



**ENERGIKONTOR
SYD**

**RI.
SE**



KLIMATEFFEKTIV SOLENERGI

Klimat effektiva Solcellsanläggningar -Vägledning för en klimat effektiv förvaltning

Detta är en vägledning för klimat effektiv förvaltning av solcellsanläggningar sammanställt inom projektet Klimat effektiv Solenergi.

Resultatet kan användas för råd och guidning i hållbarhetsarbete och i framtagande av drift- och underhållsplaner för solcellsanläggningar.

RISE RAPPORT 2023:19

Vägledning:
Malin Unger
Michiel van Noord

Division Samhällsbyggnad
Avdelning Energi och Resurser

Intervjuer:
Lidia Salame, Energikontor Syd

Klimateffektiva Solcellsanläggningar - Vägledning för en klimateffektiv förvaltning

Vägledning:

Malin Unger, Michiel van Noord

Division Samhällsbyggnad

Avdelning Energi och Resurser

RISE Research Institutes of Sweden AB

Intervjuer:

Lidia Salame

Energikontor Syd

RISE Rapport 2023:19

ISBN: 978-91-89757-62-2

Göteborg 2023

Förord

Denna vägledning för klimateffektiv förvaltning av solcellsanläggningar har tagits fram av RISE Research Institutes of Sweden och Energikontor Syd (tidigare Sydost) inom ramen för projektet Klimateffektiv Solenergi. Projektet i sin helhet syftar till att bidra till ökad kunskap om och hänsyn till solcellers klimatprestanda hos marknadsaktörer. Inom projektet har, utöver denna vägledning, sammanställts aktuellt kunskapsläge om solcellsmodulers klimatpåverkan och upphandlingskriterier som utvärderar solcellers klimatprestanda.

Projektet Klimateffektiv Solenergi leds av Energikontoret Storsthlm och utförs i ett samarbete med Energikontor Syd, RISE Research Institutes of Sweden och allmännyttans inköpscentral HBV. Finansiering av projektet kommer från Energimyndigheten (programmet El från Solen) och HBV.

Hög produktion och lång livslängd med få avbrott kan vara minst lika betydelsefullt som låga utsläpp från tillverkningen för att nå en låg klimatpåverkan och hög resurseffektivitet (kg CO₂/kWh). I denna vägledning redogörs vilka vägval som kan göras för att optimera driften av solcellsanläggningar för att uppnå hög klimatprestanda i ett livscykelperspektiv.

Genom intervjuer med solcellsägare (fastighetsägare) och leverantörer av solcellsanläggningar och en kartläggning av rekommendationer och aktuell forskning på området sammanställs en översikt av gängse praxis för förvaltning av solcellsanläggningar samt vilka förvaltningsstrategier som förekommer på andra marknader än den svenska.

Vägledningen syftar till att ge rekommendationer för en klimateffektiv förvaltning av solcellsanläggningar, bedömningar av olika åtgärders relevans för att minska klimatpåverkan samt belysa betydelsen av en god projektering för den långsiktiga produktionen och klimatnyttan.



Sammanfattning

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. Klimatpåverkan per producerad kWh minskar 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. Intervjusvaren visar bland annat att flera aktörer inte tänkt på hur återvinning av produkterna går till. De visar även att alla de intervjuade aktörerna tycker att det är bättre att bygga ut på nya tak än att byta ut fungerande anläggningar i förtid.

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 kan utesluta överflödiga aktiviteter men ändå minimera fel och skador, vilket leder till en ökad elproduktion. Forskning visar också att det ur klimataspekt alltid är bättre att använda nya solcellsmoduler för kapacitetsutbyggnad, istället för att ersätta en anläggnings befintliga moduler med nya (så kallad "repowering").

Volymerna av avfall från solcellsanläggningar är fortfarande små, tillgängliga återvinningstekniker begränsade, logistiken har utmaningar och marknader för återvunnet material är utvecklade. 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.

Sammanfattande åtgärder för att minska klimatpåverkan från en solcellsanläggning:

1. Gör rätt från början. Planera med minimal klimatpåverkan, drift och underhåll i åtanke.
2. Låt en kvalificerad tredje part besiktiga utförande och prestanda på anläggningen.
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. Mer forskning, innovation och utveckling behövs kring produktdesign för cirkulära processer.

Innehåll

1. Solcellsanläggningens klimatpåverkan	4
2. Förutsättningar för en klimateffektiv förvaltning	6
3. Förvaltningserfarenheter i Sverige	8
4. Förvaltningsstrategier på internationella marknader	10
5. Råd för en klimateffektiv förvaltning	12

1. Solcellsanläggningens klimatpåverkan

I den första rapporten från projektet Klimateffektiv solenergi sammanställdes kunskapsläget om klimatpåverkan från solcellsmoduler¹. Studier av klimatpåverkan över solcellsmodulers hela livscykel påvisar att en övervägande del av klimatpåverkan sker under tillverkningen av solcellerna. Resultatet påvisar att dagens dominerande solcellsteknik, kristallina kiselceller, brukar ha större klimatpåverkan jämfört med tunnfilmstekniker. Vidare har monokristallina kiselceller större klimatpåverkan från produktion än multikristallina kiselceller, men vilken teknik som levererar produktionskapaciteten med lägst klimatpåverkan beror på verkningsgradsförhållandena. Nyare cellteknologier såsom PERC- eller dylikt och dubbelsidiga solceller kan minska klimatpåverkan från solceller 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.

Klimatpåverkan från tillverkning orsakas huvudsakligen av energianvändning i olika processer och därmed blir elmixen vid tillverkning avgörande. 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.

Övriga delar utöver solcellsmodulerna i solcellsanläggningen (kablage, montage, växelriktare m. m.), så kallade BOS-produkter (Balance Of System) har ett liknande resultat som solcellsmodulerna. Klimatpåverkan uppstår främst i tillverkningskedet under livscykeln, se figur 1 (s.6).

