



Analys av telekonfliktrisker mellan Have Quick II, Saturn, Marlin och DAB, DVB-T2

K. FORS, K. WIKLUNDH OCH P. HOLM

K. Fors, K. Wiklundh och P. Holm

Analys av telekonfliktrisker mellan Have Quick II, Saturn, Marlin och DAB, DVB-T2

Titel	Analys av telekonfliktrisker mellan Have Quick II, Saturn, Marlin och DAB, DVB-T2
Title	Intersystem interference analysis between Have Quick II, Saturn, Marlin and DAB, DVB-T2
Rapportnr/Report no	FOI-R--4043--SE
Månad/Month	December
Utgivningsår/Year	2014
Antal sidor/Pages	45 p
ISSN	1650-1942
Kund/Customer	FMV
Forskningsområde	4. Informationssäkerhet och kommunikation
FoT-område	Ledning och MSI
Projektnr/Project no	E324301
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

Inom projektet *Gransknings- och expertstöd telekonfliktfrågor*, som är ett FMV-finansierat projekt, har en utvärdering angående samexistens mellan militära och civila system på nedre delen av det harmoniserade militära bandet 225-400 MHz, genomförts. Att frågeställningen är viktig har aktualiserats då regeringen har avsatt frekvensutrymme för digitalradio i 174-240 MHz-bandet samtidigt som det finns behov av att flytta vissa TV-sändningar från 700 MHz-bandet till förmån för mobila tjänster. Det innebär att sändningarna för digitalradio (T-DAB) samt TV-sändningar (DVB-T2) alltmer kommer att använda den nedre delen av det militära bandet. Samtidigt förutser Försvarmakten ett alltmer ökat behov av att använda hela frekvensbandet 225-400 MHz för att kunna tillgodose taktisk kommunikation för mark, sjö- och flygstridskrafter. Därför genomförs i det här arbetet en analys över om det är möjligt att de militära systemen Have Quick II (HQII), Saturn och Marlin kan samexistera med DAB och DVB-T2 utan att de militära systemen orsakar störningsproblem i de civila systemen.

För analysen har två olika scenarier, *ett luftscenario* och *ett markscenario*, identifierats som viktiga situationer där de militära systemen kan störa de civila systemen. Påverkansgraden har kvantifierats genom att bestämma nödvändigt avstånd, ett skyddsavstånd, mellan det civila systemet och det militära systemet för vilket det civila systemet ska kunna upprätthålla givna väldefinierade tjänstekrav. Flera parametrar har visat sig ha stor påverkan på skyddsavståndet. Det är framförallt vald modell för störningssignalens utbredningsdämpning som har stor betydelse, men även systemparametrar som antennvinst och sändareffekt. En annan viktig parameter är sändarens utombandsegenskaper. Dessutom visar det sig att valda tjänstekrav för DAB har stor påverkan på de beräknade skyddsavstånden. I arbetet har tjänstekrav definierade av ETSI använts.

Vi kan konstatera att vi får mycket långa skyddsavstånd för luftscenariot. I vissa fall längre än det s.k. line-of-sight (LOS)-avståndet på ca 400 km, som då blir gränssättande. En skyddszon med radien 400 km gör att närliggande nationers nät kan komma att påverka DAB- och DVB-T2-mottagare i Sverige. För markscenariot, kommer störningssignalerna att dämpas mer med avståndet, vilket betyder att skyddsavstånden blir kortare än för luftscenariot.

Generellt ses störningar från system installerade på flygande plattformar mestadels under flyginsatser och kan därför vara svåra att planera bort. Däremot för fasta installationer, som markstationer, är rekommendationen att ha ett skyddsavstånd runt HQII- och Saturn-sändare på 10 km för DAB och 17 km för DVB-T2. För Marlin med 25 och 500 kHz-bandbredd rekommenderas ett skyddsavstånd på 22 respektive 35 km för DAB-systemet samt 20 km för DVB-T2 (gäller för både 25 och 500 kHz-alternativet).

Nyckelord: DAB, DVB-T, DVB-T2, Have Quick, Saturn, Marlin, telekonflikt, samexistens

Summary

Within the FMV (FMV: Swedish Materiel Administration) funded project Granskings- och expertstöd telekonfliktfrågor, an analysis has been performed regarding coexistence between military and civil systems in the lower part of the harmonized military band 225-400 MHz. The issue is important and has been actualized when the government has allocated frequency spectrum for digital radio in the 174-240 MHz band. In addition, there is a need to move parts of the television services from the 700 MHz band to the lower part of the military band in favor for mobile services. This means that the transmissions of digital radio (T-DAB), and TV broadcasts (DVB-T2) will increase in use in the lower part of military band. In the meantime, to meet the future needs for tactical communications for land, sea and air forces, the Swedish Armed Forces foresee a greater utilization of the entire frequency band 225-400 MHz. Therefore, an analysis is performed if the military systems Have Quick II (HQII), Saturn and Marlin can coexist with DAB and DVB-T2 without degradation of the civilian systems.

In the analysis, two important scenarios are identified, the air and land scenario, where military systems may interfere with the civilian systems. The influence is quantified in terms of the necessary distance, which is a safety distance between the civil system and the military system, where the civil system is on the level to exactly fulfill a given well-defined service requirement. Several parameters have been shown to have a major impact on the safety distance. In particular, the wave-propagation model selected for the interference signal as well as the system parameters antenna gain and transmit power are of great importance. Another important parameter is the out-of-band characteristics of the transmitter. Furthermore, the adopted service requirement for DAB has a major impact on the calculated safety distances. In this work, we use the service requirement defined by ETSI.

It can be stated that the safety distance becomes very long in the air scenarios. In some cases, the safety distance exceeds the so-called line-of-sight (LOS) distance of about 400 km, which is the maximum possible distance for the interfering signal. Hence in those cases, the safety distance is limited to the LOS distance. The large size of the buffer zone (a zone with a radius of 400 km) makes it reasonable to assume that neighboring nations' military networks might affect DAB and DVB-T2 systems in Sweden. For the land scenario, the interference signal is stronger attenuated, why the safety distances becomes much shorter than in air scenario. Generally, interference from airplanes is difficult to predict. For fixed installations on the contrary, as for examples ground stations, safe zones can be defined and as a recommendation we propose a safe distance around HQII and Saturn transmitters of 10 km for the DAB system and 17 km for DVB-T2. For Marlin transmitters with a bandwidth of 25 and 500 kHz a safety distance of 22 and 35 km, respectively, is recommended for the DAB system and 20 km for the DVB-T2 system (valid for both 25 and 500 kHz option).

Keywords: DAB, DVB-T, DVB-T2, Have Quick, Saturn, Marlin, inter-system interference, coexistence

Innehållsförteckning

1	Bakgrund och syfte	10
2	Kort systembeskrivning	11
2.1	Civila system	11
2.1.1	DAB	11
2.1.2	DVB-T2	11
2.2	Militära system	11
2.2.1	HQII	12
2.2.2	Saturn	12
2.2.3	Marlin	13
2.3	Frekvensanvändning	13
3	Störningsanalys	14
3.1	Scenario	14
3.2	Störningsanalys	15
3.2.1	Störning från ett fixfrekvens- kontra frekvenshoppsystem	15
3.2.2	Utombandsegenskaper	18
4	Resultat	19
4.1	Inledning	19
4.1.1	Metodik	19
4.1.2	Definition av skyddsavstånd	19
4.1.3	Fall för analys, värst påverkan respektive medelpåverkan	20
4.1.4	SNR-fall	20
4.2	Skyddsavstånd	21
4.2.1	Markscenario	21
4.2.2	Luftscenario	24
5	Slutsatser och diskussion	30
5.1.1	Sammanfattning av skyddsavstånd	30
5.1.2	Kommentarer	32
5.2	Förslag på fortsatt arbete	32
6	Referenser	33
7	Appendix	34
7.1	Modellering av DVB-T2	34
7.2	Modellering av DAB	36
7.3	Formler	37
7.4	Resultat kanalmodell för luftscenariot	39
7.5	Detaljerade resultat	40

7.5.1	DAB	40
7.5.2	DVB-T2	42

1 Bakgrund och syfte

Inom projektet *Gransknings- och expertstöd telekonfliktfrågor* har en utvärdering genomförts angående samexistens mellan militära system och civila system på den nedre delen av det harmoniserade militära bandet 225-400 MHz. Frågeställningen gäller om det är möjligt att de civila systemen T-DAB (marksänd digital radio) och DVB-T2 (marksänd digital-TV, generation 2) kan samexistera med de militära systemen Have Quick II (HQII), Saturn och Marlin.

I [SOU 2012:59] anges framtida nya villkor för public service och i avsnitt 11.11 om ”Användning av rundradiospektrum” nämns vilka frekvensband som är tänkta att användas för digitalradio samt TV-sändningar. Regeringen har avsatt frekvensutrymme för digitalradio i 174-240 MHz-bandet samtidigt som det finns behov av att flytta vissa TV-sändningar från 700 MHz-bandet till förmån för mobila tjänster. Det innebär att sändningarna för digitalradio samt TV-sändningar delvis kommer att använda den nedre delen av det militära bandet.

Samtidigt förutser Försvarsmakten ett alltmer ökat behov av att använda hela frekvensbandet 225-400 MHz för att kunna tillgodose taktisk kommunikation för mark, sjö- och flygstridskrafter. De militära systemen Have Quick II (HQII), Saturn och Marlin är alla Nato-standarder, som använder sig av det harmoniserade militära bandet. Det är speciellt vid internationell samverkan vid insatser samt vid genomförande av internationella övningar i Sverige och utomlands som beroendet av det militära bandet är avgörande. De militära systemen HQII och Saturn är viktiga komponenter för att tillhandahålla säkert tal främst mellan flygande enheter samt mellan flyg och mark. Saturn är en vidareutveckling på HQII med en förbättrad störtålighet genom sitt snabbare frekvenshopp och man förväntar en övergång från HQII till Saturn. Marlin har sitt främsta användningsområde inom marinen. Det används ännu inte i särskilt stor omfattning, men är ett system som förmodligen kan bli viktigt i framtiden, eftersom systemet kan bära IP-trafik och erbjuda täckning över relativt stora områden.

Det faktum att DAB och DVB-T2-tjänster är tänkta att använda delvis samma frekvensband, som de nämnda militära systemen, gör att man kan förutse telekonfliktsproblem i de olika systemen. Syftet med detta arbete är att undersöka om och i så fall vilken omfattning militära system som HQII, Saturn och Marlin kan orsaka störningar för digitalradiosändningar och TV-sändningar i frekvensbandet 225-240 MHz. Resultat presenteras i form av beräknade skyddsavstånd, vilket kan ses som krav på hur långt från en DAB och DVB-T2-mottagare de militära systemen måste placeras för att inte riskera radio- och TV-mottagningen. Resultaten är framtagna för några olika fall. Speciellt studeras ett markscenario, där den militära sändaren antas sitta i en mast vid en markstation, samt ett luftscenario, där sändaren sitter i en flygande plattform som exempelvis ett stridsflygplan.

En muntlig halvtidsrapportering av arbetet gjordes på HKV och FMV. Resultat och slutsatser har även dialogiserats med Daniel Svensson på FMTS/FunKE i samband med slutförandet av rapporten.

2 Kort systembeskrivning

2.1 Civila system

Digital Audio Broadcast (DAB) och Digital Video Broadcasting - Terrestrial (DVB-T2) är de två standarder som används för digitala utsändningar av radio respektive TV. De digitala TV-utsändningarna har redan ersatt de tidigare analoga sändningarna. Denna övergång skedde på bred front i hela Sverige 2005-2009, då de analoga sändningarna släcktes ner och användarna var tvungna att komplettera sina TV-mottagare för att fortsättningsvis kunna ta emot digitala sändningar. De nationella radioutsändningarna däremot sker fortfarande i huvudsak i analog form, även om det i vissa regioner finns digitala utsändningar.

2.1.1 DAB

DAB är en digital radiostandard för marksänd radio. I många länder pågår en övergång från analog marksänd radio till DAB eller utvecklingar av DAB-standarderna (som exempelvis DAB+). I Norge, Storbritannien, Danmark och Schweiz är det digitala sändarnätet nästan helt utbyggt och i några andra länder är utbyggnaden i full gång. Den Europeiska Radiounionen rekommenderade för några år sedan DAB eller DAB+ som huvudstandard för digital marksänd radio i Europa. En pådrivande faktor är att det frekvensband som används för FM-nätet är trångt och det är svårt att öka antalet kanaler. Vinsten med digitalradio är bättre utnyttjat frekvensspektrum, vilket ger fler radiokanaler, bättre ljudkvalitet samt billigare radioutsändningar för radiobolagen. Hur övergången till digitalradio ska ske i Sverige har utretts ett antal gånger, men uppfattningen har varit att digitalradiosatsningen har kommit för tidigt och saknat perspektivet från privatradion. Förhoppningen är att ett beslut kommer att tas under 2015. För detta ändamål har regeringen tillsatt en digitalradiosamordnare, som ska ta fram en plan på övergången till digitalradio. Denna rapport ska vara klar i slutet av november 2014.

Sveriges Radio (SR) sänder både i DAB och DAB+, men bara över vissa orter. SRs ordinarie DAB-sändningar kan höras i och kring städer som Stockholm, Malmö, Göteborg och Luleå. Testsändningarna med DAB+ hörs i Stockholm, Uppsala och Gävle. Ungefär 35 % av Sveriges befolkning nås av DAB-sändningarna.

2.1.2 DVB-T2

DVB-T är en standard för marksänd digital-TV. Standarden med T2 som extension betecknar en nyare version av DVB-T. Det är DVB-T2 som idag används av Teracom för Sveriges Televisions digitala utsändningar och inga analoga utsändningar sker längre. Över 98 % av landets befolkning nås av utsändningarna. Den nya standarden innebär högre datatakt och en mer robust teknik. För jämförelse, DVB-T2 har 66 % högre kapacitet än den äldre standarden DVB-T. Mottagare för den nya standarden DVB-T2 är fullt bakåtkompatibla och med sådan mottagare går det att se alla kanaler som sänds i marknätet.

2.2 Militära system

De militära systemen HQII, Saturn och Marlin bygger på tre olika NATO-standarder som beskrivs i [STANAG 4246] (Have Quick I och II), [STANAG 4372] (Saturn) och [STANAG 4691] (Marlin), varav de två förstnämnda är hemliga. Systemen använder sig av det harmoniserade militära bandet från 225 till 400 MHz. I följande avsnitt beskrivs de militära systemen endast kortfattat för att ge en bakgrund till hur de kan komma att påverka DAB- och DVB-T2-systemet.

Tabell 1 Sammanställning av användningsområden för de militära radiosystemen.

