

Flyttbara skydd mot vapenverkan - en litteraturstudie

Rickard Forsén, Johan Magnusson



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:08-55503000
Fax:08-55504180

www.foi.se

Flyttbara skydd mot vapenverkan - en litteraturstudie

Utgivare FOI - Totalförsvarets Forskningsinstitut Vapen och skydd 147 25 Tumba	Rapportnummer, ISRN FOI-R--1612--SE	Klassificering Teknisk rapport
	Forskningsområde 5. Bekämpning och skydd	
	Månad, år Juni 2005	Projektnummer E2011
	Delområde 53 Skydd och anläggningsteknik	
	Delområde 2	
Författare/redaktör Rickard Forsén Johan Magnusson	Projektledare Peter Skoglund	
	Godkänd av	
	Uppdragsgivare/kundbeteckning FM HKV	
	Tekniskt och/eller vetenskapligt ansvarig	
Rapportens titel Flyttbara skydd mot vapenverkan - en litteraturstudie		
Sammanfattning (högst 200 ord) <p>Behov av flyttbara och snabbygda skydd mot vapenverkan finns framför allt vid internationella insatser, t.ex. vid anordnande av stridsställningar, observationsposter, checkpoints och camper. Även vid andra snabbt uppkomna situationer såsom vid kravaller, eller vid plötslig omgruppering av styrkor kan behov av sådana skydd finnas.</p> <p>Förutom det uppenbara kravet på skydd mot vapenverkan, som ofta kan vara svårbestämt och föränderligt, finns också krav på enkel hantering och låg vikt, samt låg kostnad.</p> <p>I rapporten redovisas resultatet av en omfattande litteraturstudie av dels hotkategorier men framför allt har olika skyddsprinciper studerats och särskilt deras prestanda mot projektiler, framför allt finkalibriga och splitter, samt mot belastning från explosioner. Studien ger en bred bild av olika skyddsprinciper som grund för inriktning av fördjupade studier med kvantifiering av potentialen hos intressanta skyddsprinciper.</p>		
Nyckelord Flyttbara skydd		
Övriga bibliografiska uppgifter	Språk Svenska	
ISSN 1650-1942	Antal sidor: 66 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--1612--SE	Report type Technical report
	Programme Areas 5. Strike and protection	
	Month year June 2005	Project no. E2011
	Subcategories 53 Protection and Fortification	
	Subcategories 2	
Author/s (editor/s) Rickard Forsén Johan Magnusson	Project manager Peter Skoglund	
	Approved by	
	Sponsoring agency FM HKV	
	Scientifically and technically responsible	
Report title (In translation) Deployable protective structures - a literature survey		
Abstract (not more than 200 words) <p>In many situations during out of area missions there is a great need for rapidly erectable and/or transportable field fortifications, which can be used for fighting positions, bunkers and command or observation posts. Also in other situations such as riots or sudden regrouping of military forces is this kind of protection needed.</p> <p>Besides the obvious demand for a protection capability against sometimes undefined weapons effects there are also demands for easy handling and for low cost.</p> <p>In this report a literature survey is made on both threat categories but particularly protection capabilities concerning blast load and perforating objects such as fragments and fine calibre projectiles. The study gives a comprehensive account of protection principles as a basis for more detailed and quantified survey of the potential of interesting principles.</p>		
Keywords Deployable protection		
Further bibliographic information	Language Swedish	
ISSN 1650-1942	Pages 66 p.	
Price acc. to pricelist		

Innehåll

1	Inledning.....	3
1.1	Bakgrund	3
1.2	Syfte	4
1.3	Avgränsningar	4
1.3.1	Hot.....	4
1.3.2	Hantering och användningssätt, samt kostnad	5
1.3.3	Skyddsprinciper.....	6
2	Hotbild.....	7
2.1	Allmänna aspekter på flyttbara skydd.....	7
2.2	Olika verkansformer och ammunitionstyper.....	11
2.2.1	Finkalibriga projektiler.....	11
2.2.2	Splitter	13
2.2.3	RSV	15
2.2.4	Luftstötståg	16
3	Skyddskonstruktioner och skyddsmaterial.....	19
3.1	Tidigare och nuvarande utformning av flyttbara skydd.....	19
3.1.1	Erfarenheter från Bosnien	19
3.1.2	Svenska skyddslösningar.....	21
3.1.3	Andra länders skyddslösningar	24
3.2	Skydd mot finkalibriga projektiler och splitter	28
3.2.1	Allmänt.....	28
3.2.2	Stål.....	30
3.2.3	Titan	32
3.2.4	Aluminium	34
3.2.5	Fiberkompositer	34
3.2.6	Keramer och kerampansar.....	35
3.2.7	Betong och geologiska material	36
3.2.8	Jämförelser mellan olika skyddsmaterial	40
3.2.9	Inverkan av tilläggskydd.....	41
3.3	Skydd mot grövre projektiler	43
3.4	Skydd mot RSV-stridsdelar.....	43
3.5	Skydd mot briserande granater och bomber.....	44
3.5.1	Luftstötståg	44
3.5.2	Luftstötståg i kombination med splitter	45
3.5.3	Kontaktverkan och små laddningsavstånd	46
3.6	Skydd mot värme och brand.....	46
3.7	Innovativa skyddsmaterial.....	47
3.7.1	Nanostrukturella metalliska material	47
3.7.2	Amorfa metaller	47
3.7.3	Kerambaserat nanomaterial.....	47
3.7.4	Biomaterial.....	47
4	Diskussion och förslag till fortsatt arbete.....	49
4.1	Diskussion	49
4.2	Fortsatt arbete.....	53
	Referenser.....	57

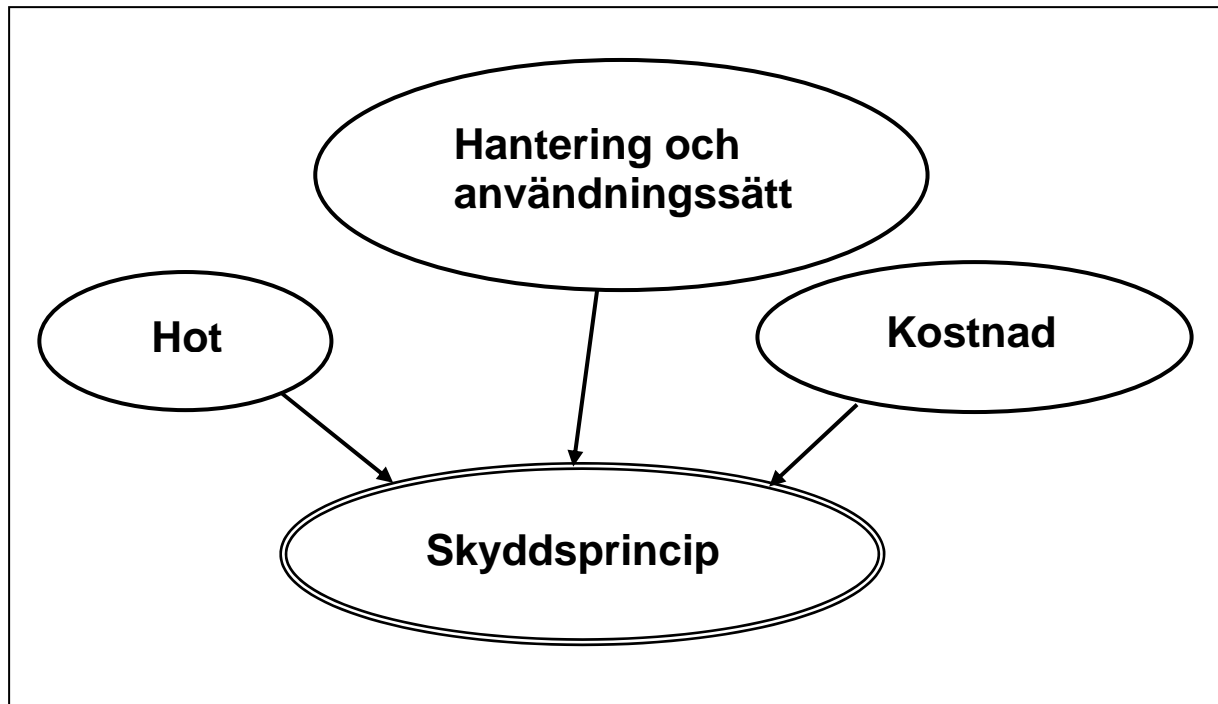
1 Inledning

1.1 Bakgrund

Anordningar för skydd av personal och materiel mot vapenverkan kan principiellt delas in i dels geografiskt fasta det vill säga fast byggda skyddskonstruktioner på eller under mark eller i berg och dels rörliga skydd till exempel pansrade fordon och farkoster. En fördel med fast byggda skyddskonstruktioner är att det finns möjlighet att utföra dem med mycket gott skydd eftersom konstruktionerna inte behöver begränsas till storlek och massa. En annan fördel är att de ofta kan utnyttja billiga geologiska material för skyddet. En fördel med rörliga skydd är att de kan användas vid transporter och att de kan lokaliseras flexibelt där de för tillfället bäst behövs.

Ett mellanting mellan fasta och rörliga skydd är flyttbara och snabbyggda skydd som har en potential att uppnå fördelen av att kunna lokaliseras flexibelt men ändå ges ett mycket gott skydd till relativt låg kostnad. Med flyttbara och snabbyggda skydd avses här skydd som byggs temporärt på en plats men har möjlighet att flyttas eller nybyggas relativt snabbt, inom någon eller några timmar, på en annan plats. Ett specialfall av snabbyggt skydd kan vara en befintlig konstruktion till exempel vanliga byggnader som med enkla medel förstärks för att klara vapenverkan. Termen ”lätta befästningar” används i vissa sammanhang för en konstruktion som här benämns flyttbara skydd.

I denna rapport genomförs en sammanställning och bedömning av olika möjliga material och konstruktioner för flyttbara och snabbyggda skydd. Sammanställningen av möjliga skyddsprinciper mot olika hot utgår från en litteraturstudie. Studerade källor har i första hand sökts i senare års internationella konferenser och arbeten som bedrivits vid FOA/FOI under senare decennier. Bedömningen av skydden utgår från krav baserade på hotbilden, användningssätt och hantering samt kostnader för skyddet (Figur 1.1).



Figur 1.1 Faktorer som påverkar lämpligt utförande av skyddsprincip.

1.2 Syfte

Avsikten med föreliggande rapport var att ge en översikt av olika materials och skyddslösningar skyddsförmåga, samt att göra en bedömning av deras potential utifrån hot, hantering och användningssätt samt kostnad. Dessutom var avsikten att göra en sammanställning över den hotbild som är aktuell för flyttbara skydd.

Syftet har varit att lägga tyngdpunkten i redovisningen på sammanställningen baserat på litteraturstudium av olika principer för skyddslösningar. Ett mål med studien var att föreslå lämpliga material och konstruktioner för framtida utveckling. I samband med studien skulle också eventuella kunskapsluckor identifieras, där fortsatt verksamhet anses angelägen. Slutligen var avsikten att göra en genomgång av metoder för fortsatt forskning och utveckling och ge förslag på framtida arbete.

1.3 Avgränsningar

1.3.1 Hot

Tänkbara vapenverkanshot mot personal och materiel kan vara biologiska, kemiska, nukleära, elektromagnetiska och konventionella. I denna rapport begränsas emellertid analysen helt till konventionella hot. Konventionella hot kan i sin tur indelas enligt olika principer. En indelning som har bedömts praktisk i detta sammanhang presenteras i Tabell 1.1 nedan.

Tabell 1.1 En indelning av konventionella hot.

Penetration	Projektiler	Finkaliber
		Mellankaliber
		Grovkaliber
	Splitter	Naturligt fragmenterad
		Förfragmenterad eller styrd
RSV		
Tryck	Luftstötståg	
	Markstötståg	
	Kontaktverkan	
Värme/brand		
Kombinationer		

Av de i Tabell 1.1 redovisade hoten har i denna rapport fokus lagts på penetration av splitter och finkaliberprojektiler. Dessutom behandlas hotet från luftstötståg, även i kombination med splitter, samt i begränsad omfattning kontaktverkan och värmeverkan. Ytterligare en viktig aspekt som tas upp är olika skyddsstrukturens förmåga att klara ett upprepat hot till exempel flera beskjutningar efter varandra (flerskottskapacitet).

1.3.2 Hantering och användningssätt, samt kostnad

En faktor som påverkar val av skyddsprincip, förutom det vapenhot som skyddet ska användas för är hur skyddet ska hanteras. För att underlätta hanteringen är det av värde om skyddet:

- Har en bra inre miljö och har en komfort som medger uthållighet
- Är beständigt mot aktuell miljöpåverkan
- Har låg vikt, vilket underlättar vid transport och iordningställande
- Är enkelt att ställa i ordning, till exempel med handkraft
- Kan ställas i ordning på kort tid
- Har möjlighet att uppgraderas om hotbilden förstärks
- Har möjlighet att enkelt repareras om det skadas av hantering, till exempel vid transport eller vid vapenverkan
- Utnyttjar material som kan anskaffas på plats
- Har möjlighet att "självläka" efter vapenverkan

Ytterligare en faktor som påverkar val av skyddsprincip är naturligtvis kostnaden för att få till stånd skyddet. Denna kostnad kan i sin tur uppdelas i råvarukostnad och tillverkningskostnad,

det antas då att kostnader för transport, montering på plats och underhåll/reparationer ingår i faktorn hantering enligt ovan.

1.3.3 Skyddsprinciper

För att förhindra eller reducera skador vid angrepp mot en skyddskonstruktion och det den skall skydda är olika motåtgärder möjliga. Grundläggande principer är strukturella (till exempel hårdgöring), konceptuella (till exempel kamouflage) och VMS (Varnings- och MotverkansSystem). I denna rapport begränsas analysen till strukturella skyddsprinciper. Här görs dessutom avgränsningen att enbart behandla ”inerta” material och materialkombinationer, således behandlas här inte reaktivt pansar eller el-pansar och liknande. Inom gruppen inerta material kan förekomma skydd som består av rena material till exempel metaller, kompositmaterial till exempel betong och fiberlaminat, kombinationer av material som exempelvis skiktade skydd av stål och geologiskt material. Dessutom kan skyddet utföras så att geometrin har en positiv effekt till exempel genom att utnyttja en eller flera vinklade plåtar som tilläggs-skydd. I Tabell 1.2 nedan redovisas en indelningen av skyddsprinciper efter valet av material och metod för att bygga upp konstruktionen.

Studien avgränsas till att ge en översikt av förekommande forskning om olika skyddslösningar och olika materials skyddsförmåga. Specifika, kvantitativa resultat och inbördes detaljerade jämförelser mellan olika skyddslösningar har emellertid till stor del utelämnats i denna studie.

Tabell 1.2 Principer för uppbyggnad av skydd

Skyddsuppbyggnad	Typ av material	Exempel
Enkla material	Geologiska	Sand
	Byggnadsmaterial	Tegel
	Metaller	Stål
	Vävar	Aramid
	Keramer	Aluminiumoxid
Kombinationer av material	Fiberlaminat	Glasfiberarmerad plast
	Armerad betong	Stålfiberarmerad betong
	Gradientmaterial	Keram och metall
Geometri som skyddsprincip	Vinklade tilläggs-skydd	Sned tunn plåt framför grundpansar
	Skiktade skydd	Skiktade plåtar

2 Hotbild

2.1 Allmänna aspekter på flyttbara skydd

Svensk militär personal som ingår i förband vid internationella insatser har behov av olika former av skydd mot vapenverkan och då är lätta, snabbyggda skydd av stort intresse. Efter erfarenheterna från Bosnien på 1990-talet framkom det att möjligheterna att medföra snabbyggda skydd från hemlandet skulle vara av värde, speciellt vid upprättandet av camper (Liljegren, 1996). Ett sådant (flyttbart) skydd bör då vara modulbaserat, kunna användas i många olika situationer och vara lätthanterligt med kort monterings- och utmonterings- och utan behov av specialverktyg. Beständigheten kan vara viktigt att beakta för de material som ingår i ett flyttbart skydd så att dessa tål den miljö i vilket skyddet skall användas under kanske lång tid. Enligt Försvarmakten (1999) är flyttbara skydd enkla anläggningar för verkansstöd och skydd som exempelvis observations-, strids- och pjäsvärn, förbindelsevärn, installationskydd eller skyddade utrymmen för trupp och materiel. Förband som verkar från observationsplatser, checkpoints, camper och andra fasta positioner kan ges verkansstöd och ökad uthållighet genom att utnyttja flyttbara skydd. Enligt de operativa ramvillkoren för utvecklingen av flyttbara skydd framtagna av Försvarmakten skall flyttbara skydd kunna användas vid väpnat angrepp och internationella insatser. Av dessa två uppgifter är det internationella insatser som har prioritet vid arbetet med flyttbara skydd vid vilka dessa skall kunna nyttjas vid såväl fredsbevarande som fredsframtvängande operationer. Utbyggnaden av skyddet skall kunna ske snabbt med enkel materiel och hjälpmedel och det är här viktigt med flexibilitet beträffande skyddsnivå, uthållighet, utbyggnadstid, storlek, flyttbarhet, byggnadsmaterial och byggteknik.

Det är uppenbart att ett flyttbart skydd inte kan skydda mot alla förekommande hot utan det dimensionerande vapenhotet måste vara relevant för den eller de situationer i vilka skyddet skall användas. Det är således av stor vikt att analysera den aktuella hotbilden samt även beakta vapenutvecklingen för att erhålla en balanserad skyddsnivå. En hotbildsanalys kompliceras av den stora mängd vapen- och ammunitionstyper som förekommer. Det är därför nödvändigt att kartlägga de vanligast förekommande hoten men även att beakta eventuella nya hot med förhöjd prestanda. För flyttbara skydd är det således inte rimligt att beakta hot från tyngre vapen utan istället är hotet från exempelvis finkalibriga vapen och splitter en mer realistisk hotbild. Finkalibriga projektiler är projektiler med en kaliber som är mindre än 20 mm (Lidén m.fl., 1994). Enligt de operativa ramvillkoren för utvecklingen av flyttbara skydd (Försvarmakten, 1999) är det dimensionerande vapenhotet vid internationella insatser mot bakgrund av hotbilden som den såg ut vid tidpunkten för fastställandet av ramvillkoren och de närmaste åren framöver enligt följande:

- splitter från artilleri- och granatkastareld
- bakdelar från lysgranater
- finkalibrig eld från prickskyttar
- eld från tung kulspruta
- pansarbrytande direktriktad eld från finkalibriga vapen (< 13 mm)
- splitter från multipelvapen mot hårda mål
- enstaka fullkalibriga granater eller pilprojektiler från stridsvagnar
- C-stridsmedel

Med utgångspunkt från dessa vapenhot finns det kravprofiler på flyttbara skydd som förutom att ställa krav på det dimensionerande vapenhotet dessutom ställer krav på uthållighet mot bekämpning, uthållighet för inre miljö, utbyggnadstid och flyttbarhet. Denna kravprofil är sedan sammanställd i en matris och ordnad efter kravnivå, se Tabell 2.1 och (Elfving m.fl., 2001). Denna tabell visar kravprofilen för ett flyttbart skydd där skyddet skall kunna byggas utan maskinella hjälpmedel och kunna transporteras på jeep eller motsvarande, vilket benämns steg 1. I arbetet med att ta fram flyttbara skydd gjordes en översyn av den delen av operativa ramvillkor som berörde lätta befästningar (skyddade utrymmen). För den tidigare fastställda matrisen medförde översynen smärre förändringar vilka beslutades på ett projektmöte våren 2000 (Anglevik, 2005). Tabell 2.1 är således något utökad jämfört med den ursprungliga matrisen med en lägsta kravnivå på det dimensionerande vapenhotet som omfattar civila kravaller med stenkastning och bensinbomber. Dessutom delas hotet upp från finkalibrig eld i två nivåer nämligen eld från eldhandvapen respektive eld från tung kulspruta. Krav på skyddsförmågan för en anläggning vid olika specifika hot anges också i H FALK Skydd (Försvarsmakten, 2000). Dels finns en indelning i hotnivåer för en anläggning i eller på mark och dessutom anges kraven på skyddsförmåga vid internationella insatser i en särskild matris.

Det är här intressant att nämna att svenska förband i Bosnien blivit utsatta för beskjutning som dels varit riktad direkt mot förbandet men förbanden har även utsatts för eldgivning som ”träffat nära” (Liljegren, 1996). De nära träffarna kan ha varit varningsskott eller avsedda för förband från de stridande enheterna som avsiktligt grupperat sig i närheten av FN-förband. Det förekom även eldgivning mot posteringar från krypskyttar. De vapen som förbanden utsattes för var:

- granater från artilleri, granatkastare och stridsvagnar
- pv-robotar och raketer från pansarvärnsvapen
- 20 mm och 40 mm projektiler från automatkanoner
- finkalibrig ammunition bland annat 7,62 mm, 12,7 mm samt hagel- och pistolammunition från kulsprutor och eldhandvapen
- handgranater

Även användandet av tårgas mot FN-förband har dokumenterats. Kemiska och prestationsnedsättande stridsmedel uppges ha använts men inte mot FN-förband.

Tabell 2.1 Kravprofil för flyttbart skydd i form av skyddat utrymmen för personal, enligt steg 1 markerat med grått i nedanstående hotmatris (Anglevik., 2005).

