



Värdering av vapenverkan och plattformars sårbarhet

Slutrapport för åren 2006-2007

MATS HARTMANN

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
Grindsjöns forskningscentrum
147 25 Tumba

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

www.foi.se

FOI-R--2398--SE Teknisk rapport
ISSN 1650-1942 December 2007

Försvars- och säkerhetssystem

Mats Hartmann

Värdering av vapenverkan och plattformars sårbarhet

Slutrapport för åren 2006-2007

Titel	Värdering av vapenverkan och plattformars sårbarhet – Slutrapport för åren 2006-2007
Title	Assessment of weapon effects and platform vulnerability – Final report for 2006-2007
Rapportnr/Report no	FOI-R--2398--SE
Rapporttyp Report Type	Teknisk rapport Technical report
Månad/Month	Dec/Dec
Utgivningsår/Year	2007
Antal sidor/Pages	51 p
ISSN	ISSN 1650-1942
Kund/Customer	Försvarmakten
Forskningsområde Programme area	5. Bekämpning och skydd 5. Strike and Protection
Delområde Subcategory	51 VVS med styrda vapen 51 Weapons and Protection
Projektnr/Project no	E20502
Godkänd av/Approved by	
FOI, Totalförsvarets Forskningsinstitut	FOI , Swedish Defence Research Agency
Avdelningen för Försvars- och säkerhetssystem	Defence & Security, Systems and Technology
Grindsjöns forskningscentrum	
147 25 Tumba	SE-147 25 Tumba

Innehållsförteckning

Sammanfattning	4
Summary	5
1 Inledning	7
1.1 Projektets frågeställningar – är de besvarade?	8
2 Kunskapsöverföring	10
3 Sammanfattning av olika genomförda verksamheter	11
3.1 Deltagande i haveriutredning Tp79 nr 001 (DC-3)	11
3.2 Initiering av lagrad ammunition	12
3.2.1 Indatabehov till AVAL	14
3.2.2 Experimentella resultat	14
3.2.3 Empiriska modeller	17
3.2.4 Initieringsmekanik	22
3.2.5 Numeriska simuleringar	24
3.2.6 IM ammunition	27
3.2.7 Metod för THA (Threat Hazard Assessment)	28
3.3 Brandmodellering i samband med verkansvärdering	29
3.4 Missionsanpassat skydd	31
3.5 Riskanalyser och människans sårbarhet	34
3.5.1 Människans sårbarhet för splitter	34
3.6 Mål- och vapenbeskrivningar	37
3.6.1 Målbeskrivningar	37
3.6.2 Vapenbeskrivningar	38
3.6.3 Underlag från äldre modeller	38
3.6.4 Utslagskriterier för komponenter	40
3.7 Direktstöd till Försvarsmakten och FMV	42
3.8 Sekundärsplitter	44
3.8.1 Holografisk mätteknik	44
3.8.2 Experiment	46
4 Värderingsverksamhetens framtid	48
Bilaga: Sammanställning över utgivna rapporter m.m.	50

Sammanfattning

Rapporten sammanfattar den verksamhet som bedrivits inom ramen för projektet "Värdering av vapenverkan och plattformars sårbarhet" under åren 2006 och 2007. Projektet syftade till att öka förmågan att genomföra värderingar av vapenverkan på främst plattformsnivå. Denna förmåga har ökats genom det underlag som tagits fram av projektets medarbetare och rapporterats under resans gång. Dock återstår ännu ett stort underlagsbehov.

Verksamheten har fokuserats mot att dels kunna ansätta data för oavsiktlig initiering av lagrad ammunition, dels mot att kunna mäta egenskaper hos sekundärsplitter samt mot att kunna genomföra riskanalyser. Utöver dessa områden har en mängd mindre insatser genomförts inom många olika områden, bl.a. "haveriutredningar".

Verksamheten har nyttiggjorts under projektets genomförandetid genom direktstöd till Försvarmakten och FMV. Dessutom har projektets kompetens använts i andra projekt där värdering av olika slag efterfrågats.

Behovet av värderingar av den typ som projektet arbetat med ser ut att öka kontinuerligt. Värderingar av olika slag är prioriterade av Försvarmakten och används dessa på rätt sätt kan de ge ett mycket kraftfullt bidrag till Försvarmaktens verksamhet.

Nyckelord:

vapenverkan, stridsdel, skydd, värdering, verkansvärdering, ammunition, initiering, IM, sekundärsplitter, holografi, risk, riskområde, riskanalys, plattform, människan, sårbarhet, brand

Summary

This report summarizes the activities performed within the project “Assessment of weapon effects and survivability of platforms” during 2006 and 2007. The project goal was to increase the ability to perform assessments of weapons effects on primarily a platform level. Thanks to the data which has been collected, produced and reported by the project members, this ability has indeed increased during these two years. Despite this, there is still a need for more data.

The activities of the project has been focused on how to model unintended initiation of stored munitions, how to measure properties of behind armour debris and on methods for risk analyses. The project has also been working within a number of other areas in addition to these focus areas, including accident investigations.

Several activities have been useful in direct support to the Armed Forces and the Defence Material Administration. The competence of the project participants have also been used in other research projects for different types of assessments.

The need of vulnerability, lethality and risk assessment seems to increase continuously. These kinds of assessment are highly prioritised by the Armed Forces and gives, if used wisely, a very powerful contribution to the capabilities of the Armed Forces’.

Keyword:

weapons effects, warhead, protection, assessment, lethality, vulnerability, munitions, initiation, IM, holography, risk, risk area, platform, human, fire, BAD, behind armour debris

1 Inledning

Projektet ”Värdering av vapenverkan och plattformars sårbarhet” har bedrivits under åren 2006 och 2007. Syftet med projektet har varit att öka den svenska förmågan att genomföra värderingar, både för att undersöka sårbarheten hos plattformar utsatta för en specifik hotmiljö och för att undersöka verkan av olika vapen- och ammunitionstyper i olika typer av mål. En för projektet primär målsättning har varit att skapa grundläggande förståelse för de olika verkansformer som kan kopplas till konventionella stridsdelar samt att, utgående från detta, utveckla, vidareutveckla och validera modeller för beskrivning av interaktionen mellan stridsdelar och plattformar/mål.

Namnet till trots har projektet inte haft avsikten att leverera data på hur effektiva olika vapen är i olika situationer eller hur sårbara olika plattformar är i vissa hotmiljöer. Projektet har istället syftat till att förbättra och utöka *möjligheten* att genomföra dessa värderingar. För att vara säkra på att det som tas fram kan användas har inom projektets ram ett antal avgränsade värderingar genomfört som direktstöd till Försvarmakten och FMV. Kompetensen har dessutom utnyttjats i andra angränsande projekt, där ”produktionsvärderingar” genomförts.

Att värdera vapenverkan i ett mål eller, den andra sidan av samma mynt, målets förmåga att överleva vapenverkan kräver mycket underlag. Först och främst måste vapnets/stridsdelens träffnoggrannhet tas med i beräkningarna (om man inte enbart är ute efter att hitta speciellt sårbara områden på målet). För att ange rätt träffbild måste vapnets och siktesutrustningens prestanda hanteras samtidigt med skyttens taktiska uppträdande i form av riktpunkt och eventuell salvlängd. Här måste man därför hantera information bestående av en kombination av tekniska data för vapnet och militärtaktiskt uppträdande. Därefter kommer en av de viktigaste frågorna, klarar stridsdelen att penetrera målet (eller träffas någon del av målet som inte är skyddad)? Stridsdelsdesign och penetrationsmekanik är ett helt egna forskningsområde som utgör en nödvändig bas för den typ av värderingar som det här projektet har arbetet med. Om stridsdelen lyckas penetrera målet, uppstår följdfrågan: vad har den för egenskaper på baksidan av skyddet och vad träffar den, kommer de träffade komponenterna eller personerna att klara skadan eller upphör de att fungera eller försätts ur stridbart skick? Grunden för svaren på dessa frågor spänner över flera områden, återigen penetrationsmekaniken, plattformdesign, komponenters stryktålighet och människans sårbarhet. Även dessa områden kan klassas som separata forskningsområden som var och ett behövs som stöd för att kunna genomföra värderingsverksamheter. Frågekedjan i en värdering avslutas med vilken inverkan de eventuellt utslagna komponenterna/personerna har på målets funktioner, t.ex. kan målet förflytta sig, kan det skjuta, är besättningen oskadd?

Hur dessa frågor hänger samman illustreras lättast med en amerikansk nivåindelning¹, se Tabell 1, där det framgår vilka frågor man måste beakta i värderingar med vapen- respektive målfokus. Projektets arbete har fokuserats mot, men inte helt begränsats till nivåerna ”Hot – Mål interaktion”, ”Skadade komponenter hos målet” och ”Målets funktionsstatus”.

¹ Paul H. Deitz, Michael W. Starks, The Generation, Use, and Misuse of “PKs” in Vulnerability/Lethality Analyses, Army Research Laboratory, ARL-TR-1640, March 1998

Tabell 1: Nivåer som ingår i olika typer av värderingar.

Fokus		Nivå		Måldetektion, -identifikation	Hot-, avfyrningsegenskaper	Hot – Mål interaktion	Skadade komponenter hos målet	Målets funktionsstatus	Målets användbarhet i strid
Vapenfokus (Threat/Lethality orientation)									
	Effektivitet (Effectiveness)		X	X	X	X	X	X	X
	Verkan (Lethality)			X	X	X	X	X	X
Målfokus (Platform/Survivability orientation)									
	Mottaglighet (Susceptibility)		X	X	X				
	Sårbarhet (Vulnerability)				X	X	X	X	
	Överlevnadsförmåga (Survivability)		X	X	X	X	X	X	X

Ett försök att hantera hela frågekedjan, från nivå lägsta till högsta genomfördes under projektets första år i ett delprojekt, kallat ”Missionsanpassat skydd”, vilket beskrivs nedan.

1.1 Projektets frågeställningar – är de besvarade?

Den projektbeskrivning som låg till grund för projektets verksamhet säger:

”En för projektet primär målsättning är att skapa grundläggande förståelse för de olika verkansformer som kan kopplas till konventionella stridsdelar samt att, utgående från detta, utveckla/vidareutveckla och validera modeller för beskrivning av interaktionen mellan stridsdelar och plattformar/mål. Inom denna grundläggande del kommer arbetet inriktas mot metoder för värdering/kvantifiering av restverkansreducerande åtgärder, som t.ex. nyttan av lågkänslig ammunition och skyddsliner.

Projektet kommer även att utnyttja den grundläggande förståelsen för verkansformerna för att kunna arbeta med värderingar av vapenverkan och plattformars sårbarhet samt metoder och datainsamling för detta. Dessa värderingar kan användas i olika sammanhang då verkans- och sårbarhetsunderlag efterfrågas, exempelvis inom FM studier och vid projektering/anskaffning av nya vapen- och plattformssystem. Ett särskilt växande användningsområde är studier och utredningar inför och stöd under internationella operationer, med dess snabbt föränderliga vapentekniska hotbilder.

Primära frågeställningar för projektet är:

- Hur sårbara är våra plattformar i en internationell hotmiljö?
- Hur kan man kvantifiera restverkansreducerande åtgärder?

Mer tillämpade frågeställningar är exempelvis:

- *Hur reagerar dagens medförda ammunition och så kallad lågkänslig ammunition på beskjutning och brand och hur påverkar dessa reaktioner besättningen i t.ex. ett stridsfordon?*
- *Hur mycket splitter kommer ut på baksidan av en skyddspanel efter genomskjutning och i vilken grad kan en skyddsliner minska mängden/hastigheten?*
- *Vilka utslagssannolikheter ska man ansätta på komponenter och personal med hänsyn till olika påkänningar som t.ex. penetration, tryck och värme?"*

Det framgår av projektbeskrivningen att projektet egentligen skulle behöva arbeta med allt som har med bekämpning av mål att göra, för att i ett andra steg kunna svara på frågan om hur sårbara plattformar är. Detta är naturligtvis inte möjligt varför arbetet har fokuserats till de områden som exemplifierats i listan med de mer tillämpade frågorna. Dessa frågor syftar givetvis i en förlängning till att ge delar av det underlag som krävs för att svara på de två primära frågorna.

Har då någon av de tillämpade frågorna besvarats? Tyvärr är de allt för komplexa för att svaret någonsin ska kunna bli ja, men projektet har kommit en bit på vägen mot ökad kunskap inom dessa områden. När det gäller beskjutning av ammunition har en stor mängd dokument, experimentella data och modeller sammanställts, egna experimentella försök har genomförts och numeriska simuleringar har påbörjats. De data som finns tillgängliga täcker dock inte alls den stora variationsmängd av ammunitionssorter som kan finnas lagrade i en plattform. Initieringsprocessen vid beskjutning är dessutom mycket komplicerad vilket försvårar utvecklingen av efterfrågade modeller.

Verksamheten med sekundärsplitter bakom skyddspaneler (splitter som härrör från skyddspanelen själv) har inriktats mot sammanställning av befintliga experimentella metoder. Man har också genomfört initiala tester med holografisk registrering av splitter i samarbete med KTH (Kungliga Tekniska högskolan). Dessutom har en enklare experimentell försöksserie genomförts för att studera inverkan av projektilens anslagsvinkel på sekundärsplitterbildningen. Verksamheten nedprioriterades under 2007 till förmån för att kunna ge mer direktstöd till FMV gällande bl.a. splitterstridsdelar.

Utslagskriterier för komponenter är fortfarande ett område som kräver stora satsningar. Projektet har skapat en struktur för en databas där utslagsdata kan sparas och uppdateras med spårbarhet, något som saknas idag. Vidare har projektet arbetat med kriterier för skador hos människan, främst att användas i riskanalyser. Här förefaller idag det bästa alternativet vara att nyttja gränser för splitters förmåga att penetrera huden.

Utöver ovanstående frågeställningar har projektet prioriterat att kunna ge FM och FMV direktstöd i sina arbeten. Dessutom har projektet satsat på att utöka antalet personer som klarar av att nyttja värderingsverktyget AVAL, något som efter personalavgångar inom FOI och FMV kommer är mycket viktigt. Det är även ett effektivt sätt att inom försvarsmyndigheterna sprida kunskap om verkansvärdering och tillgängliga värderingsverktyg, så att kunskap och metoder kan nyttjas inom så många olika områden som möjligt. Idag finns allt för många simuleringssmodeller som är bra då det gäller att beräkna var en stridsdel briserar eller träffar (utifrån avancerade sensormodeller och flygbanepaneringsmodeller). Men steget efter, huruvida man åstadkommer verkan och vad som blir konsekvenserna för målets förmåga att fullfölja striden analyseras allt för sällan på ett objektivet sätt.

2 Kunskapsöverföring

De flesta olika arbetsmoment som ingått i projektet har redovisats skriftligt i olika rapporter för att finnas kvar och vara sökbara under lång tid. Rapporttitlarna återfinns i en bilaga till denna rapport. Utöver detta har projektet samarbetat med främst FMV/Smartlab, som själva genomfört värderingar eller uppdragit åt andra att genomföra värderingar. Viss samverkan har även skett med Artilleriregementet. Detta samarbete har bestått i diskussioner om metoder för värderingar och fördelning av underlag/data. En annan del av kunskapsöverföring är de exempelsimuleringar och diskussioner om simuleringsmöjligheter som genomförts med bl.a. Luftstridsskolan och Fortifikationsverket.

En mycket viktig del i nyttiggörandet av projektets kunskaper är projektmedarbetares medverkan i andra projekt, där värderingar av olika slag ingår. Som exempel på sådana projekt kan nämnas verkans- och riskanalyser av GBU12, handgranatsstudier, Strix och röjning av OXA samt en pågående förstudie av sårbarhetsvärdering av camper.

Projektmedarbetare har även deltagit vid ett antal föredragningar och andra typer av möten med representanter från bl.a. FM, FMV, FortV och, inte minst, resterande FOI. Projektmedarbetare har även inbjudits till FHS och MHS för att hålla lektioner om verkans- och sårbarhetsvärdering. Även om detta skett inom ramen för andra projekt så var det detta projekts verksamhet som stod i fokus.

Det verktyg som används i Sverige för verkans- och sårbarhetsvärderingar är AVAL². Projektets medarbetare ingår i International AVAL user's group. Inom denna användargrupp delar användare med sig av erfarenheter och diskuterar behov av buggfix, nya förmågor mm.

Några av projektets medarbetare svarade för tre olika föredrag på 3rd European Survivability Workshop som hölls i Toulouse, Frankrike, maj 2006. Från den konferensen erhöles även en hel del intressant information om vad som pågår inom LOI-ländernas motsvarande verksamhet.

