

Radiostörningar från solcellsanläggningar

Kartläggning av störningsproblematik
i Sverige och omvärlden

KARINA FORS, SARA LINDER OCH THOMAS RANSTRÖM



Karina Fors, Sara Linder och Thomas Ranström

Radiostörningar från solcellsanläggningar

Kartläggning av störningsproblematik i Sverige och
omvärlden

Titel	Radiostörningar från solcellsanläggningar – Kartläggning av störningsproblematik i Sverige och omvärlden
Title	Radio interference from photovoltaic systems – Survey of interference problems in Sweden and the world
Rapportnr / Report No.	FOI-R--5021--SE
Månad / Month	Oktober / October
Utgivningsår / Year	2020
Antal sidor / Pages	27
ISSN	1650-1942
Kund / Customer	FMV
Forskningsområde	4. Informationssäkerhet och kommunikation
FoT område	Ledning och MSI
Projektnr / Project No.	E725494
Godkänd av / Approved by	Christian Jönsson
Ansvarig avdelning	Ledningssystem

Detta verk är skyddat enligt lagen (1960:729) om upphovsrätt till litterära och konstnärliga verk, vilket bl.a. innebär att citering är tillåten i enlighet med vad som anges i 22 § i nämnd lag. För att använda verket på ett sätt som inte medges direkt av svensk lag krävs särskild överenskommelse.

This work is protected by the Swedish Act on Copyright in Literary and Artistic Works (1960:729). Citation is permitted in accordance with article 22 in said act. Any form of use that goes beyond what is permitted by Swedish copyright law, requires the written permission of FOI.

Sammanfattning

Sveriges klimatmål 2040 är 100% förnybar elproduktion och den omställningen har lett till att antalet solcellsanläggningar har ökat i Sverige och även kommer fortsätta öka. I och med den ökade användningen finns en oro för att elektromagnetiska störningar från solcellsanläggningar ska störa radiomottagare i närheten. Under det senaste året har ett flertal störningsincidenter inträffat med radiostörningar. Störningsproblem har framförallt rapporterats på kortvågsbandet men även på högre frekvenser som används av mobiltelefonisystem eller kommunikationssystem för blåljusmyndigheter.

Syftet med rapporten är att ge en överblick över de störningsproblem som rapporterats i såväl Sverige som övriga världen. Rapporten innehåller även en sammanfattning av den forskning kring elektromagnetisk kompatibilitet (EMC) och solceller som bedrivits av olika aktörer under ett stort antal år. Av stort intresse är de mätningar som genomförts av utstrålad störning från solenergianläggningar.

Utifrån de rapporterade incidenter och vetenskapliga rapporter som publicerats är det tydligt att det förekommer radiostörningsproblematik kopplat till solcellsinstallationer. Det finns dock kvarvarande frågor kring hur vanligt förekommande problematiken är och vilka störnivåer det rör sig om för olika typer av anläggningar. Den ökade förekomsten av solcellsanläggningar riskerar också att leda till fler störningsincidenter om inte problematiken tas på allvar och åtgärdas.

Nyckelord: Radiostörning, EMC, EMI, telekonflikt, solceller, solpaneler

Abstract

The Swedish climate goal for 2040 is to exclusively produce renewable electricity. This readjustment has resulted in a dramatic increase in the number of solar power producers, an increase which is expected to continue in the coming years. Concurrently however, this rapid growth has also raised the concern of radio frequency interference in the proximity of such photovoltaic systems. During last year, a number of interference incidents were reported. Though problems have mainly been observed at frequencies pertaining to the high frequency (HF) band, interference has also been noticed in even higher frequency bands which are used by cellular systems and communications for rescue services and police.

The objective of this report is to give an overview of the interference emitted from photovoltaic systems that has been reported on in Sweden as well as in other countries. The report also provides an overview of the scientific research on the topic of electromagnetic compatibility (EMC) and photovoltaic systems, which has been studied under many years. Of great interest is also the measurement campaigns which has been conducted on interference generated by photovoltaic systems.

Considering the observed radio interference and the recently published scientific reports on the subject, there is no doubt in the existence of interference caused by photovoltaic systems. However, how frequently such interference occurs and how strong the interference level is for different types of systems, remain unanswered questions. Nevertheless, if the issue of radio interference is not addressed, the ever increasing number of photovoltaic systems risk to inherently lead to more interference incidents.

Keywords: EMC, EMI, Intersystem interference, solar cells, photovoltaic systems

Innehållsförteckning

1	Introduktion	7
1.1	Frågeställningar att belysa	7
1.2	Syfte och avgränsning	8
1.3	Bakgrund	8
1.4	Solcellssystemets uppbyggnad	10
1.5	EMC-krav	12
2	Störningsincidenter	13
3	Mätningar och vetenskapliga rapporter	15
3.1	EMI och reducerande tekniker	21
4	Slutsatser	23
	Referenser	27

FOI-R--5021--SE

1 Introduktion

Användningen av solceller i Sverige har markant ökat de senaste åren. Under 2019 ökade antalet nätan slutna solcellsanläggningar med ungefär 19 000 till 44 000. Den totala installerade effekten från dessa uppgick till 698 MW, vilket var en ökning med 70% jämfört med året innan [1]. Internationellt ökade produktionen av solel med 22% (ökning med 131 TWh) under 2019 och solel står för ungefär 3% av den totala elproduktionen [2]. Det finns såväl storskalig solelproduktion i stora solcellsparker, som småskalig produktion på villatak. Under 2019 kom i Sverige den största andelen från småskalig produktion (<20 kW), vilket var ett trenderbrott. Tidigare har större anläggningar stått för den största produktionen. Globalt står små och medelstora anläggningar på hustak för en femtedel av produktionen [3].

Solel är en viktig komponent i omställningen mot förnybar el och en rad stimulansåtgärder har använts för att snabba på utbyggnaden. Det finns till exempel ett statligt investeringsstöd för installation av solceller och på de flesta platser behövs inte längre bygglov för att installera solceller. Energimyndigheten har också haft i uppdrag att ta fram en informationsplattform för solel. Arbetet har resulterat i solelportalen [4], som samlar information för att underlätta för privatpersoner och fastighetsägare att investera i solel. På portalen finns även länkar till andra myndigheter, som varit en del av arbetet såsom Boverket och Elsäkerhetsverket.

Den ökade användningen av solceller kan orsaka en besvärligare störningsproblematik än tidigare. Utstrålad elektromagnetisk emission (radiostörningar), från solcellsanläggningar, kan leda till ökade störningsnivåer som riskerar att störa radiomottagare i närheten. Eftersom utvecklingen har gått ganska fort har inte alltid EMC-kraven (elektromagnetisk kompatibilitet), [5], på komponenter i solcellsanläggningen hängt med eller varit relevanta för den miljö som komponenterna använts inom. Det har också funnits oklarheter kring vilken standard som är tillämplig inom området. Dock har några förbättringar skett genom att vissa delsystem i solcellsanläggningen har fått krav på utstrålad effekt, men det finns tyvärr fortfarande luckor som kan leda till att utstrålade emissioner orsakar radiostörning.

