Flexibla vapen- och skyddssystem

Sammanfattande slutrapport för åren 2008-2010

PETER ALVÅ, PER BRÄMMING, PETER STRÖMBÄCK

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
Försvars- och säkerhetssystem
164 90 Stockholm

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

www.foi.se

FOI-R--3181--SE
ISSN 1650-1942

Användarrapport
Mars 2011

Försvars- och säkerhetssystem

Peter Alvå, Per Brämming, Peter Strömbäck

Flexibla vapen- och skyddssystem

Sammanfattande slutrapport för åren 2008-2010

Titel	Flexibla vapen- och skyddssystem. Sammanfattande slutrapport för åren 2008-2010
Title	Weapon system assessment. Summarizing final report 2008-2010
Rapportnr/Report no	FOI-R--3181--SE
Rapporttyp Report Type	Användarrapport/User report
Sidor/Pages	27 p
Månad/Month	Mars
Utgivningsår/Year	2011
ISSN	ISSN 1650-1942
Kund/Customer	Försvarsmakten
Projektnr/Project no	E20674
Godkänd av/Approved by	Lars Höstbeck

FOI, Totalförsvarets Forskningsinstitut

Avdelningen för Försvars- och säkerhetssystem

164 90 Stockholm

FOI, Swedish Defence Research Agency

Defence & Security, Systems and Technology

SE-164 90 Stockholm

Sammanfattning

Förmågan att värdera vapensystem är av stor betydelse för Försvarsmakten. Systemvärderingen skall kunna ge underlag till nuvarande och framtida materielanskaffning, till hotutvärdering, för utveckling av skyddssystem och för taktisk värdering.

Värderingsverksamheten, som spänner över flera teknikområden, har byggt upp metoder och verktyg för att kunna föra upp teknisk kunskap inom FOI om olika delkomponenter på en högre systemnivå. Projektet har därför utgjort en viktig länk mellan övriga FoT-projekt, Försvarsmakten och FMV.

Denna rapport är en sammanfattning av verksamheten inom projektet Flexibla vapen- och skyddssystem, där syftet är att redovisa viktiga aktiviteter, hur resultat från projektet har kommit Försvarsmakten till nytta vad som avses studeras vidare i närtid.

Nyckelord: Systemvärdering, styrda vapen, granatkastarammunition, skyddssystem, systemsimulering

Summary

Weapon system assessment is an important capability for the Swedish Armed Forces. The aim of this capability is to provide input for acquisition, threat evaluation, development of protection systems and for tactical evaluation.

Weapon system assessment covers several technical domains and has developed methods and several tools and methods have been developed to bring technical knowledge up to a higher system level. The project has in this role been an important link between other projects at FOI, the Swedish Armed Forces and the Swedish Defence Material Administration (FMV).

This report is a summary of the project “Flexibla vapen- och skyddssystem”, with the purpose of providing a summary of covered activities, how results from the project is beneficial for the Swedish Armed Forces and what will be studied in a near future.

Keywords: Weapon system evaluation, guided weapons, precision-guided mortar munitions, active protection systems, system simulations.

Innehållsförteckning

1 Inledning 7

2 Flexibla vapen- och skyddssystem 8

2.1 Verksamhet 8

2.2 Värderingsmetodik 9

2.3 Verktyg för systemsimulering 9

3 Sammanfattning av resultat och slutsatser 11

3.1 Metodik för prestandavärdering av PGMM 11

3.2 Metodik för värdering av aktiva skyddssystem. 11

3.3 Trender för sensorer i vapenplattformar 11

3.4 Verktyg för vapensystemvärdering 12

4 Nytta och effekter för Försvarsmakten 13

4.1 Direktnytta 13

4.1.1 Utbildningar 13
4.1.2 Försvarsmaktsstudier 13
4.1.3 Stöttning med kompetens 13

4.2 Indirekt nytta 14

4.3 Informationsspridning 14

5 Internationellt samarbetet – CANESE 15

6 Fortsatt arbete 2011-2013 16

7 Publicerade rapporter och konferensbidrag 17

A ISIS 19

B LTA 20

C SADM 21

D FLAMES 22

E MIRAGE 23

F MSSLab 24

G AVAL 25

H Flygmodeller till MERLIN-arkitekturen 26

EWSim **27**

1 Inledning

Förmågan att kunna värdera vapen- och skyddssystem är betydelsefull för Försvarsmakten. Värderingen ska ge underlag till:

- nuvarande och framtida materielanskaffning,
- hotutvärdering,
- utveckling av skyddssystem och
- taktisk värdering.

Projektet Flexibla Vapen- och Skyddssystem, FVSS, har under perioden 2008-2010 inom ramen för FoT-området Vapen och Skydd haft uppgiften att vidmakthålla och vidareutveckla FOI:s förmåga att stödja Försvarsmakten och Försvarets Materielverk med värderingskompetens och värderingsverktyg för vapen- och skyddssystem på systemteknisk och taktisk nivå. Under perioden 2008-2010 har värdering av styrda vapen mot markmål prioriterats.

Värderingsverksamheten, som spänner över flera teknikområden, har byggt upp metoder och verktyg för att kunna föra upp teknisk kunskap inom FOI:s om olika delkomponenter på en högre systemnivå. Projektet har därför utgjort en viktig länk mellan övriga projekt inom FoT-området, Försvarsmakten och Försvarets Materielverk.

Dessutom har projektet vidmakthållit förmågan att modellera och värdera robotar, flyg, UAVer, UCAV och UGVer genom att upprätthålla kompetenser inom styrning, navigering, banplanering och flygmekanik.

Denna slutrapport syftar till att ge en samlad bild av värderingskompetens och verktyg som finns inom FOI och hur det fortsatta arbetet är inriktat efter 2010.

2 Flexibla vapen- och skyddssystem

Projektet Flexibla vapen- och skyddssystem (FVSS) är ett treårigt FoT projekt som varit verksamt under 2008-2010. Syftet med projektet har varit att

- ta fram lämpliga metoder och verktyg för studier, analys och värdering av vapen- och skyddssystem,
- ta fram förslag till hur skyddet för lättrörliga markförband kan förbättras beroende på olika hotsituationer,
- ta fram förslag till hur olika vapensystem kan utvecklas vad avser till exempel precision, graderad verkan och oönskad sidoverkan,
- utgöra en länk mellan Försvarsmakten, Försvarets Materielverk och FOI inom FoT-området, samt att vara sammanhållande för C-IED-problematiken.

2.1 Verksamhet

Verksamheten i projektet har bedrivits i ett flertal olika delgrupper, i vissa fall i samverkan mot ett gemensamt projektmål, i andra fall självständigt. Arbetet har delats upp i fyra huvudområden:

- Metodik och verktyg för systemvärdering
- Flexibla vapensystem (FVS)
- Flexibla skyddssystem (FSS)
- Omvärldsbevakning

Metodik och verktyg för systemvärdering har varit inriktat mot att studera olika verktyg och miljöer för värdering på systemnivå. Underlag från andra delområden har integrerats i en systemsimuleringsmiljö och olika systemlösningar har studerats med hjälp av simuleringar. Arbetet har bedrivits med exempelsystem inom studien, men också genom att stötta verksamheten i olika värderingsstudier inom FM, FMV och FOI.

