



Slutrapport för projektet Verkansvärdering 2003-2005

Gunnar Wijk, Mats Hartmann (red.)

FOI är en huvudsakligen uppdragsfinansierad myndighet under Förvarsdepartementet. Kärnverksamheten är forskning, metod- och teknikutveckling till nytta för försvar och säkerhet. Organisationen har cirka 1350 anställda varav ungefär 950 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, bedömningen av olika typer av hot, system för ledning och hantering av kriser, skydd mot hantering av farliga ämnen, IT-säkerhet och nya sensorers möjligheter.



FOI
Totalförsvarets forskningsinstitut
Vapen och skydd
147 25 Tumba

Tel: 08-555 030 00
Fax: 08-555 031 00

www.foi.se

Gunnar Wijk, Mats Hartmann (red.)

Slutrapport för projektet Verkansvärdering 2003-2005

Utgivare FOI - Totalförsvarets forskningsinstitut Vapen och skydd 147 25 Tumba	Rapportnummer, ISRN FOI-R--1796--SE	Klassificering Användarrapport
	Forskningsområde 5. Bekämpning och skydd	
	Månad, år November 2005	Projektnummer E2007
	Delområde 51 VVS med styrda vapen	
	Delområde 2	
Författare/redaktör Gunnar Wijk Mats Hartmann	Projektledare Gunnar Wijk	
	Godkänd av	
	Uppdragsgivare/kundbeteckning Försvarsmakten	
	Tekniskt och/eller vetenskapligt ansvarig	
Rapportens titel Slutrapport för projektet Verkansvärdering 2003-2005		
Sammanfattning <p>Värdering av verkan och sårbarhet för plattformar omfattar alla förekommande vapeneffekter, direkta såväl som indirekta. Många väsentliga effekter kan förklaras och beskrivas med realistiska modeller men likväl återstår många andra effekter vars beskrivning borde kunna förbättras väsentligt.</p> <p>Utveckling av värderingsteknik innebär studium av olika fenomen, framförallt de mindre väl förstådda. Detta sker genom att dels bevaka litteraturen på området, dels genomföra experiment, dels genomföra numeriska simuleringar. När väsentlig ny kunskap om relevanta händelseförlopp etablerats kan modeller skapas för framtida bruk och befintliga verktyg modifieras. Föreliggande rapport beskriver resultaten av sådan utveckling vid FOI under perioden 2002-2005 inom skilda områden.</p> <p>Förståelsen har ökat inom de studerade områdena och medfört förslag till ny experimentell verksamhet. Fortsatt sådan utveckling är nödvändig för att bibehålla och vidareutveckla kompetens om verkansvärdering inom FM.</p>		
Nyckelord Verkansvärdering, sårbarhet, modeller		
Övriga bibliografiska uppgifter	Språk Svenska	
ISSN 1650-1942	Antal sidor: 29 s.	
Distribution enligt missiv	Pris: Enligt prislista	

Issuing organization FOI – Swedish Defence Research Agency Vapen och skydd 147 25 Tumba	Report number, ISRN FOI-R--1796--SE	Report type User report
	Programme Areas 5. Strike and protection	
	Month year November 2005	Project no. E2007
	Subcategories 51 Weapons and Protection	
	Subcategories 2	
Author/s (editor/s) Gunnar Wijk Mats Hartmann	Project manager Gunnar Wijk	
	Approved by	
	Sponsoring agency Swedish armed forces	
	Scientifically and technically responsible	
Report title (In translation) Final report Vulnerability assesment project 2003-2005		
Abstract <p>Assessmeent of effects and vulnerability of platforms concerns all existing weapons' effects, direct as well as indirect. Many important phenomena can be explained and described with realistic models, but still many other phenomenon descriptions remain to be improved</p> <p>Development of assessment technique involves investigation of different phenomena, particularly those that are less well understood. This is achieved partly by following the literature of the field, partly by carrying out experiments and partly via numerical simulation. When significantly new knowledge about relevant matters are established, then models are designed for future use and existing tools are modified. The present report summarises such work at FOI during the period 2002-2005 within various areas.</p> <p>The understanding of the investigsated areas is increased and has resulted in proposals for new experimental work. Such continued development is necessary in order to maintain and broaden competence about assessment of effects and vulnerability within FOI.</p>		
Keywords Assessment, effects, vulnerability, models		
Further bibliographic information	Language Swedish	
ISSN 1650-1942	Pages 29 p.	
	Price acc. to pricelist	

Innehållsförteckning

1	Inledning	2
2	Områdesvis redovisning av genomfört arbete	3
2.1	Modeller för penetration och sekundärsplitter	3
2.2	Vapenverkan i sjömål	8
2.3	Inledande studie av ammunitionsinitiering	12
2.4	Verkan i ballistiska robotar, inledande studie	13
2.5	Experimentella undersökningar av 40 mm granater	15
2.6	Brand	16
2.7	Värderingsarbete inklusive mål-, vapenbeskrivningar och simuleringar med AVAL	19
2.8	Metodik för utslagskriteriesättning	21
2.9	Litteraturstudier: Sekundärsplitter	23
3	Konferensdeltagande	25
	Bilaga: Sammanställning över skriftlig dokumentation	26

1 Inledning

Den för projektet primära målsättningen har varit att skapa grundläggande, fysikalisk förståelse för de olika verkansformer som kan kopplas till konventionella stridsdelar samt att, utgående från detta, utveckla/vidareutveckla fysikaliskt baserade och experimentellt validerade modeller för beskrivning av interaktion mellan stridsdelar och plattformar/mål. Sådana modeller kan användas i olika sammanhang då verkans- och sårbarhetsunderlag efterfrågas, exempelvis inom FM studier och vid projektering/anskaffning av nya vapen- och plattformssystem. Den primära frågeställningen är:

- Hur kan värdering av vapen/skyddseffekt förbättras?

Verkansvärdering skall omfatta alla typer av verkan, men projektets resurser begränsar naturligtvis omfattningen. Följande områden har behandlats:

- Penetration och/eller perforation av målplåtar samt sekundärsplitterbildning i samband med perforation
- Rikoschetter
- Initiering av ammunition.
- Närverkande explosioners potential att bryta fartygsskrovs vattentäta integritet.
- Vapeninducerad degraderad skrovstyrka i fartyg.
- Brandtillväxt och brand i korridorstrukturer
- Verkans- och sårbarhetsstudier med AVAL
- Metodik för kriteriesättning av komponenter med avseende på utslagning
- Konvertering av ComputerMan från Silicon Graphics till PC.

Det utförda arbetet har i första hand dokumenterats i form av FOI-rapporter samt externa publikationer, se bilaga. Rapporterna är ofta teoretiska med mer eller mindre avancerade matematiska beskrivningar av aktuella fenomen. De genomförda arbetena och resultat sammanfattas områdesvis nedan.

Liksom inom andra forskningsområden innebär väsentliga resultat normalt inte bara ökad förståelse utan också nya problemställningar. Sålunda initierades den nu redovisade verksamheten i stor utsträckning under tidigare projekt. Många områdeskapitel innehåller därför förslag till fortsatt verksamhet. I några fall har användbara idéer uppkommit så sent att arbetet ännu inte nått ett stadium som motiverar skriftlig redovisning.

Praktisk nytta av forskningsresultat fås när de tillämpats i samband med utveckling av ny teknik eller nya produkter. Men innan dess kan ökad förståelse av fysikaliska fenomen och samband mellan orsak och verkan vara nog så nyttiga.

2 Områdesvis redovisning av genomfört arbete

Nedan sammanfattas de arbeten och därav följande resultat områdesvis.

2.1 Modeller för penetration och sekundärsplitter

Gunnar Wijk

2.1.1 Bakgrund

När projektiler tränger igenom hårda material alstras sekundärsplitter som kastas ut inom en konisk sektor runt projektilens utträdesriktning. Dessa splitter kan orsaka skador på vitala komponenter bakom det genomträngda materialet. Följaktligen måste produktion av sekundärsplitter modelleras för att projektilverkan skall kunna värderas. När sega material perforeras bildas istället en krage eller en plugg som följer med i projektilriktningen.

När projektilens diameter d är stor i jämförelse med målmaterialets tjocklek h kan produktion av sekundärsplitter alternativt bildning av plugg och/eller krage anses ske i omedelbar anslutning till att projektilen träffar målet. När däremot h är betydligt större än d sker först ett inträngningsförlopp som inte åstadkommer något synbart bakom målet.

När projektilens träffhastighet är tillräckligt stor för att åstadkomma genomträngning kommer projektilens inträngningsmotstånd till att börja med att vara ungefär konstant, men på något avstånd h^* från projektilen nos till målets baksida kommer det plötsligt att åtgå mindre kraft för att det återstående (hårda eller sega) materialet framför projektilen skall krossas till sekundärsplitter alternativt deformeras till en plugg-och/eller-krage.

När projektilers träffhastigheter är rejält större än den minsta hastighet v_{\min} som behövs för att åstadkomma genomträngning får sekundärsplittren (alternativt pluggarna) utgångshastigheter av samma storleksordning som projektilens återstående hastighet. Skador som sekundärsplitter kan åstadkomma ökar naturligtvis med splittrehastigheterna. Följaktligen måste en modell för verkan av sekundärsplitter vara intimt kopplad till modeller för stela och eroderande projektilers in- och genomträngning av hårda mål.

Ovanstående kvalitativa beskrivning torde vara tämligen okontroversiell, men att omsätta densamma till en matematiskt kvantitativ modell för värdering av verkan och sårbarhet är inte trivalt. Det är förvånande att litteraturen inom området knappast alls tycks ha ägnats åt kopplingen från penetration-och-perforation till produktion av en svärm av sekundärsplitter. Det finns mängder av artiklar och böcker, i första hand beträffande penetration-och-perforation, men också beträffande sekundärsplitter, men kopplingen är (som sagt) närmast obeaktad. Det är naturligt att börja med att specificera en modell för det förstnämnda och sedan ansluta en modell för det andra.

