproduktionen används direkt i huset. I och med att solelproduktionen under hösten avtar samtidigt som elförbrukningen ökar så ökar även den andel av solelproduktionen som används direkt av huset. Från och med november är egenanvändningen 100% för alla testsystem och given lastprofil, d.v.s. ingen solel skickas ut på nätet.

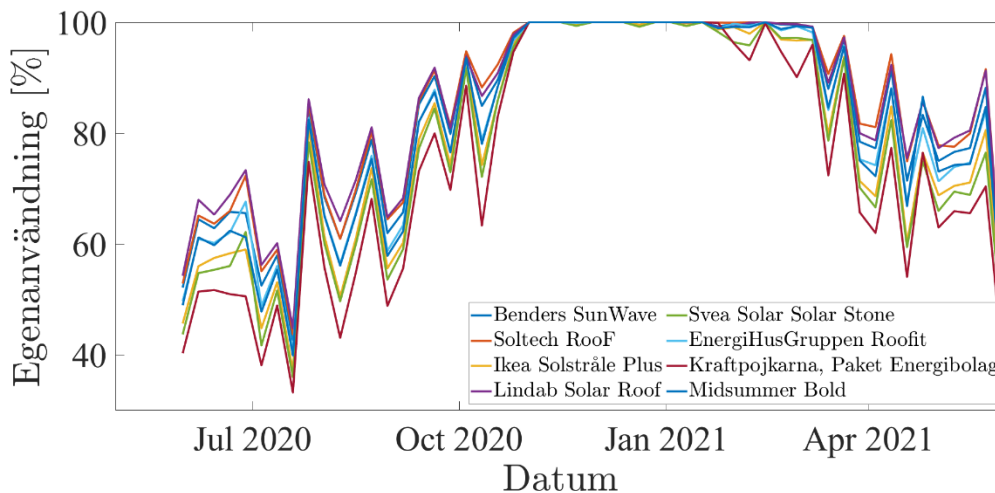
Egenanvändningen är inte normerad till systemstorlek, och spridningen mellan de olika system kommer av att de producerar olika mycket solel, vilket i första hand beror på hur stora de är; ju större solelssystem, desto mer solelproduktion och desto lägre egenanvändning relativt den givna lasten. Kraftpojkmarnas Paket Energibolag på 4,80 kWp redovisar således en lägre egenanvändning än Soltech RooF på 2,98 kWp.

Borås Elhandel Paket Hybrid är undantaget i Figur 51 och presenteras separat i Figur 52 nedan. Borås Elhandel Paket Hybrid har ett batteri vars funktion är inställd för att hjälpa till att höja graden egenanvändning av solel³⁸. Figur 52 visar både uppmätt egenanvändning för testsystemet med batteri, och en beräknad egenanvändning för ett motsvarande solelssystem av samma storlek fast utan batteri. Ökningen i egenanvändning som batteriet bidrar med ges i figuren till cirka 20 procentenheter under årets ljusa månader.

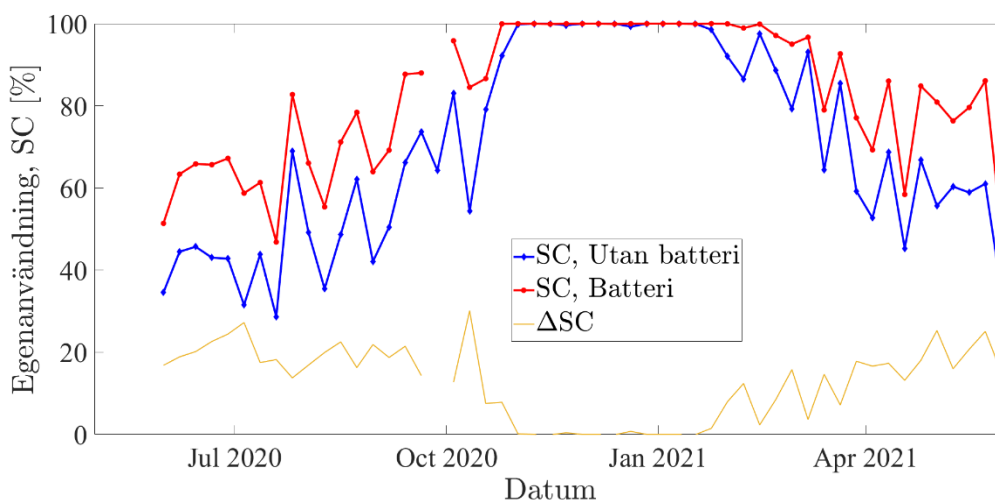
Oavsett batteri så kan egenanvändningen inte överstiga 100%, vilket gör att batteriet under vintern inte gör någon nytta med nuvarande konfiguration. Det står i stället till stor del urladdat, då den lilla solel som finns att tillgå prioriteras till att täcka lasten,

³⁸ Flera andra tillverkare av batterier för byggnader styr dessa på ett liknande sätt för att optimera egenanvändningen av solel.

och skulle i stället kunna konfigureras till att ge andra nyttor, så som t.ex. kapning av effekttoppar eller elnätstjänster.



Figur 51. Egenanvändningen av sol är lägst under sommaren och ökar sedan under hösten för att under vintern bli 100% för alla system i testet. Skillnaden mellan de olika systemen består huvudsakligen i deras skillnad i storlek. Ju större solelkapacitet desto lägre egenanvändning relativt en given last.



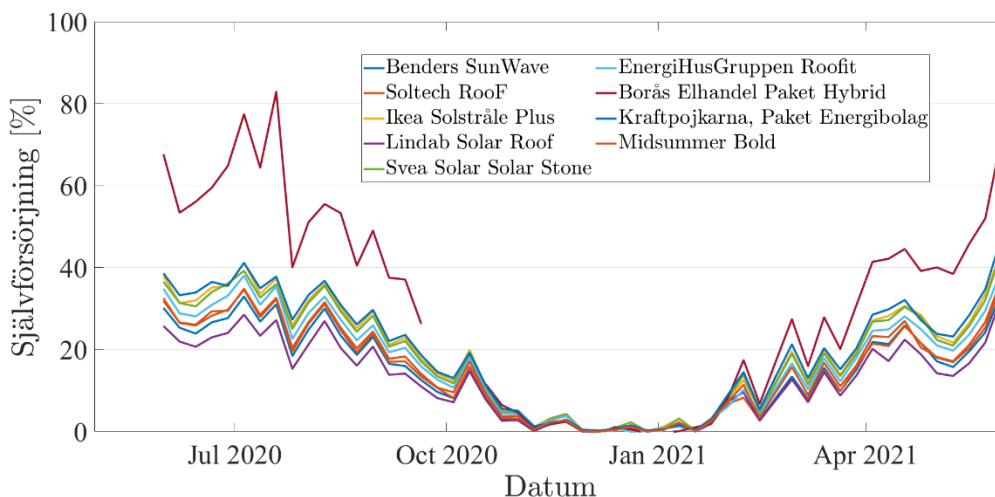
Figur 52. Egenanvändning för Borås Elhandel Paket Hybrid uppmätt enligt röd linje, och beräknad för motsvarande systemstorlek utan batteri, blå linje. Den gula linjen indikerar den ökning som batteriet bidrar till, d.v.s. skillnaden mellan testsystemet med och utan batteri.

6.8.3 Självförsörjning

Självförsörjningen beskriver hur stor del av elförbrukningen som täcks av solelproduktionen. Ju högre grad av självförsörjning, desto mindre el köps ifrån nätet.

Graden av självförsörjning med sol minskar för samtliga testsystem då man går från sommar till vinter som en konsekvens av kortare dagar med en minskad solelproduktion och en tilltagande elförbrukning. Till skillnad från egenanvändningen så ökar självförsörjningsgraden med storleken på

solenergiproduktion, vilket gör att Kraftpojknas system (4,80 kWp) ger en högre grad av självförsörjning än Soltech Roof (2,98 kWp). Även om självförsörjningsgraden för Borås Elhandels system (6,2 kWp) borde ha varit störst redan på grund av systemets storlek, så lyfts den ytterligare med hjälp av batteriet då detta täcker ytterligare för elförbrukningen med hjälp av inlagrad sol, efter att solen går ner.



Figur 53. Självförsörjningen av sol är högst under sommaren och avtar sedan under hösten. Vecka 39, 40 och 42 är borttagna för Borås Elhandel Paket Hybrid på grund av att mätdata saknas för delar av dessa veckor, och för att laststyrningen under en period slutade fungera.

6.9 Batteriets funktion vid strömavbrott

Kopplingsutrustningen som medföljer installation av hybridväxelriktaren ”RCT Power Storage DC” i Borås Elhandel Paket Hybrid medger två olika anslutningar för laster; dels en som inte har någon back-up i händelse av strömavbrott, dels en (prioriterad) som använder batteriet reservkraft för att försörja lasten om elnätet faller bort.

I och med att systemet kan användas som reservkraft i ö-drift, så behövs installationen kompletteras med ett lokalt jordtag då det inte går att förlita sig på att jordanslutningen ifrån elnätet är intakt vid strömavbrott. För säker ö-drift krävs också att systemet kan kopplas bort fysiskt från elnätet vid strömavbrott vilket i detta fall ordnas med hjälp av en så kallad power switch vilken ingår i systemet som en separat enhet. En sådan strömbrytare ingår ibland, men inte alltid, i hybridväxelriktaren.

Det lokala elnätsbolaget anlitas för att anlägga jordtaget. Markförhållandena, med mycket fyllnadsmassor, var inte optimala och det krävdes en grävmaskin och tre personer under en arbetsdag för att gräva ett ca. 15 m långt, 0,5 m djupt schakt i vilket 4 jordspett och 30 m jordlina installerades.

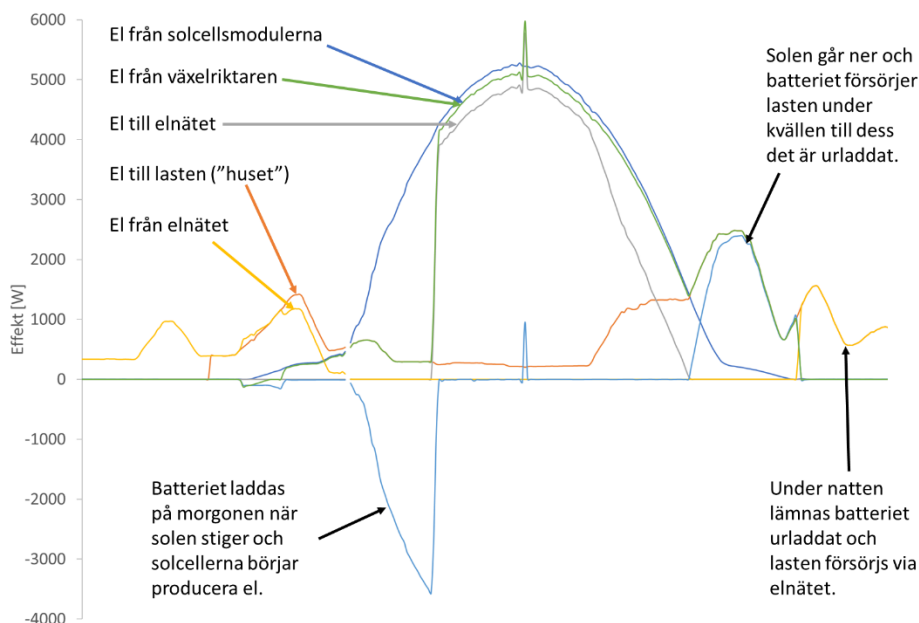
Lastprofilen för det simulerade huset skickades med offertförfrågan, med en önskan om att få ett sol- och batterisystem dimensionerat efter denna. Lastprofilen som

presenterades hade en maximal effekt på 7,2 kWh/h³⁹. Systemet som levererades har en växelriktare med en nominell effekt på 6 kW och ett batteri på 5,7 kWh som kan leverera en effekt på 4,8 kW. I testanläggningen så är den simulerade villans last ansluten till systemet så att den drar hela effekten ifrån batteriet i händelse av strömavbrott. Vid normal drift då elnätet fungerar så är underdimensioneringen inte ett problem, men ifall ett strömavbrott uppstår just vid någon av dessa effektoppar så finns risken att växelriktare och batteri överbelastas och inte fungerar som önskat. I en verklig installation skulle man med fördel göra en prioritering av sina elektriska laster och ansluta kritiska laster till reservkraft via batteriet, och ansluta mindre viktiga elförbrukare utan batteriet som reservkraft. Det skulle sannolikt krävas lite extra arbete av elektrikern för att lägga om grupperna i elcentralen till att möjliggöra en sådan separering.

