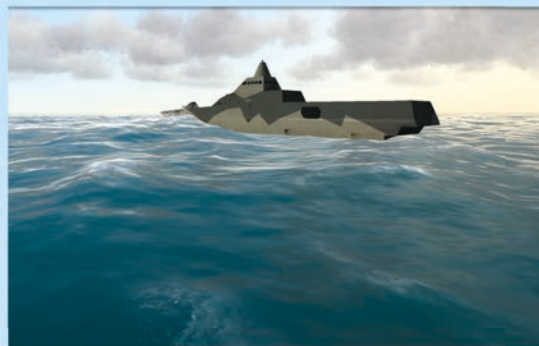


Genomförd verksamhet 2015 i projektet Duellsimulering framtida telekriginsatser

LARS TYDÉN, PETTER BIVALL, MAGNUS DAHLBERG, JOHAN HEDSTRÖM,
PETER KLUM, BJÖRN LINDAHL, HANNA LINDELL, CHRISTIAN NELSON, CHRISTER WIGREN

Duellsimulering framtida telekriginsatser



Lars Tydén, Petter Bivall, Magnus Dahlberg,
Johan Hedström, Peter Klum, Björn Lindahl,
Hanna Lindell, Christian Nelson, Christer Wigren

Genomförd verksamhet 2015 i projektet Duellsimulering framtida telekriginsatser

Bild/Cover: (Bildbyrå och namn på fotograf)

Titel	Genomförd verksamhet 2015 i projektet Duellsimulering framtida telekrigsinsatser
Title	
Rapportnr/Report no	FOI-R--4134--SE
Månad/Month	December
Utgivningsår/Year	2015
Antal sidor/Pages	30 p
ISSN	1650-1942
Kund/Customer	Försvarmakten
Forskningsområde	9. Telekrig
FoT-område	Telekrig
Projektnr/Project no	E54546
Godkänd av/Approved by	Per Johannessson
Ansvarig avdelning	Sensor- och TK-system

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

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

Sammanfattning

Rapporten sammanfattar projektet Duellsimulering framtida telekriginsatser inom Forskning och teknikutveckling (FoT) Telekrig år 2015. Projektet har haft det övergripande målet att utveckla verktyg och metodik för telekrigvärdering. Dessa verktyg blir med lämplig metodik ett hjälpmedel vid utveckling av stridsteknik och taktik inför och under framtida telekriginsatser. Slutmålet för projektet är att demonstrera den utvecklade metodiken och verktygen. Detta genomförs i form av demonstrationer och genom att aktivt delta i Försvarmaktens försöks-, övnings- och spelverksamhet.

Exempel på övergripande förbättringar av modellerna i EWSim är:

- Hoppfrekvenssamband med störning.
- Radarvarnare i planeringsverktyget.
- Täckningsdiagram IRST.
- Förbättrad förmåga att utföra mängdkörningar.
- Fördefinierade plattformskonfigurationer.
- Modellering av spaningsradar, målinmätning samt hantering av snabba mål.
- Fortsatt modellering av bildalstrande jaktmålsökarmodell.
- Fortsatt modellering av BVR jaktmålsökarmodell.
- En eldledningsradar dirigerar simultana skott mot multipla mål.
- Ny modellering av hav.
- Ny modellering av himmel och moln.

Under året har projektets arbete presenterats vid två konferenser, den ena arrangerad av AOC, samt under marinstridsdagarna. Demonstrationer har skett vid ett flertal tillfällen, t ex för telekrigbataljonens ledning, FoT-ansvarig och för FMV T&E. I det fortsatta arbetet kommer framtida system och väderpåverkan att studeras och modeller för vågutbredning, målinmätning samt ESM-system kommer att vidareutvecklas. Fortsatt i fokus kommer även loggning och analysfunktioner samt visualiseringar att vara.

Nyckelord: Telekrig, simulering, värdering, duell, EWSim, NetScene, Simulink, målsökare, radar, kommunikation, elektrooptik, HLA Evolved, OPEVAL.

Summary

This report presents a summary of the work performed in 2015 within the project *Future Electronic Warfare Duel Simulation* funded by the Research and Technology (R & T) program Electronic warfare (EW). The primary goal of the project has been the development of tools and methodology for electronic warfare assessment. The tools combined with the methodology can be used to aid the development of tactics, techniques and procedures in preparation for and during future electronic warfare efforts. The final goal of the project is to demonstrate the developed methodology and tools. This is achieved through demonstrations and by participation in trials and exercises with the Swedish Armed Forces.

Examples of general improvements in the EWSim framework are:

- Frequency hopping in conjunction with jamming.
- Radar warners in the planning tool.
- Coverage diagram for IRST.
- Improvements in batch run capabilities.
- Predefined configuration of platforms.
- Modelling of surveillance radar, target tracking and fast targets.
- Continued work on model of imaging seeker for air-to-air missiles.
- Continued work on model of target seeker for BVR air-to-air missiles.
- Target tracking radar can handle multiple targets.
- Improved visualization of water.
- Improved visualization of the sky and clouds.

During 2015 project work has been presented at two conferences, one of them AOC EW Europe, and at the “Marinstridsdagarna”. The tools have been demonstrated on several occasions. Continued work will include studies of future EW systems and the influence of weather on duels and continued work on models for wave propagation, multiple sensors tracking and ESM systems. Logging and analysis as well as visualization will still be important fields to study.

Keywords: Electronic warfare, simulation, assessment, duel, EWSim, NetScene, Simulink, guidance, radar, communication, electro-optics, HLA Evolved, OPEVAL.

Innehållsförteckning

1	Inledning	7
1.1	Frågeställning.....	7
1.2	Slutmål	7
1.3	Arbetssätt	7
1.4	Samarbeten med andra projekt	8
2	Simuleringsramverket EWSim	9
2.1	Äganderätt och tillgänglighet.....	9
3	Översikt av utvecklingsverksamhet	10
3.1	Loggning- och analysfunktioner	10
3.2	Planeringsverktyg	10
3.2.1	Täckningsdiagram IRST	10
3.2.2	Nätverk för flygande plattformar	11
3.2.3	Ny marktäckedata med dielektriska egenskaper	12
3.2.4	Översyn av visualiseringsbehov avseende arbete med 39E.....	12
3.2.5	Radarvarnare	12
3.2.6	Fördefinierade plattformar	13
3.2.7	J/S i duellen	13
3.2.8	Mängdkörningar	15
3.3	Ny och uppdaterad funktionalitet i EWDuel	15
3.3.1	Spaningsradar, målinmätning samt hantering av snabba mål ...	15
3.3.2	Generisk bildalstrande jaktmålsökarmodell	15
3.3.3	Generisk BVR jaktmålsökarmodell	17
3.3.4	Simultana skott mot multipla mål	17
3.3.5	Terränghantering	18
3.3.6	Ny modellering av hav	18
3.3.7	Ny modellering av himmel och moln.....	19
3.3.8	Övrigt.....	21
3.4	Omvärldsbevakning och presentationer	22
3.4.1	Marinstridsdagarna	22
3.4.2	GRC-konferensen Visualization in Science and Education.....	22
3.4.3	Electronic Warfare Europe, AOC	22
4	Kunskapsöverföring och stöd till kund	23
4.1	Demonstrationer.....	23
4.2	Stödverksamhet	23
5	Slutsatser och diskussion	25
6	Fortsatt arbete	26
7	Referenser	29

1 Inledning

Denna rapport sammanfattar verksamheten under 2015 i projektet *Duellsimulering framtida telekriginsatser* (DFTk) som bedrivs inom området Forskning och Teknikutveckling (FoT) Telekrig (AF.9220812, Telekrig 15) från 2015 till och med 2017. Duellsimulering framtida telekriginsatser är en fortsättning på tidigare projektet inom telekrig och duellsimuleringar.

Projektet Duellsimulering framtida telekriginsatser syftar till att stödja Försvarmakten (FM) i utveckling, användning och kravsättning på telekrigssystem och deras totala förmågor, samt öka förståelsen av systemen och hur de kan samverka. Detta ska uppnås genom att skapa modeller och planeringsverktyg som ger möjlighet att öva och utveckla telekrig samt taktikanpassning under till exempel fältprov, övningar och insatser. En styrka med en simulerad miljö är möjligheten att testa system som man inte har fysisk tillgång till, både existerande system och sådana som kan komma att utvecklas och användas i framtiden. Effekten av sådana system kan därmed värderas på ett effektivt och säkert sätt. De modeller och planeringsverktyg som utvecklas kan även med fördel utnyttjas vid utbildning inom FM.

Projektet DFTk vidareutvecklar simuleringsramverket Electronic Warfare Simulation Interface Model (EWSim) som tagits fram i tidigare projekt [1] och som även beskrivs i kapitel 2. Ramverket möjliggör utvärdering av komplexa telekrigscenarier med dueller där både automatiska och operatörsstyrda system för radar, optronik, och kommunikation ingår samtidigt. Detta gäller även värdering av telekrigets inverkan på informationsdomänen.

1.1 Frågeställning

Verktyg och metodik som utvecklas i projektet kan bl.a. utnyttjas för att studera och åskådliggöra följande frågeställningar:

- Hur utvecklas framtidens stridstekniska och taktiska telekrigdueller med en tänkbar högteknologisk motståndare?
- Hur kan försvarets framtida telekrigkapacitet utnyttja samverkan av system inom optronik-, radar- och kommunikationsområdet för såväl för verkan som för skydd?
- Hur kan telekrigmodeller stödja planering och genomförande av uppdrag?