2.1.2 Projektilinträngning

Det är ett välkänt experimentellt faktum att ökande hastighet för eroderande projektiler innebär att håldiametern ökar ungefär proportionellt mot hastigheten medan motsvarande ökning av det slutliga inträngningsdjupet är marginell.

En modell för eroderande projektilers inträngning i fasta (hårda såväl som sega) material där håldiametern ingår som en viktig parameter (något som inte hanterats i tidigare "hydrodynamiska" modeller) har tagits fram. Denna modell utgår från det experimentella faktum att håldiametern är proportionell mot projektilhastigheten samt att inträngningsmotståndet ökar från ett mindre initieellt värde till ett konstant slutvärde. Eftersom hålets tvärsnittsarea ökar med projektilhastigheten i kvadrat blir det slutliga håldjupet i princip proportionellt mot den för hållproduktion tillgängliga rörelseenergin hos projektilen, dvs. samma kvalitativa resultat som för de "hydrodynamiska" modellerna.

Vid höga projektilhastigheter eroderas projektiler praktiskt taget fullkomligt, varvid projektilmaterialet efteråt återfinns som en tunn beläggning längs hålväggen vars diameter är större än projektildiametern. Det ligger då mycket nära till hands att antaga att erosionen av projektilen, vilken sker från nosändan, motsvaras av mycket stor plastisk deformation i ett tunt skikt närmast hålbotten. Plastisk deformation innebär lokal värmeutveckling när atomplanen i materialet skjivas mot varandra. Vid tillräckligt stora lokala skjuvningar blir motsvarande temperaturökningar så stora (processen är så hastig att värmeledning kan försummas) att projektilmaterialets smältpunkt nås, varvid också projektilmaterialets hållfasthet försvinner i nosskiktet. Detta innebär att en (närmast) fullständig projektilerosion motsvaras av att den värmemängd som behövs för att smälta projektilen tas från dess rörelseenergi och att resterande rörelseenergi är tillgänglig för hållproduktion i målet. Energibevarandevillkoret, en av fysikens absoluta grundstenar, ger då det återstående samband som behövs för att, i kombination med samma geometri- och projektilbromsningsvillkor som för de ”hydrodynamiska” modellerna, bestämma inträngningsförloppet

Om projektilmaterialets hållfasthet är tillräckligt mycket större än målmaterialets hållfasthet kan projektilen tränga in som en stel kropp. I detta fall blir håldiametern lika stor som projektildiametern och ingen rörelseenergi åtgår till att erodera projektilen. Följden blir ett avsevärt större slutligt hålldjup. Emellertid retarderas den stela projektilen inte bara av inträngningsmotståndet vid nosen utan också av friktion längs bakkroppen. En del av denna friktionseffekt värmer projektilmaterialet, varvid dess hållfasthet således minskar med ökande inträngningsdjup. Följaktligen kan en projektil börja tränga in som en stel kropp för att sedan plötsligt övergå till att vara en eroderande projektil. Håldiametern är således lika med projektildiametern från ytan och in till ett visst djup där den plötsligt ökar till ett större värde.

Projektiler kan alltså vara antingen stela eller eroderande eller börja som stela och övergå till att vara eroderande. Vad som gäller beror på projektil- och målmaterialens tätheter och hållfastheter, på projektilhastigheten samt på friktionsmotståndet för stela projektiler. Beskrivning av dessa olika förhållanden inom ramen för en och samma modell måste betraktas som ett stort framsteg. En ledande forskare har efterlyst en sådan modell, varvid han kallade problemet *The holy grail of penetration mechanics: When does a projectile penetrate as a rigid body and when does it erode, and what is the velocity that demarcates the two regimes?*¹. Den nya modellen löser detta problem genom att ersätta det ”hydrodynamiska” antagandet med energibevarandevillkoret i kombination med det experimentella (och intuitivt mycket naturliga) sambandet mellan momentan projektilhastighet och håldiameter för eroderande projektiler.

2.1.3 Projektilgenomträngning med sekundärsplitterbildning

Den teoretiska modellen bygger på villkoret att bromskraften på projektilen ändras kontinuerligt under penetrations-och-perforationsförloppet.

Modellen ger naturligt och ganska enkelt totalvolymen sekundärsplitter samt den minsta rörelseenergi som projektilen måste ha för att producera denna volym. Skillnaden mellan projektilens rörelseenergi när den träffar målet och minimienergin kommer att fördelas som rörelseenergi hos den utgående projektilen och splittren. Denna fördelning samt fördelningen av totalvolymen splitter i individuella splitters volymer, rörelseriktningar och hastigheter kan knappast förutsägas teoretiskt. Genom lämpliga experiment kan dock vissa representativa fall undersökas kvantitativt. Sådana undersökningar är mödosamma och kostnadskrävande samt resulterar alltid i att utvärderade storheter visar stor spridning. Det senare är tacksamt så till vida att en empirisk modell som baseras på sådana resultat alltid kommer att ganska realistisk, åtminstone om man konstruerar densamma så att beräkningarna inte ”spårar ur” när ingångsdata är mycket mindre eller mycket större än de undersökta

¹ J. D. Walker, New directions and new challenges in analytical modelling of penetration mechanics, American Physical Society, Shock Compression of Condensed Matter Meeting, June 24-29, 2001, Bulletin of the American Physical Society, Vol. 46, No. 4, abstract #C5.004

intervallerna för dessa data. En sådan empirisk modell har konstruerats inom ramen för projektet genom jämförelse med vissa publicerade data.

Modellen innebär ett stort framsteg i jämförelse med andra modeller som används idag. Två skäl till detta påstående är att modellen baseras på att sekundärsplittervolymen skall motsvaras av det hål som splittren lämnar efter sig, dvs. att massbevarande är uppfyllt, samt att energibevarandevillkoret också är uppfyllt. Dessa två grundläggande fysikaliska villkor beaktas sällan i andra modeller, åtminstone inte samtidigt. Ett tredje grundläggande villkor är att impulsen (rörelsemängden) skall bevaras, men detta sätts delvis ur spel när en av de ingående massorna, i detta fall målet, är "oändligt" stor. Således kan impuls förloras i processen till den "oändliga" massan (egentligen förloras den inte men motsvarande hastighet är omätbart liten) men inte skapas, dvs. summan av sekundärsplittrens och den utgående projektilens impulser måste vara mindre än den inkommande projektilens impuls. Den föreslagna modellen beaktar detta tredje villkor men det gör inte många av de modeller som används idag.

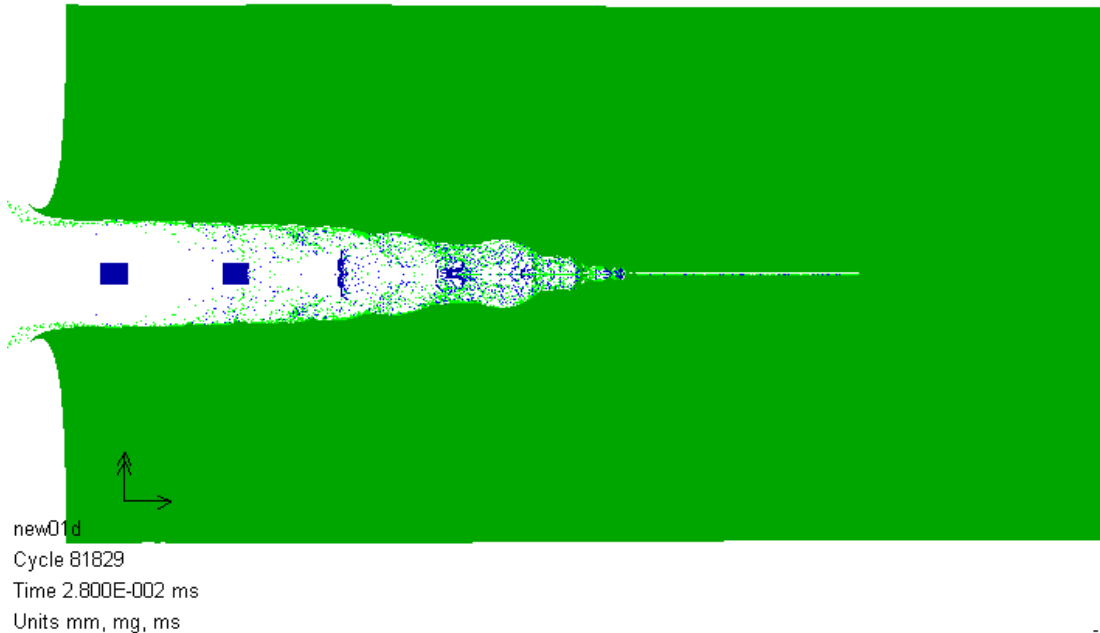
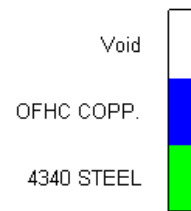
2.1.4 Genomträngning och sekundärsplitterproduktion med RSV

Ett karaktäristiskt drag för in- och genomträngning med RSV är att hålet är koniskt och störst vid ytan där det främsta strålelementet träffat målet. Detta överensstämmer med eroderande projektiler, nämligen att håldiametern ökar med projektilhastigheten. På grund av hastighetens variation längs strålen splittras den upp i element, vars längder är någon eller några få gånger större än elementens diameter. Ju längre strålen får färdas i den fria luften, desto större blir avstånden mellan strålelementen.

