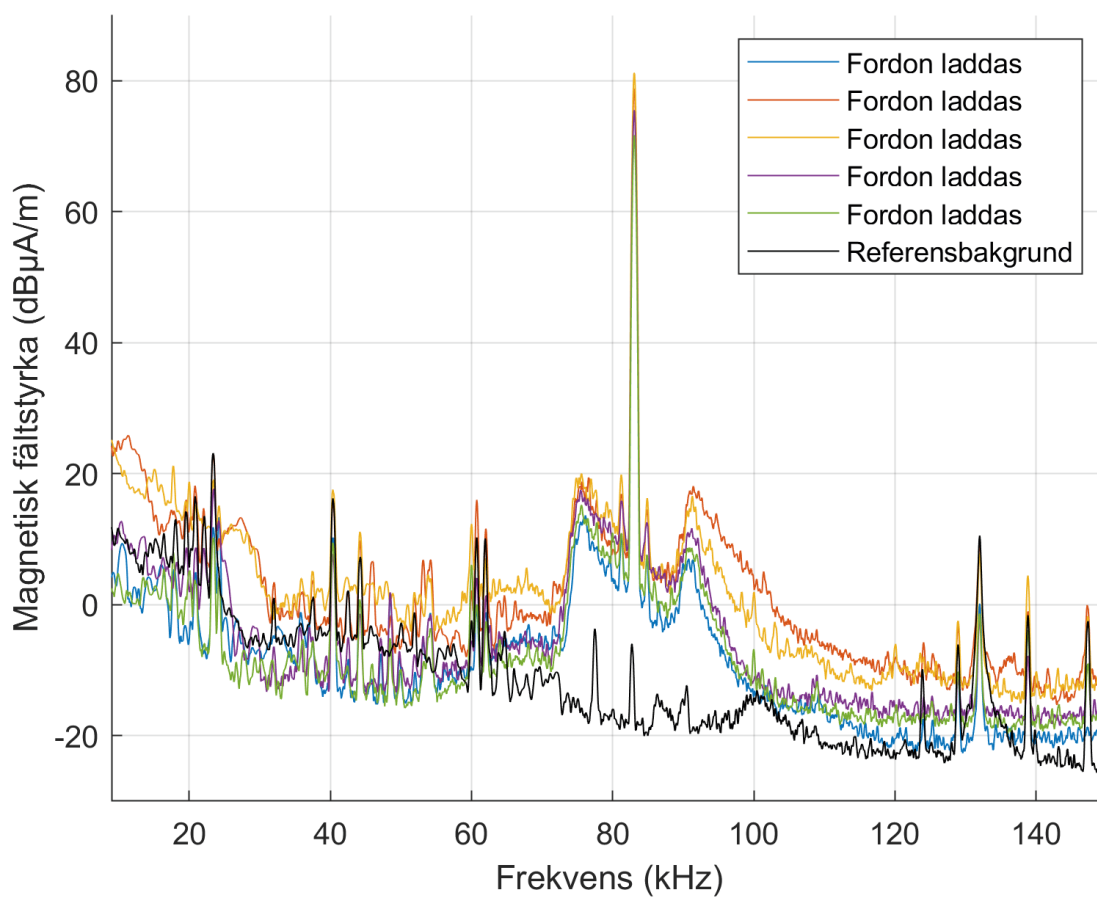


KIA WIKLUNDH, SARA LINDER, SOFIA BERGSTRÖM



Kia Wiklundh, Sara Linder, Sofia Bergström

Telekonflikter och EMC

Resultatredovisning 2022

Titel	Telekonflikter och EMC – Resultatredovisning 2022
Title	Intersystem interference and EMC – Summary 2022
Rapportnr/Report no	FOI-R--5426--SE
Månad/Month	December
Utgivningsår/Year	2022
Antal sidor/Pages	24
ISSN	1650-1942
Uppdragsgivare/Client	FMV
Forskningsområde	Ledningsteknologi
FoT-område	Inget FoT-område
Projektnr/Project no	E7161641
Godkänd av/Approved by	Christian Jönsson
Ansvarig avdelning	Ledningssystem

Bild/Cover: FOI

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

Telekonflikter är ett begrepp för de problem som uppstår då andra nyttosignaler och oavsiktliga elektromagnetiska störningar negativt påverkar mottagningen hos ett kommunikationssystem. Telekonflikter leder till en försämrad förmåga hos sambandssystemen och kan i förlängningen påverka de militära förbandens förmåga. I och med den pågående elektrifieringen i kombination med ett allt mer uppkopplat samhälle ökar risken för telekonflikter.

I följande rapport sammanfattas det arbete som utförts under året inom FOIs telekonfliktsprojekt. Arbetet består av flera olika delar, men syftar alla till att hantera de bekymmer som uppstår vid telekonflikter. Rapporten ger en sammanfattning kring arbetet med solcellsanläggningar, trådlös laddning, elvägar, nya förslag på militära emissionsstandarder, störningsdetektionssystem för att upptäcka och klassificera störningar, störningsrisker med 6G, spread spectrum-teknik för att reducera störningar samt RÖS. Redovisningen är kortfattad och hänvisar vidare till annan dokumentation.

Nyckelord: telekonflikter, elektromagnetisk kompatibilitet, EMC, störningar, solcellsanläggningar, trådlös laddning, elvägar, militära emissionsstandarder, störningsdetektionssystem, 6G, spread spectrum, RÖS.

Summary

Intersystem interference is the problem that arise when other radio signals and unintentional electromagnetic interference adversely affect the reception of a communication system. Intersystem interference leads to a deterioration of the communication system performance and may affect the overall abilities of the military forces. The risk for intersystem interference increases with the ongoing electrification in combination with an increasingly connected society.

The following report summarizes parts of the work carried out during the year within FOI's intersystem interference project. The work consists of several different parts, but all aim to deal with the concerns that arise due to intersystem interference. The report provides a summary of the work on photovoltaic installations, wireless charging, electric roads, new proposals for military emission standards, interference detection systems to detect and classify interference, interference risks with 6G, spread spectrum technology to reduce interference and compromising emanations. The report is brief and refers further to other documentation.

Keywords: Intersystem interference, electromagnetic compatibility, EMC, interference, photovoltaic installations, wireless charging, electric roads, military emission standards, interference detection systems, 6G, spread spectrum, compromising emanations.

Innehållsförteckning

1	Inledning	7
2	Verksamhet.....	9
2.1	Solcellsanläggningar.....	9
2.2	Trådlös laddning	11
2.3	Elvägar.....	13
2.4	Nya militära emissionsstandarder	13
2.5	Störningsdetektionssystem.....	14
2.5.1	Automatisk upptäckt och klassificering av störningar	14
2.5.2	Pandemieffekter på GPS-störningar.....	14
2.6	Kommersiella system.....	17
2.7	Spread spectrum-teknik för att klara emissionskrav	19
2.8	Telekonfliktverkyget Genesis.....	20
2.9	RÖS	21
3	Sammanställning och framtida utmaningar.....	22
4	Referenser.....	23

1 Inledning

Dagens samhälle genomgår en omfattande digitalisering och elektrifiering. Det sker en utveckling av smarta samhällen, automatisering och förnybar elproduktion. Utvecklingen innebär nya tekniska lösningar och möjligheten till klimatsmarta åtgärder. Den innebär också en ökande användning av trådlösa kommunikationssystem i samhället generellt, men också för samhällskritiska tjänster.