² Assessment of Vulnerability And Lethality, ett svensktutvecklat värderingsverktyg som från och med 2007 förvaltas och vidareutvecklas av FOI på uppdrag av Försvarsmakten.

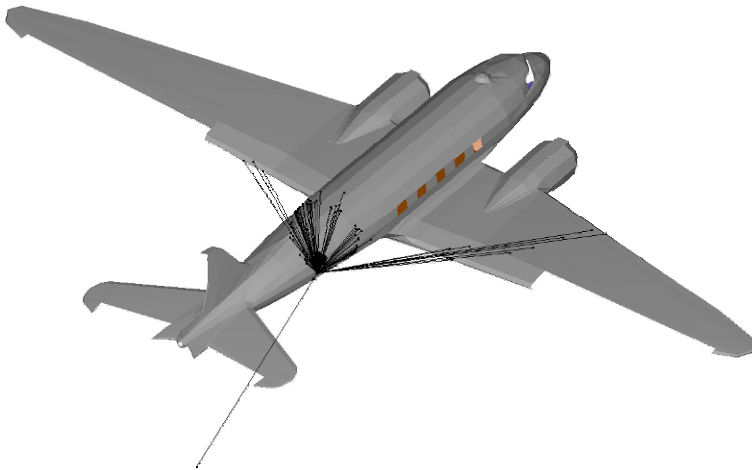
3 Sammanfattning av olika genomförda verksamheter

Nedan sammanfattas huvuddelen av den verksamhet som genomförts inom projektets ram under åren 2006 och 2007, utan någon speciell inbördes ordning.

3.1 Deltagande i haveriutredning Tp79 nr 001 (DC-3)

FOI deltog i haveriutredningen av den nedskjutna DC-3:an för att identifiera skador uppkomna av vapenverkan. Under detta arbete tillfrågades värderingsgruppen huruvida det skulle gå att "räkna baklänges" för att utifrån de identifierade skadorna kunna dra några slutsatser om angreppsriktning och antal angrepp. Då detta var ett delvis ett nytt sätt att använda befintliga verktyg ansågs det att det kunde vara en lämplig uppgift. Huvuddelen av arbetet genomfördes inom ramen för ett föregående projekt, men slutförandet föll inom ramen för detta projekt.

Arbetet visar att det går mycket bra att få en överensstämmelse mellan det faktiska skademönstret och det som fås vid simuleringar med AVAL. Arbetet rapporterades till Försvarsmakten och ingår även i den officiella haveriutredningens material. Arbetet presenterades vid 3rd European Survivability Workshop under våren 2006. Den metodkunskap som grundades i detta arbete har legat till grund för följande liknande arbetsisatser.



Figur 1: Exempel på simulering av en av granatträffarna på TP79 nr 001.

3.2 Initiering av lagrad ammunition

För att kunna genomföra stridsuppgifter krävs normalt att en mängd ammunition till egna vapen medförs i den vapenbärande plattformen samt att transportfordon levererar ersättningsammunition. I många stridsfordon befinner sig besättningen och ammunitionen i samma utrymme. I logistikledet är däremot personal och ammunition oftast separerade.

Ammunition som beskjuts eller på något sätt utsätts för påfrestningar som t.ex. uppvärmning kan initieras och reaktionerna kan variera i allvarlighetsgrad. Om reaktionen resulterar i att t.ex. en spränggranat i ett stridsfordon detonerar leder detta i allmänhet till stora skador på besättning och materiel. All personal och materiel inne i utrymmet utsätts då av en snabb tryckökning på grund av sprängämnesreaktionen samtidigt som, beroende på stridsdelstyp, granatens hölje fragmenteras och splittrarna kastas runt inne i vagnen. Värsta scenarion är att den initierade granaten i sin tur initierar omkringliggande ammunitionseffekter (massdetonation).

Inom projektet har problemet med att identifiera vid vilken penetrationsbelastning olika typer av ammunition initieras studerats med olika metoder; genom experimentella studier, analys av tillgängliga databaser, empiriska modeller och data presenterade av andra samt genom numeriska simuleringar av initieringsförloppet.

I Figur 2 nedan syns tydligt skillnad i fragmentering av en stridsdel då den initieras till detonation (vänster bild) respektive deflagration (höger bild). I båda fallen besköts stridsdelen med en RSV-laddning. Enligt vissa standarder för lågkänslig ammunition (IM eller Insensitive Munition) tillåts deflagration men inte detonation om stridsdelen beskjuts med RSV. När granaten detonerar fås många små splitter med hög hastighet och när den deflagrerar fås ett fåtal stora splitter med relativt låg hastighet. De genomförda experimenten utgör underlag för kommande numeriska simuleringar och för jämförelser med data angivna i olika empiriska modeller.

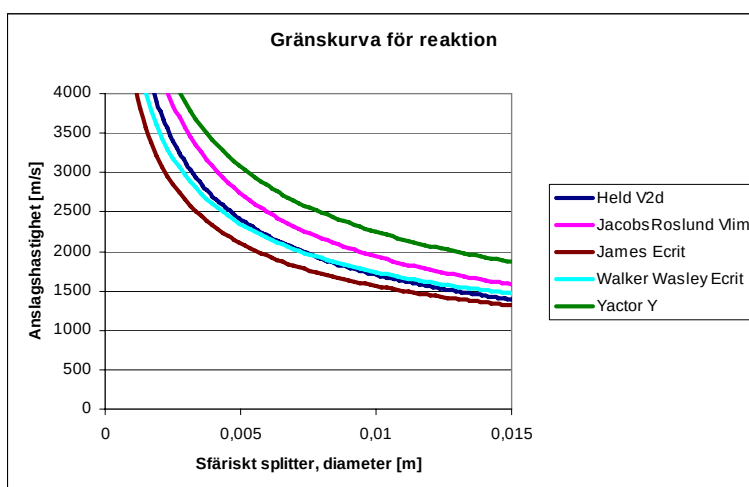


Figur 2: Exempel på splitterislag i vittnesplåtar då en granat beskjutits med RSV och reagerat. I skott 15, till vänster, detonerade granaten och i skott 16, till höger, deflagrerade den.

Ytterligare experiment skulle ha genomförts för att studera tryckverkan inne i ett slutet utrymme, med både detonerande och deflagrerande granater. Dessa försök har dock skjutits upp på grund av försenade materialleveranser. Ett antal försöksskott med finkaliberammunition istället för RSV har genomförts för att testa försöksupställningen med hänsyn till tryck och temperaturmätning.

Det finns ett flertal empiriska modeller som beskriver initiering av sprängämnen, dock kan det vara svårt att få fram de parametrar man behöver för studier av ett visst sprängämne. Att sprängämne i stridsdelar ofta är inneslutet i en granatkropp eller liknade försvårar också, då experimenten som ligger till grund för modellerna ofta är genomförda med nakna sprängämneskroppar.

Olika modeller ger ofta ganska olika resultat för ett och samma explosivämne. Ett exempel på detta visas i Figur 3, där resultat från verktyget TEMPER³ (se nedan), visar gränshastighet när sfäriska stålsplitter av olika storlekar initierar naken CompB. Man kan se att beroende på modell anger TEMPER initieringsgränshastigheten för en 5 mm kula till allt mellan 2000 m/s och 3000 m/s. Bara den typen av spridningar medför att det är nödvändigt att själv genomföra experiment och helst lyckas med numeriska simuleringar för att kunna testa en större mängd stridsdelar till ett lägre pris. Den mest spridda av modellerna som ingår i jämförelsen i Figur 3 är troligen Helds v^2d , som även används för initieringskriterier till detonation i värderingsverktyget AVAL.



Figur 3: Jämförelse mellan olika empiriska modeller och tillhörande empiriska parametrar.

Genom NATO:s MSIAC⁴, där Sverige ingår, har projektet även skaffat tillgång till två databaser med resultat från experimentella initieringsförsök;

- FRAID - FRAGment Impact Database och
- BIRD - Bullet Impact Results Database.

I dessa databaser finns en stor mängd resultat där olika sprängämnen har beskjutits med olika typer av projektiler. Tyvärr redovisas endast ett fåtal resultat från experiment med höljesomgivna laddningar, vilket är mest intressant vid studier av sårbarheten hos t.ex. stridsfordon.

Även modeller för initiering av krut och drivladdningar är efterfrågade. Dessa ämnen upptar ofta stor plats, till och med större än stridsdelarnas, och riskerar därför att träffas oftare. Dock antas konsekvenserna av krutbrand inte vara lika allvarliga som konsekvenserna av sprängämnesdetonation, varför fokus i projektet legat på sprängämnesinitiering.

Den dag då det finns bra sätt att bestämma eller bedöma känsligheten hos olika ammunitionssorter och hur känsligheten ändras med t.ex. ett byte av sprängämne samt att man kan bedöma konsekvenserna av både detonationer och deflagationer, då kan man

³ TEMPER (Toolbox of Engineering Models for the Prediction of Explosive Reactions) distribueras av Natos Munitions Safety Information Analysis Center

⁴ MSIAC står för Munitions Safety Information Analysis Center

tydligt peka på hur stor eller liten nyttan är av minskad ammunitions känslighet sett på plattformens överlevnadsförmåga. Här handlar det inte bara om stridsfordon och liknande (t.ex. fartyg) utan samma metoder bör då kunna användas även för transportfordon och ammunitionsförråd, där förpackningsmaterielen kan bidra till att göra ammunitionen mindre känslig.

3.2.1 Indatabehov till AVAL

Då AVAL är det huvudsakliga värderingsverktyg som används i Sverige för studier av vapenverkan på plattformsnivå pågår arbete för att hitta möjliga vägar för att ansätta data till ammunitionsinitieringsmodellen i AVAL.

I en AVAL-simulering är beräkningsgången följande vid studier av ammunitionsinitiering. Via ett v^2d -kriterium (Held), där v är projektilens hastighet och d dess effektiva diameter testas om ammunitionseffekten går till detonation. Om inte detonation inträffar kontrolleras om det blir en deflagration eller brand via två olika energikriterier baserade på den totala mängden avlämnad energi från projektilen till stridsdelen. Vidare anges även sannolikheten att stridsdelar initieras på grund av förhöjd omgivningstemperatur.

Om ansatta kriterier uppfylls, dvs. en reaktion uppstår, skapar den initierade stridsdelen tryck och eventuellt splitterutkast i plattformen. Hur splitterdata för en oavsiktligt initierad granat ser ut är normalt sett okänt, men beror bl.a. av reaktionstyp och träffpunkt. En detonation är en snabbare reaktion än en deflagration och ger därför en uppsplittring av ett granathölje i flera små splitter med hög hastighet. Vidare är tiden för reaktionen kortare vilket ger en snabbare tryckupbyggnad, men det är osäkert om tryckökningen efter en deflagration är mindre skadlig för personalen ombord.

Utöver detta, ska man ansätta sannolikheter för att reaktionen sprids till omkringliggande stridsdelar vilket i sin tur beror på reaktionstyp samt om det är sprängämne eller krut som reagerar.

Data till AVAL anges i tabeller med reaktionssannolikheter som funktion av påverkan. För att ansätta värden i dessa tabeller kan man utnyttja experimentella resultat, resultat från empiriska modeller eller numeriska simuleringar. De två senare metoderna är betydligt billigare, under förutsättning att man har tillräckliga data för att använda dem.

3.2.2 Experimentella resultat

Vid experimentella studier kan man få detaljerade kunskaper om hur en viss typ av ammunition reagerar då den utsätts för yttre påverkan. Experimentellt framtagna data används även som underlag för empiriska modeller och för att verifiera numeriska simuleringar. Experimenten kan antingen utföras med den aktuella ammunitionstypen eller med standardiserade experimenthylsor fyllda med det aktuella energetiska materialet. Används riktig ammunition fås direkt data som gäller för just den ammunitionstypen, med dess egenskaper beroende på tillverkningsmetoder och liknande. Experiment med experimenthylsor ger istället information om olika energetiska materials initieringskänslighet i förhållande till varandra. Lämpligen kombineras experiment av de båda typerna för att få både skarpa data samt underlag för att bedöma om initieringssannolikheten ökar eller minskar vid byte av energetiskt material.

I den öppna litteraturen finns en hel del experimentella resultat redovisade men i vissa fall redovisas endast om resultaten uppfyller krav för IM-klassning enligt någon av alla de standarder som används eller inte. Sådana resultat kan möjligen ge en känsla för vad som är rimligt, men man vet ingenting om hur ammunitionen reagerar på påverkan något över eller mycket över kravgränsen. Många av experimenten förefaller vara utförda för att undersöka ammunitionens egenskaper under transport och lagring snarare än färdig på plats i eller i närheten av vapnet som ska använda den.

NATO:s Munitions Safety Information Analysis Center (MSIAC), där Sverige är medlem, har publicerat två sammanställningar av experimentella resultat, tillgängliga endast för medlemmar i MSIAC. Dessa två sammanställningar kallas BIRD⁵ respektive FRAID⁵ och redovisas kort nedan. En stor fördel med dessa sammanställningar är att alla ursprungskällor redovisas. Dock är ingen av databaserna speciellt inriktad mot lågkänslig ammunition.

3.2.2.1 Bullet Impact Results Database (BIRD)

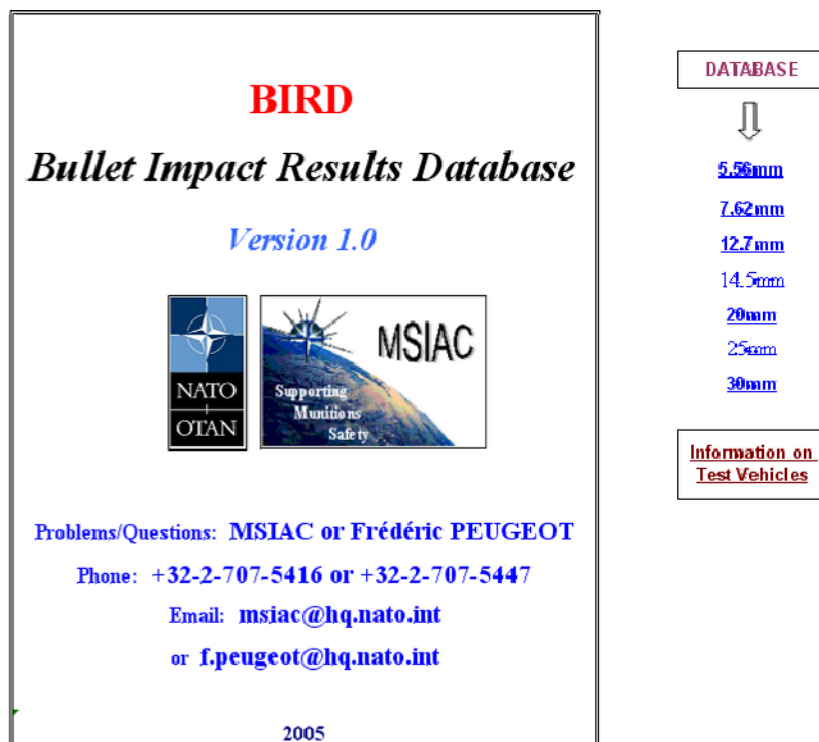
BIRD är en Excel-databas med en förstasida där man först väljer vilken kaliber hotet mot ammunitionen som man söker data över har, se Figur 4.

När man valt en kaliber fås en lista med alla refererade försök och resultat samt ursprungsreferensen. Mängden införda experimentella resultat framgår av Tabell 2. Detta utgör en sammanställning från 102 olika källor.

