

Lars Holmberg

Teleskopprojektiler

Utgivare Totalförsvarets Forskningsinstitut - FOI Vapen och skydd 147 25 Tumba	Rapportnummer, ISRN FOI-R--0213--SE	Klassificering Användarrapport
	Forskningsområde 5. Bekämpning	
	Månad, år September 2001	Projektnummer E2008
	Verksamhetsgren 5. Uppdragsfinansierad verksamhet	
	Delområde 51. VVS med styrda vapen	
Författare/redaktör Lars Holmberg	Projektledare Lars Holmberg	
	Godkänd av Carin Lamnevik	
	Tekniskt och/eller vetenskapligt ansvarig	
Rapportens titel Teleskopprojektiler		
Sammanfattning (högst 200 ord) Teleskopprojektiler har potential att radikalt kunna öka penetrationsförmågan relativt motsvarande hopskjutna pilprojektil i homogent pansar vid höga hastigheter. En genomgång av den öppna litteraturen och egna försök tyder på att penetrationsförmågan skulle kunna närmast fördubblas i såväl stål-, titan- som aluminiumpansar. Även i kerampansar kan stor förbättring erhållas. Det finns i litteraturen ingen information tillgänglig om hur teleskopprojektiler uppträder i pansar som utsätter projektilen för snedkrafter, t ex sneda plåtar och reaktiva paneler. Kontinuumdynamiska simuleringar har därför genomförts som indikerar att de störningar som överförs är så måttliga att teleskopprojektiler borde kunna fungera bra även i denna typ av pansar. För att kunna bedöma om teleskopprojektiler kan bli aktuella i en vapentillämpning bör försök mot snedkraftspansar genomföras. För att kunna optimera en teleskopprojektil krävs mer kunskap om rörprojektilers penetrationsförmåga i homogena mål. Dessutom måste inflytandet av små pendlingsvinklar utredas närmare för att en projektil med tillräckligt robust utformning skall kunna tas fram.		
Nyckelord Okonventionella projektiler, teleskopprojektiler, sneda plåtar, reaktivt pansar		
Övriga bibliografiska uppgifter	Språk Svenska	
ISSN 1650-1942	Antal sidor: 25 s.	
Distribution enligt missiv	Pris: Enligt prislista Sekretess Öppen	

Issuing organization FOI – Swedish Defence Research Agency Weapons and protection SE-147 25 Tumba	Report number, ISRN FOI-R----SE	Report type
	Research area code 5. Combat	
	Month year September 2001	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 Carin Lamnevik	
	Scientifically and technically responsible	
Report title (In translation) Telescopic projectiles		
Abstract (not more than 200 words) Telescopic projectiles have the potential to radically improve the penetration capability of high velocity KE-penetrators in homogeneous armour. A survey of open publications and experiments performed at FOI indicates that it should be possible to almost double the penetration capability in homogeneous steel-titanium- and aluminium armours relative to the penetration obtained by the not extended long rod reference projectile. Also in ceramic targets a considerable improvement can be obtained. In the open literature there is no information available on the behaviour of telescopic projectiles in armour exerting transverse forces on the projectile like e.g. oblique plates and reactive armour. In this study, continuum-dynamic simulations of telescopic projectiles penetrating stationary and moving oblique plates have been carried out indicating that telescopic penetrators should perform well also in this type of armour. In order to assess whether telescopic projectiles is a realistic warhead option, experiments with armours exerting transverse forces should be performed. Optimising the geometry of telescopic projectiles requires more knowledge of the penetration capability of tubular penetrators. The influence of yaw has to be studied to obtain sufficiently robust penetrators.		
Keywords Unconventional projectiles, telescopic projectiles, oblique plates, reactive armour		
Further bibliographic information	Language Swedish	
ISSN 1650-1942	Pages 25 p.	
Price acc. to pricelist Security classification Unclassified		

Innehållsförteckning

Använda beteckningar

1. *Bakgrund*

2. *Allmänt teleskopprojektiler*

2.1 Rörprojektiler

2.2 Teleskopprojektiler med kärnan först

2.3 Teleskopprojektiler med röret först

2.4 Val av huvudutformning

3. *Penetration i homogent pansar*

3.1 Rörprojektilers penetrationsegenskaper

3.2 Krav på teleskopprojektiler

Geometrisk utformning

Tillåtna snedställningsvinklar

3.3 Resultat från försök och simuleringar med teleskopprojektiler

Metalliskt pansar

Kerampansar

4. *Penetration av sneda plåtar och reaktivt pansar*

4.1 Inledande diskussion

4.2 Kontinuumdynamiska simuleringar

5. *Slutsatser*

6. *Referenser*

Appendix. Gridindelning och materialdata använda vid de kontinuumdynamiska simuleringarna

Använda beteckningar:

D	Pilprojektilens eller den hopskjutna teleskopprojektilens diameter
D_k	Kärnans diameter eller rörets innerdiameter
L	Pilprojektilens eller den hopskjutna teleskopprojektilens längd
H	Håldiametern för pilprojektilen eller den hopskjutna teleskopprojektilen
v	Projektilens anslagshastighet
γ_{cr}	Maximal snedställning som kan tillåtas innan projektilens bakände kommer i kontakt med väggen på hålskanalen

1. Bakgrund

Det finns nu tekniska möjligheter att accelerera KE-projektiler till väsentligt högre hastigheter än de som dagens krutkanoner klarar av. En modern stridsvagnskanon kan ge projektilen en hastighet på upp mot 2 km/s men andra utskjutningsmetoder som t ex medföljande laddningar, höghastighetsraketer, elektrotermiskt-kemiska kanoner och rälskanoner kan möjliggöra väsentligt högre projektilhastigheter (mer än 2,5 km/s).

Högre projektilhastighet eftersträvas i pv-sammanhang då det medför större möjlighet att vinna de duellsituationer som avgör pv-striden. Detta beror på att den kortare bantiden minskar tiden från upptäckt av motståndaren till (möjlig) träff, ökar träffsannolikheten för det enskilda skottet och ökar sannolikheten för att slå ut motståndaren givet träff då projektilens genomslagsförmåga ökar.

KE-projektiler mot tyngre pansrade stridsfordon är numera vanligen pilprojektiler av material med hög densitet. Genomslagsförmågan för dessa ökar linjärt med hastigheten i det "vanliga" vapenhastighetsområdet (1000-2000 m/s) för att sedan plana ut då hastigheten kommer upp i 2500-3000 m/s. En ökning av hastigheten ger här en vidare men inte en djupare penetrationskanal. För att tillgodogöra sig rörelseenergin i form av större penetrationsförmåga går man då över till andra ("okonventionella") projektilutformningar som alla har det gemensamt att de "förlängs" före träff av målet. Den tidsmässigt mest närliggande okonventionella projektiltypen är förmodligen teleskopprojektilen där en pilprojektil dras ut till en kärna och ett rör.

För att teleskopprojektiler skall kunna bli aktuella i verkliga stridsdelstillämpningar måste de, förutom att ha goda penetrationsegenskaper i homogena mål, även klara av pansarkomponenter som utsätter projektilen för snedkrafter som snedställda plåtar, reaktivt och aktivt pansar.

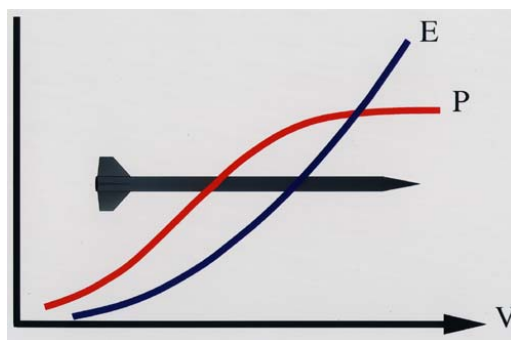
Syftet med denna rapport är att sammanställa det underlag som finns avseende teleskopprojektilers penetrationsegenskaper i homogent pansar, göra en första preliminär bedömning av dess penetrationsegenskaper i pansar som utsätter projektilen för snedkrafter samt komma med förslag till fortsatta studier av teleskopprojektilers slutballistiska egenskaper.

2. Allmänt om teleskopprojektiler

Vid de hastigheter det handlar om när det gäller KE-projektiler mot tyngre pansar (storleksordningen 1500 m/s och uppåt) är penetrationsprocessen sådan att projektilen

konsumeras medan den penetrerar pansaret. Förenklat kan man säga att den konsumerade projektillängden blir direkt proportionell mot penetrationsdjupet. Penetrationen pågår så länge det finns någon projektil kvar. Man strävar därför efter att göra projektilerna så långa och slanka som det går med hänsyn till hanterings- och utskjutningsförhållanden. Moderna pilprojektiler har längd-kaliber-förhållanden på 30 och mer och detta ökar hela tiden.

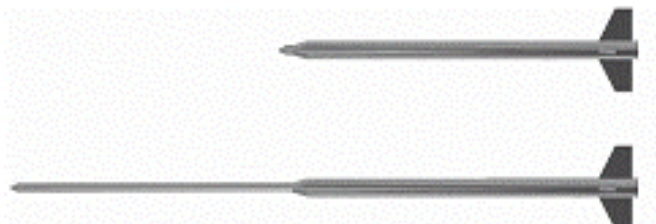
Penetrationsförmågan sfa hastigheten för pilprojektiler mot olika pansarmaterial följer en så kallad S-kurva, se nedanstående figur.



