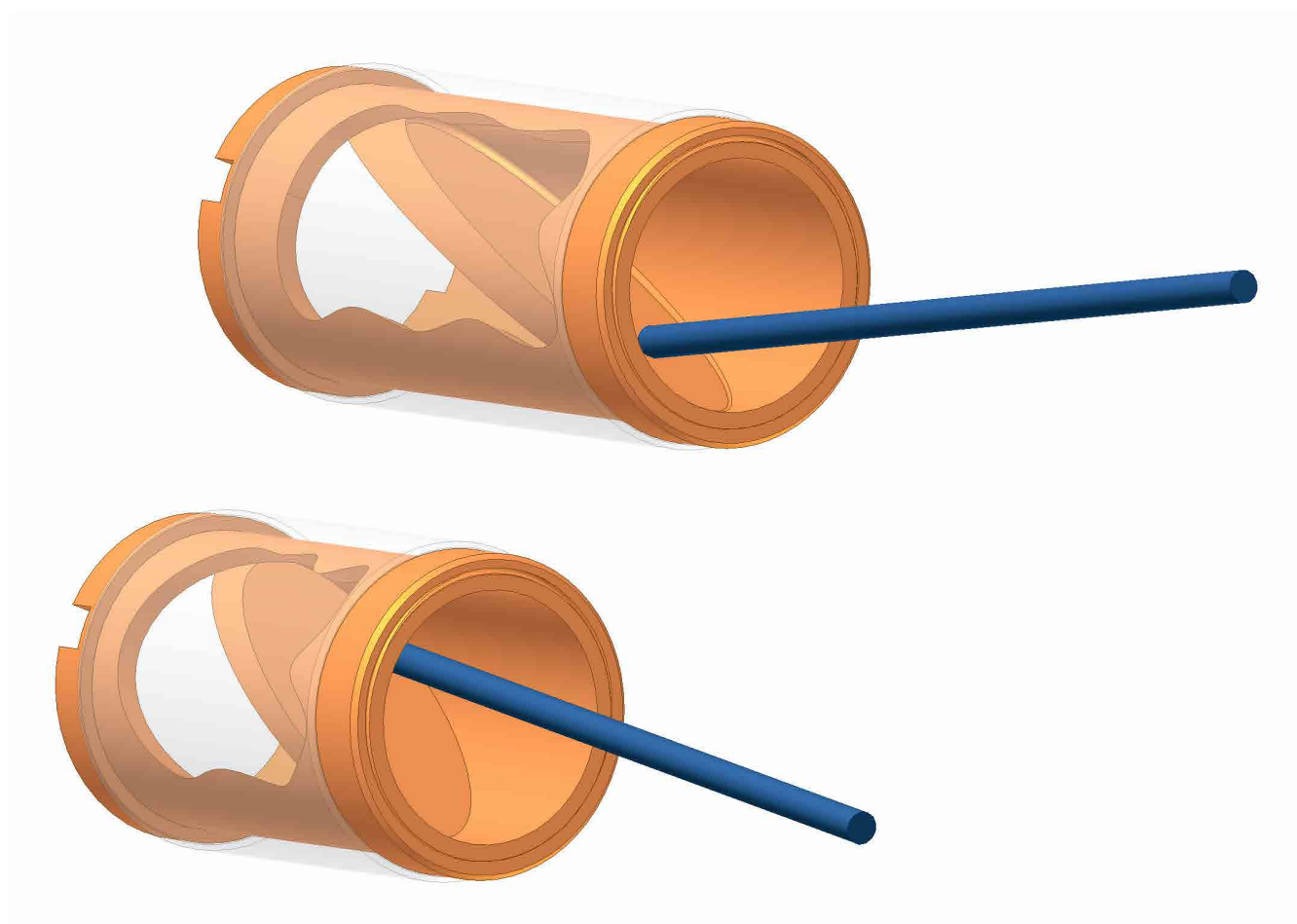


Ewa Lidén, Olof Andersson, Anders Tjernberg

Inverkan av grundläggande plåt- och projektilparametrar på rörliga plåtars skyddsförmåga



Ewa Lidén, Olof Andersson, Anders Tjernberg

Inverkan av grundläggande plåt- och projektilparametrar på rörliga plåtars skyddsförmåga

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

Sammanfattning	2
Bakgrund	3
Experimentell metod	5
Utvärderingsmetod	10
Simuleringsmodeller	15
Resultatläget	
Inverkan av plåtvinkel	17
Inverkan av projektilens slankhetstal	22
Inverkan av plåthastighet	25
Referenser	33

SAMMANFATTNING

Framtida skydd mot tyngre KE-projektiler kommer sannolikt att innehålla någon typ av dynamiskt tillägsskydd eller åtminstone stationära delkomponenter avsedda att störa projektilen före anslaget mot grundpansaret. Eftersom KE-projektiler är mycket svårstörda (stor rörelsemängd och robust konstruktion) krävs en kraftig påverkan på projektilen för att uppnå tillräcklig skyddseffekt. Ofta kan därför relativt komplicerade skyddsarrangemang förekomma där de ingående delförloppen är svåra att utskilja och bedöma effekten av. För att erhålla en detaljförståelse av förloppet kan problemet renodlas så att effekten av de dominerande delförloppen kan studeras.

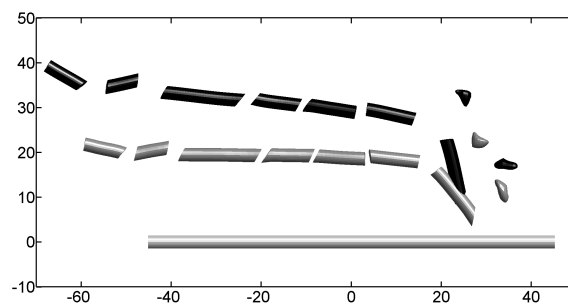
En grundkomponent som förekommer i många olika skyddskoncept är en relativt tunn snedställd plåt, rörlig eller stationär, som har till uppgift att snedställa eller slå sönder projektilen innan den träffar ett efterföljande grundpansar. Målsättningen med de pågående studier som rapporteras här är att förstå hur en sådan störplåt påverkar projektilen och vilka parametrar som ger kraftigast utslag. Resultaten kan sedan användas vid utveckling av pansarkonstruktioner avsedda mot KE-projektiler samt bedömning av framtagna koncepts potential.

Det fall som studeras är en relativt tunn stålplåt (tjocklek lika med projektildiametern) som rör sig i sin normals riktning, mot eller med projektilen samt referensfallet stillastående plåt. De parametrar som studien omfattar är plåtens hastighet (både belopp och riktning), vinkel och tjocklek. Vidare undersöks hur projektilens slankhetstal, hastighet och material inverkar på resultatet. I denna rapport redovisas inverkan av plåtens hastighet och vinkel samt projektilens slankhetstal.

I arbetet har ingått att utveckla en lämplig försöksmetod och en utvärderingsmetodik med vars hjälp vi kan kvantifiera resultaten från försöken. Som ytterligare stöd för utvärdering och förståelse för förloppen används kontinuummekaniska simuleringar.

Genomförda försök visar att en snedställd störplåt ger konsumtion av projektilens spets, sönderslagning av projektilen samt sidoförflyttning och rotation av projektilen. Störplåten ger inte upphov till någon betydande hastighetsminskning på projektilen.

Effektivast ur skyddssynpunkt generellt är den snabba medflygande plåten som ger såväl kraftig sönderslagning av projektilen som en utspridning av projektilfragmenten genom den överförda rotationen.



Figur 1. Sönderslagning av L/D=30-projektil till följd av interaktion med medflygande plåt med hastigheten 300 m/s och 60° lutning.

En relativt stor plåtvinkel är att föredra och effekterna ökar med ökande hastighet på den medflygande plåten. Vid motflygande plåt är det däremot ingen fördel att öka plåthastigheten. Den avgörande skillnaden mellan med- och motflygande plåt är att den medflygande plåten verkar på projektilen under en längre tid.

Störplåten ger också upphov till en sidoförflyttning som vid mycket långa avstånd (sensoraktiverade skydd) kan innebära att projektilen missar målet. Det krävs också relativt långa avstånd för att rotationen ska hinna ge stora snedställningar av projektilen. Även små snedställningsvinklar kan dock vara förödande för projektilens fortsatta penetrationsförmåga [1]. Vid långa avstånd mellan störplåt och huvudpansar, som till exempel i sensoraktiverade skydd, kan det vara effektivt att använda motflygande plåt med förhållandevis liten snedställningsvinkel och låg hastighet då en sådan troligen är enklast att realisera konstruktivt.

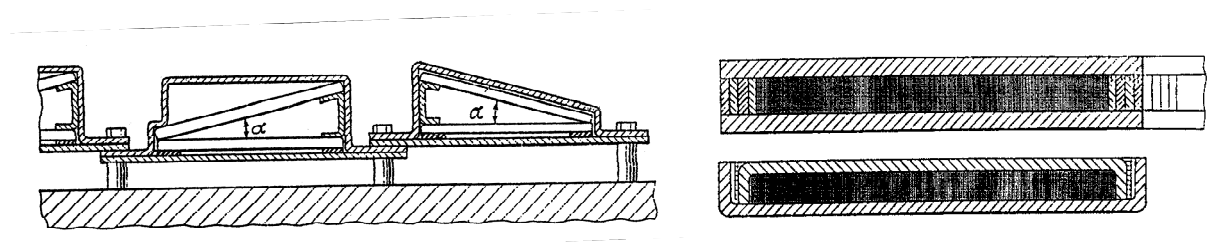
Den kvalitativa påverkan av störplåten på projektilen överensstämmer väl mellan projektiler med olika slankhetstal. I denna studie har jämförelser gjorts mellan projektiler med samma diameter och varierande slankhetstal. Då detta innebär att de långa projektilerna får större massa är det rimligt att rotationer och sidoförflyttningar blir förhållandevis mindre. Principuppträdandet är dock slående likformigt för de olika slankhetstalen varför resultat framtagna med äldre kortare pilprojektiler ger resultat som är användbara även för modernare slankare pilprojektiler.

Det redovisade arbetet har sammanhållits av Ewa Lidén. Olof Andersson, Urban Hjelm och Jonas Irving har genomfört försöken, Bo Johansson har skrivit utvärderingsprogrammet och Anders Tjerberg har genomfört de numeriska simuleringarna.

BAKGRUND

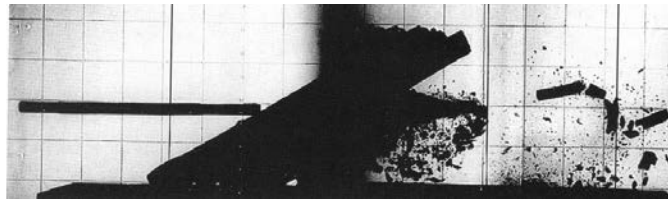
De första reaktiva pansarpaneler som utvecklades bestod av två tunna stålplåtar med explosivämne emellan och var avsedda att störa ut RSV-strålar. När en RSV-stråle träffar det reaktiva pansaret initieras sprängämnet och plåtarna kastas in i strålens väg varvid strålen konsumeras och/eller störs kraftigt. Reaktivt pansar är mycket effektivt mot RSV.

Eftersom KE-projektiler är mycket mer svårstörda än RSV-strålar krävs betydligt kraftigare påverkan för att erhålla skydd mot KE-projektiler. Projektilen konsumeras inte såsom RSV-strålen, istället överför de flygande plåtarna snedkrafter på projektilen så att den kan snedställas eller slås av. Den typ av tungt reaktivt pansar som oftast visas i press, vid konferenser o dyl består av två reaktiva paneler, med relativt tjocka plåtar och mycket explosivämne, placerade i vinkel till varandra.



Figur 2. Ett exempel på hur tungt reaktivt pansar utformas. Till vänster hela modulen monterad på ett grundpansar. Till höger enstaka paneler i modulen, de mörka fälten är sprängämne.

Interaktionen mellan en pilprojektil och denna typ av komplext pansar blir både komplicerat och våldsamt och är svår att studera så att detaljerad information om förloppet erhålls. Man kan utvärdera den slutliga effekten på projektilen men inte vad som händer under penetrationsförloppet och vilken del av pansaret som ger den utslagsgivande effekten.



Figur 3. Röntgenblixtbild som visar effekten av ett tungt reaktivt pansar på en stilicerad försöksprojektil. [2]

För att erhålla en detaljförståelse av förloppet kan problemet renodlas så att effekten av de dominerande delförloppen (penetration av motflygande resp medflygande plåt) studeras. Explosivämnet bedöms i detta fall inte ha någon avgörande effekt på projektilen utan har endast till uppgift att kasta ut de ingående plåtarna åt varsitt håll.

Effekten på pilprojektiler vid penetration av tunna rörliga eller stillastående plåtar är dessutom av stort allmänt intresse eftersom många pansarkonstruktioner innehåller sådana komponenter i en eller annan form, alltifrån skiktade pansar till sensoraktiverade skydd med utkastade plåtar som verkansdel.

Målsättningen med de pågående studierna är att förstå hur den rörliga plåten påverkar projektilen och vilka parametrar som påverkar utslaget kraftigast. Resultaten kan sedan användas vid utveckling av pansar avsedda mot KE-projektiler samt bedömning av framtagna koncepts potential.

Det fall som studeras är en relativt tunn stålplåt (tjocklek lika med projektildiametern) som rör sig i sin normals riktning, antingen i riktning mot eller med projektilen samt referensfallet stillastående plåt. Projektilen träffar plåten med en viss anslagsvinkel då plåten accelererat klart. De målparametrar som studeras är plåtens hastighet (både belopp och riktning), vinkel och tjocklek. Vidare studeras hur projektilens slankhetstal, hastighet och material påverkar resultatet.

I arbetet har ingått att utveckla en lämplig försöksmetod och en utvärderingsmetodik med vars hjälp vi kan kvantifiera resultaten från försöken. Som ytterligare stöd för utvärdering och förståelse för förloppen används kontinuummekaniska simuleringar.

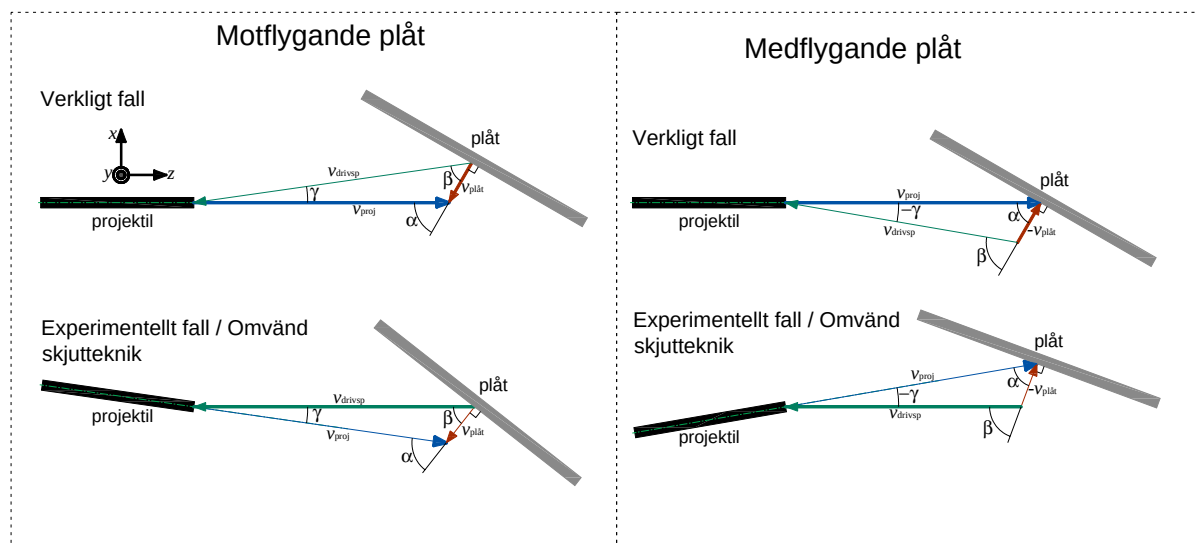
Simuleringar lämpar sig synnerligen väl för parameterstudier. Det gäller dock att det finns lämpliga och utprovade modeller för den typ av förlopp som ska studeras. Även med olämpliga modeller kan man få resultat som ser trovärdiga ut men som ger helt fel bild av det verkliga förloppet. De kontinuummekaniska program som används i penetrationssammanhang ger mycket bra överensstämmelse med verkligheten vid studier av inträngningsförlopp. I de fall som här studeras, störning av pilprojektil från en tunn rörlig plåt, är beskrivningen av kontaktöverföringen mellan kropparna liksom brottprocessen avgörande för förloppet. Tyvärr har just dessa delar av modellerna fortfarande stora brister. Simuleringar kan dock ändå vara till stöd för förståelsen av delförlopp och de experiment som genomförs i denna studie kan utgöra underlag för arbetet med att hitta bättre modeller och materialparametrar för framtida simuleringar.

EXPERIMENTELL METOD

Egna försök mot stationära tunna plåtar och i litteraturen redovisade försök [3-6] tyder på att det är svårt att genomföra försök med pilprojektiler mot sneda tunna plåtar utan att få stora spridningar i försöksresultaten. En viktig orsak till spridningarna är att projektilen pendlar vilket kan göra att den har en snedställning vid anslaget mot plåten. Detta kan ge så stora spridningar i resultaten att det är svårt att urskilja effekterna av parametervariationer i försöksserierna [7, 1]. Vid studier av rörliga plåtars interaktion med pilprojektiler tillkommer problemet att trigga försöken med två rörliga kroppar så att växelverkansprocessen kan registreras.

