



# Vapensystemvärdering 2013

Slutrapport

PETER STRÖMBÄCK



Peter Strömbäck

# Vapensystemvärdering 2013

Slutrapport

Titel	Vapensystemvärdering 2013 - Slutrapport
Title	Weapon system assessment 2013 - Final report
Rapportnr/Report no	FOI-R--3784--SE
Månad/Month	December
Utgivningsår/Year	2013
Antal sidor/Pages	20 p
ISSN	1650-1942
Kund/Customer	Försvarsmakten
Forskningsområde	11. Vapen, Skydd och säkerhet
FoT-område	Vapen och skydd
Projektnr/Project no	E36501
Godkänd av/Approved by	Lars Høstbeck
Ansvarig avdelning	Informations- och aerosystem

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

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

## Sammanfattning

I detta dokument redovisas den verksamhet som genomförts inom projektet Vapensystemvärdering under 2013.

Verksamheten har delats in i fem delar som alla bidrar till stötta Försvarmakten med vapensystemvärderingskompetens. Dessa delar är *omvärldsbevakning, värdering, värderingsmetoder, utveckling av modeller och verktyg samt kvalitetssäkring*.

Under 2013 har påbörjade aktiviteter med modeller och verktyg för värdering av styrda spinnstabiliserade och fenstabiliserade projektiler avslutats och aktiviteter för att förbättra förmågan att värdera luftvärnssystem påbörjats.

Nyckelord: Simuleringsbaserad vapensystemvärdering, luftvärn, metodik

## Summary

This document describes the activities within the project Weapon System Assessment (Vapensystemvärdering) for the year 2013.

The activities have been divided into five areas that are important for supporting the Swedish Armed Forces with competence to assess weapon systems. These areas are *covering research trends, assessments, methodology for weapon system assessment, development of models and tools, and quality assurance.*

During 2013, already started activities with development of models and tools for assessing spin and fin stabilized projectiles have been finalized, and improving the ability to assess ground based air defence initiated.

Keywords: Weapon system assessment, ground based air defence, methodology

# Innehållsförteckning

<b>1</b>	<b>Projektbeskrivning</b>	<b>7</b>
1.1	Mål och syfte.....	7
1.2	Fokus .....	7
1.3	Verksamhetsområden.....	7
<b>2</b>	<b>Nytta för Försvarsmakten</b>	<b>9</b>
2.1	Värderingsförmåga .....	9
2.2	Direktstöd till FMV indirekt eld .....	9
2.3	Kunskapsöverföring .....	9
<b>3</b>	<b>Sammanfattning av verksamheten 2013</b>	<b>10</b>
3.1	Omvärldsbevakning .....	10
3.2	Värdering .....	10
3.2.1	Bankorrigerande tändrör .....	10
3.2.2	Luftvärnsvärdering .....	11
3.3	Värderingsmetoder .....	11
3.3.1	Support Vector Machines .....	11
3.3.2	Bayesianska nätverk.....	12
3.4	Modeller och verktyg.....	12
3.4.1	Prestandamodell .....	12
3.4.2	5DOF-robotmodell .....	13
3.4.3	Banformning.....	13
3.4.4	Projectile Flight Simulation.....	14
3.4.5	Experiment modell av en ramjetmotor .....	15
3.4.6	Guided Munition Technology Evaluation Tool .....	16
3.5	Kvalitetssäkring.....	16
3.5.1	Verifiering och Validering .....	16
3.5.2	Kvalitetssäkring av skjutlappsprogram .....	17
<b>4</b>	<b>Referenser</b>	<b>18</b>
	<b>Bilaga A - Dokument</b>	<b>19</b>





# 1 Projektbeskrivning

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

Projektet *Vapensystemvärdering* är ett treårigt FoT<sup>1</sup>-projekt där 2013 är sista 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 utveckla och upprätthålla god förmåga att värdera vapensystem på systemnivå. Denna förmåga utgörs av kunnig personal samt 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 (till exempel 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 industrioberoende kompetens för värdering av vapensystem.

## 1.2 Fokus

Projektet har ett brett perspektiv med värderingsuppgifter som spänner över flera olika typer av vapensystem, var och ett med individuella frågeställningar. Ofta är dock den underliggande kunskapen och värderingsverktygen gemensamma.

Projektet har fokuserat verksamheten mot ett specifikt ämne varje år, för att bättre kunna ge ett tydligt och riktat stöd till Försvarsmakten. Dessa ämnen har varit

- Under 2011 låg projektets fokus på jaktrobotar
- Under 2012 låg projektets fokus på indirekt eld
- Under 2013 låg projektets fokus på luftvärnssystem.

Verksamheten som genomfördes under 2011 och 2012 finns redovisad i [1] och [2].

## 1.3 Verksamhetsområden

Under 2011-2013 har aktiviteter genomförts i ett antal parallella områden med specifikt fokus för varje år (enligt ovan). Dessa områden är

- Värderingmetodik

---

<sup>1</sup> Forskning och Teknikutveckling

- Modell- och verktygsutveckling
- Domänkunskap
- Robotkunskap
- Styrning, navigering och banplanering (eng. GNC<sup>2</sup>)

Styrning, navigering och banplanering är ett av de områden som FoT-projektet Vapensystemvärdering ska ha en mer djupgående forskning kring. Denna kompetens utnyttjas i en bredare robotkunskap där djupare kunskap kring sensorer och framdrivning hämtas från andra FoT-projekt. Robotkunskap och domänkunskap utnyttjas för att kunna genomföra modell- och verktygsutveckling. Dessa kompetensområden, modeller och verktyg används i sin tur tillsammans med strukturerad värderingmetodik för att ge Försvarmakten en bred systemvärderingsförmåga.