Figur 2.1. Penetrationsförmåga (P) och rörelseenergi (E) sfa anslagshastigheten för en pilprojektil

Värdena på axlarna varierar för olika projektil- och målmaterial men formen är alltid en S-kurva. För tungmetallpilar mot pansarstål ökar penetrationsförmågan linjärt med hastigheten i det "vanliga" vapenhastighetsområdet (1000-2000 m/s) för att sedan plana ut då hastigheten kommer upp i 2500-3000 m/s. Vid höga hastigheter går energin åt till att vidga hålskanalen i stället för att fördjupa den. Det faktum att hålskanalens diameter blir väsentligt mycket större än penetratorns använder man sig av i så kallade teleskopprojektiler.

Med en teleskopprojektil menas generellt en (cirkulär-) cylindrisk projektil som består av en kärna och ett eller flera rör som är utformade så att de går att skjuta in i varandra som i en teleskopkikare. Den skjuts ut hopskjuten som en pilprojektil men före träff i målet dras den ut till en kärna och ett eller flera rör. På detta sätt får man en projektil som har en hanterbar längd i vapnet (eller på vapenbäraren i t ex flygbombsammanhang) men minst dubbla längden då den träffar målet, se nedanstående figur:



Figur 2.2. Teleskopprojektilens uppbyggnad

För att en teleskopprojektil skall fungera optimalt måste dess geometriska utformning vara sådan att den del av projektilen som arbetar i penetrationskanalens botten alltid gör en hålskanal som är så vid att efterföljande delar av projektilen kan komma ner ostört till hålbotten. Detta ställer vissa krav på teleskopprojektilens geometri som diskuteras nedan.

Det kan påpekas att även andra "sammanhängande" (segmenterade projektiler fungerar lite annorlunda och diskuteras inte här) okonventionella projektilgeometrier har börjat studeras.

En variant som kallas "utdragbar halvcylindrisk pil", ref [1], beskriver en geometri där pilen är delad i hela sin längd längs ett diametralt snitt och delarna glider längs varandra så att projektilens längd fördubblas före träff i målet. Denna utformning skiljer sig principiellt från teleskopprojektilens i att de båda delarna av projektilen inte ger koncentriskt hål. Man kan givetvis tänka sig ett närmast oändligt antal olika sätt att "dra ut en stång" men vi koncentrerar den fortsatta diskussionen på "vanliga" teleskopprojektiler.

2.1 Rörprojektiler

Kärnan i en teleskopprojektil penetrerar målet på samma sätt som en pilprojektil med motsvarande geometri skulle göra, jämför diskussionen ovan. Det penetrationsförlopp som uppstår då röret penetrerar målet blir olika beroende på förhållandet mellan rörets inner- och ytterdiameter (D_k/D).

För ett *tunnväggigt rör* bör penetrationsförloppet bli detsamma som för en "kniv" som penetrerar ett mål dvs mål- och projektilmaterial strömmar både på rörets ut- och insida och det finns målmaterial inne i röret som inte påverkas. Man kan säga att penetrationsförloppet blir tvådimensionellt i stället för tredimensionellt som för en pilprojektil.

För ett *tjockväggigt rör*, dvs ett rör med litet hål, kan det vara rimligt att anta att penetrationsförloppet blir detsamma som för en pilprojektil, dvs allt mål- och projektilmaterial strömmar ut mot kanalens väggar och inget blir kvar i hålet.

I ref [2] har man tagit fram en analytisk modell för hur strömfältet ser ut när en rörprojektil med hög hastighet penetrerar ett mål (man antar ett hydrodynamiskt förlopp dvs att hastigheten är så hög att hållfasthetskrafterna kan försummas). Modellen ger att omslaget mellan de två penetrationsmoder som beskrivits ovan sker för $D_k/D = 0,7$ oberoende av projektilens och målets densiteter. För rör med tunnare väggar skulle man erhålla en penetrationshastighet som är lika stor som för en pilprojektil (samma penetrationdjup men kvarvarande målmaterial och bakåtströmmande mål- och projektilmaterial i centrum på penetrationskanalen) medan man för tjockväggigare rör skulle få lägre penetrationshastighet pga att flödet inne i röret skulle "kvävas" ("choke") (mindre penetrationsdjup men "ren" hålskanal). I ref [3] redovisas kontinuumdynamiska simuleringar och experimentella resultat som man anser stöder de slutsatser man drog av den analytiska modellen, men det experimentella underlag som finns kan tolkas på flera sätt, se diskussionen i kapitel 3.1 nedan.

2.2 Teleskopprojektiler med kärnan först

En fördel med att skjuta teleskopprojektilerna så att kärnan kommer först är att rörets större diameter gör att utgångshålet då blir större (om röret inte är alltför tunnväggigt) och man därmed får bättre verkan i målet vid genomslag. Man strävar därför ofta efter att ha så stor massa som möjligt i det bakre röret. För att teleskopprojektilen skall fungera på avsett sätt, dvs så att de olika delarna av projektilen träffar botten och inte väggarna på penetrationskanalen måste alla de olika delarna i teleskopprojektilen göra tillräckligt stort hål för att det sista röret skall kunna passera. För att fler än ett rör skall bli aktuellt krävs förmodligen hastigheter på väsentligt över 3000 m/s. Vi studerar här i första hand fallet kärna och ett efterföljande rör dvs en "rättvänd" teleskopprojektil.

2.3 Teleskopprojektiler med röret först

Som framgick av diskussionen om rörprojektiler ovan kan röret inte göras för tunnväggigt om den efterföljande kärnan skall komma ner opåverkad till hålbotten. För omslagsvärdet $D_k/D = 0,7$ skulle utgångshålets diameter bli upp till ca 30% mindre och restprojektilens massa lika stor som om projektilen sköts "rättvänd". För "standardfallet" $D_k/D = 0,5$ kan en teleskopprojektil med röret först ge 50% mindre utgångshål och tredjedelen så stor restmassa som om projektilen sköts rättvänd.

2.4 Val av huvudutformning

Den fortsatta studien koncentreras på en teleskopprojektil som består av en kärna och ett efterföljande rör. Detta är den variant man normalt avser då man talar om teleskopprojektiler och den som det finns flest referenser till i litteraturen även om underlaget även här är magert. Nedan används ofta "standardfallet" $D_k/D = 0,5$ för att exemplifiera olika aspekter på teleskopprojektiler.

3. Penetration i homogent pansar

3.1 Rörprojektilers penetrationsegenskaper

I ref [3] redovisas ett antal skjutförsök med rörprojektiler mot homogena mål i höga hastigheter (2000-4000 m/s). Försöken är gjorda som omvända skjutförsök och huvuddelen av försöken har gjorts med stålprojektiler mot aluminium för att klara av att lysa igenom målet med röntgenblixtar och dessutom få approximativt samma täthetsförhållande som för (det verkliga) fallet tungmetall mot stål.

Man har registrerat penetrationsdjup och projektillängd vid ett antal tidpunkter under penetrationen och i flertalet av dessa skott har man kunnat konstatera ett stationärt beteende under delar av penetrationsförloppet, dvs konstant penetrationshastighet och "jämn" strömning.

I dessa fall (stationärt penetrationsförlopp) har man utvärderat "penetrationseffektiviteten", dvs penetration per konsumerad längd av projektilen samt penetrationshastigheten. För de flesta av dessa skott är kvoten mellan penetrationshastighet och anslagshastighet mellan 0,56 och 0,59 (oberoende av projektilhastighet och D_k/D) och penetrationseffektiviteten ligger mellan 1,5 och 1,6 för hastigheter över ca 2500 m/s. En pilprojektil med samma längd skulle för höga hastigheter (rent hydrodynamiskt förlopp) ha en penetrationseffektivitet på 1,7 och en kvot mellan penetrationshastighet och anslagshastighet på 0,63, dvs skulle penetrationsförloppet vara stationärt under hela penetrationsförloppet skulle penetrationsförmågan för rörprojektiler med höga hastigheter vara ca 90 - 95% av en lika lång pilprojektil oberoende av D_k/D (för D_k/D från 0,52 till 0,86 dvs från tjockväggiga till rejält tunnväggiga rör). Ett försök finns redovisat där penetrationsförloppet är stationärt men "långsammare" än för övriga (ovanstående) fall. Enligt författarna beror detta på att penetratorn "desintegrerar" under penetrationen i st f att konsumeras (detta skall framgå av originalröntgenblixtbilderna, kontrasten är dock för dålig för att man skall kunna se det på de reproducerade bilderna).

De totala inträngningsdjup som uppmätts vid försöken ligger under de värden som ett helt stationärt förlopp skulle ge. I rapporten redovisas dessa normaliserade till den

hydrodynamiska penetration som vad en pilprojektil med samma massa, diameter och längd men lägre densitet skulle ge. Räknar man om detta till inträngning relativt den hydrodynamiska inträngning en pilprojektil av samma material och med samma längd som rörprojektilen skulle ge framgår att det totala penetrationsdjupet minskar ju tunnare röret blir. Ett rör med $D_k/D = 0,86$ gav ca 40% lägre penetration än vad en $D_k/D = 0,52$ - projektil gav. Denna gav i sin tur en totalinträngning som var ca 10% lägre än den hydrodynamiska inträngning en pilprojektil skulle ge.