	HQII	Saturn	Marlin (UHF)
Status Sverige	Används idag	Köpt in ett begränsat antal för prov och försök	Köpt in ett begränsat antal för prov och försök
Användning, ändamål	Kommunikation flyg – mark, secure voice	Kommunikation flyg – mark, secure voice	IP-trafik, höjd datatakt, reläande/ad hoc-nät för ökad räckvidd
Kommentar	Främst avsett för interoperabilitet, men med nuvarande förmåga används det nationellt	Främst för interoperabilitet, men med nuvarande förmåga används det nationellt	Både nationellt och internationellt, för interoperabilitet främst med Finland som har byggt ut systemet i Östersjön
Placering	Radiokullar främst vid flygplatser, flygplan och fartyg	Radiokullar främst vid flygplatser, flygplan och fartyg	Kuststationer, fartyg
Tekniska data	Frekvenshoppande system med 25 kHz-kanaler	Frekvenshoppande system med 25 kHz-kanaler	Fixfrekvenssystem med kanaler på typiskt 25, 100, 300, 500 kHz

I Tabell 1 ges en sammanfattning av hur systemen är avsedda att användas i Sverige. Ur svenskt perspektiv är systemen speciellt viktiga för övningar och operationer med andra nationer.

2.2.1 HQII

HQII är ett system för säkert tal mellan flygande enheter och mellan flyg och mark. Systemet utnyttjar frekvenshopp som störskyddande teknik för att försvåra i telekrigsinsatser; se Tabell 3 för ungefärliga parametrar. I Sverige används systemet främst för interoperabilitet med NATO, men även nationellt används systemet. Radiosystemen finns placerade på radiokullar vid flygplatser, på flygplan och på fartyg.

2.2.2 Saturn

Saturn är en vidareutveckling av HQII och ska med tiden ersätta HQII. Saturn har därför samma användningsområde som HQII och är avsett för säkert tal mellan flygplan och mellan flyg och mark. Saturn har ett snabbare frekvenshopp och ger därför ett bättre störskydd än HQI/II. Försvaret har köpt in ett begränsat antal Saturn-system för prov och försök. Liksom HQII finns radiosystemen placerade främst på radiokullar nära flygplatser, på flygplan och på fartyg.

Både HQII och Saturn har två olika moder, en så kallad krigsmod och en så kallad träningsmod. Det är bland annat antalet hoppfrekvenser som skiljer mellan de två moderna. I båda moderna finns även valet mellan fullbandsnät och delbandsnät. Delbandsnäten är avsedda för att minimera risken för interferenser mellan samlokaliserade Saturn-nät och innebär att de hoppfrekvenser som används är begränsade enligt vissa regler.

2.2.3 Marlin

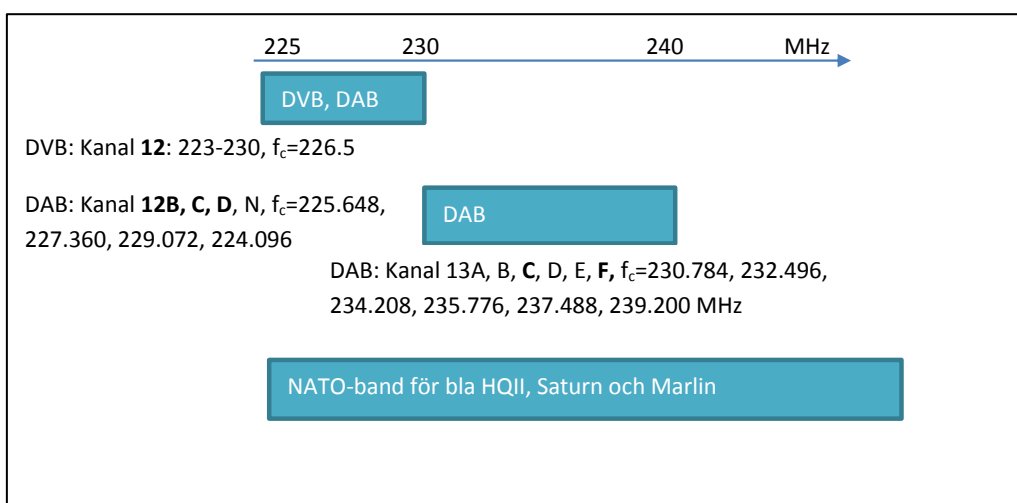
Marlin-standarden kan användas antingen på HF- eller VHF/UHF-bandet, och i detta arbete är det den senare versionen som är av intresse. Standarden möjliggör överföring av Internet Protocol (IP) data mellan radioapparater och har en protokoll-stack som automatiskt skapar ett ad hoc-nätverk av de radioapparater som ingår i nätet. Genom att utrustningarna kopplas ihop och bildar ett ad-hoc nät kan räckvidden ökas eftersom trafik kan reläas vidare via de ingående noderna. Standarden erbjuder också en relativt hög dataakt. Försvaret har köpt in ett begränsat antal Marlin-apparater för prov och försök. Marlin är intressant för nationell användning, men eftersom Marlin på UHF används av flera andra länder, är systemet också mycket intressant ur interoperabilitetssynpunkt. Till exempel är systemet intressant för att ge interoperabilitet med Finland, som har byggt ut systemet i Östersjön. Marlin är främst avsett att placeras på kuststationer och fartyg.

2.3 Frekvensanvändning

I Figur 1 visas DVB-T2- och DAB-systemens planerade frekvensutnyttjande av 225-240 MHz. Frekvensbandet sammanfaller med den nedre delen av det militära bandet på 225 – 400 MHz, vilka de militära systemen HQII, Saturn och Marlin använder. Regeringen har avsatt frekvensområdet 174-240 MHz främst för digitalradio, men redan i dagsläget används frekvensbandet även för TV-sändningar [SOU 2012:59]. Dessutom kommer sannolikt frekvenser i 700 MHz-bandet att avsättas för mobila tjänster, vilket medför att de TV-sändningar som idag använder det frekvensbandet behöver flyttas till band III, 174-240 MHz. I [SOU 2012:59] nämns att i så fall kan frekvensbandet inte längre användas för digitalradio. Det faktum att DAB- och DVB-T2 ska använda frekvensbandet 225-240 MHz, som samtidigt används av de militära systemen, skapar en ökad risk för telekonfliktsproblem mellan systemen.

Frekvensutnyttjandet av DAB och DVB är i Sverige anpassade till frekvensblock om 7 MHz. På ett frekvensblock går det fyra DAB-kanaler med bandbredden 1.5 MHz. Eftersom DVB använder bandbredden 7 MHz går det en DVB-kanal per frekvensblock.

Radiosystemen HQII och Saturn använder momentant en bandbredd på 25 kHz. För Marlin finns både ett smalbandigt alternativ på 25 kHz samt flera bredbandiga alternativ, där vi i denna rapport analyserar 500 kHz som momentan kanalbandbredd.



Figur 1 Illustration av nedre delen av det militära bandet och av vilka frekvenser DVB och DAB använder idag. Överlappande frekvenser för DAB är 225-240 MHz och överlappande för DVB är 225-230 MHz.

3 Störningsanalys

I följande avsnitt beskrivs de två scenarier som har bedömts skapa störst risk för telekonflikter mellan de militära och de civila systemen och som har använts i störningsanalyserna. Därefter beskrivs strukturella skillnader mellan störningarna från ett fixfrekvens- kontra ett frekvenshoppssystem och hur dessa störningar kan störa ett orthogonal frequency-division multiplexing (OFDM)-system, vilket DAB- och DVB-T2-systemen är. Kapitlet avslutas med en schematisk beskrivning av en radiosändares utombandsegenskaper.

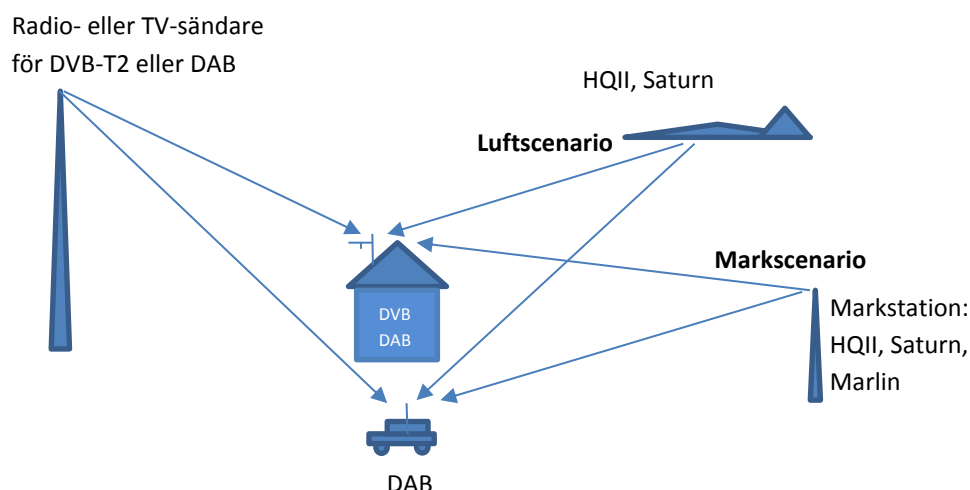
3.1 Scenario

Radio- och TV-utsändningarna sker från relativt höga master och för att få en bra täckning bör dessa master vara utspridda över det område man vill täcka. Avståndet mellan DAB-sändarna bör maximalt vara 74 km [TR 021] för mod I, som används på det aktuella frekvensbandet. Det betyder att radio- och TV-sändarna är tänkta att vara utspridda jämnt över Sveriges yta. I dagsläget är teknik för DVB-T2 utbyggt över hela Sveriges yta, medan DAB-sändare enbart finns i några storstäder. Det medför att DAB-mottagare bara kan vara lokaliserade runt dessa områden. Om DAB-systemet beslutas få en fortsatt utbyggnad kan man dock förvänta sig DAB-sändare och mottagare över i stort sett hela Sveriges yta. TV-mottagarens antenn är typiskt placerade på byggnader medan radio-mottagarnas antensystem kan vara placerade både i och på byggnader och fordon.

De militära systemen HQII och Saturn kan vara placerade i flygande plattformar, fartyg eller i markstationer, medan Marlin är tänkt att användas främst mellan fartyg och mellan fartyg och land. Som sändande enheter är det främst när dessa är monterade i flygplan eller i en mast vid en markstation som det kan vara aktuellt att de kan störa DAB- eller DVB-T2-mottagare. Även om de militära systemen förekommer på fartyg är risken mindre att de skapar en telekonflikt i den situationen än då de är placerad i en markstation på land. Detta eftersom avståndet från fartyget sannolikt är större än den mellan landstation och DAB- eller DVB-T2-mottagaren. Vi kommer därför att fokusera på fallet med telekonflikter från en markstation och från ett flygplan. Situationen då en sändare är placerad i ett flygplan kommer fortsättningsvis att kallas för **luftscenariot**, och situationen då sändaren är placerad i en mast vid en markstation kallas för **markscenariot**. I luftscenariot är det rimligt att anta att HQII och Saturn förekommer, medan alla de tre militära systemet kan vara placerade i en mast vid en markstation. I Figur 2 är de två scenarierna sammaställda.

I luftscenariot antas fri sikt mellan den flygande plattformen och radio- eller TV-mottagaren. För detta fall är det rimligt att anta fri-rymdsutbredning mellan det militära systemet till radio- eller TV-mottagaren; se appendix avsnitt 7.4 för vidare diskussion om lämplig kanalmodell. I markscenariot, där de båda antennhöjderna är lägre, är det rimligt att tro att vi får en markreflex, varför vi antar en två-strålemodell för utbredningsdämpningen mellan markstationen och radio- eller TV-mottagaren. Generellt kan man nå mycket längre med radiosignaler vid fri-rymdsutbredning. Effekten avtar som $1/r^2$ vid fri-rymdsutbredning, där r är avståndet från sändaren. I ett markscenario, där man antar en två-strålemodell, avtar effekten snabbare, typiskt som $1/r^4$.

För att kunna göra en rimlig analys av möjlig samexistens mellan systemen måste några antaganden göras. Till att börja med antar vi att de militära systemen endast bildar ett enda nät som kan störa radio- eller TV-mottagaren. Det kan vara rimligt att i en inledande analys anta att vi betraktar scenariot i ett relativt begränsat område. Resultaten från den inledande analysen visade sig ge mycket stora påverkansavstånd i luftscenariot och därför har även påverkan från flera militära nät analyserats. Ett ytterligare antagande är att vi antar att det militära nätet används kontinuerligt. Kontinuerlig sändning kan ses som ett värsta fall, men då det visar sig att skyddsområdena blir relativt stora är det ett rimligt antagande för att få fram en övre gräns för hur stora avstånden kan bli. Då ett stort område betraktas är det sannolikt att många noder i ett militärt nät kan påverka. Om enbart någon



Figur 2 Typiska placeringar av systemen där placering på tak ger typiskt antennhöjd på 10 m och mottagare på fordon typiskt 1.5 höga antenner.

av noderna finns inom påverkanszonen och sändningar inte antas pågå kontinuerligt, påverkas skyddsavståndet något. En känslighetsanalys av olika värden på användargrader görs i 4.2.2.

Om radio- och TV-mottagaren redan har dålig mottagning utan inverkan från en störning, kommer en telekonflikt från de militära systemen att få en värre påverkan än om mottagningen initialt var god. Det betyder att då mottagaren är på gränsen till fungerande mottagning har den en liten eller ingen marginal till att hantera störningen. Telekonfliktens påverkan kommer därför att bero på hur bra mottagningen är utan störning. Av den orsaken kommer vi att studera några olika situationer; ett SNR då systemet nätt och jämt fungerar utan störning, samt ett eller flera SNR som är högre än det första och innebär att systemet har en större marginal mot en störning. Situationen att mottagaren nätt och jämt fungerar (utan störningspåverkan) motsvaras ofta av en situation då användaren befinner sig i utkanten av en sändares täckningsområde eller att det finns hinder mellan sändare och mottagare.

De genomförda analyserna hanterar enbart störningspåverkan från de aktuella militära systemen och de beaktar inte inverkan från andra störningar som t.ex. från s.k. commercial off the shelf (COTS)-produkter eller bakgrundsmiljön.

3.2 Störningsanalys

3.2.1 Störning från ett fixfrekvens- kontra frekvenshoppssystem

Eftersom DVB och DAB är planerade att använda delvis samma frekvensband som är avsett för HQII, Saturn och Marlin finns en risk att systemen stör varandra. Den principiella skillnaden mellan Marlin och HQII/Saturn är att Marlin är ett fixfrekvenssystem medan HQII och Saturn är frekvenshoppande system. Marlin-systemet tilldelas en frekvens och håller sig sedan på den frekvensen. Om denna frekvens ligger inom bandet för DVB-T2 eller DAB-mottagning, kommer störningssignalerna från Marlin att påverka DVB-T2- eller DAB-systemet varje gång Marlin-sändaren sänder.