Flexibla vapensystem har varit inriktat mot att, indelat i delområden, vidareutveckla värderingsförmågan inom vapenområdet. Arbetet har bland annat utgjorts av utveckling av en flygmodell för MSSLab (se appendix F), flygmodeller till MERLIN[1]-arkitekturen, behovs- och kravanalys för en GNC-toolbox (Guidance Navigation and Control) och arbete med målsökarsystem. Under 2010 har en stor del av arbetet utförts inom ramen för CANESE – ett samarbete mellan Kanada, Holland och Sverige för modellering av långräckviddiga indirekta eldsystem.

Flexibla skyddssystem har varit inriktat mot att inventera system- och teknikläget inom området skydd av (strids-)fordon, inventering av aktiva skyddssystem, samt att tillsammans med MSS ta fram scenarier som kan driva utvecklingen av skyddssystem. Metoder för värdering av skyddssystem har utvecklats, där också ett utbyte har skett med FFI[2], PvTT[3] och DSTL[4]. AVAL (se appendix G) har utnyttjats för modellering och simulering av skyddssystem.

Omvärldsbevakningen har varit inriktad mot att delta i olika konferenser inom området, leverera stöd till studier såsom Framtida Indirekta Bekämpningssystem, delta i och organisera seminarier inom eget område, samt att delta i möten med andra nationers motsvarande organisationer och försvarsindustri.

---

[1] MERLIN är det ramverk som används av FLSC och MSS/MT för integration av robot-modeller
[2] FFI (Forsvarets Forskningsinstitutt) är Norges motsvarighet till FOI.
[3] PvTT är Finlands motsvarighet till FOI.
[4] DSTL (Defence Science and Technology Laboratory) är ett försvars forsknings institut i Storbritannien.

2.2 Värderingsmetodik

Denna del av projektet har varit inriktat mot att:

- studera olika tänkbara verktyg och miljöer för värdering på systemnivå,
- integrera underlag från delområden i en systemsimuleringsmiljö,
- studera olika systemlösningar genom simuleringar.

Den tekniska och taktiska systemeffekten för ett vapensystem mäts oftast relativt de typer av mål som skall bekämpas i givna situationer – scenarier eller typsituationer. Denna typ av systemeffekt kan kallas systemets tekniska och taktiska prestanda. Hur ett system uppnår operativa och ekonomiska krav är ett annat sätt att mäta ett systems effekt. Här tillkommer andra faktorer i bedömningen av systemets effekt, till exempel operativ rörlighet, krav på kringfunktioner och stödsystem beroende på insatsmiljöer. När den totala systemeffekten mäts brukar ”alla” kostnader för systemet under dess livslängd tas med, så kallad Life Cycle Cost, LCC. Detta inkluderar även kostnader för Integrated Logistic Support (ILS).

För att kunna hantera operativa mål och ekonomiska mål erfordras också kompetenser från Försvarsmakten och Försvarets Materielverk. Olika metoder och verktyg som stödjer detta, såsom DOTMLPF[5], DOORS[6] och AHP[7], finns inom FM, FMV och FOI.

De delar av den totala värderingen av ett vapensystem som FVSS är inriktad mot att stödja är den tekniska och taktiska systemeffekten baserad på tekniska koncept och taktiska typsituationer.

Syftet med systemsimuleringar är att kunna studera de olika delsystems bidrag till den totala systemeffekten. De osäkerheter som varje delsystem bidrar med måste beskrivas och modelleras på ett relevant sätt för att sedan fogas samman i en samlad simuleringsmiljö. I den samlade simuleringsmiljön kan sedan osäkerheterna hanteras och värderas var för sig och samlat. Osäkerheterna beror dels på hur delsystemen är konstruerade, dels på hur de påverkas av olika typer av ”störningar”. Några exempel på sådana osäkerheter är navigeringsmetod/system, störningar mot GPS, vädersituation, lågt molntäcke, vind och noggrannhet i inmätning av målets position - Target Location Error.

2.3 Verktyg för systemsimulering

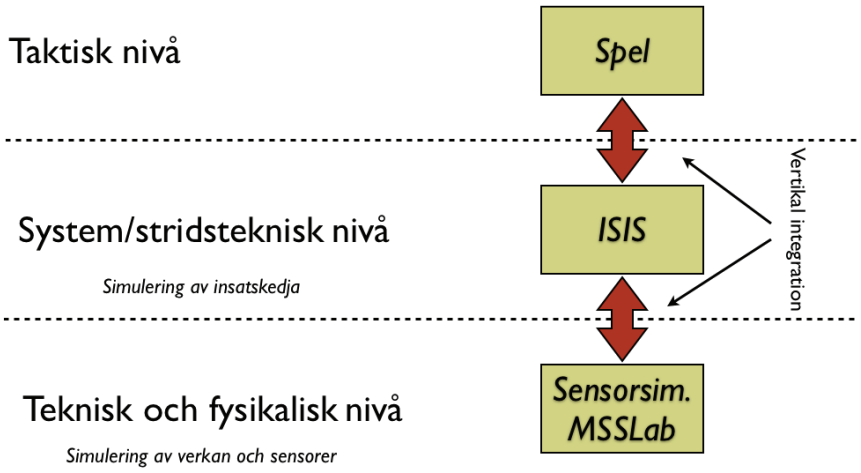
Grunden för en teknisk och taktisk värdering av ett vapensystem utgörs av god kunskap om de olika delsystemens prestanda under varierande förutsättningar. De olika delkomponenterna behöver dock vägas samman till en helhet för att den totala systemeffekten skall kunna mätas. Ett viktigt verktyg för detta är en simuleringsmiljö där modeller på systemnivå och system av systemnivå kan implementeras, och där kunskap om delsystemens tekniska prestanda kan tas tillvara från detaljerade simuleringar på komponentnivå eller från empiriska försök.

Projektet har studerat ett antal olika verktyg för detta ändamål, samt i ett par fall bidragit till utvecklingen av verktygen. Några av verktygen har också kommit till användning vid systemvärdering, både inom ramen för projektet och i andra sammanhang. I appendix redovisas ett antal verktyg som används för att kunna genomföra värdering av vapen på en systemnivå.

FOI besitter mycket kompetens på teknisk och fysikalisk nivå. I projektet FVSS fångas de viktigaste effekterna hos delsystem upp för att kunna studera insatskedjan på en systemnivå, där stridstekniska frågor kan studeras. Utifrån studier och simuleringar på

[5] DOTMLPF – Doktrin, Organisation, Träning, Materiel, Ledarskap, Personal, Faciliteter
[6] Telelogic DOORS – Requirements tracking tool; Ett verktyg för att spåra och hantera krav
[7] AHP – Analytical Hierarchical Process

systemnivå kan resultat, slutsatser och modeller lyftas till ytterligare en högre nivå, i Figur 1 benämnt som taktisk nivå.



