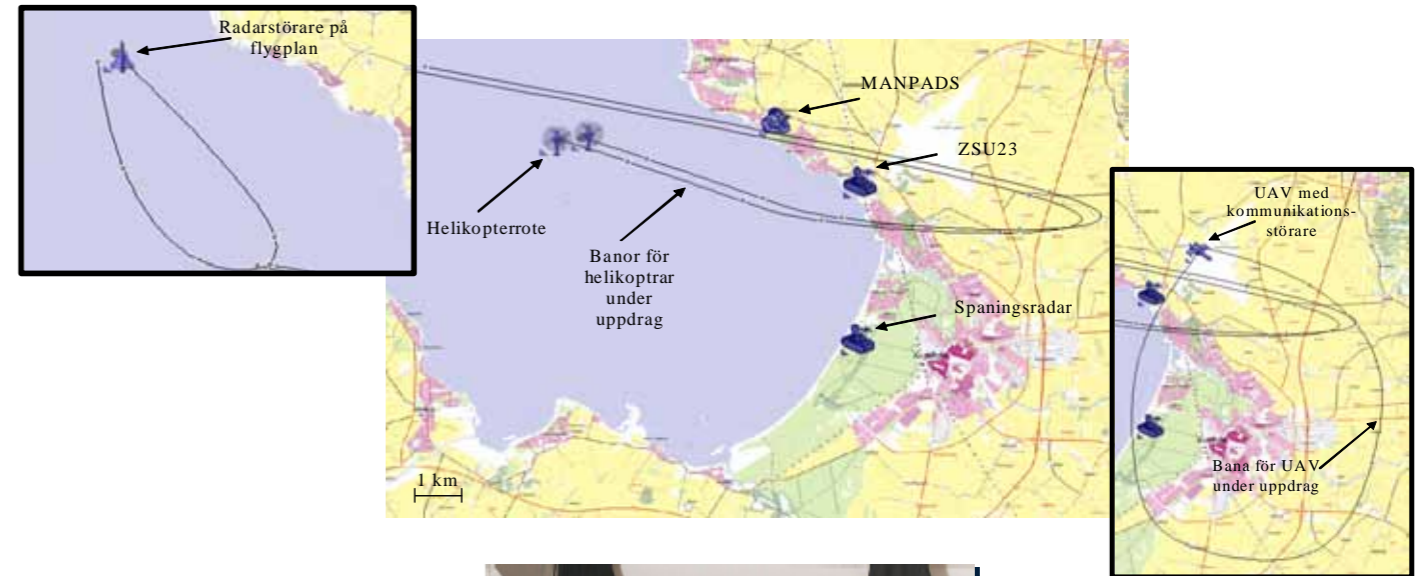


CHRISTER WIGREN, LEIF FESTIN



FOI är en huvudsakligen uppdragsfinansierad myndighet under Försvarsdepartementet. Kärnverksamheten är forskning, metod- och teknikutveckling till nytta för försvar och säkerhet. Organisationen har cirka 1250 anställda varav ungefär 900 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.

Christer Wigren, Leif Festin

Slutrapport - EW Mission Lab

FOI-R--2153--SE

ISSN 1650-1942

Användarrapport

December 2006

Ledningssystem

Utgivare FOI - Totalförsvarets forskningsinstitut Ledningssystem Box 1165 581 11 Linköping	Rapportnummer, ISRN FOI-R--2153--SE	Klassificering Användarrapport
	Forskningsområde 6. Telekrig och vilseledning	
	Månad, år December 2006	Projektnummer E7071
	Delområde 61 Telekrigföring med EM-vapen och skydd	
	Delområde 2	
Författare/redaktör Christer Wigren Leif Festin	Projektledare	
	Godkänd av	
	Uppdragsgivare/kundbeteckning	
	Tekniskt och/eller vetenskapligt ansvarig	
Rapportens titel Slutrapport - EW Mission Lab		
Sammanfattning <p>VMS med samverkande system av system är ett nytt men viktigt koncept och därför är det värdefullt med metoder för att kunna värdera olika idéer och förslag inom området. Projektet, EW Mission Lab, har jämfört flera olika existerande metoder. En av de viktigaste metoderna är att använda verktyg för dynamisk scenariosimulering. Enklast är att använda fristående verktyg för ändamålet men detta kan begränsa möjligheten att studera en operatörs inverkan på resultatet av ett studerat scenario. Dynamiska scenariosimuleringar skulle kunna genomföras i några av Försvarmaktens simulatorer där hänsyn tas till operatören. Problemet är att få av dessa innehåller telekrigkomponenter med tillräcklig noggrannhet för att kunna dra några slutsatser om telekrig från simuleringarna. Flygvapnets luftstridssimuleringscenter, FLSC, har använts som utgångspunkt för studier av hur simuleringsmodeller av telekrigkomponenter från FOI skulle kunna implementeras i Försvarmaktens simulatorer. Flera förslag har diskuterats och presenterats och implementering av en fackel- och remsfällarmodell har gjorts. Ett annat exempel som studerats inom projektet är en integration mellan ramverket EWSim för telekrigsimulering och en operatörmiljö som inkluderar en rörelseplattform och kan användas bl a för att simulera rörelsen i ett stridsfordon och för att studera hur VMS information skall presenteras för operatören. För framtida studier skulle standardiserade gränssnitt mellan simuleringskomponenter som kan ingå i en uppdragssimulering med inslag av telekrig kunna vara mycket värdefulla. Projektet har initierat ett internationellt samarbete inom EDA för att studera hur en sådan standardisering skulle kunna gå till.</p>		
Nyckelord telekrig, uppdrag, simulering		
Övriga bibliografiska uppgifter	Språk Svenska	
ISSN 1650-1942	Antal sidor: 38 s.	
Distribution enligt missiv	Pris: Enligt prislista	

Issuing organization FOI – Swedish Defence Research Agency Command and Control Systems P.O. Box 1165 SE-581 11 Linköping	Report number, ISRN FOI-R--2153--SE	Report type User report
	Programme Areas 6. Electronic Warfare and deceptive measures	
	Month year December 2006	Project no. E7071
	Subcategories 61 Electronic Warfare including Electromagnetic Weapons and Protection	
	Subcategories 2	
Author/s (editor/s) Christer Wigren Leif Festin	Project manager	
	Approved by	
	Sponsoring agency	
	Scientifically and technically responsible	
Report title (In translation) Final report - EW Mission Lab		
Abstract <p>To use defensive Aids suites (DAS) within a network is an important concept for the future. The project EW Mission Lab has compared different existing methods for evaluating and assessing different concepts and ideas. Perhaps the most important method is to use dynamical scenario simulations. To use stand alone simulation programs for this purpose is the simplest solution but could limit the possibilities to investigate the impact of having an operator. Therefore, the project has investigated the possibility to use existing simulators within the armed forces for mission simulations with electronic warfare (EW). The problem is that few of these simulators contain EW components that are accurate enough to be able to draw any conclusion about the use of EW. The Swedish Air Force Combat Simulation Centre (FLSC) has been used as a testbed to show how EW components from FOI could be integrated in to an existing simulator. Several propositions have been made and presented and a model for flare and chaffs has been implemented. Another example of integrating EW components into an existing simulator, which has been studied within the project, has been the integration of EWSim, which is a framework for EW simulations, with an environment for operators which includes a dynamic platform and different interfaces for presenting DAS information. For the future it would be valuable to have standardized interfaces between components used for simulations of missions with EW content. The project has initiated an international cooperation to study how such a standard could be implemented.</p>		
Keywords electronic warfare, mission, simulation		
Further bibliographic information	Language Swedish	
ISSN 1650-1942	Pages 38 p.	
	Price acc. to pricelist	

Innehåll

1	INLEDNING	6
1.1	VMS - allmänt	6
1.2	VMS - produkter/demonstratorer	7
1.3	VMS - framtid	7
1.4	VMS - i simulatorer	8
2	VMS UNDER UPPDRAG	8
2.1	Uppdrag med VMS komponenter	9
2.1.1	Combat Search and Rescue (CSAR) scenario	9
2.1.2	Stridsfordonsscenario med VMS i nätverk	10
3	METODER FÖR VÄRDERING OCH UTVECKLING AV VMS I NÄTVERK	11
3.1	Detaljerade modeller	12
3.2	Tidslinjal inklusive visualisering	12
3.3	Dynamisk scenariosimulering	14
3.4	Jämförelse mellan olika metoder	16
4	FM SIMULERINGSMILJÖER	17
4.1	EWSim	17
4.1.1	Radarklotter	18
4.1.2	Flygplansmodell	19
4.2	Fristående programvara	19
4.3	Operatörmiljö	20
4.4	FLSC	23
4.4.1	Störpod (vilseledande/avhakande störning) mot Jaktradar	23
4.4.2	Facklor, remsor, målsökare, och radarer	25
4.4.3	Radoräckvidd och störning	25
4.5	MSI metoder	26
4.5.1	Kognitiva agenter	26
4.5.2	Visualisering av telekrigsaspekter	27
4.5.3	Beslutsfattare i simuleringen	27
5	ASTI	28
5.1	Störsändaren	29
5.1.1	Bredbandig	29
5.1.2	Smalbandig	29
5.1.3	Modulationens inverkan	29
5.1.4	Utsänd effekt -effektdelning	30
5.1.5	Normal sändare	30
5.2	Effekt av störsändning	30
5.3	Tillämpningar	30
5.3.1	Audiopsyk	30
5.3.2	Brus	30
5.4	Störexperiment	31
5.4.1	Fixfrekvens	31
5.4.2	Frekvenshopp	31

6	EW COMARMS	32
7	FRAMTIDA ARBETE	33
8	SAMMANFATTNING OCH SLUTSATS	33
9	FÖRKORTNINGAR	36
10	KUNSKAPSÖVERFÖRING OCH NYTTIGGÖRANDE	37
10.1	Konferensbidrag	37
10.2	Rapporter	37
10.3	Demonstrationer	37
11	REFERENSER	38

1 Inledning

För fredsbevarande operationer krävs att de plattformar som sätts in har ett betydande egenskydd för att hålla de egna förlusterna till ett minimum. Ett sådant egenskydd kan bestå av ett fysiskt skydd i form av t ex bepansring men kan också vara ett system för varning och motverkan, d.v.s. ett VMS (Varnare och motverkanssystem). Kompletta VMS eller komponenter som används till att bygga ett VMS finns från ett flertal tillverkare beroende på typen av plattform och på vilket hot som kan tänkas vara aktuellt. Detta innebär dock inte att ett VMS automatiskt kan användas på ett effektivt sätt. Orsaken till detta är att åtgärdsbiblioteken i ett VMS bör anpassas till den aktuella hotsituationen och till den aktuella signalbilden, den senare kan innehålla civila källor. Anpassningen sker för att rätt åtgärd skall vidtas och för att inte systemet skall dränkas av onödiga varningar som gör att besättningen stänger av systemet. Denna anpassning bör kunna utföras inom det egna landet, framförallt för att det ofta är känslig information som matas in i systemet som andra länder inte gärna tillhandahåller. För att anpassa åtgärdsbibliotek till aktuell hotbild behövs underrättelseinformation som talar om vilka hot som kan vara aktuella samt kunskap om dessa hot. Kunskap om hot och den egna plattformens prestanda kan med fördel matas in i en simuleringsmodell där olika motåtgärder kan testas. I en framtid där nya typer av hot men även egna förmågor utvecklas, t ex att olika plattformar kan utbyta sensordata med varandra, står vi inför en utmaning att studera hur vi på bästa sätt kan utnyttja plattformarnas VMS. Ett syfte med FoT-projektet *EW Mission Lab* (EWML) har varit att svara på frågan hur försvaret skall kunna optimera sin VMS kapacitet under ett uppdrag där hänsyn tas till både samverkande system och eventuell mänsklig interaktion. För att kunna svara på denna fråga är det viktigt att förstå vad VMS är och kan bli inom en snar framtid. En annan frågeställning för projektet har varit att studera hur Försvarsmakten kan utnyttja FOI:s telekrigssimuleringsmodeller.

Projektets slutmål har varit att kunna demonstrera tänkbara metoder för optimal användning av VMS i ett uppdragsperspektiv vid internationella insatser. Delmål har varit att:

- Kartlägga möjligheterna att infoga telekrigsfunktioner i FM simuleringsmiljöer.
- Ta fram metodik för realtidssimulering av telekrig.
- Studera möjlighet till gemensam standardisering inom Europa av användarparametrar för och gränssnitt mellan moduler som behövs för uppdragssimulering med telekrigsinslag

1.1 VMS - allmänt

VMS är en kombination av sensorer för varning (även information som insamlas på annat sätt kan inkluderas t ex information som kommer via ledningssystemet) och motåtgärder för att öka överlevnad och framgång under ett uppdrag. Ökad överlevnad och framgång kan åstadkommas via VMS genom att undvika att ett hotsystem upptäcker den egna plattformen samt genom att vilseleda, eliminera eller förstöra hotet. Att undvika upptäckt kan t ex ske genom att brusstöra på ett sådant sätt att den egna signaturen lättare döljs i bakgrunden, genom att skapa så många falskmål att hotsensorn mätas på information eller genom att lägga ut en ridå av t ex rök som försvårar för hotsensorn att upptäcka antal plattformar och vilka positioner dessa har. Vilseledning av hotet kan innebära att radar- eller laserstörare används för att förvränga retursignalen till hotsensorn så att den mäter in en felaktig målposition eller att mållika facklor används som gör att en målsökare låser över på dessa i stället för på det riktiga målet. Eliminering av hotet kan innebära att målsökaroptiken koncentrerar den redan höga intensiteten från en laser på sensorn så att denna förstörs. Förstöring av hotet kan t ex innebära att en högeffektlaser bränner sönder robotskrovet eller att *hard kill* system används för att förstöra roboten i slutskedet av robotskottet t ex genom att få roboten att brisera i förtid för att på så sätt minska robotens verkan.

För att få en heltäckande varningsfunktion räcker det inte alltid med en typ av sensor. En laservarnare kan t ex vara bra mot hotssystem som använder laseravståndsmätare, laserutpekare eller laserledstråle men ger ingen varning mot radarrobotar, trådstyrda eller självstyrande (*fire-and-forget*) EO-robotar. I dessa fall kan andra typer av varningssensorer fungera, t ex robotskottvarnare baserad på UV eller IR-strålning från roboten (UV strålning från robotflamman och IR från robotflamma eller uppvärmt robotskrov), robotskottvarnare baserad på en pulsdopplerradar (mäter in en robot som rör sig snabbt mot sensorn) eller en radarvarnare som varnar för att t ex en målföljradar är låst på den egna plattformen. Förutom att upptäcka en hotsituation bör varnarsystemet också tala om typen av hot så att rätt sorts motmedel skall kunna sättas in, radarmotmedel har t ex ingen effekt mot EO-styrda robotar. Ytterligare ett användningsområde för sensorer i VMS sammanhang är för övervakning av motåtgärdens effekt på hotet, d v s har motåtgärden fått avsedd effekt eller behöver motåtgärden, t ex störning, fortsätta under längre tid eller alternativt andra typer av motåtgärder sättas in.