De frekvenshoppande systemen HQII och Saturn hoppar runt på olika frekvenser och för de tillfällen som det frekvenshoppande systemet använder sig av en frekvens inom

Tabell 2 Sammanfattning av antal underbärvågor och total bandbredd för DAB och DVB-T2 då systemen används i det aktuella frekvensbandet

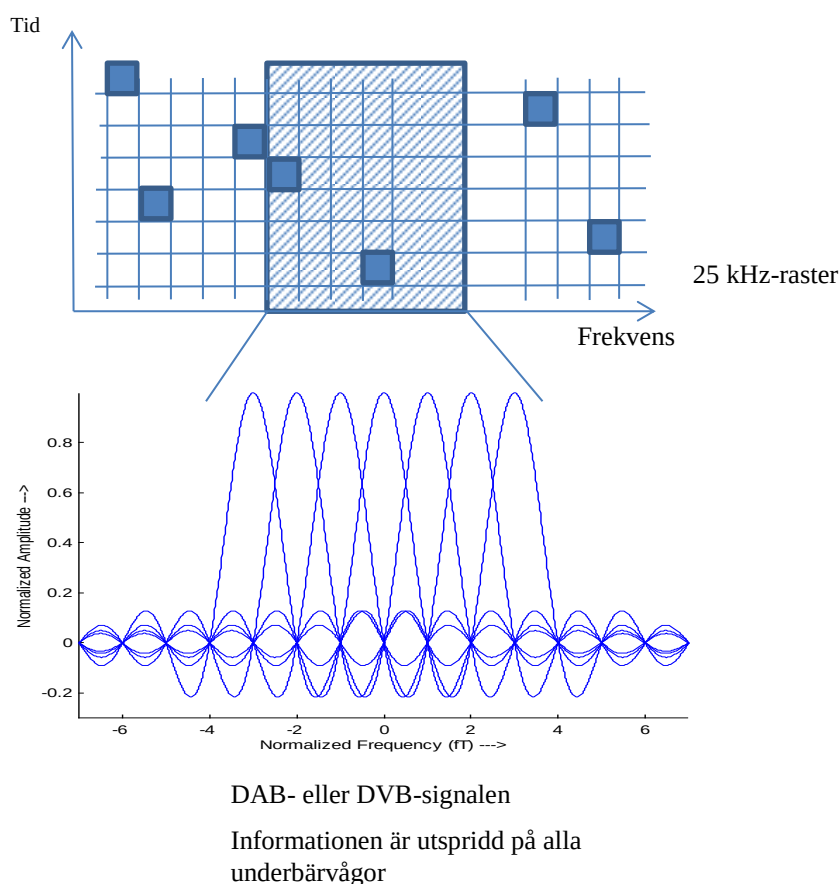
	DAB	DVB-T2
Antal underbärvågor	1536	27265
Bandbredd per underbärvåg	1116 Hz	244 Hz
Total bandbredd	1.5 MHz	7 MHz

frekvensbandet 225-230 respektive 225-240 MHz finns en risk att DVB-T2 respektive DAB störs.

Både DAB- och DVB-T2-systemet använder OFDM-teknik som ligger på en fix centerfrekvens i den nedre delen av HQII och Saturns hoppbandbredd. Ett OFDM-system är uppbyggd av ett stort antal underbärvågor på närliggande frekvenser. I Tabell 2 presenteras antalet underbärvågor och totalt utnyttjad bandbredd som DAB- respektive DVB-T2-systemet använder sig av i det aktuella bandet. För andra frekvensband, men också för andra användarapplikationer, finns andra möjliga parametersättningar. Därutöver anges även bandbredden per underbärvåg för respektive system.

Eftersom HQII och Saturn har en momentan bandbredd på 25 kHz, vilket är avsevärt mycket mindre än DAB- och DVB-T2-systemens bandbredd, kommer enbart delar av DAB- och DVB-T2-systemens bandbredd att störas och innebär att ett visst antal underbärvågor störs ut.

I Figur 3 visas schematiskt hur ett FH-system då och då kommer att använda en frekvens på det frekvensband som DAB- eller DVB-T2-mottagaren använder. Då det FH-system, som momentant arbetar på 25 kHz, använder en frekvens som ligger inom DAB- eller DVB-T2-systemets bandbredd kommer ett visst antal underbärvågor att störas ut. Hur många som störs beror både på sändarens utombandsegenskaper samt dess momentant använda bandbredd.

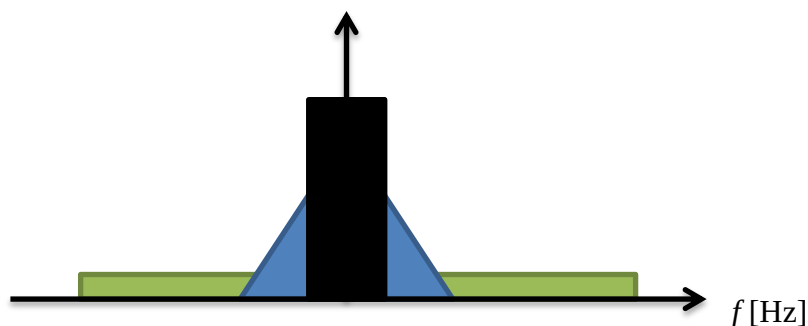


Figur 3 Schematisk bild av hur ett FH-system stör delar av DAB- och DVB-T2-systemets OFDM-struktur under korta tidsintervall.

I analyserna har vi använt ungefärliga värden på hopptakt och antal frekvenser som används för HQII och Saturn, se Tabell 3. Dessa är öppna uppgifter och anges i [DRA] och uppges ligga relativt nära de korrekta uppgifterna och ge representativa resultat avseende störningspåverkan. Teoretiskt går det att dela frekvensområdet 225-400 MHz i 7000 stycken 25 kHz-kanaler och vi kan se i tabellen att enbart delar av de möjliga frekvenserna används. Man kan notera att hopptakterna för HQII i krigsmod och övningsmod inte helt är i relation med tiden på varje hoppfrekvens (tiden på varje hoppfrekvens anges som 0.45 s, men borde vara 1/hopptakten och därför 0.2 s). I analysen har vi antagit att HQII och Saturn hoppar på hela frekvensbandet 225-400 MHz och att alla frekvenser är lika sannolika. Detta antagande innebär minsta möjliga påverkan med avseende på FH.

Tabell 3 Ungefärliga frekvenshoppssparametrar [DRA]

System	Hopptakt [hopp/s]	Tid på varje hoppfrekvens	Antal hoppfrekvenser
HQII, krigsmod	5	0.45 s	4700
HQII, övningsmod	5	0.45 s	20
Saturn, krigsmod	1800	550 us	3000
Saturn, övningsmod	1800	550 us	1450



Figur 4 Schematisk bild för ett radiosystems frekvenssegenskaper (fixfrekvenssystem).

3.2.2 Utombandsegenskaper

Sändande system har en specificerad bandbredd där dess sändareffekt är avsedd att ligga. I praktiken hamnar en viss del av sändareffekten även utanför den avsedda bandbredden. Hur effekten fördelas över frekvenser benämns som systemets utombandsegenskaper. Systemets utombandsegenskaper kan i vissa fall få betydande påverkan och utgöra störning mot en annan radiomottagare som använder närliggande frekvenser. I Figur 4 visas en schematisk bild över sändarspektrum för en radiosändare. För frekvenser inom det svarta området, signalbandbredden, är det tänkt att systemet sänder. Dock ger en radiosändare upphov till signaler även på andra närliggande frekvenser och detta visas i figuren som blått område. Det gröna området visar frekvensområdet där spuriouser och övertoner kan uppstå. Dessa kan exempelvis vara multiplar av bärvågsfrekvensen. Krav på godkända nivåer d.v.s. hur mycket signalen måste undertryckas för en viss frekvens relativt bärvågsfrekvensen, anges ofta i olika standarder.

I [STD-461F], metod RE103 för strålade emissionsnivåer, anges att dämpningen, relativt nivån på bärvågsfrekvensen, ska vara minst 80 dB eller högst -20 dBm [STD 461]. Detta gäller för alla övertoner från och med tredje övertonen och uppåt. För att väga in att ett systems utombandsnivåer kan vara något sämre än RE103 antas den gröna nivån ligga 70 dB under nivån vid sändarens bärvågsfrekvens. I det här arbetet antas att HQII, Saturn och Marlin, i 25 kHz-alternativet, har ungefärligen likvärdig undertryckning av närliggande kanaler jämte bärvågsfrekvensen.

4 Resultat

4.1 Inledning

4.1.1 Metodik

För att analysera påverkan på DAB och DVB-T2 har båda systemen implementerats i Matlab. För DVB-T2 har en simuleringsplattform¹ utvecklats av DVB-konsortiet [DVB-T/DVB-T2]. För DAB-systemet har en egen simuleringsmodell implementerats. Även störningssignaler från HQII, Saturn och Marlin har lagts till. För de militära systemen beaktas både frekvenshopp samt antaganden om utombandsegenskaper. Den slutgiltiga bitfelshalten analyseras sedan som ett mått på systempåverkan.

För DVB-T2 och DAB anges ofta tjänstekrav som måste uppfyllas, enligt ETSI [EN 302 755], [TR 101 758]:

Tjänstekrav DVB-T2

- Max felhändelser: 1 per timme TV-sändningstid för 5 Mbit/s
- Max bitfelshalt 10^{-11} för användaren

Tjänstekrav DAB

- Tröskel för bra ljud: $5 \cdot 10^{-5}$
- Failure: 10^{-2}
- Gränsen sätts ofta till 10^{-4}

För DAB finns flera specificerade krav och vi använder fortsättningsvis en bitfelshalt på $5 \cdot 10^{-5}$ för våra analyser. Det bör noteras att kravnivåerna 10^{-4} och $5 \cdot 10^{-5}$ är avsevärt mycket hårdare än kravet 10^{-2} . Bitfelshalten på 10^{-2} motsvarar att systemet fallerar och strax innan denna nivå får man hörbara fel. För DVB-T2 är gränsen 10^{-11} mycket låg.

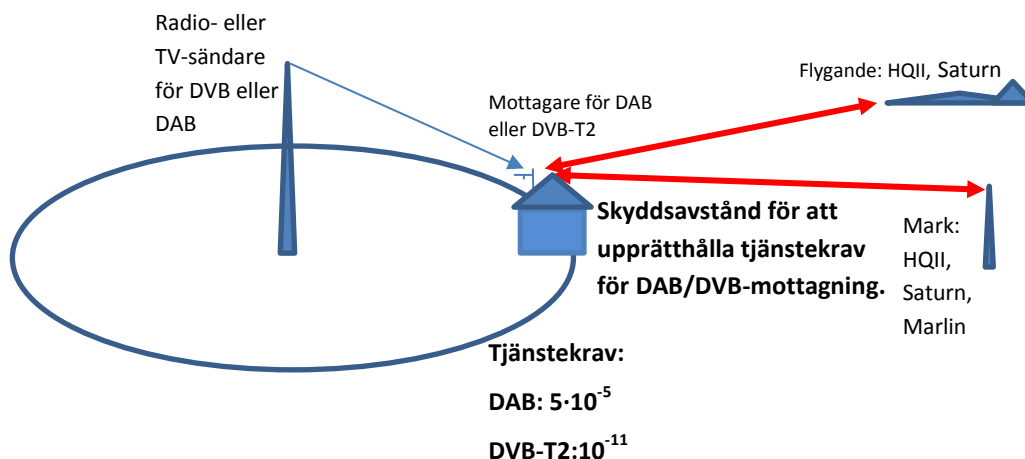
Utifrån tjänstekraven som finns för DAB och DVB-T2 har vi tagit fram nödvändigt skyddsavstånd till HQII, Saturn och Marlin. Det betyder att om det militära systemet placeras inom skyddsavståndet kommer störningarna från systemets sändning orsaka att tjänstekravet inte kan uppfyllas, se vidare definitionen av skyddsavståndet i 4.1.2.

I ett OFDM-system används pilottoner (på bestämda underbärvågor men också på vissa OFDM-symboler i tiden) med kända informationsbitar för att kunna bestämma kanalens inverkan samt för synkronisering. Om pilottonerna blir störda påverkas förmågan att estimerar kanalen samt hur bra synkroniseringen blir. I det här arbetet har inte effekterna av störning av specifika pilottoner inkluderats, vilket betyder att beräknade skyddsavstånd sannolikt blir längre om störning av pilottonerna inkluderas.

4.1.2 Definition av skyddsavstånd

I analyserna kommer nödvändigt skyddsavstånd att beräknas. Det nödvändiga skyddsavståndet definieras som det avstånd som krävs mellan det militära systemet och radio- och TV-mottagarna för att säkerställa att tjänstekravet uppfylls, se Figur 5. Det betyder att för en betydande störning från det militära systemet krävs ett längre skyddsavstånd än vad som skulle erhållits för en mindre skadlig störningssignal.

¹ DVB-T2 Common Simulation Platform, för DVB-T2 standard enligt ETSI EN 302 755. Plattform finns att tillgå på www.etsi.org.



Figur 5 Schematisk bild av skyddsavståndet.

Nödvändigt skyddsavstånd beräknas för ett antal olika fall. För de militära systemen HQII och Saturn beaktas båda fallen då sändaren är på ett flygplan (luftscenario) eller på en markstation (markscenario). För Marlin beaktas enbart situationen då en sändare är monterad i en mast på en markstation.

4.1.3 Fall för analys, värst påverkan respektive medelpåverkan

Ett FH-system kommer momentant att kunna resultera i en relativt hög bitfelshalt då FH-systemet ligger på samma frekvensområde som DAB/DVB-T2. Den bitfelshalt som uppstår vid en sådan händelse benämns här som den momentana bitfelshalten och kan ses som ett värsta fall (benämns som *Worst case BEP* i resultaten i Appendix). Det är samtidigt viktigt att även bestämma medelpåverkan på DAB- och DVB-T2-systemet, vilket innebär att vi tar hänsyn till att det FH-systemet under stor del av tiden inte nyttjar frekvenser som sammanfaller med de civila systemens frekvensband. Den viktade påverkan benämns här som *medelpåverkan*.

För Marlin, som är ett fixfrekvenssystem, bestäms den påverkan vi erhåller då Marlin använder en frekvens som hamnar inom den bandbredd som de civila systemen använder.

Ovanstående analyser görs för HQII och Saturn både för luft- och markscenariot. För Marlin genomförs analysen enbart för markscenariot. Även inverkan av sändarens utombandsegenskaper analyseras. Till att börja med antas att vi endast har ett militärt nät, men eftersom flera nät kan vara planerade att användas samtidigt, behöver vi för vissa luftscenarier även analysera fallen med flera samtidiga militära nät.

Marlin-systemen förekommer med olika bandbredder. Systemet förekommer vanligtvis med bandbredden 25 kHz. För att uppnå höga datataktar anges också större bandbredder. Här analyseras en bandbredd på 500 kHz. Ytterligare systemantaganden finns redovisade i appendix.

4.1.4 SNR-fall

I analyserna utvärderas nödvändiga skyddsavstånd för olika mottagningsförhållanden. Ett system som redan utan en telekonflikt är på gränsen till fullgod mottagning kommer att få svårt att klara tjänstekraven då telekonflikten uppstår. Ett system som har en viss marginal mot störningar kan ha större möjlighet att klara av tjänstekravet då telekonflikten uppstår.

Ett av fallen som analyseras är därför situationen då systemen har en relativt liten marginal för att hantera störningssignaler. Det innebär att SNR är i närheten av den gräns för vilken tjänstekravet precis är uppfyllt. Det motsvaras ofta av ett fall när radio- eller TV-

mottagaren ligger på gränsen av täckningsområdet eller har ett terränghinder i vägen. Utöver detta fall analyseras också situationer då systemet har en större marginal mot störningar.