Figur 1: Simulering på olika nivåer. Projektet Flexibla vapen- och skyddssystem genomför simuleringar på system/stridsteknisk nivå. ISIS står för Intelligenta System I Samverkan och är en simuleringsmjukvara för systemteknisk nivå.

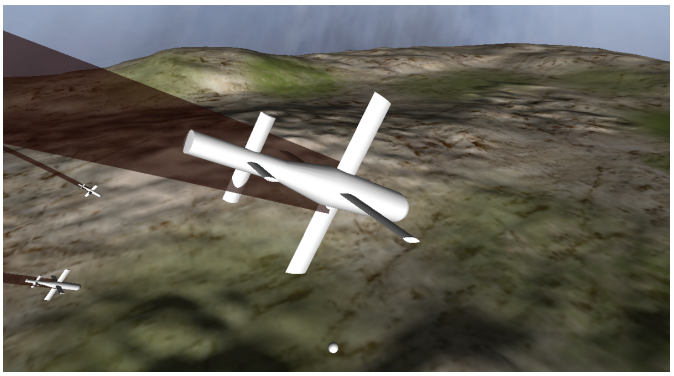
3 Sammanfattning av resultat och slutsatser

Det viktigaste resultatet som projektet Flexibla vapen- och skyddssystem har levererat till Försvarsmakten är förmågan att kunna värdera vapen- och skyddssystem. Värderingen sker i de flesta fall inte inom ramen för FoT-projektet utan i separata beställningar. Flexibla vapen- och skyddssystem ansvarar för att bibehålla och förbättra värderingsförmågan. Några konkreta resultat som projektet levererat beskrivs nedan.

3.1 Metodik för prestandavärdering av PGMM

I rapporten ”Performance Analysis Methods Applicable to Precision Guided Mortar Munitions”, FOI-R--2617--SE, ges metoder för att skatta prestanda hos en styrd granatkastargranat (PGMM). I denna rapport ges svar på frågor som:

- Hur påverkar krav på olika nedslagsvinklar granatens maximala bekämpningsavstånd? Denna frågeställning illustreras i Figur 2.
- Hur påverkas granaten då den utsätts för GPS-störning?
- Hur kan området för lyckad pålåsning (eng. Capture zone) ökas? Rapporten ger förslag på tre olika metoder.



Figur 2: Simulering av en uppsättning precisionsstyrda granatkastarammunition, sk. PGMM, som ska träffa målet från olika infallsvinklar.

3.2 Metodik för värdering av aktiva skyddssystem.

I FOI Memo H700 beskrivs en sammanfattning av metoder för att värdera aktiva skyddssystem. En utförlig inventering av aktiva skyddssystem för markfordon har genomförts och presenteras i rapporten FOI-RH--0875--SE.

3.3 Trender för sensorer i vapenplattformar

I FOI Memo H760 analyseras trender för målinmätningssensorer. Resultat från detta memo utgör en bra grund för systemmodellering av sensorer hos specifika vapensystem. Här behandlas även skattning av felet i målposition för precisionsstyrda vapen, som vid avfyrning kräver utpekade målpositioner (t.ex. Excalibur, Precision Attack Missile, Loitering Attack Missile etc.).

3.4 Verktyg för vapensystemvärdering

Flertalet utredningar kring verktyg för studier och vapensystemanalys har genomförts inom projektet. Slutsatsen av dessa är att det finns ett behov av att förnya de verktyg för studier som tidigare har används för att kunna dra nytta av och öka kvalitén hos de vapenmodeller som har utvecklas för FLSC och MSS/MT. Det har också identifierats att verktyg för känslighetsanalys och parametervariation är av vikt för förmågan att utvärdera vapensystem, och sådana bör därför utvecklas.

4 Nytta och effekter för Försvarsmakten

Den viktigaste nyttan som projektet levererat till Försvarsmakten är förmågan att kunna värdera vapensystem. Detta har gjorts genom att bygga upp kunskap, metoder och verktyg. Förmågan används främst i direkta uppdrag från Försvarsmakten och FMV. FoT-projektet Flexibla vapen- och skyddssystem är ryggraden i den förmåga som FOI har att på systemnivå värdera vapen.

I FoT-projektet Flexibla vapen- och skyddssystem vidmakthålls förmågan att modellera och värdera robotar, flyg, UAVer, UCAV och UGVer genom att upprätthålla kompetenser inom styrning, navigering, banplanering och flygmekanik. Denna förmåga nyttogörs bland annat i de robotmodeller som används i FLSC för träning av piloter och i studier inför upphandling. Samma modeller utnyttjas av FPL/Vapensystem 39 i MSS/MT för planering och utvärdering av luftstrid.

4.1 Direktnytta

Inom ramen för projektet har två utbildningar genomförts, och representanter från projektet har deltagit i ett antal försvarsmaktsstudier.

4.1.1 Utbildningar

- Projektet genomförde en tredagarskurs i luftvärn och sensorer för marintillämpningar. I kursen deltog Rb15-operatörer och luftförsvarare.
- Artilleriets stridskola, 2008. Projektet genomförde en kurs i navigering.

4.1.2 Försvarsmaktsstudier

- Indirekt eld. Representanter från FOI har deltagit i studiemöten med kunskap uppbyggt genom projektets försorg. Modeller av indirekta eldsystem anpassade för simuleringsmiljön LTA i Skövde har utvecklats och integrerats i scenarier för studien. Med hjälp av AVAL har avdömningar av vapeninsatsen gjorts för de simulerade fallen.
- Luftvärnsstudie. Representanter från FOI har deltagit i studiemöten med kompetens som upprätthålls genom projektet FVSS.

4.1.3 Stöttning med kompetens

Projektet har utgjort grunden för FOIs deltagande i och stöttning av FM LOI Combined Requirement Teams CRT 10 (Future Indirect Long Range Precision Weapon Systems) och CRT 16 (Precision Guided Mortar Munitions, PGMM). Förutom Sverige består dessa CRT av deltagare från LOI-länderna England, Frankrike, Tyskland, Italien och Spanien. Deltagarna hämtas från respektive lands försvarsmakt, motsvarighet till FMV, forskningsorganisationer och försvarsindustrier.

Arbetet inom CRT 16 (Precision Guided Mortar Munitions) har lett fram till ett EDA-call som nu leds av BAE Systems och som FOI förväntas delta i under 2011.

Kopplat till CRT 16 har projektet FVSS tagit fram datorbaserade verktyg för och genomfört simuleringar och analyser av ett koncept för PGMM.

Projektet har även stöttat FMVs aktiviteter inom CCF/PGK (Course Correcting Fuse/Precision Guidance Kit) för ostyrd artilleriammunition.