1.2 VMS - produkter/demonstratorer

Det finns i dag flera VMS färdigutvecklade eller på prototypstadiet. Exempel på sådana system är EuroDASS [1], HIDAS [2], SHTORA-1 [3] och MUSS [4]. EuroDASS är ett system som utvecklas för Eurofighter i ett samarbete mellan flera europeiska länder. Det är ett moduluppbyggt VMS som kommer att konfigureras olika för olika länder. De komponenter som kan ingå är sensorer för varning i form av radarvarnare, robotskottvarnare (pulsdopplerradar som kan uppgraderas till en UV eller IR baserad lösning) samt en laservarnare. Motmedel kan sättas in i form av facklor, remsor och radarstörare. Via en trådlös datalänk är det också möjligt för EuroDASS att få tillgång till data från sensorer på andra plattformar. HIDAS är ett helikopterbaserat VMS med varningssensorer i form av radarvarnare, laservarnare och robotskottvarnare och motmedel i form av facklor eller remsor. SHTORA-1 är ett VMS för stridsfordon där laservarnare kombineras med automatisk invisning av torn och eldrör, IR-störare och rök för att skydda fordonet. MUSS är också ett system för stridsfordon där en UV baserad robotskottvarnare och en laservarnare varnar för hot. Motmedel i MUSS består av rök eller IR-störning. Ett svenskt exempel är det demonstratorprojekt som studerar VMS på stridsfordon [5]. Sensorer som studerats för varning har, i detta fall, varit laservarnare och en UV-baserad robotskottvarnare. Motåtgärder som diskuterats har varit rök och multispektral vattendimma kombinerat med moteld och manöver.

1.3 VMS - framtid

Speciellt i demonstratorprojekt men också i ett färdigt system så som EuroDASS är det viktigt med moduluppbyggda VMS där olika komponenter kan användas beroende på de krav som ställs eller de frågor som skall besvaras. EuroDASS är ett system där olika länder ställer olika krav och med ett moduluppbyggt system kan dessa olika krav lättare tillgodoseas. I ett demonstratorprojekt är det viktigt att kunna testa olika idéer och att lätt kunna konfigurera systemet med olika komponenter. Inför framtida internationella uppdrag kan det också vara viktigt att systemet är så flexibelt att olika komponenter lätt kan integreras i systemet beroende på vilket uppdrag som är aktuellt. Andra frågor som är viktiga att studera är hur VMS i ett nätverk kan utformas för att reducera kostnader (alla plattformar behöver inte bära på alla typer av sensorer), öka skyddseffekten (en hotad plattform kan utnyttja egna och andras motmedel för skydd) samt öka förmåga att klara av ett uppdrag (exempelvis kan flera distribuerade sensorer öka möjligheten att lokalisera ett hot och hotade plattformar kan inrikta sig på egenskydd medan andra kan koncentrera sig på att slå ut hotet). Ytterligare en fördel med VMS i nätverk är att inte bara den plattformen med sensorn som varnar är medveten om hotets existens. För att realisera VMS i nätverk fullt ut finns det dock ett stort behov av vidare studier. Exempelvis:

- Hur kan ledningssystemet utnyttjas för en förbättrad VMS funktion genom att komplettera information från varningssensorer med information från ledningssystemet om t ex positioner för andra plattformar på den egna sidan?
- Hur sker sensorfusion på ett säkert och effektivt sätt med data från varnings- och andra sensorer på olika plattformar?
- Hur skall lämpliga kommunikationssystem för VMS i nätverk utformas? För att varningsdata skall kunna spridas snabbt (tiden från avfyring till träff är kort) och säkert (vill att information skall gå fram och att inte motståndaren skall kunna utnyttja nätverksfunktionen), ställs det stora krav på kommunikationssystem för VMS.
- Hur skall VMS i nätverk utnyttjas taktiskt?
- Åtgärdsbibliotek kan vara nog så svåra att utforma för en enskild plattform och blir inte nödvändigtvis lättare i ett nätverksbaserat system där avstånd mellan plattformar kan förändras, delar eller hela system på vissa plattformar kan slås ut, osv.

Projektet EWML har inte haft som avsikt att svara på alla dessa frågor utan har koncentrerat sig på att hitta verktyg och metoder för att värdera koncept som verkar intressanta. De verktyg som kan användas kan vara i form av fristående simuleringsprogram eller simulatorer. Fältprov kan också vara viktigt för en komplett värdering av ett koncept eller komponent även om detta inte studerats av projektet.

1.4 VMS - i simulatorer

En demonstrator med VMS skulle kunna bestå av en simulator med kapacitet för telekrig. Det finns i dag flera simulatorer inom den svenska Försvarsmakten för olika typer av plattformar. Gemensamt för de flesta av dessa är dock att telekrigskomponenter oftast inte ingår och i de fall de ingår i simulatoren är de oftast summariskt beskrivna och kan därför inte användas till att visa på hur plattformens VMS skall användas eller på vilken effekt den faktiskt har. En viktig fråga för projektet har därför varit att svara på hur Försvarsmaktens simulatorverksamhet skall kunna tillgodogöra sig FOI:s telekrigssimuleringsmodeller. De resultat som tagits fram redovisas i kapitel 4.

2 VMS under uppdrag

För att svara på projektets frågeställning om hur försvarets VMS kapacitet kan optimeras i ett uppdragsperspektiv måste begreppet uppdrag definieras. Uppdrag kan betyda olika saker i olika sammanhang. I en del sammanhang kan ett uppdrag innebära allt som händer från det att t ex FN tagit sig an ett uppdrag att bevara freden i ett område till dess att uppdraget slutförts och de fredsbevarande styrkorna åker hem. Flera länder är involverade och 100- eller 1000-tals personer och plattformar medverkar. I andra fall kan ett uppdrag innebära att ett fåtal plattformar och personer är involverade i t ex ett spanings- eller räddningsuppdrag. Effekten av egenskydd från VMS kan med fördel studeras i den senare typen av uppdrag eftersom en studie av detta slag kommer att ligga på en ganska hög teknisk nivå där tekniska detaljer för enskilda komponenter kan fälla ett avgörande. Dessutom involverar VMS-funktionen primärt sällan mer än ett fåtal plattformar på varje sida. I dagsläget sker optimering av åtgärdsbibliotek ofta genom studier av ett eller ett fåtal hot mot en plattform utrustad med VMS och dessa studier är viktiga för att förstå prestanda och begränsningar hos de ingående systemen. I en framtid där VMS används i ett nätverk bestående av ett fåtal plattformar samt eventuellt kompletterat med information från andra

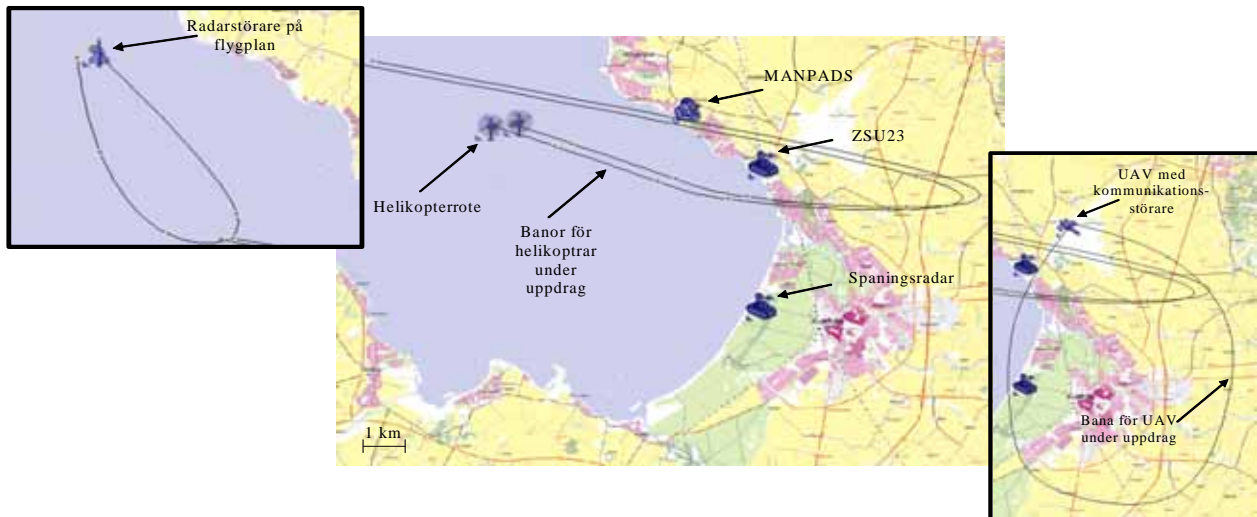
plattformar och sensorer måste dock förmodligen alla som bidrar med väsentlig information till VMS funktionen också vara en del av det studerade scenariet. Värderingar av dessa scenarier bör dock bygga på kunskaper om hur enskilda plattformar och VMS klarar av att hantera uppkomna hotsituationer. För att kunna utveckla en metodik för studier och värdering av VMS i nätverk är det av intresse att definiera ett antal uppdragsscenarier eller scenariosituationer som kan studeras och simuleras. Dessa uppdragsscenarier kan i sin tur vara en del av ett större scenario.

2.1 Uppdrag med VMS komponenter

Inom det framtida EDA-projektet EW COMARMS (se kapitel 6) har ett diskussionsunderlag tagits fram. Scenarierna i detta diskussionsunderlag kan användas för att exemplifiera lämpliga uppdragsscenarier (land, luft, sjö, kust eller en blandning av dessa) när optimering av framtida VMS i nätverk studeras. Två av scenarierna har valts ut och använts inom projektet, det ena - ett Combat Search and Rescue (CSAR) scenario - har använts för att demonstrera hur telekrigkomponenter kan användas i en uppdragssimuleringsmodell och det andra - ett stridsfordonsscenario - har använts för att illustrera olika metoder som kan användas för att studera VMS i nätverk. Dessa scenarier diskuteras ingående i avsnitten som följer. För fler scenarier, se referens [6].

2.1.1 Combat Search and Rescue (CSAR) scenario

För att demonstrera hur telekrigkomponenter kan användas i en uppdragssimuleringsmodell genomfördes en demonstration tillsammans med projektet *Duellsimulering telekrig* [7]. Det valda scenariet för demonstrationen var av typen CSAR där ett eget flygplan havererat i fientligt territorium och uppdraget var att rädda besättningen (se Figur 1). Olika varianter har studerats men i grundscenariot startar en helikopterrote från ett fartyg ute till havs och går in över land för att plocka upp flygplansbesättningen. Fientliga system i form av spaningsradar, luftvärnskanonvagn (ZSU 23) och MANPADS (Man-Portable Air Defense System) finns i kustområdet. Dessa fientliga enheter kan samverka genom radiokommunikation vilket t ex innebär att spaningsradarsystemet kan kommunicera med luftvärnskanonvagn och MANPADS för att visa in dessa mot upptäckta mål. Förutom invisning via radar kan den MANPADS som finns i kustremsan också låsa på och avfira mot helikoptrarna efter egen upptäckt. Scenariet varierades genom att olika motmedelssystem fanns tillgängliga. Dessa bestod av VMS på helikoptrarna (UV-baserad robotskottvarnare ellerIRST som varnar för inkommande robotar samt facklor eller DIRCM - Directional Infrared Countermeasure - som motmedel), radarstörare på flygplan och/eller kommunikationsstörare på UAV. Simuleringar genomfördes uppdelad på flera federater (fristående men kommunicerande datorprogram) som distribuerades till flera datorer.



Figur 1 Översikt av CSAR-scenario

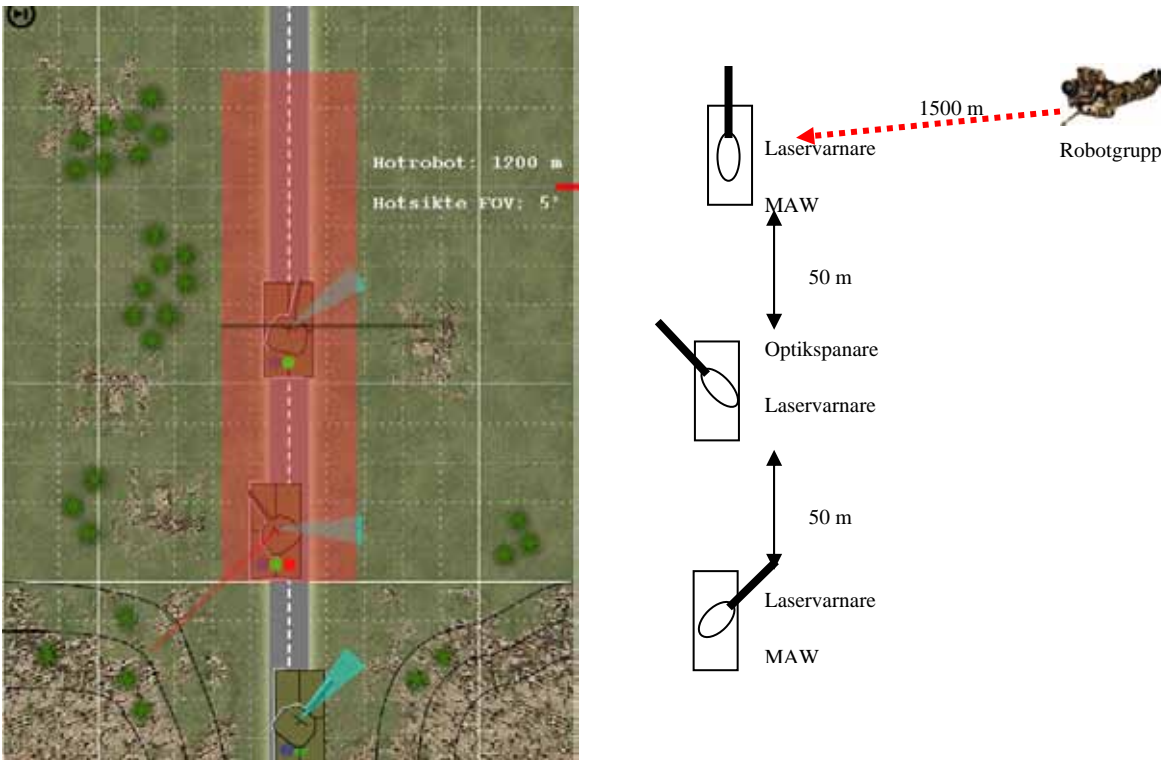
Simuleringar av detta scenario visar att VMS ombord på helikoptrarna är effektiva mot en MANPADS men eftersom detta hotssystem inte verkar för sig själv kan andra hotssystem gå in och slå ut helikoptrarna. Radarstöraren försvårar för spaningsradarn när helikoptrarna går in men risken finns för genombrott när helikoptrarna kommer nära spaningsradarn eller om helikoptrarna flyger utanför störstråket. Ett effektivt komplement till dessa åtgärder är att låta en UAV störa ut kommunikationen i området. Detta omöjliggör trådlös kommunikation och därmed invisiering från spaningsradarn till ZSU 23 och MANPADS. För fler detaljer om simuleringsresultat se referens [8].

