

BÖRJE ASP, KIA WIKLUNDH, PETER STENUMGAARD,  
PATRIK ELIARDSSON, BJÖRN JOHANSSON OCH ERIK AXELL





Börje Asp, Kia Wiklundh, Peter Stenumgaard,  
Patrik Eliardsson, Björn Johansson och Erik Axell

# ROAM Slutrapport

Robusta kommunikationer för internationella operationer

Bild/Cover: (Bildbyrå och namn på fotograf)

Titel	ROAM Slutrapport
Title	ROAM Final report
Rapportnr/Report no	FOI-R--3790--SE
Månad/Month	December
Utgivningsår/Year	2013
Antal sidor/Pages	43 p
ISSN	1650-1942
Kund/Customer	Försvarsmakten
Forskningsområde	4. Informationssäkerhet och kommunikation
FoT-område	Ledning och MSI
Projektnr/Project no	E36043
Godkänd av/Approved by	Christian Jönsson
Ansvarig avdelning	Informations- och Aerosystem

Detta verk är skyddat enligt lagen (1960:729) om upphovsrätt till litterära och konstnärliga verk. All form av kopiering, översättning eller bearbetning utan medgivande är förbjuden.

This work is protected under the Act on Copyright in Literary and Artistic Works (SFS 1960:729). Any form of reproduction, translation or modification without permission is prohibited.

## Sammanfattning

Denna rapport sammanfattar projekt ROAM (Robusta radiokommunikationer för marina internationella operationer) och de aktiviteter som genomförts under perioden 2011-2013. Projektet syftar till att studera kommunikationslösningar som ger hög robusthet mot den dynamik som kännetecknar marina plattformar i internationell miljö. Med robusthet avses tålighet mot exempelvis elektromagnetisk störning, utslagning av infrastrukturen eller förändringar av tillgängligheten för telekommunikation samt förändringar av vågutbredningsförhållanden för radiokommunikation. Studier av effektivt nyttjande av tillgängligt frekvensspektrum speciellt för kortvåg för att, i varje situation, uppnå bästa möjliga robusthet, har varit centralt i projektet.

Projektet har fokuserat på att upprätthålla en väl avvägd balans mellan forskningskvalitet och relevans. Såväl vetenskaplig publicering som kontinuerlig samverkan med kundrepresentanter i olika frågor har prioriterats.

Forskningen i projektet har framförallt studerat vinsterna med att ta hänsyn till den lokala störningsmiljön för att göra ett så bra frekvensval som möjligt för kortvågskommunikation. Slutsatsen är att om den lokala störningsmiljön vägs in vid frekvensvalet fås prestandaförbättringar som gör att dataakten kan ökas och tidsfördröjningarna minskas. Om situationen är sådan att det är stora störningsproblem ombord på fartygen kan avsevärda vinster göras.

Inom projektet har två värderingar genomförts; effekten av satkombortfall vid en internationell mission i Adenviken samt användande av STANAG 4691 – MARLIN på HF. Syftet med dessa har varit att värdera kommunikationslösningarna för att få en uppfattning om hur robusta dessa systemlösningar är på såväl djup teknisk nivå som hög ledningsnivå.

Som ett led i att kontinuerligt säkerställa projektresultatens relevans och ge direktnytta till försvarsmakten har ett begränsat expertstöd avseende aktuella robusthetsfrågor för radiosystem på marina plattformar utförts. En expertstödsuppgift per projektår har genomförts; mätningar på VHF/UHF-antennerna på HMS Karlskrona, införande av HF-radio i helikopter 15 samt en populärvetenskaplig skrift om möjligheter och begränsningar med satellit- och kortvågskommunikation.

Under hösten alla tre projektåren har en tvådagars workshop genomförts i Karlskrona med 50-80 deltagare varje gång. Målet med workshopen har varit att skapa ett årligt återkommande forum för kunskapsöverföring och erfarenhetsutbyte mellan forskning och specifika marinoperativa behov avseende transmissions- och kommunikationslösningar.

Nyckelord: Robust trådlös kommunikation, marinen, internationella operationer radiospektrum, frekvenshantering, kortvåg, värdering.

## Summary

This report describes the project ROAM (Robust Radio Communications for Maritime International Operations) and the activities carried out during the time period 2011-2013. The project aims to study communications solutions that provide high robustness against the dynamics that characterize the naval platforms in an international environment. Robustness is intended as resilience to, for example, electromagnetic interference, elimination of the infrastructure or changes of the availability of telecommunications, and changes of the radio wave propagations. Methods for effective utilization of the available radio spectrum, especially at HF, to achieve the highest possible robustness in every situation, have been of major concern in the project.

The project focuses in maintaining the balance between scientific quality and relevance. This means that both scientific publications as well as a continuous cooperation with customer representatives have been prioritized.

The research in the project has mainly been focused on the gain of considering the local interference environment, in order to make the best possible choice of frequency for an HF communication system. It is stated that if the local interference environment is considered, the data rate can be increased and the time delay can be reduced. For cases with large interference problems on board, a significant gain can be made.

Two assessments have been performed within the project; the effect of satcom loss at an international mission in the gulf of Aden, and the use of STANAG 4691 – MARLIN with HF communications. The aim has been to assess these communication solutions and analyze how robust they are both at a deep technical level as well as at a higher leadership level.

As a way to continuously ensure the relevance of the project results as well as to provide direct benefits to the Swedish armed forces, three expert support tasks with respect to the robustness of radio communication systems on naval platforms have been performed. One expert support task has been performed during each year of the project; measurements of VHF/UHF antennas on board HMS Karlskrona, introduction of an HF radio in Hkp 15, and a popular scientific writing about the possibilities and limitations of satellite and HF communications.

During each of the three years, a two days' workshop has been held in Karlskrona, with 50-80 participants each time. The goal of the workshops has been to create an annual forum for knowledge transfer and exchange of experience between the research activities and specific naval operational requirements for wireless communication solutions.

Keywords: Robust wireless communication, radio, international operations, radio spectrum, frequency management, HF, assessment.

# Innehållsförteckning

<b>1</b>	<b>Inledning</b>	<b>7</b>
1.1	Bakgrund .....	7
1.2	Syfte och frågeställningar .....	8
1.3	Inriktning och avgränsningar .....	9
1.4	Referensgrupp .....	9
<b>2</b>	<b>Svar på projektets frågor</b>	<b>10</b>
<b>3</b>	<b>Projektaktiviteter</b>	<b>12</b>
3.1	Dynamik i internationell miljö .....	12
3.1.1	Slutsatser .....	14
3.2	Resultat av genomförda värderingar .....	14
3.2.1	Satkombortfall vid en internationell mission i Adenviken .....	15
3.2.2	STANAG 4691 - MARLIN på HF .....	16
3.3	Frekvenshantering för HF-system.....	17
3.3.1	Lokal störningsmiljö .....	19
3.3.2	Konsekvenser av den lokala störningsmiljön.....	22
3.3.3	Förbättrat frekvensval på HF .....	23
3.3.4	Möjliga vinster när hänsyn tas till lokal störningsmiljö .....	24
3.3.5	Information om den lokala störningsmiljön .....	26
3.3.6	Beslutskriterier för förbättrat frekvensval i unicast- och multicast-nät .....	26
3.3.7	Utbyte av information .....	30
3.3.8	Wideband HF .....	30
3.3.9	Slutsatser .....	32
3.4	Expertstöd .....	33
3.4.1	Interferensmätningar på HMS Carlskrona - 2011 .....	33
3.4.2	HF-radio på helikopter 15 - 2012 .....	33
3.4.3	HF-kommunikation och satellitkommunikation för långväga kommunikation – 2013 .....	34
3.5	Kommunikation av resultat.....	35
3.5.1	Rapportering mot FM .....	35
3.5.2	Vetenskaplig publicering .....	36
3.5.3	Workshop .....	36
3.5.4	Övrig kommunikation .....	37
<b>4</b>	<b>Diskussion</b>	<b>38</b>
4.1	Användning av frekvensvalsmetoden i HF2000 .....	38

4.2	Systemintegration.....	38
4.3	Framtida förbättringar .....	40
<b>5</b>	<b>Projektets effekter på FM i närtid</b>	<b>41</b>
<b>6</b>	<b>FoT efter ROAM</b>	<b>42</b>
<b>7</b>	<b>Referenser</b>	<b>43</b>

# 1 Inledning

Denna rapport sammanfattar verksamhet och resultat från FoT-projektet ROAM (Robusta radiokommunikationer för marina internationella operationer). Projektet startade i januari 2011 och avslutas i december 2013. Projektet har fokuserat på att upprätthålla en balans mellan forskningskvalitet och relevans. Såväl vetenskaplig publicering som kontinuerlig samverkan med kundrepresentanter i olika frågor har prioriterats. Kundrepresentanterna har bidragit till projektet genom att tydliggöra marinens behov, vilket har underlättat prioriteringen av forskningsproblemen. Forskningsresultaten har på så sätt kunnat omsättas i aktuella frågeställningar beträffande systemintegration och systemutveckling.

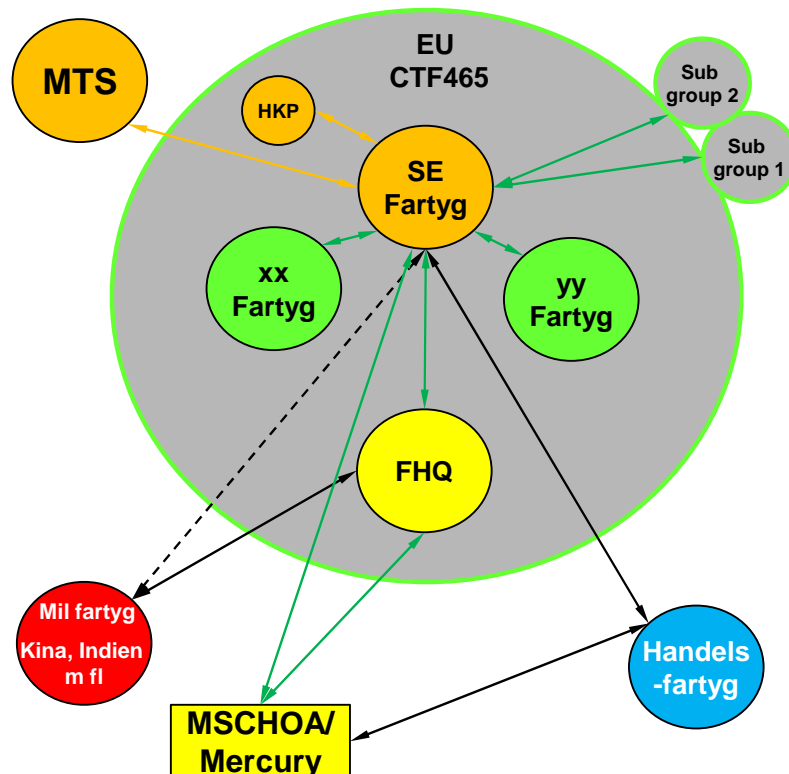
## 1.1 Bakgrund

Trådlös kommunikation för marina enheter kännetecknas av stora utmaningar. Detta gäller speciellt vid internationella insatser, där risken är stor att oförutsedda situationer uppstår. En bidragande orsak är att internationella operationer ofta sker i regioner där man tidigare inte har övat. Operationsområdet kan också sakna viss kommunikationsinfrastruktur eller ha en begränsad täckning för somliga tjänster. Operationen och det område man verkar i kan också innebära att det finns andra regler än vad man är van vid, exempelvis avseende vilka frekvensbestämmelser som gäller. Kommunikationen behöver ofta ske över både korta och mycket långa avstånd, vilket utrustningsmässigt kan vara svårt att realisera. Vid internationella insatser finns ett stort behov av att koordinera och samarbeta med andra nationer, vilket ställer speciella krav på de kommunikationssystem som kan användas. Dels behöver kommunikationssystemen vara interoperabla med varandra och dels finns ett antal applikationer och tjänster som är väsentliga för samarbetet och som behöver kunna nyttjas. Applikationerna som används har i vissa fall visat sig kräva mycket höga datatakt, vilket gör att endast ett fåtal kommunikationssystem är lämpliga. Till detta kommer de varierande mottagningsförhållandena som uppträder för kommunikationssystemet. Förutom att radiotäckningen, vågutbredningsförhållanden och störningsmiljön varierar, kan radiomiljön ombord på fartygen vara mycket besvärlig. Mätningar har visat på mycket höga störningsnivåer. Sammantaget gör detta att kommunikationen i marina internationella operationer har många utmaningar som behöver hanteras.

Teknikutveckling och kraven på interoperabilitet leder till nya arbetsmetoder och behov inom marinen. Nya transmissionssystem tillförs samtidigt som befintliga system förändras. Kapacitet och robusthet står ofta i motsatsförhållande till varandra (robusthet kostar i form av kapacitet och vice versa) men robustheten på system- och applikationsnivå får inte påverkas negativt. Nya miljöer, nya uppgifter och många system på en begränsad yta skapar även det nya utmaningar för marinen. Det är i denna kontext som ROAM har genomförts.

Figur 1 visar en fiktiv nätskiss för en mission av typen operation ATALANTA<sup>1</sup>. Figuren illustrerar några av de kommunikationsvägar som måste upprätthållas i en internationell mission. Kommunikationen behöver upprätthållas mellan fartyg i närområdet, mellan fartyg och helikopter samt mellan fartyg och högkvarter på ett långt avstånd. Även civila fartyg kan vara aktuella att kommunicera med. Användandet av web-portaler (i figuren benämnd som MSCHOA/Mercury), för att interagera med andra nationer och för att upprätthålla en lägesbild, ställer ofta höga krav på kapacitet. Robusthet, kapacitet och interoperabilitet är ofta oförenliga krav i dessa sammanhang vilket medför många kompromisser i den färdiga kommunikationslösningen.

<sup>1</sup> En militär insats av EU för att skydda handelsfartyg från pirater utanför Somalias kust. Sverige har deltagit i olika omgångar (ME01, ME02, ME03) med HMS Carlskrona, HMS Stockholm, HMS Malmö och HMS Trossö (Källa: Wikipedia).



Figur 1 Fiktiv nätskiss för en internationell marin mission.

Kommunikationsproblemen som uppstår kan ge allvarliga konsekvenser. En direkt följd kan exempelvis vara att kommunikationsräckvidden drastiskt minskar. Det kan resultera i att kommunikationen i vissa situationer inte fungerar alls och att lägesbilder eller ordrar inte kan uppdateras. Det är därför viktigt för operationens genomförande att kommunikationssystemet har en inbyggd robusthet mot de situationer som kan försämra radiosystemets prestanda.

Robusthetsbegreppet används i många sammanhang och ofta med olika betydelse. I ROAM används robusthet i betydelsen tålighet mot exempelvis:

- Avsiktliga (telekrig) och oavsiktliga (telekonflikter) elektromagnetiska störningssignaler
- Utslagning av delar av infrastrukturen för telekommunikation
- Förändringar av vågutbredningsförhållanden för radiokommunikation
- Förändringar av tillgängligheten hos olika delar av infrastrukturen för radiokommunikation.

## 1.2 Syfte och frågeställningar

Projektet har syftat till att studera trådlösa kommunikationslösningar som ger hög robusthet mot den dynamik som kännetecknar marina plattformar i internationell miljö. Av särskilt intresse har varit robusta kommunikationslösningar där många systemtyper skall fungera samtidigt och där robusthetsproblem kan få effekter på högre system- och applikationsnivå för hela plattformen och dess ledningssystem. Ett antal radiosystem och tekniker har analyserats för att se vilka som möjliggör störst robusthet. Här inkluderas även tekniker som bygger på användning av *Commercial Off-The-Shelf (COTS)*.

Frågeställningar som projektet arbetat med är:

- Hur skall dynamik med avseende på variabla utbredningsförhållanden, tjänster (tal/data), taktiskt uppträdande, interoperabilitet (inom förband och mot koalitionspartners) samt olika partners förutsättningar hanteras med bibehållen robusthet i marina operationer?
- Kan metoder för dynamisk frekvenshantering användas för att öka robustheten i kommunikationssystem på marina plattformar?
- Hur skall dynamik med avseende på förändringar i signalmiljön (orsakade av förändringar i geografisk miljö, samlokalisering, och aktiv störning) hanteras?

### 1.3 Inriktning och avgränsningar

I inledningen av projektet genomfördes totalt tolv intervjuer med företrädare för marinen. Dessa intervjuer har legat till grund för inriktningen av projektet och bidragit till att hålla en hög relevans på genomförd verksamhet.

En mycket värdefull källa till kunskap har de erfarenhetsrapporter som sammanställts av SSS varit. Projektet har genom SSS försorg fått tillgång till listor över erfarenhetsrapporter samt även rapporter från exempelvis ME01 och ME02. Dokumenten har varit mycket användbara dels för att öka relevansen i forskningen men även för att kunna fånga upp frågor som gäller robusthet inom radiokommunikation för marinen. En del av dessa frågor har sedan kunnat bearbetas inom projektets expertstödsdel.

Projektet har främst genomfört studier av effektivt nyttjande av tillgängligt frekvensspektrum på kortvåg (HF) för att, i varje situation, uppnå bästa möjliga robusthet. Idag är HF-kommunikation nödvändig för den taktiska kommunikationen i marina operationer och varje förbättring av robustheten är ett viktigt bidrag till ett fartygs förmåga.

Projektet har inte hanterat frågor som rör utformning av telekrigssystem mot radio. Det har heller inte omfattat egen forskning kring telekonflikt eller telekrig. Däremot har nya koncept värderats ur robusthetssynpunkt med hänsyn till bland annat telekonflikt.