Nya tekniker kommer att tillämpas inom exempelvis Internet-of-Things (IoT), fordonskommunikation, elfordon, fordonsradar, elvägar, trådlös laddning av fordon och elproduktion med vindkraft och solceller. Många av teknikerna används redan idag och användandet förutspås öka avsevärt de kommande fem åren, såväl i kända, som ännu inte kända tillämpningar. Utvecklingen av IoT och införandet av 5G/6G pekar mot mycket höga densiteter av trådlösa enheter.

Omställningen som samhället står inför i form av elektrifiering och trådlös uppkoppling är omfattande och införande sker på bred front. Många elektriska utrustningar innehåller elektriska omvandlare som är kända för att skapa elektromagnetiska störningar. Dessutom innebär ofta nya typer av produkter att EMC-standarder inte är anpassade till de nya produkterna. Sammantaget innebär utvecklingen inom elektrifieringen och trådlös teknik att det finns en ökad risk för elektromagnetiska störningar som kan påverka totalförsvarets verksamhet negativt. I militära sammanhang kallas problemen med oavsiktliga störningar för telekonflikter. Telekonflikter kan leda till en försämrad förmåga hos sambandssystemen och, i förlängningen, påverka de militära förbandens förmåga. En typisk konsekvens av problemet är att radions kommunikationsräckvidd minskar.

Risken för telekonflikter är påtagliga på militära plattformar, eftersom det ofta finns många radiosystem på en liten yta. Att åtgärda telekonflikter i ett sent skede är mycket kostsamt och i vissa fall helt omöjligt. Därför är elmiljön ett område som särskilt bör beaktas i hela verksamhetsprocessen då radiosystem, elektriska utrustningar och plattformar kravställs, designas, utvecklas och upphandlas. Telekonfliktsanalyser bör också genomföras inför arbetet att integrera radiosystem och elektriska utrustningar på plattformar.

FOI har en årlig beställning av FMV inom området telekonflikter, EMC¹ och RÖS². Arbetet har som syfte att på både kort och lång sikt kunna stötta FMV och FM inom området. Arbetet på kort sikt är att ta fram tekniskt underlag som FMV och FM behöver i närtid och att delta på mötet för att stötta med expertkunskap. Arbetet på lång sikt består i att bedriva forskning inom områden för att exempelvis identifiera nya potentiella störningsrisker eller att utveckla metoder för att kunna göra telekonfliktsanalyser. Under året har stort fokus legat på störningar från solceller, trådlös laddning av fordon och elvägar.

I följande rapport sammanfattas kortfattat delar av det arbete som utförts under 2022. För mer information om de olika delarna hänvisar rapporten till specifik dokumentation i form av andra rapporter och konferensbidrag.

Rapporten sammanfattar arbetet kring:

- solcellsanläggningar,
- trådlös laddning,
- elvägar,
- nya förslag på militära emissionsstandarder,

¹ EMC: Engelskans electromagnetic compatibility

² RÖS: Røjande signaler

- störningsdetektionssystemet med nya AI-algoritmer för att upptäcka och klassificera störningar, och analys av förekomsten av störningar,
- kommersiella kommunikationssystem med inriktningen mot störningsrisker med 6G,
- spread spectrum-teknik som emissionsreducerande teknik, och
- RÖS.

2 Verksamhet

Kapitlet beskriver kortfattat de huvudsakliga verksamheterna under året.

2.1 Solcellsanläggningar

De senaste åren har FOI arbetat med att undersöka störningsriskerna från solcellsanläggningar. Det har förekommit störningsincidenter i flera typer av radiosystem, exempelvis motsvarigheten till Rakel, en basstation för mobiltelefoni och radiosystem på kortvågsbandet. Mätningar har hittills visat att solcellsanläggningar kan utgöra en störningsrisk på lägre frekvenser, upp till 450 MHz. Den huvudsakliga karaktären på de genererade signalerna är mycket smalbandig och härrör ofta från optimerare eller växelriktare i anläggningen. Det bör dock nämnas att effektnivåerna på de utstrålade signalerna från solcellsanläggningar som FOI eller andra har mätt på kan skilja sig åt avsevärt. Vissa solcellsanläggningar emitterar högre nivåer, medan andra anläggningar har försumbar emission.

Det finns flera bekymmer som påverkar störningsrisken. Solcellsanläggningar karaktäriseras av långa kablage som är formade som stora loopar på taket och som kan fungera som en antenn. Det finns brister i eller till och med saknas EMC-standarder. Det är enbart växelriktare som har en produktstandard och anläggningen som helhet testas inte. Emissionskrav saknas för lägre frekvenser. Vissa anläggningar är utrustade med optimerare (DC/DC-omvandlare) vid varje panel. Dessa omfattas inte av en egen produktstandard, men har i vissa fall visat sig orsaka störningsproblem [1]. Det har också visat sig vid marknadskontroller att en stor andel optimerare inte uppfyller EMC-kraven [2].

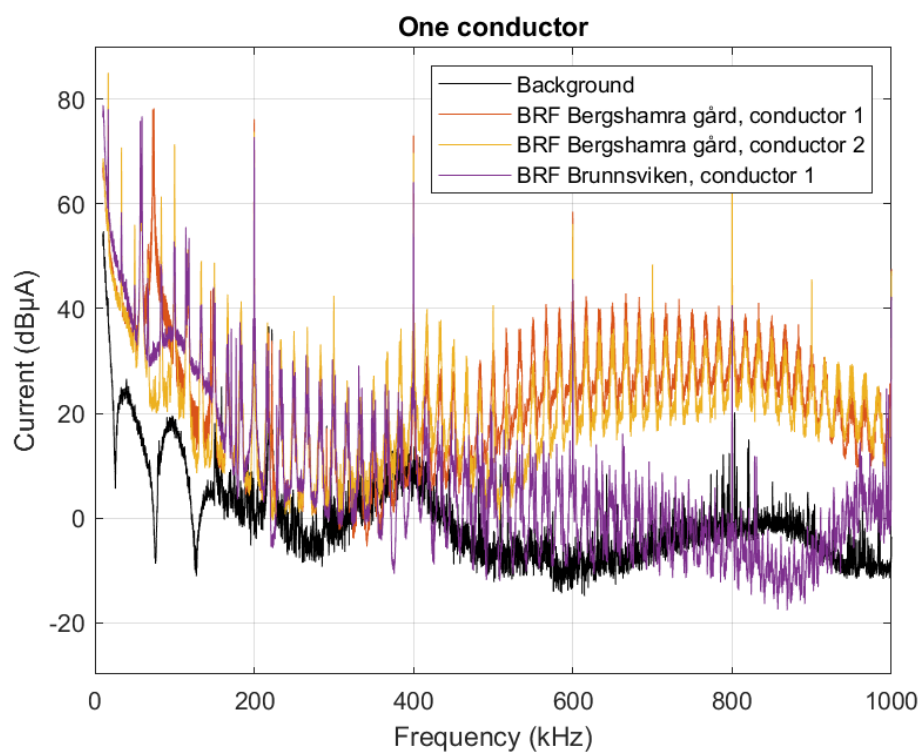
22-23 juni 2021 genomfördes mätningar i Bergshamra i samarbete med Elsäkerhetsverket, se flygfoto av området i Figur 1. Solcellsanläggningar fanns i alla tre bostadsrättsföreningar som är markerade i figuren. Alla solcellsanläggningar var av samma typ med växelriktare och optimerare på solcellspanelerna på taket. Under 2022 har mätningarna analyserats och sammanställts i en rapport [3]. Mätningar gjordes både på ledningsbunden och utstrålad emission. Ledningsbunden emission mättes för frekvenser 10 kHz–200 MHz och utstrålad emission för 10 kHz–1 GHz. Mätningar genomfördes när växelriktare i anläggningarna var på- respektive avslagna. De ledningsbundna mätningarna visade att även om växelriktaren är avslagen så finns signaler i anläggningen. När växelriktaren var på, genererades ett antal karaktäristiska signaler som var repetitiva i frekvens, exempelvis med 200 kHz mellanrum, se Figur 2. Dessa signaler fanns även i flera av emissionsmätningarna på olika frekvensband, exempel finns i Figur 3. De uppmätta störningsnivåerna varierade för de olika frekvensbanden, de olika installationerna och de olika mätplatserna, men visade på en tydlig ökning av uppmätta nivåer då växelriktaren slogs på.