1.2 Slutmål

Slutmålet är att demonstrera exempel på telekrigvärderingsmöjligheter och duellsimuleringsverktyg som kan användas som hjälpmedel för utveckling av stridsteknik och taktik vid framtida telekriginsatser med tänkbara motståndare, hög- eller lågteknologiska. Detta genomförs genom årliga seminarier och rapporter samt expertstöd och deltagande i FM:s övningar och försök.

1.3 Arbetssätt

Arbetsättet under projektet har varit iterativt där en övergripande projektplanering skett årsvis och där uppföljning och revidering av arbetspaket har skett kvartalsvis.

1.4 Samarbeten med andra projekt

Gemensamma beröringspunkter med detta projekt finns framförallt inom projekten *VMS Ytstridsfartyg*, *Teknisk hotsystemanalys* och *FOI Värderingsstöd EWSim*. Nya samarbeten har påbörjats inom luftvärnsrobotområdet, med FLSC samt med Saab (OpVal). Arbete sker även för att kunna stötta validering och verifiering av Gripen E, inom beställning från FMV.

Inom projektet *VMS Ytstridsfartyg* har duellen studerats mellan flera hotrobotar, som kan vara av både radar- och IR-typ, och flera fartyg med motverkanssystem. I radarfallet har simuleringar gjorts för att studera motverkan mot flera samtidigt inkommande sjömålsrobotar. I IR-fallet har fortsatt modellutveckling skett av en bildalstrande sjömålsrobot samt av en bildalstrande jaktrobot, se avsnitt 3.3.2. DFTk-projektet har i detta sammanhang säkerställt att simuleringsmiljön anpassats till behoven inom *VMS Ytstridsfartyg*, så att simuleringar har kunnat genomföras. *Teknisk hotsystemvärdering* är ett projekt som tar fram detaljerade hotrobotmodeller som nu kan användas i EWSim för värdering i större scenarier. Dessa modeller utvecklas fristående och modelldrivet och integreras mot EWSim. Två typer av hotrobotsystem har mängdsimulerats i EWSim och motmedelsalgoritmer utprovats. Data från dessa mängdsimuleringar behandlas nu inom *VMS Ytstridsfartyg*.

Andra FOI-projekt utvecklar modeller av missiler och då främst kinematiska. Dessa modeller kan nu användas i EWSim men med EWSim målsökare, se avsnitt 3.3.3.

I samband med att arbete initierats till stöd för utveckling av Gripen E, inbegripande samarbete med Saab, insågs vikten av datadelning mellan simuleringsramverken över det gemensamma gränssnittet High Level Architecture (HLA) [2, 3]. Detta kräver dock visst arbete med datastrukturer för HLA, men om det faller väl ut skapas möjligheter att köra EWSim-modeller i fler miljöer, t.ex. i FLSC.

2 Simuleringsramverket EWSim

EWSim är ett ramverk för distribuerade telekrigssimuleringar som möjliggör att komplexa telekrigsscenarier med radar, optronik och kommunikation kan simuleras och utvärderas. Ramverket består av tre huvuddelar:

1. *Scenarioplanering och konfiguration*, via ett verktyg kallat NetScene, där olika plattformar (t.ex. stridsvagnar och helikoptrar) konfigureras med olika komponenter som t.ex. sensorer och vapen. Scenarioplanering utförs genom att dessa plattformar utgrupperas och ges uppgifter med stöd av exempelvis verktygets räckviddsberäkningar. Verktyget kan även användas vid mängdsimuleringar, då tillsammans med EWDuel. NetScene har i tidigare rapporter ibland även kallats för EWPlan eller LKS Planeringsverktyg.
2. *Duellsimulering*, via verktyg som ComNet och EWDuel, där olika plattformar interagerar i en distribuerad simulerad miljö, med eller utan mänsklig operatör. Simuleringsberäkningar kan distribueras till flera datorer där EWDuel körs, och som var och en ansvarar för simulering av en del av scenariot, t ex en eller flera sensorer eller plattformar. Simuleringen kan utföras med modeller av olika detaljnivå och köras i realtid, snabbare än realtid eller långsammare än realtid.
3. *Utvärdering*, via olika verktyg, som möjliggör loggning och efterföljande analys av simulerade dueller. En simulering kan återuppspelas och scenariots händelseutveckling kan analyseras.

För distribuerade simuleringar används simuleringsstandarden HLA [3]. Denna standard har även tagits upp som simuleringsstandard av NATO [4]. Tillsammans tillhandahåller delarna en omfattande uppsättning verktyg för dynamiska telekrigssimuleringar och värdering. Bland verktygen finns modeller av radarsystem, infraröda och radarbaserade målsökare, varnarbibliotek och motmedel, kommunikationssystem, pejlsystem och mycket mer.

Verktygen vidareutvecklas kontinuerligt och används för att kunna stödja FM i olika telekrigfrågor.

2.1 Äganderätt och tillgänglighet

Programvaran i ramverket EWSim, t ex EWDuel, ComNet och NetScene, är baserad på egen kod, utvecklad av FOI, samt öppen källkod (t.ex. LGPL¹ v3) vilket innebär att ramverkets alla modeller kan användas, läsas, modifieras och vidare distribueras med stor frihet.

Fördelarna med detta är:

- Oberoende av andra företag eller stater.
- Kontroll över vad som sker i programvaran och möjlighet att fritt modifiera så att vi kan tillgodose våra egna och uppdragsgivarens behov.
- Inga licenskostnader för att använda eller att distribuera programvaran.
 - För HLA används mjukvaran Pitch pRTI som FM har tillgång till genom ramavtal, och därmed tillkommer ingen extra kostnad.

¹ Lesser General Public License, gör att man till exempel i en kommersiell programvara med sluten källkod, kan dra nytta av ett externt bibliotek som är tillgängligt under LGPL, utan att bryta mot licensregler.

3 Översikt av utvecklingsverksamhet

Under 2015 har vidareutveckling av EWSim fokuserat dels på mer naturtrogen simulering av omgivningen och dels på modellering, beräkningar och visualiseringar för mer högteknologiska system än de som fanns sedan tidigare i ramverket. De system och visualiseringar som har kvävts för samarbeten med andra projekt, se avsnitt 1.4, har prioriterats i arbetet. I detta kapitel beskrivs större utvecklingsarbeten och studier som genomförts i projektet under året, uppdelat på simuleringsverktyg. Även genomförda studier, presentationer och omvärldsbevakning behandlas.

3.1 Loggning- och analysfunktioner

Under tidigare arbete utvecklades funktioner för import av loggfiler i formatet Hierarchical Data Format version 5 (HDF5) [1, 5]. En kartläggning har genomförts med fokus på loggningsbehov i EWSim, syftande till en utökad användning av loggning i HDF5-format. Ramverket kan därmed nyttja tidigare arbete och uppnå ett enhetligt sätt att hantera loggningsdata som blir mer lättillgängligt för analys, både i NetScene och i andra verktyg som är kompatibla med HDF5-standarden.

3.2 Planeringsverktyg

Planerings- och scenarioeditoringsverktyget NetScene har under året förbättrats inom flera områden, bl. a. följande:

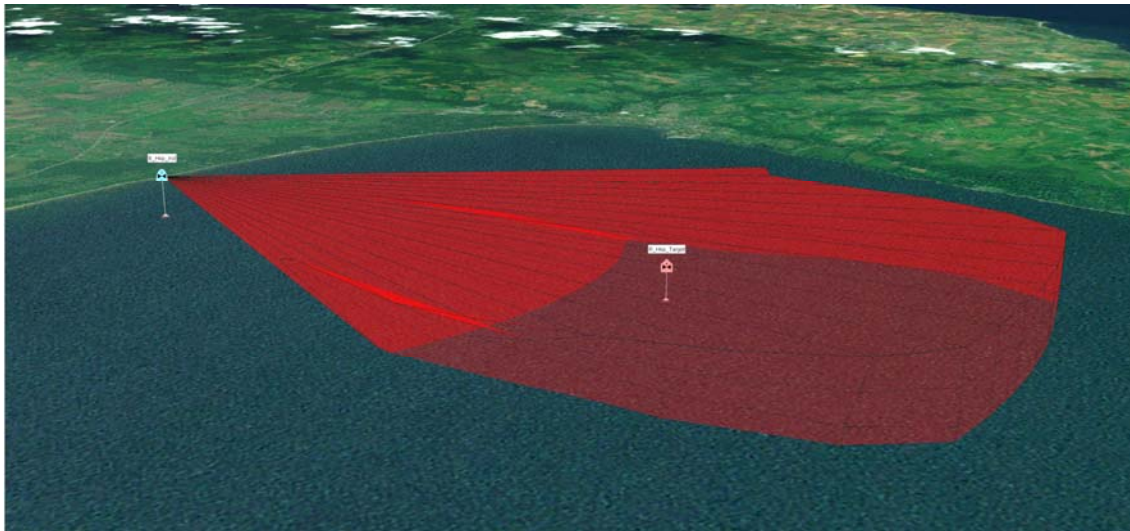
- En översyn har skett av hur sensorparametrar hanteras i täckningsdiagram. Detta har medfört en förbättrad datastruktur med tydligare koppling mellan täckningsdiagrammen och respektive sensor, samt mellan sensorer och deras antenner.
- Sensorparametrar kan nu visas sammanställda i en översiktsvy, vilket exempelvis ger en överblick över effekter före och efter antennförstärkning.
- Användargränssnitt har förbättrats, exempelvis finns nu möjlighet att ändra plattformars 3D-modeller, en enkel dialog för att sätta plattformshöjd och förfinade gränssnitt för parametersättning av täckningsdiagram.
- Fler fördefinierade plattformar har lagts till.
- Nya visualiseringar har implementerats exempelvis för vindriktning, radarrobots följelucka och plattformars ledningsnivå i relation till varandra.
- Det går nu att spara den typ av täckningsdiagram som beräknas på en rektangulär yta i HDF5-format. Då de diagrammen oftast tar längst tid att beräkna är det användbart att kunna spara resultaten så de inte behöver beräknas om när ett scenario öppnas. Ett exempel på ett sådant täckningsdiagram går att hitta i Figur 7, avsnitt 3.2.7.