1.1 Frågeställningar att belysa

För ett effektivt totalförsvar krävs att deltagande enheter har säkra och pålitliga kommunikationslösningar. Vid radiostörningar är det inte alltid möjligt att sambandet mellan deltagande enheter kan upprätthållas. Därför är det viktigt att identifiera möjliga störningskällor för att kunna åtgärda problemen. Sedan

tidigare är det väl känt att all elektronik orsakar störningar. Så även efter att störningsreducerande åtgärder implementerats. Därför kan det uppstå situationer då system bestående av flera elektronikkomponenter, som var och en uppfyller i standarder givna emissionskrav, orsakar störningar. I det här arbetet antas systemet vara en solcellsanläggning, bestående av ett antal delkomponenter som var och en kan uppfylla givna standardkrav vad gäller radiostörningar.

Eftersom solcellsanläggningar ingår som en möjliggörare för att uppfylla Regeringens klimatmål kommer förmodligen antalet anläggningar, både stora och små, att bli flera. Ett ökat antal anläggningar kan leda till att radiostörningarna ökar i omfattning och skapar större problem. Med detta i beaktande är det intressant att formulera följande frågeställningar att undersöka.

- Finns det rapporterade störningsincidenter, och har det skett någon förändring i mängden incidenter under de senaste åren?
- Inom vilka frekvensband orsakar solcellsanläggningar radiostörningar?
- Vilka komponenter i en solcellsanläggning kan orsaka radiostörningar och vilka reducerande åtgärder är möjliga för att åtgärda eller minska problemet?

1.2 Syfte och avgränsning

Huvudsyftet med rapporten är att beskriva typiska radiostörningar från solcellsanläggningar och redogöra för genomförd kartläggning av störningsproblematik i Sverige och omvärlden. Därtill ge en överblick över forskning kring EMC och solceller som bedrivits av olika aktörer.

Arbetet som beskrivs i rapporten är inriktat på större anläggningar som är installerade på villor, bostadshus, kontor eller i solcellsparker.

Det finns en risk att ledningsbundna störningar sprids i elnätet från små producenter. Dessa störningar blir framförallt en fråga om elkvalitet och sällan en fråga om radiostörningar. Dessa frågor kommer därför inte att behandlas i rapporten utan de ledningsbundna störningar som beskrivs senare i rapporten är störningar som förekommer i solcellsanläggningen.

1.3 Bakgrund

Forskning inom EMC och solceller har bedrivits åtminstone sedan 90-talet, eftersom man tidigt identifierade risker för EMC-problem. Sedan dess har mycket skett inom teknikutveckling av de komponenter som ingår i ett solenergisystem och utvecklingen pågår fortfarande.

Det finns solceller i en mängd olika tillämpningar och storlekar, som exempelvis uppladdningsbara lampor i trädgården, elförsörjning i husvagnen eller båten, elförsörjning i det egna huset och stora solcellsparker. För de olika tillämpningarna finns olika typer av solcellssystem som typiskt skiljer sig åt i uppbyggnad. I de enklare tillämpningarna kan batteri laddas med låg spänning. I större installationer är spänningen mycket högre och strömmen omvandlas ofta till växelström som kan mata el ut i elnätet. Den ökande mängden el från solceller innebär en utmaning för elnätet eftersom elproduktionen från solceller inte är konstant över tiden. Det är också en utmaning för elnätet att många små elproducenter matar ut sin el på elnätet. Variabel elproduktion, från exempelvis solex, som sker långt ute i nätet i kombination med ökningen av laddbara fordon kan orsaka problem [6]. I fall med överproduktion av effekt ökar belastningen på kablarna vilket i slutändan leder till högre spänningsnivåer lokalt i nätet. Med batterier som spänningsreglerare kan slitaget minska.

Samtidigt med en kraftigt ökad användning av solceller har även medvetenheten om risken för att dessa kan orsaka radiostörningar ökat. Antalet rapporter om störningsproblem har ökat det senaste året, både i Sverige och som det verkar även i övriga världen.

Elsäkerhetsverket genomförde under 2019 ett tillsynsprojekt med inriktning mot solex [7]. Inom projektet genomfördes 42 tillsynsbesök varav 21 hos elinstallationsföretag som utför solcellsinstallationer och 21 vid solcellsanläggningar. Resultaten från tillsynsbesöken av anläggningar visade att ungefär en tredjedel hade installationsbrister. Resultaten visade också att företagen behöver sätta sig in i vilka förhållanden som råder i varje enskilt fall när de utför anläggningar. Detta gäller speciellt för hur anläggningen ska utformas för att undvika störningar (EMC). I rapporten konstaterades också att det dykt upp ett antal anmälningsärenden om problem med radiostörningar från solcellsanläggningar, vilket bekräftar antagandet att EMC-störningar kan drabba tredje part.

Under 2020 har Elsäkerhetsverket och Försvarsmakten ett uppdrag att utreda risken att elektromagnetiska störningar påverka och försämra totalförsvarets verksamheter. Ett exempel på anläggningar som riskerar att störa är solenergianläggningar.

Risken för radiostörningar har bland annat lett till att Luftfartsverket infört ett skyddsområde kring flygplatser för att skydda radiosystem kritiska för luftfarten verksamhet [8]. För solenergianläggningar är avståndet 3 km, inom vilket Luftfartsverket har rätten att analysera konsekvenserna innan nya solcellsanläggningar får införas. Ett av de system som riskeras att störas är flygradio som enligt internationella krav ska användas är traditionell AM-radio i VHF-bandet, vilken inte är speciellt störtålig.

Sedan 1 augusti 2018 behövs normalt inte bygglov för solenergianläggning-

ar på bostadshus inom detaljplanerat område, om de monteras utanpå tak/fasad och följer byggnadens form. Det finns dock några undantag där bygglov fortfarande krävs. I områden som bedöms vara av riksintresse för totalförsvarets militära del krävs bygglov för solenergianläggningar för att skydda känsliga system från störningar.

Tidningen Elinstallatören har haft ett tema-nummer om *Solceller som stör* som belyser riskerna med solceller [9] och representanter för Elsäkerhetsverket och Luftfartsverket beskriver problematiken och risker för störningar. Elsäkerhetsverket hade då fått in tio anmälningar om problem med störningar från solcellsanläggningar under 2019. En anmälan kom från mobiloperatören Telia som har fått problem med radiostörningar vid en mobilmast utanför Stockholm sedan en solcellsanläggning installerats i närheten.