En metod att kontrollerat studera växelverkan mellan en rörlig plåt och en pilprojektil är att använda så kallad omvänd försöksteknik [8-12] och transformera det studerade fallet till ett annat referenssystem där endast en kropp rör sig. En sådan experimentell metod har utvecklats och går ut på att en snedställd plåt skjuts mot en snedställd stationär projektil. Genom att variera plåthastighet, plåt- och projektilvinkel kan det kinematiskt ekvivalenta fallet att en plåt kastas mot en flygande projektil studeras. En stor fördel med metoden är att den ger oss möjligheter att registrera förloppet under väl kontrollerade betingelser. Att utveckla denna metod har tagit lång tid och rönt många problem. Vi bedömer dock att metoden är användbar i en lång rad studier av delprocesser i pansarkonstruktioner vid interaktion med konventionella och okonventionella projektiltyper.

Hur transformationen från ett fall med rörlig projektil mot rörlig plåt till ett fall med rörlig plåt mot stillastående projektil går till framgår av figur 4 där såväl fallet med motflygande som medflygande plåt illustreras. Den medflygande plåtens hastighet har definierats som negativ och figuren visar att projektilen vrids åt motsatt håll vid motflygande plåt jämfört med medflygande plåt. Vridningsriktningen i det medflygande fallet har definierats som negativ. I denna rapport kommer fallet rörlig plåt mot rörlig projektil att benämnas "det verkliga fallet" medan fallet med rörlig plåt mot snedställd stillastående projektil benämns "det experimentella fallet".



Figur 4. Transformation av fallet rörlig plåt mot rörlig projektil till en experimentellt enklare uppställning med en snedställd plåt som skjuts mot en snedställd stationär projektil. Till vänster motflygande plåt. Till höger medflygande plåt.

Plåtens utskjutningshastigheten och vinkel samt projektilens vinkel kan lätt beräknas. Projektilens snedställningsvinkel γ fås genom

$$\gamma = \arctan \left[\frac{v_{\text{plåt}} \sin(\alpha)}{v_{\text{proj}} + v_{\text{plåt}} \cos(\alpha)} \right]$$

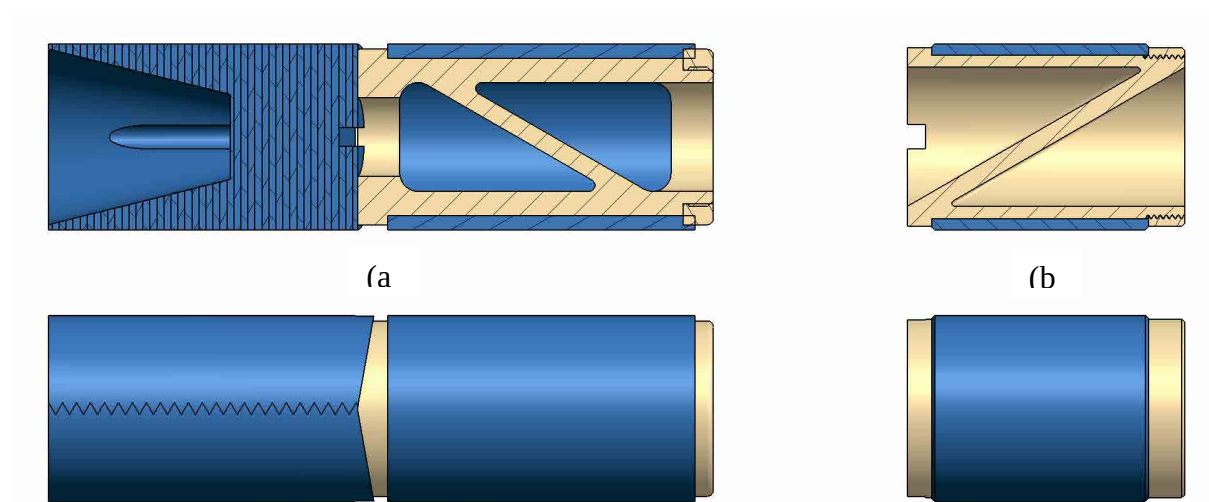
där $v_{\text{plåt}}$ och v_{proj} är plåtens respektive projektilens hastighet i det verkliga fallet och α är vinkeln mellan plåtens normal och projektilaxeln. Den hastighet plåten ska skjutas med, v_{drivsp} fås därefter genom

$$v_{\text{drivsp}} = v_{\text{rel}} = \frac{v_{\text{proj}} + v_{\text{plåt}} \cos(\alpha)}{\cos(\gamma)}$$

Den utskjutna plåten ska ha vinkeln $\beta = \alpha - \gamma$ mellan skottlinjen och plåtnormalen.

I denna studie varierar, i de verkliga fallen, plåthastigheten mellan 300 och -300 m/s, projektilhastigheten mellan 1500 m/s och 2500 m/s (denna rapport redovisar dock bara resultat gällande projektilhastigheten 2000 m/s) och plåtvinkeln mellan 30 och 70°. Det innebär att de experimentella parametrarna drivspeghastighet v_{drivsp} och projektilsnedställning γ kommer att variera mellan 1410 och 2606 m/s resp -8,0° och 6,9°. Plåtens lutning kommer att variera mellan 53,1° och 75,6° (de största vinklarna ledde dock till drivspegelkollaps varför den största vinkel där resultat finns är 68°), se tabell i bilaga 1.

För att en plåt ska kunna skjutas ut i den förutbestämda riktningen måste den monteras i en drivspegel. Vi har valt att låta plåten bli en integrerad del av drivspegeln och under försökens gång har drivspegelkonstruktionen utvecklats från att i de tidiga försöken (med L/D=15-projektiler) ha en tvådelad drivplugg som överför kraften till drivspegeln till att låta krafterna verka direkt mot plåten i drivspegeln, se figur 5.



Figur 5. Drivspegelutformning (a) i de tidiga försöken med drivplugg, (b) i de senare försöken utan drivplugg.

Den första drivspegelvarianten innebar att plåten hade två fria kanter medan den andra har en helt inspänd rand. Bakänden på drivspegeln med drivplugg har utformats för att säkerställa snabb separation av drivpluggsdelarna (de måste ha separerat så de inte stör restprojektilen vid passagen). Den främsta anledningen till förändringen är att vi får en större plåt och

därmed kan använda oss av en större skala. Konstruktionen är även betydligt mer robust och utrustad med en drivplugg borde denna konstruktion klara av de fall som innebar drivspegelkollaps för den äldre varianten. En ytterligare fördel är att då behovet av drivplugg inte finns ger det en lättare drivspegel som därmed kan skjutas till högre hastighet och en enklare konstruktion som blir billigare att tillverka.

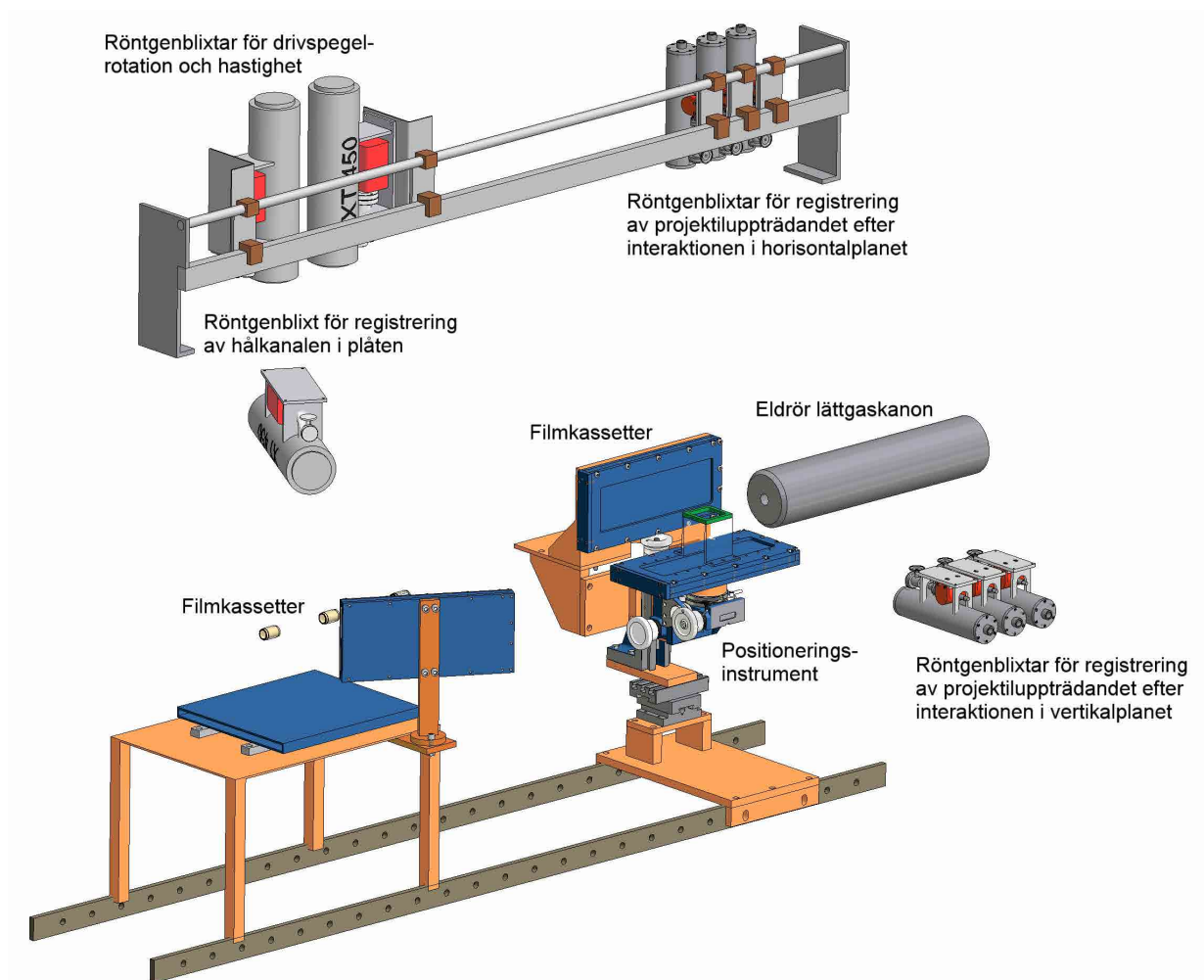
Drivspeglarna har en diameter avpassad för lättgaskanonens 30 mm eldrör och plåttjockleken i de tidigare varianterna var 2 mm medan den senare typen av drivspegel har en plåt med tjockleken 3 mm (hela försöket skalades upp en faktor 1,5). Då skalning sker med 'replica modeling-metoden' kan dessa försök jämföras direkt [13, 14].

Båda drivspegelvarianterna, inklusive plåten, är tillverkade av stål SS 2541-03 (sträckgräns 700 MPa och hårdhet HB270-325) och har en lexanhylsa som omsluter drivspegeln och fungerar som kontaktyta mot eldrörsväggen. Lexanhylsan är fastlåst av en låsring. Drivpluggen resp drivspegeln har ett spår i bakänden som används för att vrida in plåten till det vertikala planet, vilket görs med en noggrannhet som bedöms till $\pm 0.1^\circ$. I den nya drivspegelvarianten används spåret också till att detektera en eventuell rotation av målkroppen. I den tidiga varianten användes stift i målkroppens framände till detta.

Plåten skjuts alltså i en upprätt position så att all påverkan på projektilen ska ske i horisontalplanet. Om alla försöksparametrar hålls inom toleranserna ska inga rörelser uppkomma i det vertikala planet som därmed kan ses som ett kontrollplan. I de fall projektilen går till brott kan dock snedställningar förekomma även i det vertikala planet.

Som projektil används en slät cylinder med plana ändar och en diameter lika med plåttjockleken. Projektilens slankhetstal har varierat mellan 15 och 45. Projektilmaterialet är en tungmetallkvalitet från Kennametal Hertel med beteckningen Y925 som har densitet $17\,700\text{ kg/m}^3$ och flytspänning 1300 MPa.

Projektilen är monterad i en fixtur av cellplast (Divinycell 45 kg/m^3) som fästs direkt på en filmkassett för röntgenfilm som i sin tur är monterad på positioneringsinstrumentet enligt figur 6. Positioneringsinstrumentet har sex frihetsgrader och används för invidning av projektilen i det horisontella planet (zx-planet). Projektilen vrids först in med hjälp av en laserstråle, så att den är placerad koncentrisk och parallell mot eldrörsmynningen. Lasern är positionerad koncentrisk och parallell med eldrörsmynningen, 9,37 m från mynningsplanet, och sänder en laserstråle som reflekteras av projektilens polerade bakända till en skärm på laserns framände. Injusteringen bedöms kunna göras med en vinkelavvikelse på $\pm 0,03^\circ$ från eldrörets centrumlinje (skottlinjen) och en avvikelse mot eldrörets centrumlinje på $\pm 0,5\text{ mm}$. Därefter vrids projektilen i horisontalplanet runt sin tyngdpunkt till föreskriven vinkel. Avståndet från projektilens framände till eldrörsmynningen är 150 mm.



Figur 6. Försöksuppställning för de omvända skjutförsöken med stationär snedställd projektil monterad framför eldrörsmynningen.

För registrering användes totalt åtta till nio röntgenblixhtar, se figur 6.

Vanligen har sex blixhtar använts för att avbildar projektilen i två ortogonala plan, tre i det horisontella zx planet, där all störning av projektilen sker och tre i det vertikala zy planet, där ingen störning av projektilen bör ske. I några fall har endast två blixhtar per plan använts.

Triggning av blixtsystemet sker genom att drivspegeln kortsluter två triggrör vilka är placerade i projektilfixturen i nivå med projektilens framände. Triggrören kan trigga blixtsystemet var för sig, dubbleringen används för att säkerställa triggsignal även om ett av triggrören skulle falla. Blixterna i horisontalplanet triggas parvis med blixterna i vertikalplanet med föreskrivna tidsfördröjningar efter initial kontakt mellan projektil och plåt (tiden mellan trigg och plåt-projektil-kontakt beräknas utifrån nominella drivspegelhastigheten). De fördröjningstider som använts har varit 100, 150 och 200 μs vid projektil-diameter/plåttjocklek 2 mm resp 150, 225 och 300 μs vid projektil-diameter/plåttjocklek 3 mm. En referensbild av projektilen innan interaktionen tas med mittenblixterna i de två planen. I några av försöken användes inte mittenblixterna, referensbilden togs då av de första blixterna.

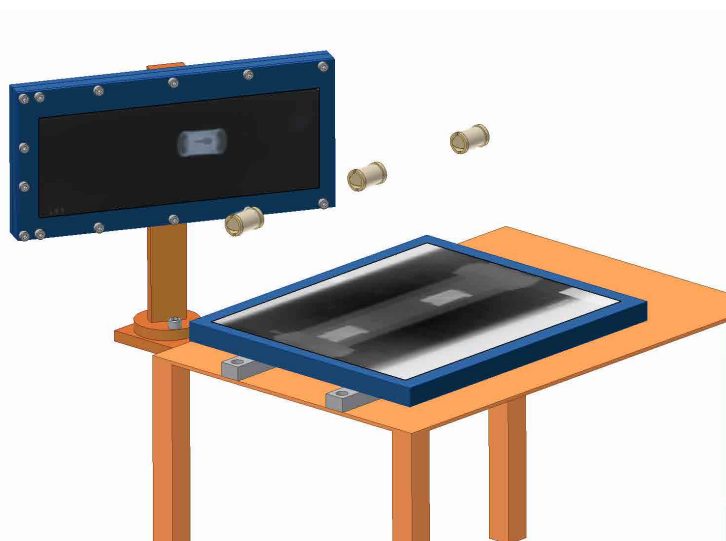


Figur 7. Registrering av restprojektilens geometri och rörelse.

Figur 7 visar hur en rörelse hos projektilen efter interaktionen med plåten avbildas på det horisontella och vertikala filmplanet. I filmplanen syns hur projektfellets p.g.a. blyt-placeringen ger upphov till en bild av projektilens rörelse vilken skiljer sig från projektilens verkliga rörelse.

Två blytar används för utvärdering av drivspegelns hastighet och eventuell rotation av drivspegeln. Bilderna tas då drivspegeln är mitt för blytarna varför tidsfördröjningarna är beroende av drivspegelns hastighet.

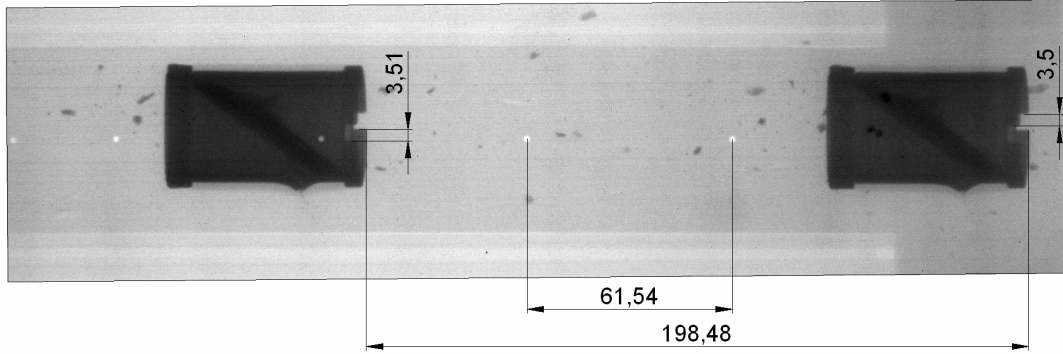
I de senare försöken har en extra blyt använts för att ta en genomlysningssbild av plåten efter interaktionen för avbildning av hålkanalen. Filmkassetten och röntgenblytten är placerade i linje med normalen hos den sneda plåten vilket ger en bild av hålkanalen vinkelrätt mot plåtens yta.