Rapporten ” Klimateffektiv solenergi: Jämförelse av klimatpåverkan från tillverkning av olika solcellsmoduler” i 10 punkter:

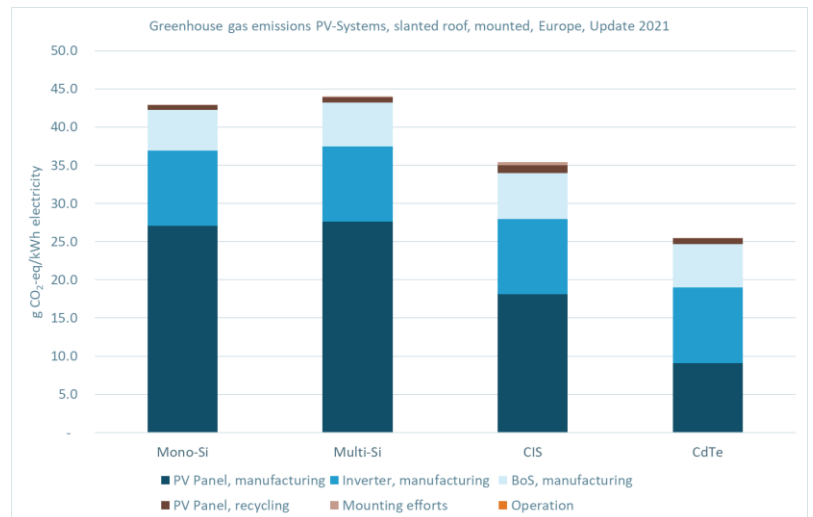
1. Störst växthusgasutsläpp i en solcellsmoduls livscykel sker vid tillverkningen.
2. Klimatpåverkan från den el som används i tillverkningen är den tyngst vägande faktorn i livscykelanalysen.
3. Tillverkning av kisel-moduler medför större klimatpåverkan än tunnfilmsmoduler.
4. Tillverkning av monokristallina kiselmoduler medför större klimatpåverkan än multikristallina.
5. Nya kiselcellsteknologier såsom PERC minskar klimatpåverkan jämfört med standardteknik.
6. Dubbelsidiga kiselceller kan ge minskad klimatpåverkan jämfört med enkelsidiga.
7. Flexibla och ramlösa moduler kan ge minskad klimatpåverkan.
8. Ännu lägre klimatpåverkan är möjligt med nya tillverkningsteknologier.
9. Vid likvärdig tillverkning bör produkter och tillämpningar med högre elproduktion premieras.
10. Vid jämförelse mellan produkter är klimatpåverkan per nominell effekt (kWp) bästa måttet.

¹ <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:ri:diva-56642>

Störst klimatpåverkan i tillverkningskedet - Livslängd och maximerad elproduktion avgörande

Sammanfattningsvis så har en solcellsanläggning och dess ingående komponenter en minimal klimatpåverkan när den väl är driftsatt. Den klimatpåverkan som ändå uppstår efter driftsättning skapas vid utbyte av komponenter, transporter, åtgärder i koppling till drift och underhåll under livslängden, avveckling och återvinning. Om solcellsanläggningens livscykel delas upp i de fem stadierna; tillverkning, transport, installation, produktionskedet och avveckling så uppstår över 90 % av klimatpåverkan i det första stadiet.

Klimatpåverkan från den el som används i tillverkningen är den tyngst vägande faktorn i livscykelanalysen. Klimatpåverkan per producerad kWh minskar 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. En maximerad elproduktion och en så lång verksam livslängd som möjligt innebär att fler kWh delar på "bördan" av klimatpåverkan från tillverkningen.



”En maximerad elproduktion och en så lång verksam livslängd som möjligt innebär att fler kWh delar på ”bördan” av klimatpåverkan från tillverkningen.”



2. Förutsättningar för en klimateffektiv förvaltning

Alla steg i livscykeln hänger samman, minskad klimatpåverkan i tillverkningen innebär mindre påverkan per producerad kWh. En klimateffektiv förvaltning påbörjas redan i planering, projektering, upphandling och genomförande. Bra drift och underhåll kan inte drivas klimateffektivt om problemen är inneboende i designen eller produkterna som används. Därför behöver klimatpåverkande delar och förvaltningsfrågor identifieras och beaktas redan i planeringen.

Lokalisering och placering

Val av geografisk lokalisering för en solcellsanläggning kan öka eller minska dess klimatpåverkan på flera sätt. Att nyttja så kallade artificiella strukturer, så som hårdgjorda ytor eller ytor på byggnader, kan till exempel minska klimatpåverkan jämfört med att nyttja skogsmark. Vilken typ av yta/ mark som tas i anspråk kan därmed styra klimatpåverkan från hela anläggningen. En annan lokaliseringsfråga som kan påverka är vilken el som elproduktionen från anläggningen ersätter och om tekniken producerar optimalt eller inte på den valda platsen. Att systemet placeras så det producerar optimalt för det valda läget är viktigt för att klimatpåverkan ska bli så låg som möjligt. Minimera skuggning av anläggningen men undvik suboptimering av klimatpåverkan genom att ta ner koldioxidbindande träd som skuggar, planera då hellre anläggningen i ett annat skuggfritt läge. En anläggning vinklad mot söder producerar mest kWh per år. I ett systemperspektiv där anläggningen är nätansluten minskar detta klimatpåverkan då produktion av förnybar el under många år framöver kommer ”tränga undan” produktion från mindre klimatvänliga elproduktionsanläggningar. Om inte direkt i Sverige så i de länder vi delar elsystem och elhandel med. Är anläggningen fristående från elnätet är det bättre att planera elproduktion efter användning.

Projektering, upphandling och genomförande

Utöver att välja produkter med minsta möjliga klimatpåverkan i tillverkningskedet så är kvalitet, reparerbarhet och livslängd väl värt att försöka maximera. Ställ krav på dessa faktorer i upphandling. Välj produkter anpassade för det klimat de utsätts för, så som t.ex. skyddade mot korrosion i lägen nära salta havsvindar. Upphandla system för förenklad och användarvänlig förvaltning, så som produktionsövervakning som är kompatibel med eventuella befintliga drift- och övervakningssystem. Tänk redan i upphandlingen på om valda tillverkare har lokal lagerhållning av eventuella reservdelar. Solcellsanläggningars ”downtime” har ökat mest av alla förnybara kraftslag under pandemiåren p.g.a. icke diversifierade leverantörskedjor för just solel². Stopp i ett land påverkar alla leveranser. Att från början veta att tillverkaren man köper produkter av arbetar med cirkulära flöden och tar tillbaka produkten för återvinning vid avveckling (end-of-life) gör att själva brytningen av jungfruligt material kan bli mindre i nästa produktcykel. Anlita projektörer och installatörer som tar hänsyn till relevanta standarder, regler och lagar. Utför alltid en tredjeparts besiktning av solcellsanläggningen med kvalificerad oberoende besiktningsman innan godkännande.