---

<sup>2</sup> Guidance Navigation and Control.

## 2 Nyttan för Försvarsmakten

Den nytta som projektet genererat under året har delats in i tre delar: värderingsförmåga, expertkunskap och kunskapsöverföring. Under 2013 har även ett visst direktstöd getts till FMV.

### 2.1 Värderingsförmåga

Nyttan för Försvarsmakten med en välutvecklad värderingsförmåga är som beskrivs ovan potentiellt mycket stor.

Under året har projektet förbättrat förmågan att värdera luftvärn genom att ta fram delmodeller för moderna luftvärnsrobotar. En modern luftvärnsrobot har studerats för att bredda värderingskompetensen och sprida kunskapen om systemet och dess styrkor och svagheter. Metoder för värdering av luftvärn har också studerats under 2013. I stycke 3.2.2 beskrivs detta arbete utförligare.

I samarbete med DRDC i Kanada och TNO i Holland<sup>3</sup> har ett verktyg för att värdera koncept av olika styrda vapen utvecklats. FOI har bidragit med ett antal delmodeller till detta verktyg. I stycke 3.4.6 beskrivs detta arbete utförligare.

### 2.2 Direktstöd till FMV indirekt eld

I samband med att förmågan att värdera styrda artillerigranater med fokus på bankorrigerande tändrör utvecklats, har visst stöd getts till FMV indirekt eld. Detta stöd har innefattat underlag för hur tester med bankorrigerande tändrör kan läggas upp och vilken typ av data som bör samlas in.

Projektet har också stöttat genom att formulera ett antal frågor till tillverkare av bankorrigerande tändrör för att bättre kunna belysa deras styrkor och svagheter. Underlaget för dessa frågor är något som har arbetets fram under föregående år i samband med studier av bankorrigerande tändrör.

### 2.3 Kunskapsöverföring

Kunskapsöverföringen från projektet till Försvarsmakten har främst skett genom att ett antal seminarier hållits under åren 2011-2013. Under 2013 hölls två seminarier, ett med fokus på indirekt eld och ett med fokus på luftvärn.

Möjlighet att samverka med Försvarsmakten under dessa seminarier möjliggör en ökad förståelse för behov hos Försvarsmakten samt bidrar till hur projektet inriktas framöver. Under 2012 och 2013 har ett ökat intresse för luftvärnsvärdering identifierats och lett till att projektet i större utsträckning inriktats mot detta.

En stor del av den generella kunskapen och värderingsförmågan dokumenteras i rapporter och vetenskapliga konferensbidrag där detta är möjligt.

---

<sup>3</sup> Detta samarbete har bedrivits under projektavtalet "Precision Weapons With Increased Stand-Off."

## 3 Sammanfattning av verksamheten 2013

I detta kapitel sammanfattas genomförd verksamhet för 2013 kortfattat.

### 3.1 Omvärldsbevakning

En översikt över dagens forskningstrender på styrda vapen har genomförts och rapporteras i [3]. Rapporten koncentrerades på styrning, banplanering, navigering och bildalstrande IR-målsökare.

En tydlig trend på systemnivå är införandet av styrförmåga till tidigare ostyrda vapen. Man kan konstatera att styrförmåga snart finns hos alla typer av vapen, och att de vapen som sedan tidigare har haft styrförmåga nu får ökad autonomitet (t.ex. "loitering munitions").

Miniaturisering av komponenter, möjlighet att mekaniskt, elektrisk och optiskt integrera olika funktioner samt förbättrad beräkningskapacitet är förmågor som möjliggör de nya styrda vapnen.

Den ökade förmågan till navigering genom bl.a. GPS och små, tåliga tröghetssensorer är en förutsättning för verkan med hög precision. Fler och oberoende satellitnavigeringssystem etableras och nya civila och militära signaler införs. Navigeringssystem baserade på atominterferometri är under utveckling och kan komma att få betydelse i svåra miljöer som navigering under vatten och där GPS är utstört.

Ytterligare ökad precision hos vapensystem fås med målsökare. En trend för IR-målsökare är att olika typer av sensorer kombineras för att få förbättrad allvädersförmåga och minskad störkänslighet. Nya material kan komma att få en betydelse för ökad sensor-känslighet och minskade kostnader.