Ett annat karaktäristiskt drag för inträngning med RSV-strålar är att det slutliga inträngningsdjupet P har ett maximum som funktion av "stand-off"-avståndet S , dvs. avståndet mellan stridsdelen och målet vid detonation. Avtagandet för P med ökande S är således markant och förklaras i den gängse litteraturen med att strålen divergerar och att strålelementen roterar, trots att inga röntgenblixtfotografier (för strålar av hög kvalitet) validerar detta. Således måste en alternativ förklaring sökas. Här kommer jämförelsen med "vanliga" eroderande projektiler väl till pass. När senare RSV-strålelement rusar genom ett koniskt hål mot dettas botten så virvlar de eroderade resterna av tidigare strålelement runt i hålet. Så länge avstånden mellan elementen är noll eller små är sannolikheten liten för att eroderade rester av tidigare element skall råka hamna mellan de senare (intakta) elementen, dvs. det slutgiltiga håldjupet P ökar med S på grund av strålens töjning. När avstånden mellan elementen börjar bli större än elementlängderna kan emellertid de betydligt långsammare eroderade resterna av tidigare element med väsentlig sannolikhet befinna sig i vägen för senare element som ännu inte nått hålbotten. När detta inträffar eroderas ett element vid främre ytan varje gång det träffar en eroderad partikel. En numerisk simulering av detta förlopp med Autodyn validerar denna kvalitativa modell. Figur 1 visar situationen när det 18:de elementet just passerat målets yta. Erosionen av det 17:de elementet kan ännu bara skönjas men den är nästan fullständig för 16:de och 15:de elementen.

Trots sin naturliga enkelhet förefaller ovanstående förklaring av RSV-strålars stand-off-beroende inträngningsförmåga vara ny. En realistisk modell för detta fenomen bedömdes tidigt vara en nödvändig förutsättning för att kunna föreslå en modell för hur sekundärsplitter producerades i samband med genomträngning. I och med att RSV-strålars in- och genomträngning kunde modelleras med utgångspunkt från beteendet för "vanliga" eroderande projektiler kunde också sekundärsplitterbildningen med de senare modifieras till att gälla för RSV-strålar.

Några experimentella försök har gjorts i egen regi, varvid i första hand totalvolymen av sekundärsplitter har bestämts och visat att modellen ger kvantitativt acceptabla resultat. Vidare har röntgenblixtfotografering utförts för att få en grov uppfattning om sekundärsplittrens rörelseriktningar och motsvarande hastigheter.



Figur 1: Numerisk simulering av inträngning av en RSV-stråle om 20 element, vardera med diametern 2 mm och längden 2.5 mm. Det första elementets hastighet är 8.0 km/s och det sistas är 2.0 km/s. Det 18de elementet har just passerat målets yta och erosionen av det 17de elementet har nått och jämt börjat.

2.1.5 Fortsatt verksamhet

Modellerna för fördelningen av totalmassan av sekundärsplitter som individuella splitter samt motsvarande rörelseriktningar och hastigheter borde valideras i större utsträckning än vad som hittills skett. Därmed skulle skapandet av indata till exempelvis den nuvarande modellen i verkansvärderingsverktyget AVAL kunna ske med betydligt större tillförlitlighet.

Det bör vara möjligt att utveckla (och förhoppningsvis också validera) modellerna till att omfatta sneda infallsriktningar. Sannolikt måste dock sådana modeller vara mera empiriskt baserade, men eftersom de skall anslutas "kontinuerligt" till normalriktningsfallen kommer de ändå att vara fysikaliska i väsentlig grad. En särskild utmaning i detta problem är att inkorporera rikoschetter på ett "kontinuerligt" och fysikaliskt rimligt sätt. Det finns redan såväl en del publicerade som egna experimentella resultat att utgå från när det gäller snett infall och rikoschett.

2.1.6 Nyttä för FM

Med de nya modellerna kan, åtminstone i princip, in- och/eller genomträngning med alla kombinationer av projektiler samt fasta och hårda målmaterial beskrivas med begripliga fysikaliska storheter och samband. Eftersom modellerna inte baseras på hastighetsberoende hållfasthet är skalning enkelt tillämplig, dvs. prov i liten skala ger samma information som fullskaleprov (vätskemål beskrivs emellertid med andra fysikaliska grundekvationer där projektilens inträngningsmotstånd beror på dess hastighet). Detta innebär att när nya kombinationer, dvs. nya projektiler mot gamla målmaterial eller gamla projektiler mot nya målmaterial, blir aktuella kan resultaten beräknas med (åtminstone hygglig) tillförlitlighet samt vid behov valideras i liten skala (dvs. till relativt liten kostnad), i stället för att, som fallet är idag, göra omfattande provskjutningar.

Tillförlitlig värdering av verkan och sårbarhet är fundamentalt för FM studier, materialförsörjning och utbildning. Den sannolikt mest frekventa verkansformen torde vara in- och genomträngning av projektiler och liknande i såväl skydd som vitala komponenter.

2.2 Vapenverkan i sjömål

Linus Fast

2.2.1 Bakgrund

En del av kompetensgruppen för verkansvärdering har under senare år svängt om fokus från värdering av sjömålsvapens verkan i fartyg till att mer studera metoder för värdering av skyddstekniker för ökad överlevnadsförmåga hos befintliga och framtida fartyg. Drivande för dessa arbeten har dels varit avtappande stöd till FMV projektet YS Ny (Nytt Ystridsfartyg) och dels behov av att kunna värdera koncept för basskydd ("force protection") i främmande hamnar vid internationella insatser. Två belysande exempel på relevanta hot ges i Figur 2 och Figur 3.



Figur 2: Rainbow Warrior sänkt i Auckland, 1985³



Figur 3: USS Cole attackerad i Aden, 2000⁴

2.2.2 Utfört arbete

En del av arbetet har särskilt studerat effekter av närverkande undervattensladdningar. Detta arbete genomfördes i samarbete med en kompetensgrupp för undervattensvapen inom FoT-område 9. Arbetet kan sägas haft tre delmål:

- Generellt sammanfatta kunskapsläget avseende undervattensverkan m.h.t. de förekommande verkansformer som kan relateras till undervattensexlosioner. I den publicerade rapporten finns en tämligen fyllig redogörelse för de fysikaliska processer som kopplar sig till undervattensdetonik samt hur verkansformerna uppkommer och verkar. Verkansformerna är stötverkan, böjsvängning, kolvverkan och kontaktverkan
- Att sammanställa empiriska verkansavstånd för explosionsinducerade genomslag av fartygs bordläggningar (lokal skrovkollaps).
- att utvärdera och jämföra för- och nackdelar med kontinuumdynamiska modeller och traditionella "verkansvärderingsmodeller" för tillämpade studier av fartygs sårbarheter mot närverkande undervattensexlosioner

Sammanfattningsvis kan man konstatera att kontinuumdynamiska modeller är bäst lämpade för detaljerade studier av skademekanismer vid lokal skrovkollaps samt att integrerade verkansvärderingsmodeller typ AVAL krävs för att kunna värdera de globala effekterna av en attack. För värdering av närverkande undervattensexlosioners potential att bryta fartygsskrovs vattentäta integritet har utförda kontinuumdynamiska simuleringar påvisat ett stort behov av experimentella underlag för att stöda modellutveckling så att extrem plasticering, t.o.m. skrovgenomslag på adekvat sätt skall kunna predikteras.

Mot detta behov av experimentellt underlag genomfördes en begränsad experimentell studie med närverkande laddningar mot spantade stålpaneler, Figur 4.

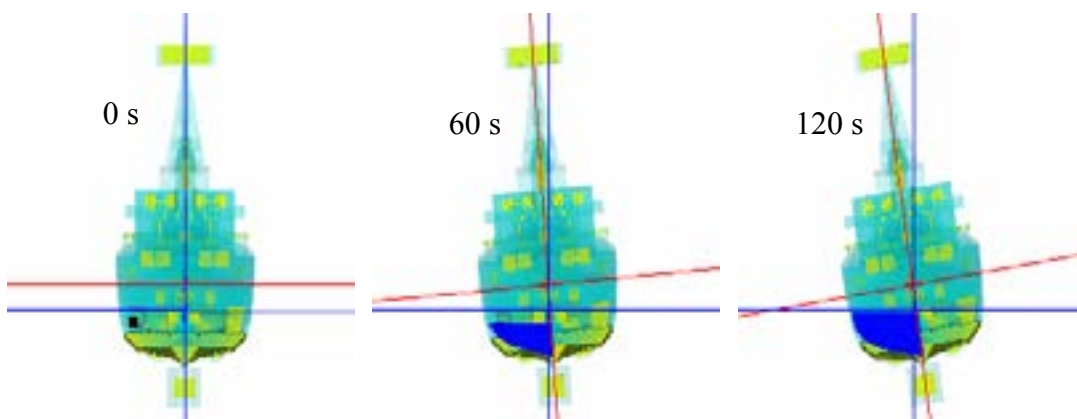
³ <http://french.epochtimes.com/news/5-6-28/2070.html>

⁴ http://en.wikipedia.org/wiki/USS_Cole_bombing



Figur 4: Experiment mot spantad stålpanel och jämförande kontinuumdynamisk simulering

I fall då man, antingen via kontinuumdynamiska simuleringar eller på annat sätt kan prediktera att skrovgenombrott uppkommer kan det följande förloppet studeras i AVAL. Härvidlag studeras sekundära verkansformer som vatteninströmning samt den totala verkan på fartyget (utslagning av tekniska system och fartygets operativa förmågor). Figur 5 visar exempelvis hur vatteninströmning, med dess påverkan på flytbarhet och stabilitet i AVAL kan följas i tiden.



Figur 5: Vatteninströmning i bekämpat mål.

