

Effectiviteitsbepaling van wapens en munitie

1. Eindballistisch onderzoek in het Prins Maurits Laboratorium TNO

Tactische operaties van manoeuvre-eenheden moeten steunen op de technische mogelijkheden, maar vooral ook rekening houden met de technische beperkingen van de beschikbare wapens en munitie. In een tijd waarin de pantserbescherming een snelle evolutie doormaakt en munitie voortdurend wordt aangepast, is een scherpe analyse van de wapeneffectiviteit voor het gehele spectrum van wapen-doelcombinaties noodzakelijk.

In dit eerste deel van onze bijdrage worden de experimentele mogelijkheden behandeld voor het meten van projectiel-doel-interacties in het nieuwe Laboratorium voor Ballistisch Onderzoek van het Prins Maurits Laboratorium TNO. In deel 2, dat over enige tijd zal verschijnen zullen de computermethodes worden beschreven waarmee de eindballistische metingen zijn te gebruiken in kwetsbaarheidsstudies. Ook de daarop aansluitende bepaling van de zg. wapenindicatoren en een vergelijkende methode voor de bepaling van de wapeneffectiviteit in een organiek verband op basis van die indicatoren worden daarin behandeld.

Waarom een nieuw laboratorium voor ballistisch onderzoek?

Tien jaar geleden werd reeds onderkend dat door het groeiende aantal mogelijke wapen-doel-interacties en varianten van concurrerende wapensystemen en munitietypes eigen onderzoek van essentieel belang is. Inmiddels is die behoefte alleen nog maar sterker geworden, hetgeen o.a. binnen de NAVO heeft geleid tot bi- en trilaterale samenwerking ter verdeling van werk en kosten.

Zo is bv. de helikopter als gevechtsplatform verschenen. Deze voert wapens tegen gevechtsvoertuigen, andere heli's en personeel, terwijl andersom nieuwe specifieke wapens tegen helikopters worden overwogen en van bestaande systemen de effectiviteit wordt vastgesteld en eventueel ver-

beterd. Bovendien geldt in het algemeen dat de bescherming van de platforms voortdurend verbetert, hetgeen kostbare munitieaanpassingen vergt. Men denke aan bv. Tow, ITow, Tow-2 en Tow-2A en aan de reeks primaire tankmunities 105 en 120 mm tegen achtereenvolgens de T62, T64, T72 en T80 Sovjetrussische tanks. Bovendien is gedurende een engagement het gemiddelde tijdsverloop tot de uitschakeling een belangrijke factor gebleken. Voorheen werd dit laatste vrijwel nooit in een eis verwoord, maar gezien het hoge tempo waarin de huidige gevechtsacties zich voltrekken, zijn dat tijdsverloop, en daarmee het aantal schoten tot de uitschakeling en de schotherhalingstijd, nu vaak doorslaggevend.

De bestaande faciliteiten bij Defensie, waar proefnemingen konden worden gedaan, werden te klein. De mogelijkheden op Defensieschietterreinen verminderen door oprukkende bebouwing en als gevolg van strengere veiligheids- en hinderwetseisen. Daarbij worden bovendien de effecten zwaarder, bv. bij het explosief reactief pantser, dat qua veiligheidscirkel niet onaanzienlijke eisen stelt. De beproevingsbunker van het Prins Maurits Laboratorium (gebouwd in 1975) is nu te licht (maximaal 5 kg springstof) en vooral qua projectiel-vluchtafstand te kort (10 m). Door dit laatste vormden het wapenen van een buis en de vluchtstabiliteit van het projectiel even zovele problemen.

In september 1989 is een onder regie van het Directoraat Gebouwen, Werken en Terreinen van de KL gebouwde faciliteit op de vliegbasis Ypenburg geopend die vele nieuwe mogelijkheden biedt. Dit nieuwe Laboratorium voor Ballistisch Onderzoek wordt verderop beschreven.