Dessa skillnader mellan vad ett stationärt penetrationsförlopp skulle ge och de totalinträngningar som uppmätts förklarar författarna med att penetrationsförloppet i många fall var "icke-stationärt", dvs i stället för "plastisk strömning" erhöles brott- och kollapsfenomen (detta illustreras bla med olika uppträdanden efter passage av en vinkelrät plåt där både fallen enbart kortare projektil och splittrad och sönderslagen projektil finns representerade). Orsaken till dessa skillnader (avvikelser från stationär penetration) anser författarna "för närvarande" bero på svårigheterna att tillverka rören med tillräcklig precision (omvända skjutförsök där rörens ytterdiameter vanligen är 1,27 mm och längdkaliberförhållandet är 25). Särskilt pekar man på att den "RSV-stråle" som bildas inne i röret då det träffar målet kan störa röret om man får osymmetrier pga geometriska avvikelser.

Slutsatsen av artikeln är att om röret tillverkas med god precision bör ett stationärt inströmningsförlopp kunna erhållas och röret därmed kunna ha nästan lika god penetrationsförmåga som en lika lång pilprojektil oavsett hur tunnväggigt röret är.

Vid några orienterande försök på FOA med rörprojektiler av tungmetall mot pansarstål (2541-3) vid hastigheten ca 3000, se ref [4], erhöles totala penetrationsdjup som var drygt 80% av den penetration som en lika lång pilprojektil gav både för fallen $D_k/D = 0,5$ och 0,7. Hålskanalerna var dock ojämna och smalare än vad en pilprojektil med samma diameter och längd gav.

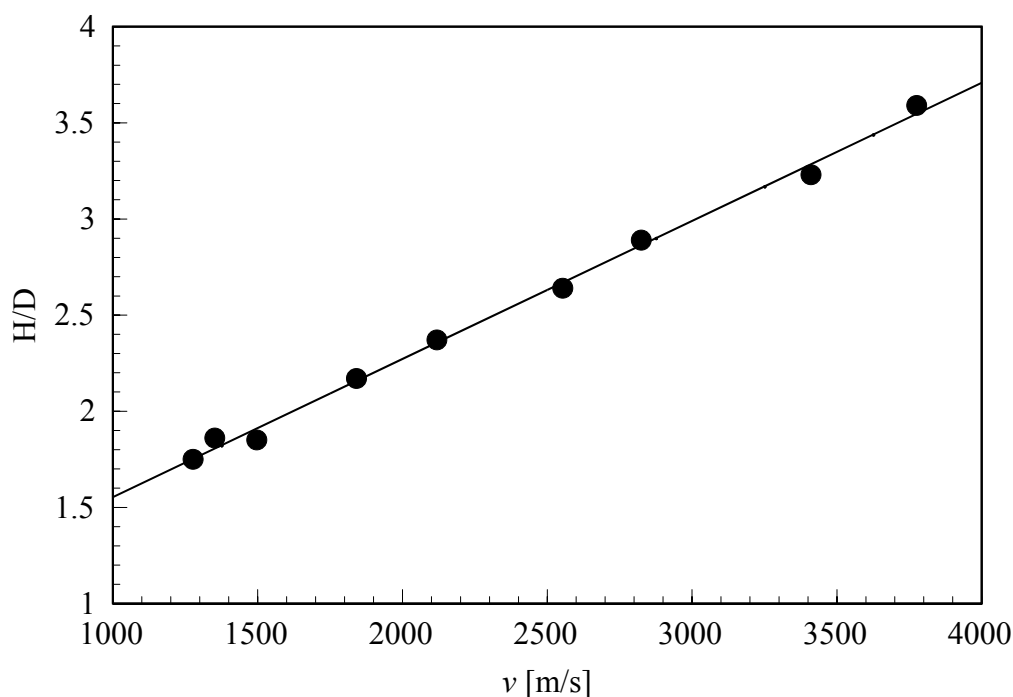
I ref [5] redovisas två experimentella resultat med tungmetallrör ($D_k/D = 0,4$) mot RHA där penetrationsförmågan var över 90% av motsvarande pilprojektils värde.

3.2 Krav på teleskopprojektiler

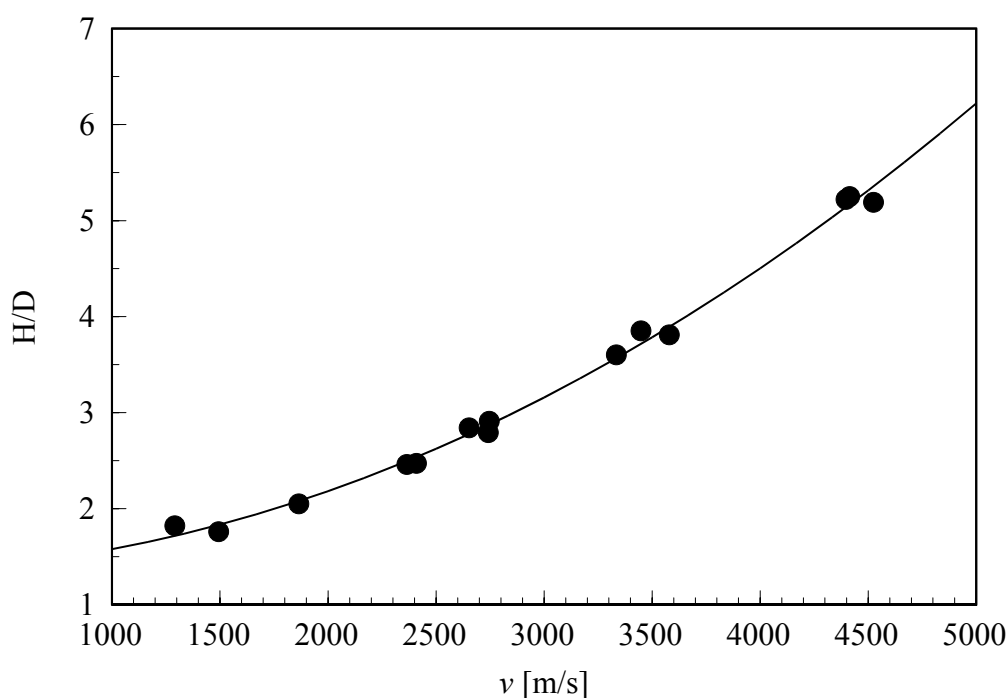
För att en teleskopprojektil där *kärnan kommer före röret* skall fungera på avsett sätt måste röret kunna passera ostört genom den penetrationskanal som kärnan gör. Detta ställer krav på såväl projektilens geometriska utformning som den snedställningsvinkel som kan tillåtas och detta diskuteras nedan.

Geometrisk utformning

Det hål som kärnan gör måste ha större diameter än det efterföljande rörets ytterdiameter. Två experimentella studier finns där håldiametern som funktion av hastigheten redovisas för fallet *tungmetallpil mot normalhårt pansarstål (RHA)*, ref [6] och [7]. Resultaten redovisas i nedanstående figurer där den normerade håldiametern (H/D) har plottats som funktion av projektilens anslagshastighet v [m/s].



Figur 3.2.1. Normerad håldiameter sfa anslagshastighet enligt experimentell studie av Hohler o Stilp (ref [6]). Pilprojektil av tungmetall (Plansee D 17, densitet 17000 kg/m³) med längd-kaliberförhållande L/D = 10 mot pansarstål (HzB 20, BHN = 260-330 kp/mm²)



Figur 3.2.2. Normerad håldiameter sfa anslagshastighet enligt experimentell studie av Silsby (ref [7]). Pilprojektil av tungmetall (Kennametal W10, densitet 17300 kg/m³) med längd-kaliberförhållande L/D = 23 mot pansarstål (RHA, BHN = 230-270 kp/mm²)

Det bör påpekas att alla diametervärden normalt hänförs till mätningar gjorda på hålskanalen efter skott. Det som är intressant när det gäller att konstruera en fungerande teleskopprojektil är den "temporära" hålskanal som röret upplever på sin väg ner mot hålbotten. Denna är normalt smalare då återströmmande material blockerar en del av kanalen när penetrationen pågår. Dessutom är de redovisade diametervärdena ofta hänförs till ingångshålet eller i bästa

fall "medelvärden" för hålskanalen medan det intressanta måttet här är det minsta diameter-värde som gäller för större delen av hålskanalen (nära botten smalnar kanalen av). Hålskanalerna är ofta lite ojämna och vågiga snarare än jämna och släta. Detta blir mer och mer accentuerat ju sprödare materialet blir. Av ovanstående framgår att man bör dimensionera teleskopprojektilen så att kärnan gör ett hål med större diameter än de medelvärdesbildade "efter-skott"-värden som oftast redovisas i studierna.

I diagrammen har vi minsta-kvadrat-anpassat ett linjärt, ref [6], respektive ett kvadratisk, ref [7], uttryck till de i figurerna inlagda mätpunkterna. Dessa uttryck kan skrivas som

$$H = D(0,835 + 0,718 v) \quad (1) \quad (\text{ref [6]})$$

$$H = D(1,34 + 0,0467 v + 0,186 v^2) \quad (2) \quad (\text{ref [7]})$$

där H är håldiametern, D är projektildiametern och v är hastigheten i km/s.