4.2 Indirekt nytta

Kompetens, verktyg och resultat som har producerats av projektet kommer till nytta i andra projekt och verksamheter på ett sätt som inte skulle vara möjligt utan den grund som, bland annat, har lagts av FVSS. Några exempel på sådan indirekt nytta är:

- Analys av verkan hos en generisk 122mm granatammunition, genom körningar i AVAL, i syfte att vidareutveckla metodiken för verkansvärdering hos FOI.
- Stöd till Försvarsmaktsutredning gällande ersättning av BK 90 i form av deltagande i möten samt beräkningar och analyser.
- Stöd till FMV genom beräkningar och analyser för att kunna bestämma precisionskraven hos Gripens spaningssystem.
- Stöd vid laserriskanalyser för Gripens LDP (Laser Designation Pod) på uppdrag av FMV.
- Stöd till FMV beställning avseende Camp protection/C-RAM i form av mätningar och beräkningar.
- Stöd till FMV-studien ”Sjömålsrobot med hypersoniska subrobotar” med kompetens inom koncept studier.
- Stöd till FMV-studien ”Överlevnad sjömålsrobot” genom analys av hotet från luftvärn med hjälp av SADM (se appendix C).
- Stöd till FMV beställningen IPT[8] Weaponeering genom att studera befintliga COTS mjukvarukomponenter och värdering av hur dessa kunde användas inom Försvarsmakten.

4.3 Informationsspridning

Kunskapsöverföring till FM och FMV har skett genom kundseminarier och publicerade rapporter, men framför allt genom att projektet, direkt eller indirekt, deltar i studier och annan verksamhet tillsammans med Försvarsmaktens personal. De verksamheter där resultat har redovisats är:

- Seminarier
    - Markstridsskolan 2008,
    - Sensorseminarium 2008, ArtSS Boden,
    - Bekämpningsseminarium 2008, FMV,
    - Marinstridsdagen 2010
- Kunddagar
    - Redovisning av aktiva motmedel, jan 2010, Försvarsmakten.
    - Redovisning av aktiva motmedel, april 2010, FMV.

[8] Integrated Project Team – integrerat arbete mellan FMV, FM och industri.

5 Internationellt samarbetet – CANESE

CANESE (CAnada, NEtherlands, SwEden) är ett samarbetsprojekt mellan DRDC i Kanada, TNO i Holland och FOI i Sverige. Målsättningen är att gemensamt utveckla en Modellerings- och Simuleringsverktygslåda anpassad för värdering av långräckviddiga indirekta eldsystem, som täcker hela insatskedjan från avfyrning till målträff, och som skall kunna utnyttjas för design, analys, prestandavärdering och optimering av precisionssystem för land-, sjö- och luftarenan.

Verktygslådan tillsammans med kompetens inom myndigheterna skall kunna stödja de tre länderna med systemvärdering och kunna ge underlag till nuvarande och framtida anskaffning, hotutvärdering, utveckling av skyddssystem och taktisk värdering.

Projektet pågår under åren 2010-2012. Sveriges deltagande har under 2010 finansierats av FVSS.

Under 2010 har målet varit att identifiera de viktigaste kunskapsgapen och ta fram en prioriterad lista över utvecklingsbehovet av värderingsverktyg för återstående projekttid. Detta arbete slutfördes under en workshop under hösten hos DRDC i Quebec.

En lista på systemkrav för ett indirekt eldsystem togs fram tillsammans med listor på tekniska lösningar för framtida system inom aktuella teknikområden. På detta material applicerades sedan QFD- (Quality Function Deployment) processen för att få fram de kritiska teknikområdena och identifiera de luckor i modelleringskapacitet som sätts i fokus för det fortsatta samarbetet.

På workshopen presenterade också varje deltagande organisation en översikt över den nuvarande kompetensnivån inom olika teknikområden, uppdelat på fyra områden:

1. utskjutning och framdrivning,
2. aerodynamik och kontroll,
3. styrning, navigering och sensorer,
4. vapenverkan, stridsdelar och tändrör.

Det fortsatta arbetet kommer under 2011 att bedrivas i ett antal undergrupper, en för varje teknikområde ovan, samt en grupp för systemvärdering.

6 Fortsatt arbete 2011-2013

Projektet Vapensystemvärdering fortsätter under 2011-2013 arbetet med att vidmakthålla och vidareutveckla Försvarsmaktens förmåga att värdera vapensystem (med fokus på styrda vapen). Under 2011-2013 kommer fokus för projektet Vapensystemvärdering vara inom nedanstående områden.

- Uppbyggnad av förmågan att värdera precisionsstyrda artillerigranater såsom Precision Guidance Kit, Course Correcting Fuse och SPACIDO. Denna förmåga avses att byggas upp gemensamt med TNO från Holland och DRDC från Kanada i ett trilateralt samarbete (CANESE se kapitel 5) och den svenska delen finansieras av FoT projektet Vapensystemvärdering.
- Parametervariation och känslighetsanalys hos styrda vapen och vapensystem. Syftet med aktiviteten är att dels få bättre förståelse för hur variationer i enskilda parametrar inverkar på slutprestanda för vapensystem och dels kunna ge statistiska mått på hur korrekt modeller beter sig (t.ex. hur säkra är träff/bom-gränserna i skjutlappar). I denna aktivitet ingår dels att skapa verktyg och dels att skapa värderingsmetoder baserade på existerande statistiska metoder.
- Utveckling av metodik för värdering av slutfasstyrning med IR-sensorer i artillerigranater. Syftet med denna aktivitet är att kunna värdera prestanda hos system som t.ex. BONUS från BAE Systems.
- Viss verksamhet kommer också att genomföras för att utveckla verktyg för högnivåstudier av vapensystem.

Uppbyggd förmåga att värdera vapensystem kommer årligen att demonstreras på kundseminarium.

7 Publicerade rapporter och konferensbidrag

Under perioden 2009-2010 har ett antal rapporter och konferensbidrag publicerats inom ramen för Flexibla vapen- och skyddssystem. Dessa listas nedan.