Den simulerade lasten består av resistiva värmelement på 18 kW, med jämn fasfördelning och effektfaktor nära 1. Styrning skedde initialt med en tyristor, men upphackningen av sinuskurvan verkade inte fungera med växelriktaren och batteriet. Med elnätet parallellt så kunde systemet aktiveras, men i ö-drift så klarade växelriktare och batteri inte av att hantera lasten via tyristorstyrningen, utan spänningsnivåerna från växelriktaren svängde kraftigt även vid låga nominella effekter. Styrningen byttes till en vridtransformator, vilken sedan har fungerat bra även vid ö-drift, då solceller och batteri tar över försörjningen av lasten när elnätet kopplas bort.

Graferna nedan illustrerar batteriets funktion under en solig dag i slutet av maj. Batteriet lämnas i princip helt urladdat under natten, och när solen stiger under förmiddagen och solelproduktionen ökar så försörjs först lasten med solel, varefter överskottsproduktionen används för att ladda batteriet. När batteriet är fulladdat skickas i stället överskottsproduktionen ut på nätet. När solelproduktionen på kvällen avtar och inte längre klarar täcka hela lasten så tar batteriet vid, och försörjer lasten under några timmar till dess det är helt tomt. Därefter försörjs lasten under resten av natten av elnätet.

³⁹ När systemet driftsattes, trimmade vi ner effektopparna till 6 kW för den simulerade lasten.



Figur 54. Grafen visar hur batteriet arbetar för att optimera på egenanvändningen av solex genom att lagra in solex under morgonen och sedan ladda ur den under kvällen. Spiken mitt på dagen är sannolikt en mätteknisk störning.

Med denna konfiguration av batteriet så arbetar det för att maximera egenanvändningen av solex, och det laddar i princip enbart med hjälp av solex. Det är inte konfigurerat för att på bästa sätt hantera strömavbrott, reducera effekttoppar, eller på annat sätt stötta funktionen för elsystemet.

Skulle ett strömavbrott uppstå under dagen så är sannolikheten högre att batteriet är laddat, och kan försörja lasten i ödrift, i bästa fall några timmar beroende på lastens storlek och batteriets laddningsgrad. Skulle strömavbrottet ske nattetid, så finns i princip ingen energi i batteriet att tillgå.

Konfigurationen innebär också att batteriet står i huvudsak urladdat under stora delar av vinterperioden då den lilla energi som ges av solexsystemet i sin helhet går till att täcka lasten – det blir ingen el kvar att ladda batteriet med. Detta indikeras också i Figur 52 där batteriets bidrag till egenanvändningen mellan november och januari är noll.

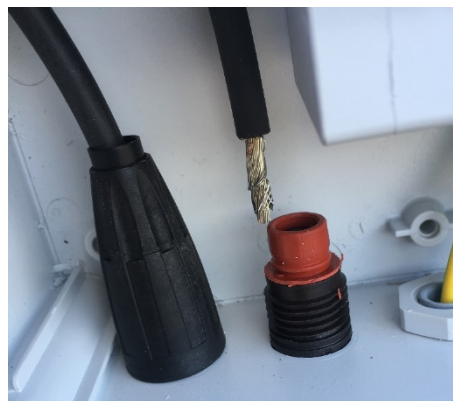
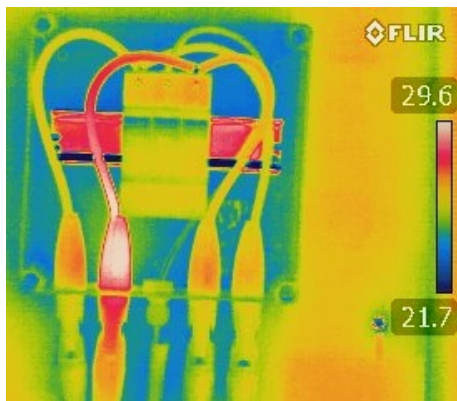
7 Inspektion av solexsystem efter 1 års drift

I juli 2021 genomfördes en noggrannare visuell inspektion av solexsystemen med stöd i standarden SS-EN IEC 62446-2 utg. 2020. Som en del av inspektionen genomfördes även IR-fotografering av solcellsmoduler och tillgängliga delar av elinstallationen, och de system som inte använder modulloptimerare mättes upp med en IV-testare för att ge en momentan bild av systemens elektriska prestanda på likströmssidan. Noteringar från inspektionen sammanställs i Tabell 11 nedan.

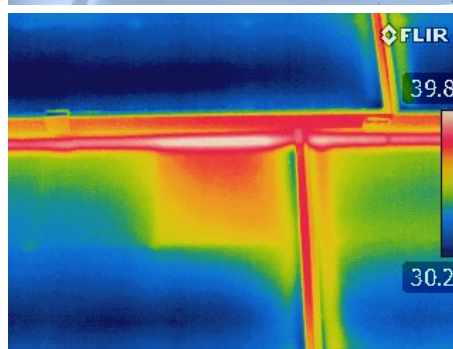
7.1 Fotografering med värmekamera

Systemen fotograferades med värmekamera 2021-07-08 och följande observationer noterades:

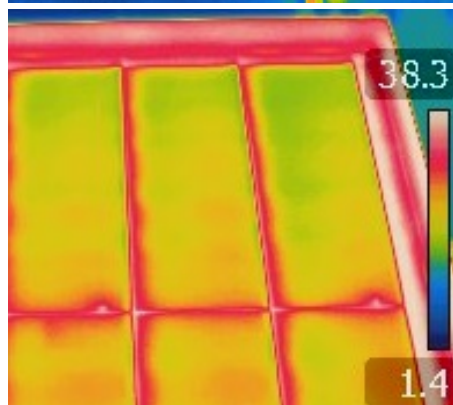
Ikea Solstråle Plus. En av DC-kontakterna till överspänningsskyddet visade en förhöjd temperatur. När kontakten öppnades så kunde konstateras att kabeln var helt lös och inte satt fast i kontaktens stift. Ledaren behöver tryckas in i kontakten för att fästa i de fjädrande blecken till stiftet, vilket inte hade gjorts tillräckligt i detta fall. Enligt Svea Solar, som installerat systemet, så är deras rutinerna för montage av Weidmüller PV Stick-kontakter uppdaterade sedan hösten 2020 för att undvika liknande fel. Oklart om de planerar uppföljning på tidigare anläggningar.



Svea Solar Solar Stone. En cell i en av modulerna visar en förhöjd temperatur. Någon skada på cellen är inte synlig framifrån med blotta ögat.



Energihusgruppen Roofit. Två solcellsmoduler har vardera ett mindre område med förhöjd temperatur i nedkant. Någon skada på cellen är inte synlig framifrån med blotta ögat.



Inga av de mindre skador eller defekter som noterats när systemen inspekterades visuellt syntes i bilder med värmekamera.

Tabell 11. Anmärkningar från inspektion av testsystemen efter ett års drift.

	Benders SunWave	Soltech Roof	IKEA Solstråle Plus	Lindab Solar Roof	Svea Solar Solar Stone	Energihusgruppen Roofit	Kraftpojkarna Paket Energibolag	Borås Elhandel Hybrd	Midsummer BOLD
Moduler									
<i>Inspect for cracks, delamination, breakage, burn marks.</i>	Vissa repor i ytskiktet. Klammrarna ser ut att ha skadat ytskiktet på vissa ställen Ytskiktet på den del av modulen som går upp under ovanliggande tegelrad har släppt på en stor del av modulerna.	Ingen anmärkning	Ingen anmärkning	Bubblor mellan modul och plåt (ev. på grund av värme) Någon mindre repa i ytskiktet Punktobjekt fastnat under modulen och gett markering i framsidan. Limning av modulen emot plåten har släppt på något/några ställen.	Ingen anmärkning	En förekomst av korrosion på fingrarna av busbaren? Effekter på lamineringen i ovankant av två moduler? Silikon tycks släppt i några skarvar mellan moduler. Oklart huruvida denna silikon var avsedd att ha någon funktion.	Repa i glaset på en modul sedan monteringen.	Missfärgning i underkant på en av modulerna.	Eventuell effekt på lamineringen i en modul.
<i>Inspect for excessive build-up of soil or droppings</i>	Ingen anmärkning	Ingen anmärkning	En del fågelskit på modulerna	Ingen anmärkning	Ingen anmärkning	Ingen anmärkning	En del fågelskit på modulerna	Ingen anmärkning	Ingen anmärkning
<i>Thermal imaging for junctionbox, cell variations, internal connections, partial operation.</i>	Ingen anmärkning	Ingen anmärkning	En DC-kontakt synbart varmare än övriga.	Ingen anmärkning	En cell varm.	Två små hotspots identifierade.	Ingen anmärkning	Ingen anmärkning	Ingen anmärkning
DC-sträng									
<i>Mätning av ström-spänningskaraktistik</i>	Ja	Ja	Ja			Ja		Ja	Ja
Kopplingsutrustning									
<i>Miscoloring (heat, burns, ...)</i>	Ingen anmärkning	Ingen anmärkning	En DC-kontakt felaktigt monterad.	Ingen anmärkning	Ingen anmärkning	Ingen anmärkning	Ingen anmärkning	Ingen anmärkning	Ingen anmärkning
Montagesystem									
<i>Visuell inspektion</i>	Flera klamrar fäster inte i modulerna. Sannolikt miss i ursprunglig monteringen.	Ingen anmärkning	Ingen anmärkning	Ingen anmärkning	Klammrarna som håller modulerna monterade ihuvudsak på modulens ena sida istället för jämnt längsmed dess längd.	Ingen anmärkning	Ingen anmärkning	2-3 modulklamrar inte åtdragna. Sannolikt miss i monteringen.	Gummipackning på täcklocken krupit ut lite. Påverkar sannolikt inte taktätheten.