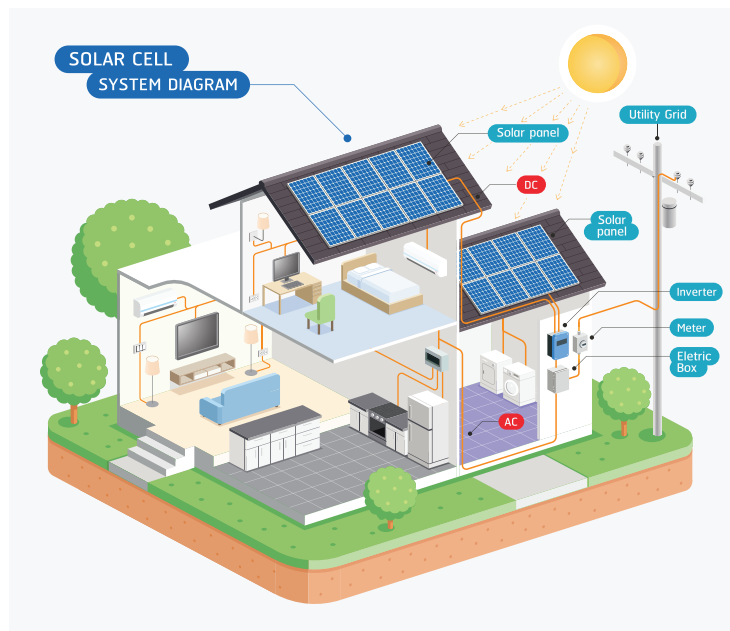
1.4 Solcellssystems uppbyggnad

Ett solcellssystem kan vara uppbyggt på lite olika sätt, men består oftast av solcellspaneler som omvandlar solstrålning till likström (DC) och växelriktare som omvandlar likström till växelström (AC). Figur 1.1 visar en schematisk bild av hur en villainstallation kan se ut, med likströmskablar mellan solpanelerna på taket och växelriktare (inverter) inne i huset som genererar växelström som matas ut i huset eller till elnätet. Solcellspanelerna består av ett flertal hopkopplade solceller som i sin tur kan vara tillverkade av olika material, där det absolut vanligaste är kiselceller. Panelerna är seriekopplade med likspänningsledare vilka kan ha avsevärd längd och riskerar att fungera som en antenn för de störningar som kan finnas på likspänningsledaren. Därför rekommenderas att plus- och minusledare ska monteras nära varandra för att undvika öppna slingor, se exempelvis Svensk Elstandards handbok [10].

Två viktiga funktioner i ett solcellssystem är att

- omvandla likström till växelström så effektivt som möjligt, vilken sedan kan kopplas till elnätet och/eller husets elsystem
- belasta solcellerna optimalt vilket ofta sker med hjälp av en maximalpunktsföljare (MPPT, *Maximum Power Point Tracker*).

I mindre solcellsanläggningar finns båda funktionerna i en och samma produkt, som kallas växelriktare (även inverter eller omvandlare förekommer). Ibland delas funktionen upp i en separat växelriktare och flera moduloptimerare. Moduloptimerarna hanterar ett fåtal solcellspaneler och kan vara monterade närmare panelerna. Bland fördelarna nämns att det då blir möjligt att följa produktionen för enskilda paneler och hantera ojämn produktion mellan moduler



Figur 1.1: Solceller installerade på taket och kopplade till en växelriktare (inverter) inne i huset. (Designad av graphixmania, bildnr 19681664 på VectorStock.com.)

bättre. En annan fördel är att ledningen mellan moduloptimeraren och växelriktaren kan göras strömlös genom att optimeraren slutar mata ut ström på likströmsledningen. Nackdelen är att det blir ytterligare komponenter som ska kopplas in och som kan gå sönder, speciellt då de är monterade nära panelerna och väderutsatta. Risken för störningar på likströmsledningen ökar också.

Den vanligaste villainstallationen är att en eller flera strängar av solcellspaneler är kopplade till en växelriktare med inbyggda optimerare. Även kombinationen av växelriktare med utlokaliserade optimerare används för hemmabruk. Det förekommer mikroväxelriktare som har omvandlingen till växelström utlokaliserad nära panelerna även om det inte är speciellt vanligt. För att kunna ladda upp ett batteri och på så sätt öka användningen av egenproducerad el, behövs en hybridväxelriktare. En hybridväxelriktare behövs också för att kunna använda el från solceller även vid strömavbrott. Vanliga växelriktare matar inte ut växelström då elnätet blir strömlöst.

För att få ansluta en växelriktare till det allmänna elnätet ska den mata ut 3-fas växelström. Omvandlingen mellan lik- och växelström sker ofta genom att likströmmen pulsas för att åstadkomma en växelström. Som en effekt av omvandlingen skapas inte bara den önskvärda 50 Hz sinussignalen utan även oönskade frekvenskomponenter som exempelvis övertoner.

Typiskt för en optimerare är att använda sig av en så kallad DC/DC-omvandlare som kan antingen öka eller minska (eller både öka och minska) en given spänning. Spänningen kan regleras genom pulsbreddsmodulering där förhållandet mellan den tid som omvandlarens huvudbrytare är på respektive av styr utspänningen. Detta förhållande kallas på engelska för *duty cycle*, och från solpanelen eller solcellens perspektiv uppfattas en förändring av *duty cycle* som en förändring i dess elektriska last. Detta möjliggör således att DC/DC-omvandlaren kan användas för att adaptivt reglera så att solpanelen eller solcellen alltid förses med en optimal last, vilket medför att den kan ge maximal effekt (MPP) under rådande förhållande (skuggning, temperatur osv.)

1.5 EMC-krav

Ett stort problem inom EMC-området vad gäller solceller har varit att det varit oklart vilka krav som gäller för växelriktare. En marknadsundersökning genomfördes inom EU av växelriktare (eng. *inverters*) under 2014. Då fanns ingen för växelriktare avsedd produktstandard för emissionsmätningar och därför användes istället oftast generiska standarder som EN 55014-1, EN 55011 eller EN 61000-6-3. I dessa standarder är emissionskraven satta för frekvenser över 30 MHz. På likströmssidan finns det endast krav i några standarder som tex EN 61000-6-3. Resultatet av marknadsundersökningen visade att 1/3 av växelriktarna klarade kraven för utstrålad emission och knappt hälften klarade kraven på likströmssidan enligt EN 61000-6-3.

Från 2017 finns en produktstandard för växelriktare som är tänkta att användas i solelsystem, IEC 62920:2017 [11]. Enligt standarden ska mätningar genomföras enligt CISPR 11. Utrustning som ska användas i bostäder/hemmiljöer ska uppfylla Klass B, medan Klass A-utrustning kan användas i till exempel industrier. Mätningarna kan ske med 3, 10 eller 30 meters mätavstånd, där 10 meters mätavstånd är att föredra och 3 meter endast tillåtet under vissa förutsättningar och krav på 30 meter finns för Klass A. För att det högre kravet för Klass A utrustningar (>20 kVA) ska kunna tillämpas krävs att utrustningen placeras på en plats där ingen känslig radioutrustning finns inom 30 meter från utrustningen. Det finns även krav på likströmsledningarna i en installation, för frekvenser upp till 30 MHz.

2 Störningsincidenter

I samband med att antalet solcellsanvändare ökat kraftigt under de senare åren har också medvetenheten om solcellsanläggningarnas eventuella störningsrisk blivit mer påtaglig. Detta uttrycker sig inte minst i en klar ökning av anmälda störningsincidenter kopplade till solceller. Denna ökning har inte bara uppmärksammats i Sverige utan har även varit påtaglig i andra länder runt om i världen.

År 2019 tog Elsäkerhetsverket emot tio anmälningar knutna till solcellsanläggningar. En av dessa berörde en solcellsanläggning på en skola i anslutning till Mörby centrum, Danderyd. Solcellsanläggning omfattade över 100 paneler som var placerade på skolans tak. Störning från anläggningen anmärktes först av Telia, vars basstation låg ungefär 60 meter från skoltaket. Störningarna angavs uppkomma någon gång på morgonen för att sedan avta på kvällen, och antogs därför vara kopplade till den nyupprättade solcellsanläggningen. Ärendet behandlades först av PTS, men lämnades sedan över till Elsäkerhetsverket. Mätningar för att lokalisera källan till störningen utfördes både på taket och vid växelriktaren, där endast takmätningen gav utslag [12]. Orsaken till radiostörningen i de mobila frekvenserna kunde senare påvisas komma från optimerare som användes på de enskilda panelerna [13].