Tabell 2 Datamängd i BIRD v1.0

Kaliber	5.56 mm	7.62 mm	12.7 mm	14.5 mm	20 mm	25 mm	30 mm	Totalt
Antal experiment	21	1185	885	0	36	0	46	2161

⁵ MSIAC Secure website; <https://msiac.hq.nato.int/>



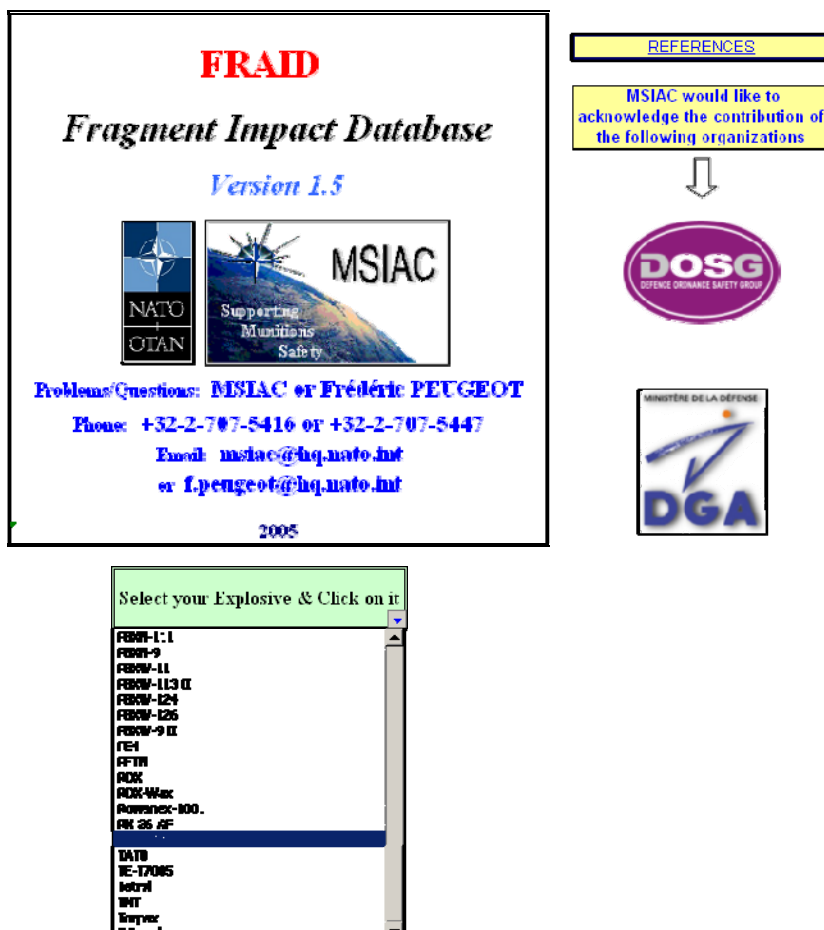
Figur 4: Förstasidan i BIRD.

3.2.2.2 Fragment Impact Database (FRAID)

Även FRAID utgörs av en Excel-databas. I detta fall väljer man det sprängämne man är intresserad av på förstasidan, alltså i någon mening i motsats till BIRD där stimuli väljs först.

När man valt ett sprängämne öppnas en ny arbetsbok med samlade data för det sprängämnet. Den nya arbetsboken är uppdelad i flikar beroende på hur sprängämnet var konfigurerat vid försöken, naket eller inneslutet med olika material eller kombinationer av olika material. I vissa fall finns även diagram som grafiskt sammanställer de experimentella resultaten. Bland resultaten finns även ett antal resultat från RSV-beskjutningar.

Datamängden i FRAID v1.5 är sammanställd från 99 källor och redovisar 1317 experiment mot mer än 66 olika energetiska material.



Figur 5: Förstasidan i FRAID.

3.2.3 Empiriska modeller

Med tanke på riskerna med ammunition lagrad i fordon och svårigheterna att beskriva och modellera initieringsförloppet i detalj är det inte förvånande att det har utvecklats ett flertal empiriska modeller för detta ändamål. Empiriska modeller är tilltalande i sin enkelhet men det är svårt att veta inom vilka områden de är tillämpbara utan att ha tillgång till bakgrundsinformation. Ett problem som de empiriska så väl som de numeriska modellerna lider av är bristen på indata. Ett fåtal modeller presenteras kortfattat nedan.

3.2.3.1 Jacobs-Roslund modellen

En av de första modellerna för initiering av explosivämnen efter träff av fragment är Jacobs-Roslund⁶ modell. Modellen redovisas i (1).

$$\begin{aligned}
 V_1 &= \frac{A}{d^\beta} (1 + B) \left(1 + C \frac{t}{d} \right) \text{ för } d > d_c \\
 V_2 &= \frac{E}{d^\alpha} \text{ för } d < d_c \\
 V_{\text{lim}} &= \max(V_1, V_2)
 \end{aligned} \tag{1}$$

⁶ F. Peugeot, Jacobs-Roslund Model, Note for the TEMPER User Group 21/06/2005

Där:

- V_{lim} gränshastigheten för detonation [mm/μs]
 d fragmentets kritiska dimension (diameter) [mm]
 β exponent som i den ursprungliga ekvationen är 0,5
 α exponent för att förbättra det ursprungliga uttrycket
 t målets höljestjocklek [mm]
 d_c explosivämnets kritiska dimension (diameter) [mm]
 A känslighetskoefficient för explosivämnet [mm^{3/2}/μs]
 B fragmentformskoefficient: $B = 0$ för cylinder med flat ända $B \approx 1$ för sfärer
 C täckmaterials-koefficient: trubbiga cylindrar och sfärer: $C_{sfär} \approx 1/3 C_{cylinder}$
 E känslighetskoefficient för explosivämnet

Ett antal koefficienter för olika sprängämnen redovisas i Tabell 3.

Tabell 3: Koefficienter till Jacobs-Roslund modellen.

Sprängämne	Densitet g/cm ³	A [mm ^{3/2} /μs]	B	C (stålmål)	
				Platt fragment	Sfär
Comp B	1,71	3,06	0,91	1,70	0,56
PBX-9404	1,83	2,10	0,81	1,91	0,63
PBX(AF)-108	1,57	3,55	0,96	1,60	0,53
PBXC-117	1,74	3,65	0,98	1,58	0,52
PBXN-103	1,84	5,70	1,34	1,16	0,38
PBXN-109	1,66	4,00	1,02	1,51	0,50
PBXW-109 I	1,66	4,95	1,18	1,31	0,43
PBXW-113 II	1,66	3,57	0,97	1,60	0,53
Tetryl	1,65	1,52	0,76	2,02	0,67
Comp B	1,71	0,96	0,5619	1,8034	-
PBX-9404	1,83	2,05	-	1,86 (tantalmål)	-
LX-14	1,83	3,60	-	1,59	-

En variant av samma modell inbegriper en $\cos\theta$ -term⁷ för anslagsvinkeln, se (2),

$$V_1 = \frac{A}{\sqrt{d \cos\theta}} (1 + B) \left(1 + C \frac{t}{d} \right). \quad (2)$$

3.2.3.2 Held

Manfred Held har i ett flertal artiklar^{8,9,10} beskrivit olika sätt att ange gränsvärden för initiering vid beskjutning. Dessa baseras på penetratorns diameter d och dess hastighet v eller dess penetrationshastighet u . Även sprängämnets och penetratorns densiteter ρ_T

⁷ David L. Dickinson, Leonard T. Wilson, The effect of impact orientation on the critical velocity needed to initiate a covered explosive charge, Int. J. Impact Engng, Vol 20, pp. 223-233, 1997

⁸ M Held, Initiierung von Sprengstoffen, ein vielschichtiges Problem der Detonationsphysik, Explosivstoffe 5, 2-17 (1968)

⁹ M. Held, Critical Area For The Initiation Of High Explosive Charges, Shock waves in condensed matter - 1983, chapter XII:7, pages 555-557

¹⁰ M. Held, Initiation Criteria of High Explosives at Different Projectile or Jet Densities, Propellant, Explosives, Pyrotechnics 21, 235-237 (1996)

respektive ρ_p påverkar gränsvärdet, genom att möjliggöra en omräkning av v till u och tvärt om.

I den första av dessa artiklar konstaterar Held⁸ att gränsvärdet för kombinationen av hastighet och diameter kan skrivas som (3). Samma ekvation utnyttjas även i Held⁹.

$$v^2 d = \text{konstant} \quad (3)$$

Efter fortsatta försök och vidareutveckling av modellen som nu tar hänsyn till penetrationshastigheten u i sprängämnet, inte bara penetratorns hastighet v föreslår Held¹⁰

$$u^2 d = \frac{v^2 d}{\left(1 + \sqrt{\frac{\rho_t}{\rho_p}}\right)^2} = I_{cr} \quad (4)$$

som initieringskriterium. Under försöken som ledde fram till (4) sköts lexan- och tungmetallpenetratorer mot sprängämnet och vid utvärderingen blev I_{cr} lika för de båda penetratorerna.

Några gränsvärden för olika explosivämnen presenteras i Tabell 4. Om man hittar stora variationer i Held-kriterier är det inte omöjligt att de två versionerna av modellerna förväxlats.

Tabell 4: Gränsvärden för initiering av explosivämnen.

Ämne	$v^2 d$ gränsvärde [mm ³ /μs]
60/40 RDX/TNT ¹¹	5,8
PBX 9502 ¹¹	127
PBX 9404 ¹¹	16
75/25 Cyclotol ¹¹	37
Composition B-3 ¹¹	29
Ämne	$u^2 d$ gränsvärde [mm ³ /μs]
Covered Composition B ¹⁰	23

3.2.3.3 Chick & Bussell

Chick och Bussell¹² föreslår två varianter av gränsvärden efter försök med RSV-beskjutningar mot sprängämnen. Den första varianten (5) beror endast av strålens penetrationshastighet u och dess diameter d medan den andra (6) även tar hänsyn till strålens densitet ρ och dess hastighet v .

$$u^2 d = \text{konstant} \quad (5)$$

$$v^2 d \sqrt{\rho} = \text{konstant} \quad (6)$$

¹¹ C.L. Mader, G.H. Pimbley, Jet initiation of Explosives, LA 8647, Los Alamos Scientific Laboratory, UC-45, February 1981

¹² M.C. Chick, T. Bussell, Initiation of munitions by shaped charge jets, Proceedings of 9th International symposium on Ballistics, May 1986, Shrivenham, UK

Precis som hos Held kopplas u till v via

$$u = \frac{v}{1 + \sqrt{\frac{\rho_t}{\rho_{jet}}}}. \quad (7)$$

3.2.3.4 Mader

I Helds¹⁰ artikel nämns även en modell av Mader, i samma stil som Helds egen och Chick & Bussells.

$$v^2 d\rho = \text{konstant}. \quad (8)$$

3.2.3.5 Rindner

En modell¹³ för att bestämma reaktionsgränsen hos granater utsatta för splitter presenteras nedan (den är ursprungligen beskriven av Rindner 1968). Här definieras kriteriet av den minsta splitterhastighet som initierar en detonation enligt ekv (9)

$$v_i = \sqrt{\frac{0,00864 k_s e^{\frac{64,5 t_p}{m^{1/3}}}}{m^{2/3} \left(1 + 39,6 \frac{t_p}{m^{1/3}} \right)}}, \quad (9)$$

där v_i är gränshastigheten, k_s en känslighetsparameter för sprängämnet, t_p perforationstjockleken och m splittrets massa. Det redovisas även kod (för Matlab med optimisation toolbox) för ett program som räknar på sannolikheter för detonationsöverföring från en granat till en annan. Programmet ska enligt rapporten använda en beräkningsmetodik, där (9) ingår. I indatadelen till programmet redovisas data enligt Tabell 5, dock följer inte beteckningarna dem som redovisas i (9) och det redovisas inte heller vilka enheter som avses.

Tabell 5: Data för några olika granater¹³

Granattyp	KF = Initieringskriterium	k2 = ej angivet
175 mm artillerigranat	8600000	0.0874887
155 mm artillerigranat	8600000	0.0874887
105 mm artillerigranat	8600000	0.133428
81 mm grk-granat	8600000	0.1998197

Programmet som beskrivs räknar på ammunitionsstackar och reaktionsspridning mellan granater och stackar. Det har en del som räknar splitterfördelningar och utkastningshastigheter, därefter beräknas sannolikheter att närliggande granater träffas och initieras.

¹³ K. Holm, S. Marinussen, E. Svinsås, Detonation transfer – Summary report, FFI project 803.03, FFI/RAPPORT-2003/00071

3.2.3.6 TEMPER

Toolbox of Engineering Methods for the Prediction of Explosive Reactions (TEMPER)¹⁴ är just som namnet antyder, en verktygslåda. Innehållet i verktygslådan består av ett användargränssnitt, se Figur 6, där man specificerar stimuli och sprängämne samt ett antal implementerade empiriska modeller. I vissa fall kan även skydd i form av ökat avstånd mellan RSV-laddning och sprängämne eller plåtar mellan hot och sprängämne hanteras. Modellerna hanterar initiering av sprängämne orsakat av penetrerande hot samt temperatur. TEMPER distribueras av NATO MSIAC till medlemsländerna (finns snart som öppen källkod).

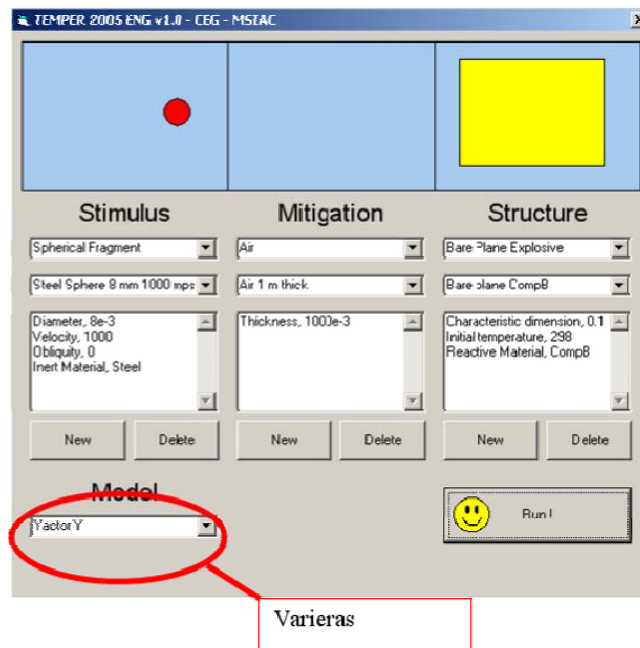
De modeller som idag finns implementerade i TEMPER är:

- Held v^2d
- Held u^2d
- Jacobs Roslund V_{lim}
- James E_{crit}
- Walker Wesley E_{crit}
- Yactor Y
- Creighton Victor Time CO

All indata i form av modellparametrar och materialdata anges i textfiler, vilket ger stora möjligheter att komplettera de data som finns, under förutsättning att man har empiriska data tillgängligt. Programmet har en inbyggd kontroll av om en viss modell kan användas för simulering av det fall man ställer upp eller inte. Dock ges ingen varning om empiriska data för det aktuella sprängämnet saknas. När källkoden blir tillgänglig ska det även vara möjligt att implementera flera modeller.

För att kontrollera hur mycket olika modeller skiljer sig åt har en jämförelsestudie genomförts med hjälp av TEMPER. I studien modellerades sfäriska stålkulor skjutna mot naken CompB. Anledningen till att just CompB valdes för jämförelsen är att det är det sprängämne med flest empiriska data till modellerna i TEMPER. Resultatet av denna studie pekar på stora skillnader mellan de olika modellerna och visades ovan i Figur 3. Det ska dock noteras att modellen testas med de angivna empiriska data som kan vara framtagna på olika varianter av sprängämnet.

¹⁴ MSIAC Secure website; <https://msiac.hq.nato.int/>



Figur 6: Användargränssnittet i TEMPER, under jämförelsen i Figur 3 varierades beräkningsmodellen.

3.2.4 Initieringsmekanik

Den sträcka som en stötvåg rör sig i ett energetiskt material innan den övergår i detonation (*eng.* run to detonation distance) är en parameter med vilken man kan bestämma olika sprängämnens stötvågskänslighet. Denna parameter ger en mer detaljerad bild av vilken nivå av stimuli som krävs för att nå en detonation, än de mer klassiska begreppen ”go” och ”no-go”. Man kan bl.a. använda detta till att studera hur sammansättning, explosivämnespartiklarnas storlek, densitet, typ av inneslutning och geometri påverkar stötvågskänsligheten hos ett sprängämne. Bussell och Lam har utvecklat en experimentell mätteknik och en utvärderingsmetodik baserat på run-to-detonation-distance (RTDD).

RTDD i ett sprängämne kan beräknas om man vet avståndet mellan ”onset of detonation” och den propagerande stötvågen¹⁵. För t.ex. initiering med RSV-stråle mäter man strålens ankomsttid till sprängämnets yta och beräknar den efterföljande inträngningen av strålen i mottagarladdningen m.h.a. klassisk ”jet penetration”-teori. Med hjälp av information om hur fort strålen passerar mottagarladdningen kan man beräkna RTDD¹⁶. Denna metodik kan också användas för andra typer av stimuli, förutsatt att man har tillgång till lämpliga ekvationer för stötvågsinitiering.

Bussell och Lam visar att med denna metodik man kan räkna ut hur fort RSV-strålen måste färdas för att innesluten respektive naken Comp B ska gå till detonation. Deras resultat visar också att vid strålhastigheter över ett visst kritiskt värde har inneslutningen ingen betydelse för resultatet längre.

¹⁵ Ramsay J. B. et al “Analysis of Shock wave and Initiation Data for Solid Explosives”, 4th Int Symp on Detonation, 1965, p. 233.