8 Slutsatser och rekommendationer

En tydlig slutsats ifrån installationsfasen av de testade systemen är att det finns ett utbildningsbehov bland dem som arbetar med leveransen och installationen av systemen. Flera av yrkesgrupperna som var involverade i installationerna hade dels relativt lite erfarenhet av att tidigare ha arbetat med solelsystem, och hade därtill begränsad insyn i vad som skulle levereras. I flera fall så var överlämningen av information mellan de olika yrkesgrupperna knapphändig då de inte alltid var där och arbetade samtidigt. I synnerhet vad gäller de byggnadsintegrerade systemen så krävs en bred förståelse för krav både rörande takläggning och elinstallation.

Erfarenheterna från installationen av systemen har utgjort underlag för en projektansökan om att utveckla ett verktyg för informationshantering, kontroll och dokumentation. Projektet har fått arbetsnamnet "ByggaSol" och syftar till att stärka kvaliteten i installationen av solelanläggningar. Verktyget ska koppla direkt till redan befintligt stödmaterial i form av handböcker och standarder, och ytterligare motivera att de används. Alla som är inblandade i leveransen av en solelanläggning ska med hjälp av verktyget kunna bidra med sin del, vare sig man skriver anbud, installerar moduler på taket eller kontrollerar och driftsätter elanläggningen.

8.1 Rekommendationer och förtydliganden om beställarens ansvar

Upphandlingen av solelsystemen har baserats på de mallar till förfrågningsunderlag särskilt framtagna för mindre solelsystem som finns att ladda ner från solelportalen⁴⁰. En erfarenhet från de anbud som togs emot var att de ofta inte var kompletta i förhållande till den information som efterfrågats i mallarna. Orsaken är att merparten av leverantörerna använder egna, väl inarbetade system för offerering, och slutresultatet kan ändå svara upp mot alla väsentliga krav. Mallarna får därför betraktas som ett referensdokument att förhålla sig till för såväl beställare som leverantör.

Ansvar vilar trots allt i sista änden på beställaren att säkerställa att slutresultatet blivit det önskade och då kan mallen användas som en checklista för att tillsammans med installatören kontrollera utförandet. Detta kräver dock en mer än genomsnittligt påläst villaägare och ett alternativ kan vara att avtala med en tredje part att utföra en enklare besiktning i samband med att anläggningen driftsätts.

Rent juridiskt ansvarar anläggningsägaren också för säkerheten kring anläggningen i och med att den lämnas över av installatören och affären slutförs.

8.2 Rekommendationer kring tekniskt utförande

Provningarna pekar, liksom resultatet av de besiktningar som redovisas i RISE-rapporten 9P04225-04 "Besiktningar av mindre solcellsanläggningar i drift" på utmaningar kring kablaget som förbinder solcellsmodulerna med växelriktaren. Det handlar dels om att undvika antennverkan genom en sammanhållen ledningsdragning, men framför allt om att undvika skador på kablar genom bra uppfästning och skydd. Testet visar att det finns bättre lösningar att tillgå än de buntband i plast som oftast används, se avsnitt 5.2.1 till 5.2.3, men att utbudet av

⁴⁰ <http://www.energimyndigheten.se/fornybart/solelportalen/>

dedikerade produkter för hantering av kablage bakom modulerna är begränsat. Det borde finnas en marknad att utveckla ett sortiment för kabeluppfästning som passar ihop med de olika montagesystem som används för infästningen av moduler. I synnerhet för BIPV-systemen där kablar, kontakter och annan elektronik hamnar i luftspalten under taktäckningen, så behövs bättre lösningar. Beställare rekommenderas därför att efterfråga dessa mer robusta produkter för infästning av kablar, och leverantörerna har att utveckla system som passar deras installationer.

8.3 Integrerat montage jämfört med utanpåliggande

System för byggnadsintegration, i detta fall takintegration, där solcellsmodulerna ersätter takpannorna erbjuder oftast en mer estetiskt tilltalande installation än vid ett utanpåliggande montage. Flertalet av testets takintegrerade produkter har kommit ut på marknaden under de senaste 1-2 åren. Det ökade utbudet är naturligtvis positivt för villamarknaden där estetiken i många fall kan antas vara avgörande för ett investeringsbeslut. Samtidigt visar sammanställningen av produkttester och certifieringar, se avsnitt 5.7.3, att flera av dessa nya produkter inte har genomgått lika omfattande tester som de mer etablerade. Ett sätt för beställaren att hantera detta kan vara att i stället förhandla om starkare produktgarantier än normalt, men lagstadgade säkerhetskrav kan självfallet inte förhandlas bort.

En annan förtjänst med integrerade lösningar är att man åstadkommer en materialbesparing jämfört den mer etablerade lösningen där solcellerna monteras utanpå till exempel tegel, papp eller plåt. Intuitivt antar man därmed att en integrerad lösning borde betinga ett lägre pris per installerad kilowatt men ofta är förhållandet det omvända, vilket framgår av avsnittet ”Grundläggande data”. Prissjämförelsen haltar dock delvis då den inte tar hänsyn till den besparing man gör genom att ersätta pannor med solceller och genom att arbetsmomentet med att lägga pannorna uteblir. Dessa vinster förmår dock som regel inte väga upp prisskillnaderna utan man får vara beredd att betala lite mer för en takintegrerad och mer resurseffektiv installation.

Några andra skillnader mellan integrerade respektive utanpåliggande montage som antingen framkommit av testet eller är ett resultat av tidigare studier:

Integrerat montage

- Den integrerade lösningen ställer större krav på planering i förhållande till takets utformning i och med att både underlag och kanter rent funktionellt måste ansluta korrekt till byggnaden som en del av takbeklädnaden.
- Det behövs någon som leder arbetet i sin helhet och koordinerar de olika yrkeskategoriernas respektive ansvarsområden, främst snickare och/ eller plåtslagare samt solelinstallatör.

Utanpåliggande montage

- En mer etablerad och oftast billigare lösning vilket bland annat innebär att produkterna ofta har genomgått mer omfattande tester och att tillverkningen ibland kontrolleras av en oberoende part.
- En säkrare lösning med avseende på brandsäkerhet genom att kontakter och kopplingsboxar är lättare åtkomliga för inspektion med t.ex. värmekamera samt att ett obrännbart skikt skiljer panelerna från brännbart material i taket.
- Ett större utbud av mer eller mindre identiska produkter att tillgå om man skulle behöva byta ut paneler.
- Något högre effektivitet än om samma produkt skulle integreras i taket eftersom luftcirkulationen runt panelen är bättre och celltemperaturen därmed blir lägre.

8.4 Slutsatser från prestandamätningar

Prestandamätningarna av systemen har begränsats till energimätningar på växelströmssidan av växelriktaren, instrålningsmätningar, och modultemperatur samt omgivningstemperatur. Mätningarna redovisas för ett helt år, med start i juni 2020 fram till slutet av maj 2021.

Nyckeltal för prestandamätningarna är sammanställda i Tabell 9.

Mätperioden juni 2020 till maj 2021 har varit ett något sämre solår i Borås med en Global Horisontell Instrålning på 852 kWh/m² enligt SMHIs databas STRÅNG, vilket kan jämföras med ett ”normalår” med 920 kWh/m² enligt SVEBYs klimatdata för Borås.

Energiprestanda

Med antalet producerade kilowattimmar per installerad topp effekt (kWh/kWp) som mått på energiprestanda, så görs följande iakttagelser kring de olika systemen:

- Det årliga relativa energiutbytet (kWh/kWp/år) under utvärderingsperioden skiljer sig med upp till 15 procent för de olika systemen jämfört med det system som presterar bäst. Utelämnat från jämförelsen är Lindab Solar Roof som ligger ännu lägre på grund av att soleanläggningen varit defekt.
- Systemen, med en installerade kapacitet i spannet 3 till 6,2 kWp, har producerat mellan 2100 kWh/år till drygt 5400 kWh/år under mätperioden juni 2020 till och med maj 2021.
- De system som presterar bäst är systemen med moduler baserade på monokristallin kisel. Undantaget är Borås Elhandels paket Hybrid som ligger något lägre, trots moduler med monokristallin kisel. Dock har detta system ett batteri kopplat på likströmsidan av växelriktaren, och inlagringen av sol i batteriet kostar lite omvandlingsförluster, vilket är del av förklaringen.
- Vid en hög andel diffust ljus har systemen med monokristallin kisel en bättre energiprestanda än systemen baserade på tunnfilmsolceller, enligt de begränsade mätningar som utförts inom ramen för projektet.

Uppvärmning av solcellsmodulerna

Det är ganska stor skillnad på hur mycket solcellsmodulerna värms upp då solen skiner på dem. Skillnaderna tycks vara starkt kopplade till hur välventilerade modulerna är, vilket i sin tur beror på utformningen av installationen på taket. Utanpåliggande solcellsmoduler är bättre ventilerade än byggnadsintegrerade och tenderar att inte bli lika varma. Relationen mellan uppmätt energiprestanda och uppmätt modultemperatur tycks vara underordnad andra skillnader mellan systemen. Beräkningar visar att den uppmätta modultemperaturens avvikelse från 25°C bidrar till en förlust på mellan 1% - 6% av det årliga energiutbytet för de olika systemen i testet.

Egenanvändning och självförsörjning av solet

Egenanvändningen och självförsörjningen av solet beräknas specifikt för de enskilda solesystemen i relation till den antagna lastprofilen för ett hus som använder 16 400 kWh/år, och vars förbrukningsmönster presenteras i Figur 49. Under dessa förutsättningar ser vi att för systemen utan batteri, är:

- egenanvändningen på veckobasis som lägst 35% under sommaren och den stiger sedan till 100% under vinterns mörka månader. Ju mer producerad solet (större system), desto lägre grad av egenanvändning.
- självförsörjningen på veckobasis närmare 47% under vissa sommarveckor, och den går sedan ner till nästa noll under vinterns mörka månader. Ju mer producerad solet (större system), desto högre grad av självförsörjning.

Solesystemet Borås Elhandel, paket Hybrid inkluderar ett 5,7 kWh batteri som är konfigurerat till att optimera egenanvändningen och självförsörjningen av producerad solet. För detta system höjs egenanvändningen med närmare 20%-enheter under utvärderingsperiodens ljusa månader, medan självförsörjningsgraden når över 80% en sommarvecka, men sedan sjunker mot noll under vinterns mörka månader likt självförsörjningen för de andra solesystemen.

Med nuvarande konfiguration är batteriet överksam under vintern och ofta under nattetid då det inte finns något överskott av solet att lagra in. Med en annan konfiguration under dessa perioder skulle batteriet kunna bidra med andra nyttor, så som t.ex. kapning av effektoppar, utökad kapacitet vid strömavbrott nattetid eller elnätstjänster. En lekman kan dock inte konfigurera om detta system.

8.5 Slutsatser från inspektion efter ett års drift

Inspektionen av solesystemen efter att mätperioden avslutats visade inte på några markanta förändringar, däremot noterades ett antal avvikelser och mindre defekter, som listas nedan. Några av dessa har funnits med sedan installationen, emedan andra har uppkommit under systemets första år i drift.

- I systemet IKEA Solstråle Plus hittades en kontakt på likströmssidan som inte monterats korrekt vid installation. Kontakten blev varm, vilket kunde identifieras med värmekamera. Liknande fel har i andra anläggningar resulterat i brand.
- Borås Elhandel Paket Hybrid hade 2-3 modulklamrar som ej var åtdragna. Vid ogynnsamma vindlaster kan detta fresta modulen och eventuellt leda till skada.