- Peter Alvå, Camilla Andersson, Per Brämming, Mats Fredriksson, Christina Grönwall, MajBritt Hansson, Svante Karlsson, Fredrik Näsström, John Robinson, Petter Ögren; Flexibla Vapen och Skyddssystem. Årsrapport 2008; Användarrapport, FOI-R--2621--SE, 2009
- Camilla Andersson; Inventering av VMS med förstörande motmedelsåtgärder för markfordon; Underlagsrapport, FOI-RH--0875-SE, 2011
- Camilla Andersson; Seminarium med Markstridsskolan; FOI MEMO 2618, 2008
- D. Anisi, P. Ögren, X. Hu; Cooperative Minimum Time Surveillance with Multiple Ground Vehicles; IEEE Transactions on Automatic Control, vol 55, (2679 - 2691), December 2010
- Per Brämming; Flexibla Vapen- och Skyddssystem - Lägesrapport 3.kv 2008; FOI MEMO H0516, 2008
- Per Brämming, Ewa Liden; Redov. av milstolpe kv1 2010 för projekt Flexibla Vapen och Skyddssystem samt redov. av milstolpe kv4 2009 för projekt Verkan och Skydd, Tekniska hot och möjligheter, FoT nr 922:06.1 och nr 922:06.3, FOI MEMO H0737, 2010
- Per Brämming; Val av Strategi för Modellering och Simulering av Indirekta Styrda Vapen; FOI MEMO H0610, 2009
- Michel Chapuis, Christer Fureby, Ekaterina Fedina, Niklas Alin, Jon Tegner; LES Modelling of Combustion for Propulsion Applications Using OpenFOAM; Konferens, FOI-S--3606--SE, 2010
- Mats Fredriksson; Utvecklingsmiljöer och produkter för MIRAGE; FOI MEMO 3456, 2010
- Christina Grönwall, Fredrik Näsström; Sensor systems for targeting; FOI MEMO H0760, 2010
- Casper Hildings; En sammanfattning av arbetet med MIRAGE - ett verktyg för systemsimuleringar; FOI MEMO 3455, 2010
- Casper Hildings; Systemvärdering av ”Lätta Aktiva Skyddssystem”; FOI MEMO H700, 2011.
- Ulrik Nilsson, John Robinson, Petter Ögren; Performance Analysis Methods Applicable to Precision Guided Mortar Munitions; Teknisk rapport, FOI-R--2617--SE, 2009
- John Robinson; Flight Mechanical Modeling of a Precision Guided Mortar Munition; Teknisk rapport, FOI-R--2618--SE, 2010
- John Robinson, Petter Ögren; Konceptstudier av "Lätta Styrda Precisionsvapen"; FOI MEMO H0652, 2009
- Vladimir Sabel´nikov; Finite Rate Chemistry Large-Eddy Simulation of Self-Ignition in a Supersonic Combustion Ramjet; Artikel, FOI-S--3604--SE, 2010
- Peter Strömbäck, Fredrik Berefelt; GNC Toolbox. Behovs- och kravanalys; FOI MEMO H0792, 2010

- J. Thunberg, P. Ögren; An Iterative Mixed Integer Linear Programming Approach to Pursuit Evasion Problems in Polygonal Environments; IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA), Anchorage, Alaska, May 2010
- Petter Ögren, John Robinson; Receding Horizon Control of UAVs using Gradual Dense-Sparse Discretizations; Konferens, FOI-S--3461--SE, 2010
- P. Ögren, J.W.C. Robinson; A Model Based Approach to Modular Multi-Objective Robot Control, to appear in the Journal of Intelligent and Robotic Systems; DOI: 10.1007/s10846-010-9523-7, 2011
- P. Ögren, J.W.C. Robinson; Receding Horizon Control of UAVs using Gradual Dense-Sparse Discretizations; AIAA Conference on Guidance, Navigation and Control, Toronto, Canada, August, 2010

A ISIS

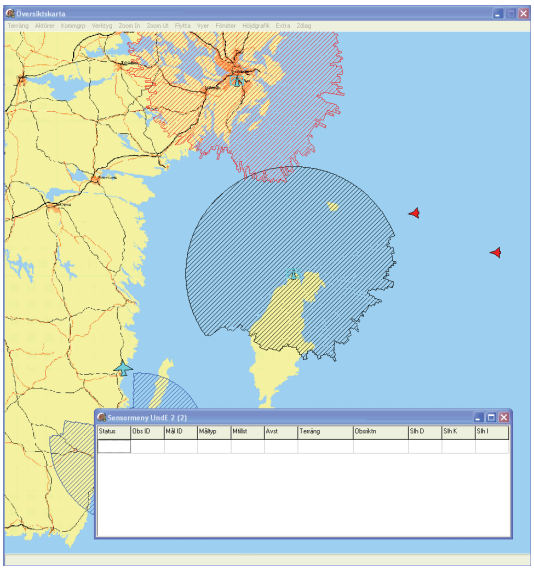
ISIS (Intelligenta System I Samverkan) har utvecklats på FOI, och utnyttjas för systemsimuleringar. Inom projektet har ett flertal tekniknära delsystemmodeller anpassats till ISIS genom så kallad ”Vertikal integration”, vilket innebär att en ny modell på lämplig abstraktionsnivå utvecklas, som sedan parametersätts utifrån data från den detaljerade modellen och dess simuleringsmiljö. De nya modellerna kan sedan kopplas samman och användas för simuleringar på system- eller system-av-systemnivå.

ISIS har också visat sig vara användbart för problemformulering, då man med mycket förenklade modeller kan beskriva ett systemkoncept och demonstrera detta i ett antal simulerade scenarier.

Resultatet av ISIS-simuleringar kan användas som ingångsvärden för en taktisk systemvärdering.

ISIS har utnyttjats för simuleringar

- på teknisk nivå av framför allt styralgoritmer för samverkande system,
- av taktiska/stridstekniska situationer för yttäckande luftvärnssystem,
- av demonstrationskaraktär för några utvalda mark-, sjö- och luftsituationer där informationsutbyte i nätverk har betonats.



Figur 3: Illustration av ett scenario där luftvärnssystem har analyserats med ISIS.

Några utmärkande egenskaper hos ISIS är

- anpassat för modeller på ”hög systemnivå”,
- modeller för informationsutbyte,
- enkelt att definiera scenarier och modeller med XML-baserade indatafiler,
- snabb simulering av komplexa scenarier,
- länkas till detaljerade simuleringsmodeller med ”Vertikal integration”,
- nya programfunktioner och moduler utvecklas efterhand som behov uppstår,
- FOI äger koden, vilket underlättar implementationen av ny funktionalitet.

B LTA

Ledningsträningsanläggningen (LTA) på MSS i Skövde används för stabsövningar på bataljons- och kompaninivå. Anläggningen har under 2010 också utnyttjats av Bekämpningsstudien för att utföra taktiska simuleringar av befintliga och framtida indireka eldsystem. FVSS har stöttat detta arbete genom att införskaffa simuleringsprogramvaran CATS från BAE Systems, implementera modeller för artillerisystem, samt utveckla en metodik för att genomföra spel och analyser.

Figur 4: Kartvy och 3D-vy i en LTA-simulering.

LTA-simulatorn gör det möjligt att studera taktiska situationer där mänskliga beslut väsentligt påverkar de systemprestanda man vill analysera. Flera personer kan samtidigt vara inkopplade i ett simulerat ledningssystem, och därmed påverka händelseförloppet.