Krav	Dimensionerande vapenhot	Uthållighet mot bekämpning	Uthållighet inre miljö, komfort	Utbyggnads-tid	Flyttbarhet
Högsta	Enstaka fullkalibriga granater/pilprojektil	Mkt. Högfrekvent bekämpning	År	Timme	Timme
↑	Direktriiktad eld från pansarbrytande ammunition < 13mm	Högfrekvent bekämpning	Månader	Timmar	Timmar
	Splitter från multipelvapen mot hårda mål	Frekvent bekämpning	Veckor	Dygn	Dygn
	Finkalibrig eld från tung kulspruta		Vecka	Vecka	Vecka
	Finkalibrig eld från eldhandvapen	Lågfrekvent bekämpning	Dygn	Veckor	Veckor
	Splitter mot mjuka mål	Sporadisk bekämpning	Timmar	Månad	Månad
Lägsta	Civila kravaller med stenkastning, bensinbomber	Enstaka bekämpning	Timme	Månader	Månader

Nato har utarbetat en standard för skyddsnivåer för personal i transport- och lätta stridsfordon med beteckningen STANAG 4569 (NATO Standardization Agreement, 2004). Denna standard behandlar motsvarande krav för det dimensionerande vapenhotet som anges i Tabell 2.1. För närvarande är dessutom ett dokument under utarbetande för fältbefästningar och motsvarande flyttbara skydd inom Nato med beteckningen STUDY 2280 (NATO, under bearbetning 2005). Detta dokument har i nuvarande utformning (våren 2005) en hotmatris som inkluderar beskjutning med finkalibriga och mellankalibriga projektiler, ”riflegrenades”, granatkastare och artilleri samt ”blast improvised devices” på 100 m avstånd, se Tabell 2.2. På detta avstånd uppstår emellertid relativt låga tryck i form av luftstötstångsbelastning så hotet blir i detta fall splittersverkan. För att även erhålla verkan i form av luftstötstångsbelastning krävs betydligt mindre avstånd till skyddet, förutom för den största laddningsvikten. Briserande granater kan på liknande sätt orsaka stora skador då skyddet befinner sig nära brisadpunkten. Detta gör att även luftstötstångsbelastning är en verkansform som kan vara av

vikt att beakta vid utformningen av ett flyttbart skydd. Vidare är vapenhotet i kolumn A (Tabell 2.2) i huvudsak lika med den motsvarande för STANAG 4569 (skyddsnivåer för personal i transport- och lätta stridsfordon). Det är även intressant att jämföra hotmatrisen i Tabell 2.2 med hotbeskrivningen för flyttbara skydd i Tabell 2.1. Exempelvis är inte pansarbrytande projektiler i kalibern 14,5 mm beaktade i hotbeskrivningen i Tabell 2.1. Vid närmare betraktelse och för framtida behov kan det vara av intresse att se över de olika hotnivåerna och noggrannare specificera vapenhotet för de olika skyddsnivåerna. Vidare kan det vara av intresse att även beakta hoten dels från eldhandvapen med granattillsats och granatgevär och dels från verkan av detonerande sprängämnen.

Tabell 2.2 Hotmatrisen enligt STUDY 2280 (NATO, 2005).

	A Small / medium calibre projectiles	B Rifle grenades - shoulder launched weapons	C Mortars and artillery - indirect fire / surface hit	D Mortars and artillery - indirect fire / delay fuze	E Mortars and artillery - indirect fire / near miss	F Blast improvised devices at 100 m (??)
5	25 mm APDS	-	-	-	-	10 000 kg TNT
4	12.7 AP - 14.5 B32	Large shoulder launched AT	155 mm artillery	155 mm artillery	155 mm artillery	1000 kg TNT
3	7.62 x 51 AP/WC	Small shoulder launched AT	120 mm mortar	120 mm mortar	120 mm mortar	250 kg TNT
2	7.62 x 39 BZ	AGL grenades	81 mm mortar	81 mm mortar	81 mm mortar	50 kg TNT
1	7.62 x 51 Ball	Hand greades Rifle grenades	60 mm mortar	60 mm mortar	60 mm mortar	10 kg TNT

I sammanhanget är det intressant att kommentera hotbilden för tidigare undersökningar som genomförts med avseende på flyttbara skydd. Enligt en undersökning med stålkasetter som fylldes med grus var skyddskraven bland annat finkalibrig eld samt splitter både från multipelvapen och från 15 cm artillerigranat (Gustavsson, 1995). Van Dongen m.fl. (1997) och (2002) beskriver två hot mot fältbefästningar som representativa för internationella insatser. Dessa hot är direktträff av en granat från granatkastare ekvivalent med en ”81 mm NR 62C2 HE mortar shell” samt en närmiss av en artillerigranat ekvivalent med en ”155 mm M107 HE HOW”. De skyddskonstruktioner som studerades bestod av Hesco Bastions placerade runt en container. Dessa två exempel på hotbild reflekteras relativt väl i kravprofilen för flyttbara skydd enligt de utökade operativa ramvillkoren (Anglevik, 2005) respektive STUDY 2280 (NATO, 2005).

Sammanfattningsvis kan sägas att hotbilden för flyttbara skydd till stor del beror på i vilken miljö (plats, typ av konflikt med mera) skyddet skall verka. Ovanstående resonemang visar att

hotet kan variera alltifrån civila kravaller med stenkastning och bensinbomber till pansarbrytande ammunition från till exempel tung kulspruta och splitter från spränggranater. Det kan dessutom vara relevant att beakta hot från vapen som pansarskott och granatgevär samt även från större mängder sprängämne som detonerar relativt nära ett skydd till exempel i form av en IED (Improvised Explosive Device). Ännu en viktig aspekt är att en god flerskottskapacitet krävs för ett flyttbart skydd då det är troligt att ett angrepp sker med mer än ett skott från exempelvis finkalibriga automatvapen. Det kan vara lämpligt att välja segare skyddsmaterial där det inte uppstår kratrar och uppsprickning vid beskjutning, vilket ger upphov till försvagade zoner i volymen omkring ett tidigare skotthål. Helt naturligt sammanfaller hotbilden för flyttbara skydd med hotet för mobila plattformar på en hel del punkter men skillnader finns emellertid. Ett flyttbart skydd är stationärt och andra krav på uthållighet och komfort ställs jämfört med ett mobilt skydd. Stridsfordon har begränsad skyddsnivå (dock ger rörligheten i sig ett visst skydd), uthållighet och kan endast ge vissa delar av ett förbands personal skydd. Dessutom är viktskraven inte så kritiska för flyttbara skydd som de kan vara för mobila plattformar och det kan tänkas vara enklare att uppgradera eller bygga ut ett flyttbart skydd till större enheter.

2.2 Olika verkansformer och ammunitionstyper

När det gäller hotbilden och kravprofilen för ett flyttbart skydd var det under arbetet med föreliggande studie av intresse att göra en översiktlig genomgång över olika ammunitionstyper och verkansformer som är relevanta i sammanhanget. En sådan genomgång är genomförd nedan och skall i första hand ses som en introduktion till senare delar i denna studie. För en mer komplett genomgång av olika ammunitionstyper hänvisas till litteraturen i ämnet.

2.2.1 Finkalibriga projektiler

Finkalibriga projektiler är projektiler med en kaliber på mindre än 20 mm och finkalibriga vapen kan vara allt från pistoler och gevär till tunga kulsprutor. Finkalibrig ammunition användes ursprungligen i huvudsak mot oskyddad trupp och obepansrade fordon. Samtidigt som både trupp och fordon har fått en högre skyddsförmåga har också kraven på finkalibriga projektilers förmåga att slå igenom skyddet ökat. Ursprungligen använde mobila enheter skydd bestående av pansarstål för att skydda sig mot handeldvapen men i takt med utvecklingen av nya ammunitionstyper med ökad penetrationsförmåga har således behovet av att förstärka skyddet ökat. Detta har medfört ett allt större problem med ökad vikt och behovet av alternativa material och skyddslösningar har ökat.

Blyprojektiler deformeras vid anslag mot hårda material vilket gör det relativt lätt att skydda sig mot denna typ av projektiler med moderna pansarstål. Utvecklingen av projektiler har därför gått från kärnor av bly till kärnor av hårt stål och även hårdmetall som volframkarbid (WC) för att kunna slå igenom pansarstålen. Denna utveckling har medfört att en stor mängd projektilvarianter har tagits fram med betydande skillnader i genomslagsförmåga. Genomslagsförmågan i ett skyddsmaterial beror bland annat på projektilens kaliber, dess utskjutningshastighet samt projektilkärnans utformning och dess material. Ur skyddssynpunkt är det främst ammunitionen som är av intresse och det är så länge som mynningshastigheten inte avviker alltför mycket relativt ointressant vilket vapen som använts. Däremot är det av intresse att även känna till väl spridda vapen då de i vissa fall kan användas med en stor mängd olika ammunitionstyper. Figur 2.1 ger ett exempel på olika projektiltyper i kalibern 7,62×51 mm. Detta är en vanlig kaliber och används av många länder såväl inom som utom NATO. Projektilerna har (förutom den underkalibriga projektilen) en massa på 7-9 g och har en utgångshastighet på i storleksordning 800-950 m/s. Exempelvis används ammunition i kalibern 7,62×51 mm till svenska Ak4 och Ksp58. Ammunition av kalibern 5,56 mm har en projektil med mindre massa (3,5-4 g) men med större utgångshastighet (900-1000 m/s) jämfört med ammunition i kalibern 7,62 mm. Ammunition i kalibern 5,56 mm används bland annat till Ak5 (5,56×45 mm). Tung kulspruteammunition förekommer i kalibrarna 12,7 mm och 14,5 mm. Projektilernas massa ligger här på 45-65 g och har en utgångshastighet på 850-1000 m/s. För dessa kalibrar finns normalt pansarbrytande ammunition och ammunition med brandsats eller sprängsats eller en kombination av båda typer. Det finns även projektiler med brandsats i kalibern 7,62 mm. På grund av alla olika typer av ammunition med helt olika genomslagsförmågor i ett skyddsmaterial är det mycket viktigt att specificera vilken ammunitionstyp som avses i det speciella fallet för att kunna göra en korrekt bedömning av prestandan.

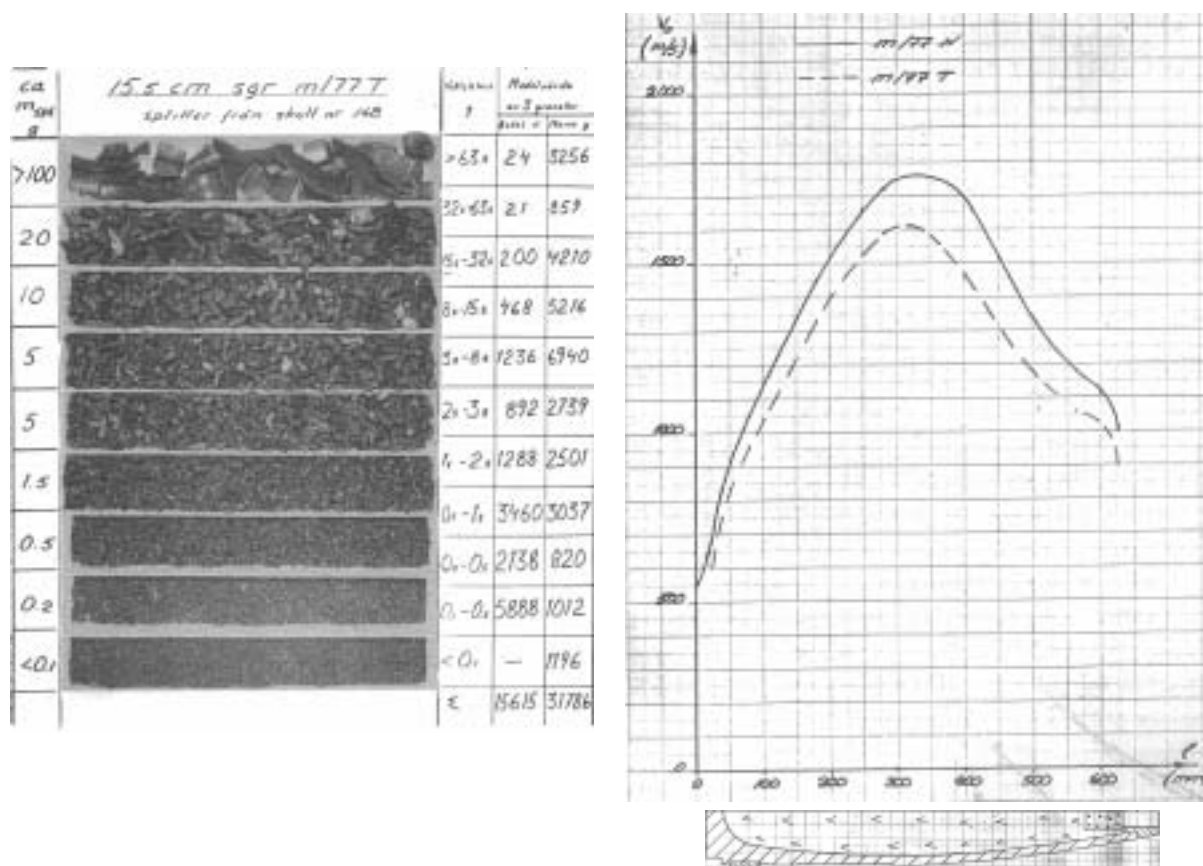


Kärnmaterial: Bly Hårt stål Volframkarbid WC underkal.
(WC)

Figur 2.1 Exempel på olika typer av projektiler i kaliber 7,62×51 mm, från Lidén och Ottosson (2002).

2.2.2 Splitter

Då ett sprängämne detonerar accelereras det omslutande höljet och då det brister alstras ett stort antal splitter som kastas ut med hög hastighet. En splitterstridsdels hölje kan vara av homogent stål eller kan bestå av färdigformade splitter (förfragmenterat) i form av exempelvis kulor av stål eller tungmetall. Dessutom finns stridsdelar med styrd fragmentering där höljet har utformats med brottanvisningar. Fragmenteringsprocessen beskrivs utförligt av Janzon (1978). Splitterstridsdelar med homogena höljen ger upphov till en kontinuerlig fördelning av olika splitterstorlekar. Figur 2.2 visar splitterfördelningen vid statisk sprängning av en 15,5 cm spränggranat m/77 samt splittrens utkastningshastighet med trotyl respektive hexotol, betecknade T respektive H i figuren (Andersson och Lithén, 1987). Utkastningshastigheten beror främst på förhållandet mellan sprängämnets och höljets massor men beror även på typ av sprängämne vilket även framgår av Figur 2.2. Här får splittren högre hastigheter då hexotol används jämfört med då trotyl används. Splittren kommer på grund av sin ogynnsamma geometri att bromsas upp i luften relativt snabbt och (på större avstånd) träffar de målet med betydligt lägre hastighet än utgångshastigheten. Splitter med högre massa kommer emellertid att bromsas upp mindre och når då längre än motsvarande splitter med lägre massa. Dessutom spelar splittrets form en roll vad gäller storleken på luftbromsningen. Avgörande för ett splitters penetrationsförmåga i ett skyddsmaterial beror på dess storlek, densitet, form och hastighet.

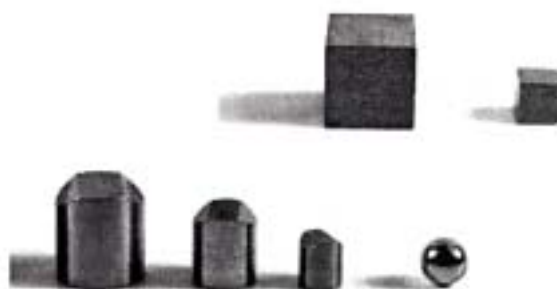


Figur 2.2 Splitterfördelning respektive splitterhastighet (fördelat över granatens längd, l) vid statisk sprängning av en granat av typ 15,5 cm sgr m/77 (Andersson och Lithén, 1987). Splitterfördelningen gäller för granat med trotyl (m/77T) och splitterhastigheterna även för granat med hexotol (m/77H). Under diagrammet till höger visas ett halvt tvärsnitt av granaten.

Splitter används främst mot trupp men även mot olika slag av ömtålig utrustning som exempelvis elektronik och sensorer. Exempel på splitterstridsdelar är förutom spränggranater även handgranater och truppminor. Det finns dessutom finkalibriga vapen, som exempelvis Ak5, med granattillsats som kan skjuta iväg splitterstridsdelar. Ett annat exempel är OG-7M3 som är beteckningen på en splitterstridsdel ämnad att användas med RPG-7 och som har en maximal räckvidd på 950 m (Jane's, 2001). Det förfragmenterade höljet i denna stridsdel uppges ge upp till 1200 splitter. RPG-7 är visserligen inget finkalibervapen men är ändå enkelt att bära med sig vilket gör att det utgör ett hot mot olika former av flyttbara skydd. För att bekämpa en större yta med splitter kan multipelstridsdelar användas. Detta är en stridsdel där verkansdelen delas upp i ett antal mindre substridsdelar vilka sedan sprids ut från huvudstridsdelen i luften innan denna når målet. Då exempelvis en klusterbomb fällts från ett flygplan kommer substridsdelarna att spridas ut på en specifik höjd över målet. En multipelstridsdel kan dessutom ingå i missiler, raketer eller projektiler. Substridsdelarna kan sedan i sin tur bestå av RSV-stridsdelar. Som exempel kan en variant nämnas med

substridsdelar med projektilbildande RSV och med förmågan att söka med hjälp av en infraröd sensor och på så sätt upptäcka fordon varefter stridsdelen initieras ovanför målet. Vidare kan substridsdelarna även vara i form av minor som sprids ut över en specifik yta eller vara fyllda med någon kemisk substans.

I framtiden kan det förväntas att stridsdelar i stor utsträckning är optimerade för att generera splitter med förmågan att penetrera pansar vilket ställer större krav på splitterskyddet. Utvecklingen går även mot en optimering av splitterstridsdelar för att kunna rikta splittersverkan i en viss riktning och för att på så sätt kunna komma åt målets sårbaraste delar. Då exempelvis splitter från en spränggranat uppvisar stora variationer i storlek, form och hastighet är det svårt att utvärdera försök på ett skyddsmaterial genom att spränga en granat. Istället används olika typer av splittersimulatorer som skjuts ett i taget på ett material och man har då full kontroll på massa, form och hastighet vid sådana försök. Figur 2.3 ger exempel på olika typer av splittersimulatorer. Ofta finns splitterskydds krav för exempelvis fordon i form av viss storlek, massa och hastighet på en splittersimulator.



Figur 2.3 Olika typer av splittersimulatorer, efter Lidén m.fl.. (1994).

2.2.3 RSV

Ett antal olika typer av stridsdelar där verkandsdelen är en RSV-laddning (riktad sprängverkan) existerar. Det finns i huvudsak två olika typer av RSV-stridsdelar, nämligen strålbildande RSV och projektilbildande RSV. Skillnaden mellan dessa två RSV-typer beror främst av metallinläggets geometri där konvinkeln är avgörande. Den vanligaste typen är strålbildande RSV som har mycket hög penetrationsförmåga och som idag uppgår till cirka tio kalibrar i pansarstål men är endast effektiv på korta detonationsavstånd (stand-off). En projektilbildande RSV har däremot verkan på längre avstånd men med en mindre penetrationsförmåga som är av storleksordningen en kaliber i pansarstål. Det finns även vapen där RSV-laddningen följs av en penetrerande stridsdel. En RSV-stridsdel kan även ingå i verkandsdelen i ett sensoraktiverat skydd (Hansson, 2002). Här kan både strålbildande och

projektilbildande RSV-stridsdelar användas. Utvecklingen av explosivämnen med högre energiinnehåll jämfört med tidigare gör det möjligt att använda inläggsmaterial som har högre densitet än koppar. Ett explosivämne med högre energiinnehåll kan accelerera ett inläggsmaterial med högre densitet vilket ger en högre penetrationsförmåga. Dessutom kan olika verkansformer erhållas beroende på målets art med adaptiva RSV-stridsdelar (Helte, Almström, Andersson, Carlsson, Karlsson, Lundgren, Olovsson, Pettersson, Skoglund, Sundel, Örnhed, 2004).

Pansarskott m86 och granatgevär Carl Gustaf (Grg m48 eller m86) är två svenska pansarvärnsvapen använda av flera västländer. RPG-7 är ett annat exempel på vapen som fått vida användning och var standard som pansarvärnsvapen i före detta Warsawpakten, se Figur 2.4. Som ett exempel på RSV-stridsdelar som är ämnade att användas med en RPG-7 kan nämnas PG-7VR (Jane's, 2001). Denna stridsdel är en tandemladdning, bestående av två RSV-koner, med en huvudladdning som har en diameter på 105 mm.



Figur 2.4 Rocket Propelled Grenade launcher 7 (RPG-7).

2.2.4 Luftstöt våg

Då ett sprängämne detonerar bildas mycket heta gaser under högt tryck och omedelbart bakom detonationsfronten ligger trycket vanligtvis på mellan 16 – 40 GPa. Effekten av en explosion i luft är bildandet av en stöt våg vilken expanderar radiellt ut från detonationscentrum i den omgivande atmosfären. Stöt vågens sfäriska expansion resulterar i en dämpning av topptrycket, en ökning av varaktigheten och en minskad utbredningshastighet. Således ger en detonerande sprängladdning större verkan på en konstruktion vid små avstånd. Eftersom ett sprängämne ofta är inneslutet i någon typ av hölje eller liknande tillkommer dessutom verkan av anslagen av ett antal splitter med hög hastighet.