### 1.4 Referensgrupp

Projektets referensgrupp har haft en rådgivande och stödjande roll och varit en viktig länk till att säkerställa projektets kundnytta. Referensgruppens sammansättning har varierat något under projektiden men gruppen hade under 2013 följande medlemmar;

- Per Nordlöf, HKV PROD LEDUND Infohantering,
- Magnus Kedeby, HKV PROD MARIN, MSA 243,
- Torbjörn Lundströmer, HKV PROD MARIN, MSA 251,
- Patrik Lindgren, HKV C M6 Marin Taktiska Staben,
- Niclas Lyngstam, C MaRa,
- Peter Lendrop, SSS, FunKE/LedT,
- Rickard Berg, FMV, AK LED Radio, produktledare radiosystem,
- Gunnar Markusson, HKV PROD LEDUND VPI

Totalt har 9 st. referensgruppsmöten genomförts under projektiden.

## 2 Svar på projektets frågor

Projektet syftade till att studera kommunikationslösningar som ger hög robusthet mot den dynamik som kännetecknar marina plattformar i internationell miljö. Bakgrunden är att radiosambandet inom marinen inte alltid fungerar tillfredsställande. Farhågorna är dessutom att robustheten kan försämrats ytterligare under en internationell operation, då dessa kännetecknas av många utmaningar, vilket kan försvåra situationen ytterligare. Exempel på försvårande omständigheter är krav på interoperabilitet, kapacitetskrävande applikationer och andra förutsättningar än vad man tidigare har övat med. Av särskilt intresse är robusta kommunikationslösningar där många systemtyper skall fungera samtidigt och där robusthetsproblem kan få effekter på högre system- och applikationsnivå för hela plattformen och dess ledningssystem.

**• Hur skall dynamik med avseende på variabla utbredningsförhållanden, tjänster (tal/data), taktiskt uppträdande, interoperabilitet (inom förband och mot koalitionspartners) samt olika partners förutsättningar hanteras med bibehållen robusthet i marina operationer?**

Viktigaste åtgärden är att ha så väl fungerande radiosystem som möjligt. I det ingår att

- integrationsarbetet av systemen är fullgott (exempelvis genomgång av antennplacering och frekvensplanering),
- delkomponenter som exempelvis antenner fungerar som de ska,
- störningsmiljön är kontrollerad (onödiga störningskällor är reducerade och att en telekonfliktsanalys är genomförd).

En förutsättning för att radiosystemen ska fungera i internationella operationer är att de fungerar väl vid övningar i närområdet. Viktigt för robustheten är också att ha redundanta radiosystem och att personalen som hanterar radiosystemen har god kunskap om både teknik och metod.

En begränsande faktor är exempelvis de regler som gäller vid operationen. Det kan vara frekvensregler som styr vilka frekvenser som är tillåtna eller de krav som finns på interoperabilitet, vilket gör att endast ett fåtal radiosystem är gemensamma mellan de som ska samverka och därför begränsar valet av radiosystem. Vi kommer att visa exempel på att interoperabilitetskravet i en internationell operation kan leda till att öppen kortväg är det enda sambandsmedlet som står till buds. De flesta av de policyrelaterade begränsningarna kan ofta inte påverkas.

En annan försvårande faktor är att kraven på radiosystemen i vissa fall kan vara mycket höga. Ett typiskt exempel är applikationer som vi behöver ha tillgång till och som kräver höga datatakt av kommunikationssystemet. För att klara av att använda applikationerna kan vi bli hänvisade till att byta radiosystem eller till att förändra applikationen. Tyvärr är möjligheten att förändra applikationer eller att påverka vilka applikationer som ska användas mycket begränsad.

I radiodomänen finns däremot faktorer som kan hanteras. Det är främst de lokala faktorerna, som vi har störst förutsättningar att kunna kontrollera och agera utifrån. Exempel på en sådan dynamisk faktor är den lokala störningsmiljön. Här är det viktigt att göra ett gott val då radiosystem, antenn och lämpliga frekvenser väljs. Till viss del kan också vissa begränsningar hanteras med modifierade metoder på applikationsnivå. Exempelvis kan det fungera att skicka ett administrativt meddelande flera gånger och på det sättet hantera dynamiska faktorer i radiodomänen som till exempel dåliga mottagningsförhållanden kan skapa. En mer kritisk tjänst är stridsmeddelanden som måste komma fram direkt varför omsändning flera gånger inte är en optimal lösning.

**• Kan metoder för dynamisk frekvenshantering användas för att öka robustheten i kommunikationssystem på marina plattformar?**

Vi kommer att visa att en av de mest dominanta dynamiska faktorerna, den lokala interferensmiljön, kan hanteras genom bättre och dynamiska frekvensvalsmetoder där

information om störningseffekten och störningssignalens statistiska egenskaper, som störningens impulsaktighet, beaktas.

Med ett mer flexibelt frekvensval ökar möjligheterna till att vi får bättre mottagningsförhållanden på den valda frekvensen. Förbättrade mottagningsförhållanden ökar kommunikationsräckvidden, datatakten, samtidigt som fördröjningar och risken för meddelandefel minskar. Dessa förbättringar kan även omsättas i ökad robusthet.

Vi har även visat att både störningens elektriska effekt och dess impulsaktighet är viktig då man vill välja en sändningsfrekvens där datatakten maximeras. Att som traditionellt fördela signaleffekt på de kanaler som har lägst störningseffekt, så kallad *water filling*, fungerar inte över parallella impulsaktiga kanaler, vilket vi ofta har på kortvågsområdet.

**• Hur skall dynamik med avseende på förändringar i signalmiljön (orsakade av förändringar i geografisk miljö, samlokalisering, och aktiv störning) hanteras?**

Den samlade erfarenheten under projektets gång är att tre grundläggande faktorer är mycket avgörande för att dynamiken med avseende på förändringar i signalmiljön inte skall påverka robustheten negativt för sambandsförmågan:

- Välutbildad sambandspersonal som är väl förtrogen både med sambandsmaterielens tekniska egenskaper och vilka åtgärder som kan vidtas när signalmiljön förändras av olika orsaker. Exempel på tidiga symptom kan vara kortare kommunikationsräckvidd, ökade tidsfördröjningar mm.
- Ett väl genomfört integrationsarbete på plattformen så att inte den lokala signalmiljön i sig minskar marginalen för att hantera variationer i signalmiljön. Okontrollerade lokala störningssignaler gör att förändringar i signalmiljön i övrigt kan få allvarigare konsekvenser än i fallet att inga betydande lokala störningssignaler förekommer ombord.
- Dynamisk frekvenshantering för att hantera förändringar i signalmiljön, se Figur 13. Signalmiljön förändras över tid, frekvens och med den geografiska placeringen och kan avsevärt försämra radiomottagningen.

Ett annat sätt att hantera situationen är att se till att den lokala interferensmiljön ger en mindre påverkan på radiosystemen. Det kan göras genom att förändra radiosystemen så att dessa blir mer störningståliga. Att lösa ett lokalt radiosystemproblem genom att öka störtåligheten skall dock ses som en nödlösning eftersom störskyddet skall användas för att hantera telekrigsinsatser och andra störningsproblem som vi inte har kontroll över.



Figur 2. Illustration av de dynamiska faktorer som bör hanteras för att öka robustheten hos radiosystemen.

## 3 Projektaktiviteter

### 3.1 Dynamik i internationell miljö

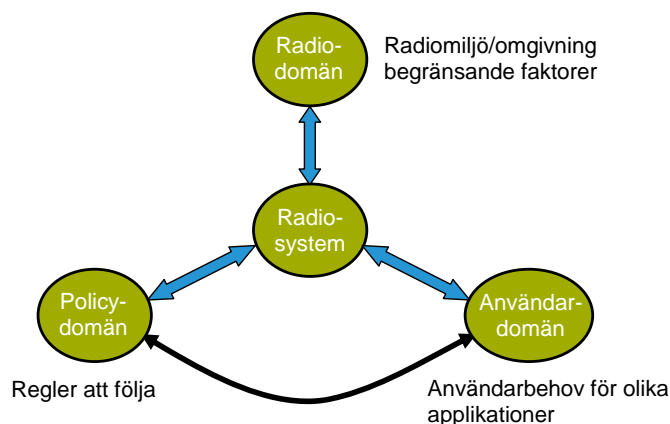
Radiosambandet inom marinen ställs inför stora påfrestningar, och fungerar inte alltid tillfredsställande. Det finns farhågor om att robustheten kan försämrats ytterligare under en internationell operation. Sambandsbekymren kan bero på yttre faktorer som påverkar radiosystemets förmåga och kan exempelvis leda till minskad räckvidd, långa fördröjningar eller totalt kommunikationsavbrott. Det är därför viktigt för operationens genomförande att hantera de sambandsproblem som uppstår. De varierande förutsättningarna benämner vi i det här arbetet för dynamiska faktorer. Arbetet har tidigare rapporterats i [11], och sammanfattas i följande avsnitt.

En förutsättning för att kunna värdera olika tekniklösningar ur ett robusthets- och dynamikperspektiv är att dynamiken är känd. Projektet inledde därför med att kartlägga dynamiken som kännetecknar marina radioplattformar. Detta gjordes på radiosystemnivå och där så var möjligt även på funktionsnivå. De dynamiska faktorerna identifierades genom tre scenarier som innefattar internationella uppdrag.

Dynamikfaktorerna strukturerades i tre olika domäner: radiodomänen, policydomänen och användardomänen, se Figur 3. Mellan användardomänen och policydomänen finns en koppling som gör att beslut och förändringar i den ena av dem påverkar den andra. Förutom de tre dynamikdomänerna bör vi även beakta radiosystemets prestanda.

Radiosystemets prestanda påverkas av dynamiska faktorer som orsakas av radiomiljön, här kallad **radiodomänen**. Omgivningen utsätter transmissionen för påfrestningar som kan försämra radiosystemets prestanda men även förbättringar förekommer. Dynamiska faktorer inom radiodomänen kan vara varierande störningsmiljö, vågutbredningsförhållanden och liknande, vilka kan variera relativt snabbt. De är dessutom mycket situations- och miljöberoende.

Då en operation ska genomföras finns ofta en rad olika regler eller policys som ska följas. Det kan vara civila lagar och bestämmelser som gäller i den region man befinner sig i, men även så kallade *Rules Of Engagement* (ROE), som beskriver överenskomna regler vid en gemensam operation med flera aktörer. Dessa dynamiska faktorer beskrivs i **policydomänen** och ändras relativt sällan. De bestäms oftast i planeringsskedet innan uppdraget. Däremot kan de skilja mellan olika regioner. I operationer där vi rör oss mellan olika regioner kan dessa faktorer därför ändras, men dynamiken är oftast känd på förhand.



Figur 3 De tre dynamikdomänerna som kan påverka radiosystemets förmåga.

I **användardomänen** beskrivs de dynamiska faktorerna som påverkas av vad som sker hos användaren i form av kommunikationsbehov. Olika uppgifter kan innebära olika behov av kommunikationssystemet. De varierande behoven på radiosystemet kan ses som dynamiska faktorer som radiosystemet måste uppfylla.

Hur de dynamiska faktorerna påverkar radiosystemens förmåga beror naturligtvis på vilken typ av radiosystem som används.

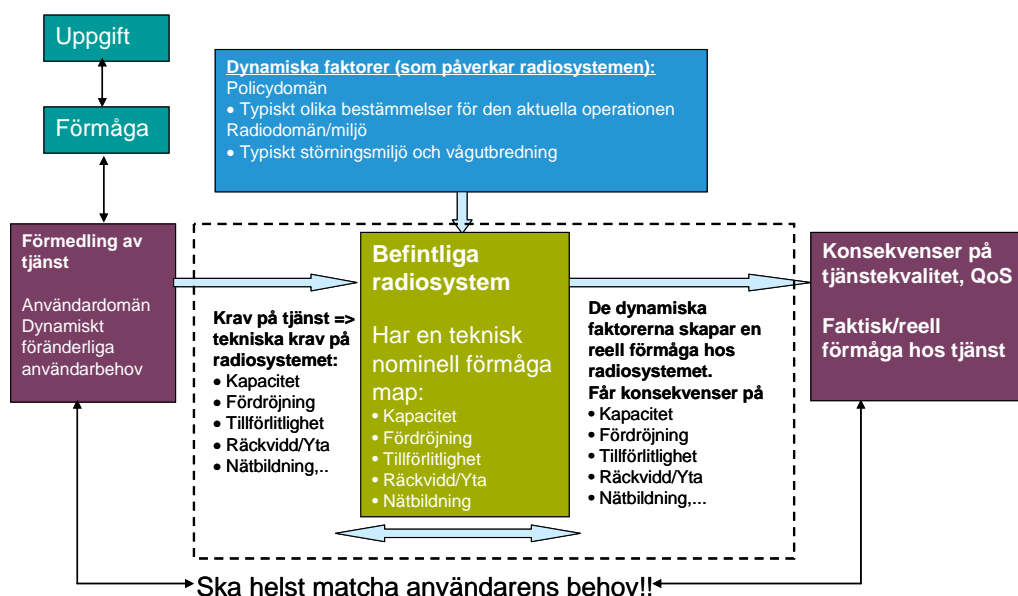
Tillgången till radiosystem och deras reella prestanda kan få stor betydelse för utgången av en operation. Regler och överenskommelser kring till exempel interoperabilitet och informationssäkerhet kan minska, och starkt begränsa, antalet tillgängliga radiosystem som får användas. Konsekvensen blir en ökad sårbarhet. Vissa operationer och operationsområden kan också begränsa vilka radiosystem som är möjliga att använda.

Ett specifikt radiosystem har initialt en nominell förmåga som uppges i radiosystemets tekniska kravspecifikation. Det är dessa krav som ett system upphandlas efter. Radiosystemets nominella prestanda måste täcka de viktigaste kraven, men är alltid en kompromiss mellan olika behov, se Figur 4.

De dynamiska faktorerna från radio- och policydomänen försämrar ofta radiosystemets förmåga och ger radiosystemet en faktisk, reell, förmåga. I vissa fall kan de dynamiska faktorerna i radio- och policydomänen vara så besvärliga att viktiga användarbehov inte kan uppfyllas.

De dynamiskt varierande användarbehoven leder till föränderliga kommunikationsbehov. Dessa behov avspeglas i de tekniska radioparametrarna:

- Kapacitet/datatakt,
- Fördröjning av information,
- Tillförlitlighet,
- Räckvidd eller radiotäckning,
- Nätbildning.



Figur 4 Beskrivning av hur radiosystemet påverkas av dynamiska faktorer.

De dynamiska faktorerna, framförallt från radiodomänen, påverkar radiosystemets möjlighet att uppnå kraven på kapacitet, fördröjning, tillförlitlighet, räckvidd/radiotäckning och nätbildning, d.v.s. försämrar den nominella prestandan till reell prestanda. Denna påverkan får sedan som följd effekt att olika funktioner som t.ex. upprätthållande av luftläge, ytläge och undervattensläge kan påverkas.

### 3.1.1 Slutsatser

Om det uppstår alltför utmanande variationer i **användarbehoven** kan antingen radiosystemen behöva förbättras eller applikationernas utformning behöva förändras. Det sistnämnda alternativet innebär att delar av applikationen eller sättet att använda den förändras. Många gånger finns tyvärr inga möjligheter att påverka vilka applikationer som ska användas<sup>2</sup> varför denna möjlighet är mycket begränsad.

De dynamiska faktorerna i **radiodomänen** kan förändras relativt snabbt, ibland till det bättre, men ofta till det sämre. Det är därför bra om radiosystemen kan anpassas till de rådande förhållandena och utnyttja tillfällena då utbredningsförhållanden och interferensmiljön är fördelaktig. Det kan ske genom att:

- Optimera valet av radiosystemparametrar. Lämplig frekvens är ett exempel på parameterintervall som kan förbättra kommunikationen.
- Optimera valet av radio- och antensystem. Ett flexibelt nyttjande av tillgängliga radiosystem och möjligheten att välja det antensystem som för tillfället har bästa förhållanden vad gäller interferensmiljö och vågutbredningsförhållanden kan förbättra situationen. Även möjligheten att kombinera system och kanaler (t.ex. använda flera HF-kanaler om det behövs) kan förbättra kommunikationsmöjligheterna. Här gäller också att förbättra antennplaceringen så att systemen inte störs av andra system som utstrålar radiofrekvent energi eller att radiosystemen inte stör varandra pga kraftig antenncoppling.
- Optimera nyttjandet av systemen. Genom att prioritera trafiken eller genom att planera nyttjandet av radiosystemen kan användandet av kommunikationsresurserna optimeras. Till exempel skulle icke-tidskritisk information kunna läggas i vänteläge för att sedan skickas då radiosystemen inte nyttjas.
- Ha redundanta system. För att säkerställa tillförlitlighet och robusthet mot besvärliga situationer är det viktigt att ha tillgång till flera olika radiosystem. Om några av systemen får tillfälliga försämringar fungerar förhoppningsvis andra bättre. För att kunna optimera kommunikationsresurserna på ett bra sätt krävs god kunskap om de aktuella vågutbrednings- och interferensförhållandena.