Arbetet resulterade också i en presentation på EMC Europe 2022 i workshopen *EMC aspects of electrification of the society* och i ett konferensbidrag [4].

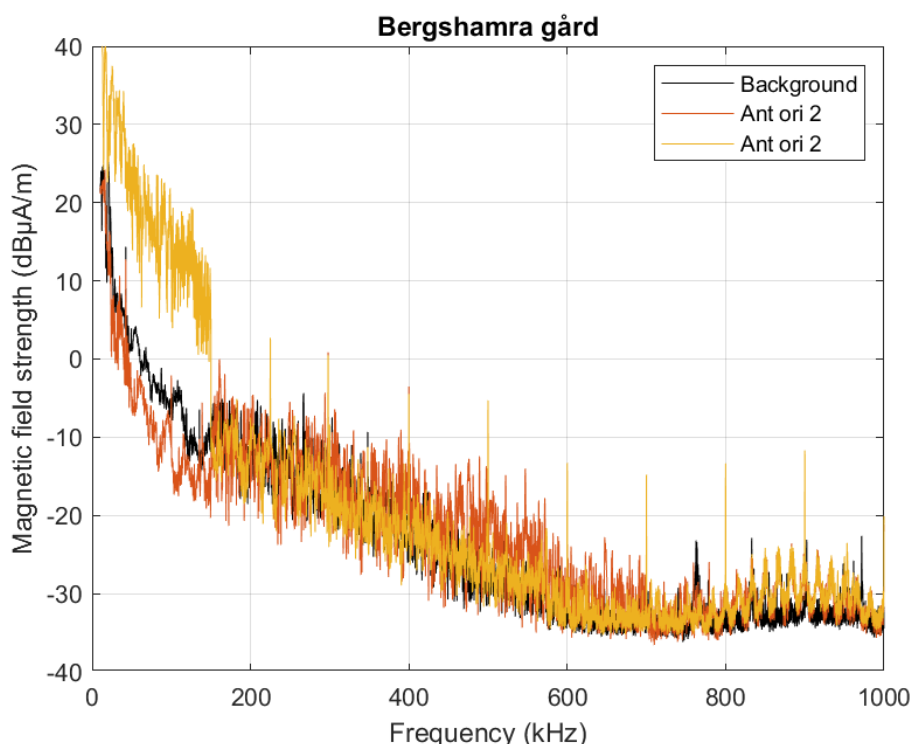
Under året har ett närliggande arbete genomförts på uppdrag av Swedavia [5]. I arbetet har nödvändigt skyddsavstånd för att undvika störningar mellan solcellsanläggningar och ett antal mottagarsystem beräknats. Analyserade system är kommunikations- och navigationssystem som är kritiska för flygsäkerhet. Vid analyserna modelleras emissioner från solcellsanläggningen enligt de emissionskrav som gäller inom EU eller med striktare krav som kan ställas i närheten av flygplatser. Metoden som utvecklats i arbetet kan nyttjas i kommande arbete med att ta fram skyddsavstånd för solcellsanläggningar för Försvarsmakten.



Figur 1. Foto av området där mätningarna genomfördes. (Källa: Lantmäteriet).



Figur 2. Ledningsbundna mätningar runt en ledning då inverteraren är på.



Figur 3. Utstrålad emission för frekvensområdet 10 kHz till 1 MHz.

2.2 Trådlös laddning

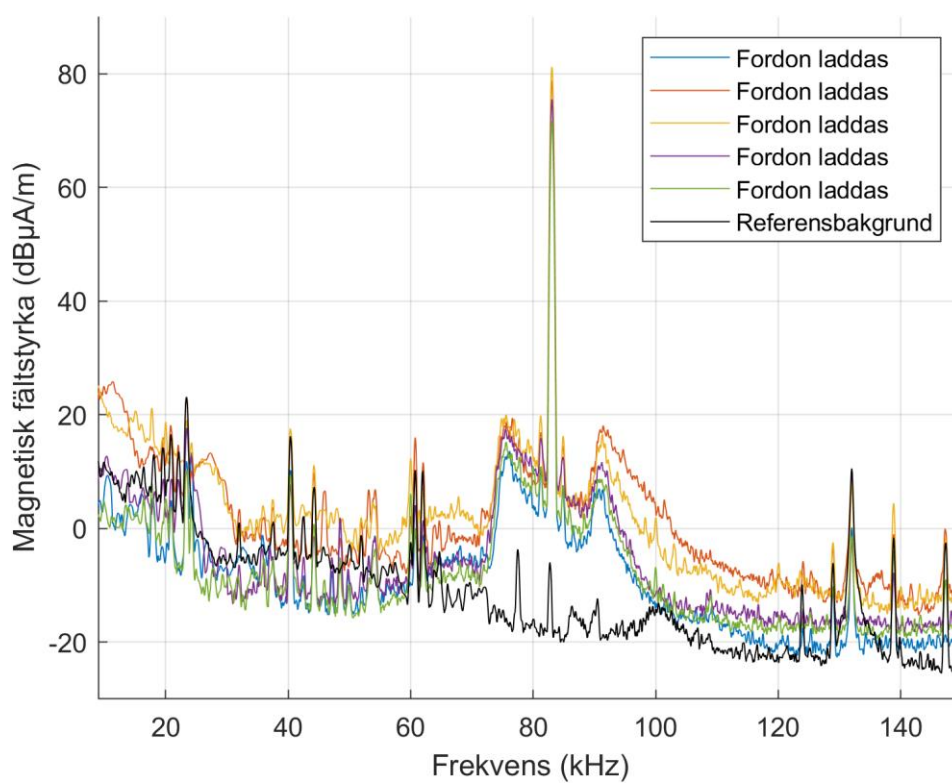
Den 5-7 juli genomfördes emissionsmätningar på en trådlös laddstation. Utbyggnaden av laddstationer är en del i samhällets pågående elektrifiering. Syftet med trådlösa laddstationer är att kunna ladda fordon trådlöst med hjälp av induktion. Laddstationen består av en laddplatta i marken som via en spole överför energi till en spole som sitter under golvet i fordonet. Figur 4 visar en bil som parkerat på en plats för trådlös laddning. Laddaren är placerad under det blå området under bilens framsida och som enklast ses i den andra parkeringsrutan. Tekniken uppskattas finnas på marknaden om ca 18 till 24 månader.

Eftersom tekniken bygger på induktion, finns en farhåga att tekniken kan skapa radiostörningar. Systemen sänder en signal i frekvensbandet 79-90 kHz och för fordonsladdning är det mycket energi som ska överföras vilket leder till att signalen är relativt stark. Eftersom det är en relativt ny teknik och tillämpning så finns inte avsedda emissionsstandarder att följa som är harmoniserade inom EU. Det finns olika förslag på emissionsnivåer för standarder och även analyser som pekat på risker för störning av andra system, bland annat för radio på mellanvåg, kortvågssystem osv [6, 7]. Eftersom det behövs mer information kring bland annat emissionsnivåer har mätningar gjorts på en av de först byggda anläggningarna i Sverige.