”Improvised explosive devices” (IED)

Traditionellt har belastning från luftstöt vågor och ofta även i kombination med splitter ansetts komma från detonerande bomber eller granater och i extrema fall från kärnvapen. Men även hotet från andra typer av anordningar med explosivämnen har kommit till användning som exempelvis bilbomber. Händelsen i Oklahoma City i USA den 19 april 1995 är ett välkänt exempel på de stora skador en stor mängd strategiskt placerat sprängämne kan åstadkomma.

Den uppskattade laddningsstorleken (baserat på kraterstorleken) var 2 ton ekvivalent trotylvikt placerad på ett avstånd av cirka 4 meter från byggnaden vilken delvis raserades (Krauthammer, 1999). För att skydda sig mot luftstöt våg vid höga trycknivåer krävs kraftiga konstruktioner med stor massa och seghet vilket kan vara svårt att uppnå för ett flyttbart skydd. Det kan emellertid vara av intresse att beakta även denna typ av hot i vissa fall. Exempelvis ingår detta hot i den nuvarande versionen av den pågående STUDY 2280 (NATO, under bearbetning 2005). Ett relativt enkelt sätt att minska verkan av belastningen från en luftstöt våg är att på olika sätt förhindra att detonationen sker nära skyddet. Vid sfärisk utbredning kommer trycket att minska betydligt med avståndet från detonationspunkten vilket gör det intressant att på olika sätt förhindra tillgängligheten till ett skydd.

FAE- och termobariska vapen

FAE (från eng. Fuel Air Explosive) är den militära tillämpningen av gas- och dammexplosioner som förekommit som olyckor inom industrin (Eriksson, 2002). En FAE-laddning består av en bränslebehållare och två separata sprängladdningar. På en bestämd höjd över målet bryts behållaren upp av den första sprängladdningen varvid bränslet sprids ut i ett moln, blandas med den omgivande luften och bildar en explosiv blandning. Denna explosiva blandning detoneras sedan med hjälp av den andra sprängladdningen och trycket inne i molnet uppgår till cirka 2 MPa. Trycket utanför molnet avtar emellertid relativt snabbt men om FAE-bränslet kommer in i delvis slutna utrymmen innan det bringas till detonation kan resultatet bli katastrofalt. FAE-laddningar kan exempelvis förekomma som flygbomber (exempelvis CBU-72) eller raketer som kan avfyras och användas för minröjning.

Den termobariska verkansformen är speciellt utvecklad för att användas vid strid i bebyggelse. Ursprungligen tillverkades denna typ av termobarladdningar i vätskeform i Sovjetunionen. Senare tillverkades termobarladdningar i fast form i USA och i västeuropeiska länder. Verkan av en termobarladdning är relativt höga tryck med ett förhållandevis långvarigt kvarstående tryck vid inneslutna explosioner och höga temperaturer på grund av efterförbränningen. BLU-118-B är ett exempel på ett penetrerande vapen med termobarisk stridsdel som var operativt 2002 (Hansson, 2002). Detta vapen har en diameter på 370 mm och en längd på cirka 2,5 m. Det finns även betydligt mindre termobarstridsdelar ämnade för handburna vapen. Det första av den typen som tillverkades var RPO-A Shmel från Sovjetunionen och idag finns stridsdelar för RPG-7 (Jane's, 2001). Ett exempel på detta är GTB-7G med en diameter på 93 mm och med en maximal räckvidd på 1000 m. Vid anslaget sprids innehållet ut i aerosolform och antänds vilket uppger ge en så pass stor sprängverkan att betydande skador kan uppstå på konstruktioner som fältbefästningar och lätta stridsfordon (Jane's, 2001).

3 Skyddskonstruktioner och skyddsmaterial

Som redan nämnts i kapitel 2 är det viktigt med en relevant hotbild vid forskning och utveckling av skydd och då det gäller flyttbara skydd är det realistiskt att tyngdpunkten av hotet gäller främst handburna vapen och splitter till exempel från briserande granater. Emellertid kommenteras i detta kapitel även större vapen för att få en bredare framställning. Först ges lite erfarenheter av skydd från Bosnien följt av en översikt över och exempel på tidigare skyddslösningar framtagna inom Sverige och i andra länder. Detta är av stort intresse eftersom en stor mängd skydd tidigare har utformats för att användas som snabbyggda skydd med begränsad skyddsförmåga. Därefter ges en översikt över forskningen på olika materials skyddsförmåga. Det ligger inte inom föreliggande studies syfte att återge en heltäckande bild av all relevant forskning inom området men studien ger ändå en relativt bra bild över olika skyddslösningar och olika materials skyddsförmåga. För mer ingående egenskaper för de olika materialen hänvisas till litteraturen i ämnet.

Det är intressant att i sammanhanget nämna att det finns en sammanställning på erforderlig tjocklek för att erhålla skydd mot olika specifika hot för olika material (United States Marine Corps, 2001). De olika hoten varierar från projektiler och RSV i olika kalibrar till splitter från granater och bomber som briserar på 15 meters avstånd. Liknande uppgifter finns även i till exempel den svenska Fortifikationshandboken (Överbefälhavaren, 1991).

3.1 Tidigare och nuvarande utformning av flyttbara skydd

3.1.1 Erfarenheter från Bosnien

Många olika typer av skydd användes i Bosnien. Vissa skydd var uppbyggda med materiel som tagits med från respektive hemland och andra var uppbyggda av materiel som erhållits av FN (Liljegren, 1996). Många skydd var även uppbyggda med tillfällig materiel eller kombinationer av eget och FN:s materiel. Vid planering av skyddsutbyggnaden måste stor hänsyn tas till disponibel tid och material, tillgång till fyllnadsmassor, maskiner och transportmedel. Även transporttiderna, markens eventuella grävbarhet, områden med hög grundvattennivå, tillgång till befintliga byggnader och klimatet är viktiga faktorer. Nedan ges en kortfattad översikt på de vanligaste skyddskonstruktionerna som användes av förbanden i Bosnien baserat på den sammanställning Liljegren (1996) genomfört.

Sandsäckar

De svenska sandsäckarna av plast visade sig vara mindre användbara än de textilsäckar som kan fås genom FN och som används av andra nationer. Beroende på utförandet ger sandsäckar skydd mot finkalibrig eld och splitter. Sandsäckar är lätta att medföra och kombinera på olika sätt för att höja skyddsförmågan för exempelvis containrar och byggnader.

ABRI

ABRI-skyddsrummet är ett lättbyggt skyddsrum av valvformad korrugerad plåt som FN tillhandahöll och som övertäcks med fyllnadsmaterial. Detta skydd bedöms ge skydd mot splitter från artillerigranater. Skyddsrummen försågs med 1,5 m jordtäckning och med Hesco Bastions (se nedan) vid ingångarna. Konstruktionen har i några fall inte klarat belastningen från en alltför tjock täckning.

LSS (Lätt Snabbyggt Splitterskydd)

LSS är ett svensktillverkat modulbaserat skydd av kompositmaterial som ger skydd mot splitter från multipelvapen men kan genom förstärkning även skydda mot finkalibrig eld. Skyddet har använts i många olika sammanhang och kombinationer som exempelvis i kompanistab för skydd av sambandsutrustning, vid observationsplatser och i förläggningar.

Hesco Bastions

Hesco Bastions är en typ av nätkorg med insidan täckt av fiberduk. Nätkorgarna (som är sammabundna i ett visst antal) fylls med lämpligt material (oftast naturmaterial i form av jord och grus) och ger då skydd mot finkalibrig eld och splitter. Fullträffskydd mot en 15,5 cm granat bedöms kunna erhållas om istället handstaplad sten av rätt dimensioner fylls i korgarna. Vidare kan Hesco Bastions staplas i flera plan och kombineras med andra skydd som till exempel byggnader och containrar.

Containrar

Måtten för en ISO-container varierar och som exempel kan nämnas att en 20 fots ISO-container är 6,1 m lång och 2,44 m bred. Standardhöjden för denna containerstorlek är 2,59 m men även containrar med höjden 2,90 m tillverkas. Dessutom tillkommer olika längder men maximal längd för en container är 17,1 m. En standardcontainer kan användas som exempelvis stabsplats, förläggning, ammunitionsförvaring, materielförråd med mera och skyddet kan förstärkas med sandsäckar eller Hesco Bastions. Sandsäckar kan då placeras på taket för att skydda mot luftbrisader. Om containern förses med förstärkning kan den förses med jordtäckning eller grävas ned. En dubbelväggig container är konstruerad i Sverige varvid utrymmet mellan väggarna fylls med material, till exempel grus, så att skydd mot splitter erhålls.

Befintliga byggnader

Beroende på typ av befintlig byggnad och byggnadsmaterial kan byggnaden ge skydd mot vapenverkan. Det går att höja skyddsnivån dels genom olika förstärkningsåtgärder invändigt och dels genom lämplig placering av Hesco Bastions eller sandsäckar utvändigt. Bebyggelse som initialt ger skydd och där skyddsnivån successivt kunde höjas utnyttjades av förbanden i Bosnien.

3.1.2 Svenska skyddslösningar

En dubbelväggig plåtcontainer där hålrummen i väggar och tak var fyllda med singel provades med avseende på dess skyddsförmåga mot vapenverkan (Balazs, 1988). Testerna visade att denna skyddslösning är mycket lämplig som skydd mot vapenverkan då containern uppvisade stor deformations- och lastupptagningsförmåga. Eventuell utrustning bör dock inte placeras direkt i väggar eller tak på grund av de accelerationer som kan uppkomma vid vapenlaster. Andersson och Carlberg (1992) studerade också skydd i form av en container varvid fullskaleförsök genomfördes på en standardcontainer. En container med längden 6 m, bredden 2,6 m och höjden 2,7 m grävdes ned i marken varpå försök med vapenlaster vid olika positioner genomfördes. Den ursprungliga containern klarade inte belastningen från de jordmassor som lades på taket så förstärkningar monterades på containerns insidor. Dessutom lades trästockar på utsidan av taket så att lasten från jordmassorna fördelades bättre. Vapenlasten bestod dels av 250 kg minbomber på 1 m detonationsdjup och dels av prillit motsvarande cirka 100 kg TNT för att simulera luftstötstångsbelastning. Försöken visade att den förstärkta containern fungerar som nedschaktat skyddsutrymme mot vapenverkan. Det kommenterades dessutom att korrosion kan vara ett problem om containern grävs ned lång tid före den skall användas.

Ett splitterskydd togs fram i form av en skyddslucka som med enkla hjälpmedel kunde sammanfogas med andra luckor och på så vis få olika utformningar på skyddet (Niklasson, 1994). Byggsystemet var således modulbaserat med flera kombinationsmöjligheter och förutom splitterskyddskravet fanns krav på att en platta skall kunna bära en viss ytlast för ett skydd med jordtäckning. Sammanfogningen av plattorna bestod av bultförband med plattstål och vinkeljärn. Ett antal olika typer av skyddsluckor togs fram inom projektet med hotet från en 0,9 g stålkula med hastigheten 1200 m/s som skyddskrav. För att nämna några lösningar togs till exempel en lucktyp bestående av fiberarmerad betong fram, en lucktyp med ytskikt av keram, en lucktyp med polyetenfiber och en med kvartsit. Den sistnämnda utformningen som skall skydda mot hotet från multipelvapen finns även beskriven av Bredemo (1994). Plattan är till halva tjockleken uppbyggd med kvartsit och den andra halvan av E-glasfiberlaminat och skall skydda mot 1 g stålkulor med anslagshastigheten 1250 m/s. Ytvikten för detta skydd är angiven till 35 kg/m² och kostnaden för plattan uppges vara betydligt mindre än för en keram/aramid kombination (kostnadsläge i december 1991). Vidare var en komplett skyddslösning framtagen för den svenska FN-styrkan i Bosnien, se ovan i kapitel 3.1.1 om LSS.

En typ av observationsvärn som är uppbyggt av dubbelväggiga containrar finns som en färdig skyddslösning och har använts av svensk trupp vid internationella insatser. Containrarna är i detta utförande konstruerade så att två delar kan staplas på varandra. Den övre delen har då glas inmonterat för att möjliggöra observation och utrymmet mellan väggarna fylls med grus för ökad skyddsförmåga (Anglevik, 2005).

En prototyp till ett flyttbart skydd i form av ett skyddat utrymme som är avsett för att användas av svensk trupp vid fredsfrämjande internationella insatser har tidigare tagits fram och beskrivs av Elfving m.fl. (2001). Detta flyttbara skydd (även benämnt RapS) består av ett antal element av korrugerad plåt vilka transporteras i delar och monteras på plats, se Figur 3.1 (a). Skyddet är i detta fall utformat för 16 man och består av 24 stomelement och 6 gavelement där båda elementtyperna bestod av korrugerad stålplåt med tjockleken 2 mm. Dessutom består skyddet av 152 ”betongplank” med en tryckhållfasthet på cirka 130 MPa. Betongplanken var armerade med tre längsgående armeringsjärn (med diametern 6 mm) och med 1 volymprocent stålfibrer. Planken som var 1550 mm långa hade en tjocklek av 25 mm och en bredd på 300 mm. Betongplanken tjänade som det egentliga ballistiska skyddet vilka endast stod lutade i två skikt och med förskjutna skarvar mot stomelementen. Massan för ett betongplank uppgick till 33 kg, ett stomelements massa var 28 kg och ett gavelement vägde 36 kg. Ett monterat skydd har en höjd på 1550 mm upp till stomelementens nock och kan dessutom utformas som ett kravallskydd genom att utelämna ett antal stomelement såsom visas i Figur 3.1 (b). I de luckor som därmed bildas ges plats att stå bakom skyddet. Kravallskyddet motsvarar således kravet för den lägsta dimensionerande hotnivån enligt kravprofilen för flyttbara skydd, se Tabell 2.1. Den typen av flyttbart skydd i Figur 3.1 har använts i Kosovo och från de fältmässiga erfarenheterna kan sägas att produkten hittills har angivits fungera i fält (Anglevik, 2005). Försök har genomförts på skyddet med finkalibriga projektiler och med handgranat m/56. I denna undersökning kom det fram att skydd mot finkalibrig eld med kalibern 7,62 mm (projektil med blykärna) ges av två skikt av 25 mm tjocka plank av högpresterande betong (HPC) och med förskjutna skarvar. Motsvarande för pansarplåt av typ Armox 600T är två 5 mm tjocka plåtar med förskjutna skarvar. Det bör emellertid noteras att tillräckligt skydd ges av en 5 mm plåt av Armox 600T men vid uppbyggandet av skyddet behövs det av praktiska skäl två plåtar som ligger förskjutna enligt Elfving m.fl. (2001). Vid en jämförelse mellan Armox 600T och HPC så uppgavs pansarplåt ha både vikts- och hanteringsmässiga fördelar. Dessutom görs bedömningen att vid större hot är skyddspotentialen högre för alternativet med pansarplåt.



(a)



(b)

Figur 3.1 Prototyp av flyttbart skydd (RapS) i form av ett skyddat utrymme (a) och som även kan användas som kravallskydd (b) (Elfving m.fl., 2001).

I sammanhanget är det av intresse att även nämna två genomförda studier angående befintliga skydd i form av svenska byggnader och infrastrukturkonstruktioner (Elfving, 1997 och 2000). I den förstnämnda studien redovisas förslag till hotbilda-beskrivning och sammanställning av kriterier för värdering av skyddsförmågan. Dessutom görs en värdering av skyddsförmågan mot vapenverkan för byggnader och infrastrukturkonstruktioner. Den senare studien har fokuserat på användandet av civila objekt såsom tunnlar, vägportar och anläggningar i berg för militära förband vid behov av skydd mot vapenverkan i samband med strid, transport och gruppering.

Dessutom bör nämnas det omfattande forskningsprogram som genomförts för att studera konventionell vapenverkan mot civil svensk bebyggelse. Verksamheten omfattade framför allt experimentella studier (se vidare avsnitt 3.5) samt sammanställning av beräkningsrutiner i ett datoriserat skadesimuleringsprogram VEBE (Holm m.fl., 1995).

3.1.3 Andra länders skyddslösningar

När det gäller skydd i form av lätta befästningar och liknande behandlar en stor del av den tillgängliga litteraturen skyddsförmågan mot finkalibriga vapen, granatgevär och artillerigranater som briserar nära skyddet. De skyddslösningar som ofta presenteras och testas är i form av containrar som är förstärkta och med ett extra skydd i form av sandsäckar eller Hesco Bastions som placeras runt containerlösningen. Hesco Bastions kan även användas och byggas upp för olika ändamål som exempelvis förstärkning vid postering och observationsplats. Olika skyddslösningar med Hesco Bastions har bland annat använts av förband i Bosnien, Irak och Afghanistan [5]. Figur 3.2 visar en skyddslösning med Hesco Bastions i Bosnien. På Camp Clara där FN-personal från bland annat Sverige finns stationerad utanför Monrovia, Liberias huvudstad, användes Hesco Bastions runt campen (Magnusson, 2005), se Figur 3.3. Dessa Hesco Bastions var då fyllda med naturmaterial och staplade i två lager så att de bildade ett skalskydd runt den del av campen som vette mot land. Skyddsförmågan kommer att variera beroende på typen av fyllnadsmassor vilket medför att tjockleken kan behöva anpassas. Liljegren (1996) nämner exempelvis att om handstaplad sten av rätt dimensioner fylls i korgarna bedöms att fullträffskydd erhålls mot en 15,5 cm granat, se även kapitel 3.1.1.



Figur 3.2 Skydd utformat med Hesco Bastions i Bosnien [5].



(a)



(b)

Figur 3.3 Ingången till Camp Clara i Liberia (a) och skalskyddet runt campen (b) (Magnusson, 2005).

Forskningen vid WES (Waterways Experiment Station i USA) har delvis inriktats på nya frågeställningar som lätta byggnadsmaterial, utveckling av datorprogram ämnade att bistå vid beslut om olika skyddslösningar samt uppgradering av byggnader för att skydda mot det ökande terroristhotet (Howard, 1997). En variant av utvecklingsbara korgar vilka sedan kan fyllas med jordmaterial presenteras vilket anses vara en bra och kostnadseffektiv skyddslösning mot splinter och luftstöt våg från granater (artilleri och granatkastare) på ett

avstånd av 1,5 m. Denna lösning anges även ge skydd mot finkalibrig ammunition upp till kalibern 12,7 mm. Om istället korgarna fylls med stenkross kan skyddslösningen uppnå tillräckligt skydd mot lätta pansarvärnsvapen för att skydda uppställda lätta stridsfordon och andra konstruktioner. Howard (1997) menar vidare att då den amerikanska armén behöver skydd kan klimatet, terrängen och begränsning av på platsen tillgängligt material tidsfördröja och även begränsa skyddsförmågan. Det finns då en utvecklad skyddslösning som baseras på valvformade sektioner av korrugerat aluminium som snabbt och enkelt kan monteras ihop. Skyddet kompletteras sedan med jordmassor på sidorna och ovanför de hopsatta sektionerna. Denna skyddslösning liknar det som benämns ABRI och som nämndes i kapitel 3.1.1. Vidare beskriver Howard (1997) att tre olika Windows-baserade program var under utveckling på WES vid tidpunkten då artikeln skrevs. Arbetet med att utveckla dessa program kommer från behovet att ingenjörer ofta ställs inför ett problem där de snabbt skall tillhandahålla olika typer av skyddslösningar vid olika situationer. Programmen skall då vara ett viktigt stöd för att optimera valet av skydd. Dessa skall således användas av ingenjörer för att:

1. Förutsäga och prioritera nödvändiga resurser för olika skyddsnivåer. Programmet kommer att presentera konstruktionsritningar för representativa skyddskonstruktioner och en prislista.
2. Bedöma befintliga byggnaders skyddsförmåga för personal.
3. Användas som "antiterroristplanerare". Eftersom en stor del av stödfunktionerna är statiska och därmed sårbara, förutom för konventionella angrepp, även för terroristangrepp anses det vara av stor vikt att även beakta dessa former av hot.

Pontius och Dirlwanger (2004) presenterar en studie där ISO-containrar används som skyddade utrymmen för tysk militär personal vid internationella insatser (Pontius, 2004). ISO-containrarna är själva "kärnan" för bunkrarna med stora mängder jordfyllning runt omkring. Pontius och Dirlwanger (2004) pekar på att erfarenheterna från utlandsmissionen i Afghanistan visar att det även måste finnas tillgång till skyddade utrymmen för personalen på camperna. Camperna vid Kabul erfor att en ökad mängd nedslag av raketer nära campen gjorde att det fanns ett behov av skyddade utrymmen för personal. Studien pekar på att för sådana skyddade utrymmen är det bra med ett antal färdiga lösningar som kan användas i olika miljöer. Det är viktigt med flexibla eller alternativa lösningar eftersom det beror på tillgänglighet av naturmaterial, jordförutsättningar, grundvattennivåer, behov av eller krav på kamouflage, transportkostnader av konstruktionsmaterial från hemlandet och behov av underhåll. I studien genomfördes fullskaleförsök på tre framtagna skyddslösningar:

- nedgrävd förstärkt container
- container med sidoskydd i form av Hesco Bastions
- containerkluster vilket innebär att jordfyllda containrar placeras ovanför och på sidorna om de egentliga skyddscontainrarna

Skyddsnivån för dessa tre lösningar angavs vara 155 mm artillerigranat med fullt skydd mot granater med anslagsbrisd. Det nämndes även att en kritisk punkt i skyddet är entrén. Fullskaleförsök genomfördes genom detonation av sprängladdningar placerade på olika positioner och resultaten visade att de tre framtagna skyddslösningarna gav erforderligt skydd.