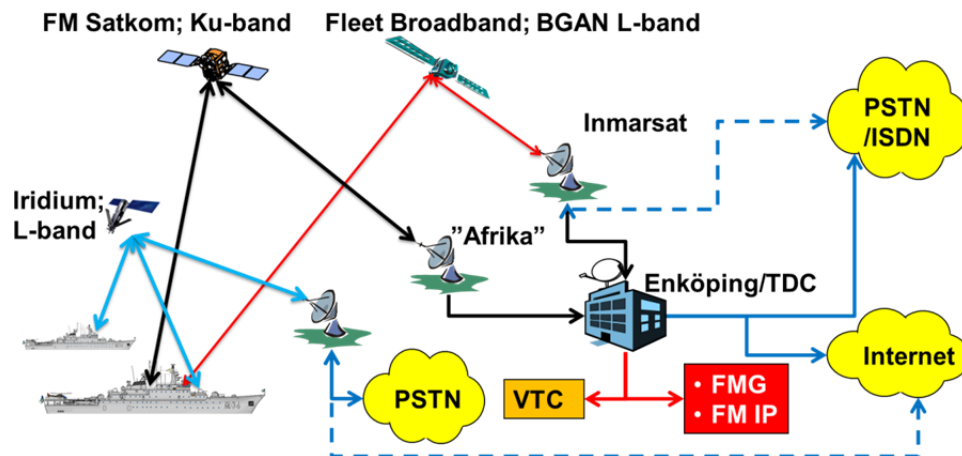
De dynamiska faktorerna i **policydomänen** innebär enbart begränsningar som sällan går att göra något åt. Det är därför särskilt viktigt att nyttja radiosystemen på ett optimalt sätt. Begränsningar som uppstår från policydomänen är i regel kända på förhand, vilket gör att vi kan planera och förbereda oss för situationen.

## 3.2 Resultat av genomförda värderingar

Syftet med arbetet har varit att få en uppfattning om hur robusta olika kommunikationssystemlösningar är, på såväl djup teknisk nivå som hög ledningsnivå. Två värderingar har genomförts under projektiden. 2012 genomfördes en värdering av satkombortfall vid en internationell mission i Adenviken [2]. 2013 genomfördes en värdering av MARLIN på HF [4]. I båda fallen har tekniklösningarna värderats med stöd av värderingsmetoden COAT [1] och etablerade scenarier/typfall. Valet av tekniskt system och scenarier har skett i samråd med projektets referensgrupp.

<sup>2</sup> Under samoperationer, som exempelvis vid ME02, är applikationerna ofta bestämda av ledande nationer.

### 3.2.1 Satkombortfall vid en internationell mission i Adenviken



Figur 5 Systemöversikt av satellitkommunikation vid en mission.

Olika former av satellitkommunikation har använts och kommer att användas vid internationella marina operationer men även vid uppdrag i Sveriges närområde. Dessa system står för en stor och växande andel av transmissionen och många nya applikationer är direkt beroende av dessa system. Robustheten hos satkomsystemen i sig men framförallt hos de funktioner som är beroende av dem är därför viktig att känna till. Marina enheter har vid flera tillfällen deltagit i internationella missioner i Adenviken, senast i form av ME03 under 2013. Satkom har i dessa sammanhang varit en väsentlig transmissionsform för att hantera bland annat interoperabilitet. Värderingen baseras på de förhållanden som rådde vid ME02.

Värderingen genomfördes för två möjliga uppgifter en svensk enhet inom EU NAVFOR kan komma att ställas inför vid ME02: *Group transit* (inom IRTC<sup>3</sup>) och *Baseline operations* (patrullering). Vår bedömning, baserat på intervjuer genomförda under värderingen, var att dessa uppgifter dominerade i tid under en mission. Efter ett flertal intervjuer fastställdes värderingsfrågan till:

*Vilken effekt får ett satkombortfall på fartygschefens förmåga att genomföra:*

- *Patrullering och eskortering (Ocean Patrol Vessel-funktion) i definierat område?*
- *Helikopteroperation (spaning och insats) ut till max operativt avstånd?*

Satellitkommunikationssystemet som modellerats i värderingen var FM Satkom (Ku-band), Fleet Broadband (BGAN L-band) och Iridium (L-band), Figur 5.

Operationens arbetsmetod var i form av uppdragsstyrning, vilket medför att fartygschefen kan lösa sin uppgift med hjälp av den lägesbild som egna sensorer, helikopter och bordningsstyrka bygger upp. En väl fungerande kommunikationslösning ger möjlighet till en bättre lägesbild och interaktion med F(HQ)<sup>4</sup> och övriga deltagare i missionen. Högre chef, F(HQ), fattar beslut om ändringar i aktuell ROE<sup>5</sup>. Kommunikationen mellan fartyget och F(HQ) kan därför bli tidskritisk.

Robustheten i den antagna satkoplösningen bygger på att tre olika satellitsystem används för att bära datatrafik. I praktiken var enbart två av dessa användbara för ledning och samordning inom missionen. Ledning och samordning av missionen antogs ske via de Internetportaler som utgör den huvudsakliga sambandsvägen inom missionsstyrkan. Både FM Satkom och *Fleet Broadband* har var för sig tillräcklig kapacitet för att klara Internetportalerna, som användes för att upprätthålla en gemensam lägesbild och utbyta

<sup>3</sup> IRTC= Internationally Recommended Transit Corridor.

<sup>4</sup> F(HQ)=Forward HeadQuarters.

<sup>5</sup> ROE = Rules Of Engagement.

information. Iridium har för låg kapacitet för detta och kan i praktiken bara användas för öppna samtal. Värderingen studerade hur förmågan påverkas när:

- FM Satkom slutar fungera eller reduceras på grund av att fartyget är utanför täckningsområde eller länken drabbas av regndämpning,
- *Fleet Broadband* slutar fungera eller reduceras på grund av att kapaciteten delas med övriga abonnenter i cellen eller att länken drabbas av rymdväder,
- Telekonflikter uppstår som reducerar marginalerna i systemen.

Eftersom en befintlig systemlösning har värderats kan inte slutsatserna redovisas i denna öppna rapport. En rapport med utförligare beskrivning av genomförd värdering, antaganden, resultat mm publicerades i slutet av 2012 [2].

### 3.2.2 STANAG 4691 - MARLIN på HF

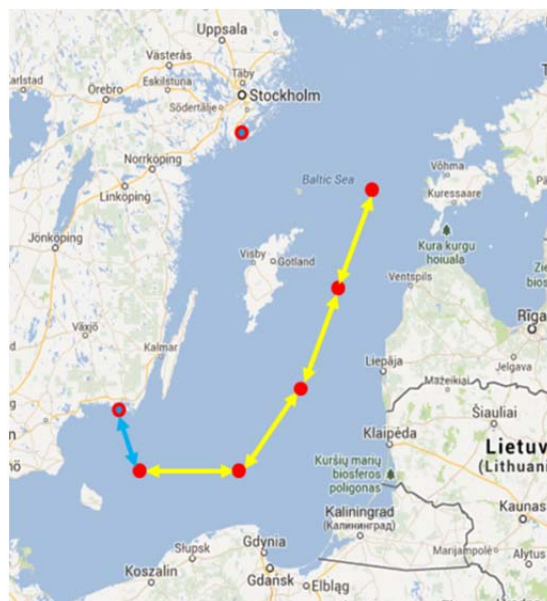
MARLIN, *Mobile Ad Hoc Relay Line of sight Networking*, är en NATO-standard som möjliggör överföring av *Internet Protocol* (IP) data mellan radioapparater [3]. Standarden beskriver ett protokoll som automatiskt skapar ett Ad Hoc-nätverk av en uppsättning radioapparater. Protokollet tillåter att IP-trafik automatiskt skickas vidare, av utvalda radioapparater som agerar relä, för att binda samman radioapparaterna över stora avstånd. Vidare hanterar protokollet automatisk anslutning av nya radioapparater till nätverket. Innan MARLIN blev standardiserat av NATO utvecklades protokollet av Rockwell Collins under namnet *Subnet Relay* och denna beteckning kan fortfarande förekomma i vissa sammanhang.

Intentionen med denna studie var att först värdera en kommunikationslösning baserad på MARLIN-konceptet på kortväg, på så sätt att MARLINS inverkan på högre ledningsfunktioner kopplat till ett antal applikationer synliggjordes. Men för de flesta applikationerna som MARLIN förväntas hantera saknas krav på viktiga parametrar som minsta möjliga datatakt och längsta tillåtna svarstider. Det går därför inte att värdera inverkan av MARLIN på högre ledningsnivåer. I stället genomfördes en studie av vilka prestanda MARLIN på HF kan uppnå.

I studien användes tre förenklade scenarion, så kallade vinjetter. I den första vinjetten antas fem fartyg ingå, vilka är utspridda längsmed en linje och har ett inbördes avstånd på 50-80 nautiska mil, se Figur 6. Det innebär att VHF/UHF inte kan användas, medan HF överbrygger minst ett länkhopp. I den andra vinjetten är avståndet mellan fartygen kortare, inom VHF/UHF räckvidd. För att täcka alla fartygen med VHF/UHF måste dock flerhopp användas. För HF nås alla fartyg inom ett hopp. Den tredje vinjetten innehåller både korta och långa avstånd och således är en kombination av HF och VHF/UHF nödvändig i denna vinjett.

Resultaten för den första vinjetten visar att en högre datatakt erhålls för flerhopp över markväg jämfört med ett hopp över rymdvåg då MARLIN används. För att markvägen ska fungera bra måste interferens med rymdvågen undvikas. Det löses genom att välja en frekvens utanför det frekvensfönster inom vilket rymdvågen utbreder sig. Rymdvåg har också nackdelen att frekvensen måste ändras flera gånger per dygn. MARLIN på HF lämpar sig därför bäst på markväg. Rymdvåg bör i möjligaste mån undvikas. Resultatet för den andra vinjetten visar att om länkdatatakten för VHF/UHF-sambandet överstiger 340 kbit/s kommer den resulterande datatakten för varje enskild nod att överstiga den datatakt som erhålls med HF över ett hopp. Vågutbredningen skiljer sig däremot mellan HF och VHF/UHF och en skärgårdsmiljö kommer att innebära att länkar oftare plötsligt försvinner för VHF/UHF jämfört med HF. Påverkan på prestanda på grund av denna skillnad har dock inte undersökts i denna studie. Tredje vinjetten ger liknande resultat som de andra två vinjetterna.

En rapport med utförligare beskrivning av genomförd värdering, antaganden, resultat mm publicerades i slutet av 2013 [4].



Figur 6. Illustration av studerad vinjett.

### 3.3 Frekvenshantering för HF-system

Under projektets första år analyserades vilken typ av dynamiska faktorer som har negativ påverkan på radiosystemen. Två viktiga faktorer inom radiodomänen är vågutbrednings- och interferensmiljön. Dessa kan starkt påverka radiosystemets möjligheter till samband. Till skillnad från en del andra begränsande faktorer som t.ex. regelverk kring tillåtna frekvenser är dessa faktorer dynamiska. Radiosystemet skulle alltså kunna anpassa sig till den och vi skulle därmed få ett bättre fungerande system.

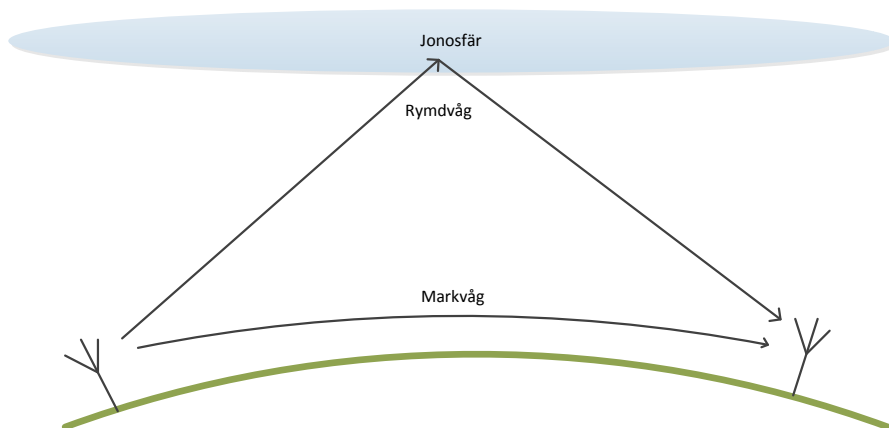
Projektet har därför inriktat sin forskning mot att utveckla metoder för att hantera dynamiskt varierande mottagningsförhållanden. Det är speciellt valet av lämpliga frekvenser vid användandet av marinens kortvågssamband (HF) som har studerats.

I dag sker redan kvalificerade frekvensval i HF2000-systemet. HF2000 genererar automatiskt en frekvenspool baserat på typsträckor och vågutbredningsprognoser för ett område. Utifrån frekvenspoolen väljer den sändande enheten ut en lämplig frekvens, baserat på en rad metriker som registreras för varje motstation i HF2000-systemet. Vi har i detta arbete studerat hur frekvensvalet kan förbättras ytterligare genom att även ta hänsyn till den lokala interferensmiljön.

Vinsterna som kan göras med ett förbättrat frekvensval på kortvågsbandet är exempelvis högre datahastigheter, kortare fördröjningar och en ökad robusthet för transmissionen. HF-kommunikation är en mycket vital komponent för det taktiska sambandet i marina operationer och varje förbättring av robustheten är ett viktigt bidrag till ett fartygs förmåga. HF-kommunikation innehåller i grunden både tekniska och operativa utmaningar då HF-kanalen i sig varierar starkt när det gäller tillgänglighet till störningsfri kommunikation. Valet av frekvens för HF-kommunikation är därför en nyckelfunktion för att erhålla effektiva kommunikationsförutsättningar.

En fördel med kortvågssystem är att de möjliggör trådlös radiokommunikation över långa avstånd, vilket är önskvärt inom marinen. De långa kommunikationsavstånden medför att fartyg kan kommunicera in till land eller hem till Sverige från olika missionsområden runt om i världen, utan att vara beroende av mellanliggande infrastruktur (t.ex. satelliter). Två olika typer av utbredningsvägar kan erhållas på HF-området; markvåg där radiovågorna följer marken och rymdvåg där radiovågorna reflekteras i jonosfären, se Figur 7.

Rymdvågen kan ge kommunikationsavstånd på upp till hundratals mil medan en markvåg kan utbreda sig upp till tiotals mil. Det är enbart vissa frekvenser som lämpar sig för rymdvågskommunikation. Detta beror på vilken infallsvinkel radiovågorna har till



Figur 7: Vågutbredningsvägar för HF.

jonosfären och jonosfärens egenskaper. Jonosfärens egenskaper påverkas av solens aktivitet. Det betyder att förutsättningarna för rymdvågskommunikation varierar med årstiden och tider på dygnet. En nackdel med HF-system är de fysiska och elektriska begränsningar i antennen som gör att relativt smala kanaler måste användas. I standarden MIL-STD-188-110B, som svenska HF-radioapparater baseras på, är kanalbandbredden 3 kHz, vilket enligt standarden ger dataakter från 75 bit/s till 9600 bit/s. I praktiken erhålls den högsta dataakten endast under mycket gynnsamma förhållanden.

En gränssättande parameter för den maximala dataakten är signal-brus-förhållandet (SNR) hos mottagaren. SNR brukar definieras som

$$\text{SNR} = \frac{S}{N}, \quad (1)$$

där  $S$  är mottagen signaleffekt och  $N$  är bruseffekten hos mottagaren. Bruseffekten hos mottagaren kan delas upp i olika källor som exempelvis

**Termiskt brus i mottagaren** ( $N_t$ ), härstammar från elektroniken i mottagaren och beror på hur mottagaren är konstruerad.

**Atmosfäriskt brus** ( $N_a$ ), kommer från olika elektroniska fenomen i atmosfären. Den starkaste komponenten (men som sällan inträffar) kommer från närliggande blixurladdningar i åskväder. Svagare komponenter kommer från andra åskväder runt om på jorden och även elektroniska urladdningar som sker utanför jordens atmosfär. Vid blixurladdningar uppstår pulser med hög energi som påverkar radiokommunikationen negativt.

**Bakgrundsbrus** ( $N_i$ ), skapas av annan elektronisk utrustning i närheten av mottagaren eller eventuella andra radiosändare. Annan elektronisk utrustning kan exempelvis vara motorer, olika sorters belysning, spänningsomvandlare, mikrovågsugnar m.m. Bakgrundbruset är därför oftast högre i och runt städer jämfört med på landsbygden. Typiskt för denna typ av brus är att det har en pulsaktig karaktär.