Figur 5 visar resultat från några av mätningarna då bilen laddades trådlöst. Den svarta kurvan visar bakgrundsmiljön på platsen, dvs. med systemet avslaget och de andra visar resultat på 3 meters avstånd i frekvensområdet 9–150 kHz. Laddningssignalen syns tydligt på 83 kHz och även med lägre nivåer på omgivande frekvenser. I [21] redovisas mätresultat och detaljer om mätningen.



Figur 4. Bil parkerad på plats för trådlös laddning.



Figur 5. Resultat från emissionsmätning då bilen laddades via trådlös laddning.

2.3 Elvägar

Under 2021 genomfördes mätningar av elvägar som var baserade på tre olika tekniker, med såväl konduktiv som induktiv teknik. Mätningarna är avrapporterade i [8-10] och en sammanställning finns i [11].

Under 2022 har arbetet bestått i att undersöka hur emission från elvägarna kan påverka Försvarens kortvågsradiosystem. Kortvågssystem valdes eftersom mätningarna visade att det förekom relativt mycket emissioner från elvägarna i det frekvensbandet samtidigt som kortvågssystem är ett viktigt kommunikationssystem för Försvarens. Dessutom har även andra studier visat på behov av långa skyddsavstånd i kortvågsbandet [6, 8]. I analyserna har mätningar, men även olika emissionsstandarder använts. Arbetet har resulterat i rekommendationer om vilka skyddsavstånd som krävs för att kortvågssystemet inte ska påverkas. Arbetet finns rapporterat i [20] och redovisar nödvändiga skyddsavstånd mellan elvägar och Försvarens kortvågssystem.

FOI har även stöttat FMV och Försvarens i form av expertstöd i diskussioner kring elvägar i olika sammanhang. Exempel på sådana är diskussioner med Trafikverket inför pilotprojektet med en permanent elväg mellan Örebro och Hallsberg.

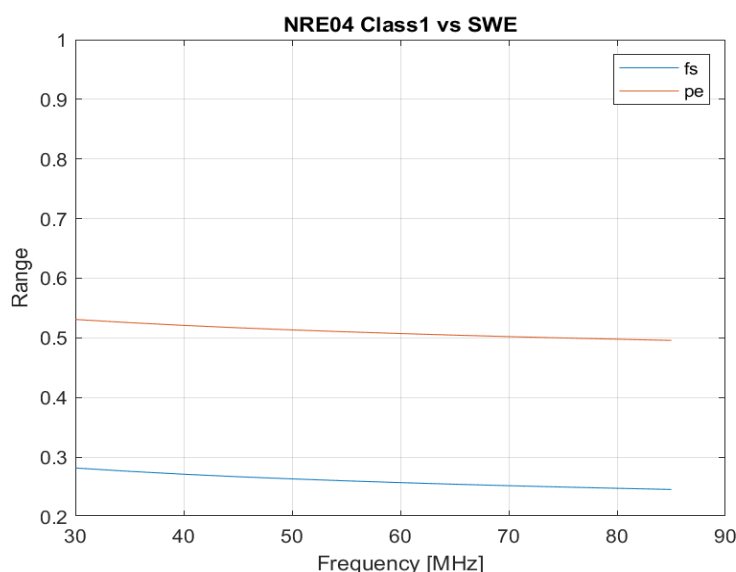
Det är oklart hur omfattande det kommande införandet av elvägar blir framöver. Om elvägar införs på bred front kommer EMC-aspekterna att bli en mycket aktuell fråga de närmaste åren eftersom det är en ny tillämpning av teknik där mycket energi ska överföras mellan infrastruktur och fordon. Det handlar ofta om stora installationer där emissionen bland annat beroende på vilken teknik som väljs. Dessutom påverkar även kabeldragning, valet av ingående komponenter och den miljö elvägen installeras i. Eftersom det är en ny teknikutläggning saknas relevanta standarder för tillverkare att förhålla sig till avseende emissionskrav och det är inte givet att samma krav kommer att gälla för olika typer av elvägstekniker (t.ex. konduktiv och induktiv). Sammantaget innebär det att elvägar är en komplex frågeställning att förhålla sig till där kunskap och information till viss del saknas. Samtidigt är det viktigt för Försvarens att bevaka utvecklingen och kunna tillämpa relevanta skyddsavstånd utifrån nuvarande kunskapsläge.

2.4 Nya militära emissionsstandarder

Det finns en rad olika militära emissionskrav som används för att reglera emissionen på militära plattformar. Emissionskraven har stor betydelse i kravställningen vid upphandling av nya plattformar och är till för att säkerställa att radiomottagare på plattformen kommer att fungera och inte få försämrade kommunikationsräckvidd.

Inom en arbetsgrupp för militära emissionsstandarder för markplattformar inom Nato pågår det diskussioner om att förändra emissionskraven. Förslaget är att höja emissionskraven till Klass 1, NRE04S, för taktiska radiosystem. Det innebär att emissionsnivåerna tillåts vara högre. För att förstå konsekvenserna av förändringen har förslaget jämförts med de nivåerna som används idag av Sverige och Norge. Konsekvenserna undersöks i form av hur kommunikationsräckvidden minskas genom att tillåta högre emissionsnivåer jämfört med de nivåer som vanligtvis används idag.

De preliminära analyserna visar på att kommunikationsräckvidden minskar till omkring 50 % av ursprunglig kommunikationsräckvidd på frekvensområdet 30-88 MHz om kraven ändras från dagens svenska nivåer, som är mycket restriktiva, till det föreslagna Klass 1, NRE04S. Beräkningar av minskad kommunikationsräckvidd till följd av att tillämpa NRE04S jämfört med att använda svenska nivåer visas i Figur 6. Likande resultat fås även på frekvensområdet 225-400 MHz. Arbetet är pågående.



Figur 6. Reduktion av kommunikationsräckvidden vid tillämpning av NRE04S jämfört med att använda svenska nivåer. Beteckningen *fs* anger att beräkningar är gjorda med användning av en fri rymd-kanalmodell och *pe* att beräkningarna är gjorda med en plan-jord-modell.

2.5 Störningsdetektionssystem

Arbetet har bestått av två delar. Huvuddelen är inriktad på automatisk upptäckt och klassificering av störningar.

2.5.1 Automatisk upptäckt och klassificering av störningar

Under året har vi arbetat med att ta fram en metod för att upptäcka och klassificera störningssignaler som kan förekomma i radioband med hjälp av artificiell intelligens (AI). Arbetet är pågående och just nu inriktat på att upptäcka störningar på Rakel-bandet, där signalema utgörs av DQPSK³-signaler. Upptäckt och klassificering av olika typer av störningssignaler ska ske automatisk med hjälp av maskininlärning. För att lära upp algoritmerna behövs data med kända kommunikationssignaler och olika typer av störningssignaler. I ett första steg genereras signaler i Matlab, för att i nästa steg kunna använda de utvecklade algoritmerna på uppmätta signaler.

FOI har också stöttat FMV i uppföljningen av ett uppdrag som utförts av företaget Clavister. Uppdraget har finansierats av FMVs militära innovationsprogram inom området Rymd. Uppdragets inriktning har varit att upptäcka störningar på ett satellitkommunikationsband med hjälp av AI.