² <https://www.pv-tech.org/solar-worst-performing-renewable-as-downtime-days-nearly-double-due-to-supply-chain-problems/>

Förutsättningar för en klimateffektiv förvaltning av en solcellsanläggning³

1. Välj lokalisering och placering för minimerad klimatpåverkan och maximerad elproduktion.
2. Välj produkter med minimalt underhåll, anpassade till lokalt klimat, med god tillgång till reservdelar nationellt, från tillverkare som ligger i framkant med cirkulära flöden och med beprövad kvalitet, testad av oberoende part.
3. Spåra prestandan för fältutrustning och identifiera och specificera de som har låga felfrekvenser och som har den bästa garantiservicen; standardisera på föredragna produkter för att undvika felmatchning av delar och bygga upp en expertis kring vald utrustning.
4. Planera placering av växelriktare med god ventilation och se till att undvika placering i direkt solljus. Använd nätverksanslutna växelriktare för fjärrtestning, programvarukonfigurationer och/eller uppdateringar och fjärråterställningar. Kravställ öppna data och cybersäkerhet.
5. Tillhandahåll nödvändig tillgång till och utrymme runt utrustning för underhåll.
6. Förhindra översvämning av markmonterad utrustning genom att tillse permanent dagvattenhanteringssystem som är integrerat med omgivande fastigheter.
7. Bygg solcells- och lagringssystem enligt relevanta standarder, lagar och regler.
8. Möjliggör tredjepartsinspektion, besiktning, för att upptäcka driftsproblem innan godkännande. Rekommenderas som en tvådelad process: Den första delen görs när systemet driftstartas och den andra utförs efter ett års drift. Slutgiltig acceptans efter det andra steget.
9. Tillämpa "SS-EN 62446-1 Solcellsanläggningar - Fordringar på provning, dokumentation och underhåll - Del 1: Nätanslutna anläggningar - Dokumentation, provning för idrifttagning och besiktning" som kräver dokumentation av systemet, strängttestning och prestandatest av hela systemet.
10. Tredjepartsverifiering kan hjälpa till att säkerställa att bästa praxis tillämpas under utvalda delar av/hela anläggningens livscykel.

³ Listan sammanställd utifrån NREL O&M guide (<https://doi.org/10.2172/1489002>), kompletterad av RISE.

3. Förvaltningserfarenheter i Sverige

Intervjuer

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. Intervjuerna genomfördes med 14 aktörer varav 9 är anläggningsägare, 4 är leverantörer och 1 solelkonstult. Sammanställningen av svaren på intervjufrågorna genererar en översikt av gängse praxis för förvaltning av solcellsanläggningar samt goda exempel och nyttiga lärdomar för intressenter.

Resultatsammanställning

Enligt intervjuerna med de olika aktörerna har det visat sig att det är viktigt att redan i projekteringskedet se över byggnadens placering, taklutning och eventuella skuggningar då dessa faktorer avgör om solcellsmoduler är lämpliga att montera. Söderläge är den optimala riktningen för solceller och de placeras vanligtvis i takets lutning eller på ställningar om taket är platt eller svagt lutande.

Solceller är känsliga för skugga och det minskar elproduktionen men man kan fortfarande få en bra produktion med en väl projekterad anläggning. Det rekommenderas att undvika skuggning så mycket som möjligt. En solkarta kan användas för att ta reda på om en yta är lämplig för solceller. Det finns flera kommuner i Sverige som har solkartor och med hjälp av dem går det att ta reda på vilken ungefärlig elproduktion en viss yta kan ge.

Solcellsägarna har enats om att solceller knappt behöver något underhåll då de är i princip underhållsfria. Solcellsleverantörerna tipsar om att man ska se till att solcellsanläggningen håller hela sin livslängd, därför rekommenderas en viss skötsel årligen för att lättare kunna upptäcka avvikelser eller smuts. Man behöver generellt inte rengöra sina solceller då Sveriges väder bjuder på mycket regn samtidigt som takens lutning gör att eventuell snö lättare glider bort. Det som kan vara bra att göra om man bor nära mycket vegetation (löv, pollen) eller nära en väg med mycket damm är att rengöra solcellerna två gånger per år menar leverantörerna. Det kan med tiden även växa alger längst ner på modulerna som kan behöva torkas bort.

Enligt leverantörerna har anläggningsägaren ansvaret att kontrollera anläggningen samtidigt som det rekommenderas att man inte ska vistas på taket i onödan på grund av fallrisk. En kontroll från markplan eller från en säker plats ska vara tillräcklig. Solceller är väldigt känsliga därför ska man aldrig gå på en modul då det kan bildas mikrosprickor i dem vid hög belastning. Man ska kontakta sin solcellsleverantör om det upptäcks missfärgningar på moduler.

Det kan vara bra att se över avtalet med installatörsföretaget och vad det har att erbjuda avseende förvaltning till kunderna menar leverantörerna, alternativt att anlita erfarna och kompetenta installatörer och reparatörer om problem uppstår.

Ska man utföra förvaltningsarbetet själv måste man se till att man följer anvisningar och råd från installatören. Installatören ska lämna drift- och underhållsanvisningar till kunden men även tillverkarens manualer ska lämnas över.

Man brukar säga att solcellerna beräknas hålla i ca 30 år under förutsättningen att de installeras på ett korrekt sätt på ett tak som är i gott skick. De komponenter som ska kontrolleras extra är kablar så att de är korrekt dragna och inte exponerade för smådjur.

Växelriktarnas elektroniska komponenter behöver bytas ut om problem uppstår, vilket flera anläggningsägare påpekade. Annars kan själva växelriktarna sluta fungera plötsligt och behöva bytas ut helt. Dessutom ska larmindikatorer på växelriktarna kontrolleras med jämna mellanrum. Det mest lämpliga stället för växelriktaren är att placera den i byggnadens driftutrymmen.

Det är inte vanligt att få ett driftstopp på grund av fel i själva anläggningen. Enligt några aktörer har driftstopp inträffat på grund av strömavbrott och i något fall sabotage av skolelever som har kastat sten vilket gjorde att några moduler behövde bytas ut.