Figur 8. Registrering av hålkanal i plåten samt drivspegelns hastighet och eventuella rotation.

UTVÄRDERINGSMETOD

Den i försöket erhållna plåthastigheten utvärderas från röntgenblyxtbilden som visar drivspegeln efter penetrationsförloppet, se som exempel figur 8. Bilderna innehåller två bilder av drivspegeln med en bestämd tidsfördröjning emellan. Avståndet mellan drivspegelavbildningarna, förstöringsfaktorn för försöksuppställningen och tidsfördröjningen ger den önskade hastigheten, figur 9. Före skott har en referensmarkering inlästs på filmen som stöd för beräkning av förstöringsfaktorn. Försök där hastighetsavvikelsen från nominellt önskat värde avviker mindre än ± 50 m/s accepteras som lyckade skott.



Figur 9. Utvärdering av i experimentet erhållen plåthastighet och drivspegelrotation.

Samma röntgenblyxtbild används också för kontroll av att drivspegeln inte roterat. Detta görs med hjälp av spåret i drivspegelns bakkant. I de fall då spårets båda ändtytor inte sammanfaller mäts avvikelsen som tillsammans med drivspegeldiametern ger drivspegelrotationen, se som exempel figur 9. Om drivspegeln roterar innebär det att plåten i det verkliga fallet inte rör sig i sin normals riktning. Vi har i försöksserierna accepterat drivspegelrotationer som är mindre än 10° .

Avvikelser mellan den föreskrivna hastigheten v_{drivsp} och den hastighet som erhålls i experimentet v_{drivsp}^0 innebär att både projektil- och plåthastighet i det verkliga fallet, v_{proj}^0 resp $v_{plåt}^0$, påverkas. Även eventuell drivspegelrotation φ påverkar dessa hastigheter och dessutom påverkar den vinkeln mellan plåt och projektil i det verkliga fallet, α^0 . Drivspegelrotation ger också upphov till en avvikelse mellan plåthastigheten och plåtnormalen som kan uttryckas med en plåthastighetskomponent $v_{plåt,y}^0$ tvärs den önskade hastighetsriktningen. Det verkliga fall som experimentet motsvarar kan beräknas enligt

$$v_{proj}^0 = \frac{v_{drivsp}^0}{v_{drivsp}} v_{proj} \sqrt{\cos^2 \gamma + \sin^2 \gamma \cos^2 \varphi},$$

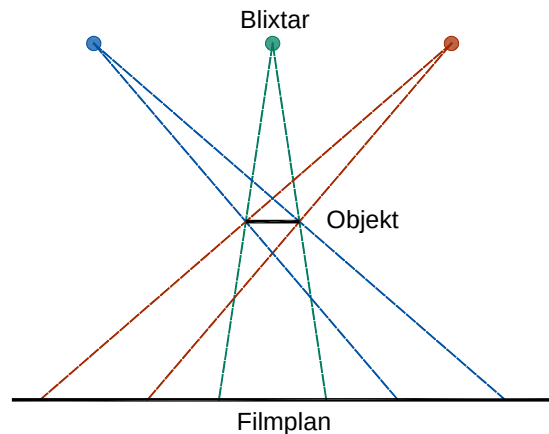
$$v_{plåt}^0 = \frac{v_{drivsp}^0}{v_{drivsp}} \sqrt{(v_{drivsp} - v_{proj} \cos \gamma)^2 + v_{proj}^2 \sin^2 \gamma \cos^2 \varphi},$$

$$\alpha^0 = \pi - \arctan\left(\frac{\cos \gamma}{\sin \gamma \cos \varphi}\right) - \arctan\left(\frac{v_{drivsp} - v_{proj} \cos \gamma}{v_{proj} \sin \gamma \cos \varphi}\right),$$

och

$$v_{plåt,y}^0 = v_{proj} \sin \gamma \sin \varphi.$$

Projektilens geometri och rörelse efter interaktion med plåten utvärderas från de två ortogonala röntgenbilderna, se figur 7. Dessa innehåller skuggbilder av projektilen dels före skott (referensbild) dels vid två eller tre bestämda tidpunkter efter anslaget mot plåten. (Tiderna har skalats enligt 'Replica modellering'-metoden [13] så att fördröjningarna 100, 150 and 200 μ s använts vid projektildiametern 2 mm och 150, 225 och 300 μ s använts vid projektildiametern 3 mm.) De olika registreringarna görs med olika röntgenrör och eftersom dessa har en viss storlek kommer de, trots att de placeras så nära varandra som möjligt, inte att stråla från en och samma punkt. Detta ger upphov till ett visst transformationsfel i bilden, se figur 10.



Figur 10. Transformationsfel på grund av röntgenblixtrens position och avstånden till filmkassetterna.

För att lättare kunna tolka bilderna vill vi därför rita om bilden så att förhållandet mellan restprojektilens läge i de olika tidsregistreringarna återges på korrekt sätt. Vi vill också kunna utnyttja de båda ortogonala registreringarna till att bestämma projektildelarnas verkliga läge i rummet.

Bilderna som visar restprojektilens geometri och förflyttning är av stort värde för att ge en uppfattning om effekterna av störplåten. Vi vill dock också kunna kvantifiera den påverkan som störplåten ger upphov till.

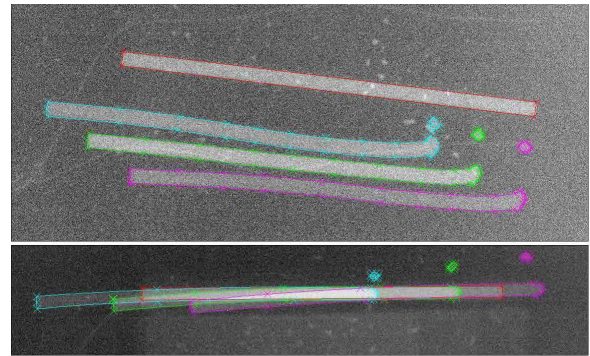
För att få rättvisande bilder och indata till bestämning av olika utvärderingsstorheter har ett speciellt programsystem för utvärdering utvecklats. Programmen är skrivna i Matlab och består av en del där restprojektilens delar på röntgenbilderna avläses (FindEdges), en del där bilderna från de olika projektionerna sammanförs till en kropp och transformeras till sitt rätta läge (PosEdges), samt en del där ett antal utvärderingsstorheters värde beräknas (QuantCalc3D).

De indata som används i utvärderingsprogrammen är avstånden från röntgenblixttrören respektive filmpånen till projektilens initiala läge, samt röntgenblyxtbilderna. Ur röntgenblyxtbilderna används referensbilderna av projektilen före anslaget samt avbildningen av projektilen vid de olika fördröjningstiderna efter interaktion med plåten, både i det horisontella och i det vertikala planet,

Restprojektilen har ibland slagits sönder och består då av ett antal projektildelar. Konturen av varje sådan del överförs till digital form genom manuell inläsning av punkter längs konturerna.

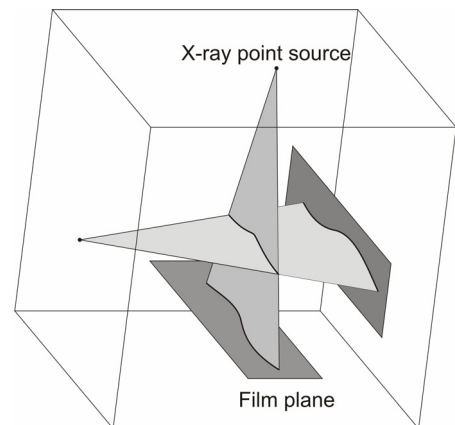
Om en bit är stor nog att betraktas som en krökt cylinder med en specifik centrumlinje kallar vi den för en projektildel och läser in den såsom fyra kurvor, två utmed projektildelens längd (över- och undersida) och två längs de båda ändytorna. Små bitar där någon centrumlinje inte kan identifieras, kallar vi för fragment och dessa inläses som en kurva runt fragmentet.

Kurvor bestäms utgående från de längs konturen inlästa punkterna med hjälp av interpolationsalgoritmer, kubiska splines för de längsgående kurvorna och så kallad Hermite-interpolation för ändarna och fragmenten. Figur 11 visar ett exempel på hur konturerna markerats i ett av skotten. Interaktionen gav i detta fall upphov till en projektildel och ett fragment.



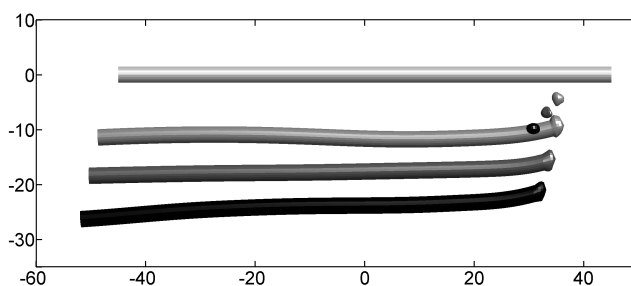
Figur 11. Exempel på resultat från programmet FindEdges. Bilden visar hur projektildelarnas läge markerats i de två projektionerna vid de fyra olika tidpunkterna.

För varje projektildel beräknas en centrumlinje i respektive projektion som sedan sammanförs till en centrumlinje i den tredimensionella rummet, se figur 12. Projektildelens läge vid de olika registreringstiderna justeras med avseende på röntgenblixtrörens position i förhållande till projektilen. Den framräknade centrumlinjen, ändlinjerna (platt, brott eller svampformad) och diametern på den ursprungliga projektilen används sedan för att skapa en tredimensionell kropp.



Figur 12. Bestämning av projektildelens centrumlinje utifrån projektionerna i de båda röntgenblixtbilderna.

För fragmenten skapas den tredimensionella kroppen endast genom fragmentens konturer i de två projektionerna. Fragmenten behandlas sedan som masspunkter för vilka vi inte kan fastställa eventuella rotationer kring den egna tyngdpunkten.



Figur 13. Exempel på en med programmet PosEdges utvärderad bild.

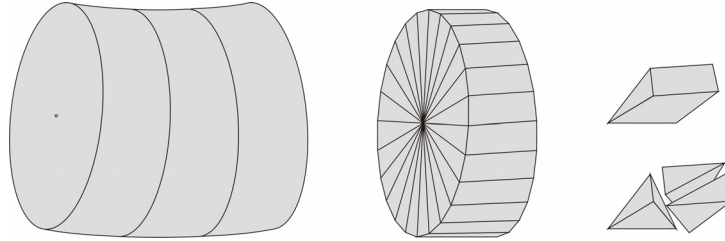
förflyttning som orsakats av interaktionen med plåten (projektilens hastighet är exkluderad).

Figur 13 visar som exempel den utvärderade bilden från röntgenbilderna i figur 11 ovan. I den utvärderade bilden har projektilsystemet svängts, från den experimentella uppsättningen som syns i röntgenblixtbilden med en initialt snedställd stationär projektil, till det verkliga fallet där projektilen är rak. Förflyttningen av projektilen i den utvärderade bilden är endast den

De storheter programmet räknar fram för att kvantifiera geometrin och rörelsen hos restprojektilsystemet, dvs systemet av alla projektildelar och fragment som bildas, är längdreduktion ΔL och hastighetsförändring Δv i förhållande till den ursprungliga

projektilens rörelse samt ändring i rörelsemängd Δp , rörelsemängdsmoment ΔH och kinetisk energi ΔW_k . Dessa bestäms på basis av de individuella delarna och fragmentens geometri och rörelser. Dessa storheter beskriver den totala påverkan på projektilen till följd av plåtinteraktionen och är alla oberoende av tiden efter interaktionen. Ur skyddssynpunkt är det dessutom intressant att fastställa den längsta projektildelens längd och vinkelhastighet.

Första steget blir att beräkna massan, tyngdpunkten och tröghetsmomentet för projektildelar med krökt centrumlinje och därmed icke-parallella tvärsnitt. För att klara detta delas den skapade projektilkroppen in i tetraederformade element enligt figur 14.



Figur 14. En successiv uppdelning av projektildelen som slutar i ett stort antal tetraederformade element.

Med massan m_{ij} , tyngdpunkten $\mathbf{r}_{ij}$ och tröghetsmomentet $\mathbf{J}_{ij}$ för tetraederelement j av projektildel i kan motsvarande storheter för den totala projektildelen erhållas genom summering enligt

$$\begin{aligned} m_i &= \sum_j m_{ij} \\ \mathbf{r}_i &= \sum_j (m_{ij} \mathbf{r}_{ij}) / m_i \\ \mathbf{J}_i &= \sum_j (\mathbf{J}_{ij} + m_{ij} (\mathbf{r}'_{ij} \mathbf{r}'_{ij}^T) \mathbf{I} - m_{ij} \mathbf{r}'_{ij} \mathbf{r}'_{ij}^T), \end{aligned}$$

där $\mathbf{r}'_{ij} = \mathbf{r}_{ij} - \mathbf{r}_i$, dvs avståndet mellan tetraederelementets och hela delens tyngdpunkter, och $\mathbf{I}$ betecknar enhetsmatrisen. $\mathbf{J}_{ij}$ är tröghetsmomentet med avseende på elementets tyngdpunkt och $\mathbf{J}_i$ är tröghetsmomentet med avseende på hela kroppens tyngdpunkt. Eftersom vi har tre registreringar av restprojektilen i varje bild erhålls tre värden varvid vi använder medelvärdet. Spridningen mellan de tre värdena kan också användas för kontroll av att det inte förekommit några felaktigheter vid utvärderingen.

Projektilfragmenten behandlades som masspunkter varför endast massan m_i och tyngdpunkten $\mathbf{r}_i$ kan bestämmas.

Därefter ska varje projektildels rörelse beskrivas. De storheter som används för detta är hastigheten $\mathbf{v}_i = \mathbf{v}_{\text{proj}}^0 + \Delta \mathbf{v}_i$ och vinkelhastigheten $\boldsymbol{\omega}_i = \Delta \boldsymbol{\omega}_i$, där $\mathbf{v}_{\text{proj}}^0$ är den ursprungliga projektilhastigheten och $\Delta \mathbf{v}_i$ och $\Delta \boldsymbol{\omega}_i$ är de hastigheter respektive vinkelhastigheter som utvärderas ur experimenten. För fragmenten kan vi bara bestämma dess translatoriska hastighet $\mathbf{v}_i$.

Hastigheterna för de enskilda delarna $\Delta \mathbf{v}_i$ bestämdes genom tyngdpunktens translation i de tre tiderna. Med tre tidsregistreringar erhålls två oberoende värden på hastigheterna. Eftersom inga yttre krafter verkar på restprojektilen ska hastigheten vara konstant varvid medelvärdet används och spridningen används som kontroll av tillförlitligheten i försök och utvärdering. Hastighetskomponenten Δv_{yi} används också för att kontrollera att inga konstigheter förekommit i försöken eftersom projektil-plåt-interaktionen inte bör förorsaka några rörelser i vertikalled.

För att erhålla projektildelens vinkelhastighet $\Delta \omega_i$ med avseende på sin tyngdpunkt bestämdes huvudtröghetsaxlarna med hjälp av tröghetsmomentsmatrisen.

Med hjälp av de för de enskilda projektildelarnas och fragmentens bestämda storheter kan nu de önskade storheterna för det totala restprojektilsystemet beräknas.

Projektilens längdreduktion ΔL beräknades som skillnaden mellan summan av alla projektildelars och fragments längd L_i och den ursprungliga projektilens längd L . Projektildelarnas längd bestämdes som längden av centrumlinjen mellan dess ändtytor och fragmentens längd bestämdes som längden av en cylinder med projektilens diameter som kan skapas utifrån fragmentens massa. En ytterligare intressant parameter bedömdes vara längden av den längsta projektildelen $L_{\max}$.

Det totala restprojektilsystemets hastighet bestäms som

$$\Delta \mathbf{v} = \sum_i (m_i \Delta \mathbf{v}_i) / m,$$

där m är den totala massan för restprojektilsystemet.

Ändringen i rörelsemängd bestäms med

$$\Delta \mathbf{p} = \sum_i m_i (\mathbf{v}_{\text{proj}}^0 + \Delta \mathbf{v}_i) - \mathbf{p}^0,$$

där $\mathbf{p}^0 = m \mathbf{v}_{\text{proj}}^0$ är rörelsemängden för projektilen före anslag mot plåten.

Ändringen i rörelsemängdsmoment bestäms med

$$\Delta \mathbf{H} = \sum_i (\mathbf{J}_i \Delta \omega_i + (\mathbf{r}_i - \mathbf{r}) \times m_i \Delta \mathbf{v}_i),$$

där $\mathbf{r}$ är tyngdpunkten för hela restprojektilsystemet. Vid bestämning av detta uttryck användes bara y -komponenten av vinkelhastighetsförändringen $\Delta \omega_i$.

