

Energimyndighetens titel på projektet – svenska <b>Klimat effektiv Solenergi</b>	
Energimyndighetens titel på projektet – engelska <b>Climate-efficient solar energy</b>	
Universitet/högskola/företag <b>Storsthlm</b>	Avdelning/institution <b>Energikontoret Storsthlm</b>
Adress <b>Södermalmsallén 36</b>	
Namn på projektledare <b>Michael Sillén/Roger Svanborg</b>	
Namn på ev övriga projektdeltagare <b>RISE, HBV, Energikontoret Syd</b>	
Nyckelord: 5-7 st <b>Livscykelperspektiv på solcellers klimatpåverkan</b>	

## Förord

Projektet har finansierats av Energimyndigheten samt HBV- allmännyttans inköpsfunktion.

Projektet har letts av Energikontoret Storsthlm i samarbete med RISE, HBV och Energikontoret Syd.

Utöver har fastighetsbolagen Castellum, Rikshem och Ronnebyhus AB medverkat i testerna av upphandlingsverktyget.

## Innehållsförteckning

Sammanfattning .....	3
Summary.....	4
Inledning/Bakgrund.....	5
Genomförande.....	6
AP1 – Kunskapsläget om solcellers klimatpåverkan .....	6
AP 2 - Upphandlingskriterier för solcellers klimatpåverkan .....	6
AP 3 - Test i upphandling .....	8
AP4 – Optimerad förvaltning och klimatnytta.....	9
Resultat .....	10
AP1 – Kunskapsläget om solcellers klimatpåverkan .....	10
AP 2 - Upphandlingskriterier för solcellers klimatpåverkan .....	11
Utvärdering av befintliga bedömningsmetoder och certifieringar för solcellsmodulers klimatpåverkan .....	11
Benchmark och vidareutveckling av utvald metod (CRE) .....	21
Dialog med leverantörer och beställare .....	26
Kravställning med minimikrav, prestandabaserade mervärden eller en kombination.....	27
Verktyg för klimatbedömning och mervärdesberäkning .....	29
AP 3 - Test i upphandling .....	32
Upphandlingsomgång 1 .....	32
Upphandlingsomgång 2 - Ronnebyhus.....	36
Beskrivningar till Administrativa Föreskrifter.....	37
AP4 – Optimerad förvaltning och klimatnytta.....	39
Bilagor .....	41

## Sammanfattning

Solceller ger upphov till små utsläpp under drift, men eftersom produktionen ofta är energikrävande har det betydelse vilken energimix som används vid tillverkningen. Vidare spelar hanteringen av de uttjänta solcellerna roll för solcellernas totala miljöpåverkan. Kunskaperna om solcellers koldioxidutsläpp i ett livscykelperspektiv är ganska låga bland marknadens aktörer och det är ovanligt att krav ställs på solcellsmodulers klimatpåverkan i upphandlingar.

Syftet med detta projekt är att bidra till ökad klimatprestanda från solceller genom att öka kunskap bland marknadens aktörer genom att ta fram och testa upphandlingskriterier för att styra mot lägre klimatpåverkan från solceller samt genom att sammanställa en vägledning för en klimatoptimerad förvaltning av solcellsanläggningar.

Målet var att upphandlingskriterierna skulle bli ambitiösa och relevanta för klimatpåverkan, men inte vara mer begränsande än vad som tillåts eller är önskvärt i offentlig upphandling. Utifrån syftet att vara relevant bedömdes att kriterier som använder eller ansluter till befintlig internationell praxis, eller på annat sätt är bredd tillämpbara, kommer att skapa störst effekt och nytta.

Till projektet knöts ett antal offentliga beställare (kommunala förvaltningar och bolag) som var beredda att testa de föreslagna upphandlingskriterierna i ”skarpt läge” dvs att använda kriterierna i solcellsupphandlingar. Inom ramen för projektet har sammanlagt tre upphandlingar genomförts där projektets bedömningsverktyg använts.

Under testerna har formuläret för upphandling visat sig fungera, men det är inte alltid underlagen har fyllts i korrekt av leverantörerna. Det har varierat från att nästan inga felaktigt ifyllda underlag, till ganska många felaktigheter.

En vägledning för klimateffektiv förvaltning av solcellsanläggningar har också tagits fram. Avsikten är att användas för råd och guidning i hållbarhetsarbetet och framtagande av drift-och underhållsplaner av solcellsanläggningar.

Ett centralt resultat av studien är att använda befintliga anläggningar och utveckla dessa så länge det går. Satsa på att bygga ut eller bygga nytt istället för att byta ut fungerande anläggningar.

## Summary

Solar cells give rise to small emissions during operation, but since production is often energy-intensive, the energy mix used during production is important. Furthermore, the handling of used solar cells plays a role in the total environmental impact of solar cells. Knowledge of solar cells' carbon dioxide emissions from a life cycle perspective is quite low among market players, and it is unusual for demands to be made on the climate impact of solar cell modules in tenders.

The purpose of this project is to contribute to increased climate performance from solar cells by increasing knowledge among market players; to develop and test procurement criteria to steer towards a lower climate impact from solar cells; and to compile a guide for a climate-optimized management of solar cell installations. The goal was that the procurement criteria would be ambitious and relevant to climate impact, but not be more restrictive than what is allowed or desirable in public procurement. Based on the purpose of being relevant, it was judged that criteria that use or connect to existing international practice, or are otherwise broadly applicable, will create the greatest effect and benefit.

A number of public clients (municipal administrations and companies) were connected to the project and were prepared to test the proposed procurement criteria in "sharp mode", ie to use the criteria in solar cell procurements.

Within the framework of the project, a total of three procurements have been carried out where the project's assessment tool was used. During the tests, the form for procurement has been shown to work, but the documents have not always been filled in correctly by the suppliers. It has varied from almost no wrongly filled out documents, to quite a lot of mistakes.

A guide for climate-efficient management of solar cell installations has also been produced. The intention is to be used for advice and guidance in sustainability work and development of operation and maintenance plans for solar cell installations.

A central result of the study is to use existing facilities and develop them as long as possible. Invest in expanding or building new ones instead of replacing functioning facilities.

## Inledning/Bakgrund

Solenergi är ett mycket populärt energislag vilket bland annat framgår av SOM-institutets undersökning som frågat vilket energislag vi i Sverige bör satsa mer på. 2018 svarade 83 % i undersökning att vi bör satsa mer på solenergi. Intresset för solenergi rapporteras nu ha ökat lavinartat under 2022 pga, energikrisen i spåren av kriget i Ukraina.

Solceller genererar inga utsläpp under drift vilket är den stora fördelen med tekniken ur ett miljö- och klimatperspektiv. Men för att se hela bilden måste även tillverkningen och hantering av uttjänta solceller beaktas, dvs. en analys med livscykelperspektiv. Tillverkningen av framförallt solceller och solcellsmoduler är relativt energikrävande. Kunskaperna om solcellers koldioxidutsläpp i ett livscykelperspektiv är ganska låga bland marknads aktörer och det är ovanligt att krav ställs på solcellsmodulers klimatpåverkan i upphandlingar. Syftet med detta projekt är att bidra till ökad klimatprestanda från solceller genom att:

- öka kunskap bland marknads aktörer
- ta fram och testa upphandlingskriterier för att styra mot lägre klimatpåverkan från solceller
- sammanställa en vägledning för en klimatoptimerad förvaltning av solcellsanläggningar

På den svenska marknaden är det än så länge ovanligt att offentliga beställare ställer tydliga krav gällande klimatpåverkan ur livscykelperspektiv. Enbart i Sverige har värdet av offentlig upphandling uppskattats till ca 683 miljarder kronor, eller 17 % av BNP (Upphandlingsmyndigheten, 2019) vilket innebär att offentliga beställare är viktiga aktörer på marknaden genom sin köpkraft, och detta gäller också på solcellsmarknaden. Så trots att svenska beställare utgör en liten del av världsmarknaden för solceller finns ändå möjligheter att göra skillnad genom att tydliggöra efterfrågan på mer klimateffektiva solceller. Det kommer att gynna tillverkare och leverantörer som redan idag är jämförelsevis långt framme i dessa frågor. Sverige har generellt högt anseende i miljö- och hållbarhetsfrågor och det är därför troligt att en tydliggjord efterfrågan på klimateffektiva solceller skickar signaler till omvärlden som är starkare än vår relativa storlek på världsmarknaden.

I dagsläget finns ingen etablerad märkning av solceller som avser energiprestanda eller klimatavtryck, och det är troligt att sådan märkning dröjer. Det finns internationellt standardiserade certifieringar som avser kvalitet och prestanda men dessa certifieringar bedömer inte solcellernas klimatprestanda.

Projektet har drivits i samverkan mellan Energikontoret Storsthlm, RISE och HBV med Energikontoret Storsthlm är projektledare. Under andra halvan av 2022 har även Energikontoret sydost engagerats för att bistå i projektledningen.

## Genomförande

### AP1 – Kunskapsläget om solcellers klimatpåverkan

För att skapa en bra grund för projektets aktiviteter inleddes projektet med en sammanställning av det aktuella kunskapsläget gällande solcellers klimatpåverkan ur ett livscykelperspektiv. Arbetet genomfördes genom en litteratstudie med fokus på tidigare genomförda livscykelanalyser (LCA), annan relevant forskning (inklusive grå litteratur) och erfarenhet inom området. Målet var att få en förståelse för var i solcellernas livscykel den största klimatpåverkan uppstår – så kallad hot spot analys - och vilka skillnader som finns mellan olika typer av solceller.

Kunskapssammanställningen publicerades som RISE-rapport hösten 2021 och är skrivit utifrån ett bokföringsperspektiv på klimatpåverkan från solceller och berör endast översiktligt konsekvenserna av att el från solceller tillförs i elsystemet.

Rapporten bifogas som ”Bilaga A”.

### AP 2 - Upphandlingskriterier för solcellers klimatpåverkan

I Arbetspaket 1 har ett antal faktorer i tillverkningskedet identifierats som har betydelse för livscykelutsläppen för olika typer av solceller. Vidare identifierades även ett antal befintliga metoder eller certifieringar för klimatpåverkan från solcellsmodulers livscykel. Detta tidigare arbete har utgjort grunden för arbetet i Arbetspaket 2 med att formulera upphandlingskriterier.

Målet var att upphandlingskriterierna skulle bli ambitiösa och relevanta för klimatpåverkan, men inte vara mer begränsande än vad som tillåts eller är önskvärt i offentlig upphandling. Utifrån syftet att vara relevant bedömde projektgruppen att kriterier som använder eller ansluter till befintlig internationell praxis, eller på annat sätt är bredd tillämpbara, kommer att skapa störst effekt och nytta. En bredd använd(bar) metod har ju möjligheter att skapa en större tryck från beställare samtidigt som det minskar arbetsmängden hos leverantörer jämfört med flera olika kriterier eller metoder. Därför påbörjades arbetet med en utvärdering av de befintliga metoder och certifieringar för bedömning av och/eller kravställning på klimatpåverkan som identifierades i kunskapssammanställningen. Följande aspekter utvärderades:

- Relevans och genomslag
  - Etableringsgrad; det vill säga i vilken utsträckning metoden redan används av upphandlare och solcellsleverantörer/-industrin.
  - Urskiljningsförmåga; alltså i vilken grad metoden fångar upp de identifierade hot spots för klimatpåverkan.
  - Noggrannhet; hur exakt resultaten från metoden är.
  - Funktionell enhet; hur resultaten redovisas.
- Genomförbarheten

- Databehov och -tillgänglighet; alltså hur detaljerade data som behövs och hur lätt- eller svårtillgänglig dessa data är. Här kan även vissa aspekter kring verifiering av datakällors pålitlighet ingå.
- Kompetenskrav på beställare; behöver beställare uppfylla mycket specifika kompetenskrav för att kunna nyttja metoden i sina upphandlingar, eller räcker det med mer allmän kompetens? Kompetenskrav kan även vara relaterade till verifiering av pålitlighet för uppgifter eller dataunderlag som lämnas av anbudsgivare.
- Överensstämmelse med LOU; är metoden i linje med, eller finns (potentiella) konflikter med regelverket för offentlig upphandling?
- Uppdateringsmöjligheter; är det lätt eller svårt att justera kriterierna över tid, exempelvis för att återspegla den tekniska utvecklingen som sker.