I ref [8] har ovanstående försöksdata tillsammans med villkoret att $H = D$ för $v = 0$ sammanfattats i uttrycken

$$H = D(1 + 0,7 v) \quad (3) \quad (\text{ref [6]})$$

$$H = D(1 + 0,287 v + 0,148 v^2) \quad (4) \quad (\text{ref [7]})$$

För hastigheten 2,5 km/s skulle detta ge ett H/D - värde på drygt 2,6 medan det värde vi utvärderade i en egen studie med $L/D = 15$ -projektiler, ref [9], gav $H/D = 2,1$. Vårt värde utvärderades som ett medelvärde för hålet varför man kan misstänka att de värden som redovisats i ref [6] och [7] gäller ingångshålen. Detta styrks av att en egen utvärderingen av ett foto på en hålskanal ur ref [6] från ett skott med hastigheten 2549 m/s gav $H/D = 2,6$ för ingångshålet och 2,2 längre in i kanalen. I ref [10] har man utvärderat "medeldiametern" för kratern från en $L/D = 20$ -projektil och fått lägre H/D -värden än de som ovanstående anpassningar ger ($H/D = 2,5$ för $v = 2500$ m/s). En annan orsak till att H/D -värdena sprider är att stålets kvalitet (hårdhet) varierar. RHA kan ha hårdheter från drygt 250 till ca 325 kp/mm² och ändå ligga inom normen. I våra försök, ref [9], var hårdheten på stålet mellan 260 och 320 Vickers, i ref [10] 255-262 Brinell, i ref [6] 260-330 Brinell och i ref [7] 230-270 Brinell (Vickers och Brinellvärdena överensstämmer väl i detta hårdhetsintervall).

De i figur 3.1 och 3.2 redovisade håldiametrarna verkar således vara större än de värden som gäller för huvuddelen av den inre hålskanalen vilka är de som är intressanta ur teleskopprojektilsynvinkel. För att få "relevanta" H/D -värden vid höga hastigheter kan det vara rimligt att minska H/D - värdena som figur 3.1 och 3.2 ger med ca 15-20% (vi antar att förhållandet mellan ingångshålets och "medelhålets" diameter är konstant oberoende av hastigheten för v större än ca 2500 m/s).

En teleskopprojektil med förhållandet mellan kärnans och rörets diameter (D_k/D) lika med 0,5, som vi har som en "referenspil" här, måste således skjutas med minst hastigheten 2,5 km/s för att kunna fungera på avsett sätt i normalhårt pansarstål (om vi antar att $H/D = 2,1$).

För *hårda pansarstål* kan hålskanalen efter skott ibland ha större diameter än för mjukare och segare stål som RHA då delar av hålskanalen kan lossna pga adiabatisk skjuvning och sprödbrott, se ref [11]. Det är dock sannolikt att denna bredare hålskanal uppstår efter det att

penetrationen upphört och att den "effektiva" hålskanalen under penetrationen är mindre. I ref [12] redovisas skjutningar mot ett BHN-600-stål i 2500 m/s där $H/D = 1,9$ i tjocka plåtar och hålväggarna var klädda med fragmenterat stålmaterial. (I tunna plåtar var denna kvot 2,6 då flisor ("skjuvchips") hade lossnat och inte satt kvar i hålet.)

För hårda pansarstål måste således kärnans diameter vara större än halva rördiametern om teleskopprojektilen skall kunna fungera på avsett sätt i 2500 m/s.

För *titanpansar* finns endast ett fåtal resultat redovisade då det gäller hålskanalens diameter. Av ref [13] framgår dock att hålskanalen i titan (Ti-6/4) har ungefär samma diameter som i pansarstål (RHA) i hastighetsområdet 1500 till 2000 m/s. För titan borde således en "RHA-geometri" fungera bra. Hålskanalen i titan är dessutom starkt oregelbunden och "hackig" i stället för jämn och slät som i RHA-fallet. Detta beror på att titan uppför sig sprött (sprödbrott och adiabatisk skjuvning).

Diametern på hålskanalen i *aluminium* är större än i RHA. Av ref [14] framgår att diametern som en tungmetallprojektil gör i dural vid hastigheten 2500 m/s är ca 30% större än i RHA. En teleskopprojektil dimensionerad för att klara RHA borde således fungera bra även i aluminium.

I ref [15] finns foton och hålsdiameterar redovisade för tungmetallpilar med $L/D = 20$ och 30 mot RHA, titan och aluminium för hastigheten 1550 m/s. Hålsdiameteren i titan är för denna hastighet något mindre än motsvarande RHA- och aluminiumvärden men för de högre hastigheter som är aktuella för teleskopprojektiler borde den högre densiteten för RHA göra att hålskanalen blir mindre för RHA än för de övriga (lågdensitets)materialen. Den ojämna, och vid denna låga hastighet i vissa fall även krokiga, hålskanalen i titan framgår tydligt av bilderna i ref [15].

Utformas teleskopprojektilen så att *röret kommer före kärnan* blir kravet på rörets utformning att rör- och projektilmaterialen skall kastas utåt i kanalen som för en pilprojektil. I annat fall kommer kärnan att arbeta i en pelare av målmaterial eller i bakåtströmmande projektil- och målmaterial. Enligt ref [3] kräver detta att D_k/D är mindre än 0,7 men även då fås en viss initial strålbildning när röret träffar målet som möjligen kan påverka den efterföljande kärnan.

Tillåtna snedställningsvinklar

För slanka projektiler som pilprojektiler och teleskopprojektiler kan man definiera en kritisk snedställningsvinkel γ_{cr} som är den maximala snedställning som kan tillåtas innan projektilens bakände kommer i kontakt med väggen på den hålskanal som de framförvarande delarna av projektilen gjort i ett homogent vinkelrätt mål. Det kan vara rimligt att anta att om snedställningen är mindre än denna vinkel är inverkan på penetrationsförmågan försumbar medan större snedställningar gör att penetrationsförmågan reduceras och att denna nedgång blir större ju större snedställning projektilen har. För pilprojektiler stämmer ovanstående resonemang väl överens med experimentella resultat, se ref [16].

För en pilprojektil kan γ_{cr} skrivas som

$$\gamma_{cr} = \sin^{-1} \{(H - D)/2L\} \quad (5)$$

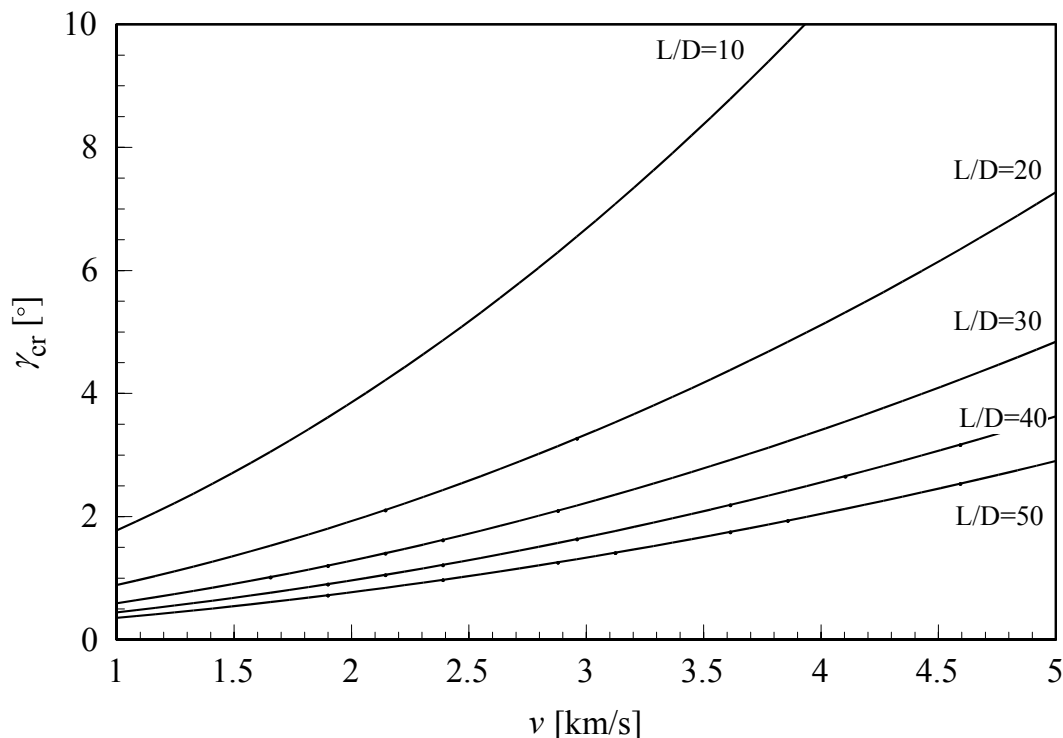
där H är "hål-diametern" (enligt ovanstående enkla geometriska samband egentligen den minsta diametern eller medeldiametern men ofta används ingångskraterns diameter, jämför diskussionen ovan).

I ref [16] har man sammanställt data för tungmetallprojektiler mot pansarstål och kommit fram till att hål-diametern som funktion av hastigheten kan skrivas som

$$H/D = 1.1524 + 0.3388 v + 0.1286 v^2 \quad (6)$$

där hastigheten skall anges i km/s och anpassningen gäller för hastighetsområdet 1200 till 4700 m/s. Detta uttryck ger ungefär samma värden som ekv (1)-(4) ovan. Så ger till exempel $v = 2500$ m/s att $H/D = 2,8$ att jämföra med drygt 2,6 enligt ekv (1)-(4). Även detta värde är då troligen att hänföra till ingångshålets diameter, inte hålets medeldiameter som ju är mer relevant.