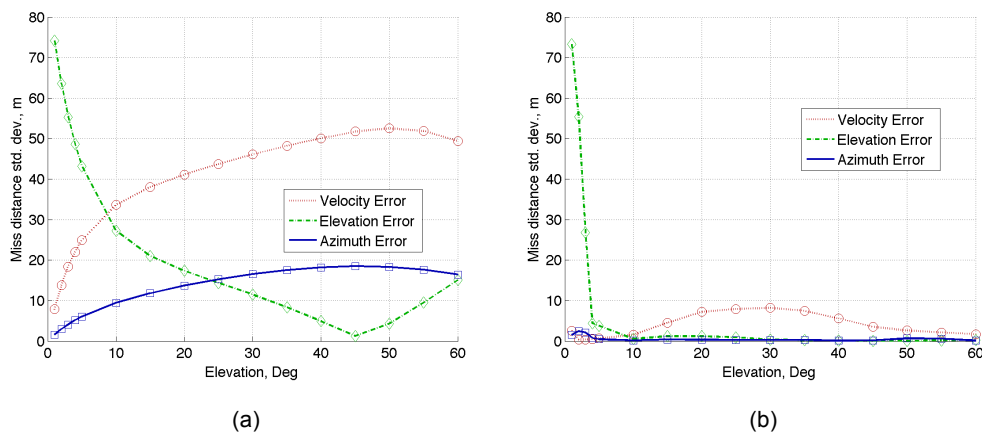
### 3.2 Värdering

Under året har värdering av två vapenslag genomförts, inverkan av bankorrigerande tändrör och värdering av luftvärn. Dessa värderingsaktiviteter ska inte ses som kompletta utan görs inom ramen för FoT-projektet i syfte att bygga en grund för vidare värderingsuppdrag. Det är nödvändigt att upprätthålla kompetensen för värdering samt i tid skapa och lära sig att använda modeller och verktyg för värdering. Inom dessa aktiviteter ingår också inläsning och kunskapsuppbyggnad för värderingsgruppen för de specifika vapenslagen.

#### 3.2.1 Bankorrigerande tändrör

Arbetet med att skapa förmågan att utvärdera bankorrigerande tändrör påbörjades under tidigare år och har under 2013 fortsatt med att redovisa resultat och modelleringsförmåga. Detta har lett till ett vetenskapligt bidrag som presenterades på AIAA GNC 2013 i Boston och återfinns i [4].

I detta bidrag påvisas förmågan att med bankorrigerande tändrör kunna kompensera för utskjutningsfel och nå en noggrannhet på några meter då ideala navigeringssensorer och meteorologiskt underlag antas. I figur 1 visas några av resultaten från undersökningen där man kan se en klar förbättring i precisionen hos granater utrustade med bankorrigerande tändrör. För det bankorrigerande tändrör som beskrivs i [4] visar figur 1b tydligt att för högre elevationer är den största felkällan utskjutningshastigheten och för låg elevation inverkar elevationsfelet så mycket att resultatet är jämförbart med den ostyrda granaten. Figuren illustrerar också tydligt hur den ostyrda granaten är olika känslig för olika typer av fel beroende på vilken elevation som granaten skjutits ut vid.



**Figur 1.** Spridning av (a) ostyrda och (b) styrda granater som funktion av elevationsvinkel där de tre kurvorna visa inverkan av fel i utskjutningshastighet, elevationsvinkel och sidvinkel. Varje datapunkt i graferna visa spridningen för 1000 simulerade granatskott.

### 3.2.2 Luftvärnsvärdering

Under 2013 har värdering av luftvärn varit fokusområde. Det identifierades tidigt att ett behov fanns att återta och bygga vidare på den värderingsförmåga som FOI har för värdering av luftvärn. Detta har gjorts främst genom att studera Aster 30-roboten som ett exempel på en modern luftvärnsrobot i syfte att bättre förstå systemets styrkor och svagheter samt identifiera ett antal frågeställningar som är av intresse att diskutera vidare med tillverkare och användare av systemet.

Som en del av att förbättra förmåga att värdera luftvärn har bayesianska nätverk studerats som en metod för värdera luftvärn. Detta beskrivs mer i stycke 3.3.2.

Arbetet med att värdera luftvärn beskrivs i rapporten [5] och ska bara ses som ett första steg i ett nödvändigt arbete att värdera luftvärn.

## 3.3 Värderingsmetoder

Under 2013 har två metoder utvärderats för att bedöma huruvida dessa är lämpliga för värdering av vapensystem. Dessa metoder är Support Vector Machines och Bayesianska nätverk.

### 3.3.1 Support Vector Machines

Support vector machines (SVM) är ett samlingsnamn för en typ av statistiska klassificeringsmetoder inom området maskininläring. I sin mest grundläggande form tränas en SVM till att särskilja data tillhörande två olika klasser, baserat på ett antal representativa faktorer i datat (eng. features). Träningss algoritmen strävar efter att separera de två klasserna med ett så brett mellanrum som möjligt, genom att definiera en gräns (ett hyperplan) som maximerar avståndet mellan hyperplanet och de närmaste datapunkterna i respektive klass. Datapunkterna representeras i detta fall av en vektor med värden på de olika faktorerna, en s.k. *feature vector*. Klassificeringen baseras sedan på vilken sida om detta hyperplan som en ny datapunkt faller.

Inom ramen för projektet Vapensystemvärdering analyseras användningen av SVMer som en alternativ representation till de skjutlappsunderlag som används för att värdera en robots räckvidd och förmåga att bekämpa mål. Den hypotes som låg till grund för arbetet var att SVMer skulle kunna utgöra ett mindre beräkningskrävande alternativ till att ta fram ett skjutlappsunderlag, samt att noggrannheten på underlaget iterativt kan förbättras vid behov genom att tillföra mer träningsdata.