Med uppdelningen av mottagarbruset i olika komponenter kan SNR skrivas som

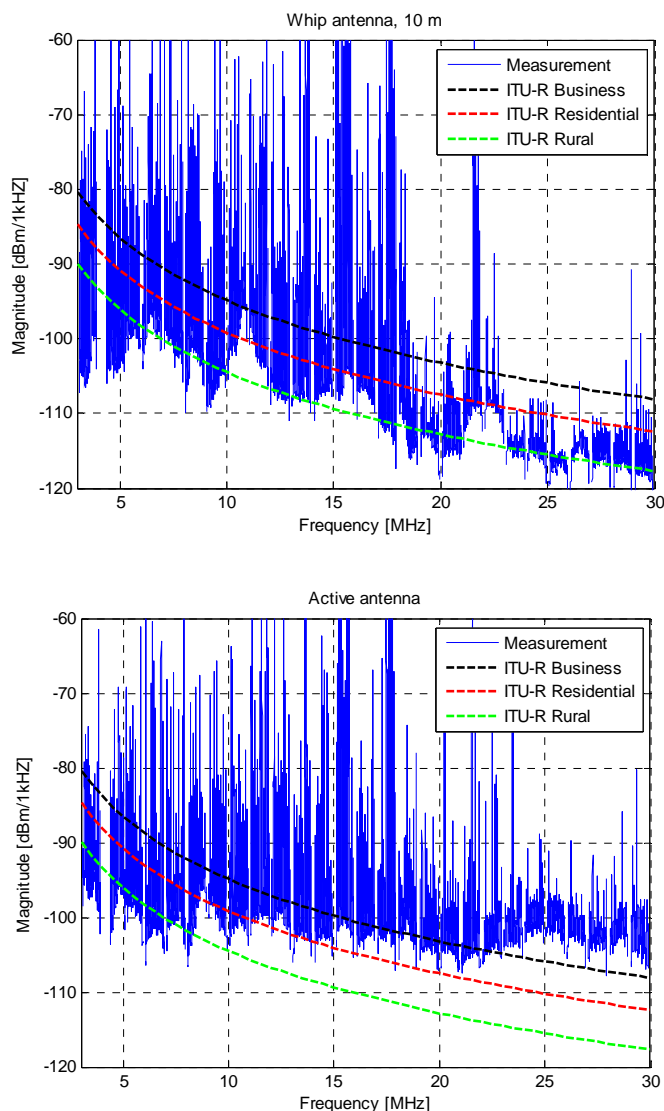
$$\text{SNR} = \frac{S}{N_t + N_a + N_i}. \quad (2)$$

Brusets karaktär har även visat sig ha stor betydelse för hur det påverkar mottagen signal. Impulsaktigt brus ( $N_a + N_i$ ) är oftast mer skadligt för radiomottagaren än Gaussiskt brus med samma medeleffekt [5]. Därför studeras i detta projekt frekvensval som även tar hänsyn till impulsaktigheten hos bruset ( $N_a + N_i$ ).

### 3.3.1 Lokal störningsmiljö

Det har visat sig att den lokala störningsmiljön i många fall är mycket besvärlig på militära marina plattformar [6, 7]. Det finns flera orsaker till detta. Ett fartyg eller en ubåt är relativt begränsad till ytan med få möjliga ställen att placera radioantennerna. Det finns oftast endast ett par master där antenner är lämpliga att placera. Integrationen av radio- och övriga system sker ofta under kort tid, särskilt inför internationella missioner, varvid integrationen av systemen blir lidande. Underhåll och modifiering är många gånger fokuserade på enskilda problem, vilket kan leda till suboptimeringar och en försämrad störningsmiljö i stort. Saknas kunskap om elektromagnetiska egenskaper hos olika systemlösningar kan exempelvis en antennplacering komma att betraktas som ett rent mekaniskt problem. En ökad användning av kommersiell hyllvara (COTS) leder tyvärr automatiskt till att den totala störningsnivån ökar då COTS tillåts emittera betydligt högre nivåer av oavsiktlig elektromagnetisk emission än motsvarande militärspecificerad utrustning.

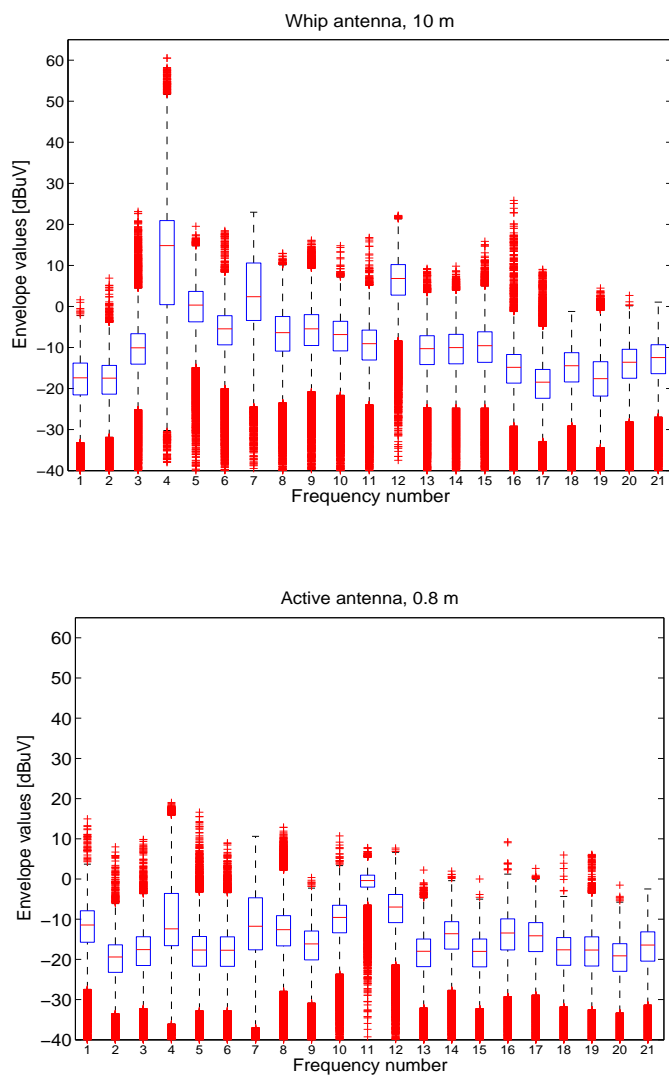
I Figur 8 visas exempel på hur den lokala störningsmiljön kan se ut på kortvågsbandet hos en marin plattform. Figuren visar uppmätta störningsnivåer på kortvågsbandet på två olika antenner. I samma figur visas även nivåerna för ITUs kategorier för olika typer av



Figur 8. Exempel på uppmätta störningsnivåer över kortvågsbandet på en militär marin plattform, för en stavantenn (överst) och en aktiv antenn (nederst).

störningsmiljöer: *Business*, *Residential* och *Rural*. Vi ser i figurerna att störningsnivåerna kraftigt överstiger ITU-R *Business* för ett stort antal frekvenser. Störningsnivåerna kan för vissa frekvenser överstiga ITU-R *Business* med över 30 dB. De allra högsta nivåerna kommer normalt från andra avlägsna sändare men den lokala störningsmiljön från plattformen kan typiskt överskrida ITU-R *Business* med 10-20 dB. Långväga signaler och den lokala störningsmiljön är två komponenter som inte tas hänsyn till vid traditionell prognostiserad prestanda för de olika frekvenserna.

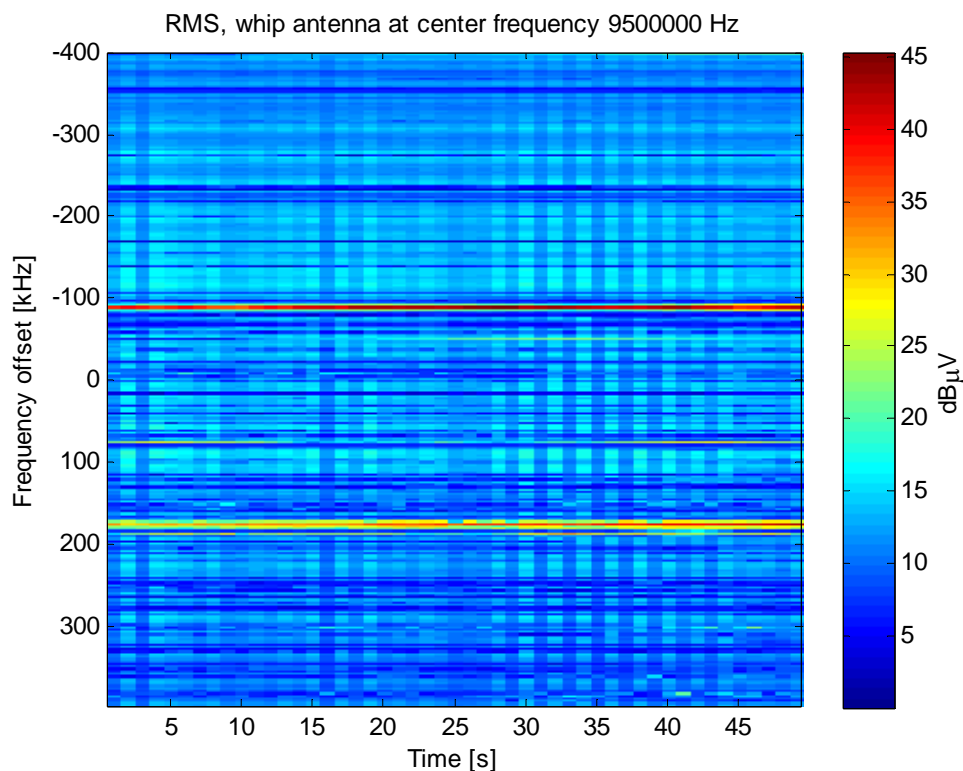
Mätningarna visar också att störningsnivåerna varierar i tid för olika frekvenser, se Figur 9. Figuren visar vilka störningsnivåer som är mest vanligt förekommande för ett antal 3-kHz-kanaler. Frekvens nummer 1 representerar centerfrekvensen 2.5 MHz och frekvens nummer 21 representerar centerfrekvensen 22.5 MHz. Frekvenserna där emellan ligger ekvidistant utplacerade mellan 2.5 och 22.5 MHz. Rektanglarna, de s.k. boxplottarna, innefattar alla mätvärden mellan 25:e och 75:e percentilen och de vertikala röda strecken visar medianvärden. Vi kan se att mätvärdena inom 25:e och 75:te percentilen varierar med omkring 6-9 dB i den aktuella mätningen. Figuren visar också att det är en stor spridning av tillfälligt mycket höga och låga värden (presenteras som ”+” i figuren).



Figur 9: Exempel på spridning av uppmätta störningsnivåer över kortvågsbandet på en militär marin plattform för en vippantenn (överst) och en aktiv antenn (nederst).

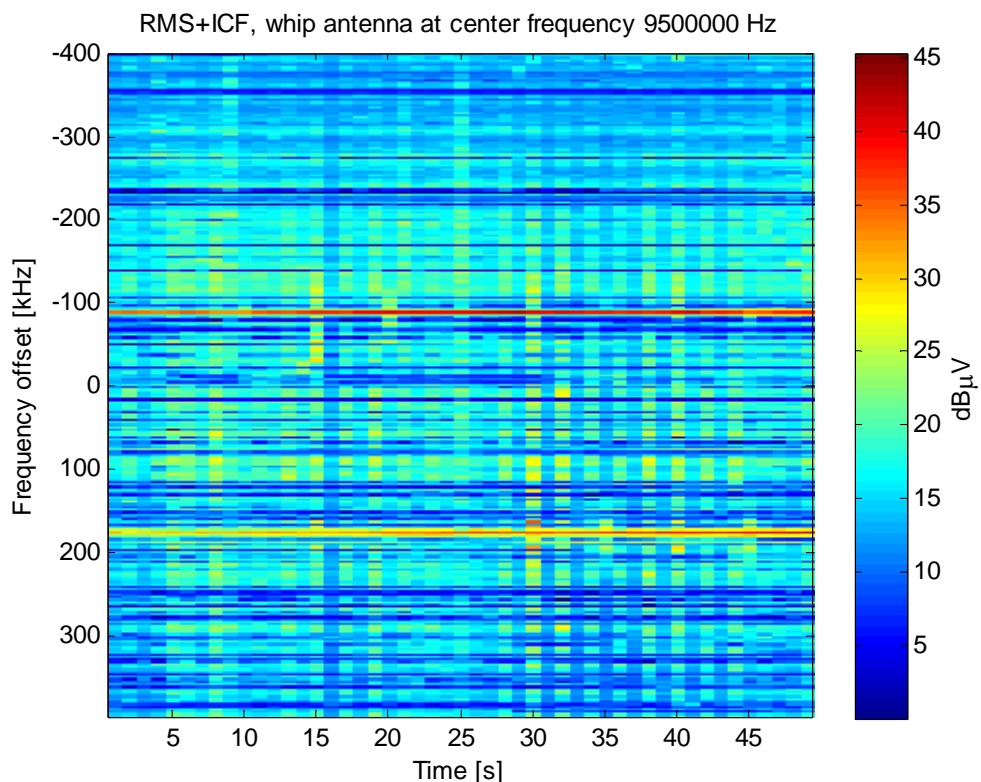
I Figur 10 kan vi se ett exempel på hur störningssignalens medeleffekt (RMS-värde) varierar i tid. Störningens medeleffekt är beräknad över en-sekunds perioder och visas i detta fall för flertalet 3 kHz-kanaler där centerfrekvensen i figuren är 9.5 MHz. Störningssignalen uppvisar också ett kraftigt impulsaktigt beteende. Eftersom störningssignaler som har ett impulsaktigt beteende ofta ger en mycket värre radiopåverkan än icke impulsaktiga signaler har vi även kartlagt den lokala störningsmiljöns impulsaktighet.

I Figur 11 har störningens medeleffekt korrigerats för dess impulsaktighet i form av *Impulsiveness correction factor* [5], (ICF<sup>6</sup>). Det är tydligt att den lokala störningen kan variera kraftigt i både tid och frekvens. En analys av mätningarna visar att ICF ofta varierar mer än störningens effekt. Värden mellan 5 och 25 dB är inte ovanliga, vilket tyder på bitvis mycket impulsaktigt brus. Ett bra dynamiskt frekvensval är därför väsentligt för att upprätthålla kommunikation av god kvalitet. Alla redovisade mätningar har gjorts på kortvågsbandet, men även på VHF- och UHF-området finns mätningar som tyder på att störningsnivåerna kan vara höga [6].



Figur 10: Medeleffekten under 1 sekund i taget, över 3 kHz-kanaler runt centerfrekvensen 9.5 MHz.

<sup>6</sup> Korrigering av medeleffekten kan göras för att korrigera de fel som uppstår om störningen antas utgöras av additivt vitt gaussiskt brus (AWGN) vid estimering av störningspåverkan.



Figur 11: Summan av medeleffekten och korrigering för impulsaktighet under 1 sekund i taget, över 3 kHz-kanaler runt centerfrekvensen 9.5 MHz.

Sammanfattningsvis har vi sett exempel på att den lokala störningsmiljön kan ha mycket höga nivåer. Mätningar visar att störningsnivåerna på en militär marin plattform på kortvågsområdet kan överskrida ITU-R *Business* avsevärt. Mätningarna visar också att störningarna kan vara mycket impulsaktiga i sin karaktär. Nivåerna på störningsmiljöns medeleffekt inklusive korrigering för störningens mottagarpåverkan varierar kraftigt i både tid och frekvens. Figur 8 och Figur 9 visar även att påverkan av den lokala störningsmiljön varierar mellan olika antenner på samma plattform. En ytterligare möjlighet att förbättra robustheten i HF-kommunikationen skulle därför kunna vara att välja de mottagar- och sändarantennerna som har lägst interferensnivå. För HF2000 finns det oftast flera radiostationer och antenner bundna till en och samma nod. Om interferensmiljön är väldigt lokal hos noden kan olika antenner komma att uppleva interferensmiljön olika.

### 3.3.2 Konsekvenser av den lokala störningsmiljön

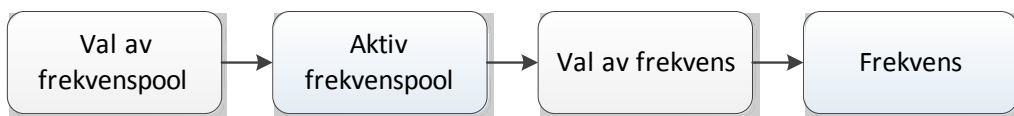
Höga nivåer hos störningsmiljön påverkar radiosystemet negativt. Problemen kan exempelvis yttra sig som

- minskad räckvidd,
- uteblivna anrop,
- avbrott,
- tidsfördröjningar av data,
- minskat antal användare,
- lägre datatakt,
- ökad känslighet mot en elektronisk attack,
- kortare upptäcksavstånd för egna SIS-mottagare/varnare.

Ovanstående problem kan således ytterst påverka ett förbands förmåga i väsentliga avseenden och det finns flera historiska exempel på när egengenererade radiostörningsproblem (telekonflikter) fått mycket allvarliga konsekvenser [8].

### 3.3.3 Förbättrat frekvensval på HF

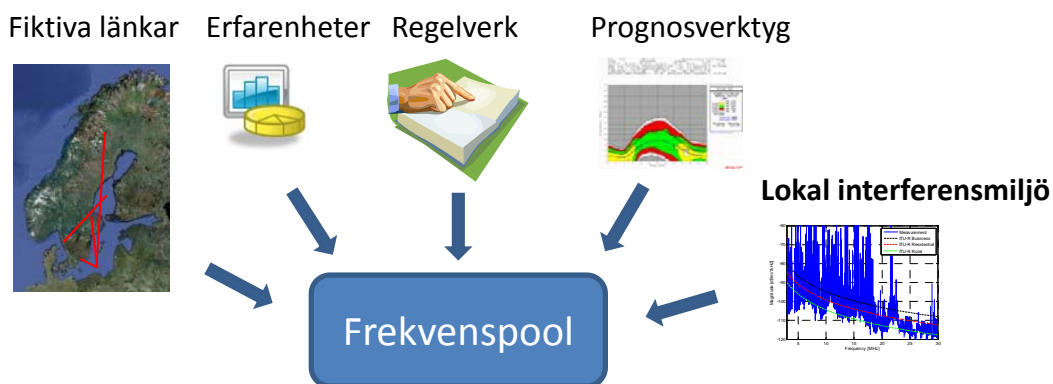
HF2000 är ett kortvågssystem inom det svenska totalförsvaret som automatiskt försöker välja olika resurser för att etablera en så bra radioförbindelse som är möjligt på HF. De resurser systemet väljer är en frekvens, en antenn och en sändar-/mottagarplats (många gånger finns det enbart en sändar-/mottagarplats) för en nod. Valet av frekvens sker i flera steg. Först skapas en frekvenspool bestående av lämpliga frekvenser. Alla noder i nätet skannar synkront frekvenserna i frekvenspoolen och då någon av noderna har meddelanden att sända väljs en frekvens från den givna frekvenspoolen för sändning, se Figur 12.



