



Övergripande studie

Åtgärder i olika stadier för att säkerställa radioprestanda

B. ASP, K. FORS, S. LINDER, T. LINDGREN, K. WIKLUNDH

B. Asp, K. Fors, S. Linder, T. Lindgren,
K. Wiklundh

Övergripande studie

Åtgärder i olika stadier för att säkerställa radioprestanda

Titel	Övergripande studie - Åtgärder i olika stadier för att säkerställa radioprestanda
Title	Study - Actions at early stages to achieve coexistence between radio systems
Rapportnr/Report no	FOI-R--4570--SE
Månad/Month	Februari/February
Utgivningsår/Year	2018
Sidor/Pages	51 p
Kund/Customer	FMV
Forskningsområde	4. Informationssäkerhet och kommunikation
FoT-område	
Projektnr/Project no	E722101
Godkänd av/Approved by	Christian Jönsson
Ansvarig avdelning	Ledningssystem
Exportkontroll	Innehållet är granskat och omfattar ingen information som är underställd exportkontrollagstiftningen.

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

Militära plattformar är ofta bestyckade med flera olika radiosystem på liten yta, vilket skapar en stor risk för att de olika systemen stör varandra. Problemen förstärks ytterligare av den frekvensbrist som råder på de för militären tillgängliga frekvensbanden. För att säkerställa att radiosystem ska kunna samexistera utan prestandaförsämringar krävs hänsynstagande till övriga radiosystem och den miljö radiosystemet ska användas i.

I detta arbete definieras de problem som ligger till grund för svårigheterna att säkerställa samexistens mellan radiosystemen. Problemet beskrivs som helhet och bryts sedan ner till ett antal problemställningar som behöver omhändertas vid upphandling, integration på plattform, åtgärdsförslag och användning för att säkerställa att systemen kan samexistera. Rapporten består även av en översiktlig sammanställning av vilka frekvensband som används för Försvarmaktens radiosystem idag, för- och nackdelar samt vilka frekvensområden som är möjliga att använda på sikt.

För att åstadkomma samexistens mellan radiosystem krävs planering och åtgärder i tidiga skeden då ett radiosystem ska införskaffas eller integreras på en plattform. Genom ett strukturerat angreppssätt och medvetenhet i tidiga skeden kan problemen delvis förebyggas, vilket gör att kostnader för sena åtgärder kan hållas nere och att radiosystemen fungerar bättre.

Slutsatsen är att det behövs riktlinjer som kan användas bland annat vid kravställning av radioteknik, antennlösning och hur dessa bör integreras på plattformar, inrättande av ett antal aktiviteter i tidiga skeden och inrättande av en samfunktionsansvarig som har i uppgift att bevaka integrationen av radiosystem och andra emitterande system på plattformar. Vidare finns behov av utbildning för både användare och produktledare för att ge kunskap om vilka konsekvenser som bristfällig systemintegration kan leda till, samt handfasta rekommendationer som innefattar funktionssäkerhet och EMC-aspekter. Metoder bör även finnas för hur man hanterar situationer då sambandet inte fungerar konfliktfritt.

Slutligen bör det påpekas att den faktor som idag starkt påverkar svårigheten till samexistens mellan radiosystem är bristen på frekvenser. Den faktiska frekvenstillgången är avgörande för möjligheten till störskydd mot avsiktlig störning, att radiosystemen ska kunna samexistera. Den begränsade frekvenstillgången avgör därmed den faktiska kommunikationsräckvidden och -tillgängligheten. Därför är det viktigt att försäkra sig om tillgången till frekvenser redan vid upphandlingen av radiosystemen.

Nyckelord: samexistens, integration, störskydd, störtållighet, telekonflikter

Summary

Military platforms are often equipped with several different radio systems on a small surface, which creates a high risk of interference between the various systems. The problems are further emphasized by the lack of frequencies available for military services. In order to ensure that radio systems can coexist without performance degradation, consideration is required regarding other radio systems and the electromagnetic environment in which the radio system should operate in.

This work defines the problems that underlie the difficulties in ensuring coexistence between radio systems. The problem is described in its entirety and then broken down into a number of issues that need to be addressed in procurement, integration on platform, action proposals and use to ensure that systems can coexist. The report also consists of a brief summary of the frequency bands used for the Defense Force's radio system today, pros and cons as well as which frequency bands are possible to use in the future.

In order to achieve coexistence between radio systems, planning and actions are required at early stages when a radio system is to be procured or integrated on a platform. Through a structured approach and awareness at early stages, the problems can be partially prevented, which means that late action costs can be kept down and better communication system performance can be achieved.

The conclusion is that guidelines are required that can be used, for example, in the field of radio technology, antenna solutions and how these should be integrated on platforms, establishing a number of early stage activities and an overall responsible (for electronic environment and communication) for each platform. This overall responsible will monitor and handle problems related to system integration. Furthermore, there is a need for education for both end-users and product managers to provide knowledge about the consequences of poor system integration, and to provide more handy recommendations that include functional safety and EMC aspects. Methods should also exist for dealing with situations when the communication connection does not work conflict-free.

Finally, it should be noted that the factor that today strongly affects the difficulty for coexistence between radio systems is the lack of frequencies. The actual frequency assignment is crucial for the possibility of interference protection against intentional interference, that radio systems can coexist and thus determine the actual communication range and availability. Therefore, it is of great importance to assure the availability of frequencies already in the procurement of radio systems.

Keywords: coexistence, integration, interference protection, intersystem interference

Innehållsförteckning

1	Inledning	9
1.1	Bakgrund	9
1.2	Uppgiftsbeskrivning	9
1.3	Rapportupplägg	10
2	Problembeskrivning	11
3	Frekvensallokering	14
3.1	Frekvensallokering idag och framtid	14
3.1.1	Regelverk att förhålla sig till	14
3.1.2	Nato UHF-frekvensplan	15
3.1.3	Frekvensområden i framtiden	16
3.2	Vågformsutveckling	16
3.2.1	Smalbandiga vågformer – VHF (30-88 MHz)	16
3.2.2	Bredbandiga vågformer – UHF (225-400 MHz)	17
3.2.3	Bredbandiga vågformer - L-band (1-2 MHz)	17
3.2.4	Bredbandiga vågformer - andra frekvensband	17
4	Aktiviteter i olika skeden för att säkerställa radioprestanda	18
4.1	Livscykelmodellen	18
4.1.1	Konceptskede (behovsanalys)	18
4.1.2	Utvecklingsskede (kravställning, design, verifiering och validering (VoV)	18
4.1.3	Produktionsskede (tillverkning och leverans)	19
4.1.4	Användningsskede och underhållsskede (drift och underhåll) ...	19
4.1.5	Avvecklingsskede	19
4.2	Från problemställning till aktiviteter i olika skeden	19
4.2.1	Riktlinjer och designregler	21
4.2.2	Planering av frekvensanvändande	23
4.2.3	Kravställning av system	23
4.2.4	Systematiskt EMC-arbete	25
4.2.5	Telekonflikts- och antennanalyser	25
4.2.6	Verifieringsmätningar av radiosystemprestanda	26
4.2.7	Samfunktionsansvarig	27
4.2.8	Utbildning	27
4.2.9	Metodutveckling	28
5	Fixfrekvenssystem kontra frekvenshoppande system	29
5.1	Robusthet mot störning	29
5.2	Utombandsegenskaper	30
5.3	Interferenser mellan frekvenshoppande radiosystem	30
5.4	Ortogonalt frekvenshopp	31
5.5	Effekter i taktiska frekvenshoppande nät	32

5.6	Frekvenshopp relativt fixfrekvens ur ett frekvensplaneringsperspektiv	32
5.6.1	Smalbandiga kontra bredbandiga system	34
6	Antennproblematik	35
6.1	Antennen som systemkomponent.....	35
6.2	Kompromisser vid antennintegration	36
6.3	Prestanda för två monopoler på ett jordplan	36
6.4	Analys och rekommendationer	38
7	Rekommendationer	40
8	Referenser	42
9	Appendix	44

1 Inledning

1.1 Bakgrund

För att säkerställa att radiosystem ska kunna samexistera med andra radiosystem utan prestandaförsämringar krävs hänsynstagande till övriga radiosystem och den miljö radiosystemet ska användas i. Risken är annars att radiosystemen stör varandra och radiosystemens räckvidd reduceras. Andra konsekvenser är att radiosystemen inte får den tålighet mot störning som är tänkt, vilket gör att införskaffat system inte får den förmåga som den i grunden har och är inköpt för. Samexistens behöver säkerställas trots de svårigheter som finns utan att behöva ta till kostsamma åtgärder.

För att åstadkomma samexistens krävs planering och åtgärder i tidiga skeden då ett radiosystem ska införskaffas eller integreras på en plattform. Genom ett strukturerat angreppssätt och medvetenhet i tidiga skeden kan problemen delvis förebyggas, vilket gör att kostnader för sena åtgärder kan hållas nere och att radiosystemen fungerar bättre. Problematiken behöver omhändertas redan i konceptskedet där systemens förmågor planeras och vid upphandling genom en adekvat kravställning. Problemställningen behöver fortsättningsvis bevakas vid integration av radiosystem på en plattform, vid modifieringar av plattformen och då åtgärder föreslås för att lösa problem som har uppkommit.

Till viss del beskrivs förebyggande åtgärder i EMMA-handboken [1]. EMMA-handboken är en handbok som beskriver vilka åtgärder som behöver genomföras för att få en väl designad elmiljö. Elmiljön som behandlas i EMMA-handboken avser främst zonindelning, planering av kablage, strömförsörjning och elektriska utrustningar i syfte att säkerställa den elektromagnetiska kompatibiliteten (eng. EMC). EMMA-handboken behandlar däremot inte särskilt mycket den elmiljö som skapas av radioutrustningar och dess antennsystem.

En faktor som idag starkt påverkar svårigheten till samexistens mellan radiosystem är bristen på frekvenser. Trenden är att Försvarsmaktens frekvensband minskar i omfattning till förmån för IMT¹-tjänster. Samtidigt finns ett ökat behov för exempelvis utökning av talgrupper och införande av BMS²-tjänster som planeras att bäras av bredbandiga vågformer. Det betyder att Försvarsmaktens behov av frekvenser ökar samtidigt som mängden tillgängliga frekvenser är oförändrade eller minskar.

Problemet är påtagligt på Försvarsmaktens så kallade UHF³-band. Detta band är relativt likt Natos harmoniserade UHF-band och används av en mängd olika radiosystem, både civila och militära. Inom detta band är även Försvarsmaktens bredbandiga tjänster (Ra570 och Ra460) allokerade. Eftersom bandet är hårt allokerat finns endast ett tiotal MHz fördelade för Försvarsmaktens bredbandiga tjänster, vilket gör att risken för konflikter mellan systemen är stor. Resultatet blir exempelvis att en del system får en kraftigt begränsad räckvidd, vilket gör att införskaffade system inte kan användas som det var tänkt eller inte får den förmåga som de i grunden har.

1.2 Uppgiftsbeskrivning

Arbetet består i att definiera problemet med dåligt integrerade plattformar som helhet och sedan specificera de problemställningar som behöver omhändertas vid upphandling, implementation på plattform, åtgärdsförslag och användning för att säkerställa att systemen kan samexistera. Underlaget kan på sikt utgöra grund för en strategi eller riktlinjer. Exempel på problemställningar som behöver bevakas är kravställning, frekvenstillgång, inverkan av plattformen, analys av telekonflikter och antennplacering. Resultat från arbetet kan också peka på behovet av en genomtänkt strategi kring vilka radiosystem som ska användas på en plattform och för vad. Rapporten består också av en sammanställning av vilka frekvensband som används för FM:s radiosystem idag, för- och nackdelar samt vilka frekvensområden är möjliga att använda på sikt.

¹ IMT: International Mobile Telecommunications

² BMS: Battlefield Management System

³ UHF: Ultra High Frequency

1.3 Rapportupplägg

I kapitel 2 beskrivs den problemställning som är en stor del av orsaken till de egenstörningar och bristande samfunktionsegenskaper som uppstår. Den sammanfattade problemställningen bygger på tidigare arbeten inom bland annat FoT-projekten RICOM och BatKom och FOIs telekonfliktsverksamhet. I kapitel 3 beskrivs frekvenstillgången så som den ser ut i dag och vad som kan förväntas de kommande åren. Här beskrivs VHF-, UHF- och L-bandet specifikt. Detaljer för Försvarsmaktens vidkommande beskrivs i Appendix.

I kapitel 4 beskrivs förslag på aktiviteter och stöttande verksamhet både kring metod och teknik med syfte att i ett tidigt skede förebygga delar av problemen, så att kostnader för sena åtgärder kan hållas nere och att radiosystemen fungerar bättre. Åtgärderna är till för att säkerställa att systemintegrationen inte orsakar någon prestandaförlust hos kommunikationssystemen.

Kapitel 5 beskriver ytterligare avgörande skillnader mellan fixfrekvenssystem och frekvenshoppande system som skulle kunna utgöra del av kommande riktlinjer. Kapitel 6 beskriver en aktivitet kring riktlinjer för antensystem som skulle kunna generaliseras och utvecklas mot fler antenntyper och plattformar. Slutligen sammanfattar kapitel 7 de åtgärder och stöttande verksamhet som föreslagits i arbetet.

2 Problembeskrivning

Tidigare erfarenheter som erhållits i projektet RICOM och som erhållits genom intervjuer med FM- och FMV-personal kring orsaker till egenstörningar och bristande samfunktionsegenskaper pekar på en rad orsaker som är relaterade till brister i metod, teknik eller utbildning [2, 3].

Sammanfattningsvis har orsakerna identifierats till [2]:

- Att skriftliga riktlinjer och rekommendationer inte alltid är tillräckligt kommunicerade och implementerade,
- Att befintliga riktlinjer inte är tillräckliga för att säkerställa funktionssäkerhet eftersom de i första hand fokuserar på systemsäkerhet,
- Att det inte alltid görs en slutlig verifiering på plattformsnivå av att åtgärder enligt FMV:s elmiljöhandbok EMMA fått avsedd effekt,
- En otydlighet om vem som har det övergripande integrationsansvaret på mark- och sjöplattformar,
- Oklarheter när det gäller kvantifiering av den nytta kontra kostnad som en teknisk åtgärd ger när störningsproblem ska lösas eller förebyggas,
- Att framtaget integrationsunderlag inte alltid följs vid praktisk installation av system och systemkomponenter.

Som synes handlar orsakerna till stor del om metoder och inte teknik, vilket indikerar på att det behövs nya (eller förändrade) arbetsmetoder för att komma tillrätta med problemen.

När det gäller teknik finns en rad omständigheter som gör att det är svårt att uppnå ett radiosystems nominella förmåga i praktiken, det vill säga den förmåga som uppges i radiosystemets tekniska kravspecifikation. Den verklighet som systemen används i kan starkt begränsa radiosystemets funktion. Det kan yttra sig på olika sätt mycket beroende på vilka tekniker radiosystemet nyttjar. Vanliga konsekvenser är att radiosystemet räckvidd minskar, paket som skickas försenas och paketfel uppstår, vilket gör att radiomottagare riskerar att inte få den avsedda informationen. Räckviddsminskningar ner mot 25-40 % av den ursprungliga räckvidden är inte ovanliga [4, 5] och beror ofta på att flera radiosystem stör varandra och att antenner har placerats för tätt. Problemen leder till att kommunikationssystemens funktionssäkerhet kraftigt påverkas och deras bidrag till ledningsförmåga och ytterst förmågor så som verkan, skydd och rörlighet påverkas menligt.

Nedan beskrivs några av orsakerna.

Frekvensbrist

Bandbredden som används för ett radiosystem skapar förutsättningar för datatakt, mängden användare och redundans eller störtålighet. Försvarmaktens tillgång till frekvenser har under lång tid minskat samtidigt som behovet av både datatakt och störskydd ökar. Exempelvis planeras att inom armén införa talgrupper ner på plutonsnivå, vilket gör att antalet nät på VHF⁴-bandet ökar jämfört med i dag. Samtidigt införs ett antal bredbandsnät för BMS⁵-trafik på UHF-bandet. Frekvensbristen gör att möjligheterna till störskyddet minskar och risken för att störa varandra ökar. För att ett frekvenshoppande radiosystem ska skapa en viss förmåga till störskydd mot avsiktliga störsändare krävs att det frekvenshoppande radiosystemet hoppar snabbt och på ett stort antal frekvenser med så stor spridning som möjligt mellan lägsta och högsta frekvensen. Problemet är påtagligt på Försvarmaktens UHF-band. Även Försvarmaktens bredbandiga tjänster (Ra570 och Ra460) är fördelade till detta band. Eftersom bandet är hårt belagt rent generellt finns endast 20-30 MHz fördelade för Försvarmaktens mobila bredbandiga tjänster, vilket gör att möjligheten till störskydd blir liten och risken för konflikter mellan systemen är stor.

Eftersom den faktiska tillgängligheten till frekvenser kommer att påverka möjligheten till störskydd mot avsiktlig störning, risken för att radiosystemen ska kunna samexistera och därigenom avgöra

⁴ VHF: Very High Frequency

⁵ BMS: Battlefield Management System

den faktiska räckvidden och faktiska täckning/tillgängligheten, är det viktigt att försäkra sig om tillgången till frekvenser redan vid upphandlingen av radiosystemen.

Risken är också att Försvarsmaktens frekvenstillgång ändras med tiden och tyvärr minskar. Därför är det önskvärt att radiosystemen är flexibla i sin frekvensanvändning. Exempelvis har Försvarsmaktens frekvenstillgångar på L-bandet⁶ ändrats de senaste åren.