Många av de intervjuade aktörerna kände inte till att man kan ställa krav i upphandlingen på drift och övervakningssystem. För att kunna hålla reda på produktionen och få larm om fel uppstår kan man koppla upp sina växelriktare mot en app och logga produktionen för att följa upp den regelbundet. Digitala styrsystem som möjliggör uppföljning av solcellsanläggningens produktion med kontinuerlig mätning är väsentliga, därför är det viktigt att man pratar med sin leverantör om sina behov. Ett bra tips är att utse en driftansvarig alternativt en grupp ansvariga av driftpersonal att sköta driften av anläggningen och följa upp produktionen årligen. Detta för att kunna följa upp förändringar eller avvikelser år för år.

Om det uppstår brand är det extra viktigt att anläggningen har en brandplan och att den är korrekt skyltad med tydligt läsbara skyltar för att underlätta räddningstjänstens arbete.

Tips och råd från anläggningsägare

De intervjuade aktörerna fick dela med sig av sina bästa tips och goda råd till solcellsägare och för framtida investerare.

Alla aktörer tyckte att befintliga solcellsanläggningar inte ska bytas ut mot nya som har ökat prestanda då de tycker att det är bättre att investera på nya tak och i stället byta ut ej-fungerande komponenter. Detta för att solcellerna är så pass nya i Sverige att det är sällan man hittar en anläggning som är äldre än 15 år.

Anläggningen ska hålla någonstans mellan 20 och 30 år därför har inte många hunnit tänka på återvinning av modulerna. För några enstaka aktörer har frågan tagits upp vid enstaka tillfällen.

Det finns svenska aktörer inom avfallshantering som har börjat fundera på lösningar kring återvinning av moduler och förhoppningsvis om ett par år finns det bättre riktlinjer för hantering av materialen som ingår i solcellsmodulerna.

Ett bra tips som några aktörer delade med sig av är att utbilda elektrikerbranschen i just solcellsinstallation för att undvika installationsfel och utöka kunskaper inom den branschen.

Ett annat uppskattat tips är att en sammanfattad lista på de viktigaste drift och underhållsåtgärderna i punktform ska lämnas till kunden för att underlätta förvaltningsarbetet, detta som komplement till dokumentationspärmen som upplevs omfattande.



4. Förvaltningsstrategier på internationella marknader

Guider för bästa praxis internationellt

SolarPower Europe är solenergiområdets branschorganisation för Europa. De har tillsammans med ledande aktörer från branschen sammanställt ”Best Practice Guidelines” för ”Operation and Maintenance”, senaste versionen (v 5) är från december 2021.⁴ Utöver en genomgång av de olika delarna av förvaltningsarbetet och beskrivning av olika aktörers roller och ansvar så finns flera användbara bilagor till guiden, som exempelvis en lista på vad som ska ingå i en slutdokumentation från installatören och en årlig underhållsplan.

NREL, National Renewable Energy Laboratory, ett forsknings- och utvecklingscenter som finansieras av U.S. Department of Energy, tar också fram en ”Best practice guide” om O&M, den senaste upplagan är från december 2018; ”Best Practices for Operation and Maintenance of Photovoltaic and Energy Storage Systems”⁵. Guiden inkluderar information om teknisk förvaltning, övervakning, drift, förebyggande underhåll, korrigerande eller tillståndsbaserat underhåll och om avvecklingsfasen. NREL har även en separat guide som tar upp ekonomiska vägval vid avvecklingsfasen, ”Best Practices at the End of the Photovoltaic System Performance Period”⁶. Utöver nämnda guider från Europa och USA så finns en pedagogisk guide för den indiska marknaden skriven av Gujarat Energy Research & Management Institute specifikt för mindre anläggningar, ”Best Practices in Operation and Maintenance of Rooftop Solar PV Systems in India”⁷.

I denna vägledning refereras valda delar ur NREL-rapporterna men primärt sammanfattas guiden från SolarPower Europe då den är mest relevant för Sverige med vår gemensamma marknad och delade standarder.

Operation & Maintenance Best Practice - SolarPower Europe

Operation and Maintenance, O&M, har 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). Guiden vänder sig främst till ägare av stora solcellsanläggningar, solparker och ägare med portföljer av flera stora anläggningar, men den går även in på vilka av rekommendationerna som är tillämpbara vid förvaltning av mindre takanläggningar och vad som tillkommer. Kortfattat handlar skillnaden primärt om att riskerna med arbete på hög höjd adderas.

O&M aktörer i solindustrin är snabba på att anamma ny forskning och utveckling inom området, detta för att affärer baseras på att minimera ”downtime”. Därför är det relevant att se på vad branschaktörer anser vara ”best practice” inom området då det till stor del uppfyller samma syfte som klimateffektiv förvaltning, att maximera antalet producerade kWh under anläggningarnas livslängd. Med det sagt så är det inte alltid praktiskt eller ekonomiskt försvarbart att applicera alla rekommendationer på mindre anläggningar. Ibland strävar även ekonomiska incitament emot de klimateffektiva, vilket tas upp under råd-avsnittet i denna vägledning. Guiden är på över 100 sidor men inleds med en kortfattad och informativ sammanfattning som spaltar upp de områden guiden redogör som viktiga delar av ett kvalitativt förvaltnings- och underhållsarbete.

⁴ <https://www.solarpowereurope.org/insights/thematic-reports/o-and-m-best-practice-guidelines-version-5-0>

⁵ <https://doi.org/10.2172/1489002>

⁶ <https://doi.org/10.2172/1765595>

⁷ <https://solarrooftop.gov.in/knowledge/file-79.pdf>

Ett kvalitativt drifts- och underhållsarbete enligt den europeiska solcellsbranschen

Hur omfattande O&M aktiviteter som skall gälla för olika anläggningar beror på anläggningsstorlek och anläggningsägarnas portföljer av solcellsanläggningar. Med det sagt är de checklistor och rekommendationer som finns för den större skalan alltid bra att använda och anpassa utifrån behov även för mindre anläggningar och takanläggningar. Sammanfattat nedan är viktiga delar av en kvalitativ förvaltning enligt SolarPower Europes guide⁸

