



# Vapensystemvärdering

Sammanfattning av verksamheten under 2011

PETER STRÖMBÄCK



Peter Strömbäck

# Vapensystemvärdering

Sammanfattning av verksamheten under 2011

Titel	Vapensystemvärdering - Sammanfattning av verksamheten under 2011
Title	Weapon system assessment - Summary of activities during 2011
Rapportnr/Report no	FOI-R--3305--SE
Rapporttyp/ Report Type	Användarrapport
Sidor/Pages	22 p
Månad/Month	December
Utgivningsår/Year	2011
ISSN	ISSN 1650-1942
Kund/Customer	Försvarsmakten
Projektnr/Project no	E20675
Godkänd av/Approved by	Nils Olsson

FOI, Totalförsvarets Forskningsinstitut	FOI, Swedish Defence Research Agency
Avdelningen för Försvars- och säkerhetssystem	Defence & Security, Systems and Technology

164 90 Stockholm

SE-164 90 Stockholm

## Sammanfattning

Denna rapport sammanfattar de aktiviteter som under 2011 genomförts inom FoT-projektet *Vapensystemvärdering*.

Fokus har under 2011 legat på forskning och utveckling av metoder för värdering av långräckviddiga vapensystem med precisionsbekämpning. De mest framträdande delaktiviteterna för att möjliggöra denna värdering har under 2011 varit modellering och simulering av spinnande projektiler med bankorrigerande tändrör samt framdrivning med ramjet motorer. Arbete har också genomförts inom områdena slutfaststyrning med bildalstrande målsökare och utveckling av verktyg för värdering av vapensystem.

Ovanstående aktiviteter beskrivs kortfattat i denna rapport tillsammans med nyttan av den uppbyggda kunskapen, metoderna och verktygen samt hur kunskap spridits inom Försvarmakten.

Nyckelord: Vapensystemvärdering, PKG, ECF, SPACIDO, tändrör

## Summary

This report provides a summary of the activities performed in the project Weapon System Assessment (*Vapensystemvärdering*) during 2011.

Focus has been on research and development of methods for assessment of precision weapons with increased standoff. During 2011 the most prominent activities to enable such assessment have been modeling and simulation of spinning projectiles with course correcting fuzes and propulsion with solid and liquid ramjet engines. Work has also been conducted within the fields of endgame control with imaging seekers and development of tools for assessment of weapon systems.

The activities are briefly described in this report together with motivations on the developed knowledge, methods and tools as well as how the knowledge has been transferred to the Swedish Armed Forces.

Keywords: Weapon system assessment, PKG, ECF, SPACIDO, CCF, course correcting fuze

## Innehållsförteckning

<b>1</b>	<b>Projektbeskrivning</b>	<b>7</b>
1.1	Mål och syfte.....	7
<b>2</b>	<b>Nytta för Försvarsmakten</b>	<b>8</b>
2.1	Värderingsförmåga .....	8
2.2	Expertkunskap .....	8
2.3	Kunskapsöverföring .....	8
<b>3</b>	<b>Genomförd verksamhet</b>	<b>11</b>
3.1	Erfarenheter från studier av styrda vapen .....	11
3.2	Verktyg för värdering.....	11
3.3	Parameterstudier av vapensystem .....	12
3.4	Spinnande projektiler och bankorrigerande tändrör.....	12
3.5	Framdrivning av precisionsstyrd ammunition .....	15
3.6	Slutfasstyrning och verkansvärdering.....	16
3.7	Omvärldsbevakning .....	18
3.8	Samarbeten .....	19
<b>4</b>	<b>Fortsatt arbete 2012</b>	<b>21</b>
4.1	Planerade aktiviteter .....	21
4.2	Förväntade resultat.....	22
4.3	Planerad överföring till Försvarsmakten .....	22





# 1 Projektbeskrivning

I takt med att Försvarsmaktens vapensystem blir allt mer komplexa, och i allt högre grad köps från utländska tillverkare ”off the self”, ökar behovet av förmågan att objektivt och tillförlitligt kunna värdera systemens styrkor och svagheter.

Projektet *Vapensystemvärdering* är ett 3-årigt FoT<sup>1</sup>-projekt där 2011 är första året. Syftet med projektet är att vidareutveckla förmågan att värdera vapensystem, speciellt med fokus på styrda vapen. Detta görs genom att

1. utveckla metoder och verktyg för värdering av vapensystem
2. samverka med och utnyttja resultat från andra FoT-projekt, framförallt inom området Vapen & Skydd
3. vidmakthålla och vidareutveckla FOI:s kompetens inom specialområdena styrning, navigering och banplanering.

## 1.1 Mål och syfte

Den övergripande målsättningen för projektet är att upprätthålla god förmåga att värdera vapensystem på systemnivå. Denna förmåga byggs upp i form av kunnig personal, verktyg och metoder för värdering. Den nyttjas av Försvarsmakten genom studier av framtida behov, som stöd till FMV vid kravställning och upphandling av nya system samt utvärdering och stöd i existerande system (t.ex. realtidsmodeller för luftstrid).

För att kunna stödja Försvarsmaktens behov fokuserar projektet på teknik som ligger några år fram i tiden i syfte att kunna bidra med kunskap om fysikaliska och systemmässiga begränsningar. De metoder som används för värdering är oftast simuleringsbaserade vilket har fördelen att svåra och komplicerade frågor kan analyseras och upptäckas på ett tidigt stadium före upphandling. Likaså kan effekten hos existerande system analyseras genom simuleringar istället för att genomföra dyra tester. Genom FoT-projektet bygger Försvarsmakten upp kompetens för värdering av vapensystem oberoende av tillverkaren.

---

<sup>1</sup> Forskning och Teknik

## 2 Nytt för Försvarsmakten

Den nytta som projektet genererat under året har delats in i tre delar: värderingsförmåga, expertkunskap och kunskapsöverföring.

### 2.1 Värderingsförmåga

Under året har projektet byggt upp förmågan att kunna utvärdera spinnande artillerigranater utrustade med bankorrigerande tändrör. Detta är en typ av system som förväntas ge förbättrad precision i förhållande till existerande icke-styrda artillerigranater men till en betydligt lägre kostnad än t.ex. Excalibur. Med förbättrad precision antas antalet granater som är nödvändigt att avfyra för att bekämpa målet minska, samtidigt som risken för "collateral damage" sjunker.