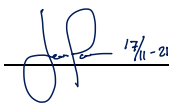
- Bender SunWave visade på mindre skador i ytskiktet av modulerna. Huruvida detta påverkar modulernas prestandadegradering eller livslängd är svårt att avgöra. En del skador är sedan installation och andra förändringar har sannolikt uppstått under mätperioden.
- En cell i Svea Solar Solar Stone visade sig dålig, med förhöjd temperatur som följd. Med tiden finns risk att den förhöjda temperaturen ytterligare skadar modulen. För att förstå hur skadan idag påverkar modulens prestanda så behövs ytterligare tester i labb.
- Två små varma cell-områden har identifierats i Energihusgruppens Roofit system. Om dessa växer och behöver åtgärdas så krävs ett större ingrepp då solcellsmodulen består av falsad plåt och sitter som en del av plåttaket. För att förstå hur skadan idag påverkar modulens prestanda så behövs ytterligare tester i labb.
- Lindab Solar Roof visade på bubblor i modulerna och lösa kanter i limningen mot plåt. Oklart huruvida detta påverkar prestandan i dagsläget, men om limningen mot plåten släpper över tid så kommer det sannolikt att behöva åtgärdas.

RISE Research Institutes of Sweden AB

Energi och cirkulär ekonomi - Hållbara energisystem

Utfört av

Granskat av



Jon Persson



Peter Kovács

Signed by: Peter Kovacs
Reason: Jag är författare till det här dokumentet
Date & Time: 2021-11-16 20:25:56 +01:00

Caroline Markusson

Bilagor

1. Upphandlingsunderlag
2. Mätning och datainsamling
3. Fysiska takmått
4. Bilder – noteringar vid inspektion efter 1 års drift

Bilaga 1. Upphandlingsunderlag

Nedan presenteras exempel på de upphandlingsunderlag som skickades ut till de olika leverantörerna. Underlaget omfattar:

1. Offertförfrågan Småhusägare
2. Offertsammanfattning Småhusägare
3. Bilaga 1 – Uppdragets omfattning och utförande
4. Bilaga 2 – Betalning
5. Bilaga 3 – Övriga överenskommelser

Offertförfrågan avseende solcellsanläggning

Offertförfrågan innefattar detta dokument samt avtalsmallen ABT06 med följande bilagor:

- Bilaga 1: Uppdragets omfattning och utförande
- Bilaga 2: Betalning
- Bilaga 3: Övriga överenskommelser
- Bilaga 4: Offertsammanfattning

Vi önskar få offert på solcellsanläggning

Namn	<i>Peter Kovacs</i>
Adress	<i>Research Institutes of Sweden Box 857</i>
Postnummer och ort	<i>50115 Borås</i>
E-mail	<i>peter.kovacs@ri.se</i>
Telefonnummer	<i>0105-165662</i>

Byggnadsinformation

Byggnadens adress	<i>Industrigatan 4</i>
Postnummer och ort	<i>50462 Borås</i>
Fastighetstyp	<i>Fristående villatak</i>
Takmaterial	<i>Papp + läkt</i>
Takets ålder [år]	<i>0</i>
Taklutning [°]	<i>45</i>
Takets orientering (väderstreck) [°]	<i>0 (Rakt i söder)</i>
Takets höjd från marknivå [m]	<i>0,5</i>
Tillgänglig takyta för solceller [m ²]	<i>3,55m (höjd) x 13m (längd)</i>
Årlig elanvändning [kWh]	<i>NA</i>
Byggnadens säkringsstorlek [Ampere]	<i>10</i>

Ytterligare information och önskemål

IoT nätverk finns tillgängligt för anslutning av växelriktare via nätverkskabel.

Installationsarbete

- 230V service el kommer att finnas tillgänglig vid installations plats, eller inom räckvidd för en sladdvinda som leverantör tillhandahåller.
- Toalett, Wi-Fi, mikrovågsugn finns att tillgå i ett dedikerat lunchutrymme.
- Leverantör ansvarar helt och fullt för verktyg och materiel under installationsarbetet.

Tidsperiod

Installationen kommer eventuellt ske under samma tidsperiod som annan installation på närliggande del av samma tak. Vi önskar planera så att detta kan undvikas i möjligast mån, och i övrigt underlätta för ert arbete på plats.

Vårt förslag är att arbete på plats hos RISE sker under tre arbetsdagar.

- Från: Tisdag 2020-04-28
- Till: Torsdag 2020-04-30

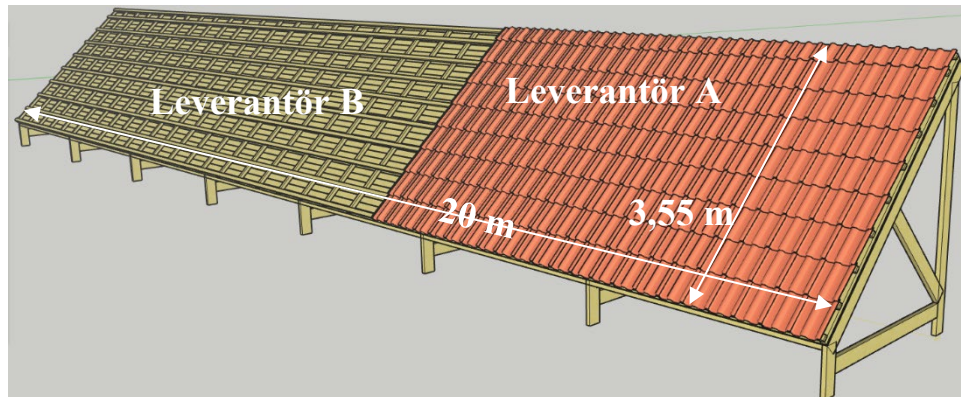
Leverantören bekräftar föreslagna datum för installation, eller tillhandahåller tillsammans med offert ett alternativt förslag till datum för leverans av materiel, installationsarbete, driftsättning och överlämning.

Ritningar och bilder

Bifogade ritningar och bilder kan inte förutsättas vara skalenliga. Eventuella mått är ungefärliga.

Tre stycken separata takkonstruktioner kommer att byggas och placeras uppe på det platta industritaket på Industrigatan 4. Installation av solelsystem kommer att ske på dessa temporära takkonstruktioner. Två leverantörer kommer att dela på utrymmet på vardera takkonstruktion som har en total längd på 20 m och en effektiv höjd på 3,55 m.

Taken kommer att förberedas till och med bärläkt för de system som inkluderar taktäckning, och till och med betongpannor för de system som är utanpåliggande. Läkten kommer att skruvas så att justeringar enkelt kan göras.

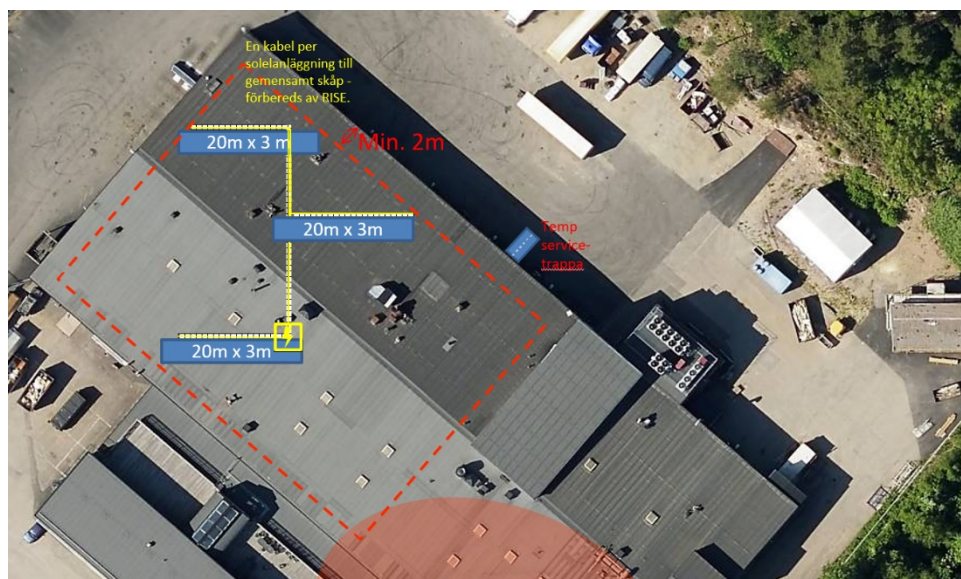


De blå rektanglarna indikerar placering av de tre temporära takkonstruktionerna, vardera 20m långa. Samtliga tak tros vara skuggfria under all väsentlig del av året och dygnet.

Gul/vita indikeringar är ungefärlig placering av kabelstegar med kabeldragning som förbereds av RISE fram till dosa på baksida av de temporära takkonstruktionerna.

Taken kommer att ligga med minst 2m avstånd till kant av husets tak, och avspärrning kommer att vara förberett med linor och konor. Livlinefästen kommer att finnas att tillgå mitt på taket.

Ett temporärt ställningstorn med servicetrappa kommer att byggas för personaccess till husets tak. Mindre material kan även tas upp via denna trappa. Större material kommer att behöva lyftas med kran och bekostas av leverantör.

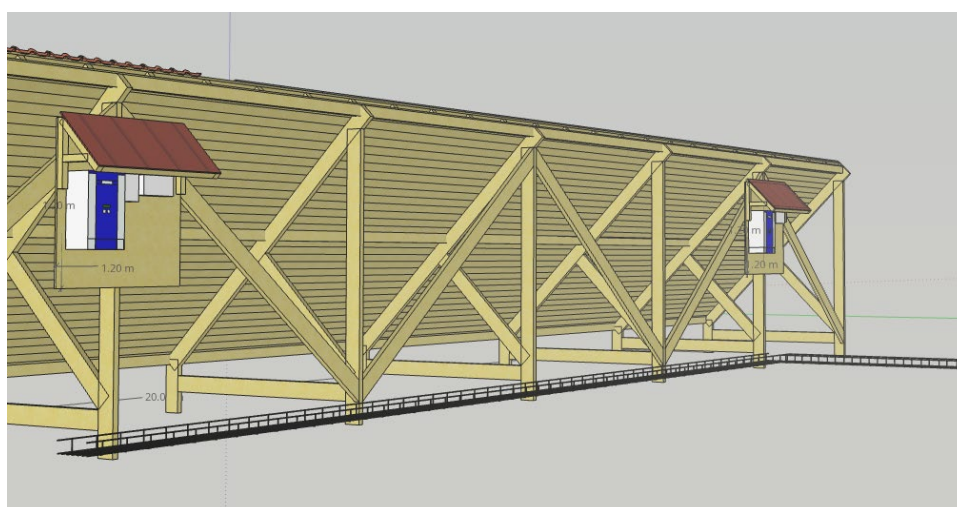


Bilden nedan visar placeringen av de tre takkonstruktionerna, och anger nominellt vilken del av dessa tak som är avsedda för de olika leverantörerna. Placeringen ger information om vilka avslut gentemotnock, höger/vänster gavel, takfot och angränsande som leverantör behöver ta med i installationen.