Slutsatsen av arbetet var att SVMer inte är en lämplig metod för att generera eller lagra skjutlappsunderlag. En anledning är att det inte går att på ett enkelt sätt få fram en gräns för robotens räckvidd med hjälp av en SVM, eftersom det separerande hyperplan som används för klassificeringen beräknas implicit i algoritmen och inte kan återskapas matematiskt. En gräns kan givetvis återskapas med hjälp av en tränad SVM genom att klassificera ett stort antal skott, men man faller då snarare tillbaka i den traditionellt tabellbaserade metoden och utnyttjar därmed inte SVMens styrkor

### 3.3.2 Bayesianska nätverk

Ett bayesianskt nätverk består av noder som beskriver orsak och verkan med hjälp av sannolikhet. Det bayesianska nätverket baseras på Bayes sats (efter Thomas Bayes, 1701-1761) som beskriver hur betingade<sup>4</sup> sannolikheter matematiskt manipuleras utifrån icke-betingade sannolikheter. En effekt av detta är att en betingad sannolikhet kan uppdateras då ytterligare information finns tillgänglig.

Bayesianska nätverk har använts för att analysera försvarsproblem både i Sverige och i andra länder t.ex.

- Analys av säkerhet för militär personal (se [6])
- Analys av kostnad/nytta för skydd av militär personal (se [7])
- Sanering av skjutfält

Inom projektet Vapensystemvärdering har metoden undersökts för att analysera om och när denna metod är lämplig för att värdera luftvärn. I [8] beskrivs detta arbete och slutsatserna samt ett referat ges i rapporten [5].

## 3.4 Modeller och verktyg

Simuleringsmodeller och verktyg är ett stöd i ett tekniskt värderingsarbete. Från modeller kan prestanda bedömas och scenarion utvärderas. Både under modelleringsarbetet och analys av simuleringsresultat uppstår ofta frågeställningar som är relevanta att diskutera med användare av systemen och tillverkarna. I detta stycke redovisas de modeller och verktyg som har utvecklats inom Vapensystemvärdering under 2013.

### 3.4.1 Prestandamodell

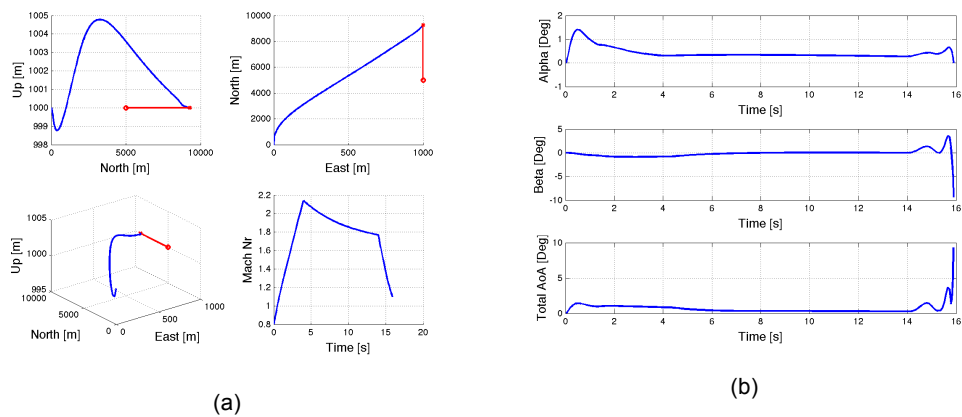
En prestandamodell för simulering av robotar har utvecklats och finns dokumenterad i [9]. Modellen har utvecklats i syfte att bättre förstå prestandan hos moderna robotar, samt att dokumentera antaganden och parametersättning av modellen. Robotmodellen är i sig generell och kan användas för prestandavärdering av en uppsättning robot-typer genom olika parametersättning.

Modellen finns implementerad dels som en Matlab-modell för att möta en bredare grupp av användare för tekniska simuleringar och studier samt som en C++-modell där MERLIN<sup>5</sup>-ramverket har använts. Syftet med C++-modellen är att kunna genomföra simuleringar i större skala och med högre exekveringshastighet.

Det är förhållandevis enkelt att generera aerodynamiska underlag med Missile Datcom och parametersätta robotmodellen för att få en grov uppfattning om robotens kinematiska prestanda. I figur 2 visas ett exempel på robotbana och orientering från en generell prestandamodell.

<sup>4</sup> En betingad sannolikhet är sannolikheten för att en händelse A inträffar givet att en händelse B redan har inträffat.

<sup>5</sup> MERLIN är ett C++-ramverk som används för att skapa robotmodeller med realtidsprestanda.

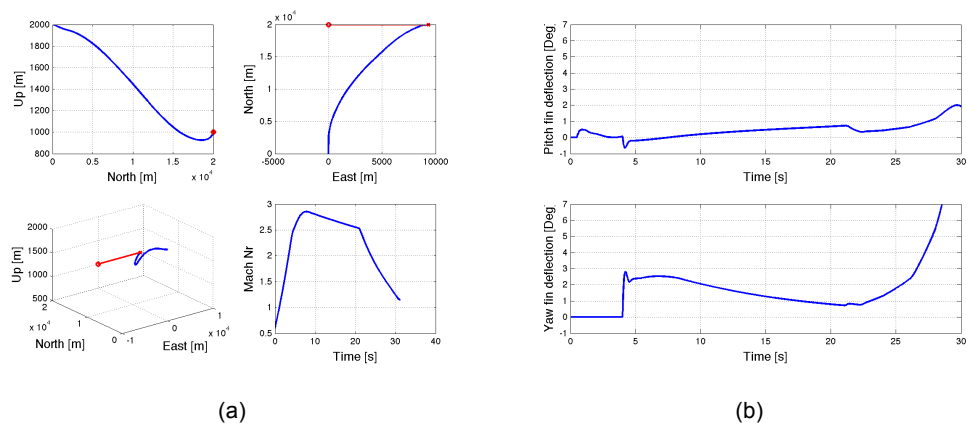


**Figur 2.** Exempel från en körning med prestandamodellen för en robot. I (a) visas robotens bana och maktal och i (b) dess orientering i förhållande till dess hastighetsvektor.