Den förmåga som byggts upp under 2011 är att kunna simulera snabbt spinnande projektiler och kommer under första halvåret 2012 att kompletteras med funktionalitet för styrning. Detta är en förmåga som har bedömts nödvändig för att kunna stödja FMV inför upphandling av system med bankorrigerande tändrör. Upphandlingen av dessa system förväntas dröja ett par år vilket innebär att den nu uppbyggda förmågan kan komma väl till pass för inledande studier och kravställning.

Några av de frågeställningar som anses intressant att undersöka är:

- Vilken styrförmåga kan man få med bankorrigerande tändrör?
- Vilka begränsningar, svagheter och styrkor finns i ett sådant system?
- Finns andra lösningar som är bättre med avseende på både precision, säkerhet och kostnad?

I stycke 3.4 beskrivs aktiviteterna med spinnande projektiler och bankorrigerande tändrör i mer detalj.

### 2.2 Expertkunskap

Genom projektet upprätthålls den expertkunskap som Försvarsmakten har till förfogande över genom FOI inom följande områden:

- Flygmekanisk modellering av robotar och projektiler.
- Styrning av robotar och projektiler.
- Navigering för robotar och projektiler.
- Banplanering (eng. Guidance) för robotar och projektiler.
- Framdrivning med fokus på ramjetmotorer med fast och flytande bränsle.

Dessa expertkunskaper kombineras i projektet *Vapensystemvärdering* med simuleringsbaserade utvärderingsmetoder och expertis inom sensorer och verkansvärdering för att skapa en värderingsförmåga på systemnivå.

### 2.3 Kunskapsöverföring

#### 2.3.1 Seminarium på Luftstridsskolan

Under hösten 2011 genomfördes ett seminarium om vapensystemvärdering på Luftstridsskolan (LSS) i Uppsala. Projektet redovisade där de metoder, verktyg och modeller som fokuserar på luftarenan och som ansågs vara av intresse för åhörarna. Under

detta seminarium redovisades även det arbete som FOI under ett antal år genomfört med värdering av radarjaktroboten Meteor. Deltagarna från LSS visade ett särskilt intresse kring hur projektet *Vapensystemvärdering* kompetensförsörjer den utveckling av realtidsrobotar som används av FLSC, MSS/MT och i framtiden Nationellt träningsnätverk (NTN). Ett intresse fanns från både LSS och FOI att ha en fortsatt dialog om kunskapspridning och närmare samarbeten genom ett uppföljningsmöte under 2012.

### 2.3.2 FMV Indirekt Eld

Ett antal möten har under 2011 genomförts tillsammans med representanter från FMV Indirekt Eld och ArtSS i syfte att sprida kunskapen om bankorrigerande tändrör samt få en god bild över de behov som FMV och Försvarmakten ser inom området de närmaste åren. Dessa möten har genomförts en gång i kvartalet och kommer att fortsätta under 2012.

### 2.3.3 Marinstridsdagen 2011

Under Marinstridsdagarna 2011 deltog projektmedlemmar med föredrag om verktyget SADM<sup>2</sup> och hur det kan nyttjas för marinens utveckling av taktik och stridsteknik.

### 2.3.4 Försvarmaktens FoT-dag

På Försvarmaktens FoT-dag den 12 oktober presenterade projektet tekniktrenden och förmågor med scramjetmotorteknik<sup>3</sup>, en teknik som länge varit av intresse men först nu är tillgänglig. En kortare genomgång av nyckelteknologier för scramjet presenterades också.

### 2.3.5 Dokument

Som en del av kunskapsöverföringen både till Försvarmakten och forskningsrådet har ett antal rapporter publicerats under året. Dokumentationen av arbetet inom FoT-projektet är viktigt för att verksamhetsområdet ska kunna bygga vidare på tidigare resultat samtidigt som det är ett medel för att garantera att god kvalitet upprätthålls. I tabellen nedan listas de dokument som tagits fram under året.

Nummer	Titel
FOI-D--0425--SE	Survey of tools for conceptual design of flight vehicles.
FOI-D--0408--SE	Erfarenheter ifrån studier av styrda vapen.
FOI-Memo-3591	Vapensystemvärdering - Lägesrapport. (Milstolpe Q2 2011)
FOI-Memo-3680	Vapensystemvärdering - Seminarium på LSS. (Milstolpe Q2 2011)
FOI-R--3179--SE	Metoder för UAV-spaning mot rörliga mål. (Milstolpe Q1 2011)
FOI-DH--0069--SE	Värderingsmetoder för aktiva skyddssystem. (Utgiven 2011, skapad tidigare)
FOI-RH--0875--SE	Inventering av VMS med förstörande motmedels-åtgärder för markfordon. (Utgiven 2011, skapad tidigare)
FOI-Memo-H700	Systemvärdering av "Lätta Aktiva Skyddssystem". (Utgiven 2011,

<sup>2</sup> Ship Air Defence Model är en operationsanalytisk mjukvara för försvar mot sjömålsrobotar utvecklat av BAE-systems.

<sup>3</sup> Scramjet står för Supersonic Combustion ramjet och är en form av luftandande jetmotor.

	skapad tidigare)
FOI-R--3291--SE	On Guidance and control for Guided Artillery Projectiles, Part 1: General Considerations.
FOI-R--3181--SE	Flexibla vapen och skyddssystem - Sammanfattande slutrapport för åren 2008-2010.

## 3 Genomförd verksamhet

I detta stycke beskrivs några av de mer omfattande aktiviteter som genomförts inom ramen för projektet.

### 3.1 Erfarenheter från studier av styrda vapen

Under första kvartalet 2011 genomfördes en utredning av tidigare erfarenheter från studier av styrda vapen genomförda på FOI. Undersökningen är tänkt att ligga som grund för en strukturerad värderingsmetodik samtidigt som behov och förbättringspotential i existerande metoder och verktyg identifierats. Resultatet av undersökningen är publicerad i FOI-rapporten FOI-D--0408--SE. I undersökningen framkom bland annat behov av att utveckla ett "FLSC light" för att möjliggöra enklare demonstrationer av modeller, mängdsimuleringar och utvärderingar. Detta är en aktivitet som har genomförts under året och ett verktyg för detta finns i ett grundutförande, se stycke 3.2. Undersökningen rekommenderade också att upprätthålla god kontakt med studier, stridsskolor och utvecklingssektioner inom HKV för att säkerställa att FOI har relevanta modeller för Försvarens kommande frågeställningar. Detta är ett fortlöpande arbete och under året har kontakter tagits med LSS, FMV Indirekt Eld och Art SS för att få en bättre bild av rådande behov.

Ett antal rekommendationer från utvärderingen kvarstår att genomföras och kommer fortlöpande att följas upp och efter ytterligare analys åtgärdas.