Fokus under året har legat på förbättrad visualisering i form av flera nya typer av täckningsdiagram, förfinad modellering av exempelvis radarvarnare och kommunikationsnätverk, ny marktäckedata och vidareutveckling av scenarioformatet. Dessa punkter behandlas nedan.

3.2.1 Täckningsdiagram IRST

Ett täckningsdiagram för att visualisera räckvidden med ett IRST-system (Infrared Search and Track) har implementerats under perioden, se Figur 1. I beräkningarna tas hänsyn till sensorprestanda som momentant och totalt synfält, frekvensområde och känslighet samt målsignatur under aktuella förhållanden. För målsignaturer har en ny typ av signaturtabell

med mycket enkla IR-signaturer implementerats för de fall endast översiktlig data finns att tillgå. När marktäckedata är införd, se avsnitt 3.2.3, kommer även hänsyn tas till bakgrundssignatur. Fortsatt arbete kan också innefatta en uppdatering av gränssnitt så att samma beräkningar kan användas för att visa räckvidden för MAW-system (Missile Approach Warning).



Figur 1. Täckningsdiagram för IRST. IRST-system på det blå flygplanet kan detektera det röda flygplanet om det befinner sig inom det röda området.

3.2.2 Nätverk för flygande plattformar

I syfte att bättre kunna simulera de kommunikationsnätverk som används av flygande plattformar, har modeller för kommunikationsberäkningar utökats med hantering av frekvenshoppande radiosystem och störskydd. En radiokanal kan nu vara frekvenshoppande med parametersatt hopphastighet, momentan bandbredd och frekvensbandsanvändning. Beräkningar av störverkan tar hänsyn till de störskyddseffekter som frekvenshopp innebär, och kan även hantera de störskyddseffekter som påverkas av parametrar som överföringshastighet, frekvensspridning och felrättningskoder. En modell av följestörsystem finns också implementerad, där prestanda påverkas av dess följe-hastighet. Exempel på täckningsdiagram som utnyttjar de nya beräkningarna syns i Figur 2.

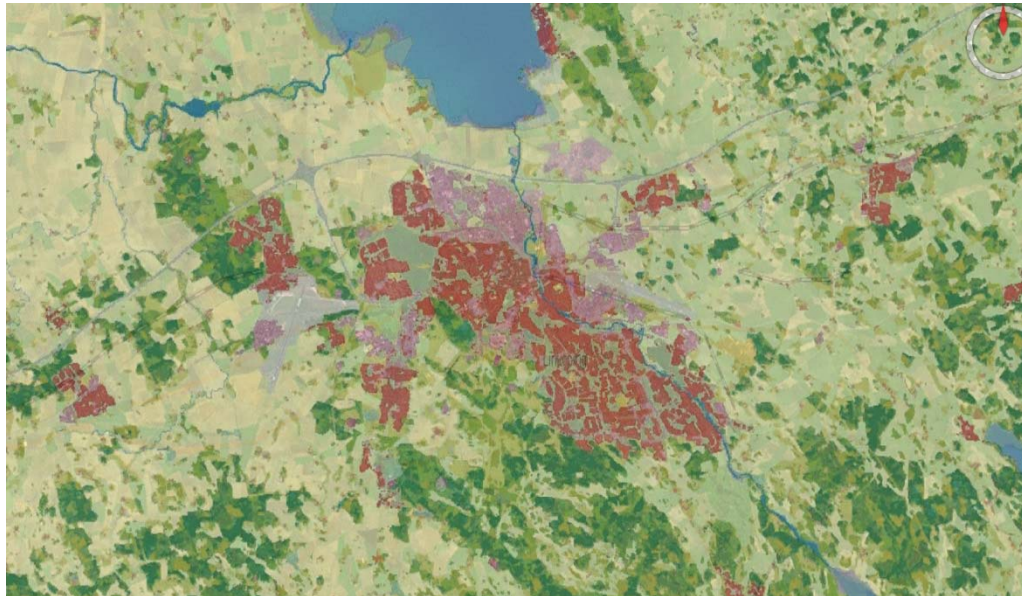


Figur 2. Täckningsdiagram för placering av radiostörsändare. De blå flygplanen använder sig av ett frekvenshoppande system för kommunikation och det röda fartyget har en följestörare. Det röda området i varje bild markerar var störaren ska vara placerad för att kunna störa kommunikation mellan de båda flygplanen. Från vänster till höger i bilderna sker frekvenshoppet med allt högre hopptakt.

För pejlsystem innebär de nya modellerna en skillnad endast då frekvenshoppet sker mycket snabbt. I de fall då signalerna på varje frekvens är för korta upptäcks inte radiosändningen.

3.2.3 Ny marktäckedata med dielektriska egenskaper

Det pågår ett arbete med att få in marktäckedata i NetScene. Data som kommer att användas levereras av GeoSE, och servas via Carmenta Server. Se Figur 3 för ett exempel på marktäckedata. I figuren kan vi se olika färgsättningar för olika typer av marktäcke, exempelvis mörkgrönt för skog och rött för byggnader. Med hjälp av marktäckedata kan modellerna för vågutbredning förbättras.



Figur 3. Exempel på marktäckedata runt Linköping.

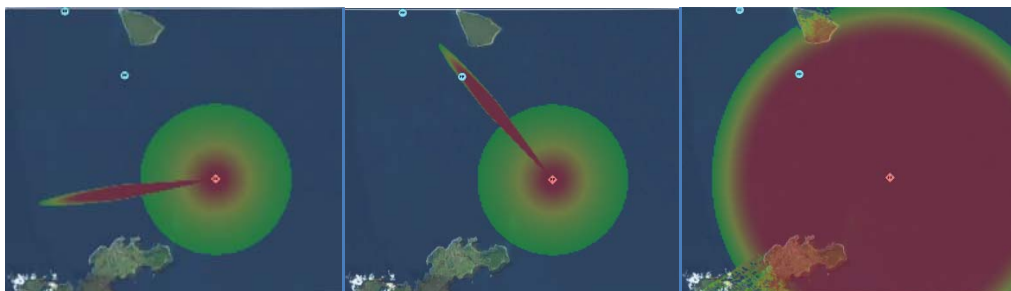
3.2.4 Översyn av visualiseringsbehov avseende arbete med 39E

En översyn av visualiseringsmöjligheterna i NetScene har genomförts i samarbete med projektet *FOI Värderingsstöd EWSim* som stöttar telekrigvärdering av system på Gripen E. Fokus har legat på de behov som finns vid värdering av telekrigskapacitet hos Gripen E på både plattforms- och förbandsnivå.

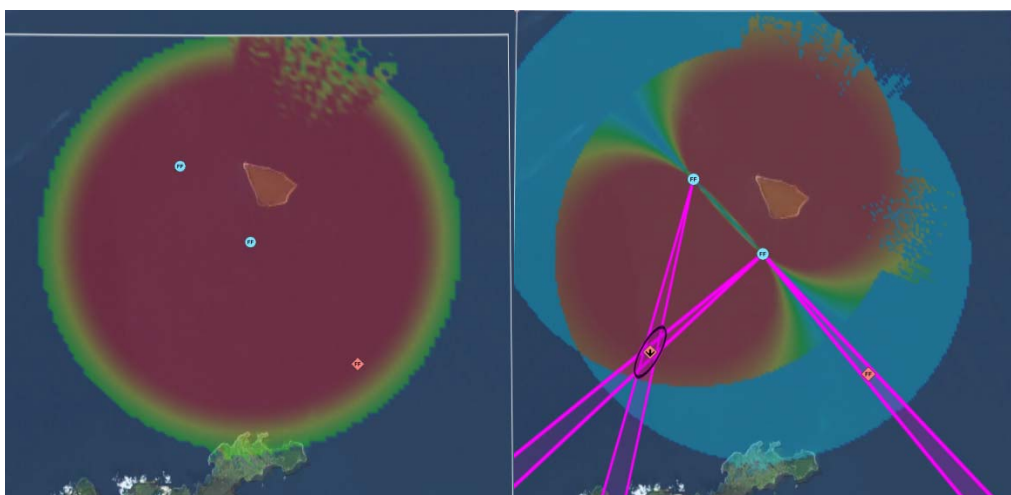
Inventeringen visade att det redan idag finns goda möjligheter till visualisering i NetScene, men att ytterligare funktioner kan vara önskvärda. Vissa av funktionerna har införlivats i NetScene under året, andra har dokumenterats inför kommande arbete. Detaljer redovisas i dokumentationen för värderingsstödsprojektet.