Genom att kombinera ekv (5) med ett uttryck för hur hål-diametern varierar med hastigheten kan man göra diagram över hur γ_{cr} för pilprojektiler varierar med hastigheten för olika L/D -förhållanden. Väljer vi H/D sfa v enligt ekv (6) fås (jfr ref [16]):



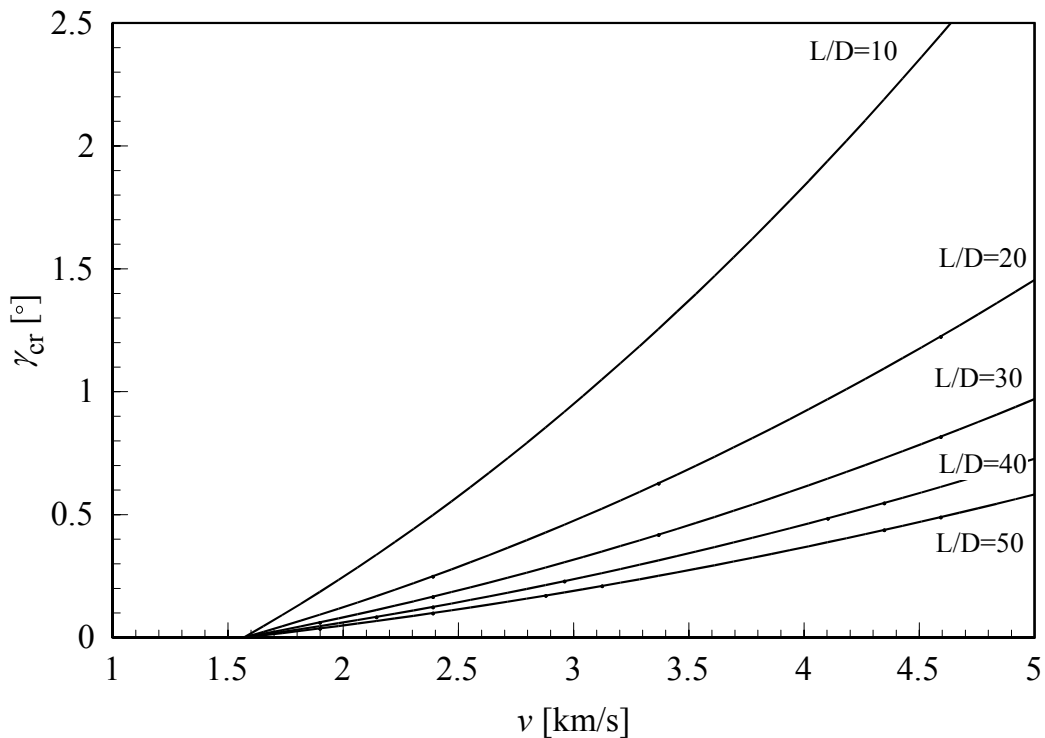
Figur 3.2.3. Maximalt tillåten snedställningsvinkel för att en pilprojektil inte skall slå i väggen på hålkanalen vid penetration av pansarstål

Som framgår av ovanstående kan endast små snedställningsvinklar tillåtas om en pilprojektil med stort slankhetstal skall kunna fungera optimalt. Hur stor nedsättningen av penetrationsförmågan blir om detta krav inte är uppfyllt finns experimentellt uppmätta data på i bl a ref [16]. För t ex en $L/D=30$ -pil är $\gamma_{cr} = 2.2^\circ$ vid hastigheten 3000 m/s enligt ekv diagrammet ovan och där går penetrationsförmågan ner till hälften för en snedställning på 5° . Detta indikerar att man inte kan överskrida den kritiska vinkeln särskilt mycket innan penetrationsförmågan avtar rejält för en pilprojektil. En teleskopprojektil torde vara minst lika känslig.

Teleskopprojektiler där kärnan kommer före röret, vilket enligt ovan är önskvärt från verkanssynpunkt, är känsligare för snedställning än motsvarande långa pilprojektil och detta blir givetvis ändå mer accentuerat om man jämför med en hopskjuten referensprojektil. Om L , D och H hänförs sig till den hopskjutna projektilen kan γ_{cr} för en teleskopprojektil med $D_k/D = 0,5$ skrivas som

$$\gamma_{cr} = \sin^{-1} \{(H-2D)/8L\} \quad (7)$$

Om H/D antas följa ekv (6) ovan skulle de kritiska snedställningsvinklarna för teleskopprojektilen bli enligt figur 3.2.5 nedan:



Figur 3.2.3. Maximalt tillåten snedställningsvinkel för att en teleskopprojektil där kärnan kommer före röret inte skall slå i väggen på hållkanalen vid penetration av pansarstål. Kärnans diameter är hälften av rörets diameter.

Är hastigheten mindre än 1600 m/s blir kraterdiametern mindre än dubbla kärndiametern och då ger ovanstående antaganden att ingen snedställning kan tillåtas. Liknande diagram kan ritas för andra D_k/D -förhållanden och målmaterial.

Av diagrammet framgår att en projektil med hopfällt $L/D = 30$ har ett $\gamma_{cr} = 0.2^\circ$ för hastigheten 2500 m/s. Antar vi att $H/D = 2,1$ (som vi själva mätt upp för tungmetallpil mot RHA vid denna hastighet, ref (9)), skulle vi få en maximalt tillåten snedställningsvinkel på 0.02° , dvs ingen snedställning alls kan tillåtas. För hastigheten 3000 m/s blir $\gamma_{cr} = 0.3^\circ$ enligt diagrammet ovan och 0.15° med en 20-procentig nedräkning av H/D -värdet för att anpassa resultaten till våra egna resultat enligt resonemanget ovan.

Som framgår av ovanstående kan endast mycket små snedställningsvinklar tillåtas om teleskopprojektiler skall kunna fungera optimalt. Hur stor nedsättningen av penetrationsförmågan blir om detta krav inte är uppfyllt finns det inga experimentella uppgifter till-

gängliga om. En teleskopprojektil torde dock vara minst lika känslig som en pilprojektil och som framgått av diskussionen om pilprojektiler ovan kan den kritiska vinkeln inte överskridas särskilt mycket innan penetrationsförmågan avtar rejält.

Skjuter man teleskopprojektilen med *röret före kärnan* blir den tillåtna snedställningsvinkeln för $D_k/D = 0,5$

$$\gamma_{cr} = \sin^{-1} \{(2H-D)/8L\} \quad (8)$$

om man antar att röret gör en krater med lika stor diameter som motsvarande pilprojektil. Detta antagande är optimistiskt men kan ge en övre gräns för vad som skulle kunna åstadkommas med inte alltför tunnväggiga rör. I ref [5] har man mätt upp värden på H/D för en $D_k/D = 0,5$ -projektil på 2,3 för hastigheten 2500 m/s och 2,6 för 3000 m/s vilket kan jämföras med 2,8 resp 3,3 enl ekv (6). Med antagandet att håldiametern följer ekv (6) får vi då att $\gamma_{cr} = 1,1^\circ$ att jämföra med $0,2^\circ$ för en "rättvänd" pilprojektil och $1,3^\circ$ för motsvarande pilprojektil. Även för en "felvänd" teleskopprojektil blir således den kritiska vinkeln liten.

3.3 Resultat från försök och simuleringar med teleskopprojektiler

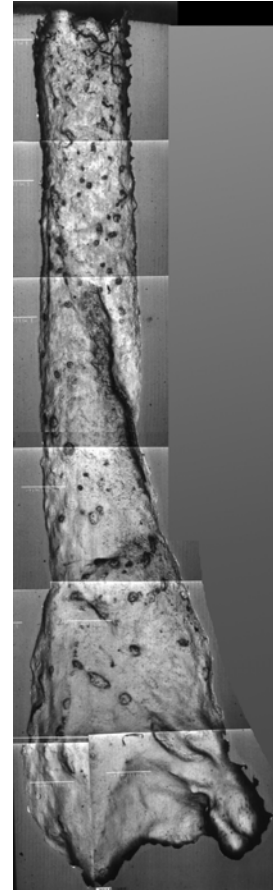
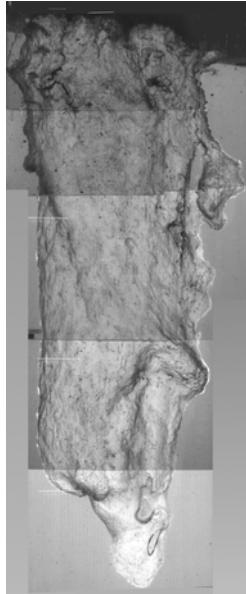
Metalliskt pansar

Teleskopprojektilers uppträdande i homogena mål (pansarstål respektive keram) har tidigare studerats experimentellt och med kontinuumdynamiska simuleringar vid FOA. Vid dessa studier var projektilens längd-kaliber-förhållande (L/D) lika med 6 och förhållandet mellan kärnans och rörets diameter (D_k/D) lika med 0,5.

I *pansarstål*, ref [4], visade simuleringarna att teleskopprojektilen skulle ge nästan dubbla penetrationen jämfört med motsvarande pilprojektil. Vid försöken erhöles endast 20 resp 40% förbättring vid 2500 resp 3000 m/s. Av hålskanalernas utseende, se figur 3.3.1 nedan, framgår att hålskanalerna är sneda och osymmetriska vilket beror på problem med skjuttekniken (bl a relativt stora eldrörssvängningar).