### 3.2 Verktyg för värdering

Under året har resurser från projektet *Vapensystemvärdering* lagts på att förbättra verktyget MDA (MERLIN Dual Analyzer). Detta verktyg utvecklades initialt för att kunna analysera och visualisera robotskott med MERLIN-modeller. Tanken med att utnyttja MDA för systemsimulering är att kunna återanvända och analysera samma modeller som körs i FLSC och MSS/MT. Genom att använda samma modeller för värdering som för träning är förhoppningen att dubbelarbete kan undvikas samtidigt som kvalitén och förståelsen för modeller, som används av Försvarens makt, ökar.

Verktygen har under året utrustats med grundläggande förmåga att kunna genomföra parameteranalys av modeller och scenarion, utökad loggningsfunktionalitet för efteranalyser samt förbättringar med avseende på den grundläggande arkitekturen.

Verktyget är tänkt att vara flexibelt och utbyggbart vilket är egenskaper som är nödvändigt för ett verktyg som ska fylla flera syften och utvärdera olika förmågor.

MDA har under året använts av projektet *Vapensystemvärdering* för studie av parametervariation av BVR<sup>4</sup>-strid och av andra projekt i följande aktiviteter:

- Utveckling och utvärdering av CGF (Computer Generated Forces) för luftstrid.
- Systemsimulering av telekrig i realtid.
- Simulering och visualisering av resultat vid undersökning av civil luftfarts beroende av telesystem.
- Test och utveckling av robotmodeller till MSS/MT.

MDA har distribuerats till FLSC för att förenkla test och utvärdering av robotmodeller och till FMV för test och utvärdering av en IRIS-T modell.

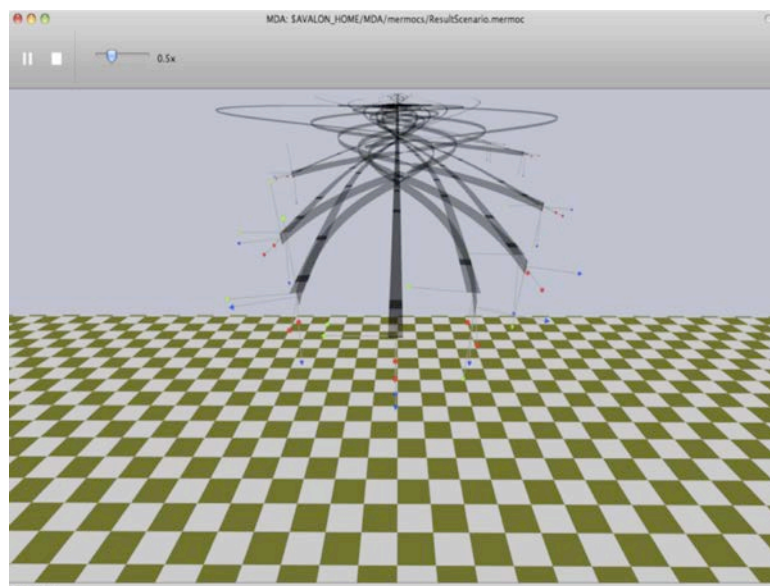
---

<sup>4</sup> Beyond Visual Range

### 3.3 Parameterstudier av vapensystem

En viktig del i värderingsarbetet med styrda vapen är att förstå inverkan av variationer i parametrar hos modeller och scenarier. Studier av parametervariation kan ge information om hur känsliga system är för störningar och hur osäkerheter i modeller inverkar på slutresultat och beslut. Osäkerheter i parametersättningar existerar alltid vid simuleringar men är oftast större vid studier av hotsystem än egna system. Parameterstudier kan också användas som ingångsvärden för taktisk utveckling. Genom att utnyttja verktyg för parametervariation kan bra ingångsvärden för t.ex. pilotstudier fås.

Under året har ett första steg tagits för att kunna genomföra automatiserade parameterstudier på MERLIN<sup>5</sup>-modeller. Inom ramen för projektet genomfördes en kortare studie med parametervariation där verktyget MDA använts. I *Figur 1* visas ett exempel från studien där effekten av variationer i amplituden på svängar vid undanmanöver med S-sväng studerades. Resultaten från studien redovisades under seminariet med Luftstridsskolan i slutet av september.



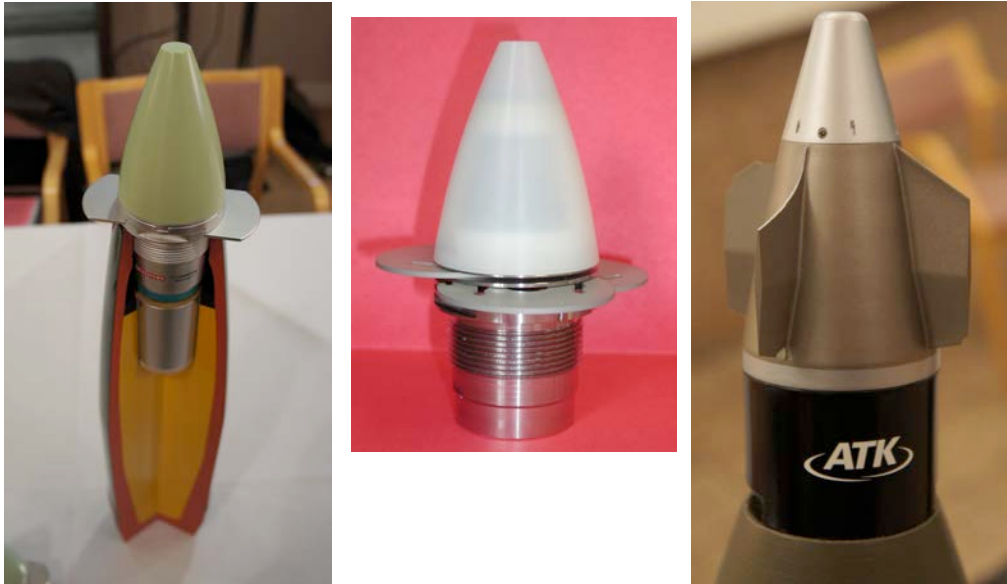
*Figur 1. Illustration av flygbanor hos robotar och målflygplan från en parametervariationsstudie. Simuleringarna är genomförda i verktyget MDA där amplituden på svängen i en S-formad undanmanöver var den parameter som varierades.*