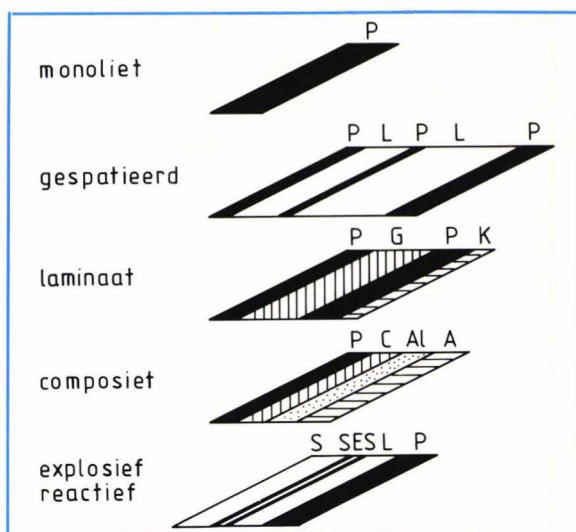
Eindballistische beproevingen en hun doel

Zogenaamde conventionele munitie kan worden

onderscheiden in kinetische-energiemunitie (KE) en chemische-energiemunitie (CE). De eerste ontleent haar effect van doorboring van het doel aan haar massa, gecombineerd met de bij het afschieten verkregen snelheid, die soms onderweg nog enigszins wordt vergroot door een hulpraket of ramjetmotor. De snelheid van deze projectielen is doorgaans hoog: 1100-1800 m/s. De tweede soort munitie, de CE, vliegt doorgaans veel langzamer: 300-600 m/s. Het vaak met een raketmotor aangedreven projectiel bevat een springlading die bij het doel via een ontsteekmechanisme of buis tot detonatie komt (chemische energie wordt vrijgemaakt). Men onderscheidt blast-, brisant- en gevormde of holle ladingen.

In het Laboratorium voor Ballistisch Onderzoek worden de prestaties van KE-munitie en van de brisante en gevormde-lading-CE-munitie onderzocht, aangezien die de hoofdbewapening van infanterie, cavalerie, artillerie en genie uitmaken. Voorts vinden wij bij de Koninklijke marine KE-munitie in het Goalkeeper luchtverdedigingssysteem, en brisante munitie in de 40, 76 en 120 mm kanons aan boord van de fregatten. Bij de Koninklijke luchtmacht is er het 20 mm boordkanon met diverse typen munitie en de 40 mm brisante luchtverdedigingsmunitie. In de loop der jaren zijn vrijwel al deze munities op hun effectiviteit onderzocht. Uitzondering vormen de KE-tankmunities. Het geweld dat daarbij wordt vrijgemaakt kan ook in de nieuwe schietbunker niet met voldoende garantie worden bedwongen. Aangezien de tankdoelen waarop wordt geschoten, en die bestaan uit een reeks platen van diverse materialen: pantserstaal, glas, keramiek, rubber enz. (afb. 1), op ware schaal bijzonder kostbaar zijn, is er dubbel reden om hierbij zo nodig oriënterende beproeving op verkleinde schaal ($\frac{1}{4}$) uit te voeren en pas voor een definitieve proef te velde te gaan. Alle overige munitiesoorten met een springstofladingsgewicht tot 25 kg kunnen in ieder geval statisch op een doel worden beproefd en soms ook dynamisch.

De beproevingen zijn in het algemeen geen herhaling van wat de munitiefabrikant onderzoekt. Deze moet aantonen dat zijn produkt aan specificaties voldoet. In het Laboratorium voor Ballistisch Onderzoek gaat het om het ontwikkelen van een specificatie, om vergelijkende proeven voor aanschafadviezen, maar vaak ook om het verkrij-



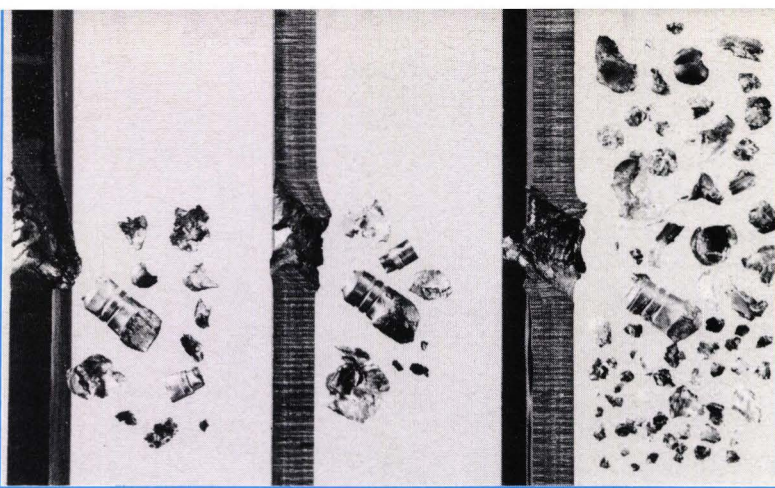
Afb. 1 Schematische voorstelling van enkele configuraties van pantser, zoals die tegenwoordig voor tanks worden gebruikt