¹⁶ Bussell T. et al. ”An instrumentation system for the rapid measurement of run to detonation distances”, DSTO Technical Report, DSTO-TR-0129, 1994.

En sammanställning av möjliga mekanismer för initiering av sprängämnen med RSV har presenterats av Chick och Bussell¹⁷. Den sammanställningen återfinns (i originalspråk) även i Tabell 6.

Tabell 6: Beskrivning av initieringsmekanismer¹⁷

Mechanism	Regime and Predictive Criteria
1. Jet impact on bare explosive	1. Detonation threshold determined by M. Held's $v_j^2 d = k_1$ predictive equation 2. Occurs promptly close to explosive surface or not at all. 3. Does not apply to jets with diameters small with respect to receptor explosive's minimum diameter for detonation, where jet penetration bow wave initiation occurs (see 4 below)
2. Jet impact shock on cover	1. Only for covers less than a few jet diameters thick. 2. Requires increasing critical jet velocity with cover thickness above that predicted by $v_j^2 d = k_1$ (see 1 above).
3. Jet bow wave in cover transmitted into explosive	1. Applies to thin covers. 2. Appears to require the formation of a bow wave shock in cover. 3. Hindered by ramp wave formation in cover which is desensitizing. 4. Does not determine detonation threshold limit.
4. Jet penetration of explosive	1. Considered to be a major mechanism. Initiation by the jet penetration bow wave shock. 2. Occurs over a wide range of cover thicknesses and materials. 3. Within certain jet diameter limits detonation threshold predicted by $v_j^2 d = k_2$ or $v_j^2 d = k_3$. Constants are much different from k_1 in mechanism 1 listed above. 4. Also applies to bare explosives where jet diameter small with respect to receptor explosive's minimum detonation diameter. 5. Predictive criterion for small diameter jets appears to require an exponent for the velocity term greater than 2.
5. Jet penetration bow waves reflected back into explosive filling	1. Observed near critical jet initiation velocity for receptor charges of limited geometry. 2. Requires confining rear surface; may be applicable to small confined rounds. 3. Special case of mechanism 4.
6. Subsonic jet penetration of explosives	1. Applicable to larger diameter jets. 2. Appears to be associated with a very long run to detonation. 3. Limits the use of $v_j^2 d = k_1$ (see 4 above) for predicting detonation threshold. 4. No predictive criterion available for detonation threshold.

¹⁷ M. Chick, T. J. Bussell, Jet initiation mechanisms and sensitiveness of covered explosives, Proceedings of Ninth Symposium (International) on Detonation, Portland, Oregon, USA, 1989

7. Separate impacts from particulated jet penetration of explosive	1. May require well separated jet particles. 2. Does not appear to have been studied.
--	--

3.2.5 Numeriska simuleringar

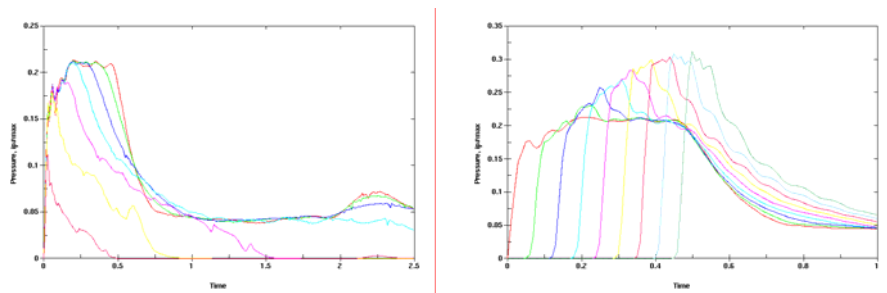
Ett inledande förenklat beräkningsfall, RSV-stråle från en RSV FFV 45 mot slsgr m/90, har studerats med hjälp av LS-Dyna2D (som utgör en del av LS-Dyna3D). Fragmentet representeras av en stålcyllinder med diametern 6 mm och höjden 5 mm. Ett fragment i en RSV-stråle från aktuell stridsdel har normalt en mindre diameter men valet är gjort för att förenkla beräkningsgången i dessa första simuleringar. Projektilen antas träffa granatens bakre ändyta axialsymmetriskt. Granatens hölje utelämnas vidare och sprängämneskroppens volym begränsas till en cylinder med diametern 25 mm och höjden 20 mm svarande mot den bakre delen av en slsgr m/90.

I simuleringarna utgörs sprängämnet av hexotol (LLNL compB). Materialparametrarna i den använda *Ignition & Growth* modellen (Lee och Tarver) är hämtade från öppen litteratur¹⁸.

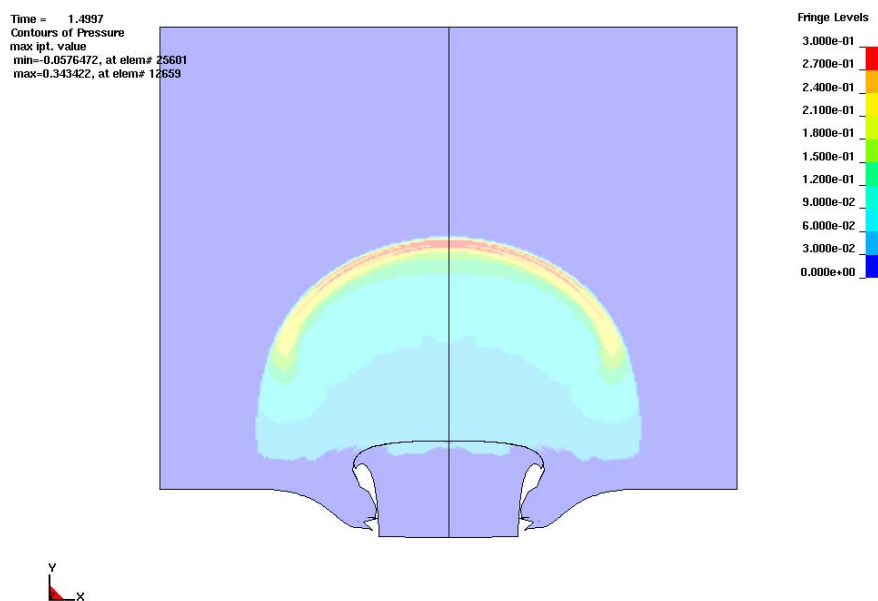
Initieringsproblematiken studeras för tre olika projektilhastigheter: 1000, 1500 och 2000 m/s. Resultaten av simuleringarna redovisas i en serie figurer där Figur 7 och Figur 8 hänför sig till projektilhastigheten 2000 m/s, Figur 9 och Figur 10 till 1000 m/s och Figur 11 till 1500 m/s.

Figur 7 vänster respektive Figur 9 vänster visar tryckfördelning i sprängämnet över tiden längs kontaktytan med projektilen. Klarröd kurva svarar mot beräkningsselementet närmast symmetriaxeln, övriga kurvor trycket i element på växande avstånd från symmetriaxeln ut till ett avstånd motsvarande projektilens mantelyta. Figur 7 höger respektive Figur 9 höger visar tryckfördelning i sprängämnet över tiden längs symmetriaxeln. Klarröd kurva svarar mot beräkningsselementet närmast kontaktytan med projektilen, övriga kurvor trycket i element på ekvidistanta avstånd allt djupare in i sprängämnet. Kurvan längst till höger ger trycket i ett element 3.2 mm in i sprängämnet räknat från kontaktytan mellan sprängämne och projektil. Kurvskaran i Figur 7 höger visar på allt högre maximala tryck ju längre in i sprängämnet stötfronten utbreder sig. Detta förhållande gäller fram till en viss punkt varefter det maximala trycket förblir konstant innebärande att stötfronten övergått i en detonationsfront med CJ-trycket (Chapman-Jouget trycket är detonationstrycket) 29.5 Gpa. Kurvskaran i Figur 9 höger uppvisar till en början samma tendens som i Figur 7 höger med stigande maximala tryck för element allt djupare in i sprängämnet. Detta gäller fram till ett visst beräkningsselement 2.0 mm in i sprängämnet med ett maximalt tryck om 8 GPa. I detta fall avtar emellertid sedan de maximala trycken successivt innebärande att CJ-villkoret inte uppnås och därmed att ingen detonation initieras.

¹⁸ Murphy, M. J., Lee, E. L., Weston, A. M. and Williams, A. E., 'Modeling Shock Initiation in Composition B'. Tenth International Detonation Symposium, Office of the Chief of Naval Research OCNR 33395-12, Boston, MA, 1993, p. 963



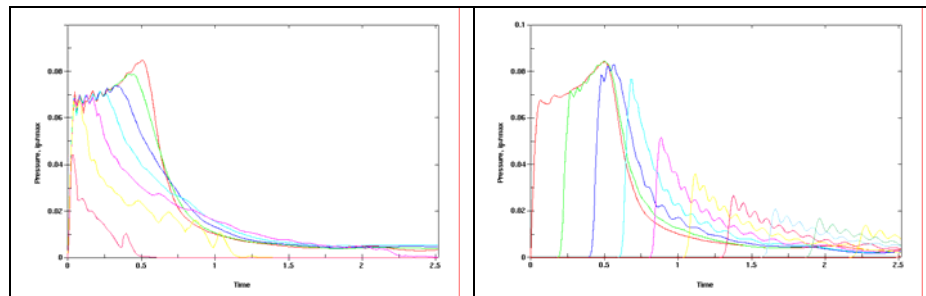
Figur 7: Projektilhastighet 2000 m/s. vänster) Tryckfördelning i sprängämnet över tiden längs kontaktytan med projektilen. höger) Tryckfördelning i sprängämnet längs symmetriaxeln. Tryckenhet i figurerna är 1 Mbar



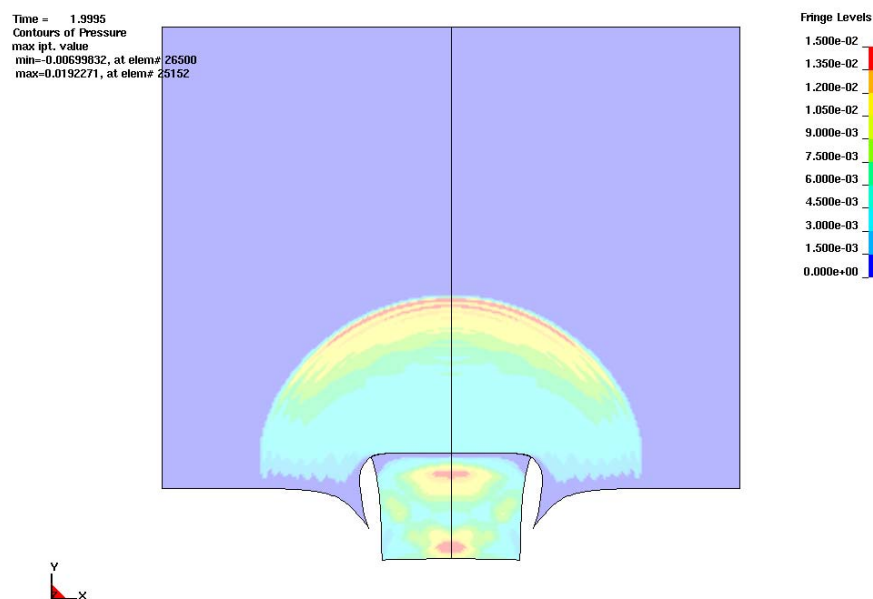
Figur 8: Projektilhastighet 2000 m/s. Tryckfördelning i sprängämnet vid tidpunkten 1.5 mikrosekunder. Tryckenhet i figurerna är 1 Mbar

Tryckfördelning över sprängämnet vid vissa givna tidpunkter exemplifieras med följande figurer:

- Figur 8, 1.5 mikrosekunder efter initiering
- Figur 10, 2.0 mikrosekunder efter initiering
- Figur 11 vänster, 1.5 mikrosekunder efter initiering
- Figur 11 höger, 2.0 mikrosekunder efter initiering



Figur 9: Projektilhastighet 1000 m/s. vänster) Tryckfördelning i sprängämnet över tiden längs kontaktytan med projektilen. höger) Tryckfördelning i sprängämnet längs symmetriaxeln. Tryckenhet i figurerna är 1 Mbar.

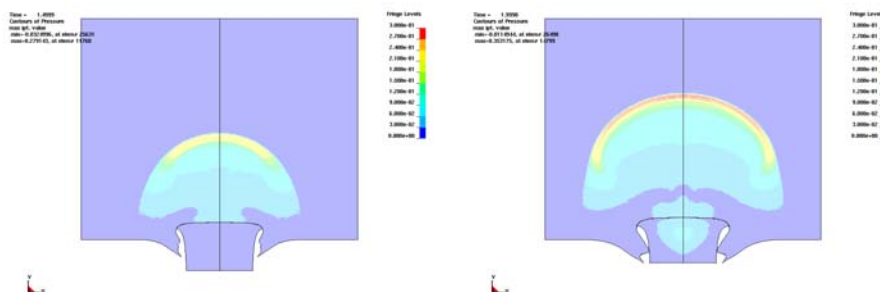


Figur 10: Projektilhastighet 1000 m/s. Tryckfördelning i sprängämnet vid tidpunkten 2.0 mikrosekunder. Tryckenhet i figurerna är 1 Mbar.

I Figur 8 har detonationsfronten nått 10.9 mm in i sprängämnet. Det maximala trycket anges till 34.3 GPa vilket är några procent högre än det riktiga värdet på det von Neumann tryck som råder i framkanten av den reaktionszon som är kopplad till detonationsfronten. Felet får tillskrivas numerisk onoggrannhet. Som konstaterats ovan detonerar inte sprängämnet vid projektilhastigheten 1000 m/s och figur 2c belyser detta ytterligare. Stötfronten har nått 8.2 mm in i sprängämnet med det maximala trycket 1.9 GPa gällande för hela beräkningsdomänen. Beräkningsfallet med projektilhastigheten 1500 m/s exemplifieras med Figur 11. I Figur 11 vänster har fronten nått 9.5 mm in i sprängämnet. Trycket i reaktionszonen är lägre än von Neumann trycket och därmed har en detonation ännu inte startat. Figur 11 höger representerar en tidpunkt en halv mikrosekund senare. Det maximala trycket är i detta läge 35.3 GPa och indikerar detonation. (Återigen överstiger trycket beräknat von Neumann tryck med några procent.)

Detonation erhålls således för fallen med projektilhastigheterna 1500 m/s och 2000 m/s däremot inte för 1000 m/s. Att observera är att medan den inerta stötfronten övergår i en detonation redan efter 3 mm vid projektilhastigheten 2000 m/s är motsvarande läge vid 1500 m/s 10 mm. Detta innebär att det finns en lägsta projektilhastighet (uppenbarligen i intervallet 1000 – 1500 m/s) för att *hinna* initiera sprängämnet till detonation inom de i

detta fall till buds stående 20 millimetrarna. Är syftet med simuleringen att uppskatta risken för och konsekvenserna av oönskad initiering måste således (den primära) stötfrenten följas genom hela sprängämneskroppen. Gäller det att bedöma funktionssäkerhet skall naturligtvis initiering ske inom en relativt kort tillryggalagd sträcka av stötfrenten för att så stor del som möjligt av sprängämnet skall nyttiggöras.



Figur 11: Projektilhastighet 1500 m/s. Tryckfördelning i sprängämnet vid tidpunkten vänster) 1.5 mikrosekunder och höger) 2.0 mikrosekunder.

En ny beräkningsstudie har påbörjats där stålcyklinders diameter valts till 3 mm, vilket bättre motsvarar faktiska fragment i den aktuella tillämpningen. Jämfört med det ovan redovisade beräkningsfallet kommer emellertid (adaptiva) omzoningar av beräkningsnätet och successiva eliminerings av delar av beräkningsdomänen att vara nödvändiga med den här använda Lagrange-tekniken. Detta förhållande gör det svårare att erhålla tillförlitliga resultat.

3.2.6 IM ammunition

Drivkraften vid dagens utveckling av vapensystem inkluderar det ökade kravet på både förbättrad prestanda för att bekämpa nya framtida mål samt minskad känslighet hos vapensystemet mot oplanerad, oavsiktlig stimuli. Vid design av IM-ammunition (Insensitive Munition) använder man sig ofta av olika möjligheter att minska graden av reaktion:

- Val av energetiskt material.
- Utformning av ammunitionens hölje.
- Utformning av emballage.