Utöver det ovan nämnda har en total översyn av olika beräknings- och värderingsmodellers tillämpbarhet vid sårbarhetsanalyser av sjömål genomförts. Det hade, inte minst från studier relaterade till YS Ny-projektet, framförts att oklarheter förelåg avseende olika modellers möjligheter och begränsningar att bemöta olika önskade analyser. Främst gällde detta värdering av tunga sjömålsvapens verkan i fartyg.

Mot denna anledning genomfördes en omfattande studie, liknande den som utförts för närverkande undervattensexlosioner. Nu togs ett helhetsgrepp omfattande tunga sjömålsvapen, såväl över som under ytan. Dock lades fokus på värdering av tunga sjömålsrobotar.

Initialt konstaterades bl.a. att tryckverkansmodeller i AVAL ej är fullt ut tillämpbara för värdering av robotar. Detta då AVAL primärt analyserar skador på vitala systemkomponenter, med dess efterföljande konsekvenser i form av degraderad eller t.o.m. utslagning av tekniska system och operativa förmågor. I fallet sjömålsrobotars verkan i fartyg är det emellertid så att den primära funktionen är att slå direkt på målets skrovstruktur, att bryta sönder de lastbärande konstruktionselementen i fartyget så att resthållfastheten understiger de normalt förekommande belastningar som kommer sig av skillnader mellan fartygets vikts- och displacementsfördelningar, våglaster m.m. Figur 6 visar ett verkligt exempel på tung sjömålsrobots verkan och Figur 7 resultatet av en AVAL-simulering av en annan sjömålsrobots verkan i ett mål.



Figur 6: Verkan av stridsdel för tung sjömålsrobot⁵



Figur 7: AVAL-simulering av tung sjömålsrobots verkan (tryckutbredning).

Vid en jämförelse mellan Figur 6 och Figur 7 framgår att AVAL klarar av att lokalt hantera strukturell kollaps i t.ex. tvärskeppsskott, ledande till att tryckutbredning erhålles i ett flertal sektioner av fartyget. Däremot ger AVAL inte svaret att hela fartygsskrovet fullständigt har kollapsat, vilket borde varit fallet (jämför med Figur 6).

Sammantaget var de väsentliga slutsatserna av detta arbete att:

- Kontinuumdynamiska modeller för beräkning av vapeninducerade skrovstrukturresponser är direkt applicerbara och används redan idag inom sårbarhetsstudier av nya ytstridsfartyg
- Dessa modeller kräver stora datorresurser, varför det ej ännu är görligt att simulera globala effekter i hela skrovstrukturer. Vidare krävs vidareutveckling av modellerna, främst avseende kriterier för strukturell kollaps (brottmekanik)
- AVAL hanterar i stort sätt samtliga relevanta verkansformer (splitter, tryck etc.), med några viktiga undantag: utbredd stötverkan och degraderad skrovstyrka/skrovkollaps, orsakade av inombords explosioner

Vidare presenteras ett förslag på hur man i AVAL, på kort och lång sikt, kan hantera degraderad skrovstyrka/skrovkollaps. Dessa förslag bygger på:

- Felträdsbaserad metod för värdering av degraderad skrovstyrka och resthållfasthet
- Direkta hållfasthetsberäkningar, utgående från en beräkningsmodell för simuleringar av böjsvängningar orsakade av undervattensexlosioner

2.2.3 Fortsatt verksamhet:

- Fördjupade scenariobaserade analyser av fartygs sårbarheter vid internationella insatser, t.ex. risker vid beskjutning med, för sjömålsbekämpning, otraditionella vapen som pv-vapen, IEDs m.m. Analyserna bör även belysa potentiella skyddskoncept.
- Fördjupade värderingar av nya, internationellt förekommande, skyddsprinciper som "blast resistant bulkheads", "box-girders", "water mist explosion suppression" m.m.

⁵ Marinens robotvapensystem - precision och verkan, Ronnie Lindahl, FMV Vapen, april1998

- Framtagande av förbättrade modeller för olika verkansformer, för införande i AVAL (främst tryckverkan)
- Experimentella valideringar av befintliga och framtida modeller för olika verkansformer (främst tryckverkan)

2.2.4 Nyttan för FM

Delar av arbetet har utnyttjats i som stöd till FMV projektet YS Ny (Nytt Ystridsfartyg). Att kunna värdera koncept för basskydd ("force protection") i främmande hamnar vid internationella insatser är viktigt både för personal och materiel.

2.3 Inledande studie av ammunitionsinitering

Anders Tjernberg

2.3.1 Bakgrund

Vid värderingar av vapenverkan i plattformar spelar eventuell initiering av lagrad ammunition en stor roll. Tyvärr är det svårt att ansätta värden för initiering av ammunitionen som funktion av olika penetratorers prestanda. Därför har en studie om initiering av ammunition inletts.

2.3.2 Utfört arbete

Simuleringar har utförts mot sprängämnen TNT, Oktol och Comp. B utan hölje. Jämförelser har även gjorts mot tidigare experiment. Syftet har varit att klarlägga om den kritiska projektilhastigheten då initiering av detonationen sker stämmer med experimenten.

Simuleringarna visar att för TNT stämmer resultaten mycket väl med experimenten. För Oktol och Comp. B uppnåddes inte en lika bra överensstämmelse. Avvikelserna beror sannolikt på små skillnader i sammansättningen av sprängämnen i experimenten, jämfört med de sprängämnen för vilken materialparametrarna tagits fram. Antagligen är det svårt att ta fram noggranna materialdata eftersom så många parametrar måste bestämmas.

Simuleringar verkar vara ett användbart verktyg för att bestämma den kritiska projektilhastigheten. Nackdelen är att tillförlitliga materialparametrar saknas för många sprängämnen. Det tycks även som om det i de flesta fall krävs kalibrering med praktiska skjutförsök för att med någon större säkerhet fastställa den kritiska hastigheten. Simuleringar kan emellertid vara användbara vid relativa jämförelser, till exempel hur mycket ökar eller minskar den kritiska hastigheten om ett hölje omsluter sprängämnet.

2.3.3 Fortsatt verksamhet:

- Ta fram parametrar i Lee-Tarvers tillståndsekvation för nyare typer av explosivämnen.
- Göra mera initieringssimuleringar framförallt av explosivämnen med hölje för att öka kunskapsnivån.

2.3.4 Nyttan för FM:

Nyttan är bättre indata till verkansvärderingsprogrammet AVAL och därmed säkrare värderingsresultat.

2.4 Verkan i ballistiska robotar, inledande studie

Andreas Tyrberg

2.4.1 Bakgrund

Av de hot som ett framtida försvar kan tänkas stå inför är ballistiska robotar mycket svårbekämpade ur vapenteknisk synvinkel. I USA läggs stora resurser på utveckling och anskaffning av vapensystem för bekämpning av ballistiska robotar. Även i Ryssland, Israel och flera europeiska länder utvecklas egna system (alternativt modifieras amerikanska system) för att kunna möta detta hot.

Ballistiska robotar kan generellt sägas ha låg träffnoggrannhet vilket begränsar deras användning som taktiska vapen på det konventionella slagfältet. Deras stora potential är istället som terrorvapen. Det som gör hotet från ballistiska robotar särskilt allvarligt är möjligheten att förse dem med massförstörelsevapen.

För att kunna värdera verkan i ballistiska robotar måste nya fenomen och förlopp studeras som inte förekommer vid värdering av mer ordinära system. Det som främst särskiljer värdering av verkan i ballistiska robotar är de höga relativa hastigheterna mellan vapen och mål samt de ofta unika utformningarna av både mål och bekämpningsvapen.

2.4.2 Utfört arbetet

En beskrivning av ballistiska robotar, olika typer av stridsdelar samt system för bekämpning har tagits fram. Dessutom har en inledande studie genomförts kring några av de förlopp som för denna typ av mål ofta är unika. Fokus ligger på slutfasen av bekämpningen, dvs. interaktionen mellan bekämpningsvapen och mål och då främst robotar utrustade med BC-stridsdelar. Följande fall har studerats genom litteraturstudier, simuleringar och beräkningar:

- Hur höga hastigheter inverkar på penetrationsförloppet.
- Hur höga relativa hastigheter påverkar möjligheten för användning av ordinära splitterstridsdelar.
- Hur vätskefyllda behållare påverkas när de träffas av olika typer av projektiler.

2.4.3 Fortsatt verksamhet

De inom detta arbete studerade frågorna är främst inriktade på slutfasen vid en bekämpning, dvs. interaktionen mellan vapnets stridsdel och mål. Flera frågor kvarstår och fördjupade studier inom de områden som har studerats är också nödvändiga. Nedan diskuteras förslag på fortsatt verksamhet och några viktiga kunskapsluckor belyses.

Penetrations- och perforationsförloppet vid höga hastigheter har studerats utifrån en litteraturstudie. De områden där de största kunskapsluckorna finns är främst vilka effekter smältning och förångning får på substridsdelar och/eller andra komponenter inuti roboten. Huruvida det finns möjlighet att slå ut dessa och vilka förutsättningar som i så fall krävs för detta är några av många intressanta frågeställningar. Beroende på ambitionsnivå skulle vidare arbete dels kunna bestå i fördjupade litteraturstudier men med ambition till en mer djupgående förståelse krävs egna slutballistiska experiment.

För att i AVAL kunna genomföra kompletta värderingar, av den typ som görs av vanliga system, krävs utökad underlag och ökad förståelse av interaktionsprocesserna vid höga hastigheter. Nya modeller som beskriver de fenomen som uppstår vid höga interaktionshastigheter måste utvecklas och implementeras i AVAL.