För DAB-systemet innebär det att vi analyserar en mottagare som har ett SNR=8.5, 10.5, 12.5 och 14.5 dB. SNR = 8.5 dB innebär att mottagaren nätt och jämnt kan ta emot signalen, medan SNR = 14.5 dB innebär att mottagaren har relativt bra mottagningsförhållanden. Detta gäller under antagandet att vi har en AWGN-kanal (additivt vitt Gaussiskt brus), vilket i detta sammanhang betyder att vi kan ta emot en direktkomponent av den utsända signalen. Vidare gäller systemparametrar och antaganden om ett termiskt mottagarbrus enligt [TR 101 758].

För DVB-T2-systemet finns flera olika typer av moder. I detta arbete analyseras moderna V21 och V22, vilka använder VHF-bandet 223-230 MHz, där V21 har en starkare kodning än V22 ($R=2/3$ för V21 och $R=3/4$ för V22, där R betecknar systemets kodtakt) samt att V21 har kortare skyddsinterfall än V22, se utdrag ur Teracoms kanal- och modplan för stationer, 2010 [Teracom]. För V21 som är något mer tålig än V22 analyseras CNR = 20.5 och 22.3 dB, där CNR = 20.5 dB representerar fallet då tjänstekravet är uppfyllt. För V22 analyseras fallet med CNR = 23.3 och 24.9 dB.

4.2 Skyddsavstånd

För de aktuella fallen har bitfelshalter beräknats och som slutresultat kan skyddsavståndet bestämmas enligt sambandet i avsnitt 7.3 i appendix. I tabellerna nedan redovisas skyddsavstånden för de respektive fallen.

4.2.1 Markscenario

I Tabell 4 och Tabell 6 presenteras skyddsavstånden för HQII och Saturn för DAB och DVB-T2, medan Tabell 7 och Tabell 8 visar motsvarande för ett Marlin-system med bandbredden 25 respektive 500 kHz i ett markscenario. I tabellerna anges i vissa fall ”-”, vilket betyder att inget skyddsavstånd behövs. I de fallen finns en stor marginal mot störningar och de militära systemen ger inte någon påverkan på det civila systemet.

Vi kan se i Tabell 4 att för DAB-systemet har HQII och Saturns utombandsegenskaper stor påverkan på det framräknade resultatet. Om inte utombandsegenskaperna tas med vid momentan påverkan för SNR större än 8,5 dB eller då medelpåverkan bestäms, får vi ingen direkt påverkan från de militära systemen. Eftersom det är rimligt att ta med utombandsegenskaperna för de militära systemen och att dessa i analysen är relativt

Tabell 4 Skyddsavstånd för HQII och Saturn i markscenariot för DAB.

DAB		Skyddsavstånd [km]			
		SNR=8.5 dB	SNR=10.5 dB	SNR=12.5 dB	SNR=14.5 dB
Momentan påverkan	Med sidoband	37	19	16.5	14.5
	Utan sidoband	37	-	-	-
Medel-påverkan	Med sidoband	30	13	10	8.5
	Utan sidoband	-	-	-	-

Tabell 5 Skyddsavstånd för HQII och Saturn i markscenariot för DAB för ett tjänstekrav på $\text{BEP}=10^{-2}$.

DAB		Skyddsavstånd [km] för $\text{BEP}=10^{-2}$			
		SNR=8.5 dB	SNR=10.5 dB	SNR=12.5 dB	SNR=14.5 dB
Momentan påverkan	Med sidoband	17	11	8	7
	Utan sidoband	-	-	-	-
Medel-påverkan	Med sidoband	2	1.7	1.6	1.4
	Utan sidoband	-	-	-	-

restriktivt hållna, fäster vi störst vikt vid framtagna skyddsavstånd då utombandsegenskaperna har tagits med i beräkningarna. Skyddsavståndet för DAB-systemet är runt 30 – 37 km beroende på om vi avser momentan eller medelpåverkan för fallet då systemet har liten marginal mot störningar. För bättre mottagningsförhållanden minskar sedan skyddsavståndet, men trots goda mottagningsförhållanden motsvarande SNR=14.5 dB är skyddsavståndet 8.5 km när vi beaktar medelpåverkan.

De framtagna skyddsavstånden då vi beaktar utombandsegenskaperna (samt utan utombandsegenskaper för SNR = 8.5 dB) är avsevärt längre än de som redovisas i [NEMCA]. För ett liknande scenario redovisas i [NEMCA] ett skyddsavstånd på runt 1 km. Skillnaden i skyddsavstånd beror på att de utgår från ett mindre restriktivt tjänstekrav. Som kravnivå används i [NEMCA] den interferensnivå som gör att systemet får mätbara fel i meddelandenas cyclic redundancy check (CRC)-summa och som gör att ljudet får en hörbart försämrad ljudkvalitet. En hörbar försämrad ljudkvalitet och mätbara fel i CRC-summan bör inträffa vid relativt höga bitfelshalter och det sägs i rapporten inträffa för en interferensnivå i närheten då systemet tappar sin synkronisering. Vi bedömer att deras krav ungefärligen motsvarar en $\text{BEP} = 10^{-2}$, vilket är var ETSI betecknar som ”failure”. De två kravgränserna $\text{BEP} = 10^{-2}$ och $5 \cdot 10^{-5}$ ger helt olika skyddsavstånd. Vi kan se i den högra delen av Figur 12 (Appendix 7.5.1) att $\text{BEP} = 5 \cdot 10^{-5}$ då SIR är mellan -10 dB och 0 (beroende på SNR), medan signal-interferens-förhållandet (SIR) måste vara lägre än -30 dB för att bitfelshalten ska uppgå till 10^{-2} . Denna skillnad i SIR gör att skyddsavstånden också skiljer sig åt. Om vi applicerar det lägre tjänstekravet $\text{BEP} = 10^{-2}$ på våra simuleringsresultat får vi en reduktion av skyddsavståndet till någon eller några km då vi betraktar medelpåverkan, se Tabell 5.

I Tabell 6 kan vi se motsvarande skyddsavstånd för DVB-T2. För DVB-T2 påverkar inte utombandsegenskaperna nämnvärt resultatet. Det beror på att DVB-T2 använder en mycket kraftfull felrättande kod, vilket gör att prestanda för systemet får ett starkt tröskelbeteende. Den effektiva koden kan i många fall korrigera fel orsakade av störningen. I fallet för DVB-T2 resulterar det i ungefärligen lika stora skyddsavstånd även om störning orsakats av de militära systemens utombandsegenskaper. Vi kan se också att för DVB-T2-systemet är skyddsavståndet relativt lika oavsett om man studerar momentan påverkan eller om man betraktar medelpåverkan.

Som jämförelse mellan DAB och DVB-T2 skapar en störningssignal med bandbredden 25 kHz utstörning över en mindre andel av DVB-T2:s frekvensband på 7 MHz än för DAB-systemet med ett frekvensutnyttjande på 1.5 MHz. Dessutom har DVB-T2 en kraftfullare felkorrigering än DAB, samtidigt som tjänstekraven för DVB-T2 är mycket stränga.

Tabell 6 Skyddsavstånd för HQII och Saturn i markscenariot för DVB-T2.

DVB-T2		Skyddsavstånd [km]			
		V21 CNR=20.5 dB	V21 CNR=22.3 dB	V22 CNR=23.3 dB	V22 CNR=24.9 dB
Momentan påverkan	Med sidoband	19	16.6	16.6	14.7
	Utan sidoband	18.6	16.4	16.2	14.5
Medel- påverkan	Med sidoband	19	16.7	16.6	14.7
	Utan sidoband	18.6	16.4	16.2	14.6

Tabell 7 Skyddsavstånd för Marlin (25 kHz och 500 kHz) i markscenariot för DAB.

DAB		Skyddsavstånd [km]			
		SNR=8.5 dB	SNR=10.5 dB	SNR=12.5 dB	SNR=14.5 dB
Marlin 25 kHz Påverkan	Med sidoband	48	25	22	19
	Utan sidoband	48	-	-	-
Marlin 500 kHz Påverkan	Utan sidoband	75	42	35	30

Tabell 8 Skyddsavstånd för Marlin (25 kHz och 500 kHz) i markscenariot för DVB-T2.

DVB-T2		Skyddsavstånd [km]			
		V21 CNR=20.5 dB	V21 CNR=22.3 dB	V22 CNR=23.3 dB	V22 CNR=24.9 dB
Marlin 25 kHz Påverkan	Med sidoband	24.7	21.6	21.6	19
	Utan sidoband	24.2	21.3	21	18.9
Marlin 500 kHz Påverkan	Utan sidoband	24.6	20.6	21.3	18

För Marlin-systemet med bandbredden 500 kHz har vi ingen information om systemets utombandsegenskaper. Vi har därför bestämt skyddsavstånden för Marlin utan att ta hänsyn till utombandsegenskaperna. Redan utan att ta hänsyn till utombandsegenskaper får vi relativt höga skyddsavstånd. För DAB-systemet kan vi anta att skyddsavstånd ökar ytterligare då utombandsegenskaperna vägs in. Däremot har vi sett att resultaten för DVB-

T2-systemet inte påverkas särskilt av utombandsegenskaperna för HQII och Saturn (se Tabell 6), varför vi kan anta att skyddsavståndet blir ungefärliga lika som då de inte räknas med.

Sammanfattning av skyddsavstånd för markscenariot:

DAB

- 15 – 37 km (värsta fall), 8-30 km (medel) för HQII och Saturn,
- 19 – 48 km, för Marlin 25 kHz,
- 30 – 75 km, för Marlin 500 kHz

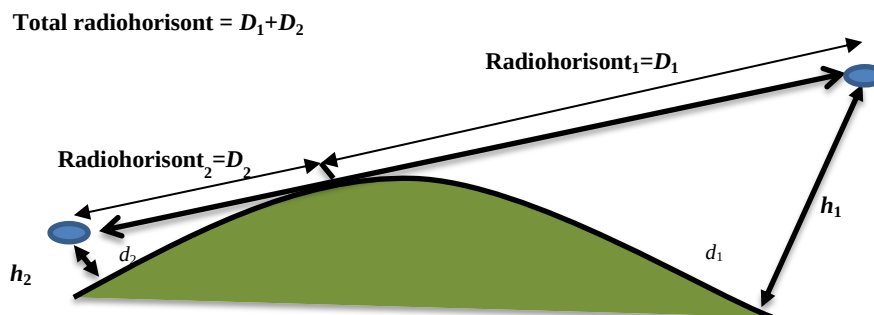
DVB-T2

- 14-19 km (värsta fall och medel) för HQII och Saturn,
- 18 – 25 km, för Marlin 25 och 500 kHz

4.2.2 Luftscenario

I luftscenariot kommer vi att erhålla relativt stora skyddsavstånd, eftersom störningssignalen inte dämpas lika starkt med avståndet som för markscenariot. Det finns dock en begränsande faktor. För långa avstånd kommer jordens yta att utgöra ett hinder för direktstrålen pga jordens krökning. Det möjliga line-of-sight (LOS)-avståndet (benämns ofta som radiohorisonten) beräknas ungefärligen som $2\sqrt{2R_e h}$, där R_e är effektiva jordradien på ca 8500 km och h höjden över marken. Detta gäller då den totala höjden för sändare och mottagare är lika, d.v.s. när $h_1=h_2$, se Figur 6. I fallet med olika höjder ($h_1 \neq h_2$) beräknas den totala radiohorisonten genom att summera avstånden för respektive radiohorisont som $D_1 + D_2 = \sqrt{2R_e h_1} + \sqrt{2R_e h_2}$.

Den totala radoräckvidden d , vilket är avståndet mellan sändare och mottagare på marken, beräknas genom att räkna om den totala radiohorisonten med följande uttryck (för fallet $h_1=h_2$), $d \approx 2 \cdot \alpha \cdot 2R_e$, där α är vinkeln i en cirkelsektor vilken i radianer beräknas som $\alpha = \sin^{-1} \left(\frac{\sqrt{2R_e h}}{2R_e + h} \right)$. För fallet med olika höjder beräknas vinkeln α för respektive höjd $\alpha_1 + \alpha_2 = \sin^{-1} \left(\frac{\sqrt{2R_e h_1}}{2R_e + h_1} \right) + \sin^{-1} \left(\frac{\sqrt{2R_e h_2}}{2R_e + h_2} \right)$ och den totala radoräckvidden blir $d=d_1+d_2$.



Figur 6 Exempel på radoräckvidd för ett radiosystem där terminalerna är placerade i en markstation och på flygande plattform. Höjderna h_1 och h_2 är de totala höjderna över marken för den flygande plattformen respektive markstationen.

Tabell 9 Avstånden i luftscenarierna är begränsade av line-of-sight (LOS)-avståndet. Mottagande antennhöjd h_2 (mottagande antenn) antas vara 3 meter.

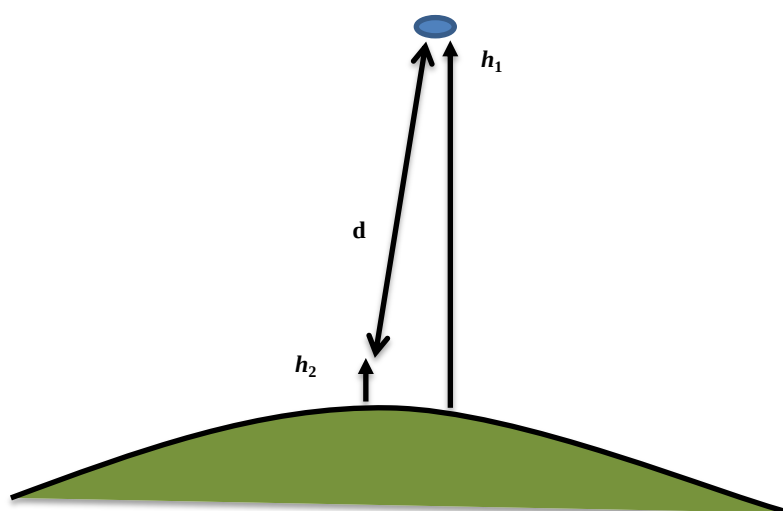
Flyghöjd [m]	LOS- avstånd [km]	Skillnad mellan LOS- och markavståndet [m]
1000	138	10
3000	233	30
8000	376	145
10000	419	200
20000	590	600

I Tabell 9 visas möjliga LOS-avstånd för olika flyghöjder och beräknad skillnad mellan LOS-avståndet och avståndet på marken. Resultatet visar att för scenariot i Figur 6 kan vi använda LOS-avståndet eftersom skillnaden är marginell. För en flyghöjd på 10000 m (flyghöjder över 10000 m är ovanligt) får vi ett LOS-avstånd på ungefärligen 400 km, vilket kan ses som en övre gräns på möjligt kommunikationsavstånd.

I ett scenario då sändande system befinner sig rakt över mottagande system, se Figur 7, är inte LOS-avståndet begränsande utan avståndet bestäms av flyghöjden.