Det finns några öppna redovisningar av försöksserier som gjorts med nyutvecklad IM-ammunition. I de flesta fall har inte ammunitionen klarat alla de IM-krav som ställs för att uppnå IM-klassning, däremot har man avsevärt kunnat förbättra responsen hos ammunitionen vid olika stimuli såsom FCO (fast cook off), SCO (slow cook off), BI (bullet impact), SCJ (shaped charge jet impact), SD (sympathetic detonation) och FI (fragment impact). Inför klassning av ny ammunition görs först en THA (threat hazard analysis) för att fastställa vilka primära hot som finns mot ammunitionen, detta för att minimera antalet dyrbara test.

Ett problem med dessa redovisningar är att i många fall anges endast om kraven uppfylls eller inte. Det finns oftast ingen information om vid vilken belastning, varken över eller under gällande gränsvärden, ammunitionen reagerar. Den typen av information är mycket viktigt för att kunna genomföra värderingar där ammunitionen utsätts andra belastningar än just de som testats.

3.2.7 Metod för THA (Threat Hazard Assessment)

THA är en process där de olika utvecklingsfaserna av ammunition, från idé till demilitarisering, beaktas. På en av NIMIC workshops¹⁹ antog man följande definition rörande THA på ammunition;

Med THA görs en bedömning av de hot som finns mot en ammunition under dess livscykel. Baserat på varje individuellt hot görs därefter en bedömning av troliga risker från ammunitionen och dess konsekvenser för omgivningen. Dess specifika mål är att:

- *Identifiera och karaktärisera varje hot som kan påverka en ammunition vid någon punkt av dess livscykel.*
- *Identifiera varje risk som blir följd av varje hot.*

En sammanfattning av olika THA metoder finns i ett dokument utgivet av NIMIC²⁰. I dokumentet har man valt att visa metodiken för en THA baserad på kvantitativ riskanalys. Här refereras till olika artiklar man kan använda sig av för att bygga sitt eget arbetsblad eller egna metodik vid upprättandet av en THA. En THA används även för att få en rekommendation om lämpliga specifika provningsförhållanden.

I en senare rapport utgiven av MSIAC²¹ presenteras en mjukvara (SAS, Safety Assessment Software) som tagits fram och vars främsta syfte är att fungera som stöd vid framtagande av vilka testbehov som finns för att utföra en omfattande säkerhetsbedömning på en ammunition före den tas i bruk. SAS Beta 1.1 testas nu och är tillgänglig för medlemmar i MSIAC. Genom att i SAS göra en livscykelanalys på aktuell ammunition, där man specificerar de hot och risker som föreligger vid exempelvis lagring, transport och användning, får man fram förslag på vilka provningsmetoder som är lämpliga för att göra en säkerhetsbedömning av ammunitionen.

19 "NIMIC IM testing Workshop-Group Reports of Phase II", compiled by the NIMIC staff, NIMIC limited document, L-45, 1998.

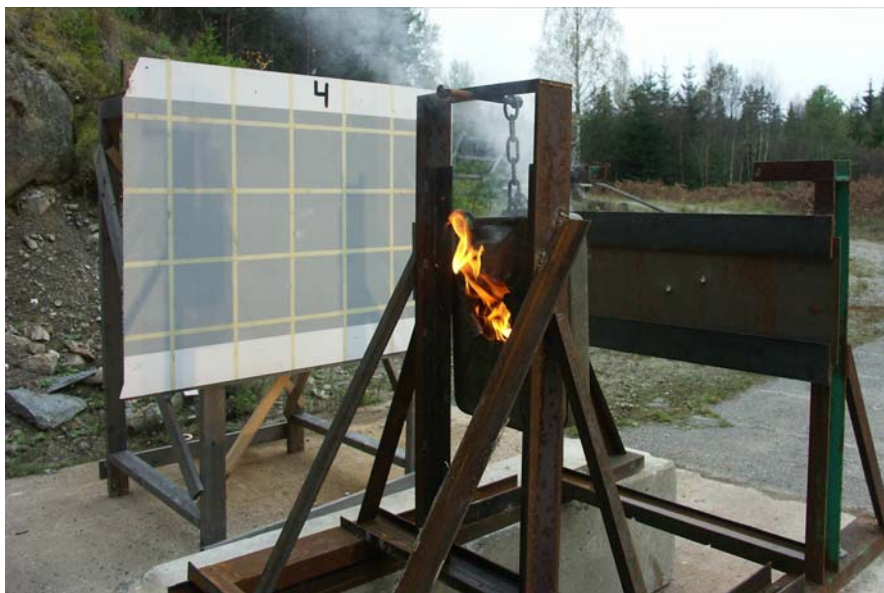
20 Peugeot F., "A Threat Hazard Assessment (THA) Methodology", NIMIC report, L-98, December 2003.

21 Halls B., "Safety Assessment Software", MSIAC report, O-107, April 2006.

3.3 Brandmodellering i samband med verkansvärdering

En av de sekundäreffekter som kan uppstå i samband med bekämpning av ett mål är att målet fattar eld. I vissa sammanhang kan effekten av brand vara av central betydelse för målets chans att överleva. Att modellera brand innebär två svårigheter; att bestämma huruvida brand uppstår eller inte samt att modellera brandförloppet med rök och värmespridning.

Om brand uppstår eller inte i samband med t.ex. beskjutning av ett fordon kan bero på många saker; vilka material som träffas, splitter från projektil och eventuellt pansar, spill av brännbara vätskor, träff i bränsletank eller bränsleledningar. För att studera en liten del av detta fenomen genomfördes en experimentell försöksserie där pansarbrytande finkaliberammunition av två typer; AP (Armour Piercing) och AP-I (Armour Piercing Incendary), sköts mot jeepdunkar med bensin och diesel i olika mängder. AP-I ammunitionen är avsedd att ge en extra sekundärverkan genom att den normalt även innehåller någon form av snabbt brännbart ämne som antänds kort efter träff. Resultaten från den genomförda studien har dock för stor spridning för att man ska kunna dra några klara slutsatser om huruvida AP-I ammunitionen har större sannolikhet att initiera brand, jämfört med den vanliga AP ammunitionen, eller inte. Brandförloppet, i de fall brand uppstod, filmades med höghastighetsvideo för noggrannare studier.

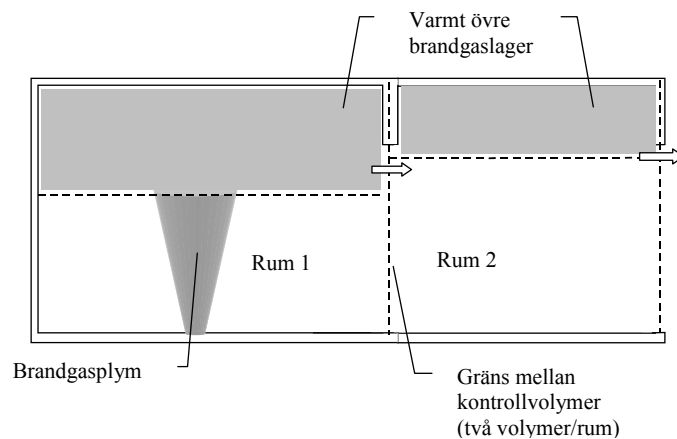


Figur 12: Försökssuppläggning där AP och AP-I ammunitions möjligheter att starta brand i samband med beskjutning av bränslekärl undersöktes.

Idag används en enkel zonmodell (ett övre lager med rök och varma brandgaser och ett lägre lager frisk luft) för brandsimuleringar vid verkansvärdering med AVAL, där ingen hänsyn tas till var i rummet brandhärden är belägen. Modeller av det här slaget fungerar hyfsat i enkla geometrier som t.ex. ett lägenhetsrum. Om rummets utformning avskiljer avsevärt från det enkla fallet blir resultaten betydligt sämre. Om mer avancerade simuleringsprogram används kan man med god noggrannhet följa t.ex. rökspridningen från en till brandhård definierad med sitt läge och avgiven värmeeffekt. Dessa program löser konserveringsekvationer för massa, rörelsemängd, energi och kemiska ämnen i ett finmaskigt beräkningsnät. En fördel med detta är att även spridningsförlopp vid

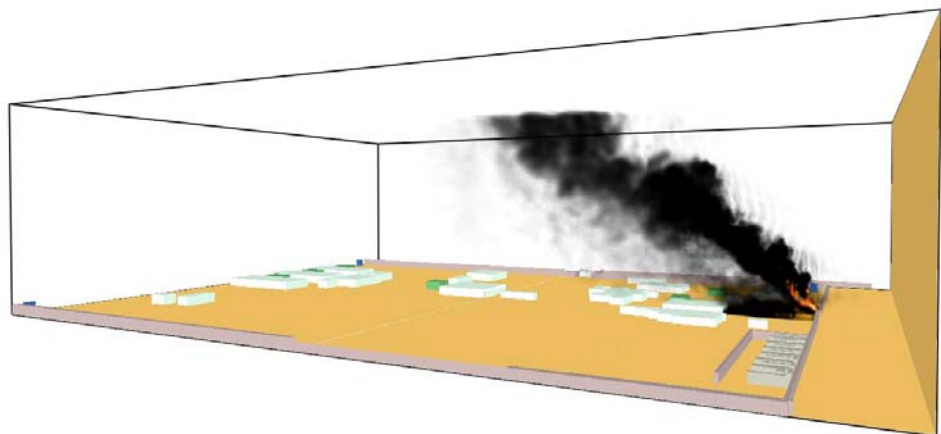
oavsiktliga utsläpp av toxiska ämnen och gaser kan studeras, inte bara brand och brandgasspridning.

Inom projektet har tre olika program för strömning och turbulent förbränning studerats för att utröna möjligheterna att de kan utgöra komplement till zonmodellsanalyser vid framtida verkans- och sårbarhetsbedömningar.



Figur 13: Zonmodellen bygger på förenklade ekvationssystem och geometrier.

De program som testades var; SOFIE (Simulations Of Fires In Enclosures), FDS (Fire Dynamic Simulator) samt FOI:s egenutvecklade FOAM-modell (Field Operation And Manipulation). På kort sikt förefaller FDS vara det bästa alternativet, då det har öppen källkod och är gratis samt att vidareutveckling pågår. Det är även lätt att använda och har relativt korta beräkningstider. Den geometriska beskrivningen av målet där branden ska beräknas måste visserligen ritas om med en annan typ av ytor än de som används i AVAL men detta görs enkelt i AutoCAD med AVAL-beskrivningen som underlag.

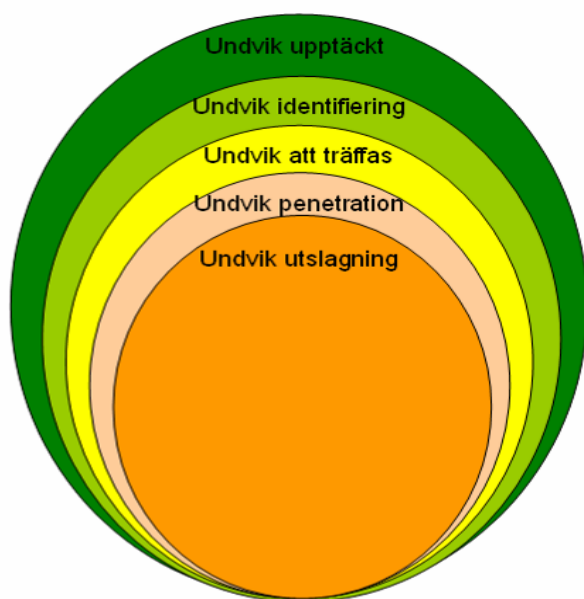


Figur 14: Simulering av flamma och rökpåsk vid brand i bränsledepå vid en militär camp. I simuleringen blåser det en vind från höger i bild, 5 m/s.

Det ska dock påpekas att de mer avancerade programmen ofta kräver så långa beräkningstider att de inte fungerar att genomföra 100000-tals simuleringar som är normalt vid verkansvärderingsarbeten utan insatser med sådana verktyg måste begränsas till ett fåtal dimensionerande brandfall som granska i detalj. Denna metodik rekommenderas i situationer då beräkningarna ska utgöra ett beslutsunderlag.

3.4 Missionsanpassat skydd

Tyngdpunkten på projektets verksamhet har legat på interaktionen mellan stridsdel och mål samt den eventuellt efterföljande funktionsändringen hos målet. Skydd är dock mycket mer än så. Den så kallade skyddslöken illustrerar detta genom att i de yttre lagren poängtera nyttan med att undvika upptäckt och därefter gå närmare målet via att undvika identifiering, träff, penetration och slutligen att, om de tidigare punkterna misslyckats, inte slås ut.



Figur 15: Skyddslöken.

I ett försök att samla personer med olika skyddskompetenser, i enlighet med skyddslöken, för att lösa ett gemensamt problem drevs under 2006 ett delprojekt till detta projekt, kallat Missionsanpassat skydd. Anledningen till detta är att våra förbands överlevnadsförmåga och sårbarhet vid t.ex. internationella insatser inte är enbart beroende av dessas fysiska skydd utan även en mängd andra egenskaper såsom beväpning, C3I, egensignaturer, rörlighet mm. Det är även viktigt att det råder balans mellan dessa egenskaper och att det finns en förmåga att värdera dessa och föreslå förbättringar som kan öka överlevnadsförmågan.

Delprojektet syftade till att belysa de möjligheter som redan idag finns för att värdera olika aspekter av överlevnadsförmågan hos främst markplattformar samt att lyfta fram de områden där motsvarande kunskap eller verktyg saknas. Med hjälp av de metoder och verktyg som fanns att tillgå skulle en metodik för att värdera förbandets överlevnadsförmåga i en viss hotmiljö tas fram.

Arbetet genomfördes genom så kallade diskuterande spel, baserade på ett antal typscenarier eller typsituationer. Utgångspunkten för diskussionerna var alltid att diskutera olika lösningar för hur målet skulle kunna skyddas för att klara det aktuella hotet. Diskussionerna leddes inifrån ut enligt skyddslöken av en spelledare. För varje händelse ställdes i stort sett dessa frågor till de olika skyddsområdesexperterna:

- Vad kan göras för att ett hot som trängt in i målet inte ska ge katastrofala skador på personal och materiel?
- Vad kan göras för att hotet inte ska tränga in igenom målets skydd?

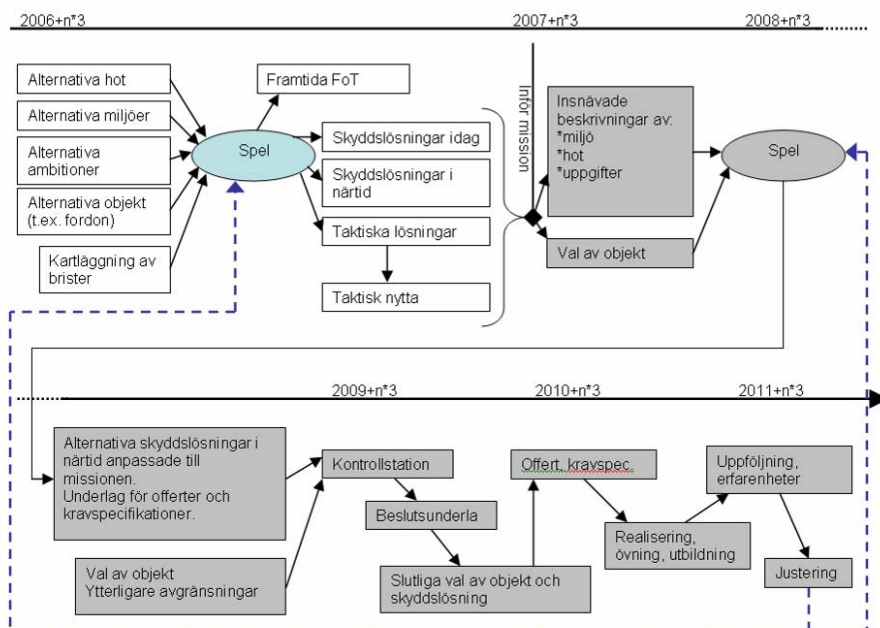
- Vad kan göras för att hotet ska missa målet?
- Vad kan göras för att undvika händelsen?
- Kan effekterna av skyddsåtgärderna kvantifieras? Finns verktyg för värdering?
- Kan man bedöma värdet av åtgärderna?

Efter speldiskussionerna fick var och en i uppgift att förfina beskrivningarna inom sitt skyddsområde eftersom det skulle ta alltför lång tid att genomföra det i plenum.