### 3.4 Spinnande projektiler och bankkorrigerande tändrör

Under mer än två decennier har industri och forskningsinstitut arbetat med att förbättra precision hos artillerigranater med olika former av styrning. Detta har bland annat resulterat i Excalibur, en granat med mycket hög precision. Excalibur-granaten är förhållandevis dyr vilket har drivit på utveckling av andra enklare tekniker. En sådan familj av enklare tekniker är bankkorrigerande tändrör där tändrören i de existerande granaterna kan bytas ut och ersättas med ett tändrör som ger viss styrförmåga. Dessa bankkorrigerande tändrör brukar delas in i två grupper beroende på vilken styrförmåga de har: 1D-bankkorrigerande tändrör som kan bromsa granaten genom att fälla ut luftbromsar och 2D-bankkorrigerande tändrör som kan styra i både längs- och tvärs-led. Exempel på

<sup>5</sup> MERLIN är en arkitektur för simulering av robotar och flygplan och är integrerad i MSS/MT och FLSC (se [www.foi.se/avalon](http://www.foi.se/avalon))

1D-bankorrigerande tändrör som är under utveckling är SPACIDO<sup>6</sup> som utvecklas av NEXTER och ECF<sup>7</sup> som utvecklas av BAE-Systems. Ett exempel på 2D-bankorrigerande tändrör är PGK<sup>8</sup> från Alliant Techsystems. Dessa tändrör finns illustrerade i *Figur 2*.



a) Bild av ECF (European Correcting Fuze) som utvecklas av BAE-Systems. (Fotograf: Jörgen Trued)

b) Illustration av SPACIDO som utvecklas av NEXTER. (Bilden trycks med tillstånd från NEXTER Group)

c) Bild av PGK (Precision Guidance Kit) som utvecklas av ATK. (Fotograf: Jörgen Trued)

*Figur 2. Illustrationer av tre aktuella tändrör för bankkorrigering.*

Inom ramen för projektet *Vapensystemvärdering* har en detaljerad Matlab-toolbox tagits fram för att simulera snabbt spinnande projektiler. Dynamiken för snabbt spinnande projektiler (så som artillerigranater) skiljer sig avsevärt från dynamik hos icke spinnande projektiler (t.ex. missiler) vilket gör spinnande projektiler svårare att styra samtidigt som den ska hållas stabil. Syftet med denna mjukvara är att bättre förstå den fysik som ligger till grund för artillerigranater och kunna genomföra oberoende utvärderingar av förväntad prestanda hos bankorrigerande tändrör eller alternativa lösningar.

Inom projektet *Vapensystemvärdering* byggs förmågan upp att kunna värdera denna typ av vapensystem där några av de övergripande frågeställningarna listas nedan:

- Vilken precision kan man förvänta sig av 2D-bankorrigerande tändrör?
- Vilken precision kan man förvänta sig av 1D-bankorrigerande tändrör?
- Vilka fördelar medför den nya tekniken?
- Vilka begränsningar finns i tekniken?
- Är 2D-bankkorrigering alltid bättre än 1D-bankorrigerande tändrör?
- Finns tekniskt sett bättre lösningar?

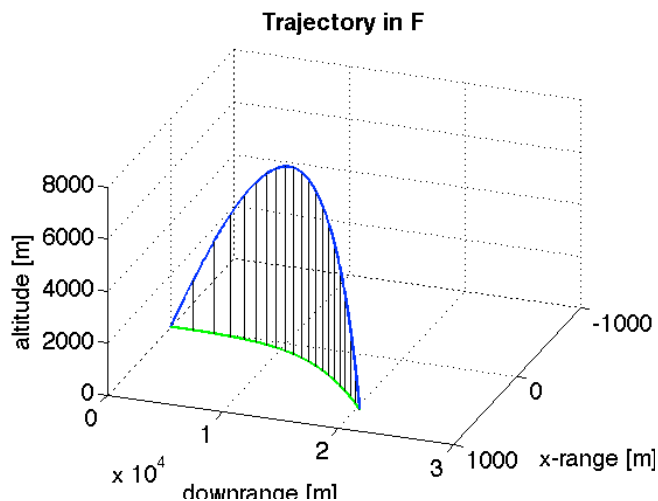
<sup>6</sup> Systeme a Precision Amelioree par Cinemometre Doppler

<sup>7</sup> European Correcting Fuze

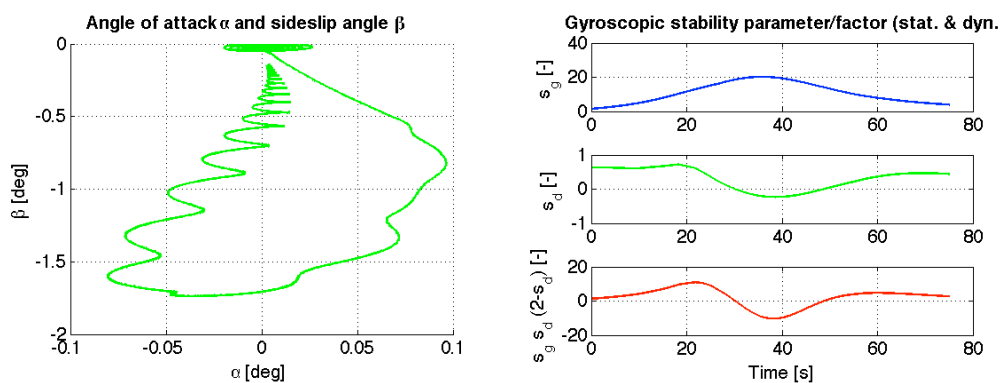
<sup>8</sup> Precision Guidance Kit

- Vilken inverkan har bankorrigerande tändrör på hur man använder systemen? Vad är t.ex. effekten och riskerna med att sikta längre bort än målet?

Den framtagna mjukvaran kommer under 2012 att verifieras mot motsvarande NATO-kod (utvecklad under STANAG 4618) och mjukvara utvecklad av Kanadensiska DRDC<sup>9</sup>. Aktiviteten med modellering och simulering av snabbt spinnande projektiler och bankorrigerande tändrör har stark koppling till det samarbete som genomförs med TNO och DRDC inom "Precision Weapons With Increased Standoff" (se stycke 3.8.1). I *Figur 3* och *Figur 4* visas några av de storheter som genereras av det utvecklade verktyget och är av intresse för utvärdering samt utformning av styrprincip för bankorrigerande tändrör.



*Figur 3. Banan hos en 155mm granat som skjutits ut med 45 grader och med en utgångshastighet på ca 800m/s. Driften i sida beror på Magnus effekten.*



a) Bild av hur anfallsvinkeln (alfa) och snedanblåsningsvinkel (beta) hos en spinnande 155mm projektil varierar under färd.

b) Bild av två olika kriterier för gyroscopisk stabilitet ( $S_g$  och  $S_d$ ) samt en kombination av båda (röd kurva) som skall vara över 1 för att projektilen ska vara stabil.