En annan studie som också bygger på användandet av ISO-containrar i kombination med Hesco Bastions har genomförts (van Dongen m.fl., 1997). Konceptet, som används av holländsk militär personal vid utlandsmissioner, bygger på en brittisk design men med förstärkt tak i containern. Denna skyddstyp består alltså av en 20-fots ISO-container som är placerad i mitten av ett uppbyggt system av Hesco Bastions som tjänar som en omslutande skyddsmur. Hotnivån för detta skydd var direkträff av en 81 mm NR 62C2 HE granat från granatkastare och närmiss av en 155 mm M107 HE HOW arillerigranat. Under försöksseriens gång visade det sig att dessa två standardhot enbart gav begränsade skador på skyddet så det beslutades att även genomföra försök med direkträff av en 155 mm-granat. Denna typ av granat kan inställas att detonera vid olika tidpunkter som exempelvis direkt vid anslag eller en viss tid efter anslag. Brittiska ögonvittnen i Bosnien under 1990-talet antydde att granaterna normalt var inställda på att brisa direkt vid anslaget. Denna typ av belastning simulerades med så kallad statisk sprängning vilket innebär att granaten placerades på ytan och vid olika positioner på skyddet. En granat som briserar över eller vid sidan av ett skydd genererar en luftstövåg, splitter och ett eldklot vilka resulterar i reflekterade stötvågor på och i vissa fall inne i skyddet, inducerade stötar och vibrationer, penetrerande (och kanske perforerande) splitter samt viss värmestrålning. Granater som är i kontakt med skyddet orsakar en lokal belastning av en relativt stor mängd splitter och stötvågsverkan som resulterar i en krater och inducerade vågor och vibrationer i konstruktionen. Resultaten i undersökningen visar på bra skyddsförmåga mot ovanstående beskrivna vapenlast. En 155 mm granat som briserade vid ingången beskrevs som ett "worst case scenario" i det att om dörren till containern råkar vara öppen i det ögonblicket kommer personalen vara fullt exponerad av explosionseffekterna. Det bör även noteras att statisk sprängning inte helt speglar den verkliga last som uppkommer av en granat i rörelse.

Ett skyddssystem bestående av ISO-containrar presenterades av Drehtainer (2004). Skyddssystemet skall tjäna som skydd för tysk personal vid internationella insatser och uppges skydda mot AP-ammunition och luftstövåg genom förstärkta sidoväggar. Innergolvet är "friställt" för att skydda personalen mot accelerationseffekterna vid vapenlast. Takets skydd består av ISO-containrar som var kapade längs halva höjden, fyllda med naturmaterial

och placerade direkt på skyddsconatinerns tak. Flera containrar kan sedan byggas samman till större enheter och ett yttre skalskydd kan även placeras runt om containrarna som extraskydd och kamouflage. Skyddsförmågan testades mot 7,62 mm AP, detonationen från en 120 mm granatkastarprojektil och luftstötstångsbelastning från en sprängladdning med 300 kg ekvivalent trotylvikt på 38 m och 42 m avstånd. Även skyddet mot minor provades med en trotylladdning på 8 kg placerad 1,55 m under containern. Resultaten visade att containern har bra skyddsförmåga mot de ovan angivna hoten.

Scherbatiuk m.fl. (2004) presenterar studier angående explosionslaster på fältbefästningar, observationsvärn med mera. Tidigare har alltid skydden utformats efter hotet från splitter och inte efter hotet från luftstötstång vilket även påtalades vara av intresse att beakta. Effekterna av explosionslaster på fältbefästningar och befintliga byggnader är inte väl karakteriserade. Fullskaleförsök för att studera verkan av explosionslaster genomfördes sålunda på olika typer av skyddslösningar.

Kommersiellt finns ett stort utbud av flyttbara skyddskoncept som är dimensionerade för olika hotnivåer och användningsområden [1]. Ofta är dessa skydd skraddarsydd för en specifik uppgift men också allmänna skyddskoncept för varierande situationer exempelvis Hesco Bastions.

3.2 Skydd mot finkalibriga projektiler och splitter

3.2.1 Allmänt

Ett skydd mot penetrerande vapen har traditionellt bestått av pansarplåtar med tillräcklig tjocklek men med hårdare viktskrav består numera skydd av en eller flera delkomponenter. Yttre komponenter i form av exempelvis snedställda plåtar placerade med visst avstånd framför grundpansaret har till uppgift att införa snedkrafter på projektilen som kan få denna att snedställas, deformeras och till och med slås sönder. Detta kan avsevärt reducera penetrationsdjupet i det bakomliggande pansaret för en given projektil. Det bakomliggande pansaret har sedan till uppgift att bromsa in eller konsumera projektilen. Den innersta skyddskomponenten är till för att reducera eventuell restverkan i form av exempelvis sekundärsplitter in i det skyddade utrymmet. Vid studier av penetrerande vapen i pansar är det således av stor vikt att få förståelse för dels hur projektilen påverkas av geometriska störningar, dels händelseförloppet under själva penetrationen i ett material och dels inverkan av randeffekter vid in- och utträde ur materialet. Janzon (1978) redovisar det principiella funktionssättet vid inträngning/genomträngning av projektiler i olika mål. Han delar in genomträngningsförloppet i tre tidsfaser:

- 1: Anslag och begynnande inträngning
- 2: Inträngning under uppbromsning
- 3: Genombrott med splinterbildning

Förloppet inne i målet påverkas nära ytan av randstörningar från ytan så att uppkomna spänningstillstånd avlastas genom deformation av ytan. De randstörda delarna av målet (fas 1 och 3) övergår kontinuerligt i det centrala relativt randstörningsfria området. En grov tumregel är att det randstörda områdets tjocklek är cirka projektil-(splitter-) kalibern. Vid till exempel splitteranslag vid måttliga hastigheter (< cirka 1500 m/s) mot relativt hårda mål (stålsplitter mot tunn stålplåt) är genomträngningsförmågan endast av storleksordningen splitterkalibern och hela förloppet är kraftigt randstört (fas 2 saknas) vilket ger upphov till fenomen som utstansning av pluggar med mera. Janzon (1978) beskriver också de kontaktkrafter som uppstår i gränsytan då projektilen försöker bana sig väg genom målmaterialet. Krafterna kan delas upp i normalkrafter vinkelrätt mot och friktionskrafter parallellt med gränsytan. Krafterna varierar utefter gränsytan samt med densitet och hållfasthet för projektil och mål. Dessutom varierar krafterna med anslagshastighet, projektilens och målets form och dessutom anslagsvinkel. Janzon (1978) anger också de viktigaste mekaniska fenomen i målet som lämnar bidrag till kontaktkrafterna nämligen elastiskt-plastiskt motstånd, tröghetskrafter och friktionskraft. Den spänningsfördelning som uppstår i projektilen kan i vissa fall uppbäras av projektilmaterialet alternativt åstadkoms en plastisk deformation som i allmänhet förorsakar en ur inträngningssynpunkt ogynnsam formförändring hos projektilen. Beträffande splitter och projektilinträngning i skiktade mål hävdar Janzon (1978) att dessa är lättare att genomtränga än homogena mål. Detta beror på att inverkan av randstörningarna ökar. Dock gäller förhållandet endast under förutsättning att projektilen eller splittret inte deformeras kraftigt eller splittras under inträngningsförloppet.

Vid penetration i homogena mål ökar penetrationsdjupet för projektiler med högre densitet och som är spetsigare och slankare. Skydd mot finkalibriga projektiler och splitter är oftast konstruerade så pass tunna att betydande randeffekter erhålls vid anslag och utträde ur skyddsmaterialet. Vid perforation av metalliska material kan några huvudtyper av penetrationsförloppet urskiljas och den deformationsmekanism som inträffar är också den som är minst energikrävande. Radiell flytning av målmaterialet innebär helt enkelt att hålskanalen vidgas radiellt under penetrationsförloppet. Vid pluggbildning stansas lokalt en bit av målmaterialet ut av projektilen. En mer global utbuktning och uppfläkning kan också ske vid tunna och duktila plåtar. Av dessa huvudtyper av penetrationsförlopp i metaller förekommer dessutom en blandning av flera mekanismer under ett förlopp. För sprödare material kan utstötning ske innan projektilen når bakkanten och målmaterialet bildar där sekundärsplitter. En liner, vanligtvis av fiberkompositlaminat, kan placeras på insidan av ett skydd för att erhålla skydd mot sekundärsplitter och används idag av många typer av stridsfordon. Då ett relativt sprött material som betong perforeras bildas kratrar på in- och

utgångssidan med en mellanliggande penetrationskanal. Vid en tillräckligt tunn betongtäckning kommer kratrarna att mötas och penetrationskanalen uteblir därmed.

För att erhålla ett bra skydd mot splitter behöver inte skyddsmaterialet ha extrem hårdhet eftersom splittren inte behöver deformeras vid anslaget så som fallet är för projektiler då splittren redan har en för penetration ogynnsam form. Det är istället segheten hos materialet som är den viktigaste egenskapen vilket gör att ytan vid anslaget kan töjas och fördela lasten över en större yta som fångar in splittret (Lidén m.fl., 1994). För att få en sådan mekanism att fungera får inte splittrets massa respektive hastighet vara alltför stora. Det är här alltså bättre med pansarstål med måttlig hårdhet som splitterskydd. Splitter med liten massa och relativt låg hastighet stoppas mest viktseffektivt av vävar eller paneler av starka fibrer. Även betong eller naturmaterial som sten eller jord kan vara ett bra alternativ för skydd mot splitter då det är kostnadseffektivt.

Vidare redovisar Janzon (1978) några av de speciella fenomen som uppträder vid projektilinträngning i ett inhomogent mål:

- den plastiska deformationen av målet blir komplicerad, uppstår till exempel lätt sprickbildning i gränssytorna mellan målets olika delar
- målets olika komponenter kan ha mycket olika egenskaper. Kontaktkrafterna på projektilen kan därvid variera kraftigt varvid projektilen kan utsättas för till exempel varierande plastisk deformation.

Detta betyder att för att bedöma genomträngningsförmågan i inhomogena mål är man i stor utsträckning hänvisad till direkta skjutförsök. Principen för ett gott skydd kan alltså vara att ytterst ha ett hårt skal som deformerar eller splittrar projektilen eller splittret medan lagren bakom bromsar och fångar upp projektilen/splittret eller resterna.

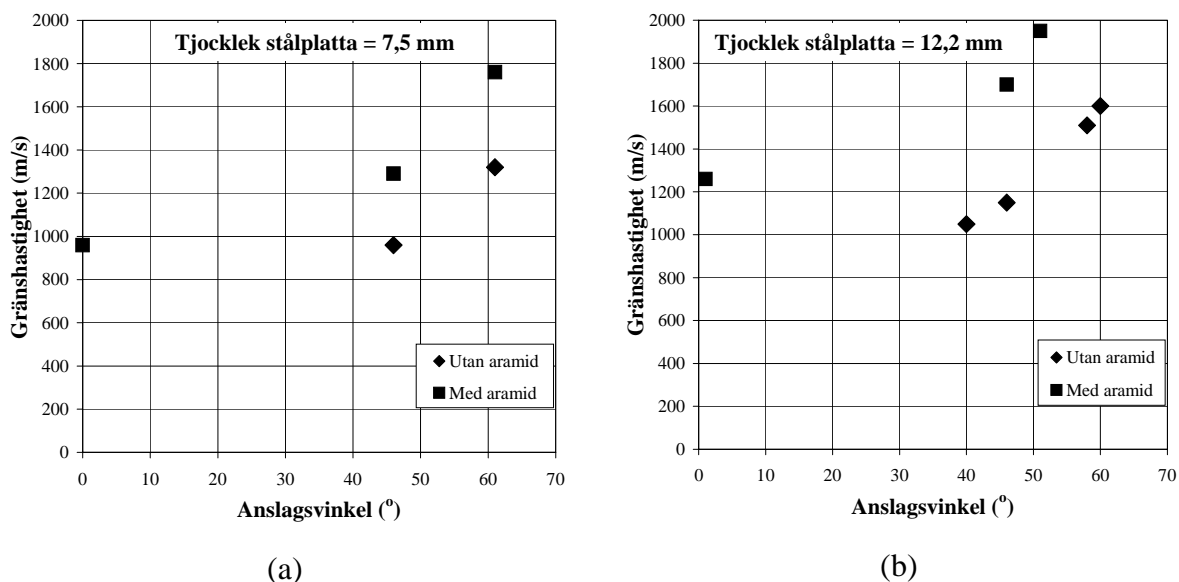
3.2.2 Stål

Ökningen av den ballistiska skyddsförmågan (mot projektiler) för stål vid en ökande hårdhet är väl känd (Gooch m.fl., 2004). Höghållfasta pansarstål ger en hög skydds nivå mot vapenverkan till en relativt låg kostnad och är därför ett intressant material för ett flyttbart skydd. Förutom väldefinierade skjutförsök är materialprovning en viktig del i forskningsarbetet både för att öka förståelsen om dynamiskt materialbeteende och för att kunna utföra numeriska simuleringar av ballistiska förlopp. God kännedom om dessa pansarstål är även viktig för bedömning av andra skyddsmaterial relativt pansarstålen och kunskaperna utgör en grund för den fortsatta forskningsverksamheten. Förutom parametrar till spänningsmodellerna behövs parametrar till en brottmodell vilken bestämmer de villkor som gäller då materialet går till brott. Resultaten från materialprovning av Armox 500T och

Armox 600T finns avrapporterade i (Nilsson, 2003 och 2004) respektive (Skoglund och Nilsson, 2005).

Ett antal försöksdata (v_{50}) från skjutförsök med 7,62 mm, 12,7 mm, 14,5 mm och 30 mm pansarbrytande projektiler på olika Armox-kvaliteter presenteras i (Gooch m.fl., 2004). Resultaten jämförs med data från försök med två amerikanska pansarstål med olika hårdhet (som uppfyller standarderna MIL-A-12560 och MIL-A-46100) och som används för stridsfordon.

Ytterligare ett sätt att öka skyddsförmågan är att kombinera ett hårt pansarstål med ett fiberlaminat placerat direkt mot stålets baksida. Detta har studerats av bl.a. Lampert och Jeanquartier (2002). Försök med olika infallsvinklar och med cylindriska stålprojektiler av olika storlek för att simulera effekterna av ”naturliga” splitter genomfördes. Resultaten visar att användningen av aramid fastsatt på en stålplattas (530-590 HB) baksida väsentligt ökar skyddsförmågan jämfört med en stålplatta med samma tjocklek men utan liner, se Figur 3.4. Detta gäller även då tjockleken för stålplattan ökas från 7,5 mm till 12,2 mm. Resultaten pekar även på att aramid som liner ökar skyddsförmågan vid sneda anslag. Tidigare undersökningar visar även att kevlarlaminat som liner på Armox 500S ökar skyddsförmågan mot AP-projektiler (Lidén m.fl., 2001). Ottosson (1999), Nilsson (2003b) samt Ottosson och Johansson (2004) studerade också skydd mot finkalibriga projektiler.



Figur 3.4 Resultat från skjutförsök på stålplattor med och utan aramidliner. Projektilen bestod av en stålcylander med massan 25 g. Två olika plattjocklekar provades och aramidlinerns tjocklek var 10,5 mm, efter data från (Lampert och Jeanquartier, 2002). Med gränshastighet avses den hastighet då en projektil precis perforerar målet.

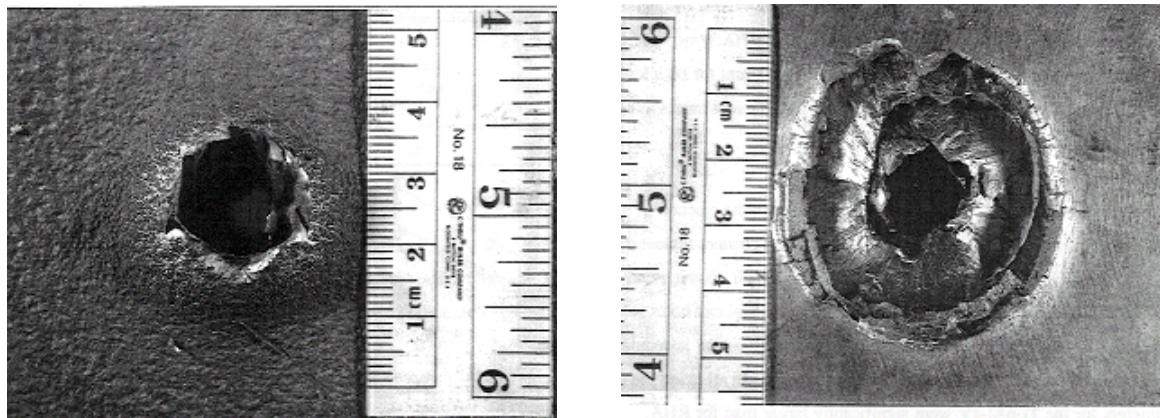
En förhöjd hårdhet innebär oftast att sprödheten ökar för ett stål vilket är en nackdel för skyddsmaterial eftersom spröda material i värsta fall kan skapa fler splitter genom sekundärsplitterutstötning på plåtens baksida. Ett kvävelegerat stål (HNS från eng. High Nitrogen Steel) kombinerar en hög hållfasthet med en hög seghet. Denna ståltyp uppvisar ett stort töjningshastighetsberoende i det att flyt- och brottspänning ökar vid ökande töjningshastighet. En tidigare undersökning visar på hög seghet vid töjningshastigheter på 10^3 - 10^4 s⁻¹ (Savage, 1999). HNS har dessutom ett stort töjningshårdnande vilket kan vara en fördel för ballistiska skydd. En annan experimentell undersökning visar även att kvävelegerade stål har stort töjningshastighetsberoende och en relativt stor töjningsförmåga före brott jämfört med andra höghållfasta stål (Lichtenberger m.fl., 1997). Vidare har ett kallbearbetat och glödgat kvävelegerat stål rapporterats ha uppnått en så hög flytspänning som 3380 MPa med bibehållen seghet (Lach, Uggowitzer och Rondot, 1997, samt Hansson och Skoglund, 2001). Tidigare genomförda skjutförsök med 5,56 mm projektil med WC-kärna visar att HNS har liknande skyddsförmåga som ett pansarstål med likvärdig hårdhet. De positiva egenskaper gör att ett kvävelegerat stål kan vara ett intressant material att använda ensamt eller i kombination med andra material, exempelvis som uppbackningsmaterial. Dessutom har HNS ett högt korrosionsmotstånd.

3.2.3 Titan

Historiskt har titan fått en förhållandevis begränsad användning trots dess goda materialegenskaper t ex med hög hållfasthet i relation till densiteten. Anledningen är främst den dyra tillverkningsprocessen men trots det har flygindustrin använt titan i produktionen. Behoven av höghållfasta konstruktionsmaterial i både civila och militära tillämpningar har emellertid medfört en utveckling av nya billigare metoder för framställning av titan. Den titanlegering som främst kommit till användning inom både flygindustrin och som ballistiskt skydd är Ti-6Al-4V. Denna legering används som skydd till stridsfordon (Petersson 1999). Vid framställning av Ti-6Al-4V med den billigare metoden kallas den ofta lågpristitan och får, förutom sämre utmattningsegenskaper, likvärdiga materialegenskaper som Ti-6Al-4V (Järnebank, 2004). Fördelarna med titan är att det har hög viktsskyddsförmåga jämfört med pansarstål och aluminiumlegeringar för ett brett spektrum av ballistiska hot och dessutom god flerskottskapacitet. Titan har även en god korrosionsbeständighet vilket minskar underhållskostnaderna. Nackdelarna med titan är att materialet är relativt sprött vilket kan resultera i utstötningar som ger utkast av sekundärsplitter på skyddets insida. Detta gör att det kan vara nödvändigt med ett invändigt skydd mot sekundärsplitter. Dessutom är även lågpristitan betydligt dyrare än stål.

Då en finkalibrig projektil perforerar stål erhålls ofta en duktil utböjning av stålet på dess baksida men för titan blir det en lite mer komplicerad process. Stötvågen reflekteras vid plåtens baksida och bildar skjuvlager som gör att större bitar lossnar och kastas ut på

baksidan, se Figur 3.5 (Järnebank, 2004). Bitarna som kastas loss har emellertid en låg hastighet och kan därför effektivt stoppas av en liner. Omfattande ballistisk provning har genomförts på lågpristitan (Järnebank, 2004).



Figur 3.5 Utgångshålen för stål (t.v.) och titan (t.h.) (från Järnebank, 2004).

