

Modell för penetration av RSV i skyddstäckningar

Carl Elfving, Svante Karlsson,
Håkan Hansson



FOI är en huvudsakligen uppdragsfinansierad myndighet under Försvarsdepartementet. 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: 08-555 041 43

www.foi.se

Modell för penetration av RSV i skyddstäckningar

Utgivare FOI - Totalförsvarets Forskningsinstitut Vapen och skydd 147 25 Tumba	Rapportnummer, ISRN FOI-R--1680--SE	Klassificering Teknisk rapport
	Forskningsområde 5. Bekämpning och skydd	
	Månad, år Juni 2005	Projektnummer E2355
	Delområde 53 Skydd och anläggningsteknik	
	Delområde 2	
Författare/redaktör Carl Elfving Svante Karlsson Håkan Hansson	Projektledare Carl Elfving	
	Godkänd av	
	Uppdragsgivare/kundbeteckning HKV KRI MTRL Anlägg	
	Tekniskt och/eller vetenskapligt ansvarig	
Rapportens titel Modell för penetration av RSV i skyddstäckningar		
Sammanfattning (högst 200 ord) Totalförsvarets forskningsinstitut, FOI, har på uppdrag av FM HKV under ett antal år genomfört försök med RSV (riktad sprängverkan) mot olika material och materialkombinationer som ingår i täckningar till fortifikatoriskt skyddade anläggningar eller utrymmen som används vid internationella operationer. Syftet har varit att ta fram enkla modeller för penetration av RSV i skyddstäckningar till anläggningar eller skyddade utrymmen. I ett tidigare arbete har ett preliminärt förslag på modeller för penetration av RSV i material och skiktade täckningar redovisats i FOI-R--0711--SE. Dessa modeller har förbättrats ytterligare genom att försöksresultat från 2003, 2004 och 2005 har inarbetats. I den här rapporten redovisas ett slutligt förslag på modeller för penetration av RSV i sand, grus, singel, normal betong, höghållfast betong och skiktad täckning. Avslutningsvis redovisas förslag på fortsatt arbete, där man bl a bör studera de sekundära effekter (tryck, temperatur, splitter) som uppstår i ett utrymme vid genomslag av en RSV-stridsdel.		
Nyckelord RSV, modell, penetration, försök, betong, singel, skiktad täckning, fortifikation		
Övriga bibliografiska uppgifter	Språk Svenska	
ISSN 1650-1942	Antal sidor: 44 s.	
Distribution enligt missiv	Pris: Enligt prislista	

Issuing organization FOI – Swedish Defence Research Agency Weapons and Protection SE-147 25 Tumba	Report number, ISRN FOI-R--1680--SE	Report type Technical report
	Programme Areas 5. Strike and protection	
	Month year June 2005	Project no. E2355
	Subcategories 53 Protection and Fortification	
	Subcategories 2	
Author/s (editor/s) Carl Elfving Svante Karlsson Håkan Hansson	Project manager Carl Elfving	
	Approved by	
	Sponsoring agency Swedish Armed Forces Headquarters	
	Scientifically and technically responsible	
Report title (In translation) Model for penetration of shaped charges in protective coverings		
Abstract (not more than 200 words) Under contract with the Swedish Armed Forces Headquarters, the Swedish Defence Research Agency, FOI, has performed several tests during the years where materials and combinations of materials were exposed to shaped charge warheads. The overall objective has been to develop a simple model for penetration of shaped charge warheads in protective coverings of buried fortifications or installations used in Out-of-Area missions. A preliminary proposal of a simple model for penetration of shaped charge warheads in materials and layered coverings were presented in FOI-R--0711--SE. The earlier proposed models have been further developed by adding more results from tests performed during 2003, 2004 and 2005. In this report a final suggestion of models for penetration of shaped charge warheads in single layers of sand, gravel, shingle, normal strength concrete, high strength concrete and layered coverings will be presented. Finally, proposals are made for further studies within this area, where among other things work should be done with the purpose to study secondary effects (pressure, temperature, debris) in a closed space of penetrating shaped charge warheads.		
Keywords Shaped charge, model, penetration, test, concrete, gravel, layered covering, fortification		
Further bibliographic information	Language Swedish	
ISSN 1650-1942	Pages 44 p.	
Price acc. to pricelist		

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

INLEDNING	5
HOTBILDSBESKRIVNING	6
SAMMANSTÄLLNING AV FÖRSÖK MED RSV MOT SKYDDSTÄCKNINGAR	7
GENOMFÖRANDE AV FÖRSÖK	8
Försöksprogram	8
Målmaterial	10
RSV-stridsdelar	10
RESULTAT FRÅN FÖRSÖK	11
RESULTAT FRÅN LITTERATURSTUDIE	12
Sammanställning av litteraturstudie	12
Kommentarer	12
MODELLER FÖR PENETRATION AV RSV I SKYDDSTÄCKNINGAR	13
Förutsättningar	13
Penetration av RSV i ett skikt	13
Penetration av RSV i skiktad täckning	15
Jämförelse med FortH 1	18
SLUTSATSER OCH FÖRSLAG PÅ FORTSATT ARBETE	19
Slutsatser	19
Förslag på fortsatt arbete	19
REFERENSER	20

BILAGOR

BILAGA A	Resultat från försök 2003
BILAGA B	Resultat från försök 2004
BILAGA C	Resultat från försök 2005
BILAGA D	Sammanställning av litteraturstudie

INLEDNING

FOI genomförde under det treåriga (2003-2005) projektet "Verksamhet avseende RSV" (HKV beteckning 23 321:61044) på uppdrag av HKV KRI MTR L Anlägg.

RSV (riktad sprängverkan) är ett reellt hot mot fasta anläggningar, rörliga militära förband och fältbefästningar som används vid internationella operationer. Behov finns av att öka befintlig kunskap om penetration av RSV i material eller kombinationer av material som ingår i skyddstäckningar.

Det övergripande syftet med uppdraget har varit att ta fram modeller för beräkning av penetration av RSV i material och materialkombinationer som ingår i skyddstäckningar till anläggningar och skyddade utrymmen som utnyttjas i samband med internationella operationer.

I /1, 2/ redovisades förslag på preliminära modeller för penetration av RSV i singel, betong och skiktad täckning av singel och betong. I den här rapporten redovisas en vidareutveckling av tidigare föreslagna modeller genom att försökserfarenhet från 2003, 2004 och 2005 har inarbetats.

Följande personer har medverkat i uppdraget:

Carl Elfving	FOI, projektledare
Anders Carlberg	FOI, försöksledare
Ulf Pettersson	FOI, försöksledare
Svante Karlsson	FOI
Håkan Hansson	FOI

I den här rapporten presenteras resultat från försök med RSV mot skyddstäckningar som genomförts under 2003, 2004 och 2005, förslag till modeller för penetration av RSV i skyddstäckningar, resultat av en litteraturstudie och förslag på fortsatt arbete. Tidigare genomförd verksamhet inom området finns redovisad i /3, 4, 5, 6, 7/.

HOTBILDSBESKRIVNING

I arbetet har använts en hotbildsbeskrivning av riktad sprängverkan (RSV), indelad i 5 hotnivåer med tillhörande kaliberindelning /8/, enligt tabell 1. RSV finns bland annat beskriven i /9,10/.

Tabell 1. Gruppering av RSV-vapen med tillhörande kaliberindelning.

Vapentyp	Hotnivå	Kaliber [mm]
Substridsdel	1	< 70
Bärbara pansarvärnsvapen	2	< 110
Lätt pansarvärnsrobot	3	< 130
Tung pansarvärnsrobot	4	< 180
Attackrobot	5	< 350

SAMMANSTÄLLNING AV FÖRSÖK MED RSV MOT SKYDDSTÄCKNINGAR

Under ett antal år har en mängd studier, utredningar och försök genomförts på uppdrag av FM inom området ”RSV mot anläggningar”. En sammanställning av svensk försökserfarenhet (inklusive de försök som redovisas i den här rapporten) med avseende på RSV mot material och materialkombinationer, som ingår i fortifikatoriskt skyddade anläggningar, redovisas i tabell 2.

Tabell 2. Sammanställning av svensk försökserfarenhet av RSV.

Material/materialkombinationer/befintlig skyddstäckning till anläggningar	HOTNIVÅ				
	1	2	3	4	5
Stentäckning (50-200 kg)					X
Singel	X	X	X	X (2004)	X
Fyllnadsgrus		X (2003)			
Rörgravsgrus		X (2003)			
Pinnmo	X	X			
Normal betong (ca K40)	X	X	X	X (2004)	X (2004)
Höghållfast betong (ca K140)		X (2003)			
Berg					X
Vatten	X				
Grävbara massor (bef. sten- och jordmaterial i terräng)					X
Skiktad täckning (singel och normal betong, ca K40)		X (2005)	X (2005)	X (2004)	
Skiktad täckning (singel och höghållfast betong, ca K140)		X (2003)			
Skiktad täckning (rörgravsgrus och normal betong, ca K40)		X			
Skiktad täckning (fyllnadsgrus och normal betong, ca K40)		X			
Skiktad täckning (grävbara massor och stenskikt)					X
Täckning till SK 10/16 valv	X	X			
Täckning till SST 4/8	X	X			
Täckning till BasC			X		X
Effekt av yttre skydd	X	X			

GENOMFÖRANDE AV FÖRSÖK

Försöken genomfördes vid Grindsjöns forskningscentrum, avdelningen för Vapen och skydd inom Totalförsvarets forskningsinstitut, FOI.

Försöksprogram

Försök 2003

Totalt genomfördes 5 försök under 2003 enligt tabell 3.

Tabell 3. Försöksprogram 2003.

Försök	Laddning	Mål	Kommentar
2003:1	105 mm RSV	3 m fyllnadsgrus	
2003:2	105 mm RSV	3 m rörgravsgrus	
2003:3	105 mm RSV	ca 1 m ärtsingel + 1.2 m höghållfast betong	Oarmerad, ca K140, Ø 1.2 m
2003:4	105 mm RSV	2.4 m höghållfast betong	Oarmerad, ca K140, Ø 1.2 m
2003:5	105 mm RSV	1.2 m höghållfast betong	Oarmerad, ca K140, Ø 1.2 m

Vid de inledande försöken 1 och 2 användes en horisontell försökskonstruktion (se figur A-1 respektive A-5 i bilaga A) som bestod av en ca 3 m lång låda av plywood och träreglar som var fylld med fyllnadsgrus (se figur A-2 i bilaga A) respektive rörgravsgrus (se figur A-6 i bilaga A).

En horisontell försökskonstruktion (se figur A-8 i bilaga A) som bestod av en ca 1 m lång låda av plywood och träreglar som var fylld med ärtsingel (se figur A-9 i bilaga A) och ett betongelement (ingjutet i en stålcylder) användes vid försök 3. Betongelementet var 1200 mm långt och hade diametern 1200 mm och var placerat vid försökskonstruktionens ena kortsida.

Vid försök 4 användes en horisontell försökskonstruktion (se figur A-12 i bilaga A) som bestod av två st cylindriska betongelement (ingjutna i stålcyldrar). Även här var elementen 1.2 m långa och hade diameter 1.2 m.

