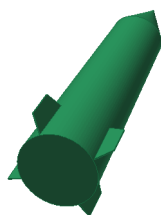
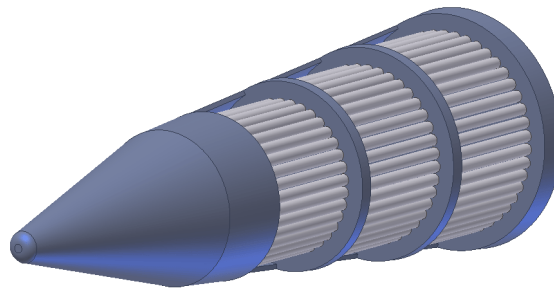


Lars Holmberg

Inledande studie av möjligheterna att bekämpa stridsdelar till ballistiska robotar



TOTALFÖRSVARETS FORSKNINGSINSTITUT

Vapen och skydd
147 25 Tumba

FOI-R--0729--SE

December 2002

ISSN 1650-1942

Användarrapport

Lars Holmberg

Inledande studie av möjligheterna att bekämpa stridsdelar till ballistiska robotar

Utgivare Totalförsvarets Forskningsinstitut - FOI Vapen och skydd 147 25 Tumba	Rapportnummer, ISRN FOI-R--0729--SE	Klassificering Användarrapport
	Forskningsområde 5. Bekämpning	
	Månad, år December 2002	Projektnummer E 2008
	Verksamhetsgren 5. Uppdragsfinansierad verksamhet	
	Delområde 51 VVS med styrda vapen	
Författare/redaktör Lars Holmberg	Projektledare Lars Holmberg	
	Godkänd av	
	Uppdragsgivare/kundbeteckning FM	
	Tekniskt och/eller vetenskapligt ansvarig	
Rapportens titel Inledande studie av möjligheterna att bekämpa stridsdelar till ballistiska robotar		
Sammanfattning (högst 200 ord) <p>Hotet från ballistiska robotar ökar och ett särskilt allvarligt hot är ballistiska robotar försedda med BC-stridsdelar. I denna rapport redogörs kortfattat för öppna data för hotmissiler och stridsdelar till dessa samt försvarssystem mot dessa hot. Möjligheterna att slutballistiskt bekämpa stridsdelar till ballistiska robotar diskuteras. Detta gäller särskilt hotstridsdelar av BC-typ. Det börjar nu komma fram luftvärnssystem som har möjlighet att bekämpa ballistiska robotar i sen banfas eller i återinträdesfasen genom direktträff eller nära träff i kombination med avancerade KE-stridsdelar. Utformning och prestandakrav på sådana stridsdelar diskuteras. En genomgång görs av de kunskapsluckor som finns på slutballistikområdet när det gäller KE-stridsdelar mot dessa hot. De resurser som finns på FOI för att kunna studera dessa förlopp redovisas och tänkbara samarbetspartners diskuteras.</p>		
Nyckelord ballistisk robot, stridsdel, slutballistik, NBC-stridsdel, KE-stridsdel		
Övriga bibliografiska uppgifter	Språk Svenska	
ISSN 1650-1942	Antal sidor: 27 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--0729--SE	Report type User Report
	Research area code 5. Combat	
	Month year December 2002	Project no. E 2008
	Customers code 5. Contract Research	
	Sub area code 51 Weapons and Protection	
Author/s (editor/s) Lars Holmberg	Project manager Lars Holmberg	
	Approved by	
	Sponsoring agency Swedish Armed Forces	
	Scientifically and technically responsible	
Report title (In translation) Preliminary study of how to defeat ballistic missile warheads		
Abstract (not more than 200 words) <p>The threat of attacks from ballistic missiles is steadily increasing and a particularly ominous threat is ballistic missiles with BC-warheads. In this report, a short review is made of unclassified data on possible threat missiles and different types of warheads that can be used on these missiles. Possible defence systems against these threats are also discussed, especially terminal defence anti-missile weapons defeating the threat warheads by direct hit or near-miss in combination with advanced KE-warheads. The design of and the demands that should be put on such a warhead are discussed from a principal point of view. A survey of terminal ballistic studies that should be carried out in this context is made as well as a survey of the resources available at FOI to carry out such studies.</p>		
Keywords ballistic missile, warhead, terminal ballistics, NBC-warhead, KE-warhead		
Further bibliographic information	Language Swedish	
ISSN 1650-1942	Pages 27 p.	
	Price acc. to pricelist	

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1. Bakgrund

2. Inriktning och syfte med rapporten

3. Ballistiska robotar

4. Vapen mot ballistiska robotar

5. Hotstridsdelar

5.1 Konventionella stridsdelar

5.2 Kärnladdningar

5.3 BC-stridsdelar

6. Bekämpning av hotstridsdelar

6.1 Träffavstånd

6.2 Träffhastigheter

6.3 Lämpliga verkansformer

7. KE-verkan mot BC-multipelstridsdelar

7.1 Hotstridsdelens uppbyggnad

7.2 Krav på verkansdelen

7.3 Direktträff av ABM eller kill-vehicle

7.4 Nära träff och förstärkning av direktträff

7.5 Uppbyggnad av KE-verkansdelen

7.6 Utformning och dimensionering av de enskilda KE-penetratorerna

7.7 Restprodukter

8. Kunskapsluckor/resurser

8.1 Kunskapsluckor

8.2 Resurser

8.3 Internationellt samarbete

9. Sammanfattning

Referenser

Akronymlista

Appendix 1. Räckvidder för ballistiska missiler tillverkade utanför USA och Europa

Appendix 2. Olika ABM-system för banfas- och slutfasbekämpning av ballistiska robotar. Data för ingående missiler.

1. Bakgrund

Bland alla de nya hot som det framtida försvaret måste kunna hantera tillhör ballistiska robotar (BM - Ballistic Missiles) och kryssningsrobotar (CM - Cruise Missiles) de som är svårast att bekämpa ur vapenteknisk synvinkel. Hot från BM och CM kan bli aktuella såväl vid mer traditionella mellanstatliga väpnade konflikter som vid asymmetrisk krigföring med andra, i vissa fall sammanfallande, stater. Även i samband med organiserad kriminalitet och terrorism kan sådana hot bli aktuella. En närmare genomgång av tänkbara framtida hotscenarier görs i ref [1,2]. Hot från BM och CM kan dessutom förväntas komma att öka i framtiden då såväl tillgången till tekniken för framställning av denna typ av vapen som möjligheterna att komma över (köpa, på annat sätt tillskansa sig) operativa vapen till rimliga kostnader ökar för allt fler aktörer, såväl organisationer som stater. Det som gör dessa vapenhot särskilt allvarliga är möjligheten att förse dem med NBC-stridsdelar (Nuclear/Biological/Chemical), dvs de är ofta massförstörelsevapen (WMD – Weapons of Mass Destruction).

Hotet från CM har inte fått samma genomslag i debatten som hotet från BM, delvis beroende på att man tills nu betraktat CM som ett "eget" vapen snarare än som ett hot. Detta kommer att ändras framöver och redan nu är hot från enklare fientliga CM en realitet, se t ex ref [3]. Ur luftförsvarsynvinkel är CM för närvarande att jämföra med små, lågtflygande flygplan med måttlig hastighet (underljud) och låg signatur, som i princip kan bekämpas på samma sätt som andra flyghot. BM har helt andra hastigheter och banprofiler vilket gör att andra typer av försvarssystem krävs. Detta gäller inte minst verkansdelen, och denna studie koncentreras på hur (stridsdelarna till) BM skall bekämpas slutballistiskt.

USA är ledande och driver forskningen på området försvar mot BM. Under 80-talet satsades stora pengar på att försöka ta fram ett heltäckande försvar mot hotet från Sovjets kärnvapenbärande interkontinentala missiler (SDI - Strategic Defence Initiative - "Stjärnornas krig", 1984-1991). Detta lades ner 1991 och omdirigerades efter Sovjets sönderfall till att ta fram tekniken för ett försvar mot begränsade anfall mot USA (GPALS – Global Protection Against Limited Strikes, 1991-1993) för att 1993 koncentreras på att ta fram försvar för skydd av amerikanska baser och trupper utomlands (TMD – Theater Missile Defence). Avsikten var att TMD skulle klara hot från enklare taktiska ballistiska missiler (TBM) från "skurkstater" och terrorgrupper. 1996 utvidgades detta till att även innefatta försvar av det amerikanska hemlandet mot enklare, även interkontinentala, ballistiska robotar (NMD – National Missile Defence). Nu drivs såväl TMD- som NMD-utvecklingen vidare för att klara allt svårare hot, sedan 2001 integrerat under en ny myndighet: MDA – Missile Defence Agency. MDA ansvarar för att ta fram ett sammanhållet program för att utveckla ett försvar mot alla typer av BM: BMDS – Ballistic Missile Defence System. Budgeten för år 2002 var för FoU (RDT&E) 7,7 miljarder USD. Redan nu har man en begränsad kapacitet mot BM och CM. En utförlig genomgång av ovanstående kortfattade historik görs i ref [4].