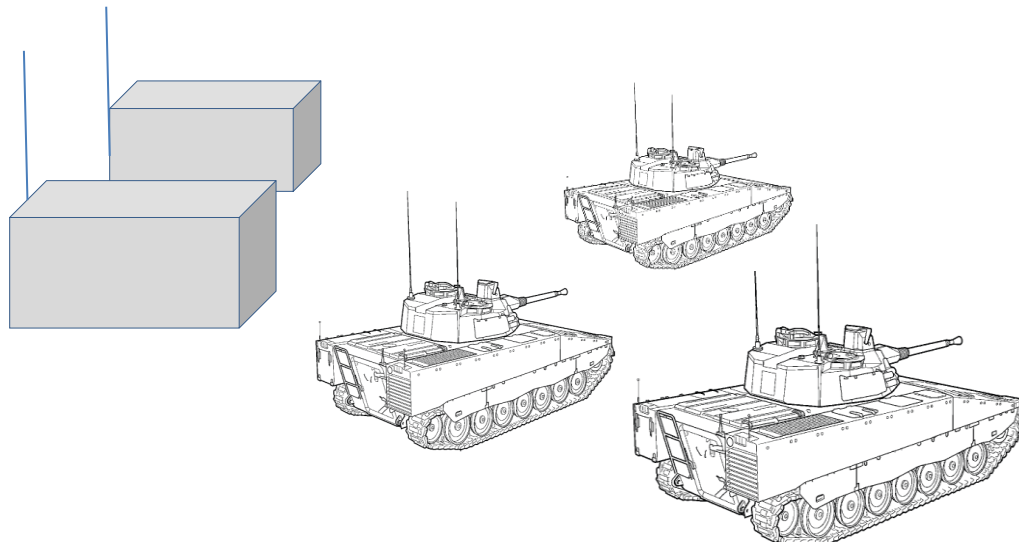
Många radiosystem på fysiskt små plattformar

Militära plattformar är ofta relativt små till storleken samtidigt som de är bestyckade med flera radiosystem. I många fall används en antenn för varje radiosystem, medan det i andra fall kan vara möjligt att två radiosystem kan använda samma antenn. Även fast några radiosystem kan använda samma antenn finns det ofta många antenner på en plattform och det blir svårt att ge antennerna en optimal placering. Då flera antenner ska samlokaliseras behöver ett antal olika faktorer beaktas: de ska inte placeras tätare än vad som är optimalt, vilket ger en för låg dämpning för samlokaliserade radiosändare, de ska inte placeras för långt ut mot plattformens kanter (plattformen utgör jordplan för antennen), vilket förändrar antennens egenskaper. Antennernas placering på en plattform är ett komplext problem som innebär många kompromisser.

Telekonfliktstrisken för situationer med många samlokaliserade radiosändare är störst då dessa använder sig av samma frekvenser, men även då systemen inte använder samma frekvenser finns en risk för telekonflikt [6]. Det senare fallet är starkt beroende på radiosystemens utombandsegenskaper, använda frekvenser (och de intermodulationsprodukter de skapar), filter i sändare och mottagare, och isolationen mellan antennerna. Dessutom har de tekniker som radiosystemet använder för att hantera störningar en stor betydelse.

Betydande störningsnivåer på plattformar

På en plattform finns ofta ett stort antal elektriska utrustningar som skapar en störningsmiljö som inte är försumbar [4, 5]. Störningsproblem på plattformar har ökat i omfattning och är en följd av ökat antal elektromagnetiskt emitterande system och en ökad systemkomplexitet. Till detta kommer den oavsiktliga emissionen från det ökande antalet COTS (Commercial Off The Shelf)-system, kravställda enligt civila EMC-normer som är betydligt mer generösa än motsvarande militära normer. Plattformarna kan också ha en rad andra emitterade system såsom radar, sikten och IK-system, vilka kan påverka kommunikationssystemen. Detta bidrar till svårigheterna att hantera problematiken eftersom det inte alltid är uppenbart för den som hanterar införande eller modifiering av dessa system att de kan påverka kommunikationsförmågan.



Figur 1 En bataljonsstabsplats kan typiskt bestå av tre stycken Stripsbv90, två stycken ledningscontainrar och en sambandsenhet.

⁶ L-bandet: 1-2 GHz

Till viss del beskrivs förebyggande åtgärder i EMMA-handboken [1]. EMMA-handboken behandlar främst säkerställandet av plattformens elmiljö, och inkluderar exempelvis sådant som zonindelning, planering av kablage, strömförsörjning och elektriska utrustningar i syfte att säkerställa den elektromagnetiska kompatibiliteten (*eng.* EMC). EMMA-handboken hanterar däremot inte särskilt mycket den elmiljö som skapas av radioutrustningar inklusive deras antenner eller störningens karaktäristik.

Det är ofta en stor skillnad mellan bepansrade fordon och andra, speciellt då civila fordon, då det gäller störningsmiljö. Eftersom många störningssignaler genereras inifrån ett fordon och de flesta radioantennerna sitter på fordonets utsida, har den dämpning som ges av fordonets chassi stor betydelse. Dessutom tillåts ofta komponenter i civila fordon att avge högre emissionsnivåer.

Scenarier med många plattformar

Samgruppering med flera plattformar skapar en oförutsedd radiomiljö, där det kan finnas många sändande radiosystem och en hög brusnivå. Förutom att de problem som redan behandlats kan det uppstå problem kring frekvensanvändandet. Den frekvensplanering som fungerar då förbanden är åtskilda kan bli problematisk då dessa hamnar på samma geografiska område, exempelvis vid övning.

En bataljonsstabsplats består typiskt av tre stycken Stripbv90, två stycken ledningscontainrar och en sambandsenhet, där varje plattform är utrustad med flera radiosystem var, se Figur 1. Detta är ett exempel på en utmanande störnings- och radiomässigt tät situation, som ställer stora krav på frekvensplanering och placering av antenner för att inte få en nedsatt prestanda på ingående radiosystem.

Trots ovanstående försvårande omständigheter ställs höga krav på radiosystemets tillförlitlighet. Talgrupper måste upprätthållas och informationen ska komma fram till sin destination. Exempelvis måste eldledningsinformation komma fram utan betydande fördröjningar, lägesbilder ska vara uppdaterade och inte innehålla fel, radiosystemet ska vara störningståligt mot både egen och avsiktlig störning.

3 Frekvensallokering

3.1 Frekvensallokering idag och framtid

Detta avsnitt är en genomgång av frekvenser för taktisk radio och AGA⁷-system och beskriver främst Sveriges nationella bruk. En översiktlig bild av tillgängliga frekvensband för taktiska datalänkar (TDL), UAV-länkar, Satkom (utöver UFO/MUOS), telemetri, radar, etc återfinns i tabellen *Frekvenstabell för Försvarsmakten*, i Appendix.

Hela texten i kapitel 3.1.1 är ett utdrag från några olika delar av *H Frekvens 2015* (Försvarsmaktens frekvensplaneringshandbok [7]) som har relevans för denna rapport.

3.1.1 Regelverk att förhålla sig till

Frekvensplaner som beskriver hur frekvensbanden utnyttjas för olika verksamheter, system eller användare görs inom organisationer och myndigheter, från ITU via regionala och nationella planer ned till användare, t.ex. Försvarsmakten. De viktigaste planerna för Försvarsmaktens del är *ITU internationella radioreglemente*⁸, *CEPT gemensamma frekvensplan*⁹, *den svenska nationella frekvensplanen*¹⁰ och givetvis de planer som Försvarsmakten själv gör.

ITU Radioreglemente (RR) innehåller olika bestämmelser för frekvensbandens utnyttjande samt koordineringsregler för olika system och tjänster.

Högkvarteret (HKV) har det övergripande ansvaret för frekvensförvaltning inom Försvarsmakten och fastställer frekvensband, frekvenser för olika system, verksamheter, användare samt utfärdar bestämmelser för radioverksamheter. Övergripande fördelning av frekvensresurser med handlingsregler för materielsystem, försvarsgrenar och staber/förband samt viss frekvenstilldelning som är sekretessbelagd framgår av särskild skrivelse (*Försvarsmaktens frekvensplan – allokering och fördelning*) vilken utges med några års mellanrum.

Den nationella frekvensmyndigheten i Sverige är PTS. Inom Försvarsmakten finns en sammanhållande funktion för hantering av frågor kring radiofrekvensspektrum. HKV (PROD LEDUND TSI) har ansvaret för denna funktion och stöds i arbetet av FAG – Försvarsmaktens frekvensarbetsgrupp, med representation från HKV (PROD och INS), samtliga försvarsgrenar samt FMV och FOI.

För att upprätthålla en Försvarsmaktens kontaktpunkt i spektrumfrågor finns under HKV (PROD LEDUND TSI) ett virtuellt frekvenskontor, vilket benämns *Spectrum Management Office SMO* (definition enligt ACP 190 NATO SUPP-1 C). SMO består av försvarsgrensrepresentanter samt INS representant i FAG.

Försvarsmaktens behov av frekvenser sträcker sig över hela det användbara radiofrekvensspektrum, från mycket låga (VLF) till extremt höga frekvenser (EHF). Militära spektrumresurser ska bl.a. stödja:

- strategiska och globala kommunikationer (nationellt och för utlandsstyrkan)
- yttäckande radio för taktisk ledning
- flygoperationer,
- nätverk (WAN) över land- och havsområden,
- radarövervakning,
- navigering och identifiering.

⁷ AGA, Air-Ground-Air

⁸ ITU, International Telecommunications Union (ett av fackorganen inom FN); Radio Regulations (RR).

⁹ CEPT, den europeiska post- och telesammanslutningen; CEPT/ERC Report 25 The European Table of Frequency Allocations and Applications in the Frequency Range 8.3 kHz to 3000 GHz (ECA Table).

¹⁰ Post- och telestyrelsens allmänna råd (PTSFS 2015:3) om den svenska frekvensplanen.

För att ett system ska kunna få ett rimligt frekvensbehov tillgodosett och därmed få tillstånd att användas inom FM, bör följande regler följas i materielprocessen:

- Frekvensbehovet för Försvarsmaktens materielsystem måste beaktas före beslut om anskaffning. Frekvensbehovet och möjligheterna att beredas önskat frekvensutrymme kan vara en dimensionerande faktor och ska därför hanteras tidigt i studie- och utvecklingsfasen för framför allt nya system.
- Systemen måste nyttja frekvensband som i internationella planer (ITU Radioreglemente, RR) upplåtits för avsedd "tjänst" enligt ITU definition, bl.a. för att möjliggöra internationell koordinering.
- Kraven på spektrumeffektivitet och egenskaper för samexistens med militära och civila system ska vara höga. ITU, CEPT och PTS tekniska bestämmelser för radiomateriel ska följas, om inte HKV fattat särskilt beslut om avsteg från dessa.
- Materielen ska ha stort avstämningsområde (tuning range), för att vara så flexibla som möjligt och kunna utnyttja delar av tilldelat band. Delbanden ska kunna förändras över tiden för att anpassas mot nya förutsättningar.
- System med stora spektrumbehov, t.ex. genom avancerade störskyddsmoder, bör även innehålla "fredsmoder" med mindre spektrumbehov och goda möjligheter till samexistens.
- Harmoniserade militära frekvensband ska kunna nyttjas. Dessa framgår bl.a. av en europeisk gemensam frekvensplan inom CEPT, den civil/militära frekvensöverenskommelsen inom NATO och militära standarder. Harmonisering är särskilt viktig för användning av radiomateriel vid internationella insatser.
- Modulationsmetoder och andra egenskaper ska anpassas mot goda samexistensegenskaper, t.ex.
 - spektrumeffektiva modulationsmetoder
 - liten kanalbandbredd (eller bandspridning med förutsättning för samexistens med andra system, även civila)
 - flexibel frekvenstilldelning (mål: "frekvenstilldelning i realtid")
 - möjligheter till effekreglering (anpassning)
 - antennegenskaper
 - åtgärder för hantering av oavsiktliga störningar (telekonflikter), både för mottagare och för sändare.

3.1.2 Nato UHF-frekvensplan

Inom Nato har man delvis enats om harmonisering av frekvensbandet 225-400 MHz, ofta benämnt Nato UHF Band. I Sverige är dock nedre bandgränsen för närvarande 240 MHz. Bandet innehåller även viss del civil trafik. Exempelvis är 243 MHz en frekvens avsedd för militär nödsignalering (flyg), 328.6-335.4 MHz avsedd för radionavigering (ILS, flyg), 370-371 MHz är avsett för fasta system och 380-385 respektive 390-395 MHz för TETRA. Dessa undantag gäller även i flera andra länder och i flera fall bara i fredstid. Ett exempel på undantag från detta är nödfrekvensen på 243 MHz som skall skyddas även i händelse av krig. Till detta kommer även andra enskilda frekvenser som använts civilt i Sverige.

Militärt är Nato UHF band ett band som används för taktisk kommunikation i luften, havet och på marken. En rad olika system som nyttjar antingen fixfrekvens eller frekvenshopp finns i detta frekvensområde. Dessutom finns även kanaler avsedda för Satkom. Användningen har ökat kraftigt under senare år och idag är det väldigt trångt i frekvensbandet och oerhört svårt att få in nya tjänster utan mycket kompromissande. En bidragande orsak till att 225-400 MHz är och blivit så trångt är att andra frekvensband som använts militärt antingen försvunnit eller begränsats i omfång, både nationellt och internationellt, vilket har lett till att dessa tjänster flyttats till Nato UHF bandet.

Eftersom trycket på detta band succesivt har ökat och användningen har förändrats har Nato genomfört ett större arbete kallat "UHF reorg". Tanken är att effektivisera användningen av frekvensbandet samt att minska riskerna för störningar. Den nya planen avsågs tidigare att införas i november 2017 men blev ytterligare uppskjuten till april 2018 och när detta skrivs, i januari 2018, är införandet ytterligare uppskjutet utan angivet datum för driftsättning. En mer realistisk införandetid

är nu slutet 2018. Ett exempel på konsekvens av införandet av den nya planen är att frekvensallokeringen för AGA-systemet SATURN behöver göras om. Detta gäller frekvenser både för träning (ex T1600 för SATURN idag) och i krig.

Försvarsmakten har som målsättning att på lång sikt harmonisera Försvarsmaktens frekvensallokering mot Nato UHF-plan. Ett första steg kommer att tas i samband med genomförandet av UHF reorg, men ytterligare anpassning kommer att ske under ett antal år framöver.

3.1.3 Frekvensområden i framtiden

IMT-utvecklingen är det enskilt starkaste hotet för ett effektivt militärt radiosamband. I princip är ”alla” frekvensband av intresse för IMT. Detta har särskilt accentuerats under arbetet med att standardisera femte generationens mobiltelefoni, 5G. Förutom IMT-industrin driver vissa länders telemyndigheter (motsvarande PTS) på kraftigt för att frigöra spektrum för IMT. Förutom radiofrekvenser är även frekvensområden för radar, satellit, fjärranalys, telemetri, fjärrstyrning (ex för UAS) mm hotade.

Utvecklingen är tydlig; inga ”nya” frekvenser kommer att finnas för militär kommunikation. De militära systemen måste bli mer spektrumeffektiva och integrationen av SB-system på en plattform måste ske mycket noga så att frekvensutnyttjandet optimeras så långt det går. Givetvis gäller detta under en plattforms hela livscykel och en felaktigt utförd modifiering kan lätt leda till, en i vissa fall kraftig, försämring.

Generellt bör all radiomateriel som anskaffas kravställas att kunna arbeta inom ett mycket stort frekvensområde och kunna omprogrammeras för nya kanalplaner etc. med mycket kort varsel. Större krav på sändarslutsteg (låg ACI¹¹) och nyttjandet av modern mottagarteknik inklusive modern filterteknik bör göra det lättare att ”packa” ihop olika nät på ett effektivare sätt.

Utöver detta måste det reella informationsbehovet ses över mer noga än vad som gjorts idag. Idag tilldelas alla nät samma kapacitet, exempelvis på VHF, alldeles oavsett typ och karaktär på den trafik som utväxlas i nätet. Detta innebär ett slöseri med frekvensresurser och det kan dessutom äventyra störskyddet.

Även möjligheten till ”nya” störskyddsmetoder måste studeras, bland annat för att tillgängliga frekvensområden är för smala för att erbjuda ett fullgott skydd vid höga störningsnivåer.

3.2 Vågformsutveckling

3.2.1 Smalbandiga vågformer – VHF (30-88 MHz)

Detta frekvensområde bedöms i framtiden kunna utnyttjas som idag eller till och med i något större utsträckning eftersom en del andra användare lämnar bandet. Under de senaste 10-15 åren har det utvecklats en rad olika smalbandiga vågformer med någon form av ad hoc funktionalitet (främst för att överbrygga större avstånd) som nyttjar frekvensområdet 30-88 MHz. Bland dessa vågformer bör tex Nato's *Narrow band waveform*, NBWF, omnämnas samt en rad proprietära vågformer från tex Thales, R&S, Rockwell Collins, Elbit mfl. Bandbredderna här är 25 och 50 kHz, samt i något fall även 100 kHz. Det är med dagens utrustning (arvet) svårt att få nuvarande 25 kHz frekvensutrymme på VHF att räcka till. Det skulle möjligen gå att pussla ihop 100 kHz för enstaka prov och försök. För en bredare driftsättning finns knappast någon möjlighet till mer än 50 kHz bandbredd.

Flera av dessa vågformer har, eller kommer att få, störskydd som i de flesta fall består av frekvenshopp med medelhög hopptakt.

¹¹ Adjacent Channel Interference.

3.2.2 Bredbandiga vågformer – UHF (225-400 MHz)

Under ett flertal år har det pågått vågformsutveckling i en rad olika konstellationer där målet har varit att ta fram en bredbandig vågform. Exempel på detta är ESSOR, COALWNW, HCDR, WNW, och vågformen i vår egen GTRS och sedermera Ra460, samt i Ra570 (TGR). Dessutom finns proprietära bredbandiga vågformer hos ett flertal tillverkare som Thales, Leonardo (Selex), Aselsan, Rockwell Collins, Elbit, R&S med flera. De flesta av dessa vågformer är avsedda för frekvensområdet 225-400 MHz med en bandbredd på ca 1 MHz (1.0, 1.2 och 1.25 MHz) och i princip får det plats fyra (eventuellt fem) sådana kanaler på 5 MHz. Utöver detta förekommer det system med 0.5 MHz bandbredd.