Det scenariobaserade arbetssättet förefaller ha mycket goda potentialer att samla personal från hela försvarsfamiljen med olika kompetensbakgrunder som ska samarbeta för att lösa ett gemensamt problem, i detta fall skydd. Genom öppna och tillåtande diskussioner kan flera olika sätt att skydda sig mot de definierade hoten hittas och kombineras. Dock måste man ha i åtanke att då arbetsgruppen växer ökar tidsåtgången och vissa personer blir mer och mer tillbakadragna. Dessa förhållande vis små problem kan lätt ordnas med väl tilltagen tid och genom att en moderator kontrollerar att alla kommer med. Svårare är då att hitta tidpunkter då alla kan vara med, prioriteringar behövs och om den här metoden ska användas inför en skarp mission kanske chefer behöver kunna beordra deltagande. Trots dessa möjliga problem bör ändå alla samlas för speldiskussionerna, för att ge en inblick i bredden av de tillgängliga kompetenserna. Om arbetet i detta stadium sker enskilt är risken stor att vissa frågeställningar inte behandlas då alla ser till sitt specialområde och missar kopplingar till andra. En annan mycket värdefull bieffekt av spelen är att de olika experterna lär sig mycket av varandra.

När det gäller vilka värderingsverktyg som finns så förefaller det finnas verktyg för väldigt många specialområden, men det saknas idag övergripande verktyg.

Då den provade arbetsmetoden fungerade så bra har projektet skisserat hur den faktiskt kan användas inom Försvarsmakten. Det är även mycket möjligt att arbetssättet fungerar för andra områden än skydd. I figuren nedan visas hela arbetsprocessen översiktligt tillsammans med ett utkast till tidsskala där alla moment återkommer i treårscykler. Det är mycket möjligt att tiden för realisering är för kort i denna presentation. Processen består av spel med generella scenarier som är cykliskt återkommande och utgör en avtappningsgrund för de direkt missionsanpassade spelen. I de missionsanpassade spelen görs en insnävad beskrivning av miljö, hot och troliga uppgifter utifrån troliga scenarier i missionen.



Figur 16: Förslag till arbetsprocess inom missionsinriktade spel.

3.5 Riskanalyser och människans sårbarhet

Under det kalla krigets dagar, då det svenska försvaret var inriktat på invasionsförsvar, låg tyngdpunkten för forskningen inom verkansvärdering på våra vapens effekt i fientliga mål och våra vapensystems stryktålighet för fientlig vapenverkan. Under senare år har Sveriges engagemang i fredsbevarande eller fredsframtvängande operationer lett till en ökad betoning av riskerna för svensk trupp men även för tredje man, d.v.s. civilbefolkningen, i de aktuella operationsområdena.

Detta har lett till en ökad efterfrågan på riskanalyser för människor då en stridsdel kan detonera, antingen vid en vapeninsats eller vid en röjningsoperation. SWEDEC lade en beställning på FOI 2006 för framtagning av ett program för beräkning av riskavstånd för tredje man och egen personal vid rövning av OXA (OeXploderad Ammunition). Utgångspunkt för arbetet var "Handbok ammunitions- och minrövning för totalförsvaret" där det finns ett antal enkla formler för beräkning av riskavstånd. Tyvärr saknas där grunden och förutsättningarna för de olika beräkningsformlerna, d.v.s. spårbarheten är obefintlig. Eftersom detta område under många år varit eftersatt forskningsmässigt har en stor del av metod-, underlags- och utvecklingsarbetet finansierats av projektet värdering av vapenverkan och plattformars sårbarhet.

Uppdraget från SWEDEC har följts av flera andra riskberäkningsuppdrag såsom:

- Riskområde handgranat m/56 för SIB
- Beräkning max riskavstånd rövning 20 OXA
- Beräkning av riskavstånd för spränghandgranat m/ny
- Riskavstånd vid insats av GBU 12 (GPB Mk82)

Människan är sårbar för flera av de verkansformer som uppträder vid detonation av en konventionell stridsdel. Exempel på sådana är tryck, värme och splitter. Splitter är den verkansform som har det största verkansavståndet och arbetet inom projektet har därför inriktats på att klarlägga gränserna för splittersverkan.

3.5.1 Människans sårbarhet för splitter

Det finns flera sofistikerade modeller för beräkning av splitter- eller projektilverkan på människa. Den kanske mest kända är "Computerman" utvecklad av ARL, Aberdeen Proving Ground i USA. Modellen är baserad på ett omfattande kliniskt underlag och medicinsk sakkunskap. Målbeskrivningen av den mänskliga anatomin utgörs av 124000 volymselement som var och en anges bestå av en av 290 olika vävnadstyper som beskrivs av ett antal parametrar. Splitters eller projektilens väg kan följas genom kroppen och skador inom respektive volymselement beräknas. De medicinska följderna av dessa skador klassas enligt en internationellt accepterad kod AIS, (Abbreviated Injury Scale). Slutligen beräknar programmet soldatens möjlighet att lösa olika funktionsbaserade uppgifter med hänsyn till skadorna.

FOI har tillgång till denna modell som är utmärkt om man vill detaljstudera vilka skador som en specifik splitter- eller projektilträff ger och hur den påverkar soldatens stridsförmåga. Den är dock inte lämplig för generella riskberäkningar på grund av det krävs många datorkörningar och detaljgranskning och statistikbildning av mellanresultaten.

För beräkning av riskavstånd i operativa sammanhang har man varken tid eller sakkunskap för att utnyttja dessa sofistikerade datorprogram utan det krävs betydligt

enklare instrument. De vanligaste kriterierna för utslagning p.g.a. splitter baseras på splittrens rörelseenergi som ju är enkel att beräkna ur formeln:

$$E = \frac{m \cdot v^2}{2} \quad (10)$$

Där: E = Rörelseenergi [J], m = Splittermassa [kg] och v = splitterhastighet [m/s].

Det första splitterverkansriteriet formulerades i början av nittonhundratalet av Rohne i Tyskland som lyder som följer i engelsk översättning. ”To remove a human from the battlefield, a kinetic energy of 8 kgm is sufficient according to the prevailing view in the German artillery community ...”. Detta kriterium används fortfarande inom NATO och är känt som 80 J kriteriet.

I USA används inom DoD ett annat energikriterium för att bestämma ett avstånd som inte får underskridas p.g.a. risk för svåra splitterskador. Denna energi är 58 footpounds vilket motsvarar 43 J..

I Stefan Lamneviks rapport²² ges följande tabell över skadekonsekvenser för olika splitterenergier:

Tabell 7: Skadekonsekvenser som funktion av splitters anslagsenergi.

Anslagsenergi, [J]	Skadekonsekvens
20	Gräns allvarlig skada
80	Stridsoduglig soldat
160	10 % dödlighet
360	90 % dödlighet

Det råder dock ingen internationellt accepterad uppfattning om dessa energinivåer, exempelvis så anser Ryssland (f.d. Sovjetunionen) att det krävs 200 J för att slå ut en soldat.

Inget av ovanstående kriterier kan anses vara acceptabel för civila som kan befinna sig inom riskområdet. FOI anser därför att gränssättande för riskområdet bör vara det avstånd där risken för hudpenetration är försumbar. Om risk för hudpenetration föreligger så finns även risk för att vitala organ som pulsådror kan skadas med risk för förblödning och död som följd. Risken för hudpenetration är inte direkt beroende av splitterenergin, utan snarare av ”trycket” på huden, som kan anses vara proportionell mot splittrets rörelseenergi dividerat med splittrets tvärsnittsarea. När energitätheten per ytenhet är mindre än 5 J/cm² så är risken för hudpenetration mycket liten. En delyta av kroppen som är mycket känslig för splitter är ögonen där en penetration ofta leder till en allvarlig skada i form av nedsatt syn eller blindhet. Gränsen för penetration av hornhinnan kan grovt sättas till 1 J/cm².

Det enklaste sättet att bestämma riskavståndet för personskada vore att beräkna det maximala avstånd där ett splitter från en given stridsdel kan leda till kroppsskada. Detta leder dock vanligen till mycket stora riskområden som kan vara svåra att utrymma och bevaka med begränsade personalresurser vid exempelvis ammunitionsröjningsuppdrag. Man tvingas därför att beräkna sannolikheten för att träffas av ett ”farligt” splitter och att definiera en nivå för ”acceptabel” sannolikhet för att träffas av ett splitter.

²² Lamnevik S, 1998, ”Skydd mot explosioner”, FOA 98-4529/S, 1998

ÖB har i försvarsmaktens handbok för systemsäkerhet angivit riktlinjer för säkerhetsarbetet. Där sägs bl.a. att "Sannolikheten för att under fredstid drabbas av dödsfall, invaliditet eller annan personskada i tjänsten för all personal, bör inte överstiga vad som anses som acceptabelt i det civila samhället. Med nödvändighet måste högre risker accepteras i krig samt även i fredstid för vissa uppdrag i krigsliknande miljöer".

En stor del av den svenska befolkningen färdas dagligen i bil till och från arbetet utan att tänka på den risk de utsätter sig för och denna risk skulle därför kunna anses vara acceptabel i handbokens anda. FOI har utgått från statistik från VTI²³ för att försöka definiera en acceptabel risknivå.

I handboken definieras begreppet risk som en kombination av sannolikheten för att en olycka inträffar och konsekvensen av den inträffande olyckan. Ju allvarigare konsekvens av en olycka är desto lägre sannolikhet accepteras. Detta definieras i en s.k. riskvärderingsmatris även kallad riskmatris.

FOI har tagit fram ett förslag till riskvärderingsmatris där skadenivåer och skadefrekvenser *kvantifierats*. Detta är en förutsättning för att kunna beräkna riskavstånd, utgående från stridsdelsdata, som kan anses tolerabla.

Tabell 8: FOI förslag till riskvärderingsmatris.

	Skade- frekvens	$> 10^{-3}$	$> 10^{-4}$ $\leq 10^{-3}$	$> 10^{-5}$ $\leq 10^{-4}$	$> 10^{-6}$ $\leq 10^{-5}$	$\leq 10^{-6}$
Skadenivå		A	B	C	D	E
Dödsfall	I	ET	ET	BT	BT	T
Allvarlig skada	II	ET	BT	BT	T	T
Mindre allvarlig skada	III	BT	BT	T	T	T
Försumbar	IV	T	T	T	T	T

I rutorna i matrisen anges ET, BT och T vilket skall tolkas på följande sätt:

- ET = Ej tolerabel risk
- BT = Begränsat tolerabel risk (skall om möjligt begränsas eller elimineras)
- T = Tolerabel risk.

De angivna skadenivåerna kan grovt översättas i fysikaliska termer till:

Dödsfall = Splitterenergi $> 160 \text{ J} \Rightarrow$ sannolikhet för död = 0,10

Allvarlig skada = Splitterenergi $> 20 \text{ J}$

= ögonskada, blindhet = Splitterenergi/ytenhet $> 1 \text{ J/cm}^2$

Mindre allvarlig skada = Splitterenergi $> 5 \text{ J/cm}^2$

Försumbar skada = Splitterenergi $< 5 \text{ J/cm}^2$

23 Ulf Bruede, 2006, "Minibasstatistik över olyckor och trafik samt andra bakgrundsfaktorer", VTI 2006

3.6 Mål- och vapenbeskrivningar

För att kunna använda någon typ av värderingsverktyg krävs indatamodeller i form av beskrivningar av stridsdelar och mål. Inom projektet har målbeskrivningar konverterats från äldre värderingsverktyg och skapats på direkt förfrågan av Försvarsmakten och för att utbilda fler personer i konsten att skapa målbeskrivningar.



Figur 17: Förenklad målbeskrivning av RG32M "Galten".

3.6.1 Målbeskrivningar

Beskrivningen av ett mål består av två huvuddelar:

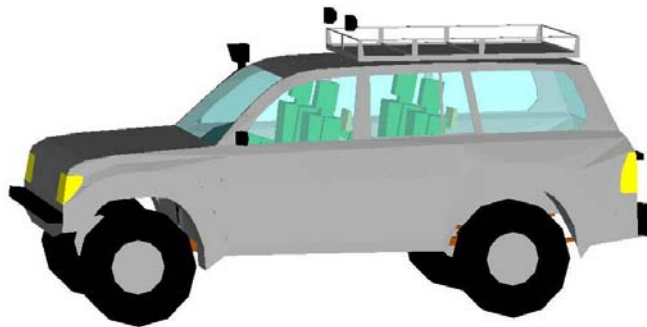
- Geometrisk beskrivning med material och tjocklekar
- Data för material, utslagskriterier för komponenter och annan data.

Den geometriska beskrivningen skapas med AVALCAD, ett tillägg till AutoCAD, om beskrivningen ska användas i AVAL. Att geometriskt beskriva ett mål är ett omfattande arbetet, där det ofta saknas ordentligt underlag om hur målet ser ut, plåttjocklekar, materialval o.s.v. En viktig del av arbetet är att bestämma vilka komponenter som ska beskrivas och hur dessa ska modelleras, hur de beskrivs påverkar nämligen hur data till dem ska ansättas. Vilka komponenter man väljer att ta med i beskrivningen påverkar vilka funktionsförändringar hos målet man kan studera. För att kunna göra dessa avvägningar krävs både en insikt om vad modellen ska kunna modellera och hur målets olika system fungerar i verkligheten. Utöver detta är den geometriska beskrivningen mycket ett ritarbete i AutoCad, vilket kan vara nog så komplicerat att lära sig.

Den svåraste delen av målbeskrivningsarbetet är att ansätta alla data som inte representerar geometrin. Dessa data är bl.a.;

- skyddsegenskaper hos olika material,
- utslagskriterier för komponenter som funktion av olika typer av påverkan,
- kriterier för initiering av lagrad ammunition,
- sannolikhet för att brand ska uppstå och för att eventuella brandsläcksystem ska kunna bekämpa branden,
- flytegenskaper hos fartyg som tar in vatten, med hänsyn tagen till nyttan av länsappar,
- plattformens funktioner, beskrivna i ett felträd som byggs upp från komponentnivå via delsystem till system och system av system för att slutligen utmynna i en funktion.

Den ovan givna listan är endast ett axplock av alla data som en målbeskrivare försöker ansätta.



Figur 18: Enkel målbeskrivning av oskyddad personterrängbil.

Inom projektets ram har underlag för en sammanställning av de flesta målbeskrivningarna hos svenska AVAL användare samlats in. Detta underlag utnyttjades för att sätta samman en målkatalog som visar intressenter vilka plattformar som finns beskrivna (i olika organisationer och med utsedda kontaktpersoner).

3.6.2 Vapenbeskrivningar

Att skapa vapenbeskrivningar eller stridsdelsbeskrivningar är normalt sett inte lika arbetskrävande som att skapa målbeskrivningar. Dock är det en stor mängd data som kan anges för att beskrivningen ska uppföra sig så verklighetstroget som möjligt. Tyvärr är det sällan all nödvändig data finns tillgänglig. Detta databehov är en av anledningarna till att projektet har studerat sekundärsplitterbildning. En stridsdelsbeskrivning består till stor del av ett antal tabeller med olika prestanda för stridsdelen direkt angivna. Hur man får tag på dessa data varierar, antingen ansätter man dem i enlighet med försöks- eller simuleringsresultat (då krävs simuleringar med hög noggrannhet) eller så använder man resultat från enkla beräkningsmodeller. Om ingen bättre data finns jämför man med liknande stridsdelar och ansätter liknande värden

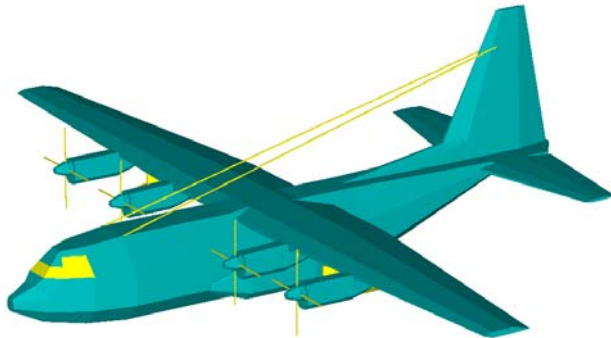
Utifrån den kunskap som finns bland projektets medarbetare har ett antal stridsdelsbeskrivningar skapats inom andra projekt. Ett exempel på detta är en beskrivning av bombkroppen Mk82 till en beskrivning av GBU12. För att klara av sådana arbeten krävs att någon eller helst några personer kan hantera verktyg för t.ex. beräkning av splitterstridsdelars fragmentering. Idag används Split-X till detta, vilket fungerar mycket bra om det finns några experimentella resultat från liknade stridsdelar att jämföra med, annars vet man inte riktigt vad man får (vilket tyvärr gäller för många simuleringsprogram). Fragmentering av stridsdelar är ett område där det skulle behövas en utökad satsning både teoretiskt och experimentellt, speciellt med tanke på den nuvarande IED-problematiken.

Andra stridsdelar som projektet stöttat är FMV:s arbete med 8 och 12 cm grk-granater. I huvudsak genom att försöka återfinna gamla försöksresultat gällande fragmentering av dessa. Resultatet av detta arbete är att FMV fick mer underlag till sina egna simuleringar.