Slutligen bestäms ändringen i kinetisk energi som summan av ändringen i translatorisk energi och rotationsenergi

$$\Delta W_k = \Delta W_{k, \text{tr}} + \Delta W_{k, \text{rot}}$$

där den translatoriska delen kan skrivas som

$$\Delta W_{k, \text{tr}} = \frac{1}{2} \sum_i m_i |\mathbf{v}_{\text{proj}}^0 + \Delta \mathbf{v}_i|^2 - W_k^0$$

där $W_k^0 = \frac{1}{2} m |\mathbf{v}_{\text{proj}}^0|^2$ är den kinetiska energin hos projektilen före anslag mot plåten och den del som härrör från rotationen kan skrivas

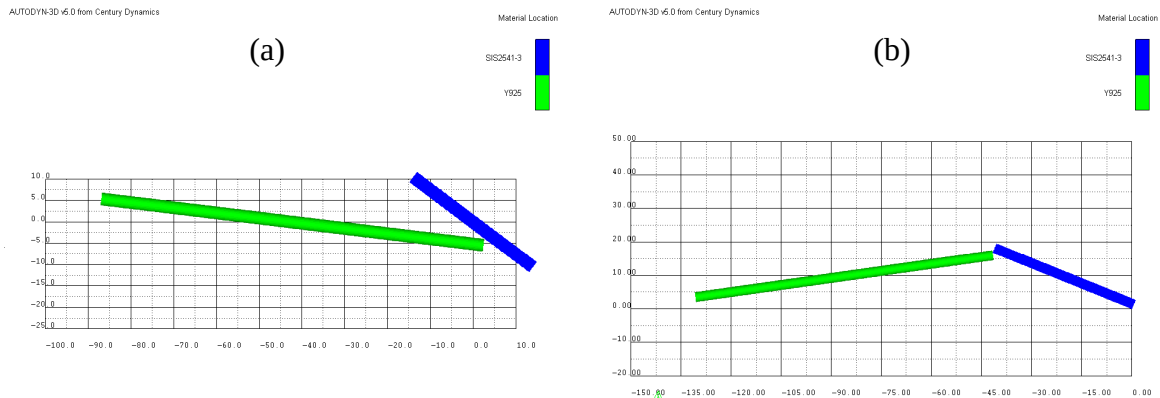
$$\Delta W_{k,\text{rot}} = \frac{1}{2} \sum_i \Delta \omega_i^T J_i \Delta \omega_i .$$

Vid utvärderingen av rörelseenergin har endast x - och z -komponenterna av hastighetsändringen samt y -komponenten av vinkelhastighetsändringen använts.

SIMULERINGSMODELLER

Simuleringar har genomförts med AUTODYN 3D [15]. Syftet med simuleringarna var att utreda om det blir någon skillnad i de krafter som överförs till projektilen i fallen mot- resp medflygande plåt. För att kunna göra detta måste första steget dock bli att hitta materialmodeller och materialparametrar som ger hyfsad överensstämmelse med utförda experiment.

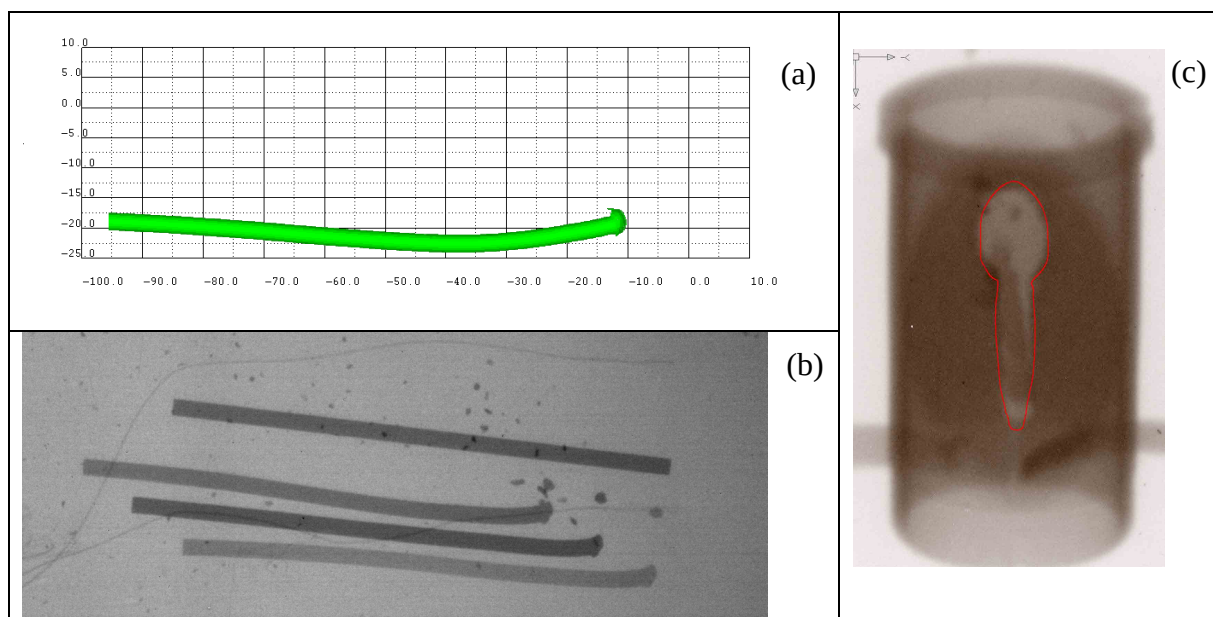
Simuleringarna har utförts med samma omvända uppställning som använts vid experimenten dvs en snedställd plåt har skjutits mot en snedställd stationär projektil, se figur 15. Projektilens diameter var 3 mm och modellerades med 12 celler längs med diametern, dess längd var 90 mm och modellerades med 180 celler längs med projektillängden. Plåten hade en tjocklek på 3 mm och modelleras med 10 celler längs med tjockleken. Hela plåten bestod av ca 67000 celler. Materialparametrar för plåten som var av stål SS2541-03 hämtades från [16] medan materialparametrarna för projektilen som består av volframlegeringen Y925 hämtades från [17]. I den numeriska erosionen har töjningen 150 % använts.



Figur 15. Geometrin i problem uppställningen för (a) motflygande resp (b) medflygande plåt

Eftersom det inte finns utprovade tillförlitliga brottmodeller med tillhörande materialparametrar för i studien ingående material provades först ett antal simuleringar utan brottmodell i såväl plåt som projektil. Den numeriska erosionen utlöser då det som liknar brott. Det visade sig dock nödvändigt med en brottmodell för plåten. Jämförelser mellan experiment och simulering för en motflygande plåt med hastigheten 300 m/s och vinkeln 60° mot en L/D=30 projektil med hastigheten 2000 m/s gav, då brottmodell för plåten uteslöt, en transversell translation av projektilen som efter 300 μ s var ca 50 % större än i experimenten. Detta innebär att den sidkraft som förflyttar sig längs med projektilen, orsakad av uppsplitsningen av plåten, blir för stor.

Brottkontraktionen vid dragprov med stål SS2541-03 tyder på en brotttöjning på ca 60 %. I simuleringarna har därför en konstant brotttöjning på 60 % används för plåten varvid den transversella translationen stämmer relativt väl med verkligheten. Figur 16 visar restprojektilens och hålskanalens utseende i experiment respektive simulering med motflygande plåt (plåthastighet 300 m/s i det verkliga fallet). Resultatet från simuleringarna visar projektilens position och geometri 300 μ s efter interaktion med plåten och ska jämföras med den nedre avbildningen av projektilen i röntgenlixtbilden. Figur 16 visar också god överensstämmelse beträffande det i plåten bildade hålet. Den röda konturen härrör från simuleringen.



Figur 16. Jämförelse mellan experimentellt resultat och simuleringresultat vid motflygande plåt med hastigheten 300 m/s (verkligt fall). (a) restprojektilens utseende efter 300 μ s, (b) röntgenregistrering av projektilen 0, 150, 225 resp 300 μ s efter interaktionen, (c) uppslaget hål i plåten

Det framgår av figuren att projektilen kröks något mer i simuleringen än i experimentet. Simuleringarna har dock visat att projektilen blir betydligt rakare om den parameter som styr inflytandet av töjningshastigheten för projektilen fördubblas ($C=0.014$ till 0.028). Av de parametrar som framtagits i [17] är detta troligen den mest osäkra parametern eftersom materialprovningen inte har kunnat utföras vid höga töjningshastigheter.

Även brottmodellen Johnson-Cook [18], som är en mera avancerad brottmodell, testades. Tyvärr saknas dock parametrar i denna brottmodell, dessa kan endast grovt uppskattas. Simuleringarna visar att denna brottmodell ger en transversell translation som stämmer med experiment och med simuleringar där den enklare modellen användes (60 % brotttöjning). Simuleringstiden blir dock längre eftersom tidsstegen i allmänhet blir kortare, och sidokraften på projektilen får ett ganska oregelbundet utseende som inte är realistiskt. Tillsvidare används därför en brottmodell med en konstant brotttöjning (=60 %) för plåten.

För projektilen har ingen brottmodell använts i de inledande simuleringarna som redovisas i denna rapport. Tanken är dock att eventuellt använda Johnson-Cook's brottmodell i de fortsatta simuleringarna. Parametrarna för Y925 i denna modell saknas dock ännu så länge. Det är inte troligt att det räcker med en enkel brottmodell som till exempel konstant brotttöjning för projektilen.

RESULTATLÄGET

Vid denna rapports skrivande har resultat angående inverkan av plåthastighet, plåtvinkel och projektilens slankhetstal erhållits. Arbetet fortsätter med studier angående inverkan av projektilhastighet, projektilmaterial och plåttjocklek.

Försöken har genomgående utförts med stilicerade projektiler i form av räta cylindrar med stort slankhetstal. Projektilerna saknar alltså spets, fenor och gängor. Projektilmaterialet är en tungmetallkvalitet från Kennametal Hertel med beteckningen Y925 som har densitet 17700 kg/m^3 och flytspänning 1300 MPa . Skalan i försöken har ändrats under arbetets gång varvid projektildiametern ändrats från 2 till 3 mm. Skalningen har skett enligt 'Replica modeling'-metoden och påverkar inte resultaten [13, 14, 7]. Projektiler med slankhetstalet $L/D=15$ har genomgående 2 mm projektildiameter medan övriga projektiler ($L/D=30$ och 45) har diametern 3 mm.

Plåten är av stål SIS 2541-3 som har en sträckgräns på 700 MPa och hårdhet mellan HB 270-325. Plåttjockleken är i alla nu genomförda försöken densamma som projektildiametern.

Nedan presenteras resultaten av parameterstudierna med hjälp av de från röntgenblixtbilder utvärderade avbildningarna av restprojektildelarna och kvantifiering av effekterna. Eftersom försöken har genomförts i två olika skalor har även tidpunkterna för registrering av restprojektilen varierat så att fördröjningarna 100, 150 and $200 \mu\text{s}$ använts vid projektildiametern 2 mm och 150, 225 och $300 \mu\text{s}$ använts vid projektildiametern 3 mm. Alla resultat presenteras med de parametrar som gäller i det verkliga fallet. I resultatbilderna syns endast förändringar i projektilens rörelse (den ursprungliga projektilhastigheten borttagen).

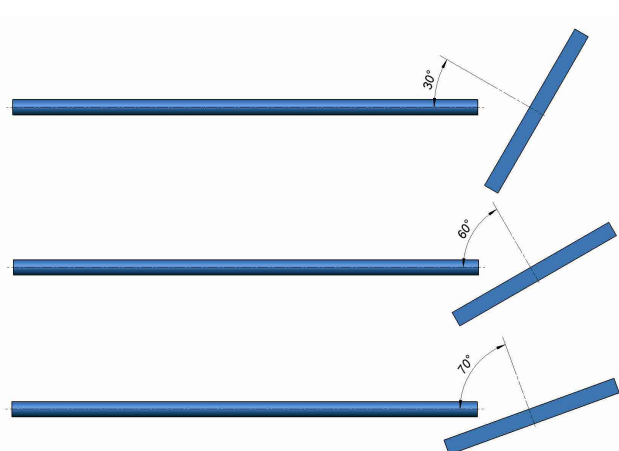
Om vi antar en fullskaleprojektil med diametern 25 mm innebär skalningen att de tider som använts i försöken motsvarar ett avstånd på 2,5 till 5 meter från plåten. Så sena tider har valts främst för att projektilen ska hinna förflytta sig så mycket att vi får urskiljbara skillnader mellan bilderna. Eftersom alla kroppar rör sig med konstanta hastigheter kan man dock transformera tillbaka bilderna även till andra tider och avstånd.

Inverkan av plåtvinkel

Inverkan av störplåtens vinkel vid bekämpning av en tungmetallprojektil med slankhetstalet $L/D=15$ och hastigheten 2000 m/s har studerats. Försöken har genomförts med såväl mot- som medflygande plåt samt med stationär plåt.

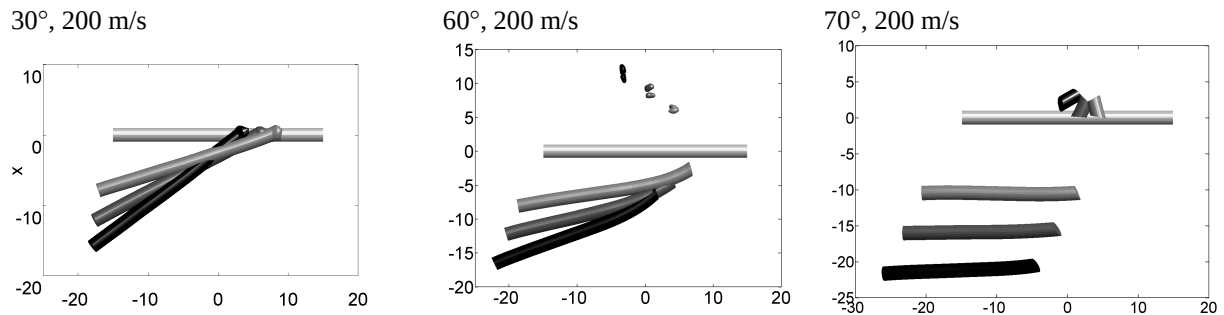
Motflygande plåt

Vinklarna 30° , 60° och 70° enligt figur 17 testades för fallet att plåten rör sig med 200 m/s mot projektilen.



Figur 17. Definition av plåtvinklarna.

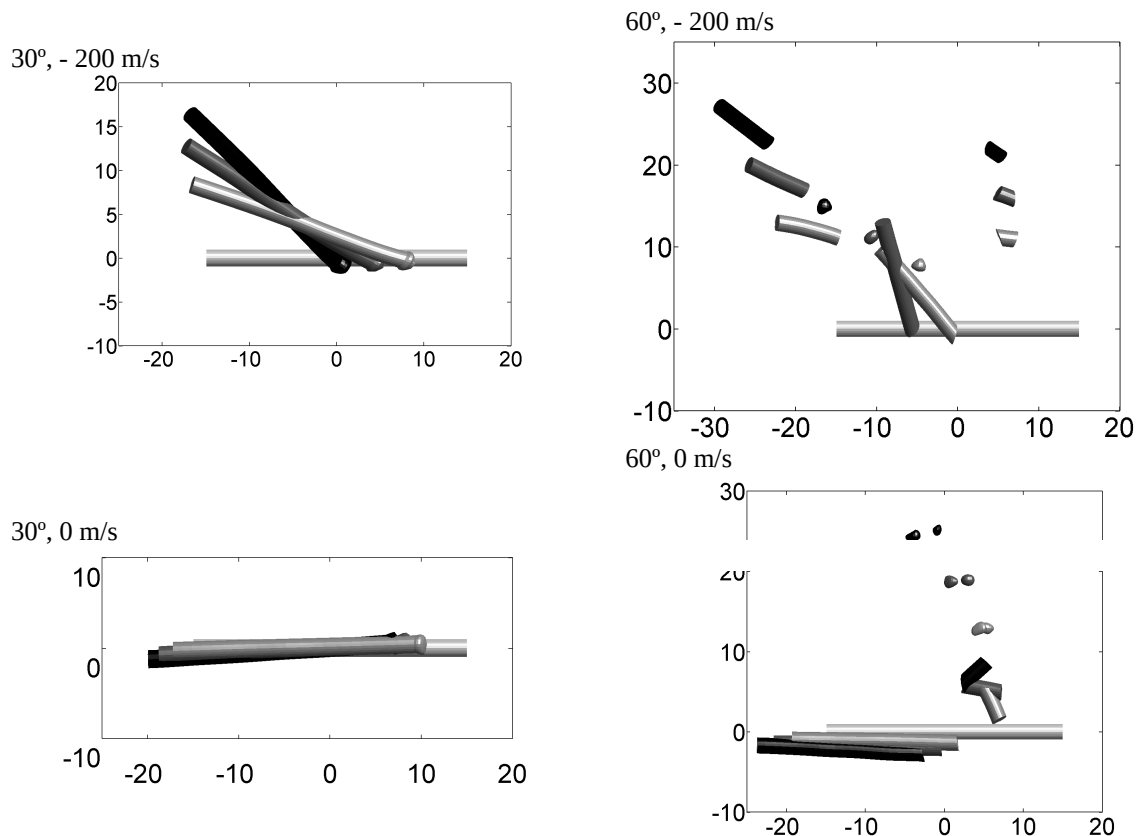
Figur 18 visar de från röntgenblixtbilder utvärderade avbildningarna av restprojektildelarna 100, 150 resp 200 μ s efter anslag. I bilderna finns som referens det läge och den geometri projektilen skulle ha haft om den inte utsatts för påverkan från plåten.



Figur 18. Inverkan av plåtvinkel vid motflygande plåt. Bilden visar de utvärderade positionerna för restprojektilen vid tiden 100, 150 resp 200 μ s med den ursprungliga projektilen som referens.

Bilderna tyder på att den minsta vinkeln i detta fall (motflygande plåt med hastigheten 200 m/s) ger den största snedställningen av projektilen, medan projektilens längdreduktion ökar med plåtvinkeln. Det är rimligt att anta att snedbelastningen på projektilen ökar då plåtvinkeln ökar. Den ökade belastningen tycks ha resulterat i att en allt större del av nosen bryts av. I och med att nosen bryts av överförs mindre rotation till projektilen.