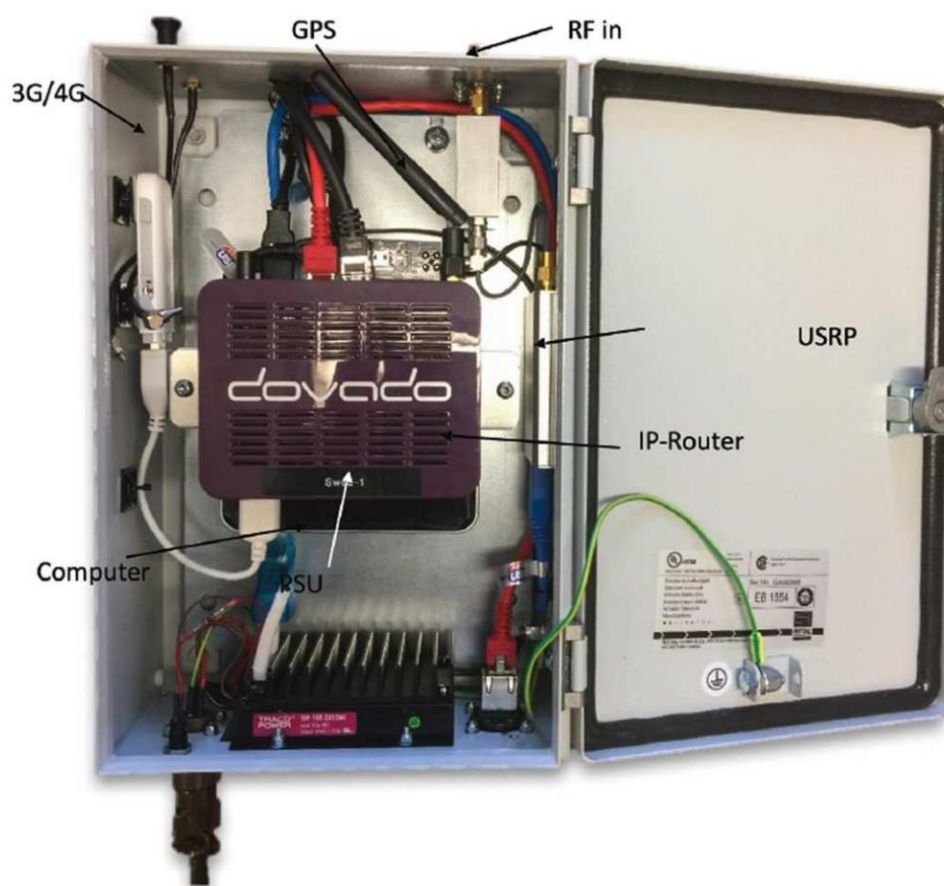
2.5.2 Pandemieffekter på GPS-störningar

FOI har tidigare tagit fram ett störningsdetektionssystem (RF Oculus) som kan upptäcka störningar på GNSS⁴-bandet, som används för bland annat GPS⁵-signaler, se Figur 7. Detektionssystemet används för att genomföra långtidsmätningar på några olika ställen i Sverige. Störningar på GNSS-bandet kan orsaka allvarliga konsekvenser, eftersom GNSS både är lättstört och används för många kritiska tillämpningar såväl för att navigera som

³ DQPSK: Differential Quadrature Phase Shift Keying

⁴ GNSS: Global Navigation Satellite System

⁵ GPS: Global Positioning System

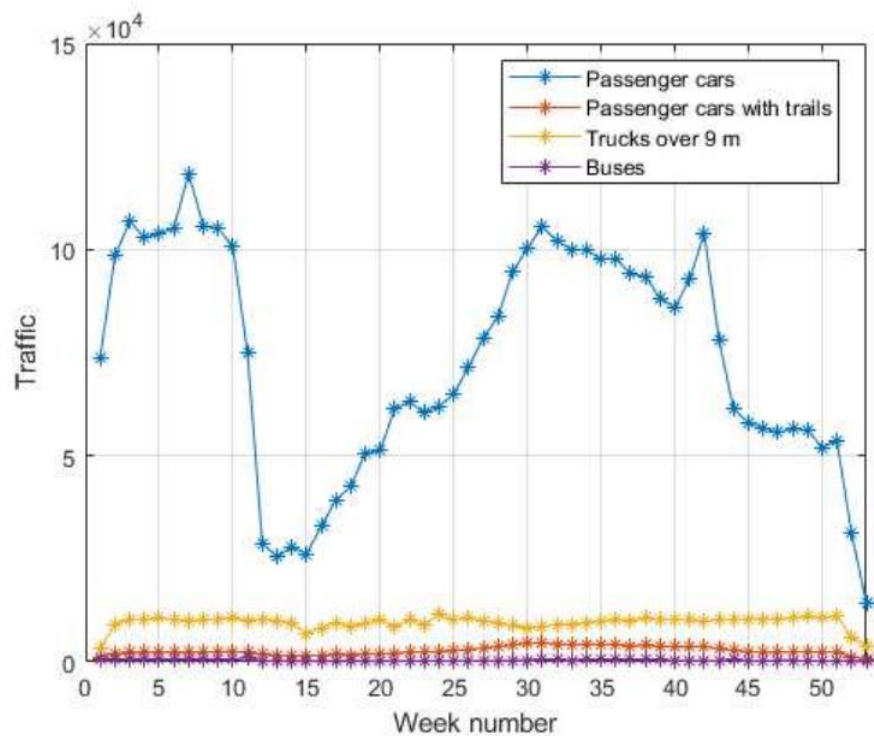


Figur 7. Störningsdetektionssystemet RF Oculus utvecklat av FOI.

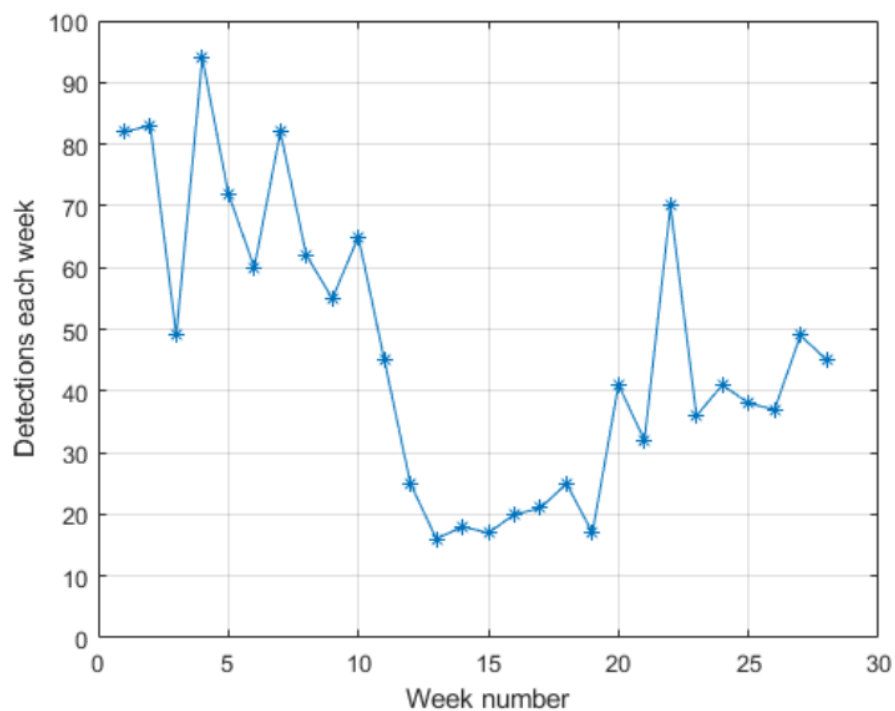
för att tidssynkronisera många system. RF Oculus prestanda, bland annat i form av systemets mottagarkänslighet, har undersökts och finns rapporterad i [12].