2.1.2 Stridsfordonsscenario med VMS i nätverk

I CSAR scenariot i föregående avsnitt kunde motsidan kommunicera målupptäckt, målposition och skjutorder mellan olika plattformar däremot fanns ingen samordning mellan VMS på den egna sidan annat än vid planeringen av uppdraget. Stridsfordonsscenario som diskuteras i detta avsnitt har inte fullt så många aktörer och kan därmed tyckas vara mindre avancerat men å andra sidan är komplexiteten för den egna sidans VMS hög då VMS funktionen på tre olika fordon i en stridsfordonspluton samverkar för att uppnå egenskydd för hela plutonen. Scenariot är ursprungligen hämtat från en studie som gjordes inom projektet *VMS i NBF* [9]. Det har kompletterats med simuleringar och en jämförelse mellan olika värderingsmetoder av VMS har gjorts med detta scenario som grund.

Stridsfordonsscenario består av tre stridsfordon på väg mot ett uppdrag (se Figur 2). Inget hot förväntas under en första förflyttningssfas vilket innebär att fordonen kan framrycka på led i hög hastighet längs en väg. Efter att vägen har passerat en skog eller kulle in på ett öppet fält blir de dock upptäckta av en fiendlig robotgrupp som grupperat sig 1500 meter från vägen. Robotgruppen följer ett av stridsfordonen under några sekunder, låser sedan på och avfyrar en pv-robot som kan vara trådstyrd, laserstyrd eller av typen *fire-and-forget*. Alla stridsfordon har VMS men de är av praktiska skäl eller kostnadsskäl inte identiskt utrustade. Varningsensorer på stridsfordonen som upptäcker hotet ger larm och motåtgärder kan sättas in i form av rök kombinerat med manöver för direkt hotade fordon och moteld från till synes ohotade fordon. Ett mobilt nätverk förbinder stridsfordonen och används för att kunna dela sensorinformation och samordna motåtgärder. Scenariot har varierats genom att placera sensorer på olika fordon, genom att använda olika typer av sensorer, genom att variera typen av robot och genom att variera avståndet till robotgruppen. Studier har genomförts med olika verktyg såsom ett tidslinjal- och ett dynamiskt

scenariosimuleringsverktyg och kan också kompletteras med simuleringar som innehåller detaljerade systemspecifika modeller i en-mot-en situationer. Resultat från dessa studier redovisas i kapitel 3 och i referens [9]. Genom att koppla in en operatörmiljö går det också att studera hur varningsdata skall presenteras. Den operatörmiljö som finns på FOI har t ex använts för att presentera varningsinformation grafiskt på en 2D-bild, med hjälp av ett taktiskt bälte som består av ett antal små motorer som vibrerar kan operatören känna i vilken riktning som varningen kommer ifrån. En tredje möjlighet är att utnyttja 3D-ljud för att ge operatören en uppfattning om i vilken riktning varningen kommer. Ett simulerat ledningssystem i EWSim (se referens [8] och kapitel 4.1) kan också användas för att ge användaren information om var hotet befinner sig på kartan. Försök där EWSim har integrerats med operatörmiljö är redovisat i kapitel 4.3.



Figur 2 visar en översikt av en av varianterna i stridsfordonssceneriet.

3 Metoder för värdering och utveckling av VMS i nätverk

Att använda VMS i nätverk är ett relativt nytt koncept och det återstår en del forskning innan ett sådant koncept kan realiseras och utnyttjas fullt ut. Komplexiteten, till och med i ganska enkla scenarier, gör att det behövs metoder och verktyg som förenklar test av olika idéer och teorier kring VMS i nätverk. Tre, ofta kompletterande, metoder som kan användas för att värdera VMS i nätverk kommer att diskuteras i detta kapitel. För att optimera taktisk och teknisk användning av VMS mot specifika hotsystem kan tekniskt detaljrika systemspecifika simuleringsmodeller användas i simuleringar av en-mot-en situationer. Denna metod tar inte hänsyn till nätverksfunktionalitet i ett VMS system och kan därför i nätverkssammanhang endast användas som ett komplement till de andra metoderna för att studera idéer om hur t ex ett motmedelssystem bör utnyttjas för att få bästa effekt. Det är dock viktigt att förstå hur ett VMS kan användas på en plattform innan detaljstudier av VMS i nätverk sker. Den andra metoden handlar om att identifiera nyckelhändelser i ett scenario markera start- och sluttid för dessa på en tidsaxel med olika typer av händelser på olika rader. Tidslinjalerna bör kompletteras med ett visualiseringsverktyg som hjälpmedel för att kunna studera och förklara konsekvenser av en händelsekedja samt som hjälp

för att inte någon händelse skall förbises eller ske i fel ordning. Detta är en ganska enkel metod som kan vara en bra start för vidare arbete. Slutligen, för att kunna ta hänsyn till mer komplexa händelsekedjor med VMS i nätverk, framför allt i större scenarier men även som kontroll i mindre scenarier där händelseförloppet kan vara svårt att överblicka, kan ett dynamiskt simuleringsverktyg vara mycket värdefullt. Dessa tre metoder kommer att beskrivas i avsnitten nedan med fokus på de två sista.

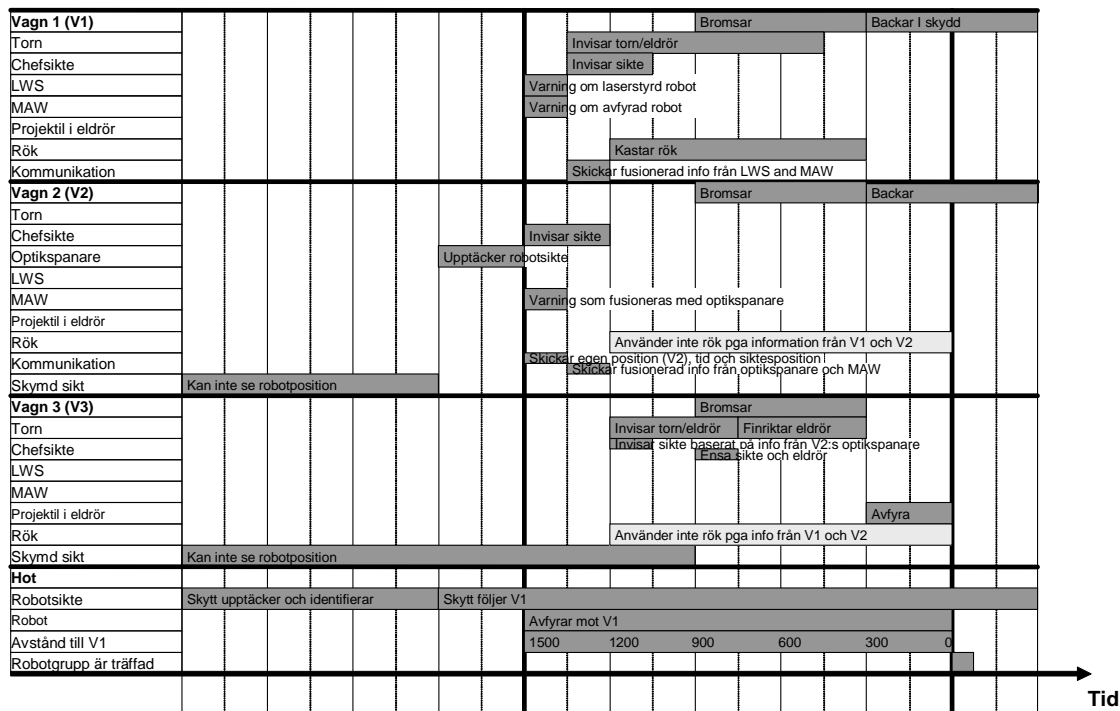
3.1 Detaljerade modeller

En del motåtgärder som används i VMS sammanhang bygger på detaljerade tekniska kunskaper om hotet som utnyttjas för att få maximal effekt. För att värdera och utveckla åtgärdsbibliotek krävs i detta fall tekniskt mycket detaljrika modeller. Dessa modeller blir för att inte avslöja för motståndaren vad vi känner till om systemet ofta hemligstämplade. För att bygga datorsimuleringsmodeller av hotsystem och VMS används information från öppna och hemliga källor som analyseras noggrant när modellen konstrueras. Modellerna används sedan för att testa t ex fackelfällningssekvenser i kombination med manöver för olika skjutvinklar och skjutavstånd. Ett sådant simuleringsresultat kan sedan analyseras för att kunna förbättra åtgärdsbiblioteket ytterligare. För att få ett tillräckligt stort underlag för att värdera och utveckla åtgärdsbiblioteken genomförs ofta 1000-tals simulerade skott per hotsystem och motåtgärdsförslag. Denna typ av simulering och värdering använder därför ofta ett scenario nedbrutet till enstaka situationer. Nätverksfunktioner för VMS används inte men simuleringar med denna typ av verktyg kan behövas som komplement, till de andra typerna av modeller som beskrivs nedan, när VMS i nätverk studeras för att lära sig hur systemen kan användas och vilka begränsningar dessa har.

3.2 Tidslinjal inklusive visualisering

Metoden att använda en tidslinjal för att studera, värdera och utveckla prestanda för VMS i nätverk [9] innebär att nyckelhändelser identifieras och markeras i ett diagram. Typer av händelser som berör olika komponenter på en plattform markeras på olika rader (en typ av händelse i stridsfordonssceneriet i avsnitt 2.1.2 kan t ex vara tornvridning på vagn 1 eller rökkastning på vagn 2). För att lättare kunna placera ut händelser som beror av en tidigare händelse markeras varje händelses start- och sluttid. Hela händelseförloppet varar ofta bara ett fåtal sekunder och därför är det viktigt att få med alla fördröjningar som inverkar på slutresultatet även om fördröjningen bara är delar av en sekund. Händelseförloppet när rök kastas från ett stridsfordon innebär t ex först att en varningssensor har reagerat och att dess data har processats (eventuellt skickas sensordata också via ett nätverk som tas emot av ett annat fordon), därefter vrids tornet in (under antagandet att rökkastaren är fast monterad på tornet), sedan skjuts en rökgranat i väg en viss sträcka (som tar en viss tid), väl på plats briserar rökgranaten och det tar slutligen en viss tid innan röken är fullt utvecklad och kan ge avsedd skylande verkan. En enskild händelses starttid kan t ex vara när rökgranaten går iväg och sluttid kan vara när rökgranaten är framme eller när röken är fullt utvecklad (beroende på hur indelningen av händelser är gjord). Hänsyn bör också tas till att överföring av data via nätverk tar en viss tid, att vissa typer av varnare behöver mäta in signalen från hotet under en viss tid för att kunna fastställa om det är ett hot riktat mot den egna plattformen eller inte. Utgående från stridsfordonssceneriet i avsnitt 2.1.2 har en tidslinjal konstruerats i Figur 3. I detta fall har den första vagnen utrustats med laservarnare (LWS) och en UV-baserad robotskottvarnare (MAW). Fordonet kan kasta rök och skjuta moteld. Den andra vagnen, som kör 50 meter bakom den första, har förutom laser- och robotskottvarnare också en optikspanare. En optikspanare är en sensorutrustning som utnyttjar retroreflexer för att spana efter optiska sikten/system i terrängen. Den tredje vagnen är identisk med den första och kör 50 meter bakom vagn 2. När scenariet studeras måste hänsyn tas till om vagnarna är skymda vilket innebär att hotet inte kan upptäcka stridsfordonen och att egna sensorer inte kan se hotet. I den variant av scenariet

som visas i Figur 3 innebär robotskottvarning på vagn 1 och 2 att en robot är på väg mot antingen vagn 1 eller 2. Laservarning på vagn 1 visar att hotet är en laserstyrd robot och datafusion mellan sensorer på vagn 1 och vagn 2 visar att roboten är på väg mot vagn 1 (laser varning på vagn 1 men inte på vagn 2). Nätverksfunktionen gör att samtliga vagnar känner till hotet men eftersom vagn 3 inte får någon varning pga att fordonet är skymt när roboten går iväg vet denna vagn att den inte är hotad. Både vagn 2 och 3 kan därmed koncentrera sig på att slå ut hotet. Tornet på vagn 3 är initialt mer optimalt inriktat än på vagn 2 och därför förbereds primärt moteld från vagn 3.



Figur 3 Tidslinjal för en variant av stridsfordons scenariet

Varianter på ovanstående scenario har studerats med olika typer av robotar och varnare och olika fördelning av sensorer inom plutonen. Sammantaget resulterade simuleringar av alla varianter i slutsatsen att sensorer, motmedel och motåtgärder måste koordineras inom plutonen. Ovanstående scenario visade t ex på hur varningar från olika sensorer på olika vagnar kunde användas för att konstatera att den första vagnen var hotad men inte de andra. Dessutom kunde riktningar för de olika vagnarnas torn utnyttjas till att snabba upp ett moteldsförfarande. Genom att koordinera varningssystemen och motåtgärderna på detta sätt ökar möjligheten att överleva och slå ut ett hot eftersom olika sektorer kan skyddas av olika fordon och genom att hotade fordon kan använda motmedel och ohotade fordon kan agera på gemensam sensorinformation för att slå ut hotet. Kvalificerade sensorer, t ex av typen aktiv optikspaning, kan vara väldigt dyra i inköp och de ekonomiska resurserna räcker kanske inte till att utrusta samtliga fordon med dessa. Däremot kan det vara ekonomiskt försvarbart att utrusta enstaka fordon, t ex ett fordon per stridsfordonspluton, med ett sådant system. Studien visar att en kvalificerad sensor inom plutonen, som kan ge förhandsinformation om eventuella hot och vars information kan spridas via nätverket, ökar möjligheten att vidta korrekta motåtgärder i tid och innebär att chanserna för samtliga fordon inom plutonen att klara sig helskinnade ur en hotsituation ökar markant. De korta tiderna från att hot upptäcks till dess att en robot kan träffa ett fordon gör att det ställs stora krav på effektiva system för kommunikation, varning och motåtgärder.