1. Prioritera alltid hälsa, säkerhet och miljö i anläggningsutförande, drift och underhåll. För generella rekommendationer kring HSE se separat guide om Lifecycle Quality.⁹
2. Tillse att all personal, anlitad och egen, har rätt utbildning och behörighet för uppgiften. Checklista med föreslagna kompetenser för drift och underhållspersonal finns i guiden.
3. Teknisk förvaltning omfattar stödverksamhet för att maximera energiproduktionen, minimera stilleståndstid och minska kostnaderna. Se separat guide för Asset Management.¹⁰
4. Driftoperatör eller driftansvarig fjärrövervakar, sköter eventuell aktiv styrning av anläggningen och samordnar underhåll, vilket förutsätter ett ärendehanteringssystem. Checklista med indataposter som bör inkluderas i driftoperatörens kontroll finns i guiden.
5. En komplett slutdokumentation är en grundförutsättning för drift- och underhållsarbetet. Checklista över dokument som bör ingå i en slutdokumentation finns i guiden.
6. Prioritera det förebyggande underhållet så som regelbundna okulära och fysiska inspektioner, funktionstestning och mätningar och aktiviteter som krävs för att uppfylla bruksanvisningar och garantikrav. Förslag till årlig underhållsplan finns i guiden.
7. Se till att reservdelar finns tillgängliga och att avtala vilka som ingår i normal drift/ underhåll. En minimilista av reservdelar som anses vara väsentliga presenteras i guiden (s. 57).
8. Övervaka prestandan på anläggningen och samla data för spårbarhet och statistik. Använd system med öppna data, med användarvänligt gränssnitt, kompatibelt med övriga system.
9. Beakta cybersäkerhet i samtliga produkter och digitala system. En checklista för att utvärdera övervakningsverktyg finns på <https://www.solarbestpractices.com/checklists>
10. Den viktigaste KPI:n som återspeglar solcellsanläggningens prestanda och servicekvalitet på drift och underhåll på samma gång är 'Contractual Availability'. Performance Ratio (PR) är den vanligaste KPI:n för anläggningsägare i Sverige. Se en lista på KPI:er i guiden (s. 81-82)
11. Vissa O&M-tjänsteleverantörer ger fortfarande garantier baserade på Performance Ratio, men rekommenderat för avtal är att endast använda garantier för tillgänglighet och svarstid. Bästa praxis är en garanterad minsta 'Contractual Availability' på 98 % under ett år. Guiden rekommenderar att använda kontraktsmallar; www.opensolarcontracts.org
12. Trender och innovationer på dagens O&M-marknad finns inom de senaste teknikerna för flygövervakning, AI och datadrivet beslutsfattande. Checklista finns för termografi-tjänster¹¹.

⁸ <https://www.solarbestpractices.com/guidelines/detail/foreword-4>

⁹ <https://www.solarbestpractices.com/guidelines/detail/foreword-3>

¹⁰ <https://www.solarbestpractices.com/guidelines/detail/foreword-2>

¹¹ <https://www.solarbestpractices.com/checklists>



5. Råd för en klimateffektiv förvaltning

I detta avsnitt sammanfattas några huvudsakliga punkter från RISE kartläggning av forskning på området klimateffektiv förvaltning av solcellsanläggningar och slutsatsen kopplar dessa råd och rekommendationer till råden givna i intervjuer samt i Solar Power Europes guide kring bästa praxis.

Kartläggning

En mindre andel forskning ser på samtliga delar i en solcellsanläggning och hela dess livscykel, livscykelanalys och specifikt på vad som samlat kan och bör göras för att minska klimatpåverkan i förvaltningsskedet. Forskningen behöver dock inte vara så specifik för att ge guidning. Utifrån kunskapen att tillverkningsprocessen bidrar med den största klimatpåverkan från en solcellsanläggning (se kapitel 1) vet vi att en maximerad elproduktion och lång livslängd bidrar till att minska klimatpåverkan per kWh solet. Sökningen efter relevant forskning kan breddas till dessa områden.

IEA PVPS, (International Energy Agency Photovoltaic Power Systems Programme) har två delar som är relevanta för dessa frågor - Task 12 PV Sustainability Activities och Task 13 Reliability and Performance of Photovoltaic Systems. Det EU-finansierade projektet EU H2020 TRUST-PV som fokuserar på förbättrad prestanda och tillförlitlighet av solcellsanläggningar pågår och producerar kontinuerligt rapporter. NREL, National Renewable Energy Laboratory, USA, har flera relevanta guider och rapporter rörande förvaltning. Dessa källor för litteratur har även kompletterats med sökningar efter forskning på Google Scholar och Scopus.

Efter litteraturgenomgången kan följande råd och rekommendationer sammanfattas. Källor för respektive rubrik finner ni samlat på sista sidan i denna vägledning.

Vikten av en väl planerad och installerad anläggning

En förutsättning för att en solcellsanläggning ska få en så lång livslängd och maximerad elproduktion som möjligt är, som nämnts i kapitel 2, en väl utförd planering, projektering, upphandling och installation. NREL formulerar det på ett pedagogiskt sätt. De menar att med en riktigt högkvalitativ O&M-service kan du uppnå ett D, C eller möjligen ett B-betyg på din solcellsanläggning. Men för att uppnå ett A måste frågor kopplade till drift och underhåll vara del av designprocessen. För att ge ett exempel så påvisade en forskningsrapport att åsidosättande av en korrekt design- och installationsprocedur ledde till felaktig dimensionering av 69 % av de studerade systemen.¹²

Drift och underhåll

En felaktig drift- och underhållspraxis leder till minskad elproduktion, högre degraderingstakt och fler komponenthaverier. En högre degraderingstakt av solcellsmodulerna kan i sin tur påverka även växelriktarnas livslängd. Rätt typ av förvaltning kan i sin tur förbättra elproduktionen avsevärt.

Samlade och standardiserade riktlinjer för drift och underhåll har visat sig svår att ta fram då behovet skiljer sig beroende på anläggningsstorlek men primärt utifrån stora skillnader i omgivande klimat, miljö och lokala förutsättningar (ex. temperatur, fukt, regn, vind och UV-ljus). Omgivande natur och klimat har en betydande påverkan på både prestanda och hälsa på solcellsanläggningarna. IEA PVPS

¹² <https://doi.org/10.1016/j.esd.2021.12.003>

Task 13 har av den anledningen sammanställt O&M rekommendationer för sju olika klimatzoner¹³ och primärt två av IEA:s identifierade klimatzoner är relevanta för Sverige; 'Tempererat' och 'Snöiga regioner'. En tredje, 'Översvämningsbenägen', kan komma att bli mer relevant i takt med klimatförändringar och extrema väderhändelser, som leder till att vissa markområden kommer att svämmas över mer frekvent.