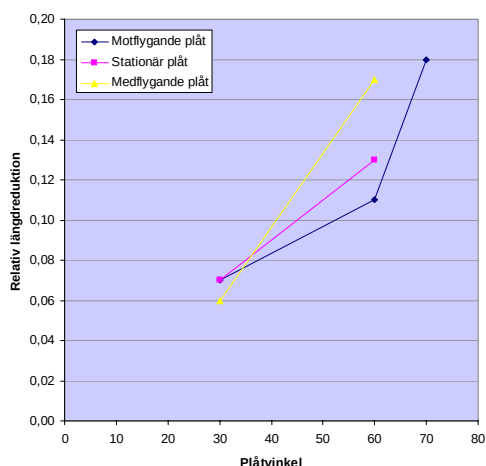
För fallet 70° sned plåt erhöles tyvärr bara resultat för motflygande plåt då drivspegeln kollapsade i övriga fall. Skillnaden mellan 30 och 60° snedställning i fallen medflygande respektive stationär plåt visas dock i figur 19 och i diagrammen figur 20-27.



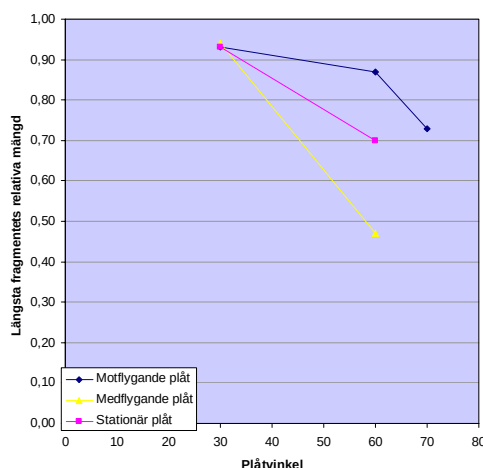
Figur 19. Inverkan av plåtvinkel vid medflygande respektive stillastående plåt. Bilden visar de utvärderade positionerna för restprojektilen vid tiden 100, 150 resp 200 μ s med den ursprungliga projektilen som referens.

För den medflygande plåten tycks rotationen vara ungefär densamma i de båda vinklarna medan en stationär plåt inte överför någon rotation till projektilen. Den större vinkeln medför sönderslagning av projektilen vilket bör nedsätta penetrationsförmågan rejält.

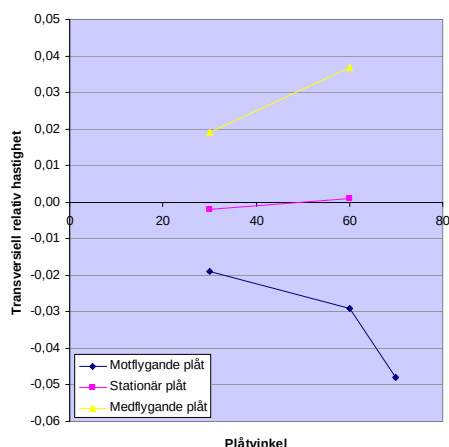
Figur 20-27 visar de utvärderade storheterna för resp fall, motflygande, stationär och medflygande plåt, i diagramform. Samtliga storheter finns dessutom tabellerade i tabell 2 och 3 i bilaga 1.



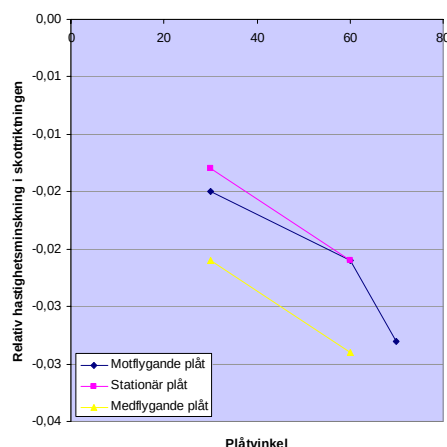
Figur 20. Plåtvinkelns inverkan på ändringen i projektillängd $\Delta L / L$ för motflygande, stationär respektive medflygande plåt.



Figur 21. Plåthastighetens inverkan på längden av det längsta projektilfragmentet $L_{\max} / L$ för motflygande, stationär respektive medflygande plåt.

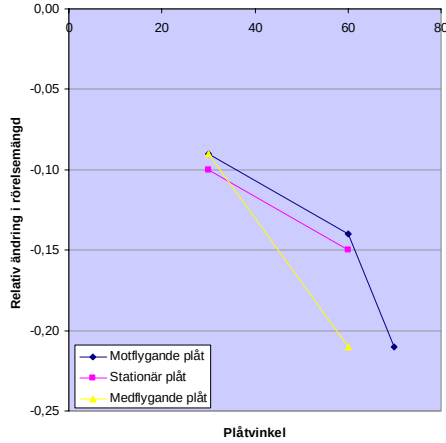


Figur 22. Plåthastighetens inverkan på hastigheten tvärs skottriktningen $\Delta v_x / v_{\text{proj}}^0$ för motflygande, stationär respektive medflygande plåt.

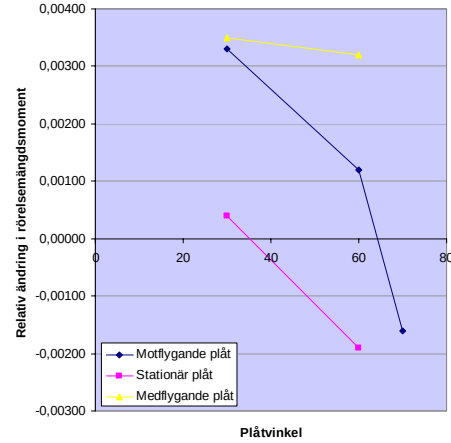


Figur 23. Plåthastighetens inverkan på ändringen i hastighet i skottriktningen $\Delta v_z / v_{\text{proj}}^0$ för motflygande, stationär respektive medflygande plåt.

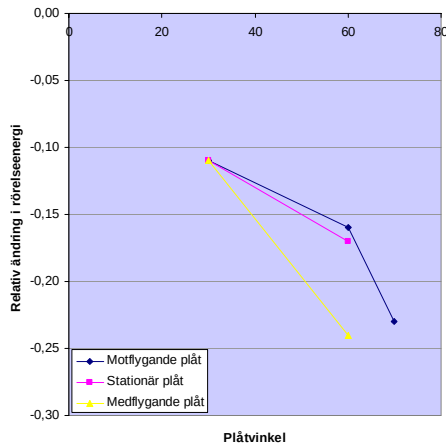
Här framgår att längdreduktionen mer än fördubblats för den största vinkeln jämfört med den minsta. Absolutbeloppet av förflyttningen i sidled har ökat på motsvarande sätt för de rörliga plåtarna (projektilen förflyttas åt motsatt håll då riktningen ändras). En stationär plåt ger däremot ingen sidoförflyttning. Plåtvinkelns inverkan på uppbromsningen av projektilen ($\Delta v_x / \Delta \alpha$) i skottriktningen är densamma i de tre fallen. Den medflygande plåten tycks dock ge en större inbromsning av projektilen.



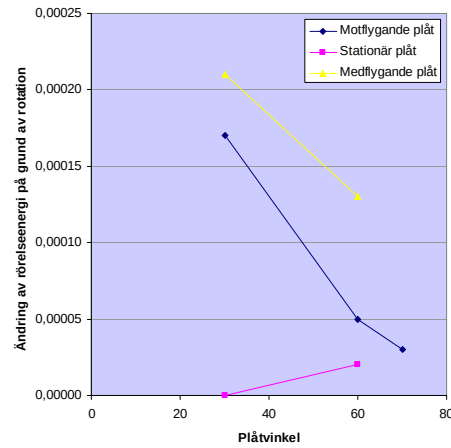
Figur 24. Plåtvinkelns inverkan på ändringen i rörelsemängd $\Delta p_z / p^0$ för motflygande, stationär respektive medflygande plåt.



Figur 25. Plåtvinkelns inverkan på ändringen i rörelsemängdsmoment $\Delta H_y / Lp^0$ för motflygande, stationär respektive medflygande plåt.



Figur 26. Plåtvinkelns inverkan på ändringen i rörelseenergi $\Delta W_k / W^0$ för motflygande, stationär respektive medflygande plåt.



Figur 27. Plåtvinkelns inverkan på ändringen i rotationsrelaterad rörelseenergi $\Delta W_{k, \text{rot}} / W^0$ för motflygande, stationär respektive medflygande plåt.

En jämförelse mellan figur 24, 26 och figur 20 visar att ändringen i rörelsemängd och rörelseenergi påverkas starkt av längdreduktionen. Detta kan förklaras med att längdreduktionen är direkt proportionell med ändringen av massa (diametern påverkas ej). Då $\Delta m / m \gg \Delta v_z / v_{\text{proj}}$, kan ändringen i rörelsemängd uppskattas till

$$\Delta p_z \approx \Delta m v_{\text{proj}} + m \Delta v_z \approx \Delta m v_{\text{proj}},$$

vilket förklarar den approximativa proportionaliteten mellan Δp_z och Δm .

Figur 26 och 27 visar att ändringen i den translatoriska delen av rörelseenergin är ca tre tiopotenser större än den del som kan kopplas till rotationen. Ändringen i rörelseenergi kan därför uppskattas till

$$\Delta W_k \approx (1/2)(\Delta m v_{\text{proj}}^2 + 2m v_{\text{proj}} \Delta v_z) \approx (1/2)\Delta m v_{\text{proj}}^2,$$

vilket förklarar den approximativa proportionaliteten mellan ΔW_k och Δm .

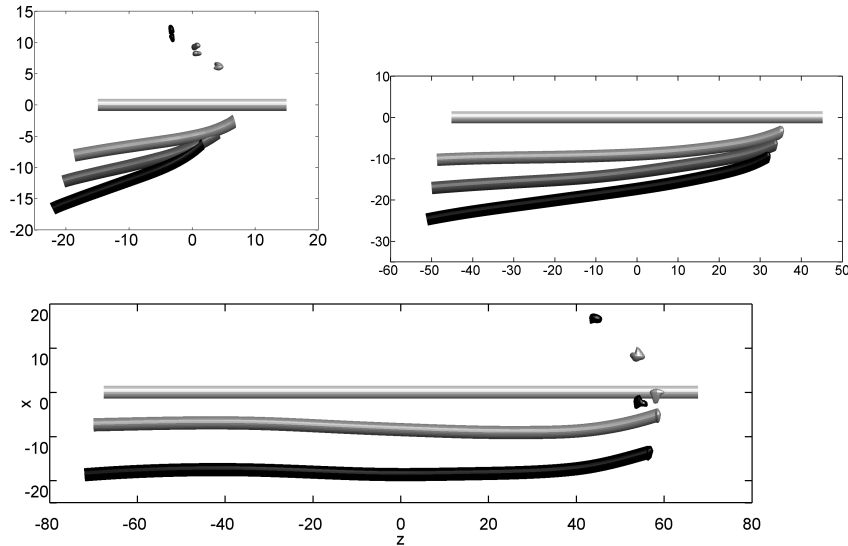
Med ändringen i rörelsemängdsmoment, figur 25, och den del av rörelseenergin som härrör till rotationen, figur 27, kvantifieras den rotation som överförs till projektilen. Rörelsemängdsmomenten representerar rotationen för hela restprojektilsystemet med avseende på systemets tyngdpunkt, medan rotationsdelen av rörelseenergin är summan av rörelseenergin på grund av projektildelarnas rotation runt sin egen tyngdpunkt.

Då projektilen går av rör sig i regel den avslagna delen med förhållandevis hög rotationshastighet och åt motsatt håll jämfört med resten av projektilen. De negativa värdena på rörelsemängdsmomentet i figur 25 härrör från spetsfragmentens rotation. För kraftigt sönderslagna projektiler kan längden och rotationen hos enskilda fragment vara av större intresse ur skyddssynpunkt än totalsystemets. Värdena för totalsystemet indikerar storleken av den totala effekten av interaktionen mellan plåt och projektil.

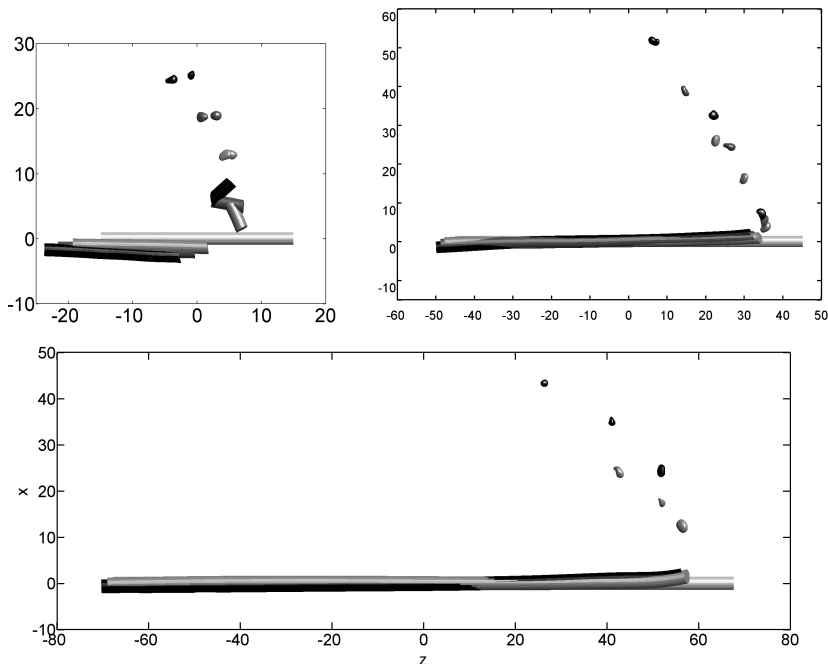
Vilket fall som är bäst ur skyddssynpunkt beror på det avstånd plåten får verka på. Vid de sena tider som bilderna återger (möjliga t ex i tillämpningen sensoraktiverade skydd) är troligen den minst vinklade plåten effektivast eftersom den snedställer projektilen rejält. Å andra sidan kan kanske den stora sidoförflyttningen i 70°-fallet innebära att projektilen missar målet. Vid små avstånd kommer snedställningen av projektilen inte att hinna utvecklas – då blir projektilkonsumtionen utslagsgivande, dvs plåtar med stor snedställning blir effektivare. Sönderslagning av projektilen är effektiv ur skyddssynpunkt både på korta och långa avstånd. Att det längsta fragmentet i fallet 60° medflygande plåt har en längd som är knappt hälften av ursprungsprojektilens längd och som dessutom är kraftigt roterad är klart intressant ur skyddssynpunkt.

Inverkan av projektilens slankhetstal

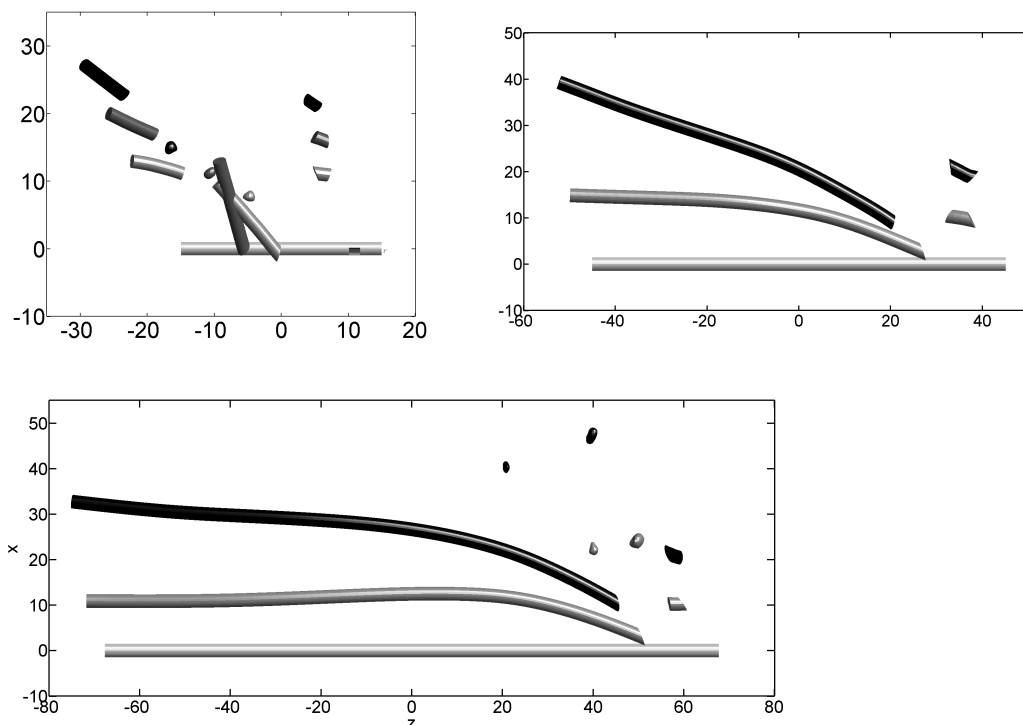
Eftersom slankhetstalet hos moderna pilar ökar alltmer är det av intresse att fastställa om inverkan av de olika målparametrarna beror av projektilens slankhetstal. Inverkan av slankhetstalet har studerats för plåtar med 60° lutning, tjocklek lika med projektildiametern och hastigheterna 200 m/s mot- och medflygande resp stationär plåt. Slankhetstalet $L/D=15$, 30 och 45 har studerats och projektilhastigheten var i samtliga fall 2000 m/s. Projektildiametern var 2 mm i fallet $L/D=15$ medan 3 mm användes vid försöken med längre projektiler. Figur 28-30 visar restprojektilernas utseende skalade till samma projektildiameter.