P pantserstaal (RHA), L lucht, G glas, K kunststof liner (PE), C keramiek, Al aluminium, A aramide, S staal, E springstof

gen van gedetailleerde gegevens waarmee kwetsbaarheidsmodellen van een doel kunnen worden gevoed.

Bij de vraag wat een bepaald type munitie tegen een doel vermag uit te richten, wordt namelijk eerst een doelmodel opgesteld. Dat bestaat uit een geometrische beschrijving die in een computerprogramma wordt opgeslagen, alsmede een functionele beschrijving, een soort foutenboom, met een lijst van wat het betekent indien een component uitvalt. Vervolgens worden schootslijnen in het computermodel gegenereerd. Aan de hand van prestatiegegevens van de munitie en de ballistische weerstand van de doel huid en van de interne componenten wordt vervolgens de mate van functieverlies van het doelplatform berekend. Dat functieverlies wordt veelal uitgedrukt in de kans op uitschakeling van een bepaalde gevechtsfunctie: kans op uitschakeling van mobiliteit, vuurkracht of personeel of kans op catastrofale uitval (M-, F-, P- of K-kill). In deel 2 van deze bijdrage zullen wij zien hoe uit de prestatie van de munitie en de kwetsbaarheid van het doel de munitielethaliteit in de wapen-doel-interactie wordt afgeleid. Op haar beurt wordt deze letaliteitsinformatie dan weer ingezet in gevechtssimulaties.

In het voorgaande is al duidelijk geworden dat de prestatie van een bepaald type munitie niet eenvoudig in een enkel getal is vast te leggen. Wan-



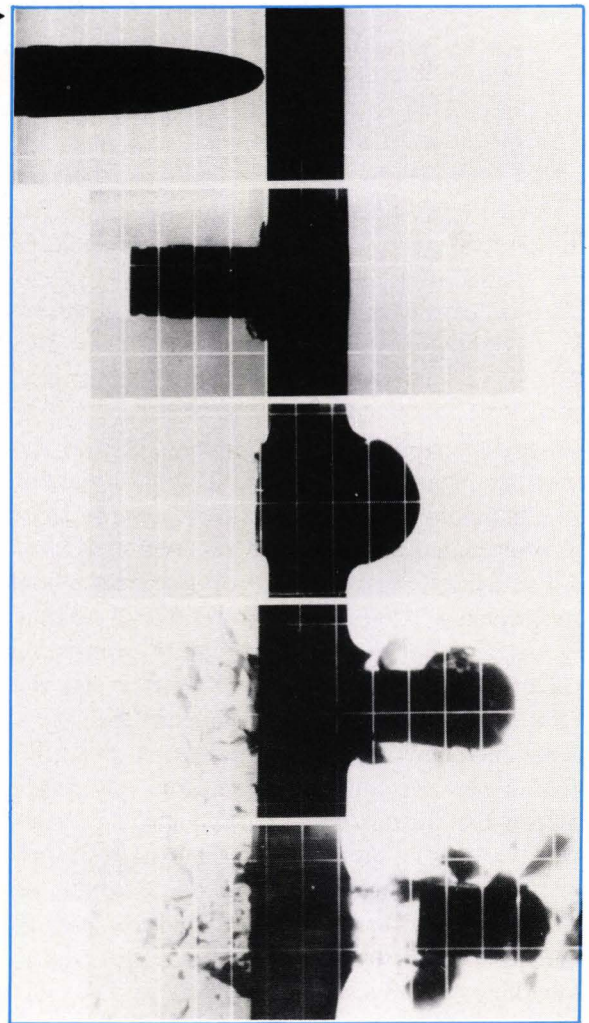
Afb. 2 Voorbeelden van doelplaten, projectielresten en scherven, verzameld na perforatie van een doelplaat door een 25 mm APDS-projectiel