Det bör påpekas att även om det finns en övergripande Nato-plan finns det nationella avvikelser. Det och en del andra faktorer medför att det i realiteten bara finns runt 20-30 MHz tillgängligt för bredbandiga tjänster. Om det antas att det bredbandiga systemet har en bandbredd på 1.25 MHz, en mycket vanlig bandbredd i sammanhanget, kan teoretiskt en maximal processvinst på ca 12 dB (16 kanaler för 20 MHz) erhållas, men det blir troligen mindre på grund av grannkanalsinterferens (ACI), systemförluster, överbelastning i ingångssteg vid samlokalisering samt att angivna värden förutsätter ortogonala koder och inga parallella nät. Motsvarande siffror om 45 MHz skulle kunna frigöras blir ca 15.5 dB (36 kanaler).

3.2.3 Bredbandiga vågformer - L-band (1-2 MHz)

Flera nationer och koalitioner har på senare tid tittat på användning av L-bandet för bredbandiga system. Här har både 1.25 och 5 MHz diskuterats som bandbredder. För svenskt vidkommande har detta band beskrivits och förändrats i flera omgångar. Idag har Försvarsmakten bara tillgång till vissa delband. Det finns rasterplaner för dessa delband, som är gjorda för olika bandbredder. Militär utrustning som skall användas i detta band bör därför ha stort avstämningsområde och vara lätta att ändra frekvens på (samt även bandbredden i luften). Idag används detta band av radiolänksystemen Ra371 och Ra373. Eventuella framtida system måste kunna samexistera med dessa system så länge som de äldre systemen är i drift.

3.2.4 Bredbandiga vågformer - andra frekvensband

Som ett exempel på variationerna mellan olika länder kan nämnas att i en del europeiska länder är frekvensbanden 870-876 MHz och 915-921 MHz tillgängliga för militära applikationer. De övre 2 x 3 MHz (dvs 873-876 och 918-921 MHz) delas mellan ER-GSM och militära användare. Banden är dock inte tillgängliga i Sverige.

4 Aktiviteter i olika skeden för att säkerställa radioprestanda

Erfarenheter visar att det är viktigt att i ett tidigt skede av materielanskaffningsprocessen hantera problematiken som beskrivs i kapitel 2. Genom att tidigt förutse problemen kan kostsamma åtgärder undvikas. Inför anskaffning och modernisering av militära plattformar behöver befintliga rutiner och metoder, såsom mätmetoder, verifiering och validering m.m., vidareutvecklas för att säkerställa kommunikationssystemens funktionssäkerhet. Därför finns det behov av att införa aktiviteter i strategiskt valda skeden och att anpassa kravställningen samt att speciellt bevaka integrationen av system på en plattform. Kontrollpunkterna ska sträcka sig över hela kedjan från kravställning av förmågor till verifiering av funktionssäkerhet samt vidmakthållande av materiel.

4.1 Livscykelmodellen

För att lyckas med systemutveckling krävs ett strukturerat arbetssätt och det finns många koncept och metoder för att ta sig an uppgiften. Traditionellt har systemutveckling beskrivits genom att redogöra för ett antal aktiviteter som ses ingå i systemutvecklingsarbetet: kontextanalys, behovsanalys, kravhantering, design, realisering, verifiering och validering [8]. Detta synsätt har senare utvidgats för att täcka systemens hela existens. Begreppet *livscykel* används ofta inom systemutveckling för att beskriva ett systems stegvisa evolution från koncept, genom utveckling till produktion, användning och till slut avveckling (se Figur 2)

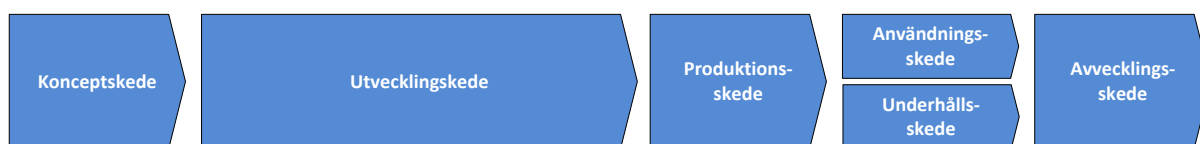
Systemintegrationen behöver bevakas under plattformens hela livslängd, från kravställning, upphandling, leverans, installationer och modifieringar av plattformen, till dess att den tas ur bruk. Nedan ges en kortfattad beskrivning av de olika skedena.

4.1.1 Konceptskede (behovsanalys)

I konceptskedet sker en förmågeutformning och kravutformning där olika frågeställningar besvaras, som exempelvis: Vilka förmågor ska systemet ha? I konceptskedet finns det möjlighet att generera och utvärdera en eller flera alternativa lösningar för att möta identifierade behov eller koncept genom analys och utvärdering av genomförbarhet inklusive t.ex. internationella samarbetsmöjligheter, kostnader, tidsaspekter etc. I detta skede sker successiv kravanpassning utifrån bl.a. ändrade förutsättningar, risker och möjligheter. Skedet innefattar ett iterativt förfarande mellan kravutformning och de möjligheter som finns för att uppfylla de förmågor systemet ska ha. Arbetet kan utföras i studieform.

4.1.2 Utvecklingsskede (kravställning, design, verifiering och validering (VoV))

Arbetet i utvecklingsskedet består i att definiera och konkretisera övergripande krav på tekniskt system samt interna och externa förutsättningar för verksamhet. Arbetet syftar även till att ta fram en realiserbar teknisk systemdesign som uppfyller gällande krav och effektmål enligt baskonfiguration. Det kan röra sig om materielutvecklingsfasen inom ett planerat projekt för anskaffning av nytt system eller vidareutvecklingen av befintligt system till ny version. I utvecklingsskedet sker kravställning, design, upphandling, utveckling, konstruktion och prototyp samt verifiering och validering (VoV).



Figur 2 Livscykelmodell [8].

4.1.3 Produktionsskede (tillverkning och leverans)

I produktionsskedet ska en lösning som uppfyller krav på prestanda för att uppfylla en viss förmåga realiserats och levereras. Det kan vara inköp av nytt system/objekt eller modifiering/uppgradering av befintligt system i syfte att få bättre prestanda och längre livstid än tidigare. I skedet sker tillverkning och leverans av systemet och avslutas med godkänd leverans av systemet/uppfyllt förmåga.

4.1.4 Användningsskede och underhållsskede (drift och underhåll)

Användningsskedet inleds då systemet är klart för att användas i drift. Det betyder att alla förutsättningar enligt kravelementlistan är uppfyllda och att ett säkerhetsgodkännande är beslutat för systemet. Skedet börjar efter driftöverlämningen då systemet har levererats till avsedd plats för användning. Samtidigt med användningsskedet sker underhållsskedet där drift, logistik och underhåll för systemet planeras.

4.1.5 Avvecklingsskede

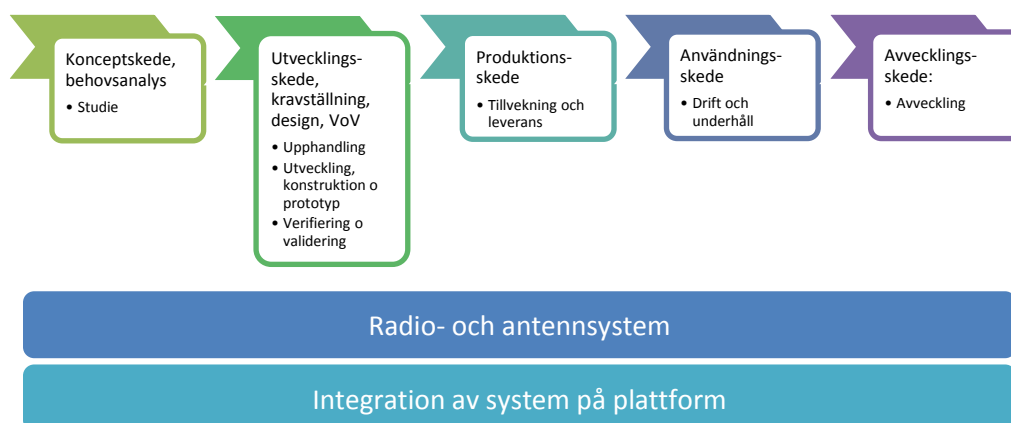
Avvecklingsskedet syftar till avveckling av system och relaterade drifts- och underhållstjänster. Det innebär att systemet tas ur drift. Det är viktigt att planering för skedet inleds tidigt (helst beaktas under systemets hela livscykel). Materielen skall avvecklas kostnadseffektivt, miljösäkert och på ett säkerhetsmässigt sätt enligt gällande lagar och förordningar. Det är FM som fattar beslut om när system ska avvecklas.

4.2 Från problemställning till aktiviteter i olika skeden

Aktiviteter för att säkerställa radioprestanda kan se olika ut beroende på vilken typ av system som det är frågan om.

Redan i konceptskedet är det viktigt att ha en tydlig uppfattning om det kommunikationsbehov som ska realiserats. Det betyder att utvecklingen ska vara förmågedriven och helst inte teknikdriven. Behovet bör sedan kopplas till övergripande tekniska krav, frekvensanvändning för radiosystem och den faktiska frekvenstillgången. Om det är frågan om en kommande upphandling eller planering för specifika insatser (exempelvis internationella, då frekvensanvändningen kan förändras) bör tillgången till frekvenser säkerställas. Då kommunikationsbehovet fastställts är det önskvärt att bryta ner behovet till antal användare, talgrupper och datanät och information om hur och på vilka plattformar radiosystemen ska användas.

I utvecklingsskedet finns en rad viktiga faktorer att beakta då det gäller upphandling av radio- eller antensystem eller modifiering av en plattform. Förhoppningen är att många potentiella problem kan undvikas genom en adekvat kravställning. Genom att ta med information om den faktiska plattformen som radiosystemen ska användas på samt samlokaliserade radiosystem ökar möjligheten



Figur 3 Livscykelmodellen.

till samfunktion. Information som är viktig att beakta är faktisk isolation mellan antennfästen för olika frekvensband, andra samlokaliserade radiosystem, faktisk frekvenstilldelning, störningsnivåer på plattformen och antennlösningar.

Då det gäller antennsystem är det viktigt att ha information om plattform, övriga radiosystem på plattformen samt eventuella behov av filterlösningar för att lösa telekonflikter. Val och placering av antennsystem är förenat med många kompromisser, varför vi ser ett stort behov av riktlinjer kring dessa val.

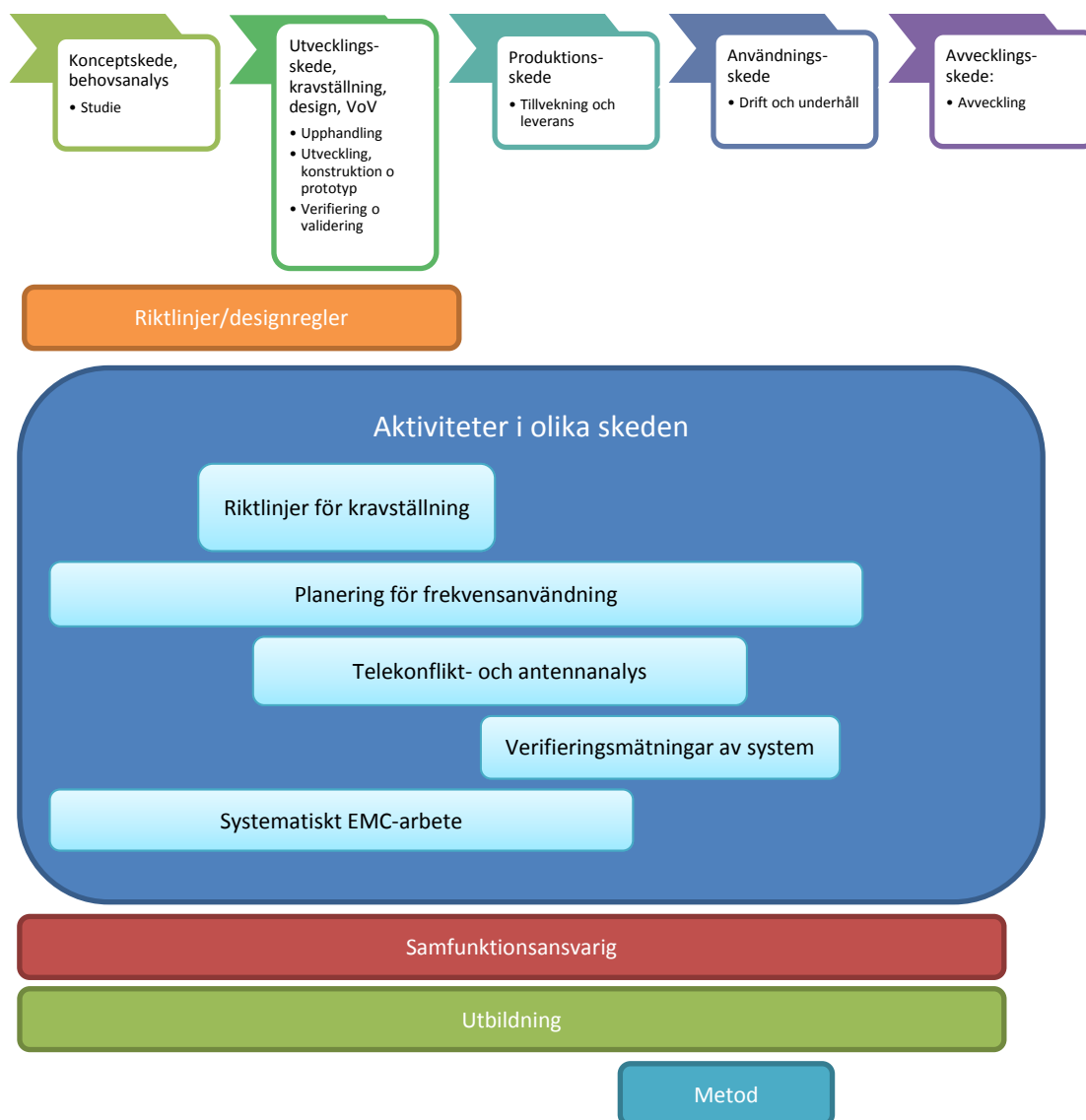
Plattformen i sig spelar en stor roll eftersom den skapar en rad förutsättningar eller begränsningar för den slutgiltiga radioprestandan. Exempelvis har plattformens design och hur leverantören har arbetat med dess elmiljö stor påverkan på den slutliga störningsnivån på plattformen. Även antennfästernas placeringar är avgörande för hur radiosystemen kommer att fungera tillsammans. Förutom samfunktionen av radiosystemen som ska placeras på plattformen finns också regelverk kring EMF, EMC, RÖS/TEMPEST, som är viktigt att beakta då radio- och antennsystem ska integreras på plattformen. Alla dessa frågeställningar måste bevakas då en plattform ska upphandlas eller modifieras.

Genom att dessa områden bevakas i de tidiga skedena kan många problem förebyggas. Det är ändå viktigt att verifiera att antenner och radiosystem har den prestanda det är tänkt då de har integrerats på en plattform. Detta är ett exempel på aktivitet som behöver ske i ett senare skede, ofta då i slutskedet av utvecklingen eller vid leveransmottagandet eller då systemen har monterats på plattform eller senare. Om prestanda inte uppfyller kommunikationsbehoven kan olika åtgärder behöva sättas in.

Ytterligare en aspekt är vem som är ansvarig för att genomföra de olika aktiviteterna. I nya EMMA-handboken för taktiska system presenteras en matris för vad som är FMV, som beställare, ansvar och vad som kan förväntas att leverantörens uppgift, se Tabell 1, [9]. Tabellen behandlar aktiviteter som berör elmiljöarbetet och med det menas främst aktiviteter som hör till EMC-arbete och inkluderar inte integration av radiosystem.

Tabell 1 Aktiviteter för beställare och leverantör enligt EMMA taktiska system [9].

	Konceptskede Behovsanalys	Utvecklingsskede Kravställning, design, VoV			Produktions- skede	Användningsskede Underhållsskede	Avvecklingsskede
	Studie	Upphandling	Utveckling, konstruktion och prototyp	Verifiering och validering, VoV	Tillverkning och leverans	Drift och underhåll	Avveckling
Beställarens elmiljöaktiviteter	Elmiljö-hänsyn i TTEM och i koncept VHL projektering smodell ska beaktas Beaktande av elektromagnetisk miljö-påverkan	Elmiljö-prognos Elmiljökrav-specifikation Leverantörs-bedömning Krav-information inkl krav gällande miljöpåverkan Granskning av EMC-kontrollplan	Granskning av verksamhetsplan Analys-granskning Konstruktionsgranskningar Planering av elmiljöåtgärder i avvecklingsplan	Godkännande av verifierings- och provningsplaner Ev övervakning av provning Bedömning av provningsresultat Avvikelse-bedömning Granskning av elmiljögodkännande	Dokument-kontroll Tillverknings- och leverans-kontroll (kvalitets-uppföljning)	Implementering av drifts- och underhållsrutiner samt erfarenhets-återmatning Utfalls-åtgärder	LCM i VHL beaktas Kontroll av att leverantören tar sitt ansvar enligt avvecklingsplan
Leverantörens elmiljöaktiviteter		Redovisning av elmiljö-resurser och kompetens EMC-kontrollplan Redovisning av elmiljöansvar vid avveckling	Verksamhetsplan Elmiljöanalys, delsystemkrav Konstruktion mot elmiljökrav Granskingsprocess Konstruktionsprovning Elmiljöstyrning av underleverantörer	Verifieringsplan Provningsplaner Verifiering inkl delsystem- och systemprovning Verifierings- och provningsrapporter	Leverans av dokument Förbättringar Installationsövervakning	Teknisk uppföljning och erfarenhets-återmatning Tekniska utfalls-åtgärder	Elmiljöåtgärder enligt avvecklingsplan



Figur 4 Presentation av hur olika verksamheter och aktiviteter kan användas för att skapa bra förutsättningar för god kommunikationsprestanda.