Det förs en livlig, och delvis ganska teknisk, debatt i USA om hur hotet från BM ser ut idag och hur det kan tänkas komma att utvecklas i framtiden, se t ex ref [5-7].

Även i Europa inklusive Sverige och i Israel har BM börjat betraktas som allvarliga hot. England, Tyskland, Frankrike, Holland, Spanien, Italien och Israel utvecklar/anskaffar nu egna/amerikanska försvarssystem mot dessa hot (ref [8,11]).

I Sverige började studier av försvar mot BM och CM på allvar under 1990-talet. FOI har gett ut tre översiktliga rapporter: "Skydd mot ballistiska robotar" från 1995 (ref [9]), "Skydd mot kryssningsrobotar" från 1998 (ref [10]) och "Luftvärnsskydd mot kryssningsrobotar och ballistiska robotar med begränsad räckvidd (TSA-LV)" från 1998 (ref [11]). Frågan har ytterligare aktualiserats i den nyss avslutade Luftförsvarsutredningen och i den nu pågående utredningen om luftförsvarets framtida utformning (Fö2002/1921/MIL som skall slutrapporteras 2003-03-01).

Vapensystem som skall kunna klara av att bekämpa BM och CM blir tekniskt mycket avancerade. Målen är svåra att upptäcka, träffa och slå ut. Bekämpningssystemet måste kunna klara (alternativt kunna uppgraderas till att klara) allt mer avancerade hot, t ex mindre signaturer (radar, IR), mer avancerade motåtgärder (undanmanövrer, skenmål etc.), högre hastigheter, flera samtida hot (mättnadsproblematiken) och fler varianter av allt tuffare stridsdelar. Detta kräver allt mindre träffspridningar och allt bättre stridsdelar i bekämpningssystemet.

I denna rapport redovisas kunskapsläget vad gäller möjligheterna att slå ut stridsdelar till BM och CM. Studien koncentreras på hur verkansdelen i bekämpningssystemet skall utformas och hur den fysiskt interagerar med olika hotstridsdelstyper, särskilt BC-stridsdelar.

2. Inriktning och syfte med rapporten

Luftförsvaret måste på sikt kunna bekämpa såväl BM som CM. System som klarar detta blir komplicerade och dyra och knappast möjliga (eller åtminstone ekonomiskt rimliga) att utveckla och anskaffa inom landet. Detta gäller särskilt för BM-hotet då våra möjligheter att bekämpa roboten under uppskjutningsfasen är små (stora avstånd) och hastigheten när den närmar sig målet är mycket hög. Att köpa in ett helt eget försvarssystem mot BM är knappast heller försvarbart vare sig ekonomiskt eller tekniskt (på grund av den korta förvarning detta skulle ge för ett enbart i Sverige baserat system).

Vi kommer alltså i detta fall att vara hänvisade till samarbete med och till stora delar köp från andra länder. Beroende på den ambitionsnivå vi väljer kan kravet på egen kunskap om hur verkansdelarna i ett sådant bekämpningssystem skall utformas och hur de fysiskt interagerar med olika hotstridsdelstyper sättas olika högt:

Ambitionsnivåer

- "**Låg**" Vi skall vara en kompetent kund som kan välja/påverka stridsdelsutformningen så att den uppfyller våra specifika krav på bästa sätt.
- "**Mellan**" Vi skall vara en intressant samarbetspartner i ett (europeiskt?) samarbetsprojekt.
- "**Hög**" Vi skall ha en ledande roll inom åtminstone delar av detta område.

Ju högre ambitionsnivå vi väljer, desto större resurser måste vi naturligtvis satsa på detta. Vi kan dock knappast lägga oss lägre än "kompetent kund" och redan detta kräver en god överblick över området och gedigna egna kunskaper eftersom sekretessen på stridsdels- och hotsidan kommer att vara hög även om man är kund. Hotbilden kan snabbt ändras och särskilt är möjligheterna att snabbt och relativt enkelt kunna byta stridsdelstyp och stridsdelsutformning hos hotet stora. Detta ställer höga krav på oss när det gäller att kunna anpassa och modifiera vårt försvarssystem efter vår aktuella hotbild.

I FOA-studien 1998 om luftvärnsskydd mot BM och CM (ref [11]) konstaterades att: "Kunskapen om kraven, som måste ställas på zornörsfunktionen, stridsdelen och luftvärnsrobotens styrning för att uppnå erforderlig effekt i snabba mål är idag låg i Sverige." Man föreslog därför bl a att forskningsuppdrag skulle läggas på FOA avseende "Verkansdelar mot ballistiska robotars stridsdelar" och "Restverkan av bekämpad ballistisk robot och kryssningsrobot".

Syftet med denna rapport är att kortfattat sammanställa kunskapsläget vad gäller möjligheterna att slå ut olika typer av stridsdelar till BM och CM. Studien koncentreras på hur verkansdelen skall utformas och hur den fysiskt interagerar med olika hotstridsdelstyper, särskilt BC-stridsdelar. Kunskapsluckor och de resurser vi har inom landet för att åtgärda detta kartläggs. Tänkbara utländska samarbetspartners diskuteras.

Rapporten fokuserar på hur stridsdelar till BM skall slås ut. Anledningen till detta är att bekämpning av BM efter att dessa skjutits iväg endast kan göras genom att slå ut stridsdelen medan CM även kan bekämpas genom att slå ut själva farkosten. Detta är slutballistiskt ofta enklare än att slå ut stridsdelen. Det som skrivs om utslagning av stridsdelar till BM är i stora drag (kollisionshastigheter, bekämpningshöjder och ytterhöljets tjocklek skiljer dock) tillämpligt även på stridsdelar till CM.

Vidare diskuteras vad som händer med resterna av bekämpade NBC-vapenbärande BM och CM.

Dessutom ges en kortfattad redogörelse över historik och dagsläge på hot- och mot-medelssidan. Denna bygger huvudsakligen på uppgifter från MDA's hemsida (ref [12]).

3. Ballistiska robotar

Med en ballistisk robot (BM) menas en robot som accelereras till sin slutliga hastighet under en relativt kort startfas och därefter går i en hög och snabb kastbana mot målet. Kan man upptäcka och mäta in roboten kan man också räkna ut var den kommer att träffa. Detta skiljer sig helt från kryssningsrobotar som är små obemannade flygplan som går i förprogrammerade banor med relativt BM låg (nu underljuds fart, i framtiden kommer även överljudsvarianter) hastighet och på låg höjd och där man inte kan förutse CM framtida bana.

Mer avancerade BM och CM kan dessutom vara försedda med målsökare men dessa påverkar inte banan i stort.

BM delas ofta in i olika klasser beroende på den räckvidd de har. Den indelning som vanligen används (bl a av MDA) är enligt nedan:

Kategori		Maximal räckvidd
Short-range ballistic missiles	(SRBM)	< 1000 km
Medium-range ballistic missiles	(MRBM)	1000-3000 km
Intermediate-range ballistic missiles	(IRBM)	3000-5500 km
Intercontinental ballistic missiles	(ICBM)	> 5500 km

De BM som vi studerar här är de första tre kategorierna, dvs de med räckvidder upp till 5500 km (hotet från ICBM mot Sverige bedöms som lågt). Att INF-avtalet från 1987 förbjuder användningen av BM med räckvidder från 500 till 5500 km har inte hindrat att sådana vapen finns, att antalet ökar dramatiskt och att det ständigt utvecklas nya.

BM skjuts normalt från (stationära eller rörliga) baser på marken men mer avancerade robotar kan även skjutas från fartyg. I närtid är det främst Ryssland som har tillgång till BM men även länder i Nordafrika och Mellanöstern är/kan bli aktuella. Även kriminella organisationer eller terrororganisationer skulle kunna få tillgång till dessa vapentyper.

I appendix 1 redovisas exempel på data för ballistiska robotar i SRBM-IRBM-klassen. Uppgifterna är hämtade på MDA's hemsida (ref [12]) och gäller för BM som tillverkas i länder utanför USA och Europa.

Nedslagshastigheter, bantoppshöjder och bantider för olika maximala räckvidder framgår av tabellen nedan (ref [11]). Där ges även exempel på robotsystem som har dessa maximala räckvidder.

Maximal räckvidd / Exempel på robotsystem	Nedslagshastighet (km/s)	Bantopp (km)	Bantid (min)
100 km / SS-21 (Ryssland)	1	ca 25	2
300 km/ SCUD B (Ryssland)	1,5	ca 90	4
600 km / Al-Hussein (Irak)	2,2	ca 160	6
3000 km / CSS-2 (Kina)	5	ca 400	14

För robotar med räckvidder över ca 300 km är nedslagshastigheterna i tabellen hastigheten innan inbromsningen vid inträdet i den tätare delen av atmosfären påbörjas, dvs. på ca 30 km höjd. Hur denna inbromsning går till är starkt beroende av hur stridsdelen är utformad, inte minst av om stridsdelen separeras från bärraketens före inträdet i atmosfären. Som framgår av tabellen är det höga nedslagshastigheter det handlar om för BM vilket ställer speciella krav på utformningen av bekämpnings-systemets stridsdel.