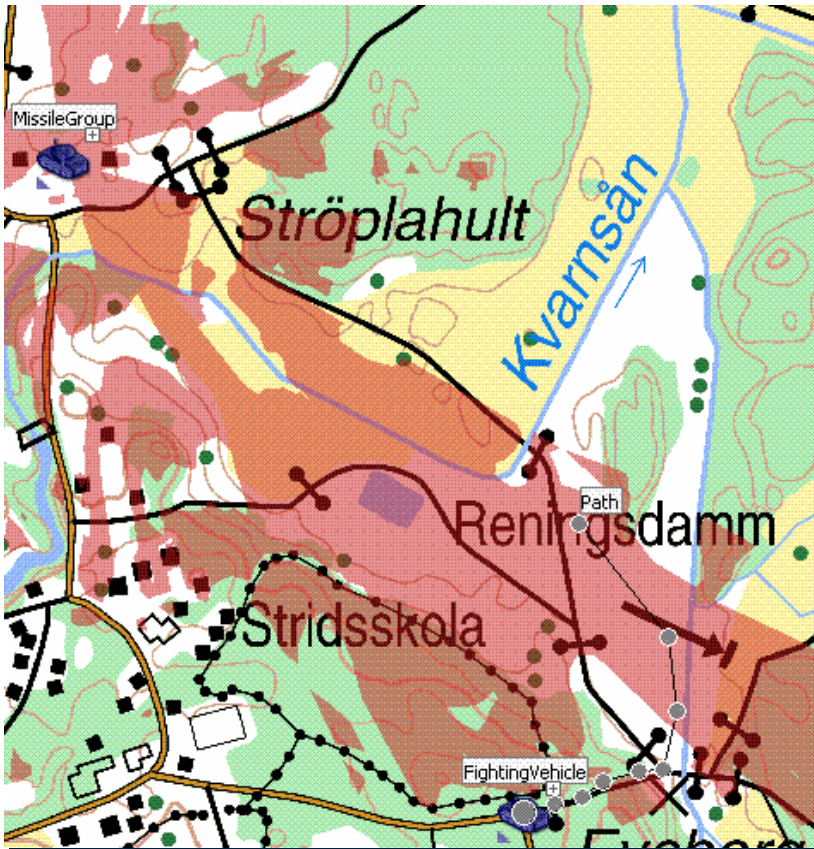
3.3 Dynamisk scenariosimulering

Att använda verktyget med tidslinjal som beskrivs i avsnitt 3.2 är mycket bra för initiala tester och för att skapa sig en uppfattning om vad som krävs av plattformens VMS. Det verktyg som konstruerades inom projektet *VMS i NBF* för denna studie har dock en del begränsningar. Exempelvis är det svårt att förändra ett scenario t ex för att göra en studie av hur prestanda för kommunikationssystemet påverkar utgången. Ändras den tid kommunikationssystemet behöver för att sända och ta emot data till och från andra plattformar måste alla efterföljande händelser flyttas manuellt på tidslinjalen. Dessutom måste, eftersom det inte finns någon automatisk koppling mellan tidslinjalen och visualiseringsverktyget, förändringar genomföras manuellt även i visualiseringsverktyget med risk för att felaktigheter smyger sig in. Visualiseringsverktyget har inte heller någon 3D information och saknar därför möjlighet att på ett bra sätt visualisera scenarier där plattformar kan förflytta sig fritt i tre dimensioner, t ex när en helikopter är involverad. Förutom dessa begränsningar kan vissa scenarier vara så komplexa att det är svårt att överblicka och förutse vilka händelser som inträffar, när de inträffar och vilka konsekvenser de får. Det är t ex svårt att studera om en motmedelsinsats får avsedd effekt. Genom att vidareutveckla tidslinjalverktyget skulle det gå att överkomma åtminstone vissa av dessa begränsningar och i ett sådant fall börjar verktyget närma sig ett riktigt simuleringsverktyg för dynamiska simuleringar. Det har dock känts onödigt att vidareutveckla ovanstående verktyg eftersom det under de senaste åren redan har utvecklats ett verktyg, EWSim, för dynamisk scenariosimulering som håller en sådan klass att de scenarier som nämns i kapitel 2 är möjliga att simulera och studera.

Ett dynamiskt scenariosimuleringsverktyg med 3D terräng och integrerade VMS komponenter är mycket användbart vid studier av VMS i nätverk. Det kan precis som tidslinjalverktyget användas till att testa idéer. Komplexa scenarier kan studeras där olika händelser beror på varandra på ett svåröverskådligt sätt. Effekten av 3D terräng kan studeras, t ex hur olika skymningseffekter påverkar förmågan för hotsystem att upptäcka de egna plattformarna och hur egna sensorer och kommunikation påverkas av terrängen i verkliga scenarier. Det är möjligt att, på ett naturligt sätt, inkludera perifera händelser som kan påverka scenariet (kommunikationsspaningssystem, information via ledningssystemet, mm.). Hur effektiv en viss motåtgärd är kan vara svårt att inse genom att resonera sig fram med hjälp av ett enkelt 2D-visualiseringsverktyg, ett dynamiskt simuleringsverktyg kan däremot svara på denna typ av frågeställning. Ytterligare en fördel med simulering jämfört med ett verktyg som enbart innehåller visualisering är att händelser inte lika lätt hamnar i fel ordning eller kommer vid fel tidpunkt. För att optimera insatser med VMS eller för att studera hur känsligt resultatet är för en viss parameter behöver ofta flera simuleringar genomföras där ett parametervärde ändras systematiskt. I ett simuleringsverktyg där händelser och konsekvenser simuleras är det mycket lättare att göra sådana studier än i ett statiskt visualiseringsverktyg. Det dynamiska scenariosimuleringsverktyget kan också innehålla visualisering som kan användas för att visa på svagheter och felaktigheter i scenariet och för att öva uppdrag.

För att kunna jämföra fördelar och nackdelar med olika metoder har ett stridsfordonsscenario, liknande det i avsnitt 2.1.2, även studerats med EWSim. Under simuleringen var hotsystemet konfigurerat så att stridsfordonen kontinuerligt måste befinna sig inom synhåll under minst 4 sekunder för att hotet, en robot av typen *fire-and-forget*, skulle avfyra. I scenariet går stridsfordonen längs en förbestämd bana men vid varning, antingen direkt via egen sensor eller överförd via ett simulerat nätverk, stannar fordonen upp, vrider in tornet och kastar rök om fordonet är hotat eller skjuter moteld i annat fall. Varningssensorer fanns i form av optikspanare eller UV-baserad robotskottvarnare. Figur 4 visar en karta från scenarioplaneringsverktyget där scenariot är uppsatt för simulering i EWSim. Bilden visar också exempel på hur räckviddsdiagram kan användas när scenariot planeras. Det rödfärgade området i bilden visar områden i kartan där hotet kan verka.

Resultatet från simuleringar med olika konfigurationer blev att med en UV-varnare hinner det hotade stridsfordonet få varning och skjuta rök. Röken kommer ut innan roboten träffar men den korta stund röken är verksam är inte lång nog för att robotbanan skall hinna störas tillräckligt och roboten kommer därmed förmodligen att kunna slå ut ett fordon. Den information som skickas via nätverket till de andra fordonen innebär dock att dessa kan slå ut hotet med moteld och kan därmed förhindra fortsatta angrepp mot resten av plutonen. Med ett aktivt spaningssystem i form av en optikspanare ger förvarningen om ett möjligt hot tid till förberedelser vilket ökar möjligheten för samtliga vagnar i plutonen att överleva. Enkelheten i detta scenario gör att skillnaden i resultaten mellan tidslinjalstudien och simuleringar i EWSim inte är påtagligt stor. Det finns dock väsentliga skillnader. EWSim möjliggör att effektiviteten av ett rökmedel kan studeras. Exempelvis visar simuleringarna att roboten inte påverkas tillräckligt mycket om röken kommer ut för sent. Simuleringarna visar också att en verklig terräng ofta är mer komplicerad än vad som kan studeras med ett enkelt tidslinjeverktyg. En verklig terräng innehåller ofta små kullar och enstaka träd som kan fördröja upptäckt från hotsidan men också egna sensorer påverkas. När vägen som stridsfordonen tar svänger av mot hotet strax innan upptäckt förändras aspektvinkeln till hotet från vinkelrätt mot färdriktningen till att bli närmre en framifrån aspekt. Det som i tidslinjalstudien ansågs vara ett värsta fall blev eftersom det tar längst tid att vrida in tornen till den vinkelräta aspektvinkeln visade sig kanske inte vara helt sant. Med ett krympande avstånd mellan vagnarna sett från hotsidans perspektiv är det risk att de motåtgärder som sätts in i form av rök förblindar ohotade fordons sensorer och därmed försvåras möjligheten att sätta in moteldsåtgärder. Detta får konsekvenser i form av att hotet kanske inte slås ut och det finns därmed risk att stridsfordonen blir fördröjda och målet med uppdraget kanske därmed inte kan uppfyllas.



Figur 4 Scenario uppsatt för simulering i EWSim. Terrängavsnittet över detta område i Kvarn är uppmätt med en laserskanner och data från denna uppmätning har använts för att bygga en högupplöst terrängmodell [10]. Räckviddsberäkningar har användas för att skapa de förutsättningar som gäller i stridsfordonssceneriet. Rödfärgat område visar fri sikt från robotgrupp på hustak till olika delar i terrängen där stridsfordon kan upptäckas. Detta område visar att med robotgruppen stående placerad på detta hustak kan stridsfordonen köra längs en skogsväg utan att bli upptäckta. Efter att ha kommit ut på ett öppet fält finns initialt några kullar och enstaka träd som skymmer men efter ungefär 100 meter har robotgruppen fri sikt till stridsfordonet vid ett avstånd på ca 1400 m.

3.4 Jämförelse mellan olika metoder

Alla de tre metoder för att testa och värdera VMS i nätverk som beskrivits ovan fyller en funktion i olika sammanhang men kan också användas som komplement till varandra. Simuleringar med tekniskt detaljerade datormodeller gör det möjligt att optimera motmedelsinsatser i tynsituationer mot specifika hot och är viktig för att få förståelse för VMS funktioner och komponenter. En tidslinjalstudie kan sedan användas som ett första steg för att få en överblick över vad som sker i vissa tynsituationer och kan ge en första uppfattning om vilka krav som bör ställas på ett VMS i ett nätverk. Slutligen kan en realistisk dynamisk scenariosimuleringsmetod användas för en detaljerad studie av mer komplexa scenarier. Detta möjliggör studier av scenarier där många händelser interagerar på ett svåröverskådligt sätt. Simuleringen kan också sättas in i ett större sammanhang där information kan skickas från perifera sensorer, t ex en SIS som plockar upp radiokommunikation med krysspejlar och anger ungefärlig position hos sändare. Visualisering av scenarier i 3D kan visa på svagheter eller direkta fel i planeringen av ett uppdrag och visualisering i 3D kopplat till simulering möjliggör uppdragsträning. Genom att systematiskt variera parametervärden kan simuleringen användas för att studera känslighet hos system, för att optimera t ex en motmedelsinsats eller för att ställa krav. Vidare kan effekten av motmedel eller motverkan studeras i detalj. Det går också att studera eventuella bieffekter av en motåtgärd. Det kan t ex vara

rökkastning som genom ett stort rökmoln visar ungefärlig position för fordon som tidigare kanske inte varit upptäckta.

4 FM simuleringsmiljöer

Det finns olika vägar att gå för att kunna genomföra dynamiska uppdragsscenariosimuleringar med VMS-komponenter involverade. Uppdragskapaciteten finns t ex i många av de redan existerande simulatorer som Försvarsmakten förfogar över. De saknar dock oftast de telekrigkomponenter som behövs för att kunna studera VMS i nätverk med någon större detaljrikedom. Det finns då möjlighet att införa sådana komponenter i dessa simulatorer. Projektet, EWML, har visat på hur detta skall kunna gå till i ett par exempel (se avsnitt 4.4). Alternativt kan ett fristående ramverk, t ex EWSim (se avsnitt 4.1), utvecklas och anpassas till de behov som uppstår (se kapitel 4.2). Med ett standardiserat gränssnitt mellan simuleringskomponenter går det enklare att konstruera en simulatormiljö som uppfyller de önskemål som ställs på simulatören. En möjlig väg i detta sammanhang är att använda HLA för att gifta ihop olika simuleringskomponenter. Genom att flera av FOI simuleringsmiljöer är anpassade till MOSART [11], har en dynamisk operatörmiljö kunnat integreras med EWSim för att kunna studera VMS i en realistisk stridsfordonsmiljö (se kapitel 4.3). Standardisering på en internationell nivå skulle kunna öppna upp möjligheter med framtida internationella samarbeten där de modellkomponenter som behövs till en uppdragssimulering med telekrig hämtas från olika länder. Hur en sådan standardisering skulle kunna gå till kommer att studeras genom ett internationellt samarbete inom EDA som projektet EWML initierat (se kapitel 6).

4.1 EWSim

Ett fristående ramverk, EWSim, med möjlighet för uppdragssimulering med EW komponenter är framtaget inom FOI-projektet *Duellsimulering telekrig* där huvudansvaret för utvecklingen senare tagits över av FOI-projektet *Duellsimulering framtida telekriginsatser*. Ramverket har fått användning inom många projekt där dessa projekt också har bidragit till utvecklingen för att ramverket ska passa in på deras behov. *EW Mission Lab* är ett sådant projekt som bidragit till utvecklingen, bland annat för att kunna påvisa hur telekrigkomponenter kan användas i uppdragssimuleringsmodeller (se avsnitt 2.1.1). EWML har också bidragit till utvecklingen av EWSim när telekrigkomponenter anpassats till existerande simulatorer. I dessa fall har den förenkling som anpassningen/utvecklingen inneburit kunnat testas i EWSim innan integrering skett i simulatören. Vissa komponenter i ramverket har också haft sådan betydelse att projektet utvecklat dessa vilket naturligtvis kan komma även andra projekt till godo.