Den kanske viktigaste frågan, som inte behandlats inom denna studie, kvarstår. Vad är restverkan från en bekämpad ballistisk robot? Några centrala frågor för att kunna bedöma restverkan är:

- Vad händer med BC-agenser när de utsätts för de höga och kortvariga tryck som uppstår då BC-behållare träffas? Förstörs de eller klarar de sig?
- Hur sprids olika typer av vätskor vid de korta och snabba förlopp som här är aktuella? Hur påverkar atmosfärstryck och hastighet spridningen?

Om inte restverkan kan bedömas är det inte möjligt att dra slutsatser om ett bekämpningssystem är framgångsrikt eller ej. Ska t.ex. alla substridsdelar slås sönder eller riskerar detta att förvärra spridningen mot om roboten inte bekämpades? Är det bättre att försöka slå sönder robotens tändsystem så att endast ett litet område kring nedslagsplatsen riskerar att förorenas?

Framtida studier bör även innefatta verkan i kärnvapen samt konventionella stridsdelar.

2.4.4 Nyttan för FM

Något direkt hot från ballistiska robotar bedöms idag inte föreligga mot Sverige. Vid en framtida förändrad omvärldsbild/säkerhetspolitiskt läge kan dock sannolikheten för en insats mot Sverige öka. Att bygga upp en grundläggande kunskap inom detta område är en förutsättning för att kunna följa den internationella utvecklingen och kunna analysera konsekvenser för den nationella säkerhetspolitiken. Grundkunskap skapar också en handlingsfrihet för att kunna hantera ett eventuellt framtida förändrat säkerhetspolitiskt läge.

Resultat från detta arbete har använts inom försvarsmaktsstudien *Målbild Lv- efter 2014*.

2.5 Experimentella undersökningar av 40 mm granater

Rafiz Amiree

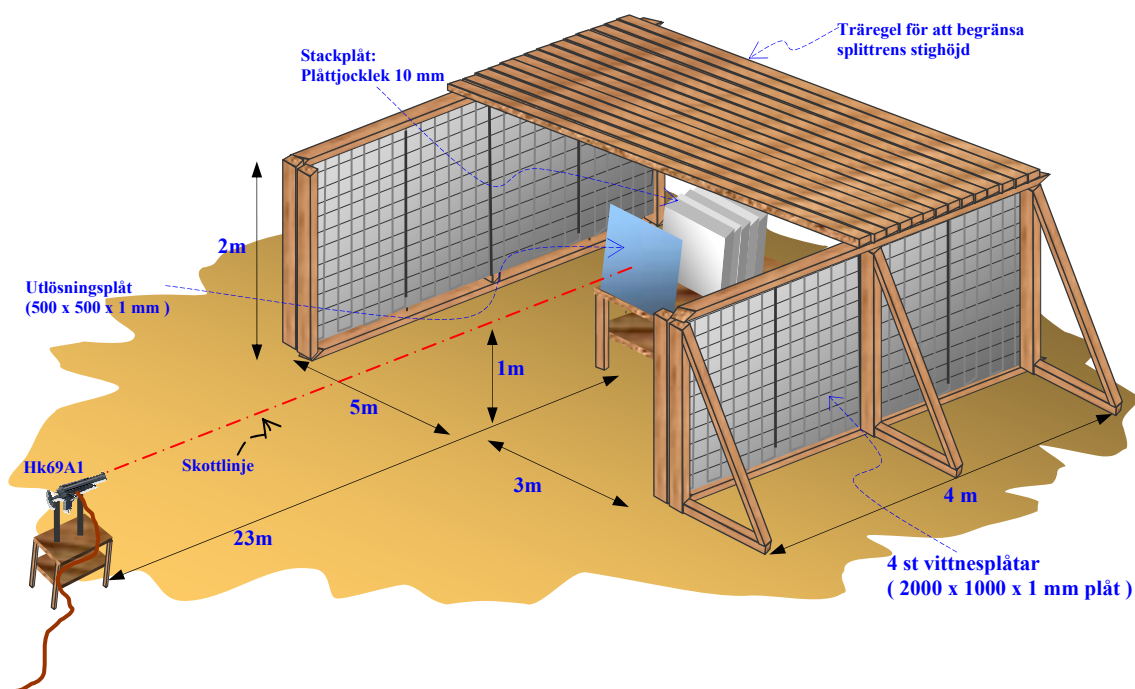
2.5.1 Bakgrund

För att kunna jämföra teorier/modeller med verkliga resultat måste experimentella studier genomföras. Framtagna försöksdata skall kunna utgöra underlag för stridsdelsbeskrivningar till värderingsprogrammet AVAL och vid anskaffning av granattillsatsammunition för försvaret.

2.5.2 Försöksmetod

Försökuppställningen bestod av målstack och vittnesplåtar vid 3 m och 5 m avstånd från skottlinje, Figur 8. Spränggårdens 8 st vittnesplåtar var 1000 × 2000 mm stora och ristade med 100 × 100 mm rutor för att bestämma läget på splinterhålen.

Granaterna sköts mot en utlösningssplåt. RSV-strålens genomträngning och håldiametrar i stackplåtarna mättes. Antalet splittergenomslag i vittnesplåtarna och hålens läge registrerades.



Figur 8: Skiss över försökuppställningen.

2.5.3 Resultat

Antalet hål i vittnesplåtarna räknades och hålprofilen i stackplåtarna mättes med avseende på penetrationdjup och största respektive minsta håldiameter i respektive stackplåt. Dessa resultat har använts för stridsdelsbeskrivningar till AVAL.

2.5.4 Fortsatt arbete

De utförda försöken bör kompletteras med ytterligare studier som omfattar mätningar av massa och hastighet hos splitter som har avgörande betydelse för stridsdelens prestanda.

2.5.5 Nyttan för FM

Framtagna försöksdata kan utgöra underlag för stridsdelsbeskrivningar till verkansvärderingsprogrammet AVAL och vid anskaffning av granattillsatsammunition för försvaret.

2.6 Brand

Jörgen Carlsson

2.6.1 Bakgrund

Brandteknik är en ung vetenskapsdisciplin där flera områden står relativt outforskade. Samtidigt har brand, historiskt sett, utgjort en mycket väsentlig risk för ett stridsfordons eller fartygs överlevnadsförmåga och funktion såväl vid strid som i normaltillstånd. Bränder har ofta varit en avgörande sekundäreffekt av vapenverkan såväl som ett avsiktligt stridsmedel. Det finns flera intressanta exempel på detta, från olika varianter av grekisk eld använt från antiken och in på medeltiden, till sjöslagen under 1700- och 1800-talen, till nutid. Fartyg har varit särskilt känsliga för brand vilket gäller än idag, ta till exempel bränderna ombord HMS Sheffield och HMS Glamorgan under Falklandskriget eller den välkända Exocet attacken mot USS Stark i Persiskaviken, maj 1987.

2.6.2 Utfört arbete

Inom ramen för projektet har ett flertal brandtekniska studier med såväl teoretisk som experimentell inriktning genomförts. I nedanstående sammanfattas detta arbetet.

2.6.2.1 Experimentell verksamhet

2.6.2.1.1 Flamspridning och brandtillväxt

Ett brandspridningsprojekt påbörjades 2003 och inleddes med utförandet av en försöksserie i vilken ytflamspridning i rumsmoduler skalade till en storlek 1:3. Flamspridning och brandtillväxt karakteriserades för ett flertal former av termisk påverkan. Modulerna användes dels enskilt dels i kombination med varandra (horisontell samt vertikal stack). Försöken är väldefinierade och användbara vid validering och utveckling av beräkningsmodeller. Fenomenen ytflamspridning kombineras emellertid med underventilerad brand vilket i viss mån försvårar en teoretisk återkoppling. Resultaten från projektet lånades ut och simulerades relativt framgångsrikt inom ramen för ett projekt finansierat av FM AnIK.

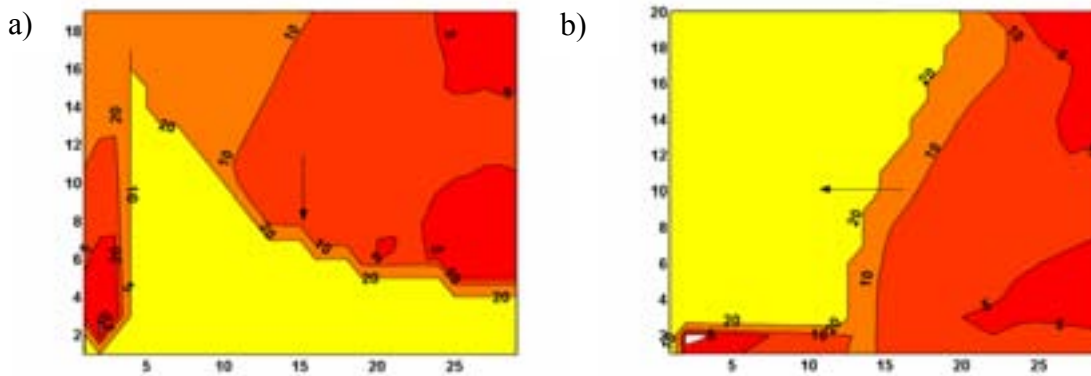
2.6.2.1.2 Underventilerad brand i korridor

En konfiguration som inte studerats nämnvärt i tidigare undersökningar är lokaler med stort längdbredd förhållande, dvs. olika typer av korridorer. Därför byggdes en testrigg i syfte att genomföra en förstudie där grundläggande parametrar kunde studeras. Eftersom övertändning utgör en klar gräns för en persons överlevnad vid brand var det primära målet att studera potentialen för övertändning och graden av ventilationsöppningens påverkan för brandeffekten i rummet. Ca 90 mätpunkter loggade förhållandena inne i rummet samt i brandgaserna utanför rummet (gas- och yttemperaturer, flöden, gaskoncentration, strålning, totalvärmeflöde, brandeffekt och massförlust av bränsle). Ur testdata kunde ett enkelt uttryck för maximalt utvecklade brandeffekt härledas baserat på tillgänglig ventilation.