### 3.4.2 5DOF-robotmodell

I syfte att bibehålla och förbättra kompetens inom robotmodellering har en 5DOF<sup>6</sup>-modell i Matlab utvecklats. 5DOF-modellen kan komplettera ovan nämnda prestandamodell då mer detaljerade simuleringar behöver genomföras. Denna nivå av modellering bedöms som nödvändig för att kunna värdera träffsannolikheter och bekämpningssannolikheter.

Arbetet med 5DOF-modellen är i skrivandets stund inte slutfört och dokumentation och förbättrad kodstruktur är nödvändigt för att modellen ska bli lättare att utnyttja och underhålla. I figur 3 visas banan för en simulering med 5DOF-modellen och vinklar på roderutslag som ett exempel på information som modellen ger. (5DOF modellen är mycket lik en full 6DOF-modell så när som på att rollmomentet har ansetts försumbart. Denna förenkling ger en något enklare styrautomat.)



**Figur 3.** Exempel från en körning med 5DOF-modellen. I (a) visas robotens bana och maktal och i (b) roderutslagen hos roboten.

### 3.4.3 Banformning

Många vapensystem utnyttjar någon form av banformning för att uppnå sitt mål. Detta kan t.ex. innebära att roboten eller projektilen behöver planera sin bana så att maximal

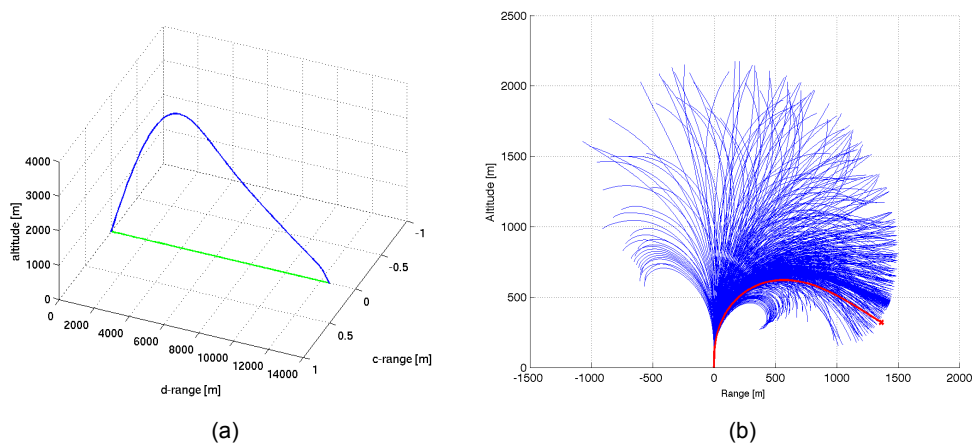
<sup>6</sup> Five Degrees of Freedom

räckvidd uppnås, att nedslag sker i en specifik vinkel eller att mål på låg höjd och kort avstånd kan bekämpas.

Två modeller för banformning har utvecklats i syfte att kunna stötta systemvärdering. En av modellerna är anpassad för artilleritillämpningar i syfte att värdera nästa generations precisionsstyrda granater och den andra utnyttjar optimeringsmetoder för att hitta en optimal bana för t.ex. luftvärn.

I figur 3a visas en artilleritillämpning med en 105mm artillerigranat där glidfasen skapats genom att hålla (nära) konstant dynamiskt tryck för att sedan avsluta med en PN-styrning in mot en angiven målpunkt. Detta arbete samt hur det integreras med GMTE (se stycke 3.4.6) redovisas i [10].

I figur 3b visas en luftvärnstillämpning där en vertikalstartande luftvärnsrobot ska fånga lågt flygande mål på korta avstånd. I denna metod har istället en optimeringsmetod används för att hitta en optimal bana givet vissa kriterier. I exemplet som visas i figur 3b har optimeringskriteriet varit att roboten efter en viss tid ska ha minimal höjd och totalt färdad sträcka samtidigt som hastighet och räckvidd i markplanet ska vara maximal. Optimeringsmetoden söker igenom ett antal möjliga banor (blå) som förkastas innan en slutlig optimal bana erhålls (röd).



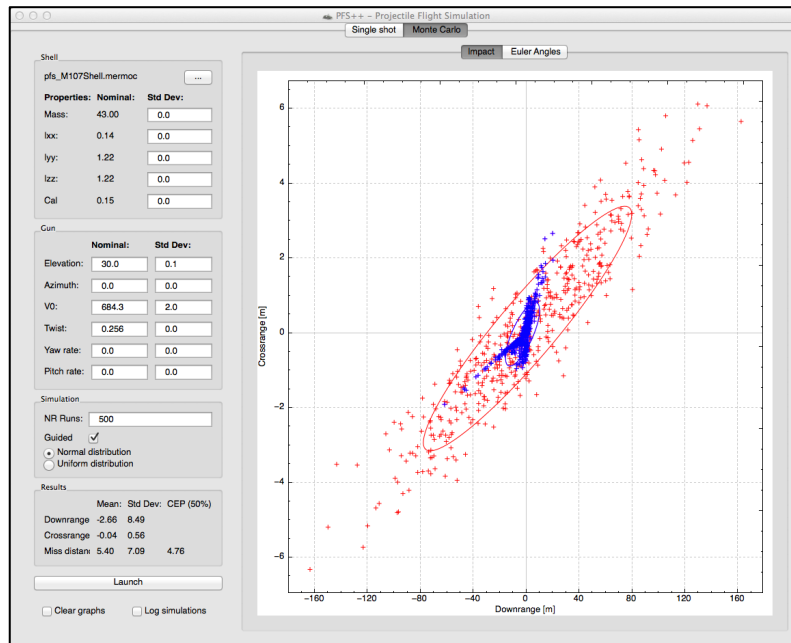
**Figur 4.** Exempel på resultat från olika banformningsalgoritmer. I (a) visas en artilleritillämpning där glidfas och (b) en luftvärnstillämpning.