Det som från slutballistisk synpunkt skiljer bekämpning av stridsdelar till BM från bekämpning av "vanliga" mål typ stridsfordon, fartyg och flygplan är framför allt:

- mycket höga hastigheter

- mycket olika och på förhand okända måltyp (konventionella, NBC) och måluppbyggnader (enkelstridsdelar, multipelstridsdelar, utspridningsanordningar). Ofta robusta konstruktioner ("hårda mål")
- problem med att ta hand om restprodukter efter bekämpningen (NBC-stridsdelar)

4. Vapen mot ballistiska robotar

Vapen för bekämpning av BM (ABM-vapen - Anti-Ballistic Missiles) med längre räckvidder (typiskt SCUD-räckvidder och större) brukar delas in i tre huvudkategorier efter när i banan vapnet verkar:

Drivfasen (Engelsk nomenklatur: Boost Defence Segment - BDS)

Banfasen (Engelsk nomenklatur: Midcourse Defence Segment - MDS)

Återinträdesfasen, slutfasen (Engelsk nomenklatur: Terminal Defence Segment - TDS). Räknas vanligen från det att BM går in den täta jordatmosfären (30 km höjd).

I det amerikanska försvarssystemet mot ballistiska robotar, BMDS, ingår komponenter ur alla de tre ovanstående kategorierna.

Det är givetvis önskvärdt att bekämpa en BM så tidigt som möjligt, helst under driv- eller tidig banfas (särskilt om de har NBC-stridsdelar), men detta kräver avancerade och dyra system som dessutom kan stationeras rimligt nära uppskjutningsplatsen (rymd- eller flygbaserade strålvapen alt. extremt snabba antimissiler). Sådana vapensystem kan knappast bli aktuella för oss på nationell nivå. De kategorier av vapen som kan bli aktuella i Sverige är sådana som slår ut hotmissilen "mekaniskt" under senare delen av banfasen eller slutfasen, huvudsakligen avancerade luftvärnsrobotar.

Utmärkande för utvecklingen av dessa vapen, inte minst i USA, är att det ofta handlar om en kontinuerlig uppgradering av prestanda för befintliga luftvärnssystem. Som exempel kan tas den amerikanska "STANDARD"-missilen som började produceras 1967 som en lv-robot mot flygplansmål (SM-1) och som nu finns i versioner för bekämpning av BM både i slutfasen (SM-2 Block IVA) och i banfasen (SM-3). Skillnaderna mellan versionerna, som fortfarande ser "ungefär lika dana ut" för att kunna användas i samma vapenbärare, är antalet raketsteg (räckvidd), systemen för målinmätning och styrning samt zonströms- och stridsdelfunktionen. (Denna robot finns nu tom i en version för markmålsbekämpning där man konverterat en äldre lv-version genom att bl a förse den med en annan stridsdel.)

Nedanstående indelning av ABM-system för banfas/slutfasbekämpning följer MDA's indelning. De amerikanska system som nu studeras för *banfasbekämpning* av lång-räckviddiga BM (MRBM-ICBM) är ett fartygsbaserat (SMD – Sea-based Midcourse Defence) och ett landbaserat (GMD – Ground-based Midcourse Defence) system. SMD använder fartyg av Aegis-klassen och SM-3-missiler medan bäraraketerna under utprovningen av GMD är modifierade Minuteman II (ref [13]), där de två övre raketstegen används (ref [14]). Ett alternativ som kan bli aktuellt för det slutliga systemet är Minuteman III ICBM (ref [14]). Dessa system har vid träff hastigheter på över 3 km/s och träffhastigheterna kan bli mycket höga (träffhastigheter på över 13 km/s finns redovisade för system av denna typ, se ref [15]). Det kan nämnas att såväl Spanien som Japan avser att skaffa fartygsbaserade system av denna typ (ref [16]).

ABM-vapen för *slutfasbekämpning* brukar i USA delas in i ”höghöjds”- resp ”låghöjds”-vapen (upper-tier och lower-tier weapons) beroende på bekämpningshöjd och räckvidd. Dessa vapen är huvudsakligen avsedda för bekämpning av kortdistans- och medeldistansrobotar (SRBM - MRBM). Höghöjdssystemet THAAD (Theatre High Altitude Area Defence) kan slå ut hotmissiler både utanför och inom jord-atmosfären. Till höghöjdssystemen räknas också det ihop med Israel framtagna Arrow-systemet. Det mest utvecklade låghöjdssystemet är PAC-3-systemet (Patriot Advanced Capability-3) som bygger på tidigare Patriot lv-system men försetts med bl a en ny mindre missil (4 gånger fler nya i samma utskjutningsanordning) med väsentligt bättre prestanda (hastighet och räckvidd) än den gamla (direktträff i stället för zonrörsförsedd splitterstridsdel). Till denna vapenkategori hör också MEADS-systemet som utvecklas ihop med Tyskland och Italien (samma missil som i PAC-3). Även rent europeiska vapensystem är under utveckling (t ex EUROSAM med robotarna Aster 15 och 30). Träffhastigheterna är lägre för TDS-systemen än för MDS-systemen, från drygt 2 km/s och uppåt.

Eftersom vi bedömer att det allvarligaste hotet för oss utgörs av BM med BC-stridsdelar är det önskvärt att träffa (stridsdelen till) hotmissilen på så hög höjd att resterna efter den sönderslagna hotstridsdelen brinner upp och förintas vid återinträdet i atmosfären. Detta ställer krav på bekämpningshöjder på helst över 30 km, dvs ett TDS-system för höghöjdsbekämpning borde på sikt vara det intressanta vid en eventuell svensk anskaffning.

Öppna uppgifter på dimensioner, vikter och, där så finns, prestanda för några av ovan nämnda missiler finns redovisade i appendix 2.

Det bör påpekas att ABM-området är mycket dynamiskt. Området är starkt sekretessbelagt, varför det är svårt att få detaljerade uppgifter om systemens prestanda. Dessutom är värdet av detta tveksamt då man hela tiden inför tekniska förbättringar och modifieringar av systemen och utvecklingen dessutom i hög grad är beroende av inträffade händelser och ständigt varierande bedömningar av kommande hot samt politiska beslut till följd av detta. Ovanstående är därför avsett som lite ”allmänbildning” vad gäller dagsläget, särskilt med inriktning på vad som är relevant ur slutballistisk synvinkel.

5. Hotstridsdelar

BM kan förses (alt ombeväpnas) med ett flertal olika stridsdelstyper beroende på teknisk nivå hos användaren och den verkan eller effekt som man vill åstadkomma. Då ballistiska robotar är (relativt) dyra vapensystem förses de vanligen med stridsdelar som åstadkommer stor förödelse i målet. Ofta används NBC-stridsdelar men även konventionella stridsdelar förekommer.

Stridsdelarna kan, förutom efter den verkansform de bygger på, även delas in i huvudgrupperna enkelstridsdelar resp multipelstridsdelar. Enkelstridsdelar är avsedda mot punktmål (även om målet kan vara stort till ytan, jfr kärnladdning mot befolkningscentra) medan multipelstridsdelar (en stridsdel där den totala tillgängliga vikten och volymen delats upp i ett antal substridsdelar och tillhörande utspridnings-

anordning) är till för att bekämpa ytmål (som i vissa fall kan vara ett antal punktmål utspridda över en större yta, jfr RSV-substridsdelar mot ett stridsvagnsförband).

Geometrin på stridsdelen (före utspridning av ev substridsdelar) är normalt konisk eller ogivformad och bottendiametern varierar från ca 1 m för korträkviddiga robotar (SRBM) till flera meter för interkontinentala robotar (ICBM). De stridsdelsvikter som är aktuella för SRBM är normalt av storleksordningen 0,5 ton (t ex ryska Iskander, ref [17]) till 1 ton (t ex ryska Scud, ref [18]). ICBM kan ha väsentligt högre stridsdelsvikter (t ex 4 ton för ryska SS 24 som innehåller 10 stycken individuellt styrbara kärnladdningar, ref [19]). För att klara inträdet i atmosfären är höljet till stridsdelen relativt tjockt och försett med en värmesköld.

Nedan diskuteras översiktligt hur hotstridsdelar med olika verkansformer kan vara uppbyggda.

5.1 Konventionella stridsdelar

Den allra enklaste stridsdelstypen är en minstridsdel dvs en sprängladdning med ett stålhlje. Sådana användes i de irakiska Scudmissiler som sattes in mot Israel och Saudiarabien under Gulfkriget som ett terrorvapen mot civilbefolkningen. Konventionella enkelstridsdelar kan också användas mot hårda punktmål om den BM har hög träffprecision. Ofta handlar det då om penetrerande stridsdelar mot fortifikatoriska anläggningar. Stridsdelar av denna typ, särskilt de som inte innehåller sprängämne, är mycket robusta och det är eventuella målsökare och styranordningar snarare än själva verkansdelen som kan bekämpas.