Figur 28. Inverkan av projektilens slankhetstal, $L/D=15$, 30 resp 45, vid motflygande plåt (200 m/s).



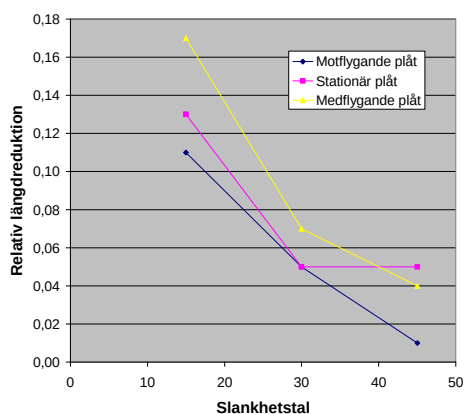
Figur 29. Inverkan av projektilens slankhetstal vid stillastående plåt.



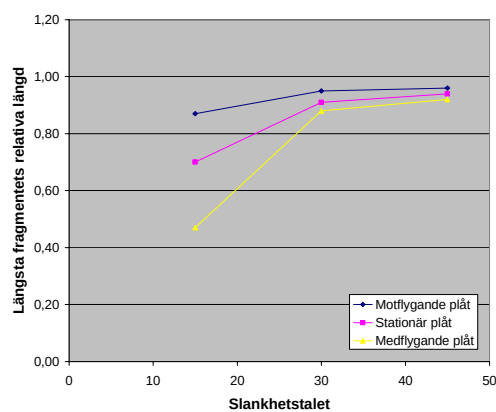
Figur 30. Inverkan av projektilens slankhetstal vid medflygande plåt (-200 m/s).

Bilderna tyder på ett mycket likartat beteende vid de olika slankhetstalen. De längre projektilerna har ett större tröghetsmoment varför rotationen blir lägre ju längre projektil som studeras. De kortaste projektilerna tycks också ha en större tendens att slås i bitar.

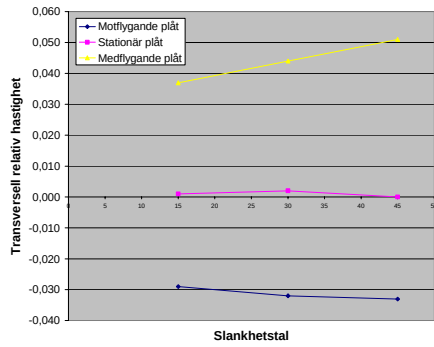
Figur 31-38 visar de utvärderade storheterna för resp fall i diagramform. Samtliga storheter finns dessutom tabellerade i tabell 2 och 3 i bilaga 1.



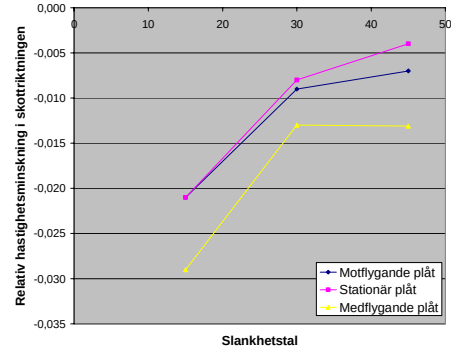
Figur 31. Inverkan av projektilens slankhetstal på ändringen i projektillängd $\Delta L / L$ för motflygande, stationär respektive medflygande plåt.



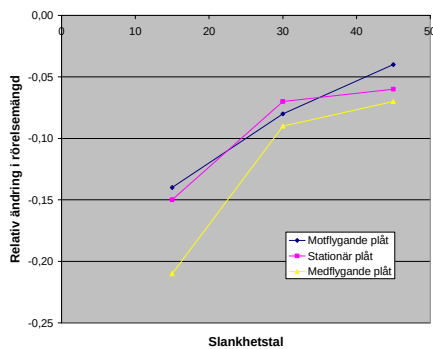
Figur 32. Inverkan av projektilens slankhetstal på längden av det längsta projektilfragmentet $L_{\max} / L$ för motflygande, stationär respektive medflygande plåt.



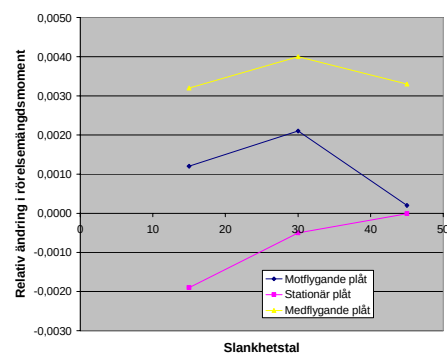
Figur 33. Inverkan av projektilens slankhetstal på hastigheten tvärs skottriktningen $\Delta v_x / v_{proj}^0$ för motflygande, stationär respektive medflygande plåt.



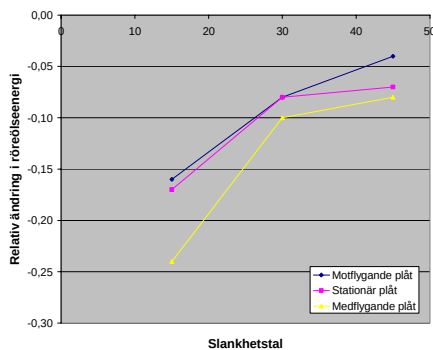
Figur 34. Inverkan av projektilens slankhetstal på ändringen i hastighet i skottriktningen $\Delta v_z / v_{proj}^0$ för motflygande, stationär respektive medflygande plåt.



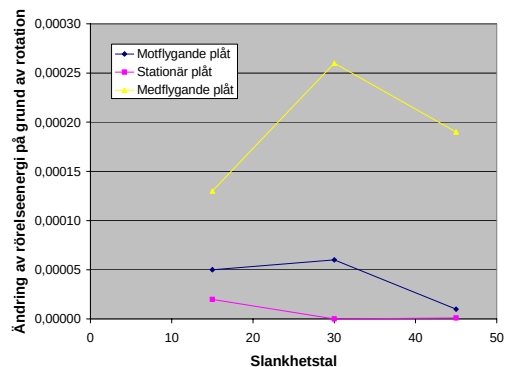
Figur 35. Inverkan av projektilens slankhetstal på ändringen i rörelsemängd $\Delta p_z / p^0$ för motflygande, stationär respektive medflygande plåt.



Figur 36. Inverkan av projektilens slankhetstal på ändringen i rörelsemängdsmoment $\Delta H_y / Lp^0$ för motflygande, stationär respektive medflygande plåt.



Figur 37. Inverkan av projektilens slankhetstal på ändringen i rörelseenergi $\Delta W_k / W^0$ för motflygande, stationär respektive medflygande plåt.



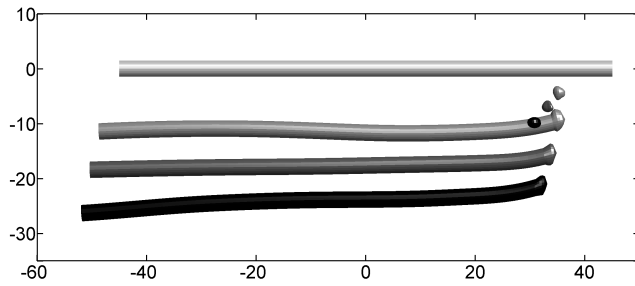
Figur 38. Inverkan av projektilens slankhetstal på ändringen i rotationsrelaterad rörelseenergi $\Delta W_{k,rot} / W^0$ för motflygande, stationär respektive medflygande plåt.

Diagram 30 antyder i första anblicken att längdreduktionen minskar med ökande slankhetstal. Eftersom resultaten presenteras i förhållande till ursprungslängden medför en likvärdig konsumtion en halvering av det relativa värdet då slankhetstalet fördubblas.

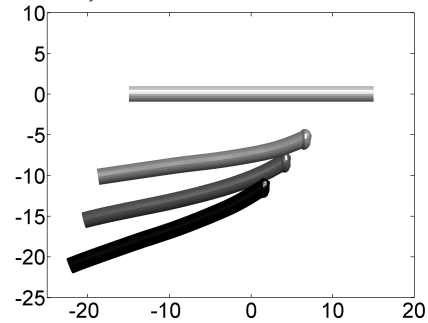
Inverkan av plåthastighet

Inverkan av plåthastighet har studerats för ett intervall från 300 m/s till -300 m/s, med steget 100 m/s, där positiva värden innebär motflygande plåt och negativa värden innebär medflygande plåt. Plåtvinkeln har i samtliga fall varit 60° lutning, plåttjockleken lika med projektildiametern och projektilhastigheten 2000 m/s. Försöksserien har utförts med två olika slankhetstal $L/D=15$ resp 30. Projektildiametern var 2 mm i fallet $L/D=15$ och 3 mm i fallet $L/D=30$. Figur 39-41 visar restprojektilernas utseende.

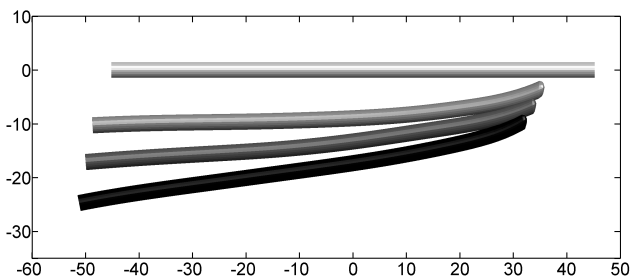
300 m/s, $L/D=30$



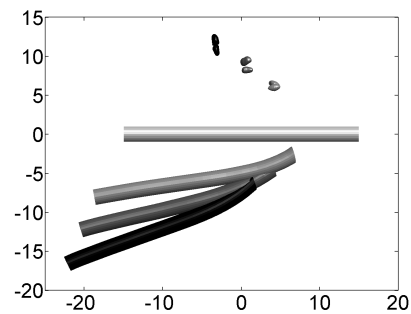
300 m/s, $L/D=15$



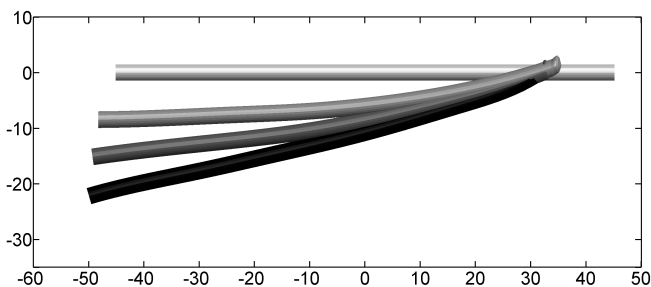
200 m/s, $L/D=30$



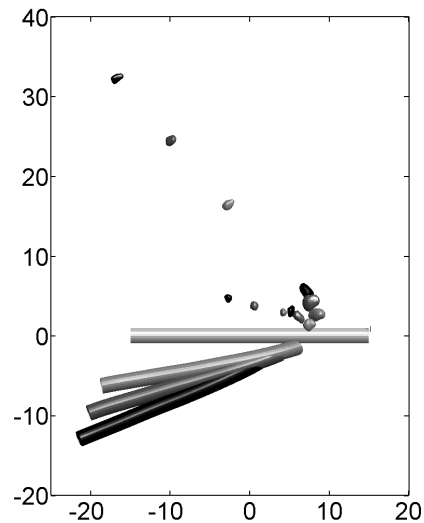
200 m/s, $L/D=15$



100 m/s, $L/D=30$

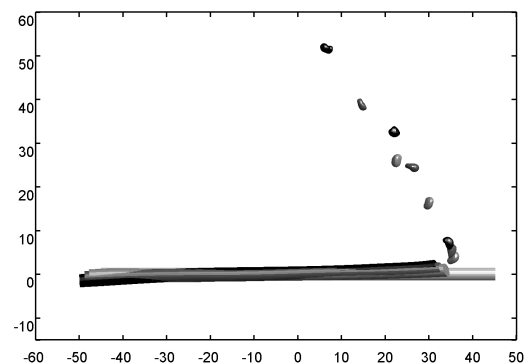


100 m/s, $L/D=15$

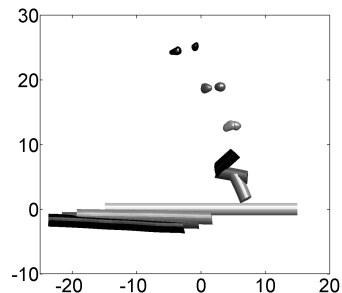


Figur 39. Inverkan av plåthastighet för 60° motflygande plåt för projektiler med slankhetstal 30 respektive 15 och projektilhastighet 2000 m/s.

0 m/s, $L/D=30$

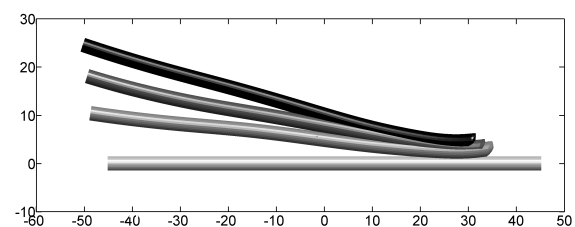


0 m/s, $L/D=15$

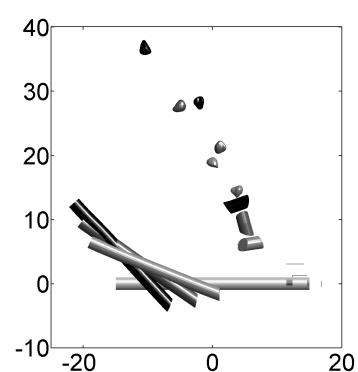


Figur 40. Referensfallet stillastående plåt för projektiler med slankhetstal 30 respektive 15 och projektilhastighet 2000 m/s.

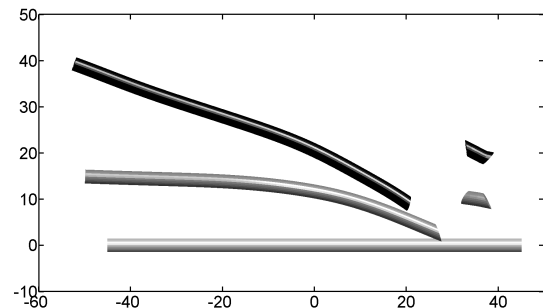
-100 m/s, $L/D=30$



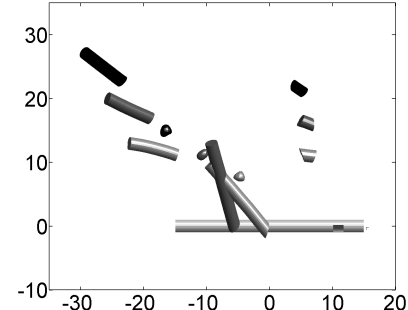
-100 m/s, $L/D=15$



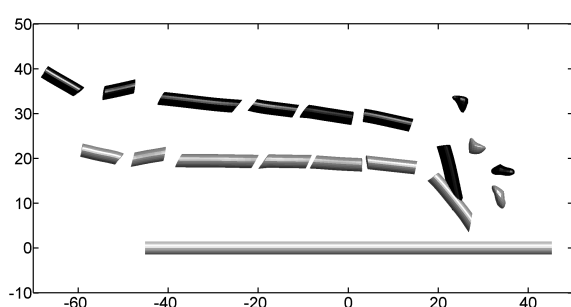
-200 m/s, $L/D=30$



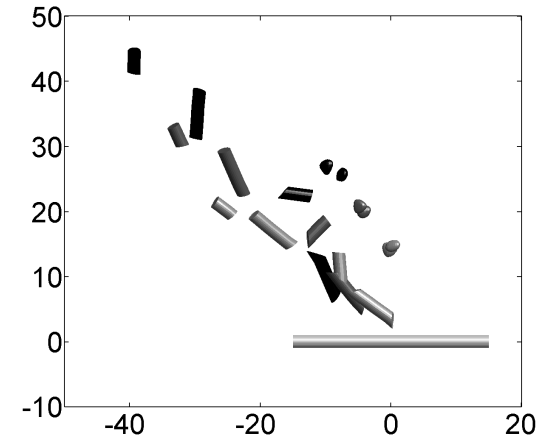
-200 m/s, $L/D=15$



-300 m/s, $L/D=30$



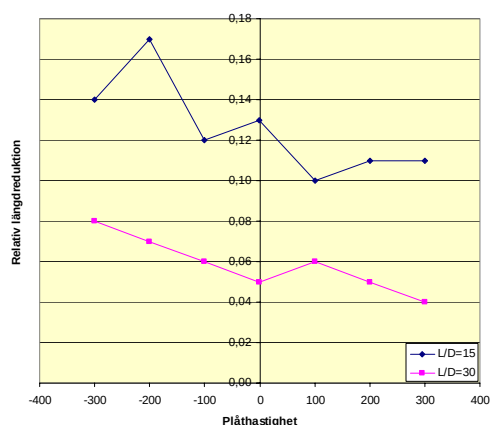
-300 m/s, $L/D=15$



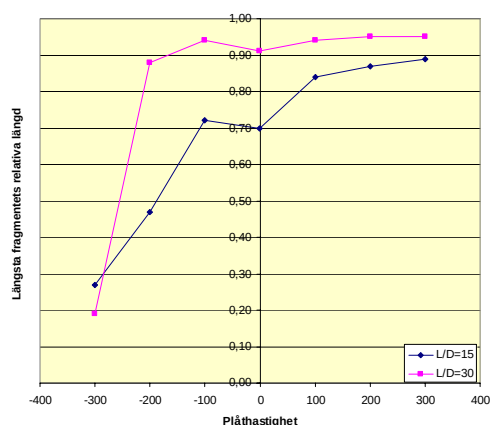
Figur 41. Inverkan av plåthastighet för 60° medflygande plåt för projektiler med slankhetstal 30 respektive 15 och projektilhastighet 2000 m/s.