### 3.4.4 Projectile Flight Simulation

Projectile Flight Simulation (PFS) är ett verktyg för att analysera spridning hos artillerigranater och effekten av att införa bankorrigerande tändrör. Verktöget innehåller en 6DOF-modell av en spinnande artillerigranat och är verifierad mot den NATO-kod som utvecklas inom STANREC 4618.

PFS finns både som en Matlab-version och en C++-version där den senare har använts för att kunna göra mängdsimuleringar med olika typer av felkällor. I figur 1 visas ett exempel från en simulering där spridning i nedslagspunkt med 500 ostyrda (röd) och 500 styrda (blå) artillerigranater (Ett generiskt 2D-bankorrigerande tändrör har använts för styrningen.)



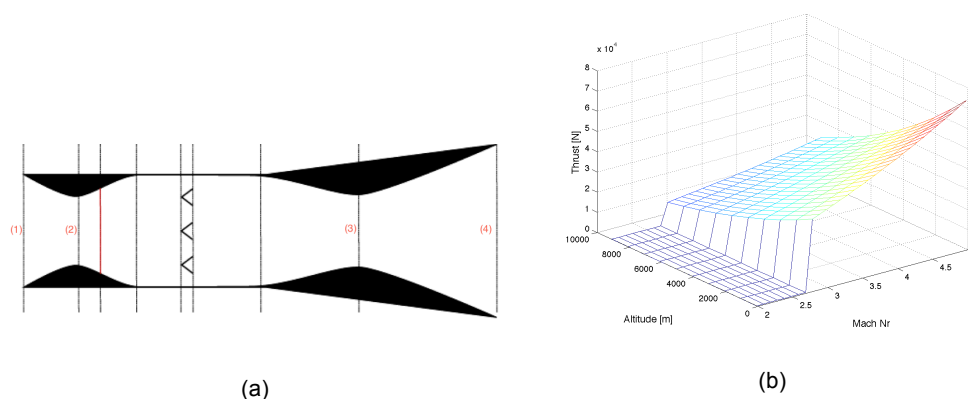


**Figur 5.** Användargränssnittet till PFS där spridning i nedslagspunkt för 500 skott med en ostyrd granat visas i rött och 500 skott där ett bankorrigerande tändrör korrigerar för fel i elevationsvinkel och utskjutningshastighet.

### 3.4.5 Experiment modell av en ramjetmotor

I ett antal moderna vapensystem sker framdrivning med ramjetmotorer. Under 2011-2012 har beräkningsmodeller av förbränningsförlopp i ramjetmotorer utvecklats och resultat presenterats på vetenskapliga konferenser. De modeller som användas är beräkningstunga och kräver flera veckors datortid för att få fram resultat. Fördelen är att resultaten blir noggranna, att komplexa effekter fångas upp samt att man kan belysa detaljerade förbränningsförlopp och därmed få ökad förståelse för de inre processerna.

Under 2013 har en första version till en enklare beräkningsmodell tagits fram för att grovt kunna bedöma prestandan hos ramjetmotorer. I systemvärderingsverktyg behöver exekveringshastigheten vara avsevärt mycket högre än i de detaljerade modellerna för att kunna variera parametrar och analysera inverkan av deras effekt på ett givet slutresultat (t.ex. räckvidder, precision etc.). I den framtagna systemmodellen av ramjetmotorer kan ett antal designparametrar justeras och dragkraft vid olika flygtillstånd snabbt beräknas. I figur 5a visas en illustration av en förenklad ramjetmotor med inloppet till vänster i bild, brännkammare i mitten och utloppet till höger. Geometrin i motorn, förhållanden mellan tvärsnittsareorna och entalpin hos bränslet kan förändras och olika modeller av motorer skapas. I figur 5b visas ett exempel på resultat där beräknad dragkraft för olika höjder och machtal för en given motorkonfiguration beräknats med modellen.



**Figur 6.** I (a) visas geometrin för den förenklade ramjetmotormodellen där olika tvärsnittsareor kan ändras och i (b) visas ett exempel på beräknad dragkraft som funktion av höjd och machtal för en given motorkonfiguration.

### 3.4.6 Guided Munition Technology Evaluation Tool

I samarbete med DRDC i Kanada och TNO i Holland har ett Matlab/Simulink-verktyg utvecklats för att kunna värdera styrd ammunition och hur olika teknologier inverkar på systemets prestanda. Huvudsyftet med verktyget är att kunna värdera olika vapenkoncept mot varandra. I designfasen av detta verktyg har två initiala målkonfigurationer använts, nästa generations fenstabiliserade kanonutskjutna artillerigranater och spinnstabiliserade granater med bankorrigerande tändrör.