3.2.5 Radarvarnare

Under perioden har täckningsdiagram som visualiserar effekten av radarvarnare utvecklats. Syftet är att kunna estimerat avstånd till hot när varnaren får detektion, och därmed avgöra hur tidigt radarstörning kan sättas in som motåtgärd. Varnarparametrar som frekvensområde, vinkeltäckning och känslighet används i beräkningarna, liksom parametrar för radarsystemet, exempelvis dess effekt, frekvensområde och antennuppsättning. Resultatet kan visualiseras på flera olika sätt vilket illustreras i figurerna nedan. I Figur 4 visas det område runt en plattform med radar där radarvarnaren upptäcker radarn, momentant och ackumulerat över tiden. I Figur 5 visas det område runt en radarvarnare där radarsystem detekteras. Dessutom visas det område där samverkande system av radarvarnare kan upptäcka och positionera radarsystem.



Figur 4. Radarvarnare inom markerade områden kan detektera ett radarsystem. Till vänster och i mitten visas två ögonblicksbilder under ett radarsvep, och till höger visas en ackumulerad bild över hela svepet. Färgen beror på vilket signal-till-brus-förhållande (SNR) som uppnås i radarvarnaren. Färgskalan går från grön till röd, där röd används vid högre SNR och säkrare detektion.



Figur 5. I den vänstra bilden visar markerat område var radarvarnaren på den sydöstra blåa plattformen upptäcker radarsystem. I den högra bilden visar blåmarkerat område var någon av radarvarnarna på de blåa plattformarna kan ge bäring till en radar, och rött område visar var kryssspejling mellan radarvarnarna är möjlig. Radarsystem som detekteras i aktuellt läge markeras med bäring och positionsangivelse med osäkerhetsområde.

För att öka realismen i modellerna för radarvarnare kan man i ett fortsatt arbete införa frekvensberoende systemkänsligheter samt beräkningar för vilken avståndsinformation en varnare kan ge. Användande av signal- och hotbiblioteksfunktioner skulle ge funktionalitet för diskriminering mellan olika signalkällor och emitteridentifiering, vilket skulle möjliggöra visualisering av ytterligare information utöver detektionsmöjligheter.

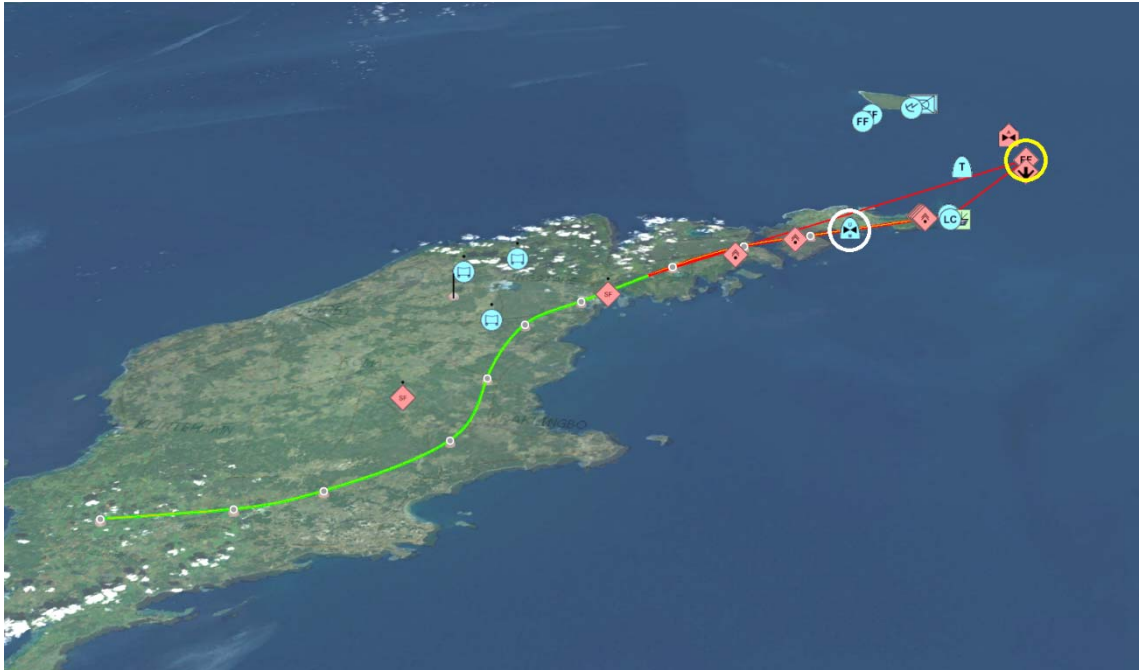
3.2.6 Fördefinierade plattformar

För att underlätta hantering av importerade HDF5-scenarier har det skett en utveckling av scenarioformatet. Det är nu möjligt att låta ett scenario innehålla länkar till fördefinierade plattformar. Det leder till att scenarier inte behöver skapas på nytt när olika plattformars parametrar förändras, och då det sker kontinuerlig utveckling av just parametrar så underlättar det hanteringen av scenarier.

3.2.7 J/S i duellen

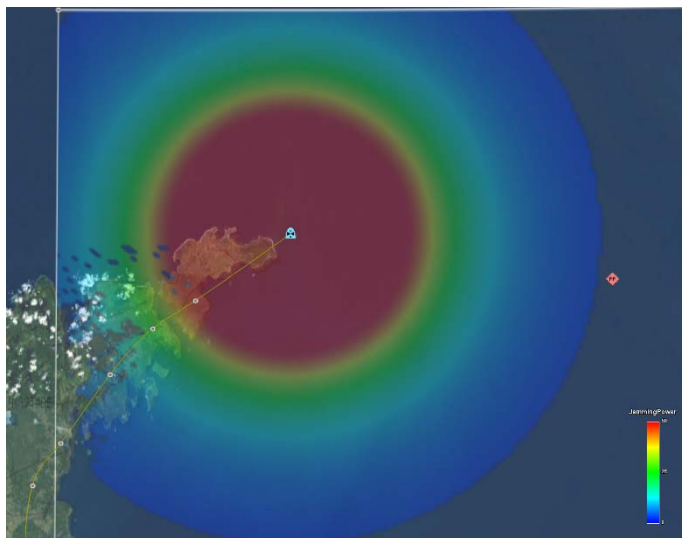
För att visa effekten av störare mot en radar, har ett nytt täckningsdiagram implementerats. Diagrammet visar om en plattform som rör sig längs med en given bana är synlig för olika radarsystem. Hoten (radarerna) kan vara stillastående eller förflytta sig längs med banor. Under beräkningarna antas plattformen använda de störmöjligheter den har, och i de fall

flera möjliga störsändare finns på plattformen kommer den störsändare som befinner sig närmast respektive hotssystem att användas. Har plattformen ingen störsändare är det bara den uppvisade radarmålytan, RCS, som påverkar beräkningarna. Visualisering sker genom att banan blir röd där plattformen är synlig för ett eller flera av hoten respektive grön om plattformen är osynlig för alla valda hot, se Figur 6. Utöver färgsättningen av banan kan en figur visas innehållande en graf över J/S-förhållandet (jammer-to-signal) längs med färdvägen. Fortsatt arbete krävs dock vad gäller informationsinnehåll och användarvänlighet för grafen.



Figur 6. Helikopter (markerad med vitt i bilden) flyger längs en given bana. Färgerna längs banan anger om fartyget med spaningsradar (markerad med gult i bilden) kan se helikoptern eller inte.

Under året har även tillkommit ett täckningsdiagram som visar hur stor effekt som krävs hos radarstörsändare på en plattform för att störa ut ett visst radarsystem beroende på var radarn befinner sig, se Figur 7. Även i det här fallet sker val av system baserat på vilken störsändare som befinner sig närmast hotet.



Figur 7. Visualisering av den störeffekt som krävs för att plattformen (blå) inte ska upptäckas av ett radarsystem (röd). Beräkningen är gjord för varje punkt där hotsystemet kan befinna sig och färgen markerar nödvändig effekt för varje punkt enligt en skala som visas i anslutning till diagrammet.

3.2.8 Mängdkörningar

I samverkan med projektet *VMS Ytstridsfartyg* har förmågan att utföra mängdkörningar förbättrats. De är nu stabilare, och kan användas för att utföra större mängdkörningar utan att tid förloras vid omstarter. En översyn av loggarna har även gjorts, vilket medför enklare felsökningar och analyser.

3.3 Ny och uppdaterad funktionalitet i EWDuel

Det dynamiska simuleringsverktyget, EWDuel, har utvecklats och förbättrats på flera punkter under perioden. Förbättringar har skett bl.a. när det gäller diagramhantering och vilka diagram som kan visas under simulering, möjlighet att utrusta flygplan med generiska aktiva eller semiaktiva radarrobotar och automatisk hantering av vissa inställningar via kommandorad, vilket är bra vid mängdkörningar. Läget på radarrobotars följeluckor kan också spridas via HLA för ökad möjlighet till visualisering. Förutom dessa exempel och andra förbättringar av mindre karaktär har fokus legat på att utveckla förmåga att simulera och värdera jaktrobotfallet (både IR och radar) och på att uppdatera hanteringen av terräng inklusive vågor och moln. Dessa punkter diskuteras nedan.