I samband med försök 5 användes en horisontell försökskonstruktion (se figur A-17 bilaga A) som bestod av ett cylindriskt betongelement. Vid försöket utnyttjades baksidan av det lindrigt förstörda betongelementet från skott 3 (inträngningen av RSV-strålen blev för skott 3 endast ca 17 cm och en bedömning gjordes att elementet kunde användas till ytterligare ett försök).

Vid försök 3-5 användes oarmerade betongelement av höghållfast betong tillverkade i april 2002.

Försök 2004

Totalt genomfördes 4 försök under 2004 enligt tabell 4.

Tabell 4. Försöksprogram 2004.

Försök	Laddning	Mål	Kommentar
2004:1	150 mm RSV	5 m ärtsingel	
2004:2	150 mm RSV	4.5 m normal betong	Oarmerad, ca K40, Ø 0.7 m
2004:3	280 mm RSV	4.5 m normal betong	Oarmerad, ca K40, Ø 0.7 m
2004:4	150 mm RSV	2.2 m ärtsingel + 1.5 m normal betong	Oarmerad, ca K40, Ø 0.7 m

Vid försök 1 användes en horisontell försökskonstruktion (se figur B-1 i bilaga B) som bestod av en ca 5 m lång låda av plywood och träreglar fylld med ärtsingel.

En 4.5 m lång horisontell försökskonstruktion som bestod av 6 st cylindriska betongelement ingjutna i stålcyllindrar (se figur B-5 i bilaga B) användes vid försök 2. De 3 första betongelementen var 1 m långa och de avslutande 3 elementen var 0.5 m långa.

Vid försök 3 användes en 4.5 m lång horisontell försökskonstruktion som bestod av 6 st cylindriska betongelement ingjutna i stålcyllindrar (se figur B-13 i bilaga B). De 3 första betongelementen var 1 m långa och de avslutande 3 elementen var 0.5 m långa.

I samband med försök 4 användes en horisontell försökskonstruktion (se figur B-23 i bilaga B) som bestod av en ca 2.2 m lång låda av plywood och träreglar (fylld med ärtsingel) och tre st betongelement (ingjutna i stålcyllindrar). Betongelementen var 0.5 m långa och hade diametern 0.7 m och var placerade vid försökskonstruktionens ena kortsida.

Försök 2005

Totalt genomfördes 3 försök under 2005 enligt tabell 5.

Tabell 5. Försöksprogram 2005.

Försök	Laddning	Mål	Kommentar
2005:1	105 mm RSV	ca 0.75 m ärtsingel + 1.0 m normal betong	Oarmerad, ca K40, Ø 0.7 m
2005:2	105 mm RSV	ca 1.3 m ärtsingel + 0.5 m normal betong	Oarmerad, ca K40, Ø 0.7 m
2005:3	127 mm RSV	ca 1.27 m ärtsingel + 1.5 m normal betong	Oarmerad, ca K40, Ø 0.7 m

Vid försök 1 användes en horisontell försökskonstruktion (se figur C-1 i bilaga C) som bestod av en ca 0.75 m lång låda av plywood och träreglar (fylld med ärtsingel) och 2 st betongelement (ingjutna i stålcyllindrar). Betongelementen var 0.5 m långa och hade diametern 0.7 m och var placerade vid försökskonstruktionens ena kortsida.

Vid försök 2 användes en horisontell försökskonstruktion (se figur C-6 i bilaga C) som bestod av en ca 1.3 m lång låda av plywood och träreglar (fylld med ärtsingel) och ett betongelement (ingjutet i en stålcyllinder). Betongelementet var 0.5 m långt och hade diametern 0.7 m och var placerat vid försökskonstruktionens ena kortsida.

Vid försök 3 användes en horisontell försökskonstruktion (se figur C-9 i bilaga C) som bestod av en ca 1.27 m lång låda av plywood och träreglar (fylld med ärtsingel) och 3 st betongelement (ingjutna i stålcyllindrar). Betongelementen var 0.5 m långa och hade diametern 0.7 m och var placerade vid försökskonstruktionens ena kortsida.

Målmateriäl

I tabell 6 redovisas uppgifter om använda målmateriäl.

Tabell 6. Uppgifter om använda målmateriäl.

Målmateriäl	Material- och hållfasthetsdata
Fyllnadsgrus (2003:1)	Kornstorlek: 0 - ca 150 mm, skrymdensitet: 1800 kg/m ³
Rörgravsgrus (2003:2)	Kornstorlek: 0 - 8 mm, skrymdensitet: 1500 kg/m ³
Ärtsingel (2003:3, 2004:1, 2004:4, 2005:1 - 2005:3)	Kornstorlek: 8 - 16 mm, skrymdensitet: 1600 kg/m ³
Höghållfast betong (2003:3 - 2003:5)	Densitet: 2500 kg/m ³ (ålder på element ca 19 mån) Tryckhållfasthet: 146 MPa (ålder på element ca 19 mån) Spräckhållfasthet: 7.2 MPa (ålder på element ca 19 mån)
Normal betong (2004:2 - 2004:4, 2005:1 - 2005:3)	Densitet: 2330 kg/m ³ Tryckhållfasthet: 47 MPa

RSV-stridsdelar

Vid försöken under 2003 användes en RSV-stridsdel inom hotnivå 2 (105 mm Bantam). Konen bestod av koppar och stridsdelen placerades med standoff avståndet 180 mm (inbyggt) från målet.

Vid försöken under 2004 användes RSV-stridsdelar inom hotnivå 4 (150 mm RSV) och hotnivå 5 (röjningsladdning OXA, 280 mm RSV). Konerna bestod av koppar och stridsdelarna placerades på standoff avståndet 500 mm från målet för hotnivå 4 respektive 640 mm för hotnivå 5.

Vid försöken under 2005 användes RSV-stridsdelar inom hotnivå 2 (105 mm RSV) och hotnivå 3 (127 mm RSV). Konerna bestod av koppar och stridsdelarna placerades på standoff avståndet 180 mm från målet för hotnivå 2 respektive 500 mm för hotnivå 3.

RESULTAT FRÅN FÖRSÖK

I tabell 7 redovisas en sammanställning av försöksresultat från försök genomförda under 2003, 2004 och 2005 och i bilagorna A, B och C redovisas resultat och bilder från försöken.

Tabell 7. Sammanställning av resultat från försök genomförda under 2003, 2004 och 2005.

Försök	Laddning	Mål		Resultat
		Material	Densitet (kg/m ³)	
2003:1	105 mm RSV	ca 3 m fyllnadsgrus	1800	Inträngning i fyllnadsgrus (ca 1.75 m). Sluggen återfanns vid maximal inträngning.
2003:2	105 mm RSV	ca 3 m rörgravsgrus	1500	Sluggen hittades vid avståndet ca 2.07 m.
2003:3	105 mm RSV	ca 1 m ärtsingel + 1.2 m betong (ca K140)	1600 resp. 2500	Genomslag av ärtsingel (1.01 m) och inträngning i betong (ca 0.17 m).
2003:4	105 mm RSV	2.4 m betong (ca K140)	2500	Inträngning i betong (ca 0.76 m). Sluggen (främre del) trängde in ca 0.46 m i hålskanalen. Den bakre delen av sluggen återfanns vid ca 0.36 m.
2003:5	105 mm RSV	1.2 m betong (ca K140)	2500	Inträngning i betong (ca 0.90 m). Sluggen (främre del) trängde in ca 0.63 m i hålskanalen. Den bakre delen av sluggen återfanns vid ca 0.53 m.
2004:1	150 mm RSV	5 m ärtsingel	1600	Inträngning i singel (ca 4.84 m). Sluggen återfanns vid maximal inträngning.
2004:2	150 mm RSV	4.5 m betong (ca K40)	2330	Inträngning i betong (ca 2.55 m). Sluggen återfanns inte.
2004:3	280 mm RSV	4.5 m betong (ca K40)	2330	Inträngning i betong (ca 3.66 m). Sluggen återfanns på avståndet 2 m, mellan det andra och tredje betongelementet.
2004:4	150 mm RSV	ca 2.2 m ärtsingel + 1.5 m betong (ca K40)	1600 resp. 2330	Genomslag av ärtsingel (2.2 m) och inträngning i betong (ca 0.80 m). Sluggen återfanns i ärtsingelskiktet.
2005:1	105 mm RSV	ca 0.75 m ärtsingel + 1.0 m betong (ca K40)	1600 resp. 2330	Genomslag av ärtsingel (0.75 m) och inträngning i betong (ca 0.50 m). Sluggen återfanns inte.
2005:2	105 mm RSV	ca 1.3 m ärtsingel + 0.5 m betong (ca K40)	1600 resp. 2330	Genomslag av ärtsingel (1.3 m) och inträngning i betong (ca 0.125 m). Sluggen återfanns i ärtsingelskiktet.
2005:3	127 mm RSV	ca 1.27 m ärtsingel + 1.5 m betong (ca K40)	1600 resp. 2330	Genomslag av ärtsingel (1.27 m) och inträngning i betong (ca 1.10 m). Sluggen återfanns i ärtsingelskiktet.

RESULTAT FRÅN LITTERATURSTUDIE

Sammanställning av litteraturstudie

I bilaga D redovisas en sammanställning av genomförd litteraturstudie /1-44/. Målsättningen med litteraturstudien var i första hand att försöka få fram information om försök med RSV mot material och materialkombinationer som ingår i skyddstäckningar.

I sammanställningen redovisas kortfattat för varje referens syfte, uppgift om målmaterial och stridsdel och avslutningsvis kommenteras/värderas innehållet i referensen inför fortsatta studier. I sammanhanget bör även påpekas att det ibland är oklart om det är stridsdelens kondiameter eller diameter (kaliber) som redovisas i respektive referens. I sammanställningen redovisas även referenser som innehåller uppgifter om projektilbildande RSV (RSV IV eller EFP: Explosive Formed Penetrator).

Kommentarer

Vi har valt att redovisa ett stort antal referenser med syftet att underlätta inför eventuella fortsatta litteraturstudier inom området.

En kommentar som kan göras att det finns begränsat med referenser som innehåller uppgifter om penetration av RSV i material eller materialkombinationer som ingår i skyddstäckningar till anläggningar.

Vissa referenser i bilaga D som t.ex. /11, 13, 17/ bedöms vara intressanta vid ett eventuellt fortsatt arbete med numerisk simulering av penetration av RSV i betong, sand mm.

I t.ex. /7, 39, 41/ i bilaga D finns underlag som kan vara användbart inför fortsatt arbete med att studera de effekter (sekundärsplitter, tryckökning, värmeutveckling, nedsättning av sikt mm) som uppkommer när en RSV-stråle penetrerar en skyddstäckning till en anläggning eller skalskyddet till lätt befästningar/skyddat utrymme.