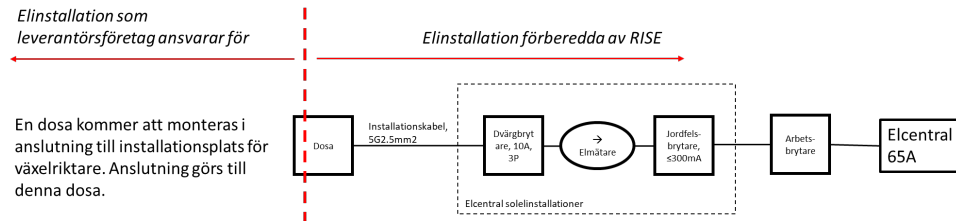
Måttet som anges är en uppskattning för hur stor plats systemen kommer att kräva. Om det system ni offererar kommer ta mer plats än angivet, är det viktigt att ni specificerar detta snarast.



Plats för växelriktare och övrig elinstallation kommer att vara utomhus, antingen bakom eller under takkonstruktionen för det segment där respektive leverantörs solcellsmoduler är installerade, och utgöras av en plywoodskiva med någon form av enkelt tak som väderskydd. Bilden nedan är en ungefärlig skiss på hur vi tänker oss utförandet.



Anslutningspunkt för elsystemet kommer att förberedas av RISE fram till dosa som monteras på baksidan av takkonstruktionerna. Leverantören av solelsystemet ansluter i denna dosa.



Mall för offertsammanfattning

Vi önskar att få offerten tillsammans med ifylld offertsammanfattning som bifogas denna förfrågan.

Offertsammanfattning

Offertsammanfattningen innehåller uppgifter som leverantören ska fylla i från offerten som tas fram. Syftet med denna offertsammanfattning är att underlätta för jämförelser och göra det enklare för dig som kund att utvärdera olika anbud och välja leverantör. Mallen för offertsammanfattning lämnas ej ifylld till leverantörer tillsammans med objektsbeskrivningen och återfås som en bilaga tillsammans med offerten.

Offertsammanfattning

Projektnamn:	
<i>Klicka eller tryck här för att ange text.</i>	
Offert utfärdad av (företagsnamn och org.nr.):	
<i>Klicka eller tryck här för att ange text.</i>	<input type="checkbox"/> Registrerat elföretag (Produktionsanläggningar) <input type="checkbox"/> Godkänd för F-skatt
<input type="checkbox"/> Har allrisk- och ansvarsförsäkring hos:	<i>Klicka eller tryck här för att ange text.</i>
Eventuell(-a) underentreprenör(-er) (företagsnamn och org.nr.):	
<i>Klicka eller tryck här för att ange text.</i>	<input type="checkbox"/> Registrerat elföretag (Produktionsanläggningar) <input type="checkbox"/> Godkänd för F-skatt
Tillverkare/Importör(er)/Grossist(er) som används för inköp av solcellsmoduler och batterier som är registrerad i EE & Batteriregistret (företagsnamn och org.nr.):	
<i>Klicka eller tryck här för att ange text.</i>	

Nyckeltal och kostnader (kostnader anges exkl. moms)

Total toppeffekt solesystem	<i>Klicka eller tryck här för att ange text.</i>	kWp
Beräknad specifik produktion*	<i>Klicka eller tryck här för att ange text.</i>	kWh/kW, år
Beräknat datum för leverans av materiel.	<i>Klicka eller tryck här för att ange text.</i>	Åååå-mm-dd
Beräknad tidsperiod för installationsarbete.	<i>Klicka eller tryck här för att ange text.</i>	Åååå-mm-dd till Åååå-mm-dd

Beräknat datum för överlämning av färdigt system	<i>Klicka eller tryck här för att ange text.</i>	Åååå-mm-dd
Kostnad för solcellsmoduler	<i>Klicka eller tryck här för att ange text.</i>	kr (SEK)
Kostnad för växelriktare inkl. ev. moduloptimerare	<i>Klicka eller tryck här för att ange text.</i>	kr (SEK)
Kostnad för övrigt material	<i>Klicka eller tryck här för att ange text.</i>	kr (SEK)
Kostnad för arbete	<i>Klicka eller tryck här för att ange text.</i>	kr (SEK)
Kostnad för projektering	<i>Klicka eller tryck här för att ange text.</i>	kr (SEK)
Summa totalkostnad	<i>Klicka eller tryck här för att ange text.</i>	kr (SEK)
Kostnad per kW	<i>Klicka eller tryck här för att ange text.</i>	kr/kW (SEK)

**Två likvärdiga system bör ha ungefär samma specifika soletproduktion om samma förutsättningar råder. Beräkningar med olika simuleringsprogram och solinstrålningsdata kan ge olika resultat för soletproduktionen för en och samma anläggning. Panelernas verkningsgrad påverkar anläggningens ytbehov men inte utbytet per installerad kW. Beräknad specifik soletproduktion bör inte användas som utvärderingskriterium i utvärdering av anbud eftersom skillnader i detta värde snarare har att göra med skillnader i beräkningsmetod än kvaliteten på den föreslagna installationen.*

Huvudsakliga komponenter

Solpanel

Tillverkare	<i>Klicka eller tryck här för att ange text.</i>	-
Modellnummer	<i>Klicka eller tryck här för att ange text.</i>	-
Typ (tunntilm, mono- eller polykristallin)	<i>Klicka eller tryck här för att ange text.</i>	-
Effekt	<i>Klicka eller tryck här för att ange text.</i>	Wp (STC)
Produktgaranti	<i>Klicka eller tryck här för att ange text.</i>	år
Effektgaranti	<i>Klicka eller tryck här för att ange text.</i>	% efter år

Växelriktare

Tillverkare	<i>Klicka eller tryck här för att ange text.</i>	-
Modellnummer	<i>Klicka eller tryck här för att ange text.</i>	-
AC märkeffekt	<i>Klicka eller tryck här för att ange text.</i>	kW
Produktgaranti	<i>Klicka eller tryck här för att ange text.</i>	år

Optimerare (om aktuellt)

Tillverkare	<i>Klicka eller tryck här för att ange text.</i>	-
Modellnummer	<i>Klicka eller tryck här för att ange text.</i>	-

Antal	<i>Klicka eller tryck här för att ange text.</i>	st
Produktgaranti	<i>Klicka eller tryck här för att ange text.</i>	år

Montagesystem

Typ av montagesystem	<i>Klicka eller tryck här för att ange text.</i>	-
Tillverkare	<i>Klicka eller tryck här för att ange text.</i>	-
Modellnummer	<i>Klicka eller tryck här för att ange text.</i>	-
Produktgaranti	<i>Klicka eller tryck här för att ange text.</i>	år

Kommentar till installationsförslaget:

Klicka eller tryck här för att ange text.

Bilaga 1 - Uppdragets omfattning och genomförande

B. Uppdragets omfattning och utförande

Uppdraget omfattar projektering, leverans, installation samt anslutning och driftsättning av en komplett nätansluten solcellsanläggning.

Projektering omfattar bland annat anpassning och dimensionering av solesystemet efter på platsen rådande förhållanden

Installationen inkluderar solcellsmoduler, montagelösningar och all erforderlig kringutrustning så som växelriktare, DC- och AC-brytare, kablage, kanalisation samt övrigt som erfordras för systemens totala funktion.

I uppdraget ingår inkoppling på elnätet samt överlämnande av anläggningen till kunden i form av dokumentation, skötselöreskrifter, manualer för ingående komponenter samt ett vid idrifttagandet upprättat testprotokoll. Manualer ska vara skrivna på svenska eller engelska. För- och färdigamölan till nätägare krävs inte i detta fall då RISE ordnat ett generellt godkännande för nätanslutning av samtliga anläggningar.

Alla installationer och arbeten ska utföras på så vis att inga skador uppstår på befintliga installationer

Om inte annat överenskommit ska dimensioneringen vara sådan att solcellsanläggningen kan anslutas till byggnadens elnät utan att byggnadens huvudsäkring behöver uppgraderas.

Arbetet ska utföras enligt senaste utgåvorna av råd och regler i följande publikationer:

- SS 436 40 00: Einstallationsreglerna
- SS 430 01 10: Mätarskåp
- SS 437 01 02: Einstallationer för lågspänning – Vägledning för anslutning, mätning, placering och montage av el- och teleinstallationer
- SEK Handbok 457: Solceller - Råd och regler för elinstallationen

- SS-EN 62446-1: Solcellsanläggningar – Fordringar på provning, dokumentation och underhåll – Del 1: Nätanslutna anläggningar – Dokumentation, provning för idrifttagning och besiktning

Om håltagning genom takets tätskikt är nödvändig ska det godkännas av kunden innan arbetet påbörjas. Samtliga genomföringar ska tätas och utföras så att ursprunglig funktion bibehålls.

Tekniska krav

Montagesystem

- Montagesystemet ska vara godkänt och anpassat för solesystem och vara utfört i korrosionsklass för aktuell miljö.

- Montaget ska ske enligt tillverkarens anvisningar
- Montagesystem och infästning ska uppfylla hållfasthetskrav för normenliga snö- och vindlaster som gäller för aktuell ort.

Solcellsmoduler

- Solcellsmoduler ska vara provade och certifierade av en oberoende certifieringsorganisation enligt IEC 61730 och IEC 61215 eller liknande
- Solcellsmoduler skall monteras enligt tillverkarens anvisningar
- Solcellsmoduler ska vara försedda med förbikopplingsdioder som kopplar förbi strömmen vid modulfel eller ojämn solinstrålning (skuggning) och skydda celler mot "hotspot".
- Protokoll för tillverkarens flash-mätning av samtliga moduler ska bifogas systemdokumentationen. Mätdata ska redovisas separat för varje modul med angivet serienummer.

Likströmskablar

- Mellan modul och växelriktare förläggs halogenfri och dubbelisolerad specialkabel för solesystem av typ/beteckning H1Z2Z2-K enligt SS-EN 50618.
- Max. spänningsfall på 1 % tillåts mellan solcellsmodul och växelriktare.
- Elektriska förbindningar mellan solcellsmoduler, i skarvar och till apparatlådor och växelriktare ska utföras med snabbkopplingskontakter för solcellsanläggningar. Dessa kontakter och kontaktpar ska uppfylla kraven enligt standard SS EN 62852.
- Hane och hona i varje kontaktpar av snabbkopplingskontakter skall vara elektriskt och mekaniskt kompatibla. Kontakter av samma typ och tillverkare anses alltid vara kompatibla. Vid användning av kontakter från olika tillverkare i kontaktpar skall elektrisk och mekanisk kompatibilitet bekräftas med testresultat enligt SS-EN 50521 eller SS-EN 62852, alternativt intyg om överensstämmelse enligt samma standard.
- Kablar och snabbkopplingskontakter ska förläggas på skenor eller kanalisation och vara fäst på ett betryggande sätt. Detta gäller inte minst under solcellsmodulerna där löshängande kablar absolut inte får förekomma. Vid uppfästning ska hänsyn tas till kabelns minsta böjningsradie.

Växelriktare

- Växelriktare ska ha en europeisk verkningsgrad om minst 97,5%
- Växelriktares storlek ska dimensioneras för att uppnå maximal energiproduktion och får under normala driftförhållanden inte begränsa solcellernas effekt.
- Växelriktarna ska i erforderlig omfattning uppfylla EU-förordningen EU2016/631 (RFG), Energimarknadsinspektionens föreskrift EIFS 2018:2 samt SS-EN 50549-1.
- Flimmeremission för varje enskild växelriktare får inte överskrida följande värden: Pst \leq 0,35 och Plt \leq 0,25 i referensnät enligt SS-EN 61000-3-3 alternativt SS-EN 61000-3-11.
- Växelriktare ska i erforderlig omfattning konfigureras enligt nätägarens krav.