Långtidsmätningar har genomförts i det civila GPS-bandet L1 på tre platser i Sverige; i närheten av Öresundsbron, hamnen i Karlshamn och nära Arlanda flygplats. Eftersom systemen var aktiva under inledningen av pandemin var det intressant att undersöka om antal störningsincidenter på GPS-bandet påverkades av det förändrade trafikmönstret. Bland annat stängdes tidvis Öresundsbron av för privattrafik under våren 2020 och antalet fordon minskade drastiskt, se Figur 8.

Mätresultaten visade på att det främst är personbilar som orsakar det största bidraget till störningsincidenterna, vilket kan ses i Figur 8 och Figur 9. Både antalet incidenter och den uppmätta effektnivån sänktes under nedstängningen. Arbetet presenterades som konferensbidrag på EMC Europe 2022 [13].



Figur 8. Antalet fordon inom olika kategorier under 2020 över Öresundsbron.



Figur 9. Antalet störningsincidenter på det civila GPS-bandet (L1) under vecka 1 till 28 under 2020 vid Öresundsbron.

2.6 Kommersiella system

Samtidigt som 5G håller på att införas, pågår forskning för nästa mobiltelefonigeneration 6G. Forskningen är i sitt inledningsskede och inga delar finns standardiserade än. Dock har olika aktörer publicerat sin syn om 6G och generella principer och nyckelparametrar kan anas. Det är därför intressant att se hur dessa visioner kan påverka EMC-området och risken för störningar [14-16].

Några omedelbara konsekvenser som kommer att påverka på EMC kan kopplas till följande visioner i 6G:

- Betydligt högre densiteter av samlokaliserade trådlösa enheter ger en mer krävande elektromagnetisk miljö.
- Dynamiska oförutsägbara samlokaliseringsscenarier, med en ökad mängd autonoma och flygande objekt, innebär en mer oförutsägbär interferensmiljö.
- Nya frekvensband, med okända immunitets- och emissionsegenskaper för produkterna. Detta måste undersökas och hanteras för att uppnå EMC.
- Betydligt högre frekvenser samt större bandbredder än vad som används vid nuvarande EMC-testning kräver vidareutveckling av EMC-testmetodik och utrustning.
- Enheter som innehåller utrustning för flera olika frekvensband kräver noggranna EMC-analyser i ett tidigt designstadium.
- En ökning av andra enheter än smartphones för kommunikation, t.ex. VR-glasögon, kroppsimplantat och olika typer av sensorer skapar nya EMC-problem som är relaterade till samlokalisering.
- Integration av multifunktionsenheter, s.k. communications, computing, control, localization and sensing (3CLS), i samma system skapar nya EMC-problem som behöver hanteras.
- Införandet av elektromagnetiska smarta ytor, s.k. reconfigurable intelligent surfaces (RIS), ger nya utmaningar med avseende på t.ex. vågutbredningsproblem och elektromagnetiska egenskaper för olika ytbeläggningar.

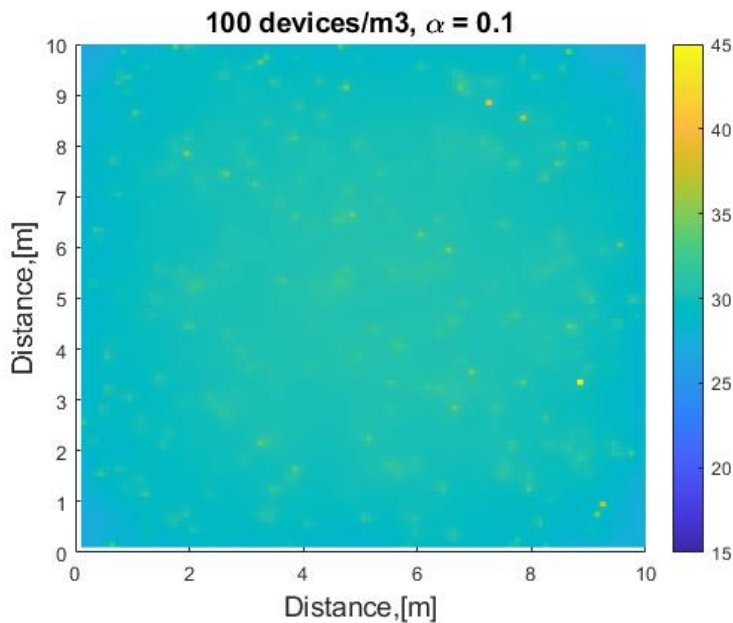
Betydligt högre frekvenser, bandbredder och högre densitet av utrustningar kommer automatiskt att ge nya EMC-utmaningar. Tabell 1 visar en förutsägelse av möjliga utrustningsdensiteter i olika scenarion [16]. Det är speciellt de höga densiteterna i kombination med en användning av riktantenner som kan skapa mycket dynamiska och oförutsägbara störningssituationer och behöver beaktas i framtida EMC-standardiseringsarbete. Riktantenner används redan idag i form av multiple-input multiple-output (MIMO)-teknik i 4G, 5G och WiFi-system, men förväntas bli alltmer vanligt då högre frekvenser används framöver.

EMC-utmaningarna i nästa generations mobiltelefoni 6G presenterades på EMC Europe [19]. Figur 10 och Figur 11 visar resultat för ett scenario med 100 enheter/m³ och olika aktivitetsfaktorer. Enheterna antas vara slumpmässigt utspridda inom en kub med bas om 10

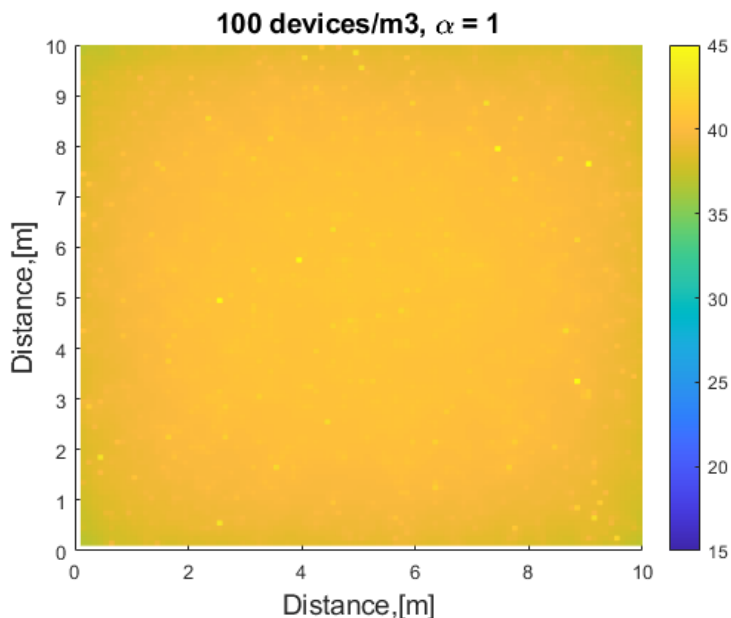
Tabell 1. Densiteter för olika typscenarier [16].