I Figur 4 presenteras aktiviteter som bör genomföras i olika skeden i syfte att förebygga problemen. Förutom de stöttande aktiviteterna och riktlinjerna föreslås även en samfunktionsansvarig, som är ansvarig för att säkerställa integrationen på en plattform så att detta inte sker på bekostnad av kommunikationssystemens prestanda. Vidare föreslås även utbildning samt metoderutveckling för att hantera problemen som kan uppstå.

4.2.1 Riktlinjer och designregler

För att säkerställa kommunikationsbehovet och kommunikationsprestanda trots bristen på frekvenser finns det behov av riktlinjer eller radiostrategi som kan nyttjas då en rad val ska göras i tidiga skeden. Riktlinjerna bör generellt beskriva vad som är bra system-, teknik- och utrustningsval och design av plattformar i syfte att kunna utforma en kravspecifikation vid upphandling av ett radio- och antensystem eller då systemen ska integreras på en plattform. Radiostrategin bör naturligtvis behandla ett brett område, men nedan presenteras några delar som är kopplade till de problem som behandlas i detta arbete.

Eftersom den faktiska frekvenstillgången kan ändras med tiden är det en fördel om radiosystemet kan använda olika frekvensområden och olika bandbredder. Radiosystemet kommer sannolikt att ha en lång livslängd och genom att systemet har en flexibilitet i frekvensanvändandet ökar möjligheten att den kan anpassas för framtida nya förutsättningar.

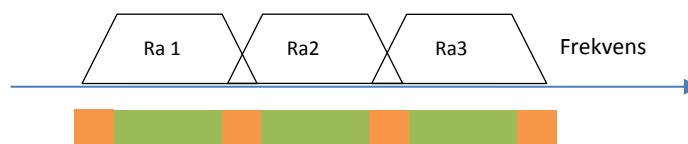
Sambandsbehoven kan realiseras på många olika sätt. Behoven kan initialt bestå av en rad olika tjänster i form av tal eller data, som ska implementeras i ett antal talgrupper eller datanät, och som behöver kunna spridas över en viss yta. Riktlinjerna bör ge underlag för vad som är lämpligt radiosystem att bestycka en plattform med för en given uppgift. Det bör eftersträvas att använda radiosystem som kan bära flera tjänster och undvika att ha ett radiosystem för varje tjänst. Det är önskvärt att planering av användare och system (få plats med alla talgrupper och nät) görs systematiskt och att ett helhetsgrepp tas för en hel division. Förslag kring detta har framkommit från olika håll och beror bland annat på Försvarmaktens ominriktning och uppbyggnad av flera brigader. Det får till följd att många olika enheter med många radiosystem kommer att verka på samma geografiska yta.

Det är önskvärt att radiosystemet har tekniker som ger en gradvis försämring (eng. graceful degradation) istället för att kommunikationen helt avbryts då systemet utsätts för de problemen som diskuterats. Detta kan ske genom att systemet själv tar till åtgärder genom att exempelvis sänka datahastigheten eller att kräva omsändningar.

Då flera radiosystem använder samma frekvensband kan det i vissa fall vara lämpligt att dela upp frekvensbandet för de olika radiosystemen för att undvika att systemen stör varandra. Om systemen frekvenshoppas innebär det samtidigt att systemens processvinst minskar. Dessutom innebär varje uppdelning av frekvensbandet i frekvensdelband, där varje radiosystem tilldelas ett frekvensdelband, att ett skyddsområde i frekvens krävs mellan de olika delfrekvensbanden. Detta för att inte radiosystem som nyttjar intilliggande frekvensdelband ska störa varandra. En sådan lösning kräver vanligtvis filterlösningar för att skydda de olika frekvensdelbanden.

Det finns behov av riktlinjer kring vad som är lämplig antenntyp och vad som är lämplig antenntplacering på plattformar, speciellt då det är fråga om flera antenner. Underlag behövs om nödvändiga avstånd mellan antennerna och hur dessa påverkar varandra. Information behövs också kring när det är lämpligt med en antenn för flera radiosystem. Flera radiosystem kan dela antenn om antennen täcker radiosystemens aktuella frekvensband. Detta realiseras vanligtvis genom att radiosystemen använder olika frekvensband och kan då sända samtidigt. Om radiosystemen använder samma frekvensband behöver antenntidning växlas mellan radiosystemen och gör då att enbart ett radiosystem i taget kan sända. Det är också möjligt att radiosystemen sänder på samma frekvensband samtidigt. Mottagarna behöver då kunna särskilja signalerna från de olika radiosystemen. Om antennen tvingas vara anpassad till ett stort frekvensband (vilket sker då den ska anpassas till flera band, exempelvis både VHF- och UHF-bandet) sker detta på bekostnad av försämrade antenntprestanda jämfört med om antennen hade varit anpassad mot ett av banden.

Det behövs också riktlinjer kring lämpligt teknikval för att skapa bäst möjliga störskydd mot avsiktlig störning, speciellt under de förutsättningarna som ges av den frekvensbrist som exempelvis finns på 225-400 MHz. Här är det viktigt att inkludera den faktiska frekvenstilldelningen för systemet och den plattform som systemet ska användas på inklusive samlokaliserade radiosystem. Information om detta är användbar vid kravställning och i diskussioner med leverantörer kring kravuppfyllnad.



Figur 5 Illustration av en fast uppdelning av frekvensbandet för olika radiosystem.

Riktlinjerna kan även behandla viktiga delar i kravställningen av radio- och antennsystem, se nästa avsnitt.

Slutligen behövs riktlinjer för att integration på plattformar. Riktlinjerna bör ha tydlig koppling till EMMA-handboken och även hantera telekonfliktsproblem och kunna användas både vid nybyggnationer och vid vidmakthållande. Det är önskvärt att riktlinjerna fungerar som en inkörsport till EMMA-handbokens olika delar så att projekten enklare hittar till de, för projektet, relevanta delarna. Det bör även vara ett stöd för produktledarna i arbetet med att följa upp och inrikta projekten, så att ett sammanhållet integrationsarbete kan genomföras.

4.2.2 Planering av frekvensanvändande

Frekvensanvändningen behöver planeras utifrån olika perspektiv och bör ske i olika skeden. Här är Försvarmaktens frekvensplan viktig och frågan ska lyftas med Försvarmaktens Frekvensarbetsgrupp (FAG) mycket tidigt. Möjligheten att använda ett frekvensband är viktigt att säkerställa så tidigt som möjligt. I det skedet är det bra att också få reda på om det finns några planerade förändringar framöver.

Användningen behöver sedan planeras för hur många användare, talgrupper eller nät som är aktuella. Även hur dessa ska användas i Försvarmaktens hierarki och hur dessa kommer att nyttjas geografiskt kan ha påverkan. Hur mycket frekvensresurser som krävs beror på vilken typ av radiosystem och tjänst det är frågan om.

Radiosystem som sedan kommer att användas på samma geografiska område och i synnerhet på samma plattform behöver frekvensplaneras. Här görs lämpligtvis en telekonfliktsanalys och om risken finns för konflikter bör dessa åtgärdas så tidigt som möjligt. Då många förband ska samoperera är det önskvärt att frekvensplaneringen sker för alla inblandade enheter.

4.2.3 Kravställning av system

Att genomföra ett gott kravställningsarbete av system och plattformar är grunden för att säkerställa att systemintegrationen inte orsakar någon prestandaförlust hos radiosystemen. Problemen kan till viss del förebyggas i ett tidigt skede, vilket gör att kostnader för sena åtgärder kan hållas nere och att radiosystemen fungerar bättre. Vid inköp av elektriska utrustningar behöver inköpare ställa relevanta krav på emission på samma sätt som andra krav relaterade till systemsäkerhet (temperatur, elsäkerhet, etc.).

Det som rör kravställningen av elmiljö beskrivs väl i EMMA. Nedan lyfts delar som är viktiga speciellt ut samfunktionssynpunkt. Förutom radiosystemets funktionalitet är det viktigt att ställa relevanta krav avseende:

- emissionskrav,
- utombandsegenskaper, inkl emission på grannkanaler,
- mottagarselektivitet,
- robusthet och störskydd för radiosystemet speciellt beaktas,
- men även den miljö och plattform som radiosystemet ska fungera ihop med måste beaktas.

Genom en adekvat kravställning av ovanstående parametrar kan behovet av filterlösningar minska, även fast det i många situationer (p.g.a. plattformsstorlek, mängden radiosystem och möjliga antennplaceringar) ändå kan bli nödvändigt med någon typ av filter. Nackdelarna med filterlösningar i det här sammanhanget är att det är kostsamt, tar plats och att det skapar en statisk frekvensanvändning som är svår att ändra på.

Vid kravställningen måste många olika parametrar vägas samman och det kan vara svårt att genomskåda vilka parametrar som i praktiken blir gränssättande för att kraven ska kunna uppfyllas. Detta är speciellt tydligt då radiosystemet är komplext och har funktioner som kan hantera vissa störningssituationer. Speciellt viktigt är hur radiosystemets felrättande kodning är utformad. Denna har stor påverkan på radiosystemets förmåga att hantera inte bara avsiktlig störning utan också andra

samlökaliserade radiosystem. Ofta finns initiala behov om att radion ska kunna fylla en viss typ av tjänstebehov med en ungefärlig räckvidd, ge en tillgänglighet och täcka en viss storlek av område eller att radion ska ha ett visst störskydd. Kravställningen av en radio som ska upphandlas påverkas starkt av vilken miljö den ska användas i. Det betyder att det är viktigt att veta på vilken plattformstyp den ska användas och vilka andra radiosystem som kommer att finnas i närheten.

4.2.3.1 Kravställning FH-system

För frekvenshoppande radiosystem har utombandsegenskaper och den grannkanalpåverkan som de orsakar visat sig ge stor påverkan på samfunktionen mellan flera frekvenshoppande radiosystem. Det är därför viktigt att kravställa utombandsemission på intilliggande kanaler och inte bara för frekvenser en viss procent ut från aktuell centerfrekvens. Emission på grannkanalerna är särskilt gränssättande för FH-system som hoppar på få hoppfrekvenser.

Viktiga parametrar vid kravställningen är exempelvis om det är möjligt med ortogonala nät, antalet hoppfrekvenser, isolation mellan antennerna, behov av störskydd, antalet samtidiga nät och hur dessa kan antas operera geografiskt.

Den militära standarden MIL-STD-461 [10] används ofta då militära radiosystem kravställs då det gäller radiosystemets emission utanför bandet. I MIL-STD-461 och RE103 regleras radiosystemens övertoner. Kravet innebär att emissionsnivån på 1:a och 2:a övertonen ska antingen vara som högst -20 dBm eller 80 dB lägre än nivån på avsedd frekvens. Valet mellan alternativen görs för det fall som kräver lägst dämpning. För alla övriga övertoner ($\geq 3:e$) gäller en dämpning på 80 dB relativt nivån på avsedd frekvens.

Kravet tillämpas inte inom sändarens bandbredd eller inom ± 5 procent av sändarfrekvensen. Exempelvis, en frekvensseparation på 5 % av 300 MHz är 15 MHz vilket innebär att RE103-kravet börjar gälla 15 kanaler bort för ett system med 1 MHz kanaler.

RE103 ställer krav på maximal nivå på alla övertoner, utom den första och andra, vilket för många system ligger långt från den aktuella centrumfrekvensen. Det är därför viktigt att komplettera med särskilda krav för maximal emission på grannkanalerna.

RE102 reglerar emission från utrustning som inte är utrustad med en antenn och används typiskt för elektriska utrustningar som inte är avsedda som radiosändare.

4.2.3.2 Kravställning av radiosystem – antaganden om omgivande miljö

Störningsproblem på plattformar har ökat i omfattning och är en följd av ökat antal elektromagnetiskt emitterande system och en ökad systemkomplexitet. Till detta kommer den oavsiktliga emissionen från det ökande antalet COTS (Commercial Off The Shelf)-system, kravställda enligt civila EMC-normer som är betydligt mer generösa än motsvarande militära normer. Plattformarna kan också ha en rad andra emitterade system såsom radar, sikten och IK-system, vilka kan påverka kommunikationssystemen.

Då ett radiosystem ska integreras på en plattform bör plattformens brus och den omgivning plattformen ska verka i tas i beaktande. Erfarenheten är att tätare miljöer som ITUs¹² Business och Residential kan vara betydande på VHF-bandet medan det är främst plattformsbuset som dominerar på UHF-bandet [5, 11]. Detta kan dock variera avsevärt beroende på frekvensband, plattformstyp och hur plattformen är utrustad, varför det är viktigt att analysera den aktuella plattformen.

4.2.3.3 Kravställning av antenner

Det ökande antalet emitterande system medför även att antalet antenner på plattformen blir fler och att avståndet mellan dessa minskar. Detta innebär i sin tur en risk för försämrad prestanda i form av minskad effektivitet, vilket påverkar signalstyrkan både på sändar- och mottagarsidan, och ökad brusnivå i mottagaren. Antennprestandan påverkas av både mottagarens och andra antenners

¹² ITU: Internationella Teleunionen, Recommendation ITU-R P.372-12 Radio Noise, Geneva, 2015.

egenskaper. Vid kravställning är det därför viktigt att antennen ses som en del av ett system snarare än som en separat komponent.

4.2.4 Systematiskt EMC-arbete

En viktig del är att systematiskt planera och designa system och dess införande på plattformar. EMC-arbetet på plattformen är en viktig grund för att undvika sambandsproblem. Konsekvensen av ett bristande EMC-arbete är att störningskällor skapas vilket gör att plattformen får onödigt höga störningsnivåer eller att nya kopplingsvägar skapas. Detta kan säkerställas genom en adekvat kravställning av plattformen och för detta ändamål finns en handbok för EMC-arbete, EMMA-handboken [1]. Den har funnits inom FMV och Försvarmakten sedan 1994 och har som syfte att säkerställa att högpresterande tekniska system som integreras på en plattform kan samexistera utan att prestanda försämrats, att systemen klarar starka elektromagnetiska fält och att systemen är säkra för användaren. All verksamhet som innebär integration av elektronisk utrustning som kan emittera radiofrekvent energi på en plattform skall följa denna handbok. Dock behandlar handboken enbart översiktligt hur integrationen av radiosystem bör ske på plattformar för att undvika och förebygga telekonflikter genererade av andra radiosystem. Påverkan från dessa kan starkt försämrade radiosystemens kommunikationsförmåga och detta problem förstärks av ett ständigt ökande antal sändare på små plattformar. All installation behöver sedan ske i enlighet med gällande EMC-standarder och helt enligt framtaget installationsunderlag.

4.2.5 Telekonflikts- och antennanalyser

Då radiosystem, antenner och elektriska utrustningar ska placeras och installeras på en plattform är det viktigt att i förhand utvärdera hur systemen kommer att fungera tillsammans. Samfunktion mellan radiosystem kan analyseras genom en telekonfliktsanalys av systemen. Telekonfliktsrisken för situationer med många samlokaliserade radiosändare är störst då dessa använder sig av samma frekvenser, men även då systemen inte använder samma frekvenser finns en risk för telekonflikter. Det senare fallet beror mycket på radiosystemens utombandsegenskaper, använda frekvenser (och de intermodulationsprodukter de skapar), filter i sändare och mottagare, och isolationen mellan antennerna.

I analysen av hur ett visst radiosystem påverkas av andra radiosystem är det viktigt att beakta:

- Det utsatta radiosystemets förmåga att hantera störningssignaler. För det krävs information om bland annat modulation, felrättande kodning och störningsundertryckande funktioner. Även om systemet nyttjar någon typ av bandspridning, som exempelvis frekvenshopp eller direktspredning behöver detta tas i beaktande. Mottagarens selektivitet och övriga filter som finns i mottagaren påverkar situationen. Slutligen behövs information om det utsatta radiosystemets antennsystem.
- Vågutbredningsförhållanden. I analysen behöver vågutbredningsförhållandena modelleras mellan det utsatta radiosystemet och det störande radiosystemet, exempelvis i form av kanalmodell och ungefärlig dämpning.
- Det störande radiosystemet. De störande radiosystemens signalkaraktäristik behöver modelleras i form av effekt, bandbredd och utombandsegenskaper, olinjära effekter, arbetsfaktor, eventuell frekvenshopptakt och hur signalen uppträder i tid. Dessutom behövs information om sändarens filter samt sändarens antennsystem.
- Störningsmiljön för det utsatta radiosystemet. Information om den övriga brusmiljön behövs. Exempelvis är det viktigt att veta om bruset emitteras kontinuerligt eller pulsaktigt, vilket kan beskrivas med dess statistiska karaktär. I brusmiljön inkluderas ofta internt brus, omgivningsbrus i form av så kallat bakgrundsbrus samt plattformbrus.

Analysen kan genomföras mer eller mindre noggrant. En mindre komplex analys består av att skatta signal-brus-förhållandet för det utsatta radiosystemet och anta att störningssignaler från det störande radiosystemet kan approximeras som Gaussiskt brus med en viss medeleffekt. En mer komplex analys består i att simulera bit- och paketfelshalt och att ta hänsyn till radiosystemets motståndskraft mot störning och störande radiosystems tidsmässiga uppträdande och utombandsegenskaper.

Tabell 2 Schematisk sammanställning av risken för telekonflikter.

	Radiosystem1 (UHF1)	Radiosystem2 (UHF1)	Radiosystem3 (UHF2)	Radiosystem4 (UHF2)
Radiosystem1 (UHF1)				
Radiosystem2 (UHF1)				
Radiosystem3 (UHF2)				
Radiosystem4 (UHF2)				

Funktioner som påverkar radiosystemets motståndskraft mot störningar är typiskt systemets felrättande kodning. I den enkla analysen kan stora fel göras speciellt om det störande radiosystemet uppträder pulsaktigt. Detta uppstår typiskt då det är frågan om flera frekvenshoppsystem som stör antingen ett annat frekvenshoppsystem eller ett fixfrekvenssystem. Risken är att det frekvenshoppande systemet stör ett annat radiosystem då de sänder på samma frekvens eller då det störande frekvenshoppande systemet stör genom att det läcker störningseffekt på grannkanaler.