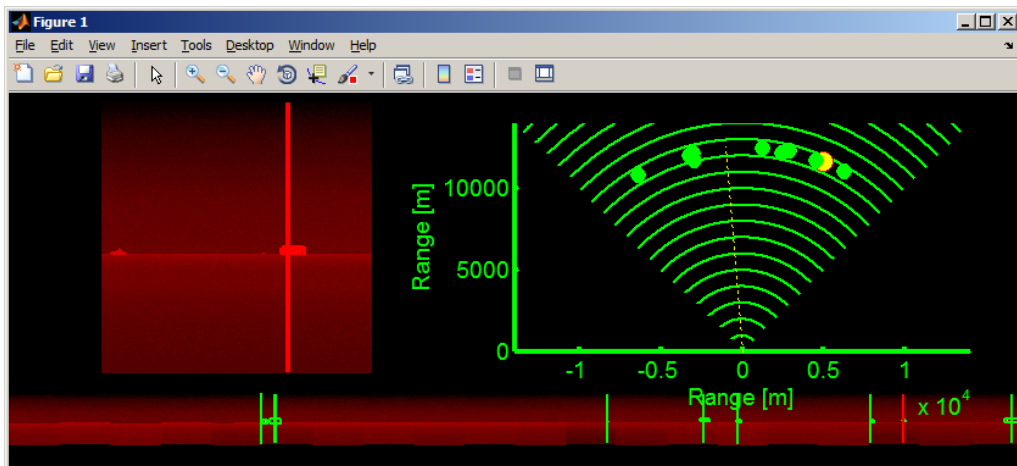
3.3.1 Spaningsradar, målinmätning samt hantering av snabba mål

Under vissa dynamiska simuleringar, där en målföljeradar fått i uppdrag att låsa på ett snabbt mål efter invisning från spaningsradar, har det ibland uppstått problem för målföljeradarn att låsa på målet. En analys av dessa fall visade på att hanteringen av målföljeradarns sökmönster hade brister som nu har åtgärdats.

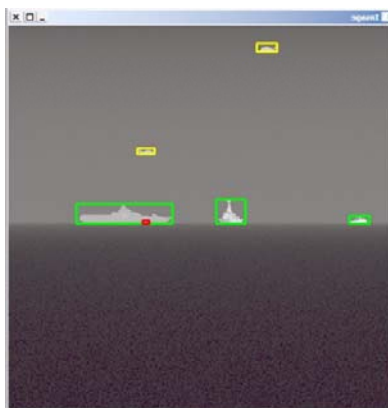
3.3.2 Generisk bildalstrande jaktmålsökarmodell

Det dynamiska simuleringsprogrammet har möjlighet att simulera jaktrobotar med bildalstrande målsökare. Nuvarande målsökare använder ganska enkla typer av bildbehandling och behöver uppgraderas för att efterlikna dagens och morgondagens bildalstrande robotmålsökare. En del av arbetet har varit att åtgärda problem som uppstod vid en uppgradering av grafikmotorn i det dynamiska simuleringsprogrammet. Andra delar har framförallt bestått av att studera hur existerande modeller kan anpassas för att erhålla

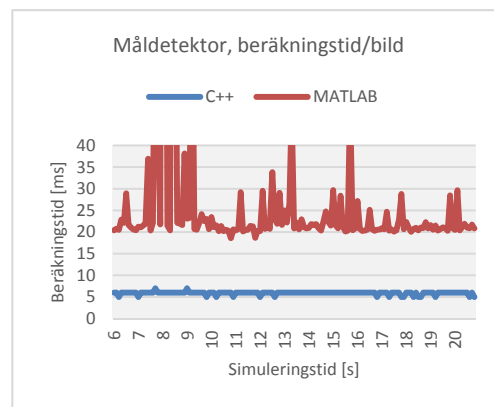
önskad funktion. Ett första steg där studier påbörjats är hur en MATLAB-modell av bildalstrande sjömålsrobot (se Figur 8) kan anpassas till jaktrobotfallet. Modellen består av en måldetektor kopplad till en boosting-klassificerare [6], samt en målföljare som bildar målspar för prediktion av positioner, hastigheter, etc. Arbete har utförts så att MATLAB-modellen kan köras i EWSim via HLA. Ett bekymmer med den här metoden är att beräkningar i MATLAB går relativt långsamt och därför är förhoppningen att hela modellen så småningom ska översättas helt till C++. Så här långt har detektionsalgoritmen implementerats och testats i EWDuel, se Figur 9. Den här delen av modellen går tre till fyra gånger snabbare i C++ jämfört med MATLAB, se Figur 10 för ett testfall. Dock väntas den största tidsvinsten komma från målföljardelen eftersom den befintliga implementationen är långsam samtidigt som den upptar runt 60 % av tiden (i MATLAB-fallet).



Figur 8. Grafisk presentation av bildalstrande målsökaren i MATLAB. Nedre horisontella remsan visar robotens synfält under sökfase. De vertikala strecken visar predikterad bäring för varje detekterad målkandidat. Radarbilden till höger visar målkandidaternas predikterade positioner i robotens koordinatsystem. Vänster bild visar pålåst mål.



Figur 9. Implementation av måldetektorn i EWDuel. Markmål i grönt, luftburna mål i gult, och ogiltiga detektioner i rött.



Figur 10. Ett exempel på tidmätning av samma detektoralgoritm implementerad i MATLAB och C++. EWDuel håller stadig takt på 5-6 ms/bild medan MATLAB gör beräkningen på drygt 20 ms.

3.3.3 Generisk BVR jaktmålsökarmodell

Arbetet med modeller av BVR-robotar (Beyond Visual Range) innehåller flera delar. En navigeringsfas har införts, möjlighet har införts att koppla kinematiska modeller utvecklade av andra FOI-projekt till målsökare i EWDuel, nya störskydd har lagts till i målsökarmodellerna, dopplerfunktionen har vidareutvecklats och bättre möjlighet att konfigurera målsökaren har införts.

Den navigeringsfas för BVR-roboten som införts innebär att positions- och hastighetsinformation skickas från målföljeradarn till roboten. Detta ger även möjlighet att modellera Track-via-missile-system om dessa förenklas som en semiaktiv robot med inledande styrfas från marken och en slutfas som vanlig semiaktiv. Skillnaden mot ett verkligt system blir att styralgoritmer hamnar i roboten istället för på marken, men detta har mindre betydelse ur ett TK- och modelleringsperspektiv.

En realtidsarkitektur, MERLIN [7], har tagits fram av andra projekt inom FOI med syftet att göra det möjligt för simulatorer och simuleringsprogram som integrerats med MERLIN att enkelt utnyttja de robotar och andra modeller som byggts upp med MERLIN-gränssnitt. En sådan integration har tidigare gjorts i EWDuel. Problemet när dessa robotmodeller skall användas i telekrigsammanhang är att målsökarfunktionen för robotarna ofta är kraftigt förenklad. Under detta år har det därför införts möjlighet att koppla de kinematiska modellerna i MERLIN till målsökare simulerade i EWDuel. En koppling mellan aktiv eller semiaktiv radarmålsökare och MERLIN har skapats som innebär att de målsökarmodeller som normalt används i EWDuel kan mata MERLIN-robotar med målestimat. Kopplingen är generell och kan användas för olika MERLIN-robotar. Tester har dock framförallt gjorts mot en öppen AMRAAM-modell. Eventuellt kan denna metodik ge problem med vissa MERLIN-modeller då den inbyggda målsökaren fortfarande finns kvar och skulle kunna ta över. Även om detta inte har kunnat ses i de tester som gjorts kan det finnas fördelar med att utveckla en egen målsökarmodul direkt i MERLIN. En fördel kan vara ökad kontroll över vad som sker, men också att en regelbaserad målsökare skulle kunna utvecklas. Den kan då användas i realtidssimulatorer och stödja FM vid övningar och taktikutveckling samt, vid jämförelse med mer detaljerade modeller, bidra till kunskap om viktiga faktorer i telekrigduellen.

Störskydd hos målföljeradar och robotmålsökare har införts under perioden. Detta i form av ett nolldopplerfilter med varierbar bandbredd och dämpning. Funktionen är vanlig i verkliga system som skydd mot remsfällning. Ett annat störskydd mot avståndsavhakning (RGPO) och hastighetsavhakning (VGPO) som införts är att i pulsdopplermålsökare jämföra dopplerfrekvens med avståndsförändringar för målet så att dessa stämmer överens.

Dopplerberäkningar har setts över både för det monostatiska och det bistatiska fallet. En del arbete återstår för att reglera vad som händer när signalen i doppler- och avståndsluckor minskar under en kritisk nivå och för att initiering av dopplerluckor skall ske på rätt sätt.

Förbättringar har gjorts som utökar möjligheten att konfigurera ett scenario. Exempelvis har störmodeller för RGPO och VGPO parametriserats och är nu mer konfigurerbara. Parametrar för störskydd har införts i form av undertryckning av långsamtgående mål samt mål med för kraftig acceleration. Dessutom har robotantennens förstärkning införts som parameter.

3.3.4 Simultana skott mot multipla mål

Tidigare har det i EWDuel enbart varit möjligt att med en målföljeradar (TTR) följa ett mål samt skjuta ett skott i taget med hjälp av en Transporter Erector Launcher (TEL). Funktionalitet har nu lagts till för att ge möjlighet att dels följa flera samtidiga mål och även simultant avfira skott mot fler än ett av dessa mål.

För att initiera följning av fler än ett mål väljer man helt enkelt de mål man är intresserade av att följa som radarn detekterat och invisar eldenheten att följa dessa mål. Man kan därefter avfira skott mot varje mål som målföljradarn lyckas få målföljning på. Radarn ligger kontinuerligt och pendlar mellan de mål som den följer. Följningen ligger kvar under hela tiden tills dess att roboten detonerat för att kunna leda in semiaktiva robotar som kräver invisning under hela momentet.