Konventionella multipelstridsdelar kan bestå av ett antal inerta eller sprängämnesförsedda substridsdelar med eller utan målsökare. Typiska mål är här punktmål utspridda över en större yta.

Med vikter på 0,5 till 1 ton och den höga nedslagshastighet som BM har kan stor penetrationsförmåga erhållas med enkelstridsdelar mot hårda mål. Den höga hastigheten ger även penetrerande substridsdelar god genomslagsförmåga (pilprojektiler mot stridsfordonskoncentrationer, sprängämnesförsedda stridsdelar mot vägbanor, flygbaser etc). Multipelstridsdelar med splitter- eller RSV-substridsdelar ger samma verkan som enstaka större flygbomber, dvs väsentligt mindre verkansområden än vad ett enstaka flygplan kan åstadkomma.

5.2 Kärnladdningar

De kärnladdningar som kan bli aktuella att bekämpa är i första hand fissionsladdningar dvs sådana där energin frigörs genom att klyvbara tunga atomkärnor fås att sönderfalla till lättare. De ämnen, fissila isotoper, som används är U-235 eller Pu-239. För att en "kärnexplosion" skall erhållas måste en kritisk massa av det klyvbara ämnet åstadkommas. Detta görs antingen genom att två underkritiska massor skjuts ihop (kanonprincipen) eller genom att en underkritisk massa görs kritisk genom att den komprimeras mha sprängämne (implosionsprincipen). Den kritiska massan beror på anrikningsgrad, geometri, kompressionsgrad (densitet) och hur väl de neutroner som frigörs innesluts (skärmningen).

Kritiska massor för sfärisk geometri och klyvbart material av vapenkvalitet framgår av nedanstående tabell (uppgifter ur ref [20]):

Kritisk massa (kg)	U-235	Pu-239
Ren laddning	56	11
Tjock skärm	15	5

Enligt denna källa finns det "vetenskapsmän" som anser att det tom räcker med 1 kg plutonium.

Även kompletta laddningar kan göras kompakta och med måttliga vikter. Den amerikanska implosionsladdningen W54 (sköts iväg mha ett 120 mm raketgevär – "Davy Crockett") fanns i en version som vägde endast 23 kg, var ca 0,5 m lång och hade en största diameter på ca 0,25 m (ref [21]). Det finns även kärnladdningar som skjuts ut med artilleripjäser med eldrörskalibrar från 155 mm och uppåt.

Laddningar som bygger på kanonprincipen och U-235 är enklast att konstruera medan implosionsladdningar kräver mindre mängd klyvbart material och ger bättre verk-ningsgrad.

En kärnladdning kan göras kompakt och robust (det finns N-stridsdelar som tål att skjutas iväg med artilleripjäser och som tål att penetrera ner i marken och in i betongbunkrar innan de initieras) men för att fungera på avsett sätt måste det vara hög precision på initieringsanordningen när den skall utlösas. Detta gäller särskilt för implosionsladdningar. De små dimensioner som en mer optimerad kärnladdning kan ha gör dock att det borde vara möjligt att skydda laddningen med olika typer av pansarskydd även med de viktsrestriktioner som gäller i en BM-tillämpning. Detta gäller särskilt om man bara hårdgör den del av hotstridsdelen som har störst sannolikhet att träffas, dvs framdelen av noskonen. Ofta är kärnladdningar till BM dessutom redan hårdgjorda för att klara strålning från andra kärnladdningar. N-stridsdelar kan alltså vara tuffa mål ur slutballistisk synvinkel. Ovanstående resonemang gäller även för fusionsladdningar (termonukleära laddningar – vätebomber) där man använder en fissionsladdning som "tändhatt" för att få igång fusionsprocessen.

Kärnvapen är normalt kraftfulla massförstörelsevapen (WMD) med mycket stora verkansytor men det kan påpekas att man nu diskuterar införande av "svaga" (low-yield) kärnvapen för användning mot hårda punktmål som nedgrävda bunkrar, se t ex ref [22]. Införs sådana där det handlar om laddningsstyrkor på under kiloton (B61-11 kan t ex ställas in att ge mellan 0,3 och 300 kiloton, "dial-a yield", se även ref [23]) mot "vanliga" kärnvapens hundratal kiloton och uppåt, kan gränsen mellan fullskaligt kärnvapenkrig och konventionellt krig suddas ut och kärnladdningar bli ett vanligt hot, inte minst som stridsdelar i BM.

5.3 BC-stridsdelar

BC-stridsdelar används för att sprida ut biologiska eller kemiska stridsmedel över större ytor. Effekten från sådana stridsdelar är givetvis i hög grad beroende av vilka ämnen (agens) som används. Per viktsenhet är B-stridsmedel (antingen vätskor i

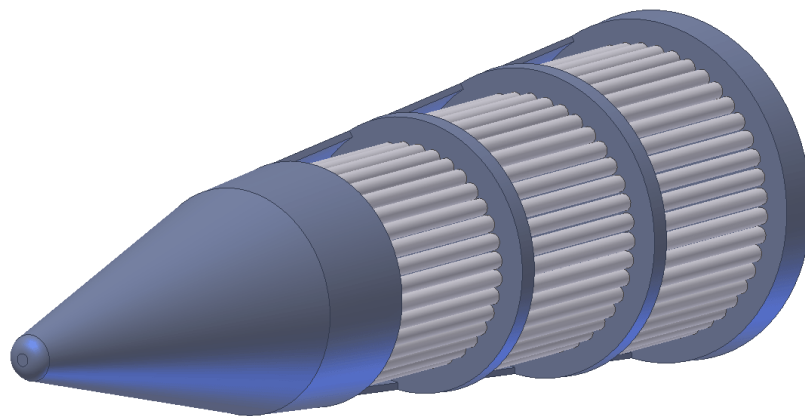
aerosolform eller, vilket är värsta hotet, torrt agens som pulvriserats till ca 5 µm stora partiklar) väsentligt effektivare än C-stridsmedel (som ett grovt riktvärde ca 1000 gånger). För att täcka en yta på 1 km² krävs vid optimal utspridning storleksordningen några hekto till några kilo B-agens medan det krävs storleksordningen 10 ton C-agens. Verkan av ett C-stridsmedel är snabb (momentan) medan B-stridsmedel verkar efter längre tid (timmar till dagar).

För att erhålla stora täckningsytor används utspridningsanordningar som bygger på huvudsakligen tre olika principer:

- utspridning med hjälp av sprängämne (energetiska material)
- sprayteknik där en vätska pressas ut genom munstycken
- utspridning av pulver med hjälp av turbulent luft

I många sammanhang kan utspridningen optimeras genom att välja ”rätt” utspridningshöjd så att mikroklimatet (vindar, turbulens etc) kan hjälpa till att sprida ut ämnet, men ofta vill man att detta sker relativt nära markytan för att försäkra sig om att stridsmedlet hamnar på avsedd plats. Känsliga agens kan inte spridas ut vid alltför höga hastigheter då den aerodynamiska upphettningen kan förstöra ämnet. Stridsdelar till BM måste därför normalt bromsas in innan utspridningen av agensen kan ske.

Dyra vapenbärare som BM har eller kommer att förses med multipelstridsdelar. Dessa är normalt utformade som ett antal cylindriska behållare runt en central utspridningsanordning, se nedanstående principfigur



Figur 5.1 Generisk BC-stridsdel

Med de stridsdelsvikter som även SRBM har (0,5-1 ton) och de stora ytor som kan täckas med även måttliga vikter BC-stridsmedel utgör dessa vapen ett allvarligt hot mot såväl militära som civila mål.

6. Bekämpning av hotstridsdelar

De vapensystem som vi kan räkna med att ha tillgång till nationellt kommer att bekämpa hotmissilerna under senare delen av banfasen eller under slutfasen, jfr kap 4.

För att säkerställa verkan i detta skede måste själva stridsdelen slås ut och denna är, som framgår av föregående kapitel, ofta en robust och tålig konstruktion.

Strukturförstörande strålvapen, som ur träffsynpunkt har stora fördelar, kommer knappast att inom överskådlig framtid kunna leverera tillräckliga energier för att kunna destruera verkansdelen. Flygbaserade system blir extremt kostsamma och för landbaserade strålvapen finns problemet med jonisering av luften vid de stora effekttätheter som krävs. Strålvapen kan därför i bästa fall bli effektiva mot eventuella sensorer och styrsystem hos stridsdelen, men detta minskar endast nedslagsprecisionen vilket inte är tillräckligt för många stridsdelstyper.

Hotstridsdelarna måste därför bekämpas genom att utsättas för tillräckligt stor mekanisk påverkan. För att kunna utforma verkanssystemet på ett optimalt sätt måste man, förutom att känna till hur hotstridsdelen är uppbyggd, känna till vilka träffavstånd och träffhastigheter som är aktuella. Detta diskuteras nedan.