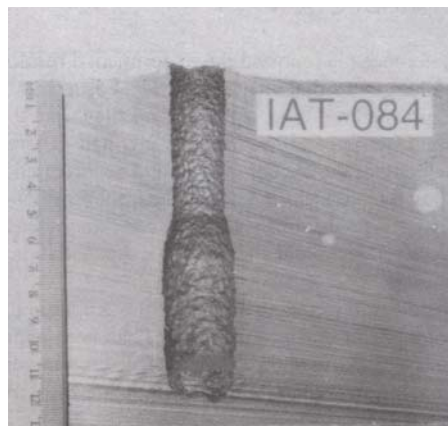
Vid den lägre hastigheten har röret träffat väggen på hålet som kärnan gjort och huvudsakligen vidgat hålskanalen i stället för att fördjupa den. Man kan tänka sig alla varianter av nedsättning av rörets penetrationsförmågan från ovan illustrerade stora nedgång då röret i huvudsak konsumeras på hålväggen till att delar av röret eroderas eller länkas av mot hålväggen men i huvudsak arbetar i botten på penetrationskanalen och fördjupar denna.

Vid den högre hastigheten har röret passerat genom det hål kärnan gjort men hålskanalen är osymmetrisk och vid, troligen till följd av att röret varit snedställt. Av försöken med enbart rörprojektiler i samma studie, framgår att ett rör med $D_k/D = 0,5$ ger ungefär samma penetrationsdjup som en lika lång pilprojektil. En teleskopprojektil där röret inte interagerar med kärnans hålskanal borde därför kunna få en penetrationsförmåga i metalliska material som närmar sig dubbla den som en hopskjuten pilprojektil har.



Figur 3.3.1. Hålskanaler i pansarstål från teleskopprojektiler med hastigheterna 2500 o 3000 m/s

I ref [17] redovisas försök med teleskopprojektiler mot pansarstål ($D_k/D = 0,56$, $L/D = 4,5$ och hast 2900 m/s) där ca 60% förbättring relativt den hopskjutna projektilen erhöles. Hålprofilen framgår av nedanstående figur.



Figur 3.3.2. Hålprofil från teleskopprojektil med $D_k/D = 0,56$ och $L/D = 4,5$ mot pansarstål. Anslagshastigheten är 2900 m/s

Även den del som röret gjort är jämn och slät men diametern är mindre än vad en pil med rörets diameter skulle åstadkomma.

I ref [18] redovisas försök och simuleringar med teleskopprojektilen som användes i ref [17] ovan mot ett homogent RHA-mål där projektilen träffar en yta som är snedställd 65° (NATO) med hastigheter från 1800 till 2200 m/s. För att teleskopprojektilen skall få samma penetrationsförmåga (definierad som gångväg i målet) i detta mål som om den träffar ett vinkelrätt mål skall den ha en liten snedställningsvinkel relativt hastighetsvektorn så att den "lutar ut" från målet. Detta förklaras, bl a medhjälp av kontinuumdynamiska simuleringar, med att den krater som kärnan gör inte blir tillräckligt vid för att det efterföljande röret skall kunna passera ostört. Detta problem blir mindre ju högre hastighet projektilen har.

Kerampansar

Den enda studie som redovisats av teleskopprojektilers penetrationsförmåga i keramiska material har gjorts på FOA, ref [19] och [20]. Man kan förvänta sig att det borde vara svårare att få en teleskopprojektil att fungera bra då hålskanalen dels blir smalare och mer oregelbunden och dels kan innehålla kringflygande material som gör att hålskanalen kan "självläka". Detta skulle indikera att större D_k/D än 0,5 skulle krävas för att få goda prestanda i keramiska mål. I FOA-studien redovisas simuleringar och experiment på en teleskopprojektil med $D_k/D = 0,5$. Simuleringarna gav ca 20% bättre penetration relativt motsvarande homogena projektil vid 2500 m/s och ca 25% vid 3000 m/s, dvs väsentligt lägre förbättringar än vad motsvarande simuleringar i stål gav, se ref [4]. Vid försöken erhöles ca 25 respektive 40% förbättring, dvs ungefär samma förbättringar som vid motsvarande försök mot stål. Teleskopprojektiler är således effektivare än vanliga pilprojektiler även vid keramiska mål.

4. Penetration av sneda plåtar och reaktivt pansar

Moderna pansarkonstruktioner består ofta av ett homogent "konsumerande" grundpansar kompletterat med yttre pansarmoduler som stör projektilen genom att utsätta den för snedkrafter som kröker, bryter sönder och/eller roterar projektilen innan den träffar huvudpansaret. Exempel på sådana "snedkraftspansar" är sneda plåtar och olika typer av "aktiva" pansar där en pansarkomponent kastas mot projektilen (reaktivt pansar, sensoraktiverade skydd). De goda penetrationsegenskaper som en ostörd teleskopprojektil har i homogent pansar måste kombineras med tillräcklig tålighet mot dessa snedkraftsmoduler för att en teleskopprojektil skall kunna bli aktuell i en vapentillämpning.

Det finns ingenting publicerat öppet om hur teleskop- eller rörprojektiler interagerar med denna typ av pansar. Att teleskopprojektiler kan få problem då de träffar sneda ytor har dock konstaterats i kapitel 3.3 ovan. I detta kapitel diskuteras olika allmänna aspekter på detta problem och dessutom redovisas resultat från några inledande kontinuumdynamiska simuleringar.

4.1 Inledande diskussion

Man kan tänka sig ett stort antal varianter av hur kärnan är infäst i röret från det att de båda delarna är friflygande i förhållande till varandra till att de är "fast inspända" genom att en del av kärnan fortfarande är instucken i röret.

Vid teleskopprojektilers penetration i homogent pansar har detta endast betydelse genom att den totala utfällda längden påverkas. De höga hastigheter som teleskopprojektiler har ger lokal konsumtion av projektilspetsen och liten inbromsning av efterföljande projektildelar.

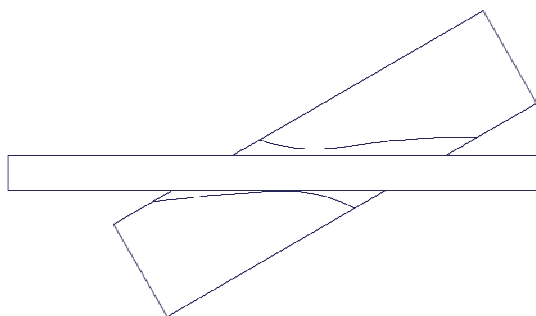
I "snedkraftspansar" kan det däremot ha stor betydelse för hur projektilen reagerar i och med att momentöverföringen från kärnan till röret beror av denna infästning. Infästningens karaktär avgör också hur det resulterande längdtröghetsmomentet och därmed rotationen och deformationen hos projektilen blir.

Sneda plåtar

Då en teleskopprojektil där kärnan kommer före röret penetrerar en snedställd plåt kan två olika huvudfall särskiljas: antingen kan röret passera plåten ostörd eller så slår den främre delen av röret i plåten. Detta är i princip samma problem som man har i homogena mål men förutom att hålet, som där, kan få för liten diameter kan man tänka sig att projektilen inte går centralt i hålet utan ligger närmare en av sidorna.

Om den snedställda plåten är tunn relativt kärndiametern borde det hål som slås upp ha större diameter än hålet inne i ett homogent mål pga randeffekter från plåtytorna (jämför det större ingångshålet relativt det mindre hålet inne i målet vid homogena mål). Man brukar ofta tala om att randeffekter får betydelse när projektilen är på ca en projektildiameters avstånd från en gränssyta. Om vi studerar typfallet att $D_k/D = 0,5$ skulle vi få att mitten på en plåt som är lika tjock som referensspilen (den hopskjutna teleskopprojektilen) skulle ligga precis i det opåverkade området varför minsta håldiametern för detta fall borde vara densamma som inne i ett homogent mål. Med detta resonemang skulle det krävas plåtar som är tunnare än referensprojektilens diameter för att (det projicerade) hålet skulle bli större i en snedställd plåt än inne i ett homogent mål.

Det finns indikationer från såväl experiment som kontinuummekaniska simuleringar på att projektilen inte går centrerat i hålet då den går genom en snedställd plåt. I stället tycks det som att den går närmare den "undre delen på ingångshålet" enligt nedanstående figur:



Figur 4.1.1. Projektilens läge i hålskanalen vid passage av en snedställd plåt. Projektilen går från höger till vänster. Bilden bygger på indikationer från experiment och kontinuummekaniska simuleringar

Om det är på detta sätt kommer framänden på röret att slå i plåten, dvs projektilen kommer att utsättas för två snedkrafter vid passagen av en snedställd plåt. Är påverkan från plåten på röret tillräckligt stor skulle detta kunna medföra att övergången kärna-rör konsumerades så att även en från början sammanhängande projektil kommer att fortsätta som två separata delar (eller ändå fler som när en pilprojektil bryts av). Det är således inte givet att man kan räkna med att utforma övergången kärna-rör så att man kan tillgodogöra sig den potentiella vinsten i form av mindre rotation som en sammanhängande projektil med stort längdtröghetsmoment skulle kunna ge.