Scenario	Densitet
Industri, massive Machine Type Communications (mMTC)	100/m ³
Industri, enhanced Ultra Reliable Low Latency Communication (eURLLC)	10/m ³
Mobilitet	100/m ³
eHealth	1/m ³
Energiområdet	10/m ³
Finansområdet	1/m ³
Public safety-området	1/m ³
Jordbruksområdet	100/km ³

m och figurerna visar mottagen störningseffekt i ett snitt av kuben. En densitet på 100 enheter/ m^3 förutspås vara ett lämpligt värde på densiteten av enheter i framtida industri (Industry mMTC) eller mobila (Mobility) scenarier. Enheterna antas sända på samma frekvens, 60 GHz, med 10W, vilket motsvarar 70 dB μ W och överensstämmer med EUs regelverk för maximal medeleffekt inklusive antennförstärkning på det aktuella bandet [18]. Resultaten visar att den stora mängden utrustning kan innebära en höjning av den omgivande brusmiljön.



Figur 10. Mottagen störningseffekt i dB μ W i ett snitt från en 10 metersvolym med 100 enheter per m^3 , med en aktivitetsfaktor på 0.1.



Figur 11. Mottagen störningseffekt i dB μ W i ett snitt från en 10 metersvolym med 100 enheter per m^3 , med en aktivitetsfaktor på 1.

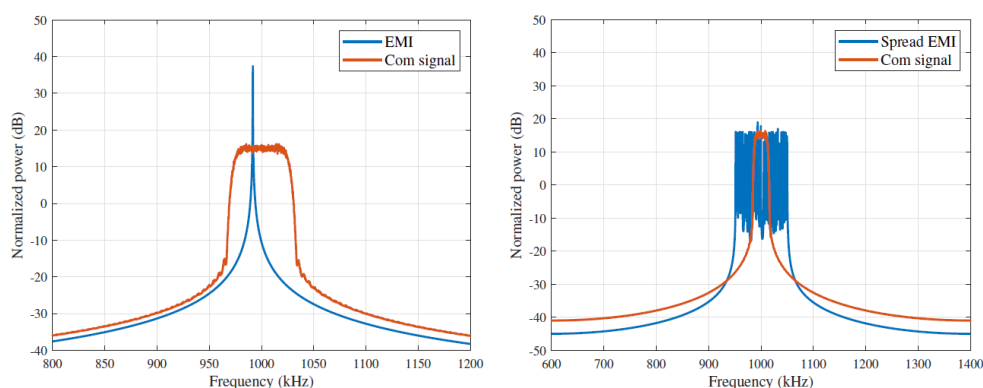
2.7 Spread spectrum-teknik för att klara emissionskrav

Spread spectrum är från början en militär kommunikationsteknik som har blivit vanlig i digitala kretsar i klockor och omvandlare i syfte att minska nivån på elektromagnetiska störningar (EMI). Tekniken är mycket vanligt förekommande i switchad elektronik och finns i mängder av produkter, allt från fordon till solcellsanläggningar. Grundtanken bakom tekniken är att sprida effekten till en större bandbredd för att minska interferensnivån som mäts upp och därmed öka sannolikheten att klara emissionskrav.

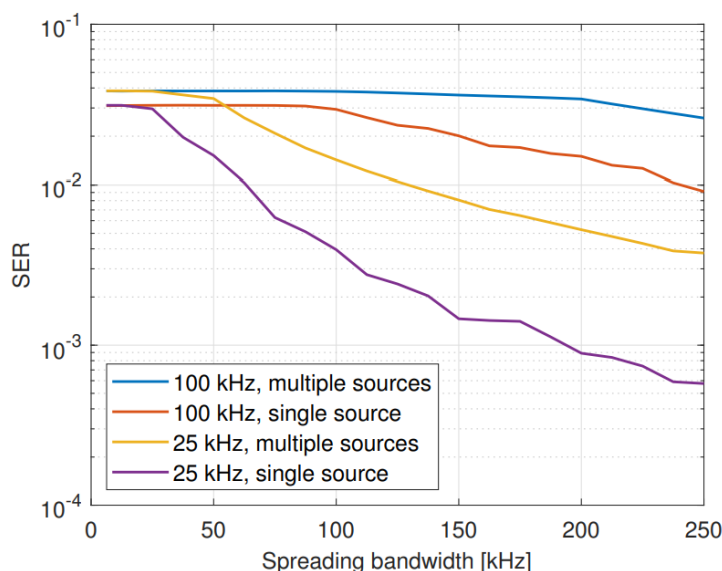
Vi har analyserat påverkan på radiomottagare om spread spectrum-tekniken används. Om tekniken får någon effekt på radiomottagningen beror på relationen mellan kommunikationsmottagarens bandbredd och spread spectrum-teknikens spridningsbandbredd. I arbetet utreds dessutom den aggregerade effekten från flera spread spectrum-enheter.

Figur 12 visar, till vänster, signalen när den är ospridd (blå linje) och till höger när signalen är spridd till en bandbredd som är större än kommunikationssystemets bandbredd. Om spridningsbandbredden är större än kommunikationsbandbredden hamnar den spridda effekten till stor del utanför kommunikationsbandbredden. Som kan ses i figuren sjunker nivån då signalen sprids med hjälp av spread spectrum-tekniken. Om däremot spridningsbandbredden är mindre än kommunikationsbandbredden kommer alla störningseffekt in i mottagaren. Figur 13 visar hur ett smalbandigt respektive bredbandigt kommunikationssystem påverkas av en eller flera störande enheter med olika spridningsbandbredd. Effekten av spridningstekniken är tydligare för det smalbandiga systemet än för det bredbandiga systemet och även för en källa jämfört med flera.

Arbetet visar att spread spectrum-tekniken kan minska störpåverkan på kommunikationssystemet, så länge som spridningsbandbredden är stor i förhållande till kommunikationsbandbredden och antalet spread spectrum-enheter är begränsade till ett fåtal. I alla andra fall minskar inte spread spectrum-tekniken störpåverkan på kommunikationssystemet. Arbetet presenterats på EMC Europe 2022 [17].



Figur 12. Till vänster: en EMI-källa, som inte är spridd, samt en 50 kHz kommunikationssignal. Till höger: en EMI-källa spridd över 100 kHz samt en 25 kHz kommunikationssignal.



Figur 13. Symbolfelshalten (SER) som funktion av spridningsbandbredd, för kommunikationsbandbredderna 25 kHz och 100 kHz.

2.8 Telekonfliktverket Genesis

Genesis är ett verktyg för att beräkna telekonfliktseffekter i en 3D-miljö. Det användas för att lösa specifika telekonfliktsproblem, men används också i utbildning för att medvetandegöra telekonflikters konsekvenser.

Genesis kan exempelvis användas för att bedöma effekten av

- placering av olika störande elektriska utrustningar
- robusthet hos olika typer av radiosystem
- effekter av olika åtgärder för att reducera risken för telekonflikter, som exempelvis effekten av skärmning, olika emissionskrav på elektriska utrustningar och byte av radiofrekvens
- samlokaliserade frekvenshoppande radiosystem med varierande grad av utombandsegenskaper och effekter av filterlösningar för frekvenshoppande system.

Figur 14 och Figur 15 visar exempel från Genesis i form av ett scenario på campen i Afghanistan och ett på Arlanda.

Under året har mindre uppdateringar och bugggrättning skett av verktyget. Genesis består av flera delar och den del som hanterar 3D-miljön med bland annat kartor, höjd- och terränginformation har uppdaterats för att vara i fas med de andra projekt på FOI som delvis använder samma kod. Uppdateringen fick till följd att även modellen för campen i Afghanistan uppdaterades och samtidigt importerades höjdinformation för delar av staden utanför campen. Värt att nämna är också att namnen på några radiosystem har uppdaterats till de beteckningar som används i Försvarsmakten, det gäller Ra1570 (tidigare kallat IGR) och Ra460 (tidigare kallat TDRS-A).