3.3.5 Terränghantering

Under året har ett fortsatt arbete utförts för att integrera terrängmotorn OSGEarth [8]. OSGEarth är ett öppet källkodsprojekt utvecklat av Pelican Mapping med syfte att tillhandahålla den funktionalitet som behövs för att bygga kartapplikationer likt Google Earth. En styrka med OSGEarth är att den kan läsa de vanligaste GIS-formaten vilket även inkluderar olika former av servertjänster som t.ex. WMS (Web Map Service), WCS (Web Coverage Service) och WFS (Web Feature Service). Detta innebär att terrängdata kan lagras i ett standardiserat format på en GIS-server varifrån OSGEarth sedan läser dessa data och automatiskt bygger en terrängmodell anpassad för realtidsvisualisering. Typiska terrängdata som man läser från en GIS-server för att bygga denna modell är höjddata, satellitbilder, flygfoton, marktäckte, vägnät och fastighetsdata. När dessa grunddata förändras eller kompletteras påverkar detta således även terrängmodellen i EWDuel.

En förbättring som implementeras under året är kunna nyttja grafikkortens multisamplingsfunktionalitet för transparanta objekt. I praktiken innebär detta att tät vegetation kan renderas utan att visuella artefakter uppstår.

Vidare har ny teknik introducerats för att texturera markytan. Tekniken bygger på att det lågupplösta marktäckedatat (se Figur 3) kompletteras av ett fraktalbaserat brus vilket ger varje marktäckeklass två visuella texturer. Till exempel kan marktäckeklassen *åker* innehålla en bastextur för gräs och en brustextur för lera. På detta sätt uppkommer lerfläckar till synes slumpmässigt i den för övrigt gräsbeklädda åkermarken.

3.3.6 Ny modellering av hav

Under året har ett arbete utförts för att förbättra visualisering och simuleringen av havsområden i EWDuel. För detta ändamål har mjukvaran Triton [9] integrerats. Triton är en tredjepartsmjukvara eller *middleware*, en mjukvara som är tänkt att lösa ett avgränsat problem med ett tydligt gränssnitt för integration med övrig mjukvara. I detta fall har Triton integrerats i OSGEarth som är terrängmotor i EWDuel.

I Triton har man möjlighet att simulera Beaufortskalans olika sjöstillstånd [10] samt välja mellan olika vågmodeller, till exempel JONSWAP [11] eller Pierson-Moskowitz [11]. Vidare simuleras en rad olika effekter som påverkar havsytans utseende såsom:

- Transparens med avseenden på djup, se Figur 11.
- Reflektion och refraktion, se Figur 12.
- Skum från vågor, se Figur 12.
- Vågbrytning vid strandkant/grund.
- Vågor och skum från båtar.
- Yteffekter från helikoptrar.
- Nedslagseffekter av projektiler.

I arbetet med att integrera Triton i OSGEarth har de funktioner som påverkar den slutliga bildkvaliteten prioriterats högst. Av funktionerna ovan är det framförallt reflektion och djuptransparens. Svårigheten med dessa funktioner är att de är direkt kopplade till övriga system (terräng och himmel) vilket gjort integrationen relativt komplex. Ett arbete som

återstår är att koppla väderförhållanden till sjöstillstånd samt integrera dynamiska effekter från fartyg eller andra objekt simulerade av EWDuel.



Figur 11. Bilden visar hur djupinformationen används för att skapa en mjuk övergång mellan hav och land.



Figur 12. Bilden visar hur vågtoppar täcks av skum samt hur vågmodellen genererar en dynamisk 3D-geometri till skillnad från den tidigare platta havsvisualisering.

3.3.7 Ny modellering av himmel och moln

På samma sätt som för vatten har en tredjepartsmjukvara integrerats för att förbättra simulering av himmel och moln. Den mjukvara som valts är SilverLining [12]. I

SilverLining kan man från godtycklig tid och plats automatiskt generera en realistisk himmel med korrekt positionerad sol, måne och stjärnbild.

I SilverLining kan en rad molntyper användas såsom stackmoln (cumulus), se Figur 13, dimmoln (stratus), slöjmoln (cirrostratus) eller åskmoln (cumulonimbus). Dessa går antingen att konfigurera manuellt eller automatiskt via en enkel väderinställning. Molnsystemet påverkas även av vindstyrka och vindriktning. Detta visualiseras genom att molnen animeras på olika sätt med avseende på molntyp.

Vidare kan väder och ljusförhållanden exporteras för kunna beaktas i övriga system. Exempelvis använder sig Triton (se 3.3.6) av reflektionstexturer genererade av SilverLining, se Figur 14. Detta innebär således att man i EWDuel kan göra simuleringar med varierade ljus- och siktförhållanden.

Integrationsarbetet som utförts för SilverLining har varit fokuserat på att skapa en bra bildkvalité vid klart väder. Andra effekter som uppkommer vid specifika väderfenomen har prioriterats ner och får implementeras vid behov. Den funktionalitet som varit kritisk för ett bra slutresultat är att ljus- och siktförhållanden exporteras från SilverLining till OSGEarth samt att reflektionstexturer exporteras till Triton.

Vidare har ett arbete utförts för att anpassa SilverLining till de krav EWDuel ställer på systemet, till exempel att kunna hantera multipla vyer. Här återstår dock en del arbete, bland annat synkronisering av moln mellan de olika vyerna.



Figur 13. Uppåttornande stackmoln (cumulus congestus) sett från 2000 meters höjd.



Figur 14. Upptornande stackmoln (cumulus congestus). Notera hur himmeln reflekteras i vattnet och hur ljusförhållanden avspelas i rendering av molnen.

3.3.8 Övrigt

Flera förbättringar av EWDuel har skett för att utöka möjligheten att simulera och värdera jaktrobotfallet men som även kan vara tillämplbara på andra fall. Ett axplock av dessa förbättringar är:

- Möjlighet till loggning av specifikt objekts bana och hastighet under simulering. Bra när t.ex. robotskott jämförs eller exporteras till annat simuleringsverktyg.
- Möjlighet att automatiskt invisa och avfira robot vid given tidpunkt mot givet mål. Bra när EWDuel-robot jämförs med inspelad robot från annan simulering.
- Möjlighet att ändra färg på enskilda avståndslinjer, spår och avståndsluckor. Bra vid visualisering och analys speciellt när det är många inblandade entiteter i scenariot.
- Möjlighet för generisk robotmodell att använda höjd- och/eller hastighetsprofil från filer. Detta gör det möjligt för den generiska robotmodellen att till viss del och på ett enkelt sätt efterlikna ett skarpt system.
- Motmedelsalgoritm för manöver och fällning av remsor och/eller facklor kan använda extern modul med givet gränssnitt. Detta gör det möjligt att utveckla och studera olika motmedelsalgoritmer utan att bygga om hela EWDuel.
- Möjlighet att koppla generisk robotmålsökare till inspelad robotbana eller robot styrd på annat sätt för att se om det är rimligt att målsökare kan låsa på målet. Ger också möjlighet att i efterhand studera vilken effekt störning och andra motmedel kan få på en målsökare.
- Möjlighet att på ett enkelt sätt spara resultat från alla robotskott (simulerade eller inspelade). Bra verktyg för att få en överblick av stora scenarier.

- En korrigeringsfaktor som beaktar flervägsutbredning i radarfallet har implementerats och grundläggande testning har genomförts. Det återstår en del arbete med att hantera distribution av radarreflektioner och att jämföra resultat med befintliga modeller i andra simuleringsverktyg. Fullt implementerat ger detta en mer realistisk beskrivning av radarsimuleringar framförallt i sjömålsfallet.

3.4 Omvärldsbevakning och presentationer

Projektmedlemmar har under året besökt konferenserna *Visualization in Science and Education* och *Electronic Warfare Europe 2015*, där den senare arrangerades av organisationen Association of Old Crows (AOC). Presentation av arbete inom projektet har även skett under marinstridsdagarna.

3.4.1 Marinstridsdagarna

Marinstridsdagarna är ett årligt återkommande evenemang som i årets program beskrivs ha syftet ”att mötas, sprida erfarenheter och utvecklas internt inom branschen”. En överblick av vår värderings- och simuleringsförmåga med EWSim presenterades [13], med extra fokus på samarbetet med FoT-projektet *VMS Ytstridsfartyg*.

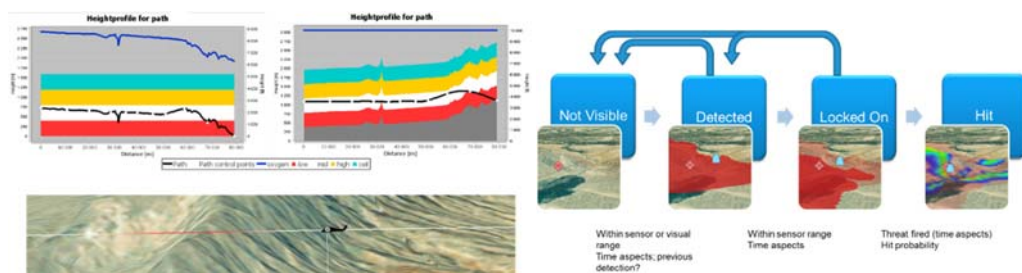
3.4.2 GRC-konferensen Visualization in Science and Education

Ett konferensbidrag presenterades vid Gordonkonferensen Visualization in Science and Education [14]. I samband med att poster visades upp genomfördes även demonstrationer som primärt beskrev NetScene och den förmågevisualisering som är möjlig genom verktygen i EWSim. Deltagandet möjliggjorde nätverkande inom visualiseringsområdet och inhämtning av inspiration till vidareutvecklingar av visualiseringstekniker i EWSim.