Den tyska tidningen *Photovoltaik* har rapporterat om ett flertal störningsincidenter i Schweiz kopplade till solcellsanläggningar [14, 15]. Nio solcellsanläggningar hade där konstaterats orsaka störningar och ytterligare 12 var under utredning. Myndigheten OFCOM, som tar emot anmälningarna, påpekade dessutom att de sett en klar ökning rapporterade störningsincidenter gällande solcellsanläggningar. I alla störningsfallen hade optimerare varit en tydlig källa till störningsproblemen. Vidare påpekar talespersonen från OFCOM att problemet är att standardiseringen har halkat efter utvecklingen och att kraven för optimerare inte motsvarar verkligheten. Ofta är det radioamatörer som uppmärksammar problem med störningar på framförallt de frekvenser som används på kortvågsbandet. När problemet sedan undersöks närmare visar det sig ofta att stora delar av kortvågsbandet är drabbat av störningar. I samma tidning beskrivs sedan problemen med störningar ytterligare, tillsammans med en beskrivning på hur en privatperson med hjälp av sin installatör försökt åtgärda störningsproblemen från optimerarna för att få fortsätta använda solcellsanläggningen [16]. Åtgärderna omfattade att tvinna kablar och lägga dem i kabelkanaler av metall samt att använda sig av ferriter vid optimerarna. Detta är ett omfattande arbete då kablar och optimerare sitter bakom panelerna. Samma tidning har ytterligare två artiklar som beskriver problemen med framförallt optimerare och hur störningar kan minskas med hjälp av ferriter [17, 18].

Liknande problematik har även uppmärksamats av radioamatörer i andra länder. I Nederländerna reagerade en radioamatör på stora problem med sin radiomottagning. Vid mätningar upptäcktes höga störningsnivåer på kortvågsbandet som visades härstamma från en solcellsanläggning med optimerare. Vidare konstaterades att störningar inte bara var begränsade till låga frekvenser utan förekom från 100 kHz upp till över 450 MHz [19].

Nederländska *Agentschap Telecom* (motsvarigheten till PTS), påpekar att man ofta haft god hjälp av radioamatörer gällande lokalisering och rapportering av störning kopplade till solcellsanläggningar. Man poängterar dock att dessa inte är enda källan till rapporter. Under de senaste två åren har man även fått in störningsproblematik kopplat till solcellsanläggningar där individer haft problem att ringa, haft långsam dataöverföring, garagedörröppnare (433 MHz) som inte fungerat samt störning i det digitala radio- (TDAB) och TV- bandet (DVB-T) [20, 21]. Ett konkret exempel på störning som påverkat högre frekvensband var från en solcellsanläggning som installerades på taket på en större matbutik. Störning från anläggningen orsakade en kraftig höjning av brusnivån i omkringliggande område, något som minskade räckvidden hos närliggande radiosystem med hela 80% [20, 21]. Ytterligare ett exempel från Nederländerna var i samband med konferensen GES 2019 i World Forum i Haag. Då stängdes solcellsanläggningen på taket av byggnaden av under tre veckor på grund av störningar [22]. Främst skedde avstängningen för att radiosystemet C2000 (motsvarigheten till Rakel i Sverige) skulle fungera. Att ha fungerande kommunikation för blåljusmyndigheterna under ett stort möte med internationella dignitärer är av största vikt. Avstängningen beslutades av Agentschap Telecom för att skydda radiokommunikationen. Mätningar i närheten av solcellsanläggningar har visat på 10–15 dB skillnad i brusnivå mellan dag och natt på frekvenser som används av C2000.

Även den amerikanska sammanslutningen av radioamatörer har belyst störningsproblematiken med privata solcellsanläggningar i sin tidskrift *QST*. En av dessa artiklar [23] handlar om hur man som radioamatör kan hitta källan till störningsproblem. Enligt författaren, har den vanligaste störkällan de senaste åren varit solcellssystem med optimerare i närheten av mottagaren, ofta inom ca 200 meter. Författaren till artikeln har själv identifierat och anmält nio störande solcellsanläggningar av samma typ i närheten av sin radiomottagare. När artikeln skrevs hade sju av dem åtgärdats av tillverkaren.

3 Mätningar och vetenskapliga rapporter

Redan tidigt i utvecklingen av solceller identifierades EMC-egenskaper som ett möjligt problem. Det har publicerats en mängd artiklar och konferensbidrag om EMC och solcellsanläggningar med olika utgångspunkter. En approach har varit att mäta upp vissa parametrar för en anläggning för att kunna skapa modeller av de elektriska egenskaperna. Ganska ofta riktas arbetet in på en viss delkomponent i systemet som till exempel vilka antennegenskaper en solpanel har. En annan approach är att förbättra EMC-egenskaperna för en komponent som exempelvis växelriktaren eller designa speciella EMI-filtrer för att filtrera bort oönskade signaler. Vi har främst valt ut de bidrag som fokuserat på utstrålade emissioner från delkomponenter eller hela anläggningar.

EU-projektet ESDEPS¹ genomfördes från 1 september 1998 till 31 augusti 2001 och undersökte EMC och säkerhetsaspekter av solcellssystem. Projektet avslutades med en slutrapport 2002 [24]. Inom projektet byggdes försöksanläggningar för mätningar av olika aspekter av solcellssystem och förslag till såväl mätmetoder som standardnivåer togs fram för såväl emission som immunitet. Ett antal EMC-mätningar genomfördes också och bland annat rapporterades att en stor andel av de växelriktare (inverter) som undersöktes inte uppfyllde standardkraven för utstrålad emission. Även mätningar på installerade solcellssystem genomfördes som visade att radiofrekventa störningar förekom och även ett samband mellan kabellängder och utstrålade störningar. Olika typer av mätningar genomfördes också för att beskriva karaktären för ett solcellssystem som impedans och antennfaktor. Projektet ska även ha publicerat en broschyr med rekommendationer för planering och installation av solcellssystem, vilken tyvärr har varit svår att hitta.

EMC-problem har också undersökts för två stora solcellsparker med effekt på över 1 MW [25]. Där konstateras att några av de största EMC-problemen i en nätansluten solcellspark är ledningsbundna och utstrålade störningar i frekvensområdet 150 kHz till 30 MHz. Ledningsbundna störningar från växelriktare på både AC- och DC-sidan mättes upp i några olika punkter och jämfördes med standarder. Det konstaterades att standarden EN-61800-3 (för "power drive systems") tillåter högre nivåer än standarden EN-55011 (för ISM²-utrustning). Mätningarna visade att störningar från växelriktarna fortplantade sig på både DC och AC-sidan i systemet. Författarna ger också några designregler och förslag på layout för byggnation av stora solcellsparker.

Störningar från solcellsanläggningar i befintliga installationer på bostadshus undersöktes i [26]. Störningarna kom från likströmssidan av olika växel-

¹ESDEPS - EMC and Safety Design for Photovoltaic Systems

²Industrial, scientific and medical

riktare. Författarna konstaterar att avsaknaden av krav på likströmssidan i vissa standarder kan leda till betydande störningsproblem, eftersom de långa ledningarna kan agera som antenner för störningarna. Tre olika växelriktare för hemmabruk med effekt under 3 kW undersöktes. Tillverkarna hänvisar till olika standarder i sin dokumentation, som generella standarder eller standarder gällande IT-utrustning för hemmabruk (CISPR22). För de tre olika fallen uppmättes störningar på kortvågsbandet. I ett av fallen konstaterades även störningar i en närbelägen kortvågsmottagare och störningsnivån varierade beroende på vilken växelriktare som användes.