Det bör också påpekas att det finns stora fördelar med att bekämpa stridsdelarna till BM så tidigt som möjligt av bl a följande skäl:

- har BM en multipelstridsdel bör denna bekämpas innan substridsdelarna hunnit spridas ut.
- för BM med höga banhastigheter ger en tidig bekämpning möjlighet att förstöra hotstridsdelens värmesköld så högt i banan att stridsdelen kan förintas under inbromsningen i atmosfären.
- har BM en NBC-stridsdel minimerar en tidig bekämpning effekterna i målområdet från stridsdelsresterna.

6.1 Träffavstånd

Träffavståndet, dvs det minsta avståndet mellan hotstridsdelen och ABM när dessa träffar/passerar varandra, var för de första generationerna ABM relativt stort. Som exempel kan tas att de Patriot-missiler som användes mot Iraks BM under Gulfkriget (PAC-IV) hade startvikten 900 kg och var försedda med en 91 kg splitterstridsdel med zonrör för att få någon sannolikhet för verkan vid de stora träffavstånd som gällde för detta system. Den modernaste varianten av Patriot har startvikten 312 kg och slår ut målet genom direktträff och ett antal ”förstärkningssplitter”. Robotens vikt vid träff är 73 kg (ref [24]). Genom förbättrad målsökar- och styrteknik kunde man således få direktträff eller nära träff vilket gjort att större konventionella splitterstridsdelar inte behövts och robotstorleken kunnat minskas avsevärt.

De exakta träffavstånd eller träffpunkter (var på hotstridsdelen roboten träffar) som uppkommer i de enskilda fallen är givetvis beroende av måltyp (stabila eller tumlande ostyrda mål, styrda mål, undanmanövrerande mål, signaturanpassning och aktiva motåtgärder från målet etc.), robotprestanda och det slumpmässiga utfall spridningarna i ovanstående parametrar ger upphov till. För ett modernt ABM-system kan man dock, som exemplifierats ovan, normalt räkna med att erhålla direktträff eller mycket nära träff (storleksordningen metern).

6.2 Träffhastigheter och träffriktningar

Hotstridsdelarna kan ha nedslagshastigheter av storleksordningen 1-5 km/s, se kap 3. Typiska ABM-hastigheter för sen banfas-/slutfasbekämpning kan ligga mellan 1,5 och 3 km/s, se appendix 2. Detta skulle vid "frontalkrock", vilket är det vanligaste fallet om ABM är grupperat vid målet som hotstridsdelen skall bekämpa, ge träffhastigheter mellan 2,5 och 8 km/s. Även om ABM-hastigheten skulle vara vinkelrätt hotstridsdelens bana blir träffhastigheten minst 2 km/s.

De träffriktningar (vinkeln mellan ABM och hotstridsdelens banor) som kan bli aktuella är normalt nära 0 grader enligt resonemanget ovan men vinklar upp mot 90 grader kan vara möjliga. Ju större träffvinkeln är, desto svårare blir det att träffa målet (vinkelfel plus hastighetsfel).

6.3 Lämpliga verkansformer

De vapensystem som kan bli aktuella för oss kommer att använda konventionella verkansformer, inte kärnladdningar som åtminstone tidigare användes av stormakterna för att säkra verkan mot BM. Med den starkt förbättrade träffsäkerhet som moderna ABM-system har, är utvecklingen även bland stormakterna mot att använda konventionella verkansformer.

De verkansformer som kan användas är:

- Kinetisk energi - KE (penetration, direktträff, splitERVERKAN)
- Sprängämnen (stötvågs- och tryckverkan)
- Brandverkan

eller kombinationer av dessa verkansformer.

De stora rörelseenergierna man "gratis" har till förfogande vid de mycket höga träffhastigheter som är aktuella här, gör det rimligt att i första hand utnyttja *KE-verkan*.

Vid direktträff slås normalt de delar av hotstridsdelen som ligger "i vägen" för ABM ut om inte denna är extremt tuff (t ex en inert djuppenetrerande KE-stridsdel) eller har hårdgjorts på ett avancerat sätt (t ex en liten, hårt bepansrad kärnladdning). De delar av hotstridsdelen som inte direktträffas av ABM kan klara sig (t ex en del sub-stridsdelar i en multipelstridsdel) varför även ABM som man räknar med skall direktträffa ibland kompletteras med splitter som skickas ut (här är man ute efter läge, inte ytterligare hastighet) runt själva ABM.

Vid nära träff, se kap 6.1, mäter målsökaren in var ABM passerar hotstridsdelen och ABM-stridsdelen skickar ut splittren så att alla skall kunna träffa hotstridsdelen. På detta sätt utnyttjas hela den tillgängliga splittermassan för att åstadkomma verkan i hotstridsdelen i stället för att som för vanliga splitterstridsdelar endast utnyttja den sektor som pekar mot målet. Hur detta kan åstadkommas tekniskt och hur dessa splitter skall utformas och dimensioneras diskuteras i kap 7.2.

Att använda sprängämnen för att med *tryck- och stötvågsverkan* slå ut hotstridsdelen är svårare än i "vanliga" vapensammanhang då träffhastigheterna är så höga. Tar vi ett direkträfffall med träffhastigheten 4 km/s är denna av samma storleksordning som spränggasernas expansionshastighet (expansionshastigheten mot vakuum är initialt ca hälften av detonationshastigheten, som ligger på ca 8 km/s för högpresterande sprängämnen, och ökar sedan snabbt). Då man vill få in sprängämnet i hotstridsdelen innan det detonerar (annars spränger man bort en stor del av den rörelseenergi man har till förfogande) blir tiden sprängämnet är i hotstridsdelen kort och spränggaserna expanderar riktat (elliptiskt) i stället för mer sfäriskt som i "normala" vapensammanhang. Detta kan delvis kompenseras genom laddnings- och initieringsgeometrien men verkanseffekterna blir annorlunda i denna tillämpning än i "vanliga" vapensammanhang.

För fallet nära träff är det svårt att använda tryckverkan även om avancerade verkanssystem används. Detta beror bl a på de mycket korta tidsrymder som står till förfogande i denna tillämpning.

De höga träffhastigheterna gör det också svårt att använda *brandverkan*, även om det vid BC-hot vore högst önskvärt att kunna använda denna verkansform för att neutralisera BC-stridsmedlen.

I kap 7 nedan diskuteras mer i detalj hur KE-stridsdelar för bekämpning av BC-multipelstridsdelar till BM bör utformas.

7. KE-verkan mot BC-multipelstridsdelar

7.1 Hotstridsdelens uppbyggnad

Multipelstridsdelar med BC-substridsdelar består av ett större antal behållare som innehåller stridsmedlet (vanligen i vätskeform men även torrsustans förekommer) och ett system för utspridning/utskjutning av dessa. Den generiska uppbyggnaden framgår av fig. 5.1.

De enskilda substridsdelarna är normalt utformade som "sprayburkar" av relativt tunn metallplåt (vanligen stål) med en anordning för utspridning av stridsmedlet, se kap 5.3. I ref [25] har man studerat det slutballistiska uppträdandet hos generiskt utformade (cylindriska) substridsdelar med följande mått på stålbehållaren: längd 300 mm, diameter 70 mm och skaltjocklek 2,5 mm.

Med en densitet på 1200 kg/m^3 på vätskan skulle detta innebära att substridsdelarna väger ca 3 kg styck. Om vi antar en totalvikt på 1 ton och en total subdelsvikt på 800 kg skulle man viktsmässigt kunna få med ca 270 substridsdelar. Detta är förmodligen en hög siffra då substridsdelarna måste utformas så att de tål upphettningen vid inträdet i atmosfären (värmesköldar på substridsdelarna?) och även måste förses med någon sorts inbromsningsanordning. Att det kan handla om hundratals substridsdelar från enstaka BM är dock fullt möjligt.

Ur KE-verkansdelens synvinkel kan detta mål slutballistiskt beskrivas som ett mål uppbyggt av ett antal vinklade och skiktade plåtar där vissa mellanrum består av vakuum och vissa av (fördämda) vätskor.

7.2 Krav på verkansdelen

En effektiv bekämpning av detta hot innebär att så många av substridsdelarna som möjligt oskadliggörs. Detta innebär normalt att substridsdelarna slås sönder så att stridsmedlet kommer ut, antingen genom att höljet perforeras och/eller att det slits sönder pga. inre övertryck (hydraulic ram).

För att ge god effekt i denna typ av mål måste KE-verkansdelen/delarna (som antingen kan vara en direktträffande robotstruktur (helt eller delvis bränsletömd robot eller vid träff kvarvarande "kill-vehicle") eller penetratorerna i en splitterstridsdel eller både/och) ha en sådan utsträckning att dess "projicerade verkansyta" täcker hela hotstridsdelen. Denna verkansyta är förutom av KE-verkansdelarnas och hotstridsdelens geometriska utsträckningar också beroende av hur KE-verkansdelarna slås sönder och sprids ut vid passagen genom hotstridsdelen. Att uppfylla detta krav är normalt enklare vid frontalkollision än vid träff i sidan på hotstridsdelen då diametern på ABM normalt är mindre än hotstridsdelens (ca en fjärdedel om vi tar fallet Patriot PAC 3 mot Scud, ref [24,18]) och hotstridsdelen har större längd än diameter.