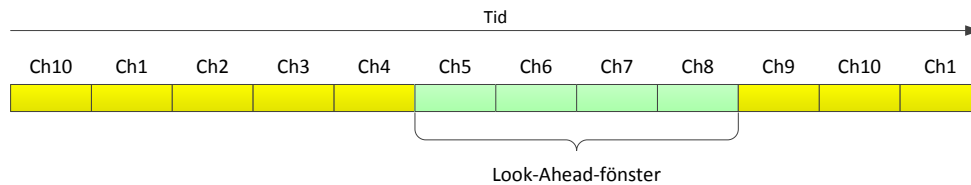
Figur 12: Frekvensval i HF2000.

Frekvenspoolen genereras med jämna tidsintervall, t.ex. varje timme eftersom vågutbredningsförhållandena skiljer sig vid olika tidpunkter på dygnet. De faktorer som påverkar valet av frekvenser i frekvenspoolen i HF2000 är prognoser för vågutbredningsvägar för olika fiktiva länkar baserat på ITU-R P. 533 samt regelverk som anger obligatoriska och förbjudna frekvenser. HF2000 skattar även bakgrundsbruset hos mottagarna enligt olika nivåer (*Rural*, *Business* etc.) i ITU-R P.372-8. Detta är en mycket grov uppskattning och kanske till och med lite för optimistisk i vissa fall. Vi såg t.ex. i Figur 8 att den uppmätta störningsmiljön ligger närmast *Business*-nivån, men man borde kunna förvänta sig lägre störningsnivåer. Genom att istället mäta det faktiska lokala bakgrundsbruset hos mottagarna kan en bättre skattning göras av SNR hos mottagarna och därmed erhålls ett bättre frekvensval. Med goda kommunikationsförhållanden kan dataakt och överföringskvalitet ökas.

Figur 13 illustrerar förslaget att tillföra information om den lokala interferensmiljön i valet av frekvens. För att dra nytta av informationen om den lokala störningsmiljön hos de olika noderna måste denna spridas till övriga noder i nätet och sedan vägas samman till en gemensam bild som kan nyttjas då den gemensamma frekvenspoolen genereras.



Figur 13: Genom att tillföra information om den lokala interferensmiljön kan frekvensvalet förbättras.



Figur 14: Val av frekvens ur frekvenspoolen.

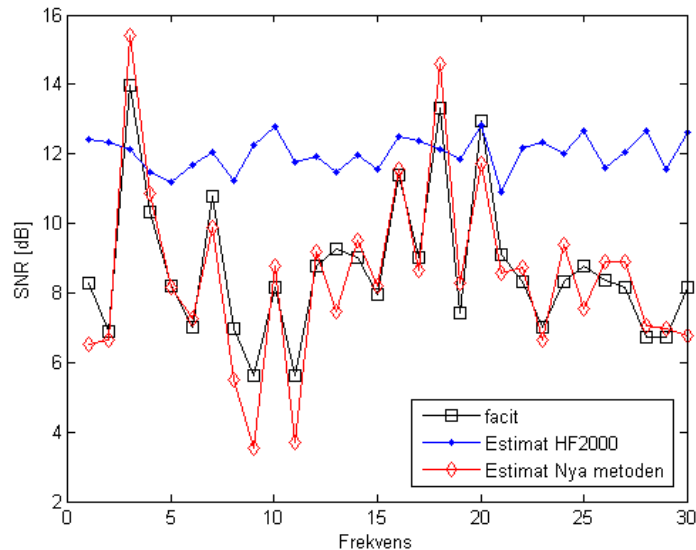
I enlighet med HF2000 ordnas sedan frekvenserna i frekvenspoolen i en ordning så att alla noder med samma frekvenspool byter från en gemensam frekvens till nästa gemensamma frekvens i frekvenspoolen vid givna tidpunkter, se Figur 14. De frekvenser som noden kan välja mellan för att sända sitt meddelande återfinns i det s.k. *Look-Ahead* fönstret (grönmarkerat område i figuren). Bland dessa frekvenser väljer HF2000 automatiskt en lämplig frekvens, enligt en *Link Quality Analysis* (LQA)-tabell.

LQA-tabellen innehåller olika kvalitetsmått för alla frekvenser i frekvenspoolen, för alla möjliga länkar i nätet. Innan någon transmission har skett på en frekvens innehåller den en prognos på SNR, mottagen signalnivå och brusnivå hos mottagaren. Bakgrundsbrusnivån  $N_i$  i brusnivån ( $N$ ) är satt utifrån ett tabellvärde. I själva verket kan nivån vara mycket högre eller lägre för olika frekvenser. Allt eftersom det sker transmissioner på frekvenserna uppdateras LQA-tabellen med antal misslyckade transmissionsförsök, om noden själv ockuperar frekvensen och med ett estimat på SNR. SNR-estimatet baseras på bitfelhalten i den kontrollsignalering som sker vid en transmission. Estimatet blir då en bättre skattning av brusnivån än vad prognosen initialt var. Genom att skatta bakgrundsbruset så bra som möjligt kommer frekvensvalet bli bättre, vilket ökar robustheten alternativt dataakten hos transmissionen.

### 3.3.4 Möjliga vinster när hänsyn tas till lokal störningsmiljö

För att få en uppfattning om vilka vinster som går att göra genom att tillföra information om bakgrundsbruset i frekvensvalet har två olika trafiktyper studerats, administrativ och taktisk trafik. Som referens valdes det sätt som HF2000 får information om bakgrundsbruset, d.v.s. tabellvärden som ger en grov uppskattning av SNR. Detta jämförs med en metod där det finns en detektor som kan mäta bakgrundsbruset och därmed antas ha en bra skattning av SNR-värdet. Frekvensvalet i simuleringen har implementerats på ett sätt som liknar frekvensvalet i HF2000, d.v.s. utgående från en frekvenspool väljs den bästa frekvensen inom ett begränsat fönster. Frekvenspoolens kvalitetsmått består endast av SNR för olika frekvenser i simuleringen. Ett exempel på en frekvenspool från simuleringen visas i Figur 15. I figuren visas verkligt SNR i simuleringen ("facit"), en grov skattning av SNR ("HF2000"), som är för optimistisk i detta fall, samt en bättre skattning av SNR ("Nya metoden"). Med metoden som använder en detektor för att mäta bruset blir skattningen av SNR mer korrekt, vilket syns i figuren.

Tabell 1 beskrivs karaktären hos två olika typer av trafik som kan skickas över HF. Dessa olika typer ger olika förutsättningar för hur LQA-tabellen uppdateras. Administrativ trafik sker oftast som *Confirmed*, vilket innebär att mottagaren svarar sändaren med bl.a. sitt SNR. Taktisk trafik kännetecknas däremot av mycket korta meddelanden och för *Non-Confirmed* trafik uppdateras aldrig SNR-estimatet.



Figur 15: Exempel på genererad frekvenspool i simulering.

För det taktiska nätet har det antagits att tio stycken noder ska nås med meddelandena och eftersom informationen är tidskritisk har *Look-Ahead*-fönstret satts till 2. I analysen har sannolikheten att ett meddelande kommer fram felfritt till alla noder använts som ett mått på hur bra kommunikationen fungerar. Genom att basera frekvensvalet på en bra skattning av SNR jämfört med att använda en för optimistisk skattning av SNR har andelen omsändningar reducerats kraftigt. Detta innebär således att ju bättre skattning av SNR som används vid frekvensvalet desto bättre kommunikationsförhållanden erhålls med frekvensvalet.

I fallet med administrativ trafik har både *Non-Confirmed* och *Confirmed* trafik studerats. För den administrativa trafiken har *Look-Ahead*-fönstret satts till 15, p.g.a. att det inte finns något tidskrav. Vid analysen av den administrativa trafiken har tiden det tar att överföra en bestämd mängd meddelanden studerats. Det kan konstateras att ju bättre SNR för frekvensen desto högre dataakt användes vid överföringen. För enbart *Non-Confirmed* trafik kunde överföringstiden ungefärligen halveras genom att bakgrundsbruset skattades med en detektor. För *Confirmed* trafik är vinsterna något mindre.

Skillnaden i resultat mellan *Non-Confirmed* och *Confirmed* beror på att vi i fallet *Confirmed* får ett lika bra estimat av SNR efter att ett meddelande skickats på en frekvens som när en bakgrundsdetektor mäter upp bruset. I fallet *Confirmed* lär sig således systemet efterhand vilket SNR som är "korrekt" på de frekvenser som har använts, och väljer därmed frekvenser som tillåter en högre dataakt.

Tabell 1 Typiska egenskaper hos administrativ och taktisk trafik.

Administrativt	Taktiskt
<i>Unicast</i>	<i>Broadcast</i>
<i>Confirmed</i>	<i>Non-confirmed</i>
Stora meddelanden (40kByte – x Mbyte)	Små meddelanden 165 byte
Variabel dataakt möjlig	Fix dataakt, 150 – 1200 bit/s styrt av robusthetskrav
Inget tidskrav på hur snabbt meddelandet måste börja skickas.	Höga tidskrav. Meddelandet ska skickas på någon av de två nästkommande frekvenserna.
Uppdaterar LQA-tabellen med SNR-estimat vid <i>Confirmed</i> signalering.	Uppdaterar inte LQA-tabellen med SNR-estimat.

### 3.3.5 Information om den lokala störningsmiljön

Istället för att använda tabellvärden och SNR-estimat för att skatta bakgrundsbruset kan olika typer av detektorer användas för att mäta upp bakgrundsbruset hos mottagaren. Ett möjligt mått är *Impulsivness Correction Factor* (ICF) [5], som har en direkt korrelation till den resulterande bitfelshalten för transmissionen.

I utvärderingen i förra avsnittet analyserades vinsten med att ha bra skattning av SNR istället för en optimistisk skattning av SNR baserat på tabulerade värden. Det vanliga sättet att avgöra om en kanal är lämpad att använda är att mäta störningsnivåns medeleffekt och sedan använda de kanaler som har lägst störningsnivå. Detta bygger på grundantagandet att det enbart är störningssignalens effekt som påverkar t.ex. bitfelshalten på en förbindelse. I själva verket kan störningssignalens faktiska vågform ha mycket stor betydelse för vilken bitfelshalt som uppstår. Två störningssignaler med lika stor medeleffekt kan resultera i en bitfelshalt som skiljer sig flera tiopotenser om den ena störningssignalen exempelvis utgörs av pulsaktig störning. Generellt sett ger pulssade störningar alltid högre bitfelshalter än exempelvis additivt vitt Gaussiskt brus (AWGN). Att enbart använda medeleffekten hos störningssignalen vilar i grunden på att störsignalen betraktas som AWGN. Fördelen med att approximera störningssignalen med AWGN är att det blir lätt att beräkna motsvarande bitfelshalt från enkla matematiska samband. Om en pulssad störning approximeras med AWGN genom att enbart använda medeleffekten som parameter så kan den skattade bitfelshalten bli flera tiopotenser fel. Ett sätt att bibehålla de enkla beräkningarna samtidigt ta hänsyn till störningssignalens vågform är att bestämma störningssignalens ICF, vilket kan göras med standardiserade mät-detektorer för radiostörningsmätning. Genom att bestämma störsignalens ICF kan enkelheten i AWGN-approximationen bibehållas genom att en korrektionsterm införs så att felet i den skattade bitfelshalten reduceras till mindre än en tiopotens.

### 3.3.6 Beslutskriterier för förbättrat frekvensval i unicast- och multicast-nät

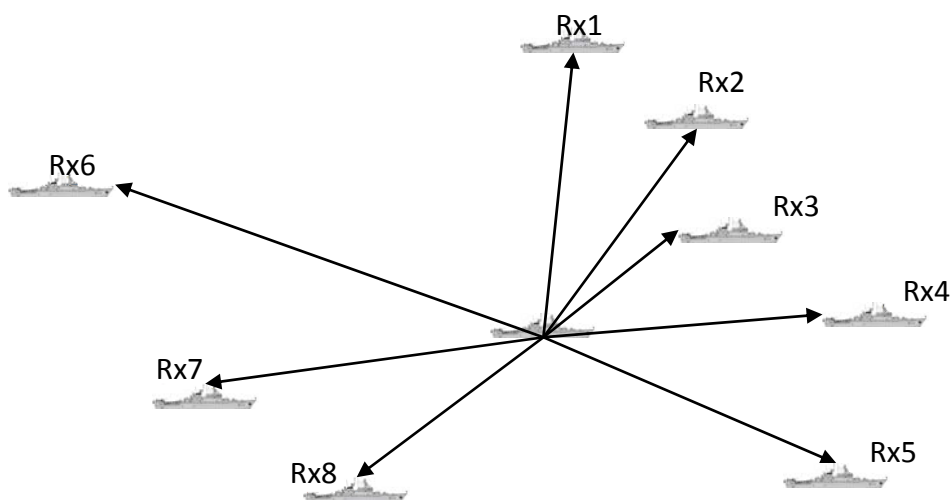
Om vi antar att vi har god information om hur den lokala störningsmiljön ser ut på de plattformar som ingår i ett nät är den stora frågan hur valet av frekvens ska ske. Vid *unicast*-trafik, d.v.s. kommunikation med en enskild mottagare, är situationen ganska enkel. Däremot då vi har *multicast*- eller *broadcast*-trafik blir valet av frekvens mer besvärligt. *Multicast* eller *broadcast* innebär att en nod sänder till en grupp eller till alla i nätet, se Figur 16. Eftersom de olika radiomottagarnas mottagningsförhållanden på varje frekvens troligtvis skiljer sig åt, behövs ett beslutskriterium för vilken gemensam frekvens som ska väljas. Antingen kan alla i nätet få så bra prestanda som möjligt i medel eller så säkerställs det att ingen i nätet får dåliga mottagningsförhållanden.

I Figur 17 visas en principiell bild över hur mottagningsförhållandena kan se ut för de olika mottagarna Rx1- Rx8 över frekvenserna som finns i frekvenspolen, frekvens 1-frekvens 8. I exemplet kan vi se att mottagningsförhållandena varierar relativt mycket mellan de olika mottagarna och mellan de olika frekvenserna. Genom att välja frekvens 7 kommer mottagarna i medel att få lägst medelbitfelshalt. Flera av mottagarna, Rx1, 4, 5, 7 och 8, har mycket bra mottagningsförhållanden/låg bitfelshalt. Däremot har Rx3 väldigt dåligt mottagningsförhållande på frekvens 7. Vill vi istället säkerställa att ingen av mottagarna får dåliga mottagningsförhållanden, som illustreras med röd eller orange, bör vi istället välja frekvens 6. Andra möjliga valmetoder kan vara att välja den frekvens som är bäst för en viss mottagare, t.ex. Rx1. Det är en mycket enklare metod som bara kräver information från en mottagare, men som troligen inte ger så bra medelprestanda. För taktisk kommunikation är det dock viktigt att säkerställa att alla mottagare får den utsända information. Det är därför viktigt att välja en frekvens där alla mottagare kan ta emot meddelandet. För fallet i figuren skulle då frekvens 6 vara ett lämpligt val.

En annan aspekt kan vara att välja en frekvens som ger så stabila förhållanden som möjligt i form av liten variation av kanalkvaliteten mellan de olika användarna. I detta fall ska

frekvenser väljas så att variansen (spridningen) hos felhalten är så låg som möjligt mellan de olika användarna.

Naturligtvis eftersträvas alltid att den frekvens som ger bäst prestanda ska väljas. För att kunna avgöra vilken frekvens som ger bäst prestanda, så måste det tydligt definieras vad som avses med "bäst" och vilken "prestanda" som avses. Om "bästa prestanda" är tydligt definierat går det att avgöra vilken frekvens som är mest lämplig att använda (om det går att hitta en lösning till det potentiellt mycket komplexa och svårlösta problemet). Däremot kan olika prestandamått och olika åsikter om vad som är bäst ge mycket olika uppfattning om vilken frekvens som är mest lämplig att använda. Även om det går att hitta den frekvens som är bäst att använda i något avseende, så är det alltså ändå en subjektiv bedömning eftersom det beror helt på i vilket avseende den är bäst.



Figur 16: Illustration av *multicast*- och *broadcast*-trafik, där mottagarna Rx1-Rx8 har olika störningsmiljöer.

	Rx1	Rx2	Rx3	Rx4	Rx5	Rx6	Rx7	Rx8
Frekvens 1	Red	Light Green	Yellow	Dark Green	Light Green	Dark Green	Light Green	Orange
Frekvens 2	Yellow	Red	Orange	Orange	Dark Green	Light Green	Yellow	Light Green
Frekvens 3	Orange	Yellow	Light Green	Light Green	Dark Green	Light Green	Orange	Light Green
Frekvens 4	Red	Red	Light Green	Dark Green	Light Green	Orange	Light Green	Dark Green
Frekvens 5	Orange	Light Green	Dark Green	Orange	Orange	Yellow	Light Green	Orange
Frekvens 6	Yellow	Yellow	Yellow	Light Green	Light Green	Light Green	Yellow	Yellow
Frekvens 7	Dark Green	Light Green	Red	Dark Green	Dark Green	Yellow	Dark Green	Dark Green
Frekvens 8	Red	Orange	Light Green	Light Green	Dark Green	Light Green	Light Green	Yellow



Figur 17: Principiellt utseende över varierande mottagningsförhållande hos Rx1-8 över frekvenserna 1-8.