Baserat på ovanstående utvärdering togs ett beslut om vilken metod som är intressantast att arbeta vidare med, samt vilka eventuella utvecklingsbehov som fanns. Utvecklingsbehov identifierades dels utifrån utvärderingen av relevans och påverkan samt genomförbarhet enligt ovan, och dels genom en benchmark av resultat från den utvald metoden med två tonangivande aktuella publikationer: den senaste uppdateringen av LCI-data samt tillhörande klimatpåverkansresultat från IEA PVPS Task 12 (Frischknecht et al., 2020); och en jämförelsestudie mellan solcellsmoduler med eller utan ram vid tillverkning i Kina, Tyskland eller Europa (Müller et al., 2021). Jämförelsen gjordes genom att så långt som möjligt använda samma antaganden som i benchmarkstudierna i projektets metod och sedan jämföra hur resultaten mellan de olika modulerna skiljer sig i förhållande till varandra. För den relativa jämförelsen likställdes klimatpåverkan för modulen med den största beräknade klimatpåverkan i benchmarkstudien med 100% för respektive metod. Stora skillnader mellan benchmark och utvald metod indikerar utvecklingsbehov för den metoden.

Utöver benchmarking fördes också dialog kring utvalda metod(er) med anbudsgivare som är registrerade till HBV:s dynamiska inköpssystem (DIS) för solceller. Dialogen kompletteras med enstaka aktörer bland grossister och beställare.

Projektgruppen bedömde även för- och nackdelar kring olika grundläggande metoder för att formulera kriterier som styr mot bättre klimatprestanda i offentliga upphandlingar:

- Minimumkrav, eller ”skall”-krav, som ska uppfyllas för att kvalificeras som anbudsgivare, eller
- Prestandabaserade mervärden, eller ”bör”-krav, som värderar olika klimatprestanda och premierar hög prestanda i anbudsutvärderingen

Utifrån det skapades ett rekommenderat sätt att utforma kriterier, som utvärderades i upphandlingar i Arbetspaket 3.

För enkel implementering av kriterier, krav och utvärdering samt för att uppnå en så hög nivå av transparens som möjligt i upphandlingar implementerades den utvalda metoden i ett verktyg för klimatbedömning. Verktøget skapades i MS Excel och innehåller bakgrundsdata, anbudsformulär, beräkningar för klimatbedömning och en möjlighet att räkna fram ett mervärde för utvärdering av anbud, samt instruktioner för beställare och anbudsgivare. För att inte förvirra användare av verktyget gjordes det lätt att gömma mindre relevanta blad och spara renodlade versioner av filen. Verktøget fick också skydd mot avsiktlig eller oavsiktlig ändring av viktiga data eller funktioner. Därtill användes Excels låsfunktioner med lösenordsskydd i två nivåer: ett som skyddar schablonvärden och klimatbedömningsberäkningar mot ändringar av beställare eller anbudsgivare; och ytterligare ett som skyddar upphandlingsspecifika data och inställningar för mervärdesberäkning mot ändringar av anbudsgivare.

För att ta fram rekommendationer på parametrar för mervärdesmodellen gjordes två uppskattningar:

1. Prisnivåer från modulspotmarknaden pvXchange.com används tillsammans med uppskattade relativa prisökningar (%) för moduler med lägre klimatpåverkan samt uppskattade skillnader i klimatpåverkan. Med dessa uppgifter och antaganden beräknas vilket mervärde som gynnar en klimateffektiv modul. Den klimateffektiva modulen antas ha ett bedömt klimatavtryck på 300 kg CO<sub>2,e</sub>/kWp och priserna på pvXchange.com antas avse moduler med "standard" klimatavtryck motsvarande den övre gränsen angiven i utvärderingsparametrarna.
2. Egenskaper för ett antal vanliga solcellsmoduler på marknaden uppskattats och används för att skatta klimatbedömningen. Uppskattningar baserats på datablad, information på tillverkarnas hemsidor och där möjlig från certifikat för den ursprungliga CRE-metoden. Valda parametervärden för mervärdesmodellen applicerats sedan för de valda modulerna, ihop med uppskattade relativa prisskillnader för modulerna (från leverantördialog) och modulernas uppskattade andel av det totala anbudspriset.

Både funktionerna ovan inkluderas i verktyget.

Erfarenheter från upphandlingstesterna sammanställdes och efter eventuella förbättringsåtgärder togs slutgiltiga förslag på kriterier och verktyg fram, inklusive användningsinstruktioner.

### **AP 3 - Test i upphandling**

Till projektet kopplades offentliga beställare (exempelvis kommunala förvaltningar och bolag) för att testa projektets framtagna upphandlingsmodell. Energikontor Storstockholm hade huvudansvar för detta arbetspaket och rekryterade två fastighetsbolag för att möjliggöra detta, Rikshem och Castellum. HBV rekryterade ett fastighetsbolag, som dock i ett sent skede var tvungen att



skjuta upp sin upphandling på grund av otydligheter kring möjligheter att dela energi mellan fastigheter.

Energikontor syd fick sedan ta över ansvaret och assisterade Energikontor Storstockholm med att ytterligare rekrytera fler beställare genom att bjuda in några stycken från sydost till ett webinarie som planerades ihop med föreningen i sydost, Godahus. Slutligen lyckades Energikontor syd rekrytera ett fastighetsbolag, nämligen Ronnebyhus.

Erfarenheterna som samlades från dessa företagen återkopplades till Arbetspaket 2 som färdigställer de slutliga upphandlingskriterierna.

Utvärdering skedde i form av analys av information och underlag till möjliga anbud, samt genom enkäter och intervjuer med berörda parter i upphandlingarna (anbuds- och beställarsida). Upphandlingarna för Rikshem och Castellum genomfördes i egen regi, medan Ronnebyhems upphandling genomfördes genom HBV:s dynamiska inköpssystem (DIS) för solceller.

För en av upphandlingarna där ingen mervärdesmodell användes (Castellum) kunde prisskillnader mellan ”standardanbud” och anbud med klimateffektiva solcellsmoduler uppskattas. Prisskillnaderna här antas vara i stort sett representativa för marknadspriserna och användes som underlag till mervärdesmodellens parametrar för den sista upphandlingen (Ronnebyhem).

Prisstatistik från upphandlingar med mervärdesnivåer i förfrågningsunderlaget bör helst inte användas för att uppskatta faktiska prisskillnader, då det finns risk att mervärdesmodellen har påverkat prissättningen av klimateffektiva solcellsmoduler.

#### **AP4 – Optimerad förvaltning och klimatnytta**

I detta arbetspaket undersöktes vilka åtgärder som kan göras för att optimera driften av solcellsanläggningar så att hög klimatprestanda i ett livscykelperspektiv uppnås. Energikontor syd har genomfört intervjuer med solcellsanläggningsägare (fastighetsägare) och leverantörer av solcellsanläggningar för att få en bild av hur branschens aktörer i dagsläget arbetar med förvaltning av solcellsanläggningar. Sammanställningen av svaren på intervjufrågorna utgör en översikt av gängse praxis för förvaltning av solcellsanläggningar samt goda exempel och nyttiga lärdomar för intressenter.

Utöver intervjuer med branschaktörer har en kunskapssammanställning genomförts av RISE i syfte att beskriva förvaltningsstrategier på andra marknader än den svenska, och aktuell forskning på området.

Kunskapssammanställningen och intervjuerna gav underlag till en vägledning med råd för en klimateffektiv förvaltning av solcellsanläggningar. Vägledningen riktar sig i första hand till beställare eller ägare av större solcellsanläggningar (ej villa-anläggningar). Vägledningen innehåller bedömningar av olika åtgärders relevans för att minska klimatpåverkan per producerad kWh.

## Resultat

### AP1 – Kunskapsläget om solcellers klimatpåverkan

Resultaten från kunskapssammanställningen har publicerats i en RISE-rapport, se Bilaga A, som kan sammanfattas enligt nedan:

”Denna första rapport från projektet Klimateffektiv solenergi sammanställer kunskapsläget om klimatpåverkan från solcellsmoduler och lägger grunden för vidare projektarbete med utformning av upphandlingskriterier. Litteraturgenomgången täcker både en marknadsöversikt över dagens solcellsmarknad samt en genomgång av klimatpåverkan från olika teknologier och konstruktioner för solcellsmoduler. Litteraturgenomgången avgränsas genom att projektet fokuserar på miljöpåverkanskategorin klimatpåverkan. Vidare har tillverkningskedet varit centralt i arbetet då tidiga resultat från analyser av klimatpåverkan över solcellers hela livscykel påvisar att övervägande klimatpåverkan sker under tillverkningen av solceller.

Centrala utmaningar vid bedömning av klimatpåverkan från solceller är brist på aktuella data, att olika studier redovisar resultat i olika enheter (koldioxidekvivalenter per kWh, per modul eller per kWp) samt hur årlig instrålning, prestanda, degradering och livslängd hanteras i de olika studierna. Resultatet påvisar att dagens dominerande solcellsteknik, kristallina kiselceller, har större klimatpåverkan jämfört med tunnfilmstekniker. Vidare har monokristallina kiselceller större klimatpåverkan från produktion än multikristallina kiselceller, men vilken kiselteknik som producerar el med lägst klimatpåverkan beror på verkningsgradsförhållandena. Nyare cellteknologier såsom PERC- och dubbelsidiga solceller kan minska klimatpåverkan från solel genom att elproduktionen per solcell ökar utan att utsläppen vid tillverkning ökar markant. Slutligen finns andra teknologier och modulkonstruktioner (exempelvis flexibla moduler) med potential att minska klimatpåverkan från solceller, både genom lägre klimatpåverkan från tillverkningen och genom att öka solcellernas effektivitet.

Klimatpåverkan från tillverkning orsakas huvudsakligen av energianvändning i olika processer och därmed blir elmixen vid tillverkning avgörande för klimatpåverkan. Elmixen är starkt kopplad till det lokala elsystemet, vilket innebär att tillverkningsland för kiselråvaran, solceller, solcellsmoduler med mera kan bli en nyckelfaktor för att åstadkomma klimateffektiva solcellsmoduler. Eftersom tillverkningen idag sker främst i Kina och övriga asiatiska länder, som har en betydande andel kolkraft i elmixen, orsakas en stor del av klimatpåverkan från dagens solceller av den fossilbaserade elen i dessa länder (Askemar & van Noord, 2021).”

## AP 2 - Upphandlingskriterier för solcellers klimatpåverkan

### *Utvärdering av befintliga bedömningsmetoder och certifieringar för solcellsmodulers klimatpåverkan*

De befintliga metoder eller certifieringar för bedömning och/eller kravställning på solcellsmodulernas klimatpåverkan som identifierades i kunskaps-sammanställningen var (se Bilaga A för ytterligare beskrivningar):

- En förenklad klimatbedömningsmetod med tillhörande certifiering, enligt (CRE, 2021 – avsnitt 6.6 och Annexe 2); framöver refererad till som ”CRE”, ”CRE-metod” och/eller ”CRE-certifiering”. Metoden bygger på en förenklad beräkning av klimatpåverkan från tillverkning genom att summera klimatpåverkan för de viktigaste bidragen till klimatpåverkan för olika material och tillverkningssteg. För varje material eller steg sker beräkningen genom att multiplicera den använda materialmängden eller den tillverkade (del)produktmängden med ett schablonvärde för det specifika materialet respektive tillverkningssteget.
- Föreslagna krav enligt avsnitt 2.6 samt Annex B i Europeiska Kommissionens diskussionsunderlag för ecodesignkrav på fotovoltaiska produkter (European Commission, 2021 – avsnitt 2.6 och Annex B), som avser klimatpåverkan från tillverkning av solcellsmoduler; framöver refererad till som ”ecodesign” eller ”ecodesignmetoden”. Metoden bygger på LCA-bedömningar i enlighet med ett regelverk, PEFCR (Product Environmental Footprint Category Rules).
- Miljödeklarationer, ”EPD-er”, inom ett flertal EPD-system (bl.a. EPD-International och EPD-Norge) och enligt olika tillhörande ”Product Category Rules” (PCR). Använder LCA-bedömningar enligt PCR-regler som finns inom två huvudkategorier som används för solceller: ”construction products” eller ”electricity, steam and hot/cold water generation and distribution”. PCR för construction products har (i flera system) en sub-PCR för solcellsmoduler som är användbar och detaljerad. PCR för el m.m. är inte alls särskild specifikt för solceller och tillåter större valfrihet i antaganden, vilket gör resultaten svårt att jämföra. Inom projektet har därför enbart EPD:er enligt sub-PCR för solcellsmoduler (under PCR för byggprodukter) betraktats. Dessa refereras framöver till som ”EPD”, ”EPD-metod” eller som respektive EPD system.

I Tabell 1, Tabell 2 och Tabell 3 presenteras och diskuteras utvärderingsresultaten för respektive huvudmetoderna.