MODELLER FÖR PENETRATION AV RSV I SKYDDSTÄCKNINGAR

Förutsättningar

I FortH 1 (Fortifikationshandbok del 1) /11/ redovisas existerande formel (i Sverige) [1] för penetration (H) av RSV i material eller materialkombinationer som ingår i skyddstäckningar.

$$H = k \cdot \varnothing \text{ (m)} \quad [1]$$

k = Målmaterialberoende konstant (k = 7 för berg och 10 för betong)

Ø = Kaliber (m)

Formel [1] har begränsad användbarhet på grund av att den inte kan hantera material som normalt ingår i skyddstäckningar som t ex sand, grus mm. Dessutom saknas i FortH 1 uttryck för beräkning av penetration av RSV i skiktade täckningar.

I bl a /9/ redovisas en enkel formel [2] som beskriver penetration av RSV. Formeln beskriver penetration (H) av RSV i ett målmaterial som produkten av strållängden (l_s) och kvadratroten av kvoten mellan densiteten på strålen ($\rho_{stråle}$) och densiteten på ett målmaterial ($\rho_{mål}$). Man kan notera att formeln bl a inte tar hänsyn till hur penetrationen varierar med standoff-avståndet och målmateriallets hållfasthet.

$$H = l_s \cdot \sqrt{\frac{\rho_{stråle}}{\rho_{mål}}} \text{ (m)} \quad [2]$$

H = Penetration i målmaterial (m)

l_s = Strållängd

$\rho_{stråle}$ = Densitet hos stråle (kg/m^3)

$\rho_{mål}$ = Densitet hos målmaterial (kg/m^3)

Formeln [2] har använts som grund för arbetet med att ta fram en enkel modell för penetration av RSV i material eller materialkombinationer som ingår i skyddstäckningar.

Penetration av RSV i ett skikt

Vid arbetet med att ta fram en modell för penetration av RSV modifierades formel [2] till formel [3] genom att koefficienter för strållängd (k_1) och målmaterial (k_2) tillfördes, samtidigt som strållängden (l_s) uttrycktes som stridsdelens kaliber (Ø) multiplicerad med k_1 . Dessutom antogs värden på k_1 (grundade på tillgänglig försökserfarenhet vid FOI) enligt nedan.

$$H = \varnothing \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot \sqrt{\frac{\rho_{stråle}}{\rho_{mål}}} \text{ (m)} \quad [3]$$

Ø = Kaliber (m)

k_1 = Koefficient för strållängd [8 för äldre (hotnivå 1-2) respektive 12 för nyare (hotnivå 3-5) generation av RSV-stridsdel]

k_2 = Materialberoende koefficient

$\rho_{stråle}$ = Densitet hos stråle (kg/m^3)

$\rho_{mål}$ = Densitet hos målmaterial (kg/m^3)

Om man analyserar resultat från försök med RSV mot ärtsingel, fyllnadsgrus och rörgravsgrus erhålls värdet 0.97 ± 0.06 (95 % konfidensnivå) på k_2 . Motsvarande för normalbetong (ca K40) och höghållfast betong (ca K140) blir ca 0.79 ± 0.05 respektive ca 0.52 ± 0.06 . Vid analysen har koefficienten för strållängden (k_1) antagits till 8 för RSV-stridsdelar enligt hotnivå 1 - 2 och 12 för RSV-stridsdelar enligt hotnivå 3 - 5. I tabell 11 redovisas en sammanställning av approximerade värden på k_2 .

Tabell 11. Sammanställning av värden på k_2 .

Material	Densitet (kg/m ³)	k_2
Sand, grus och singel	ca 1600	1.0
Normal betong (ca K40)	ca 2400	0.8
Höghållfast betong (ca K140)	ca 2500	0.5

Vid analys av försöksresultat från hotnivå 1 och 5 visades sig att dessa avvek från försöksresultat för övriga hotnivåer. En anledning kan vara att använda stridsdelar enligt hotnivå 1 och 5 inte är fullt skalbara. I /9/ redovisas att skalning av RSV-laddningar bör undvikas för kondiametrar mindre än ca 40 mm och större än ca 178 mm på grund av att dessa vanligtvis inte kan framställas med lika hög kvalitet som för hotnivå 2-4.

Resultat från försök med RSV enligt hotnivå 5 (röjningsladdning OXA) har därför inte tagits med vid framtagningen av koefficienten k_2 . Dock har antagits att formler för inträngning av RSV enligt hotnivå 3 och 4 i nämnda målmaterial även är tillämpliga för hotnivå 5. Detsamma gäller för försök med RSV enligt hotnivå 1 (substridsdelar, försöksladdningar) /6/ och även här har antagits att formler för inträngning av RSV enligt hotnivå 2 i nämnda målmaterial också är tillämpliga för hotnivå 1.

Nedan redovisas förslag på modeller för penetration av RSV i sand, grus och singel (t.ex. ärtsingel, fyllnadsgrus, rörgravsgrus), normal betong (ca K40) och höghållfast betong (ca K140). Det bör påpekas att försöksresultat saknas för RSV enligt hotnivå 3-5 mot höghållfast betong och att redovisade uttryck har approximerats från hotnivå 1-2.

Sand, grus och singel

För penetration av RSV (densitet hos stråle, koppar: 8950 kg/m³) i sand, grus och singel (generellt ca 1600 kg/m³) erhålls följande uttryck enligt formel [4] och [5]:

$$H = \emptyset \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot \sqrt{\frac{\rho_{stråle}}{\rho_{mål}}} = \emptyset \cdot 8 \cdot 1.0 \cdot \sqrt{\frac{8950}{1600}} = 18.9 \cdot \emptyset \text{ (m)} \quad \text{för hotnivå 1 - 2} \quad [4]$$

$$H = \emptyset \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot \sqrt{\frac{\rho_{stråle}}{\rho_{mål}}} = \emptyset \cdot 12 \cdot 1.0 \cdot \sqrt{\frac{8950}{1600}} = 28.4 \cdot \emptyset \text{ (m)} \quad \text{för hotnivå 3 - 5} \quad [5]$$

Normal betong (ca K40)

För penetration av RSV (densitet hos stråle, koppar: 8950 kg/m³) i normal betong (ca K40, generellt ca 2400 kg/m³) erhålls följande uttryck enligt formel [6] och [7]:

$$H = \emptyset \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot \sqrt{\frac{\rho_{stråle}}{\rho_{mål}}} = \emptyset \cdot 8 \cdot 0.8 \cdot \sqrt{\frac{8950}{2400}} = 12.4 \cdot \emptyset \text{ (m)} \quad \text{för hotnivå 1 - 2} \quad [6]$$

$$H = \emptyset \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot \sqrt{\frac{\rho_{stråle}}{\rho_{mål}}} = \emptyset \cdot 12 \cdot 0.8 \cdot \sqrt{\frac{8950}{2400}} = 18.5 \cdot \emptyset \text{ (m)} \quad \text{för hotnivå 3 - 5} \quad [7]$$

Höghållfast betong (ca K140)

För penetration av RSV (densitet hos stråle, koppar: 8950 kg/m³) i höghållfast betong (ca K140, generellt ca 2500 kg/m³) erhålls följande uttryck enligt formel [8] och [9]:

$$H = \emptyset \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot \sqrt{\frac{\rho_{stråle}}{\rho_{mål}}} = \emptyset \cdot 8 \cdot 0.5 \cdot \sqrt{\frac{8950}{2500}} = 7.6 \cdot \emptyset \text{ (m)} \quad \text{för hotnivå 1 - 2} \quad [8]$$

$$H = \emptyset \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot \sqrt{\frac{\rho_{stråle}}{\rho_{mål}}} = \emptyset \cdot 12 \cdot 0.5 \cdot \sqrt{\frac{8950}{2500}} = 11.4 \cdot \emptyset \text{ (m)} \quad \text{för hotnivå 3 - 5} \quad [9]$$

Penetration av RSV i skiktad täckning

Den framtagna modellen för beräkning av penetration av RSV i skiktade täckningar bygger på att det yttre skiktet (skikt 1) i en skiktad täckning penetreras av en RSV-stråle och att en del av strålen förbrukas. Den resterande eller återstående delen av strålen fortsätter därefter att tränga in i det inre skiktet (skikt 2). Modellen för penetration av RSV i skiktade täckningar kan sammanfattas enligt följande 4 steg:

1. Beräkning av förbrukad strållängd (k_{11} , uttryckt i kalibrar) efter penetration av det yttre skiktet (skikt 1) med tjockleken, h_{skikt1} (m), enligt formel [10]:

$$k_{11} = \frac{h_{skikt1}}{\emptyset \cdot k_{2(skikt1)} \cdot \sqrt{\frac{\rho_{stråle}}{\rho_{skikt1}}}} \quad [10]$$

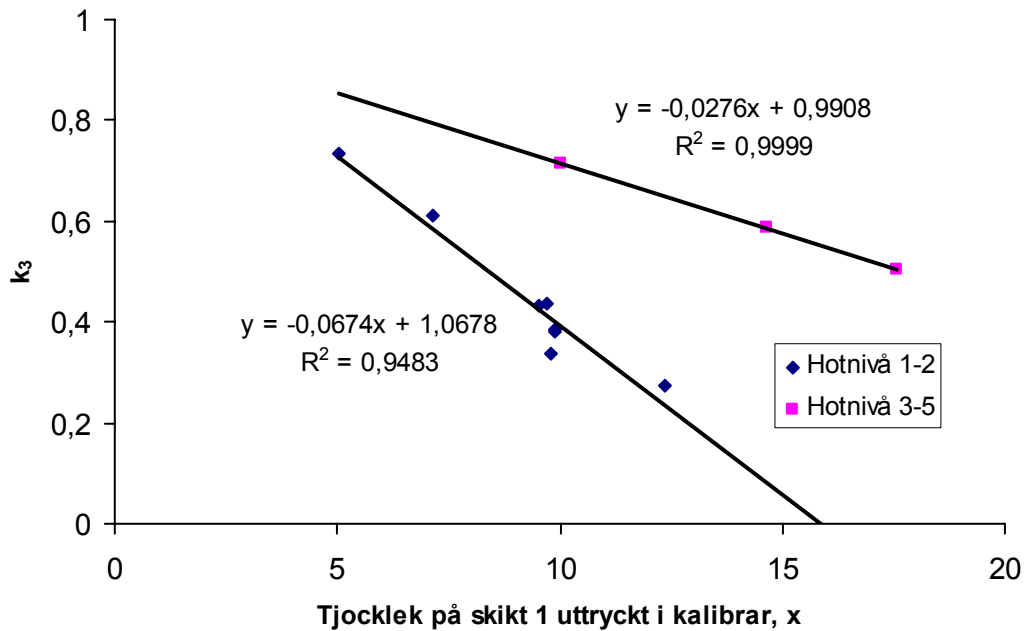
2. Beräkning av återstående strållängd (k_{12} , uttryckt i kalibrar) enligt formel [11]:

$$k_{12} = (k_1 - k_{11}) \cdot k_3 \quad [11]$$

Beräknad penetration i skikt 2 har jämförts med tillgängliga försöksresultat med slutsatsen att det fanns behov av att ytterligare reducera kvarvarande strållängd, vilket är anledningen till att reduktionskoefficienten (k_3) har tillförts till formel [11]. Koefficienten (k_3) antas variera med tjockleken på skikt 1 uttryckt i kalibrar (x) och hotnivå enligt formel [12] och [13], se även figur 1.