Dessutom måste KE-verkansdelarna vara utformade så att de orkar penetrera även den substridsdelsbehållare som är längst bort. Detta kan åstadkommas på två sätt:

- verkansdelen är/görs så lång att det finns (okonsumerad) stridsdel kvar när denna når den sista behållaren.
- den sekundärsplittersvärm som bildas har så stor genomslagskraft att den orkar penetrera sista behållaren.

Den första metoden är att föredra då den är mycket mer oberoende av den interna geometrin (avstånden mellan plåtarna); det kan nämnas att skyddspaneler för satelliter och rymdstationer bygger på att man har en tunn yttre plåt utanför huvudskalet som fragmenterar det ("knubbiga") rymdgrus som annars skulle slå igenom detta skal (kallas för Whipple-shields). Hotstridsdelens ytterhölje måste tåla höga tryck och temperaturer vid inbromsningen i atmosfären vilket gör att detta är en i sig robust konstruktion. Hotstridsdelen är ofta barlastad framtill för att vara aerodynamiskt stabil vid inträdet i atmosfären och kan även hårdgöras för att ytterligare öka sannolikheten att klara penetratorer av olika slag.

7.3 Direktträff av ABM eller kill-vehicle

Den del av hotstridsdelen som ligger i vägen för en direktträffande stridsdel slås normalt ut vid de massor (storleksordningen 100 kg) och träffhastigheter det handlar om här (storleksordningen 4 km/s). Dessutom kommer delar av verkansdelen och den träffade delen av hotstridsdelen att spridas ut i en kon runt verkansdelens hastighetsvektor varför särskilt de från träffpunkten sett bakre delarna av hotstridsdelen kan påverkas på större avstånd från träfflinjen. Hur stor den "utslagna" delen av hotstridsdelen blir är givetvis starkt avhängigt de aktuella geometrierna samt träffpunkt, träfffläke och träffhastighet.

Exempel på utfallet av träff av en generisk ABM mot en generisk BC-multipelstridsdel finns i ref [25,26], där man redovisar modellskalet försök genomförda med hjälp av en tvåstegs lättgaskanon.

7.4 Nära träff och förstärkning av direkträff

För att få verkan vid fallet nära träff eller för att förstärka verkan av en direkträff förses ABM ofta med stridsdelar som sprider ut ett antal penetratorer i lämpliga mönster. Dessa skiljer sig från "vanliga" splitterstridsdelar på så sätt att man vill tillgodogöra sig hela den tillgängliga stridsdelsmassan (massa kostar i dessa sammanhang!) på ett i varje situation optimalt sätt. Detta ställer stora krav både på inmätning-/zonrörsfunktionen och utformningen av stridsdelen.

För att säkerställa att alla substridsdelarna i en BC-stridsdel slås ut vill man åstadkomma ett utspridningsmönster för penetratorerna som är sådant att hela hotstridsdelen täcks. Beroende på tillgänglig information om hotstridsdelens geometri (eller möjligheterna att i det aktuella fallet mäta upp geometrin) fastläggs det önskvärda utspridningsmönstret vid träff. Träffdata bestäms, se kap 6.1-2, och stridsdelen aktiveras/initieras så att önskat utspridningsmönster och träffpunkt erhålls.

7.5 Uppbyggnad av KE-verkansdelen

En modern KE-verkansdel till ett ABM-system som har prestanda att åstadkomma direkträff eller nära träff kan byggas upp så att det kan sprida ut KE-penetratorerna symmetriskt eller asymmetriskt kring ABM.

Den *symmetriska moden* används då sensorsystemet indikerar direkträff för att öka träffytan från ABM. Detta åstadkoms genom en utspridningsanordning som är centralt placerad relativt penetratorerna.

Den *asymmetriska moden* används då sensorsystemet indikerar att ABM kommer att missa målet. En utanpå penetratorerna liggande accelerationsanordning (vanligen sprängämne som modifieras eller initieras så att avsedd riktningseffekt uppnås) sprider ut penetratorerna i en sådan riktning att huvuddelen av dessa kan verka i hotstridsdelen.

Det finns en stor mängd princip- och ingenjörsmässiga lösningar på hur stridsdelsutformningen kan göras. En bra, både överskådlig och bitvis också detaljerad, genomgång av tänkbara sådana konstruktionslösningar görs i ref [27].

7.6 Utformning och dimensionering av de enskilda KE-penetratorerna

Utformning och dimensionering av de enskilda KE-penetratorerna måste givetvis göras utifrån hotstridsdelens dimensioner och uppbyggnad, men det blir hela tiden en kompromiss mellan det antal penetratorer som krävs för att "täcka" hotstridsdelen och den penetrationsförmåga som krävs av de enskilda penetratorerna för att de skall

kunna slå ut även de längst bort liggande substridsdelarna, jämför resonemanget i kap 7.2.

När det gäller penetratorernas utformning har "knubbiga" geometrier som kulor, kuber och liknande former fördelen att genomslaget blir oberoende av attitydvinkeln. Genomslagsförmågan är dock måttlig, särskilt vid höga hastigheter och skiktade mål som är fallet här (penetratorerna konsumeras och slås sönder vid de extrema kontaktryck som uppstår).

Vad gäller genomslagsförmågan är långa penetratorer att föredra om dessa träffar med kortsidan först. Problemet vid denna tillämpning är att det är svårt att hitta en utspridningsmetod som åstadkommer detta och att det inte går att aerodynamiskt stabilisera penetratorerna. Penetratorerna kommer att träffa målet mer eller mindre snedställda beroende på hur väl utspridningsmetoden fungerar. En lämplig utformning kan vara cylindrar med måttligt längd-kaliber-förhållande (runt 5) med cirkulär eller annan från packningssynpunkt lämplig tvärsnittsytta typ sexkantig, stjärnformad eller liknande, se t ex ref [27].

För att få en grov uppfattning om hur stora penetratorerna bör vara kan vi göra följande överslag: antag att penetratorerna träffar med kortsidan först och att de ska slå igenom hotstridsdelens ytterhölje (säg 20 mm gångväg stål) och 3 substridsdelar utformade enligt kap 7.1 (säg gångväg 30 mm stål och 300 mm stridsmedel med tätheten 1200 kg/m^3). Detta skulle överslagsmässigt (vi antar hydrodynamiskt penetrationsförlopp) ge att en tungmetallcylinder måste vara drygt 100 mm lång. Vikten av en cylinder med längd-kaliber-förhållandet 5 blir drygt 0,5 kg, dvs. för en (rimlig) stridsdelsvikt på drygt 50 kg kan ca 100 penetratorer tas med. Den höga hastigheten (säg ca 4 km/s) gör att effekterna av stora genomslagshål och mycket sekundärsplitter kan bli stora i hotstridsdelen.

7.7 Restprodukter

Även om man lyckas slå hål på substridsdelarna och få stridsmedlet att läcka ut kan det bli problem med resterna av stridsmedlet. Ju högre upp och lägre bort man träffar hotstridsdelen, desto mindre är givetvis sannolikheten att det avsedda målområdet kommer att drabbas. Detta gäller särskilt för biologiska stridsmedel där en effektiv utspridning normalt förutsätter att flytande stridsmedel ges aerosolform i närheten av markytan eller att stridsmedel i pulverform sprids ut nära målet får att inte "blåsa bort". Utspridning av BC-stridsmedel över eget territorium är dock alltid ett problem och man kan tom tänka sig scenarier där egen bekämpning förbättrar utspridningen av agensen.

För att kunna bedöma effekterna av dessa restprodukter måste man, förutom kunskap om vilka ämnen som kan vara aktuella, kunna fastställa vilka fysikaliska påkänningar ämnena råkar ut för vid träffen och vid passagen genom atmosfären.

8. Kunskapsluckor/resurser

Här listas några av de kunskapsluckor vi ser på området slutballistisk bekämpning av stridsdelar till ballistiska robotar. Dessutom görs en genomgång av de resurser vi har

och de resurser vi borde skaffa för att kunna åtgärda dessa brister. Tänkbara utländska samarbetspartners diskuteras också.

8.1 Kunskapsluckor

Vår egen forskning på slutballistikområdet har varit inriktad på att studera framför allt pv-frågor. Hastighetsområdet är här när det gäller dagens KE-penetratorer upp till ca 2 km/s och för framtida KE-penetratorer upp till ca 3 km/s. För RSV-stridsdelar förekommer spetshastigheter på strålen på över 10 km/s.

Den öppna forskningen har även i andra länder i huvudsak varit inriktad på liknande frågeställningar med undantag av att man även studerat höghastighetskollisioner i rymdsammanhang. Det är huvudsakligen rymdgrus mot satelliter som har varit föremål för studier, men en del tillämpningar av intresse för våra frågeställningar finns. En intressant källa till information är de HVIS-symposier (Hypervelocity Impact Symposia) som återkommer vartannat år.

De kunskapsluckor som nu finns för att kunna göra mer precisa förutsägelser om vilka effekter som uppstår vid bekämpning av (framför allt BC) stridsdelar till ballistiska robotar och hur stridsdelen till ABM skall utformas är bl a:

- hur skall utformningen av detonikdelen till stridsdelen till ABM göras för att önskad symmetrisk/riktad funktion skall erhållas?