2.6.2.2 Simulering och modellering

2.6.2.2.1 Genomsiktighet genom ett inhomogent brandgaslager

En modell för genomsiktigheten av en inhomogen brandgasvolym har utvecklats och programmerats som en stand-alone modul. Det idag vedertagna förfarandet är att vid beräkningar betrakta gasvolymen som en enda homogen klump med en sotkoncentration baserad på den punkt man är intresserad av. Om man använder enkla zon-modeller finns inget alternativ men om man istället använder en CFD modell blir metoden lätt besynnerlig eftersom sotkoncentrationen varierar över en given siktsträcka. En bättre metod är då att integrera över CFD griden i en viss riktning. Ett utdrag ut en fullständig exempelberäkning visas i nedanstående där en CFD beräkning först genomförts för en brand i ett utrymme 20×20×6 (bredd×djup×höjd) meter. Bilderna visar sikten på 1.8 meters höjd vid tiden 3.0 minuter efter brandstart.



Figur 9: Siktbarhet genom en brandgasvolym på 1.8 meters höjd, a) om man tittar söderut och b) om man tittar österut. Det ska särskilt noteras att alternativet hade varit att beskriva sikten med ett enda värde (säg 15 m) vilket intuitivt känns ofullkomligt.

2.6.2.2.2 Simulering av korridorbrand

Sammanfattningsvis har vi här ett problem som inte studerats i någon större omfattning nationellt eller internationellt. Flödesbilden är mer komplicerad här än i rum med små längd-breddförhållanden och från resultaten kan man snabbt dra slutsatsen att vanliga beräkningsprogram för brandgasspridning (till exempel CFAST men även algoritmerna i AVAL) inte kan förväntas ha någon nämnvärd framgång i att simulera den här typen av brandfall.

2.6.2.2.3 Allmänt

I ett försök att skapa en plattform för brandtekniska beräkningar med CFD (Computational Fluid Dynamics) skrevs en artikel på ämnet. Brand (förbränning i ett tyngdkraftsinducerat turbulent flöde) är mycket komplicerat att simulera vilket ställer krav på användaren. Artikeln, som var avsedd för svenska ingenjörer, fick stor respons och översattes och publicerades senare även i Danmark och Tyskland.

2.6.2.2.4 LES, Large Eddy Simulation, inledande simuleringar

En kort förstudie inkluderande den CFD teknik som utvecklas på FOI för fluiddynamiska beräkningar har genomförts. Samtidigt som detta är forskningsfronten, såväl inom fluidmekaniken som i brandteknik, finns det klara fördelar att finna med denna, mycket sofistikerade, beräkningsmetodologi. Exempelvis skulle en vidare utveckling av den existerande beräkningskoden i förlängningen kunna tillåta samtidig beräkning av tryckutbredning och brand med en informationsnoggrannhet som idag inte finns tillgänglig.

2.6.3 Fortsatt verksamhet

Brandteknik är ett relativt ungt, interdisciplinärt, forskningsområde och det finns ett flertal kunskapsluckor och översiktligt eller ofullständigt behandlade områden. Det är uppenbart att utvecklingen inom sårbarhets- och verkansanalys har ett behov av mer sofistikerade beräkningsmetoder för att utvärdera effekterna av brand eller risken för initiering av brand. Det är också av intresse att kvantitativt kunna utvärdera effekten av olika brandskyddsåtgärder, exempelvis hur långt en besättning kan klara sig med viss släckutrustning.

Forskningen kring antändning har pågått länge men ingen fullständig teori finns som kan utvärdera antändning vid exempelvis mycket höga men extremt kortvariga värmepulser som kan bli effekten av vapenverkan.

Det finns ett stort behov av att utveckla beräkningsmetoderna för normala brandfall vid sårbarhetsanalys. Detta kan göras genom att använda befintliga brandtekniska beräkningsprogram

och/eller att vidare studera FOI:s LES-alternativ. Det senare är sannolikt det som på sikt ger bäst utdelning baserat möjligheten att samköra olika modeller för vapenverkan.

Olika typer av brandsatser har kommit att bli allt vanligare. Detta gäller även olika typer av finkaliberammunition för bekämpning av t.ex. fordon. Effekten av dessa brandsatser är svår att bedöma och det är angeläget att skaffa kunskap om den eventuellt förändrade hotbilden till följd av denna användning.

2.6.4 Nytt för FM

Användning av brandmodeller som en integrerad del i sårbarhets- och verkansanalys genomförs idag endast i mycket liten omfattning, osäkerheterna är alltför stora och modellerna ger ofta extrema resultat. Effekterna av vapenverkan, vapeninducerad brand och antändningsrisker är viktiga inslag för stridsfunktionen efter en träff. Den fortsatta verksamheten fokuserar på att ge bättre möjligheter att utvärdera konsekvenserna för personer vid en brand men även påverkan på olika typer av utrustning samt att fortlöpande utvärdera nya brandrisker specifika för militär verksamhet.

2.7 Värderingssarbete inklusive mål-, vapenbeskrivningar och simuleringar med AVAL

Mats Hartmann

2.7.1 Bakgrund

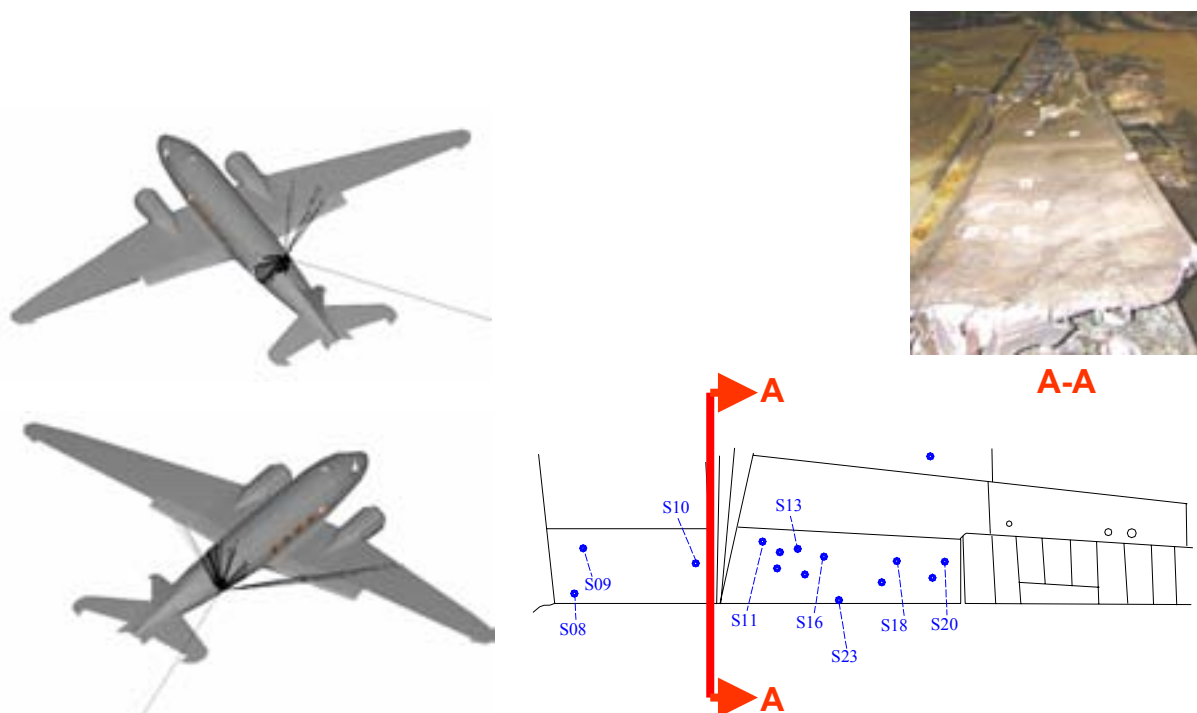
De beräkningsmetoder och liknande som tas fram inom projektet syftar till att förbättra möjligheterna till värdering av vapenverkan i olika typer av mål. För att göra verktygen tillgängliga och veta inom vilka områden fortsatt utveckling bör prioriteras p.g.a. kunskapsbrister måste värderings- och beskrivningsarbeten genomföras.

2.7.2 Utfört arbete

Den kompetens som finns och vidareutvecklas inom projektet har utnyttjats för sårbarhetsvärdering av Patgb 203A (enskild beställning från FMV) som stöd till sårbarhetsvärdering av Strf 9040B (beställning från FMV) och YS NY (beställning från Karlskronavarvet och FMV) samt direkt i två av Forsvarsmaktens studier, Forsvarsmaktsgemensamt system för indirekt eld "Artilleristudien" och Målbild luftvärn efter 2014. Deltagande i studierna har skett som separata projekt men Verkansvärderingsprojektet har stöttat med resurser för skapandet av vissa målbeskrivningar.

För att upprätthålla kompetensen inom projektet med att skapa mål- och stridsdelsbeskrivningar krävs att sådana arbeten genomförs, därav stöttningen till studiearbetena. Utöver behovet av att upprätthålla kompetensen att skapa beskrivningar finns ett stort behov av att utöka biblioteket av mål- och stridsdelsbeskrivningar, för att i större grad kunna nyttja metoder och nyttiggöra resultat från projektet.