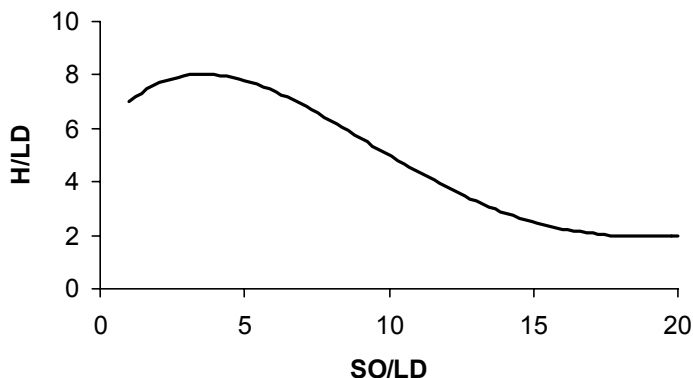
$$k_3 = -0.0674 \cdot x + 1.0678 \quad \text{för hotnivå 1-2} \quad \text{där } x = h_{\text{skikt1}}/\varnothing \quad [12]$$

$$k_3 = -0.0276 \cdot x + 0.9908 \quad \text{för hotnivå 3-5} \quad \text{där } x = h_{\text{skikt1}}/\varnothing \quad [13]$$



Figur 1. Reduktion av återstående strållängd (k_3) efter penetration av skikt 1 som funktion av tjocklek på skikt 1 (uttryckt i kalibrar) och hotnivå.

En förklaring till att kvarvarande strållängd måste reduceras ytterligare inför den fortsatta penetrationen av skikt 2 kan bero på att standoff avståndet i princip har ökats med skikt 1:s tjocklek, vilket då medför minskad penetrationsförmåga i skikt 2 (se figur 2). Den ursprungliga strålen skapades när stridsdelen var placerad vid sitt optimala standoff avstånd mot skikt 1. I figur 2 redovisas principiellt standoff kurvans utseende för en RSV-laddning, som innebär att för ett visst detonationsavstånd (standoff avstånd) erhålls en maximal penetration i målet för en specifik RSV-laddning och att penetrationsförmågan generellt avtar med ökat detonationsavstånd.



Figur 2. Principiell standoff kurva för en RSV-laddning med standoff avstånd (SO) och penetration (H) uttryckt i laddningsdiameter (kalibrar), LD.

3. Beräkning av penetration av RSV i inre skiktet ($H_{\text{skikt } 2}$) enligt formel [3] där k_1 ersätts med k_{12} :

$$H_{\text{skikt } 2} = \emptyset \cdot k_{12} \cdot k_{2(\text{skikt } 2)} \cdot \sqrt{\frac{\rho_{\text{stråle}}}{\rho_{\text{skikt } 2}}} \quad [3]$$

4. Beräkning av total inträngningen (H_{total}) i skiktad täckning:

$$H_{\text{total}} = h_{\text{skikt } 1} + H_{\text{skikt } 2} \quad [14]$$

Den föreslagna modellen för penetration av RSV i skikt 2 i en skiktad täckning (bestående av två skikt) kan sammanfattas enligt formel [15], [12] och [13] nedan

$$H_{\text{skikt } 2} = \frac{k_{2(\text{skikt } 2)}}{k_{2(\text{skikt } 1)}} \cdot \sqrt{\frac{\rho_{\text{skikt } 1}}{\rho_{\text{skikt } 2}}} \cdot k_3 \cdot \left(\emptyset \cdot k_1 \cdot k_{2(\text{skikt } 1)} \cdot \sqrt{\frac{\rho_{\text{stråle}}}{\rho_{\text{skikt } 1}}} - h_{\text{skikt } 1} \right) \quad [15]$$

$$k_3 = -0.0674 \cdot x + 1.0678 \quad \text{för hotnivå 1-2} \quad \text{där } x = h_{\text{skikt } 1} / \emptyset \quad [12]$$

$$k_3 = -0.0276 \cdot x + 0.9908 \quad \text{för hotnivå 3-5} \quad \text{där } x = h_{\text{skikt } 1} / \emptyset \quad [13]$$

I tabell 12 redovisas en jämförelse mellan resultat från försök med RSV mot skiktade täckningar och föreslagen modell för penetration av RSV i skiktade täckningar. Jämförelsen mellan beräknad penetration i skikt 2 (betong) och försöksresultat uppvisar en mycket god överensstämmelse.

Tabell 12. Jämförelse mellan beräknad penetration av RSV i skikt 2 och försöksresultat.

Försök	Kaliber (m)	k_1	$h_{\text{skikt } 1}$ (m)/ material	Densitet skikt 1 (kg/m ³)	$k_{2(\text{skikt } 1)}$	Skikt 2	Densitet skikt 2 (kg/m ³)	$k_{2(\text{skikt } 2)}$	k_3	$H_{\text{skikt } 2}$ (m) beräk.	$H_{\text{skikt } 2}$ (m) försök
2002:5	0.105	8	0.53 m ärtsingel	1600	1.0	Betong K40	2330	0.8	0.73	0.70	0.71
2005:1	0.105	8	0.75 m ärtsingel	1600	1.0	Betong K40	2330	0.8	0.59	0.48	0.50
2003:3	0.105	8	1 m ärtsingel	1600	1.0	Betong K140	2500	0.5	0.43	0.17	0.17
2001:5	0.105	8	1.02 m ärtsingel	1600	1.0	Betong K40	2330	0.8	0.41	0.26	0.28
2002:7	0.105	8	1.04 m ärtsingel	1600	1.0	Betong K40	2330	0.8	0.40	0.25	0.24
2002:3	0.105	8	1.04 m rörgravs- grus	1500	1.0	Betong K40	2330	0.8	0.40	0.26	0.25
2002:4	0.105	8	1.03 m fyllnads- grus	1800	1.0	Betong K40	2330	0.8	0.41	0.24	0.20
2005:2	0.105	8	1.3 m ärtsingel	1600	1.0	Betong K40	2330	0.8	0.23	0.11	0.12
2005:3	0.127	12	1.27 m ärtsingel	1600	1.0	Betong K40	2330	0.8	0.71	1.11	1.10
2002:6	0.127	12	2.23 m ärtsingel	1600	1.0	Betong K40	2330	0.8	0.51	0.46	0.46
2004:4	0.150	12	2.2 m ärtsingel	1600	1.0	Betong K40	2330	0.8	0.59	0.80	0.80

Om formel [15], [12] och [13] tillämpas på en skiktad konstruktion som består av sand, grus eller singel (skikt 1, generellt ca 1600 kg/m³) och normal betong (skikt 2, ca K40, generellt ca 2400 kg/m³) erhålls följande formler [16] och [17] för penetration av RSV i skikt 2:

$$H_{skikt2} = 13.2 \cdot \varnothing - 1.53 \cdot h_{skikt1} + 0.044 \cdot \frac{h_{skikt1}^2}{\varnothing} \quad \text{för hotnivå 1-2} \quad [16]$$

$$H_{skikt2} = 18.4 \cdot \varnothing - 1.16 \cdot h_{skikt1} + 0.018 \cdot \frac{h_{skikt1}^2}{\varnothing} \quad \text{för hotnivå 3-5} \quad [17]$$

Jämförelse med Forth 1

I tabell 13 redovisas en jämförelse mellan försöksresultat och existerande formel [1] /11/ respektive förslag på nya formler [6] och [7] för penetration av RSV i normal betong (ca K40).

Tabell 13. Jämförelse mellan försöksresultat och existerande formel [1] respektive förslag på nya formler [6] och [7] för penetration av RSV i normal betong (ca K40).

Hotnivå	Kaliber	Penetration i normal betong (ca K40), m		
		Enligt försök	Beräknad enligt formel [1]	Beräknad enligt formel [6 och 7]
2	105 mm	1.31	1.05 (ca - 20 %)	1.30 (ca - 1 %)
3	127 mm	2.43	1.27 (ca - 48 %)	2.35 (ca - 3 %)
4	150 mm	2.55	1.50 (ca - 41 %)	2.78 (ca 9 %)

Vid jämförelse mellan försöksresultat och existerande formel [1] erhålls (speciellt för hotnivå 3 och 4) beräknade värden på penetration av RSV i normal betong (ca K40) som ligger avsevärt lägre (upp till ca 48 %) jämfört med försöksresultaten.

Motsvarande jämförelse mellan försöksresultat och förslag på nya formler [6 och 7] ger avvikelser med upp till ca 9 %.

SLUTSATSER OCH FÖRSLAG PÅ FORTSATT ARBETE

Slutsatser

Förslag på modeller för penetration av RSV i sand, grus och singel, normal betong och höghållfast betong har redovisats och testats framgångsrikt.

Förslag på modell för penetration av RSV i skyddstäckningar bestående av två skikt har redovisats och testats framgångsrikt.

Information om maximalt penetrationsdjup av röjningsladdning OXA i normal betong har erhållits.

De föreslagna modellerna för penetration av RSV i material eller kombinationer av material som ingår i skyddstäckningar har flera begränsningar. Modellerna förutsätter t ex att stridsdelen detoneras vid optimalt standoff avstånd (avstånd mellan stridsdel och mål). Modellerna har endast provats för stridsdelar med kopparkoner, samt bygger på ett relativt litet försöksunderlag. En annan osäkerhet är om modellerna är giltiga för ”modernare” stridsdelar inom hotnivå 2 (jämfört med t ex 105 mm Bantam).

Förslag på fortsatt arbete

Ett fortsatt arbete bör omfatta

- Vidareutveckling av redovisade modeller genom
 - * Försök med RSV inom hotnivå 2 med RPG-7 (bedömt hot vid internationella operationer) mot ärtsingel, normal betong (ca K40) och skiktad täckning av ärtsingel och normal betong
 - * Försök med RSV inom hotnivå 2 med ”modernare” stridsdelar (än t.ex. 105 mm Bantam)
 - * Försök med RSV inom hotnivå 3 mot höghållfast betong (ca K140) och skiktad täckning av ärtsingel och höghållfast betong
- Studier, genom försök, av de effekter (sekundärsplitter, tryckökning, värmeutveckling, nedsättning av sikt mm) som uppkommer när en RSV-stråle penetrerar en skyddstäckning till en anläggning eller skalskyddet till lätt befästning/skyddat utrymme.
- Numerisk analys av penetration av RSV i (inledningsvis) betong med målsättningen att på sikt få tillgång till ett verktyg för att kunna genomföra parameterstudier av olika varianter på skyddstäckningar.