Elsäkerhetsverket genomförde under 2016 EMC-mätningar på solcellsanläggningen Glava Energy Center [27], bland annat för att undersöka ifall anläggningen stör radiokommunikation på frekvenser under 30 MHz. Mätningen syftade till att ge en indikation på vilka störningsnivåer en solcellsanläggning kan orsaka på de frekvenserna. Ett återkommande problem med mätningar som genomförs ute i fält är svårigheten att avgöra vilka källor den uppmätta signalen kommer ifrån. Om de kommer från mätobjektet i sig eller från andra signalkällor belägna i närheten. Den av Elsäkerhetsverket genomförda mätningen fokuserade på att undersöka några av de komponenter i solcellsanläggningen Glava Energy Center som i andra system visat sig orsaka störningar. Dessa komponenter var växelriktare, solceller och kablage. Anläggningen visade sig också innehålla modultimerare som orsakade höga störningsnivåer. Dessa var inbyggda i solcellerna och gick inte att stänga av. Författaren till [27] påpekade att störningarna från dessa påverkade övriga mätresultat. Störningarna förekom framförallt på frekvenser under 30 MHz och rapporten ger också exempel på några olika typer av kommunikation som kan drabbas av störningar från solcellsanläggningen.

I [28] presenteras resultaten från en inledande mätning på en av Fortifikationsverkets solcellsanläggningar. Mätningen genomfördes av FOI i samarbete med FMV och syftade bland annat till att bedöma om eventuella störningsnivåer var så höga att de kan reducera känsliga radiomottagares prestanda. Både ledningsbunden och utstrålad emission mättes. I solcellsanläggningen fanns inga optimerare placerade ute vid solpanelerna, utan de var istället inbyggda i växelriktarna tillsammans med EMI-filer på DC-portarna. Vid mätningarna av de ledningsbundna signalerna observerades en viss höjning av brusnivån på några frekvenser i kortvågsbandet då växelriktaren var påslagen. Även vid mätningen av den utstrålade emissionen uppmärksammades några signaler i kortvågsbandet, men i rapporten nämns att det finns en viss osäkerhet kring om dessa signaler orsakats av solcellsanläggningen. I stort verkar det ha lönat sig att använda komponenter med bra EMC-egenskaper vid byggandet av solcellsanläggningen och inga starkare signaler mättes upp från anläggningen. En erfarenhet från

den inledande mätningen var svårigheten att särskilja mellan störningar från mätobjektet och omgivningen. Anläggningen var placerad i närheten av både bostadsområde och industrier som också kunde ha orsakat störningar. Därför vore det fördelaktigt med en mätning bestående av två tillfällen. En inledande mätning, då den lokala miljön mäts, samt en påföljande, då mätningen inriktas på eventuella emissioner från anläggningen.

Ett tidigt försök att skatta elektromagnetiskt brus från solceller beskrevs i [29]. Farhågan var att omvandlingen mellan lik- och växelström i systemet genererar brus som sedan strålar ut från solcellerna. För att undersöka hur mycket som strålar ut från en solcell matades en känd signal in i en solcell och sedan mättes det utstrålade fältet. Frekvensen för signalen varierades och det utstrålade fältet mättes för olika polarisationer och med och utan jordning av solcellen. I mätfallen uppmättes det starkaste fältet för horisontell polarisation och på frekvensen 65 MHz. Den uppmätta fältstyrkan överskred kraven i CISPR22. Följaktligen måste ledningsbundna störningar i systemet vara svagare än den genererade signalen om EMC-kraven ska kunna uppfyllas.

En liknande undersökning av hur stark utstrålad störning som genereras av en likström i ett solcellsystem har genomförts. Författarna till [30] modellerar en solcell för en rymdfarkost och estimerar utstrålade elektriska och magnetiska fält för en common-mode ström på 1 μ A. Resultat presenteras för frekvenser mellan 1 MHz och 100 GHz, där utstrålade fält i princip ökar med ökande frekvens för samma strömstyrka.

I [31] beskrivs några tekniker för att reducera ledningsbunden EMI på DC-sidan i ett solcellssystem. Växelriktare som konverterar DC till AC orsakar störningar som kan spridas till annan elektrisk utrustning. En förbättrad EMC-situation för utrustningen kan åstadkommas med en flödesanalys där möjliga utbredningsvägar för EMI mellan växelriktaren och utrustningen identifieras. Därefter används lämplig EMI-reducerande teknik beroende på om störningen är ledningsbunden eller strålad. I [31] identifieras följande kombinationer av utbredningsväg och EMI-reducerande teknik:

- Indirekt strålad emission då ledningsbunden EMI från växelriktarens ingång på DC-sidan fortplantas ut på DC-ledningen och därefter transformeras till strålad emission som kan störa utrustningen genom strålad emission.
Åtgärd: EMI-filter på DC-sidan eller på växelriktarens ingång.
- Semiledningsbunden emission då utbredningsvägen liknar den indirekt strålade emissionen men i det här fallet kopplas den strålade emissionen in i utrustningen via inkopplat kablage.
Åtgärd: EMI-filter på DC-sidan eller på växelriktarens ingång.

- Strålad emission från växelriktaren kopplas till den elektriska utrustningen som strålad emission.
Åtgärd: Skärmning.
- Indirekt ledningsbunden emission då strålad emission från växelriktaren kopplas till utrustningens ingång på AC-sidan som ledningsbunden emission.
Åtgärd: Skärmning.
- Indirekt strålad emission uppstår då ledningsbunden emission på växelriktarens utgående AC-ledning övergår till strålad emission som kan störa den elektriska utrustningen.
Åtgärd: EMI-filter på AC-sidan eller på växelriktarens utgång.
- Ledningsbunden emission från växelriktarens utgång leds via ledningen till utrustningen.
Åtgärd: EMI-filter på AC-sidan eller på växelriktarens utgång.

Den strålade respektive den ledningsbundna emissionen reduceras med skärmning respektive med passivt EMI-filter. I [31] utvärderas resultatet då EMI-filtret implementerades på växelriktarens ingång på DC-sidan. På så sätt reduceras EMI som utbredd som indirekt strålad emission och semiledningsbunden emission, dvs. ledningsbunden EMI på DC-sidan och från växelriktarens ingång. EMI-mätningar på frekvensbandet 150 kHz till 30 MHz genomfördes enligt EN55022 klass B. Resultaten visade att det är viktigt att designa EMI-filtret för den elektriska lasten som systemet är avsett att klara av, eftersom en lastökning leder till ökade störningsnivåer. Därför rekommenderas att EMI-filtret designas för att klara den maximala lasten som solcellssystemet är avsett för.

Störningar från DC/DC-omvandlare (optimerare) i solcellsanläggningar för hemmabruk undersöks i [32]. Både simuleringar och mätningar av ledningsbundna och utstrålade störningar redovisas. Som referens vid mätningarna användes krav enligt standard CISPR 11 (grupp 1, klass B) för utstrålad emission i frekvensbandet 30–100 MHz. För 1 meter långa kablar uppfylldes kravet på utstrålad emission, men mätningen visade på tre tydliga toppar som endast var 5 dB under kravnivån. För längre kabellängder ändrades amplituden för topparna och kravet överskreds för en kabellängd på ungefär 3 meter. Båda kabellängderna är avsevärt kortare än vad som kan förväntas i en riktig installation och författarna diskuterar hur problemet ska hanteras. Ett resonemang går ut på att eftersom det kan vara svårt att mäta emission för långa kablar i EMC-mätkammare kan ett alternativ vara att mäta ledningsbundna störningar upp till

108 MHz som för fordonstillämpningar. Vanligtvis mäts ledningsbundna störningar enbart i frekvensområdet 150 kHz till 30 MHz.