I Tabell 10 redovisas skyddsavstånden för HQII och Saturn i ett luftscenario för DAB. Vi kan se att flera av skyddsavstånden är runt 1000 km eller större. Dessa kan i praktiken inte uppstå eftersom jordens krökning inte tillåter så stora kommunikationsavstånd. Det betyder att en flygande plattform, som befinner sig på 1000 km från radio- eller TV-mottagaren, kan teoretiskt effektmässigt nå fram till radio- eller TV-mottagaren, men eftersom sådana avstånd inte är möjliga i praktiken bestäms skyddsavstånden i tabellerna till LOS-avståndet.

Eftersom vi i våra beräkningar inte utgår från en bestämd flyghöjd kan vi heller inte sätta ett definitivt värde på LOS-avståndet och därmed inte ge ett bestämt värde på skyddsavstånden. Dock vet vi att typiska flyghöjder är runt 8000 m, medan flyghöjder



Figur 7 Exempel när radoräckvidden inte begränsas av radiohorisonten. Höjderna h_1 och h_2 är de totala höjderna över marken.

över 10000 m är ovanliga. Vi använder därför ett LOS-avstånd på 400 km, för 10000 m flyghöjd, som en övre gräns. Alla skyddsavstånd större än 400 km ansätts därför till 400 km. För DAB, då vi betraktar medelpåverkan, redovisas skyddsavstånd lägre än 400 km för de högre SNR-värdena ($\text{SNR}=10.5$ dB samt för $\text{SNR}=14.5$). För övriga fall sätts skyddsavståndet till 400 km. För DVB-T2, se Tabell 11, är alla framtagna skyddsavstånd längre än LOS-avståndet på 400 km och därför ansätts samtliga skyddsavstånd till LOS-avståndet 400 km för DVB-T2.

Så pass stora skyddsavstånd som 400 km ökar risken för att flera militära nät finns inom skyddsområdet och därmed ökar även risken för att de civila systemen påverkas. För att förtydliga detta visas ett exempel i Figur 8 på en karta över södra Sverige och norra Europa. I bilden är en cirkel med 400 km radie inlagd. Bilden visar att det är mycket troligt att även andra nationers Nato-system, som används på flygande plattformar, kan komma att påverka DAB- och DVB-T2-mottagare i Sverige. Eftersom skyddsområdet är mycket stort är det rimligt att tro att flera militära nät är aktiva samtidigt i området. För ett militärt flygplan av typen JAS, som har hastigheten 800 km/h, tar det som längst 1 timme att passera området (800 km då radien är 400 km) och med hastigheten 2000 km/h tar genomflygningen som längst 25 min. Det betyder att även vid genomflygning av området kommer det militära nätet att befinna sig inom området under relativt lång tid. Det finns även exempel på andra fall där flygplan kan befinna sig längre tid inom området. Exempel på sådana fall är operationer, skarpa eller av övningskaraktär, som helt sker inom området samt vid lufttankning av stridsflygplan, där hastigheten är väsentligt lägre än vid normal flygning. Det är därför troligt att flera nät kommer att vara närvarande i luftscenariot vilket innebär att systemen kan utsättas för störning under en längre tidsperiod.

Utifrån ovanstående resonemang går det att dra slutsatsen att för DVB-T2 kan det bli svårt att uppfylla det stränga tjänstekravet på max en felhändelse per timme TV-sändning.

I tabellerna med skyddsavstånd har även resultat med två och tre militära nät lagts in. Vi kan se att skyddsavstånden ökar något för DAB med ett ökat antal störande militära nät. Däremot påverkas inte skyddsavståndet för DVB-T2. Återigen är detta ett resultat av DVB-T2:s starka tröskelbeteende. Redovisade skyddsavstånd tas fram från BEP-simuleringar med avseende på SIR. Eftersom DVB-T2 använder LDPC-kod sker växlingen mellan ett högt BEP och lågt BEP med en mycket liten skillnad i SIR, t.ex. en skillnad på 0.5 dB i SIR kan medföra att BEP ändras från 10^{-1} till 10^{-5} .



Figur 8 Exempel på en radie på 400 km lagd i södra Sverige.

Tabell 10 Skyddsavstånd för HQII och Saturn i luftscenariot med 1-3 nät för DAB.

DAB		Skyddsavstånd [km]			
		SNR=8.5 dB	SNR=10.5 dB	SNR=12.5 dB	SNR=14.5 dB
Momentan påverkan	Med sidoband	3000 ^{*)}	870 ^{*)}	600 ^{*)}	500 ^{*)}
	Utan sidoband	3000 ^{*)}	-	-	-
Medel-påverkan, 1 nät	Med sidoband	1500 ^{*)}	400	200	150
	Utan sidoband	-	-	-	-
Medel-påverkan, 2 nät	Med sidoband	1500 ^{*)}	500 ^{*)}	300	280
	Utan sidoband	-	-	-	-
Medel-påverkan, 3 nät	Med sidoband	1500 ^{*)}	520 ^{*)}	320	300
	Utan sidoband	-	-	-	-

^{*)} I praktiken blir skyddsavståndet max 400 km p.g.a. radiohorisonten, se diskussionen i inledningen av avsnittet *luftscenariot*.

Tabell 11 Skyddsavstånd för HQII och Saturn i luftscenariot med 1-3 nät för DVB-T2.

DVB-T2		Skyddsavstånd [km] ^{*)}			
		V21 CNR=20.5 dB	V21 CNR=22.3 dB	V22 CNR=23.3 dB	V22 CNR=24.9 dB
Momentan påverkan	Med sidoband	11600	5800	12800	6500
	Utan sidoband	7800	4700	8700	5500
Medel-påverkan, 1 nät	Med sidoband	11600	5800	12800	6500
	Utan sidoband	7800	4700	8700	5500
Medel-påverkan, 2 nät	Med sidoband	11600	5800	12800	6500
	Utan sidoband	7800	4700	8700	5500
Medel-påverkan, 3 nät	Med sidoband	11600	5800	12800	6500
	Utan sidoband	7800	4700	8700	5500

^{*)} Då samtliga skyddsavstånd är längre än 400 km, som utgör radiohorisonten vid flyghöjden 10000 m, ansätts 400 km som skyddsavstånd.

På samma sätt som tidigare blir skyddsavståndet för DAB avsevärt kortare om det mildare tjänstekravet på $BEP=10^{-2}$ används; skyddsavstånden då vi betraktar medelpåverkan reduceras till endast några km, se Tabell 12. Detta är en följd av att störningssignalens karaktär, som gör att BEP-kurvan får ett flackt beteende för höga felhalter, se exempelvis den vänstra delen av Figur 16. Det innebär i praktiken att det är en stor skillnad i störeffekt för att orsaka $BEP = 10^{-2}$ mot $BEP = 5 \cdot 10^{-5}$, vilket får stora konsekvenser på

Tabell 12 Skyddsavstånd för HQII och Saturn i luftscenariot med 1 nät för DAB, med ett tjänstekrav på $BEP = 10^{-2}$.

DAB		Skyddsavstånd [km] för $BEP=10^{-2}$			
		SNR=8.5 dB	SNR=10.5 dB	SNR=12.5 dB	SNR=14.5 dB
Momentan påverkan	Med sidoband	670 ^{*)}	280	150	100
	Utan sidoband	-	-	-	-
Medel-påverkan, 1 nät	Med sidoband	5	4	4	3.5
	Utan sidoband	-	-	-	-

^{*)} I praktiken blir skyddsavståndet max 400 km p.g.a. radiohorisonten, se diskussionen i inledningen av avsnittet *luftscenariot*.

skyddsavstånden. Då utombandsegenskaperna försummas får vi ingen påverkan och behöver inga skyddsavstånd.

Slutligen är det värt att nämna hur framtagna säkerhetsavstånd påverkas om vi byter ut använda värden på radiosystemparametrarna till andra värden.

I markscenariot kan det vara aktuellt med högre antennvinster, antennhöjder och sändareffekt än vad som antagits i simuleringarna (se 7.3 för använda parametervärden). Högre värden på antennvinster, antennhöjder och sändareffekt för de militära systemen gör att påverkan på de civila systemen ökar vilket ger större skyddsavstånd. En ökning av sändarens antennvinst eller uteffekt med 10 dB skulle innebära att skyddsavståndet för markscenariot ökar med ungefär 78 %. En dubbling av antennhöjden ger en ökning med 40 %. Parameterändringen påverkar skyddsavstånden för både DAB och DVB-T2.

Motsvarande för luftscenariot är en ökning av skyddsavståndet med ca 200 %. En ökning av antennhöjden påverkar inte skyddsavståndet för luftscenariot eftersom fri rymd används för att beräkna transmissionsförlust. För luftscenariot påverkas bara skyddsavstånden för DAB av ökningen av radioparametrarna, eftersom några av resultaten är kortare än LOS-avståndet på 400 km.

Användargraden, d.v.s. andelen tid som det militära systemet ligger i sändningsmod och därmed utgör störning, har vi antagit är lika med ett. En lägre användningsgrad minskar påverkan något och påverkar skyddsavstånden. En användargrad på 1/10 ger en minskning av skyddsavståndet med några km i markscenariot. I luftscenariot erhålls en stor minskning, men eftersom skyddsavstånden i många fall är mycket längre än LOS-avstånden, fås ändå skyddsavstånd i storleksordningen som LOS-avståndet.

Sammanfattning av skyddsavstånd för luftscenariot:

DAB:

- Ungefärligen aktuellt LOS-avstånd (värsta fall), 150 km - aktuellt LOS-avstånd (medel) för HQII och Saturn

DVB-T2:

- Aktuellt LOS-avstånd, 400 km, för HQII och Saturn

5 Slutsatser och diskussion

5.1.1 Sammanfattning av skyddsavstånd

I arbetet har skyddsavstånd tagits fram för att säkerställa att DAB- och DVB-T2-mottagare inte ska störas av de militära systemen HQII, Saturn eller Marlin. De angivna skyddsavstånden är ungefärliga avstånd för hur långt från DAB- och DVB-T2-mottagare de militära systemen måste placeras. De fall som ansetts vara av betydelse att analyseras är då en HQII, Saturn eller Marlin-sändare är placerad i en mast vid en markstation, det s.k. markscenariot, samt då en HQII- eller Saturn-sändare är placerad på ett stridsflygplan, det s.k. luftscenariot. Telekonflikter då de militära systemen är placerade på ett fartyg har inte tagits med i analysen, då detta fall har bedömts ge mindre påverkan än när systemen är placerade på en markstation på land. Antennsystemet för DAB-och DVB-T2-mottagarna är typiskt placerade på hustak. DAB-mottagare kan dessutom vara placerade i fordon med antenn på taket.

Resultaten pekar på relativt stora skyddsavstånd för markscenarierna och mycket stora skyddsavstånd i luftscenarierna.

Sammanfattning av skyddsavstånd

DAB

- **Markscenario:**

- 15 – 37 km (värsta fall), 8-30 km (medel) för HQII och Saturn,
- 19 – 48 km, för Marlin 25 kHz,
- 30 – 75 km, för Marlin 500 kHz,

- **Luftscenario:** Ungefärligen aktuellt LOS-avstånd (värsta fall), 150 km - aktuellt LOS-avstånd (medel) för HQII och Saturn,

DVB-T2

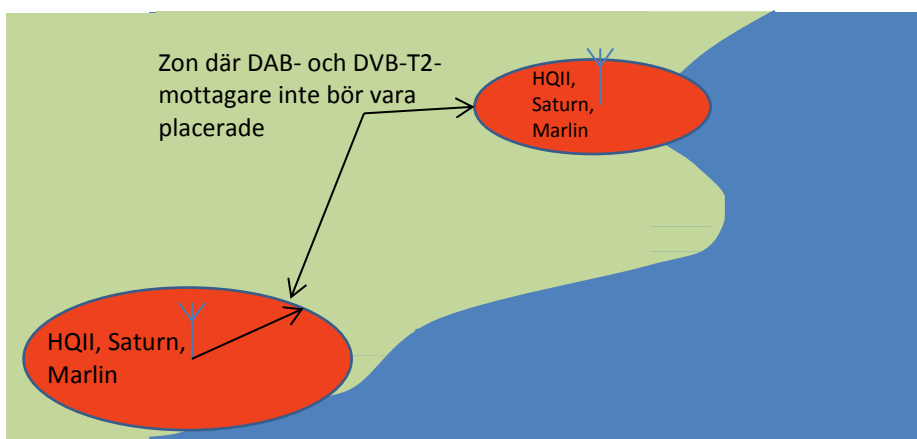
- **Markscenario:**

- 14-19 km (värsta fall och medel) för HQII och Saturn
- 18 – 25 km, för Marlin 25 och 500 kHz

- **Luftscenario:** Aktuellt LOS-avstånd för HQII och Saturn

Skyddsavståndet som benämns värsta fall utgör det skyddsavstånd som erhålls då det militära systemet använder en frekvens som ligger inom det civila systemets bandbredd. Värsta-falls-påverkan sker för HQII ungefärligen under 0.45 s medan det för Saturn pågår under 0.55 ms. Det är samtidigt viktigt att även bestämma medelpåverkan på DAB- och DVB-T2-systemet, vilket innebär att påverkan då det FH-systemets frekvensanvändande sammanfaller med de civila systemens frekvensband, viktas med påverkan vi får då de använda frekvenserna inte sammanfaller. Den viktade påverkan benämns här som medelpåverkan.

I luftscenarierna är LOS-avståndet gränssättande för skyddsavståndet. Det innebär att mycket stora skyddsavstånd erhålls. LOS-avståndet kan typiskt vara upp mot 400 km för en flyghöjd på 10 km. En skyddszon med radien 400 km gör att närliggande nationers nät kan komma att påverka DAB- och DVB-T2-mottagare i Sverige. Storleken på skyddszonen gör att det är troligt att ett stort antal flygplan kan finnas i området samtidigt, vilket ökar störningsrisken. Typiska flyghastigheter gör att en genomflygning av zonen innebär störningspåverkan under 25 min till 1 timme.



Figur 9 Illustration över hur skyddszoner kan användas.

I markscenarierna kan skyddsavstånden som identifierats användas för att definiera zoner kring de militära systemens placeringar, se Figur 9. Inom en sådan zon kan man inte garantera att DAB- och DVB-T2-mottagningen fungerar tillfredsställande.

Telekonflikter som uppstår i luftscenariot uppträder enbart då sändning sker från flygplan som befinner sig inom skyddszonen. Dessa är svåra att förutse och det går heller inte att planera bort störningar från dessa ur DAB- och DVB-T2-systemets perspektiv. I markscenariot är störningsbeteendet mer förutsägbart eftersom störningskällorna finns på bestämda positioner. För dessa finns möjligheten att minska telekonflikterna genom att planera och definiera skyddszoner där DAB- och DVB-T2-mottagare inte bör finnas eller där användarna åtminstone bör vara medvetna om att mottagningen kan bli utstörd eller negativt påverkad. För att inte få försämrade mottagningar rekommenderas därför skyddszoner runt HQII- och Saturn-sändare på 10 km för DAB (motsvarar ett genomsnittligt initialt SNR=12.5 dB) och 17 km för DVB-T2 (motsvarar ett genomsnittligt CNR= 22.3 dB för V21). För Marlin med 25 och 500 kHz-bandbredd rekommenderas ett skyddsavstånd på 22 respektive 35 km för DAB-systemet samt 20 km för DVB-T2 (gäller för både 25 och 500 kHz-alternativet).