Vid installation av Genesis följer det med ett antal exempelscenarion som användaren kan börja med att köra för att bekanta sig med verktyget och se exempel på olika typer av beräkningar som kan göras. Dessa scenarion är nu kompletterade med ett scenario för beräkningar av påverkan från elvägar på kommunikationssystem på kortväg.



Figur 14. Genesis-scenarion på campen i Afghanistan.



Figur 15. Scenario på Arlanda.

2.9 RÖS

FOI stöttar med tekniskt stöd inom området RÖS i frågor som är telekonfliktnära. Under året har FOI stöttat genom att bidra i arbetsgruppen Ag RÖS och med tekniskt underlag i diskussioner om nya gränsvärden. Arbetet har bland annat bestått i att granska ett förslag samt att komplettera förslaget med nya gränsvärden för relativt korta avstånd. Delresultat avrapporterades i februari 2022 vid ett möte på MUST där även FMV deltog.

3 Sammanställning och framtida utmaningar

Under det gångna året har projektet bedrivit arbete inom framförallt följande områden:

- solcellsanläggningar,
- trådlös laddning,
- elvägar,
- konsekvenser av nya förslag på militära emissionsstandarder
- störningsdetektionssystemet med nya AI-algoritmer för att upptäcka och klassificera störningar, och analys av förekomsten av störningar ,
- kommersiella kommunikationssystem; störningsrisker med 6G,
- spread spectrum-teknik som emissionsreducerande teknik, samt
- RÖS

Arbetet har resulterat i ett antal rapporter och konferensbidrag, se denna rapport's referenser.

FOI har även agerat som tekniskt expertstöd för Försvarmakten och FMV inom EMC-området. FOI har även deltagit och spridit information kring pågående verksamhet och resultat i olika samverkansgrupper som Ag EMC, Ag RÖS, IEEE EMC, CBG EM-hot samt vid ett möte på Regeringskansliet om störningsrisker vid elektrifieringen av samhället.

Under 2023 planeras arbetet att fortsätta i ungefärligen samma riktning. Samlokalisering av kommunikationssystem tenderar att gå mot mer komplexa och oförutsägbara scenarier samtidigt som den civila mobiltelefoni- och IoT-utvecklingen innebär avsevärt högre densiteter av emitterande utrustningar, högre frekvenser och större bandbredder. Elektrifieringen i samhället innebär också nya potentiella störningskällor, vilket i sin tur skapar EMC-utmaningar. Det ökar behovet av att kunna analysera dessa miljöer både i förväg och under drift för att undvika att kritiska kommunikationstjänster blir degraderade eller utstörda. Det är av stor vikt att Försvarmaktens kommunikationssystem fungerar även i dessa komplexa störningsmiljöer.

Eftersom solcellsanläggningar och system för trådlös laddning av fordon är ett växande störningshot kommer arbetet kring detta att fortsätta under 2023. Arbetet kommer bland annat att bestå i att bestämma skyddsavstånd för att skydda Försvarmaktens radiosystem. Det är också viktigt att kunna hantera många störningskällor när det gäller solcellspaneler och system för trådlös laddning. Därför är det intressant att undersöka den aggregerade effekten från många störningskällor och hur dessa påverkar ett radiosystem.

Kontinuerlig mätning av frekvensband som används för radiokommunikation kommer att vara viktigt för att ge förvarning om eventuella kommunikationsproblem. Att automatiskt kunna skilja på störningssignaler och kommunikationssignaler är en förutsättning för effektiv kartläggning av interferensmiljön. Under 2023 kommer arbetet att fortsätta med att utveckla algoritmer för störningsdetektion i radioband för att upptäcka och klassificera störningar med hjälp av AI.

4 Referenser

- [1] <https://www.elsakerhetsverket.se/privatpersoner/dina-elprodukter/forsaljningsforbud/solaredge-tvingas-saljstoppa-vaxelriktare/>.
- [2] <https://ec.europa.eu/docsroom/documents/8064/attachments/1/translations/en/renditions/pdf>.
- [3] Sara Linder, Kia Wiklundh, Mikael Alexandersson, "Measurements of conducted and radiated emissions from solar panel installations", FOI-R--5308--SE, april 2022.
- [4] Sara Linder, Kia Wiklundh, "In-situ measurements of conducted and radiated emissions from photovoltaic installations", International Symposium on Electromagnetic Compatibility (EMC Europe 2022), september, 2022.
- [5] Karina Fors, Sara Linder och Kia Wiklundh, "Skyddsavstånd mellan solcellsinstallationer och kritiska radiotjänster på flygplatser", FOI-R--5350--SE, november 2022.
- [6] Protection distance calculation between inductive systems and radiocommunication services using frequencies below 30 MHz, ITU Recommendation ITU-R SM.2028, september, 2012.
- [7] Propagation model and interference range calculation for inductive systems 10 kHz - 30 MHz, ERC Report, februari, 1999.
- [8] Sara Linder, Kia Wiklundh, Karina Fors, "Radio frequency interference measurements of the electric road at Arlanda", FOI-RH--2445--SE, december, 2021.
- [9] Sara Linder, Kia Wiklundh, Karina Fors, "Radio frequency interference measurements of the electric road in Visby", FOI-RH--2443--SE, december, 2021.
- [10] Sara Linder, Kia Wiklundh, Karina Fors, "Radio frequency interference measurements of the electric road in Lund", FOI-RH--2444--SE, december, 2021.
- [11] Erik Lundström, "Tekniskt underlag avseende genomförda mätningar på elvägar", 22FMV792-9:1, september, 2022.
- [12] Mikael Alexandersson, Sofia Bergström, Karina Fors, Sara Linder, "Mätningar för att karaktärisera detektionssystem RF Oculus", FOI-D--1180--SE, december, 2022.
- [13] Karina Fors, Mikael Alexandersson, Peter Stenumgaard, "The impact from covid-19 pandemic lockdown on the electromagnetic interference in the GPS frequency band", International Symposium on Electromagnetic Compatibility (EMC Europe 2022), september, 2022.
- [14] "Key drivers and research challenges for 6G ubiquitous wireless intelligence", University of Oulu, september, 2019
- [15] Walid Saad, Mehdi Bennis, Mingzhe Chen, "A vision of 6G wireless systems: applications, Trends, Technologies, and Open Research Problems", ArXiv 2019, DOI:10.1109/mnet.001.1900287.
- [16] Mikko A. Uusitalo, "Hexa-X - the European 6G flagship project", EuCNC 2021, European Conference on Networks and Communications, juni, 2021.
- [17] Erik Axell, Thomas Ranström, Sara Linder, Kia Wiklundh, Karina Fors, "On the impact of spread spectrum EMI on communication performance", International Symposium on Electromagnetic Compatibility (EMC Europe 2022), september, 2022.

- [18] P. F. M. Smulders,” Impact of regulations on feasible distance between 60 GHz devices” European Conference on Antennas and Propagation 2010, 12-16 april 2010, Barcelona.
- [19] Kia Wiklundh, Peter Stenumgaard, “EMC challenges with 6G”, International Symposium on Electromagnetic Compatibility (EMC Europe 2022), september, 2022.
- [20] Sara Linder, Kia Wiklundh, Karina Fors, Sofia Bergström, ”Skyddsavstånd mellan elvägar och kortvågsmottagare”, FOI-RH--2553--SE, december, 2022.
- [21] Sofia Bergström, Sara Linder, Kia Wiklundh,” Radio frequency interference measurements of wireless power transfer for electrical vehicles”, FOI-R--5430--SE, december, 2022.

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