Telekonfliktsanalysen görs helst med ett utsatt radiosystem och störande radiosystem i taget för att kunna identifiera var de största riskerna för telekonflikter finns. Resultaten eller risken för telekonflikter kan sammanställas i en matris enligt Tabell 2. Om det finns risk för att en kombination av flera störande radiosystem kan orsaka en speciell kombination av störningsmiljö (exempelvis att intermodulationsprodukter skapas) bör även denna kombination studeras.

Förutom sändande system på samma plattform bör telekonfliktsanalysen även ta hänsyn till andra sändande system som kan finnas i närheten, exempelvis på samgrupperade plattformar.

Antenners egenskaper kan kraftig försämrats av en olämplig placering på plattformen, vilket kan försämma kommunikationsprestanda avsevärt [12]. Antennplaceringen kan även göra systemen mer känsliga för telekonflikter. Därför bör de olika antennernas placeringar och hur de påverkar varandra analyseras för att bestämma lämpliga antennpositioner. För både telekonflikts- och antennanalysen kan stöttande mätningar behövas för att ge visst underlag men också för att bekräfta resultaten.

4.2.6 Verifieringsmätningar av radiosystemprestanda

Införande av ny materiel eller modifieringar av befintlig materiel på en militär plattform leder ibland till en ökad störningsproblematik för plattformens radiokommunikationssystem. Detta innebär att radiokommunikationssystemen får en mer begränsad prestanda i form av räckvidd, dataakt, etc. Ett väl genomfört elmiljöarbete ökar sannolikheten för god funktionssäkerhet och tjänstekvalité men är inge garanti för att detta uppnås. Även om alla komponenter och system på en plattform var för sig uppfyller elmiljökraven kan den sammantagna nivån på den elektromagnetiska störningsmiljön bli för hög. Dessutom hanteras vanligtvis enbart andra elektroniska system i elmiljöarbetet. Utöver påverkan från dessa tillkommer radiostörningar från andra sändare på plattformen. Det är då speciellt utombandsegenskaper, frekvensutnyttjande, sändareffekt och placering av sändarantennar som är av avgörande betydelse för nivån på den elektromagnetiska störningsmiljön.

En viktig komponent för att säkerställa funktionssäkerhet och tjänstekvalité är därför att verifiera radioprestandan vid införandet av ny materiel eller vid modifieringar av plattformens systemkonfiguration. Om oacceptabla försämringar har skett kan problemen åtgärdas.

För detta krävs mätmetoder med fokus på funktionssäkerhet och tjänstekvalité för prioriterade kommunikationssystem, främst digitala, och de viktigaste driftfallen. Metoden ska kunna användas när system på plattformar tillförs eller modifieras och där risken för påverkan på kommunikationssystemen bedöms stor. I de fall påverkan har noterats ska metoden kunna användas för att mäta hur stor inverkan på funktionssäkerhet och tjänstekvalité blir. Metoden ska inte ersätta

nuvarande elmiljökrav. Tvärtom, ett gott elmiljöarbete är en förutsättning för att metoden ska fungera i praktiken.

En verifieringsmätning på plattform kan genomföras vid leverans av en plattform för att säkerställa att leverantören uppnått de ställda kraven på radiosystemprestanda genom dess elmiljöarbete. Resultaten från den genomförda verifieringsmätningen kan därefter användas som en referensnivå vid framtida verifieringsmätningar på plattformen. Efter större eller betydande modifieringar av plattformen ska nya verifieringsmätningar genomföras. Dessa resultat ska sedan jämföras med de erhållna resultaten från verifieringsmätningarna som utfördes vid leveransen av plattformen för att säkerställa att inte genomförda modifieringar av plattformen reducerat radiosystemens funktionssäkerhet. Om det visar sig att genomförda modifieringar på plattformen gav upphov till en försämrad radiosystemprestanda måste ett beslut fattas och dokumenteras väl om modifieringens nytta och om funktionen är värd en sämre radiosystemprestanda än den ursprungliga.

Resultaten från verifieringsmätningen kan också användas vid kravställningen inför modifieringar. Ett krav kan då vara att resultaten från nya verifieringsmätningar efter modifikation inte får vara sämre än de resultat som erhöles innan modifieringen. Detta för att säkerställa att modifieringen inte har någon negativ påverkan på radiosystemprestandan hos plattformen.

Exempel på typ av verksamheter inom detta är mätningar av interferenser innan och efter översyn av en plattform, studier av inverkan på interferensnivåer orsakat av nya radiosystem som exempelvis RAKEL, Link22, MARLIN, SATURN samt andra system som kan tänkas utstråla radiofrekvent energi (t.ex. radarsystem), täckningsområden för specifika system för olika geografiska miljöer, stöd i ett tidigt skede av kravställningsprocessen (ex i IPT-grupper), samt frågor där IT-säkerhet och sambandsegenskaper påverkar varandra. Mätningarna enligt ovan bör genomföras med en mätmetod som ger god information om hur radiosystemet påverkas prestandamässigt, följer standarder i möjligaste mån och som i möjligaste mån speglar verkliga driftförhållanden utan att ta lång tid att genomföra. Det senare är av stor vikt vid mätning av fartyg.

4.2.7 Samfunktionsansvarig

FOI föreslår att en samfunktionsansvarig för elmiljö och samband utses för varje plattform, som har till ansvar att bevaka och åtgärda problem som är relaterade till systemintegrationen. Genom att omhänderta problematiken i tidiga skeden kan många potentiella problem förhindras. Detta bör vara en uppgift för den samfunktionsansvariga för en plattform. Den ansvariga behöver också ha god samverkan över organisationsgränser. Det kan exempelvis gälla samverkan mellan FM och FMV redan innan FMV lämnar över materiel till FM eller mellan olika plattformsansvariga för plattformar som är bestyckade med samma radiosystem. Den ansvariga bör vara delaktig vid planering och införande av system på en plattform och bör ha befogenheten att neka införandet av system som kan orsaka försämring av prestanda hos något radiosystem.

4.2.8 Utbildning

Utbildning behövs för att ge kunskap om vilka konsekvenser som bristfällig systemintegration kan leda till samt för att ge mer handfasta rekommendationer som innefattar funktionssäkerhet och EMC-aspekter. Utbildningen behöver rikta sig till personal som har integrationsansvar, system- eller delsystemansvar eller på annat sätt har behov av att få ökad kunskap om viktiga principer för att minska risken för störningsproblem vid integration, som exempelvis produktledare och användare, exempelvis signalister. Syftet är att ge en grundläggande förståelse för EMC och telekonfliktproblematiken och framförallt hur detta påverkar radiosystemen. Vidare bör kursen omfatta hur designreglerna skall tillämpas och varför EMMA-handboken är nödvändig för alla projekt som tillför eller modifierar elektronisk utrustning på en militär plattform eller anläggning.

Genomförandet av utbildning bör koordineras med övriga utbildningsinsatser som genomförs av FM, FMV och FOI. Utbildning kring EMMA-handboken ger en god förståelse och instruktioner i det som rör EMC-arbete men detta är inte tillräckligt när det gäller att, i ett integrations- och samexistensperspektiv, uppnå önskad funktionssäkerhet. Under hösten 2015 utvecklade och genomförde FOI en kurs på FMV med marin inriktning för produktledare i syfte att höja kunskapen kring system-integration och de konsekvenser det kan medföra. FOI föreslår att kursen uppdateras

och genomförs regelbundet både med marin- och arméinriktning. Det är viktigt att också slutanvändarna utbildas i vad som händer om en bra systemintegration åsidosätts.

4.2.9 Metodutveckling

De åtgärder som hittills har föreslagits är till för att förebygga problem som kan uppkomma. Om det ändå uppstår problem är det viktigt att det finns metoder att ta till för att hantera situationen. Med metod i detta avseende menas främst det som kan tas till för användning av radiosystem, dvs i användningsskedet. Dock är det viktigt att förstå vad som är orsak till kommunikationsproblemen för att kunna använda sig av en lämplig metod.

En situation som kan uppkomma är att flera radiosystem krockar i frekvensanvändandet. Förband som vanligtvis är geografiskt åtskilda kan vid samövning hamna inom samma geografiska område och råka sända på samma frekvenser. Konsekvensen är att de två förbanden stör varandra och därför förhindras att kommunicera som det var tänkt. I en sådan situation bör någon på högre nivå kunna avgöra vem som har högst prioritet till att använda frekvenserna. Problemet bör naturligtvis även åtgärdas på andra sätt också.

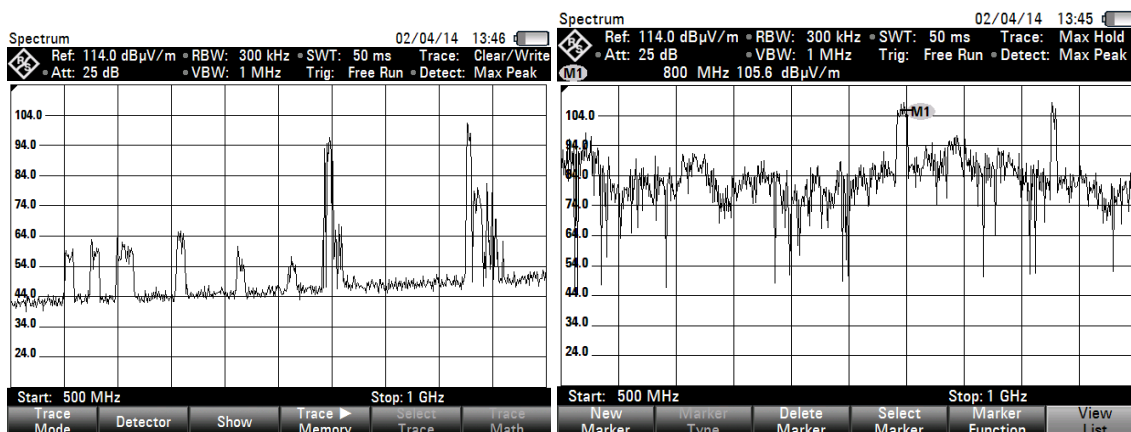
En annan vanligt förekommande situation är då flera plattformar samgrupperar. Om användarna upplever kommunikationsproblem bör det finnas en åtgärdslista att utgå från för att förbättra situationen. Exempel på sådana åtgärder kan vara att separera plattformarna mer, att stänga luckor eller dörrar för att sänka störningsnivån från eventuella störningskällor som finns i plattformarna eller att inspektera att antennerna har relativt fri sikt mot det de kommunicerar med.

5 Fixfrekvenssystem kontra frekvenshoppande system

5.1 Robusthet mot störning

Frekvenshopp är en välkänd teknik för att ge robusthet mot fientlig störning genom att hoppa inom en större bandbredd. Detta ger en fördel gentemot en bredbandsstörare som måste sprida sin effekt över ett större antal kanaler för att störa radiosystemet. Frekvenshopp ger även viss robusthet mot fädning eftersom de olika hoppfrekvenserna fädrar olika. Även mot smalbandiga störningar på vissa frekvenser ger frekvenshopp en fördel eftersom de endast påverkar mottagaren en del av tiden. Sammanfattningsvis har frekvenshopp en rad fördelar. För att erhålla ett bra störskydd krävs dock att signalen kan spridas över en stor bandbredd. Om tillgången till frekvensband är liten blir också störskyddet litet.

Samtidigt förenklar frekvenshoppstekniken för en motståndare att signalspana. Frekvenshoppstekniken gör att signalen är lätt att upptäcka och motståndaren kan enklare positionera noderna i ett nät. Ytterligare en aspekt är att frekvenshoppstekniken inte förbättrar robustheten då systemet utsätts för oavsiktlig bredbandig störning. Om den oavsiktliga störningen är lika hög på alla frekvenser spelar det ingen roll om systemet frekvenshoppar eller inte och systemet får därför ingen ökad robusthet jämfört med ett fixfrekvenssystem. Som exempel visas i Figur 6 ett frekvensspektrum av en mycket bredbandig oavsiktlig störning. Figuren visar radiostörningar på GSM-nätets upplänk vid Eriksbergs shoppingcenter i Västerås, 2014, [13]. Störningarna var mycket bredbandiga och uppträdde enbart på kvällen och försvann dagtid. Orsaken till störningen mot basstationen var en strålkastare som kvällstid belyste en flagga vid ingången till shoppingcentrets entré.



Figur 6 Uppmätt frekvensspektrum av en oavsiktlig bredbandig störning (det högra spektrumet) som stör åtminstone mellan 500-1000 MHz [13].



Figur 7 Flaggbelysning vid shoppingcenters entré som störde ut en basstation för GSM-nätet [13]. Foto: Henrik Olsson, Elsäkerhetsverket.

5.2 Utombandsegenskaper

En annan nackdel med frekvenshopp är att utombandsegenskaperna för systemet ofta blir sämre med höga störnivåer på närliggande kanaler. Det är vanligt att en sändare avger betydande effektnivåer på grannkanaler. I Figur 8 visas ett exempel på emission utanför avsedd bandbredd, vilket är 25 kHz runt 0 kHz. Figuren visar att effekten på grannkanaler har sjunkit till 80 dB först 700-800 kHz ut från centerfrekvensen, vilket är omkring 28-32 kanaler ut från centerfrekvensen.

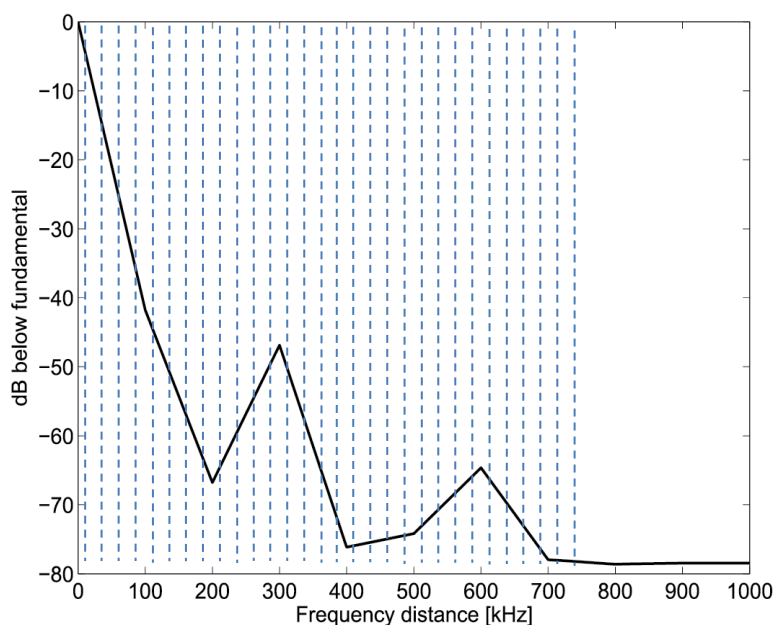
Problemet med utombandssignalerna är speciellt påtagliga då flera FH-system är samlokaliserade på samma plattform eller på en plattform i närheten. Utombandssignaler kan vara dämpade 30-60 dB jämfört med signalen på nyttofrekvensen men ändå bli dominerande i en samlokaliserad mottagare då den önskade signalen sänds långt ifrån med en länkdämpning på exempelvis 130 dB. (För att jämföra mottagen signal och störningseffekt behöver även isolationen mellan antennerna inkluderas.) Notera att ortogonalt FH enbart undviker att systemet hoppar på exakt samma frekvens och eventuellt ett visst antal frekvenser ifrån hoppfrekvenserna. För att uppnå bra prestanda behöver det ortogonala FH undvika alla frekvenser där det finns betydande nivåer på grannkanalerna.

För att förbättra utombandsegenskaper kan filter användas. Filter som kan frekvenshoppa blir ofta dyrare eftersom de behöver kunna hantera ett större frekvensområde och dessutom behöver kunna byta frekvens snabbt.

Fixfrekvenssystem separeras i frekvens för att inte interferera med varandra. Höga utombandsnivåer innebär dock att systemen ändå kan interferera med varandra. En nackdel kan vara att fixfrekvenssystemen stör varandra på ett likartat sätt då de är aktiva eftersom frekvensseparationen är densamma hela tiden. Har man otur kan ett system uppleva höga nivåer hela tiden beroende på dess sidbandsstörningar. Detsamma gäller andra störningar som kan variera över frekvens, som emissioner från exempelvis datorer. Störningsnivåerna kan variera mycket mellan olika frekvenser och ett visst fixfrekvenssystem kan då alltid uppleva högre störnivåer än ett annat system.

5.3 Interferenser mellan frekvenshoppande radiosystem

På vissa militära frekvensband är flera olika frekvenshoppande system fördelade. De kan då frekvenshoppa på samma frekvenser eller vara planerade att hoppa på olika frekvenser. Risken finns att radiosystemen stör varandra antingen då de befinner sig på samma frekvens (samtidig sändning och mottagning) eller då de befinner sig frekvensmässigt i närheten av varandra. I det sistnämnda fallet orsakas telekonflikten av att radiosystemet även emitterar störningseffekt på grannkanaler.



Figur 8 Exempel på sändarspektrum.

Ett frekvensband där risken för telekonflikter mellan frekvenshoppande radiosystem är stor är det harmoniserade Nato-bandet 225-400 MHz [14]. I detta frekvensband finns flera olika typer av radiosystem allokerade och för tjänsten *Wideband mobile*, finns enbart några tiotal MHz tillgängligt. Det betyder att för den typen av system blir antalet möjliga frekvenser att hoppa på relativt få och att det är svårt att undvika telekonflikter mellan de frekvenshoppande systemen.