Ett antal snedställda tunna plåtar med tillräckligt avstånd mellan sig skulle således kunna bli ett viktseffektivt pansar mot teleskopprojektiler (och även mot pilprojektiler då sneda plåtar konsumerar proportionellt mycket större längd av en pilprojektil vid höga hastigheter (2,5 km/s) än de gör vid dagens vapenhastigheter (1.5 km/s), se ref [21]).

Reaktivt pansar

Den primärt verksamma mekanismen hos ett reaktivt pansar är den mekaniska påverkan på projektilen som erhålls av de två plåtar som kastas ut då sprängämnet detonerar. För att bygga upp en grundläggande förståelse för hur reaktivt pansar (och aktivt pansar) fungerar studerar vi därför elementarfallet att en projektil träffar en rörlig plåt.

För pilprojektiler har detta studerats med kontinuumdynamiska simuleringar (se t ex ref [21]) och för närvarande pågår ett experimentellt arbete vid FOI (omvända skjutförsök där en snedställd plåt skjuts mot en snedställd projektil vilket är kinematiskt ekvivalent med ovannämnda grundfall) där inflytandet av projektilens och plåtens hastighet studeras. Både simuleringarna och de första försöksresultaten indikerar att en medflygande plåt (bakre plåten i ett reaktivt pansar) ger väsentligt större påverkan på projektilen än en motflygande plåt.

Inga simuleringar eller försök med vare sig rör- eller teleskopprojektilers uppträdande i reaktiva pansar finns redovisade. Det faktum att plåtarna rör sig mot projektilen medför dock att framänden på röret alltid kommer att slå i plåten med åtföljande snedkrafter och eventuella (troliga?) avbrytning av projektilen. Dessutom tillkommer den tryckkraft som den rörliga plåten ger på sidan av kärnan och röret. Då kärnan har mindre diameter och därmed böjstyvhet än referenspilen kan man anta att denna påverkas väsentligt mer av ett reaktivt pansar. Röret borde påverkas mindre men det är svårt att veta hur det kommer att deformeras.

Det faktum att en teleskopprojektil är dubbelt så lång som motsvarande referensprojektil ställer andra krav på det reaktiva pansarets dimensionering. Vill man påverka hela projektillängden krävs antingen större (längre) reaktiva paneler eller att plåtarna ges en lägre hastighet än för ett pansar som skall skydda mot motsvarande pilprojektil. Inverkan på det reaktiva pansarets skyddsförmåga av att endast en viss längd av projektilen interagerar med plåtarna är det dock inte möjligt att uttala sig generellt om. Huruvida det är bra eller dåligt är beroende av hur sönderslagning/konsumtion och återförande moment samverkar.

4.2 Kontinuumdynamiska simuleringar

En av de stora osäkerheterna vad gäller teleskopprojektilers realiserbarhet ligger som framgått av ovanstående i hur de kommer att uppträda i snedkraftspansar. Som ett första steg för att utreda detta har ett antal kontinuumdynamiska simuleringar genomförts. Simuleringarna genomfördes med programmet AUTODYN 3D, ref [22], med såväl projektil som plåt beskrivna i Lagrangekoordinater. Gridindelning och materialdata framgår av Appendix.

Teleskopprojektilen sköts "rättvänd", dvs med kärnan före röret, hade $D = 2 \text{ mm}$, $D_k/D = 0,5$, $L/D = 15$ (hänfört till den hopskjutna projektilen) och kärnan och röret var två separata projektiler med ett litet avstånd mellan delarna (kärnans diameter) för att få ett väldefinierat randvillkor. För att belysa inverkan av kopplingen kärna-rör gjordes dessutom några simuleringar av fallet att de två delarna var styvt fastsatta i varandra (kärnan instucken en kärndiameter i röret, den utstickande delen av kärnan lika lång som röret och kärnan och röret

modellerad som en och samma kropp). Målplåten hade samma tjocklek som rörets ytterdiameter och var vinklad 60° (NATO). Projektilutformningen med separerad kärna-rör simulerades för två projektilhastigheter (2500 och 3000 m/s) och två plåthastigheter (0 och hastigheten 200 m/s vinkelrätt projektilens hastighetsvektor, obs inte vinkelrätt projektilens plan som är vanligt vid simuleringar av reaktivt pansar). Utformningen med fast kärna-rör samt referenspilen simulerades för projektilhastigheten 3000 m/s och ovanstående två plåthastigheter. Figur 4.2.1 visar hur kärnan och röret interagerar med en stillastående plåt ($v=2500$ m/s).

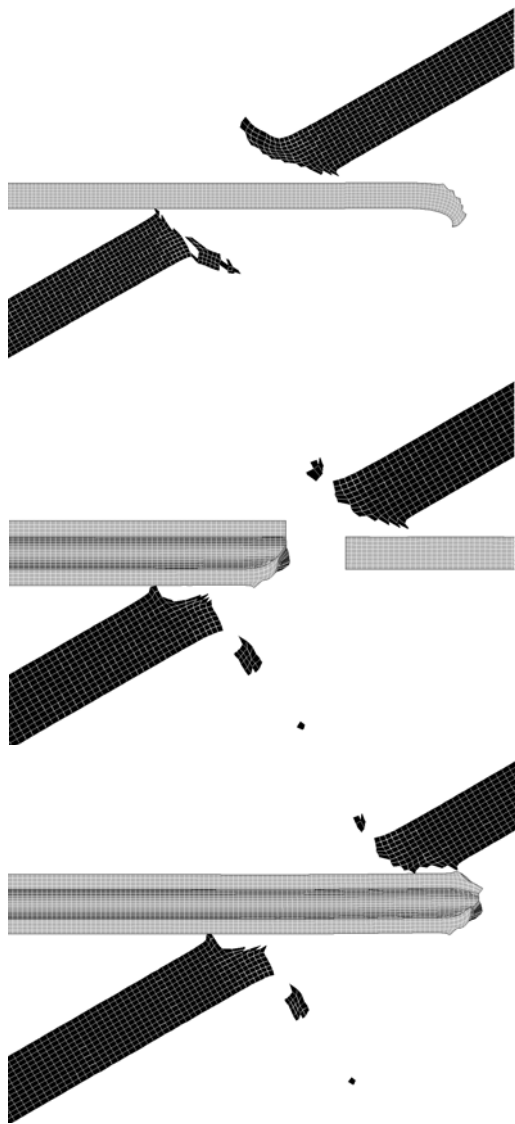
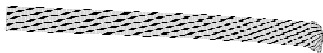
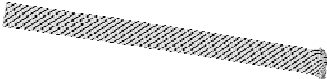
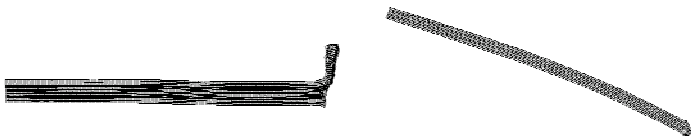
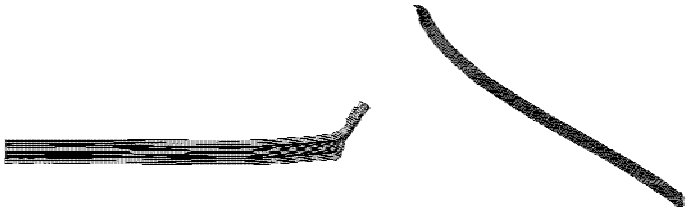
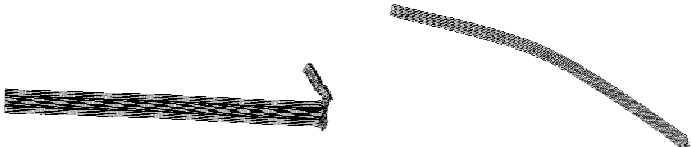


FIG 4.2.1. Teleskopprojektilens interaktion med en stationär målplåt. $v = 2500$ m/s. Separat kärna och rör. Figurerna visar snitt genom symmetriplanet vid tre olika tider

Kärnan verkar ligga närmare den undre plåtkanten (jfr resonemanget i kap 4.1 ovan) och röret slår i både under- och ovansidan på plåten. Det bör dock påpekas att hålskanalernas simulerade utseende oftast stämmer sämre än det simulerade håldjupet och dessutom beror starkt av de materialmodeller och erosionsvillkor som används varför resultaten av dessa simuleringar är behäftade med stora osäkerheter.

I nedanstående figur visas bilder på projektilens utseende $100 \mu\text{s}$ efter att projektilspetsen träffat plåten för de ovan nämnda kombinationerna av projektilgeometri, plåt- och projektilhastighet. I ett fullskalefall, som vi definierar som en projektil med diametern 25 mm innebär

detta att bilderna visar projektilens utseende 1,25 ms efter träff dvs 3,1 ($v = 2500$ m/s) resp 3,8 m ($v = 3000$ m/s) bakom den punkt där projektilen träffade plåten.