Afb. 3 Röntgenflitsopnamen van de perforatie van een 40 mm doelplaat door een 40 mm AP projectiel; de projectielsnelheid bedraagt ca. 900 m/s en de tijdsintervallen zijn ca. 100 μ s

neer op details wordt ingegaan blijkt het echter nog gecompliceerder dan het op het eerste gezicht al lijkt. Het is namelijk niet alleen een kwestie van penetratiediepte van scherf, projectiel of holle-ladingsstraal in verschillende doelmaterialen, maar tijdens de penetratie kunnen secundaire scherven uit de doelplaat worden vrijgemaakt (afb. 2), die vaak een aanzienlijke massa en snelheid hebben. Deze zg. spallscherven vliegen in een kegelvormige bundel van het inslagpunt weg en kunnen diep in het doel schade veroorzaken. Ook het binnendringende projectiel zelf kan opbreken, terwijl de divergerende brokstukken bij voldoende initiële energie verdere schade genereren. In een enkel geval zijn ook schok-, blast- en vlamwerking van belang.

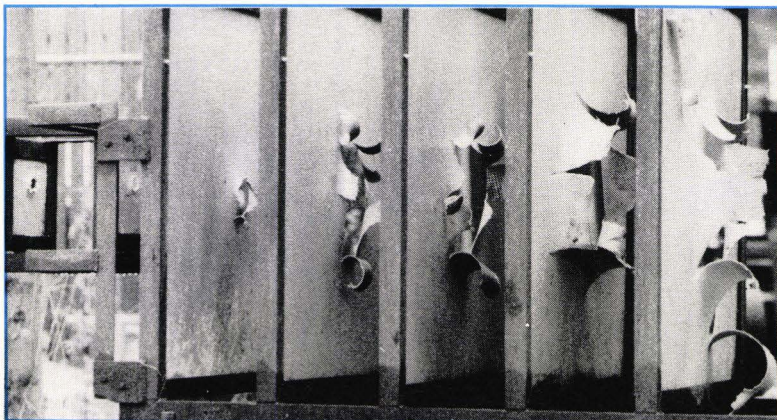
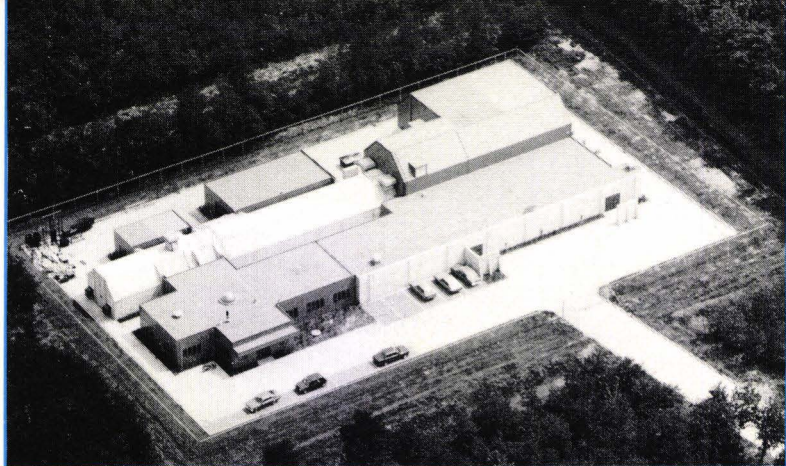
Vandaar dat het nodig is bij CE-munitie de mechanismen van de gevechtslading zelf te bestuderen en de trefcondities op realistische wijze te simuleren. Daarbij hebben wij te maken met projectielsnelheden van ten minste 1 à 2 km/s en bij de straal van een holle lading tot zelfs 8 à 9 km/s. Het functioneren van de gevechtslading zelf en ook de inslag op een doel gaan gepaard met vlam- en rookverschijnselen die gewone (ultrasnelle) fotografie vaak onbruikbaar maken.