- penetrationsförlopp vid höga hastigheter och skiktade mål: hur mycket av en längre/kortare penetrator konsumeras vid passage av tunna plåtar vid olika plåtvinklar och snedställningsvinklar på penetratorn (jfr FOA-studien i ref [28])? Hur sammanhållna är sekundärsplitterkonerna vid dessa hastigheter och vad har de för genomslagsförmåga? Vad händer vid flera nära träffar i samma plåt (ackumulerade effekter)?

- vilka tryck och temperaturer uppstår i substridsdelar av framför allt BC-typ (vätskor, pulver, hydraulic ram) när penetratorer och olika typer av sekundärsplitter träffar behållarna?

- hur sprids olika vätskor (densitet, viskositet etc.) och pulver ut ur de sönderslagna behållarna vid olika hastigheter och atmosfärstryck? Vad händer sen med vätskan (uppsplittning i droppar, temperaturer, förångning etc.) respektive pulvret (utspridning, temperaturer, oxidation, förbränning)? Se t ex ref [29].

8.2 Resurser

Slutballistiska förlopp är fysikaliskt mycket komplicerade, inte minst vid de tillämpningar det handlar om här (extremt snabba och våldsamma förlopp, stora deformationer och höga töjningshastigheter, termodynamiska effekter, komplicerade materialbeteenden, fasomvandlingar etc.). Arbetet med att förstå dessa förlopp måste bedrivas i intimt samarbete mellan experimentell verksamhet, fysikaliskt modellerande och numeriska simuleringar. Bl a följande resurser behövs för kunna studera slutballistisk bekämpning av BM:

Experimentella resurser

- möjlighet att tillverka och prova olika utformningar av stridsdelen till ABM. Finns vid FOI.
- möjlighet att göra slutballistiska experiment vid hastigheter i upp till ca 5 km/s. FOI har möjlighet att göra sådana experiment med åtminstone enkla penetratorer. Vill man studera hur modeller av hela ABM-stridsdelar växelverkar med hotstridsdelar får detta göras i liten skala i FOI's anläggning eller i t ex EMI's nya stora lättgaskanon. Kunskap om hur modellskaleförsök skall utföras för att relevanta slutsatser skall kunna dras för ett fullskalefall finns vid FOI, se t ex ref [30,31].
- möjlighet att fastställa vilka påkänningar ett (simulerat) stridsmedel utsätts för då hotstridsdelen bekämpas och ämnet kommer ut i atmosfären med hög hastighet. Finns vid FOI.
- möjlighet att utsätta aktuella stridsmedel för den mekaniskt-fysikaliska påverkan som kan uppstå vid bekämpning i BM-sammanhang för att utröna om/hur dessa ämnen bryts ner och vilka restprodukter som uppstår. Finns vid FOI.

Kontinuumdynamiska simuleringsprogram

- möjlighet att simulera utkast av penetratorer mha energetiska material samt penetrationsförlopp och hydraulic ram vid höga hastigheter. Vi har program (AUTODYN, DYNA) och datorer som klarar enklare geometrier. För mer komplicerade geometrier (t ex direktträff av ABM i hotstridsdel) kan vi behöva tillgång till kraftfullare datorer, jfr t ex ref [25].

Analytiska modeller, verkansvärderingar

För att kunna göra verkansvärderingar av olika bekämpningsscenarier måste analytiska modeller som beskriver penetrationsförlopp i skiktade mål och hydraulic ram vid höga hastigheter tas fram, då kontinuumdynamiska simuleringar blir så omfattande att endast enstaka fall kan studeras på detta sätt. Dessa analytiska modeller kan sedan implementeras i något lämpligt verkansvärderingsprogram (AVAL?).

8.3 Internationellt samarbete

Flertalet utländska försvarsforskningsinstitut studerar numera här aktuella frågeställningar och det vore högst önskvärt att besöka dessa för att ta reda på vilka verksamheter som pågår. Denna uppdatering av kunskapsläget borde gälla alla de frågor som hör ihop med problematiken att bekämpa BM, inte enbart slutballistikfrågor (över huvudtaget vore en samordning av FOI's olika verksamheter på detta område önskvärd).

De forskningsinstitut som borde besökas när det gäller slutballistikfrågor är bl a:

ARL (U.S. Army Research Laboratory) i Maryland, USA. Vi har redan ett aktivt och fruktbarande samarbete på pv-området (DEA-A-62-SW-0004 om "Armour Defeating Ammunition and Countermeasures", avtalet sköts av FMV). ARL kontrakterar i sin tur andra amerikanska forskningsinstitut som t ex **IAT** (Institute of Advanced Technology, The University of Texas at Austin) som har ansvaret för forskningen på höghastighetsprojektiler och skydd mot dessa (har bl a en stor tvåstegs lättgaskanon).

EMI (Fraunhofer-Institut für Kurzzzeitdynamik, Ernst-Mach-Institute) i Freiburg, Tyskland. Även här har vi ett aktivt och fruktbarande samarbete på pv-området (TA no. 3 under MoU mellan Sverige och Tyskland, avtalet sköts av FOI). EMI har ett aktivt arbete på området bekämpning av BM (se t ex referenslistan) och gör såväl experimentellt (har nyligen tagit fram en stor lättgaskanon för detta ändamål, se ref [32]) som numeriskt (ref [25]) arbete. Det vore önskvärt att utvidga pv-samarbetet till att även gälla här aktuella frågor.

ISL (Institute Franco-Allemand de Recherches de Saint-Lois) i Saint-Lois, Frankrike. Gör grundläggande forskning på slutballistikområdet och FOI har ett avtalsbundet om än inte så aktivt informationsutbyte med ISL.

TNO-PML (The Netherlands Organization of Applied Scientific Research, the Printz Maurits Laboratory) i Rijswijk, Holland. FOI har framför allt samarbete på verkansvärderingssidan och visst, inte särskilt aktivt, informationsutbyte på slutballistiksidan.

dstl (Defence Science and Technology Laboratory) i England. Samarbete på pv-området (avtal under ett MoU som sköts av FOI).

Förutom dessa institut bör givetvis rymdforskningsinstitut (både inom och utom landet) kontaktas.

9. Sammanfattning

Hotet från ballistiska robotar ökar och ett särskilt allvarligt hot är ballistiska robotar försedda med BC-stridsdelar. Det börjar nu komma fram luftvärnssystem som har möjlighet att bekämpa dessa hot genom att använda direktträff eller nära träff i kombination med avancerade stridsdelar. I denna rapporten diskuteras framför allt möjlighet att försä lv-robotarna med KE-stridsdelar, där hela splittermassan skickas mot målet, och hur stridsdelen kan skräddarsys till de aktuella hoten. En genomgång görs av de kunskapsluckor som finns på stridsdels- och slutballistikområdet. Dessa bedöms kunna åtgärdas med de resurser som finns på FOI samt, i en del fall, på andra forskningsinstitut som vi redan har samarbete med.

Referenser

1. F. Andersson, E.A. Turlind, E. Görnerup, E. Sjöberg and Å.Wiss, "The Character of Future Conflicts – Partial Report 1", User Report, FOA-R—00-01822-201—SE, Dec 2000
2. F. Andersson, E.A. Turlind, E. Sjöberg and Å.Wiss, "The Character of Future Conflicts – Partial Report 2", User Report, FOI-R—00-01822-201—SE, Dec 2001
3. MDA-s hemsida, Land-Attack Cruise Missiles.
http://www.acq.osd.mil/bmdo/bmdolink/bcmt/lacm_7.htm
4. Harnessing the Power of Technology. The Road to Ballistic Missile Defence from 1983-2007, Sept 2000. MDA-s hemsida
5. Executive Summary of the Commission to Assess the Ballistic Missile Threat to the United States. July 15, 1998.
<http://www.fas.org/irp/threat/bm-threat.htm>
6. Statement for the Record to the Senate Subcommittee on International Security, Proliferation and Federal Services on The Ballistic Missile Threat to the United States. Robert D. Walpole. Feb 9, 2000.
wysiwyg://4/http:77www.cia.gov/cia/public_affairs/speeches/nio_speech_020900.html
7. Foreign Missile Developments and the Ballistic Missile Threat Through 2015. Unclassified Summary of a National Intelligence Estimate. Dec 2001.
http://www.ciagov/nic/pubs/other_products/Unclassifiedballisticmissilefinal.htm
8. <http://global-defence.com/pages/ballist.html>
9. E. Tarras-Wahlberg, E. Sjöberg m fl, "Skydd mot ballistiska robotar", FOA-R—95-00136-1.1,1.2—SE, Nov 1995.
10. E. Tarras-Wahlberg (redaktör), "Skydd mot kryssningsrobotar", Användarrapport, FOA-R--97-00584-310--SE, Maj 1998.
11. M.-B. Hansson och E. Tarras-Wahlberg (redaktörer), "Luftvärnsskydd mot kryssningsrobotar och ballistiska robotar med begränsad räckvidd (TSA-LV)", Användarrapport, FOA-R--98-00898-170--SE, Dec 1998.
12. MDA-s hemsida. <http://www.acq.osd.mil/bmdo/>
13. <http://lmms.external.lmco.com/defsys/nmd.html>
14. FAS, Ground Based Interceptor [GBI], <http://www.fas.org/spp/starwars/program/gbi.html>
15. Exoatmospheric Hit-to-Kill Intercept Tests. Countermeasures. Union of Concerned Scientists.
<http://global-defence.com/pages/seabalst.html>
16. FAS, Iskander/SS-26, <http://www.fas.org/nuke/guide/russia/theater/ss-26.htm>
17. FAS, Scud, <http://www.fas.org/nuke/guide/russia/theater/r-11.htm>
18. FAS, RT-23/ss-24 SCALPEL, <http://www.fas.org/nuke/guide/russia/icbm/rt-23.htm>
19. FAS, RT-23/ss-24 SCALPEL, <http://www.fas.org/nuke/guide/russia/icbm/rt-23.htm>
20. FAS, Nuclear Weapon Design, <http://www.fas.org/nuke/intro/nuke/design.htm>
21. Brookings, The Davy Crockett, <http://www.brook.edu/dybdocroot/FP/projects/nucwcost/davyc.htm>
22. FAS Public Interest Report, Low-Yield Earth-Penetrating Nuclear Weapons, <http://www.fas.org/faspir/2001/v54n1/weapons.htm>
23. L. G. Strömberg, "Dial-a-yield – laddningar med kilotonreglage", FOA-tidningen 5/6, Dec 1996.