REFERENSER

- /1/ Elfving, Carl, Karlsson, Svante, Försök med RSV mot betong och skiktade täckningar, FOI, FOI-R--0711--SE, December 2002.
- /2/ Elfving, Carl, Karlsson, Svante, Penetration of shaped charge warheads in buried fortifications, 11th International Symposium on Interaction of the Effects of Munitions with Structures in Mannheim, Germany, 2003.
- /3/ Elfving, Carl, Karlsson, Svante, Försök med RSV mot singel och betong, FOI, FOI-R--0258--SE, December 2001.
- /4/ Elfving, Carl, RSV mot anläggningar, Confortia, Rapport 2:96, 1996.
- /5/ Elfving, Carl, Skydd mot RSV, FORTV, Rapport 1995:3, 1995.
- /6/ Elfving, Carl, Carlberg, Anders, RSV mot befästningar, FORTV, H424/94P, 1994 (hemlig).
- /7/ Lindqvist, Stig, Carlberg, Anders, Elfving, Carl, RSV mot anläggningars skyddstäckning, FOA, FOA-RH--98-00385-311, 1998 (hemlig).
- /8/ H FALK Skydd, Handbok Försvarsmaktens AnLäggningskrav, M7751-714111, Försvarets bok- och blankettförråd, 2000.
- /9/ Walters, W.P. och Zukas, J.A., Fundamentals of shaped charges, CMC Press, Baltimore, 1998.
- /10/ Lidén, Ewa, Holmberg, Lars, Mellgard, Ingegärd, Westerling, Lars, Stridsdelar, skydd och växelverkan, FOA, FOA-R--94-00035-2.3--SE, 1994.
- /11/ Fortifikationshandbok del 1, FortH 1, Försvarets bok- och blankettförråd, 1991.

BILAGA A: RESULTAT FRÅN FÖRSÖK 2003

Skott 2003:1

Vid skott 1 (2003-11-04) belastades en försökskonstruktion bestående av ca 3 m fyllnadsgrus av en RSV-stridsdel med kalibern 105 mm (hotnivå 2). I figur A-1 och A-2 redovisas försökskonstruktionen före skott 1 och i figur A-3 och A-4 redovisas resultat efter skott 1. RSV-strålens inträngning i fyllnadsgrus uppmättes till ca 1.75 m, där även sluggen hittades.



Figur A-1. Bild av försökskonstruktion före skott 1.



Figur A-2. Bild av målmaterial (fyllnadsgrus)



Figur A-3. Bild av försökskonstruktion efter skott 1.



Figur A-4. Bild av återfunnen slugg efter skott 1.

Skott 2003:2

Vid skott 2 (2003-11-04) belastades en försökskonstruktion bestående av ca 3 m rörgravsgrus av en RSV-stridsdel med kalibern 105 mm (hotnivå 2). I figur A-5 och A-6 redovisas försökskonstruktionen före skott 2 och i figur A-7 redovisas resultat efter skott 2. RSV-strålens inträngning i rörgravsgrus uppmättes till ca 2.16 m (sluggen hittades vid avståndet ca 2.07 m).



Figur A-5. Bild av försökskonstruktion före skott 2.



Figur A-6. Bild av målmateriel (rörgravsgrus)



Figur A-7. Bild av försökskonstruktion efter skott 2.

Skott 2003:3

Vid skott 3 (2003-11-13) belastades en försökskonstruktion bestående av ca 1 m ärtsingel och 1.2 m höghållfast betong (ca K140) av en RSV-stridsdel med kalibern 105 mm (hotnivå 2). I figur A-8 och A-9 redovisas försökskonstruktionen före skott 3 och i figur A-10 och A-11 redovisas resultat efter skott 3. RSV-strålen passerade igenom 1.01 m ärtsingel och trängde in ca 0.17 m i betongskiktet.



Figur A-8. Bild av försökskonstruktion före skott 3.



Figur A-9. Bild av målmaterial (ärtsingel)



Figur A-10. Bild av försökskonstruktion efter skott 3.



Figur A-11. Bild av ingångshål i betong-element efter skott 3.

Skott 2003:4

Vid skott 4 (2003-11-13) belastades en försökskonstruktion bestående av 2.4 m höghållfast betong (ca K140) av en RSV-stridsdel med kalibern 105 mm (hotnivå 2). I figur A-12 redovisas försökskonstruktionen före skott 4 och i figur A-13 -- A16 redovisas resultat efter skott 4. RSV-stridsdelen var centriskt placerad mot betongelementet. RSV-strålens inträngning i betong uppmättes till ca 0.76 m. Ingen sprickbildning upptäcktes på baksidan av det första betongelementet. Sluggen (främre del) trängde in ca 0.46 m i hålskanalen. Den bakre delen av sluggen återfanns vid ca 0.36 m.



Figur A-12. Bild av försökskonstruktion före skott 4.



Figur A-13. Bild av försökskonstruktion efter skott 4.



Figur A-14. Bild av ingångshål och krater.



Figur A-15. Bild av blottlagd hålskanal i betongelement.



Figur A-16. Bild av inkilad slugg (återstående del av kopparkon) i hålskanal.

Skott 2003:5

Vid skott 5 (2003-11-18) belastades en försökskonstruktion bestående av 2.4 m höghållfast betong (ca K140) av en RSV-stridsdel med kalibern 105 mm (hotnivå 2). I figur A-17 redovisas försökskonstruktionen före skott 5 och i figur A-18 -- A-21 redovisas resultat efter skott 5. RSV-stridsdelen var placerad ca 30 cm från betongelementets rand. RSV-strålens inträngning i betong uppmättes till ca 0.90 m. Kraftig sprickbildning noterades på baksidan av betongelementet, dock ingen utstötning. Den främre delen av sluggen trängde in ca 0.63 m i hålskanalen och den bakre delen fanns vid ca 0.53 m.



Figur A-17. Bild av försökskonstruktion före skott 5.



Figur A-18. Bild av försökskonstruktion efter skott 5.



Figur A-19. Bild av ingångshål och krater.



Figur A-20. Bild av hålskanal i betongelement.



Figur A-21. Bild av inkilad slugg (återstående del av kopparkon) i hålskanal.

BILAGA B: RESULTAT FRÅN FÖRSÖK 2004

Skott 2004:1

Vid skott 1 (2004-05-06) belastades en försökskonstruktion bestående av ca 5 m ärtsingel av en RSV-stridsdel med kalibern 150 mm (hotnivå 4). I figur B-1 redovisas försökskonstruktionen före skott 1 och i figur B-2 -- B-4 redovisas resultat efter skott 1. RSV-strålens inträngning i ärtsingel uppmättes till ca 4.84 m, där även sluggen återfanns.



Figur B-1. Bild av försökskonstruktion före skott 1.



Figur B-2. Bild av målmateriäl (ärtsingel)



Figur B-3. Bild av försökskonstruktion efter skott 1.



Figur B-4. Bild av slugg vid maximal inträngning efter skott 1.

Skott 2004:2

Vid skott 2 (2004-06-23) belastades en försökskonstruktion bestående av 4.5 m normal betong (ca K40) av en RSV-stridsdel med kalibern 150 mm (hotnivå 4). I figur B-5 redovisas försökskonstruktionen före skott 2 och i figur B-6 -- B-12 redovisas resultat efter skott 2. RSV-strålens inträngning i betong uppmättes till 2.55 m. Ingen sprickbildning noterades på baksidan av det tredje betongelementet. Sluggen återfanns inte.



Figur B-5. Bild av försökskonstruktion före skott 2.



Figur B-6. Bild av försökskonstruktion efter skott 2.



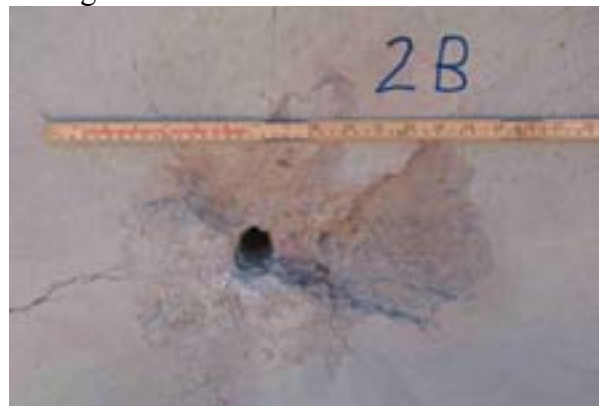
Figur B-7. Bild av framsida på det första betongelementet efter skott 2.



Figur B-8. Bild av baksida på det första betongelementet efter skott 2.



Figur B-9. Bild av framsida på det andra betongelementet efter skott 2.



Figur B-10. Bild av baksida på det andra betongelementet efter skott 2.



Figur B-11. Bild av framsida på det tredje betongelementet efter skott 2.



Figur B-12. Bild av hålskanal i det tredje betongelementet.

Skott 2004:3

Vid skott 3 (2004-10) belastades en försökskonstruktion bestående av 4.5 m normal betong (ca K40) av en RSV-stridsdel med kalibern 280 mm (hotnivå 5). I figur B-13 redovisas försökskonstruktionen före skott 3 och i figur B-14 -- B-22 redovisas resultat efter skott 3. Det första betongelementet krossades fullständigt och det uppfläktade stålhöljet återfanns ca 40 m ner i en slänt. De två längst bort placerade betongelementen kastades ca 10 m bort. RSV-strålens inträngning i betong uppmättes till totalt 3.66 m. Sluggen återfanns på avståndet 2 m, mellan det andra och tredje betongelementet.



Figur B-13. Bild av försökskonstruktion före skott 3.



Figur B-14. Bild av försökskonstruktion efter skott 3.



Figur B-15. Bild av framsida på det andra betongelementet efter skott 3.



Figur B-16. Bild av baksida på det andra betongelementet efter skott 3.



Figur B-17. Bild av framsida på det tredje betongelementet efter skott 3.



Figur B-18. Bild av baksida på det tredje betongelementet efter skott 3.



Figur B-19. Bild av framsida på det fjärde betongelementet efter skott 3.



Figur B-20. Bild av baksida på det fjärde betongelementet efter skott 3.



Figur B-21. Bild av framsida på det femte betongelementet efter skott 3.



Figur B-22. Bild av framsida på det tredje betongelementet efter skott 3 med fastkilad slugg.

Skott 2004:4

Vid skott 4 (2004-11-09) belastades en försökskonstruktion bestående av ca 2.2 m ärtsingel och 1.5 m normal betong (ca K40) av en RSV-stridsdel med kalibern 150 mm (hotnivå 4). I figur B-23 redovisas försökskonstruktionen före skott 4 och i figur B-24 -- B-27 redovisas resultat efter skott 4. RSV-strålen passerade igenom 2.2 m ärtsingel och trängde in ca 0.80 m i betongskiktet. Sluggen återfanns på ärtsingelskiktet.



Figur B-23. Bild av försökskonstruktion före skott 4.



Figur B-24. Bild av försökskonstruktion efter skott 4.



Figur B-25. Bild av framsida på det första betongelementet efter skott 4.



Figur B-26. Bild av baksida på det första betongelementet efter skott 4.



Figur B-27. Bild av framsida på det andra betongelementet efter skott 4.