För att analysera vinsterna och effekterna av olika beslutskriterier och olika mängd information om den lokala störningsmiljön hos de ingående noderna i ett nät har följande utvärdering genomförts. I analysen har bitfelssannolikhet valts som prestandamått. Frekvensvalet har gjorts baserat på följande beslutskriterier:

1. Första tillgängliga frekvens. Denna metod tar inte hänsyn till störningsmiljön överhuvudtaget, men har utvärderats som jämförelse mot de andra metoderna. Varje metod som utnyttjar någon kunskap om kvaliteten på olika frekvenser bör prestera bättre.
2. Minsta bitfelssannolikhet för en enskild mottagare. Denna metod tar enbart hänsyn till en enskild mottagare. Metoden är relativt enkel, och kräver inte information om alla mottagares störningsmiljö när frekvensvalet görs.
3. Lägsta medelvärde av bitfelssannolikhet för alla mottagare. Med detta kriterium erhålls lägsta möjliga bitfelssannolikhet totalt i hela systemet. Vissa mottagare kan dock uppleva en hög bitfelssannolikhet, även om medelvärdet är lågt. Detta illustreras t.ex. av frekvens 7 i Figur 17 där Rx 3 har mycket dålig kanalkvalitet, men flera andra mottagare har goda förhållanden.
4. Minsta bitfelssannolikhet för den sämsta mottagaren. En frekvens väljs så att även den mottagare som får dålig kanalkvalitet (hög bitfelssannolikhet) ändå får så låg bitfelssannolikhet som möjligt. Denna metod ger en form av rättvisa, där ingen mottagare får riktigt dåliga förhållanden, men eventuellt måste andra mottagare få något sämre förhållanden än vad de skulle kunna få med någon annan frekvens. Detta illustreras t.ex. av frekvens 6 i Figur 17 där ingen mottagare får riktigt dåliga förhållanden, men flera får sämre förhållanden än vad de skulle kunna ha fått med ett annat frekvensval.

Informationen om nodernas störningsmiljöer i analysen har varit antingen:

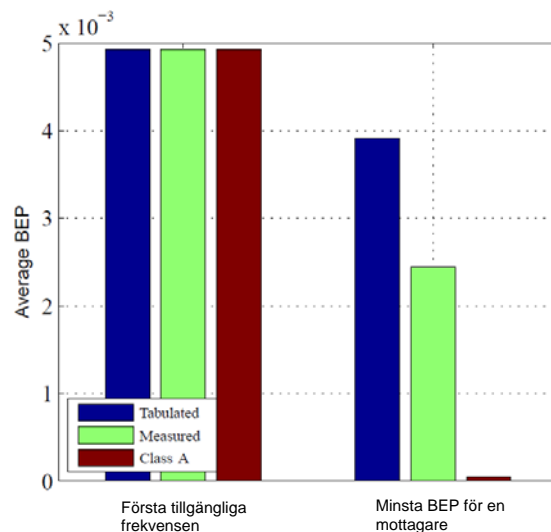
- Tabulerad: betyder att en schablonmässig störningseffekt enligt ITU-R P.372-8 har ansats som i de flesta fall är en underskattning av den verkliga miljön. Betecknas som *Tabulated* i Figur 18 och Figur 19.
- Uppmätt störningseffekt: störningseffekten är korrekt, men ingen kunskap om dess impulsaktighet finns, varför den approximeras som normalfördelat brus. Betecknas som *Measured* i Figur 18 och Figur 19.
- Uppmätt störningseffekt och information om impulsaktighet: störningseffekten är korrekt och dess statistiska karaktär är känd. Betecknas som *Class A* i Figur 18 och Figur 19.

Vinsterna studeras för två olika situationer, ett *unicast*-fall och ett *multicast*-fall. I *unicast*-fallet reduceras de tre sista beslutskriterierna ovan till ett specialfall; att välja den frekvens som minimerar bitfelssannolikheten för den enda mottagaren. I *unicast*-fallet väljs frekvensen enligt:

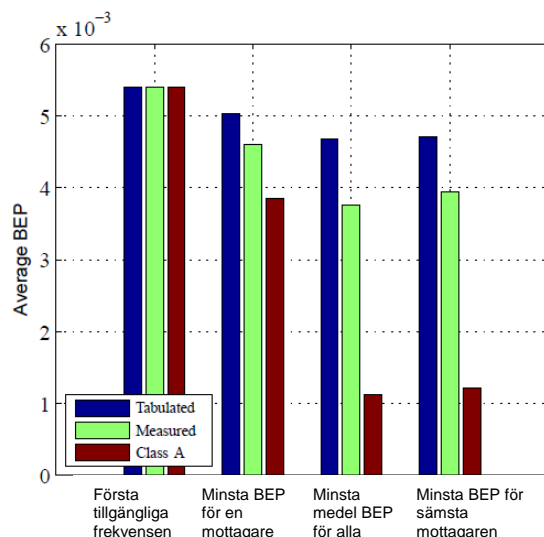
1. Första tillgängliga frekvensen
2. Den frekvens som minimerar bitfelssannolikheten.

I analysen av frekvensvalsmetoderna har störningsmiljön hos de olika mottagarna modellerats med en *Class-A* brusmodell. *Class-A* brusmodellen kan modellera allt från normalfördelat brus till kraftigt impulsaktigt brus. Eftersom brusmätningarna av den lokala brusmiljön visar att bruset har ett impulsaktigt beteende, används impulsbrus i analysen av de olika frekvensvalsmetoderna.

I Figur 18 visas den resulterande medelbitfelssannolikheten för ett *unicast*-scenario. Att välja den första tillgängliga frekvensen ger den sämsta medelbitfelssannolikheten. Om däremot en frekvens väljs utifrån vilken som har den minsta bitfelssannolikheten förbättras medelbitfelssannolikheten i olika grad. En viss förbättring erhålls genom att använda ett tabulerat värde för bruset (blå stapel). Genom att mäta medeleffekten på bruset erhålls ytterligare en sänkning av medelbitfelssannolikheten (grön stapel). Den lägsta medelbitfelssannolikheten erhålls då även brusets karaktär tillsammans med medeleffekten används som beslutsunderlag i frekvensvalsmetoden (röd stapel).



Figur 18: Resulterande medelbitfelssannolikhet (*Average BEP*) för de föreslagna metoderna i ett *unicast*-scenario.



Figur 19: Resulterande medelbitfelssannolikhet (*Average BEP*) för de fyra föreslagna metoderna i ett *multicast*-scenario.

En stor andel av trafiken som skickas inom marinen är s.k. *multicast*- och *broadcast*-trafik. Det innebär att informationen som skickas från en plattform ska till en grupp mottagare eller till alla mottagare i nätet. I Figur 19 visas medelbitfelssannolikheten för ett *multicast*-scenario. De två första metoderna (sett från vänster i figuren) är de samma som för *unicast*-scenariot. I ett *multicast*-scenario blir förbättringarna av att enbart minimera bitfelssannolikheten för en nod inte lika stora som för *unicast*-fallet. Större förbättringar (mindre värde) av medelbitfelssannolikheten erhålls för de två metoderna som baseras på brusets hos alla mottagare. Skillnaden i medelbitfelssannolikheten mellan metoden som minimerar medelbitfelssannolikheten och metoden som minimerar bitfelssannolikheten för den sämsta mottagaren är liten. Medelbitfelssannolikheten är något mindre för metoden som just minimerar medelbitfelssannolikheten. En generell slutsats från både *unicast*- och *multicast*-scenariot är att lägre medelbitfelssannolikhet erhålls för samtliga metoder då de baseras på mer information om brusets

Genom att mäta medeleffekten hos brusets och basera frekvensvalet på detta görs en förbättring av medelbitfelssannolikheten jämfört med att basera frekvensvalet på tabulerade brusnivåer. Den största förbättringen görs då frekvensvalet baseras på brusets medeleffekt och dess karaktär eller impulsaktighet.

Med någon av de föreslagna frekvensvalmetoderna som baserar valet på brusmiljön hos alla mottagare är det möjligt att göra ett bättre frekvensval än vad som annars hade gjorts. Ett förbättrat frekvensval innebär: färre antal fel i transmissionen vilket medför att färre omsändningar krävs, högre datatakter kan användas vilket medför kortare överföringstider, alternativt kan en utökad kommunikationsräckvidd erhållas. Viktigt är dock att informationen om den lokala störningsmiljön hos alla mottagare måste spridas till sändaren i nätet.

### 3.3.7 Utbyte av information

För att kunna göra ett lämpligt val av transmissionsfrekvens krävs att mottagarens eller mottagarnas bakgrundsbrus är känd hos sändaren. Då krävs att varje nod i ett nät sprider information om sin egen bakgrundsbrusnivå till övriga noder i nätet, vilket kommer att introducera *overhead*. I vissa sammanhang kan det finnas noder som enbart är mottagare och aldrig sänder någon information. För dessa noder blir det mer problematiskt att sprida information om sin bakgrundsbrusnivå. Ett alternativ till att alla noder automatiskt mäter sin bakgrundsbrusnivå är att värdena får justeras efter manuella mätningar hos alla noder. Nackdelen med detta är att nya interferenser som kan bero på t.ex. annan geografisk placering i förhållande till när mätningarna genomfördes och införande av ny utrustning kan bidra till att bakgrunds-brusnivån inte längre är korrekt.

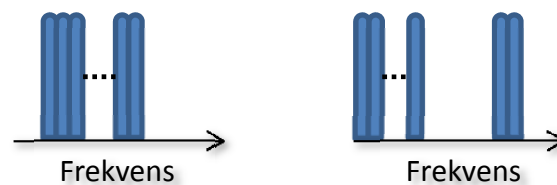
I standarden för 3G ALE finns det möjlighet att använda trafiktyper som utbyter LQA-information. Det finns även ett tiotal trafiktyper som är tillverkar-specifika. Detta betyder att varje tillverkare av radiosystem som implementerar 3G ALE kan utnyttja denna trafiktyp fritt. De tillverkar-specifika trafiktyperna skulle således kunna användas för att sprida radiosystemens brusmiljö till övriga noder i nätet.

Störningsmiljön hos mottagaren kan delas upp i fjärrinterferenser och lokala interferenser. Fjärrinterferenser är den typ av interferenser som når mottagaren via en rymdvåg medan lokala interferenser generas lokalt på plattformen. Fjärrinterferenserna kan antas vara den samma för alla mottagare som är utspridda inom ett stort geografiskt område (t.ex. storleken av Europa). Den sändande noden kan då undvika fjärrinterferenserna hos mottagarna genom att basera frekvensvalet på den fjärrinterferensmiljö som den själv (sändaren) upplever. Således behövs ingen extra *overhead* för att undvika fjärrinterferenser, däremot måste den lokala interferensmiljön kommuniceras från mottagaren till sändaren.

Olika placeringar av antennen kan innebära olika interferensmiljöer på stora plattformar eftersom den egengenererade interferensmiljön kan vara väldigt lokal. Radiostationerna är dessutom ofta anslutna till flera eller alla antennerna på fartyget. När en kommunikationslänk upprättas väljs någon av antennerna ut och anpassas elektriskt till vald frekvens. Eftersom brusmiljön på plattformen har ett spatialt- och frekvensberoende borde vinster gå att göra genom att också välja den antenn som har den lägsta interferensnivån för en given frekvens. Därmed kan det vara aktuellt att sprida informationen om brusmiljön för de olika antennerna internt på plattformen så att alltid den antennen med de bästa förutsättningarna nyttjas.

### 3.3.8 Wideband HF

I takt med ett ökat behov av högre datatakter har begreppet *Wideband HF* introducerats. År 2011 släpptes appendix D till standarden MIL-STD-188-110C. Den tillåter att flera 3 kHz-kanaler läggs samman och bildar en bredare kanal, upp till en total bandbredd om 24 kHz. Med en bandbredd på 24 kHz har den maximala datatakten ökat till 120 kbit/s. En variant av denna tekniklösning består av att sätta samman 3 kHz-kanaler, som inte ligger bredvid varandra i frekvens, se Figur 20. Denna variant möjliggör ett mer flexibelt val av lämpliga frekvenser.



Figur 20: Två olika principer för sammansättning av frekvenser. Den vänstra utgör den standardiserade metoden.

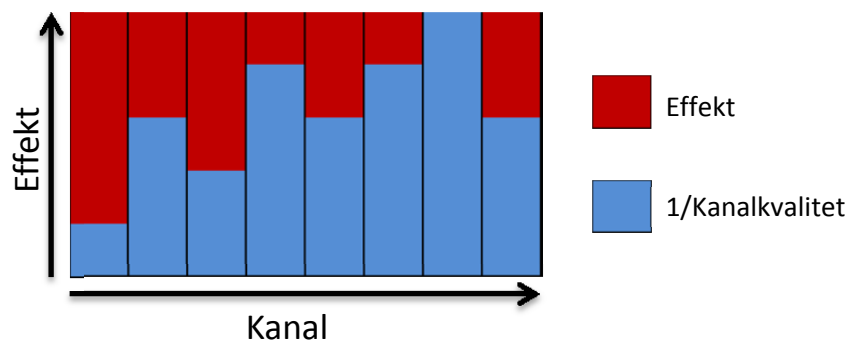
I dagens standard för *wideband* HF fördelas uteffekten lika mellan alla 3 kHz-kanaler. Den maximala räckvidden i Östersjön blir då enligt Tabell 2. Tabell 2 visar räckvidden i km för de olika datatakt som standarden specificerar på en 24 kHz-kanal. Räckvidden är beräknad för frekvensen 3 MHz över öppet hav i Östersjön med uteffekt 500 Watt hos sändaren. På mottagarsidan har två olika brusnivåer enligt ITU-R P.372-8 brus kategorier antagits. *Business*-kategorin innebär att bakgrundsbruset är 10 dB starkare hos mottagaren jämfört med en mottagare i en *Rural*-kategori. *Business* motsvarar en stökig elektromagnetisk miljö motsvarande kontorsmiljö i tät bebyggelse, medan *Rural* motsvarar en tyst elektromagnetisk miljö, som endast återfinns i glesbygden. I enlighet med Tabell 2 kan avsevärda räckviddsförbättringar göras om bruseffekten hos mottagaren sänks med 10 dB. För den snabbaste datatakten 120 kbit/s fördubblas kommunikationsräckvidden om brusnivån hos mottagaren minskar med 10 dB.

Utsänd effekt bör fördelas på bästa sätt över de olika kanalerna för att uppnå maximal datatakt. Att fördela effekten lika på alla kanaler som i dagens HF-standarder, ger inte högst total datatakt i allmänhet. Det är t.ex. väl känt att för Gaussiskt brus uppnås högst teoretisk datatakt (kanalkapacitet) genom att den tillgängliga effekten fördelas på kanalerna i förhållande till varje kanals SNR, enligt s.k. *waterfilling* som illustreras i Figur 21. Det betyder att en större andel av effekten bör fördelas på kanaler med högre SNR. I allmänhet räcker det dock inte heller att enbart ta hänsyn till kanalernas SNR för att fördela effekten på bästa sätt. Om bruset är mer impulsaktigt måste hänsyn även tas till brusets impulskaraktär.

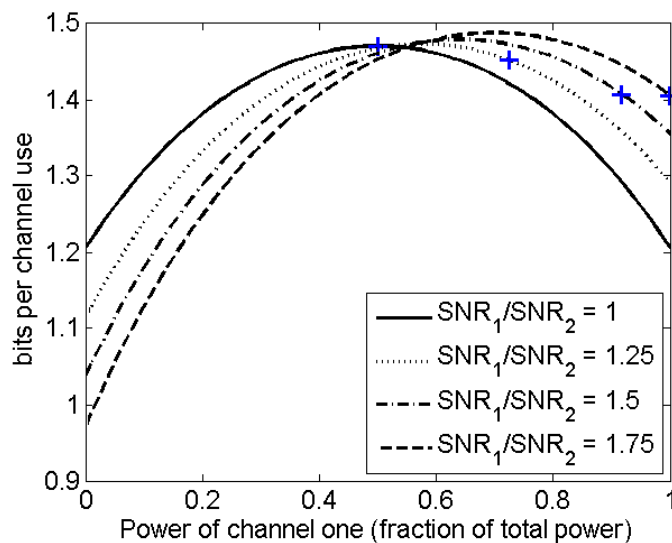
Figur 22 visar den totala datatakt som erhålls för olika fördelning av effekten på två kanaler, där bruset är impulsaktigt. Båda kanalerna har samma impulskaraktär, men olika SNR. Kryssen i figuren visar effektfördelningen för *waterfilling*, d.v.s. den fördelning som hade gett högst datatakt om bruset hade varit Gaussiskt. Figuren visar tydligt att varken lika fördelning av effekten eller *waterfilling* ger högst datatakt, förutom i specialfallet när kanalerna har exakt samma SNR (och impulsaktighet).

Tabell 2: Möjlig räckvidd i km för markvägskommunikation då 8 st 3 kHz-kanaler sätts samman för olika antaganden om den lokalstörmiljön. Notationen för de olika vågformerna är vågform, modulationstyp, datatakt i bitar/s.

	Räckvidd [km]												
	WF0 Walsh 600	WF1 BPSK 1200	WF2 BPSK 2400	WF3 BPSK 4800	WF4 BPSK 9600	WF5 BPSK 12800	WF6 QPSK 25600	WF7 8PSK 38400	WF8 16QAM 51200	WF9 32QAM 64000	WF10 64QAM 76800	WF11 64QAM 96000	WF12 256QAM 120000
ITU-R Business	461	421	382	344	318	306	269	222	189	158	138	112	69
ITU-R Rural	591	550	509	469	442	429	390	338	301	264	241	206	144
För- bättring jmf med Business	28%	31%	33%	36%	39%	40%	45%	52%	59%	67%	75%	84%	109%



Figur 21: Traditionell metod att fördela effekt, utan hänsyn tagen till impulsaktighet.