**Tabell 1 Utvärderingsresultat av CRE-metoden inklusive certifiering.**

Metodutvärdering CRE	Styrkor	Svagheter
<b>Relevans och genomslag</b>		
Etableringsgrad	<p>Metoden i kombination med certifieringen har använts i ett flertal statliga upphandlingar i Frankrike. Ingen eller liten spridning utanför Frankrike.</p> <p>Flera (etablerade) modultillverkare har certifierade produktbedömningar.</p>	
Urskiljningsförmåga	<p>Urskiljer:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Klimatpåverkan från el som används i tillverkningen (nationell elmix)</li> <li>• Olika solcellstekniker <ul style="list-style-type: none"> <li>– Tunnfilmssolceller: amorft kisel (a-Si), mikro-amorft kisel (<math>\mu</math>/a-Si), CIGS, CdTe.</li> <li>– monokristallina kiselceller (m-Si, mono-Si, single-Si)</li> <li>– multi-kristallina eller ”quasi-mono” kiselceller (mc-Si, p-Si, multi-Si, cast/quasi mono-Si)</li> </ul> </li> <li>• Olika modulbaksidor (och -framsidor): <ul style="list-style-type: none"> <li>– Glas</li> <li>– Folie eller polymer (PVF, PET)</li> </ul> </li> </ul>	<p>Urskiljer inte:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Eventuell användning av egen förnybar elproduktion till produktionsprocesser.</li> <li>• Olika cellvarianter för kisel: <ul style="list-style-type: none"> <li>– PERx</li> <li>– Al-BSF</li> <li>– dubbelsidiga (”bifacial”)</li> </ul> </li> <li>• Moduler med eller utan ram.</li> </ul>

Metodutvärdering CRE	Styrkor	Svagheter
Noggrannhet	Låg - Medel, främst relevant för jämförelser. Tillåter användning av företagsspecifika data (efter verifiering), annars generiska schablonvärden.	Generiska schablonvärden baserad på äldre LCI-data. Emissionsfaktorer på nationell nivå, med äldre data.
Funktionell enhet	kWp (ingen omräkning behövs)	
<b>Genomförbarheten</b>		
Databehov och -tillgänglighet	Schablonvärden för tillverkningsprocessteg minskar databehov.  Om uppgift om tillverkningsland/-länder saknas görs schablonantagande.	Kräver data på detaljerad materialanvändning för moduler. Datan finns hos modultillverkarna, men ofta inte hos grossister eller anbudsgivare.  För bästa noggrannhet behövs uppgifter om tillverkningsländer. Denna data finns ofta hos modultillverkare, men delas i regel inte utan vidare. Spårbarheten för kiselråvara och wafertillverkningen är svår.
Kompetenskrav på beställare	Låga krav: Verifiering av beräkning och dataunderlag sker genom tredjepartscertifiering.	Om tredjepartscertifiering inte används behöver beställare kunna avgöra likvärdighet.
Överensstämmelse med LOU	Bedömningsmetoden i sig är transparent och bedöms kunna användas i överensstämmelse med LOU.  Certifieringen kan utföras av olika instanser, även om det är främst franska Certisolis som utfärder certifikat i praktiken.	Certifieringsprocessen (bl.a. verifiering av dataunderlag) är inte helt transparent, vilket gör det svårt att bedöma likvärdighet. (Kravställning kan endast ske på CRE-certifiering ”eller likvärdig”)

Metodutvärdering CRE	Styrkor	Svagheter
Uppdateringsmöjligheter	Metodens schablonvärden kan uppdateras allt eftersom nya relevanta studier publiceras.	Certifieringen är kopplad till franska offentliga upphandlingar och den omfattar därmed endast uppdateringar som görs av franska CRE.

**Tabell 2** Utvärderingsresultat av ecodesignmetoden.

Metodutvärdering Ecodesign	Styrkor	Svagheter
<b>Relevans och genomslag</b>		
Etableringsgrad	Om redovisning av livscykelns klimatpåverkan införs som ecodesignkrav innebär det en bred etablering, i hela Europeiska Unionen.	Metoden är under framtagande och har inte använts än.  Många modultillverkare saknar idag livscykelanalyser för sina specifika processer, eller offentliggör inte dessa. Tillverkarna behöver ha genomfört livscykelanalyser eller mätningar på resursanvändning för (delar av) sin värdekedja enligt EU:s ”product environmental footprint” regelverk (PEFCR). Idag har PEFCR inte fastställts för solcellsmoduler, även om det finns utarbetade förslag till regelverk.
Urskiljningsförmåga	Urskiljer: <ul style="list-style-type: none"> <li>Klimatpåverkan från el som används i tillverkningen (marknadsmässig mix eller residualmix)</li> </ul>	

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Olika solcellstekniker           <ul style="list-style-type: none"> <li>– Tunnfilmssolceller: amorft kisel (a-Si), mikro-amorft kisel (<math>\mu/a</math>-Si), CIGS, CdTe.</li> <li>– monokristallina kiselceller (m-Si, mono-Si, single-Si)</li> <li>– multi-kristallina eller ”quasi-mono” kiselceller (mc-Si, p-Si, multi-Si, cast/quasi mono-Si)</li> </ul> </li> <li>• Olika modulbaksidor (och -framsidor):           <ul style="list-style-type: none"> <li>– Glas</li> <li>– Folie eller polymer (PVF, PET)</li> </ul> </li> <li>• Olika cellvarianter för kisel:           <ul style="list-style-type: none"> <li>– PER<sub>x</sub></li> <li>– Al-BSF</li> <li>– dubbelsidiga (”bifacial”)</li> </ul> </li> <li>• Moduler med eller utan ram.</li> </ul>	
Noggrannhet	Kräver delvis användning av företagsspecifika livscykelanalyser, annars generiska LCA-resultat.	Regelverkets nuvarande förslag kring när vilka emissionsfaktorer (för elmix) kan användas uppfattas vara otydligt och möjligen inte rättvisande.
Funktionell enhet		kWh (samt referensflöde i kWp alternativt kvadratmeter) – omräkning kan behövas för allmängiltiga resultat, men relativa resultat för kWh håller antagligen för produktjämförelser (då samma europeiska soletutbyte i kWh/kWp antas).
<b>Genomförbarheten</b>		

Databehov och - tillgänglighet		<p>Kräver detaljerade företagsspecifika data för celltillverkning, modultillverkning, installation m.fl. livscykelsteg. Så detaljerade data om tillverkningen är idag i stort sätt otillgängligt för grossister eller anbudsgivare. Även flera modultillverkare verkar sakna kunskap på den detaljnivån idag, eller så är uppgifterna inte offentliga. En komplicerade faktor kan vara att tillverkning av samma produkttyp sker i olika fabriker.</p> <p>För regelenligt hantering av klimatpåverkan från elanvändningen i produktionen krävs detaljerad och pålitlig kunskap om tillverkningslandets elmarknad och elproduktion.</p>
Kompetenskrav på beställare	<p>Lågt om redovisning enligt metoden antas som obligatoriska krav inom ecodesignkraven. I så fall inkluderas krav på externa granskare av resultaten. Denna granskning behöver alltså inte göras av beställaren.</p> <p>Behov kan finnas att kvalitativt väga osäkerheter för olika produkter/anbud. Här är PEFCR:s datakvalitetsmått DQR användbar.</p>	<p>Högt vid användning av metoden innan eller utanför obligatoriska ecodesignkrav. I sådan fall krävs att beställaren själv eller i nätverk verifierar data, beräkningar och pålitligheten.</p>
Överensstämmelse med LOU	<p>Om klimatfotavtryck implementeras i ecodesignkrav, sker implementering i EU-ländernas regelverk och förblir dessa förenliga med LOU. Utvärdering på</p>	



	<p>obligatoriska prestandanivåer enligt ecodesignkrav ska också kunna göras förenligt med LOU.</p> <p>Även om metoden används innan eller utanför implementering i ecodesignkraven så förväntas senaste versionen (förslaget) av PEFCR-regelverket vara en tillräcklig tydlig och transparent processbeskrivning för att ställa krav som är förenliga med LOU.</p>	
Uppdateringsmöjligheter	<p>Företagsspecifika uppgifter kan uppdateras vid publikation av nya PEF-rapporter. PEFCR-regelverket hänvisar till olika datakällor och tillgängliga databaser. Dessa databaser kan uppdateras och tillgängliggöras (i uppdrag) av Europeiska Kommissionen. Resultat baserade på äldre data får en lägre kvalitetsindex (DQR).</p>	<p>Eftersom metoden har en högre detaljgrad finns fler parametrar som behöver uppdateras. Att hantera det utanför ecodesignkraven är möjligt men ett omfattande arbete.</p>

**Tabell 3 Utvärderingsresultat av EPD-metoden.**

Metodutvärdering EPD	Styrkor	Svagheter
<b>Relevans och genomslag</b>		
Etableringsgrad	<p>Miljödeklarationer (EPD:er) blir mer och mer etablerade, och används inte minst i byggbranschen (men är än så länge ovanligt för solcellsmoduler).</p>	<p>Relevanta EPD:er för solcellsmoduler är mycket ovanliga. Augusti 2022 fanns inga 5 EPD:er för solcellsmoduler enligt relevant sub-PCR registrerad i EPD-international's databas (EPD-International, 2022). I EPD-Norges databas fanns vid samma</p>

		tidpunkt 5 solcellsmoduler från sammanlagt tre tillverkare registrerade, som följde systemets sub-PCR för solcellsmoduler (EPD Norge, 2022).
Urskiljningsförmåga	Urskiljer: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Klimatpåverkan från el som används i tillverkningen (beroende på EPD-system)</li> <li>• Olika solcellstekniker             <ul style="list-style-type: none"> <li>– Tunnfilmssolceller: amorft kisel (a-Si), mikro-amorft kisel (<math>\mu</math>/a-Si), CIGS, CdTe.</li> <li>– monokristallina kiselceller (m-Si, mono-Si, single-Si)</li> <li>– multi-kristallina eller ”quasi-mono” kiselceller (mc-Si, p-Si, multi-Si, cast/quasi mono-Si)</li> </ul> </li> <li>• Olika modulbaksidor (och -framsidor):             <ul style="list-style-type: none"> <li>– Glas</li> <li>– Folie eller polymer (PVF, PET)</li> </ul> </li> <li>• Olika cellvarianter för kisel:             <ul style="list-style-type: none"> <li>– PERx</li> <li>– Al-BSF</li> <li>– dubbelsidiga (”bifacial”)</li> </ul> </li> <li>• Moduler med eller utan ram.</li> </ul>	Urskiljer inte: <ul style="list-style-type: none"> <li>• I vissa EPD-system hanteras inte en eventuell användning av egen förnybar elproduktion till produktionsprocesser.</li> </ul>
Noggrannhet	Kräver delvis användning av företagsspecifika livscykelanalyser, annars (anpassade) generiska LCA-resultat.	Detaljer som klimatpåverkan från el, eller degradering kan hanteras olika inom olika EPD-system, vilket kan göra resultaten svårt att jämföra. T.ex. föreskriver EPD-Norge att länders nationella

		<p>elmix används, medan EPD-International bygger i första hand på att ursprungsgaranterad elmix e.d. alt. residualmix används (likt PEFCR i ecodesignmetoden). Det resulterar i olika resultat. Visserligen tillåter EPD-Norge att alternativa värden enligt ursprungsgarantier e.d. redovisas, så då kan det finnas jämförbara siffror att hitta i alla fall.</p>
Funktionell enhet	Wp (ingen omräkning behövs), samt omräkningsfaktorer för kvadratmeter	
<b>Genomförbarheten</b>		
Databehov och -tillgänglighet		<p>Kräver detaljerade företagsspecifika data för modultillverkningssteget. För andra livscykelsteg föredras EPD:er men får även (anpassad) generisk data användas. EPD ska göras av modultillverkaren, som har tillgång till eller åtminstone möjlighet att inhämta den nödvändiga data.</p> <p>För regelbundet hantering av klimatpåverkan från elanvändningen i produktionen krävs i vissa system detaljerad och pålitlig kunskap om tillverkningslandets elmarknad och elproduktion.</p>
Kompetenskrav på beställare	<p>Lågt – medel.</p> <p>Viss kompetens behövs för utformning av kraven. Dessa kan dock hänvisa till PCR och återanvändas vid flera upphandlingar.</p>	<p>Högre kompetenskrav om EPD:erna följer olika (sub-)PCR (t.ex. från olika EPD-system), behöver beställaren förstå hur resultaten kan skilja sig och hur dessa skillnader kan hanteras.</p>

	Kompetenskrav för jämförelse av anbud är begränsade så länge produkterna som bedöms/jämförs har EPD enligt samma (sub-)PCR. Behov kan finnas att kvalitativt väga osäkerheter, t.ex. om EPD:er i olika stor grad bygger på generiska data eller på data från olika årtal.
Överensstämmelse med LOU	EPD:er är förenliga med LOU, se t.ex. (Europeiska Kommissionen, 2016)
Uppdateringsmöjligheter	EPD:er har en begränsad giltighet och är kopplade till en specifik produkt, så att uppdatering ska ske löpande när nya produkter kommer på marknaden.