*Figur 4. Illustration av några viktiga parametrar från den framtagna simuleringsmodellen.*

<sup>9</sup> Defence Research and Development Canada



### 3.5 Framdrivning av precisionsstyrd ammunition

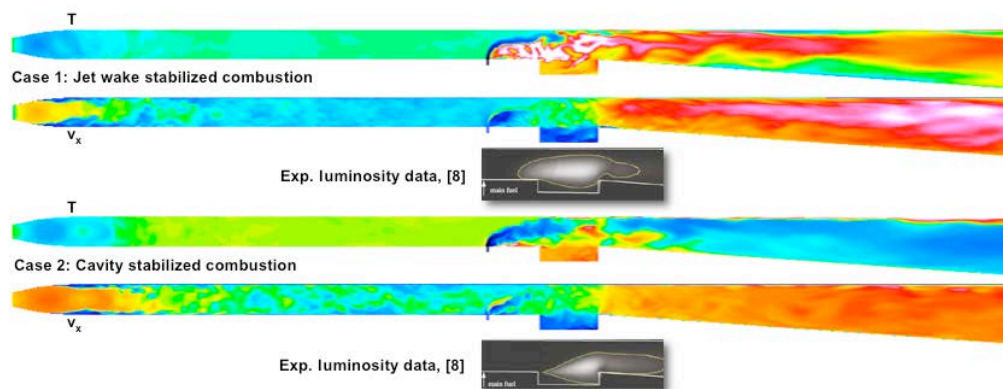
Teknisk överlägsenhet i termer av ökad räckvidd och högre hastighet kan realiseras främst genom val av framdrivningssystem. Äldre robotvapen utnyttjar främst konventionella raketmotorer på grund av den ackumulerade erfarenheten av dessa relativt enkla och tillförlitliga motortyper. För framdrivning inom atmosfären är de dock ineffektiva på grund av sin låga specifika impuls. Därför utvecklar och driftsätter nu flera länder robotvapen och artilleriprojektiler som drivs i banan med luftförbrukande motorer. Sådana motorer har prestanda som oftast är överlägsen motsvarande raketmotordrivna system. I dagsläget är ramjetmotorer tillräckligt väl utvecklade för praktisk användning i vapensystem, men det förväntas att framöver kommer scramjetmotorer och kombinerade ram- och scramjet-motorer samt även pulsdetonationsmotorer att ta över. En försvarande faktor när teknikerna som dessa typer av system bygger på skall värderas och utvecklas är att de vanliga analysmetoderna, vilka bygger på experimentella studier, inte ger tillräckligt detaljerad kunskap om de processer som sker i motorn, vilket begränsar optimeringsmöjligheterna. Inte förrän under det senaste decenniet har man börjat få tillräckligt god förståelse för dessa processer tack vare utnyttjandet av avancerade beräkningsmodeller vilket i sin tur möjliggjort utveckling av framgångsrika demonstratorfarkoster som till exempel HyShot och X51.

För att kunna utvärdera nya vapensystem och delsystem, såsom framdrivningssystemet, för vilka endast begränsad information finns tillgänglig behövs en serie verktyg. Relativt enkla systemmodeller behövs för integration i taktiska stödsystem samtidigt som detaljerade simuleringsmodeller behövs för att kunna beskriva och förstå hur olika typer av motorer beter sig under olika driftsvillkor. För att i Sverige kunna genomföra sådana värderingar är det av stor vikt att (i) inhämta teknisk kunskap om potentiellt intressanta motorsystem och att (ii) utveckla verktyg för att utvärdera nya och alternativa framdrivningssystem.

Projektet *Vapensystemvärdering* har behov av framdrivningsmodeller på systemnivå. Det är viktigt att dessa modeller korrekt avspeglar verkligheten och fångar upp de viktigaste egenskaperna hos framdrivningssystemet. För detta krävs god förståelse för tekniken och modeller som kan verifieras mot detaljerade simuleringar och experiment. FOI har avvecklat sina experimentella resurser på detta område men har en internationellt erkänd kompetens inom simulering av förbränning och framdrivningssystem. Genom samarbetet med DRDC och TNO (som beskrivs i avsnitt 3.8.1) får FOI möjlighet att verifiera modeller mot experiment och modeller på systemnivå i utbyte mot simuleringsmodeller på detaljerat nivå.

Den här beskrivna verksamheten syftar till att ge Försvarmakten (i) teknisk kunskap om potentiellt intressanta motorsystem som till exempel ramjet och kombinerade ramjet- och scramjetmotorer, (ii) insyn i den internationella forskningen inom detta område genom att aktivt medverka på konferenser samt att (iii) skapa tillförlitliga verktyg för att utvärdera nya och alternativa framdrivningssystem.

Under 2011 har detaljerade simuleringar av en kombinerad ram- och scramjetmotor genomförts som baserats på ett experiment genomfört vid Universitet i Michigan (se *Figur 5*). Detta motorexperiment är unikt, i den mening att både ram och scramjetdrift erhållits med vätegas (H<sub>2</sub>) och eten (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>) som bränsle.



Figur 5. I figuren ovan visas preliminära beräkningsresultat från två fall av flamstabilisering. De färgade bilderna visar ögonblicksbilder av temperatur ( $T$ ) och hastighet i längsled ( $V_x$ ). De två svartvita bilderna visar ett tidsmedelvärde av styrkan hos förbränningen.

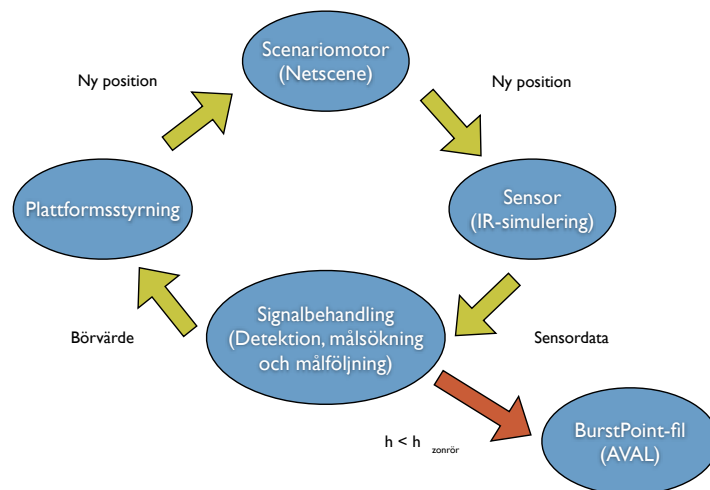
### 3.6 Slutfasstyrning och verkansvärdering

Framtida stridsdelar blir allt mer flexibla, för att kunna bekämpa flera typer av mål i olika miljöer. Precisionen hos stridsdelar kan ökas genom att bildalstrande IR-målsökare tillförs. Därmed minskar risken för oönskad sidoverkan samtidigt som förmågan att slå ut målet ökar. De bildalstrande IR-målsökarna kan även utnyttjas tillsammans med en laseravståndsmätare för att besluta när detonation ska ske (d.v.s. som ett zornör). Ett exempel på ett idag existerande system med denna funktionalitet är BONUS från BAE Systems.