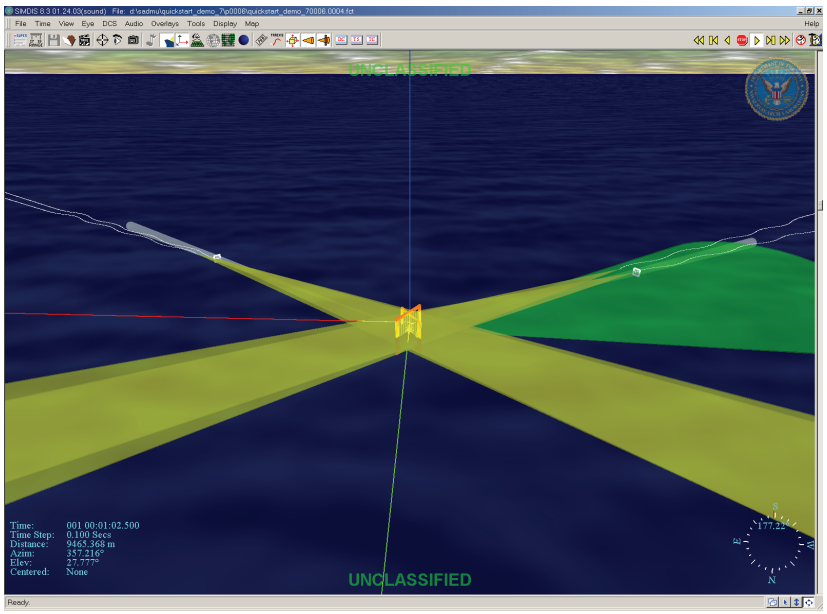
I de simuleringar som utfördes inom ramen för Bekämpingsstudien användes också AVAL för att bedöma verkan av den indirekta elden i de utvalda scenarierna. De modeller för verkanssimuleringar som idag finns i LTA räcker inte till för detaljerade verkansanalyser. De är anpassade för att ge en visuell återkoppling vid ledningsträning, vilket inte ställer så stora krav på upplösning och parametersättning.

LTA-simulatorn har visat sig vara ett viktigt komplement till övriga simuleringsverktyg som FOI förfogar över. Idag har FOI programvaran installerad på en dator, vilket medger att enklare situationer kan simuleras, samt mer komplexa scenarier kan förberedas för att exekveras på LTA-anläggningen i Skövde. Ett fortsatt arbete föreslås där ett mindre nätverk bestående av 5-6 datorer byggs upp, som därmed tillåter att ett flertal simuleringar kan genomföras direkt på FOI.

C SADM

Ship Air Defence Model, SADM, är en simuleringsmiljö utvecklad av BAE Systems Australia. Miljön har sitt ursprung, som framgår av namnet, som en luftförsvarsmodell för örlogsfartyg. Den finns i två versioner, en Analysis Edition och en Tactical Edition, som under de senaste 10 åren successivt utvecklats till att idag täcka området luftförsvar mer allmänt.

SADM utnyttjar visualiseringsverktyget SIMDIS som utvecklats av Naval Research Laboratory.

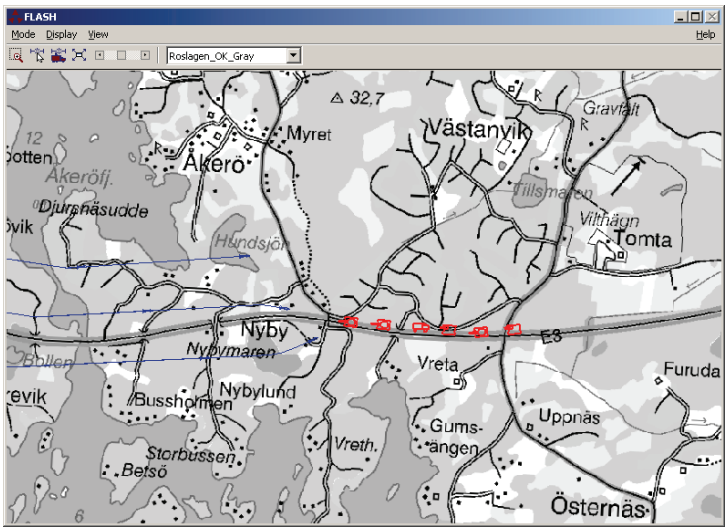


Figur 5: Exempel på visualisering med SIMDIS.

FVSS slutsatser är att SADM har utvecklats till ett verktyg väl lämpat till att stödja Försvarsmaktens verksamheter som systemvärdering och studier.

D FLAMES

FLAMES utvecklas av det amerikanska företaget Ternion, och är ett simuleringsramverk som tillåter simuleringar på system-av-systemnivå av militära system, framför allt system för luftstrid. Ramverket ger stöd för att utveckla och koppla ihop olika modeller till en komplett simulering. Några modelltyper som FLAMES stöder utveckling för är t.ex. dynamiska plattformar, sensorer, ammunition, radarsignaturer och kommunikationsutrustning. FLAMES stöder också utveckling av kognitiva modeller för att kunna styra enheternas beteenden. Modellerna kopplas samman via ett enkelt skriptspråk i den medföljande scenarioeditorn. Ramverktyget levereras med ett antal exempelmodeller, som kan användas direkt i en simulering eller utnyttjas som stöd vid nyutveckling av modeller.

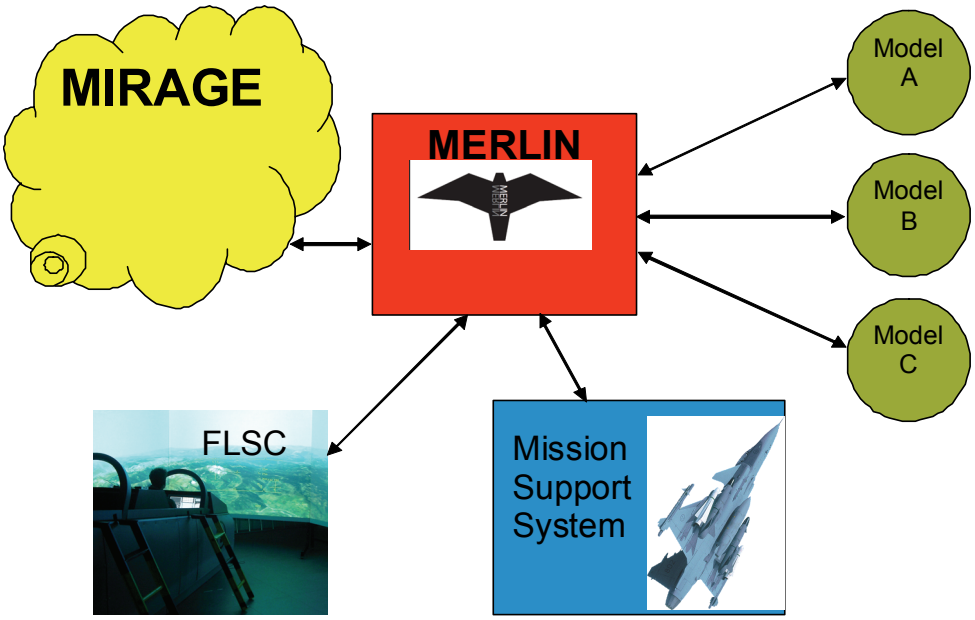


Figur 6: Simulering av ett robotsystem i FLAMES.