Sammanfattat så visar resultaten i de tre tabellerna ovan att relevansen och genomslagspotentialen för ecodesignmetoden är störst, ifall den implementeras som ett krav i ecodesign-regelverket. Etableringsgraden skulle med en gång bli mycket stort, medan noggrannheten och urskiljningsförmågan är större eller likvärdig som för de andra metoderna. Att den funktionella enheten (kWh) inte är den mest relevanta för upphandlingar (kWp) är tråkigt, men mindre väsentlig så länge relativa jämförelser förblir aktuella. Databehovet och -tillgängligheten för ecodesignmetoden är visserligen de mest krävande, men samtidigt blir trycket på tillverkarna (tillgång till de europeiska marknaderna) så pass stor och är det ett enda harmoniserad regelverk för EU, så förväntningen är att de flesta tillverkarna kommer att svara upp på detta. Samtidigt så bedöms det vara ett för stort steg att gå före och använda ecodesignmetoden i förväg (förutom möjligen som test kort innan ett framtida införande). Enstaka svenska beställare kan knappast förmå tillverkare att genomföra LCA enligt PEFCR-regelverket, där det dessutom fortfarande kan komma ändringar i regelverket innan ett eventuellt ecodesignkrav.

EPD-metoden är ganska likvärdig ecodesignmetoden i noggrannhet och urskiljningsförmågan, men med sämre etableringsgrad än CRE-metoden. Ur genomförbarhetsperspektiv, så är CRE-metoden fördelaktigare än EPD-metoden, särskild om den är tänkt att användas på kort sikt.

Projektgruppen bedömde att ett framtida införande av ecodesignkrav med redovisning av klimatpåverkan är sannolikt, dock inte förrän om ett till ett par år. Därmed ansågs det relevant att arbeta vidare för en metod som snabbt kunde införas och inte var för krävande för beställare och anbudsgivare. Valet föll så pass på att undersöka huruvida CRE-metoden på ett enkelt sätt kunde förbättras avseende urskiljningsförmåga och noggrannhet, samt adressera frågetecknen kring likvärdighet kopplad till CRE-certifiering i offentlig upphandling.

#### *Benchmark och vidareutveckling av utvald metod (CRE)*

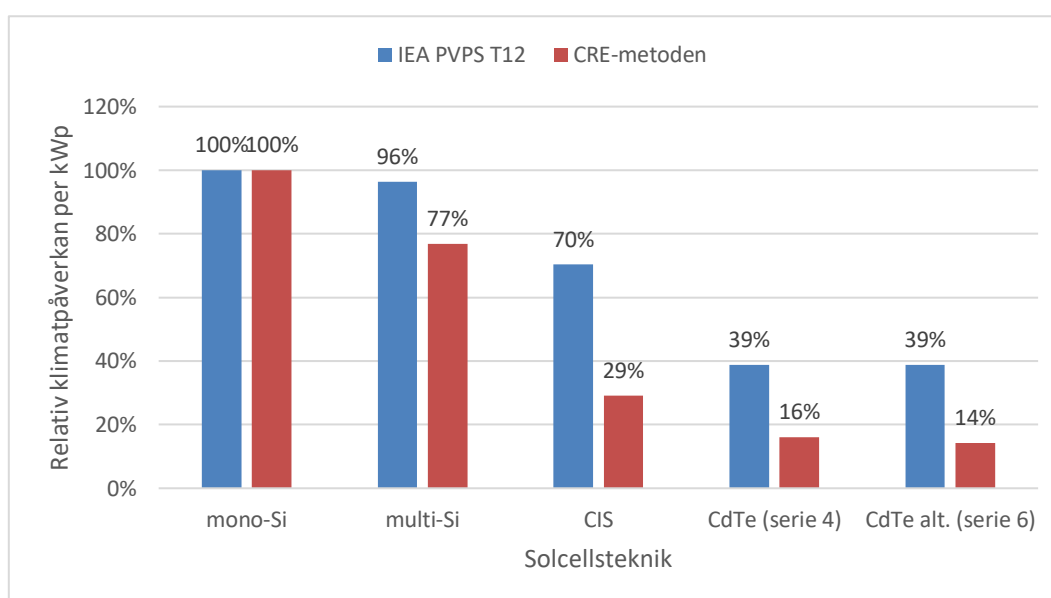
De främsta svagheter i CRE-metoden som framkom i utvärderingen är att den inte alls omfattar solcellsmodulers ram (eller frånvaro av en ram), att ett antal specifika cellvarianter klumpas ihop i grövre kategorier, och att den bygger på en del föråldrade data. Dessutom kan det bli svårt att använda den befintliga certifieringen i offentlig upphandling.

Vad gäller certifieringen, så är den av störst värde vid verifiering av klimatpåverkan från delsteg som avviker från schablonvärden, till exempel företagsspecifika värden, och för verifiering eller rimlighetsbedömning av angivet tillverkningsland. Projektet valde att undersöka huruvida endast schablonvärden kunde ge en representativ bedömning, vilket ingår i benchmarkstudiens resultat som presenteras nedan. Vad gäller rimlighetsbedömning av angivna tillverkningsländer så ämnar projektet ta fram en handledning för upphandlande organisationer.

Vad gäller avsaknad av urskiljning mellan Al-BSF, PERx (d.v.s. PERC, PERL, eller PERT) och dubbelsidiga kiselceller så konstaterades i AP 1 att PERx och dubbelsidiga solcellsmoduler visserligen medför en något högre klimatpåverkan per cell än Al-BSF, men att den största effekten på slutgiltig klimatpåverkan är att

de förstnämnda har en högre verkningsgrad, vilket sänker klimatpåverkan per funktionell enhet (kWp). Huruvida det är relevant att komplettera metoden med data för PERx och dubbelsidiga solceller avgörs efter benchmarking för PERC-solceller.

Två benchmarkings gjordes för att bedöma behovet av vidareutveckling för urskiljningsförmåga och noggrannhet. Figur 1 visar jämförelsen mellan IEA PVPS Task 12s senaste LCI publikation och CRE-metoden. I CRE-metoden applicerades samma antaganden som i benchmarkstudien för alla parametrar som anbudsgivare ska ange vid anbudslämning, så som tillverkningsland och antal eller materialmängd för olika processteg eller material. I övrigt användes CRE-metodens schablonvärden för klimatpåverkan (per processteg eller material och tillverkningsland) och material- samt spillfaktorer (per processteg eller material). Data för CdTe-tunnsfilmsmodulen representerar First Solar, men eftersom det inte kunde avgöras vilken modulserie (4 eller 6) som avses, görs jämförelsen för båda serierna.

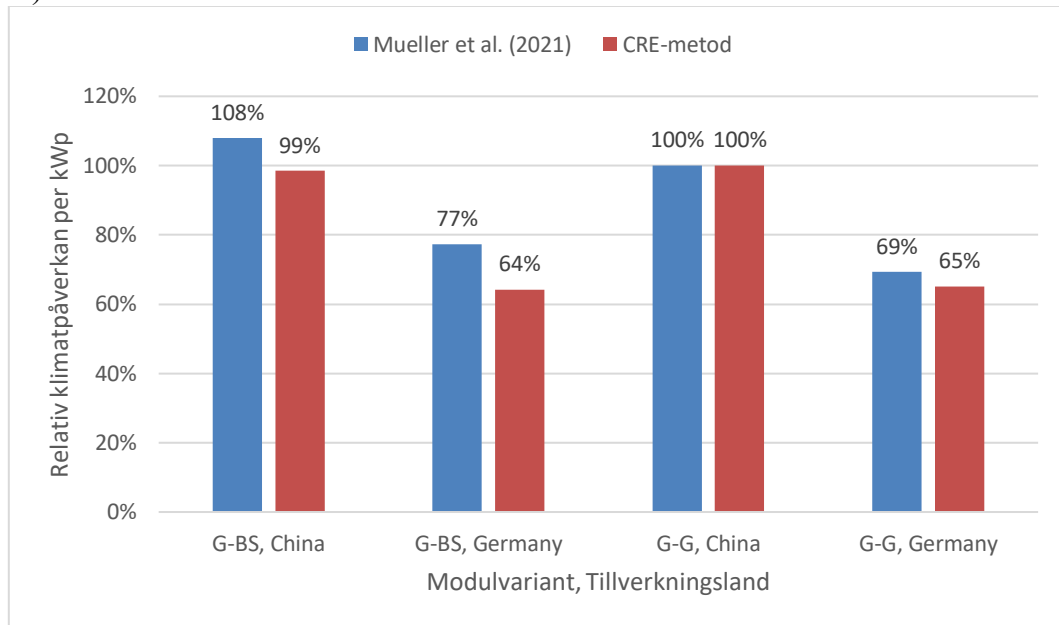


**Figur 1 Jämförelse av klimatpåverkan för olika solcellsmoduler beräknad av IEA PVPS Task 12 (Frischknecht et al., 2020) och enligt CRE-metodens bedömning. Klimatpåverkan för mono-Si modulen har likställts med 100%.**

Grafen visar stora skillnader mellan CRE-metodens och Task 12s relativa utsläppsskillnader. Jämfört med Task 12s resultat underskattar CRE-metoden klimatpåverkan per kWp för tunnsfilmsmodulerna (CIS och CdTe) och multikristallina kiselmoduler, vilket också kan bero på en överskattning av klimatpåverkan för monokristallina kiselmoduler. Det är sannolikt att skillnaderna kan förklaras av den äldre LCI-data som ligger till grund för CRE-metoden.

Jämförelsen mellan CRE-metoden och den andra benchmarkstudien (Müller et al., 2021) skedde enligt samma princip som för den första benchmark och resultaten visas i Figur 2. Observera att CRE-metoden inte tar upp någon klimatpåverkan från modulens eventuella ram, så att resultaten för CRE-metoden endast visar skillnader mellan olika baksidor och glastjocklek (3,2 mm för G-BS och 2 x 2 mm

för G-G), samt skillnader i verkningsgrad (19,8% och 19,4 % för G-BS resp. G-G).



**Figur 2 Jämförelse av klimatpåverkan för olika solcellsmoduler beräknad av Müller et al. (2021) och enligt CRE-metodens bedömning. Modulvarianten G-BS har glas på framsidan och folie på baksidan samt en modulram. Modulvarianten G-G har glas på fram- och baksida och ingen ram. Klimatpåverkan för den kinesiska glas-glas-modulen (G-G, China) har likställts med 100%.**

Resultaten i Figur 2 visar att CRE-metoden, i förhållande till Müller et al., överskattar klimatpåverkan för ramlösa glas-glas moduler jämfört med den för inramade glas-folie moduler. Denna skillnad kan troligtvis förklaras till största del av att klimatpåverkan från ramen inte alls tas upp i CRE-metoden. Vidare, så pekar jämförelsen på viss överskattning av klimatpåverkan för de kinesiska modulerna, alternativt underskattning för de tyska modulerna. Möjligen kan de sistnämnda skillnaderna förklaras av användning av äldre data för elens klimatpåverkan men även av processernas föråldrade LCI-data samt avsaknad av data för ändrade processerna för tillverkning av PERC solceller (jämfört med Al-BSF solceller).

Sett till de stora avvikelserna för CRE-metoden i benchmarkingen så genomfördes två förbättringsåtgärder till CRE-metoden i projektet, som beskrivs i styckena nedan.

### **Förbättringsåtgärd 1: Uppdaterad LCI-data**

Schablonvärden för klimatpåverkan för solcells- och modultillverkningen, samt materialanvändnings- och spillfaktorer för kiselingsots, -wafers och -celler, har uppdaterats i enlighet med IEA PVPS Task 12s senast publicerade LCI-data (d.v.s.: Frischknecht et al., 2020).

Direkta utsläpp av växthusgaser från respektive processer har kvantifierats enligt IPCC GWP100 (2013). Klimatpåverkan från lokal energitillförsel genom förbränning av bränslen har kvantifierats enligt (Department for Business, Energy

& Industrial Strategy, 2019) och för värme från lokala kraft-värmeanläggningar med ospecificerade bränslen används 460 kgCO<sub>2</sub>e/MWh (Morales-Mora m.fl., 2019) och 15% exergi (BSR LTDH project, 2021). Indirekta utsläpp från elanvändning i processerna räknas sedan om till en klimatpåverkan för varje land med den nationella elmixens emissionsfaktor från CRE-metoden.