På FOI används verktyget AVAL för värdering av verkan och simuleringsmiljön MSSLab (Multisensorsimuleringslab) för noggrann simulering av sensorsystem i olika miljöer och väderförhållanden. Inom ramen för projektet *Vapensystemvärdering* har MSSLab anpassats för att kunna simulera och värdera prestanda hos stridsdelar så som BONUS och framtida liknande system. En värderingskedja byggs därmed upp som kombinerar målföljning med bildalstrande IR-målsökare och zornörfunktionalitet med verkansvärdering genom AVAL.

I Figur 6 illustreras värderingskedjan med fyra viktiga steg

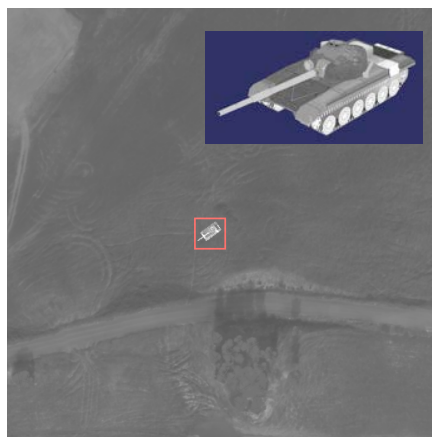
- Simulering av IR-sensorn
- Signalbehandling
- Styrning av granaten
- Generering av indata till AVAL



*Figur 6. Illustration av simuleringskedjan för att knyta ihop detaljerade simuleringar av bildalstrande IR-sensorer med*

I detta arbete har fokus legat på att sätta ihop simuleringskedjan för denna typ av värdering. Simulering av IR-sensor och signalbehandling sker med noggranna modeller medan det i dagsläget endast är en mycket förenklad punktmassmodell med ideal styrning som används för granaten. För detektering av mål används en detektor som kallas LogitBoost<sup>10</sup> och för målföljning samt generering av målspar används ett "Extended-Kalmanfilter". För att associera detekterat mål med rätt målspar används en metod som heter Global Nearest Neighbor (GNN). När den simulerade stridsdelen kommer inom ett förbestämt avstånd från målet (detonationsavstånd) skrivs en så kallad "BurstPoint"-fil, som innehåller stridsdelens position, hastighet, riktning i förhållande till målet etc. Filen kan sedan användas av verkansvärderingsverktyget AVAL för att analysera effekten av verkan i målet.

I *Figur 7* visas det simulerade målet (en stridsvagn av modell T72) och sensorbilden med lyckad följning av målet.



*Figur 7. IR-bild med detekterat mål från en granat med slutfasstyrning. Högst upp i högra hörnet visas ursprunglig 3D modell från vilken IR-bilden genererats.*

<sup>10</sup> LogitBoost beskrivs i detalj i följande papper: Friedman J., Hastie T., Tibshirani R., "Additive Logistic Regression: A statistical view of boosting", The Annals of Statistics, 2000, Vol. 28, No. 2, pages 337–407.

## 3.7 Omvärldsbevakning

För att kunna genomföra vapensystemvärdering är det nödvändigt med domänkunskap, förståelse för svenska behov samt att kunna göra bedömningar av vilken teknik och värderingsförmåga Försvarmakten behöver några år framåt. Domänkunskap och specifik teknikkunskap kan inhämtas genom besök på konferenser och utställningar men också genom samarbeten med andra forskningsinstitut och organisationer. Omvärldsbevakning sker också i specifika aktiviteter genom litteratur- och verktygsinventering. Här beskrivs kortfattat resultat av de konferenser och utställningar projektet deltagit på under året samt en inventering av existerande verktyg för konceptuell design av flygande farkoster.

### 3.7.1 Future Artillery Conference

Då fokus under 2011 och 2012 ligger på värdering av indirekta eldsystem besöktes Future Artillery Conference för att få mer information om utformning av bankorrigerande tändrör och bibehålla domänkunskap kring området indirekt eld. I grova drag behandlade konferensen tre områden:

- Erfarenheter från olika stridsområden med beskrivningar hur man använt olika system taktiskt.
- Representanter från olika nationers artilleri som beskriver sitt lands artilleriresurser.
- Företag som beskriver sina system.

Två av föredragen pekade på nya typer av problem som ansågs intressant för projektet, det ena av Överste Mike Ross (UK) och det andra av Generalmajor David Halverson (USA).

Överste Mike Ross från British Army berättade om GMLRS<sup>11</sup> som är ett existerande artilleriraketsystem med mycket hög precision och därmed liten "collateral damage". Den höga precisionen gör att man får rätt graderad verkan och inte slår till oproportionerligt i en konflikt. Han bedömde också att konflikter och krig i större grad kommer att utkämpas i och kring städer och områden med människor och ekonomiska värden. Detta ställer helt nya krav på användning av den indirekta elden i form av artilleri och granatkastare t.ex. genom krav på branta nedslagsvinklar, graderade verkansdelar med hög precision. Man ska bekämpa målet och inte större delen av målets omgivning samt medge eldledare möjlighet att avbryta en insats när verkansdelarna är i luften.

Generalmajor David Halverson från Fort Sill US Army berättade om vilka uppgifter den amerikanska armén måste lösa de kommande åren. Bland annat ansåg han att ett arbete måste till för att hantera konflikter i luften, dvs. att kunna skjuta artilleri i ett område med både flygföretag och UAV:er.

### 3.7.2 DSEi

I början av september 2011 besökte en representant för projektet utställningen Defence & Security Equipment International exhibition (DSEi) i London. Detta är den största utställningen med kombinerade land-, sjö- och lufttillämpningar. Syftet med besöket var att upprätthålla en bred system- och domänförståelse samt analysera kommande trender.