Det finns också forskning med syfte att estimerar parametrar för solcellssystem och därmed kunna modellera systemen för att kunna skatta effekter av exempelvis EMI-filer. Ett exempel är [33] som extraherar en ekvivalent brusmodell för ett solcellssystem med mikroväxlerriktare. Mätningarna genomförs i labmiljö där en simulator ersatt själva solcellspanelerna, nästa steg i forskningen är att genomföra samma mätning med riktiga paneler. Utifrån denna modellering är tanken att effektiviteten för olika typer av EMI-filer ska kunna värderas. Samma forskare har tidigare även mätt impedansen för solcellspaneler i frekvensområdet 5-30 MHz [34]. Impedansen uppmättes under olika arbetsförhållanden med syfte att EMI påverkan ska kunna skattas.

Författarna till [35] har mätt störningar från solcellssystem och framförallt växlerriktare för tänkt användning i Brasilien. Ledningsbundna störningar uppmättes i frekvensområdet 150 kHz till 30 MHz och jämfördes med standarden 442 ANATEL. Utstrålad störning mättes i frekvensområdet 30 MHz till 1 GHz och jämfördes med CISPR 22. Två olika uppsättningar av solcellssystem undersöktes, dels ett system avsett för att kopplas mot elnätet (*grid-tied*) och dels ett system som inte kopplas mot elnätet (*off-grid*) utan istället till batterier och annan last. Störningar som överskred kravnivåerna fanns i alla de olika mät-situationerna, men var inte lika kraftiga för systemet som var avsett att kopplas mot elnätet. Mätningar genomfördes i en EMC-mätkammare. Ledningsbundna störningar mättes för båda typerna av system och på flera olika punkter i det frikopplade systemet. För det frikopplade systemet överskreds kravet för frekvenser i bandet mellan 150 kHz och 5 MHz. Det fanns även några toppar för högre frekvenser (under 30 MHz) som tangerade kraven. För utstrålad emission från det fristående systemet överskreds nivåerna för CISPR 22 för 30–80 MHz och 140–190 MHz och det fanns även några toppar för andra frekvenser. Även om inte ett lika stort frekvensområde var drabbat av störningar från systemet anslutet till elnätet, så fanns ändå betydande utstrålade störningar som överskred kravet för frekvenser mellan 45 och 58 MHz.

Under 2015 har FOI, på uppdrag från MSB, genomfört studie över erfarenheter av användning av solcellstekniker för energiförsörjning i fält [36]. Studiens huvudsakliga syfte var att förse MSB med underlag för att kunna sätta samman ett solcellskoncept för att möta olika behov. EMC var inte fokus för studien men det påpekades att växlerriktare med ren sinusvåg rekommenderas att undvika störningar i produkters funktion.

FOI har tidigare skattat påverkan på två olika radiosystem för störningar från solcellssystem. Påverkan på ett kortvågssystem analyserades i [37] med hjälp av Elsäkerhetsverket utifrån mätningar som genomfördes på Glava sol-



Figur 3.1: Exempel på störningar från solcellsanläggning då avståndet mellan solcellsanläggning och radiomottagaren var 20 meter. Färgerna röd/gul/grön betecknar hög/medelhög/låg risk för störning.

energianläggning [27]. Bland annat analyserades minskningen av kommunikationssystemets räckvidd till följd av störningar från en solcellsanläggning på 10-50 meters avstånd. Nivån för de uppmätta störningarna varierade över frekvens och i det värsta fallet var räckvidden endast en femtedel av den ursprungliga, medan för andra frekvenser var kommunikationssystemet opåverkat. Ett exempel på riskområde runt en militär kortvågsmottagare visas i figur 3.1.

Konsekvenser för ett flygradiosystem analyserades utifrån krav på utstrålad emission enligt standarden EN 55022 Klass B i [38]. Den störande signalen modellerades som brus och det antogs att det var den totala emissionen från hela anläggningen som precis uppfyllde kravet i EMC-standard. I tabell 3.1 anges hur kommunikationsräckvidden påverkas av en solcellsanläggning på olika avstånd från radiomottagaren. Resultaten visade att i fall där avståndet mellan solceller och kommunikationssystemets antenner var kortare än 50 meter kunde räckvidden för radiosystemet försämrats avsevärt.

Tabell 3.1: Påverkan på kommunikationsräckvidd för flygradio från solcellssystem.

Avstånd	Räckvidd
10 m	43 %
20 m	59 %
30 m	70 %
40 m	77 %
50 m	82 %

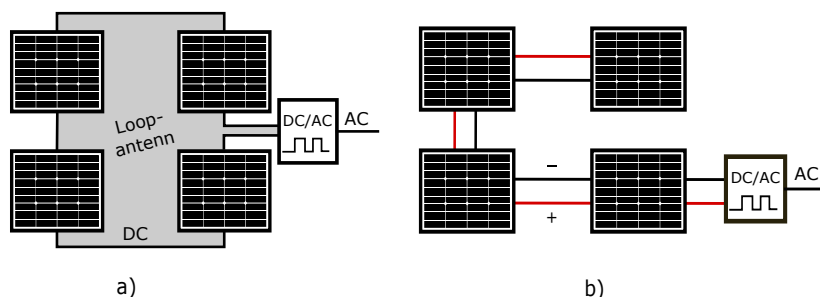
3.1 EMI och reducerande tekniker

EMC-egenskaperna för de ingående komponenterna i en solcellsanläggning påverkar hur anläggningen riskerar att störa annan utrustning. Att det finns relevanta EMC-standarder för komponenter som ingår i en anläggning är viktigt; exempelvis finns det sedan 2017 en standard [11] för växelriktare i solcellssystem där det finns krav även på DC-sidan av växelriktaren. EMC-standarder är en viktig del, men trots att krav finns, uppfylls de inte alltid, vilket visar sig i de marknadsundersökningar som Elsäkerhetsverket och motsvarande myndigheter i andra länder genomför. I EMC-standarder sätts krav på nivåer som ska underskridas i en specifik mätsituation för att tester ska vara jämförbara oberoende av vilket mätlab som genomför dem. Ofta mäts ledningsbundna störningar i kablar som är 1 meter långa och emission på 3 eller 10 meters avstånd. Det är inte alltid som en sådan mätsituation motsvarar en riktig installation av solceller, där kabellängder kan vara 10-tals meter. Längden på kablarna påverkar den utstrålade signalens styrka på olika frekvenser. En annan utmaning är att en stor mängd komponenter kopplas ihop i en installation och trots att varje komponent uppfyller standardkraven, kan anläggningen som helhet generera höga störningsnivåer.

Förutom att uppfylla i standarder tillåtna krav på ledningsbunden och strålad emission finns ytterligare metoder för att begränsa EMI i solcellsanläggningar. Exempelvis har författarna till [25] beskrivit designregler och givit förslag på layout för stora solcellsparker. I [31] beskrivs hur en förbättrad EMC-situation kan åstadkommas med hjälp av flödesanalys där möjliga utbredningsvägar för EMI mellan växelriktaren och utrustningen identifieras. Därefter föreslås lämplig reducerande teknik beroende på om störningen är ledningsbunden eller strålad.