Vid en undersökning av mikrostrukturen nära hållkanalerna i Ti-6Al-4V som utsatts för ballistisk provning, noterades att skjuvband förekom i alla de undersökta proverna (Pettersson, 1999). Projektilen bestod av en splittersimulator med kalibern 8 mm och titanplåtarna var 10 mm tjocka. Även i de fall där anslagshastigheten hos projektilen var för låg för att skapa någon hållkanal i målet förekom skjuvband. I huvudsak märktes två typer av brott nämligen pluggbildning till följd av att skjuvband bildas, och delaminering av målet. Före skjutförsöken värmebehandlades målen så att olika hårdhet och mikrostruktur erhöles för olika plåtar vilket resulterade i att delamineringen helt eliminerades för vissa provkroppar. Slutsatsen är att mikrostrukturen förefaller spela en viktig roll huruvida delaminering inträffar.

Materialprovning genomfördes på Ti-6Al-4V med töjningshastigheter upp till 2000 s^{-1} i en undersökning (Savage m.fl., 1998). Även Skoglund (2005) har undersökt de dynamiska egenskaperna för så kallat lågpristitan vid töjningshastigheter upp till cirka 1000 s^{-1} . En annan undersökning beskriver materialprovning på samma titanlegering med en nominell töjningshastighet på upp till 8000 s^{-1} (Lesuer, 2000). Även här utvärderades parametrar för spänningsmodeller. En andra undersökning tog fram brottkriterier för Ti-6Al-4V (Kay, 2003).

Tjocka titanplattor som belastas ballistiskt går till brott genom ”discing” och ”scabbing” när stötvågen reflekteras mot plåtens baksida (Thorn och Cimpoeru, 2004). Detta är en typ av brottmekanism med relativt låg energiupptagning. Adiabatisk skjuvning (”plugging”) uppstår i tunnare plattor och ger också en relativt liten energiupptagning. Båda dessa brottmoder kan emellertid undvikas genom att placera ett lämpligt uppbackningsmaterial på baksidan. Thorn och Cimpoeru har i en undersökning studerat två olika titanlegeringar (Ti-6Al-4V och Ti-8Al-1Mo-1V) med aluminium 5083 som uppbackningsmaterial. Skjutförsök med trubbiga

projektiler av en volframlegering och med en diameter på 7,7 mm genomfördes på denna målutformning.

3.2.4 Aluminium

Som tidigare nämnts är stålpansar det skyddsmaterialet som används mest för lätta stridsfordon. Redan tidigt (åtminstone på 1950-talet) användes dock aluminiumlegeringar i det amerikanska M113-fordonet vilket gav ett förbättrat skydd mot splitter men med något försämrade skyddsförmåga mot projektiler jämfört med normalt pansarstål (Lidén, 2005). Aluminium kan även ingå i en keram-metall vilket är en komposit och som kombinerar keram och aluminium. Detta material kommenteras utförligare nedan i kapitel 3.2.6.

3.2.5 Fiberkompositer

Vanliga exempel på fiberkompositer som används i ballistiska skydd är aramid (Kevlar och Twaron), polyeten (Dyneema och Spectra) och olika glasfiberkvaliteter (E och S2). Beroende på fibertyp och tillämpning tillverkas vävda eller nålfiltade textilier av fibrerna. Textilerna kan lamineras med plastmatris eller användas torra. Polyeten (Dyneema och Spectra) används nästan uteslutande i krimpfri form, det vill säga raka fibrer lamineras korsvis lager för lager. Då skydd mot projektiler av finkalibertyp behövs kan ett fiberpansar kombineras med ett hårt material vilket då anordnas så att fiberpansalet placeras som uppbackningsmaterial. Då en projektil träffar ett fiberpansar hjälper fibrerna över hela vävytan till med att fånga upp projektilen. Töjningarna fördelas således över ett stort område. Då projektilen fångas upp måste vävarna kunna expandera bakåt vilket gör att de behöver fritt utrymme för detta. Det är här viktigt att den dragbelastning som projektilen utsätter fibrerna för snabbt kan fördelas ut från anslagspunkten så att töjningarna sprids över en större längd vilket gör det viktigt med en hög vågutbredningshastighet för fibrerna (Larsson och Svensson, 1997). Dessutom är förmågan att lagra töjningsenergi viktigt för en fibers ballistiska egenskaper. Vid en för hög projektilhastighet hinner inte töjningarna fördelas i de omkringliggande fibrerna utan projektilen stansar ut ett hål i väven.

Fibervävarna är flexibla vilket är fördelaktigt då dessa används som skyddsmaterial i kroppsskydd. Då denna flexibilitet inte är önskvärd som vid exempelvis luckor och dylikt kan vävarna lamineras. Ett sådant fiberlaminat består av lastupptagande fibrer som är bundna till en matris vilken oftast består av plast eller gummi. Ett fiberlaminat låser fibrerna vilket gör att dessa får svårare att förskjutas och skyddsförmågan sjunker. En dålig vidhäftning mellan fiber och matris anses ge bättre skyddsegenskaper. Däremot har vanliga konstruktionslaminat krav på god vidhäftning mellan fibrer och matris vilket gör att dessa inte är särskilt bra som skydd.

En experimentell undersökning har studerat laminatpanelers skyddsförmåga mot splittersimulerande kulor (Sjögren, 1987). Panelerna var av olika fabrikat och materialtyper

och som splittersimulator användes en stålkula med massan 0,89 g. Gränshastigheten för respektive panel finns redovisade. De ballistiska egenskaperna för fiberkompositpaneler med varierande materialsammansättning beskrivs av Erikson m.fl. (1996) och Larsson och Svensson (1997) redovisar hybridkompositers energiabsorption, statistiskt mekaniska egenskaper och skadetålighet. En hybridkomposit är komposit armerade med flera slags fibrer.

En omfattande undersökning beskriver en framtagen materialmodell för nextel och kevlar-epoxylaminat för anslagshastigheter på 3-15 km/s, det vill säga väsentligt högre hastigheter än för exempelvis splitter från granater (Hiermaier, 1999). Materialkaraktisering på nextel och kevlar-epoxylaminat har dessutom genomförts i denna undersökning.

3.2.6 Keramer och kerampansar

Keramer är en stor och heterogen materialgrupp med många olika tillämpningsområden. Bland materialen är de så kallade konstruktionskeramerna, intressanta för ballistiska skyddstillämpningar. Till denna grupp räknas bland annat aluminiumoxid (Al_2O_3), kiselkarbid (SiC), kiselnitrid (Si_3N_4), aluminiumnitrid (AlN), titanborid (TiB_2) och borkarbid (B_4C) (Olsson 1996). Det är framförallt aluminiumoxid, kiselkarbid och borkarbid som kommit till användning och då främst i kroppskydd och för skydd av fordon och helikoptrar.

Konstruktionskeramerna utmärks av hög elasticitetsmodul, tryckhållfasthet, hårdhet och i de flesta fall en låg densitet. Keramer har en, relativt metaller, låg brottseghet vilket gör att dessa oftast kombineras med andra, mer duktila, material för att en hög skyddsförmåga ska uppnås. Ett keramiskt skydd är oftast konstruerat som ett tilläggsskydd och uppbyggt så att kerammaterialet genom sin höga hårdhet (skjuvhållfasthet) deformerar/eroderar projektilen medan det bakomvarande/omgivande materialet fungerar som ett strukturellt stöd för kerammaterialet (uppskyddning/fördämning)

I kroppsskydd består keramdelen traditionellt av en monolitisk platta eller en mosaik av mindre plattor sammanhållen runt om av ett fibermaterial i ett eller flera lager. Den hårda keramen deformerar/eroderar projektilen och fördelar lasten över en större yta varefter uppskyddningen, i form av flera lager väv (till exempel kevlar) stoppar projektil- och keramrester. Beroende på uppbyggnad och kerammaterialets kvalitet kan olika skyddsnivåer erhållas.

För skydd av fordon mot projektiler i mindre kalibrar är kerammaterialet (i form av en mosaik) antingen fastsatt direkt mot fordonets grundstruktur eller via en separat uppskyddning av fiberkomposit eller metall. I mer kvalificerade konstruktioner har kerammaterialet

integrerats tillsammans med grundstrukturen redan vid tillverkningen av fordonet för att på så sätt vinna strukturhållfasthet och vikt.

För tyngre hot (mellankaliberprojektiler och uppåt) kan även ett radiellt och frontalt stöd i form av en fördämning krävas för att kerammaterialet ska ge tillräckligt skydd. Det kraftigare stödet medför att projektilerosionen kan fortgå under en längre tid (Olsson, 1996). Ett antal undersökningar angående skyddsförmågan hos olika keramiska skydd har genomförts på FOI (Lidén m.fl., 2001), (Lundberg, 2001 och 2004). Olika keramers dynamiska egenskaper beskrivs av Grady (1995) och Grady (1996).

Fördämningen är inte bara viktig för att erhålla en hög skyddsförmåga hos kerammaterialet utan också för att få flerskottskapacitet. En ökad flerskottskapacitet kan erhållas med så kallad keram-metall komposit (cermet). Där försöker man kombinera keramens höga hårdhet med metallens plastiska egenskaper (Lidén och Ottosson, 2002). Dessa komposit är ofta en homogen blandning av keram och metall. I en undersökning har skjutförsök på två typer av keram-metall komposit genomförts (SiC-Al och B₄C-Al) med 7,62 mm AK47 AP and 12,7 mm APM2 (Strassburger, 2002). Denna undersökning visar att fördelen med en förhöjd flerskottskapacitet för en SiC-Al komposit samtidigt ger en reducerad ballistisk skyddsnivå jämfört med vanlig SiC.

Ett sätt som kan öka kerammaterialets ballistiska skyddsförmåga är genom att sammanfoga keramen med uppbackningsmetallen via sintring. I fogen bildas en sammansättningsgradient där halten keram och metall övergår från en ren keram till en ren metall på en mikrostrukturell nivå. Denna fog blir sannolikt starkare än traditionella sammanfogningsmetoder och skulle förhoppningsvis innebära att det även vore möjligt att integrera keramen i den bärande strukturen och samtidigt förbättra flerskottskapaciteten. På FOI finns verksamhet inom detta område (Lidén och Ottosson, 2002) och (Lundberg m.fl., 2004).

Som exempel på ett keramiskt skydd som fått stor spridning kan man nämna LIBA. Detta keramskydd är uppbyggt av keramcylindrar som är inbäddade i en elastisk matris av till exempel gummi med ett omgivande fundament av fiberkomposit eller metall [2]. LIBA utvecklades ursprungligen i Israel som skydd mot finkalibriga pansarbrytande projektiler och finns i dag i en rad olika utföranden.

3.2.7 Betong och geologiska material

Anslag och perforation av en projektil i betong ger ingångs- respektive utgångskrater samt uppsprickning i betongen. Även då projektilen enbart penetrerar och stannar i målet kan utstötningar på baksidan av betongskikt ske om detta är tillräckligt tunt. I närheten av kanter fås randeffekter med större skada som följd än vad som vore fallet vid träff långt från alla

kanter. Fiberarmering som tillsätts betongen vid gjutningen kan reducera kraterstorlekarna men har ingen märkbar effekt på penetrationsdjupet.

En undersökning studerade skyddsförmågan hos högpresterande betong (HPC) respektive pansarstål Armox 600T mot finkalibrig ammunition (Elfving m.fl., 2001). Studien relaterar till en framtagna prototyp av flyttbart skydd i form av ett skyddat utrymme bestående av en stomme av korrugerad plåt (tjocklek 2 mm) och ett tillägsskydd av plank av HPC med tjockleken 25 mm. Denna typ av flyttbart skydd behandlas utförligare ovan i kapitel 3.1.2. En serie skjutförsök genomfördes på detta skydd med ammunitionstyperna 7,62 × 51 mm (blykärna), 7,62 × 39 mm (blykärna), 12,7 mm (stålkärna¹) och 12,7 mm pansarbrand (WC-kärna). En andra försöksserie genomfördes med 7,62 × 51 mm (blykärna), 7,62 × 51 mm (hårdmetall), 7,62 × 39 mm (blykärna) mot plåtar av Armox 500T och Armox 600T. Dessutom genomfördes ett försök med handgranat m/56 mot korrugerad stålplåt och kombinationen av korrugerad stålplåt och HPC-plank.

Naturmaterial som sten, sand och grus har länge varit känt för sin skyddsförmåga mot vapenverkan och har historiskt sett använts för befästningar. För cirka 20 år sedan utvecklades en mobil dubbelväggig container där grus kunde fyllas i utrymmet mellan väggarna. Detta skyddskoncept hade en så kallad självreparerande förmåga det vill säga hål efter penetrerande projektiler fylls igen av ovanförliggande grusmassor på grund av gravitationen. Förutom skydd mot finkalibriga projektiler och splitter erhålls dessutom en impulsupptagningsförmåga på grund av ökningen av massa. En undersökning har genomfört försök på en dubbelväggig plåtcontainer för att studera dess skyddsförmåga mot vapenlast (Balazs, 1988). Hållrum i väggar och tak var fyllda med naturmaterial. Vid en annan undersökning genomfördes en serie skjutförsök med finkalibriga projektiler på plåtkassetter fyllda med sand eller singel (Forsberg, 1995). Kassetterna bestod av handelsstål med 2 mm tjocklek på framsidan och 3 mm tjocklek på baksidan. Denna undersökning visade att singel (8-16 mm) utgör ett effektivare skydd mot finkalibriga projektiler jämfört med sand (0-8 mm). Exempelvis kan nämnas att 10 cm singel stoppar en projektil 7,62 × 54 mm med stålkärna avfyrad från prickskyttegevär SVD. Ännu en experimentell undersökning genomfördes med stålkassetter fyllda med singel (8-16 mm) respektive sand för att studera deras skyddsförmåga mot splitter från en 15 cm artillerigranat m/36 (Gustavsson, 1995). Dessa kassetter kan användas till att snabbt byggas upp kring ett objekt som exempelvis en container som sedan kan användas som förråd eller skyddsrum. Försöken visade att kassetterna hade en god förmåga att stoppa splitter med en massa upp till cirka 80 g medan större splitter penetrerade kassetterna oavsett fyllnadsmaterial. Dessutom noterades det att efter försöken rann sand lättare ut ur splitterhålen än singel. Detta är också en viktig aspekt eftersom då fyllnadsmaterialet läcker ut

¹ I rapporten förmodat felaktigt angiven som blykärna

leder detta till att den del av kassetten ovanför skadan kommer att dräneras med en betydlig minskning i skyddsförmåga som följd.

Börvik m.fl. (2003) pekar på att penetrationsdjupet reducerades kraftigt då kornens medelsstorlek i gruset överstiger projektilddiametern. I denna undersökning genomfördes ballistiska försök mot aluminiumprofiler fyllda med naturmaterial (sand och singel). Projektilerna angavs vara NATO 7,62 mm med blykärna och $7,62 \times 51$ mm med WC-kärna. Aluminiumpanelerna var extruderade och kan sättas samman till större enheter. Panelerna hade 6 mm tjocka plåtar på fram- och baksida vilka åtskildes av snedställda plåtar. Undersökningen visar att då panelerna var fyllda med grus (8-16 mm) skedde ingen perforation i något av försöken.

Med avsikten att förstärka skyddsrumsdörrar mot splitterbelastning från konventionella vapen genomfördes en experimentell studie i modellskala (Carlberg, 1996). Målen bestod av plåtkassetter fyllda med standardbetong eller en fiberarmerad höghållfast betong och med variationer för utförandet av plåtarnas arrangemang. Försöken genomfördes med olika varianter på projektilutformningen och olika stålqualiteter och även tungmetall. Projektilmassan varierade mellan cirka 45-65 g och med anslagshastigheter på omkring 1700 m/s. Skyddsförmågan för stålfiberarmerade plattor i höghållfast betong mot perforation av stålfragment med hög hastighet undersöktes experimentellt och teoretiskt i (Ågårdh och Hansson, 1999). Fragmenten bestod av cylindrar med diametern 15 mm och massan 60 g och träffade betongplattorna med hastigheter på cirka 1400 – 1600 m/s. En annan experimentell studie jämförde skillnader mellan verkliga splitter och tillverkade kubiska splitter och där betong och tegel användes som målmaterial (Plenge och Grosch, 1999). Studien bekräftade att det är fullt acceptabelt att använda den beskrivna splittersimulatorens för laboratorieförsök.

I en experimentserie och analys (Erkander och Pettersson, 1985) studerades hur betong med olika utförande skyddar mot splittrinträngning och utstötning på baksidan. Även skiktade konstruktioner provades och jämfördes med homogena, liksom kombinationer av betong och stål. Projektilerna som användes var kullagerkulor med diametern 10,3 mm och 20,6 mm, samt cylindrar med diametern 42 mm. Anslagshastigheten varierade mellan 400 och 1300 m/s. De materialtyper som användes var:

- Konventionell betong med tre olika hållfasthetsklasser (K25, K40 och K60)
- Singelfyllning (18-35 mm) i plåtlåda
- Prepaktbetong bestående av singel (18-35 mm) och bruk av cement och sand
- Fiberbetong bestående av cement och grus (0-8 mm) med tillsats av 1-1,5 volymsprocent stålfiber

Några slutsatser av studien var att betong med hög hållfasthet ger ett bättre skydd mot splittrens inträngning än betong med låg hållfasthet, skillnaden i gränshastighet (den hastighet som krävs för att perforera plattan) var dock marginell. Provkroppen av betong med mellanliggande luftspalt fick samma splitterinträngning som den massiva betongplattan, luftspalten hade alltså inte någon inverkan i detta fall. Fiberbetong gav mindre skador på utgångssidan än vanlig betong. Då betongplattan (i försöken 70 mm) kombinerades med en tjock stålplåt (i försöken 15 mm) bakom, begränsades verkan radikalt. Skyddet med den kombinerade plattan jämförs med en 200 mm tjock homogen betongplatta. Den kombinerade plattan är lättare och tar mindre plats och förhindrar dessutom utstötning. Singel i plåtlåda ger i förhållande till sin vikt ett bättre skydd än en betongplatta. Andra fördelar som nämns är att singel är självläkande, det kräver inga tunga lyft att fylla på erforderlig mängd singel efter att det sjunkit ihop och att det är billigt och lättillgängligt.

Iremonger (1987) rapporterar om experiment med barriärer som skydd mot eld från kulspruta (kaliber 12,7 mm). Han jämförde bland annat konstruktioner med ren betong, betong med polyuretanpolymer, betong kombinerat med stålplåt på in- eller utgångssidan eller både och. Han drar slutsatsen att polymerbetongen är mindre effektiv än vanlig betong, dock kan den ge mindre utstötning. Effektivare är emellertid att kombinera betongen med stålplåt på utgångssidan och ännu bättre med plåt på såväl ingångs- som utgångssidan. Iremonger (1995) har också genomfört försök med olika gevärskprojektiler (7,62 mm med blykärna och 5,56 mm med kärna av hårdmetall och bly, anslagshastigheter cirka 400-800 m/s) mot bland annat sand som visar på minskad penetration vid hastigheter över cirka 500 m/s än vid lägre hastighet. Detta beror på att projektilerna deformeras av sanden vid höga hastigheter. Vid vissa försök fördubblades penetrationsdjupet då fukthalten ökades från 1 % till 5 %. Försök med grus med olika densitet och kvalitet visade att vid ökning av densiteten från cirka 1400 kg/m³ till cirka 1650 kg/m³ reducerades inträngningen något.

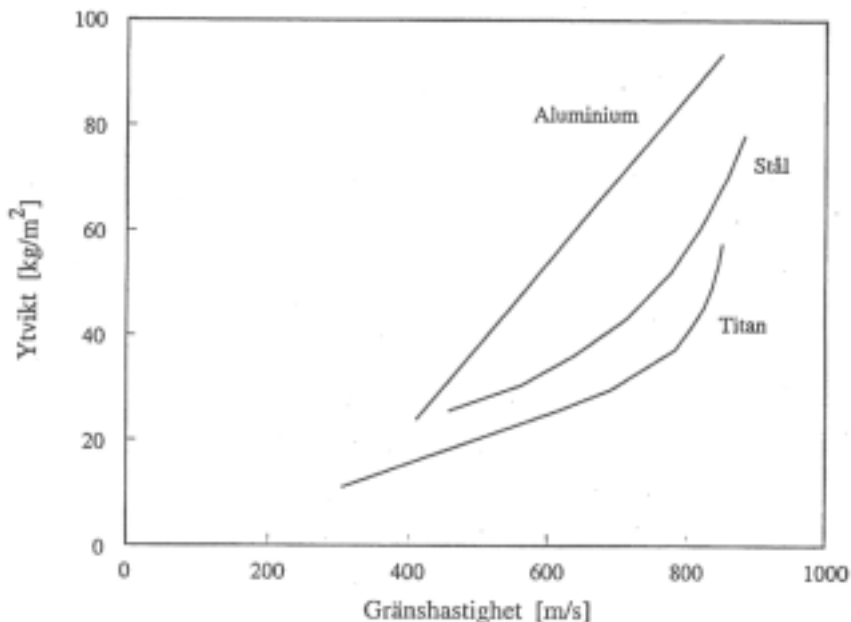
Cánovas, Pamies, Simón del Potro och Almansa (1994) har studerat skyddsförmågan hos vanlig betong och fiberbetong vid belastning från granatsplitter. I rapporten görs jämförelser mellan experiment och olika beräkningsmodeller. Det konstateras bland annat att 50 % ökning av betonghållfastheten reducerar penetrationsdjupet med 70 % dock endast upp till cirka 40 MPa tryckhållfasthet. En ökning av fibermängden över 80 kg/m³ ger ingen märkbar ökning av betongens motståndsförmåga mot splitter.