BILAGA C: RESULTAT FRÅN FÖRSÖK 2005

Skott 2005:1

Vid skott 1 (2005-05-21) belastades en försökskonstruktion bestående av ca 0.75 m ärtsingel och 1.0 m normal betong (ca K40) av en RSV-stridsdel med kalibern 105 mm (hotnivå 2). I figur C-1 redovisas försökskonstruktionen före skott 1 och i figur C-2 -- C-5 redovisas resultat efter skott 1. RSV-strålen passerade igenom 0.75 m ärtsingel och trängde in ca 0.50 m i betongskiktet. Sluggen återfanns inte.



Figur C-1. Bild av försökskonstruktion före skott 1.



Figur C-2. Bild av försökskonstruktion efter skott 1.



Figur C-3. Bild av framsida på det första betongelementet efter skott 1.



Figur C-4. Bild av baksida på det första betongelementet efter skott 1.



Figur C-5. Bild av framsida på det andra betongelementet efter skott 1.

Skott 2005:2

Vid skott 2 (2005-05-21) belastades en försökskonstruktion bestående av ca 1.3 m ärtsingel och 0.5 m normal betong (ca K40) av en RSV-stridsdel med kalibern 105 mm (hotnivå 2). I figur C-6 redovisas försökskonstruktionen före skott 2 och i figur C-7 och C-8 redovisas resultat efter skott 1. RSV-strålen passerade igenom 1.3 m ärtsingel och trängde in ca 0.125 m i betongskiktet. Sluggen återfanns i ärtsingelskiktet.



Figur C-6. Bild av försökskonstruktion före skott 1.



Figur C-7. Bild av försökskonstruktion efter skott 1.



Figur C-8. Bild av framsida på det första betongelementet efter skott 1.

Skott 2005:3

Vid skott 3 (2005-05-28) belastades en försökskonstruktion bestående av ca 1.27 m ärtsingel och 1.5 m normal betong (ca K40) av en RSV-stridsdel med kalibern 127 mm (hotnivå 3). I figur C-9 redovisas försökskonstruktionen före skott 3 och i figur C-10 -- C-15 redovisas resultat efter skott 3. RSV-strålen passerade igenom 1.27 m ärtsingel och trängde in ca 1.10 m i betongskiktet. Sluggen återfanns i ärtsingelskiktet.



Figur C-9. Bild av försökskonstruktion före skott 3.



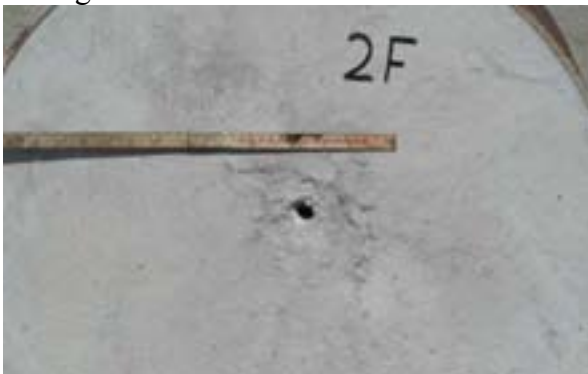
Figur C-10. Bild av försökskonstruktion efter skott 3.



Figur C-11. Bild av framsida på det första betongelementet efter skott 3.



Figur C-12. Bild av baksida på det första betongelementet efter skott 3.



Figur C-13. Bild av framsida på det andra betongelementet efter skott 3.



Figur C-14. Bild av baksida på det andra betongelementet efter skott 3.



Figur C-15. Bild av framsida på det tredje betongelementet efter skott 3.

BILAGA D: SAMMANSTÄLLNING AV LITTERATURSTUDIE

Johansson, B. och Ellergård, P.E., 1955, /1/

- Syfte: Jämförelse av RSV-penetration i skyddsmaterial.
 Mål: Stål med hårdhet upp till HB 600, skiktade plåtar, dural, granit m fl.
 Stridsdel: RSV (F 52) med 71.5 mm kondiameter (kopparkon, 70° och 1.5 mm gods-tjocklek) och 77 mm laddningsdiameter, konen är identisk med vissa partier av 8 cm psraket m/49B, explosivämne: Hexotol 50/50 0.45 kg.
 Kommentar: Äldre typ av stridsdelar, kan dock användas för jämförelse mellan olika målmaterial. I tabell 8 och 9 redovisas korta sammanställningar av försöksresultat. För vidare bearbetning.

Tabell 8. Penetration avseende varierande stand-off avstånd (D).

Material	HB	Densitet (g/cm ³)	Penetration i mm för		
			D=120 mm	D=175mm	D=225 mm
Bly	--	11.3	381	434	465
Zink	--	6.9	407	461	478
Dural 17 ST, exp 1954	100	2.8	434	454	427
Dural 17 ST, exp 1955	100	2.8	473	492	448
Handelsjärn SS 141300	105	7.7	327	371	375
Fagersta REMA-järn	80	7.7	321	379	369
Fagersta RRT 83	105	7.7	306	324	342
Fagersta RRNJ 31	145	7.7	313	326	323
Fagersta D65 glödgat	250	7.7	---	---	---
Fagersta D65 härdat	430	7.7	207	225	216
Fagersta D65 härdat	600-750	7.7	197	208	215
Bofors CRO 861	300	7.7	257	284	260

Johansson, B. och Ellergård, P.E., 1960, /2/

- Syfte: Kompletterande studie till Johansson och Ellergård (1955), med bl a förbättrade laddningar.
 Mål: Stål med hårdhet upp till HB 300, olegerat titan och granit.
 Stridsdel: 8 cm (F 52, F 65, F 66) och 12 cm (G 9) RSV-laddningar.
 Kommentar: Ritningar på använda laddningar finns redovisade, samt genomslag i de olika målmaterialen. För vidare bearbetning.

Joachim, C. E., /3/

- Syfte: Utvärdering av användande av RSV-laddningar för att ta bort skadade partier av landningsbanor.
 Mål: 4" (ca 100 mm) asfalt + 8" (ca 200 mm) betong + 6" (ca 150 mm) stabiliserad underbyggnad + kompakterat underlag.
 Stridsdel: TOW 5" (ca 127 mm) med 5.4 lb (ca 2.4 kg) Comp B och linjeladdningar, även med nitrometan som "explosivämne" för hemmagjorda linjeladdningar.
 Kommentar: Penetrationsdjup för TOW var 7,2 fot $\approx$ 2,2 m (vid standoff 0.35 ft – ca 107 mm) och håldiametern i betongen ca 2" (ca 50 mm). Begränsat värde av försöksresultaten, dock finns inverkan av standoff testad för TOW.

Smith, N., 1982, /4/

Syfte: Studie av kraterbildning och håldjup i jordmaterial, detta för att erhålla borrhål för placering av en s k "cratering charge".

Mål: Fruset och ofruset kohesionsmaterial, silt.

Stridsdel: 15 lb (ca 6.8 kg) och 40 lb RSV (ca 18.1 kg).

Kommentar: Penetrationsdjup för 15 lb RSV upp till 8.8 ft (ca 2.7 m) i ofruset material
Penetrationsdjup för 40 lb RSV upp till 10.8 ft (ca 3.3 m) i ofruset material
Begränsat värde av försöksresultaten.

Davison, D. K., 1983, /5/

Syfte: Studie av RSV-laddningar avsedda att ge stora håldiametrar i både stål- och betongmål.

Mål: 1" (ca 25 mm) stål, 4" (ca 100 mm) stål respektive 10" (ca 250 mm) betong.

Stridsdel: 68 mm RSV med aluminiumkon.

Kommentar: Inga användbara resultat avseende penetrationsdjup.

Winfrey, N. A., Grady, D. E., Parsons, D. A., Yakaboski, O. N., Milligan, K. B. and Maestas, F. A., 1999, /6/

Syfte: Studie av inverkan från kompaktering och hållfasthet av betong på RSV-penetration.

Mål: ---

Stridsdel: ---

Kommentar: Materialegenskaper för SAC-5 betong redovisade. Kan vara intressant för framtagande av analytisk modell och vid simuleringar. Inga försöksresultat redovisade.

Axelsson, H. and Richmond D. R., 1989, /7/

Syfte: Studie av tryckförlopp och framtagande av matematisk modell för beskrivning av lungskador och bröstskorgshastighet.

Mål: Pansarbandvagn 301 försedd med utbytbar målplatta av 40 mm pansarstål.

Stridsdel: 108 mm RSV med ökad tryck/restverkan.

Kommentar: Tryck och impulser redovisade för personal i vagnen.

Rollins, R. R., Clark, G. B. and Kalia, H. N., /8/

Syfte: Jämförelse mellan olika RSV med varierande konmaterial och standoffavstånd.

Mål: I huvudsak granit.

Stridsdel: 50 mm RSV-laddning med olika konmaterial, konvinkel, stand-off och explosivämnet C-4.

Kommentar: Ett antal användbara försök för penetrationsdjup i granit. För vidare bearbetning.

Held, M., 1992, /9/

Syfte: Jämförelse mellan olika målmaterial, även betongblock med distans mellan använda.

Mål: Stål 7.85 g/cm³, betong 2.4 g/cm³ och sand 1.3 g/cm³

Stridsdel: Laddningens utformning ej redovisad, dessutom har inte samma typ av laddning använts vid försöken i sand.

Kommentar: Penetration: 16 kalibrar i betong och 5 kalibrar i RHA, samt 35 kalibrar i sand. Försöksresultat för penetration i betong och stål redovisade. Slutsats: Skalning avseende roten för relativa densiteten fungerar ej mellan RHA och betong. För vidare bearbetning.

Held, M., 1987, /10/

Syfte: Jämförelse mellan hydrodynamisk teori och försöksresultat.
 Mål: Se /9/
 Stridsdel: Se /9/
 Kommentar: Samma försöksresultat som från Held /9/, Begränsat användningsområde.

Simonson, S. C., Winer, K. A., Reaugh, J. E., Breithaupt, R. D. and Baum, D. W., 1995, /11/

Syfte: Instrumenterade RSV-försök, inkl röntgenavbildning av strålen. Studien inriktar sig på verkan mot bl a undermarksanläggningar.
 Mål: 300 mm torr sand med densitet 1,66 g/cm³.
 Stridsdel: Viper 65 mm RSV-laddning med kopparkon, standoff 1000 mm.
 Kommentar: Hugoniotdata för sanden finns framtagna. Intressant vid eventuell numerisk simulering av RSV-penetration. Inga användbara penetrationsdjup.

Held, M., 1999, /12/

Syfte: Utveckla en specialiserad RSV-laddning för användande i (olje-) borrhål.
 Mål: 60 mm stål + 50-80 mm sten 10 mm stål + restverkan i stål
 Stridsdel: Speciellt utvecklad 64 mm RSV-laddning för denna tillämpning, olika laddningsgeometrier provade. Explosivämne: TNT/RDX.
 Kommentar: Penetrationsdjup redovisade för olika inlägg, kan även vara användbart för simulering. För vidare bearbetning.

Chanteret, P.Y., 1999, /13/

Syfte: Teoretisk modell för bestämmande av "tip" och "tail" hastigheter, samt strållängd.
 Mål: ---
 Stridsdel: ---
 Kommentar: Intressant för vidare studier av analytiska modeller avseende strålens egenskaper. Även referenserna kan vara av intresse.