För den tempererade zonen beskrivs riktlinjer som behöver beaktas mer eller mindre i alla klimatzoner. Växt- och djurliv behöver utvärderas på den aktuella platsen. Exempel kan vara behov av gräsklippning och kontroll av bosättning och/ eller träck av fåglar. I industriella miljöer kan solcellsmoduler ge en oväntad försämrad prestanda på grund av smuts och damm. I dessa lägen behöver behov och intervall av rengöring utvärderas.

För snöiga regioner är det främst ansamling av snö på modulerna som behöver beaktas specifikt. Tunga snölastar kan skada modulerna. En föreslagen gräns för snöansamling på moduler är 0,7 m. Monteringsystem behöver ofta tåla stora temperaturskillnader mellan vinter- och sommar. Då är stål ett föredrag över aluminium. Om aktiva rengöringsåtgärder behöver genomföras, såsom borstning, behöver man se till att inte repa glaset.

Ett förebyggande underhåll, anpassat till anläggningens storlek, design, komplexitet och miljö, kan utesluta överflödiga aktiviteter och därmed sänka kostnader och minimera fel och skador. De viktigaste förebyggande åtgärderna är periodiska elektriska mätningar på modulnivå (stickprover), smuts- och snöreduktion, vegetationshantering samt att hålla BOS-utrustning och övervakningssystem (övervakningskontroll och datainsamling) i drift.

Även enkla och billiga drift- och underhållsmetoder, utförda av egen personal (rätt utbildad), kan spela en stor roll i att förbättra en anläggnings prestanda. En minsta nivå är en automatisk övervakning av fältdata för att kunna jämföra uppmätt och förväntad produktion. I detta avseende ses dessa fyra KPI:er som ett minimum; Solinstrålning, Elproduktion, Performance Ratio (PR) och Tillgänglighet¹⁴. Växelriktare och kopplingslådor är de felkällor som leder till flest nedstängningar av solcellsanläggningar. Rekommenderat utöver minimum är därför att även hålla ett extra öga på växelriktarnas KPI:er, deras effektivitet och förluster. Enligt en genomgång av 35 000 "O&M tickets" (felkällor) stod växelriktare för ca 70%.¹⁵ Även om andelen kan verka stor så tror forskarna att det främst beror på att växelriktarna skickar ut alarm automatisk medan flera fel på t.ex. modulnivå missas för att de kräver besiktning på plats.

Sammanfattningsvis bör en lång livstid med god produktion kunna uppnås med en kombination av väl designade drifts- och underhållsspecifikationer, proaktiv övervakning och en flexibel och skräddarsydd förvaltning som tar hänsyn till klimatzon.

Repowering - klimateffektivt eller inte?

Repowering är ett relativt nytt begrepp inom solcellsbranschen. Det innebär att en anläggningsägare väljer att uppgradera hela eller delar av en befintlig solcellsanläggning för att förbättra dess prestanda utan att behöva utöka ytan den upptar. Att detta övervägs innan produkterna nått sin fulla livslängd beror på att degradering av solcellsmoduler minskar elproduktionen med åren, samtidigt som nya produkter konstant förbättras på grund av en snabb innovation och utveckling av tekniken.

¹³ <https://iea-pvps.org/key-topics/guidelines-for-operation-and-maintenance-of-photovoltaic-power-plants-in-different-climates/>

¹⁴ <https://doi.org/10.3390/en14133798>

¹⁵ <https://doi.org/10.1002/pip.3637>

Ekonomiskt kan det finnas fördelar med att byta moduler efter 20 till 25 års drift, men när man överväger koldioxidminskningar är det bara lämpligt att byta inom ett begränsat fönster. I Tyskland avser detta fönster solcellsmoduler installerade före 2017 enligt en studie¹⁶. Men även då resulterar repowering i bästa fall bara till mindre förbättringar av CO₂-balansen. Oavsett om det handlar om ekonomi eller hållbarhet, är repowering sämre än att använda nya solcellsmoduler för ytterligare solcellsanläggningar.

Repowering kan ha en betydelse där kapacitetsexpansion inte är möjlig. Om man äger en begränsad yta, som t.ex. ett tak, så finns en drivkraft att få ut så många kWh som möjligt på just den ytan för egen elanvändning. Ur klimataspekt så är det däremot alltid bättre om varje ny modul bidrar till att tränga undan kolbaserad elkraft. En klimateffektiv förvaltning av solcellsanläggningar innefattar att låta dem verka sin fulla livslängd och att kapacitetsutbyggnad bör prioriteras framför systembyten.

Återbruk och återvinning

Flera studier visar att det är lönsamt ur klimataspekt att låta en solcellsanläggning bestå hela sin livslängd, samt att det även kan vara ekonomiskt lönsamt. I praktiken är det dessutom inte ekonomiskt önskvärt att återbruka, i förtid nedmonterade, moduler inom varken bostadsmarknaden (på grund av yt begränsningar) eller för solcellsparker, eftersom nya solcellsmoduler är mer attraktiva i båda dessa sammanhang. Allt beror dock på hur mycket billigare återbrukade moduler kan bli, det finns exempel på företag i Tyskland som har byggt upp affärsmodeller där de demonterar parker och säljer moduler vidare¹⁷ men i stort finns i dagsläget inte en tillräckligt utvecklad marknad för andrahandsmoduler och övriga BOS-produkter. Det behövs även en standardiserad omcertifieringsprocess för att verifiera funktion och prestanda på avlagda produkter. En studie föreslår att ett tröskelvärde för prestanda sätts till 70% av den ursprungliga effekten för att en solcellsmodul inte ska betraktas som avfall¹⁸. De flesta solcellsmoduler som blir tillgängliga för återbruk idag kommer från anläggningar som delvis har skadats av hårt väder eller från solcellsanläggningar som inte längre får inmatningstariff, vilket i sig driver på repowering-processer. Många av dessa begagnade solcellsmoduler skickas till utvecklingsländer utan återvinningsanläggningar, vilket kan skapa risk för avfall som inte återvinns på längre sikt.