3.4.3 Electronic Warfare Europe, AOC

Under Electronic Warfare Europe 2015 presenterade projektet i samarbete med Luftstridsskolan (LSS) ett arbete som gjorts för framtagande och värdering av flygprofiler för helikoptrar aktiva i områden med IR-baserade hotsystem, se Figur 15. Arbetet gjordes som en del av *operational evaluations* inför en insats utomlands. EWSim användes för att simulera förhållanden på plats med aktuella hot och terrängförhållanden och skapa visualiseringar av egen täckning och beräknad överlevnadssannolikhet för olika flygprofiler. Här användes även uppmätta signaturdata samt resultat från simuleringar gjorda i andra verktyg där träffsannolikhet bestämts för specifika hot mot helikopter beroende på avstånd och vinkel. Presentationen fokuserade på hur ett nära samarbete mellan forskare och helikopterpersonal resulterade i bra simuleringsresultat som kom till användning under skarpa förhållanden.

Deltagandet i konferensen gav även värdefulla insikter i vad som är aktuellt inom EW-området.



Figur 15. Två bilder från presentationen. Till vänster visas en höjdprofil med olikfärgade höjdlager, och till höger visas de tillstånd som en helikopter kan anta utmed en rutt.

4 Kunskapsöverföring och stöd till kund

Året 2015 har innefattat ett antal demonstrationer och tillfällen med stöd till Försvarmakten eller andra projekt. Denna verksamhet redovisas översiktligt här.

4.1 Demonstrationer

Besök av Telekrigbataljonens ledning	Telekrigbataljonens chef och kompanicheferna för teknisk signalspaning (TES) respektive kommunikationsspaning (KOS) besökte FOI för demonstration av EWSim. De funktioner som bedömdes mest relevanta för Tkbats verksamhet demonstrerades och diskussioner fördes kring projektets möjligheter att stötta Tkbats. Utfallet var mycket positivt och Tkbats framförde önskemål om att införliva EWSim i sin verksamhet.
Besök av FoT-ansvarig Anders Foyer	FoT-ansvarige Anders Foyer besökte FOI Linköping och fick en snabb översiktlig demonstration av EWSim.
Besök från Försvarets Materielverk (FMV)	FMV System- och produktionsledning (Ledning TK Radio) och FMV Anskaffning och logistik (Integration) besökte telekrigverksamheten vid FOI Linköping för att skapa sig en överblick av pågående forskningsarbete. De fick en översiktlig demonstration av funktionerna i EWSim.
Intern kvartalsdemonstration (Q1)	Efter första kvartalet genomfördes en intern demonstration vid enheten Telekrigvärdering i syfte att sprida information till medarbetarna och fånga upp intressanta synpunkter kring projektets arbete.
För FOI styrelse	EWSim-simuleringar för OPEVAL för helikopter 10B och helikopter 16.
Telekrigkurs för Försvarmakten	Interaktiva demonstrationer kopplade till kursens olika moment och deltagarnas frågeställningar.
För Saab EDS ledning och för ledningen på FMV T&E.	Visualisering och simulering av förmågor.

4.2 Stödverksamhet

Scenarier och förmåga obemannade flygfarkoster (UAV)	NetScene användes under ett arbetsmöte för att, baserat på data från tidigare övningsverksamhet, ge en bild av hur verktyget kan användas till studier av UAV-förmågor. Arbetet utfördes i samarbete med enheten Telekrigssystem och FM Tjänstegrens-företrädare Telekrig Mark & Psyops.
Utbildning och utlåning av datorer med mjukvara till Insatsstaben J6 (INSS J6)	Efter en utbildningsdag med genomgång av funktioner i NetScene levererades två datorer med installerad mjukvara som ett lån till INSS J6. Därmed kan de själva använda NetScene i sin verksamhet, vid studier, planeringar eller övningar. Detta var ett resultat av det goda utfallet från användning av NetScene i INSS J6 under övningen Dagny 2014.

Video för att illustrera pejlförmåga

Enheten Telekrigssystem stöttades med visualisering av olika pejlsystems förmåga. Detta användes som diskussionsunderlag kring moderna pejlsystem.

Endagskurs i EWSim

Gavs på LSS för TU JAS och TU HKP.

5 Slutsatser och diskussion

Ramverket EWSim gör det möjligt att värdera hela telekrigsscenarier, där den utvecklade simuleringsmetodiken och tekniken ger FM utökade och nya möjligheter att värdera teknik och taktik på flera nivåer. EWSim ger unika värderingsmöjligheter för hela telekrigsmiljön i ett och samma scenario och inte bara "end game" som oftast är det som studeras i telekrigssammanhang. Under året har mycket av verksamheten inriktats mot att stötta med metod och modellutveckling för värderingar av JAS 39E på plattforms- och förbandsnivå. En viktig del av resultatet från de studier som genomförs med värderingsverktygen är insikten om hur viktigt det är med försörjning av de data som behövs kring detaljer i scenarier, samt kunskap om taktisk användning av den telekrigsteknologi som simuleras.

Simuleringsmiljön har under året vidareutvecklats med många nya värderingsmöjligheter som syftar till att kunna värdera framtidens stridstekniska och taktiska telekrigdueller med en tänkbar högteknologisk motståndare. T.ex. fortsätter arbetet med moderna jaktmålsökarmodeller, både radarbaserade BVR samt elektrooptiska bildalstrande. För kommunikationsberäkningar har modellerna utökats med hantering av frekvenshoppande radiosystem och störskydd samt följestörsystem.

Den snabba teknikutvecklingen på datorgrafikområdet gör det möjligt att simulera omgivningen på mer naturtroget sätt. Detta har utnyttjats under året då simulering av moln, havsytor och terräng har vidareutvecklats och därmed även förbättrar simuleringen av omgivningens påverkan på telekrigsystemen. Vi har här använt oss av källkod utvecklad av andra, då vi inte vill bekosta utvecklingen, men har varit noga med att användningen av koden kan ske utan restriktioner som förhindrar förändringar eller distribution av programvaran. Den medvetna kontrollen över EWSim källkod gör det även svårt för kommersiella krafter och stater att baserat på egna särintressen påverka tillgången till mjukvaran.

Ett mål för projektet är att demonstrera duellsimuleringsverktyg som kan användas som hjälpmedel för utveckling av stridsteknik och taktik vid framtida telekriginsatser. För att nå detta mål har projektet i deltagit i ett flertal demonstrationer, övningar och försök med FM och i år har dessutom AOC Europa genomförts i Stockholm där projektet presenterade tillsammans med FM. Konferenciern (Air Marshall Phillip Sturley CB MBE RAF(Retd)) omnämnde EWSim som "Crown Jewel" och undrade hur man får tag på den.

6 Fortsatt arbete

Inom projektet DFTk kommer modelleringsarbetet med moderna och framtida system att vara fortsatt aktuellt, liksom arbetet med att hitta sätt att visualisera telekrigrelaterade indikatorer för Gripen. I en strävan att öka interoperabilitet mellan simuleringsmodeller kommer vi också undersöka möjligheterna till datautbyte mellan EWSim, FLSC och andra eventuella intressenter. I detta kapitel listas några områden som kommer att behandlas framöver.

Framtida system

Genom att studera egenskaperna för de system som kan förväntas vara aktiva i en framtida telekrigskonflikt blir det möjligt att skapa scenarier där potentiella styrkor och sårbarheter kan kartläggas.

- **GNSS**
Många system i modern krigföring är beroende av fungerande navigationssystem såsom GPS eller GLONASS. Detta gäller både plattformar och missiler för såväl mark-, sjö- och luftstridskrafter, och medför stora sårbarhetsrisker i händelse av att navigationssystemen störs ut. Förmåga att störa GPS-/GLONASS-baserad navigering och effekten det ger i telekrigduellen är därför intressant att undersöka.
- **Radarsystem**
Vissa moderna radarsystem har gått mot lägre frekvenser och/eller kombinationen av flera frekvensband simultant, bl.a. i syfte att hitta mål vars radarsignaturer har anpassats mot system aktiva i högre frekvensområden. Dessa systems förmåga att detektera egna plattformar är relevant att studera, samt hur egenskydd såsom störning påverkar telekrigduellen. Exempel på andra områden som studeras är AESA och LPI. Inom AESA innebär det t ex att kunna modellera olika AESA-systems implementering, t ex rollande/tiltade nosradarsystem samt hur signaler distribueras till/från AESA-aperturer på en plattform. Även hur störning riktas och hur aperturer väljs för att optimera störverkan är intressant att studera. Att kunna nyttja mer detaljerade modeller/data av antennarrayer är intressant för validering samt för att öka fideliteten i simuleringarna där så krävs.
- **Nätverk för flygande plattformar**
Fortsatt arbete med realistisk modellering av taktiska data- och kommunikationslänkar för egna såväl som motståndares plattformar.
- **Generisk bildalstrande jaktmålsökarmodell**
Fortsatt arbete med att skapa en generisk målsökarmodell som kan efterlikna teknik och signalbehandling i en modern bildalstrande jaktrobot. För kinematik och aerodynamik kommer det att testas och utforskas att nyttja dels egna generiska modeller men även modeller från flyg och autonoma system (MERLIN).
- **Generisk BVR jaktmålsökarmodell**
Fortsatt arbete med att skapa en generisk målsökarmodell som kan efterlikna teknik och signalbehandling i en modern BVR jaktrobot. För kinematik och aerodynamik kommer det att utforskas dels egna generiska modeller men även modeller från flyg och autonoma system som t.ex. MERLIN.