Skyddsavstånden som redovisas är beräknade för att säkerställa att tjänstekraven som specificerats av ETSI upprätthålls. Både för DAB och för DVB-T2 är dessa relativt hårda. I ett äldre arbete, [NEMCA], används ett tjänstekrav på $BEP=10^{-2}$ för DAB, vilket är avsevärt mindre restriktivt än det som definierats av ETSI. Kravet i [NEMCA] motsvarar en nivå då hörbara fel inträffar och då systemet är nära att tappa synkronisering. Överföring av ljud har en glidande skala på vad som är acceptabel felhalt. Hörbara fel kan i vissa fall anses som en rimlig gräns medan det i andra fall är av stor betydelse att ljudkvaliteten är mycket god, vilket kräver en avsevärt lägre felhalt. I arbetet har vi inkluderat skyddsavstånd för det mildare tjänstekravet, men drar slutsatser baserat på ETSIs tjänstekrav, som är strängare.

Ovanstående resultat är uppskattningar och bygger på moderata antaganden om sändareffekter, antennhöjder, antennvinster, vilka skulle kunna antas vara högre. Samtidigt har vi antagit att användargraden är hög. En lägre användningsgrad minskar påverkan och kan påverka skyddsavstånden med några km i markscenariot. I luftscenariot erhålls en stor minskning, men eftersom skyddsavstånden i många fall är mycket längre än LOS-avstånden, fås ändå skyddsavstånd i storleksordningen som LOS-avståndet när ETSI-kraven används.

5.1.2 Kommentarer

Det har visat sig att utombandsegenskaperna får stor betydelse för DAB-systemet. Beräkningar är även gjorda då utombandsegenskaperna försummas vilket motsvarar fallet då det militära systemet har mycket goda utombandsegenskaper eller då ett bra FH-filter används. Däremot för DVB-T2 är påverkan redan stor utan hänsyn tagen till utombandsegenskaper och då dessa vägs in påverkas inte resultatet nämnvärt.

Ett DAB-system använder systembandbredden 1.5 MHz och DVB-T2 7 MHz. Det innebär att de militära systemen stör på en större andel av DAB-signalen än vad som sker för DVB-T2-signalen. Resultaten visar att för DAB-fallet är det viktigt att ha goda utombandsegenskaper på de militära systemen för att DAB-systemet situationen ska bli så bra som möjligt.

När det gäller DVB-T2 anges ett mycket högt krav på prestanda för systemet. Det får maximalt ske en felhändelse per timme TV-sändning, vilket kommer att bli mycket kritiskt att uppfylla speciellt i luftscenariot då flygplan kan befinna sig inom skyddszonen under långa perioder.

5.2 Förslag på fortsatt arbete

Eftersom kriterierna som används för att beräkna störningspåverkan på DAB och DVB-T2 är helt avgörande för i vilken storleksordning skyddsavstånden blir är det mycket viktigt att inför beslut om eventuella restriktionsområden noga fastställa vilka kriterier som ska användas. I det här arbetet har tjänstekrav definierade av ETSI använts. Dessa krav är betydligt strängare än det krav som använts i ett tidigare arbete inom Nato för DAB och redovisas i [NEMCA]. Det betyder att de skyddsavstånd som redovisas i den här rapporten är betydligt längre än de som redovisas i [NEMCA]. Därför föreslås att en utökad telekonfliktanalys utförs och då med andra kriterier som grund för att ta fram nya skyddsavstånd. Dessutom är det intressant att analysera fler scenarier men även ändra systemparametrar som exempelvis de militära systemens utombandsegenskaper.

6 Referenser

- [SOU 2012:59] ”Nya villkor för public service”, Statens offentliga utredningar (SOU), 11 september 2012.
- [DRA] K. Scargill, The impact of interference from military communications upon proposed emergency service radio systems operating in the 380-400 MHz band Volume 1 –main report, DRA, DRA/CIS/CSC1/TN94014/1, 1995.
- [PTS] PTS, ”Den svenska Frekvensplanen”, från <http://www.pts.se/>.
- [DVB-T/DVB-T2] www.dvb.org.
- [DVB-T2] DVB-T2: The Common Simulation Platform, BBC R&D White Paper 196, hämtas från <http://downloads.bbc.co.uk/rd/pubs/whp/whp-pdf-files/WHP196.pdf>.
- [EN 300 401] ETSI EN 300 401 v1.4.1, Radio Broadcasting Systems; Digital Audio Broadcasting (DAB) to mobile; portable and fixed receivers, June 2006.
- [EN 302 755] ETSI EN 302 755 v1.3.1, ”Digital Video Broadcasting (DVB); Frame structure channel coding and modulation for a second generation digital terrestrial television broadcasting system (DVB-T2)”, April 2012.
- [EN 300 744] ETSI EN 300 744 v1.6.1, ”Digital Video Broadcasting (DVB); Framing structure, channel coding and modulation for digital terrestrial television”, January 2009.
- [TR 101 758] ETSI TR 101 758 V2.1.1 (2000-11), Digital Audio Broadcasting (DAB); Signal strengths and receiver parameters; Targets for typical operation, 2000.
- [TR 021] TR 021, Technical bases for T-DAB services network planning and compatibility with existing broadcasting services, Operating Eurovision and Euroradio, Geneva, Oct. 2013.
- [STD 461] Requirements for the control of electromagnetic interference characteristics of subsystems and equipment. MIL-STD-461F, 2007.
- [EBU Tech 3348] EBU, Tech 3348, ”Frequency and network planning aspects of DVB-T2”, Status report version 3.0, Geneva, November 2013.
- [Teracom] www.teracom.se.
- [STANAG 4246] NATO STANAG 4246: HAVE QUICK UHF SECURE AND JAM-RESISTANT COMMUNICATIONS EQUIPMENT, 5 Mars 2009.
- [STANAG 4372] NATO STANAG 4372: SATURN - A FAST FREQUENCY HOPPING ECCM MODE FOR UHF RADIO, 16 Dec. 2008.
- [STANAG 4691] 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, mars 2013.
- [NEMCA] NEMCA Project 9 phase II final report, Note AC/322(SC/3-WG/3)N/6, Nato frequency management sub-committee technical working group, Nato C3 board, Juni 1998.

7 Appendix

Appendix beskriver detaljerad information om radioparametrar som används vid simulering av DAB- och DVB-T2-systemet, samt formler och resultat från simuleringarna i form av bitfelshalt som funktion av signal-brus-förhållandet och signal-interferens-förhållandet. Resultaten har sedan räknats om som funktion av avstånd mellan sändare och mottagare. Signal-brus-förhållandet definieras för DVB-T2 som signaleffekten hos den mottagna DVB-T2-signalen i relation till den bruseffekt som finns i DVB-mottagaren utan att en telekonflikt är närvarande och betecknas som CNR (carrier-to-noise ratio). Storleken på telekonflikten beskrivs i signal-interferens-förhållandet (SIR), som är kvoten mellan signaleffekt och störningseffekt orsakad av telekonflikten från det militära systemet. För DAB används istället signal-brus-förhållandet E_b/N_0 , som är relationen mellan DAB-signalens bitenergi och den enkelsidiga spektraltätheten för det termiska bruset.

7.1 Modellering av DVB-T2

Teracom anger i sin kanal- och modplan att moderna V21 och V22 används i band frekvensblock III (VHF). Tabell 13 visar parametrar för V21 och V22 [Teracom].

Tabell 13 Använda parametrar för DVB-T2 V21 respektive V22.

System, mod	DVB-T2 V21, VHF III	DVB-T2 V22, VHF III
Bandbredd	7 MHz	7 MHz
T2 version	1.1.1	1.1.1
L1 modulation	64 QAM	64 QAM
Utökat antal bärvågor	Nej	Nej
FFT-storlek	32 k (2^{15} sampel FFT)	32 k (2^{15} sampel FFT)
Skyddsintervall	19/256	1/8
Pilotmönster	PP4	PP2
Antal T2-ramar	2	2
Lf, antal OFDM-symboler i T2-ram	42	22
PLP mode	HEM ²	HEM
En/flera PLP	1	1
PLP modulation	256-QAM	256-QAM
Roterade konstellationspunkter	Ja	Ja
Felrättande kod (inre och yttre kod)	64k LDPC, BCH	64k LDPC, BCH
Kodtakt (LDPC-koden)	2/3	3/4
Interleaving i tid (vald typ)	0	0
Interleavingsdjup	3	3

² HEM High efficiency mode (använder den högre modulationsmetoden).

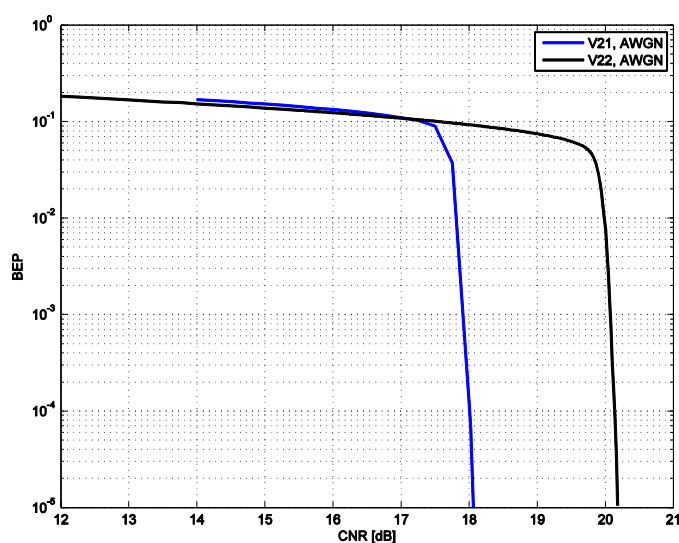
ISSY ³	Nej	Nej
Skyddsintervall i tid, TG	304 μ s	512 μ s
Data, TU	4.096 ms	4.096 ms
Antal underbärvågor	27265	27265
Bandbredd per underbärvåg, 1/TU	~244 Hz	~244 Hz
Total signalbandbredd	6.66 MHz	6.66 MHz
OFDM-symbol, TS=TU+TG	4.4 ms	4.608 ms
Effektiv dataakt	30.81 Mbit/s	31.07 Mbit/s
C/N-krav, BER= 10^{-4} efter LDPC-kod, vid simulering, [dB]	18.0	20.2
Justerat C/N-krav till BER= 10^{-7} efter LDPC, [dB]	18.2	20.4
CNR: på gränsen Justerat C/N-krav, [dB] (map kanal, pilot, fasbrus etc)	18.2+2.3=20.5	20.4+2.9=23.3
CNR: något bättre än gränsen [dB]	22.3	24.9
Brusfaktor [dB]	6	6
Bruseffekt	$1.06 \cdot 10^{-13}$ W, vilket motsvarar -99.7 dBm	$1.06 \cdot 10^{-13}$ W, vilket motsvarar -99.7 dBm

Tabellen visar parametrar som använts i simuleringarna. Dessa kan komma att ändras i framtida implementeringar av DVB-T2, [Teracom] och [EBU Tech 3348].

I tester och simuleringar av DVB-T2-system används kravet BER= 10^{-4} efter LDPC-koden vilket med en korrigering på 0.2 dB motsvarar BER= 10^{-7} . Justerade C/N-värden gäller med hänsyn till pilotsekvens, skillnad mellan simulerad och verklig kanal, andra ofullständigheter som t.ex. fasbrus och kvantiseringsbrus.

DVB-T2-systemet (även DVB-T) kan tolerera en felhändelse per timme TV-sändning för dataakten 5 Mbit/s för en dekoder. Det motsvarar ett paketfel PER < 10^{-7} före demultiplexern och kan omräknas till BER= 10^{-11} efter BCH-koden.

³ ISSY Input stream synchroniser.



Figur 10 BEP för DVB-T2 i moderna V21 och V22 och AWGN.

I figuren ovan visas simulerade BEP för olika CNR i dB för DVB-T2 i moderna V21 och V22 för en AWGN-kanal. När figuren studeras ses ett tydligt tröskelbeteende där en skillnad i 0.5 dB i CNR medför en ändring i BEP från 10^{-1} till 10^{-5} . Tröskelbeteendet beror på att systemet använder en kraftfull felrättande kod, low-density parity-check codes (LDPC).

7.2 Modellering av DAB

DAB-standarden förekommer i fyra alternativa transmissionsmoder för användning i olika frekvensband upp till 3 GHz. Transmissionsmoderna är konstruerade för att hantera den dopplerspridning och tidsspridning som kan förekomma på de olika frekvensbanden vid mobil mottagning. För det aktuella frekvensbandet 174-240 MHz (band III) är det den så kallade Mode I som gäller och de radioparametrar som beskrivs i Tabell 14 [ETSI EN 300 401 v1.4.1] och [TR021].

I standarden finns fem skyddsnivåer specificerade för ljud med kodtakter från $1/3$ till $3/4$. Systemet anammar så kallad unequal error protection (UEP) vilket betyder att viss information har större grad av felkorrigering än annan information. Ofta antas en kodtakt på $1/2$ för att kunna analysera systemet och är det värde vi valt i detta arbete. Kodtakten $1/2$ motsvarar DAB-systemets skyddsnivå nummer 3 och kräver ett SNR = 7.4 dB för att upprätthålla en bitfelshalt på 10^{-4} över en Gauss-kanal.

Tabell 14 Systemparametrar för DAB i det aktuella bandet, band III, mod I

Parameter	T-DAB
OFDM-parametrar	Antalet underbärvågor: 1 536 Frekvensavstånd mellan underbärvågor: 1 kHz Symboltid: 1246 μ s Skyddsintervall: 246 μ s
Kodning (FEC)	Convolutional code, unequal error protection (UEP)
Modulation	D-QPSK
Interleaving	Frekvens och tidsinterleaving
Bandbredd	1.5 MHz
Tjänstekrav	Nivå för oförändrad ljudkvalitet: $BER=5 \cdot 10^{-5}$ Nivå för systemfel: $BER=10^{-2}$
Nödvändigt C/N över Gausskanal	8 dB för $BER=5 \cdot 10^{-5}$ (nivå för oförändrad ljudkvalitet), 6 dB för $BER=10^{-2}$ (nivå för systemfel)
Brusfaktor	7 dB
Bruseffekt	$2.4 \cdot 10^{-14}$ W = -106.1 dBm
Antagande om kodtakt	1/2

7.3 Formler

För att DAB och DVB inte ska bli störda av samlokaliserade system gäller att dessa måste placeras tillräckligt långt bort från i analys störande utrustningar. Med utgångspunkt från givna tjänstekrav för DAB- och DVB-T2-systemet i kombination med simuleringar av radiosystemet där störningssignaler från de militära systemen är medtagna kan krav på skyddsavstånd estimeras.