Eftersom den uppdaterade LCI-data inte innehåller uppgifter för tunnfilmsmoduler av amorft kisel (a-Si) så antas värden för denna teknologi vara samma som för den något vanligare tunnfilmsvarianten mikroamorft kisel (μ/a-Si).

Utsläpp från transporter ignoreras.

Data för icke-solcellsrelaterade material och processer (glas, EVA, material till baksidesfolie) uppdaterades inte.

### **Förbättringsåtgärd 2: Komplettering för aluminiumram**

Schablonvärden för tillverkning av aluminiumram har lagts till i metoden.

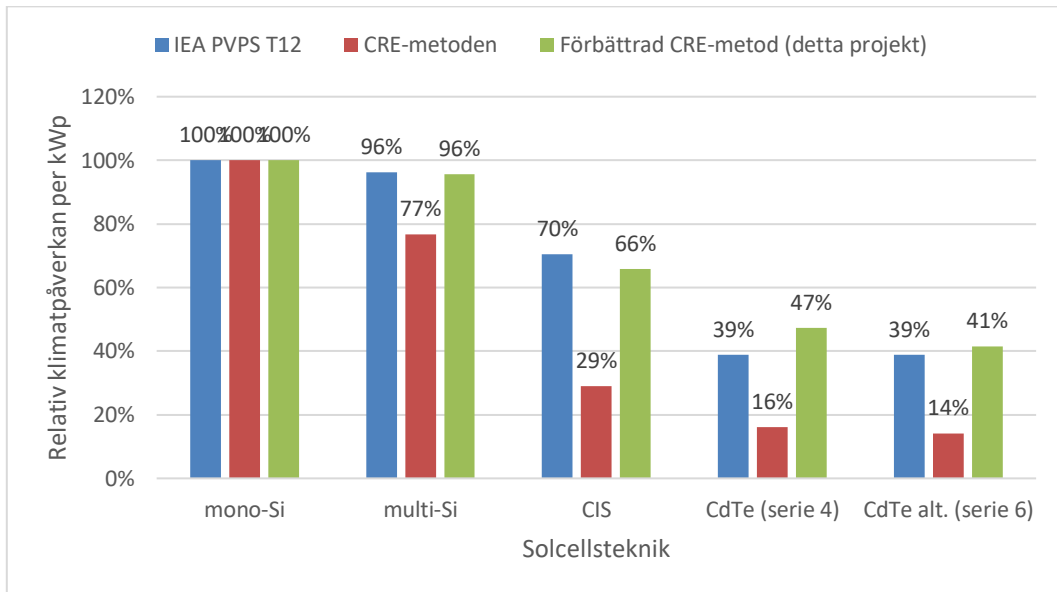
Härför användes data från databasen Ecoinvent 3 [Cut-off, U] för två dominerande tillverkningsstegen: tillverkning av aluminiumlegeringen AlMg3 och extrudering. Det gav två värden på direkt klimatpåverkan (enligt IPCC GWP 100, 2013), en för Europa (RER) och en för resten av världen (RoW).

Elförbrukningen för extruderingen räknas sedan om till en klimatpåverkan för varje land med den nationella elmixens emissionsfaktor från CRE-metoden.

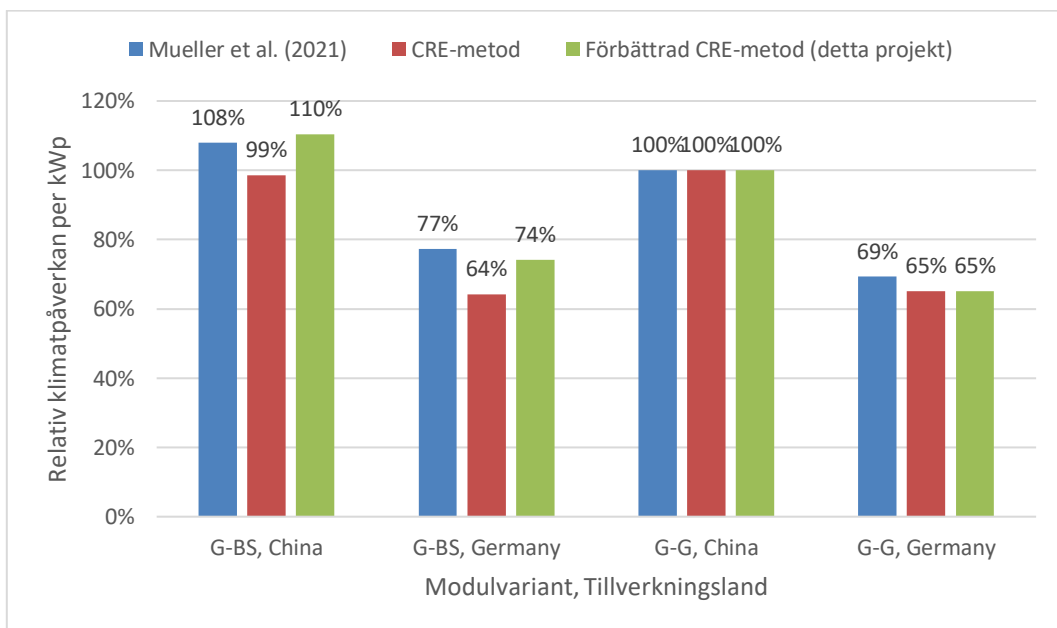
Klimatpåverkan enligt ovan ger ett intervall från 7,46 till 8,78 kg CO<sub>2</sub>e/kg aluminiumprofil för europeiska länder, vilket är i linje med rapporterad klimatpåverkan från den europeiska aluminiumindustrin för 2015 på 7,81 kg CO<sub>2</sub>e/kg extruderad aluminium (EAA, 2018).

Efter förbättringsåtgärderna 1 och 2 blir resultaten av en förnyad benchmarking betydligt bättre, se Figur 3 och Figur 4. Grafen i figurena visar både den ursprungliga CRE-metoden och den förbättrade versionen för att tydligt visa hur förbättringarna slår igenom.





**Figur 3 Jämförelse av klimatpåverkan för olika solcellsmoduler beräknad enligt projektets förbättrade CRE-metod, av IEA PVPS Task 12 (Frischknecht et al., 2020) och enligt den ursprungliga CRE-metodens bedömning. Klimatpåverkan för mono-Si modulen har likställts med 100%.**



**Figur 4 Jämförelse av klimatpåverkan för olika solcellsmoduler beräknad enligt projektets förbättrade CRE-metod, av Müller et al. (2021) och enligt den ursprungliga CRE-metodens bedömning. Modulvarianten G-BS har glas på framsidan och folie på baksidan samt en modulram. Modulvarianten G-G har glas på fram- och baksida och ingen ram. Klimatpåverkan för den kinesiska glas-glas-modulen (G-G, China) har likställts med 100%.**

Sammanlagt har förbättringarna slagit igenom bra. Benchmarking för olika solcellsteknologier (Figur 3) följer resultaten från IEA PVPS Task 12 mycket väl (inom 4 procentpunkter), möjligen med undantag för CdTe (serie 4), vilket kan vara en indikation på att Task 12 publicerade data för serie 6, som visar bra överensstämmelse. Benchmarking för olika kiselmodulvarianter och

tillverkningsländer (Figur 4) visar också förbättrad överensstämmelse (inom 4 procentpunkter). Fortfarande finns en mindre underskattning för de tyska modulerna.

Med hänsyn till de förnyade benchmarkingresultaten och resurserna i projektet beslutades att genomförandet av fler förbättringsåtgärder inte var prioriterade för ökad noggrannhet eller urskiljningsförmåga.

#### *Dialog med leverantörer och beställare*

En upphandling kan föregås av marknadsundersökning och detta kan ske genom en så kallad Request for Information, RFI. En RFI är ett sätt för beställare och upphandlande myndigheter/organisationer att samla in information om olika produkter/tjänster på marknaden. Målet med denna RFI var att ta reda på om kraven som ställdes var relevanta och om förväntningar är rimliga på vad leverantörer på marknaden kan erbjuda. Syftet med denna marknadsundersökning var därmed att inhämta leverantörers synpunkter på den föreslagna Utvärderingsmodellen.

RFI:n resulterade i svar från två olika solcellsentreprenörer, där den ena parten var positivt inställd till kravställningen/utvärderingsmodellen och den andra mer negativt inställd. Detta uppfattades grunda sig i att för den ena parten fanns det ett egenintresse av att sälja moduler med låg klimatpåverkan, medan den andra parten intog en inställning att det är svårt och tidskrävande att ta fram produktens materielmängder. Dessa motstående uppfattningar framgick även under de fortsatta samtal som gjordes.

#### **Diskussion om använd elmix vid klimatpåverkansbedömning.**

En återkommande punkt i flera kontakter med leverantörer och beställare handlade om modelleringen av elanvändningens klimatpåverkan vid tillverkning och mer specifikt varför metoden inte bedömer effekter av lokal förnybar elproduktion eller specifika leveransavtal. Projektets förbättrade CRE-metod har nämligen samma begränsning som den ursprungliga CRE-metoden, att endast emissionsfaktorer för nationella elmix används. Frågan har diskuterats i projektgruppen vid olika tillfällen och det landat i att behålla endast nationella elmixar. Här redogörs för projektgruppens resonemang om för- och nackdelar med det valet.

I grunden handlar frågan om vad konsekvenserna är av lokal förnybar elproduktion i anslutning till tillverkningen och om dessa kan beskrivas och verifieras på ett tillfredsställande sätt. I första hand kommer all nyinstallation av (lokal) förnybar elproduktion bidra till en ändring av den nationella elmixen för tillverkningslandet, även om den kan vara marginellt. Argument kring vem den ändringen (ökad förnybar elproduktion) ska tillskrivas, till hela elsystemet eller till specifika aktörer, kan bland annat grunda sig på additionalitetsfrågan – det vill säga huruvida den nya förnybara produktionskapaciteten hade tillkommit även om inte denna specifika aktör hade installerat den. Ett exempel där additionalitet

inte finns är om den förnybara elinstallationen uppförts som del av ett nationellt upphandlingsprogram med målsatt kapacitet. Om additionalitet finns, är det rimligt att tillskriva anläggningsägaren (en del av) den tillhörande ändringen i elsystemet. Hur stor del kan rimligen hänga ihop med frågan om vem som finansierar och/eller nyttjar den nya förnybara elen. Rent fysiskt omvandlas den producerade elenergin samtidigt vid produktion av den närmaste lasten. Det kan vara solcellsfabriken, men beroende på bl.a. nyttjandegrad är det också möjligt att en del av produktionen blir överskott som matas ut på nätet. Ur en administrativ synpunkt kan den förnybara elproduktionen också tilldelas ursprungsgarantier och då anses den som köper och annullerar ursprungsgarantierna vara användaren av den förnybara elen. Ett tilldelningssystem, som ursprungsgarantier, behöver dock vara utformat på ett tillräckligt säkert sätt så att varken produktion eller konsumtion dubbelregistreras.

Sammantaget är det många parametrar att förhållas till kring allokering och verifiering av eventuell lokal förnybar elproduktion. Ecodesignmetoden och tillhörande PEFCR-regelverket har som ambition att hantera flera av dessa frågor, men med principen att använda en nationell residualmix vid otillräcklig spårbarhet av elanvändningen. Även det föreslagna PEFCR-regelverket har kritiserats och granskas i skrivande stund. Projektet Klimateffektiv solenergi har inte samma resurser att utforma och granska ett regelverk som den Europeiska Kommissionen har och även en kortare tidplan till implementering. Dessutom bedöms en typisk beställare sakna kompetensen att granska eller verifiera additionaliteten eller spårbarheten för ett tredje lands elsystem. För att uppnå en transparent, lättanvänd inom projektets ramar används därför endast nationella elmix vid modellering av elanvändningens klimatpåverkan.

### **Förbättringsåtgärd 3: Schablonvärden för materialanvändning vid modultillverkning**

I dialogen med leverantörer och anbudsgivare framkom att det kan vara svårt för de att få reda på hur stora mängder aluminium, EVA, PET, PVF som används vid tillverkning av modulerna de erbjuder. Projektets metod har därför kompletterats med ett antal standardantaganden som används om anbudsgivare inte anger produktspecifika uppgifter. Dessa schablonvärden har valts att motsvara dagens genomsnittliga värden eller något högre.

På liknande sätt gjorde den ursprungliga CRE-metoden redan antagande om ett klimatpåverkan på 110% av det högsta värdet bland samtliga listade länder, om inget tillverkningsland anges.

Genom dessa standardantaganden blir kravställning och utvärdering så lite exkluderande som möjligt, samtidigt som det gynnar aktörer som har mer detaljerad kunskap om sina produkter.