Een belangrijk instrument bij het onderzoek is daarom röntgen-flitsfotografie (afb. 3 en 7). Daarbij wordt door middel van een in serie geschakelde condensatorenbank een ontlading over een röntgenbuis getriggert die een flits produceert van ca. 20 ns (nanoseconde, miljardste seconde). Een cassette met film en versterkerfolie verderop in de bundel ziet de „schaduw” van het projectiel alsof het stilstaat. Door vanuit verschillende, vaak onderling loodrechte, richtingen te flitsen op een



aantal tijdstippen achter elkaar kan van zeer complexe verschijnselen een beeld worden verkregen. Verder is het recent mogelijk geworden de röntgenfilms in een computer in te lezen. Daarna kunnen, via een aantal mathematische bewerkingen, „deeltjes” van een achtergrond worden onderscheiden, zodat van een schervenbundel zelfs „automatisch” aantal, massaverdeling en snelheden in de ruimte kunnen worden bepaald.

Afb. 4 Het nieuwe Laboratorium voor Ballistisch Onderzoek van PML-TNO te Ypenburg



Afb. 5 Array van aluminiumplaten dat met het nieuwe 35 mm Frangible Armour Piercing Discarding Sabot (FAPDS) projectiel voor luchtdoelgeschut is beschoten; het projectiel kwam van links (een niet-opbrekend projectiel zou in elk van de platen slechts één klein gat hebben geslagen)

Aangezien experimenten kostbaar zijn, ook al worden ze soms op verkleinde schaal uitgevoerd, zoekt men ook zijn toevlucht tot zg. numerieke simulaties op de computer. De differentiaalvergelijkingen die behoud van massa, impuls en energie beschrijven worden samen met de toestandsvergelijkingen en de sterkterelaties van de betrokken materialen opgelost met behulp van de eindigedifferentiemethode. Daarbij wordt een driedimensionaal netwerk opgespannen en de condities worden per „cel” bijgehouden. Van cel tot cel worden per tijdstap de veranderingen doorgerekend. Aangezien de rekenprogramma's de laatste tijd veel gebruikersvriendelijker zijn geworden en de grafische pakketten indrukwekkende mogelijkheden bieden, zijn die rekencodes een uitstekende aanvulling op de experimenten.

Nieuwe faciliteit: het Octagon

Het Laboratorium voor Ballistisch Onderzoek van de Sectie Ballistiek van het PML (afb. 4) bezit de volgende, unieke combinatie van overdekte testfaciliteiten.

- Een schietunnel ter lengte van 60 m. Deze maakt een vluchtlengte van 50 m mogelijk, het-

geen in de meeste gevallen voldoende is voor vluchtstabilisatie van het projectiel en voor het wapenen van gebuisde munitie. De mogelijkheid van een toekomstige uitbreiding naar 200 m is voorzien.

- Het verschietsen en dynamisch testen van munitie tot en met een kaliber van 76 mm is mogelijk. De gehele tunnel is bestand tegen de detonatie van een dergelijke granaat.
- De eigenlijke doelruimte is bestand tegen detonaties van springstofladingen van 25 kg TNT-equivalent. Dat maakt het mogelijk de verscherving van artilleriegranaten statisch te testen, het effect van de inslag van projectielen op de gevechtslading van geleide wapens t.b.v. het Goalkeeper-systeem te bestuderen en de prestaties en werking van grote holle ladingen te evalueren.
- Het grote vloeroppervlak van de doelruimte van 48 m² biedt gelegenheid tot het uitvoeren van proeven met grote doelopstellingen, zoals grote series achter elkaar staande platen ter simulatie van luchtdoelen (afb. 5).
- In de tweede schietunnel, met een lengte van 40 m, kan met inerte munitie tot en met een kaliber van 25 mm worden geschoten. Hier kunnen grote series kleinschalige experimenten worden uitgevoerd. ➤