EU har antagit specifika regler för återvinning av solcellsmoduler i WEEE-direktivet¹⁹. Kravet är dock begränsat till att en viktprocent ska återvinnas, 80%, utan att ta hänsyn till vilka delar eller material i modulen som är sällsynta eller inte. De flesta länder, oberoende av solcellsspecifika återvinningsprocesser eller ej, har möjlighet att återvinna glas och aluminium (som står för mer än 80% av vikten av en standardmodul). För att återvinna kritiska metaller och mineral krävs mer än mekaniska metoder, såsom termiska och kemiska processer. Idag saknas global statistik på avfall och återvinning av solcellsmoduler. Det verkar dock som att kristallint kiselcellsmaterial och plaster/polymerer inte återvinns för närvarande. Dessutom, även om glas vid första anblicken verkar återvinnas, så används det främst till mindre värdefulla produkter, eftersom höga transportkostnader är ett problem. Glaset innehåller även ibland antimon, vilket gör det olämpligt för flera tillämpningar.²⁰

¹⁶ <https://doi.org/10.1016/j.isci.2022.105208>, <https://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3974935>

¹⁷ <https://2ndlifesolar.de/rz>, <https://www.secondsol.com/en/services/pv-disposal/>

¹⁸ <https://doi.org/10.1002/pip.3490>

¹⁹ <http://www.solarwaste.eu/wp-content/uploads/2014/04/WEEE-Recast-Dir-EN-20120704.pdf>

²⁰ <https://www.wcpec-8.com/index.php/programme-2022?view=article&id=91>

Volymerna av avfall 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 i dagsläget. På den ljusa sidan finns det flera enskilda länder som infört regler och incitament för återvinning, företag som tar egna cirkulära initiativ och investeringar i forskning och utveckling ökar stadigt. Alla dessa initiativ behövs för att påskynda utvecklingen av mer cirkulära flöden för att möta den framtida efterfrågan samt uppnå ett högt värde och en låg kostnad för återvinning.

Forskning vs intervjuer och guider - slutsatser

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.

Att solceller knappt behöver något underhåll alls, som framkom av intervjuerna av solcellsägare, både stämmer och inte stämmer. Solcellsanläggningar behöver betydligt mindre förvaltning än övriga anläggningar för elproduktion men med en objektspecifik förebyggande drift- och underhållsplan och snabba insatser när fel eller prestandaförluster uppstår, kan kostnader, fel och skador minimeras. Vilket ökar livslängden och därmed leder till en mer klimateffektiv solcellsanläggning.

Som i andra delar av samhället så är det som är bäst för plånboken inte alltid bäst för klimatet. Ibland kan ekonomiska intressen motverka en klimateffektiv förvaltning av solcellsanläggningar men i stora delar överensstämmer syften och då skapas positiva synergier. Maximerad elproduktion är positivt såväl ekonomiskt som för klimatet, då överensstämmer "Best practice" från branschen med målen för minskad klimatpåverkan. När det gäller maximerad livslängd så kan lönsamheten variera mellan olika parter i värdekedjan. När utvecklingen går så snabbt som den gör med ständig produktutveckling och ökad effektivitet så kan det locka aktörer att byta ut gammal teknik mot ny som producerar fler kWh per timme (repowering). Det kan vara ekonomiskt lönsamt men är sällan klimateffektivt. Intervjuade parter verkar i detta sammanhang överens med forskningen på området.

Åtgärder för att minska klimatpåverkan från en solcellsanläggning

1. Gör rätt från början. Planera med minimal klimatpåverkan, drift och underhåll i åtanke.
2. Låt en kvalificerad tredje part besiktiga utförande och prestanda på anläggningen.
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. Mer forskning, innovation och utveckling behövs kring produktdesign för cirkulära processer.

Ord- och länklista

BOS	Balance of System. Alla komponenter i ett PV-system förutom modulerna.
Contractual Availability	'Avtalstillgänglighet', innebär att hänsyn tagits till driftstopp som inte kan hänföras till O&M-tjänstens leverantör. Ett närliggande begrepp, Teknisk tillgänglighet (Uptime), återspeglar alla driftstopp oavsett orsak.
Degradering	En stadig minskning av prestanda.
Downtime	Tid under vilken en anläggning är ur funktion eller otillgänglig för användning.
End-of-life	Slutet av en livscykel.
HSSE	Health, Safety, Security & Environment
kg CO ₂ e/kWh	Klimatpåverkan per kWh i koldioxidekvivalenter.
KPI	Key Performance Indicator, Nyckeltal för statistik och referensvärden.
kWh	Kilowattimmar (energimängd)
kWp	Nominell solcellseffekt
LCOE	Levelized Cost of Energy/Electricity, livstids-kostnaden delat på elproduktionen.
O&M	Förkortning av Operation & Maintenance, Drift- och Underhåll
PERC	Passivation Emitter and Rear Contact, beteckning på en teknikvariant för kiselsolceller.
ROI	Return of Investment, investeringens avkastning.
Repowering	'Kapacitetsförbättring', byta ut fungerande produkter mot nya med bättre prestanda
Performance Ratio (PR)	'Systemverkningsgraden' är ett mått på hur stor andel av den teoretiskt möjliga solelproduktionen som har uppnåtts. Beräknas genom att ta uppmätt solelproduktion (kWh/m ² och år) genom solcellsmodulens verkningsgrad gånger uppmätt solinstrålning i modulplan ($\eta * (\text{kWh/m}^2 \text{ och år})$).

SolarPower Europe - Operation & Maintenance Best Practice

<https://www.solarpowereurope.org/insights/thematic-reports/o-and-m-best-practice-guidelines-version-5-0> eller <https://www.solarbestpractices.com/guidelines/detail/foreword-4>

Solar Best Practices - En samlingssida för guider och checklistor framtagna av branschen

<https://solarbestpractices.com/>

NREL Best Practices for Operation and Maintenance of Photovoltaic and Energy Storage Systems

<https://www.osti.gov/biblio/1489002/>

IEA - Guidelines for Operation and Maintenance of Photovoltaic Power Plants in Different Climates

<https://iea-pvps.org/key-topics/guidelines-for-operation-and-maintenance-of-photovoltaic-power-plants-in-different-climates/>

Energimyndigheten

<https://www.energimyndigheten.se/fornybart/solelportalen/drift-och-underhall-av-din-solcellsanlaggning/>

Referenser för respektive avsnitt under ”5. Råd för en klimateffektiv förvaltning”

Vikten av en väl planerad och installerad anläggning

[Walker, H. A. et al. \(2018\). "Best Practices for Operation and Maintenance of Photovoltaic and Energy Storage Systems; 3rd Edition", United States: NREL](#)

[B. Aboagye, S. Gyamfi, E. Antwi Oforu, S. Djordjevic. \(2022\). "Investigation into the impacts of design, installation, operation and maintenance issues on performance and degradation of installed solar photovoltaic \(PV\) systems", Energy for Sustainable Development, 66, Pages 165-176, ISSN 0973-0826](#)

Drift och underhåll

[Ulrike Jahn et al. \(2022\). "Guidelines for Operation and Maintenance of Photovoltaic Power Plants in Different Climates", International Energy Agency \(IEA\) PVPS Task 13, Report T13-25:2022. ISBN 978-3-907281-13-0](#)

Se B. Aboagye et al. ovan.