På utställningen följdes bland annat nya soldatsystem med målutpekingsförmåga, nya aktiva skyddssystem med signaturanpassning, fartygssystem och obemannade system som UAV:er och Loitering munitions. Under tiden för utställningen diskuterades aktuella svenska behov med de närvarande svenska representanterna för Försvarmakten.

---

<sup>11</sup> Guided Multiple Launch Rocket System

### 3.7.3 International Armoured Vehicles

Representanter från projektet besökte i början av 2011 konferensen International Armoured Vehicles. Syftet med besöket var att bibehålla domänkunskap om markarenan samt verkans- och motmedelssystem som tidigare undersökts inom FoT området.

Presentationerna och innehållet i konferensen var fokuserad på den rådande hotbilden i Afghanistan och då främst IED<sup>12</sup>-hotet och C-IED. De fordon som visades upp var olika typer av patrullfordon jämförbara med Ptg6 (Galten) där fokus vid konstruktion varit på t.ex. V-formade chassin, takupphängda stolar och dubbla golv som åtgärder för att kunna hantera IED-hotet.

Representanter från den Danska motsvarighet till MSS<sup>13</sup> delgav två intressanta erfarenhetsstudier, där de bl.a. har studerat nyttjandet av stridsvagnar i Afghanistan. Det har visat sig vara en stor fördel att kunna ha med ett ”mindre dödligt” understödssystem (i jämförelse med flygbombningar och artilleri), som kan slå med högre precision, med ”lagom” effekt och vid en tidpunkt som förbandet själva kan avgöra.

### 3.7.4 Konceptuell design av flygande farkoster

Konceptuell design är en metod som kan användas för att utvärdera och bättre förstå krav på framtida system och utvärdering av existerande vapensystem där endast en del information finns tillgängligt om systemen. I en konceptuell designfas för flygplan, robotar eller ammunition analyseras och undersöks inverkan från alla olika delsystem, t.ex. aerodynamik, stabilitet, styrning och framdrivning, med avseende på krav eller begränsningar på slutförmåga och prestanda. Under 2011 genomfördes en undersökning av vilka verktyg och metoder som finns tillgängliga och vilken förmåga dessa har. Syftet med detta arbete är att få en översikt över vilka verktyg och metoder som finns idag för att underlätta vid olika värderingsuppdrag samt säkerställa att egen utveckling inte görs på områden där adekvata verktyg finns. Resultatet av denna undersökning finns sammanfattat i rapporten FOI-D--0425--SE.

## 3.8 Samarbeten

Under 2011 har projektet deltagit i främst två samarbeten; ”Precision Weapons with Increased Standoff” och STANAG 4618. Dessa samarbeten beskrivs kortfattat nedan.

### 3.8.1 ”Precision Weapons with Increased Standoff”

FOI har påbörjat ett samarbetsprojekt med DRDC från Kanada och TNO från Nederländerna som går under namnet ”Precision Weapons with Increased Standoff” och ligger under ett MoU från 2003 (”Co-operative science and technology”). Syftet med projektet är att gemensamt förbättra ländernas modellerings- och simuleringsförmåga för att analysera och värdera långräckviddiga precisionsbekämpningssystem.

Projektet är indelat i fem undergrupper med experter från de tre ländernas försvarsforskningsinstitut. Dessa grupper är ”Guidance, Navigation and Sensors”, ”Aerodynamics and Control”, ”Launch and Propulsion”, ”Terminal Effects” och ”System Integration”.

Gruppen ”System Integration” ansvarar för att sätta ihop delsystemmodeller som utvecklas av de övriga expertgrupperna till ett verktyg för systemvärdering. I *Figur 8* visas en översiktsbild av den modelleringskedja som genomförs inom projektet för att nå fram till ett tillförlitligt värderingsverktyg för precisionsstyrda vapen med lång räckvidd. Målsystemet är en framtida, nästa generation av Excalibur eller Vulcano men med ökad

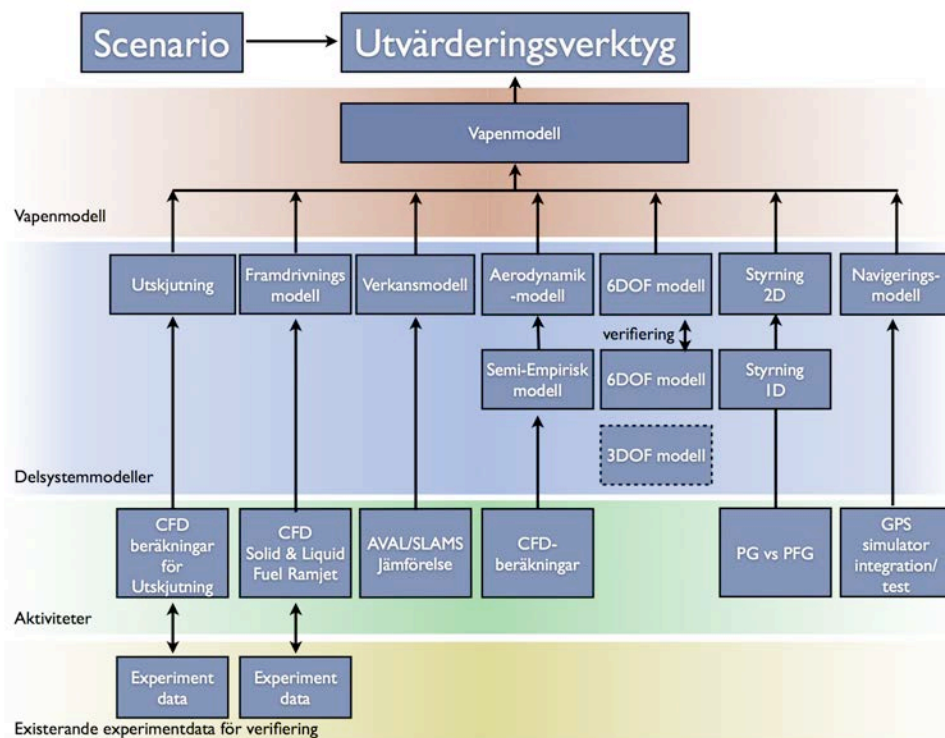
<sup>12</sup> Improvised Explosive Device

<sup>13</sup> Markstridsskolan

räckvidd. Detta mål formulerades under en workshop 2010 för att få en modellerings- och kunskapsbredd som täcker de nödvändiga delområdena för utvärdering av precisionsstyrda vapen med lång räckvidd.

Under 2011 har Sveriges deltagande finansierats av projektet *Vapensystemvärdering* genom de aktiviteter som tidigare beskrivits i detta kapitel (se styckena 3.4, 3.5 och 3.6).