När det gäller EMC-egenskaper för enskilda komponenter är det en utmaning att få switchad kraftelektronik störningsfri. Vid strömmvandling pulsas strömmen och det ger upphov till oönskade signaler. Ett sätt att minska störningar är att inte använda fyrkantspulser utan att införa flackare flanker för pulserna, vilket minskar risken för störningar, men också verkningsgraden. I vissa produkter används "dithering" (kallas ibland "spread spectrum"), där frekvensen ändras och störningen sprids över fler frekvenser. Genom att sprida ut störningen i frekvens kan toppar i frekvensspektrumet undvikas och utrustningen därmed lättare klara EMC-test. Nackdelen är att störningarna finns kvar men inte koncentrerade till en frekvens. Andra tekniker för att undvika EMC-problem är en genomarbetad kretskortdesign, jordning, skärmning och/eller EMI-filter.

För att minska risken för störningar finns det anvisningar för hur en anläggning bör installeras. Bland annat har Svensk Elstandard en handbok [10]



Figur 3.2: Jämförelse mellan kabeldragning vid installation av solcellspaneler. a) Öppen slinga som kan agera som en antenn. b) Plus- och minusledare monteras nära varandra för att minska utstrålad effekt.

för installation av solceller. Där rekommenderas att plus- och minusledare ska monteras nära varandra för att undvika öppna slingor som kan agera som en antenn, se Figur 3.2. Det finns även olika rapporter om åtgärder som vidtagits på installationer som stört. Problemen har ofta varit kopplade till störningar på kortvågsbandet och åtgärderna har inneburit att ferriter används och kabeldragningen ändrats. Dessa åtgärder har kunnat minska störningarna på kortvåg, men verkar inte lika verksamma på högre frekvenser.

I [39] och [40] beskrivs principer för EMC-konstruktion för fasta installationer respektive mobila system. I handböckerna finns metodiken *Behärskad Elektromagnetisk Topologi* (BET) beskriven, som utgår från en topologisk modell där val och utformning av konstruktionslösningar för skärmning och filtrering fördelas på ett balanserat sätt. Metodiken ger både ett integrerat skydd mot yttre hot och begränsning av emission.

Ett sätt att underlätta EMC-arbetet är om metodiken BET kombineras med en flödesanalys för störningars utbredningsvägar. Genom att implementera detta på samtliga systemnivåer i anläggningen erhålls kunskap om eventuella störningsproblem. Att aktivt arbeta med EMC under projektets start till avslut minskar risken för störningsproblem avsevärt.

4 Slutsatser

Under de senaste åren har man i Sverige, men också i andra länder, fått in klart fler inrapporterade störningsincidenter relaterade till solcellsanläggningar än tidigare. Även om det från rapporterade fall inte är givet att enskilda solcellsanläggningar stör mer nu än tidigare, så är det uppenbart att den kraftiga ökningen av antalet solcellsanläggningar kan få existerande störningsproblematik (även om den är liten) att bli mer utbredd. Vidare påpekar Elsäkerhetsverket i sitt tillsynsprojekt att EMC ofta förbises vid installation av solcellsanläggningar, något som kan bidra till att antalet störningsincidenter ökar i takt med att fler anläggningar upprättas.

I majoriteten av de fall där radiostörningar uppmärksammats har det gällt störningar på relativt låga frekvenser, framförallt kortvågsbandet. Kortvågsbandet används bland annat av radioamatörer som varit flitiga på att både uppmärksamma och rapportera radiostörningar. Radioamatörer är däremot inte de enda som påverkas av störningar på kortvågsbandet. Mellan 3–30 MHz återfinns även band allokerade för luftfartsradio, nöd- och säkerhetstrafik inom sjöfarten, samt flera band för militär användning. Vidare är störningsproblematiken inte strikt begränsad till låga frekvenser, något som bekräftas av rapporterad störning av Telias mobiltelefonitrafik i UHF-bandet, störningar på blåljusmyndigheternas radiosystem i Nederländerna samt viss störning av digitala radio och TV-banden, också i Nederländerna.

Vid de rapporterade störningsincidenter som beskrevs i kapitel 2 innehöll den störande solcellsanläggningen så gott som alltid optimerare. Även de vetenskapliga rapporter och mätningar som behandlats i kapitel 3 pekar på risk för störningsproblem från optimerare, men även från växelriktare eller andra elektriska komponenter som kan ingå i en solcellsanläggning. I dessa arbeten belyses även problematiken med att solcellsanläggningar är komplexa system med många delkomponenter och faktorer som påverkar hur mycket anläggningen stör. Till exempel har kabeldragning stor inverkan på hur mycket störning som strålar ut, trots att kablarna i sig inte producerar någon störning. Vidare har det påvisats att EMC-standarder och krav inte alltid uppfylls, samt att krav på vissa områden inte är anpassade för solcellsanläggningar, eller saknas helt. Nämnvärt är dock att det numera finns en produktstandard för växelriktare med krav på såväl ledningsbundna störningar på likströmssidan som utstrålad emission, något som är en stor förbättring. För att kartlägga riskerna och påverkan ytterligare, genomförs störningsmätningar på olika typer av solcellsanläggningar.

Eftersom möjliga störningsproblem och orsaker i viss utsträckning är kända, kan de i många fall också åtgärdas eller begränsas. Åtgärder som visat sig vara framgångsrika är till exempel användandet av EMI-filter i anslutning till

växelriktare, ändring av kabeldragning, samt användandet av ferriter. Sådana åtgärder innebär ofta en extra kostnad, särskilt om insatsen sker efter en färdig installation. Detta beror framförallt på en ökad arbetskostnad i samband med att ytterligare felsökning krävs, samt att panelerna ofta behöver monteras ned för att till exempel kabeldragningen på taket ska kunna ändras eller för att nya komponenter ska kunna introduceras.

Den ökande mängden av anmälningar kopplade till radiostörningar från solcellsanläggningar visar på att detta är ett växande problem. Med tanke på Sveriges klimatmål om förnybar elproduktion förväntas också antal solcellsanläggningar fortsätta öka de kommande åren. Det bedöms därför särskilt viktigt att kunna hantera denna störningsproblematik i ett tidigt skede för att kunna säkerhetsställa funktionaliteten hos militära radiosystem samt samhällsviktiga radiosystem så som Rakel och flygradio.

Referenser

- [1] (2020) Solcellsstatistik 2019 - nu finns 44 000 solcells-anläggningar i Sverige. Energimyndigheten. [Online]. URL: <http://www.energimyndigheten.se/nyhetsarkiv/2020/solcellsstatistik-2019--nu-finns-44-000-solcellsanlaggningar-i-sverige/>
- [2] H. Bahar. (2020) Solar PV. IEA, International Energy Agency. [Online]. URL: <https://www.iea.org/reports/solar-pv#tracking-progress>
- [3] IEA. (2020) Global energy review 2020. IEA, International Energy Agency. [Online]. URL: <https://www.iea.org/reports/global-energy-review-2020>
- [4] (2020) Solelportalen - vägledning om solceller. Energimyndigheten. [Online]. URL: <http://www.energimyndigheten.se/fornybart/solelportalen>
- [5] Emc - elektromagnetisk kompatibilitet. Elsäkerhetsverket. [Online]. URL: <https://www.elsakerhetsverket.se/om-oss/vi-arbetar-med/tillsyn-och-marknadskontroll/EMC/>
- [6] L. Nohrstedt, "Tre problem som batterier i elnätet löser," *NyTeknik*, aug. 2020. [Online]. URL: <https://www.nyteknik.se>
- [7] J. Bengtsson, "Projektrapport: Solel," Elsäkerhetsverket, tekn. rapp. Diarienummer 19EV254, 2020.
- [8] "Informationsbrev - LfV vidtar åtgärder rörande elektromagnetiska samexistensfrågor avseende solenergianläggningar och trådlös energiöverföring," LfV, tekn. rapp. D-2020-188086, 2020.
- [9] C. von Schultz, "Solceller som stör," *Elinstallatören*, s. 16–23, april 2020. [Online]. URL: <https://www.elinstallatoren.se>
- [10] "Solceller Råd och regler för elinstallationen," Svensk Elstandard (SEK), tekn. rapp. SEK Handbok 457, febr. 2019.
- [11] "Photovoltaic power generating systems - EMC requirements and test methods for power conversion equipment," IEC 62920:2017, tekn. rapp., 2017.
- [12] O. Hemlin, "Sammanställning av incidenter i svenska soleanläggningar," RISE, tekn. rapp., nov. 2019.
- [13] C. von Schultz, "Därför stör solcellerna," *Elinstallatören*, 2020. [Online]. URL: <https://www.elinstallatoren.se>
- [14] "Power adapters and plc may interfere," *pveurope*, juni 2020. [Online]. URL: <https://www.pveurope.eu/>