#### *Kravställning med minimikrav, prestandabaserade mervärden eller en kombination*

De olika kravställningsalternativ jämfördes utifrån ett antal parametrar. Resultaten sammanfattas i Tabell 4.

**Tabell 4. Jämförelse av prestanda för olika kravställningssätt i upphandling**

<u>Färgkoder för prestanda</u>						
bäst						
medel						
sämst						
	Implementering i offentlig upphandling	Minimera antalet uteslutna anbud	Garanterar viss klimatprestanda	Garanterar viss högsta merkostnad	Ändringsbehov vid teknikutveckling	Ändringsbehov vid ändrade prisbilder
Minimikrav						
Prestandabaserade mervärden						
Kombination av ovanstående						

Minimikrav har endast en parameter – den högsta tillåtna klimatpåverkan för offererad solcellsmodul (enligt vald bedömningsmetod). Det gör metoden enkelt att implementera och garanterar en lägste prestandanivå. Fastställandet av miniminivån måste dock förankras mot tillgänglighet på marknaden och aktuell status för tekniken. För höga krav kan leda till att många eller samtliga anbud som inkommer måste förkastas, eller att merkostnaden för klimateffektiva solcellsmoduler blir högt, medan för låga krav förväntas sänka anbudsgivarnas ambitionsnivå (klimatprestanda).

Prestandabaserade mervärden, innebär att det behöver definieras hur mycket mervärde (alt. poäng) som tilldelas ett anbud med viss klimatprestanda. Ett linjärt förhållande mellan prestanda (klimatpåverkan enligt vald bedömningsmetod) och tilldelat mervärde, eller olika trappsteg bedöms vara det vanligaste för prestandabaserade mervärden. I så fall behöver två av tre följande parametrar bestämmas: lägsta nivå på mervärde och tillhörande klimatprestanda; högsta nivå på mervärde och tillhörande klimatprestanda; omräkningsfaktorn mellan klimatprestanda och mervärdet.

Fler parametrar gör det lite krångligare att definiera och förstå än ett minimikrav, men fördelen är att den maximala merkostnaden kan bestämmas per upphandling. Dessutom utesluts inga anbud, då det inte finns skall-krav för klimatprestandan. Om teknikutveckling leder till bättre klimatprestanda finns incitament att erbjuda relativt klimateffektiva moduler kvar, medan det kan vara läge att justera mervärdesparametrarna särskild om prisnivåer på moduler ändras i större grad.

En mervärdesmodell kan kombineras med ett minimikrav, som då vanligtvis är något lägre satt än om endast ett minimikrav används.

Projektet har valt att gå vidare med prestandabaserade mervärden av flera skäl. När beställaren är ambitiös, men nivåerna på priser och klimatprestanda för olika

solcellsmodulsvanor är relativt okänd, innebär en mervärdesmodell ett mindre risktagande för beställaren. Den ekonomiska konsekvensen kan begränsas till en viss nivå och inga anbud utesluts på grund av för dålig klimatprestanda. Det sistnämnda kan också vara fördelaktigt om marknaden är överhettad och antalet anbud som lämnas är lågt överlag.

### Verktyg för klimatbedömning och mervärdesberäkning

Den förbättrade metoden för bedömning av klimatpåverkan från solcellsmodulers tillverkning tillgängliggörs i ett excel-verktyg, för användning i upphandlingar. Kärnan i verktyget är ett anbudsformulär där anbudsgivare ska fylla i data för de offererade solcellsmodulerna. Verktyget är skapat så att uppgifter om tillverkningsland samt flera materialmängder kan lämnas utan svar om anbudsgivare önskar använda sig av standardantaganden. För tillverkningsland är standardantagandet att en elmix med emissionsfaktor motsvarande 110% av den högsta förekommande nationella emissionsfaktorn används om inget specifikt land anges i formuläret. Verktyget räknar fram en bedömd klimatpåverkan i kg CO<sub>2,e</sub>/kWp. Det resultatet visas längst ner på anbudsformuläret.

INDATA	Modul 1	ej aktuellt (1)	ej aktuellt (2)	ej aktuellt (3)
<b>om solcellsmodulen</b>				
Modulfabrikat				
Modulserie				
Moduleffekt (Wp)				
Tillverkningsland/länder solcellsmodul (på engelska)				
om cellen lämnas tomt används "Others" (110% av högsta landvärde)				
Andel av modultillverkningen i angivet land (%)				OBS! summan på denna rad ska vara 100%
Modullängd (mm)				
Modulbredd (mm)				
<b>om glas i modulen</b>				
Tillverkningsland/länder glas framsida (på engelska)				
om cellen lämnas tomt används "Others" (110% av högsta landvärde)				
Andel av glastillverkningen (framsida) i angivet land (%)				OBS! summan på denna rad ska vara 100%
Glastjocklek framsida (mm)				
Tillverkningsland/länder glas baksida (på engelska)				
om cellen lämnas tomt används "Others" (110% av högsta landvärde)				
Andel av glastillverkningen (baksida) i angivet land (%)				OBS! summan på denna rad ska vara 100%
Glastjocklek baksida (mm)				
lämna tomt eller ange 0 för moduler med annan baksida				
Härdat glas på följande sidor:				
om cellen lämnas tomt antas allt glas i modulen vara härdat				
<b>om modulens ram</b>				
Tillverkningsland/länder aluminiumram (på engelska)				
om cellen lämnas tomt används "Others" (110% av högsta landvärde)				
Andel av ramtillverkningen i angivet land (%)				OBS! summan på denna rad ska vara 100%
Vikt aluminiumram (kg)				
För ramlösa moduler ange 0 kg. Om cellen lämnas tomt används 0,55 kg/löpmet				
<b>om laminering i modulen</b>				
Tillverkningsland/länder EVA (på engelska)				
om cellen lämnas tomt används "Others" (110% av högsta landvärde)				
Andel av EVA-tillverkningen i angivet land (%)				OBS! summan på denna rad ska vara 100%
Ange ett av följande två uppgifterna om sammanlagd mängd EVA. om båda cellerna lämnas tomma används en tjocklek på 1,0 mm				
a. sammanlagt tjocklek EVA-lager (mm; före laminering)				
b. vikt EVA (kg)				
om baksidans folie (polymer) i modulen				
Standard används tre lager: PV(d)F-PET-PV(d)F				
Tillverkningsland/länder PET (på engelska)				
om cellen lämnas tomt används "Others" (110% av högsta landvärde)				
Andel av PET-tillverkningen i angivet land (%)				OBS! summan på denna rad ska vara 100%
Ange ett av följande två uppgifterna om sammanlagd mängd PET. om båda cellerna lämnas tomma används en tjocklek på 0,25 mm				

**Figur 5** Del av anbudsformuläret i projektets klimatbedömningsverktyg. Hela verktyget finns som bilaga till rapporten.

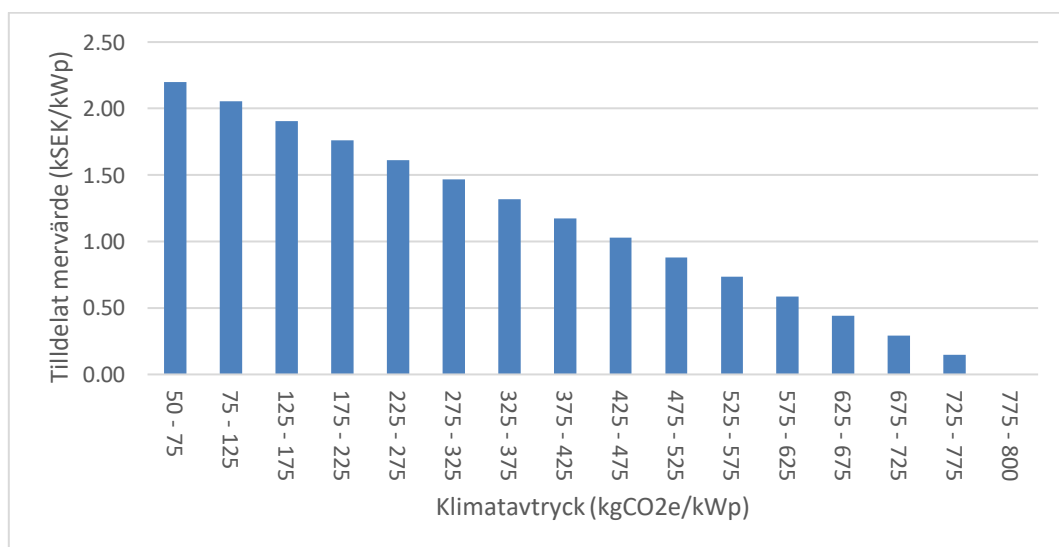
Löpande under AP2 och AP3 har formulärets gränssnitt och dataverifiering samt tillhörande instruktioner utvecklats för att uppnå god användarvänlighet. Fler detaljer återfinns under AP 3 nedan och i Bilaga C.

Förutom anbudsformuläret finns en kort introduktion och instruktioner till verktyget. Vidare finns ett formulär för beställare, som låter den upphandlande organisationen lägga in uppgifter om upphandlingen och objektet samt en logotyp för organisationen. Där väljer beställare också om de vill nyttja en

förprogrammerad mervärdesmodell med linjär stegvis värdering av klimatbedömningen.

Mervärdesmodellen ger solcellsmoduler med en lägre klimatpåverkan per effekt (kg CO<sub>2,e</sub>/kWp) ett högre mervärde, det vill säga en fördel i upphandlingens utvärdering. Eftersom klimatpåverkan delvis bedöms utifrån schablonvärden och inte kan antas fånga upp alla mindre skillnader mellan olika moduler delas de bedömda solcellsmoduler in i klasser på 50 kg CO<sub>2,e</sub>/kWp, där samtliga moduler i samma klass får samma mervärde, se Figur 6. Mervärdet beräknas för klassens centrala värde (med undantag för lägsta och högsta klassen) samt ett tretal parametrar, som kan justeras av beställare:

- Nedre gränsvärdet klimatpåverkan – det värdet som ger högst mervärde. Lägre bedömt klimatpåverkan ger ingen ytterligare fördel i upphandlingen. Rekommendation för detta värde är 50 kg CO<sub>2,e</sub>/kWp, baserat på CRE-metoden och att det lämnar incitament till förbättring i klimatpåverkan från moduler jämfört med dagens marknadsläge.
- Övre gräns klimatpåverkan – gränsvärdet som ger ett mervärde på 0 kr/Wp. Högre bedömt klimatpåverkan ger ingen ytterligare fördel i upphandlingen. Rekommendation för detta värde är 800 kg CO<sub>2,e</sub>/kWp, baserat på att det bedöms finnas ett stort anbud av solcellsmoduler med lägre klimatavtryck.
- Maximalt mervärde (i kr/Wp, motsvarar tkr/kWp) – det mervärdet som tilldelas solcellsmoduler som har en bedömd klimatpåverkan motsvarande ”nedre gränsvärdet” eller lägre. Initialt sattes detta värde till 2 kr/Wp (motsvarande 2000 kr/kWp), vilket efter de första testupphandlingarna i AP3 justerades upp till 2,2 kr/Wp.



**Figur 6 Tilldelat mervärde enligt verktygets mervärdesmodell för olika klimatavtrycksklasser, vid användning av rekommenderade inställningar.**

Mervärdet är tänkt att användas som ett prisavdrag på anbudssumma, som ger ett fiktivt utvärderingspris för upphandlingen. För offentlig upphandling rekommenderas denna utvärderingsfunktion som ger anbudsgivare möjligheten att själva undersöka effekten av olika moduler på det slutliga utvärderingspriset.

Första rekommendation för värdet på maximalt mervärde i modellen gjordes baserat på prisnivåer från modulspotmarknaden pvXchange.com (se ). Med antagande om 30% merkostnad för en klimateffektiv modul (300 kg CO<sub>2,e</sub>/kWp) jämfört med referensen (800 kg CO<sub>2,e</sub>/kWp) och ett vinstpåslag på 10% beräknades önskvärda mervärdesnivåer för både högeffektiva samt ”mainstream” moduler, se Tabell 5.

**Tabell 5 Uppskattade lägstenivåer för parametern maximalt mervärde som gynnar klimateffektiva solcellsmoduler, baserat på prisdata för februari 2022 från pvXchange.**

Modulklass (enligt pvXchange.com)	Priser solcellsmoduler i €/Wp (enligt pvXchange.com)	Merkostnad per kg CO <sub>2e</sub>	Lägstenivå för maximalt mervärde vid gjorda antaganden (kr/Wp)
High efficiency	0,37	2,44	1,83
Mainstream	0,29	1,91	1,44

Sedan applicerades ett maximalt mervärde på 2 kr/Wp på ett fiktivt upphandlingsexempel. Ett referensanbud med standardmoduler antas ha ett pris på 10 kr/Wp och 35% av det anbudspriset antas vara förknippad med modulkostnaderna. Resultaten presenteras i Tabell 6, som visar att de rekommenderade värden leder till att premiera modulen med det lägsta klimatavtrycket, vid gällande antaganden.