FLAMES har använts i tidigare verksamhet på FOI. En erfarenhet har varit att det är ganska tidkrävande och omständligt att utveckla nya modeller när man vill uppnå en funktionalitet som skiljer sig mycket från de medföljande exempelmodellerna. Liksom i alla ramverktyg är man också bunden till att följa verktygets regler för att utveckla modeller. Verktyget har dock utvecklats, varför en ny utvärdering av FLAMES som ett tänkbart verktyg för verkansvärdering bör göras.

E MIRAGE

MIRAGE är ett simuleringsramverk under utveckling på FOI och som syftar till att kunna utnyttja MERLIN[9]-modeller för simuleringar på systemnivå. Ett sådant verktyg främjar utveckling av modeller med ett standardiserat gränssnitt, och möjliggör därmed ett modellutbyte mellan olika verktyg och värderingsverksamheter.



Figur 7: MERLINs arkitektur gör det möjligt att återanvända modeller i flera simuleringsmiljöer.

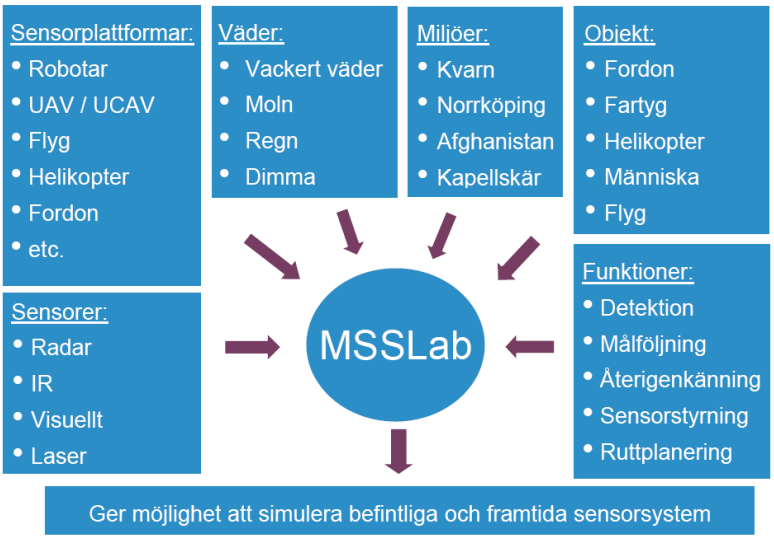
Genom att sammanföra MERLIN-arkitekturen med erfarenheter från utvecklingen av SILVIA[10] och ISIS, samt dra nytta av den ökande datorkapacitet som kluster av datorer ger, kommer en simuleringsförmåga att skapas som fyller ett tomrum mellan detaljerade, sensornära, simuleringar och bemannade simuleringar som i FLSC.

[9] MERLIN är det ramverk som används av FLSC och MSS/MT för integration av robot-modeller.
[10] SImulering av Luftvärn I Ada - Verktyg för luftvärnssimuleringar på system-av-systemnivå

F MSSLab

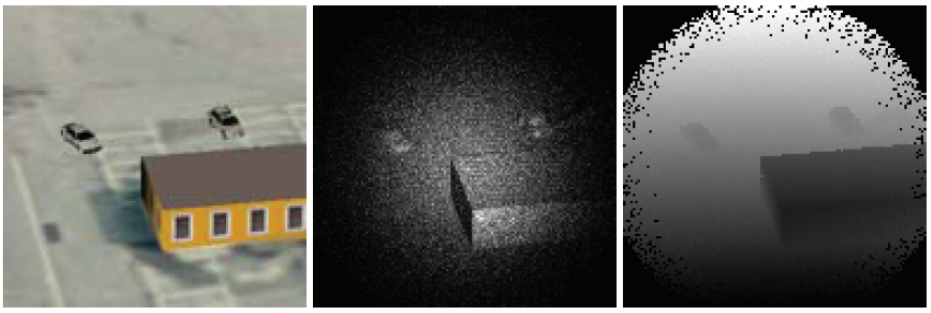
MultiSensorSimuleringsLab (MSSLab) är ett simuleringslaboratorium för simulering av avancerade sensorsystem utvecklat på FOI. Med MSSLab kan olika sensorsystem värderas i olika miljöer och vid olika väderförhållanden och tidpunkter. Ramverket möjliggör simulering av dynamiska scenarier med rörliga plattformar, sensorbärare, målobjekt m.m. Högkvalitativa sensorsimuleringar kan göras med IR, visuellt, laser och radar och dessa sensorsystem kan simuleras både enskilt och som multisensorsystem. Avancerade signalbehandlingsmetoder, följealgoritmer och datafusionsmetoder är också integrerade i simuleringsverktyget.

MSSLab har hittills använts för simulering av markscenarier, men även sjö- och luftscenarier kan simuleras. MSSLab används också till att ta fram dataunderlag för signal- och bildbehandlingsalgoritmer. Verktyget kan även användas för att validera förenklade sensormodeller som används för mängd- eller interaktiva simuleringar.



Figur 8: Sammanställning av delsystem som kan integreras vid en simulering med MSSLab.

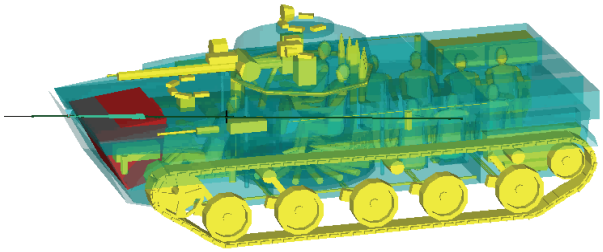
Sensorsimuleringsprogrammen som har integrerats är radarsimuleringsprogrammet SE-RAY-EM (tidigare kallat SPECRAY EM), IR-simuleringsprogrammet CameoSim, en egenutvecklad 3D-lasersensor-modell, samt simuleringsverktyget SceneServer för måttligt realistiska IR-simulering och för visuell presentation av scenariot.



Figur 9: Exempel på simuleringsresultat från MSSLab. Till vänster visas ett scenario genererat av SceneServer, i mitten laserradarmodellens beräkning av reflektans och till höger avstånd.