Övervakning och presentation av produktion

- Det ska gå att utläsa växelriktarens produktion och eventuella fellarm via telefonapplikation alternativt webbportal. Följande data ska minst kunna utläsas: Levererad energi (totalt, per år och per månad) och momentan effekt.
- Krävs abonnemangskostnader för övervakningen ska det framgå av Säljarens offert.
- Visning och genomgång av övervakningslösningen samt användarmanual för denna ska ingå i entreprenaden

Övrigt

- Riskbedömning för behov av överspänningsskydd enligt SS 436 40 00 kap. 443 och kap. 712.443, samt installation av erforderliga överspänningsskydd enligt riskbedömningen, ingår i uppdraget
- Elschemata (enlinjeschemata) över hela solcellsanläggningen ska sättas upp i anslutning till växelriktaren och bifogas skötselinstruktionen.

Bilaga 2 -Betaling

H. Betaling

Priset ska vara specificerat i offertsammanfattningen.

Betalningsvillkor 30 dagar netto efter nedanstående händelser:

- Anläggningen är provkörd alternativt driftsatt
- Installatörens egen kontroll är gjord
- Skötselöreskrifter, manualer samt testprotokoll har överlämnats till RISE och handhavande av system samt övervakningsapp har gått igenom
- Garantidokument för ingående komponenter enligt Bilaga 3 har överlämnats till RISE
- Faktura erhållits. Fakturan skall vara märkt "2P03024-01 – RISE provning av solelssystem"

Tilläggsarbeten faktureras 30 dagar netto efter det att de slutförts. Kunden är dock inte skyldig att betala något förrän entreprenören har skickat över en specificerad räkning över tilläggsarbetena, som gör det möjligt för Kunden att bedöma det utförda arbetets omfattning och art samt hur priset beräknats

Bilaga 3 - Övriga överenskommelser

I. Övriga överenskommelser

Uteslutning och prövning

Totalentreprenör (TE) enligt offerten samt eventuella underentreprenörer ska vara registrerade i Elsäkerhetsverkets register över elföretag för verksamhetstyp Elproduktionsanläggningar.

Företag som sätter solcellsmoduler samt växelriktare och batterier på den svenska marknaden skall finnas registrerade i Naturvårdsverkets EE- och Batteriregister och åta sig samtliga krav enligt Förordning (2014:1075) om producentansvar för elutrustning. Detta gäller tillverkare, leverantörsföretag som direktimporterar från länder utanför EU eller grossistföretag. Företag som inte tillhör någon av dessa utan handlar därifrån bör ändå kunna intyga att deras leverantör uppfyller kravet ovan.

Om kraven om registrering enligt ovanstående två stycken inte uppfylls eller om företaget på annat sätt kan anses bryta mot svensk lag har RISE rätt att avbryta upphandlingen utan att företaget erhåller någon ersättning.

Skydd av arbete och egendom m.m.

Arbete får inte utföras utan betryggande skyddsåtgärder eller bedrivs under väder som kan orsaka skada.

I offerten ska anges namngiven person som BAS-P och BAS-U.

Skriftlighet

Eventuella tillägg till eller undantag från detta avtal ska upprättas skriftligen och undertecknas av bägge parter för att vara giltiga. Detta kan ske antingen i form av särskilt tilläggsavtal eller genom skriftlig anteckning på detta avtal

Utöver garantierna nedan ska Solcellsmodulerna ha en linjär effektgaranti som garanterar att de efter 25 år ger minst 80 % av specificerad topp effekt mätt vid STC (Standard Test Condition).

Garanti

Följande garantitider gäller som ett minimum:

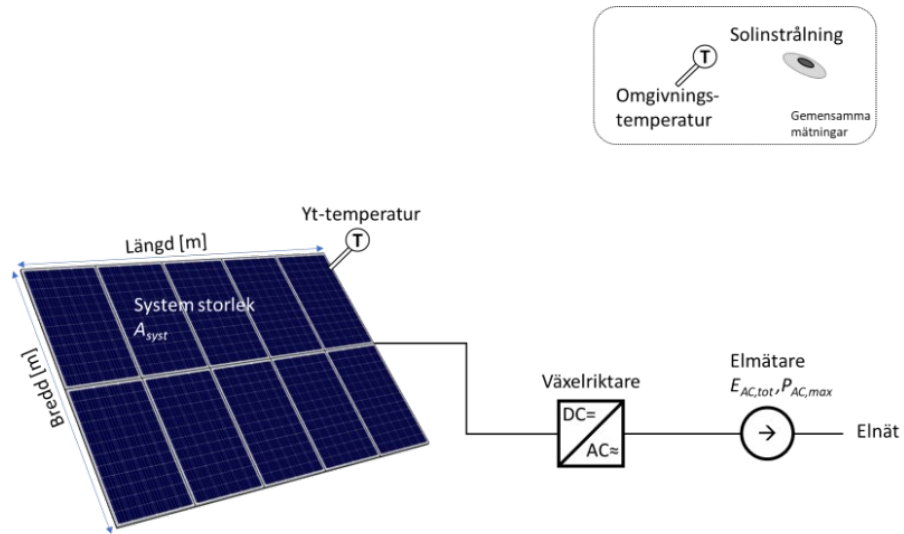
Garantin på installationen (entreprenaden)	5 år
Solcellspaneler	10 år
Växelriktare	5 år
Moduloptimerare	20 år
Monteringssystem	10 år

Bilaga 2. Mätning och Datainsamling

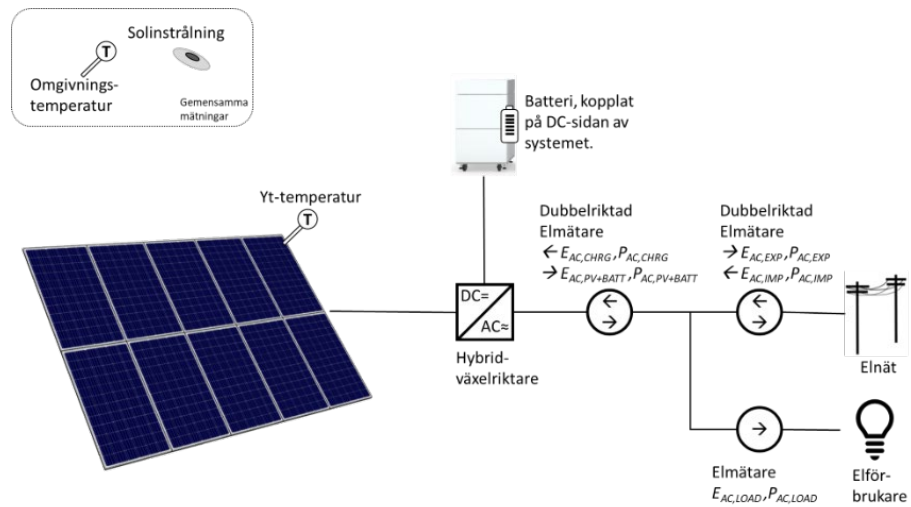
Insamlingen av mätdata har gjorts med hjälp av två separata loggningssystem på grund av solesystemens olika placering. Data loggas med 30 sekunders tidsintervall för energi- och instrålningsmätningar, medans temperaturmätningarna loggas med ett tidsintervall på upp till en minut. Tabell 12 ger en lista över den data som använts vid utvärderingen. Skillnaderna i mätuppställning mellan Borås Elhandels paket Hybrid och övriga system illustreras i Figur 55 och Figur 56 nedan.

Tabell 12. Sammanställning av uppmätta storheter som använts vid utvärderingen.

Mätstorhet	Beskrivning	Enhet	Kommentar
Energi _{system}	Genererad energi från växelriktaren för samtliga system utom Borås Elhandels Paket Hybrid.	kWh	Mäts med kalibrerade energimätare. 1000 pulser per kWh.
Energi _{Last}	Elektrisk last – emulering av elförbrukning i villa.	kWh	Energimätning på den emulerade lasten för hybrid-systemet. Används sedan för beräkning av egenanvändning och självförsörjning vid utvärdering av samtliga system.
Energi _{hybrid}	Energiflöden för växelriktare i Borås Elhandels paket Hybrid.	kWh	I och med batteriet behövs totalt tre elmätare, varav två dubbelriktade för att särskilja energiflödena.
Temp _{system}	Modultemperatur (1-3 givare per system).	°C	PT100 och termoelement tejpas med termisk pasta direkt mot baksidan på modulerna.
Temp _{amb}	Omgivningstemperatur	°C	Mäts med hjälp av temperaturgivare placerade i skuggan bakom respektive testtak.
Global solinstrålning	Totalt tre mätare monterade i solcellsmodulernas plan.	W/m ²	Samtliga instrålningsgivare är kalibrerade innan projektet startade.
Diffus-instrålning	Pyranometer utrustad med diffusring.	W/m ²	Diffusringen behöver justeras manuellt.



Figur 55. Energimätning för samtliga solelssystemen, med undantag för Borås Elhandels paket hybrid.



Figur 56. Energimätning för Borås Elhandels paket Hybrid kräver totalt tre elmätare för att kunna särskilja de olika energiflödena som uppstår på grund av att batteriet och lasten anslutits till växelriktaren utöver solcellsmodulerna och elnätet.

Bilaga 3. Fysiska takmått

Nedan ges uppmätta mått för solcellsmodulernas utbredning på taken. Syftet är att få en indikation på hur mycket plats de olika systemen tar i anspråk, vilka skiljer sig från de tekniska måtten på varje enskild modul. Måtten inkluderar inte heller de eventuella krav på avstånd mellan systems yttersta moduler och takets kanter, som kan finnas i installationsanvisningarna.

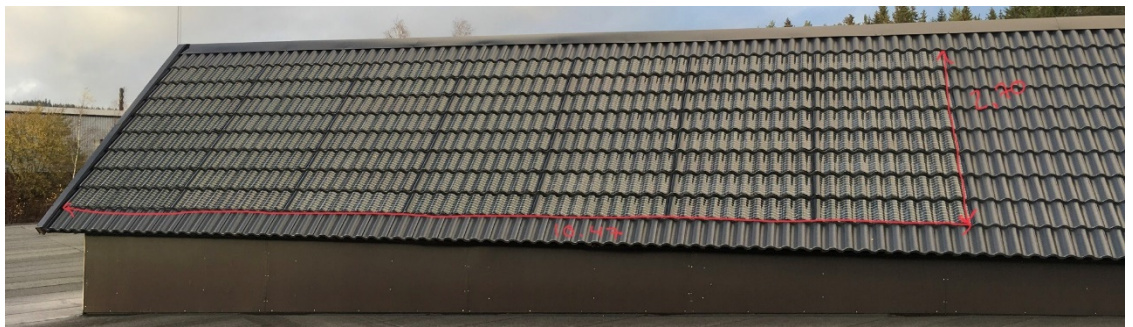
Pilarna i bilderna indikerar hur måtten är tagna.