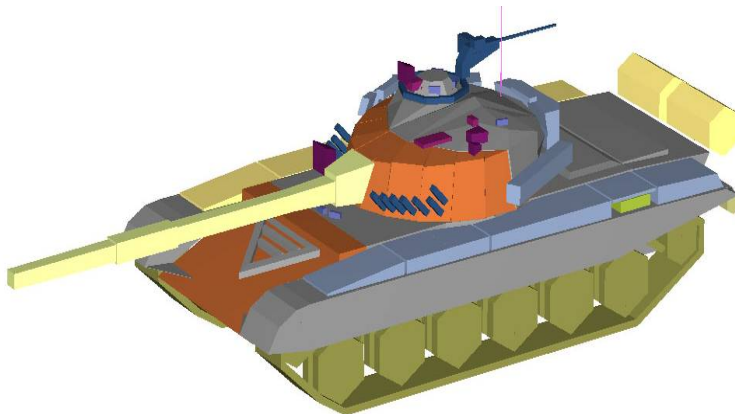
3.6.3 Underlag från äldre modeller

Projektet har räddat ett fåtal beskrivningar av flygplan och markfordon till äldre värderingsprogram från att stilla och obemärkt försvinna. Från LMP3 (ett program för

simulering av vapenverkan i flygplan) har en beskrivning av TP-84 konverterats till AVAL med stöd från den siste LMP3-kännaren, som pensionerades 2006. Från APAS (ett program för simuleringar av vapenverkan i markfordon) har bland annat en beskrivning av stridsvagn T-72 konverterats till AVAL. Dessa modeller skapades under en tid då verkansvärdering var ett stort arbetsområde och en stor kunskap ligger till grund för både simuleringsprogrammen och de tillhörande mål- och stridsdelsbeskrivningarna. Till programmen finns en del dokumentation sparad, dock redovisar den inte alltid den senaste versionen av programmen, men beskrivningarna till dem har tydligen endast funnits i arbetskopior som oftast inte levt vidare när innehavaren bytt arbetsuppgifter eller gått i pension.



Figur 19: Det konverterade flygplanet TP84.



Figur 20: Den konverterade T72:an.

Hur konverteringen gått till finns redovisat i interna FOI-rapporter och resultaten av konverteringarna har rapporterats till Försvarsmakten. Genom detta arbets- och rapporteringssätt finns numer i alla fall dessa beskrivningar i FOI:s arkiv för framtida bruk.

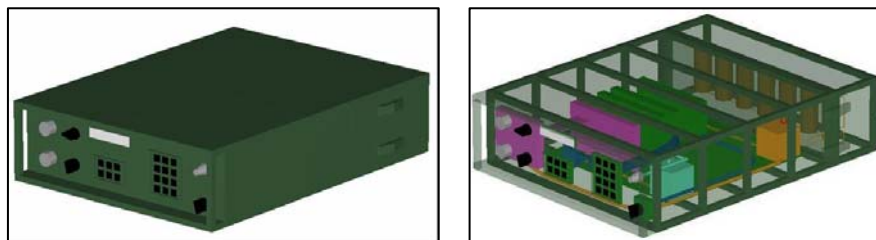
För simuleringar av vapenverkan i sjömål har programmen Verksam/Verana tidigare använts. I dagsläget har ingenting härifrån konverterats till modernare program, men här finns ännu personal som har använt programmen kvar. Deras kompetens bör tas tillvara innan även de försvinner.

3.6.4 Utslagskriterier för komponenter

En av de uppgifter som ska anges till målbeskrivningar är, enligt ovan, utslagskriterier för komponenter och personal som funktion av olika typer av påkänningar. Den primära påkänningen är oftast penetrationsskador, men även tryckpåkänningar kan vara mycket viktiga för simuleringsresultatet. Tänker man på det så är det självklart att man på något sätt måste ange gränser för vid vilken påkänning en komponent upphör att fungera, för oftast tål komponenterna i alla fall en liten påverkan. Om man till exempel studerar en radioapparat så har den oftast ett eget hölje som kan stoppa mindre splitter och därmed skydda radioapparatens funktion. Även om splittret kommer igenom höljet kan det där innanför finnas tomrum, i vilket det inte spelar någon roll om ett splitter passerar, eller små detaljer som tål att träffas av tillräckligt små och långsamma splitter/penetratorer. På samma sätt kan besättningen på en plattform tåla en liten temperatur- eller tryckhöjning..

Var går då dessa gränser? Ett försök att hitta en metodik för att ta fram gränser för penetrationsskador med hjälp av AVAL presenterades av projektmedarbetare på 3rd European Survivability Workshop våren 2006. Arbetet som presenterades genomfördes visserligen delvis under 2005 och hade dessutom presenterats i en annan form på 2nd International AVAL user group meeting hösten 2005. Den presentationen ledde till att flera AVAL-användare arbetade med liknande frågor och även dessa resultat presenterades på 3rd European Survivability Workshop och dessutom beställde FMV en utökning av AVAL:s funktionalitet för att förenkla liknande arbeten i framtiden. På detta sätt ledde FOI:s arbete indirekt till en vidareutveckling av AVAL och därmed även en förbättrade möjlighet att genomföra värderingar som ger trovärdiga resultat.

I korthet gick den presenterade metoden ut på att komponenter beskrivs som egna mål, så detaljerade att de ingående komponenterna är så pass små och känsliga att de flesta av dem kan anses utslagna om de träffas.



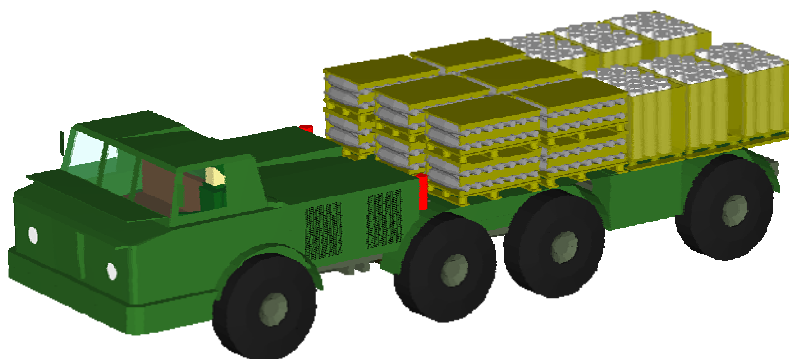
Figur 21: Den generiska radioapparat som nyttjades för studien av utslagskriterier.

Om man ska ansätta utslagskriterier till en AVAL-målbeskrivning måste man tänka på att de ska vara oberoende av beskjutningsriktning och träffpunkt. Detta medför att man måste tänka på kriterierna samtidigt som man gör den geometriska beskrivningen av komponenten. Har komponenten en liten mycket känslig del och den inte tas med i den geometriska beskrivningen måste denna känslighet ”spridas ut” över hela komponenten för att inte försvinna helt. Om komponenten istället beskrivs som att den består av två komponenter kan den lilla känsliga delen ges rätt geometriska läge och storlek samtidigt som då den större delen får en lägre känslighet jämfört med det första fallet där hela komponenten beskrivs som en enda komponent. I och med att det är tillåtet att låta den lilla känsliga delen ingå i en geometriskt större komponent istället för att representera sig själv förstår man att utslagskriterierna inte kan vara enstaka gränser utan måste bestå av någon form av sannolikhet som ökar med ökande påkänning. Samtidigt leder detta till att det är praktiskt sett omöjligt att bestämma kriterier experimentellt, även om experimenten kan ge väldigt värdefull stickprovdata.

Ett annat problem relaterat till utslagskriterier för komponenter är att de som finns i dagens målbeskrivningar saknar källdata. Ingen kan riktigt säga varifrån de ansatta data kommer, men vissa hänvisar till FOI (egentligen FOA då det är gamla data). Det har gjorts en del skjutförsök på komponenter till flygplan 35 och sprängförsök mot komponenter i maskinrummet på trängfartyget Eldaren och vissa av dessa försök finns rapporterade. Dock är båda dessa måltypen gamla och dagens materiel har antagligen andra egenskaper gällande både funktion och stryktålighet. I fallet med Eldaren genomfördes sprängförsöken när fartyget var uttrangerat, vilket troligen är ett ekonomiskt krav, men man riskerar att försöken genomförs mot materiel som redan är föråldrad. För att råda bot på detta för framtiden har projektet arbetat med att designa en databas för utslagskriterier. Idéerna var från början många med stor funktionalitet i databasen. Det skulle vara lätt att hitta alla kriterier som används i ett specifikt mål, automatisk revisionshistoria, möjlighet att skriva ut data till AVAL-format direkt o.s.v. När databasen skapades i sin första utgåva prioriterades flexibilitet och enkelhet före alla andra funktioner. Därför saknas all automatik och databasen kräver mer manuellt arbete när den används. På den positiva sidan är att man kan skriva in de komponentdata man har, med eventuella referenser eller beskrivningar av hur man bedömt känsligheten. Man kan skriva nästan hur mycket eller lite man vill om respektive komponent. Eftersom databasen i sin enkelhet egentligen bara består av en Excel-arbetsbok går det att söka efter komponentnamn eller målnamn, men inte med den enkelhet som önskades vid arbetes inledning. Det är säkert möjligt att kombinera flexibiliteten med de funktioner som initialt önskades men det får i sådant fall bli en senare uppgift.

3.7 Direktstöd till Försvarsmakten och FMV

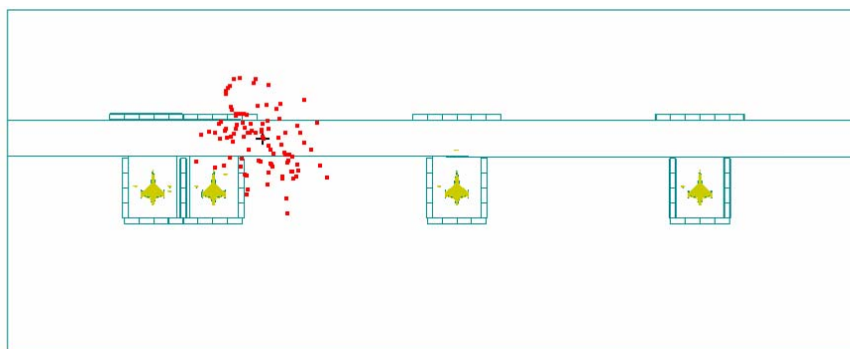
Projektet har haft ett nära samarbete med främst FMV/Smartlab för att stötta dem och Försvarsmakten med underlag och modeller för egna verkans- och sårbarhetsanalyser. Inom Försvarsmakten är det i första hand Artilleriregementet som varit avnämare av dessa arbeten. På direkt förfrågan från Artilleriregementet har en målbeskrivning av ett ammunitionstransportfordon framställts, vilken var avsedd att användas inom regementets eget arbete. I samband med detta togs även data, gällande granaters splitteregenskaper, fram.



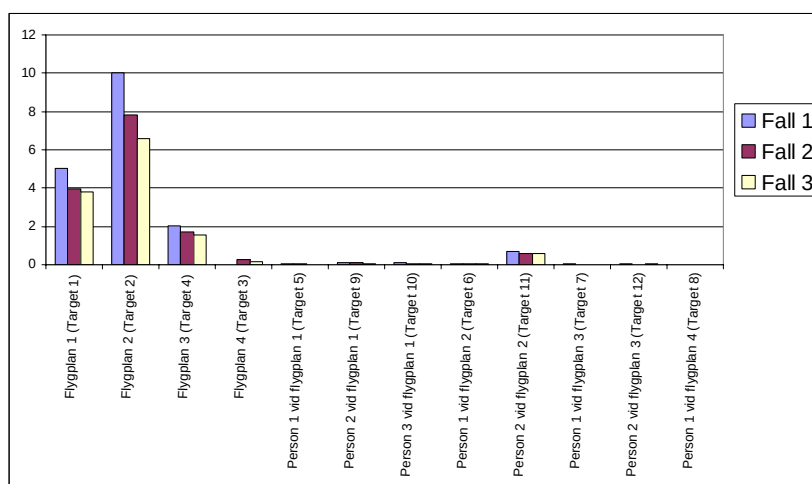
Figur 22: Ammunitionstransportfordon baserad på redan tillgänglig lastbilsbeskrivning, framtagna efter förfrågan från Artilleriregementet.

Motsvarande stöd har givits till FMV för att underlätta FMV:s stöd till Försvarsmakten, även här har fokus legat på system för indirekt eld.

Till Luftstridsskolan har ett antal exemplifierande simuleringar genomförts för att visa på hur de tillgängliga verktygen, främst AVAL, kan användas för att bedöma risk för skador på flygplan stående på marken i samband med t.ex. granatkastarbeskjutning. Här jämfördes tre olika varianter av skyddande murar runt flygplanens uppställningsplatser och antalet splitterträffar i flygplanen respektive i servicepersonalen jämfördes.



Figur 23: Simuleringsområde med uppställningsplatser för fyra flygplan och 100 brisadpunkter (röda).



Figur 24: Exempel på resultat från exempelsimuleringarna, medelantal träffar (av 100 cykler) i respektive mål.

Inför och under ledningsövningen Demo 06 Vår deltog projektet genom att lämna underlag till det övningsinterna elektroniska uppslagsverket samt genom att vara på plats i Enköping under del av övningen. Den tiden projektet fanns på plats utgjorde vi ”back-office”-stöd för insatsledningen.

Utöver dessa arbeten har projektet stöttat bl.a. framtagande av riskområden för olika stridsdelar, både vid användning och vid rövning.

3.8 Sekundärsplitter

När en målplåt perforeras av en penetrator kastas det ofta ut målmaterial i splitterform bakom plåten, tillsammans med resterande penetrator som i vissa fall slagits sönder i bitar. Dessa splitter sprids ungefär konformat inne i målet och medverkar därför till att många fler inre objekt kan träffas. Normalt sett finns det ingen mening med att skilja de olika sorternas splitter åt eftersom de båda kan ställa till skador inne i målet. Ur ett fenomenperspektiv kan det dock vara intressant att särskilja primärsplitter, som kommer från penetratorn, från sekundärsplitter som kommer från målet självt. Detta för att man ska kunna karaktärisera olika skyddsmaterials och olika projektilers prestanda i form av (skydd mot) verkan efter perforation. Det ska dock påpekas att den ovan givna definitionen av primär- respektive sekundärsplitter inte är internationellt använd. Ofta klassas alla splitter, oavsett ursprung, bakom målplåten som sekundärsplitter. En litteraturstudie om experimentella metoder för att registrera splitter bakom målplåtar har genomförts. Utifrån litteraturstudien initierades ett arbete med framtagande av utrustning och metodik för holografisk registrering av splitter.

Än så länge kan man inte säkert säga hur mycket splitter det blir när en penetrator går igenom en målplåt och därmed blir det även svårt att säga hur mycket nytta en skyddsliner på insidan gör. I bästa fall kan man göra ett antal försök för att se hur stor andel av splittren som stoppas eller hur splitterkonens utkastningsvinklar förändras för att ange nyttan av linern. Med anledning av denna kunskapslucka har sekundärsplitterarbetet drivits inom projektet men har dock nedprioriterats under det sista halvåret.

3.8.1 Holografisk mätteknik

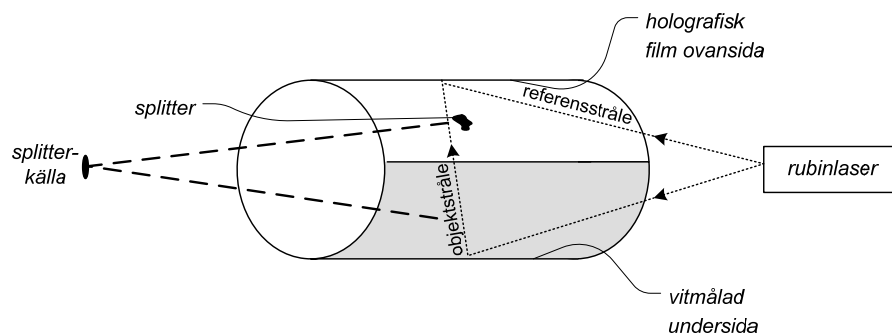
Internationellt används ibland holografiska mättekniker för att mäta olika egenskaper hos splitter bakom en målplåt. Principen för mätmetoden finns beskriven i ett antal artiklar^{24, 25, 26, 27}. Splitter som uppkommer vid penetration av en projektil i t.ex. ett stålmal kommer att spridas med en viss spridningsvinkel. För att studera rumsfördelningen av splittren vid en viss tidpunkt görs en holografisk avbildning, se Figur 25. Den holografiska filmen (fotografiskt material med hög upplösning) är böjd i en halvcylinderform som bildar en hel cylinder tillsammans med en annan halvcylinder med identiska dimensioner, bestående av en vitmålad plåt.