Ett annat exempel på arbete som utförts, i första hand för att upprätthålla kompetensen gällande beskrivningar och simuleringar, är projektets bidrag till utredningen av den nedskjutna DC-3:an. Enkla simuleringar genomfördes för att studera splitterspridning från granatträffarna. Resultaten visar god överensstämmelse med karterade skador på det bärgade flygplanet. Ett exempel på detta visas i Figur 10.



Figur 10: Exempel på resultat från simulering av nedskjutningen av DC-3:an och jämförelse med karterade skador på bakkanten av höger vinge hos det bärgade planet

2.7.3 Fortsatt arbete

Arbetet med att utföra värderingar av olika slag bör fortsätta för att upprätthålla kompetensen om verktygens styrkor och svagheter och därmed kunna prioritera kommande arbete.

Biblioteken med mål- och stridsdelsbeskrivningar bör utökas vilket medför att projektet kan stödja studier och spel i större utsträckning samtidigt som det ger ökad kunskap på plattformsnivå om de mål som beskrivs.

2.7.4 Nyttan för FM

Det upplevs som att FM studiegrupper har haft stor nytta av de värderingar som genomförts samtidigt som deltagandet har varit givande för projektmedlemmarna. Arbetet med att utöka biblioteket av mål- och stridsdelsbeskrivningar bör fortsätta för att i framtiden användas i bland annat Försvarens studier och i samband med spel.

2.8 Metodik för utslagskriteriesättning

Mats Hartmann

2.8.1 Bakgrund

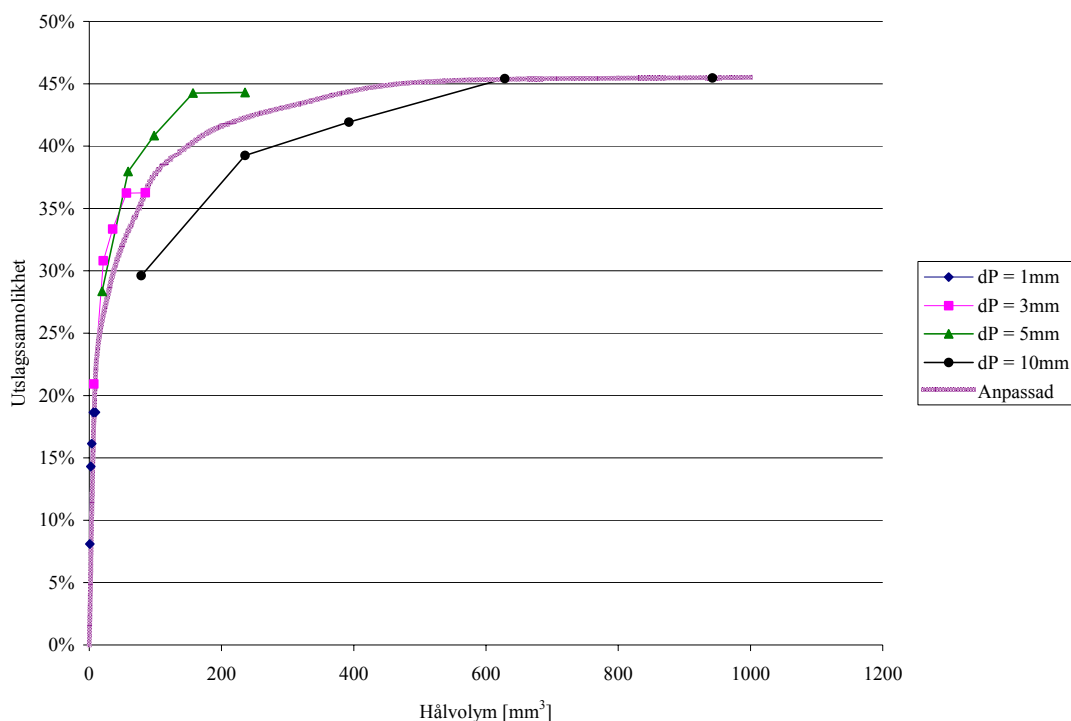
När ett mål beskrivs för att möjliggöra sårbarhets- eller verkansvärderingar krävs utslagskriterier för varje komponent i målet som kan vara intressant för de funktioner som ska studeras. I detta arbete beskrivs ett första försök att hitta en metodik för att ansätta utslagskriterier för penetrationspåverkan.

2.8.2 Utfört arbete

En av komponenterna avsedd för en komplex målbeskrivning, nämligen en radioapparat liknande RA180, beskrevs som en komplex målbeskrivning. Beskjutning av denna simulerades därefter från många riktningar och med varierande stridsdelsprestanda. Resultaten analyserades och viktades utifrån komponentens projicerade area i respektive riktning för att ge riktningsoberoende utslagskriterier. Dessa kriterier avses användas då komponenten beskrivs på ett enklare sätt i en större komplex målbeskrivning.

I målbeskrivningen av radioapparaten har volymsberoende utslagskriterier använts, eftersom utslagssannolikheten annars enbart skulle vara beroende av vilken djup projektilen kan nå när den träffar komponenten. Detta förklarar varför utslagssannolikheten ökar med projektildiametern (dP) för ett och samma penetrationsdjup.

Figur 11 visar att resultaten är förhållandevis samlade då utslagssannolikheten redovisas som funktion av den skapade hålvolymen. En kurva för utslagssannolikheten kan anpassas som ansluter relativt väl till simuleringsresultaten. Ett exempel på en sådan kurva visas i och skulle kunna utgöra underlag för utslagskriterier för penetrationsskada till en låda (komponent) som ska motsvara den aktuella radioapparaten.



Figur 11: Utslagssannolikhet som funktion av skapad hålvolym, kompletterad med en anpassad kurva.

Resultaten är lovande men metoden kräver i dagsläget mycket arbete och det är svårt att uppskatta relevansen i de utslagssannolikheter som fås. Jämförelse med experimentellt underlag är egentligen

nödvändig. Det stora antal variationer som definierar de olika simuleringsfallen innebär emellertid att en utförlig experimentell undersökning skulle vara mycket omfattande och kostsam.

2.8.3 Fortsatt arbete

Det finns ett antal problem med den föreslagna metodiken vilka bör utredas djupare och metodiken är i dagsläget endast avsedd att användas för kriterier relaterade till penetrationspåverkan.

2.8.4 Nyttan för FM

En metodik för att ansätta utslagskriterier till komponenter ger säkrare värderingsresultat genom att indata till simuleringarna får ökad spårbarhet och det blir lättare att kontrollera data i en målbeskrivning utförd av annan person eller organisation.

2.9 Litteraturstudier: Sekundärsplitter

Irina Eriksson, Mats Hartmann

2.9.1 Bakgrund

Behovet av kunskaper om sekundärsplittergenerering och splittermolnets egenskaper är stort när det gäller att hantera dessa frågor i värderingar av vapenverkan och plattformars sårbarhet. När kvaliteten på modelleringen av sekundärsplitter ökar kan även kvaliteten på de värderingsarbeten som genomförs förbättras.

2.9.2 Utfört arbete

Två litteraturstudier har genomförts för att få en överblick över problemområdet. Det konstateras att detta är ett forskningsområde som fortfarande kräver mycket arbete, både experimentellt och numeriskt, innan modellerna är trovärdiga och användbara i eller som underlagslämnare till värderingsarbete.

2.9.2.1 Experimentella metoder och experimentella resultat för sekundärsplitter

För att kunna dra väl underbyggda slutsatser vid systemvärderingar är ett experimentellt underlag av stor vikt. Sekundärsplitter kan medföra stor skada i ett system och är därför viktiga att utvärdera. Med anledning av detta har en försöksserie initierats och inletts med en litteraturstudie över området.

Litteraturstudien har inriktats mot experimentella metoder vid sekundärsplitterförsök för att utvärdera vilken metod som ger mest information om fenomenet. Sammanställningen över metoderna innefattar ett antal direkta och indirekta metoder, däribland röntgenblixtfotografering, holografisk fotografering, vittnesplåtar och mjuka uppfångningsmetoder. Den metod som ger mest information av förloppet är holografisk fotografering, där fragmentens utbredning kan studeras i tre dimensioner. Det är dock en relativt komplicerat och tidskrävande metod. Tidigare experimentella undersökningar redovisas även, där det framgår att undersökningar i lägre hastighetsintervall inte återfinns i någon större utsträckning, speciellt inte systematiska parameterstudier.

De slutsatser som kan dras från tidigare studier är att fragmenteringen ökar med projektilhastigheten samt med hårdheten hos materialen. Det finns dock få redovisade försök i det önskade hastighetsintervallet vilket ytterligare motiverar en mer grundlig experimentell verksamhet.

2.9.2.2 Modellering och simulering av sekundärsplitter

Möjligheten att modellera sekundärsplitter bakom skyddspaneler är viktigt i verkans- och sårbarhetsvärderingar. Trots det välkända behovet är det svårt att hitta lämpliga modeller.

En litteraturstudie över modeller och simuleringar av sekundärsplitter har genomförts och presenterats tillsammans med en kort beskrivning av några numeriska beräkningsprogram och viktiga begrepp. Många av de fysikaliska, empiriska och statistiska modellerna som hittats hanterar endast en delmängd av problemet, antingen brottmekanismen i målet eller splittermolnets egenskaper. De numeriska simuleringarna har svårt att hantera brott i målmaterialen. Numerisk erosion används ibland för att bestämma vilka beräkningsceller som bildar sekundärsplitter. Ofta kombineras de numeriska simuleringarna med en efterbehandling för att kunna inkludera det stokastiska uppträdandet hos splittermolnet.

2.9.3 Fortsatt arbete

Litteraturstudierna visar att det finns ett stort behov av att skapa eget experimentellt väldokumenterat underlag för att kunna jämföra med framtagna modeller och beräkningar. Det bör finnas möjligheter att utnyttja numeriska simuleringprogram för att beräkna splittermängd och egenskaper, men även detta kräver dock stora insatser för att det ska fungera tillfredställande.