**Tabell 6 Fiktiv upphandlingsexempel för att utvärdera mervärdesmodellens valda parametrar (enligt rekommenderade värden)**

Anbud (modultyp)	Anbudssumma (kSEK/kWp)	Modulpris-index	Klimatavtryck (kg CO <sub>2e</sub> /kWp)	Utvärderings-summa (kr/Wp)
klassisk kinesisk PERC (referens)	10	100%	702	9,707
Europeisk Si modul, kinesiska celler	10,7	120%	655	10,260
Högeffektiv	13,5	200%	317	12,033
Europeisk Si modul, norska wafers	10,875	125%	288	9,408
Tysk CIS-modul med aluminiumskena	10,875	125%	388	9,702
Kinesisk mindre CdTe med ram	12,625	175%	823	12,625

Verktygets beställarversion bifogas denna rapport som Bilaga B. Observera att specialtecknen å, ä och ö i bladens namn har ersatts med a, a respektive o av kompatibilitetsskäl. Den olåsta grundversionen av verktyget publiceras inte öppet. Aktörer med intresse att uppdatera eller vidareutveckla verktyget uppmanas att kontakta RISE (Michiel van Noord).

### AP 3 - Test i upphandling

Inom ramen för projektet har sammanlagt tre upphandlingar genomfört där projektets bedömningsverktyg använts. Två av upphandlingarna skedde ungefär samtidigt under våren och sommaren 2022 (omgång 1) medan den tredje upphandlingen genomfördes under hösten 2022 (omgång 2).

#### Upphandlingsomgång 1

Våren och sommaren 2022 använde två kommersiella fastighetsägare (Castellum och Rikshem) projektets bedömningsverktyg i sina solcellsupphandlingar. Castellum handlade upp solcellsanläggningar till ett fyrtal fastigheter med option på moduler med lägre klimatavtryck, medan Rikshem använde verktyget i samband med en ramupphandling av solcellsinstallatörer.

Sammanlagt inkom anbud med avgörande underlag till klimatbedömningar för sex solcellsmoduler av lika många olika tillverkare. Resultaten presenteras i Tabell 7 och visar på en stor spridning bland bedömd klimatpåverkan överlag. Resultaten visar även att det kan finnas betydande skillnader mellan moduler av kinesisk fabrikat som vid första anblick kan verka likvärdiga. Skillnaderna beror dels på ursprungsländer för kiselråvaran men också på variationer i exempelvis cellstorlekar, antal celler, aluminiumram, m.m.

**Tabell 7 Bedömningsresultat för klimatpåverkan av solcellsmoduler som offererats i (minst) ett av anbuden i upphandlingsomgång 1. Värden i tabellen är beräknade med senaste versionen av verktyget.**

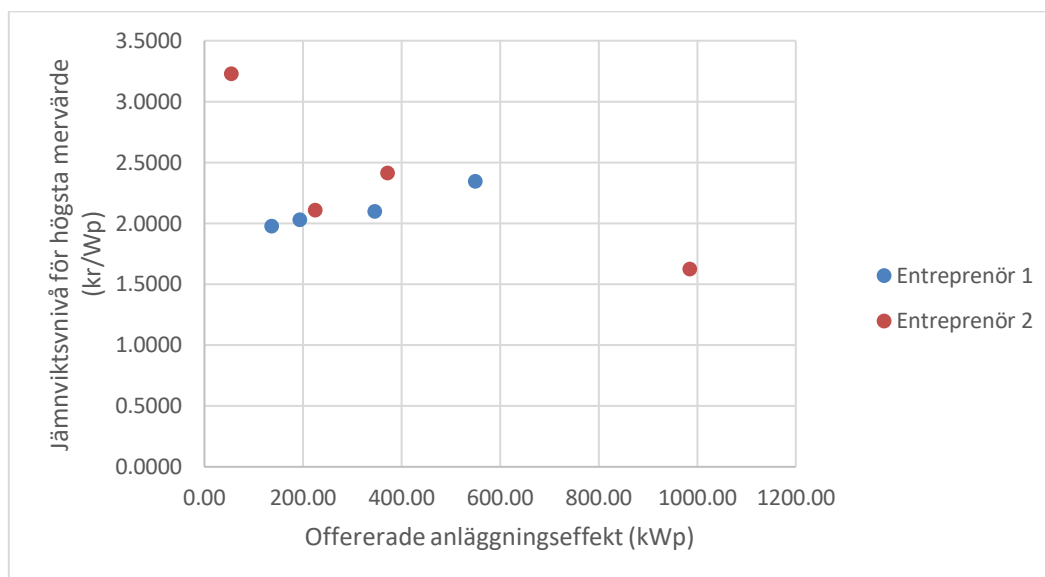
Modul	Märkeffekt (Wp) och verkningsgrad (%)	Beskrivning	Bedömt klimatpåverkan tillverkning (kg CO <sub>2</sub> ,e/kWp)
<b>Fabrikat 1, Modul A</b>	400 Wp / 21,2%	Europeisk glas-glas modul med mono-Si; europeisk kisel och wafers	241
<b>Fabrikat 2, Modul B</b>	430 Wp / 20,1%	Koreansk glas-folie modul med koreanska multi-Si celler, europeiska wafers och kisel	344
<b>Fabrikat 3, Modul C</b>	545 Wp / 21,1%	Kinesisk glas-glas modul med kinesiska mono-Si celler; delvis europeisk kisel	525



<b>Fabrikat 4, Modul D</b>	410 Wp / 21,0%	Kinesisk glas-folie modul med mono-Si; kinesisk kisel och wafers.	615
<b>Fabrikat 5, Modul E</b>	410 Wp / 21,0%	Kinesisk glas-folie modul med mono-Si; kinesisk kisel och wafers.	650
<b>Fabrikat 6, Modul F</b>	400 Wp / 20,8%	Kinesisk glas-folie modul med mono-Si; kinesisk kisel och wafers.	949

Ett modulfabrikat som offererades men inte redovisas i Tabell 7 är en italiensk modul, med påstådda celler, wafers, ingots och kiselråvara från Italien. Projektgruppen kände inte till produktionskapacitet för kiselråvara, ingots eller wafers i Italien, samt var osäker kring celltillverkningen. Beställaren rekommenderades att begära in kompletterande underlag. Projektgruppen har tyvärr inte fått återkoppling kring fallet.

För Castellums upphandling av installationer för fyra fastigheter har prisskillnader beräknats mellan två anbudsgivares ”standardanbud” och deras optioner med klimateffektiva solcellsmoduler (”klimatoption”). Om en entreprenör erbjudit olika anläggningsstorlekar med ”standardmodulerna” så jämfördes det alternativ som låg närmast i storlek till ”klimatoptionen”. Sedan beräknades vilken nivå som skulle sättas för maximalt mervärde för att uppnå samma utvärderingspris för ”standardanbudet” och ”klimatoptionen”. Resultaten (se Figur 7) visar att ett maximalt mervärde på 2,0 till 2,5 kr/Wp i de flesta fall balanserar merpriset för ”klimatoptionen”, vid antagande om en linjär mervärdesmodell för klimatavtryck mellan 50 och 800 kg CO<sub>2,e</sub>/kWp (se Verktyg för klimatbedömning och mervärdesberäkning).



**Figur 7** Nivåer på maximalt mervärde som ger jämvikt i utvärderingspris mellan respektive entreprenörs "standardanbud" och "klimatoption". Punkterna representerar olika fastigheter. Beräkningen utgår i övrigt från mervärdesmodellen som tagits fram i AP2.

Entreprenörerna 1 och 2 i Castellums upphandlingar erbjöd samma tre respektive två moduler för varje fastighet. Grafen visar att prisskillnaderna varierar på olika sätt för de två entreprenörerna. Antar vi att prisskillnaden endast orsakas av att klimateffektiva moduler är något dyrare än "standardmoduler" per inköpt effekt, så förväntas en konstant prisskillnad och därmed en konstant jämnviktsnivå per entreprenör. I många fall lär dock den klimateffektiva modulen inte ha exakt samma egenskaper (mått, effekt) som "standardmodulen", vilket kan leda till en något ändrad kostnadsbild för monteringsarbete och -material och möjligen även för kablage och elinstallation. Det är även möjligt att klimateffektiva modulerna köps in via en annan kanal och har annorlunda transportkostnader. Sammanlagt kan det ge en (troligtvis mindre) ändring i prisbilden per installerad effekt, som förväntas vara relativt lägre för mindre anläggningar än för större, eftersom projektadministration, projektering och elinstallationen utgör en större andel av totala kostnader för mindre projekt. Denna förväntning stämmer väl överens med resultaten för entreprenör 1, medan vi ser en omvänd trend för entreprenör 2. En möjlig förklaring kan vara att entreprenören kan köpa en större parti klimateffektiva moduler till ett lägre styckpris, eller så kan det ha att göra med hur dem bestämmer sin vinstmarginal.

Baserat på resultaten så rekommenderas ett maximalt mervärde på cirka 2,2 kr/Wp.

### **Vanliga misstag och utmaningar vid ifyllnad av bedömningsverktyget/-formuläret**

Studier av klimatpåverkan över solcellers hela livscykel påvisar att en övervägande del av klimatpåverkan sker under tillverkningen av solcellerna. Dessa problem åtgärdades omgående för att inte fördröja

upphandlingsprocesserna, till exempel skapades kompatibilitet med äldre versioner av MS Excel.

Vid analys av inkomna svar upptäcktes även flera anbud med ofullständiga eller felaktiga svar i klimatbedömningens anbudsformulär, som sammanställts i Tabell 8.

**Tabell 8 Upptäckta misstag i inlämnade verktygsformulär från testupphandlingarna 1 och 2 (Castellum och Rikshem) samt genomförda förbättringar i verktyget efter dessa test.**

Felkategori; fråga: felbeskrivning	Förekomst av felet	Genomförda förbättringsåtgärder
<b>Felkategori 1. Inte använt fördefinierad val (skrivit eget svarsalternativ)</b>		
<b>Celltyp</b>	1	
<b>Felkategori 2. Missat att fylla i obligatorisk uppgift</b>		
<b>Cellstorlek</b>	3	Gulmarkerad cell om svar saknas. Varningstext bredvid beräkningsresultat.
<b>Glastjocklek framsida</b>	1	se ovan
<b>Felkategori 3. Felaktigt typ av svar angivet</b>		
<b>Moduleffekt: angett intervall istf siffra</b>	2	Tillåt endast tal
<b>Moduleffekt: angett tal och enhet istf endast tal</b>	1	se ovan
<b>Antal (halva) celler per modul: 0</b>	1	Varnar vid värde under (motsv.) 48 hela celler; eller över 72 hela celler
<b>Antal (halva) celler per modul: 60 (= antal hela celler)</b>	1	Dynamisk text i fråga, baserat på svar på fråga om hela/halva celler
<b>Felkategori 4. Felaktig användning av funktion för olika ursprungsländer</b>		
<b>Varje kolumn använt för separat modul</b>	1	Låsa cellen för modulfabrikat för alla utom första kolumnen, visa ifylld modulfabrikat från första kolumnen i övriga kolumner. Varningsfunktion
<b>Summa &gt;100%</b>	1	Varningsfunktion Datavalidering
Sammanlagt antal fel/misstag	12	
Antal analyserade anbudsformulär	10	

Totalt handlade det om 12 misstag eller fel fördelad över 10 ifyllda formulär. Intressant var att den ena av de upphandlande organisationerna nästan inte fick in några felaktiga formulär alls, medan den andra fick många felaktiga formulär. Vad det berodde på har vi inte lyckats identifiera.

De vanligaste misstagen var att ett eller flera obligatoriska uppgifter inte hade fyllts i, eller att svar angavs i fel format (exempelvis en kombination av siffror och text, där endast siffror fick anges). Även frågan om antalet celler (eller halva celler) i modulen ledde till ett svar som uppenbarligen var felaktiga eller berodde på en feltolkning av frågan. För att motverka samtliga misstag och fel genomfördes ett flertal förbättringar i verktygets design och kontrollfunktioner

som larmar eller uppmärksammar användaren vid felaktiga eller uteblivna svar (se sista kolumnen i Tabell 8).

Inga fel i själva funktionen av verktyget upptäcktes.

### *Upphandlingsomgång 2 - Ronnebyhus*

Efter att förbättringarna i verktygets gränssnitt hade genomförts gjordes en tredje upphandling inom ramen för projektet.