Bilderna tyder på att det inte lönar sig att öka hastigheten på den motflygande plåten. Den ökande hastigheten tycks tvärtom ge en minskad effekt på projektilen. Vid medflygande plåt däremot ger den ökande hastigheten en betydande ökning av skyddsförmågan då sönderslagningen av projektilen ökar med ökande hastighet. Sönderslagningseffekten tycks dock minska med ökande slankhetstal hos projektilen.

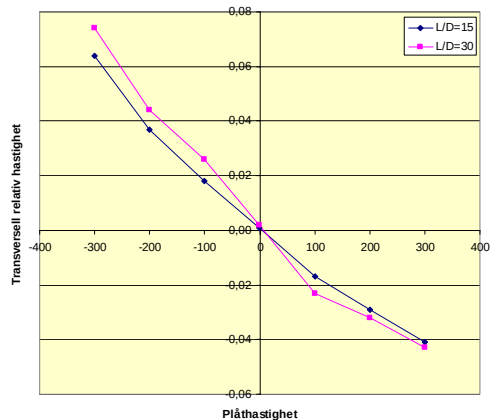
Figur 42-49 visar de utvärderade storheterna för resp fall i diagramform. Samtliga storheter finns dessutom tabellerade i tabell 2 och 3 i bilaga 1.



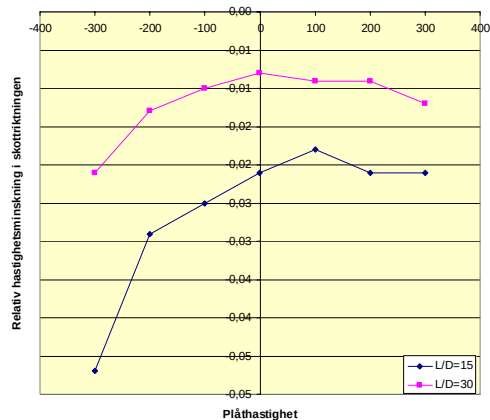
Figur 42. Plåthastighetens inverkan på ändringen i projektillängd $\Delta L / L$ för projektiler med slankhetstalen 15 respektive 30.



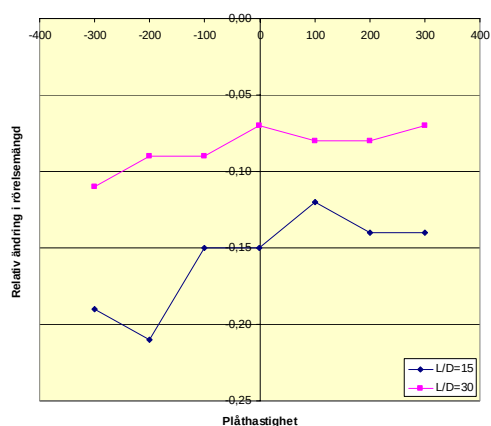
Figur 43. Plåthastighetens inverkan på längden av det längsta projektilfragmentet $L_{\max} / L$ för projektiler med slankhetstalen 15 respektive 30.



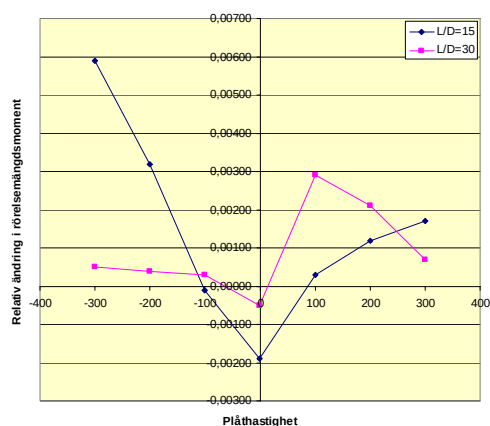
Figur 44. Plåthastighetens inverkan på hastigheten tvärs skottriktningen $\Delta v_x / v_{\text{proj}}^0$ för projektiler med slankhetstalen 15 respektive 30.



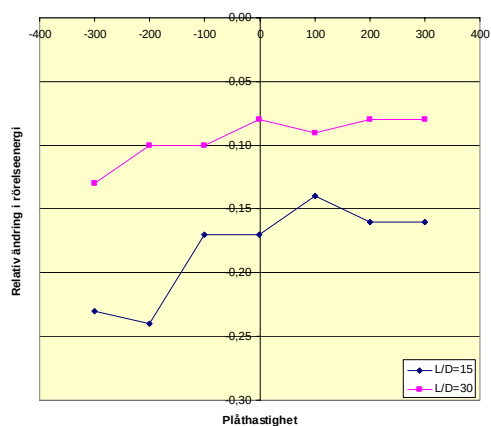
Figur 45. Plåthastighetens inverkan på ändringen i hastighet i skottriktningen $\Delta v_z / v_{\text{proj}}^0$ för projektiler med slankhetstalen 15 respektive 30.



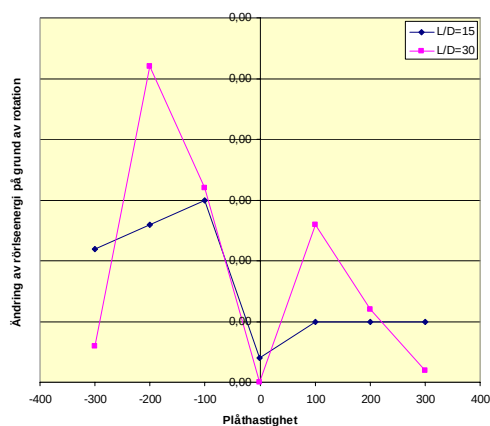
Figur 46. Plåthastighetens inverkan på ändringen i rörelsemängd $\Delta p_z / p^0$ för projektiler med slankhetstalen 15 respektive 30.



Figur 47. Plåthastighetens inverkan på ändringen i rörelsemängdsmoment $\Delta H_y / Lp^0$ för projektiler med slankhetstalen 15 respektive 30.



Figur 48. Plåthastighetens inverkan på ändringen i rörelseenergi $\Delta W_k / W^0$ för projektiler med slankhetstalen 15 respektive 30.

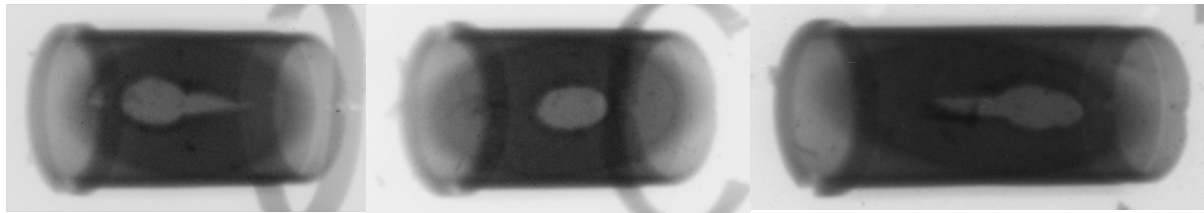


Figur 49. Plåthastighetens inverkan på ändringen i rotationsrelaterad rörelseenergi $\Delta W_{k,rot} / W^0$ för projektiler med slankhetstalen 15 respektive 30.

Längdreduktionen, rörelsmängden och rörelseenergin tenderar att öka med ökande hastighet för medflygande plåt medan den är relativt oberoende av hastigheten vid motflygande plåt.

Ökad plåthastighet vid medflygande plåt ökar ändringen i rörelsemängdsmoment men inte den del av rörelseenergin som härrör från rotationen. Anledningen till detta kan vara den ökade sönderslagningen av projektilen. Utspridningen av projektildelar och fragment ökar då ändringen i rörelsemängdsmomentet men inte i rörelseenergin. Dessutom minskar tröghetsmomentet hos små projektildelar och summan av dem snabbt med antalet projektildelar och fragment.

Skillnaden mellan mot- och medflygande plåt kan ytterligare belysas genom studier av utseendet på det av projektilen uppslagna hålet i plåten, se figur 50.



60° 200 m/s

60° 0 m/s

60° -200 m/s

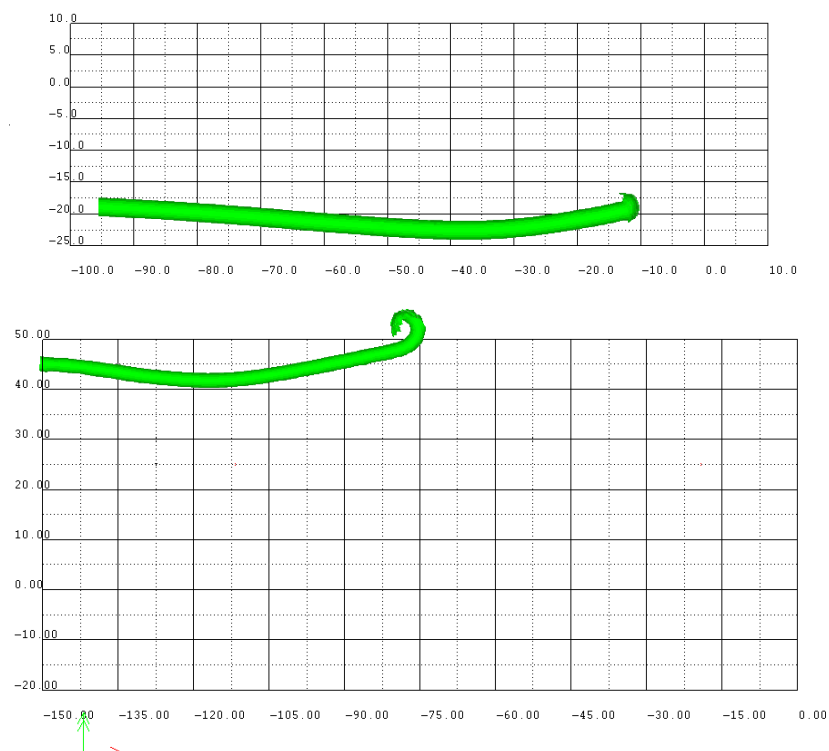
Figur 50. Hållkanalens utseende för fallen motflygande plåt 200m/s, stillastående plåt samt medflygande plåt 200m/s.

Vid stationär plåt tycks projektilspetsen slå upp ett hål med betydligt större diameter än projektilen (2,4 gånger projektildiametern), varefter projektilen passerar utan att påverkas vidare. Plåtens enda funktion är att konsumera en del av projektilspetsen.

Vid rörliga plåtar fortsätter plåten att påverka projektilen längs dess mantelyta vilket visar sig i ett nyckelhålsformat hål i plåten. Projektilspetsen slår upp ett i förhållande till projektildiametern stort hål (2,7 gånger projektildiametern) varefter det bildas en skåra med projektildiameterns bredd där projektilen glidit längs hålkanten.

Skillnaden mellan mot- och medflygande plåt framgår också av genomförda simuleringar.

Simuleringar har genomförts för fallen 300 m/s mot- och medflygande plåt och resultaten i form av restprojektilens translation och deformation efter 300 μ s visas i figur 51.

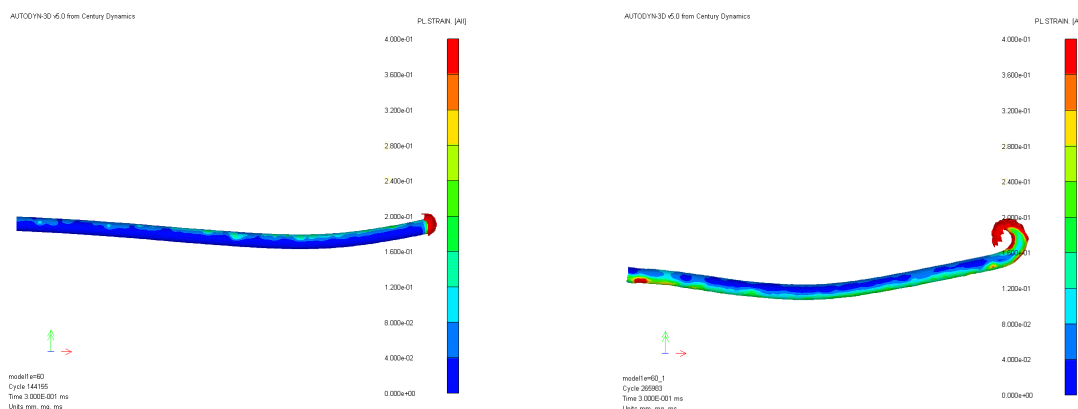


Figur 51. Restprojektilens deformation och translation efter 300 μ s för (a) motflygande plåt, (b) medflygande plåt. Plåthastigheten var i båda fallen 300 m/s. För jämförelse med ursprunglig konfiguration se figur 15.

Det framgår att projektilen kröks mera för fallet med en medflygande plåt jämfört med en motflygande plåt. I experimenten går projektilen av vilket inte är möjligt i simuleringarna eftersom de körs utan brottmodell.

För fallet med en medflygande plåt blev translationen i sidled av projektilen 33,7 mm efter 300 μ s. Motsvarande experimentella värde är svårt att utvärdera då projektilen var kraftigt sönderslagen, värdet bedöms dock vara av samma storleksordning. Motsvarande simulerade värde för den motflygande plåten var 21,1 mm (experiment ca 24,4 mm). Den eroderade massan av projektilen var 0,79 g för det medflygande fallet. Motsvarande för den motflygande plåten var 0,45 g. I experimenten har något större massa eroderats. Det plastiska arbetet i projektilen var ca 2,5 gånger större för det medflygande fallet jämfört med det motflygande fallet. Eftersom deformationshårdnandet är litet med de materialparametrar som använts innebär detta även att de plastiska töjningarna är i genomsnitt 2,5 gånger större för fallet med den medflygande plåten.

Figur 52 visar att den plastiska töjningen är betydligt större för det medflygande fallet än för det motflygande. I det medflygande fallet är den plastiska töjningen ca 15-20 % längs undersidan på projektilen. I dragprov med det använda projektilmaterialet Y925 är brotttöjningen ca 12 % vilket indikerar att projektilen i detta fall kan gå till brott, vilket den också gjorde i experimenten. Dragproven har dock visat att spridningen i brotttöjningen kan vara ganska stor.

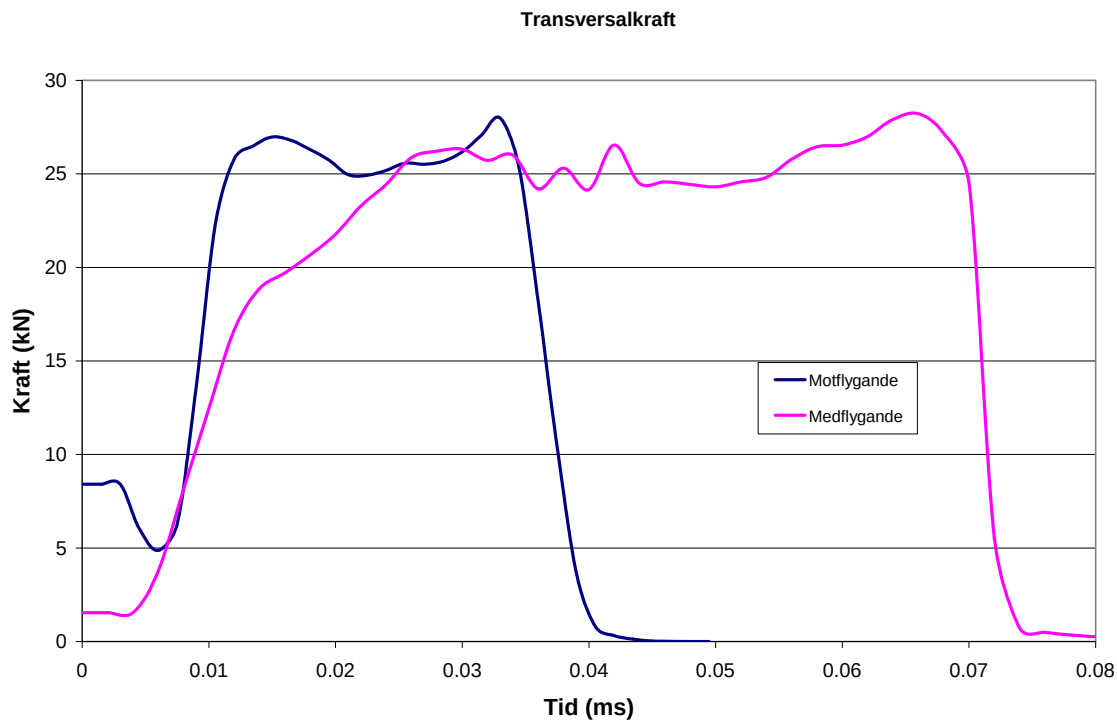


Figur 52. Den plastiska töjningen i restprojektilen 300 μ s efter anslag. Till vänster projektilen efter passage av en motflygande plåt, till höger efter passage av en medflygande plåt.

För att beräkna den transversella kraft som förflyttar sig längs projektilen har rörelsemängden för hela projektilen deriverats. Både kraften i vertikal- och längsled har beräknats på detta sätt, därefter har dessa krafter projicerats på en linje vinkelrätt mot projektilen för att få ut transversalkraften som funktion av tiden. För att i möjligaste mån bli av med de numeriska oscillationerna i kraftfunktionen har kraften filtrerats eller utjämnats ("smoothing" funktion). Detta innebär även att det exakta utseendet på funktionen som beskriver kraften som funktion av tiden blir något osäker. Speciellt vid tiden nära noll kan denna funktion få ett konstigt utseende beroende på utjämningsfunktionen, se figur 53.