Resultaten i form av bitfelshalt är till att börja med beräknade som funktion av C/N för DVB-T2 och E_b/N_1 för DAB. Resultaten räknas sedan om som funktion av avstånd till störningskällan. Omvandlingen från störningseffekt till avstånd bygger på hur störningseffekten från störningskällan dämpas fram till mottagaren.

För markscenariot har vi följande relation för hur den mottagna effekten $P_{I,mott}$ från ett sändande system med uteffekten $P_{I,utsänd}$ avtar med avståndet d

$$P_{I,mott} = P_{I,utsänd} \frac{G_{Tx} G_{Rx} h_{Tx}^2 h_{Rx}^2}{d^4} \quad (1)$$

och för luftscenariot

$$P_{I,mott} = P_{I,utsänd} \frac{G_{Tx} G_{Rx} \lambda^2}{(4\pi d)^2} \quad (2)$$

I ovanstående formler har vi även beteckningarna

G_{Tx}, G_{Rx} : antennförstärkning för sändande respektive mottagande antenn

h_{Tx}, h_{Rx} : antennhöjder för sändare respektive mottagare

λ : våglängd hos signalen ($\lambda = c/f$, där f är signalens frekvens och c är ljushastigheten)

Vi vill nu avgöra för vilka avstånd HQII, Saturn och Marlin kan bli kritisk för DAB och DVB-T2. Ovanstående formler kan för markscenariot skrivas om enligt

$$d = \left(\frac{P_{I,utsänd} G_{Tx} G_{Rx} h_{Tx}^2 h_{Rx}^2}{P_{I,mott}} \right)^{1/4} = \left(\frac{SIR G_{Tx} G_{Rx} h_{Tx}^2 h_{Rx}^2}{P_S} \right)^{1/4}, \quad (3)$$

Där vi har utnyttjat att $SIR = P_S / P_{I,mott}$, där P_S är mottagen effekt.

I luftscenariot får vi istället

$$d = \left(\frac{P_{I,utsänd} G_{Tx} G_{Rx} \lambda^2}{P_{I,mott} (4\pi)^2} \right)^{1/2} = \left(\frac{SIR P_{I,utsänd} G_{Tx} G_{Rx} \lambda^2}{P_S (4\pi)^2} \right)^{1/2}. \quad (4)$$

I simuleringarna har vi typiskt antagit en sändareffekt på 20 W för HQII och för Saturn. Om vi istället har en tre gånger så hög sändareffekt mot i ursprungsfallet, vilket är fallet med Marlin-systemet, kommer vi att erhålla det nya skyddsavståndet som $d_{Marlin} = (3)^{1/4} d = 1.31d$ i markscenariot, d.v.s. en ökning av sändareffekten från 20 W till 60 W medför att skyddsavståndet blir 31 % längre. I Tabell 15 anges de parametervärden som antas i simuleringarna.

Tabell 15 Antagna parametervärden vid simuleringarna

Parametrar	Värde
Våglängd λ	$3 \cdot 10^8 / 225 \cdot 10^6$ m
Sändarhöjd h_{Tx}	15 m
Mottagarhöjd h_{Rx}	3 m
Antennförstärkning G_{Rx}, G_{Tx}	1 ggr
Sändareffekt $P_{I,utsänd}$	20 W för HQII och Saturn 60 W för Marlin ⁴
Mottagen effekt in i mottagaren $P_{I,mott}$	DAB -97.7 dBm, motsvarar C/N=8.5 dB -95.7 dBm, motsvarar C/N=10.5 dB -93.7 dBm, motsvarar C/N=12.5 dB -91.7 dBm motsvarar C/N=14.5 dB DVB-T2: Mod V21 -79.2 dBm vilket motsvarar C/N=20.5 dB -77.4 dBm vilket motsvarar C/N =22.3 dB DVB-T2: Mod V22 -76.4 dBm motsvarar C/N=23.3 dB -74.8 dBm vilket motsvarar C/N=24.9 dB

⁴ Information om sändareffekten på 60 W är hämtad från Rockwell Collins hemsida, där ses beskrivning av systemet SNC-2050 SubNet Relay Controller.

Tabell 16 Sannolikheten att DAB och DVB-T2 är störd av 1-3 HQII eller Saturn-nät

	Pr(störd av FH-system)	
	DAB	DVB-T2
1 HQII/Saturn-nät	1.5/175 = 0.0086	5/175=0.0286
2 HQII/Saturn-nät	2*0.0086	2*0.0286
3 HQII/Saturn-nät	3*0.0086	3*0.0286

Ett FH-system kommer momentant att resultera i en relativt hög felhalt då FH-systemet ligger på samma frekvens som DAB/DVB-T2. För att göra en rättvis bedömning har medelbitfelshalten $P_{average}$ som

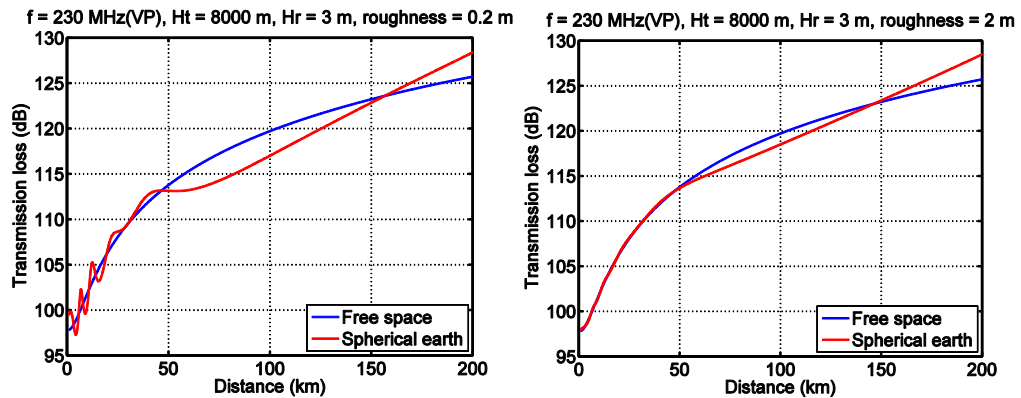
$$P_{average} = \text{Pr(störd av FH-system)}P_{b,FH} + \text{Pr(ej störd av FH-system)}P_{b,utanFH},$$

där $P_{b,FH}$ och $P_{b,utanFH}$ betecknar den bitfelshalt som erhålls när det FH-systemet finns inom DAB- eller DVB-T2-systemets bandbredd respektive när det inte finns där. Fortsättningsvis är $\text{Pr(störd av FH-system)}$ sannolikheten att FH-systemet finns inom DAB- eller DVB-T2-systemets bandbredd och $\text{Pr(ej störd av FH-system)}$ är sannolikheten att den inte finns inom DAB- eller DVB-T2-systemets bandbredd. Det betyder att

$\text{Pr(ej störd av FH-system)} = 1 - \text{Pr(störd av FH-system)}$. I Tabell 16 anges sannolikheten att systemen är störda av ett eller flera HQII eller Saturn-system.

7.4 Resultat kanalmodell för luftscenariot

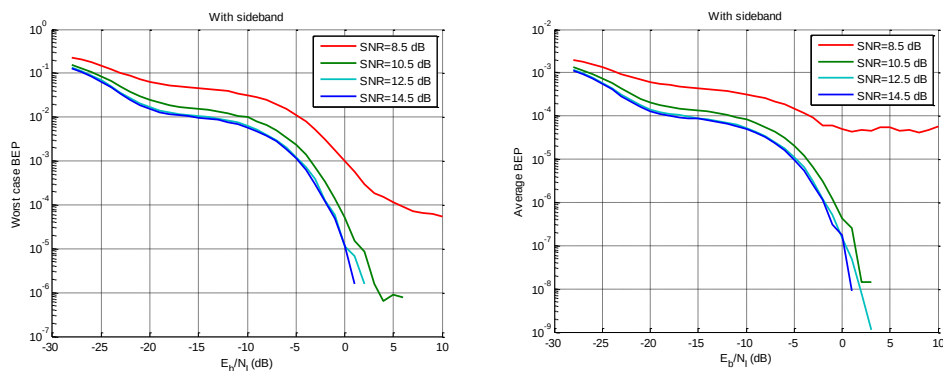
I luftscenariot antas att utbredningsdämpningen av nyttosignalen mellan sändare och mottagare är av typen fri-rymd, d.v.s. att nyttosignalens effekt avtar med $1/r^2$ där r är avståndet från sändaren. För att visa att detta är ett fullt rimligt antagande jämförs framräknade resultat med fri-rymdmodellen och med två-strålemodellen, för samma avstånd r . Den använda två-strålemodellen tar hänsyn till sfäriskt jord och den skrovlighet, som kan påverka den markreflekteradekomponenten. I jämförelsen används en sändarhöjd på 8000 m och mottagarhöjd på 3m samt frekvensen 230 MHz. Den reflekterade utbredningsvägen i två-strålemodellen påverkas av ytans skrovlighet och därför jämförs resultaten för skrovligheten 0.2 m och 2 m. Det högre värdet betyder att ytan är mer skrovlig, vilket leder till att mottagen effekt hos den reflekterade utbredningsvägens minskar. Resultaten för de två fallen visas i Figur 11. När figuren studeras ses att skrovlighetens inverkan på transmissionsförlusten påverkar mest för avstånd kortare än 50 km samt ger några dB skillnad för avstånd mellan 50 -150 km. För avstånd längre än 150 km divergerar resultaten mellan modellerna något och resultaten med fri-rymd ligger något lägre än med två-strålemodellen. Dock har tidigare beräkningar med modellerna visat att skillnaden som högst är 6 dB och därför anses resultatet med modellen fri-rymd fortfarande vara lämplig även för avstånd längre än 150 km.



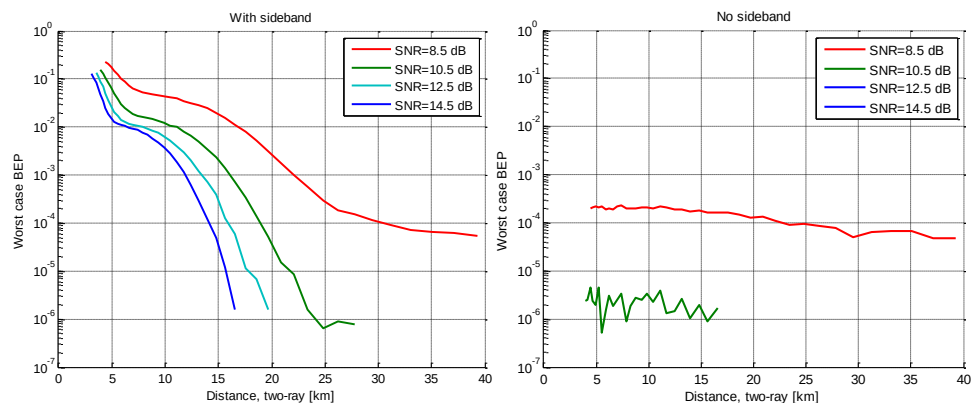
Figur 11 Beräknad transmissionsförlust med modellerna fri-rymd och två-strålemodellen för 230 MHz med sändar- respektive mottagarhöjden på 8000 m och 3m. I figuren till vänster har ytans skrovlighet satts till värdet 0.2 m, ungefärligt värde för gräs, och till höger till 2 m.

7.5 Detaljerade resultat

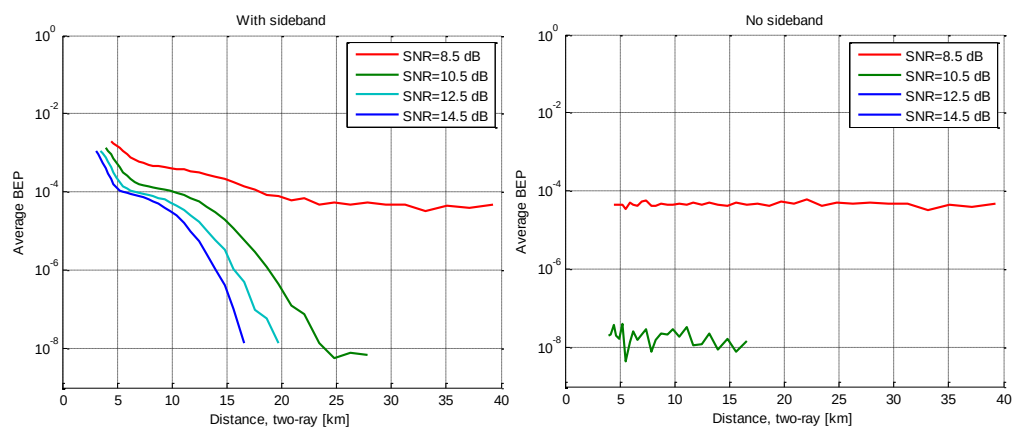
7.5.1 DAB



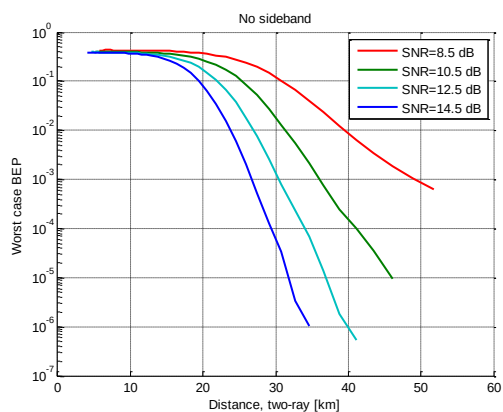
Figur 12 Vänster: Maximal felhalt för HQII och Saturn som funktion av SNR. Höger: Medelfelhalt för HQII och Saturn som funktion av SNR.



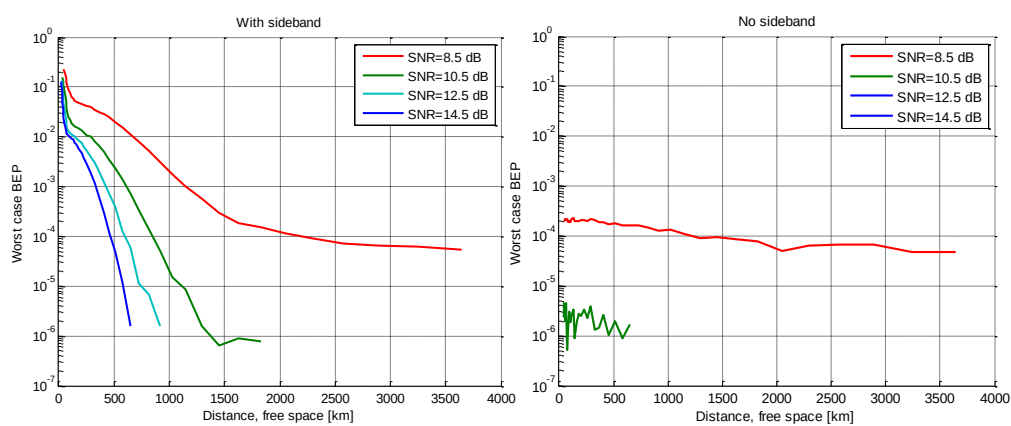
Figur 13 Maximal felhalt för HQII och Saturn för ett markscenario. Vänster: med utombandsegenskaper, höger: utan utombandsegenskaper.