Mattsson K., et. al., 1999, /14/

Syfte: Beskrivning av s k K-charge utan "slug", eller "slug" med hög hastighet (>2 km/s)
 Mål: RHA
 Stridsdel: K-charge
 Kommentar: Inga penetrationsdata redovisas.

Weikert, C.A., Powell, K.M., Winter, P.L., Fong, R. och NG, W.D., 1999, /15/

Syfte: Experimentell undersökning av verkan från projektilbildande RSV mot betong.
 Mål: Betong
 Stridsdel: 300-315 mm projektilbildande RSV-laddningar med "Armco iron" inlägg.
 Kommentar: Jämförelse mellan försök och simuleringar avseende bildning av EFP (RSV IV). Kraterprofiler i betong redovisade för EFP.

Wiemann, K. och Blance, A., 1999, /16/

Syfte: Experimentell och numerisk studie av EFP-bildande vid användning av två liner material.
 Mål: ---
 Stridsdel: EFP (RSV IV) med tantal och stål.
 Kommentar: Inga penetrationsförsök redovisade, bara data på projektilen.

Flis, W.J. och Crilly, M.G., 1999, /17/

Syfte: Beskrivning av analytisk modell för penetration i porösa material, samt jämförelse med simuleringar.

Mål: ---

Stridsdel: ---

Kommentar: Kan vara användbar för att utveckla modell för RSV-penetration i betong.

Church, P., Cornish, R., Cullis, I. and Wheeler, R., 2001, /18/

Syfte: En enkel översikt över genomförd verksamhet.

Mål: Hårda mål.

Stridsdel: ---

Kommentar: Inga användbara försök eller simuleringar redovisade.

Boeka, D., Hancock, S. and Ouye, N., 2001, /19/

Syfte: Bedömning av effektiv längd på strålen, d v s vilket är sista segmentet som bidrar till penetrationsdjupet.

Mål: RHA.

Stridsdel: RSV med sannolikt trumpetformad kopparkon och LX-14 explosivämne.

Kommentar: Analytisk modell för den lägsta fragmenthastighet som ger penetration är föreslagen. Inga användbara försöksresultat för analytiska modeller.

Murphy, M.J. och Kuklo, R.M., 1999, /20/

Syfte: Jämförelse mellan olika typer av RSV med konformat och sfäriskt inlägg, samt projektilbildande RSV (EFP).

Mål: Betong $f_c=20.7$ MPa.

Stridsdel: RSV med olika form på inläggen.

Kommentar: Penetrationsdjup redovisas. För vidare bearbetning.

E.L. Baker, A.S. Daniels, K.W. Ng, V.O. Martin and J.P. Orosz, Barnie, 2001, /21/

Syfte: Användande av energetiskt material som liner för RSV.

Mål: Betong.

Stridsdel: 81 mm RSV med energetiskt material som liner.

Kommentar: Kan vara av intresse för genomslag av betongväggar "demolition charge". Begränsade data från penetrationsförsöken redovisade.

Held, M., 2002, /22/

Syfte: Översikt över utveckling och framtida möjligheter för RSV.

Mål: ---

Stridsdel: ---

Kommentar: Inga direkt användbara resultat.

Resnyansky, A.D. and Wildegger-Gaissmaier, A.E., 2002, /23/

Syfte: Simulering av verkan i betong.

Mål: ---

Stridsdel: ---

Kommentar: Inga användbara försök eller simuleringar redovisade.

R. Fong, J. Kraft, W. Ng, L. Thompson, G. Bonnstetter, R. Brumley and H. Kim, 2004, /24/

Syfte: Simulering av EFP (RSV IV) mot betong och tegelväggar, viss jämförelse med försök.

Mål: Betong och tegel.

Stridsdel: EFP (Weikert et al., 18th Int. Sym. on Ballistics, 1999)

Kommentar: Formen på bildade EFP visas. Inga ytterligare användbara resultat avseende penetration.

M. Murphy, R.M. Kuklo, T.A. Rambur, L.L. Switzer and M.A. Summers, 2004, /25/

Syfte: ---

Mål: Tuff, betong (HPC), kalksten och granit

Stridsdel: 12.7 cm X1-G1 stridsdel med 2020 g LX-14

Kommentar: Penetrationsdjup redovisade för materialen enligt tabell 10.

Tabell 10. Data om hålstorlek och penetration i betong och geologiskt material för XC-G1 laddning.

target material	borehole diameter top (cm)	borehole diameter bottom (cm)	penetration depth (cm)	borehole volume (cm ³)	energy per unit volume (J/cc)
tuff-1	10.8	7.9	160.0	10280	128
tuff-2	6.7	4.1	139.7	3623	364
concrete	5.1	4.4	89.5	1497	882
limestone	4.3	2.6	76.2	668	1976
granite	3.5	2.2	74.3	548	2409

K.D. Werneyer and F.J. Mostert, 2004, /26/

Syfte: Analytisk modell för RSV-laddningar försedda med kon av ”metal powder”.

Mål: ---

Stridsdel: ---

Kommentar: Inga användbara penetrationsdata.

A.D. Resnyansky, G. Katselis and A.E. Wildegger-Gaissmaier, 2004, /27/

Syfte: Studie av genomslag från RSV i relativt korta mål

Mål: 300 mm betong

Stridsdel: 76 mm RSV med aluminiumkon med standoff 80-153 mm

Kommentar: Genomslag, kraterdimensioner redovisas. Inga penetrationsdjup redovisas.

Y. Baillargeon, 2004, /28/

Syfte: Studie av skalning av RSV.

Mål: RHA med tjocklek 6, 12 och 18 mm för 40 mm laddning. De andra målen var skalade avseende laddningsdiameter. Vittnesplåtar placerades 600 mm bakom målet.

Stridsdel: 40, 60 och 80 mm RSV med kopparkon.

Kommentar: Geometrier och materialdata för laddningarna redovisas. Inga penetrationsdjup, men ”behind armour debris” redovisas.

A. Holzwarth, 2004, /29/

Syfte: Jämförelse mellan olika storlekar på laddningar.
 Mål: Referensstål och ERA-paneler.
 Stridsdel: 44 och 73 mm RSV-laddningar.
 Kommentar: Referenspenetration i C 60 stål angiven till 241 mm respektive 363 mm. Gäller för 2 CD standoff.

A.S. Daniels, E. L. Baker, K. W. Ng, T. H. Vuong and S.E. DeFisher, 2004, /30/

Syfte: Numerisk och experimentell jämförelse mellan förbättrade RSV-laddningar och existerande.
 Mål: ---
 Stridsdel: 125 mm RSV-laddningar: LX-14 och kopparkon, CL-20 och kopparkon, samt LX-14 och molybdenkon.
 Kommentar: Inga penetrationsdata redovisas.

T.C. Phua, T. Moore and R. Brown, 2004, /31/

Syfte: Jämförelse mellan CTH och Autodyn avseende strålbildning, samt jämförelse med försök.
 Mål: ---
 Stridsdel: Fyra olika typer av RSV-laddningar, dock sparsamt med data för laddningarna
 Kommentar: Bra korrelation mellan CTH och Autodyn, inga penetrationsförsök.

Vigel, M.G., 1988, /32/

Syfte: Studie av RSV-penetration i tuff.
 Mål: Tuff, d v s pyroklastiskt sedimentär bergart. Densitet 1.85 g/cm³ använd vid utvärdering.
 Stridsdel: RSV-laddningar 0.16-9.1", samt EFPs med 5" diameter.
 Kommentar: Penetration och hålprofil vid varierande standoff redovisas, även ritningar för använda laddningar finns redovisade. För vidare bearbetning.

Austin, C.F. och Pringle, J.K., 1964, /33/

Syfte: Studie av RSV-penetration i geologiska material.
 Mål: Adamellite 2.59 g/cm³, kalksten 2.7 g/cm³, sandsten 2.14 g/cm³ och stål 7.76 g/cm³.
 Stridsdel: 4" (ca 100 mm) RSV laddning med C-3 explosivämne och "cast iron" kon (55°).
 Kommentar: Penetration vid varierande standoff redovisas. För vidare bearbetning.

United States Marines Corps, 2001, /34/

Syfte: Sammanställning av skyddsförmåga för konstruktionsmaterial inkl RSV-penetration.
 Mål: Skydd av allmänna konstruktionsmaterial.
 Stridsdel: RSV av olika typer, projektiler 7.62-75 mm, granater och bomber.
 Kommentar: För vidare bearbetning.

Chou, P.C., Tanzio, C.A., Carleone, J. och Cicarelli, R.D., 1977, /35/

Syfte: Studie av strålbildning för RSV.

Mål: ---

Stridsdel: RSV-laddningar med aluminiumkoner och kopparkoner

Kommentar: Stråldata redovisas, dock är tabellerna dåligt reproducerade. Kan vara av intresse för jämförelse med simuleringar av strålbildning. Inga penetrationsdata redovisas.

Murphy, M.J., Baum, D.W., Clark, D.B., McGuire, E.M. och Simonsen, C., 2000, /36/

Syfte: Jämförelse mellan experiment och simuleringar av RSV-penetration i betong.

Mål: 60 MPa betong (kraftigt armerad).

Stridsdel: X-charge 109 mm med 105° aluminiumkon, Laddningen saknar ”slug”.

Kommentar: Penetration ca. 7.5CD för standoff 4CD. Begränsade data avseende utformning och försöksresultat.

Murphy, M.J. et al, 2003, /37/

Syfte: Jämförelse mellan experiment och simuleringar med olika EOS för målmaterialet.

Mål: Betong $f_c = 41.4$ MPa, ”in-situ weathered” granit.

Stridsdel: 12.7 cm X-charge med aluminiumkon (XC-G1).

Kommentar: 90 cm penetration i betong och 75 cm penetration i granit.

Hulton, F. och Hay, A.H., 2003, /38/

Syfte: Anvisningar för design av skydd mot RSV.

Mål: Mål kombinerat med ”protective screen”.

Stridsdel: RPG

Kommentar: Inga användbara resultat avseende penetration.

Axelsson, H., Carlsson, T., Medin, A., Olsson, S., Persson, B., Pettersson, U. och Selin B., 1998, /39/

Syfte: Jämförelse med incident i Bosnien 1994, studie av restverkan (miljö) inuti pansarfordonet.

Mål: Pansarbandvagn 302

Stridsdel: Robot 53, Bantam.

Kommentar: Tryck och gaskoncentrationer inne i vagnen registrerade.

Yu Chuan, Tong Yanjin, Yan Chengli m fl, 1999, /40/

Syfte: Tillämpad forskning inom riktad sprängverkan, framtagning av laddning för penetration i berg.

Mål: Bergmaterial.

Stridsdel: 140-141 mm koppar eller aluminiumkon, 2.3 -2.5 kg HMX/TNT (70/30).

Kommentar: Penetrationsdata i berg redovisas. Framtagning av EFP redovisas med vissa försöksdata.

Arnold, Werner, Schäfer, Frank, K., 1999, /41/

Syfte: Studera BAB (Behind Armor Blast) effekter som uppstår vid genomslag av RSV-stråle.