2.9.4 Nyttan för FM

God kunskap om sekundärsplitterbildning och -egenskaper ger möjlighet till bättre värdering av vapenverkan i plattformar samt ett bättre underlag vid val av skydd mot sekundärsplitter, t.ex. liner.

3 Konferensdeltagande

Medarbetare från projektet har deltagit vid:

- International Symposium on Ballistics 2004
Här presenterades en modell för stelkroppspenetrering av duktila material, varvid författaren utsågs till "Best young author".
- European Survivability Workshop
Vid ESW-2004 var projektledaren inbjuden som "chairman" för en session.
- International AVAL user group meeting
Vid det första användarmötet deltog två av projektets medarbetare varvid en utsågs till ordförande för gruppen. Ett andra internationellt användarmöte arrangerades hösten 2005.
- Interflam 2004
Här presenterades en ny modell för att beräkna siktnedsättning i ett rökfyllt utrymme.

Bilaga: Sammanställning över skriftlig dokumentation

2003

Amiree Rafiz Ahmed

Målbeskrivning av attackrobot O3 1.0 för AVAL.
Target description of air-to-surface missile for AVAL.
Stockholm, FOI 2003, 14 p.
(FOI-R--0864--SE) (Användarrapport/User report)

Collin Åke

Sammanställning av sekundärsplitterförsök utförda 1977-1978 med stridsdelen för RB 53 Bantam.
Compilation of secondary-fragment-experiment results for the RB 53 Bantham warhead from 1977-1978.
Stockholm, FOI 2003, 17 p.
(FOI-R--0817--SE) (Teknisk rapport/Technical report)

Fast Linus Lindersson Kjell Johnsson Mats Sandberg Bertil

Undervattensverkan - kolvverkan.
Underwater weapons effects - piston effect.
Stockholm, FOI 2003, 29 p.
(FOI-R--1097--SE) (Teknisk rapport/Technical report)

Johansson B

Image plates used for X-ray registration of terminal ballistic events.
Santa Fe, Albuquerque, Oct. 19-24, 2003
Stockholm, FOI 2003, 6 p.
(FOI-S--1103--SE) (54th meeting of the Aeroballistic range association, ARA)

Tjernberg Anders

Bromskrafter verkande på stela projektiler.
Penetration forces on rigid projectiles.
Stockholm, FOI 2003, 32 p.
(FOI-R--0970--SE) (Underlagsrapport/Base data report)

Walmerdahl Per Werling Per

Fire growth and spread - an experimental study in model-scale.
Brandtillväxt och -spridning - en experimentell studie i modellskala.
Stockholm, FOI 2003, 69 p.
(FOI-R--0907--SE) (Teknisk rapport/Technical report)

2004

Fast Linus

**Aspekter på värdering av tunga sjömålsvapens verkan.
Some notes on assessment of heavy naval weapons effects.**
Stockholm, FOI 2004, 20 p.
(FOI-R--1424--SE) (Användarrapport/User report)

Hustedt B Carlsson J Göransson U

**Visibility through inhomogeneous smoke using CFD.
Edinburgh, July 5-7, 2004**
Stockholm, FOI 2004, 6 p.
(FOI-S--1583--SE) (10th Interflame conf., 2004, p. 697-702)

Järnebark Irina

**Experimental study of rigid body perforation with model evaluation.
Experimentell studie av stelkroppspenetrering med modelljämförelse.**
Stockholm, FOI 2004, 38 p.
(FOI-R--1203--SE) (Teknisk rapport/Technical report)

Järnebark Irina

A model for rigid body perforation of ductile plates: experimental validation
Stockholm, FOI 2005, 8p
FOI-S--1934-SE (21st International Symposium on Ballistics, 2004, p 352-357)

Tjernberg Anders

**Jämförelse av stelkroppspenetrering vid simuleringar med Euler respektive Lagrange
formulering av målet.
Comparison of rigid body penetration in simulations with Euler respectively Lagrange
formulation of the target.**
Stockholm, FOI 2004, 13 p.
(FOI-R--1206--SE) (Teknisk rapport/Technical report)

Tjernberg Anders

**Simulering av fragmenterade rsv-strålars penetrationsförmåga.
Simulation of fragmented shaped charge jet penetration capability.**
Stockholm, FOI 2004, 16 p.
(FOI-R--1313--SE) (Teknisk rapport/Technical report)

Tyrberg Andreas Tjernberg Anders Järnebark Irina Gustafsson Mats

**Värdering av verkan i ballistiska robotar, inledande studie.
Weapon effects in ballistic missiles, preliminary study.**
Stockholm, FOI 2004, 46 p.
(FOI-R--1285--SE) (Användarrapport/User Report)

Wijk Gunnar

**Modell för eroderande projektilinträngning vid verkansvärdering.
A model for eroding projectile penetration in vulnerability and lethality assessments.**
Stockholm, FOI 2004, 13 p.
(FOI-R--1446--SE) (Metodrapport/Methodology report)

2005

Amiree Rafiz Ahmed

Experimentell studie av 40 mm Granattillsatsammunition

Stockholm, FOI 2005, 50 p

(FOI-RH--0438--SE) (Underlagsrapport) (Hemlig/Confidential)

Carlsson Jörgen Göransson Ulf Hustedt Bjarne

Fordele og faldgruber ved anvendelse af CFD til brandtekniske beregninger.

Stockholm, FOI 2005, 4 p.

(FOI-S--1786--SE) (HVAC Magasinet (Danmark), vol 41, no. 7, 2005, p. 44-47)

Carlsson Jörgen Göransson Ulf Hustedt Bjarne

Fordele og faldgruber ved anvendelse af CFD till brandtekniske beregninger (Referat/Sammenfatning).

Stockholm, FOI 2005, 2 p.

(FOI-S--1787--SE) (DBI Brand & Sikring (Danmark), no. 2, 2005, p. 26-27)

Carlsson Jörgen Hustedt Bjarne Göransson Ulf

Användning av CFD för brandtekniska beräkningar - Fördelar och Fallgropar.

Stockholm, FOI 2005, 4 p.

(FOI-S--1788--SE) (Bilagan, no. 1, 2005, p. 13-16)

Collin Åke

Penetration av finkalibriga AP-projektiler i stålkutsar med olika diameter

Stockholm, FOI 2005, 24 p

(FOI-DH--0024) (Hemlig/Secret)

Hartmann Mats

Behind-Armour Debris - Modelling and simulation. A literature review.

Splitter bakom skydd - Modellering och simulering. En litteraturstudie.

Stockholm, FOI 2005, 52 p.

(FOI-R--1678--SE) (Underlagsrapport/Base data report)

Hartmann Mats

Målbeskrivningar av raketartillerisystem för AVAL.

Target descriptions of artillery rocket systems for AVAL.

Stockholm, FOI 2005, 22 p.

(FOI-R--1601--SE) (Underlagsrapport/Base data report)

Hartmann Mats

Metodik för framtagning av utslagskriterier för komponenter - ett första steg.

Methodology for decisions for kill criterion of components - a first step.

Stockholm, FOI 2005, 39 p.

(FOI-R--1755--SE) (Underlagsrapport/Base data report)

Tjernberg Anders

Inledande studie: Simulering av initiering av sprängämnen vid beskjutning.

Introductory study: Initiation simulation of explosives subjected to impact.

Stockholm, FOI 2005, 11 p.

(FOI-R--1641--SE) (Underlagsrapport/Base data report)

Wijk Gunnar

Initially increasing penetration resistance, friction and target size effects in connection with rigid projectile penetration and perforation of steel and metallic targets.

Inverkan av initialt ökande inträngningsmotstånd, friktion samt målets storlek vid stela projektilers inträngning i och genomträngning av hårt stål och metalliska mål.

Stockholm, FOI 2005, 25 p.

(FOI-R--1631--SE) (Vetenskaplig rapport/Scientific report)

Wijk Gunnar

Splitterproduktionsmodell för verkansvärdering - en översiktlig beskrivning

Overview of a model for fragment production in vulnerability and lethality assessment

Stockholm, FOI 2005, 11 p.

(FOI-R--1597--SE) (Metodrapport/Methodology report)

Wijk Gunnar

A model for fragmentation of hard metallic targets due to projectile perforation
Modell för splitterproduktion vid projektilgenomträngning av hårda metalliska mål
Stockholm, FOI 2005, 21 p
(FOI-R--1733--SE) (Vetenskaplig rapport/Scientific report)

Wijk Gunnar

A model for fragmentation of hard metallic targets due to shaped charge jet perforation
Modell för splitterproduktion vid RSV-genomträngning av hårda metalliska mål
Stockholm, FOI 2005, 18 p
(FOI-R--1751--SE) (Vetenskaplig rapport/Scientific report)

Wijk Gunnar Hartmann Mats Tyrberg Andreas

A model for rigid projectile penetration and perforation of hard steel and metallic targets
En modell för stela projektilers penetration och perforation av hårda mål av stål och metaller
Stockholm, FOI 2005, 13 p.
(FOI-R--1617--SE) (Vetenskaplig rapport/Scientific report)

Wijk Gunnar Hartmann Mats Tyrberg Andreas

A model for eroding projectile penetration of metallic materials
Inskickad till International Journal of Impact Engineering för granskning, ej publicerad.

Wijk Gunnar Tjernberg Anders

Shaped charge jet penetration reduction with increasing stand-off
Modell för minskat inträngningsdjup med RSV ökande detonationsavstånd till målet
Stockholm, FOI 2005, 15 p
(FOI-R--1750--SE) (Vetenskaplig rapport/Scientific report)