System 1: Benders Solar Wave

Bredd: 10,47 m

Höjd: 2,70 m

Yta: 28,3 m²



System 2: Soltech Roof

Bredd: 8,87 m

Höjd: 3,00 m

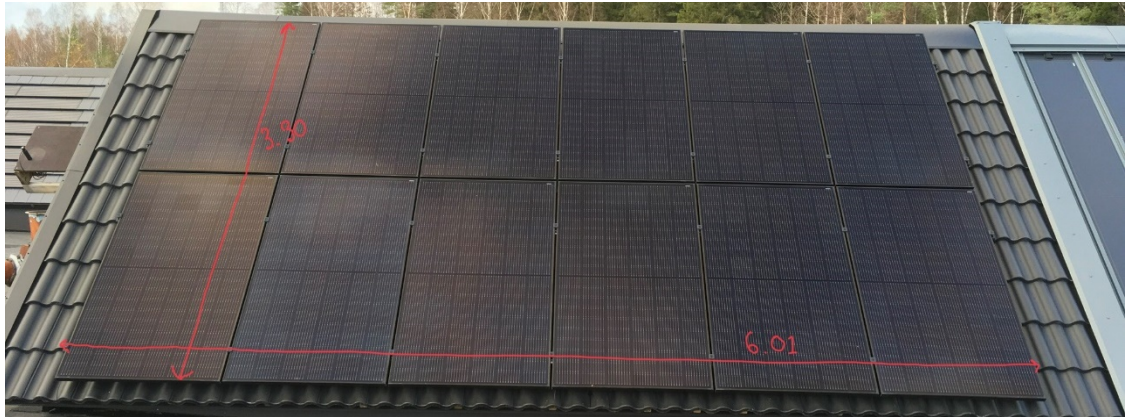
Yta: 26,6 m²



System 3: IKEA Solstråle

Bredd: 6,01 m

Höjd: 3,30 m

Yta: 19,8 m²**System 4: Lindab Solar roof**

Bredd: 12,44 m

Höjd: 3,07 m

Yta: 38,2 m²

System 5: Svea Solar Solar Stone

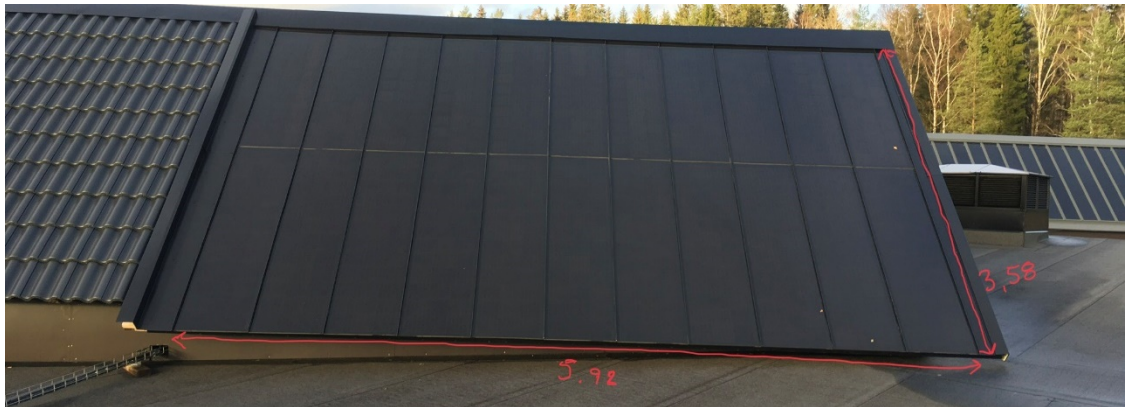
Bredd: 8,99 m

Höjd: 2,70 m

Yta: 24,3 m²**System 6: Energihusgruppen Roofit**

Bredd: 5,92 m

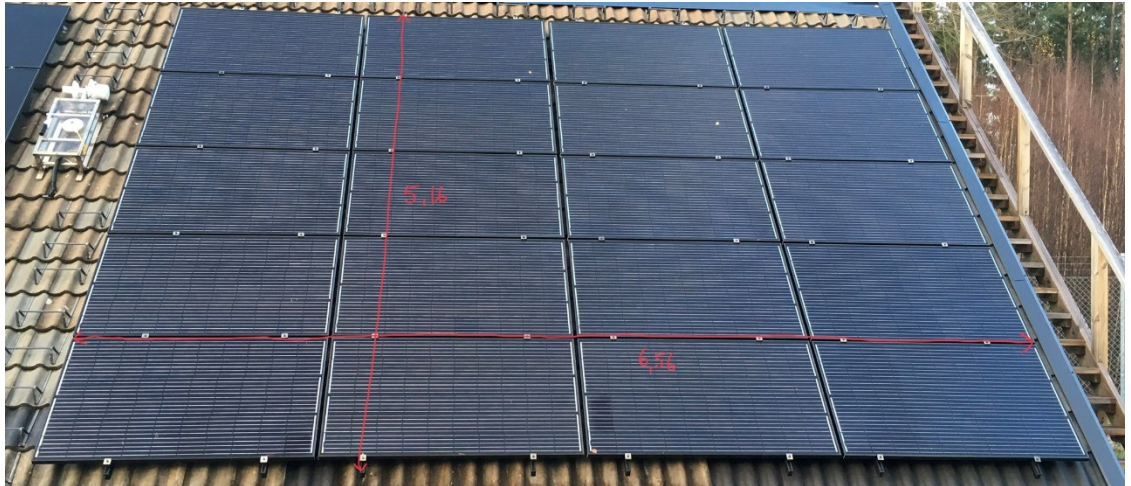
Höjd: 3,58 m

Yta: 21,2 m²

System 7: Borås Elhandel

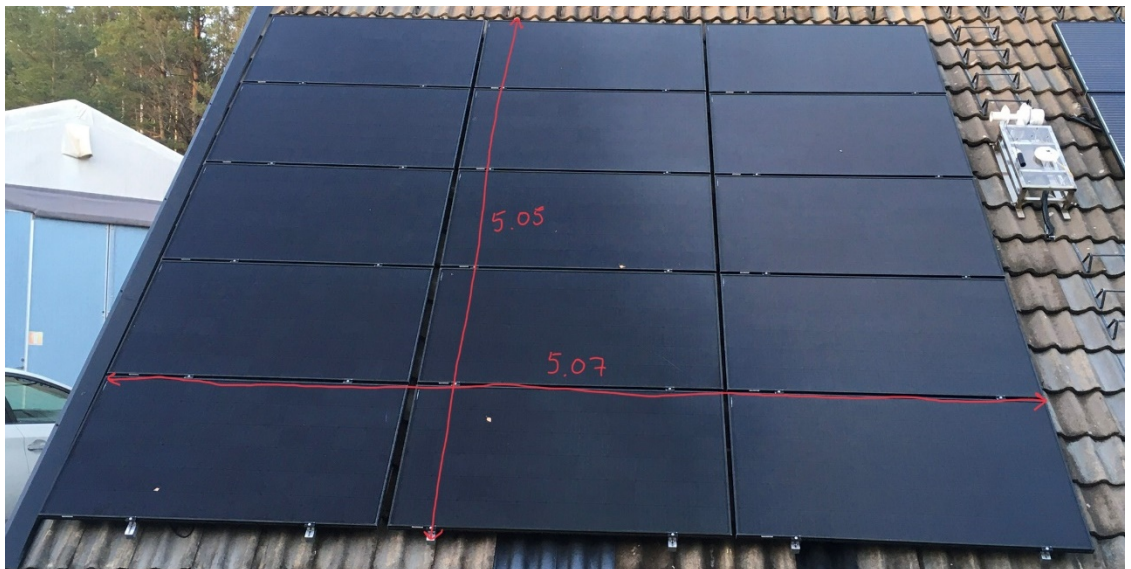
Bredd: 6,56 m

Höjd: 5,16 m

Yta: 33,8 m²**System 8: Kraftpojnkarna**

Bredd: 5,07 m

Höjd: 5,05 m

Yta: 25,6 m²

System 9: Midsummer BOLD

Bredd: 10,50 m

Höjd: 3,00 m

Yta: 31,5 m²

Bilaga 4. Bilder - noteringar vid inspektion efter 1 års drift

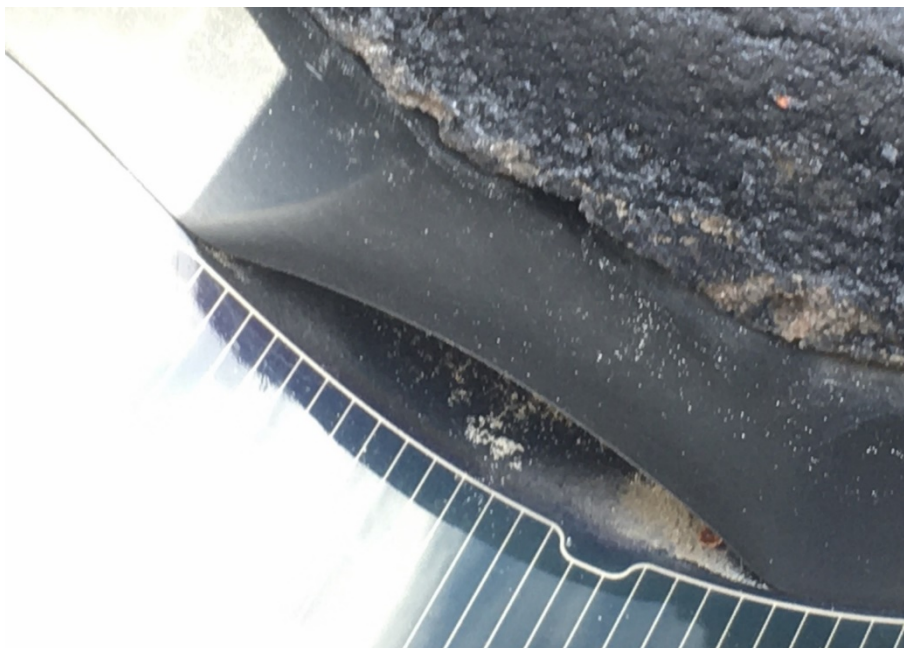
Benders SunWave



Ytan påverkad av klammer



Repa i modulen



Ytskikt lossnar



Klammer ej i rätt position.