I [19] härleds en analytisk formel för att beräkna den sidokraft som förflyttar sig längs projektilen. Denna ekvation tar dock endast hänsyn till plåtens densitet, då det enligt [19] anses att plåtens hållfasthet är försumbar vid plåthastigheter av storleksordningen 2000 m/s. Tvärtom visar simuleringarna att den sidokraft som orsakas av enbart tröghetskrafterna (plåtens densitet) endast är ca 20 % av den totala sidokraften. Detta innebär att den del av sidokraften som orsakas av hållfasthetsmodell och brottmodell är ca 4 gånger större än den del som orsakas av densiteten.

Det framgår av figur 53 att sidokraften på projektilen är relativt konstant i båda fallen ca 25 kN. Det förefaller även logiskt att transversalkraften inte gärna kan vara olika i de två fallen. Däremot är interaktionstiden nästan dubbelt så lång för fallet med den medflygande plåten. Detta innebär även att svephastigheten för transversalkraften är lägre för fallet som motsvarar en medflygande plåt. Med tanke på att det plastiska arbetet i projektilen är ca 2,5 gånger högre för fallet med den medflygande plåten är en slutsats att det plastiska arbetet är ungefärligt proportionellt mot interaktionstiden.



Figur 53. Transversalkraft som funktion av tiden.

SLUTSATSER

Genomförda försök visar att en snedställd störplåt ger konsumtion av projektilens spets, sönderslagning av projektilen samt sidoförflyttning och rotation av projektilen. Störplåten ger inte upphov till någon betydande hastighetsminskning på projektilen.

Störst konsumtion av projektilen erhålls vid medflygande plåt och en ökad hastighet ger i detta fall ett positivt bidrag till konsumtionen. Vid motflygande plåt tycks längdkonsumtionen vara ganska oberoende av plåthastigheten. Den parameter som påverkar projektilkonsumtionen starkast är plåtvinkeln, som ger en kraftig ökning av konsumtionen vid ökande plåtvinkel. Detta är rimligt då ökande plåtvinkel medför ökande gångväg genom plåten.

Sönderslagning av projektilen förekommer framför allt vid stora plåtvinklar och vid medflygande plåt. En ökande negativ hastighet ger en succesiv ökning av graden av sönderslagning, från ett lite större nosfragment till total sönderslagning i ett stort antal projektildelar utmed hela projektilens längd. Sönderslagning uppkommer tidigare (vid lägre hastighet på den medflygande plåten) för de kortare projektilerna. Vid 30° plåtvinkel förekommer överhuvudtaget ingen sönderslagning av projektilen vid de hastigheter som testats.

Sidoförflyttningen av projektilen ökar med såväl plåthastighet som plåtvinkel. Den rotation som överförs till projektilen minskar däremot markant vid ökande plåtvinkel. Vid motflygande plåt minskar rotationen också med ökande plåthastighet. En stationär plåt överför dock inte någon rotation till projektilen, annat än till de små sönderslagna nosfragmenten. Vid medflygande plåt ökar däremot rotationen vid ökande plåthastighet. Ju längre slankhetstal på projektilen desto svårare blir det att snedställa den vilket är naturligt då massan och tröghetsmomentet ökar (Vi valde att jämföra projektiler med samma diameter istället för med samma massa). Den kvalitativa projektilresponsen tycks i övrigt vara oberoende av projektilens slankhetstal.

För att projektilen ska hinna snedställas krävs ett avstånd mellan plåt och huvudpansar. De i försöken registrerade snedställningarna motsvarar långa avstånd. Även små snedställningsvinklar kan dock vara förödande för projektilens fortsatta penetrationsförmåga [1].

Effektivast ur skyddssynpunkt generellt är antagligen den snabba medflygande plåten som ger såväl kraftig sönderslagning av projektilen som stor utspridning av projektilfragmenten. Vid långa avstånd mellan störplåt och huvudpansar, som till exempel i sensoraktiverade skydd, kan det vara effektivt att använda motflygande plåt med förhållandevis liten snedställningsvinkel och låg hastighet då en sådan troligen är enklast att realisera konstruktivt.

REFERENSLISTA

1. Holmberg L och Lidén E.: "Snedställda och deformerade pilprojektilers genomslagsförmåga", FOI rapport FOI-R—1091—SE, 2003
2. Thoma K.: "Achievements and Results Annual Report 1999", Fraunhofer Institut Kurzzeitdynamik Ernst-Mach-Institut, Tyskland, 1999
3. Holmberg L., Lundberg P. and Westerling L.: "An experimental investigation of WHA long rods penetrating oblique steel plates", Proc 14th Int. Symp. on Ballistics, Quebec, Canada, pp 515-524, 1993
4. Hohler V., Schneider E., Stilp A. J. and Tham R.: "Length- and Velocity Reduction of High Density Rods Perforating Mild Steel and Armour Steel Plates", Proc 4th International Symposium on Ballistics, Monterey, CA, USA, Vol 1, 1978
5. Bruchey W. J., Ricchiazzi A. J. and Roecker E. T.: "Fibre-reinforced Materials for High Density Penetrators", Proc 6th Int. Symp. on Ballistics, Orlando, Florida, USA, Vol 1, 1981
6. Lynch N. J.: "An Assessment of the Penetration Performance of Four Tungsten Alloys against a Triple Plate Target", European Forum on Ballistics of Projectiles, Saint-Louis, France, 2000
7. Lundberg P., Wickert M., Andersson O., Holmberg L. och Hohler V.: "Replica modelling experiments with long rod penetrators hitting oblique plates. Influence of scale and experimental deviations" Proc 21st Int. Symp. On Ballistics, Adelaide, South Australia, Vol I, pp 232-238, 2004
8. Hauver G. E.: "Experiments with Instrumented Long-Rod Penetrators", Proc 5th Int. Symp. on Ballistics, Toulouse, France, 1980
9. Forde L. C., Bourne N. K., Rosenberg Z., Cornish R., Lynch N. J., Cullis I. G. and Church P. D.: "Experimental Investigation and Analysis of Penetration in Oblique Impact", Proc 16th Int. Symp. on Ballistics, San Francisco, CA, USA, Vol 3, pp 641-649, 1996
10. Bless S. J.: "Transverse Loads on a Yawed Projectile", Int. J. Impact Engng., 23(1):77-86, 1999
11. Normandia M. J.: "Eroded Length Model for Yawed Penetrators Impacting Finite Thickness Targets at Normal and Oblique Incidence", Int. J. Impact Engng., 23(1):663-674, 1999
12. Bless S., Subramanian R., Normandia M. and Campos J.: "Reverse Impact Results for Yawed Long Rods Perforating Oblique Plates", Proc 18th Int. Symp. on Ballistics, San Antonio, Texas, USA, Vol 2, pp 693-701, 1999

13. Holmberg L., Lidén E och Westerling L.: "Kan man lita på modellskaleförsök?", FOA-rapport FOA-R—00-01584-310—SE, 2000
14. Lundberg P. och Andersson O.: "Modellskaleförsök med KE-projektiler; interaktion med en snedställd plåt", FOI-rapport FOI-R—0912—SE, 2003
15. Birnbaum N.K., Cowler M.S., Itoh M., Katayama M. and Obata H.: "AUTODYN an Interactive Non-linear Dynamic Analysis Program for Microcomputers through Supercomputers," 9th Int. Conf. on Structural Mechanics in Reactor Technology, Lausanne, Switzerland, 1987.
16. Lidén E, Ottosson J and Holmberg L.: "WHA long rods penetrating stationary and moving oblique steel plates", Proc 16th Int. Symp. on Ballistics, San Francisco, CA, USA, Vol 3, pp 703-712, 1996
17. Skoglund P.: "Constitutive modelling and mechanical properties of a tungsten heavy metal alloy", FOI rapport FOI-R—0723—SE, 2002
18. Johnson G. R. and Cook W. H.: "Fracture characteristics of three metals subjected to various strains, strain rates, temperatures and pressures", Int. J. Engineering Fracture Mechanics, 21:31-48, 1985
19. Satapathy S., Bedford A., Bless S., Behaviour of yawed projectile penetrating a thin plate, Int. J. Impact Engng. Vol. 21, No. 7, pp. 597-608, 1998.

Bilaga 1

De i försöken använda skottparametrarna

Fall nr	Skott nr	Slank- hetstal	Parametrar i det verkliga fallet			Parametrar i det omvända skjutförsöket		
		L/D	α [°]	$v_{\text{plåt}}$ [m/s]	v_{proj} [m/s]	γ [°]	β [°]	v_{drivsp} [m/s]
1	311	15	30	200	2000	2,6	27,4	2176
2	345	15	30	0	2000	0,0	30,0	2000
3	347	15	30	-200	2000	-3,1	33,1	1830
4	307	15	60	300	2000	6,9	53,1	2166
5	304	15	60	200	2000	4,7	55,3	2107
6	385	15	60	100	2000	2,4	57,6	2052
7	306	15	60	0	2000	0,0	60,0	2000
8	312	15	60	-100	2000	-2,5	62,5	1952
9	313	15	60	-200	2000	-5,2	65,2	1908
10	349	15	60	-300	2000	-8,0	68,0	1868
11	315	15	70	200	2000	5,2	64,8	2077
12	316	15	70	0	2000	0,0	70,0	2000
13	317	15	70	-200	2000	-5,6	75,6	1941
14	502	30	60	300	2000	6,9	53,1	2166
15	497	30	60	200	2000	4,7	55,3	2107
16	503	30	60	100	2000	2,4	57,6	2052
17	494	30	60	0	2000	0,0	60,0	2000
18	504	30	60	-100	2000	-2,5	62,5	1952
19	511	30	60	-200	2000	-5,2	65,2	1908
20	521	30	60	-300	2000	-8,0	68,0	1868
21	519	45	60	200	2000	4,7	55,3	2107
22	518	45	60	0	2000	0,0	60,0	2000
23	520	45	60	-200	2000	-5,2	65,2	1908

Resultat avseende ändring i massa, längd och hastighet

Fall	Ändring i projektil-massa	Ändring i projektil-längd	Antal projektil-delar	Maximal projektil-delslängd	Ändring i hastighet i x-led	Ändring i hastighet i y-led	Ändring i hastighet i skjutriktningen
	$\Delta m / m$	$\Delta L / L$	n	$L_{\max} / L$	$\Delta v_x / v_{\text{proj}}^0$	$\Delta v_y / v_{\text{proj}}^0$	$\Delta v_z / v_{\text{proj}}^0$
1	-0,08	-0,07	1	0,93	-0,019	0,004	-0,015
2	-0,08	-0,07	1	0,93	-0,002	0,001	-0,013
3	-0,07	-0,06	1	0,94	0,019	0,000	-0,021
4	-0,12	-0,11	1	0,89	-0,041	0,003	-0,021
5	-0,12	-0,11	1	0,87	-0,029	0,004	-0,021
6	-0,11	-0,10	1	0,84	-0,017	0,002	-0,018
7	-0,14	-0,13	2	0,70	0,001	0,003	-0,021
8	-0,13	-0,12	2	0,72	0,018	0,003	-0,025
9	-0,19	-0,17	3	0,47	0,037	0,001	-0,029
10	-0,15	-0,14	4	0,27	0,064	0,001	-0,047
11	-0,19	-0,18	2	0,73	-0,048	0,003	-0,028
12	-	-	-	-	-	-	-
13	-	-	-	-	-	-	-
14	-0,06	-0,04	1	0,95	-0,043	0,001	-0,012
15	-0,07	-0,05	1	0,95	-0,032	-0,001	-0,009
16	-0,07	-0,06	1	0,94	-0,023	0,000	-0,009
17	-0,07	-0,05	1	0,91	0,002	0,000	-0,008
18	-0,07	-0,06	1	0,94	-0,026	0,000	-0,010
19	-0,08	-0,07	2	0,88	-0,044	-0,002	-0,013
20	-0,09	-0,08	7	0,19	0,074	-0,002	-0,021
21	-0,06	-0,05	1	0,94	0,000	0,000	-0,004
22	-0,03	-0,01	1	0,96	0,033	0,001	-0,007
23	-0,05	-0,04	2	0,92	0,051	-0,002	-0,013

Resultat avseende ändring i rörelsemängd, rörelsemängdsmoment och rörelseenergi

Fall nr	Ändring i rörelsemängd $\Delta p_z / p^0$	Ändring i rörelsemängdsmoment $\Delta H_y / Lp^0$	Ändring i rörelseenergi $\Delta W_k / W^0$	Ändring i translatorisk rörelseenergi $\Delta W_{k, tr} / W^0$	Ändring i rotationsrelaterad rörelseenergi $\Delta W_{k, rot} / W^0$
1	-0,09	0,0033	-0,11	-0,11	0,00017
2	-0,10	0,0004	-0,11	-0,11	0,00000
3	-0,09	0,0035	-0,11	-0,11	0,00021
4	-0,14	0,0017	-0,16	-0,16	0,00005
5	-0,14	0,0012	-0,16	-0,16	0,00005
6	-0,12	0,0003	-0,14	-0,14	0,00005
7	-0,15	-0,0019	-0,17	-0,17	0,00002
8	-0,15	-0,0001	-0,17	-0,17	0,00015
9	-0,21	0,0032	-0,24	-0,24	0,00013
10	-0,19	0,0059	-0,23	-0,23	0,00011
11	-0,21	-0,0016	-0,23	-0,23	0,00003
12	-	-	-	-	-
13	-	-	-	-	-
14	-0,07	0,0007	-0,08	-0,08	0,00001
15	-0,08	0,0021	-0,08	-0,08	0,00006
16	-0,08	0,0029	-0,09	-0,09	0,00013
17	-0,07	-0,0005	-0,08	-0,08	0,00000
18	-0,09	0,0003	-0,10	-0,10	0,00016
19	-0,09	0,0004	-0,10	-0,10	0,00026
20	-0,11	0,0005	-0,13	-0,13	0,00003
21	-0,01	0,0002	-0,07	-0,07	0,00001
22	-0,04	0,0000	-0,04	-0,04	0,00001
23	-0,07	0,0033	-0,08	-0,08	0,00019

Utgivare Totalförsvarets Forskningsinstitut - FOI Vapen och skydd 147 25 Tumba	Rapportnummer, ISRN FOI-R--1607--SE	Klassificering Teknisk rapport
	Forskningsområde 5. Bekämpning	
	Månad, år Mars 2005	Projektnummer E2034
	Delområde 51 VVS med styrda vapen	
	Delområde 2	
Författare/redaktör Ewa Lidén Olof Andersson Anders Tjernberg	Projektledare Ewa Lidén	
	Godkänd av	
	Uppdragsgivare/kundbeteckning	
	Tekniskt och/eller vetenskapligt ansvarig	
Rapportens titel Inverkan av grundläggande plåt- och projektilparametrar på rörliga plåtars skyddsförmåga		
Sammanfattning (högst 200 ord) Dynamiska tilläggsskydd är avsedda att störa hotstridsdelen innan denna träffar grundpansaret och kommer att bli en vanligt förekommande skyddskomponent i framtida pansarskydd. En vanlig hard-kill-del i sådana system är en rörlig störplåt. Målsättningen med en nu pågående studie är att bygga upp en grundläggande förståelse för hur en sådan störplåt snedställer, deformerar och/eller slår sönder en pilprojektil och utreda hur olika projektil- och plåtparametrar inverkar. I arbetet har ingått att utveckla en lämplig försöksmetod och en utvärderingsmetodik med vars hjälp resultaten från försöken kan kvantifieras. Förutom experiment har även kontinuumdynamiska simuleringar genomförts. I denna rapport redovisas försöksmetoden och utvärderingsmetodiken samt inverkan av längd-kaliber-förhållande på projektilen och vinkel och hastighet på störplåten.		
Nyckelord Sneda plåtar, reaktivt pansar, sensoraktiverat skydd, bekämpningsmekanismer, KE-projektiler, pilprojektiler omvända skjutförsök		
Övriga bibliografiska uppgifter	Språk Svenska	
ISSN 1650-1942	Antal sidor: 39.	
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--1607--SE	Report type Technical report
	Programme Areas 5. Combat	
	Month year March 2005	Project no. E2034
	Subcategories 51 Weapons and Protection	
	Subcategories 2	
Author/s (editor/s) Ewa Lidén Olof Andersson Anders Tjernberg	Project manager Ewa Lidén	
	Approved by	
	Sponsoring agency	
	Scientifically and technically responsible	
Report title (In translation) Influence of plate- and projectile parameters on the protection capability of moving plates against long rod penetrators		
Abstract (not more than 200 words) Dynamic add-on armours are used to disrupt threat warheads before they hit the basic armour. They will constitute an important part of future armour concepts and a frequently used hard-kill component of such a system is a moving plate. The aim of a current study is to build up a basic understanding of the way a moving plate yaws, deforms and/or fragments a long rod penetrator and to assess the influence of projectile and target parameters. Part of the work has consisted in the development of a suitable experimental method and an evaluation methodology enabling quantification of the experimental results. Apart from experiments, continuum-dynamic simulations have been carried out. In this report, the test set-up and the evaluation procedure is described. The influence of long rod penetrator aspect ratio and plate angle of obliquity and velocity is accounted for.		
Keywords Olique plates, reactive armour, active armour, hard-kill komponents, KE-projectiles, long rod projectiles, reverse impact		
Further bibliographic information	Language Swedish	
ISSN 1650-1942	Pages 39.	
	Price acc. to pricelist	