Verktyget tillåter användaren att definierar en geometri av en granat, specificera vikt och volym av delkomponenter och utformning av eventuella stabiliserande fenor och styrroder. Aerodynamiska koefficienter och stabilitetskriterier för aktuell konfiguration beräknas med Missile Datcom. Då modellen av det styrda vapnet anses beskriva det önskade konceptet tillräckligt väl genomförs simuleringar. D.v.s. verktyget tillåter en fas för modellering av konceptet och en fas för simulering där prestanda beräknas.

Med verktyget följer en 6DOF-modell för spinnande och fenstabiliserade granater och 3DOF-modell för fenstabiliserade och styrda granater. Ett antal delmodeller har utvecklats till GMTE. T.ex. finns en GPS-modell, en basflödesmodell (eng. base-bleed), en modell för en krutbaserad raketmotor och en modell för en ramjetmotor med fast bränsle (eng. solid fuel ramjet). Styrning sker med PN eller med den banformningsalgoritm som beskrivs i 3.4.3.

## 3.5 Kvalitetssäkring

När man använder mjukvara och modeller som underlag för värdering är det viktigt att dessa håller hög kvalitet och att avgränsningar och antaganden är klart och tydligt belysta.

### 3.5.1 Verifiering och Validering

Under 2013 fortsatte det sedan tidigare påbörjade arbetet med att anpassa SISO<sup>7</sup>-standarden för verifiering och validering av mjukvara (GM-VV<sup>8</sup>) för robotmodeller. Underlag för verifiering och validering av en redan utvecklad IR-robotmodell har tagits fram. Syftet med detta arbete är att skapa en mall och ett exempel på hur verifiering och validering av robotmodeller kan genomföras samt vilka delkomponenter och modeller som bör ingå i verifieringen och valideringen.

<sup>7</sup> Simulation Interoperability Standards Organization

<sup>8</sup> Generic Methodology for Verification and Validation

Arbetet är i skrivandets stund inte slutfört men flera viktiga erfarenheter har gjorts, bland annat:

- Det är viktigt att krav och verifieringsmetoder dokumenteras kontinuerligt under tiden då modeller utvecklas. Att genomföra en verifiering och validering på en färdig modell med otydliga krav tar lång tid och blir inte kostnadseffektivt.
- Syftet med verifiering och validering är att en produktägare ska vara tillräckligt säker på att modellen eller verktyget är tillförlitlig och kan användas för det uppsatta målet.
- Att genomföra verifiering och validering är tidskrävande och den ökade tillförlitligheten hos modellen eller verktyget måste vägas mot effekten av att modell/verktyg är felaktig och vad detta leder till.
- Att tidigt bedöma hur viktiga nedbrutna krav är för acceptansmålet och prioritera de som mest påverkar acceptansmålet är ett bra sätt att begränsa tidsåtgången.
- Genom verifiering och validering uppvisas robotens prestanda och begränsningar på ett sätt som är svårt att identifiera vid normal användning av roboten, d.v.s. effekter som sällan inträffar kan belysas.

En del av arbetet med verifiering och validering presenterades tillsammans med Stockholms universitet i ett vetenskapligt konferensbidrag på Fall SIW 2014 (Simulation Interoperability Workshop). Detta bidrag återfinns i referens [11].

### 3.5.2 Kvalitetssäkring av skjutlappsprogram

På FOI används ett verktyg för att ta fram skjutgränser för realtidsrobotmodeller<sup>9</sup> som kallas CalZone.

Under 2013 har funktionalitet för att ta fram skjutgränser för luftvärnsrobotar lagts till, samt dokumentation i form av en rapport som detaljerat beskriver antaganden och algoritmer i skjutlappsprogrammet. Denna rapport återfinns i [12] och syftet med den är att belysa de förenklingar och antaganden som görs så att en korrekt analys av skjutgränser kan göras. Exempel på detta är hur en målmanöver ser ut och vilken signatur och storlek målet antas ha. Rapporten innehåller även en användningsbeskrivning med konfiguration av skjutfall och hur parallellisering på datorkluster görs.

---

<sup>9</sup> Med realtidsrobotmodeller menas robotmodeller som används i "mjuk"-realtid för att träna piloter i luftstrid samt utvärderingar inför och efter flyguppdrag.