Figur 22. Datatakt för olika fördelning av effekten i en impulsaktig störingsmiljö.

Även för *wideband* HF är valet av frekvenser avgörande för vilken datatakt som i praktiken kan användas. För att uppnå högsta möjliga datatakt måste man alltså både välja vilka frekvenser som ska användas och fördela effekten dessa på bästa sätt. Detta leder till ett s.k. kombinatoriskt optimeringsproblem, och är mycket komplext att lösa om antalet möjliga kanaler är stort. För att hitta lösningen till den typen av problem måste man i princip räkna ut den förväntade datatakten, och därmed den bästa effektfördelningen, för alla möjliga val av kanaler. Det bör även nämnas att den datatakt som avses ovan är den teoretiskt maximala datatakten som kan uppnås. Då har sändaren exakt kännedom om brusets impulskaraktär och medeleffekt, och mottagaren kan momentant mäta bruseffekten. Detta är naturligtvis inte möjligt att åstadkomma i praktiken, men de viktigaste slutsatserna är ändå allmängiltiga. Hänsyn måste alltså inte tas enbart till bruseffekten (eller SNR) på varje kanal utan även till impulskaraktären. Detta gäller i allmänhet och oavsett om vi är intresserade av att uppnå bästa möjliga felsannolikhet, datatakt eller räckvidd.

### 3.3.9 Slutsatser

Den uppmätta brusmiljön på en marin plattform visar på höga brusnivåer. Nivåerna på bruset är att jämföra med ITU:s kategori *Business* för *man-made* brus. Karaktären hos bruset är impulsaktigt, vilket vanligtvis påverkar en radiomottagare mer negativt än vanligt normalfördelat (Gaussiskt) brus. Den förhöjda brusnivån leder till kortare räckvidder, lägre datatakt och i vissa fall missade anrop.

Det finns två olika vägar för att förbättra räckvidden, erhålla högre dataakter och minska sannolikheten för missade anrop. Den ena lösningen är att åtgärda grundproblemet som är brusmiljön. Brusmiljön kan förbättras genom ett systematiskt integrationsarbete av all elektronisk utrustning ombord på fartygen. Det andra alternativet är att bygga in mer intelligens i radiosystemen, vilket har studerats i detta projekt med interferensbaserat frekvensval. Med bibehållen dataakt och räckvidd kan istället robustheten förbättras.

Interferensbaserat frekvensval bygger på att sändaren har information om den lokala brusmiljön hos alla mottagare. När sedan sändaren ska välja en frekvens för transmissionen väljs en frekvens som ger den bästa förutsättningen för en lyckad överföring. Genom att enbart beakta medelbruseffekten hos mottagarna ges en viss förbättring jämfört med att basera valet på tabulerade värden för bruseffekten. Störst förbättringar erhålls då frekvensvalet baseras på bruskaraktären och brusmedeleffekten.

### 3.4 Expertstöd

Som ett led i att kontinuerligt säkerställa projektresultatens relevans och ge direktnytta till försvarsmakten har ett begränsat expertstöd avseende aktuella robusthetsfrågor för radiosystem på marina plattformar utförts inom projektets ram. En expertstödsuppgift per projektår har genomförts. Uppgifterna har varit mycket lärorika för projektgruppen och varit till stor hjälp till att förstå problematiken ombord på ett fartyg när det gäller exempelvis egengenererade interferenser, samlokaliseringsproblem, antenner och användning av Satkom och HF ombord.

#### 3.4.1 Interferensmätningar på HMS Carlskrona - 2011

För att identifiera ett aktuellt problemområde inom marinen studerades marinens erfarenhetsdatabas. I databasen gick det att finna flertalet rapporter med bäring mot sambandssystemen. I samråd med projektets referensgrupp valdes en rapport som handlar om VHF-sambandet ut som underlag för expertstödsarbete. Erfarenhetsrapporten beskriver hur personalen på HMS Carlskrona under ME02 har uppfattat att de militära radiosändtagarna för VHF i stridsledningscentralen (SLC) har sämre räckvidd än de civila radiosändtagarna på bryggan. Detta fick till följd att bryggans personal fick sköta den trafik som personalen i SLC i normala fall skulle hantera.

För att reda ut varför det är räckviddsskillnader mellan den civila- och militära radio-materielen genomförde delar av projektgruppen under sensommaren 2011 mätningar på åtta militära VHF/UHF antenner samt två civila antenner på HMS Carlskrona. Mätningarna syftade till att kontrollera att all materiel fungerade korrekt, kartlägga bakgrundbrusmiljön samt att kontrollera lämpligheten i placeringarna av antennerna.

De genomförda bakgrundbrusnivåmätningarna visar på att det finns en förhöjd interferensnivå i några av de uppmätta antennerna. Antennkopplingsmätningarna visade, som väntat, att placeringen av antennerna är mycket avgörande för hur stor kopplingen blir mellan två antennelement. Det finns antennkombinationer som innebär att om en av antennerna sänder går det inte att ta emot något via den andra antennen, d.v.s. en typisk telekonflikt. I övrigt fungerade materielen.

En mer utförlig beskrivning av genomförda mätningar och resultat har redovisats i en separat FOI-rapport [6]. I rapporten ges även förslag på åtgärder för att lösa de identifierade problemen.

#### 3.4.2 HF-radio på helikopter 15 - 2012

Även under andra året baserades expertstödsuppgiften på en erfarenhetsrapport. Denna gång utgick arbetet ifrån det som beskrivs i en erfarenhetsrapport som lyfter fram behovet av HF-radio i helikopter. Flyghöjden styr dagens VHF-sambands räckvidd och den är sämst vid havsytan. Detta innebär att helikoptern ibland måste frångå "taktisk" flygning

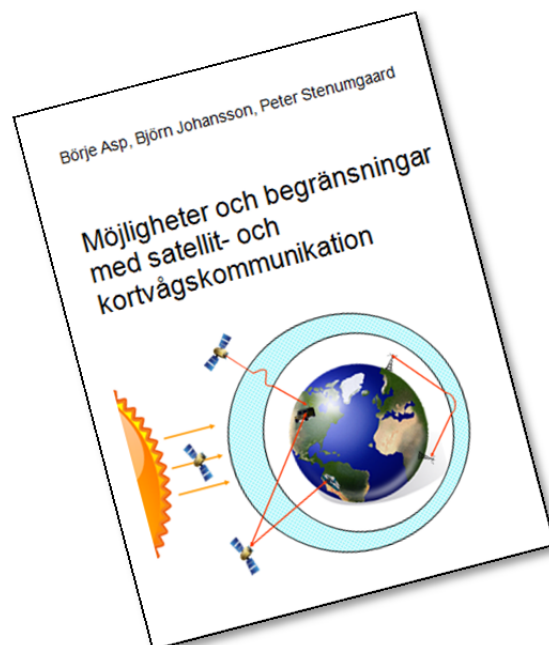
för att stiga upp till högre höjd och säkerställa samband, vilket i sin tur försvårar uppgiftens genomförande. I arbetet har dagens förmågor studerats samt effekten av ett införande av en HF-radio i helikopter 15. Någon studie av realiserbarheten av HF i helikopter 15 har inte utförts.

Utöver de vanliga begränsningsfaktorerna såsom antennhöjd, effekt, antennvinst mm påverkas förbindelseavståndet mellan HKP15 och HMS Carlskrona även av störningsmiljön ombord på HMS Carlskrona [6]. Huruvida störningar finns även på helikoptersidan framgår inte av denna korta studie då inga mätningar på helikoptern genomförts. Kortvåg skulle ge betydligt ökad räckvidd men framförallt ett samband som fungerar oavsett vilken höjd helikoptern flyger på. Ett problem för ett eventuellt införande av kortvåg på HKP 15 är avsaknaden av en lämplig antenn på de helikoptrar som FM förfogar över. Tillverkaren av helikoptern erbjuder dock en sådan antenn. Om det är möjligt att uppgradera befintliga helikoptrar med denna antenn har inte kontrollerats inom ramen för vår studie.

Expertstödsuppgiften finns slutrapporterad i form av en FOI-rapport [9]. I rapporten ges även förslag på åtgärder för att lösa de identifierade problemen.

### 3.4.3 HF-kommunikation och satellitkommunikation för långväga kommunikation – 2013

Under projektets gång har vi noterat att kunskapen i försvarmakten kring möjligheter och begränsningar med satellit- och HF-kommunikation inte är samlad på ett överblickbart sätt. Därför beslutades vid referensgruppsmötet i februari 2013 att projektet skulle skriva en rapport som på ett populärvetenskapligt sätt ger en sådan överblick [10]. I rapporten beskrivs tekniken och fysiken som dessa system bygger på, regelverk, vilka system som finns idag och vad som förväntas finnas de närmsta åren. Utvalda viktiga egenskaper såsom prestanda, kostnader, användarvänlighet, sårbarhet etc. behandlas och tips ges på lämplig litteratur för den som vill ha djupare förståelse. Rapporten kan även vara lämplig att använda som litteratur i samband med utbildning.



Figur 23. Populärvetenskaplig skrift om satellit- och kortvågskommunikation.

## 3.5 Kommunikation av resultat

Kommunikationsaktiviteterna inom projektet har syftat till att kommunicera projektresultaten till en bred publik, allt ifrån marinförband, HKV, FMV till standardiseringsorgan och forskargrupper. Detta avsnitt beskriver de aktiviteter som har genomförts.

### 3.5.1 Rapportering mot FM

- ”Redovisning av milstolpe kv2 2011 för projekt ROAM”, FOI Memo-3593, maj 2011.
- ”Erfarenheter från ROAM Workshop 2011, Redovisning av milstolpe kv4 2011 för projekt ROAM, Försvarmaktens ref.nr. – AF.922:0206”, FOI Memo 3745, november 2011.
- K. Wiklundh, B. Asp, B. Johansson, ”Marin radiokommunikation i internationell miljö, Kartläggning av dynamiska faktorer”, FOI-R--3316--SE, december 2011.
- B. Asp, K. Wiklundh, P. Stenumgaard, P. Eliardsson, B. Johansson, ”ROAM årsrapport 2011- Robusta kommunikationer för internationella operationer”, FOI-R--3347--SE, december 2011.
- ”VHF Störnivåmätningar på HMS Carlskrona, problemlösnings och åtgärdsförslag”, FOI Memo H1013, december 2011.
- B. Asp, P. Eliardsson, B. Johansson, P. Stenumgaard, K. Wiklundh, ”Interferensnivåmätningar på HMS Carlskrona”, FOI-RH--1208--SE, januari 2012.
- ”Statusrapport kv2 ROAM 2012, Redovisning av milstolpe kv2 2012 för projekt ROAM”, Försvarmaktens ref.nr. – AF.922:02060207”, FOI Memo 4019, juni 2012.
- ”Erfarenheter från ROAM Workshop 2012, Redovisning av milstolpe Q4 2012 för projekt ROAM”, FOI Memo 4199, november 2012.
- B. Asp, P. Eliardsson, B. Johansson, K. Wiklundh, ”Värdering av satellitkommunikation för en marin internationell mission”, FOI-RH--1269--SE, december 2012.
- B. Asp, K. Wiklundh, P. Stenumgaard, P. Eliardsson, B. Johansson, ” ROAM årsrapport 2012- Robusta kommunikationer för internationella operationer”, FOI-R--3554--SE, december 2012.
- B. Asp, B. Johansson, ”Jämförelse VHF-HF på HKP 15 för marin kommunikation”, FOI-RH--1325--SE, januari 2013.
- ”Statusrapport Q2 FoT-projekt ROAM 2013”, FOI Memo 4455, maj 2013.
- B. Asp, B. Johansson, P. Stenumgaard, ” Möjligheter och begränsningar med satellit- och kortvågskommunikation”, FOI-R--3712--SE, september 2013.
- ”Erfarenheter från ROAM Workshop 2013, Redovisning av milstolpe Q4 2013 för projekt ROAM”, FOI Memo 4634, november 2013.

- B. Asp, P. Eliardsson, B. Johansson, "Studie av STANAG 4691-MARLIN på HF", FOI-R--3794--SE, december 2013.
- B. Asp, K. Wiklundh, P. Stenumgaard, P. Eliardsson, B. Johansson, E. Axell, "ROAM Slutrapport - Robusta kommunikationer för internationella operationer", FOI-R--3790--SE, december 2013 (denna rapport).

### 3.5.2 Vetenskaplig publicering

- Patrik Eliardsson, "The importance of the local interference environment in the frequency selection algorithm in the HF band", HFIA, San Diego, januari, 2013.  
Innehåll: Presentation av vad vi vinner på att ta hänsyn till den lokala störningsmiljön vid adaptivt frekvensval på HF.
- Patrik Eliardsson, Kia Wiklundh, Erik Axell, Björn Johansson, Peter Stenumgaard, "Analysis of the local HF interference environment at a military platform" Nordic HF 13, Fårö, augusti, 2013.  
Innehåll: Störningsmiljöns dynamik, kopplat till radiosystemets prestanda, och hur ofta informationen behöver uppdateras.
- Erik Axell, Kia C. Wiklundh and Peter F. Stenumgaard, "Optimal power allocation for parallel Middleton class A interference channels", ej accepterad IEEE Communication Letters, under omarbetning.  
Innehåll: Analys av vinsterna av att ta hänsyn till störningsmiljöns impulsaktighet vid effektallokering på parallella kanaler.
- Patrik Eliardsson, Kia Wiklundh, Björn Johansson, Börje Asp, Erik Axell, Peter Stenumgaard, "Military HF communications considering unintentional platform-generated electromagnetic interference," ej accepterad IEEE Communication Magazine, under omarbetning.  
Innehåll: Sammanfattning av de utmaningar och vinster som kan uppnås med ett förbättrat frekvensval på HF-området.
- Patrik Eliardsson, Erik Axell, Kia C. Wiklundh, Peter F. Stenumgaard, "Channel selection algorithms that consider the impulse characteristics of the local interference", inskickad till ICC 2014.  
Innehåll: Analys av vinsterna med olika kriterier för frekvensval på HF för *unicast* och *multicast*-trafik.

### 3.5.3 Workshop

Projektet har haft som ett av sina viktigaste mål att genomföra en årlig workshop där aktuell forskning, med fokus på robust kommunikation för internationella marina operationer, har presenterats och diskuterats. Tanken var att med hjälp av workshoppen skapa ett forum för kunskapsöverföring och erfarenhetsutbyte mellan forskning och specifika marinoperativa behov avseende transmissions- och kommunikationslösningar.

Målet med workshoppen har varit att;

- Tydliggöra FOIs forskningsresultat,
- Öka forskningens relevans genom dialog och återkoppling från huvudintressenter.

I månadsstiftet sep/okt, 2011-2013, har projektet därför genomfört en tvådagars workshop vid Marinbasen i Karlskrona. Dessa tre workshops anordnades som ett samarbete mellan HKV PROD MARIN och FOI. Även HKV PROD LED och SSS har bidragit med aktivt stöd.

Workshoppen har under åren samlat deltagare från bland annat HKV PROD MARIN, HKV PROD LEDUND, Insatsstaben (INSS J6), FMV AK Sjö, FMV AK LED, FMV T&E, Marinens radio, Sjöstridsskolan, MarinBasen, FMTM, FMTS, LedR, LedSS, ATS, FHS,

tredje helikopterskvadronen samt flera SLO, SyteB och SyteO mm från tredje och fjärde Sjöstridsflottiljerna samt från första Ubåtsflottiljen och FOI.

Den första workshopen 2011 samlade 63 personer och den andra 2012 samlade 79 deltagare. Workshopen bestod vid dessa tillfällen av två delar: Presentationer av FOIs forskning med fokus på robust trådlös kommunikation för marina internationella operationer och en paneldebatt där aktuella problem och möjligheter presenterades och diskuterades.

Projektets tredje workshop genomfördes 2013-09-30--2013-10-01 och samlade totalt 52 deltagare. Vid denna workshop presenterades FOI-forskning inom ROAM-projektets ramar. Nytt för i år var att HKV PROD MARIN, SSS och FMV bjöds in till att i större utsträckning än tidigare år att hålla egna presentationer. Paneldebatterna från år 1 och 2 ersattes av att några av presentationerna hade extra tid avsatt för att bjuda in åhörarna till diskussion kopplat till det som presenterades.

Deltagarna fick 2013 ta del av föredrag inom ett brett område som;

- Samband mellan HKP15 och fartyg – Börje Asp/Björn Johansson, FOI
- HF-Frekvensval och Wideband HF – Patrik Eliardsson, FOI
- Värdering av MARLIN – Börje Asp/Patrik Eliardsson, FOI
- Nätplanering i HF2000 – Björn Johansson/Jonas von Mentzer FOI/MaRa
- Vad kommer efter ROAM? – Börje Asp, FOI
- Vad har hänt sedan förra WS? – Magnus Kedeby, HKV PROD MARIN
- Förändringar på utbildningssidan – Eleanor Wiklund, SSS
- Modifieringar av HMS Carlskrona – Rickard Almlöf/Mats Båvegård, FMV
- Vad är MARLIN? – Rickard Berg, FMV
- Störskyddsmetoder marinen – Rickard Berg, FMV

FOI har vid samtliga tillfällen fått positiva omdömen om workshopen från deltagarna, dels över att FOI arrangerat denna träff och dels genom att visa vilken nytta FOIs forskning gör inom området. De två främsta resultaten från de tre tillfällena är att de;

- Visat vilken nytta FOIs forskning gör inom området.
- Fungerar som ett forum för informationsutbyte mellan operatörer/användare, beställare och FOI.