Anderson, Watson och Kaminskyj (1995) redovisar resultat av ett stort antal konstruktioner testade för skyddsförmåga mot finkalibereld (7,62 mm AP med cirka 865 m/s anslagshastighet). Plattorna bestod av betong med olika slags förstärkningar, bland annat stålplåtar och keram, användning av okonventionell ballast och tillsatser, till exempel polystyrenkulor, stålkulor och stålfibrer. Även effekten av profilerad yta för att ge snett anslag provades. Beträffande penetrationsdjup noterades bl.a. att ballast av krossad keramik inte gav förbättring jämfört med

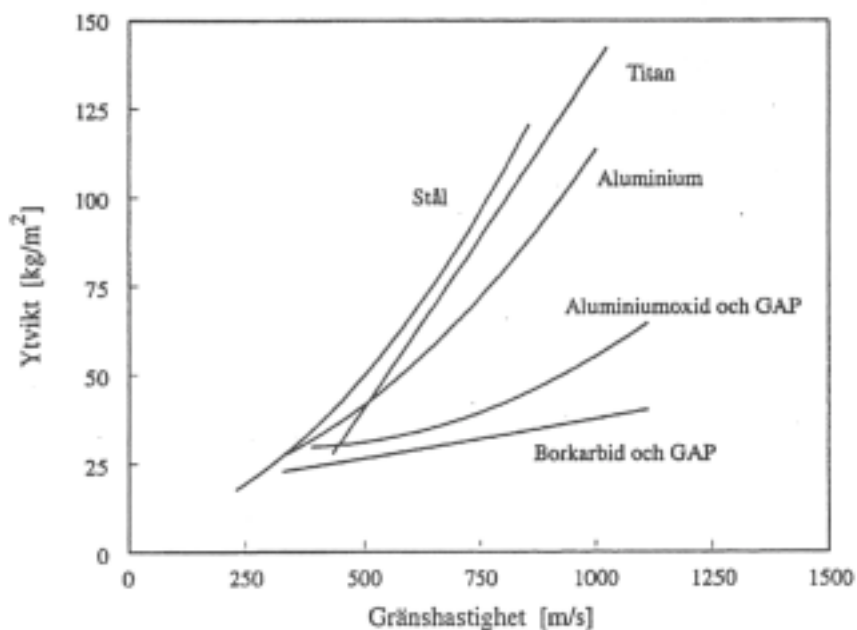
vanlig ballast. Med 12 mm stålkulor som ballast slogs projektalen sönder och inträngningen blev därigenom mindre. Dessutom visades att 20 mm ballast gav mindre inträngning än den annars använda 10 mm ballasten. Proven med ett hårt skikt av relativt tunna keramikplattor (5-13 mm) på ingångssidan gav ingen nämnvärd förbättring. Däremot visade sig 32 mm stenplattor på ingångssidan vara effektiva.

3.2.8 Jämförelser mellan olika skyddsmaterial

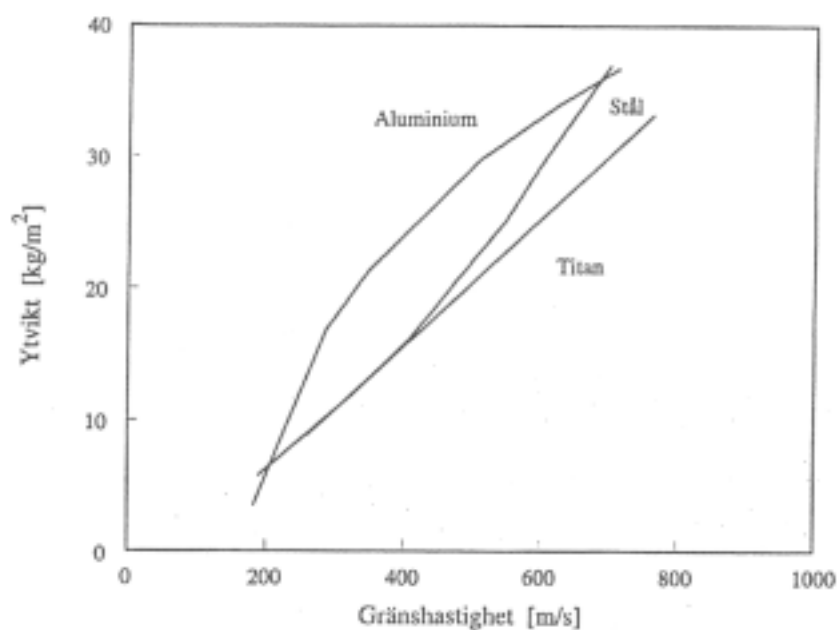
I de fall där det finns speciella krav på låga vikter för ett skydd är det intressant att jämföra olika materials skyddsförmåga mot olika typer av projektiler och splitter. Lidén m.fl. (1994) har sammanställt och jämfört gränshastigheten (den hastighet då en projektil precis perforerar målet) mellan stål, aluminium och titan vid anslag av 7,62 mm projektil med blykärna, se Figur 3.6. Det framgår ur figuren att titan är effektivast per ytvikt av de tre materialen för de studerade gränshastigheterna. Vid anslag av en 7,62 mm projektil med stålkärna mot samma tre metaller samt mot två keramer med uppbackningsmaterial framgår att keramlösningen är betydligt effektivare per ytvikt än de tre metalliska materialen, se Figur 3.7. Notera även att här är aluminium effektivast per ytvikt av de tre metallerna för gränshastigheter över cirka 500 m/s. Vid jämförelse mellan stål, aluminium och titan då dessa material får anslag av splitter med massan 3 g framgår att titan är effektivast per ytvikt vid gränshastigheter som överstiger cirka 500 m/s, se Figur 3.8.



Figur 3.6 Skyddsförmågan för olika metaller mot 7,62 mm prj med blykärna (Lidén m.fl., 1994).



Figur 3.7 Skyddsförmågan för olika metaller och keramer med uppbackningsmaterial mot 7,62 mm pprj med stålkärna (Lidén m.fl., 1994). GAP = glasfiberarmerad plast.



Figur 3.8 Skyddsförmågan för olika metaller mot splitter med massan 3 g (Lidén m.fl., 1994).

3.2.9 Inverkan av tilläggsskydd

Utvecklingen av nya ammunitionstyper med ökad penetrationsförmåga har gjort att behovet av förstärkta skydd har ökat. Detta har medfört ett allt större problem med ökad vikt och behovet av alternativa material och skyddslösningar har framkommit. Förutom lämpliga

skyddsmaterial och materialkombinationer finns det även tilläggskydd som höjer skyddsnivån ytterligare. Tilläggskydd finns i en mängd olika varianter och har naturligt kommit mest till användning på olika typer av fordon men skulle även kunna vara en effektiv del i skyddet för ett flyttbart skydd. En projektil som vid anslaget träffar en sned yta kommer att erhålla en snedbelastning och projektilen snedställs, deformeras eller bryts sönder i ett antal mindre fragment. Detta gör att penetrationsförmågan i bakomliggande skyddsmaterial reduceras och är ett effektivt skydd mot olika typer av AP-ammunition då dessa ofta består av stål- eller hårdmetallkärnor. En geometrisk störning i form av en snedställd plåt som utsätter projektilen för snedkrafter kan ge denna effekt.

Geometriska skydd i form av snedställda plåtar framför grundpansaret kan således vara ett effektivt sätt att bringa ned vikten. Den snedställda plåten skulle exempelvis kunna utföras i form av en veckad plåt med viss vinkel. För att få bra verkan av ett geometriskt skydd behöver detta utformas med ett visst avstånd mellan den sneda plåten och bakomliggande skyddsmaterial. Detta gör ett geometriskt skydd volymkrävande men istället viktseffektivare då tjockleken på grundpansaret kan reduceras. En undersökning där skjutförsök har genomförts med projektiler av typ 7,62 mm NATO Ball på snedställda plåtar orienterade 45° mot skjutriktningen, visade på en ökande inducerad snedställning av projektilen vid ökad plåttjocklek (Iremonger, 2003). Projektilens snedställning ökade dessutom med avståndet bakom plåten på grund av den inducerade rotationen. Vidare undersöktes skyddsförmågan för ett visst antal tunna metallplattor placerade parallellt och vinkelrät mot skjutriktningen jämfört med en homogen metallplatta med samma totala tjocklek. Resultaten visar att ett antal metallplattor allmänt ger ett sämre ballistiskt skydd än en homogen stålplatta med samma tjocklek vilket även är känt sedan tidigare undersökningar. Som tidigare påpekats gäller dock förhållandet endast under förutsättning att projektilen eller splittret inte deformeras kraftigt eller splittras under inträngningsförloppet. Undersökningar angående effekten av snedställda plåtar har tidigare genomförts på FOI (Lidén m.fl., 2001) och (Ottosson, 1999) och (Ottosson och Johansson, 2004).

En hårdmetall är ett material där karbidpartiklar binds samman av en mjukare metall. Detta resulterar i ett material med hög hårdhet och hållfasthet men som ofta är tämligen sprött. Kvasistatisk mekanisk tryckprovning har genomförts på två olika typer av hårdmetaller sammansatta av volframkarbid (WC) och kobolt (Co) och som används som kärnmaterial i projektiler (Skoglund, 2000). Resultaten visar på höga hållfastheter men mycket små brottöjningar. Dessutom har materialprovning av detta material genomförts där resultaten använts för att bestämma brottkriterier (Tjernberg och Skoglund, 2005).

3.3 Skydd mot grövre projektiler

Ett antal undersökningar med projektiler av grövre kaliber som penetrerar betongmål har genomförts på FOI och dessa undersökningar har varit både experimentella och teoretiska (Hansson, 2002, 2003, 2004, 2005) och (Magnusson, 2002). Numeriska simuleringar av penetrationsförloppet gör det möjligt att i detalj studera inverkan av olika parametrar. Magnusson, Unosson, Carlberg (2001) redovisar ett stort antal skjutförsök på betongmål. Studier angående penetration i berg har genomförts i modellskala för att kunna bedöma hotet från djuppenetrerande stridsdelar med relativt stor kaliber mot anläggningar med bergtäckning (Lundberg m.fl., 1997 och Lundberg m.fl., 1999).

3.4 Skydd mot RSV-stridsdelar

För att skydda sig mot en RSV-stridsdel är reaktivt pansar ett exempel på effektivt skydd som stör eller konsumerar RSV-strålen. Det går även att placera en stängselmodul i form av exempelvis ett nät av sträckmetall på ett visst avstånd framför det egentliga skyddet. På så sätt kan en RSV-laddning utlösas innan den når det egentliga skyddet och detta reducerar inträngningsförmågan avsevärt. Exempel på en sådan utformning monterades på den svenska S-vagnen i form av stänger i fronten. Även den USA-tillverkade pansarterrängbilen Stryker kompletterades med skydd mot RPG-granater i form av ett spjälstaket runt fordonet i samband med insatsen i Irak 2003 (Eriksson, 2005).

Tidigare undersökningar har studerat inträngningsförmågan för olika typer av RSV (105 mm Bantam och 127 mm RSV) i olika graderingar av grus och betong samt i vissa fall kombinationer av dessa (Elfving och Karlsson, 2001), (Elfving och Karlsson, 2002) och (Elfving, 2004). En indelning av RSV-vapen i olika hotnivåer gjordes enligt Tabell 3.1. Dessutom ges förslag på en modell för inträngning av RSV i singel, betong och i skiktade täckningar. Även Ekblom (1997) har rapporterat om försök med RSV-laddningar mot olika skyddsmaterial, som stålplåt och betong samt tilläggskydd.

Tabell 3.1 Indelning av RSV-vapen med tillhörande kaliberindelning (Elfving, 2004).

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

En verkansdel med speciella inläggsmaterial har testats mot armerade betongplattor. Avsikten var att studera och jämföra verkan av olika inläggsmaterial. Det framgår av resultaten att det är möjligt att uppnå större verkan med speciella inläggsmaterial jämfört med konventionella inläggsmaterial, samt betydligt större verkan jämfört med en kontaktverkande laddning med samma vikt (Helte, Almström, Andersson, Carlsson, Karlsson, Lundgren, Olovsson, Pettersson, Skoglund, Sundel, Örnhed, 2004). Helte m.fl. har också studerat verkan av laddningar med okonventionell utformning av inläggets geometri mot väggar främst av armerad betong.

Försök med RSV mot titanplåtar har bland annat genomförts där några olika typer av lågkostnadstitan jämfördes med Ti-6Al-4V som referens (Collin, 2004) och (Järnebank m.fl., 2004). Vid försöken studerades bildningen av sekundärsplinter på baksidan för de olika titanplåtarna.

3.5 Skydd mot briserande granater och bomber

3.5.1 Luftstövåg

Luftstövågsbelastning av konstruktionselement i betong har bland annat studerats av Johansson (1978), Edin och Forsén (1991), Ågårdh (1997), Forsberg och Ågårdh (1997), Magnusson (1998), Magnusson och Ågårdh (1999), Magnusson och Hallgren (2000), Magnusson och Hallgren (2003) samt Magnusson och Hansson (2004). Dessa undersökningar studerar exempelvis inverkan av betonghållfasthet, armeringsmängd och inblandning av stålfibrer på skyddsförmågan mot explosionslaster. Exempelvis visas där att användandet av konstruktionselement i höghållfast betong ger väsentligt förhöjd skyddsförmåga. Andra plattlement med material i vanliga byggnader har undersökts av Forsén (1984) – sandwichväggelement, Erkander och Forsén (1987) – tegelväggar, samt av Johansson och Edin (1978) – lättbetong.

Det finns i litteraturen beskrivet många metoder och genomförda undersökningar av enkla konstruktioners (till exempel plattors) respons vid luftstötstångsbelastning. Generella metoder beskrivs till exempel av Balazs (1997), Wijk (2000) och Hansson (2000).

Undersökningar av balkar med höghållfast betong i modellskala har utförts av Balazs och Hallgren (1996) och (1997). Såväl oarmerade balkar som stålfiberarmerade balkar belastades statiskt och dynamiskt.

Observationer från bombdåd som förekommit över hela jorden visar att vanliga byggnader får stora skador och speciellt då ytterväggarna. En vägg bestående av block av behandlat trä och med en kärna av betong är ett framtaget koncept kallat "Maya Durisol" (Negri m.fl., 1997). Väggen innehåller dessutom armeringsstänger i väggens båda riktningar. Försök på väggen genomfördes bland annat med finkalibriga projektiler och med kombinerad luftstötstång och splitter från en 155 mm granat. Den framtagna väggtypen används för vissa nya konstruktioner och för att uppgradera existerande byggnader i Israel.

3.5.2 Luftstötstång i kombination med splitter

En teoretisk studie behandlar splitterskydd mot en 250 kg minbomb av typen MK-82 (Ågårdh m.fl., 1998). Splitterskyddet bestod av två stålplattor med tjockleken 25 mm vardera och på 25 mm avstånd från varandra. I undersökningen studerades enstaka splitter med anslagshastigheten 1800 m/s mot skyddet med enbart luft mellan plattorna samt även med höghållfast betong av typen Densit mellan plattorna. Även verkan av luftstötstång i kombination med splitter på skyddet studerades.

Då exempelvis en bomb eller granat briserar genereras en stor mängd splitter som i kombination med belastningen från luftstötstången kan ge stora skador på en konstruktion. En doktorsavhandling vid Chalmers Tekniska Högskola behandlar splitterbelastning av betongkonstruktioner (Leppänen, 2004). I huvudsak har frågeställningen behandlats teoretiskt med numeriska analyser men även experiment har genomförts. För att noggrant kunna modellera betongens sprick- och kraterbildning samt utstötning är materialegenskaperna vid dragbelastning av stor betydelse. I avhandlingen har bl.a. betongens töjningsmjuknande vid dragbelastning beskrivits med en bilinjär funktion.

Betongplattors respons vid belastning med kombinationen av luftstötstång och splitter till exempel från granater har studerats av Forsén och Edin (1991), Nordström (1995), Forsén (1996 och 1997). Responsen hos betong men också andra material som är vanligt förekommande i byggnader såsom tegel och lättbetong har analyserats i en experimentserie där fullskaliga konstruktioner har utsatts för detonation av dels 15,5 cm spränggrant och dels

250 kg minbomb (Lindqvist och Gustavsson, 1996). En sammanställning av kunskapsläget har också gjorts av Forsén och Lindqvist (1996).

3.5.3 Kontaktverkan och små laddningsavstånd

Extremfallet för belastningen från detonerande sprängämnen på en konstruktion är då avståndet till laddningen krymper och närmar sig noll. Skador på betongplattor vid kontaktverkande sprängladdningar har studerats av Jonasson (1990) och av Morén (1996). Dessa båda arbeten gällde väldefinierade experiment med halvsfäriska laddningar i kontakt med olika tjocka betongplattor. Syftet var framför allt att få ett mått på hålstorleken som funktion av laddningsvikt och plattjocklek. Morén studerade också hastigheten hos betongfragmenten från plattans baksida.

Element bestående av ett omslutande stålhölje och fyllt med betong testades med sprängladdningar placerade på 60 och 83 mm avstånd från panelen (Quinn m.fl., 1997). Experimenten visade att betongen krossades i form av en trunkerad kon och bakplåten deformerades plastiskt i en dragmembranmekanism. Gebbeken m.fl. (2004) har presenterat ett ingenjörsmässigt verktyg som kan användas för att beräkna verkan av en kontaktladdning på en betongkonstruktion. Verktöget kan även ta hänsyn till att ett sprängämne är omslutet av en jordtäckning ovanför en betongkonstruktion.

3.6 Skydd mot värme och brand

Det är väl känt att heta splinter från exempelvis briserande granater kan orsaka bränder i skog och mark och vid väpnat angrepp kan det finnas risker med heta splinter som slår igenom ett skydd och som sedan antänder materiel på skyddets insida. Vid camper där det finns risk för väpnat angrepp är det av intresse att studera verkan av och skydd mot vapeninducerad brand exempelvis i form av heta splinter. En undersökning genomförde en inledande analys angående antändningsrisker dels på grund av heta splinter och dels vid temperaturhöjningen som uppstår efter en detonation främst i angränsande rum till detonationen (Carlsson, 2005). Värmepulsens varaktighet från en detonation är extremt liten och på grund av den termiska tröghet som finns i alla fasta material är antändningsrisken liten. Risken för antändning på grund av efterförbränning och splinter kan istället vara ett större problem. I undersökningen studerades dessutom flamspridning och brandtillväxt i olika rumskonfigurationer. Antändning av material vid olika nivåer av värmestrålning har även studerats av Walmerdahl (2001) och (2002).

3.7 Innovativa skyddsmaterial

3.7.1 Nanostrukturella metalliska material

Nanostrukturella metalliska material uppvisar ofta nya och förbättrade egenskaper jämfört med traditionella material. Sandvik Nanoflex är en legering där det även ingår mycket små och hårda partiklar (med en storlek på 1-10 nm). Partiklarna är inbäddade i en duktil matris vilket gör materialet både hårt och segt [3]. Den väl kända egenskapen för höghållfasta stål där segheten minskar med hållfastheten gäller inte för Sandvik Nanoflex. En applikation där Sandvik Nanoflex används är i form av inlägg i skyddsvästar som ger skydd mot finkalibriga projektiler.

3.7.2 Amorfa metaller

Amorfa metaller skiljer sig fundamentalt från konventionella metaller på så sätt att de förra inte uppvisar någon kristallin atomstruktur. Atomerna i en amorf metall uppvisar således ingen fjärrordning och heller inga korngränser. Christodoulou (2000) visar att en amorf metall har högre brottenergi vid snabb belastning jämfört med höghållfasta stål, verktygsstål och rostfria stål. Vidare anger Miracle (2000) att amorf aluminium har högre specifik hållfasthet (hållfasthet/densitet) än konventionell aluminium. De nämnda egenskaperna för amorfa metaller som nämnts ovan gör att dessa material kan vara intressanta för framtida tillämpningar i exempelvis skyddsapplikationer och penetratorer. På FOI har Skoglund (2005) genomfört en förstudie om materialgruppens egenskaper.

3.7.3 Kerambaserat nanomaterial

Inom Försvarets Nanoteknikprogram ingår bland annat forskning angående kerambaserat nanomaterial. Idén är att utnyttja de nya möjligheter som finns med nanoteknik för att skräddarsy material med förbättrade egenskaper. Nu studerade försvarstillämpningar inom detta område är dels skyddsfönster för sensorer på missiler och vapenplattformar och dels skydd mot pansarbrytande projektiler i personskydd [4]. För skyddsfönstren är avsikten att tillverka keramiska material där de ingående kornen är inom nanoområdet. Större korn skulle kunna försämra materialets optiska egenskaper. För framtida ballistiska skyddsmaterial är avsikten att tillverka hårda keramer som även har inslag av seghet för en förbättrad skyddsförmåga.