## 4 Referenser

- [1] P. Strömbäck, *Vapensystemvärdering - sammanfattning av verksamheten 2011*. FOI-R--3305--SE. December 2011
- [2] P. Strömbäck, *Vapensystemvärdering - sammanfattning av verksamheten 2012*. FOI-R--3538--SE. December 2012
- [3] P. Brämning, F. Marsten Eklöf, F. Näsström, J. Robinson, P. Strömbäck. *Omvärldsbevakning: Forskningstrender för styrda vapen - Del 1*. FOI-R--3652--SE, Mars 2013.
- [4] J. W.C Robinson, P. Strömbäck. *Perturbation Based Guidance for a Generic 2D Course Correcting Fuze*. Proc. AIAA GNC 2013, AIAA paper 2013-5114. Augusti 2013.
- [5] P. Strömbäck, D. Wallström, M-B. Hansson. *Värdering av luftvärn - Metodik, modell och resultat*. FOI-RH--1403--SE. December 2013.
- [6] M. van der Voort, E. Verolme, W. van der Sluijs, R. J. Zambrano, J. Weeheim & M. van der Horst. *Analysis of the safety of military personnel using Bayesian belief networks (BBN)*. 33rd DoD explosives safety seminar (DDESB), 2008.
- [7] M. van der Voort, Y.S. Kohe, W. van der Sluijs, C. Smith, T. van Oosterhout & M. van der Horst. *Development of a cost-benefit analysis methodology from compound protection and survivability*. 5th European Survivability Workshop, Ålesund, Norway. 2010.
- [8] L. Dahlén, R. Johansson. *Bayesianska nätverk - Metodik för luftvärnsvärdering*. FOI-D rapport. FOI-D--0557--SE. December 2013.
- [9] P. Strömbäck. *Prestandamodell av Aster30 (v1.0)*. FOI-DH--0099--SE, September 2013.
- [10] J. W.C. Robinson. *Trajectory shaping guidance for the GMTE tool*. FOI-D--0522--SE, Augusti 2013.
- [11] C. Giannoulis, J. Snygg, P. Strömbäck, R. Hellmans, H. Heden, *Exercising GM-VV: Verification and Validation of a Missile Model*. Proc. Simulation Interoperability Workshop. 13F-SIW-05. September 2013.
- [12] H. Heden, N. Stensbäck. *CalZone 2.0 - Skjutlappsprogram för robotar*. FOI-D--0537--SE. November 2013.

## Bilaga A - Dokument

I denna bilaga listas de dokument som producerats och tryckts inom ramen för FoT-projektet Vapensystemvärdering.

### Utgivna rapporter

Nummer	Beskrivning
FOI-RH--0875--SE	Inventering av VMS med förstörande motmedelsåtgärder för markfordon. (Utgiven 2011, skapad tidigare)
FOI-R--3181--SE	Sammanfattning verksamhet 2007-2010
FOI-R--3179--SE	Metoder för UAV-spaning mot rörliga mål
FOI-R--3291--SE	Beskrivning av modell för guidance&control för kurskorrigering tändrör
FOI-R--3305--SE	Vapensystemvärdering. Sammanfattning av verksamheten under 2011
FOI-R--3409--SE	A Computational Study of a Dual-mode Ramjet Combustor with a Cavity Flameholder
FOI-R--3185--SE	A Generic Model of Aircraft Dynamics
FOI-RH--1197--SE	Metodik för vapensystemvärdering
FOI-R--2486--SE	Granskning och tryckning av MERLIN Software Architecture Document
FOI-R--3538--SE	Vapensystemvärdering sammanfattning av verksamheten 2012
FOI-R--3625--SE	MDA User Manual
FOI-R--3637--SE	Känslighetsanalys av robotmodeller
FOI-R--3652--SE	Omvärldsbevakning: Forskningstrender för styrda vapen - Del 1
FOI-R--3663--SE	A Computational study of Unsteady Gun Tube Flow
FOI-RH--1403--SE	Värdering av luftvärn - Metodik, modell och resultat

### Interna rapporter

Nummer	Beskrivning
FOI-DH--0069--SE	Värderingsmetoder för aktiva skyddssystem (Utgiven 2011, skapad tidigare)
FOI-D--0408--SE	Erfarenheter ifrån studier av styrda vapen
FOI-D--0425--SE	Survey of tools for conceptual design of flight vehicles
FOI-D--0475--SE	Comparison between AVAL and GVAM
FOI-D--0522--SE	Trajectory shaping guidance for the GMTE tool
FOI-D--0537--SE	Calzone 2.0 - Skjutlappsprogram för robotar
FOI-DH--0099--SE	Prestandamodell av Aster 30 (v1.0)

FOI-D--0577--SE	Bayesianska nätverk som metod för värdering av luftvärn.
FOI-D--0544--SE	Support vector machines inom vapensystemvärdering - Med fallstudie skjutlappsunderlag.

## Memo

Nummer	Beskrivning
FOI-Memo-H700	Systemvärdering av "Lätta Aktiva Skyddssystem". (Utgiven 2011, skapad tidigare)
FOI-Memo-3591	Lägesrapport Milstolpe 2011 Q2
FOI-Memo-3680	Seminarium LSS, Vapensystemvärdering
FOI-MEMO-H1146	Presentationsmaterial för IE seminarium
FOI-MEMO-H1156	Presentationsmaterial från LV seminarium
FOI-MEMO-4109	Verifiering och validering av robotmodeller
FOI-Memo-4260	Redovisning av seminarium (IE)
FOI-Memo-H1296	Redovisning av seminarium (IE)
FOI-Memo-H1308	Redovisning av seminarium (LV)
FOI-Memo-4546	Reserapport från AIAA Modeling and Simulation Technologies Conference

## Vetenskapliga bidrag

Nummer	Beskrivning
FOI-S--3881--SE	Combustion LES of CESAR Multi-Burner Annular Combustor.
FOI-S--3875--SE	A comparative study of flamelet and finite rate chemistry LES for an axisymmetric dump combustor
FOI-S--3874--SE	Modeling Supersonic Combustion.
FOI-S--3886--SE	A Computational Study of Supersonic Combustion Relevant to Air-breathing Engines.
FOI-S--4085--SE	Increasing Modularity of UAV Control Systems using Computer Game Behavior Trees
FOI-S--4048--SE	Nonlinear Dynamic Inversion and Block Backstepping: A Comparison
FOI-S--4385--SE	Perturbation Based Guidance for a Generic 2D Course Correcting Fuze. AIAA 2013 GNC
FOI-S--4398--SE	Exercising GM-VV: Verification and Validation of a Missile Model



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