Förutom att utnyttja de verktyg som normalt sätt är kopplade till ramverket, kan ingående komponenter utnyttjas för utvecklingen av fristående simuleringsprogramvara. Bland annat har simuleringsprogram för fackelfällning från helikopter och för VMS på stridsfordon utvecklats och levererats till Försvarsmakten. Den senare programvaran har utvecklats med stöd från EWML.

En värdering med EWSim sker normalt sätt i flera steg. I ett första planeringssteg samlas data om terräng, plattformar och andra komponenter som skall ingå i simuleringen. De indata som behövs är t ex kartdata i form av område och terrängklassificering, signaturer för olika typer av terräng och plattformar och värden på parametrar som ingår i beskrivningen av olika komponenter. Efter datainsamling kan ett scenario planeras genom att konfigurera plattformar med olika utrustning, placera ut plattformarna på kartan och bestämma om dessa skall styras av en operatör eller om de skall gå längs fördefinierade banor och eventuellt reagera enligt vissa givna regler på händelser i simuleringen. En HLA koppling möjliggör att simuleringen kan distribueras till olika datorer och

olika funktioner eller plattformar kan därmed styras från olika datorer och av olika operatörer. Kopplingen till HLA sker genom MOSART [11] vilket utvecklats inom FOI för att underlätta integration av komponenter i större simuleringar och demonstratorer. Till hjälp vid planeringen finns i EWSim planeringsverktyg där yttäckningsdiagram kan beräknas för olika sensorer och kommunikationsutrustning där hänsyn tas till terräng och eventuell störning (gäller samtliga våglängdsområden - radio, radar, optronik). Under simuleringens gång kan nästan all data om vad som händer i simuleringen (positioner för olika objekt, status på dessa, skapandet av nya objekt som t ex facklor, robotar, osv.) sparas för efteranalys av scenariet. Dessa analyser kan resultera i behov av fler simuleringar där effekten av en parametervariation eller förändrad taktik studeras.

4.1.1 Radarklotter

Ett modelleringsarbete som gjorts mot EWSim inom EWML är att studera hur radarklotter skulle kunna införas i EWSim. Med radarklotter menas vanligen oönskade ekon från mark, sjö eller regnmoln. Dessa ekon kan vara kraftiga i förhållande till ekon från en plattform. I svår klottermiljö kan ett plattformseko förbli oupptäckt. Det är därför viktigt att ta hänsyn till klottereffekter vid simulering av telekrig. Den beskrivning som följer av denna modell är hämtad ur ett tidigare memo [12].

I Mål

Inom projektet har en markklottermodell för spaningsradarsimulering inom ramverket EWSim för simuleringar av telekrigdueller tagits fram. Målet med detta är först och främst att kunna visa en klotterkarta på ett simulerat radar-PPI. Klotterkartan visar radarekon från den simulerade terrängen omgivande en modellerad stationär spaningsradar. Klotterekon från ett visst område i rymden kan sedan jämföras med radarreturen från ett mål, t.ex. ett flygplan, i en spaningsradar. I ett senare skede kan man vilja bygga ut modellen så att den gäller även för flygburen radar.

II Klotter - allmänt

Klotteregenskaper beror på många olika faktorer så som t.ex., terrängtyp, vegetation, årstid, vindhastighet, radarfrekvens, bestrykningsvinkel och polarisation. Detta medför att det är mycket komplicerat att skapa teoretiska modeller. Empiriska modeller baserade på experimentella data är därför de som fått störst användning.

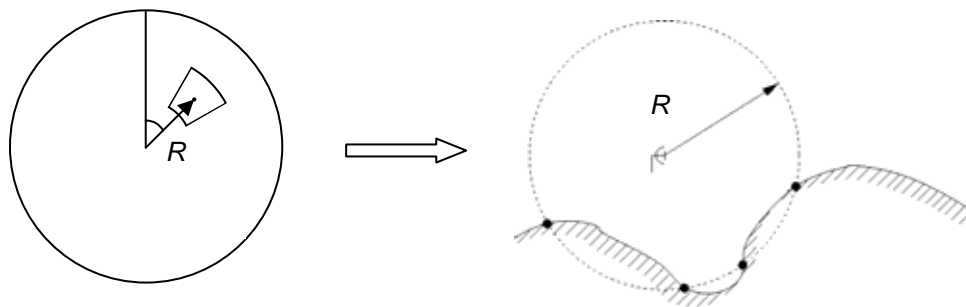
En vanlig metod är att betrakta marken som bestående av en stor mängd slumpvis fördelade, oberoende spridningselement som reflekterar infallande strålning i olika riktningar beroende på ovanstående faktorer. Markens reflektivitet (radarmålarea per ytenhet) kan då beskrivas genom statistiska sannolikhetsfördelningar som t.ex. Rayleigh-, log-normal- samt Weibullfördelning. Då reflektiviteten för ett visst område är känd kan motsvarande områdes radarmålarea beräknas och härefter även reflekterad effekt.

III Modell och metod

Den markklottermodell som tagits fram här baseras på Weibullanpassningar av mätdata presenterade i Ref. [13]. Man tar här hänsyn till faktorer som terrängtyp, frekvens, bestrykningsvinkel, markojämnhet och polarisation.

Som nämnts ovan ska klotterreturer presenteras på ett radar-PPI. Detta är indelat i upplösningsceller vars storlek beror av radaregenskaperna lobbredd och pulslängd. Varje sådan cell presenterar reflektioner från terrängområden inom ett visst riktning- och avståndintervall

från radarn räknat. Som visas i Figur 5 kan en upplösningscell svara mot flera olika terrängområden.



Figur 5 Radarekon inom en viss upplösningscell hos radarn kan härröra från flera markområden.

För att kunna beräkna reflekterad effekt från dessa terrängområden, behöver varje områdes radarreflektivitet vara känd. Denna beräknas i detta arbete genom följande algoritm:

Ett terrängområde (vanligen av storleksordningen 10000 m^2) delas in i en mängd sampleareor vars storlek motsvarar dataupplösningen hos den simulerade terrängen. För varje sampleareas mittpunkt tas en reflektivitet fram. Detta görs genom att först beräkna och bestämma parametrar som inverkar på reflektiviteten, t.ex. aktuell terrängtyp och vinkeln till radarn. Dessa används sedan för att ur Ref. [13] slå upp empiriska värden på medelreflektivitet och kurvform anpassade till en Weibullfördelad reflektivitet. Denna kan nu återskapas och ett värde på sampleareans reflektivitet slumpas fram. Då reflektiviteten för alla sampleareor är kända beräknas ett medelvärde för hela terrängområdet. Genom att multiplicera detta med terrängområdets area erhålls dess radarmålarea. Klotterreturen kan sedan enkelt beräknas och en klotterkarta byggas upp.

4.1.2 Flygplansmodell

Ett annat arbete som gjorts inom EWML för utökad funktionalitet i EWSim är att titta på möjligheten att använda rörelsemodeller för flygplan från FLSC i EWSim. I FLSC finns det mycket bra rörelsemodeller för hur flygplan rör sig. Modeller för flygplans och robotars rörelse finns samlade i det så kallade referensbiblioteket. Referensbiblioteket är skrivet i programmeringsspråket Fortran men det finns också ett C++ skal som gör att modeller för att styra robotar och flygplan kan länkas in i C++ program. Detta har implementerats och testats i en tidig version av EWSim.

4.2 Fristående programvara

Simuleringsmodeller som tas fram för att studera VMS och telekrig är ofta mycket specialicerade och inte helt lätta för en icke-teknisk specialist att förstå sig på. För att göra en simulering krävs därför att den tekniska specialisten finns att tillgå vilket kan leda till en omständlig process när den militäre specialisten vill ha svar på en fråga. Är frågan sådan att det krävs ett omfattande simuleringsarbete innan svar kan ges är en sådan process befogad men ibland vill kanske den militäre specialisten, i utbildningssyfte eller inom ramen för en demonstrator, med enkla medel kunna visa på möjligheter eller begränsningar med telekrig och VMS. I ett sådant läge är det önskvärt med en fristående programvara som är lätt att hantera, vilket kanske innebär begränsade möjligheter att ställa in parametrar för att hindra att felaktiga slutsatser dras. På FOI finns flera exempel på att sådana program utvecklats efter den militäre kundens önskemål.

Den modulära uppbyggnaden av EWSim har gjort det möjligt att med ganska små resurser i tid och pengar bygga upp programvara för simulering av telekrig och VMS, anpassade enligt kundens önskemål. Exempel på en fristående programvara som utvecklats med EWSim-moduler som bas är ett simuleringsprogram för fackelfällning från helikopter, FFT, som togs fram för en Försvarsmaktsstudie, *VMS för helikopter* [14]. I denna programvara flyger en målsökande robot mot en helikopter som kan använda fackelfällning som motmedel. Programvaran medger att på hotsidan kan typen av målsökande robot väljas bland ett antal generiska modeller som representerar olika generationer av målsökare, dessutom kan avfyringsavstånd och avfyringsvinkel väljas. På helikoptersidan kan varnarprestanda anges i form av ett varningsavstånd eller som tid efter avfyring, fackelfällningsmönster och fackelprestanda (intensitet som funktion av tid) kan också sättas. Samtidigt som FFT utvecklades, utvecklades också en modell, TMU, där taktiskt uppträdande i terräng kunde värderas med hjälp av den tid eller sträcka i en bana där helikoptern inte var bekämpningsbar. Genom att variera bansträckning, flyghöjd och flyghastighet kunde sedan en uppfattning skapas om optimalt beteende för helikoptern. En efterföljande studie av VMS på stridsfordon inspirerades av dessa programvaror och initierade utvecklingen av *VMSSim*, som kombinerade FFT och TMU men nu för markfordon. I *VMSSim* studeras modellen mellan ett hotsystem och stridsfordon utrustat med VMS. Hotsystemet kan vara ett annat stridsfordon eller en pvrobot. Både hotsystemet och stridsfordonet med VMS är konfigurerbara i modellen och båda kan styras av en operatör eller gå längs banor och reagera enligt givna regler. Modellen kan köras på en eller flera datorer, i det senare fallet sker kommunikation mellan datorerna via HLA. Utvecklingen av *VMSSim* skedde i två steg. Under det andra uppgraderingssteget gick EWML in och stöttade utvecklingen.

4.3 Operatörmiljö



Figur 6 visar operatörmiljö till vänster och utblick till höger.

Vid FOI har en operatörmiljö (se Figur 6) utvecklats, där en rörelseplattform är kopplad till olika operatörsgränssnitt. Rörelseplattformen ger användaren en realistisk känsla t ex av ett stridsfordon under gång och operatörsgränssnitten kan i stridsfordonsfallet användas för att styra fordonet eller tornet. Förutom gränssnitt för att styra fordonet kan t ex information från varningssensorer ges till

operatören visuellt, i form av 3D-ljud eller genom användandet av taktila gränssnitt där vibrationer i ett bälte ger information om i vilken riktning hotet befinner sig. Under försök kan plattformens rörelse användas för att återskapa den stressnivå som kan finnas i ett verkligt fordon på grund av att fordonet lutar, svänger, accelererar eller bromsar under ett normalt uppdrag. Till stressnivån kan också varningar från en plattform VMS bidra. Det skulle därför vara värdefullt att kunna kombinera rörelseplattformen med den VMS funktionalitet som finns i EWSim.

En integration mellan EWSim och operatörmiljön har genomförts och underlättades av att båda dessa tidigare använts i studier där en HLA koppling med andra modeller varit nödvändig. Denna HLA koppling har i båda fallen skett med hjälp av MOSART [11] och en erfarenhet av MOSART och viss integration fanns därför redan men behövde utvecklas något för att kunna genomföra en demonstration där dessa komponenter var sammankopplade.

Under en slutdemonstration som genomfördes i EWML:s regi kopplades EWSim ihop med operatörmiljön så att rörelse och olika operatörsgrenssnitt kunde testas. Det enkla scenario som redovisades i kapitel 2.1.2 valdes för att demonstrera möjligheter med VMS och en operatörmiljö i samma simulering. Operatörmiljön användes för att styra ett fordon samt tornet på detta. EWSim användes för att styra resten, fast från olika datorer (totalt 4 datorer användes som körde EWSim). Två EWSim datorer användes för att styra de två stridsfordon som inte styrdes av operatörsgrenssnittet, en EWSim användes för att styra och simulera hotet och en fjärde EWSim applikation användes för att presentera en ledningsvy för operatören av rörelseplattformen samt för att simulera VMS på detta fordon. Operatören i rörelseplattformen styrde tornet och fick varningsinformation presenterat på olika sätt (se Figur 7 och Figur 8):

- direkt på en karta i en ledningsvy
- grafiskt på en speciell varningsdisplay
- genom 3D ljud i ett par hörlurar som operatören använde
- som vibrationer i en viss riktning genom ett taktilt bälte runt bröstet på operatören.

En fördel med 3D-ljud och taktil information är att operatören slipper släppa blicken från siktet under inriktning av tornet.



Figur 7 visar interiör från rörelseplattformen med ledningsvyn till höger, i mitten visas en utblick från tornet och till vänster skymtar den grafiska presentationen av varningsvyn.



Figur 8 visar en interiör bild från rörelseplattformen med olika gränssnitt (taktilt bälte och 3D-ljud) för att presentera varningar för operatören. Det taktila bältet ligger på stolsätet och hörlurar för 3D ljud hänger på ryggstödet.

Demonstrationen visade att det går att koppla ihop EWSim med operatörmiljön. Kopplingen mellan EWSim och operatörmiljö möjliggör realistiska tester i en kontrollerad miljö av hur VMS information bör presenteras för en operatör utan att öka stressnivån till en ohanterlig nivå. En uppfattning om stressnivån skulle kunna fås genom att göra psykofysiologiska mätningar av t ex puls och ögonrörelser. Förutom att studera hur operatören påverkas under ett scenario med telekrig skulle även det omvända kunna studeras, d v s hur operatören påverkar utgången av scenariet. Detta skulle kunna vara ett mycket viktigt komplement till normala simuleringar där operatören är simulerad eller inte ingår. Förutom studier av operatörmiljöer skulle en utbyggd simulerings- och operatörmiljö också kunna användas för att träna uppdrag med inslag av telekrig t ex inför framtida internationella uppdrag. Operatörmiljön och EWSim är inte begränsade till markfallet som i denna demonstration utan kan även användas i sjö- eller flygfallet. Det går också att simulera större uppdrag där flera typer av plattformar samverkar.