I [6] analyseras effekterna av detta och faktorer som påverkar interferensrisken är:

- Ortogonalt frekvenshopp. Möjligheten till ortogonalt frekvenshopp minskar risken för telekonflikter.
- Undertryckning av utsänd störningseffekt på grannkanalerna. Ju mer undertryckning av störningseffekten på grannkanalerna som kan uppnås desto bättre. Detta kan uppnås genom frekvenshoppande filter eller genom att systemet har låga effektnivåer på grannkanalerna (uppnås genom god design och bör om möjligt krävas).
- Antal hoppfrekvenser. Ju fler frekvenser att hoppa på, desto bättre störskydd mot avsiktlig störning och desto bättre samfunktion med andra system som använder samma frekvenser. Ett ökat antal hoppfrekvenser förutsätter dock ett större frekvensområde.
- Isolation mellan antennerna. Isolationen, eller den dämpning som finns mellan antennerna, är viktig och det är eftersträfvansvärt att ha så hög isolation som möjligt mellan radiosystem som riskerar att störa varandra.
- Felrättande kodning över flera hoppfrekvenser.
- Åtgärder som höjer signal-interferens-förhållandet. Det betyder att man antingen höjer den önskade signalens effekt eller med olika åtgärder sänker de störande radiosystemens signaleffekt.
- Åtgärder som höjer signal-brus-förhållandet. Det betyder att man antingen höjer den önskade signalens effekt eller med olika åtgärder sänker störningseffekten som orsakas av plattformens egenbrus, mottagar- och antennbrus och omgivningsbrus.

5.4 Ortogonalt frekvenshopp

Ortogonalt frekvenshopp innebär att hoppsekvenser designas så att de inte använder samma frekvens samtidigt, eller så att de alltid har en garanterad minsta separation i frekvens. Detta minskar interferenserna mellan systemen, men kräver att systemen har en gemensam tidsuppfattning. Ortogonalt frekvenshopp är möjligt att använda för nät som använder samma vågform men olika hoppmönster. Vågformen behöver vara samma eftersom exempelvis längden på ett frekvenshopp måste vara lika i de båda näten för att hoppmönstren ska fortsätta vara i synk över tiden.

Genom att förhindra att två nät använder samma frekvens samtidigt undviks de kollisioner som har högst nivå vid en samlokalisering. Detta kan ge mycket lägre felsannolikheter i systemen samtidigt som de kan använda samma frekvenshopsband. Genom att separera systemen ytterligare i frekvens i hoppmönstren kan även de starkaste sidbanden undvikas. Förutsättningarna för detta ökar då det finns relativt gott om frekvenser, exempelvis på VHF-bandet där en kanal är 25 eller 50 kHz och det möjliga frekvenshopsbandet omfattar tiotal MHz. I en sådan situation är det möjligt att skapa en stor minsta frekvensseparation mellan hoppmönstren och därmed undvika en del av utombandsstörningarna och direktkollisionerna. Samtidigt behålls störskyddet eftersom alla system tillåts att hoppa över samma frekvensband.

I en situation med sämre frekvenstillgång kan inte ortogonalt frekvenshopp användas för att hantera sidbandsegenskaperna på samma sätt, eftersom utombandssegenskaperna för en sändare påverkar hela eller stora delar av frekvenshopsbandet. Ofta sätts krav på radiosändare att de ska ha en viss undertryckning för ett visst avstånd från bärfrekvensen, exempelvis 80 dB undertryckning på ett avstånd av 5% av bärfrekvensen (MIL-STD-461F). För ett system på 300 MHz motsvarar ett frekvensavstånd på 5% 15 MHz. Att separera systemen med 15 MHz eller mer är troligen inte möjligt då frekvensbandet att hoppa inom troligen är i den storleksordningen. Det är därför svårt att undvika sidbandsstörningar med hjälp av ortogonalt frekvenshopp, men tekniken kan fortfarande

användas för att undvika direktkollisioner. En utredning av samlokalisering mellan frekvenshoppande system för låg frekvenstillgång finns i [6].

5.5 Effekter i taktiska frekvenshoppande nät

Taktiska militära nät av ad hoc typ är ofta designade för att kunna hantera rörelse hos noderna och de måste därför vara robusta mot relativt höga paketförlustsannolikheter på olika länkar. Trafik skickas ofta flera olika vägar genom nätet för att upprätthålla en hög sannolikhet för leverans. En teknik är att använda några utsedda relänoder för att vidarebefordra trafik. Dessa noder står ofta bra placerade och når ett antal andra noder.

Interferenser mellan två frekvenshoppande nät som med samma vågform och frekvenshopsområde har undersökts i [15]. Näten var tåliga mot förluster av enskilda frekvenshopp genom att felrättande kodning över flera hopp användes. Under ett kodord kunde 1 av 3 hopp vara utstört utan att kodordet (paketet) förlorades. Dessutom användes så kallad multi point relay (MPR), vilket ger många alternativa vägar genom ett nät. Effekterna av slumpmässigt och ortogonalt frekvenshopp analyserades och även sändare med och utan sidband. Leveranssannolikheten (engelskans delivery ratio) var över 95% för alla undersökta fall, vilket visar på en hög robusthet hos näten. Däremot ökar antalet omsändningar i nätet då det finns interferenser. En ökad mängd omsändningar leder till att mängden trafik som kan skickas i nätet minskar. Det finns situationer då det vore effektivare att dela upp spektrumet tidsmässigt mellan de två näten än att låta dem interferera med varandra. Användning av ortogonalt frekvenshopp minskade interferenserna mellan näten och ledde till att leveranssannolikheten var nästa lika hög som utan störningar (över 99%). Även antalet omsändningar minskade då ortogonalt frekvenshopp användes och effekten var särskilt märkbar då frekvenshopsbandet var litet. Storleken på frekvenshopsbandet är viktig för hur mycket näten interfererar med varandra.

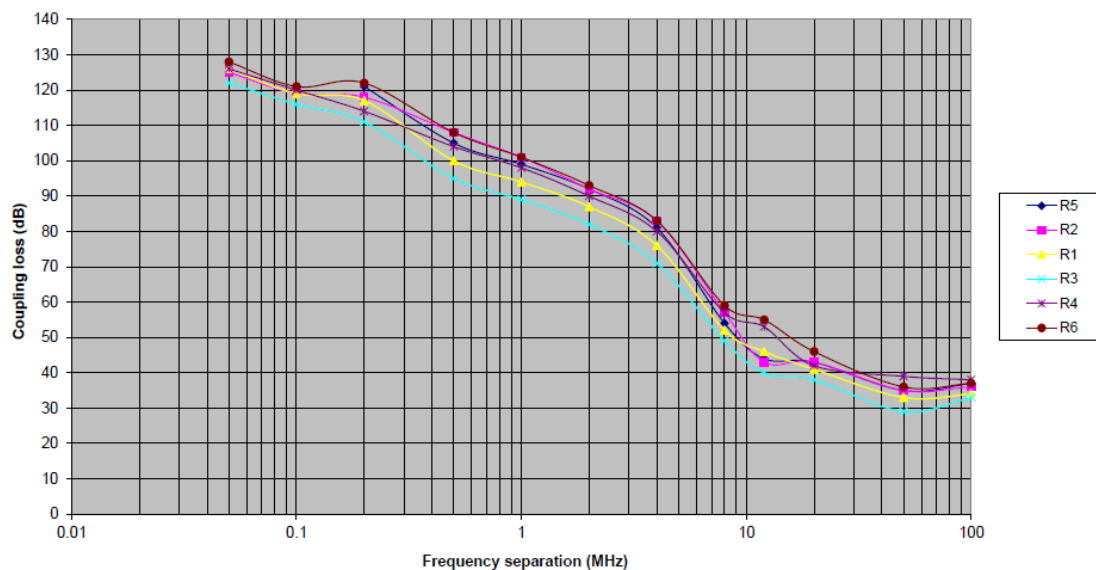
Resultaten har visat att näten ur vissa aspekter är robusta mot interferenser som ställer till problem på länknivå. Däremot sker detta på bekostnad av robusthet mot andra förändringar som aktiv störning eller ökad mobilitet. Nät med interferenser från ett annat nät är därför mer sårbara för störsändning.

Synkroniserad kooperativ broadcast (SKB) är en annan teknik som används i mobila taktiska nät. Tekniken bygger på att flera enheter sänder samma meddelande samtidigt. Genom att tiden inte måste delas upp mellan alla noder är det ett mycket effektivt sätt att sprida information. En möjlig nackdel ur interferenssynpunkt är att enheter sänder en större del av tiden och därmed kan störa mer. Däremot är SKB en mycket robust teknik som även bör vara tålig mot interferenser. Hur väl ett SKB-nät fungerar med interferenser från ett annat SKB-nät är i dagsläget oklart.

5.6 Frekvenshopp relativt fixfrekvens ur ett frekvensplaneringsperspektiv

Om ett frekvensband samtidigt utnyttjas både för fixfrekvens-system (FF) och frekvenshoppande system (FH) på en plattform kan det uppstå problem med att FH-systemet stör FF-systemet om inte lämpliga åtgärder vidtas. En grundläggande orsak till detta problem är att en frekvenshoppare, utan speciella åtgärder, stör omgivande frekvenser mer än en fixfrekvenssändare och kräver större frekvensseparation.

Ett vanligt skydd för fixfrekvenserna är att lägga in ett *guard*-band runt om varje fixfrekvens där frekvenshopparen inte får sända. Varje FF-system kräver en minsta frekvensseparation, $\pm\Delta f$, där Δf beror på varje tjänsts eller radios karakteristik (båda radiostationerna) och kopplingen mellan antennerna. Denna frekvensseparation kan bli mycket stor, se exempel i Figur 9 där nödvändig frekvensseparation som funktion av kopplingen mellan antennerna visas. Frekvenshopparen är av typen SATURN och är samlokaliserad med några fixfrekvensmottagare. I en realistisk installation kan det vara svårt att erhålla mer än 50 dB dämpning mellan antennerna på en mindre plattform vilket ger en frekvensseparation på uppemot 10 MHz i detta exempel. Nödfrekvensen 243 MHz i Nato UHF-band är ett typexempel på en fixfrekvens som måste skyddas. I detta specifika fall (243



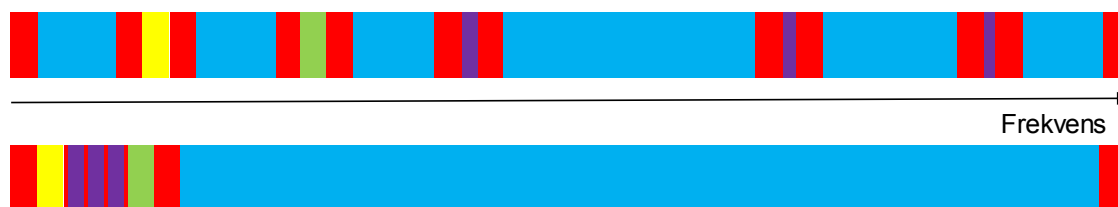
Figur 9 Bilden visar behovet av frekvensseparation (skyddsavstånd) mellan en frekvenshoppare (SATURN) och fem olika FF-radiostationer vid 246 MHz som funktion av kopplingen mellan antennerna (från NATO C3B, CaP1, LOS COMMS CaT).

MHz) har olika separationsavstånd diskuterats, och ± 2 MHz tycks vara en lämplig kompromiss i detta fall.

Eftersom motåtgärderna ofta både är komplexa och dyra är det vanligt att den ovan beskrivna störningssituationen uppstår. Olika tillverkares versioner av SATURN (som inte kan betraktas som en billig radio) uppvisar denna typ av störningsfenomen och grafen i Figur 9 är i hög grad representativ för denna typ av frekvenshoppande radio.

Förekommer det flera fixfrekvenser i det frekvensband frekvenshopparen hoppar över kan dessa *guard*-band förbruka mycket av den totala bandbredden och en helt oberoende frekvenstilldelning är alltså inte lämplig i detta fall och resultatet blir bland annat en mycket ineffektiv spektrumanvändning. I vissa fall måste FF-systemen grupperas i gemensamma frekvensblock med resultat att mindre andel *guard* behövs, se Figur 10. Om så inte sker får det till följd att störskyddet för FH-systemet minskar på grund av det minskade antalet frekvenser att hoppa på och i extremfallet får FH-systemet inte en enda frekvens!

Båda angreppssätten har sina för- och nackdelar som dels är scenarieroende, radioberoende och plattformsbberoende, men även beroende på om det är fredstid eller krig. Detta förhållande bör beaktas vid frekvenstilldelning av frekvenser för FF- och FH-system i t.ex. Nato UHF-bandet.



Figur 10 Två sätt att tilldela frekvenser för FF- och FH-system i ett band. Blått är FH, rött är guardband och övriga färger enstaka FF-frekvenser eller mindre block med FF-frekvenser. I den övre delen av bilden är fixfrekvenserna insprängda mellan hoppfrekvenser vilket gör att andelen av frekvenser som går åt för guard blir stor jämfört med om fixfrekvenserna klumpas ihop som i den undre delen av bilden.

5.6.1 Smalbandiga kontra bredbandiga system

Under det senaste året har uppdelningen i smal- och bredbandiga taktiska system och behovet av att ha båda systemtyperna börjat ifrågasättas i olika internationella och nationella fora. Frågor som figurerat är bland andra: Var går gränsen bandbreddsmässigt mellan systemtyperna (100 kHz)? Var kommer bandbredden 1.25 MHz ifrån? Kan de smalbandiga systemen ta hand om de tjänster som önskade försvarsförmågor kräver? Vilket störskydd krävs med dagens förändrade hotbild? Vilket störskydd går det att få utgående från de begränsade bandbredder som bandet 235-400 MHz erbjuder med smalbandiga (och givetvis bredbandiga) system? Finns det andra frekvensband som är användbara? Till detta kommer givetvis frågor av taktisk natur men dessa går vi inte in på här.

Drivkrafterna bakom dessa funderingar är: krympande spektrumtillgång, ökat tjänstebehov, ekonomi men framförallt en medvetenhet om att störskyddet måste förbättras (från i vissa lägen inget alls).

Att införa en ny vågform eller ett nytt radiosystem är givetvis en fråga om stora ekonomiska satsningar. Om det skulle visa sig att ett av de smalbandiga systemen, med störskydd och ad hoc-funktionalitet, skulle kunna uppfylla en stor del av behoven skulle det innebära en viss besparing. Troligen innebär detta dock att de smalbandiga vågformerna behöver utvecklas i någon mån för att möta behoven tillräckligt bra.

Slutsatsen av detta är att frågan om enbart smalbandiga system eller en kombination av smalbandiga och bredbandiga system måste studeras mer ingående. Förutom de givna parametrarna kring hur systemen kan hantera nuvarande och kommande militära förmågebehov är det mycket väsentligt att samlokaliserings- och integrations-problematiken hanteras i en sådan studie. Som antytts ovan samt redovisats i olika sammanhang (FOI Telekonfliktstudier, FOI-projekten ROAM, RICOM, KORINT etc) är det stor risk att en god systemdesigns förmåga avsevärt degraderas på grund av samlokaliserings- och integrations-problem.

6 Antennproblematik

För att en radiolänk ska kunna upprättas krävs det att signalstyrkan till mottagaren är tillräckligt stark i förhållande till brusnivån. Antennens syfte är här att säkerställa att tillräckligt mycket energi lämnar sändaren i riktning mot mottagaren, att tillräckligt mycket energi tas emot av mottagaren från sändarens riktning samt att tillräckligt lite energi tas emot av externa störkällor. Ofta finns flera radiosamband som skall fungera simultant vilket innebär kompromisser i integrationen av dessa. I detta kapitel diskuteras antennens funktion, krav och valideringsmetoder utifrån ett systemperspektiv. Exempel på antennprestanda vid integration på en plattform samt preliminära riktlinjer för en monopol ges också.

6.1 Antennen som systemkomponent

Hur väl en antenn har integrerats på en plattform kan beskrivas med förhållandet mellan systemförstärkningen och den totala bruseffekten i mottagaren. Systemförstärkningen är den totala förstärkning som har byggts in i antennsystemet och påverkas av antennens strålningsdiagram, förluster i antennen och tillhörande impedansanpassning och kabelförluster mellan antennen och mottagaren. Den totala bruseffekten är summan av bruset internt i mottagaren, bruset från externa källor och bruset på grund av ömsesidig koppling mellan olika antennsystem på samma plattform eller mellan plattformar.

Integrationen av antennen (och val av antenntyp) påverkar prestandan genom:

- *Refleksionsförluster:* Vid bristande impedansanpassning kommer en del av den infallande energin att reflekteras tillbaka ut från antennen (eller tillbaka till sändaren vid sändning). Detta är direkt relaterat till stående-våg-förhållandet (VSWR) som oftast anges i specifikationer. Det är viktigt att påpeka att detta värde inte gör skillnad på om energin har nått mottagaren (alternativt lämnat antennen vid sändning) eller om den gått förlorad genom värmeförluster i antennen och tillhörande kretsar.
- *Antenneffektivitet:* En del av den inkommande energin kommer att förloras genom värmeförluster i antennen på grund av begränsad ledningsförmåga i antennen och eventuellt jordplan, i impedansanpassningen, m.m. Då det finns en fundamental begränsning på vilken bandbredd som kan uppnås för en antenn som upptar en viss volym, se [16], är det ibland nödvändigt att medvetet tillföra förluster för att uppnå kravet på bandbredd i termer av VSWR.
- *Direktivitet:* För antenner av typen monopol eller dipol påverkas direktiviteten endast i obetydlig omfattning av antenntillverkaren utan det är vid integrationen som vinster och förluster kan göras. Eftersom direktiviteten är riktningsberoende kommer effekten på kommunikationslänken bero kraftigt på typ av plattform och hur den används. Direktiviteten bör vid kravställning därför ses som en statistisk parameter där en lägsta direktivitet skall kunna garanteras med en viss sannolikhet. Detta diskuteras översiktligt i [17].
- *Mottagarbrus:* Mottagarbruset påverkas av mottagarens design och av hur väl antennen är integrerad på plattformen samt av typ av kablage mellan mottagare och antenn. Teorin kring detta finns beskrivet i detalj i [18] där förhållandet mellan antennprestandan, i termer av reflektionskoefficienten och brusnivån i mottagaren beräknas. För kraftiga reflektioner kan brusnivåerna bli mycket höga. Hur detta skulle kunna påverka mottagaren på en militär plattform beskrivs i [17].
- *Ömsesidig koppling:* Den ömsesidiga kopplingen mellan två antenner medför att brus och interferens från en antenn som sänder på en viss frekvens kommer att ta sig in i en annan antenn som tar emot på en annan frekvens och därigenom öka brusnivån i den mottagaren. Generellt är problemen större mellan antenner av samma typ och av samma längd. Den ömsesidiga kopplingen är också kraftigt avståndsberoende.