	A Referenspil Stillastående plåt $v = 3000$ m/s
	B Teleskopprojektil Separat kärna och rör Stillastående plåt $v = 3000$ m/s
	C Teleskopprojektil Kärnan fast i röret Stillastående plåt $v = 3000$ m/s
	D Referenspil Rörlig plåt $v = 3000$ m/s
	E Teleskopprojektil Separat kärna och rör Rörlig plåt $v = 3000$ m/s
	F Teleskopprojektil Kärnan fast i röret Rörlig plåt $v = 3000$ m/s
	G Teleskopprojektil Separat kärna och rör Stillastående plåt $v = 2500$ m/s
	H Teleskopprojektil Separat kärna och rör Rörlig plåt $v = 2500$ m/s

Figur 4.2.2. Projektilens utseende 100 μ s efter att projektilspetsen träffat plåten

Följande kommentarer kan göras till fig. 4.2.2:

-Referensprojektilen har roterat mer än röret i teleskopprojektilen vid träff i en stillastående plåt (jfr A, B och C). Simuleringarna visar att det hål kärnan gjort i plåten inte varit tillräckligt stort för att röret skall kunna passera ostört även vid hastigheten 3000 m/s men att den störning som överförs på röret blir liten på grund av detta hål. Detta indikerar att en teleskopprojektil skulle kunna vara effektivare än motsvarande hopskjutna referenspil även i sneda plåtmål.

-Utformningen av kopplingen kärna-rör verkar inte ha något större inflytande på restprojektlens uppträdande (jfr B-C och E-F).

- En "stark" koppling mellan kärnan och röret gör att projektilen håller ihop vid genomslag av en stillastående plåt. En rörlig plåt gör att kärnan och röret separerar (jfr C och F).

-En rörlig plåt stör framför allt ut kärnan medan röret påverkas mindre (jfr E-B och F-C).

-Ingen större skillnad verkar föreligga mellan $v = 2500$ och 3000 m/s (jfr G-B och H-E). Projektilen går dock rakare i den högre hastigheten.

5. Slutsatser

Teleskopprojektiler har potential att radikalt kunna öka penetrationsförmågan relativt motsvarande hopskjutna pilprojektil i homogent pansar vid höga hastigheter. En genomgång av den öppna litteraturen och egna försök tyder på att penetrationsförmågan skulle kunna närmast fördubblas i såväl stål-, titan- som aluminiumpansar. Även i kerampansar kan stor förbättring erhållas.

Det finns i litteraturen ingen information tillgänglig om hur teleskopprojektiler uppträder i pansar som utsätter projektilen för snedkrafter, t ex sneda plåtar och reaktiva paneler. Kontinuumdynamiska simuleringar har därför genomförts som indikerar att de störningar som överförs är så måttliga att teleskopprojektiler borde kunna fungera bra även i denna typ av pansar.

För att kunna bedöma om teleskopprojektiler kan bli aktuella i en vapentillämpning bör försök mot snedkraftspansar genomföras.

För att kunna optimera en teleskopprojektil krävs mer kunskap om rörprojektilers penetrationsförmåga i homogena mål. Dessutom måste inflytandet av små pendlingsvinklar utredas närmare för att en projektil med tillräckligt robust utformning skall kunna tas fram.

Konstruktiva lösningar på hur den hopskjutna projektilen skall dras ut när projektilen närmar sig målet blir i hög grad beroende av hur utskjutningen av projektilen går till och måste studeras när (om) det blir aktuellt att ta fram konkreta vapenkoncept.

Referenser

1. D. L. Littlefield and W. g. Reinecke, Penetration mechanics of extending hemicylindrical rods. *Proc. 19th. Int. Symp. on Ballistics*, Interlaken, Switzerland, Vol . 3, pp 1215-1222 (2001).
2. R. R. Franzen, Notes on tubular hypervelocity penetrators. *Proc. 10th. Int. Symp. on Ballistics*, San Diego, (1987).
3. R. R. Franzen and P. N. Schneidewind, Observations concerning the penetration mechanics of tubular hypervelocity penetrators. *Int. J. Impact Engng* **11**(3), 289-303 (1991).
4. L. Holmberg, Teleskopprojektilers penetrationsegenskaper i homogent pansarstål. Bilaga till FOA dnr 95-3216/S (1995).
5. M. Lee and S. J. Bless, Cavity models for solid and hollow projectiles. *Int. J. Impact Engng* **21**, 881-894 (1998).
6. V. Hohler and A. J. Stilp, Penetration of steel and high density rods in semi-infinite steel targets. *Proc. 3rd. Int. Symp. on Ballistics*, Karlsruhe, Germany, (1977).
7. G. F. Silsby, Penetration of semi-infinite steel targets by tungsten long rods at 1.3 to 4.5 km/s. *Proc. 8th. Int. Symp. on Ballistics*, Orlando, FL, (1984).
8. J. D. Walker and C. E. Anderson, Jr, A time-dependent model for long-rod penetration. *Int. J. Impact Engng* **16**(1), 19-48 (1995).
9. P. Lundberg and L. Holmberg, Replica modelling experiments with long rod projectiles into homogeneous armour steel. *Proc. 16th. Int. Symp. on Ballistics*, San Fransisco, Ca, Vol. 3, pp 329-338 (1996).
10. N. J. Lynch, R. Subramanian, S. Brown and J. Alston, The influence of penetrator geometry and impact velocity on the formation of crater volume in semi-infinite targets. *Proc. 19th. Int. Symp. on Ballistics*, Interlaken, Switzerland, Vol.3, pp 1265-1271 (2001).
11. L. Ekbom, S. Bogegård, L. Holmberg and L. Westerling, A comparison of the mechanical properties of KE penetrator tungsten alloys and their ballistic performance. *Proc. 9th. Int. Symp. on Ballistics*, Shrivenham, Great Britain, (1986).
12. S. J. Bless, W. Gooch, S. Satapathy, J. Campos and M. Lee, Penetration resistance of titanium and ultra-hard steel at elevated velocities. *Int. J. Impact Engng* **20**, 121-129 (1997).
13. N. L. Rupert, F. I. Grace, W. Huang, L. E. Murr and C-S. Niou, Energy partitioning and microstructural observations related to perforation of titanium and steel targets. ARL-TR-1453, Army Research Laboratory, Aberdeen Proving Grounds, MD, (1997).
14. V. Hohler and A. J. Stilp, Long-rod penetration mechanics. In *High velocity impact dynamics* (J. A. Zukas ed.), Wiley Interscience, John Wiley and Sons, New York, ISBN 0-471-51444-6 (1990).
15. H.-J. Ernst, W. Lanz and T. Wolf, Penetration comparison of L/D = 20 and 30 monoblock penetrators with L/D = 40 jacketed penetrators in different target materials. *Proc. 19th. Int. Symp. on Ballistics*, Interlaken, Switzerland, Vol.3, pp 1151-1157 (2001).
16. T. W. Bjerke, G. F. Silsby, D. R. Scheffler and R. M. Mudd, Yawed long-rod armor penetration. *Int. J. Impact Engng* **12**(2), 281-292 (1992).
17. N. J. Lynch, R. Subramanian, C. Brissenden and P. Shears, Terminal ballistic performance of novel KE penetrators. *Proc. 15th. Int. Symp. on Ballistics*, Jerusalem, Israel, Vol . 3, pp 35-42 (1995).

18. N. J. Lynch, C. Brissenden and P. Shears, Terminal ballistic performance of two novel KE penetrator shapes against oblique semi-infinite RHA. *Proc. 18th. Int. Symp. on Ballistics*, San Antonio, TX, Vol . 2, pp 1011-1018 (1999).
19. P. Lundberg och L. Holmberg, Teleskopprojektilers och segmenterade projektilers penetrationsegenskaper i keram. FOA-D--96-00244-2.3,2.4--SE (1996).
20. L. Westerling, P. Lundberg, L. Holmberg and B. Lundberg, High velocity penetration of homogeneous, segmented and telescopic projectiles into alumina targets. *Int. J. Impact Engng* **20**, 817-827 (1997).
21. E. Lidén, J. Ottosson and L. Holmberg, WHA long rods penetrating stationary and moving oblique steel plates. *Proc. 16th. Int. Symp. on Ballistics*, San Fransisco, CA, (1996).
22. N. K. Birnbaum, M. S. Cowler, M. Itoh, M. Katayama and H.Obata, AUTODYN- an interactive non-linear dynamic analysis program for microcomputers through supercomputers. *Ninth international conference on structural mechanics in reactor technology*, Lausanne, Switzerland, (1987).

Gridindelning och materialdata använda vid de kontinuumdynamiska simuleringarna

Gridindelningar

Teleskopprojektil med separat kärna och rör:

Plåt: IMAX = 41, JMAX = 161, KMAX = 13

Kärna: IMAX = 9, JMAX = 5, KMAX = 181 (zonindelning "type 2")

Rör: IMAX = 5, JMAX = 17, KMAX = 181

Teleskopprojektil med kärnan fast i röret:

Plåt: Som ovan

Kärna: IMAX = 19, JMAX = 10, KMAX = 181 (zonindelning "type 2")

Rör: IMAX = 5, JMAX = 17, KMAX = 181

Hopskjuten projektil:

Projektil: IMAX = 21, JMAX = 11, KMAX = 181

Materialdata:

Plåten:

Stål (Steel 4340 i AUTODYNS materialbibliotek)

EOS:	Linear
STRENGTH:	Johnson-Cook
FAILURE:	Bulk Strain 12%
EROSION:	Incremental Geometric Strain = 100%

Projektilen:

Tungmetall (Tung. alloy i AUTODYNS materialbibliotek)

EOS:	Shock (Mie-Grüneisen)
STRENGTH:	Johnson-Cook
FAILURE:	None
EROSION:	Incremental Geometric Strain = 100%