Ronnebyhus AB upphandlade solcellsanläggningar med den klimateffektiva utvärderingsmodellen, vilket utgjorde den enda offentliga beställaren under projektets gång. Med hjälp av HBV publicerades upphandlingen via det dynamiska inköpssystemet i TendSign den 1 november 2022. Sista dag att lämna anbud var 1 december 2022. Till och med den 21 november fanns möjlighet att ställa frågor kopplade till upphandlingens utformning och krav, inga frågor inkom. Anbudsöppningen skedde den 2 december och följande leverantörer lämnade anbud: REC Indovent AB samt Zerowatt group AB. Vald utvärderingsmodell för upphandlingen var bästa pris i förhållande till kvalitet, där kvalitet utgjordes av de eventuella mervärdesavdrag för miljöprestanda som kunde beräknas fram utifrån utvärderingsmodellen. Upphandlingen tilldelades den 25e januari.

Utav de två anbuden var det sammanlagt ett fel, se Tabell 9 för sammanställningen. Det pekar på att ändringarna som gjorts har gett en ökad tydlighet i verktygets formulär, men inte kunnat förebygga alla fel, trots färgmarkering och varningstext.

**Tabell 9** Upptäckta misstag i inlämnade verktygsformulär från testupphandling 3 (Ronnebyhem), efter genomförda förbättringar i verktyget.

Felkategori; fråga: felbeskrivning	Förekomst av felet
<b>Felkategori 1. Inte använt fördefinierad val (skrivit eget svarsalternativ)</b>	
Celltyp	0
<b>Felkategori 2. Missat att fylla i obligatorisk uppgift</b>	
Cellstorlek	1
Glastjocklek framsida	0
<b>Felkategori 3. Felaktigt typ av svar angivet</b>	
Moduleffekt: angett intervall istf siffra	0
Moduleffekt: angett tal och enhet istf endast tal	0
Antal (halva) celler per modul: 0	0
Antal (halva) celler per modul: 60 (= antal hela celler)	0
<b>Felkategori 4. Felaktig användning av funktion för olika ursprungsländer</b>	
Varje kolumn använt för separat modul	0
Summa >100%	0
Sammanlagt antal fel/misstag	1

Antal analyserade anbudsformulär
----------------------------------

2
---

*Beskrivningar till Administrativa Föreskrifter*

HBV har i samråd med RISE tagit fram följande beskrivning av utvärderingen inklusive mervärdesmodellen, som kan användas i upphandlingars Administrativa Föreskrifter, under rubrik AFB.53 Prövning av anbud:

**Textruta 1 Exempelbeskrivning av klimatbedömning och mervärdesmodellen till Administrativa Föreskrifter AFB.53.*****Utvärderingsmodell inklusive mervärde för klimateffektiva solceller (Bilaga X. Utvärderingsbilaga)***

*Beställaren kommer att tilldela den anbudsgivare vars anbud har lägst utvärderingspris med hänsyn tagen till utvärderingsgrunden pris och kvalitet enligt nedan.*

***Tilldelningskriterier: Pris och mervärde klimateffektiva solceller***

*Denna upphandling utvärderas på att få ut så mycket solcellseffekt (kWp) per investerad krona samt mervärdesavdrag för så lågt koldioxidutsläpp per offererad effekt (kWp).*

***Framräknandet av mervärde (Bilaga X. flik: Anbudsformulär)***

*Desto lägre bedömt växthusgasutsläpp per offererad solcellsmodul (kg CO<sub>2,e</sub>/kWp) anbudsgivaren har avseende kriteriet Klimateffektiva solceller, desto större blir det avdrag som subtraheras från anbudspriset. Mervärdet anges som resultat längst ner på fliken.*

***Framräknande av utvärderingspriset***

*Anbudslämnare fyller i uppgifter för offererad solcellsmodul (Bilaga X. Flik: Anbudsformulär)*

*Anbudspris – mervärde för Klimateffektiva solceller = Utvärderingspris.*

***Utvärderingspris och mervärde klimateffektiva solceller***

*Mervärdena syftar till att premiera solcellsmoduler med lågt klimatavtryck från tillverkningsprocessen. För att beräkna och värdera klimatavtrycket används en bedömningsmodell som sammanställer växthusgasutsläpp från olika delar av tillverkningsprocessen utifrån indata om ursprungs- och tillverkningsland.*

*För varje steg i tillverkningen anger leverantören i vilket land som tillverkningen skett. Den relativa viktningen av de olika tillverkningsstegen är delvis bestämd på förhand där detta bedöms vara likvärdigt mellan olika solcellsmoduler och beror i övrigt av angivna värden för materialmängd samt förbestämda spillfaktorer.*

*Det finns anpassade beräkningsmetoder för både kiselbaserade solceller (multi-kristallint, mono-kristallint, och quasi-mono/mono-like) och tunnfilmssolceller (amorft-kisel, mikroamorft-kisel, CdTe, CIGS). För varje ursprungs- eller tillverkningsland finns ett på förhand bestämt värde för koldioxidutsläpp från tillverkningsprocessen som tar hänsyn till landets elmix. Indata är alltså ursprungs- eller tillverkningsland för olika steg i tillverkningsprocessen. Om en viss delprodukt (steg i tillverkningsprocessen) levereras från anläggningar i olika länder ska båda länder samt inbördesfördelningen ska anges. För specifika uppgifter finns det möjlighet att använda schablonvärden.*

För att undvika att offererade solcellsmoduler i ett senare skede i entreprenaden byts ut mot moduler med en sämre klimatpåverkan behöver AF-delen innehålla en

tydlig beskrivning avseende kvalitet och likvärdighet på varor. Nedan finns en generell text som bedöms vara avgörande:

**Textruta 2 Exempelbeskrivning för att förebygga problem med fabrikatbyten under entreprenadtiden till Administrativa Föreskrifter AFD.21.**

---

#### *AFD.21 Kvalitetsangivelser*

*Om leverantören vill byta föreskrivet arbetsutförande eller föreskriven vara som hänvisats till i teknisk beskrivning eller motsvarande likvärdigt gäller generellt för sådant byte att likvärdig ska förstås objektivt med avseende på prestanda, storlek, utseende, miljöegenskaper, livslängd, drift- och underhållskrav.*

*Det ankommer på entreprenören att i anbudet ange vilka utbyten till likvärdigt som man kalkylerat med. Med ändring av bestämmelsen om provning i ABT 06 kap 2 § 15 § gäller att entreprenören inte under kontraktstiden har rätt att byta ut föreskrivet arbetsutförande eller vara som inte anmälts i anbudet utan beställarens skriftliga samtycke.*

*Vid prövning av likvärdig produkt har beställaren tolkningsföreträde.*

---

Projektgruppen har i diskussioner med beställaren som var tvungen att skjuta upp sin upphandling även lyft möjligheten att försämring av klimatpåverkan vid modulbyte kan tillåtas, under förutsättning att beställaren kompenseras genom ersättning av skillnaden enligt mervärdesmodellen.

#### **AP4 – Optimerad förvaltning och klimatnytta**

Kunskapssammanställningen och intervjusammanställningen bifogas denna rapport men har ej publicerats som separata rapporter, se Bilaga E och F. Resultaten från kunskapssammanställning och intervjuer har sammanfattats och publicerats i en vägledning för klimateffektiv förvaltning, en RISE-rapport, se Bilaga G. som kan sammanfattas enligt nedan:

” Denna vägledning för klimateffektiv förvaltning av solcellsanläggningar är en sammanställning av intervjuer med solcellsanläggningsägare och driftansvariga, guider för en god förvaltning och en kartläggning av forskning på området. Vägledningen sammanfattar hur förvaltningen skall optimeras för att uppnå en hög klimatprestanda i ett livscykelperspektiv”.

Studier av klimatpåverkan över solcellers hela livscykel påvisar att en övervägande del av klimatpåverkan sker under tillverkningen av solcellerna. En solcellsanläggning och dess ingående komponenter har en minimal klimatpåverkan när den väl är driftsatt. Storleken av GHG (Greenhouse gases) per producerad kWh önskar därmed ju fler kWh anläggningen kan producera. Att en solcellsanläggning får producera optimalt och under hela sin tekniska livslängd blir därför avgörande för att minimera klimatpåverkan.

Energikontor Syd har genomfört intervjuer med solcellsanläggningsägare och leverantörer av solcellsanläggningar för att få en bild av hur branschens aktörer i dagsläget arbetar med förvaltning av solcellsanläggningar. Sammanställningen av svaren på intervjufrågorna genererar en översikt av gängse praxis för förvaltning av solcellsanläggningar i Sverige idag.

Internationellt har förvaltning, "Operation and Maintenance" (O&M), växt till ett eget segment inom solcellsindustrin och det är numera etablerat bland alla intressenter att högkvalitativ förvaltning och underhåll minskar potentiella risker, förbättrar lönsamheten (LCOE) och ger positiv påverkan på investeringens avkastning (ROI). SolarPower Europe har tillsammans med ledande aktörer från branschen sammanställt "Best Practice Guidelines" för O&M vars ingående delar sammanfattas.

Forskningen visar att förutsättningen för att ge en solcellsanläggning en så lång livslängd och maximerad elproduktion som möjligt är en väl utförd planering, projektering, upphandling och installation. En väl anpassad drift- och underhållspraxis, anpassad till anläggningens storlek, design, komplexitet och miljö, kan utesluta överflödiga aktiviteter och därmed sänka kostnader och minimera fel och skador, vilket leder till en ökad elproduktion. Repowering är när en anläggningsägare väljer att uppgradera hela eller delar av en befintlig solcellsanläggning innan den nått slutet på sin tekniska livslängd, för att förbättra dess prestanda utan att utöka ytan den upptar. Forskningen visar att ur klimataspekt så är det alltid bättre att låta anläggningen verka sin fulla livslängd och att kapacitetsutbyggnad bör prioriteras framför systembyten.

Volymerna av avfall från solcellsanläggningar är fortfarande små, tillgängliga återvinningstekniker begränsade, logistiken har utmaningar och marknader för återvunnet material är outvecklade. Detta sammantaget resulterar i ett scenario med höga kostnader och låga intäkter för återvinning av solcellsmoduler globalt. På den ljusa sidan finns det flera enskilda länder som infört regler och incitament för återvinning av solcellsmoduler, företag som tar egna cirkulära initiativ och investeringar i forskning och utveckling ökar stadigt.

Av genomgången forskning på området kring klimateffektiv förvaltning så talar inget rakt emot det som redogörs i "Best practice" av branschen. Det sammanhang där det är värt att veta vems och vilken lönsamhet som står i fokus är vid repowering och i viss mån omfattningen av drift- och underhållsåtgärder. Frågor som, för vem är det lönsamt? och, är det klimateffektivt? Är alltid bra att ställa under såväl planering som utvärdering av O&M aktiviteter.

#### **Sammanfattande åtgärder för att minska klimatpåverkan från en solcellsanläggning:**

1. Gör rätt från början. Planera med minimal klimatpåverkan, drift och underhåll i åtanke.
2. Besiktiga utförande och driftsättning av en kvalificerad tredje part.



3. En objektspecifik drift- och underhållsplan anpassad till storlek på anläggning och aktuell plats.
4. Låt stå! Satsa på att bygga ut eller bygga nytt istället för att byta ut fungerande anläggningar.
5. Vid avveckling återanvänd fungerande teknik hos en part som har möjlighet att senare återvinna.
6. Återvinn material till en aktör som sluter cirkeln för så stora delar av modul och BOS som möjligt.
7. Forskning, innovation och utveckling behöver arbeta med produktdesign för cirkulära processer.”

## Bilagor

- Bilaga A. Rapport ‘Jämförelse av klimatpåverkan från tillverkning av olika solcellsmoduler’ av Hanna Askemar och Michiel van Noord.
- Bilaga B. Klimatbedömningsverktyg solcellsmoduler (obs – visas i länk)  
[”https://www.ri.se/sites/default/files/2023-02/Klimatbed%C3%B6mningsverktyg\\_v221223.zip](https://www.ri.se/sites/default/files/2023-02/Klimatbed%C3%B6mningsverktyg_v221223.zip)
- Bilaga C. Versionshistorik för klimatbedömningsverktyget
- Bilaga D. Stöd anbudsanalys klimatbedömning solcellsmoduler
- Bilaga E. ‘Kunskapssammanställning om förvaltning och drift av solcellsanläggningar i ett internationellt perspektiv’ av Malin Unger
- Bilaga F. ‘Gängse praxis och goda exempel’ (intervjuer) av Lidia Salame
- Bilaga G. Rapport ‘Klimat effektiva Solcellsanläggningar -Vägledning för en klimat effektiv förvaltning’ av Malin Unger och Michiel van Noor