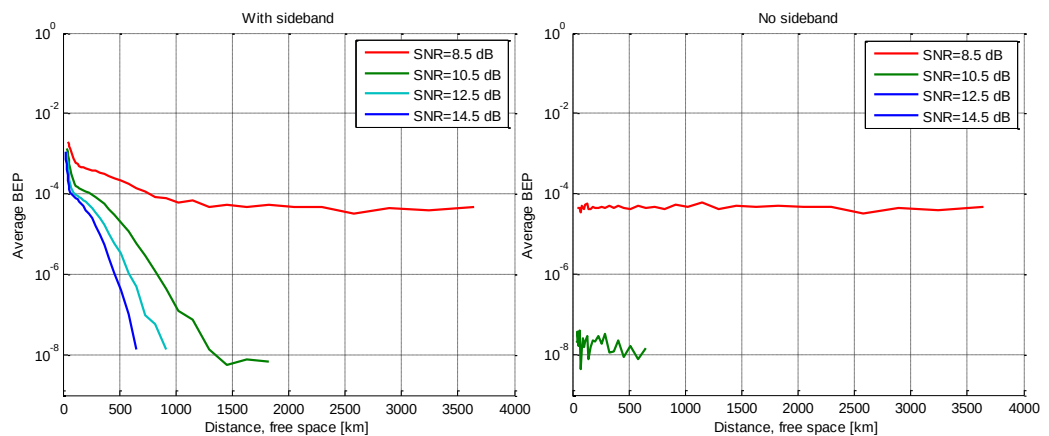
Figur 14 Medelfelhalt för HQII eller Saturn för ett markscenario. Vänster: med utombandsegenskaper, höger: utan utombandsegenskaper.



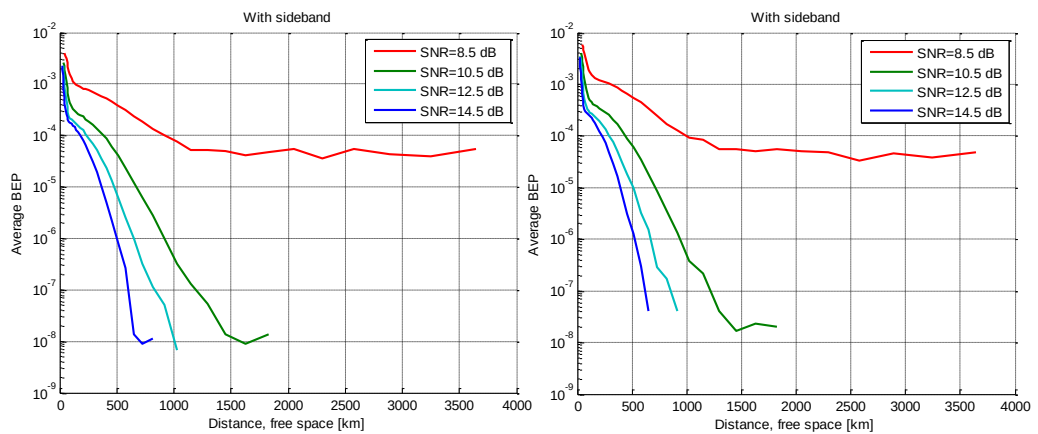
Figur 15 Maximal felhalt för Marlin 500 kHz för ett markscenario.



Figur 16 Maximal felhalt för HQII och Saturn för ett luftscenario. Vänster: med utombandsegenskaper, höger: utan utombandsegenskaper.

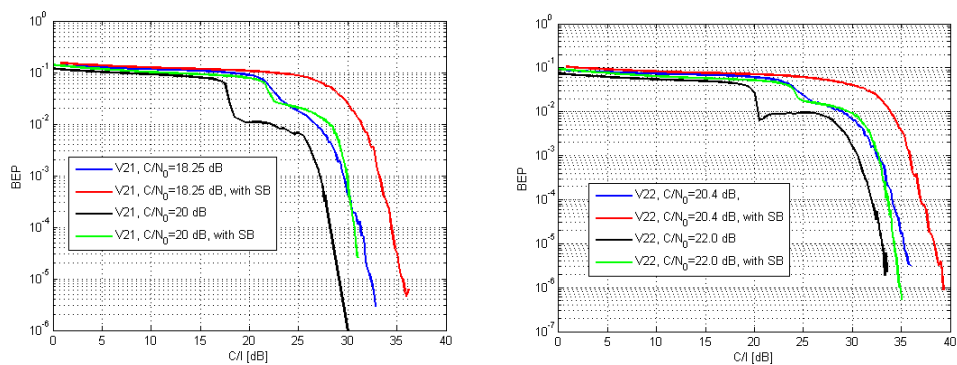


Figur 17 Medelfelhalt för HQII eller Saturn för ett luftscenario. Vänster: med utombandsegenskaper, höger: utan utombandsegenskaper.

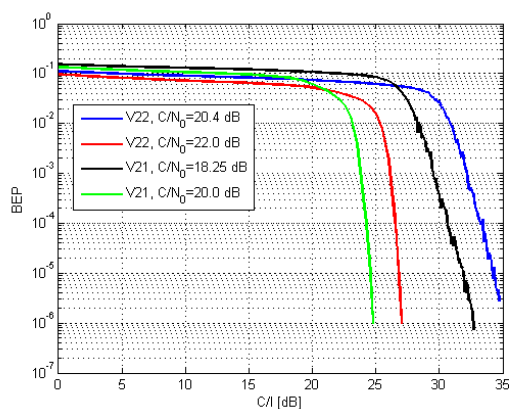


Figur 18 Medelfelhalt för HQII eller Saturn för ett luftscenario. Vänster: 2 HQII/Saturn-nät, höger: 3 HQII/Saturn-nät

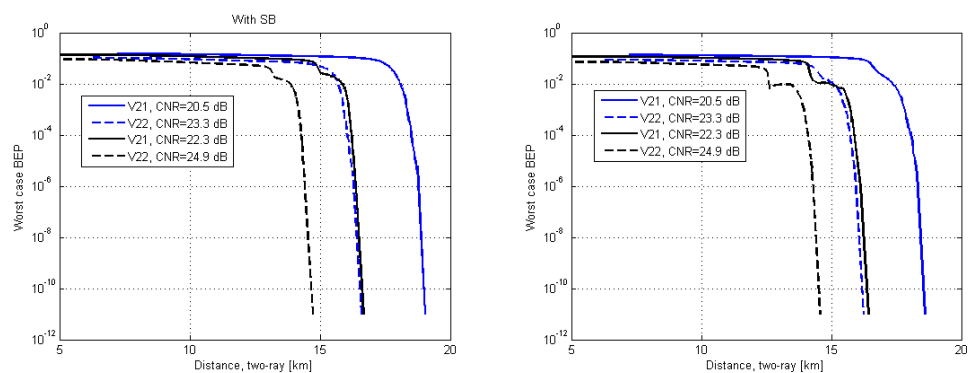
7.5.2 DVB-T2



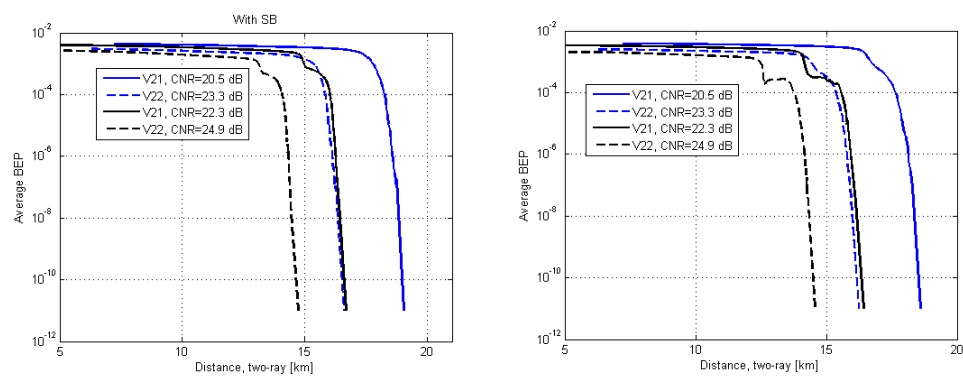
Figur 19 Worst case BEP för olika C/I för HQII och Saturn för en bandbredd på 25 kHz.



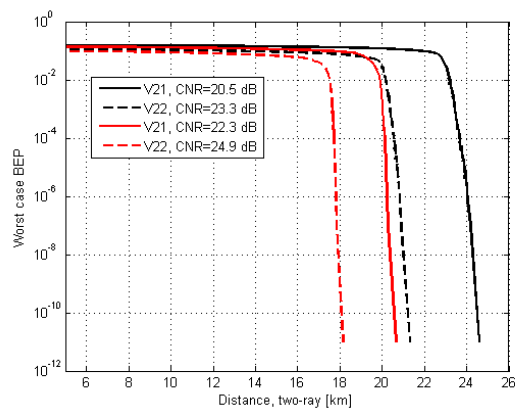
Figur 20 Worst case BEP för olika C/I för Marlin med bandbredd på 500 kHz. Ingen hänsyn har tagits till utombandsegenskaper för systemet.



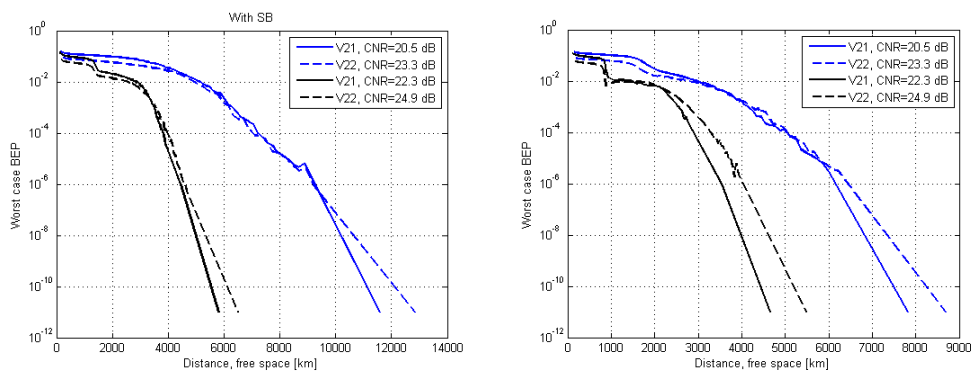
Figur 21 Maximal felhalt för HQII och Saturn för ett markscenario. Vänster: med utombandsegenskaper, höger: utan utombandsegenskaper.



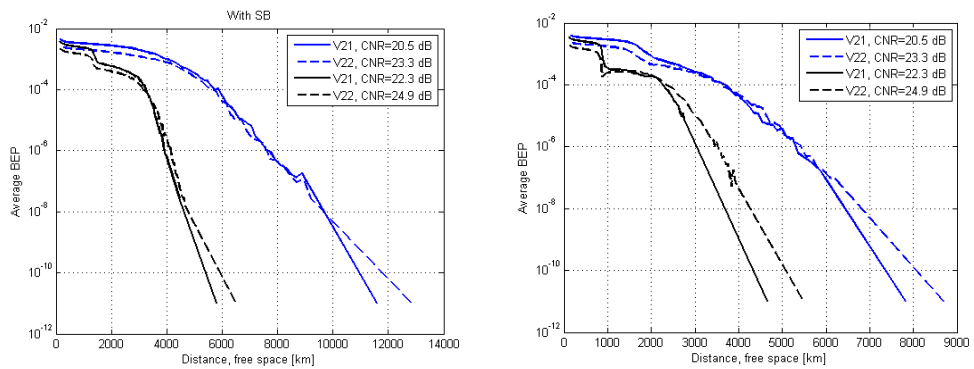
Figur 22 Medelfelhalt för HQII eller Saturn för ett markscenario. Vänster: med utombandsegenskaper, höger: utan utombandsegenskaper.



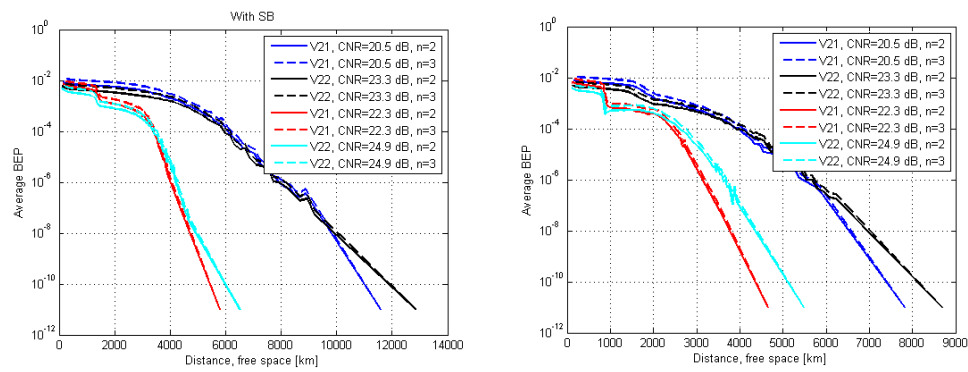
Figur 23 Maximal felhalt för Marlin 500 kHz för ett markscenario.



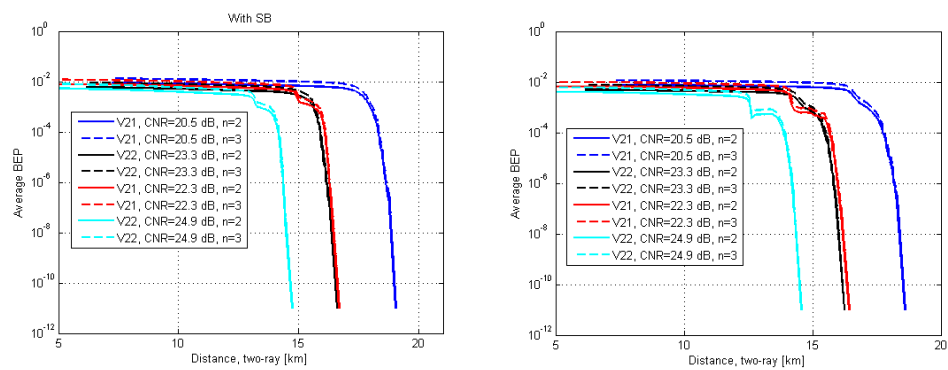
Figur 24 Maximal felhalt för HQII och Saturn för ett luftscenario. Vänster: med utombandsegenskaper, höger: utan utombandsegenskaper.



Figur 25 Medelfelhalt för HQII eller Saturn för ett luftscenario. Vänster: med utombandsegenskaper, höger: utan utombandsegenskaper.



Figur 26 Medelfelhalt för $n=2$ och $n=3$ HQII/Saturn-nät i ett luftscenario. Vänster: med utombandsegenskaper, höger: utan utombandsegenskaper.



Figur 27 Medelfelhalt för $n=2$ och $n=3$ HQII/Saturn-nät ett markscenario. Vänster: med utombandsegenskaper, höger: utan utombandsegenskaper.

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