Integrationen mellan EWSim och operatörmiljön genomfördes på ganska kort tid för att kunna visa på vilka möjligheter Försvarmakten har när telekrigskomponenter skall utvecklas och värderas t ex inför framtida internationella operationer. Båda simuleringsmiljöerna hade sedan tidigare en terrängmodell över kvarnområdet. Dessa var dock inte fullständigt överensstämmande vilket innebar att kullar och träd ibland hade olika utseende. Vid framtida användning bör dock mer tid användas för att jämkna terrängbeskrivning mellan de två simuleringsmiljöerna. Detta bedöms dock inte var alltför svårt att genomföra, speciellt om det är en prioriterad uppgift. En studie där EWSim och operatörmiljön används med jämkade terrängavsnitt bör därför kunna genomföras även under tidspress under förutsättning att kart- och terrängdata samt data om ingående plattformar och dess komponenter finns tillgängliga.

4.4 FLSC

Det finns i dag flera simulatorer inom Försvarmakten. FLSC är ett exempel på en simulator som används för att i simulatormiljö öva flyguppdrag. Det är en simulator som ständigt utvecklas med nya komponenter som tillkommer för att utöka funktionaliteten. Som de flesta andra simulatorer av den här typen finns det inte så stora möjligheter att studera telekrigseffekter under ett uppdrag. Förmodligen inte för att det saknas intresse utan p g a att simulatören ställer så stora krav på realtid att det har varit svårt att föra in relevanta modeller av telekrig, detta p g a att existerande telekrigmodeller kräver ganska stora datorresurser för att kunna köras i realtid. I den mån telekrigskomponenter har funnits har det ofta varit på en nivå där plattformen automatiskt klarar sig helskinnad om motmedel initieras i tid. Detta är inte alltid tillfredställande då en felaktig användning av motmedelsinsatser i verkligheten kan resultera i att skyddseffekten uteblir. Därmed lär sig operatören ett felaktigt beteende i simulatören som inte fungerar i verkligheten. Utvecklingen av datorer har gjort att det som var svårt för några år sedan kan gå betydligt lättare idag. För att påvisa möjligheter att föra in telekrig i FLSC har EWML studerat lösningar för olika telekrigmodeller på FLSC. En av de studerade lösningarna för fackel- och remsfällning har implementerats (se avsnitt 4.4.2). Nedan följer en genomgång av olika koncept som studerats för att kunna implementera telekrigsfunktionallitet på FLSC. Denna genomgång är hämtad från referens [12] men kompletterad med information om val av metod och implementering där sådan är gjord.

4.4.1 Störpod (vilsledande/avhakande störning) mot Jaktradar

Syftet är att hitta lämpliga sätt att representera vilsledande/avhakande radar störning i FLSC. Dessa störformer (viktiga vid störning bland annat mot Lv-system) skulle kunna innefatta:

1. Avståndsvilseledning
 - RGPO/I (Range Gate Pull Out/In)
2. Hastighetsvilseledning
 - VGPO/I (Velocity Gate Pull Out/In)
3. Koordinerad avstånds- och hastighetsvilseledning
4. Vinkelvilseledning
 - X-eye, X-pol, Modulationsstörning

Problemet med dessa reaktiva störningsformer (repeterstörning) är att störningen i den sändande plattformen grundar sig på den mottagna och återutsända effekten från den störande plattformen. När detta skall implementeras i realtidssimuleringsmiljön på FLSC kan tidsfördröjningar uppkomma mellan mottaget måleko och genererad störsignal. Två angreppssätt har identifierats som skulle kunna lösa detta problem

I Alternativ 1 - Publicerad störsändarinformation

- Störsändaren publicerar till datahanteraren (DMGR) aktuella störbärningar, störåtgärdsindex och aktiveringsflagga.
- Störåtgärdsindex (rätt eller fel) grundar sig på den belysta varnarens identifiering av hotsignal.
- Aktivering av störning sker efter 1 tidssteg (problem?) därefter föreligger ingen tidsfördröjning vad avser störsekvensen.
- Vid aktiverad störare sker beräkning i den sändande radarns station (störriktningen blir fördröjd 1 tidssteg - problem?).
Motmedelsenheten (CMU) på varje pilotstation håller ett gemensamt störåtgärdsbibliotek som aktiverar störning i den sändande radarberäkningsmodellen (RAMOS) utgående från den störåtgärd som beordrats från den störsändande stationen. Lösningen syftar till att minimera kommunikationen mellan stationer.
- Störaren avaktiveras då obelyst under en tid (beroende på vilket system som tidigare belyst och identifierats av varnaren).

II Alternativ 2 - Telekrigsserver

- Alla beräkningar som har med störaren/radarn och varnaren att göra, görs på en server gemensam för alla pilotstationer (all elektromagnetisk beräkning måste centraliseras - problem?)

III Metodval

Åtminstone på kort sikt verkar alternativ 1 vara den lämpligaste lösningen då den innebär främst modifieringar av RAMOS och en minimering av trafik mellan stationer. Nackdelen är att störfunktionaliteten distribueras till de enskilda stationerna (störare och störd simuleras på samma station) samtidigt kan detta vara en fördel vid geografiskt distribuerade simuleringar.

Fördelen med alternativ 2 är att problem med tidsfördröjningar mellan sändare och mottagare kan minimeras vilket medger en mer modulariserad lösning. Nackdelen är framförallt ett större omstruktureringsarbete krävs och att fördröjningar införs mellan simuleringen av en entitet och simuleringen av dess sändare och mottagare.

4.4.2 Facklor, remsor, målsökare, och radarer

När det gäller fackel- och remsfällning diskuterades olika metoder som kunde vara tillämpbara på FLSC. Exempelvis använder FLSC VEGA som grafikmotor och tidigare har det till *FFM* (den fackelfällarmodell som levererades till FM [14]) som också använder VEGA tagits fram banmodeller för facklor. Dessa skulle kunna flyttas över i modifierad form, där tabeller används för att initiera fackelfällsekvenser, så att de passar FLSC:s övriga modellstruktur. Samma princip som används för att hantera facklor kan sedan också användas till remsfällning. Ett problem med remsor är att dessa kan påverka andra radarer än målsökare och om hänsyn skall tas till detta måste radarmodulen, RAMOS, på FLSC modifieras.

En annan metod för att integrera facklor och remsor skulle kunna vara att använda en HLA-koppling mellan FLSC och de ACSL-modeller för duellen mellan facklor och IR-målsökande robotar och mellan remsor och radarmålsökande robotar som tagits fram på institutionen för Telekrigvärdering. Ett alternativ till HLA är att förenklingar av dessa ACSL modeller tas fram och läggs in i vapenmodulen (VAP)/Merlin.

När det gäller radarmålsökare finns också andra modeller än ovanstående ACSL modeller som kan vara av intresse att gå vidare med. Bland annat en som utformats av personer på institutionen för radarsensorer och ligger till grund för avdelningen Systemtekniks radarmålsökare.

Den väg som slutligen valdes var att simulera fackel- och remsfällningen genom att data initialt genereras för hur facklor och remsor ser ut vid ett antal tidpunkter. Vid fällning tas dessa data om hand och placeras ut i 3D-scenen. När facklor eller remsor kastas anger en modul, *Service*, vilka fällprogram som ska köras och hur många gånger. Ett fällprogram är uppbyggt av att modulen *Controlbox* kör en viss sekvens av fällning ett antal gånger. Ett *Sequence*-objekt anger hur i tiden en sekvens av *Expendable* ska fällas samt från vilka fällare. En *Expendable* består av en eller flera subladdningar (i flygfallet oftast en) som består av facklor eller remsor (*Flare* eller *Chaff*). Den modul, *Flare*, som beskriver facklans egenskaper konfigureras med data om hur en fackla brinner spatialt, temporalt och spektralt. Modulen, *Chaff*, för remsor konfigureras med data om RCS som funktion av tid och frekvens. Mer detaljer om modellen finns i referens [15].

4.4.3 Radioräckvidd och störning

I dagsläget sker all kommunikation på FLSC utan hänsyn till radioräckvidd och störning men det är önskvärt att inkludera detta i framtiden. Modeller för radioräckvidd och störning mot radiosystem finns på telekrigvärderingssidan framtagna för markradiosystem och sjöradiosystem. Dessa måste parametersättas för flygradiosystem och eventuellt läggas in i FLSC:s ASTi system [16], eller alternativt som separata modeller i simulatorm.

Uppdraget i en uppdragssimulering kan bygga på kommunikation t ex mellan olika plattformar eller mellan en ledningsplats och en eller flera plattformar. Uppdrag där telekrig är involverat kan innebära att någon försöker störa ut kommunikationen. För att simulera detta måste kommunikationskanalen simuleras där hänsyn tas till den utsända signalens effekt, hur antenner är konfigurerade och riktade i förhållande till varandra, hur terrängförhållandet ser ut mellan mottagare och sändare, mm. Dessutom måste störsändare kunna placeras ut och mottagen effekt från vanliga sändare och störare skall beräknas och jämföras inom mottagarens frekvensområde. Att skicka textmeddelanden över ett nätverk är inget problem. Talade meddelanden ställer större krav men går att lösa på flera mer eller mindre enkla sätt. Det enklaste sättet är att använda förinspelade meddelanden som på förhand är distribuerade till alla datorer som deltar i simuleringen. Indexerade kommandon kan sedan skickas över nätverket som talar om att ett visst meddelande skall spelas upp. Detta är relativt enkelt att implementera men har naturligtvis

begränsad flexibilitet. En mer avancerad metod är att skicka röstmeddelanden över datornätverket med hjälp av VoIP (Voice over Internet Protocol). En tredje metod som detta projekt studerat är att använda konfigurerbar/programmerbar hårdvara. Det hårdvarusystem för kommunikation som projektet tittat på kommer från ASTi och innehåller från början mycket funktionalitet bl.a. för frirymdsberäkningar, vissa terräng effekter, diffraktion, bakgrundsbrus baserad på realistiskt signal-till-brusförhållande, avstånd och frekvens effekter, antennbrus, bandbredd hos mottagaren och modulationsfrekvens hos bärivågen. Annat som finns färdigt är krypteringsfunktioner, frekvenshopp, interferens, störning, röstaktiverad sändning, återuppspelning av förinspelat ljud som blandas med den faktiska radiokommunikationen för att simulera bakgrundsljud av olika slag, styrning från nätverk genom HLA, mm. Denna utrustning kan användas i stort sett som den är eller programmeras så att kommunikationen svarar mot beräkningar i Freke/Tavast [17]. Förutom att spara tid vid utveckling av kommunikationsfunktionalitet i en uppdragssimulering med flera aktörer, att spara nätverket och garantera realtidsprestanda ger det projektet en möjlighet att lära känna den hårdvara som används för kommunikation på FLSC inför ett eventuellt behov att införa telekrig på kommunikationsområdet vid den anläggningen. Se kapitel 5 för mer detaljer om ASTi.

4.5 MSI metoder

Projektet, EWML, har haft som avsikt att ta hänsyn till MSI-metoder och frågeställningar när uppdragssimuleringsmodeller studerats. Detta har skett dels genom en mindre utredning om var MSI-tillämpningar skulle kunna vara aktuella (redovisas i detta avsnitt) och dels genom att integrera EWSim med en operatörmiljö framtagen på institutionen för MSI på avdelningen för ledningssystem på FOI (se avsnitt 4.3).

Tre områden har identifierats för MSI-tillämpningar med verksamheten i projektet *EW mission lab* som utgångspunkt:

- Kognitiva agenter
- Visualisering av telekrigaspekter
- Beslutsfattare i simuleringen

Denna genomgång är hämtad från referens [12] men kompletterad med resultat och slutsatser.

4.5.1 Kognitiva agenter

Aktiviteten innebär att kognitiva modeller skapas för att kunna simulera beslutsfattare som komplement till övrig modellering. Den kognitiva modelleringen kan då komma att omfatta både perceptuella egenskaper, såväl som kognitiva modeller av beslutsfattande och manövreringsmodeller. Detta skulle innebära att man får en bättre beskrivning av händelseförlopp som inkluderar simulerade mänskliga beslutsfattare, genom att dessa representeras av kognitiva agenter. Till exempel, skulle en perceptuell del kunna ta i beaktande mänskliga begränsningar att uppfatta information, så som att man inte ser och hör allt, vilket speglar en operatörs funktion bättre. Modellerna av beslutsfattande skulle kunna innehålla begränsningar i mänskligt beslutsfattande för att simulera tidsfördröjningar i besluts-loopen eller för att simulera en variation i beslutens karaktär (till exempel, "felaktiga" beslut), vilket bättre speglar den operativa presentationen. Likaså, kan manövreringsmodeller spegla begränsningar i hantering och manövrering av instrumentering, motmedelssystem och verkanssystem i samma syfte. Modellerna kan bygga på teori och modeller av mänsklig förmåga, kombinerad med domänkunskap inom den modellerade domänen. Till exempel, är det känt att mänskligt beslutsfattande påverkas av mängden information och uppgiftens komplexitet, vilket genom koncept som mental arbetsbelastning och situationsmedvetenhet kan användas för att modellera beslutsförlopp. Andra

exempel är mänskliga generella skevheter i beslutsfattande som är karateristiska för mänskligt beslutsfattande till skillnad från traditionell strukturerad beslutslogik.

Till exempel, skulle en modell över VMS i stridsfordon kunna inbegripa en modell över mänskligt beslutsfattande, för att bättre kunna återge det. Det skulle resultera i att dessa modeller skulle kunna användas i stället för människor i simuleringen och ändå göra simuleringen meningsfull under vissa förhållanden. Det skulle också innebära att människor som deltar i simuleringen skulle kunna kompletteras med kognitiva agenter som löser ”statist-roller” i simuleringen.

Denna typ av modell har implementerats i ett annat projekt på institutionen för telekrigvärdering i form av en radaroperatör [18].

4.5.2 Visualisering av telekrigsaspekter

Aktiviteten innebär att telekrigsaspekter som kan vara svåra att beskriva och presentera visualiseras. Till exempel, skulle vågutbredning eller aktionsförlopp i en telekrigsduell kunna visualiseras för att öka den pedagogiska effekten för en betraktare eller som ett medel för en operatör/beslutsfattare att snabbare och bättre fatta beslut. Ett exempel skulle kunna vara att visualisera kommunikation för en simuleringsövervakare. Aktiviteten fokuserar därmed på informationsflödet mellan resultaten från en beräkning och hur det uppfattas av en människa. Brister i detta informationsflöde leder till fördröjd eller degraderad förståelse, missförstånd eller ökad osäkerhet i beslut. Erfarenhet från andra områden kan användas för att dra nytta av teorier och praktik och anpassa denna kunskap till området.