[J. Pascual, F. Martinez-Moreno, M. García, J. Marcos, L. Marroyo, E. Lorenzo. \(2021\). "Long-term degradation rate of crystalline silicon PV modules at commercial PV plants: An 82-MWp assessment over 10 years", Progress in Photovoltaics, 29, issue 12](#)

[Luis Hernández-Callejo, Sara Gallardo-Saavedra, Víctor Alonso-Gómez. \(2019\). "A review of photovoltaic systems: Design, operation and maintenance", Solar Energy, Volume 188, Pages 426-440, ISSN 0038-092X](#)

[G. Spagnuolo, W. Xiao and C. Cecati. \(2015\). "Monitoring, Diagnosis, Prognosis, and Techniques for Increasing the Lifetime/Reliability of Photovoltaic Systems", IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 62, no. 11, pp. 7226–7227.](#)

[A. Sangwongwanich, Y. Yang, D. Sera and F. Blaabjerg. \(2018\). "Lifetime Evaluation of Grid-Connected PV Inverters Considering Panel Degradation Rates and Installation Sites", IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 33, no. 2, pp. 1225–1236.](#)

[S. Lindig, S. Gallmetzer, M. Herz, A. Louwen, E. Koumpli, P. Paez, D. Moser. \(2022\). "Towards the development of an optimized Decision Support System for the PV industry: A comprehensive statistical and economical assessment of over 35,000 O&M tickets", Progress in Photovoltaics](#)

[Iftikhar, Hamid, Eduardo Sarquis, and P. J. Costa Branco. \(2021\). "Why Can Simple Operation and Maintenance \(O&M\) Practices in Large-Scale Grid-Connected PV Power Plants Play a Key Role in Improving Its Energy Output?" Energies 14, no. 13: 3798.](#)

Repowering – klimateffektivt eller inte?

[Peters, Ian Marius and Hauch, Jens and Brabec, Christoph. \(2021\). "Economy and Sustainability of PV-Repowering"](#)

[Peters, Ian Marius & Hauch, Jens & Brabec, Christoph. \(2022\). "The Role of Innovation for Economy and Sustainability of Photovoltaic Modules". iScience. 25. 105208.](#)

[N. Rajagopalan, A. Smeets, K. Peeters, S. De Regel, T. Rommens, K. Wang, P. Stolz, R. Frischknecht, G. Heath, D. Ravikumar. \(2021\). "Preliminary Environmental and Financial Viability Analysis of Circular Economy Scenarios for Satisfying PV System Service Lifetime" International Energy Agency \(IEA\) PVPS Task 12, Report T12-21:2021. ISBN 978-3-907281-23-9.](#)

Återbruk och återvinning

Se N Rajagopalan et al. ovan

[A.S.H. Van der Heide, L. Tous, K. Wambach, J. Poortmans, J. Clyncke, E. Voroshazi. \(2021\). "Towards a successful re-use of decommissioned photovoltaic modules", Progress in Photovoltaics, 30, issue 8.](#)

[R. Frischknecht, L. Krebs. \(2022\). "Resource Use Footprints of Residential PV Systems", International Energy Agency \(IEA\) PVPS Task 12, Report T12-22:2022. ISBN 978-3-907281-25-3.](#)

[K. Komoto, M. Held, C. Agraffel, C. AlonsoGarcia, A. Danelli, J. Lee, F. Lyu, J. Bilbao, R. Deng, G. Heath, D. Ravikumar, P. Sinha. \(2022\) "Status of PV Module Recycling in Selected IEA PVPS Task 12 Countries". International Energy Agency \(IEA\) PVPS Task 12, Report T12-24:2022. ISBN 978-3-907281-32-1.](#)

[Malek Kamal Hussien Rabaia, Concetta Semeraro, Abdul-Ghani Olabi. \(2022\). "Recent progress towards photovoltaics' circular economy", Journal of Cleaner Production, Volume 373, 133864, ISSN 0959-6526.](#)

[Curtis, Taylor, Heath, Garvin, Walker, Andy, Desai, Jal, Settle, Edward, and Barbosa, Cesar. \(2021\). "Best Practices at the End of Photovoltaic System Performance Period" United States: NREL](#)

[G Oviedo Hernandez et al \(2022\) "Trends and innovations in photovoltaic operations and maintenance" Progress in Energy 4 042002](#)

Denna vägledning för klimateffektiv förvaltning av solcellsanläggningar har tagits fram av RISE och Energikontor Syd inom projektet Klimateffektiv Solenergi. Genom intervjuer och kartläggning av guider och aktuell forskning på området sammanställs en översikt av gängse praxis för förvaltning av solcellsanläggningar.

Vägledningen syftar till att ge rekommendationer för en klimatoptimerad förvaltning av solcellsanläggningar, bedömningar av olika åtgärders relevans för att minska klimatpåverkan samt belysa betydelsen av en god projektering för den långsiktiga produktionen och klimatnyttan.

Projektet Klimateffektiv Solenergi leds av Energikontoret Storsthlm och utförs i ett samarbete med Energikontor Syd, RISE Research Institutes of Sweden och allmännyttans inköpscentral HBV. Finansiering av projektet kommer från Energimyndigheten och HBV.

RISE – Research Institutes of Sweden
ri.se / info@ri.se / 010-516 50 00
Sven Hultins Plats 5, 412 58 Göteborg

Grants Office/Informationscenter
RISE Rapport: 2023:19
ISBN: 978-91-89757-62-2