Mål: Stål

Stridsdel: 106 mm RSV, inlägg av koppar, aluminium eller magnesium.

Kommentar: Mätning av tryck och temperatur, samt sekundärsplitter redovisas. Intressant referens inför kommande försök med RSV som penetrerar skyddstäckningar.

Huerta, M., Vigil, M.G., 2004, /42/

Syfte: Framtagning av RSV-laddning för penetration av ca 6 m betong eller berg.
 Mål: ”Tuff rock”.
 Stridsdel: 0.7 m (28 in) RSV, kon av koppar, 272 kg HE, vikt av kon ca 85 kg.
 Kommentar: Vid försöken observerades ca 5.9 m inträngning. Jämförelser med analytisk kod (SCAP) gjordes även.

Kozachuk, A.I., Kozhushko, B.V., m fl, 2003, /43/

Syfte: Studera avvikelser för penetration av RSV som beror av strålens växelverkan med kratern.
 Mål: Stål, koppar, keram, glas
 Stridsdel: 25 mm RSV, kon av koppar, laddning av RDX, stand-off avstånd 60 mm.
 Kommentar: Penetrationsdata redovisas.

Helte, A., m fl, 2005, /44/

Syfte: Sammanfattning av verksamheten inom projektet stridsdelsteknik 2001-2004.
 Mål: Betongmål, standardbetong.
 Stridsdel: RSV stridsdelar av olika typer, t ex strålbildande RSV kombinerad med ringformad EFP/RSV IV, nya inläggsmaterial och fyrpunktsinitierad RSV med korsformad stråle.
 Kommentar: Projektet har bl a studerat möjligheten att utveckla förbättrade typer av RSV-stridsdelar, bl a för att erhålla större krater och håldimensioner i betongmål. Stridsdelarnas prestanda redovisas ej, bara verkansprincipen. Finns dock referenser till ett antal rapporter framtagna inom projektet som kan vara av intresse för framtida studier. Även andra typer av stridsdelar diskuteras.

REFERENSER

- /1/ Johansson, B. och Ellergård, P.E., Skydd mot RSV, FOA 2 dnr H 2316-2056, 1955.
- /2/ Johansson, B. och Ellergård, P.E., Skydd mot RSV, del 2, FOA 2, AH 2074 - 2056, 1960.
- /3/ Joachim, C. E., Rapid runway cutting with shaped charges, U.S. Army Engineering Waterways Experiment Station Conference, AD-P001712.
- /4/ Smith, N., Testing shaped charges in unfrozen and frozen silt in Alaska, US Army Cold Regions Research and Engineering laboratory, CRREL-SR-82-2, March 1982, AD-A113670.
- /5/ Davison, D. K., Interaction of high-velocity aluminium shaped-charge jets with finite steel and concrete targets, The Interaction of Non-Nuclear Munitions with structures, 1983.
- /6/ Winfree, N. A., Grady, D. E., Parsons, D. A., Yakaboski, O. N., Milligan, K. B. and Maestas, F. A., Supersonic penetration of shaped charge jets into concrete. ASME Pressure vessels piping div pub, PVP-Vol. 394, 1999.

- /7/ Axelsson, H. and Richmond D. R., The non-auditory effects of complex blast waves on personnel inside an APC attacked by shaped charge warheads, 6th Int. Sym. on Wound Ballistics, 1988. FOA Report C 20773 - 2.3, 1989.
- /8/ Rollins, R. R., Clark, G. B. and Kalia, H. N., Penetration in granite by jets from shaped-charge liners of six materials, Int. J. Rock Mech. Min. Sci. and Geomech. Abstr. Vol. 10, pp 183-207.
- /9/ Held, M., Penetration of shaped charges in concrete and in sand in comparison to steel-targets, Journal of Explosives and Propellants, R.O.C. - Taiwan, vol. 8, no. 1, 1-15, 1992.
- /10/ Held, M., Refined shaped charge jet penetration measurement in various materials versus hydrodynamic prediction, , 10th Int. Sym. on Ballistics, 1987.
- /11/ Simonson, S. C., Winer, K. A., Reaugh, J. E., Breithaupth, R. D. and Baum, D. W., Experiments and computer simulations of the dynamic cavity formed by a particulated shaped-charge jet in sand, 15th Int. Sym. on Ballistics vol. 1, 1995.
- /12/ Held, M., Special shaped charges for off-shore application, 18th Int. Sym. on Ballistics, 1999.
- /13/ Chanteret, P.Y., Velocity gradient and shaped charge jet length, 18th Int. Sym. on Ballistics, 1999.
- /14/ Mattsson K., et. al., Development of the K-Charge, A Short L/D Shaped Charge, 18th International Symposium On Ballistics, 1999.
- /15/ Weikert, C.A., Powell, K.M., Winter, P.L., Fong, R. och NG, W.D., Interaction of large diameter explosively formed projectiles with concrete targets, 18th Int. Sym. on Ballistics, 1999.
- /16/ Wiemann, K. och Blance, A., Explosively formed projectile with tantalum penetrator and steel stabilization base, 18th Int. Sym. on Ballistics, 1999.
- /17/ Flis, W.J. och Crilly, M.G., Hypervelocity jet penetration of porous materials, 18th Int. Sym. on Ballistics, 1999.
- /18/ Church, P., Cornish, R., Cullis, I. and Wheeler, R., General overview of capability in the simulation of shaped charges penetrating soil/concrete targets, 19th Int. Sym. on Ballistics, 2001.
- /19/ Boeka, D., Hancock, S. and Ouye, N., Cutoff velocity in precision shaped charge jets, 19th Int. Sym. on Ballistics, 2001.
- /20/ Murphy, M.J. och Kuklo, R.M., Fundamentals of shaped charge penetration in concrete, 18th Int. Sym. on Ballistics, 1999.
- /21/ E.L. Baker, A.S. Daniels, K.W. Ng, V.O. Martin and J.P. Orosz, Barnie: A Unitary Demolition Warhead, 19th Int. Sym. on Ballistics, 2001.

- /22/ Held, M., The Shaped Charge Potential, 20th Int. Sym. on Ballistics, 2002.
- /23/ Resnyansky, A.D. and Wildegger-Gaissmaier, A.E., Study of the Borehole Diameter in Concrete due to the Shaped Charge Jet Penetration, 20th Int. Sym. on Ballistics, 2002.
- /24/ R. Fong, J. Kraft, W. Ng, L. Thompson, G. Bonnsetter, R. Brumley and H. Kim, Numerical Modeling Study of Different EFP Designs vs. Masonry and Concrete Targets, 21st Int. Sym. on Ballistics, 2004.
- /25/ M. Murphy, R.M. Kuklo, T.A. Rambur, L.L. Switzer and M.A. Summers, Single and Multiple Jet Penetration Experiments into Geologic Materials, 21st Int. Sym. on Ballistics, 2004.
- /26/ K.D. Werneyer and F.J. Mostert, Analytical Model Predicting the Penetration Behaviour of a Jet with a Time-Varying Density Profile, 21st Int. Sym. on Ballistics, 2004.
- /27/ A.D. Resnyansky, G. Katselis and A.E. Wildegger-Gaissmaier, Experimental and numerical study of the shaped charge jet perforation against concrete targets, 21st Int. Sym. on Ballistics, 2004.
- /28/ Y. Baillargeon, Shaped Charge Scaled Effects on Behind-Armour Debris, 21st Int. Sym. on Ballistics, 2004.
- /29/ A. Holzwarth, Scaling of Shaped Charges and Explosive Reactive Armors, 21st Int. Sym. on Ballistics, 2004.
- /30/ A.S. Daniels, E. L. Baker, K. W. Ng, T. H. Vuong and S.E. DeFisher, High Performance Trumpet Lined Shaped Charge Technology, 21st Int. Sym. on Ballistics, 2004.
- /31/ T.C. Phua, T. Moore and R. Brown, Quantitative Code Evaluation for Predicting Shaped Charge Jet Stability and Characteristics, 21st Int. Sym. on Ballistics, 2004.
- /32/ Vigel, M.G., Explosively shaped charge penetration into tuff rock, SAND88-2338, Sandia National Laboratories, Albuquerque, 1988.
- /33/ Austin, C.F. och Pringle, J.K., Detailed response of some rock targets to jets from lined-cavity shaped charges, Journal of petroleum technology 16(1964):1, 1964.
- /34/ United States Marines Corps, Student handout - Survivability, C-14B01, Marines Corps Engineering School, North Carolina, 2001.
- /35/ Chou, P.C., Tanzio, C.A., Carleone, J. och Cicarelli, R.D., Shaped charge jet breakup studies using radiograph measurements and surface instability calculations, USA Ballistic Research Laboratory, BRL Contract report no. 337, Maryland, 1977.
- /36/ Murphy, M.J., Baum, D.W., Clark, D.B., McGuire, E.M. och Simonsen, C., Numerical simulation of damage and fracture in concrete from shaped charge jets, 2000 DYMAT, 6th International Conference on Mechanical and Physical Behaviour of Materials Under Dynamic Loading, Krakow 2000 (Preprint UCRL-JC-140416).

- /37/ Murphy, M.J. et al, Experiments and Simulations of Penetration into Granite by an Aluminum Shaped Charge, DYMAT 2003, 7th International Conference on Mechanical and Physical Behaviour of Materials Under Dynamic Loading, Porto 2003.
- /38/ Hulton, F. och Hay, A.H., The Development and Validation of RPG Protection Design Criteria, 11th Int. Sym. on Interaction of the Effects of Munitions with Structures, 2003.
- /39/ Axelsson, H., Carlsson, T., Medin, A., Olsson, S., Persson, B., Pettersson, U. och Selin B., Verkan av en RSV-laddning mot pbv 302, En experimentell jämförelse med beskjutningarna i Bosnien 1994, FOA, FOA-R--98-00742-310--SE, Stockholm 1998.
- /40/ Yu Chuan, Tong Yanjin, Yan Chengli, Li Fabo, Gui Yulin, Zhang Ming, Wang Bingren, Xie Panhai and Li Liangzong, Applied Research of Shaped Charge Technology, International Journal of Impact Engineering 23, p 981-988, 1999.
- /41/ Arnold, Werner, Schäfer, Frank, K., Behind Armor Blast (BAB) Caused by Shaped Charges, International Journal of Impact Engineering 23, p 13-25, 1999.
- /42/ Huerta, M., Vigil, M.G., Design, analyses, and field test of a 0.7 m conical shaped charge, International Journal of Impact Engineering (accepted 16 october 2004).
- /43/ Kozachuk, A.I., Kozhushko, B.V., Rumyantsev, A.B., Sinani, A.S., Vlasov, A.S., Zilberbrand, E.L., On Interaction of Shaped-Charge Jets with the Crater Walls in Penetrating Metals and Brittle Materials, International Journal of Impact Engineering 29, p 385-390, 2003.
- /44/ Helte, A., m fl, Sammanfattning av verksamheten inom projektet stridsdelsteknik 2001-2004, FOI, FOI-R--1385--SE, 2004.