Att workshopen dessutom även bidragit till en ökad dialog om sambandsfrågor mellan personer inom marinsfären är en mycket viktig effekt. Med tanke på det lyckade utfallet finns det en förhoppning om att workshopen skall kunna drivas vidare även när projekt ROAM avslutats. Workshopen har sammanfattningsvis varit det främsta redskapet för resultatöverföring från projekt ROAM.

### 3.5.4 Övrig kommunikation

Utöver ovanstående kommunikationsaktiviteter har projektets verksamhet presenterats vid:

- Referensgruppsmöten, 9 st
- FOI och FMVs årliga teknksamordningsdagar, 3 ggr
- Forsvarmaktens Frekvensarbetsgrupp, FAG, typiskt 6 ggr/år

## 4 Diskussion

### 4.1 Användning av frekvensvalsmetoden i HF2000

I HF2000 sker idag med jämna mellanrum ett utbyte av uppmätta SNR (Signal-brus förhållande) mellan sändare och mottagare på en uppkopplad länk. Det sker via meddelandehanteraren STANAG 5066 som är implementerad i HF2000. Värden sparas och används vid frekvensvalet då ny länk ska etableras. Saknas uppmätta värden på SNR används ett prognosvärde, där brusnivån baseras på tabellerade brusnivåer för de stationer som ingår i HF2000-nätet.

Att utbyta mer information, exempelvis uppmätta brusnivåer, mellan sändare och mottagare via STANAG 5066 är inget problem. Datamängden som sparas för att användas som underlag vid frekvensval kommer att öka betydligt men det är hanterbart. Problemet är implementeringen av uppmätning av egen brusmiljö. I dag är mottagare och modem upptagna med att scanna av frekvenspoolen och avveckla trafik. En modifiering eller komplettering av dagens mottagare och modem är därför nödvändig.

Om de av ROAM föreslagna metoderna skulle användas, kommer förstahandsvalet av frekvens och antenn att bli säkrare. Idag har HF2000-systemet en god uppfattning om hur väl redan använda frekvenser fungerar men en betydligt större osäkerhet kring övriga frekvenser i frekvenspoolen. De föreslagna metoderna i avsnitt 3.3 skulle minska den osäkerheten.

### 4.2 Systemintegration

Under projektets gång har systemintegrationsfrågor regelbundet kommit i fokus när projektet samverkat med olika FM-representanter och även bistått med expertstöd för direkta frågor och problem som uppstått. Olika typer av radiostörnings- och telekonfliktproblem har analyserats och under projektets gång har ett antal grundläggande orsaker till plattformens interna radiostörnings-/telekonfliktproblem identifierats.

Sammanfattningsvis har två huvudorsaker till radiostörnings- och telekonfliktproblem identifierats:

- Tekniska orsaker
- Organisatoriska orsaker

Tekniska orsaker har att göra med olika typer av tekniska faktorer som alltid finns som gränssättande villkor vid integration på plattformar med begränsad fysisk storlek:

- Antennplaceringar blir alltid kompromisser mellan olika tekniska krav och därmed inte optimala ur ren radiosynpunkt.
- På marina plattformar samlokaliseras ofta sändare med hög effekt nära känsliga mottagarsystem där varken sändare eller mottagare har försetts med nödvändiga samlokaliseringsfilter. Ökad användning av kommersiell hyllvara (COTS) innebär att högre störningsnivåer än vad som förekommer hos militärspecificerad utrustning förekommer på plattformen.
- Vid besök ombord på fartyg har vi noterat en del brister när det gäller antenner. Antenner är ofta placerade närmare varandra än vad tillverkarna rekommenderar, är ofta skydda av fartygets metallstrukturer och har ofta onödigt långa antennkablage. Ett exempel är GPS-antennerna som ofta sitter betydligt närmare satkom-utrustningar än vad tillverkarna anger som minimiavstånd. Ett annat exempel är satkom-utrustning, som placerats så att den skymms av fartygets strukturer.

- I integrationsarbetet skall all utrustning som integreras kontrolleras med avseende på strålade störningsnivåer samtidigt som varje antennplacering väljs efter en noggrann telekonfliktanalys. Viktigt är att denna kedja sedan inte bryts när fartyget skall tas in på varv för modifiering. Dagens metod att för varje ny tjänst/applikation ombord sätta upp en ny antenn inklusive kablage och egen sändtagare bidrar inte till att öka robustheten.
- Ur resultatet från de radiostörningsmätningar som projektet utfört kan vi konstatera att det finns en hel del störningar på HF och VHF. Hur det ser ut på UHF är osäkert då det för dagen saknas mätningar i detta frekvensområde på svenska fartyg. För rent militära uppdrag är HF och UHF idag de främsta frekvensbanden. UHF tar över mer och mer av trafiken på (högre) VHF. Robusthetskraven för VHF kommer alltjämt att kvarstå, eftersom VHF-området rymmer både taktisk kommunikation och nödkanaler. Fartygens förmåga att kommunicera med civila system och på civila frekvenser är mycket viktig för en operation som ATALANTA i Adenviken. Detta betyder att störningsproblematiken fortsättningsvis kommer att vara i fokus.

Organisatoriska orsaker till att integrationsproblem med radiostörningar/telekonflikter uppstår kan exempelvis vara:

- Avsaknad av ett formellt övergripande system-/integrationsansvar för en viss plattform. Detta kan leda till att ingen har total kontroll på exakt vilka system som installeras.
- Systemmodifieringar i sent skede inför uppdrag kan innebära att nödvändiga samfunktionstester och/eller nödvändig utbildning inte hinner genomföras.
- I vissa fall saknas grundförståelse för elektromagnetiska egenskaper hos antenner. Antennplacering riskerar då att betraktas som ett rent mekaniskt problem där man försöker hitta fysisk plats för antenner.
- Av, som vi uppfattar som, kortsiktiga ekonomiska skäl väljs ofta de tekniska lösningar som radio- och antenntillverkare har för att reducera samlokaliseringsproblem bort.
- Vi har noterat exempel på att nya system tas ombord och börjar användas utan att nödvändiga samlokaliseringsproblem hinner undersökas. Förklaringen är då att det är så bråttom att eventuella samlokaliseringsproblem inte hinner utredas.
- Ibland tas system ombord för prov och försök men som sedan blir kvar permanent. Detta kan skapa problem som tar mycket längre tid att lösa än den tid som behövs för att göra en enkel utredning innan de tas ombord.
- Problemet med samlokalisering är inte unikt för svenska marinen. Välbeprövade metoder och rutiner för att hantera detta finns. På exempelvis flygsidan finns tydliga och fungerande rutiner för motsvarande problem.

Nya system som HQ/II och SATURN är på väg att installeras. Dessa är av typen bandspridande system till skillnad från dagens fixfrekvenssystem. Utan en strukturerad metod vid införandet är riskerna stora för allvarliga störningar på dagens befintliga fixfrekvenssystem.

Vi har noterat att robusthets- och telekrigsaspekter gärna diskuteras för HF-system, men att motsvarande diskussion inte förs om satkomsystem. Sårbarheten hos de kommersiella satkomresurserna som hyrs in vid operationer behöver belysas i motsvarande grad. Detta så att inte en ogrundad övertro på förmågan och robustheten hos kommersiella satkomsystem skapas.

### 4.3 Framtida förbättringar

Internationella operationer likställs ofta i marina sammanhang med operation ATALANTA (ME01, ME02 och ME03), vilket är långt ifrån de enda sammanhang en svensk marin insats skulle kunna vara möjlig. Att dimensionera transmissionsresurserna, främst då kapacitet, efter detta sammanhang kan påverka förmågan till robust transmission i andra sammanhang. I fallet ATALANTA är det interoperabilitetsbehovet över stora ytor som styr transmissionslösningarna mellan ländernas marina militära enheter.

Andra alternativ skulle kunna vara att stoppa/hjälpa flyktingar på väg från Afrika till Europa/EU, räddningsaktioner i Östersjön eller uppdrag i Arktis. Dessa är fullt tänkbara scenarier i en nära framtid. För vart och ett av dessa fall tillkommer specifika omständigheter som påverkar kraven på kommunikationssystemen.

En möjlighet att dimensionera transmissionsresurserna är att kombinera olika transmissionsmedier på ett strukturerat sätt och med inbyggda funktioner för trafikprioritering mm. Ofta är det ett enda medium, främst HF eller Satkom, som ingått i ett givet koncept. Ingen detaljsstudie över att kombinera transmissionsresurserna har gjorts i ROAM men bedömningen är att en sådan lösning sannolikt skulle öka robustheten.

Många tjänster/applikationer, främst de som hör hemma i klassen stabsstödssystem har ofta höga krav på överföringskapacitet och låga fördröjningar och är generellt inte på något sätt anpassade för transmission över annat än tråd eller optofiber. Stabsstödssystem som bygger på att överföra stora dokument av typen powerpoint, ofta med stora bilder, är en svår utmaning att hantera annat än via Satkom. De fungerar många gånger därför dåligt eller inte alls i de, kapacitetsbegränsade, trådlösa transmissionskanaler som står till buds i en militär miljö.

Kapacitetsbehovet hos applikationerna är många gånger så stort att de i princip kräver bredbandiga satellitlänkar (Satkom) för att fungera till sjöss. Behovet av att i en internationell mission kunna överbrygga stora geografiska avstånd är dessutom ofta stort. I en värld där det militära frekvensutrymmet är begränsat och minskar är det i stort sett bara Satkom som möter detta transmissionsbehov.

Till detta kommer begränsningen med krypton som inte alltid hanterar den varierande kanalen.

Ett förslag är att alla mjukvaruapplikationer som kan tänkas användas i en miljö som kräver trådlös transmission (ev. kan transmission via mikrovågslänk i FTN undantas), krävs från början så att de klarar trånga kanaler med varierande tidsfördröjning. Redan färdigutvecklade applikationer ska testas i en simulator och godkännas. I denna skulle man på ett kontrollerat sätt kunna begränsa datatakten, variera tidsfördröjningen samt även introducera fel i överföringen över ett IP-gränssnitt. En sådan simulator blir inte helt gratis men kan troligen löna sig i långa loppet.

## 5 Projektets effekter på FM i närtid

Några effekter hos FM som ett resultat av det genomförda projektet har kunnat identifieras redan under projektets gång:

- Projektet har genomfört tre stycken workshops i Karlskrona med ett totalt deltagarantal på ca 200 personer från olika organisationer inom FM och FMV. En omedelbar effekt av dessa workshops har enligt uppgift varit att olika organisatoriska nivåer och enheter inom FM och FMV kunnat mötas, diskutera och ha erfarenhetsutbyte om sambandsfrågor och sambandsmateriel. Konkreta effekter har varit att personer blivit medvetna om frågeställningar och problem som behöver hanteras. Somliga av dessa frågeställningar har sedan följts upp vid nästa workshop. Dessutom har dessa workshops starkt bidragit till att konkreta resultat från ROAM kunnat synliggöras för deltagarna och på så sätt ökat kunskapen och medvetenheten om robusthetsfrågor inom Försvarmakten.
- Projektet började tidigt läsa igenom och analysera erfarenhetsrapporter från ME01 och ME02. Genom att lägga samman flera erfarenhetsrapporter i en större bild kunde misstänkta radiostörningsproblem på HMS Karlskrona identifieras för vidare undersökning. Dessa problem undersöktes sedan mer i detalj och en lista på åtgärdsförslag levererades till FM. Genom att skapa denna helhetsbild utifrån erfarenhetsrapporterna tydliggjordes de förbättringar som behövs beträffande systemintegration. Detta ledde till att det FoT-projekt som kommer att följa efter ROAM blir fokuserat på robust integration av trådlösa system. Även FMV har under senaste året arbetat konkret med att avhjälpa en del av de radiostörningsproblem som identifierats av FOI på HMS Karlskrona. Karlskrona är knappast det enda fartyget med störningar. Övriga fartyg bör kontrolleras och åtgärdas för att åtgärderna skall få full effekt.
- I projektets arbete med förbättrat frekvensval för HF har stort fokus varit på de systemparametrar och de möjligheter som finns i HF2000. Detta har lett till ökad kunskap om möjligheterna med HF2000 och har återförts i de direkta uppdrag som FOI har åt FMV för HF2000.

## 6 FoT efter ROAM

Robustheten för telekommunikationssystem på militära plattformar kan degraderas genom brister i systemintegrationen. Detta är ett komplext och växande problem särskilt för plattformar där flera sådana system måste samlokaliseras med andra emitterande källor.

Resultatet blir att en del system inte får användas, får kraftigt begränsad räckvidd, får ökad känslighet för telekrigsinsatser, inte fungerar alls eller att vissa frekvenser inte får användas. Införskaffade system kan alltså inte användas som det var tänkt, något som uppmärksammats inom projektet ROAM. Brister i systemintegrationen påverkar således ytterst ett förbands förmåga att genomföra sin uppgift. Detta gäller särskilt brister som påverkar trådlös teknik.

För plattformar som ska kommunicera över stora avstånd är satellitkommunikation och kortvåg, HF, i princip de enda möjliga alternativen. Satellitkommunikation är idag det enda system som har tillräcklig kapacitet för att stötta flera av våra nationella stödsystem samt welfare-trafik. På samma sätt är HF-kommunikation nödvändigt för operativ ledning på många plattformar. Dessa kritiska systems prestanda kan dock avsevärt försämrats av brister i systemintegrationen. Användningen av kommersiell teknik tillsammans med radarsystem, annan emitterande utrustning och sensorer på små plattformar förstärker detta problem. Fördelen med HF är att man kan kommunicera utan fast infrastruktur eller hyrda satellit-transpondrar. Nackdelen är att kapaciteten i form av datatakt generellt sett är låg. Nya tekniker för bättre och adaptivt frekvensval samt för bredbandig HF, särskilt för markvåg, har potential att bidra till en ökad datakapacitet. Störningsproblematiken är ett problem för HF och bredbandig HF vilket begränsar systemens förmågor. FOI har inom projekt ROAM visat att kanalval för HF, där plattformens lokala störningsmiljö vägs in, kan ge stora förbättringar i robusthet och kapacitet. Metoderna kommer att vidareutvecklas i nästa projekt.

För satellitkommunikation finns indikationer på en rad nya möjligheter för den operativa ledningen, inte minst metodmässigt. Försvarsmakten förfogar idag inte över några egna satellitresurser. Kommersiella system där robustheten oftast är låg måste därför användas. Teknik för att öka robustheten i detta fall måste kunna appliceras som ett tillägg till befintliga kommersiella satellitlösningar.

I januari 2014 startar vid FOI ett treårigt FoT-projekt med titeln ”Robust Integration av Trådlösa Telekommunikationssystem”. Projektet skall främst studera förbättrade metoder för systemintegration på plattformar. Metoderna skall ta hänsyn till taktiskt uppträdande, kommunikationstjänster, elektromekaniska begränsningar, telekonflikter, frekvensval och telekrigsaspekter. Projektet skall även undersöka vilka realiserbara möjligheter det finns att öka robustheten vid användning av kommersiella satellitlösningar samt jämföra hur robustheten varierar beroende på vilka satellitsystem som används. Studier av metoder för att öka kapaciteten för HF-system påbörjades i projekt ROAM och slutförs i detta projekt.

Effekt målet är att genom teknik och metoder öka ett förbands förmåga att genomföra sin uppgift.

## 7 Referenser

1. B. Asp, C. Carling, A. Hunstad, B. Johansson, P. Johansson, Å. Waern, "Metodik för kommunikationssystemvärdering – Slutrapport", FOI-R--2382--SE, december 2007.
2. B. Asp, P. Eliardsson, B. Johansson, K. Wiklundh, "Värdering av satellitkommunikation för en marin internationell mission", FOI-RH--1269--SE, december 2012.
3. STANAG 4691, "Multi-Hop IP Networking with Legacy UHF Radios: Mobile Ad Hoc Relay Line of Sight Networking (MARLIN)", North Atlantic Treaty Organization, Edition 1.
4. B. Asp, P. Eliardsson, B. Johansson, "Studie av STANAG 4691-MARLIN på HF", FOI-R--3794--SE, december 2013.
5. P.F. Stenumgaard. A simple impulsiveness correction factor for control of electromagnetic interference in dynamic wireless applications. Communications Letters, IEEE, 10(3):147 – 149, mar 2006.
6. B. Asp, P. Eliardsson, B. Johansson, P. Stenumgaard, K. Wiklundh, "Interferensnivåmätningar på HMS Carlskrona", FOI-RH--1208--SE, januari 2012.
7. Patrik Eliardsson, Kia Wiklundh, Erik Axell, Björn Johansson, Peter Stenumgaard, "Analysis of the local HF interference environment at a military platform" Nordic HF 13, Fårö, 2013.
8. Stenumgaard, Peter, "Störningskänslighet hos civil trådlös konsumentteknik", FOI-R--3216--SE, 2011.
9. B. Asp, B. Johansson, "Jämförelse VHF-HF på HKP 15 för marin kommunikation", FOI-RH--1325--SE, januari 2013.
10. B. Asp, B. Johansson, P. Stenumgaard, "Möjligheter och begränsningar med satellit- och kortvågskommunikation", FOI-R--3712--SE, september 2013.
11. K. Wiklundh, B. Asp, B. Johansson, "Marin radiokommunikation i internationell miljö, Kartläggning av dynamiska faktorer", FOI-R--3316--SE, december 2011.

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](http://www.foi.se)