3.7.4 Biomaterial.

Material som framställs av levande organismer kallas biomaterial. Sådana material har många gånger geniala konstruktioner och strukturer som kan ge inspiration till förbättringar av syntetiska material för höga skydds krav och låg vikt. Två typer av biomaterial som kan vara

intressanta för tillämpningen flyttbara skydd är spindeltråd och snäckskal. Vissa trådar som produceras av spindlar utmärks av hög styvhet, hög brottöjning och låg densitet. Orsaken till spindeltrådens exceptionella egenskaper tycks vara kombinationen mellan kristallina förstärkande och amorfa tójbara regioner. Många snäckskal består av två former av kalciumkarbonat, kalcit och aragonit, omgivna av en organisk matris. Skalets fördelaktiga egenskaper påverkas till stor del av keramskivornas dimensioner, den organiska matrisen samt kombinationen av ett hårt och ett energiabsorberande skikt (Åhlin, 1999).

4 Diskussion och förslag till fortsatt arbete

4.1 Diskussion

I studien har ett stort antal referenser sammanställts där man experimentellt och i vissa fall med beräkningar studerat olika hot och olika skyddsmaterial och skyddskoncept. Under arbetet med föreliggande rapport framkom att det inom ramen för detta projekt inte varit möjligt att fullständigt återge och ännu mindre analysera den totala bilden av hot och skyddslösningar.

Skydd mot vapenverkan av personal och materiel kan anordnas i fast byggda skyddskonstruktioner där skyddet mot vapenverkan har optimerats oftast utan krav på begränsningar av vikt. Skydd av framför allt personal kan också anordnas i mobila skydd där krav ställs på begränsningar i vikt medan skyddskraven inte kan ställas lika hårda som för fasta skyddskonstruktioner. Flyttbara skydd fyller en funktion mellan dessa båda fall. Exempel på situationer där flyttbara skydd är lämpliga är vid observationsposter, checkpoints och camper. Dessutom kan finnas behov av en form av flyttbart skydd vid snabbt uppkomna situationer som kräver viss höjning av skyddsnivån som exempelvis kravaller och dylikt. Vidare är viktskraven inte så kritiska för flyttbara skydd som de kan vara för mobila plattformar och det kan tänkas vara enklare att uppgradera eller bygga ut flyttbara skydd till större enheter.

Vid internationella insatser och upprättandet av camper kan kraven att snabbt erhålla skydd för såväl personal som materiel vara höga då beskjutning redan vid ankomsten inte kan uteslutas. Erfarenheter från Bosnien på 1990-talet visade att det finns behov av att medföra snabbbyggda skydd hemifrån, speciellt vid upprättandet av camper då förbandet initialt i princip är oskyddat. Målsättningen för camper har där varit att erhålla splitterskydd mot 15,5 cm artillerigranat men i vissa fall har även fullträffskydd förekommit. Vid internationella insatser kan ofta befintliga civila byggnader utnyttjas som skydd för både personal och materiel. Befintlig bebyggelse som initialt kan ge skydd och där skyddsnivån successivt kan höjas utnyttjades i vissa fall av förbanden i Bosnien så även denna möjlighet som tillfälligt skydd bör beaktas. Här är det av intresse att ha kunskap om hur byggnader klarar olika typer av vapenverkan vilket är av stor nytta för att veta hur skydd i bebyggelse skall väljas och hur eventuella förstärkningsåtgärder skall utföras. Dessutom visar erfarenheterna att sabotage inte kan uteslutas.

De dominerande vapenhoten för ett flyttbart skydd är finkalibrig ammunition och splitter. En jämförelse mellan hotmatrisen för motsvarande fältbefästningar och flyttbara skydd som är under utarbetande inom Nato med den svenska kravprofilen för flyttbara skydd visar

exempelvis att pansarbrytande projektiler i kalibern 14,5 mm inte är beaktade i kravprofilen. För framtida behov kan det vara av intresse att se över de olika hotnivåerna för fin- och mellankaliber och noggrannare specificera vapenhotet för de olika skyddsnivåerna. Vidare kan det vara av intresse att även beakta hoten dels från eldhandvapen med granattillsats och granatgevär och dels från verkan av detonerande sprängämnen på visst avstånd från skyddet. RPG-7 är ett exempel på vapen för vilket en stor mängd olika typer av granater kan användas. I sammanhanget kan nämnas att pansarterrängbil Stryker kompletterades med skydd mot RPG-granater i samband med insatsen i Irak 2003. Verkan av luftstötstång kan vara dels från granater som briserar på små avstånd från skyddet och dels från en IED (Improvised Explosive Device). En IED kan exempelvis vara i form av en bilbomb. Det som bestämmer optimalt val av skyddslösning för ett flyttbart skydd är förutom vapenhotet användningsätt/hantering samt kostnad. Optimeringen av skyddslösningen försvåras av att såväl hot som krav på hantering är osäkra parametrar som påverkas av i vilken miljö (plats, typ av konflikt med mera) som skyddet ska användas. Dessutom sker en successiv förändring av hotet genom att nya vapen utvecklas. En typ av hot som man mer och mer måste räkna med, framför allt vid internationella insatser, är terroristhotet. Ett exempel på sådant hot är påverkan från IED. För framtida behov kan det vara av intresse att se över de olika hotnivåerna och noggrannare specificera vapenhotet för de olika skyddsnivåerna vad det gäller kravprofilen för flyttbara skydd. Pansarbrytande projektiler i kalibern 14,5 mm bör vid en sådan översyn beaktas.

Det framgår i litteraturen att olika typer av containerlösningar kan ge ett bra skydd. Containern kan kombineras med exempelvis Hesco Bastions eller i förstärkt utförande grävas ned under mark. En dubbelväggig container där fyllnadsmassor i form av grus ökar skyddsförmågan mot eldhandvapen och splitter. Dessutom ökar den impulsupptagande förmågan i och med ökningen av massan. En valvformad korrugerad plåt över ett grävt värn kan tjäna som ett bra tillfälligt skydd om plåten täcks med jordmassor. Det utvecklade flyttbara skyddet RapS bestående av korrugerade plåtelement och betongplank gav positiva fältmässiga erfarenheter i Kosovo. RapS går även att montera så att det bildar ett kravallskydd. En förbättring är att använda pansarplåt istället för betong till planken som ställs mot de korrugerade plåtelementen eftersom pansarplåt har både vikts- och hanteringsmässiga fördelar jämfört med betong, samt bättre flerskottskapacitet.

Vad det gäller skyddsmaterial är förutom fyllnadsmassor även konstruktions- och pansarstål, samt betong intressanta materialval. Även material som aluminium och fiberkompositer är intressanta att använda i kombination med grundskyddet. Framförallt är det intressant med kombinationer av olika material i de fall där hårdare krav ställs på vikten. Tilläggskydd i form av snedställda plåtar framför grundskyddet gör det möjligt att minska dess tjocklek och med exempelvis en aramidliner placerad direkt mot en pansarplåts baksida kan tjockleken reduceras ytterligare. Principen med en liner kan också utnyttjas i andra tillämpningar till

exempel för förstärkning av väggar i befintliga byggnader. Ytterligare en variant av detta är att med relativt tunn plåt omsluta en skyddsplatta av betong. Olika former av tillägsskydd är även intressant för att öka skyddet mot RSV-stridsdelar. Skyddsmaterial som keramer, titan, kvävelegerade stål och amorfa stål eller andra av de mer innovativa material som tidigare nämnts bedöms däremot för närvarande vara mindre lämpade som delmaterial i ett flyttbart skydd om inte extrema viktskrav ställs. Detta beror på kostnadsskäl, begränsad produktion (till exempel amorft stål) men även på delvis okända skyddsegenskaper. Emellertid pågår vidare forskning om dessa materials skyddsförmåga. Det bör dessutom noteras att lätta skydd ofta ger dåligt skydd mot luftstöt vågor och kontaktverkande stridsdelar (som detonerar vid anslag).

För att få en viss grund för sammantagen bedömning av för- och nackdelar med olika skyddsprinciper har nedanstående matris använts. För ett antal skyddsprinciper har en grov bedömning gjorts av potentialen av skyddsförmåga (utan specificering av hotet i respektive verkansform) och användningssätt/hantering samt kostnad för skyddet. Som ett normvärde i bedömningen har valts det nyligen utvecklade skyddskonceptet RapS försedd med HPC-plattor. För detta skydd har samtliga värden åsatts siffran 1 (ett). Olika skyddskoncept har sedan jämförts mot denna norm genom att antingen ges värdet 2 (två) om potentialen bedömts bättre eller 0 (noll) om potentialen bedömts sämre. I något fall har bedömningen gjorts att skyddet inte alls klarar ett visst vapenhot, i sådant fall har detta markerats med dubbelasterisk. I de fall potentialen har varit särskilt svårbedömd har detta markerats med en asterisk. I skyddsförmåga har medtagits ett antal hot där ett urval har gjorts av hot som är mest troliga i situationer där flyttbara skydd är lämpliga att användas.

Tabell 4.1 Jämförelse mellan olika skyddsprinciper.

Skyddsprincip	Skyddsförmåga					Användningssätt/hantering				Kostnad	Summa-poäng
	Penetration			Tryck		Uthållighet mot bekämpning	Uthållighet inre miljö o komfort	Utbyggnadstid	Behov maskinella hjälpmedel		
	Projektil finkal.	Splitter	RSV	Luftstöt våg	Kontakt-verkan						
RapS med 2 × 25mm HPC-plattor	1	1	1 **	1	1	1	1	1	1	1	10
RapS med 2 × 5mm ARMOX 600T	2	2	1 **	1*	1*	2	1	1	1	1	13
2-väggs container, 25 cm väggar med grus, fristående	2	2	1 **	2*	2*	2	2	1*	0	0*	14
LSS utan jordtäckning	0	0	1 **	0*	0*	1	0	2	2	1*	7
LSS med jordtäckning	2	2	1 **	2	2	2	0	0	1	1*	13
Container + Hesco Bastions, Med taksydd	2	2	2	2	2	2	2	0	0	0*	14
Containerkluster med jordfyllda containrar	2	2	2	2	2	2	2	0	0	0*	14
Aluminiumkassetter med grusfyllning	2*	2*	1 **	2*	2*	2	2	0	1*	0*	14
Befintlig byggnad, 15 cm betong, utan tilläggsydd	2	2	1 **	2*	2*	1	2	2	2	2	18
Geometrisk störning med plåt + 5 mm ARMOX på RapS-stomme	2	1*	1 **	1*	2*	2	1	1	1	1*	13

• betecknar särskild svårbedömd kapacitet

** bedömningen är att skyddet inte alls klarar aktuellt hot

Ett sätt att jämföra potentialen för olika skyddskoncept är att jämföra summapoängen längst till höger i tabellen. Hög slutpoäng indikerar en bra skyddsprincip. Det bör emellertid noteras att även om en skyddslösning får högre totalpoäng kanske en annan lösning måste väljas därför att till exempel krav på utbyggnadstid eller behov av maskinella hjälpmedel inte kan uppfyllas. Några slutsatser från Tabell 4.1 är att:

- Totalsumman indikerar att alla de upptagna exemplen utom LSS utan jordtäckning får en bättre summapoäng än RapS med HPC-plattor. Det bör emellertid noteras att utbyggnadstiden och kostnaden i de flesta fall är större.
- Det utgående från summapoängen bästa skyddskonceptet är att utnyttja robust befintlig byggnad som skydd. Att ett sådant skyddskoncept kan utnyttjas förutsätter naturligtvis att det går att finna på rätt plats och att det får utnyttjas.
- Geologiska material (sten, grus, sand) ger bra skydd mot vapenverkan och sådana material går att använda i olika former – gräva ner skyddet i, fylla i dubbelväggiga med containrar eller fylla i hela containrar som skyddsmoduler samt i Hesco Bastions. Förutsättning är naturligtvis att sådant material återfinns på platsen eller i närområdet.
- Värderingen i matrisen indikerar var omedelbar kunskap fattas eller är bristfällig. Ett exempel på detta är hur skydden klarar tryckverkan i luft eller kontaktverkan, speciellt i kombination med splitter.
- Det bör även noteras att det är endast ett fåtal av de i tabellen listade skyddslösningarna som ger skydd mot RSV.

Det är viktigt med flexibla eller alternativa lösningar eftersom valet av skyddslösning beror på en mängd aspekter som till exempel tillgänglighet av naturmaterial, jordförutsättningar, grundvattennivåer, behov av eller krav på kamouflage, transportkostnader av konstruktionsmaterial från hemlandet och behov av underhåll.

4.2 Fortsatt arbete

I det fortsatta arbetet bedöms viktigt att:

- Göra en översyn av hotmatrisen för flyttbara skydd och då ta hänsyn till angrepp från terrorister, gerilla och liknande. Det innebär framför allt att hot från

finkalibervapen, IED, granatkastare och "shoulder launched weapons" (exempelvis RPG-7) beaktas.

- Tiden för uppbyggnad av skyddet är en viktig aspekt – tidskrav kan göra att ett modulsystem som är lätt att sätta ihop är att föredra och som också ger ett tillräckligt bra skydd.
- Tillägsskydd bör studeras vidare till exempel vinklade plåtar. Visst arbete har genomförts för finkaliber till handeldvapen (och även för pilprojektiler mot grovt pansar) men det är intressant att även studera andra projektiltyper till exempel kaliber 12,7 mm. Ett sådant tillägsskydd skulle kunna vara en led i en vidareutveckling av RapS.
- Robusta byggnader ger i sig ett relativt gott skydd mot flera vapenverkansformer. Det kan ändå finnas anledning att studera hur man med relativt enkla metoder kan ytterligare förbättra skydd i byggnader.
- Vissa verkansformer är mindre studerade än andra. Det är angeläget att vidare studera hur koncept för flyttbara skydd klarar luftstöt våg, även i kombination med splitter och kontaktverkan eller små laddningsavstånd (närmiss) av till exempel granatkastarammunition.
- För praktiskt bruk är det många gånger tillräckligt med enkla modeller för bestämning av skyddsförmågan. Ett intressant och användbart koncept kan också vara relativt enkla datorprogram som hjälpmedel till val av skydd i en specifik situation med specifika krav (höga krav på kort byggnadstid; krav på skydd men utan tillgång till geologiskt material; extra höga krav på skydd mot ett visst vapenhot). Ett komplement till ett sådant enkelt men generellt program kan för ett specifikt skydd vara att värdera det med programmet AVAL (2001), vilket dock kräver stor erfarenhet hos användaren.

Vid fortsatta studier är det angeläget att kombinera beräkningar och praktiska försök. För att möjliggöra beräkningar är det nödvändigt att ha en god kunskap om dynamiska materialegenskaper (till exempel genom väldefinierade försök med enkla provkroppar som belastas med höga töjningshastigheter). Detta kan möjliggöra avancerade beräkningar med

numeriska simuleringar. Det fordras även modell eller fullskaleförsök för att verifiera beräkningarna.

Det är angeläget vid fortsatt arbete att ständigt uppdatera kunskapsläget om pågående forskning och teknikutveckling. Det stora antalet referenser aktualiserar behovet av databaser där all relevant kunskap finns samlad på ett överskådligt sätt. Ett tidigare exempel är databasen för ballistiskt skydd DABASK (Bratt, Svensson och Forsberg, 1997). DABASK är strukturerad med tanke på ballistiska försök. Informationen är lagrad i tabeller som är relaterade till varandra. Användaren arbetar normalt inte direkt i tabellerna utan i det användargränssnitt som kallas formulär. I formulären kan data ingå från en eller flera tabeller. I formulären för registrering av data finns möjlighet att lägga in data anpassade för respektive typ av objekt. Utformningen av databasen är så generell att det går att lagra data både från egna försök och externa källor. De funktioner som finns i databasen är registrering av data och granskning av inlagda data, samt sökning, där ett urval görs av databasen inlagda data. Färdiga sökrutiner finns för urval av skottserier, vapen, projektiler eller mål, samt för intervall av gränshastighet, ytvikt, penetrationsdjup, viktskyddsfaktorer, volymskyddsfaktorer och energiupptagning. Trots många fördelar med DABASK har den också vissa brister, till exempel formatet (Nilsson, 2005), varför det är angeläget att utveckla ny och förbättrad version.

Referenser

Andersson, A., Lithén, F., *Splitterdata för 15,5 cm sgr m/77 med trotyl alternativt hexotol 60/40*, FOA Rapport C 20671-2.3, Stockholm, augusti 1987.

Andersson, M., Carlberg, A., *Fullskaleförsök med standardcontainrar Älvdalen 1991 – Effekter av nedschaktning samt av vapenlast*, FortF Rapport 1992:2, Stockholm, juni 1992.

Anderson, W. F., Watson A. J., Kaminskyj, A., *Construction to Defeat Small Arms Attack*, Konferensbidrag från 7th International Symposium on Interaction of the Effects of Munitions with Structures, Mannheim, Tyskland, 24-28 April 1995.

Anglevik, I., Försvarsmakten, Anläggningskontoret, muntlig kommunikation, februari 2005.

AVAL (Assessment of Vulnerability and Lethality) User's Manual version 4, Försvarets Materielverk, March 2001.

Balazs, P., *Provning av Safecon installationsmodul*, FortF Rapport CH1:88, Eskilstuna, 1988.

Balazs, P., Hallgren, M., *Balkar av höghållfast betong belastade med impulslast – Brottmekanisk provning av RILEM-balkar*, FOA-R—96-00252-(310) 6.0—SE, Stockholm, maj 1996.

Balazs, P., Hallgren, M., *Brottmekanisk provning av Ballistocrete-, Densit- och Finpartikelbetongbalkar med impulslast och statisk last*, FOA-R—97-00640-311—SE, Tumba, december 1997.

Balazs, P., *Beräkningsmetoder vid stötvågsbelastade konstruktioner*, FOA-R—97-00473-311—SE, Tumba, april 1997.

Bratt, C., Svensson, L., Forsberg, A.-S., *DABASK – Databas för ballistiska skydd*, FOA-R—97-00570-310—SE, Stockholm, 1997.

Bredemo, R., *Ballistiska skyddsplattor — Slutrapport*, SICOMP CR 94-005, Piteå, 1994.

Börvik, T., Langseth, M., Jenssen, A., Langberg, H. and Smedsröd, Ö., *Use of Aluminium Panels as Lightweight Ballistic Protection*, Konferensbidrag från the 11th International Symposium on Interaction of the Effects of Munitions with Structures, Mannheim, Tyskland, 5-9 May, 2003.

Cánovas, M. F., Pamies, R. G., Simón del Potro J. R. & Almansa E. M., *Impact Effects on the Primary Fragmentation Generated by the HE81 Mortar Grenade on Conventional Concrete and Steel Fibers Reinforced Concrete*, Konferensbidrag från the Third International Conference, Structures Under Shock and Impact, Madrid, 1-3 June 1994.

Carlberg, A., *Förstärkning av skyddsrumsdörrar mot splitterbelastning från konventionella vapen. Delrapport 2 – Splitterskjutning mot kassetter*, FOA dnr 96-4824/S, Stockholm, november 1996.

Carlsson, J., *Sammanfattning av verksamheten inom projekt Brandspridning, 2004*, FOI Memo 1230, Tumba, 2005.

Christodoulou, L., *Structural Amorphous Metals (SAM)*, Presentation vid Pre-Proposal Workshop, Arlington, Virginia, USA, 6 June, 2000.

Collin, Å., *European low-cost titanium program. Shaped charge evaluation – behind armour effects tests*, FOI-RH—0307—SE, Tumba, May 2004.

Van Dongen, Ph., Weerheijm, J., Absil, L.H.J., *Protection Levels of Field Shelters*, Konferensbidrag från the 15th International Symposium on Military Aspects of Blast and Shock, 1997.

Van Dongen, Ph., Kodde, H.H., Weerheijm, J., *The Survivability of Protective Shelters*, 1. European Survivability Workshop, Köln-Wahn, Tyskland, 26-28 February, 2002.

Drehtainer, *Drehtainer – Modular Protected Building*, Konferensbidrag från the 18th International Symposium of Blast and Shock, Bad Reichenhall, Tyskland, 27 September – 1 October, 2004.

Edin, K., Forsén, R., *Vapenverkan mot flervånings betongbyggnad II. Bestämning av skador från 2,1 kg sfäriska hexotolladdningar mot husfasad i skala 1:4*, FOA C 20859-2.3, Stockholm, 1991.

Ekblom, L., *Anteckningar från försök vid Bofors 1996-12-05—06*, Anteckningar Fortifikationsverket, Eskilstuna, juni 1997.

Elfving, C., *RSV mot anläggningar*, Confortia Rapport 2:96, Eskilstuna, 1996.

Elfving, C., *Inventering av svensk bebyggelse*, FOA-R—97-00629-311—SE, Tumba, december 1997.

Elfving, C., *Förstudie av skydd vid fast/rörligt uppträdande*, FOA-R-00-01536-311—SE, Tumba, juni 2000.

Elfving, C., Carlberg, A., Olsson, L. G., *Försök med eldhandvapen mot lätt befästning*, FOI-R—0036—SE, Tumba, mars 2001.

Elfving, C., Karlsson, S., *Försök med RSV mot singel och betong*, FOI-R—0258—SE, Tumba, december 2001.

Elfving, C., Karlsson, S., *Försök med RSV mot betong och skiktade täckningar*, FOI-R—0711—SE, Tumba, december 2002.

Elfving, C., *Verksamhet avseende RSV 2004*, FOI Memo 1138, Tumba, december 2004.