²⁴ G.R. Hough and D.M. Gustafsson, "Enhanced holographic recording capabilities for dynamic applications," *Ultrahigh- and High-Speed Photography, Videography and Photonics*, Proc. SPIE **1346**, s.194-199, (1990)

²⁵ P.E. Nebolsine, E.Y. Lo and G.R. Hough, "Shadowgraphic holography analysis for debris characterization," *Space instrumentation and dual-use technologies*, Proc. SPIE **2214**, s.31-41, (1994)

²⁶ C.S. Anderson, J.E. Gordon, D.B. Watts and J.S. Marsh, "Measurement of behind-armor debris using cylindrical holograms," *Opt. Eng.* **36**(1), s.40-46, (1997)

²⁷ D.L. Smith, D.B. Watts, J.S. Marsh, J.E. Gordon and C.S. Anderson, "Fragment volume determination in bullet/armor holograms," *Practical holography XII*, Proc. SPIE **3293**, s.88-93, (1998)



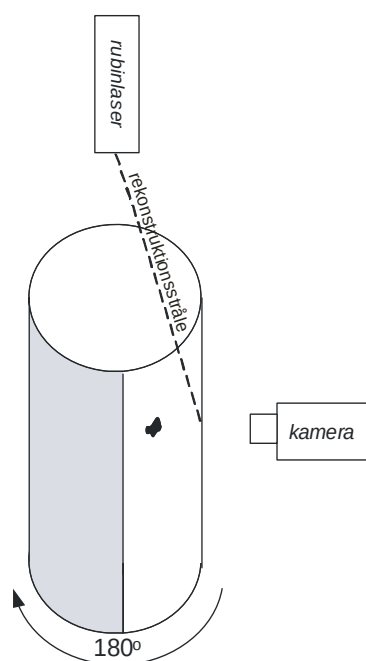
Figur 25: Upptagning av hologram.

Dessa belyses vid lämpligt tillfälle av en rubinlaserpuls ($\tau \approx 20 \text{ ns}$). Hologrammet uppkommer genom att en referensstråle (ostörd från ljuskällan) och en objektstråle (reflekterad från den vitmålade plåten) bildar ett interferensmönster som exponeras i den fotografiska filmen vilken efter framkallning och fixering blir till hologrammet.

Vid rekonstruktionen belyses hologrammet med endast en stråle, rekonstruktionsstrålen (identisk med referensstrålen, se Figur 26), antingen från rubinlasern eller en annan laser, varvid en tredimensionell avbildning erhålles. Bilden av objektet kan betraktas från olika vinklar genom att ändra betraktningsriktning genom hologrammet, lämpligen genom rotation av hologrammet runt cylinderaxeln.

I detta fall är objektet den vitmålade ytan.

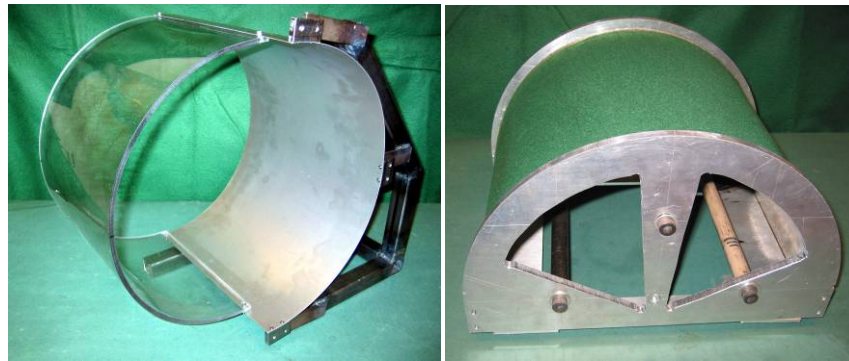
Splitterfragmenten kommer att ge skuggavbildningar där de täcker ytan. Genom att vrida hologrammet 180° under det att olika projektioner avbildas med en kamera, t.ex. var femte grad, kan fragmentens läge och storlek bestämmas med hjälp av datorstödd "tomografi". Notera dock att då det är fråga om skuggavbildning, är det inte "äkta" tomografi, då objektens inre struktur inte kan upplösas. I brist på bättre namn, kallas metoden här för skuggtomografi.



Figur 26. Rekonstruktion av hologram

3.8.1.1 Genomförda holografiexperiment

Innan hologram kan framställas, krävs en del förarbete. Det ideala är att specialframställa glascylindrar med pålagd fotografisk emulsion. Vi valde, bl.a. av kostnadsskäl att använda holografisk film under utprovet av metoden. En hologramhållare (figur 27 vänster) konstruerades för detta syfte. Ena halvcylindern består av plåt (som vitmålsats), den andra av cylindriskt format polykarbonat, där hologrammet fästs. Hållaren är anpassad för att fästas i ett rundbord för den tomografiska utvärderingen. En metod utvecklades för formning av polykarbonaten med bibehållande av acceptabla optiska egenskaper, genom att värma den mot en speciell form (figur 27 höger). Som alternativ har också plexiglas-cylindrar inköpts.



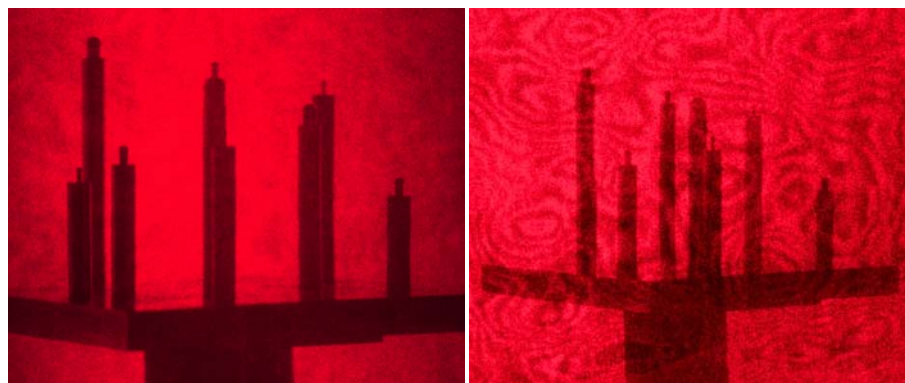
Figur 27. Hologramhållare (vänster) och gjutform (höger)

För att utvärdera noggrannheten hos metoden konstruerades ett referensobjekt bestående av kulor och pinnar med varierande diametrar på olika höjder och positioner (se Figur 28).

Eftersom projektet avbröts i förtid har endast ett hologram framställts och rekonstruerats under långt ifrån ideala omständigheter. Det objekt som avbildades var just referensobjektet. Hologrammet höll hög kvalitet som framgår av figur 29. Här framgår också de problem med speckler och varierande belysning som uppstod, speciellt vid rekonstruktion med rubinlaserljus. Det finns dock metoder som kan hantera detta.



Figur 28. Referensobjektet

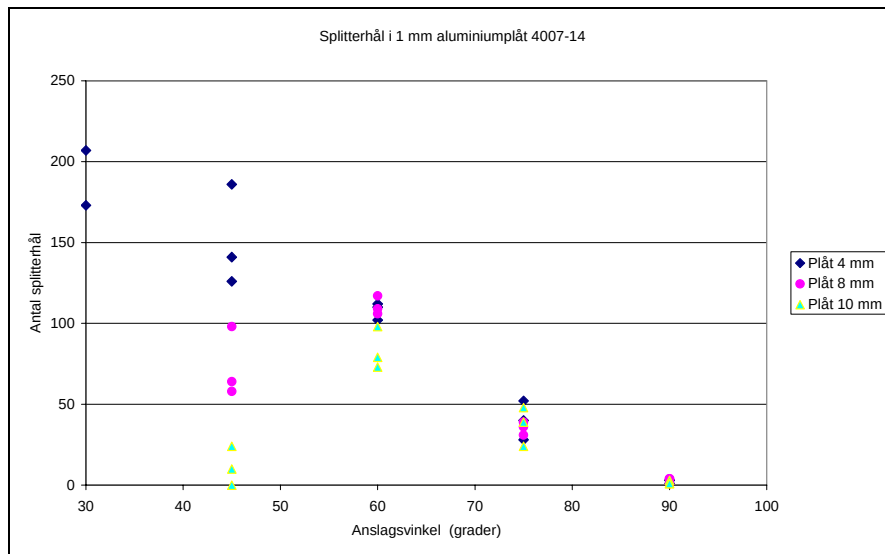


Figur 29. Hologrambild rekonstruerad med HeNe-laserljus (vänster) och med rubinlaserljus (höger).

3.8.2 Experiment

Utöver holografiarbetet har även en enklare experimentell försöksserie genomförts för att se hur antalet splitter bakom en målplåt varierar med målplåtens tjocklek och projektilens anslagsvinkel. Inte heller i detta fall görs någon skillnad mellan primär- och sekundärsplitter. Försöken genomfördes med en projektiltyp med i stort sett konstant anslagshastighet och målplåtar i olika tjocklekar av ett och samma material. Antalet hål,

och deras läge, i en vittnesplåt av aluminium, placerad 0,5 m bakom målplåten registrerades.



Figur 30: Antal splitterhål i vittnesplåtar.

I Figur 30 ses tydligt att då projektilen träffat vinkelrätt mot plåten (90°) bildas inga eller något enstaka splitter, då ett av hålen i vittnesplåten kommer från den kvarvarande projektilen. Den geometriska gångvägen genom plåten verkar inte vara avgörande, så länge som projektilen har tillräcklig restpenetrationsförmåga efter plåten, som i 75° fallet. Snedställning av plåten kan även medföra att projektilen splittras och därmed skapar flera splitterhål i vittnesplåten. I denna undersökning har splitter från målplåt och projektil inte separerats. Kraftig snedställning av målplåten, i kombination av tjock målplåt, medförde att projektilen inte alltid kunde perforera målet och komma ut på baksidan. Antalet hål i vittnesplåten har registrerats med hjälp av bildanalys av ett fotografi av vittnesplåten. Analysen gav även storleken och läget för respektive hål, vilket kan utgöra en grund för att uppskatta både splittrets storlek och splitterkonens utbredningsvinklar.

4 Värderingsverksamhetens framtid

Att verkans- och sårbarhetsvärderingar internationellt sett är en mycket viktig verksamhet framgår av att många nationer arbetar med egna (ofta hemliga) värderingsverktyg. Det svenska initiativet, från FMV, att sälja AVAL kommersiellt ger verktyget en särställning. Genom AVAL:s spridning och via användargruppen får Sverige del av små portioner av andra nationers problemställningar och arbetsmetoder, något som annars troligen vore svårt.

Under kalla krigets senare del var värderingsverksamheten (värdering av vapenverkan i mål på plattformsnivå) en stor verksamhet på dåvarande FOA. På grund av neddragningar och omprioriteringar försvann den allra största delen av verksamheten fram till början av 2000-talet, för att därefter sakta börjat återskapas. Tyvärr är det så att när verksamhet försvinner så försvinner även mycket av den kompetens som byggts upp under lång tid. Nu har Försvarsmakten pekat på värdering som ett prioriterat område men det har inte hindrat att personal som arbetat med värdering både inom industrin och inom myndigheterna (FOI och FMV) har letat sig till andra arbetsgivare. Den personalförlusten måste ersättas, men det kommer att ta tid innan ny personal har tillförskansat sig den erfarenhet som försvunnit bara det senaste året. I och med att personalstyrkorna minskar både inom FOI och FMV kan det i fler och fler fall krävas att personer som normalt inte direkt arbetar med värderingsfrågor måste stötta värderingsarbeten. Då kan den arbetsmetod som provades i delprojektet missionsanpassat skydd komma väl till pass.

Nationellt är behovet av data och underlag för värderingar väldigt tydligt, gällande t.ex. utslagskriterier för komponenter, initieringsdata för ammunition och prestanda för skyddspaneler och stridsdelar. Ett starkt ökande behov är riskvärderingar, både i samband med vapenanvändning och vid rövning av olika typer av ammunitionseffekter. Ytterligare behov av värdering bör komma då FMV strävar mot att arbeta med simuleringsbaserad upphandling, där produkttegenskaperna verkan och överlevnad måste värderas mellan olika system på något bra sätt.

Ett önskvärt scenario vore att en arbetsgrupp (gärna myndighetsgemensam) ansvarar för att ta fram och vidmakthålla mål- och vapenbeskrivningar till all plattformsmateriel som Försvarsmakten förfogar över samt ett stort bibliotek med beskrivningar av hotstridsdelar och hotmål. Då skulle den gruppen ha möjlighet att stötta FM:s internationella insatser genom att utifrån nyupptäckta hot snabbt kunna svara på hur den missionsaktuella materielen klarar dessa hot och i vissa fall även föreslå skyddsförbättringar av ”snabbfix” karaktär.

Ett annat område som skulle kunna stödjas av en stark värderingsverksamhet är logistiken. Idag (hösten 2007) pågår ett arbete med att skapa ett planeringsverktyg för logistikbehov där stridskostnader i form av utslagna plattformar är en av de delar som hanteras. Data för utslagning av plattformar är mycket grovt skattade och indelningen av hot mot plattformarna är ännu grövre. Om man till detta planeringsverktyg kunde skapa underlag med en hög upplösning skulle det t.o.m. var möjligt att skatta reservdelsbehov till plattformarna, inte bara utslagna plattformar.

Rätt använd kan värderingsverksamheten ge FM och FMV ett stort och framförallt nödvändigt kunskapstillskott och därmed ser framtiden för värderingsområdet mycket lovande ut. Verksamheten ser i dagsläget ut att ökar i omfattning. Under perioden 2000-2005 genomfördes ett antal sårbarhetsvärderingar av egna plattformar. Under projektets

genomförandetid har ytterligare minst en sårbarhetsvärdering genomförts samtidigt som minst en verkansvärdering och ett antal riskvärderingar genomförts. Fler och fler verkar se nyttan av att kunna värdera vapenverkan i olika typer av mål, t.ex. inom logistikområdet.

Bilaga: Sammanställning över utgivna rapporter m.m.

Amiree Rafiz Ahmed

Konvertering av målbeskrivningar från LMP3 till AVAL.

FOI-D--0263--SE

2006

Amiree Rafiz Ahmed

Målbeskrivning av TP84 (C-130 Hercules) för AVAL.

FOI-R--2093--SE

2006

Carlsson Jörgen, Hartmann Mats

Simulering av brand i samband med verkansvärdering.

FOI-R--2100--SE

2006

Carlsson Torgny

Mätning av splitterfördelning med skuggtomografi från cylindriska hologram

FOI-R--????--SE (under granskning 2007-12-20)

Collin Åke

Beskjutning av slsgr m/90 med finkalibriga AP-projektiler samt med RSV-laddning

FOI-RH--0665--SE HEMLIG/RESTRICTED

2007

Eriksson Irina

Sekundärsplitter: Experimentella metoder - en litteraturstudie.

FOI-R--2105--SE

2006

Eriksson Irina, Hartmann Mats

Method for assessing kill criteria for critical components in survivability codes.

FOI-S--2208--SE (3rd European Survivability Workshop)

2006

Harling Staffan, Tyrberg Andreas

Fragment injury assessment, a growing need for new criteria.

FOI-S--2237--SE (3rd European survivability workshop)

2006

Hartmann Mats

AVAL-beskrivning av ammunitionstransportfordon.

FOI Memo 1993

2007

Hartmann Mats

AVAL målkatalog 2007.

FOI-R--2256--SE

2007

Hartmann Mats

Exemplifierande simuleringar med AVAL.

FOI Memo 2122

2007

Hartmann Mats

Lägesrapport: Initiering av lagrad ammunition.

FOI Memo 1814

2006

Hartmann Mats

Målbeskrivning RG32M Galten för AVAL.

FOI-R--2090--SE

2006

Hartmann Mats

Scenariobeskrivning Missionsanpassat skydd.

FOI Memo1714

2006

Hartmann Mats

Vulnerability studies as part of accident investigations - a case study.

FOI-S--2205--SE (3rd European Survivability Workshop)

2006

Hartmann Mats (red.)

Missionsanpassat skydd.

FOI-R--2180--SE

2006

Hartmann Mats, Harling Staffan

Databas för utslagskriterier - en första version.

FOI Memo 2101

2007

Hartmann Mats, Tyrberg Andreas

Simuleringar av nedskjutningen av DC-3:an.

FOI-R--1969--SE

2006

Nordstrand Erik, Andersson Eva

Beskrivning av spelmetodik för projektet Missionsanpassat skydd.

FOI-D--0264--SE

2006