Visualisering av telekrigaspekter för en simuleringsövervakare har implementerats i ett projekt som använder EWSim [19]. Visualisering och presentation av andra typer av telekrigaspekter såsom varningar har testats inom projektet genom att koppla samman EWSim med en operatörsplats (se kapitel 4.3).

4.5.3 Beslutsfattare i simuleringen

Aktiviteten studerar beslutsfattande och dess konsekvenser genom att inkludera mänskliga beslutsfattare i simuleringen. Genom att simulera röd och blå sida samtidigt öppnas möjligheten att studera om delad situationsmedvetenhet leder till ledningsöverläge. Fördelen med att inkludera mänskliga beslutsfattare är att realismen ökar då besluts-looparna inkluderar människor. Dock är det viktigt att beslutsfattarna får relevant information att interagera med för att denna fördel ska kunna uppnås. Det behövs alltså hyfsat realistisk och detaljerad information som presenteras som beslutsunderlag och manövreringsmöjligheter med inom ett visst spektrum av valmöjligheter. Detta handlar både om vilken information som ingår i gränssnittet mellan simuleringen och beslutsfattaren och om hur det utformas. För att uppnå detta är det lämpligt att stämma av informationsinnehåll och presentationsutförande i iterativa loopar med användare som har god domänkunskap.

Scenarioutformning och utformning av funktionalitet i modellen går hand i hand, eftersom scenariot genererar behov att utföra saker som svarar mot funktionalitet. Det är bra om domänexpertis kan finnas med under tiden detta sker, så att man inte behöver göra så stora omtag, när något behov uppmärksammas.

En annan uppgift för en domänexpert är att förfinas och detaljera scenariot samt att göra en beskrivning av scenariot på en högre nivå. Beskrivningen av scenariot på den högre nivån kan, till exempel, utgå från beslutsfattarnas förväntade mentala arbetsbelastning och situationsmedvetenhet. Det vill säga en beskrivning av när scenariot förväntas ge varje

beslutsfattare hög respektive låg arbetsbelastning och när hög respektive låg situationsmedvetande kan befaras uppträda (till exempel, särskilt kluriga situationer, eller där risk för missförstånd föreligger). Beskrivningen kan till exempel vara en tidslinje med händelser i scenariot utmarkerade och med arbetsbelastning respektive situationsmedvetande på Y-axeln.

Det är en fördel om faser kan identifieras i scenariot så att händelseförloppets dynamik kan följas genom att utföra mätningar för varje fas.

Scenariot som beskrivits i kapitel 2.1.1 bedöms kunna användas. Det är en icke önskvärd situation som har uppstått. Strävan är säkert att förbereda en räddningsoperation väl, så att så liten risk som möjligt att misslyckas med uppdraget föreligger. Dock kan det på grund av tidsbrist eller resursbrist komma att likna situationen beskriven i scenariot.

Följande positioner/roller kan då besättas med mänskliga beslutsfattare.

Röd sida:

- 1 st. Radaroperatör (enl. tidigare scenariobeskrivning)
- 2 st. Verkansförband (enl. tidigare scenariobeskrivning)
- 1 st. Insatsledare (Tillägg till tidigare scenariobeskrivning). Kan ev. ingå i någon av de övriga rollerna som en tillikauppgift.

Blå sida:

- 1 st. Flygförare
- 1 st. Stridsledare i HKP.
- Ev. 1 st. störoperatör i HKP.

Om kommunikationsstörningar på grund av telekrigsituationen kan simuleras kan man mäta effekterna av det på beslutsfattarna och besluten. Eftersom kommunikationen är central för detta upplägg, är det önskvärt att kunna logga informationsutbytet mellan aktörerna i simuleringen (både skickade data och talad kommunikation, om det ingår i simuleringen). Loggningen av kommunikationen bör ske på två nivåer. Dels loggning av när och mellan vem kommunikationen sker (eller inte sker), som underlag för analyser av kommunikationsmönster och dels loggning av innehållet i kommunikationen för analys av typen av kommunikation.

Vidare bör beslutsfattarnas mentala arbetsbelastning, situationsmedvetenhet, delade situationsmedvetenhet och prestation mätas under simuleringen. Om det sker vid flera tillfällen skapas en möjlighet att följa simuleringens dynamiska förlopp och dess ömsesidiga påverkan på beslutsfattaren.

Denna typ av MSI aspekt har studerats i samband med demonstrationer som har gjorts i projektet (se avsnitt 2.1.1 och 4.3).

5 ASTi

Detta kapitel beskriver hur man kan hantera olika typer av störsändningar som förekommer i ASTi [16].

Störsändningar kan i dagsläget genereras på två sätt, dels som en sändare av typ störsändare, och dels som en normal sändare. Ett annat alternativ som ger fullständig frihet är att utveckla en egen

störmodell och via HLA koppla denna till simuleringen. Dock koncentrerar vi oss här på inbyggda funktionaliteter.

Kapitlet beskriver först hur störsändaren fungerar, därefter något om hur effekten av störning förmedlas till användaren. Så tipsar vi om några möjliga tillämpningar och hur störsändaren i dessa fall kan implementeras. Slutligen redogörs för några experiment.

5.1 Störsändaren

Som ett specialfall av sändare finns störsändaren, *Jammer*. I denna finns möjligheten att sända mellan en undre och en övre *tune frequency*. Detta frekvensintervall bestämmer vilka mottagare som kan ta emot störsignalen. Exempel på en annan reglerbar parameter som har inverkan på störeffekten är modulationen (FM, AM, ...).

5.1.1 Bredbandig

Störsändaren är naturligtvis framtagna att fungera som bredbandsstörare. Det är dock endast möjligt att sätta ett störband

5.1.2 Smalbandig

Störsändaren kan även fungera som smalbandig störare, t ex för att störa ut en fixfrekvenssändning 25kHz kanalbandbredd på 38.000MHz sätts undre och övre *tune frequency* till 37.9875 och 38.0125MHz respektive.

5.1.3 Modulationens inverkan

I Generellt i ASTi

I ASTi finns det modulation av typerna *major* eller *minor*. Som *major* räknas FM, AM och Intercom. Intercom behandlas inte vidare i detta dokument. Olika datatacker kan vara *minor* modulationer. *Major* reglerar själva mottagandet av signalen (RF SNR). *Minor* reglerar uppspelning av audio-filer (audio SNR).

I FM tas endast den ljudström som har starkast SNR emot. I AM mixas ljudströmmarna med inflytande proportionellt mot mottagen signalstyrka. En FM-mottagare tar endast emot FM och en AM-mottagare tar endast emot AM. Fel modulation uppfattas som brus och läggs till bakgrundsbruset.

II Störsändarens modulation

Normalt brukar man ju säga att ”lika stör lika”, dvs att ju mer störsignalen efterliknar nyttosignalen, desto större blir störverkan. Vilken roll spelar störsändarens modulation i ASTi? Alla mottagare som har samma modulation som störsändningen kommer att uppfatta störsignalen som ”nyttosignal”. En FM-störsändning kommer alltså att uppfattas som en FM-sändning av en FM-inställd mottagare. Om modulationerna inte stämmer överens, då uppfattas störsändningen som brus.

5.1.4 Utsänd effekt -effektdelning

Den uteffekt som visas i användargränssnittet, delas lika över störbandet. Dvs om störbandbredden är 10MHz och störeffekten är 10W, då kommer effekten i varje 25kHz-kanal att vara 0.025W (10W delat på antal kanaler (400)).

5.1.5 Normal sändare

En sändare som sänder med annan modulation än nyttosändningen adderas till bakgrundsbruset och kan därigenom nyttjas som störsändare.

5.2 Effekt av störsändning

Störsändning kan observeras som att SNR i mottagaren minskar. Mottagaren har en squelch (brusspär). Om SNR går under squelch-nivån stänger mottagaren. Annars kan man låta operatören uppleva störningen i någon slags ljudform. Hur operatören av den störda mottagaren upplever störning regleras via inspelade ljudfiler. Man sätter hur volymen på störljudet varierar med mottaget SNR.

5.3 Tillämpningar

I detta avsnitt diskuteras några förslag på hur olika störtillämpningar kan implementeras.

5.3.1 Audiopsyk

Störsändaren sänder ljudfiler som påverkar mottagaren psykologiskt. Typiskt sänder störaren med ganska låg effekt och överröstar inte nyttosändningen. Däremot, så snart nyttosändningen upphör, så dyker audiopsyksändningen fram igen.

Kan implementeras både som *Jammer* med nyttosändningens modulation inställd eller som en normal sändare med rätt modulation.

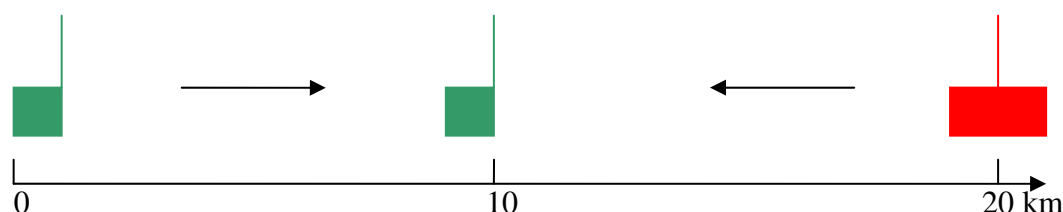
5.3.2 Brus

En brusstörning bygger på att störsändningen överröstar nyttosändningen. Beroende på hur mottagarens squelchfunktion (brusspär) är ställd kan det bli helt tyst, eller så mixas ett brusljud in i nyttoljudet

Ett alternativ för smalbandig brusstörsändning är att antingen använda *Jammer* med 25kHz skillnad på övre och undre gränshänsfrekvens eller att använda en vanlig sändare med fel modulation.

5.4 Störexperiment

Testkörning med två Ra (SCGARS) och en störare (Figur 9).



Figur 9 "Försöksuppställning". Nyttosändare (grön vänster) och störsändare (röd) på samma avstånd från mottagaren (grön mitten)

5.4.1 Fixfrekvens

Inställd mod för Ra var mod 1, frekvens 59MHz. Störaren ställdes in på undre och övre tunefrequency 30 och 88 MHz. Modulation var för samtliga inblandade stationer *Ang FM*. Avstånd och bandbredder hölls konstanta, endast störarens uteffekt ändrades. Uteffekten för radiosändaren hölls konstant på 30dBm. Störaren fick nått och jämt störövervikt vid uteffekt på ~63.5dBm. Bandbredden 30-88 MHz motsvarar 2320 25kHz-kanaler eller 33.6dB. Vid uteffekten 63.5dBm nås därmed en effekt på ~30dBm per kanal och störövervikt.

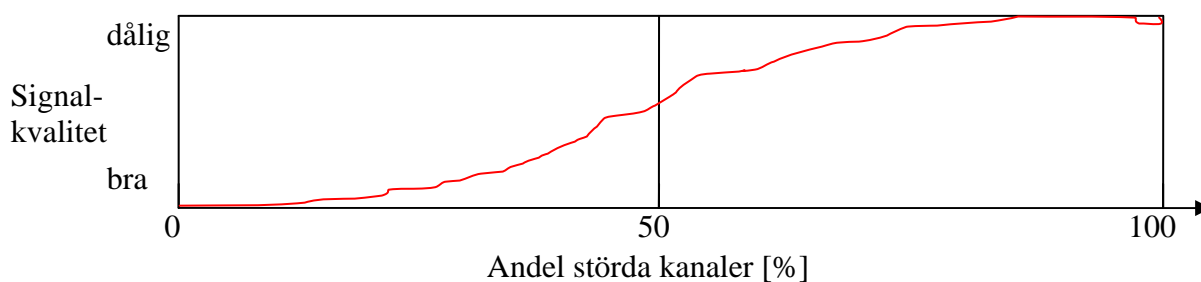
Ett annat experiment var att låta störbandbredden ändras. Det visade sig då att mottagen störsignaleffekt ändrades omvänt proportionellt med störarens bandbredd.

Störsignalens effekt delas lika mellan kanalerna i dess bandbredd.

5.4.2 Frekvenshopp

Inställd mod för Ra var mod 6 (SCGARS) som medför tunefreq = 59MHz och (tror vi) hoppband i intervallet 30-88MHz. Störaren ställdes in på undre och övre tunefrequency 30 och 88 MHz, och täcker då hela hoppbandet. Modulation var för samtliga inblandade stationer *Ang FM*. Avstånd och bandbredder hölls konstanta, endast störarens uteffekt ändrades. Uteffekten för radiosändaren hölls konstant på 30dBm. Störaren fick nått och jämt störövervikt vid uteffekt på -3.5 dBm. Detta är inte alls det resultat man förväntat sig. Istället för att kravet på störsignalen minskade med 33.5dB borde kravet ökat med 33.5dB till 63.5dBm. Till detta har vi f n ingen förklaring.

Vi har även provat fallet där störsignalen i alla störda kanaler har störövervikt. Procenten utstörda kanaler påverkar mottagen signalkvalitet. Mottagen signal dör inte plötsligt vid en speciell procentsats, utan försämras gradvis då andelen utstörda kanaler ändras. Det är svårt att bedöma hur mappningen mellan andelen utstörda kanaler och signalkvalitet ser ut eftersom vi inte har några siffror. En möjlig relation gissas i Figur 10.



Figur 10 Hur uppskattad signalkvalitet beror av andel utstörda kanaler.

6 EW COMARMS

Den modulstruktur som finns i EWSim har inspirerat till ett förslag om internationellt samarbete inom EDA som i slutändan syftar till att ta fram standardiserade gränssnitt mellan simuleringsmodellkomponenter som används vid simuleringar av uppdrag där telekrig ingår. Erfarenheter från ramverket EWSim gör att Sverige kan få en mer framträdande roll (ledande nation) och kan ses som en värdig samarbetspartner. Projektet EWML har varit huvudansvarig från FOI när det gällt att ta fram förslag och starta upp detta projekt som fått namnet EW COMARMS (Electronic Warfare Common Modular Architecture for Mission Simulation). Som en följd av projektet kan Sverige få tillgång till andra nationers erfarenhet utan behov av att utbyta modeller eller känslig information. En framtida standardisering kan dessutom medföra möjlighet till bilaterala samarbeten där simuleringsmodeller kan kombineras eller resultat från motsvarande modeller kan jämföras.