En teknisk målsökarmodell bör även kompletteras med en regelbaserad målsökarmodell speciellt för att kunna användas i större scenarier. Även i Lv-fallet är det intressant med en regelbaserad modell. Jämförelser med mer tekniska modeller och underlag bör ske för att förstå begränsningar.

Väder- och tidspåverkan

Studera möjligheterna att importera relevant data för simuleringar från SMHI:s väderdata t.ex. sikt, vågor, vind, ljusförhållanden, dimma och molnighet. Valda delar av detta kommer även att implementeras.

Strukturella skenmål och sjötilstånd

Implementera spridningseffekter associerade med, för FM, relevanta strukturella skenmål i en bakgrund med ett givet sjötilstånd.

Vågutbredning

Förbättra implementation och testning för utbredning över hav och i kustområden med de modeller som finns i tillgängliga inom FOI.

- **Dielektriska egenskaper för marktäckdata**
Återinföra funktionalitet så att de dielektriska egenskaperna för marktäckdata kan tas med i beräkningarna för vågutbredningsmodellerna.

Riskminimering – radar

Utveckla funktionalitet så att en given flygprofil eller rutt kan riskberäknas samt visualiseras under givna förutsättningar med fällsekvenser och hotbedömningar inom radarområdet.

Spaningsradar och målinmätning samt hantering av snabba mål

Förbättra algoritm för målinmätning och följning. Fusion av data från olika sensorer skulle kunna hanteras, och den påverkas bland annat av avbrott i kommunikationslänken under en tid av målföljningen.

Ökad realism i TES- och ESM-system inklusive radarvarnare

Nivån av realism i simuleringar av TES- och ESM-system är bl.a. beroende av hur signalbehandling och emitterbibliotek modelleras. Det finns olika möjligheter till att höja realismen i EWSim med avseende på simuleringar av TES- och ESM-system, varav några är att vidare studera:

- Diskriminering mellan olika signaler/signalkällor i TES- och ESM-system, t.ex. i radarvarnare.
- Införandet av nya vågutbredningsmodeller i simulering av TES-system.
- Utökad funktionalitet för signal-/hotbibliotek med bl.a. individidentifiering baserat på kombinationen av multipla emitterar och deras signalers egenskaper.
- Hur diskriminera mellan signaler i ESM-system (TES, RR-varnare m.m.). Bakgrundsbrus/andra källor, signaler i signaler och osäkerhet i allmänhet.
- Kunna beräkna och visualisera signalmiljön på en valfri position.

Loggning och analys

Utforska möjligheter samt implementera ny funktionalitet för loggning och analys av simuleringar med hjälp av t.ex. HDF5 (Hierarchical Data Format). Att även logga och analysera användarinteraktioner har potential att förbättra användarupplevelsen.

Visualisering

Visualisering är ett sätt att snabbt och överblickbart kommunicera simuleringsresultat men också ett kraftfullt interaktivt verktyg för både resultatanalys och bearbetning av simuleringens ingående förutsättningar. Några exempel är diagram som visar telekrigssensorers täckningsområde över en karta (presentation), jämförelse av hur två radarsystems räckvidder påverkas olika av terräng (resultatanalys) eller att grafiskt

representera de parametrar som påverkar en radios räckvidd (ingående förutsättningar). Nya visualiseringstekniker kan införlivas i både NetScene och EWDuel för att vidareutveckla såväl presentation, resultatanalys som simuleringsstyrning. Även förbättringar av i ramverket existerande visualiseringstekniker är önskvärt för att öka tydlighet och interaktivitet i simulerings- och analysprocessen. Ett exempel på interaktivitetsförbättrande åtgärd är att variera detaljnivåjustering på diagram i kartan, vilket bl.a. kan göras med inkrementell beräkning eller med s.k. *region of interest*. I EWDuel är det även önskvärt att höja den visuella realismen i den virtuella miljön för att ge ett trovärdigare visuellt intryck. Samtidigt bör förbättringar göras med avseende på möjligheterna till visuell analys av resultaten från telekrigssimuleringar, både under realtidskörning och återuppspelning av körda simuleringar.

Gränssnitt

Hitta sätt att visualisera Tk-relaterade indikatorer för Gripen.

Utbyta information med andra simuleringar eller uppmätta data

Att kunna utbyta information genom att importera data från andra mätningar och simuleringar, t.ex. från FM, Saab, FLSC eller vapenverkanssimuleringar, ger ofta ett stort mervärde till en liten kostnad och är därmed en viktig del att kontinuerligt stötta. Det är även av intresse att utbyta simuleringsdata "live" under simuleringar och ett möjligt tillvägagångssätt är att jämka FOM-moduler, som är en del av HLA, med exempelvis FLSC och andra eventuella intressenter.

Omstrukturering och genomlysning av källkod

För att korta ner den tid det tar att bygga framförallt EWDuel och ComNet och därmed få en bättre iterationscykel i utvecklingsarbetet behöver byggsystemet för EWSim ses över. Ett sådant omstrukturingsarbete behöver ske parallellt med det kontinuerliga utvecklingsarbetet så detta kan fortgå utan större påverkan. Samtidigt är det viktigt att nyutveckling löpande integreras i omstrukturingsarbetet för att minimera att de båda spåren divergerar allt för mycket. Omstrukturingsarbetet består av en rad olika moment:

- Flytta källkod och data till gemensamt versionshanteringssystem (Git) för att underlätta arbetet i två parallella spår.
- Införa CMake [15] för generering av byggfiler samt möjlighet till deployfunktion.
- Identifiera beroenden och bryta eventuella cirkulärberoenden.
- Bryta ner och modularisera källkod i mindre och mer hanterbara delar.
- Strukturera datakatalogen samt identifiera eventuella resurser som inte längre används.

Projektets mål är att kunna demonstrera exempel på telekrigvärderingsmöjligheter och duellsimuleringsverktyg som kan användas som hjälpmedel för utveckling av stridsteknik och taktik vid framtida telekriginsatser med tänkbara motståndare, hög- eller lågteknologiska. Arbete inom beskrivna områden kommer att leda till att EWSim ännu bättre kan simulera den framtida telekrigduellen, vilket leder till att projektmålen kan uppfyllas.

7 Referenser

- [1] H. Andersson, L. Tydén, P. Bivall, M. Dahlberg, M. Enstedt, J. Hedström, C. Nelson, M. Verona och C. Wigren, "Slutrapport för projektet Duellsimulering telekrig," FOI (FOI-R--3978--SE), Linköping, 2014.
- [2] IEEE Standards Association, *1516-2000 IEEE Standard for Modeling and Simulation (M&S) High Level Architecture (HLA) - Framework and Rules*, Piscataway, NJ: IEEE Standards Association, 2000, pp. i-22.
- [3] IEEE Standards Association, *1516-2010 IEEE Standard for Modeling and Simulation (M&S) High Level Architecture (HLA) - Framework and Rules*, Piscataway, NJ: IEEE Standards Association, 2010, pp. 1-38.
- [4] NATO M&S Coordination Office, *STANAG 4603*, Neuilly-Sur-Seine: North Atlantic Treaty Organization, 2015.
- [5] The HDF Group, "HDF Group - HDF5," 2014. [Online]. Available: <http://www.hdfgroup.org/HDF5/>. [Använd 5 Juni 2014].
- [6] Y. Freund och R. E. Schapire, "A Short Introduction to Boosting," *Journal of Japanese Society for Artificial Intelligence*, vol. 14, pp. 771-780, 1999.
- [7] P. S. J. L. C. H. N. W. M. F. Emil Salling, "MERLIN - Software Architecture Document.," FOI (FOI-R--2486--SE), Stockholm, 2012.
- [8] "OSGEarth," [Online]. Available: <http://osgearth.org/>.
- [9] "Triton Ocean & 3D Water," Sundog Software, [Online]. Available: <http://sundog-soft.com/sds/features/ocean-and-water-rendering-with-triton/>.
- [10] "Beauforts skalan," [Online]. Available: https://sv.wikipedia.org/wiki/Beauforts_skala.
- [11] "Ocean-Wave Spectra," [Online]. Available: http://www.wikiwaves.org/Ocean-Wave_Spectra.
- [12] "Silverlining Sky and 3D Clouds," [Online]. Available: <http://sundog-soft.com/sds/features/real-time-3d-clouds/>.
- [13] o. Lars Tydén, "EWSim - Electronic Warfare Simulator Framework (FOI-S--5183--SE)," Karlskrona, 2015.
- [14] P. Bivall och L. Tydén, "Aiding Electronic Warfare Planning and Assessment through Capability Visualization," Lewiston, Maine, USA, 2015.
- [15] "CMake," Kitware, [Online]. Available: <https://cmake.org/>.

FOI är en huvudsakligen uppdragsfinansierad myndighet under Försvarsdepartementet. Kärnverksamheten är forskning, metod- och teknikutveckling till nytta för försvar och säkerhet. Organisationen har cirka 1000 anställda varav ungefär 800 är forskare. Detta gör organisationen till Sveriges största forskningsinstitut. FOI ger kunderna tillgång till ledande expertis inom ett stort antal tillämpningsområden såsom säkerhetspolitiska studier och analyser inom försvar och säkerhet, bedömning av olika typer av hot, system för ledning och hantering av kriser, skydd mot och hantering av farliga ämnen, IT-säkerhet och nya sensorers möjligheter.



FOI
Totalförsvarets forskningsinstitut
164 90 Stockholm

Tel: 08-55 50 30 00
Fax: 08-55 50 31 00

www.foi.se