Kravet på total systemprestanda kommer att vara på formen att ett lägsta förhållande mellan systemförstärkning och brusnivå skall kunna garanteras med en viss sannolikhet.

6.2 Kompromisser vid antennintegration

Vid integration av antenner kommer kompromisser att behöva göras mellan flera av ovanstående parametrar. Främst gäller detta en kompromiss mellan ömsesidig koppling och direktivitet i fallet då flera monopoler integreras på samma plattform. I detta fall skall avståndet mellan antennerna vara så stort som möjligt för att den ömsesidiga kopplingen, och därmed interferenser från andra radiosystem, skall kunna hållas så låg som möjligt. Detta talar för en placering av antennerna i hörnen på jordplanet. Dock medför detta en risk att antennen får fel polarisation när jordplanet exciteras som en antenn; antennen kan då helt sluta fungera i vissa riktningar. Antennen måste därför flyttas in från hörnen för att tillfredsställande direktivitet ska kunna erhållas.

Om flera dipoler används på samma plattform är situationen något annorlunda. Dessa påverkas också av jordplanet men bara genom att detta reflekterar signalen med viss distorsion av strålningsdiagrammet som följd. Denna effekt är däremot lägre än för jordplansberoende antenner utan avståndet mellan antennerna kommer att vara av större betydelse. En placering i hörnen av plattformen kan här vara lämplig.

I fallet då både monopoler och dipoler ska integreras bör monopolerna placeras så långt ifrån varandra som möjligt (dock inte för nära hörnen). Detta eftersom det elektriska avståndet mellan monopolerna kommer att vara lägre då dessa jobbar på lägre frekvenser.

Prioritering av de olika antennerna kan ske t.ex. genom att sannolikheten för att förhållandet mellan systemförstärkning och brusnivå ligger över en viss nivå ändras.

6.3 Prestanda för två monopoler på ett jordplan

En Monte Carlo-simulering har genomförts där två monopoler befinner sig på samma jordplan för att undersöka hur prestandan beror på ett antal olika parametrar. De parametrar som har undersökts beskrivs i Tabell 3 och ett exempel på en konfiguration finns i Figur 11. Totalt har 60000 simuleringar genomförts.

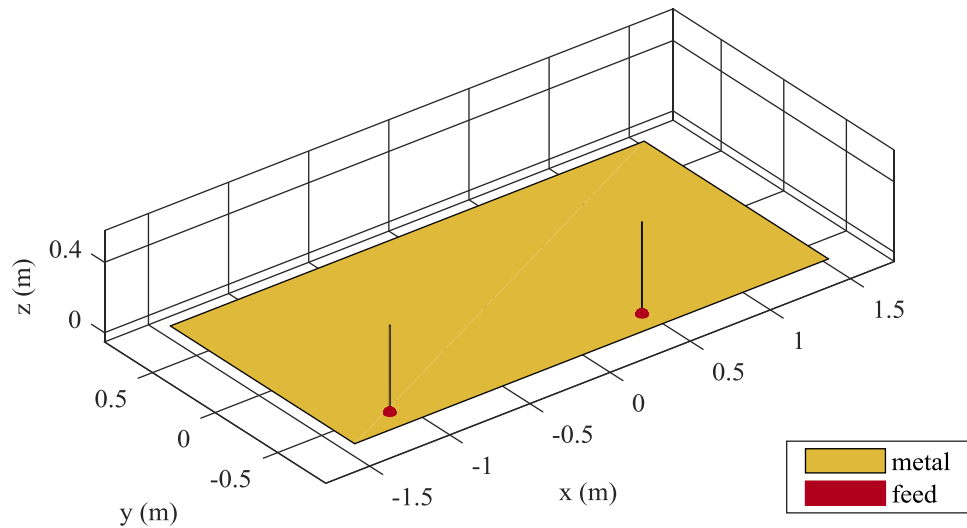
I Figur 12 visas den lägsta direktiviteten som fås med 99 % sannolikhet för en enskild monopol på ett jordplan som funktion av avståndet, i antal våglängder, till kanterna på jordplanet. Det syns tydligt att avståndet till kanterna kraftigt påverkar direktiviteten och att kraftigast försämring fås vid positioner nära hörnet.

I Figur 13 visas skillnaden i lägsta direktivitet med 99 % sannolikhet mellan fallet med en enskild monopol på ett jordplan och fallet med två monopoler på samma jordplan som funktion av avståndet mellan antennerna (D) och längden på den andra antennen (l_2) i våglängder. Antennerna har ingen betydande påverkan på varandra oavsett den andra antennens längd eller avståndet mellan antennerna. Undantaget är då den andra antennen är en kvarts våglängd lång, d.v.s. resonant vid den frekvens där den första antennen arbetar, då mycket stor påverkan kan ses.

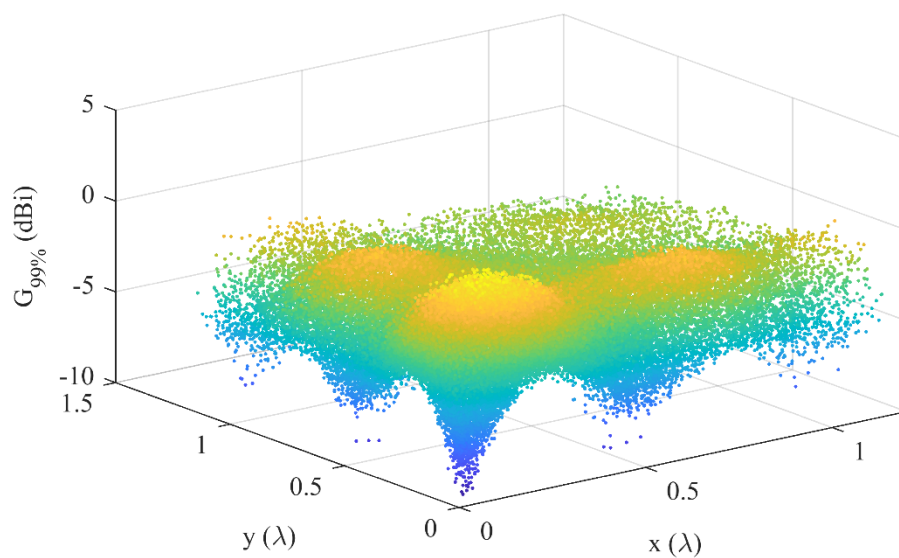
Tabell 3 Kommentarer till variabler i simuleringarna.

Variabel	Kommentar
Jordplanets längd (x)	Likformigt fördelad mellan 0,5 m och 5 m
Jordplanets bredd (y)	Likformigt fördelad mellan 0,5 m och 5 m
Avståndet från kanten (x-koordinat)	Likformigt fördelad mellan ϵ och mitten på jordplanet (ϵ är minsta möjliga avstånd till en kant som programmet tillåter)
Avståndet från kanten (y-koordinat)	Likformigt fördelad mellan kanten och mitten på jordplanet
Avståndet i x-led mellan antennerna	Likformigt fördelad mellan antenn 1 och motstående kant
Längden på antenn 2	Likformigt fördelad mellan 0,1 m och 2,5 m

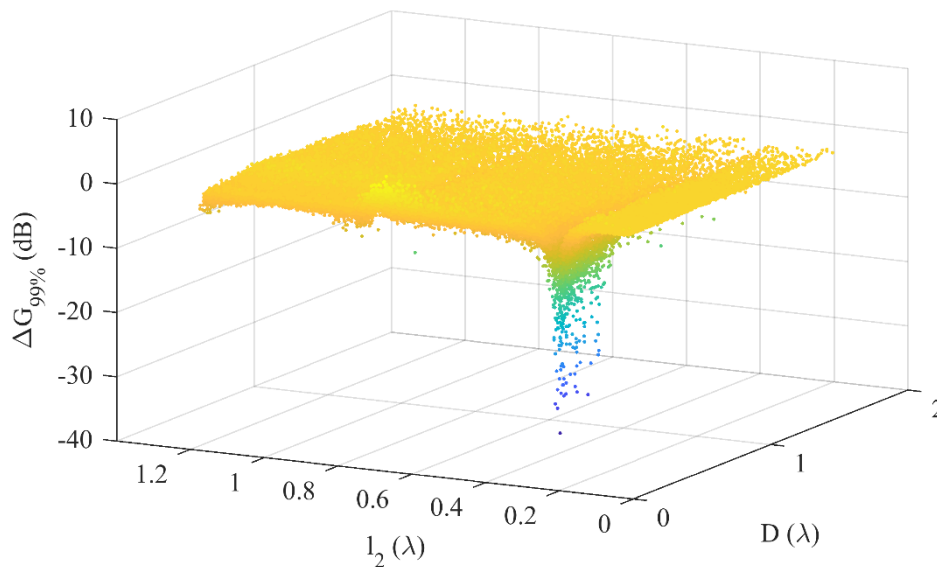
I Figur 14 visas överhörningen mellan två monopoler på samma jordplan som funktion av avståndet mellan antennerna (D) och längden på den andra antennen (l_2) i våglängder. Kraftig överhörning fås när den andra antennen är en kvarts våglängd och tre kvarts våglängd lång.



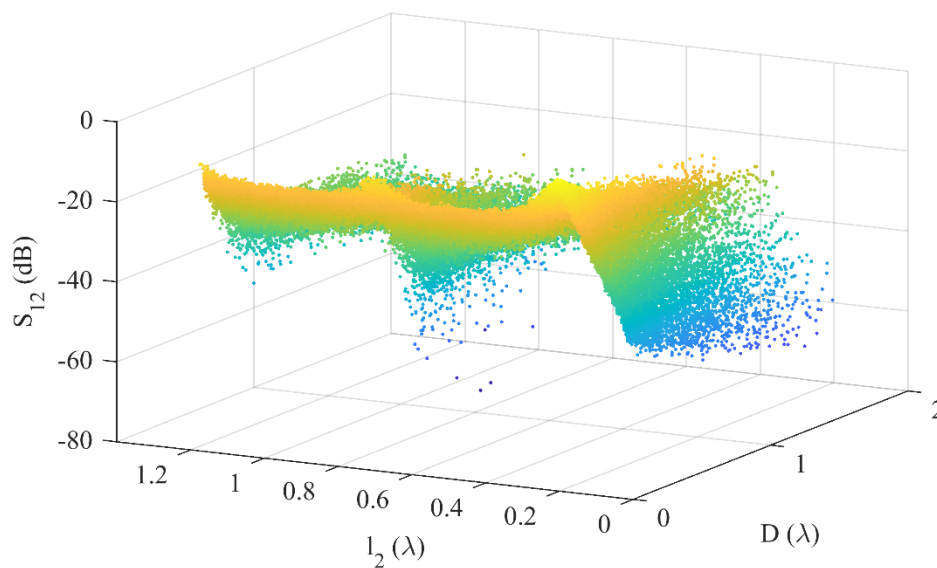
Figur 11 Exempel på antennkonfiguration. Den antenn som har exciterats är till vänster i figuren.



Figur 12 Lägsta direktivitet med 99% sannolikhet för en enskild monopoler på ett jordplan som funktion av avståndet, i antal våglängder, till kanterna på jordplanet.



Figur 13 Skillnaden i lägsta direktivitet med 99% sannolikhet mellan fallet med en enskild monopol på ett jordplan och fallet med två monopoler på samma jordplan som funktion av avståndet mellan antennerna (D) och längden på den andra antennen (l_2) i våglängder.



Figur 14 Överhörningen mellan två monopoler på samma jordplan som funktion av avståndet mellan antennerna (D) och längden på den andra antennen (l_2) i våglängder.

6.4 Analys och rekommendationer

Vid integration av flera antenner på samma plattform är det troligt att största problemet kommer att uppstå för antenner som arbetar vid lägre frekvenser. Även om simuleringarna som presenteras i föregående endast gäller monopoler kommer vissa slutsatser att vara gemensamma även när dipoler används. Jämför med resultaten som presenteras i [19]. Detta gäller främst den ömsesidiga kopplingen mellan antennerna som kommer att vara störst om antennerna är lika långa.

För flera dipoler på samma plattform gäller därför att ha så stort avstånd som möjligt mellan antennerna för att minska den ömsesidiga kopplingen. För monopoler rekommenderas att antennerna inte placeras nära kanten för att minska problemen med låg direktivitet, ca 0.1 våglängder eller så långt från kanten som möjligt. I synnerhet hörnen på jordplanet bör undvikas. Placeras antennerna

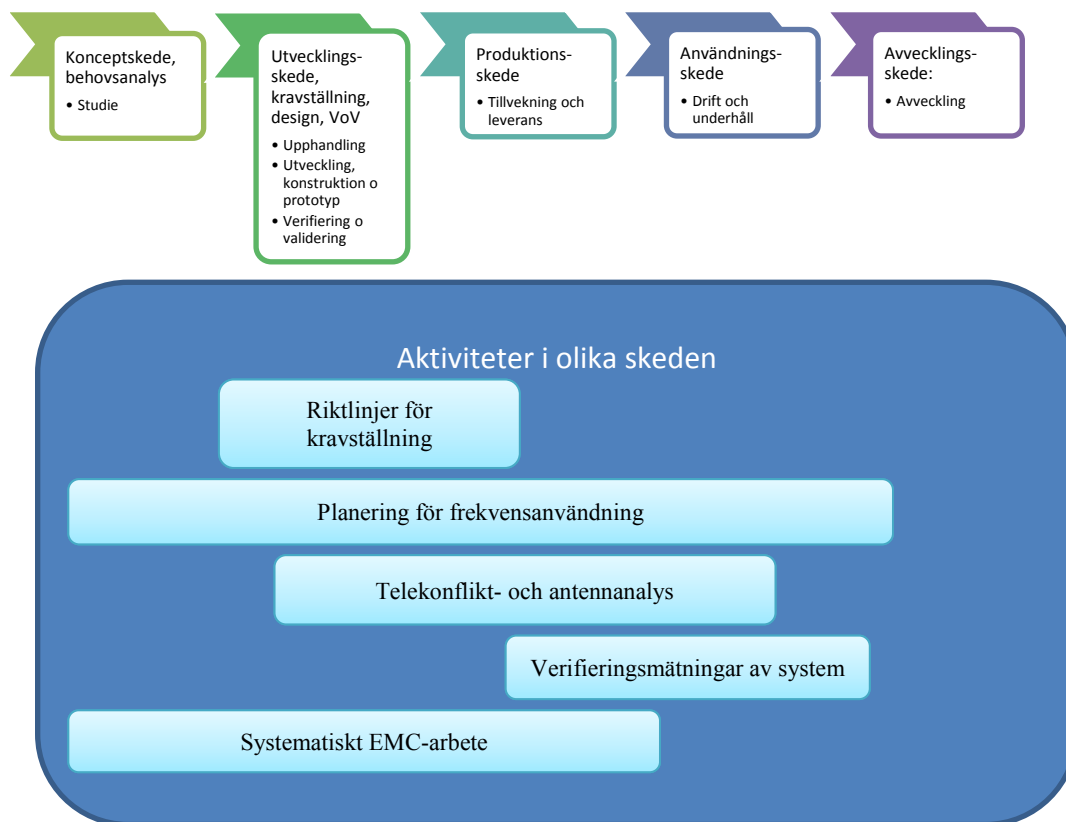
längre från kanten kommer de även närmare varandra, vilket i sig kommer att öka den ömsesidiga kopplingen. Här är det nödvändigt med en kompromiss. Oavsett antenntyp bör antenner som är lika långa placeras så långt från varandra som möjligt.

7 Rekommendationer

Tidigare arbeten, genomförda exempelvis i FoT-projektet ROAM och RICOM och från faktiska telekonfliktsanalyser, pekar till stor del på metod- och organisationsmässiga orsaker till många samfunktionsproblem. Problemen accentueras av den frekvensbrist som råder och att militära plattformar är bestyckade med många radiosystem och många andra emitterande system på en liten yta, vilket ytterligare förstärks då flera plattformar samgrupperar.

För att säkerställa att systemintegrationen inte orsakar någon prestandaförlust hos kommunikationssystemen krävs en helhetssyn både kring metod och teknik, samt att detta omhändertas under hela plattformens livscykel. Problemen kan till viss del förebyggas i ett tidigt skede, vilket gör att kostnader för sena åtgärder kan hållas nere och att radiosystemen fungerar bättre. FOI föreslår att en samfunktionsansvarig för elmiljö och samband utses för varje plattform, som har till ansvar att bevaka och åtgärda problem som är relaterade till systemintegrationen. För att underlätta systemintegrationen på en plattform föreslås att nya kontrollpunkter införs, Figur 15. Kontrollpunkterna ska säkerställa att projekt får en avdömning från samfunktionsansvariga innan projektet kan gå vidare. Kontrollpunkterna ska löpa från kravställning till integration på plattform samt modifieringar.

Kommunikationssystemens funktionssäkerhet behöver säkerställas i ett tidigt skede genom ändamålsenlig kravställning, och allteftersom nya system införs på plattformar måste funktionssäkerheten fortsatt bevakas. Frekvenstillgången behöver säkerställas i ett tidigt skede, gärna redan i konceptskedet, genom att lyfta frågan med FAG. Det är viktigt att systemlösningen är kopplad till den faktiska behovsbilden och inte enbart är teknikdrivet. För att säkerställa fortsatt samexistens behöver kontrollmätningar genomföras vid modifieringar av plattformar. Stöttande mätningar baserat på en generisk och praktiskt användbar mätmetod bör införas för att, bland annat, upptäcka problem i ett tidigt skede.



Figur 15 Förslag på kontrollpunkter som behövs i syfte att säkerställa kommunikationsprestanda.