Syftet med projekt är att:

- Definiera modularkitektur för datormodeller av telekrigkomponenter och andra komponenter som behövs för en uppdragssimulering. Arbetet fokuseras inledningsvis på radio- och radarfrekvenser men bör inte vara begränsat till dessa utan också kunna appliceras på t ex det elektrooptiska området.
- Karakterisera funktioner och prestanda hos moduler
- Definiera gränssnittsstrukturer
- Skapa preliminär projektdefinition

Det inledande projektet kommer enbart att vara en realiserbarhetsstudie för att visa om det är möjligt att inom Europa hitta en gemensam definition på gränssnitt mellan olika komponenter som kan ingå i simuleringen. Kan sedan en standard konstrueras i ett efterföljande projekt öppnar det upp möjligheter att samarbeta bilateralt eller multinationellt med att värdera eller utveckla telekrigsåtgärder under uppdrag som t ex kan vara en internationell insats. En sådan standard gör det också möjligt att ställa krav vid beställning av nya simulatorer till Försvarmakten som i sin tur möjliggör för andra än den ursprungliga tillverkaren att bidra till utvecklingen av simulatorn om t ex telekrigkomponenter skall läggas till. Det blir också möjligt att samköra olika framtida simulatorer för flyg, fartyg och markbaserade stridsfordon för att öva Försvarmaktsgemensamma uppdrag där telekrig kan vara involverat. Projektet förväntas starta under den första halvan av år 2007, då med stöd från projektet *Duellsimulering framtida telekriginsatser*.

7 Framtida arbete

Behov av framtida arbeten är:

- Arbetet med att utforma en internationell standard mellan simuleringskomponenter i en simulatormiljö för uppdragssimulering med telekriginslag bör fortsätta. Det arbete som tas vid under 2007 kommer att drivas från projektet *Duellsimulering framtida telekriginsatser*.
- Stöd till FM simulatorer som önskar telekrigfunktionalitet

Integrationen mellan t ex operatörmiljön på FOI och telekrigmodellerna i EWSim skulle kunna användas för att:

- Stödja utveckling och kravsättning på samverkande telekrigssystem
- Öka förståelsen för nyttan av samverkande system
- Modeller kan användas som planeringsverktyg inför fältprov, övningar och vid internationella operationer
- Utbilda i telekrigföring på olika plan för framtida beredskap i konfliktsituationer
- Utveckla modeller som ger tillfälle att öva och utveckla telekrig där det annars inte är möjligt på grund av tid, sekretess eller personsäkerhet.

Exempel på frågeställningar som skulle kunna besvaras:

- Vilken nytta får man av nya Tk-sensorer under operatörsinverkan i ett givet scenario?
- Hur påverkas operatören i stressituationer (psyko-fysiologisk information)?
- Hur kan information som sänds över SLB (stridsledning bataljon) från olika Tk-sensorer optimeras för bästa systemeffekt?
- Hur kan nya Tk-resurser användas på ett fartyg vid kustnära uppträdande och hur ska informationen presenteras för operatörerna?
- Vilken nytta gör en mobil SiS och hur presenteras informationen på bästa sätt?

8 Sammanfattning och slutsats

Projektet *EW Mission Lab* har studerat hur försvarets VMS kapacitet kan optimeras ur ett uppdragsperspektiv med samverkande system av system. Detta har skett framförallt genom att titta på existerande simuleringsmodeller för telekrig och VMS och på existerande simulatorer samt på hur dessa kan kombineras. Detta har resulterat i att:

- Projektet har visat hur simuleringar, kan användas för att få en djupare förståelse för bl a möjligheter och begränsningar med VMS i nätverk både när det gäller systemen som sådana men också av enstaka systemkomponenter.
- Projektet har varit med vid framtagning av användaranpassade simuleringsprogram som kan användas direkt av militära användare för att visa på möjligheter och begränsningar med VMS.
- Projektet har bidragit till att integrera FOI:s telekrigmodeller med Försvarets simulators. En fackel- och remsfällar modell har integrerats på FLSC och i framtiden när

radarmodellen uppgraderats för att ta hänsyn till dessa kan dessa användas för att studera hur facklor och remsor fungerar under ett uppdrag.

- Projektet har demonstrerat hur simuleringsmodeller för telekrig integrerats med en operatörmiljö för bl a stridsfordon. Detta försök visar hur en simulator kan användas till att studera och optimera VMS koncept där operatörs interaktion har stor betydelse (hur reagerar en operatör på nya typer av sensorer, hur påverkas VMS funktionen av plattformens rörelse, hur konstrueras ett MMI på bästa sätt (exempelvis taktila västar), hur upplevs ledningssystemet i kombination med VMS, mm). Dessutom kan operatörmiljön användas för att träna användning av VMS i en realistisk miljö. Ett annat tänkbar användningsområde är att konstruera värderingsspel inför internationella operationer för att studera operatörens inverkan på resultatet.
- Projektet har verkat för att starta ett projekt inom EDA med målet att standardisera gränssnitt mellan simuleringsmoduler som behövs för uppdragssimulering med telekriginslag. En sådan standard skulle underlätta framtida samarbeten över nationsgränserna. Dessutom skulle framtida nyutveckling och vidareutveckling av simulatorer förenklas genom möjlighet att fritt kunna välja leverantörer av moduler.

Slutmålet med projektet har varit att kunna demonstrera tänkbara metoder för optimal användning av VMS i ett uppdragsperspektiv vid internationella insatser. Detta har uppnåtts genom att koppla telekrigssimuleringsmodeller (EWSim) till en operatörmiljö så att både systemprestanda för telekrigskomponenter och operatörsinverkan kan beaktas.

För att nå till slutmålet har dessutom ett antal delmål uppnåtts:

- Kartlägga möjligheterna att infoga telekrigsfunktioner i FM simuleringsmiljöer.
 - För att optimera användning av VMS i ett uppdragsperspektiv måste hänsyn tas både till systemprestanda för telekrigskomponenter och till operatörsinverkan. Operatörsinverkan studeras lämpligen via någon av FM existerande simulatorer. Dessa måste dock kombineras med simuleringsmodeller för telekrig. Projektet har därför gjort en kartläggning av vilka möjligheter som finns att infoga telekrigsfunktioner i dessa simulatorer. Dels genom att försöka få en allmän överblick över vilka simulatorer som finns genom studiebesök på FLSC och på F7 och genom att delta i möte med användargrupp LUFT SIM.
- Ta fram metodik för realtidssimulering av telekrig.
 - För att införa telekrigmodeller i en simulator måste en metodik för realtidssimulering av telekrig utarbetas. FLSC har använts som testfall där ett antal koncept studerats och en modell har också implementerats. Integration mellan telekrigssimuleringsmodeller och en operatörmiljö på FOI har också genomförts. Dessa arbeten visar på en fungerande metodik där man börjar med att studerar vilka behov/önskemål som finns i den aktuella simulatören av telekrigskomponenter. Genom att studera simulatorns begränsningar och möjligheter går man sedan vidare med att studera implementeringskoncept för olika telekrigskomponenter. Först därefter påbörjas en implementering.
- Studera möjlighet till gemensam standardisering inom Europa av användarparametrar för och gränssnitt mellan moduler som behövs för uppdragssimulering med telekriginslag
 - I existerande simulatorer kan införandet av telekrigskomponenter försvåras av att företag som levererade simulatören ofta också äger rätten till den programvara som

styr den. Standardiserade gränssnitt mellan simuleringskomponenter skulle underlätta utökning av simulatorer med t ex telekrigskomponenter och därför har ett tredje delmål för projektet varit att studera möjligheter för en gemensam standardisering inom Europa. Projektet har därför initierat ett samarbetsprojekt inom EDA som kommer att studera en sådan standardisering.

Som framgår ovan har projektets slutmål och samtliga delmål därmed blivit uppfyllda.

9 Förkortningar

CMU.....	<i>Countermeasure Unit</i>
CSAR.....	<i>Combat Search and Rescue</i>
DMGR.....	<i>Data manager på FLSC</i>
EDA.....	<i>European defence agency</i>
EO.....	<i>Electro-optical</i>
EW COMARMS.....	<i>Electronic Warfare Common Modular Architecture for Mission Simulation</i>
EWML.....	<i>EW Mission Lab</i>
EWSim.....	<i>EW Simulation Interface Model</i>
FFT.....	<i>Fackelfällningstaktik</i>
FLSC.....	<i>Flygsimulatorcentrum</i>
FM.....	<i>Försvarsmakten</i>
HKP.....	<i>Helikopter</i>
HLA.....	<i>High Level Architecture</i>
IR.....	<i>Infraröd</i>
IRST.....	<i>Infrared Search and Track</i>
LWS.....	<i>Laser Warning System</i>
MANPADS.....	<i>Man-Portable Air Defense System</i>
MAW.....	<i>Missile Approach Warner</i>
MOSART.....	<i>MOdeling and Simulation for Analysis and Research Test-bed</i>
MSI.....	<i>Människa - System - Interaktion</i>
NBF.....	<i>Nätverksbaserat försvar</i>
PPI.....	<i>Plan Position Indicator</i>
RAMOS.....	<i>radarberäkningsmodell som används på FLSC</i>
RGPO/I.....	<i>Range Gate Pull Out/In</i>
SIS.....	<i>Signalspaning</i>
TMU.....	<i>Terrängmodell upptäckt</i>
UAV.....	<i>Unmanned Aerial Vehicle</i>
UV.....	<i>Ultraviolet</i>
VGPO/I.....	<i>Velocity Gate Pull Out/In</i>
VMS.....	<i>Varnare och motverkanssystem</i>

10 Kunskapsöverföring och nyttiggörande

Kunskapsöverföring och nyttiggörande från projektet har skett vid ett flertal tillfällen genom föredragningar och demonstrationer. Som nämnts ovan har ett internationellt samarbete initierats inom EDA och diskussioner om internationella samarbeten har även förts i andra sammanhang. Dessutom har ett konferensbidrag och rapporter givits ut som redovisas nedan.

10.1 Konferensbidrag

Christer Wigren, *Modeling of EO countermeasure systems in a network perspective*, Proc. SPIE Vol. 6397, 63970I (September 2006) (FOI-S--2411--SE)

Gustaf Olsson, *DAS for the future - Increased survivability and/or flexibility*, SMI conference: International Land Systems for the Digitized Battlespace (2006) (FOI-S--2404--SE)

10.2 Rapporter

Wigren Christer, Alfredsson Jens, Andersson Åsa, Klum Peter, *Metoder och modeller för uppdragssimulering*, FOI Memo 1115 (2004)

Wigren Christer, *Demonstration av tänkbara metoder och modeller för uppdragssimulering*, FOI Memo 1120 (2004)

Wigren Christer, *Demonstration av hur telekrigskomponenter kan användas i uppdragssimuleringsmodell*, FOI Memo 1527 (2005)

Wigren Christer, Tydén Lars, Klum Peter, *Statusrapport för projektet EW Mission Lab*, FOI Memo 1539 (November 2005)

Klum Peter, Johansson Peter, Tydén Lars, Wigren Christer, Hansson Mikael, *Workshop - TK-stöd till FM vid planering, genomförande och uppföljning av uppdrag*, FOI Memo 1832 (2006)

Wigren Christer, *Demonstration av tänkbara metoder för optimal användning av VMS i ett uppdragsperspektiv vid internationella insatser*, FOI Memo 1917 (2006)

Wigren Christer, Leif Festin, *Slutrapport - EW Mission Lab*, FOI rapport FOI-R--2153--SE (2006)

10.3 Demonstrationer

Demonstration av tänkbara metoder och modeller för uppdragssimulering (2004)

Demonstration av hur telekrigskomponenter kan användas i uppdragssimuleringsmodell (2005)

Demonstration av tänkbara metoder för optimal användning av VMS i ett uppdragsperspektiv vid internationella insatser (2006)

11 Referenser

- [1] <http://www.eurofighter-typhoon.co.uk/Eurofighter/defences.html>
- [2] <http://www.selex-sas.com/datasheets/HIDAS.pdf>
- [3] <http://www.defense-update.com/products/s/shtora-1.htm>
- [4] <http://www.defense-update.com/products/m/muss.htm>
- [5] Grönlund Ove, *Delrapport studieförsök VMS strf (ATK99062SF) 2004*, MSS rapport 21 120:10045 (2005)
- [6] Christer Wigren, Lars Tydén, Peter Klum, *Statusrapport för projektet EW Mission Lab*, FOI MEMO 1539 (November 2005)
- [7] Wigren Christer, *Demonstration av hur telekrigkomponenter kan användas i uppdragssimuleringsmodell*, FOI Memo 1527 (2005)
- [8] Tydén Lars, Appleby Niclas, Andersson Hanna, Bergman Joakim, Festin Leif, Haavisto Daniel, Hedberg Carl, Nordin Morgan, Olsson Sebastian, Petersson Mikael, Svensson Pär, Wigren Christer, *Slutrapport duellsimulering Telekrig*, FOI rapport FOI-R--1775--SE (November 2005).
- [9] Klum Peter, Wigren Christer, Pettersson Magnus, Bolander Göran, Olsson Gustaf, *VMS-funktion i nätverk för stridsfordonsförband, några typfall*, FOI-rapport FOI-R--1328--SE (September 2004).
- [10] S. Ahlberg, M. Elmqvist, Å. Persson, U. Söderman, *Metoder för framställning av högupplösta syntetiska omgivningar / omvärldsmodeller för sensorsimulering.*, FOI Rapport, FOI-R--1110--SE
- [11] A. Törne, T. Horney, M. Brännström, P. Hörling, L. Tydén, *Projektutnyttjande MOSART*, FOI-Memo 1128 (2004).
- [12] Christer Wigren, Jens Alfredsson, Åsa Andersson, Peter Klum, *Metoder och modeller för uppdragssimulering*, FOI Memo 1115 (December 2004).
- [13] J. B. Billingsley, *Low-Angle Radar Land Clutter - Measurements and Empirical Models*, William Andrew Publishing Inc., Norwich, NY (2002), ISBN: 1-891121-16-2
- [14] *Modeller för att studera VMS på helikopter TMU och FFM*, FOI Memo 02-3382 (2002)
- [15] Hanna Andersson, Carl Hedberg, Mikael Petersson, Lars Tydén, Christer Wigren, *Integrerad EO duellmodell*, FOI-rapport FOI-R--1724--SE, (September 2005)
- [16] <http://www.asti-usa.com/>
- [17] N.Appleby, *Freke-Tavast 1.3*, FOI-Memo 04-827 (2004).
- [18] M. Nordin, P. Klum, U. Berggrund, *Modellering av störd radaroperatör i EWSim*, FOI-rapport FOI-R--1720--SE (2005).
- [19] FOI (2006). *Design LKS Version 1*. FMV beteckning: VO FoT 23321:22650/2006