Soltech Roof

Ingen anmärkning



Rent under modulerna

Ikea Solstråle Plus

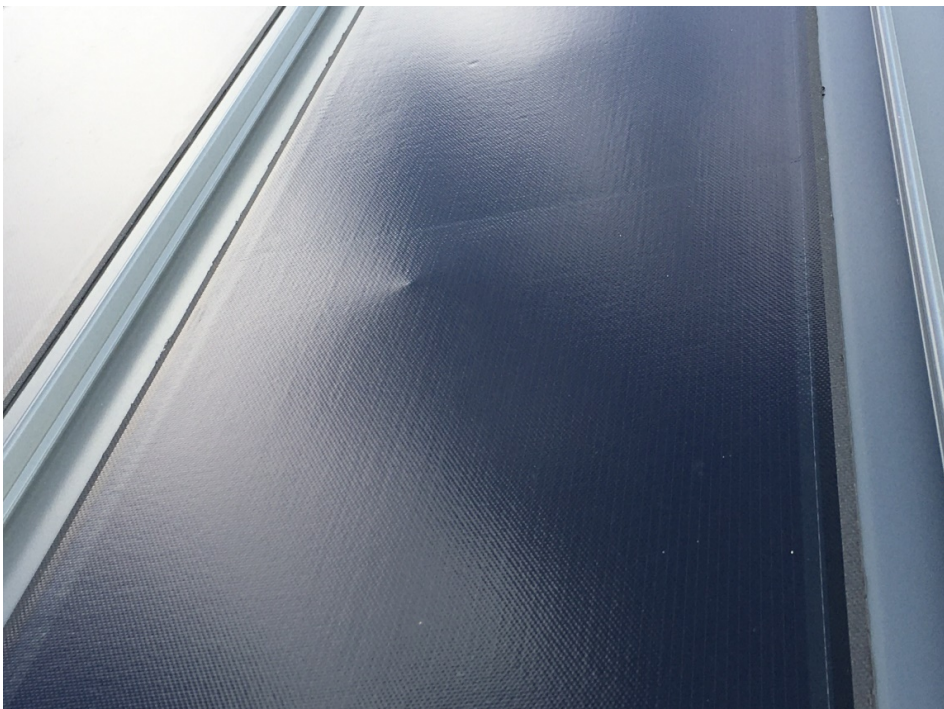
Mer fågelskit än på övriga system



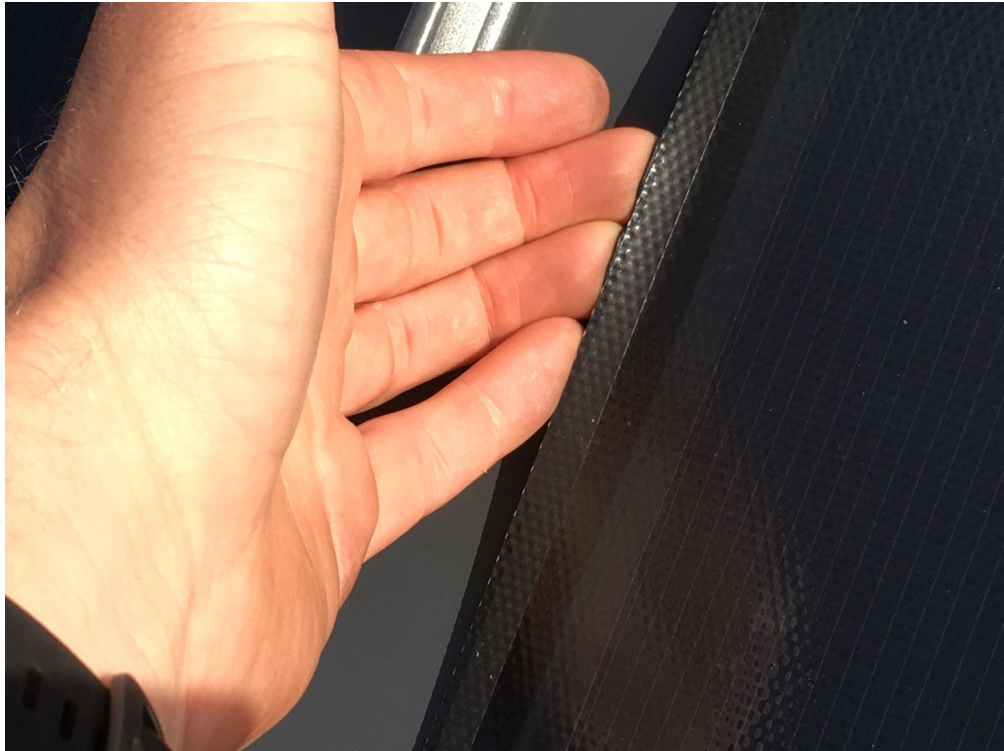
Lös kontakt, ej monterad korrekt.

Lindab Solar Roof

Modulen har blivit bubblig



Vasst objekt bakom modulen



Modulen börjat släppa i ena kanten.

Svea Solar Solar Stone

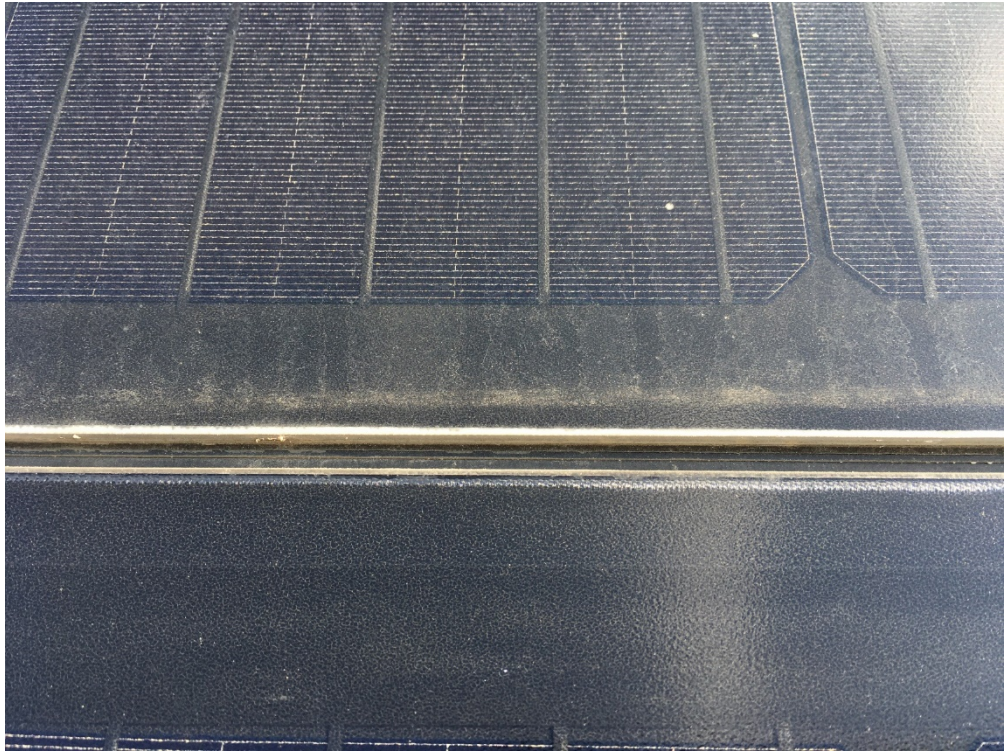
Skev montering av klammer

Energihusgruppen Roofit

Markering av defekter



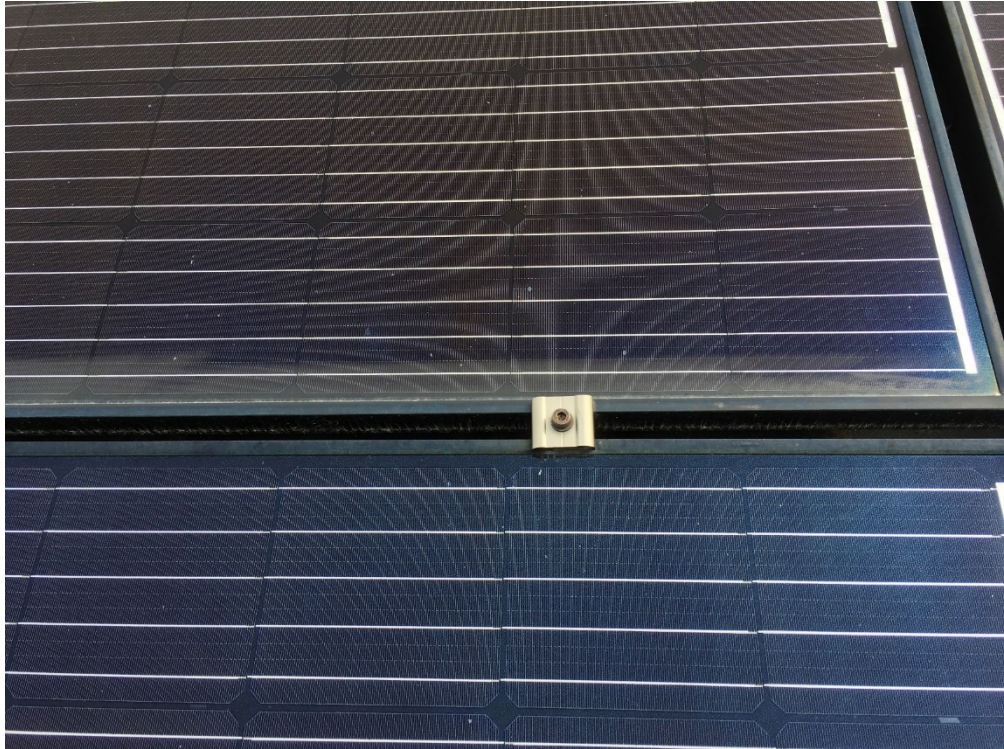
Defekt på ledare i en cell



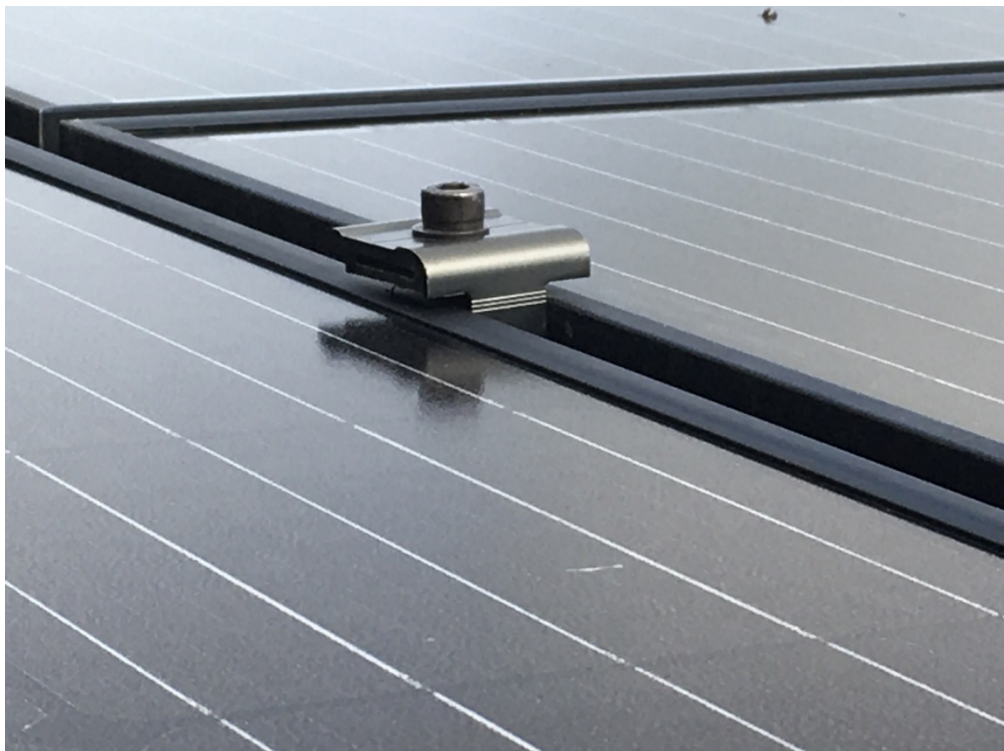
Missfärgning i ovkant av modul



Siliconrester i skarv mellan moduler?

Borås Elhandel Paket Hybrid

Missfärgning i nedkant modul



Ej åtdragen montageklammer

Kraftpojkarna Paket Energibolag

Mer fågelskit än övriga system. Repa sedan monterat.

Midsummer BOLD

Utkrupen gummilist