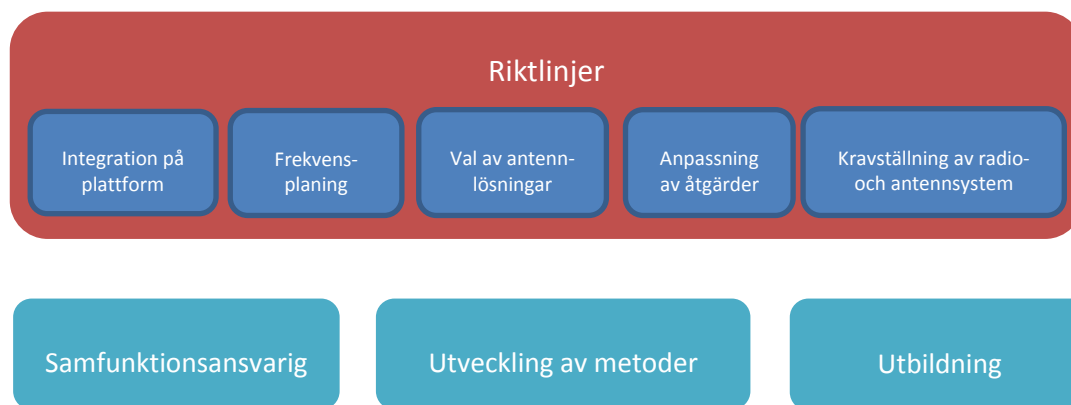
Samexistensen bör analyseras genom telekonfliktanalys (beakta både elektriska utrustningar och sändande system) och antennberäkningar, då system och antenner planeras och placeras på plattformen. Även vid telekonfliktanalysen är det viktigt att ha en helhetssyn över de olika systemen eftersom dessa kan påverka varandra på ett negativt sätt. Åtgärder för att hantera integrationsbrister skall värderas med en adekvat metod innan de införs, exempelvis med den metod som utvecklats vid FOI. Befintlig integration tillsammans med de åtgärder som genomförs innebär vanligtvis en rad kompromisser. Det är värdefullt att besluten dokumenteras för det fortsatta arbetet och för eventuella kommande åtgärder.

Ett gott EMC-arbete bör också ligga till grund för installationerna på plattformen.

I EMMA-handboken finns både praktiska rekommendationer av olika elmiljöåtgärder samt tydliga riktlinjer om hur själva processen bör gå till. Materielprojekten kan stöttas ytterligare ur integrations- och samexistensaspekter genom att införa övergripande riktlinjer så att störningsproblematiken omhändertas i ett tidigt skede. Önskvärt är också att radiosystemet bygger på tekniklösningar så att systemet enbart får en gradvis försämring, så kallad graceful degradation, då problem uppstår.

Sammanfattningsvis är slutsatsen att det behövs riktlinjer som kan användas bland annat vid kravställning av radioteknik, antennlösning och hur dessa bör integreras på plattformar, inrättande av ett antal aktiviteter i tidiga skeden och inrättande av en samfunktionsansvarig som har i uppgift att bevaka integrationen av radiosystem och andra emitterande system på plattformar. Vidare finns behov av utbildning för både användare och produktledare för att ge kunskap om vilka konsekvenser som bristfällig systemintegration kan leda till samt för att ge mer handfasta rekommendationer som innefattar funktionssäkerhet och EMC-aspekter. Metoder bör även finnas för hur man hanterar situationer då sambandet inte fungerar konfliktfritt. Figur 16 sammanfattar de rekommendationer som ges i syfte att säkerställa kommunikationsprestanda.

Förslagen har i syfte att säkerställa att radiosystemen ska fungera på bästa sätt både i form av radions prestanda och robusthet mot störningar. Vi närmar oss den gräns då interferensproblemen blir så stora att funktionssäkerheten hos sambandssystemen kraftigt sjunker och att de därmed inte kan leverera önskad förmåga. Det är därför av stor betydelse att säkerställa att inte fler frekvenser försvinner för Försvarmaktens vidkommande och att verka för spektrumeffektiva radiosystem och att planera för en spektrumeffektiv frekvensanvändning.



Figur 16 Förslag på riktlinjer och andra insatser som behövs i syfte att säkerställa kommunikationsprestanda.

8 Referenser

- [1] Elektromagnetisk miljö användarhandbok – EMMA,” Försvarets Materielverk M7773-000750.
- [2] B. Asp, K. Wiklundh, S. Örn Tengstrand, E. Axell, P. Eliardsson, B. Johansson, ”RICOM Slutrapport”, FOI-R--4317--SE, 2016.
- [3] B. Asp, P. Eliardsson, B. Johansson, P. Stenumgaard, K. Wiklundh och S. Örn Tengstrand, ”Orsaker till ökad risk för egenstörningar och bristande samfunktionsegenskaper för mark- och sjöplattformar,” FOI-R--4093--SE, Linköping, 2015.
- [4] S. Linder, K. Wiklundh, L. Junholm, "Performance of Frequency Hopping Systems with Adjacent Channel Interference," EMC Europe, Wroclaw, 2016.
- [5] Karina Fors, Kia Wiklundh, ”Comparison of platform and background interference in view of communication performance”, EMC Europe, Wroclaw, 2016.
- [6] Karina Fors och Sara Linder, ”Konsekvenser av interferensmiljön vid samgruppering av frekvenshoppande radiosystem”, FOI-R--4318--SE, Linköping Dec 2016.
- [7] Försvarmaktens handbok för frekvensplanering, H FM Frekvens M7746-784002
- [8] Hallberg, N., Pilemalm, S., Westerdahl, L., Jungert, E., Eriksson, H., Andersson, L., & Lindmark, F. (2008). Principer och metoder för systemutveckling (FOI-R—2628—SE)
- [9] Elektromagnetisk miljö användarhandbok, Taktiska system – EMMA - taktiska system,” FMV, remissutgåva, november 2016.
- [10] Requirements for the control of electromagnetic interference characteristics of subsystems and equipment. MIL-STD-461F, 2007.
- [11] J. Nilsson, K. Fors, P. Holm, Å. Waern, G. Eriksson, ” Underlag för kravställning av radiosystem på plattformar”, FOI-R--3699--SE, Linköping 2013.
- [12] B. Asp, P. Eliardsson, B. Johansson, P. Stenumgaard, K. Wiklundh, ”Interferensnivåmätningar på HMS Carlskrona”, FOI-RH--1208--SE, januari 2012.
- [13] Henrik Olsson, ”Tillsynsbesök Eriksbergs shoppingcenter”, Elsäkerhetsverket, Dnr 14EV1335.
- [14] Peter Stenumgaard, Karina Fors, Kia Wiklundh, Sara Linder, “Electromagnetic Interference on Tactical Radio Systems from Collocated Medical Equipment on Military Camps.” IEEE Communications Magazine, vol 50, no 10, pp.64-69, 2012.
- [15] K. Fors, S. Linder, J. Nilsson, and U. Sterner, "Effects of Interference Between Co-Located Frequency-Hopping Ad Hoc Networks," MILCOM 2017.
- [16] R. C. Hansen, ”Fundamental limitations in antennas,” *Proceedings of the IEEE*, vol. 69, nr 2, pp. 170-182, Feb. 1981.
- [17] T. Lindgren, ”Simulation of the performance of communication antenna systems integrated on platforms,” Teknisk rapport FOI-R--4221--SE, FOI, 2016.
- [18] M. M. Weiner, ”Effect of Antenna impedance Mismatch on the Signal-to-noise Ratio of a Radio Receiving System,” The Mitre Corp, Bedford, Massachusetts, USA, 1985.

- [19] T. Katagi, H. Ohmine, H. Miyashita och K. Nishimoto, "Analysis of mutual coupling between dipole antennas using simultaneous integral equations with exact kernels and finite gap feeds," *IEEE trans. Ant. Prop.*, vol. 64, nr 5, pp. 1979-1984, May 2016.

9 Appendix

Hela texten i detta avsnitt är ett utdrag från *H Frekvens 2015* (Försvarmaktens frekvensplaneringshandbok [7]).

En fullständig frekvensupplåtelseplan för försvarmakten återfinns i en (hemlig) skrivelse från HKV.

För marinen regleras frekvensanvändningen genom *TPM 6.0*¹³ som innehåller bl.a. frekvenstabeller med tilldelningar och handlingsregler, i många fall mycket detaljerade, för olika frekvenser, radionät och radiosystem. Flygvapnets frekvensanvändning fastställs halvårsvis av HKV INS FTS. För arméförbandens del saknas motsvarande reglering. Frekvenstilldelningar framgår normalt av HKV tilldelningsplaner för olika typer av system eller verksamheter samt av förbandens stridsplaner.

För att kunna redovisa Försvarmaktens frekvensanvändning som öppen information har även en frekvenstabell tagits fram. För att även kunna nyttja den i internationella sammanhang är tabellen i samma format som NATO redovisar sitt frekvensbehov för gemensamma operationer – *NATO Joint Civil/Military Frequency Agreement (NJFA)*. Tabellen, som återfinns i Appendix, återger de flesta frekvensband som Försvarmakten disponerar, *exklusivt eller delat med andra användare*, för verksamhet i fred eller krig. Eftersom tabellen endast återger öppen information är den inte komplett utan ger bara en översiktlig bild av Försvarmaktens frekvensanvändning. Tabellen grundar sig på överenskommelsen mellan PTS och Försvarmakten avseende frekvensbandens utnyttjande för civila och militära ändamål ("PTS beslut om frekvenstilldelning för Försvarmakten"). Vissa band, framförallt i den högre delen, är ännu ej "fördelade" för civil respektive militär användning. Delningsvillkoren mellan civil och militär användning av gemensamma band varierar, men kan vara i form av exklusiva delband, olika rasterplaner, geografisk delning, specifika kanaltilldelningar eller koordinering från fall till fall.

Den militära användningen av banden baseras på bestämmelserna i *ITU radioreglemente artikel 5 (om frekvensupplåtelser)*. Militära förbands höga rörlighet ställer dock krav på flexibilitet i användningen av radiofrekvensspektrum och detta tillgodoses genom *ITU konstitution, artikel 48 (om installationer för nationellt försvar)* samt *ITU radioreglemente artikel 4.4 (om tilldelningar utanför radioreglementets frekvenstabell, där skadlig störning mot tillåtna tjänster inte förekommer och där inget skydd krävs från annan användning, så kallad NIB - Non Interference Basis)*.

Bestämmelser relaterade till nöd och säkerhet, liksom radionavigering, radionavigeringssatellit och luftfartsmobila tjänster används såväl civilt som militärt. Frekvensband eller frekvenser för sådana tjänster redovisas därför ej i tabellen.

¹³ Taktiska procedurer för Marinen, del 6 Samband (H).

Förklaringar till öppen frekvenstabell för Försvarsmakten

- a) Frekvensområde baserat på ett eller flera delband i ECA Table¹⁴ (den gemensamma europeiska frekvensplanen – *European Table of Frequency Allocations and Applications in the Frequency range 8.3 kHz – 3000 GHz*)
- b) Upplåtelse (tjänst) i ITU radioreglemente som den militära användningen avser
- c) Typ av militära behov, enligt indelningen
 - A ett långsiktigt väsentligt militärt behov. En förlust av eller skadlig störning mot den militära användningen innebär en oacceptabel påverkan mot den operativa effektiviteten
 - B ett frekvensband som rymmer ett viktigt militärt behov
 - F ett frekvensband som övervägs för framtida militär harmonisering
- d) Anmärkning, särskilda villkor m.m. (*Conditions of use*)
 Ger hänvisningar och beskriver speciella förhållanden. NIB (*Non Interference Basis*), dvs. störningar får ej ske av annan (civil) användning och störningar får tålas från andra sändningar.

¹⁴ CEPT/ERC Report 25 The European Table of Frequency Allocations and Applications in the Frequency Range 8.3 kHz to 3000 GHz (ECA Table) kan laddas ner från WWW.efis.dk. Senast godkända version är från 2016.

Frekvenstabell för Försvarsmakten (översiktlig). Se förklaringar föregående sida.

(a) Frequency Range (ECA Table)	(b) Allocation used by Military	(c) Class	(d) Justification for the Military Requirement
0–148.5 kHz	MARITIME MOBILE		The frequency range is in military use for naval communications.
255–526,5 kHz	MARITIME MOBILE AERONAUTICAL RADIONAVIGATION	A	The frequency range is in military use for naval communications and is also used by military aircraft for aeronautical <u>radionavigation</u> on assigned frequencies.
1606.5–30.005 MHz	FIXED LAND MOBILE MARITIME MOBILE AERONAUTICAL MOBILE Radiolocation	A	The frequency range is in military use for - fixed and tactical communication - naval communications - long distance airborne communications - <u>radiolocation</u> . Communication services may adapt to changing propagation and are spread over the whole tuning range.
30.005–87.5 MHz	MOBILE	A	The frequency range is in military use, mainly for combat net radio systems which may use fixed or spread frequency assignments. The bands permanently used by military forces for combat net radio are: 30.3–30.5 MHz 30.7–41 MHz (" <u>even</u> " 50 kHz channels ¹⁵)

¹⁵ Definition: Center frequency (MHz) = $30.7 + n \cdot 0.1$, where n is an integer from 1 to 103.]

			32.15–32.45 MHz (entire band) 41–47 MHz 47–68 MHz military use on NIB only 68–87.5 MHz military use on NIB only. Certain fixed frequencies are also assigned to special military use.
108–117.975 MHz	AERONAUTICAL RADIONAVIGATION	B	Assigned frequencies for specified military requirements, coordinated with Swedish CAA.
117.975–137 MHz	AERONAUTICAL MOBILE (R)	B	Assigned frequencies for specified military requirements, coordinated with Swedish CAA.
138–144 MHz	AERONAUTICAL MOBILE (OR) MARITIME MOBILE LAND MOBILE	A	The frequency range 138–144 MHz is in military use for tactical communications for aeronautical, maritime and land operations.
146–151 MHz	MOBILE <u>except Aeronautical</u> mobile (R)	B	Assigned sub bands in the frequency range 146–151 MHz is in military use for tactical communications for aeronautical, maritime and land operations.
151–155 MHz	MOBILE <u>except Aeronautical</u> mobile (R)	A	The frequency range 151–155 MHz is in military use for tactical communications for aeronautical, maritime and land operations.
155–174 MHz	MOBILE <u>except Aeronautical</u> mobile	B	The frequency range 155–174 MHz is in military use for <u>sonobuoy</u> systems on a secondary basis. The duplex band 163-164/171-172 MHz is in military use for land mobile communications (COTS systems).

240–399.9 MHz	MOBILE	A	The frequency range 240–399.9 MHz, with the exception of certain sub bands in civil use, is in military use for tactical communications for aeronautical, maritime and land operations. Sub bands in civil use are: 328.6–335.4 MHz Aeronautical radionavigation 370–371 MHz Fixed systems 380–385 / 390–395 MHz TETRA (Rakel) 387–389 MHz.
400.15–406 MHz	METEOROLOGICAL AIDS Mobile except aeronautical mobile	B	Assigned frequencies for military met aids, coordinated with Swedish SMHI. The band 405.5–405.575 MHz is in military use for land mobile communications (COTS systems).
406–470 MHz		B	Assigned frequencies and sub bands in the frequency range 406–470 MHz is in military use for special applications.
960–1215 MHz	AERONAUTICAL RADIONAVIGATION	A	Military use for applications in the allocated service. JTIDS/MIDS/Link 16 and IFF/SSR under special national agreement. Coordination with military users in adjacent geographical areas.
1215–1350 MHz	RADIOLOCATION RADIONAVIGATION SATELLITE AERONAUTICAL RADIONAVIGATION	A	Military use for radars and GNSS (Global Navigation Satellite Systems, i. a. GPS).

1350–1850 MHz	FIXED RADIONAVIGATION SATELLITE	A	Military use for tactical radio relay in agreed sub-bands (Ca 200 MHz for peace time use) and GNSS (Global Navigation Satellite Systems, i. a. GPS).
2025–2110 MHz	FIXED MOBILE	A	Military use for fixed and transportable radio relay. Possible future expansion for tactical radio relay.
2200–2290 MHz	FIXED MOBILE	A	Military use for fixed and transportable radio relay. Possible future expansion for tactical radio relay.
2290–2300 MHz	FIXED, MOBILE except aeronautical mobile	B	Military use for telemetry systems.
2400–2483.5 MHz	FIXED MOBILE Radiolocation	B	Military use for tactical radio relay, telemetry and mobile applications. Protection of civil use of the band, as necessary.
2900–3400 MHz	RADIOLOCATION RADIONAVIGATION	A	Military use for land, airborne and naval radars.
4200–4400 MHz	AERONAUTICAL RADIONAVIGATION	B	Military use for radio altimeters.
4400–5000 MHz	FIXED, MOBILE	A	Military use for fixed and transportable radio relay and mobile applications.
5250–5850 MHz	RADIOLOCATION	A	Military use for land, airborne and naval radars.
7125–7425 MHz	FIXED	B	Military used for fixed radio relay in specific sub bands.
8500–10500 MHz	RADIOLOCATION	A	Military use for land, airborne and naval radars.

	RADIONAVIGATION		
12.75–13.25 GHz	FIXED	B	Military used for fixed radio relay in specific sub bands.
13.4–14 GHz	RADIOLOCATION	B	Military use for land, airborne and naval radars.
14.5–15.35 GHz	FIXED MOBILE	A	Military used for fixed and transportable radio relay in specific sub bands.
15.4–15.7 GHz	AERONAUTICAL RADIONAVIGATION RADIOLOCATION	B, F	Military use for aeronautical radionavigation (TILS, tactical Instrument Landing System). Future military requirements for land, airborne and naval radars.
15.7–17.3 GHz	RADIOLOCATION	A	Military use for land, airborne and naval radars.
17.7–19.7 GHz	FIXED MOBILE	B	Military used for fixed and transportable radio relay in specific sub bands.
21.95–23.6 GHz	FIXED MOBILE	B	Military used for fixed and transportable radio relay in specific sub bands.
24.05 GHz–			Civil–military allocations are under discussion.

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