Erikson, J., Larsson, F., Svensson, L., *Fiber- och fiberkompositbaserade lätta skydd – Metoder, egenskaper, mekanismer*, FOA-R—96-00278-2.4—SE, Stockholm, augusti 1996.

Eriksson, S., *FAE – State of the Art*, FOI-R—0360—SE, Tumba, January 2002.

- Eriksson, A., *Light Armoured Vehicles Conference, Washington DC*, Teknisk Und Rapport, FMV beteckning VO StraMtrl 10 400:6664/05, Stockholm, January 2005.
- Erkander, Å., Pettersson, L., *Betong som splitterskydd. Skjutförsök på plattor av olika betongmaterial*, FOA Rapport C 20574-D6(D4), Stockholm, 1985.
- Erkander, Å., Forsén, R., *Luftstövågsbelastade tegelväggar*, FOA C 20682-2.6, Stockholm, 1987.
- Forsberg, A.-F., *Singel stoppar finkalibriga projektiler*, FOA-D—95-00202-6(2.6)—SE, Stockholm, december 1995.
- Forsberg, A.-F., Ågårdh, L., *Stålfiberarmerade betongplattor utsatta för tryckstöt i stövågstub – Försöksomgång 1997*, FOA-R—97-00635-311—SE, Tumba, december 1997.
- Forsén, R., *Luftstövågsbelastade sandwich-väggelement*, FOA C 20560-D4(A3), Stockholm, 1984.
- Forsén, R., Edin, K., *Vapenverkan mot flervånings betongbyggnad III. Bestämning av skador från splitlerladdningar mot husfasad i skala 1:4*, FOA C 20860-2.3, Stockholm, 1991.
- Forsén, R., *Splitterbelastning av betongplattor. Jämförelse av energiupptagande förmåga hos armerade betongplattor i två olika skalor*, FOA-R—96-00262-7(6, 2.6)—SE, Stockholm, 1996.
- Forsén, R., Lindqvist, S., *Kombinerad verkan av stövåg och splitter. Sammanfattning av hittillsvarande verksamhet*, FOA-R—96-00358-2.6—SE, Stockholm, 1996.
- Forsén, R., *Belastning av betongplattor med tryck och splitter från 250 kg minbomber*, FOA-R—97-00418-311—SE, Stockholm, 1997.
- Forsén, R., Bryntse, A., Svensson, E., *Reserapport Nederländerna*, FOA 98-2534/S, Stockholm, 1998.
- Försvarsmakten Högkvarteret, *Operativa ramvillkor för utveckling av lätta befästningar*, HKV beteckning 13 301:69547, oktober 1999.
- Försvarsmakten, *H FALK Skydd*, Handbok Försvarsmaktens AnLäggningsKrav, M7751-714111, Försvarets bok- och blankettförråd, 2000.
- Gebbeken, N., Greulich, S., Pietzsch, A., Landmann, F., *The Engineering Tool XPLOSIM to Determine the Effects of Explosive Loadings on Reinforced and Fibre Reinforced Concrete Structures*, Konferensbidrag från the 18th International Symposium of Blast and Shock, Bad Reichenhall, Tyskland, 27 September – 1 October, 2004.
- Gooch, W. A., et al., *Ballistic Testing of Swedish Steel ArmoX Plate for U.S. Armor Applications*, Konferensbidrag från the 21st International Symposium on Ballistics, Adelaide, Australien, 19-23 April, 2004.

Grady, D. E., *Dynamic Properties of Ceramic Materials*, Sandia report SAND94-3266, Sandia National Laboratories, U.S.A., February 1995.

Grady, D. E., Moody, R. L., *Shock Compression Profiles in Ceramics*, Sandia report SAND96-0551, Sandia National Laboratories, U.S.A, March 1996.

Gustavsson, T., *Kassetter som splitterskydd mot artillerigranater*, FOA-D—95-00200-6(2.6)—SE, Stockholm, november 1995.

Hansson, H., *Simulering av stötvågsutbredning och strukturrespons från detonationer i luft, principstudie*, FOA-R—00-01637-311—SE, Stockholm, 2000.

Hansson, H., Skoglund, P., *Modeling of steel behaviour with application to armor penetration*, FOI-R—0201—SE, Tumba, 2002.

Hansson, H., *Penetration i HPC-mål för stridsdelar med $L/D \approx 9$ – Försök i skala 1:1 och 1:3*, FOI-RH—0136—SE, Tumba, december 2002.

Hansson, H., *Skydd mot precisionsbekämpning av anläggningsplattformar – Förstudie*, FOI-R—0680—SE, Tumba, december 2002.

Hansson, H., *2D and 3D Simulations of Concrete Penetration using the RHT Material Model*, FOI-R—0922—SE, Tumba, October 2003.

Hansson, H., *Experimental Study of Concrete Penetration for $L/D=9$ Projectiles*, FOI-RH—0226—SE, Tumba, October 2003.

Hansson, H., *Experimental Study of Concrete Penetration for Projectiles with Stepwise Conical Nose and $L/D=9.4$* , FOI-RH—0232—SE, Tumba, November 2003.

Hansson, H., *A note on empirical formulas for the prediction of concrete penetration*, FOI-R—0968—SE, Tumba, November 2003.

Hansson, H., *Penetration in Armox 500 and concrete for a projectile with $L/D=9$* , FOI-RH—0354—SE, Tumba, December 2004.

Hansson, H., *Penetration in concrete for projectiles with $L/D \approx 9$* , FOI-R—1659—SE. Tumba, June 2005.

Hansson, H., *Numerical simulation of penetration in normal strength concrete for a projectile with $L/D=9$* , FOI rapport under utarbetande, Tumba, 2005.

Helte, A., Almström, H., Andersson, G., Carlsson, T., Karlsson, S., Lundgren, J., Olovsson, L., Pettersson, A., Skoglund, P., Sundel, T., Örnhed, H., *Slutrapport stridsdelsteknik 2001-2004*, FOI-R—1385—SE, Tumba 2004.

Hiermaier, S., et al , *Advanced Material Models for Hypervelocity Impact Simulations*, EMI-Report No. E 43/99, Freiburg, July, 1999.

Holm, G., Forsén, R., Hägglund, B., Lindqvist, S., *VEBE – En modell för skadesimulering i tätorter. Version 2.0*, FOA-R—95-00152-2.6(2.7)—SE, Stockholm, juni 1995.

Howard, B. K., *From Sandbags to Computers: What's new in Field Fortifications and Protective Structures*, publicerad i the Engineer Professional Bulletin, April 1997.

Iremonger, M. J. , *Small Arms Protection using Concrete/Steel Sandwich Construction*, Konferensbidrag från Internationales Symposium — Interaktion Konventioneller Munition mit Schutzbauten, Mannheim, Tyskland, 9-13 March, 1987.

Iremonger M. J., 1995, *Concrete and Aggregate-Filled Sandwich Systems for Ballistic Protection*, Konferensbidrag från 7th International Symposium on Interaction of the Effects of Munitions with Structures, Mannheim 24-28 April 1995.

Iremonger, M. J., *Disruption of Small Arms Bullets Using Thin Metal Plates*, Konferensbidrag från the 11th International Symposium on Interaction of the Effects of Munitions with Structures, Mannheim, Tyskland, 5-9 May 2003.

Jane's, *Infantry Weapons*, 27th Edition 2001-2002, ISBN 0 7106 2317 8, UK, 2001.

Janzon, B., *Grundläggande stridsdelfysik*, FOA Rapport C 20261-D4, Stockholm, september 1978.

Johansson, I., *Försök med enkelspända betongplattor utsatta för luftstötstångsbelastning*, FOA C 20256-D4(A3), Stockholm, 1978.

Johansson, I., Edin, K., *Försök med luftstötstångsbelastade lättbetongväggar*, FOA C 20257-D4(A3), Stockholm, 1978.

Jonasson, T., *KONTAKTVERKAN 1. Sprängladdningars kontaktverkan på armerade betongplattor*, FOA C 20809-2.6, Stockholm, 1990.

Järnebark, I., *Lågpristitan som skyddsmaterial*, FOI-RH—0363—SE, Tumba, december 2004.

Järnebark, I., Oskarsson, M., Skoglund, P., Collin, Å., Tjernberg, A., *Low cost titanium – Year report 2004*, FOI-RH—0370—SE, Tumba, December 2004.

Kay, G., *Failure Modeling of Titanium 6Al-4V and Aluminum 2024-T3 With the Johnson-Cook Material Model*, DOT/FAA/AR-03/57, U.S. Department of Transportation, Federal Aviation Administration, Washington D.C. 20591, September 2003.

Krauthammer, T., *Explosion Damage Assessment*, Presentation at the First Structural Forensic Engineering Seminar on Structural Failure Investigations, University of Toronto, Kanada, 11-12 January 1999.

Lach, E., Uggowitzer, P., Rondot, F., *Hardening of Nitrogen Alloyed Steels by Shock Waves*, J.Phys. IV France 7, 1997.

Lampert, S., Jeanquartier, R., *Ballistic Resistance of Layered Steel/Aramid Armor at Oblique Impact*, Konferensbidrag från the 20th International Symposium on Ballistics, Orlando, FL, 23-27 September 2002.

Larsson, F., Svensson, L., *Polymerbaserade hybridkompositer i lastbärande lätta skydd*, FOA-R--97-00524-310--SE, Stockholm, juni 1997.

Leppänen, J., *Concrete Structures Subjected to Fragment Impact – Dynamic Behaviour and Material Modelling*, Ph.D. Thesis, Publication 04:4, Chalmers University of Technology, Göteborg, Sweden, 2004.

Lesuer, D.R., *Experimental Investigation of Material Models for Ti-6Al-4V Titanium and 2024-T3 Aluminum*, DOT/FAA/AR-00/25, U.S. Department of Transportation, Federal Aviation Administration, Washington D.C. 20591, September 2000.

Lichtenberger, A., Lach, E., Rondot, F., *Dynamical Behaviour of Very High Strength Nitrogen Alloyed Steels*, Konferensbidrag från the 5th International Conference on Mechanical behaviour of Materials under Dynamic Loading (DYMAT 97), Toledo, Spanien, 22-26 September 1997.

Lidén, E., Holmberg, L., Mellgard, I., Westerling, L., *Stridsdelar, skydd och deras växelverkan*, FOA-R--94-00035-2.3--SE, juni 1994.

Lidén, E., Ottosson, J., Lundberg, P., Johansson, B., *Demonstration av skyddsprinciper mot typprojektiler i kaliber 7,62 mm*, FOI-RH--0046--SE, Tumba, september 2001.

Lidén, E., Ottosson, J., *Lätta skydd mot splitter och finkalibriga projektiler*, FOI-RH--0185--SE, Tumba, december 2002.

Lidén, E., FOI Vapen och skydd, muntlig kommunikation, 2005.

Liljegren, T., *Skydd – erfarenheter från Bosnien*, Konferensbidrag till Stenungsundskonferensen: Forskning och teknologi för internationella insatser, Stenungsund, 28-30 maj 1996.

Lindqvist, S., Gustavsson, T., *Kombinerad verkan av stötvåg och splitter. Skador på olika väggtyper vid detonation av spränggranater och minbomber. Experiment i fullskala*, FOA-R--96-00356-2.6--SE, Stockholm, 1996.

Lundberg, P., Renström, R., Westerling, L., *Penetration i berg*, FOA-R--00529-310--SE, Tumba, februari 1997.

Lundberg, P., Renström, R., Westerling, L., *Penetration i berg och höghållfast betong*, FOA-R--99-01049-310--SE, Tumba, februari 1999.

Lundberg, P., *Interface Defeat and Penetration: Interaction between Metallic Projectiles and Ceramic Targets*, Licentiate Thesis, Uppsala University, Uppsala, 2001.

Lundberg, P., *Interface Defeat and Penetration: Two Modes of Interaction between Metallic Projectiles and Ceramic Targets*, Ph.D. Thesis, Uppsala University, Uppsala, 2004.

Lundberg, P., Lidén, E., Magnusson, P., *Mechanical and Ballistic Testing of Titaniumdiboride-Titanium Composites; A Possible Component in Gradient Material Armour*, Konferensbidrag från the 21st International Symposium on Ballistics, Adelaide, Australien, 19-23 April, 2004.

Magnusson, J., *Fiberarmerade balkar i höghållfast betong utsatta för transient last*, FOA-R--98-00808-311--SE, Stockholm, juni 1998.

Magnusson, J., Ågårdh, L., *Armerade betongplattor utsatta för tryckstöt i stötvågstub – Försöksomgång 1998*, FOA-R--99-01000-311--SE, Tumba, januari 1999.

Magnusson, J., Hallgren, M., *High Performance Concrete Beams Subjected to Shock Waves from Air Blast*, FOA-R--00-01586--SE, Tumba, December 2000.

Magnusson, J., Unosson, M., Carlberg, A., *High Performance Concrete "HPC" – Field Experiments and Production*, FOI-R--0256--SE, Tumba, November 2001.

Magnusson, J., *Perforation Tests on Oblique Concrete Targets*, FOI-RH--0131--SE, Tumba, September 2002.

Magnusson, J., Hallgren, M., *High Performance Concrete Beams Subjected to Shock Waves from Air Blast, Part 2*, FOI-R--1116--SE, Tumba, December 2003.

Magnusson, J., Hansson, H., *Lägesrapport: Simuleringar av explosionsbelastade konstruktionselement*, FOI Memo 1184, Tumba, december 2004.

Magnusson, P., FOI, Vapen och skydd, muntlig kommunikation, mars 2005.

Miracle, D.B., *Amorphous Al Alloys: An AF Perspective*, Presentation vid Pre-Proposal Workshop, Arlington, Virginia, USA, 6 June, 2000.

Moren, L., *Samband mellan laddning, hål och splitterhastighet vid kontaktdetonation av sprängämne mot armerade betongplattor*, FOA-R--96-00240-7(6,2.6)--SE, Stockholm, 1996.

NATO Standardization Agreement, *Protection Levels for Occupants of Logistic and Light Armoured Vehicles*, STANAG 4569 (Edition 1), May 2004.

NATO Standardization Agreement, *Field Fortifications and Deployable Protective Structures*, STUDY 2280 (Draft Edition 2), under utarbetande 2005.

Negri, Y., MacKenzie, J., Eytan, R., Konferensbidrag från 8th International Symposium on Interaction of the Effects of Munitions with Structures, McLean, Virginia, USA, 21-25 April 1997.

Niklasson, G., *Utveckling av lätta snabbyggda splitterskydd – Lägesrapport*, FOA 245 Internrapport, Stockholm, juni 1994.

Nilsson, M., *Constitutive Model for Armox 500T and Armox 600T at Low and Medium Strain Rates*, FOI-R--1068--SE, ISSN 1650-1942, Tumba, December 2003.

Nilsson, M., *FOI Memo: Rapportering av projektet "Lätta befästningar" 2003*, FOI Memo 03-H478, Tumba, april 2003.

Nilsson, M., *A Piece-Wise Linear Constitutive Model for Armox 500T and Armox 600T*, FOI-R--1251--SE, ISSN 1650-1942, Tumba, Rapport under utgivning, 2005.

Nilsson, M., FOI, Vapen och skydd, muntlig kommunikation, april 2005.

Nordström, M., *SPLITTERBELASTNING AV BETONGPLATTOR III. Energiupptagande förmåga hos armerade betongplattor belastade med olika kombinationer av splitterhastigheter, splittertätheter och splitterstorlekar*, FOA-R--95-00094-7(6, 2.6)--SE, Stockholm, 1995.

Olsson, P.-O., *Keramer i lätta skydd – en översikt*, FOA-R--96-00337-2.4--SE, Stockholm, november 1996.

Ottosson, J., *Sneda plåtar som skydd mot finkaliberammunition med hårdmetallkärna*, FOA-RH--99-00484-310--SE, Stockholm, december 1999.

Ottosson, J., Johansson, B., *Inverkan av anslagshastighet för fragmentering av 7,62 /10 pprj vid beskjutning av sneda stålplåtar*, FOI-RH--0316--SE, juni 2004.

Petersson, J., *Microstructural investigation of penetration channels in Ti-6Al-4V*, FOA-R--99-01249-318--SE, Tumba, June 1999.

Plenge, B.T., Grosch, D.J., *Discrete Fragment Impact Tests: A Performance Comparison Between Real and Surrogate Fragments*, Konferensbidrag från 9th International Symposium on Interaction of the Effects of Munitions with Structures, Berlin, Tyskland, 3-7 May 1999.

Pontius, T., Dirlwanger, H., *Various Shelter Designs for out of Area Missions Based on ISO Containers*, Konferensbidrag från the 18th International Symposium of Military Aspects of Blast and Shock, Bad Reichenhall, Tyskland, 27 September – 1 October 2004.

Quinn, L.T., Kennedy, L.J., Mays, G.C., *The Response of Steel/Concrete Sandwich Panels to Close-In Explosions*, Konferensbidrag från 8th International Symposium on Interaction of the Effects of Munitions with Structures, McLean, Virginia, USA, 21-25 April 1997.

Savage, S.J., et al, *Ballistic properties of Ti-6Al-4V of varying hardness against FSP*, FOA-B--98-00335-310--SE, Stockholm, juni 1998 (Reprint of the Lightweight Armour Systems Symposium, Shrivenham, U.K., 12-14 November, 1997).

Savage, S.J., et al, *Ballistic and High Strain Rate Properties of High Nitrogen Steel Compared to RHA*, FOA-B--00434-310--SE, Stockholm, mars, 1999 (Reprint of the 8th European Attack and Survivability of Armoured Fighting Vehicles Symposium, Shrivenham, U.K., 22-24 March, 1999).

Scherbatiuk, K., et al, *Blast Vulnerability of Military Field Structures and Personnel*, Konferensbidrag från the 18th International Symposium of Blast and Shock, Bad Reichenhall, Germany, 27 September – 1 October 2004.

Sjögren, Å., *Skjutförsök med splittersimulerande kulor mot laminatpaneler*, FOA Rapport D 20127-2.4, Stockholm, november 1987.

Skoglund, P., *Kvasistatisk tryckprovning av volframkarbid/koboltlegeringar*, FOA-R--00-01411-310--SE, ISSN 1104-9154, Tumba, maj 2000.

Skoglund, P., *Dynamic mechanical properties of some titanium alloys*, FOI-RH--0371--SE, Tumba, rapport under utarbetande, 2005.

Skoglund, P., *Amorfa bulkmetaller i skyddsapplikationer, en förstudie*, rapport under utarbetande 2005.

Skoglund, P., Nilsson, M., *Fracture Modeling of Armox 500*, rapport under utarbetande, 2005.

Strassburger, E., et al., *Impact on Ceramic-Metal-Composites – Ballistic Resistance and Fracture Behaviour*, Konferensbidrag från the 20th International Symposium on Ballistics, Orlando, USA, 23-27 September 2002.

Thorn, V., Cimpoeru, S.J., *A Comparison of Ti-6Al-4V and Ti-8Al-1Mo-1V Titanium Alloy Applique Armour*, Konferensbidrag från the 21st International Symposium on Ballistics, Adelaide, Australia, 19-23 April 2004.

Tjernberg, A., Skoglund, P., *Fracture modelling of a tungsten carbide alloy – a first approach*, under utarbetande 2005.

United States Marine Corps, *Student Handout – Survivability*, Marine Corps Engineering School C-14B01, May 2001.

Walmerdahl, P., *Piloted ignition of materials – an introductory experimental study on wooden materials*, FOI Memo 01-4249, Tumba, December 2001.

Walmerdahl, P., *Spontaneous and piloted ignition of materials – an experimental study on MDF-board*, FOI Memo 02-2485, Tumba, October 2002.

Wijk, G., *Approximate solutions for explosion created vibration and permanent deformation of beams and plates*, FOA-R--00-01413-310--SE, Stockholm, 2000.

Ågårdh, L., *Stålfiberarmerade betongplattor utsatta för detonationslaster i stötvågstub*, FOA-R--97-00535-311--SE, Tumba, augusti 1997.

Ågårdh, L., *Stålfiberarmerade betongplattor utsatta för detonationslaster i stötvågstub – Mätresultat*, FOA-R--97-00536-311--SE, Tumba, augusti 1997.

Ågårdh, L., Laine, L., Hansson, H., Bryntse, A., *Datoranalys för igensättningsselement, IGK för RC90, belastad med luftstötvåg och splitter*, FOA-R--98-00854-311--SE, Tumba, september 1998.

Ågårdh, L., Hansson, H., *Perforering av stålfiberarmerade betongplattor med stålfragment i hastighetsområdet 1400 – 1600 m/s. Experiment och simuleringar*, FOA-R--99-01143-311--SE, Tumba, april 1999.

Åhlin, A., *Biomaterial i lätta skydd*, FOA-R--99-01040-310--SE, Stockholm, 1999.

Överbefälhavaren, *Fortifikationshandboken del 1, Försvarets bok- och blankettförråd*, M7747-707112, 1991.

Referenser internet

- [1] http://www.army-technology.com/contractors/field/ably_shelters/, mars 2005
- [2] <http://www.defense-update.com/products/l/liba.htm>, mars 2005
- [3] <http://www.smt.sandvik.com/nanoflex>, mars 2005
- [4] <http://www.nanotek.se/>, mars 2005
- [5] <http://www.hescobastion.com/>, mars 2005