- 24 FAS Patriot TMD, <http://www.fas.org/spp/starwars/program/patriot.htm>
- 25 M. Sauer, S. Hiermaier, K. Thoma, W. Pfleghaar, "Experimentelle und numerische Untersuchungen zur Abwehr ballistischer Flugkörper", Deutscher Luft-und Raumfahrtkongress 2001, Hamburg, Deutschland. 17-20.09.2001.
- 26 S. Hiermaier, M. Saur, K. Thoma, "Intercept of Ballistic Missiles: Active Threat Reduction", 1. European Survivability Workshop, Köln-Wahn, Germany, 26-28 February 2002.
- 27 R. M. Lloyd, "Physics of Direct Hit and Near Miss Warhead Technology", Progress in Astronautics and Aeronautics, Vol 194, 2001.
- 28 L. Holmberg, P. Lundberg, L. Westerling, "An experimental investigation of WHA long rods penetrating oblique steel plates", Proc. 14th Int. Symp. on Ballistics, Québec, Canada, Vol 2., pp. 515-525, 1993.
- 29 D. Warken, "Experimental Technique to Investigate Liquid Dispersion at High Velocities", 51st Meeting of the Aeroballistic Range Association, Madrid, Spain, 18-21 September 2000.
- 30 L. Holmberg, E. Lidén, L. Westerling, "Kan man lita på modellskalet försök?", FOA användarrapport FOA- R--00-01584-310--SE
- 31 T. Behner, "Skalierungseinflüsse bei Beschuss von TBM-behältern – Experimentelle Untersuchung, Bericht E 79/00, Fraunhofer-Institut für Kurzzeitdynamik, Dezember 2000.
- 32 E. Schmolinske, E. Schneider, "The New Hypervelocity Launcher System at EMI. - A Multiple Two Stage LGG Installation - ", 52nd Meeting of the Aeroballistic Range Association, Québec City, Québec, Canada, September 2001.

Akronymlista

Många av dessa akronymer förekommer endast ett fåtal gånger i denna text, men listan underlättar avsevärt läsandet av referenslitteraturen.

ABM	Anti-Ballistic Missile
BDS	Boost Defence System, bekämpning av hotmissilen i drivfasen
BM	Ballistic Missile, ballistisk robot
BMDS	Ballistic Missile Defence System, i USA det samlade programmet (under MDA) för försvar mot BM sedan 2001
CM	Cruise Missile, kryssningsrobot
GMD	Ground-based Midcourse Defence
GPALS	Global Protection Against Limited Strikes, USA 1991-1993
ICBM	Intercontinental Ballistic Missile, räckvidd > 5500 km
IRBM	Intermediate-Range Ballistic Missile, räckvidd 3000-5500 km
MDA	Missile Defence Agency, samordnar sedan 2001 all verksamhet i USA på försvar mot BM
MDS	Midcourse Defence Segment, bekämpning i banfasen
MRBM	Medium-Range Ballistic Missile, räckvidd 1000-3000 km
NBC	Nuclear/Biological/Chemical
NMD	National Missile Defence, skydd av hemlandet, i USA 1996-2001
SDI	Strategic Defence Initiative, "star wars", "stjärnornas krig", USA 1984-1991
SMD	Sea-based Midcourse Defence
SRBM	Short-Range Ballistic Missile, räckvidd < 1000 km
TBM	Tactical Ballistic Missile, taktiska ballistiska robotar
TDS	Terminal Defence Segment, bekämpning i återinträdesfasen (slutfasen)
TMD	Theater Missile Defence, skydd av trupper och baser i ett missionsområde, i USA 1993-2001
WMD	Weapons of Mass Destruction, massförstörelsevapen

Appendix 1

Räckvidder för ballistiska missiler tillverkade utanför USA och Europa

SRBM (räckvidder upp till 1000 km)

Missil	Tillverkningsland	Maximal räckvidd (km)
SCUD B (SS-1c Mod 1)	Ryssland	300
SS-21 Mod 3	Ryssland	120
Iskander-E	Ryssland	270+
CSS-6	Kina	600
CSS-8	Kina	150
SCUD C	Nordkorea	500
Phritvi 2	Indien	250
Shaheen	Pakistan	450+
Vector	Egypten	680+
Al Hussein	Irak	560+

MRBM och IRBM (räckvidder från 1000-5500 km)

Missil	Tillverkningsland	Maximal räckvidd (km)
CSS-2	Kina	2800
CSS-5 Mod 2	Kina	1800+
Taepo Dong	Nordkorea	2000+
New IRBM	Indien	3200+
New IRBM	Pakistan	2400+
Shahab 3	Iran	1300
Shahab 4	Iran	1900+

Källa: MDA´s hemsida, http://www.acq.osd.mil/bmdo/bmdolink/bcmt/srbm_5.htm
resp. http://www.acq.osd.mil/bmdo/bmdolink/bcmt/mrbm_irbm_5.htm

Appendix 2

Olika ABM-system för banfas- och slutfasbekämpning av ballistiska robotar. Data för ingående missiler.

Redovisade data är öppna uppgifter från BMA, tillverkarna och andra "säkra" källor (i den mån sådana existerar). Att det är tomt eller vaga uppgifter i de flesta av rutorna återspeglar den höga sekretessen på området. Det går givetvis att göra mer eller mindre kvalificerade gissningar om vad som gäller i de olika rutorna, men i tabellen redovisas endast direkt uppgivna data.

System / Missil	Vikt (kg)	Längd (m)	Hast (km/s)	Räckvidd (km)	Träffhöjd (km)	Stridsdel. Vikt vid träff
SMD / SM-3 ¹	1500	6.4	"Very high"			Direktträff LEAP-strd ²
GMD / Modif. Mi- nutman II			>3.1 ³ träffhast >7.2 ⁵		>225 ⁴	Direktträff EKV-strd 70 kg ⁵
THAAD		6.2 ⁶			80-100 ⁷	Direktträff ⁷ Kill vehicle, tio-tals kg ¹⁴
Arrow 2 ⁸			3.0	50-90 (16-48)	10-40	Splitter- stridsdel ⁹
PAC-3 ¹⁰ MEADS ¹² / PAC-3	312	5.2	1.7	15	15 (20 ¹⁴)	Direkt-träff med "leathality enhancer" ¹¹ 24 steel slugs ¹⁴
Aster 30 ¹³	510	5.2	1.4	100 (mot vad?)		Direktträff 100 kg

- 1 http://www.raytheon.com/products/standard_missile/ref_docs/standard_missile.pdf
- 2 http://www.raytheon.com/products/sm3_leap/
- 3 MDA datablad för GMD
- 4 http://www.boeing.com/news/releases/2002/q4/nr_021014t.html
- 5 <http://www.raytheon.com/products/ekv/>
- 6 <http://www.fas.org/spp/starwars/program/38112.pdf>
- 7 Countermeasures. Union of Concerned Scientists.
http://www.ucusa.org/global_security/missile_defense/
- 8 <http://www.fas.org/spp/starwars/program/arrow.htm>
- 9 <http://www.iai.co.il/dows/dows/Serve/level/English/1.6.1.3.html>
- 10 <http://www.fas.org/spp/starwars/program/patriot.htm>
- 11 Raytheons informationsblad
- 12 <http://www.army-technology.com/projects/meads/specs.html>
- 13 <http://www.eurosam.com/blocks/aster.htm>
- 14 <http://www.vectorsite.net/twabm2.html> (osäker källa)