Samarbetet ger en möjlighet att diskutera teknik och metoder med andra experter inom området samtidigt som modeller och resultat kan verifieras. Det ger också tillgång till vissa experiment och modeller med en noggrannhetsgrad som projektet ensamt inte har möjlighet att finansiera. Slutligen erhålls också ett gemensamt verktyg för värdering.



Figur 8. Illustration av modelleringskedjan för framtagning av utvärderingsverktyg för långräckviddiga vapensystem.

### 3.8.2 STANAG 4618

Projektet deltar i NATO:s standardiseringsarbete kring modellering och simulering av 6- och 7-DOF modeller av styrda projektiler (STANAG<sup>14</sup> 4618). FOI deltar här med expertis inom områdena styrning, banplanering och navigering (på engelska betecknas detta ofta GNC, Guidance, Navigation and Control). Syftet med att delta i denna grupp är att kunna verifiera egna modeller mot andra nationers modeller och antaganden diskuteras med experter inom ett område där väldigt få i världen arbetar.

<sup>14</sup> Nato Standardisation Agreement

## 4 Fortsatt arbete 2012

Arbetet kommer att delas in i fyra delområden: värderingsmetodik, precisionsbekämpning med indirekt eld, kvalitetssäkring och verktygs- och modellutveckling. De nedan beskrivna aktiviteterna är delvis fortfarande i planeringsfasen varför vissa förändringar kan komma att ske.

### 4.1 Planerade aktiviteter

#### 4.1.1 Värderingsmetodik

En metodik för värdering av vapensystem kommer att utarbetas och dokumenteras, vilket också inkluderar en litteraturstudie av existerande metoder lämpliga för värdering av vapensystem. Syftet med detta är att ge handledning vid utvärdering av vapensystem med simuleringsbaserade metoder.

#### 4.1.2 Precisionsbekämpning med indirekt eld

Inriktningen mot indirekt eld kommer att fortsätta under 2012 tillsammans med uppbyggnad av förmågan att utvärdera bankorrigerande tändrör. Denna verksamhet genomförs i samarbete med TNO i Holland och DRDC i Kanada.

Denna verksamhet kompletteras med utvärdering av metoder för förbättrad räckvidd genom att titta på möjligheterna med granater utrustade med fastbränsle-ramjet (Solid-Fuel-Ram-Jet) eller motsvarande. Dessutom genomförs verksamhet för att kunna utvärdera indirekta eldsystem med bildalstrande målsökare (liknande BONUS-systemet).

Genom att värdera specifika system byggs kompetens och metoder upp för generella system, samtidigt som konkreta resultat kan förmedlas till Försvarmakten.

Inom ramen för denna verksamhet kommer NATOs arbete med modellering av styrd ammunition för indirekt eld (STANAG 4618) att följas.

Denna aktivitet rymmer till stor del tillämpad forskning inom områdena styrning, utskjutning och framdrivning samt kompetensupprätthållande verksamhet inom navigering, målsökare och domänkunskap inom precisionsstyrning av indirekt eld.

#### 4.1.3 Kvalitetssäkring

Ett antal aktiviteter kommer att genomföras för att kvalitetssäkra framtida värderingsuppdrag. I detta ingår att skapa en robothandbok med medföljande Matlab-kod. Syftet med detta är att bibehålla simulerings- och modelleringskompetensen för styrda vapen inom FOI och Försvarmakten. Denna handbok utgör också en bas för utbildning inom området.

Baserat på en metodik som konkretiseras under kvartal 1 (se stycket 4.1) ska en validerings- och verifieringsaktivitet genomföras på utvalda existerande MERLIN-modeller och identifierade brister rättas till.

#### 4.1.4 Verktygs- och modellutveckling

Under 2011 utvecklades en prototyp av ett verktyg för parametervariation. Detta arbete kommer under 2012 att fortskrida genom stabilisering och förbättring av existerande funktionalitet samt utveckling av metoder för att analysera resultat.

## 4.2 Förväntade resultat

Genom de beskrivna aktiviteterna förväntas nedanstående resultat.

- Ett verktyg för att på systemnivå värdera långräckviddig precisionsbekämpning med indirekt eld kommer att utvecklas i samarbete med TNO och DRDC.
- Ett verktyg för att kunna genomföra systematiska parameterstudier av vapensystem genom mångdsimuleringar kommer att tas fram.
- Forskningsresultat inom området styrning med bankorrigerande tändrör kan presenteras som konferensbidrag på en vetenskaplig konferens t.ex. AIAA GNC.
- Forskningsresultat inom området framdrivning med ramjetmotor kan presenteras som konferensbidrag på en vetenskaplig konferens och/eller som artikel i vetenskaplig tidskrift.
- Genom utformning av strukturerad metodik för värdering av vapensystem förväntas snabbare och mer precisa värderingar av vapensystem.
- Värderingskedjan mellan slutfasstyrning av artillerigranater med IR-sensor och verkansutvärdering ska färdigställas, inklusive en dokumenterad modell av bildalstrande målsökare på systemnivå för artillerigranater (liknande BONUS).

## 4.3 Planerad överföring till Försvarmakten

Kunskaps- och informationsöverföring till försvarmakten är planerad att genomföras enligt nedanstående rubriker.

### 4.3.1 Seminarium Indirekt Eld

Projektet avser att ordna ett seminarium för ArtSS och FMV IE för att tillsammans med andra projekt på FOI ge en bred bild av verksamheten inom verkansvärdering, utvärdering av spridning och hur ny teknik och produkter kan ge förbättrad precision.

### 4.3.2 Kontinuerlig dialog med ArtSS och FMV IE

Under 2012 ska en kontinuerlig dialog föras med Art SS och FMV Indirekt Eld i syfte att informera om resultat och slutsatser från arbetet med bankorrigerande tändrör och samarbetet med DRDC och TNO.

### 4.3.3 Kvalitetssäkring av modeller

FOI utvecklar och underhåller realtidsmodeller av ett antal vapensystem för flygstridssimulering som används vid träning av piloter i FLSC samt vid planering och utvärdering inom Försvarmakten. Genom att använda samma modeller i studier och utvärdering av vapensystem inom projektet *Vapensystemvärdering* kan kvalitén hos dessa förbättras genom att brister identifieras och åtgärdas.

### 4.3.4 Rapporter

Aktiviteter inom ramen för projektet dokumenteras i form av användarrapporter, tekniska rapporter eller vetenskapliga artiklar i syfte att bevara uppbyggd kompetens och förmåga.



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