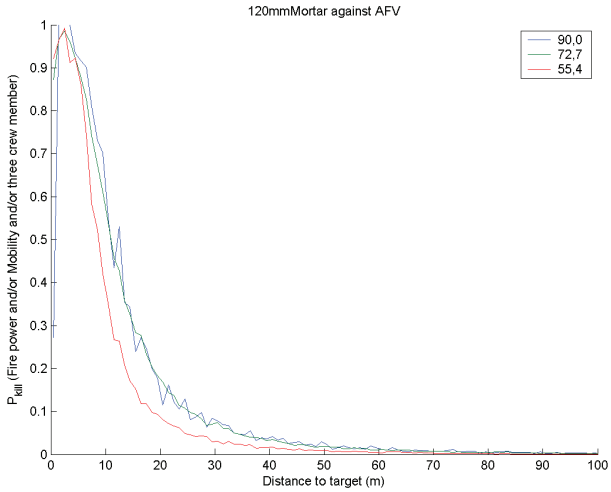
G AVAL

AVAL är ett verktyg för verkanssimulering som beräknar verkan och sårbarhet för måltyper som rör sig i såväl luft-, sjö- som markarenan. AVAL utvecklades i samarbete mellan FOI, Bofors Defence AB och Dynamec Research AB men underhålls och vidareutvecklas nu av FOI. Beräkningarna bygger på Monte Carlo-teknik, vilket innebär att resultatet bygger på ett genomsnitt av många simuleringar. Vad man varierar i AVAL är nedslagspunkten för stridsdelen, och för var och en av dessa nedslagspunkter beräknar man träffbilden för splitter och vilken skada dessa gör. Dessa skador omvandlas till komponenters utslagning, som i sin tur bidrar till delsystems utslagningssannolikhet, och som i sin tur bidrar till sluthändelser som berättar hur ett system i olika avseende är att betrakta som utslaget.



Figur 10: Målmodell med delkomponenter i AVAL.

Med AVAL simuleras till exempel verkan av olika ammunitionstyper mot olika mål. Det samlade resultatet av simuleringarna för en viss typ av ammunition mot en viss måltyp kan presenteras med en graf som i figuren nedan.



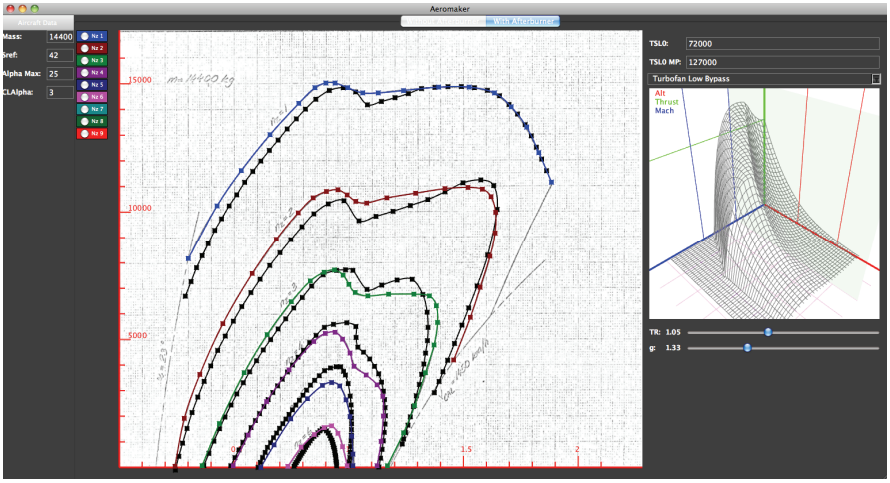
Figur 11: Utslagssannolikhet för en 120 mm granat mot ett pansarskyttefordon vid tre olika nedslagsvinklar.

H Flygmodeller till MERLIN-arkitekturen

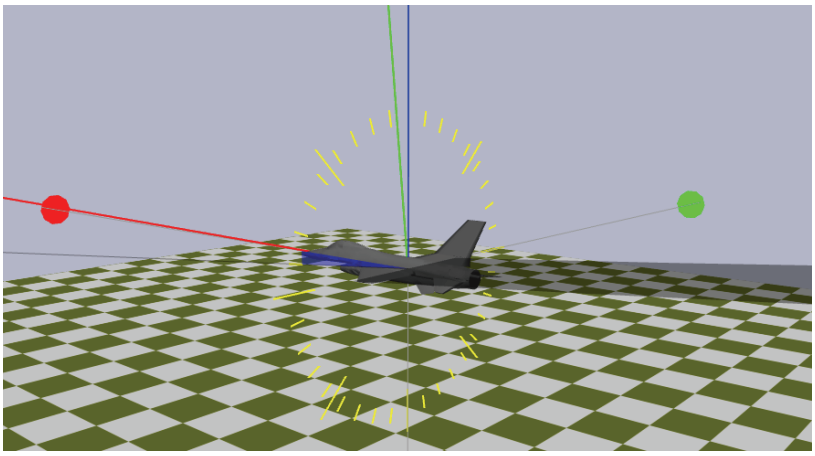
I studiesammanhang finns ett starkt behov av flygplansmodeller med realistisk prestanda. Dessa modeller måste ha en bra autopilot som ska kunna nyttjas av CGF (Computer Generated Forces) agenter. Detta för att kunna planera och flyga flygbanor. Modellen får ej kräva för mycket datorprestanda, då man vill kunna köra större scenarier, med många flygplan, integrerat i en större modellflora.

Att ta fram nya flygplanmodeller är ofta en kostsam process som kräver mycket resurser. Här har målet varit att ta fram en metodik och implementation för att automatisera modellframtagandet och därmed förkorta ledtider och minska kostnaden.

Givet statiska manöverunderlag, så kallade SEP-kurvor, tillsammans med enkelt åtkomliga data såsom tomvikt, last, vingarea, max dragkraft vid noll höjd etc., görs en systemidentifiering av flygplanet, ett aerodynamisk underlag generas och motormodellen trimmas in för flygplanstypen. Kortidsdynamiken matas in från riktvärden ("Flying Qualities") beroende på flygplanskategori.



Figur 12: Aeromaker är en applikation för systemidentifiering av aerodata för flygplan. I figuren visas ett flygplans faktiska SEP-kurvor och de som ges av modellen efter systemidentifiering.



Figur 13: Illustration av en prestandamodell av ett jaktflygplan, där aerodynamiska koefficienter har estimerats från ett givet prestandaunderlag. När Aeromaker identifierat aerodynamiska koefficienter kan en flygbar modell generas automatisk vilket förkortar nyutveckling avsevärt då inga handpåläggningar behövs och ingen ny kod behöver skrivas.

EWSim

EWSim (Electronic Warfare Simulation interface model) är ett ramverktyg för distribuerade telekrigssimuleringar utvecklat av FOI. EWSim består av tre delar:

- EWPlan för scenarioplanering, där plattformar kan konfigureras (sensorer, vapen). Olika räckviddsberäkningar kan också utföras (täckningsområde för en radar, område där en störare måste placeras för att skydda ett givet mål, etc., samt liknande funktionalitet för IR & laser). Detta program är baserat på NetScene.
- Duellverktyg där själva simuleringen kan visualiseras, både i en kartvy och i en 3D-vy. Till detta hör en uppsättning modeller, såsom radar, radarvarnare, motmedel, men även robotmodeller.

Analysverktyg, där EWLogger används för att spela in HLA-trafik och även presentera händelser och status allt eftersom simuleringen exekverar i ett