- [15] "Involving the legal system can be costly," *pveurope*, juni 2020. [Online]. URL: <https://www.pveurope.eu/>
- [16] "Lawyers sending threatening letters," *pveurope*, juni 2020. [Online]. URL: <https://www.pveurope.eu/>
- [17] "The dc string as a disturbance transmitter," *pveurope*, juni 2020. [Online]. URL: <https://www.pveurope.eu/>
- [18] "What to do when dc optimizers interfere?" *pveurope*, juni 2020. [Online]. URL: <https://www.pveurope.eu/>
- [19] "Storingen in het frequentie spectrum door zonnepanelen (pv installaties) in amersfoort," <https://www.veron.nl/vereniging/commissies-en-werkgroepen/emc-emf/storingen-en-ontstoren-in-de-praktijk/storing-door-pv-installaties-amersfoort/>.
- [20] "Het voorkomen van etherafval is een zaak van iedereen," *Solar Magazine*, maj 2019. [Online]. URL: <https://solarmagazine.nl>
- [21] E. Hut, "Emc-aspecten van pv-installaties," <https://fhi.nl/app/uploads/sites/42/2019/11/Agentschap-Telecom.pdf>.
- [22] G. Reijn, "Zonnepanelen in Den Haag blijken stoorzender en moeten uit tijdens bezoek Ivanka Trump," *deVolkskrant*, maj 2019, Översatt med Google. [Online]. URL: <https://www.volkskrant.nl>
- [23] R. E. Standke, "Identify and track down RFI," *www.arrl.org, QST*, s. 37–40, maj 2019.
- [24] C. Bendel, T. Degner, N. Henze, J. Kirchhof, G. Klein, H. Lange, C. Trousseau, W. Enders, C. Halter, P. Scheibenreiter, P. Wurm, P. Claus, C. Metzger, A. Schülbe, H. Daub, och K. Stanley, "Emc and safety design for photovoltaic systems," ESDEPS Project - funded by The European Commission, tekn. rapp. Contract JOR3-CT98-0246, 2002.
- [25] R. Araneo, S. Lammens, M. Grossi, och S. Bertone, "EMC issues in high-power grid-connected photovoltaic plants," *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*, vol. 51, nr. 3, s. 639–648, Aug 2009.
- [26] C. Keyer, R. Timens, F. Buesink, och F. Leferink, "In-situ measurement of high frequency emission caused by photo voltaic inverters," i *2014 International Symposium on Electromagnetic Compatibility*, Sep. 2014, s. 74–78.
- [27] H. Olsson, "EMC-mätningar solcellsanläggning Glava energy center," El-säkerhetsverket, tekn. rapp. Dnr 16EV1277, 2016.
- [28] A. Komulainen, P. Eliardsson, och A. Lindblad, "Mätningar av störningar från solcellspark," FOI, tekn. rapp. FOI-R--4871--SE, 2019.

- [29] H. Igarashi och S. Suenaga, "Electromagnetic noise from solar cells," i *Conference Record of the Thirty-first IEEE Photovoltaic Specialists Conference, 2005.*, Jan 2005, s. 1820–1822.
- [30] D. Norte, "Estimating electromagnetic interference from solar panels for space vehicles," i *2019 IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility, Signal Power Integrity (EMC+SIPI)*, July 2019, s. 487–492.
- [31] J. Jiraprasertwong och C. Jettanasen, "Electromagnetic interference in photovoltaic system and mitigation of conducted noise at DC side," i *2016 IEEE Region 10 Conference (TENCON)*, 2016, s. 915–920.
- [32] Z. Kubík och J. Skála, "Electromagnetic interference from DC/DC converter of photovoltaic system," i *2019 International Conference on Applied Electronics (AE)*, 2019, s. 1–4.
- [33] M. Prajapati och K. Y. See, "Extraction of equivalent noise source model from photovoltaic systems," *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*, vol. 61, nr. 3, s. 903–910, 2019.
- [34] —, "Extraction of equivalent impedance of photovoltaic panel under its actual operating conditions," i *2018 IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility and 2018 IEEE Asia-Pacific Symposium on Electromagnetic Compatibility (EMC/APEMC)*, May 2018, s. 1145–1149.
- [35] H. J. Loschi, L. A. S. Ferreira, D. A. Nascimento, P. E. R. Cardoso, S. R. M. Carvalho, och F. D. Conte, "EMC evaluation of off-grid and grid-tied photovoltaic systems for the Brazilian scenario," *Journal of Clean Energy Technologies*, vol. 6, nr. 2, s. 125–133, 2018.
- [36] A. Waleij, D. Westerlund, och B. Liljedahl, "Studie om erfarenheter av användning av solceller i fält," FOI, tekn. rapp. FOI-R--4204--SE, 2015.
- [37] P. Stenumgaard och S. Linder, "Interference impact from solar-panel systems on air traffic control communications," i *2019 International Symposium on Electromagnetic Compatibility - EMC EUROPE*, 2019, s. 1044–1048.
- [38] P. Stenumgaard, S. Linder, och H. Olsson, "Interference impact from solar-panel systems on HF communications," i *Nordic HF 2019*, 2019.
- [39] FMV, "Elektromagnetisk miljö användarhandbok, EMMA Utgåva 2," Försvarets Materielverk, tekn. rapp. M7773-000750, 2002.
- [40] —, "EMMA, mobila tekniska system," Försvarets Materielverk, tekn. rapp. M7773-039891, 2019.

FOI är en huvudsakligen uppdragsfinansierad myndighet under Försvarsdepartementet. Kärnverksamheten är forskning, metod- och teknikutveckling till nytta för försvar och säkerhet. Organisationen har cirka 1000 anställda varav ungefär 800 är forskare. Detta gör organisationen till Sveriges största forskningsinstitut. FOI ger kunderna tillgång till ledande expertis inom ett stort antal tillämpningsområden såsom säkerhetspolitiska studier och analyser inom försvar och säkerhet, bedömning av olika typer av hot, system för ledning och hantering av kriser, skydd mot och hantering av farliga ämnen, IT-säkerhet och nya sensorers möjligheter.



FOI
Totalförsvarets forskningsinstitut
164 90 Stockholm

Tel: 08-55 50 30 00
Fax: 08-55 50 31 00

www.foi.se