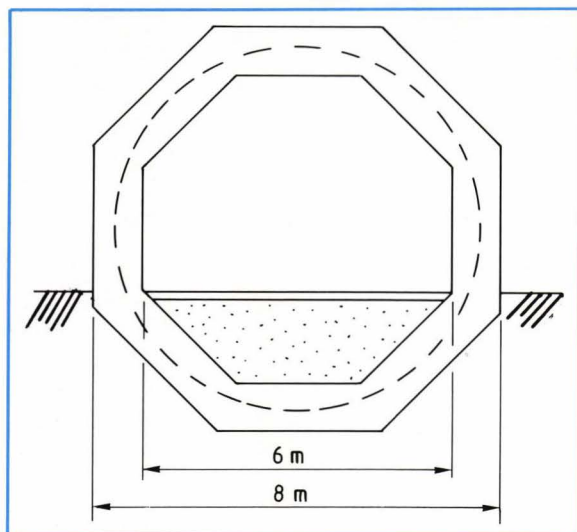
- De twee tunnels hebben een grote gemeenschappelijke instrumentatieruimte. Via openingen in de muren van de tunnels en in de bovenzijde van de grote doelruimte kunnen de experimenten via optische en röntgentechnieken worden geregistreerd. Additionele meetruimtes bevinden zich rond de schietopstelling, zodat ook onderzoek kan worden gedaan aan inwendige en overgangsbalistiek (bv. de scheiding van sabotdelen).

Het ontwerp van de grote doelruimte is uniek. Om een cilindervorm te benaderen (een cirkelvormige dwarsdoorsnede is ideaal voor het opvangen van grote belastingen) is de tunnel gebouwd met een achthoekige dwarsdoorsnede (afb. 6) waarbij de zware bewapening wel cirkelvormig is gehouden. (Vanwege de achthoekige dwarsdoorsnede is de bijnaam Octagon ontstaan.) De betonnen muren zijn 1 m dik en aan de binnenkant bekleed met dikke staalplaten als bescherming tegen o.a. granaatscherven. Om de geluidsoverlast van een springstofdetonatie naar de omgeving te minimaliseren wordt de snelheid, waarmee de hoge-drukassen naar de buitenlucht worden afgevoerd, afgeremd in twee grote rechthoekige kanalen die geheel met grote kiezelstenen zijn gevuld.

Over de wijze waarop de doelruimte zou moeten worden getest op haar ontwerp is van een 25 kg TNT-detonatie is stevig gediscussieerd. De aannemer stemde uiteindelijk schoorvoetend in met een eerste serieuze test van meteen 22 kg. Een geleidelijke opbouw van de ladingsgrootte werd door de (PML-)ontwerpers niet wenselijk geacht vanwege het risico dat bij een kleine lading enkele kleine scheurtjes zouden kunnen ontstaan die later bij een grotere lading zouden gaan groeien. Door meteen al een grote lading te gebruiken kan een groot aantal, uniform verdeelde, kleine scheurtjes ontstaan, die niet meer verder groeien. De tests zijn in 1989 geheel bevredigend verlopen.

Voor de experimenten staat een uitgebreide hoeveelheid, deels zeer geavanceerde, meetapparatuur ter beschikking, waaronder:

- zeven 1,2 MV en 600 kV röntgenpulseren voor het maken van röntgenflitsopnamen;
- een Cordin 330 ultra-hogesnelheidscamera met een hoogste snelheid van 2 miljoen opnamen per seconde;
- een Imacon ultrasnelle elektronische camera;



Afb. 6 Schematische doorsnede van het LBO; duidelijk is de achthoekige vorm van het „octagon” te zien, de cirkelvormige wapening is aangegeven, de betonnen wanden zijn 1 m dik

- een lasersnelheidsinterferometer (Visar) voor het meten van grote versnellingen;
- een Doppler-radarsnelheidsinterferometer t.b.v. de continue meting van projectielsnelheden;
- ballistische slingers in diverse grootten voor het meten van de energieopname van doelplaten tijdens projectieldoorslag.

Recent is een aantal onderzoeken uitgevoerd, dat de huidige mogelijkheden illustreert. Zo is een onderzoek gestart naar de uitwerking die gebruik van explosief reactief pantser (ERA) heeft op de effectiviteit van holle ladingen uit infanterie-antitankraketten. Dit additionele pantser is reeds op grote aantallen Sovjetrussische tanks aangebracht. Het veroorzaakt een drastische reductie van de uitwerking van holle ladingen, in sommige gevallen tot minder dan 10%. Het zal duidelijk zijn dat het nu noodzakelijk is via eigen onderzoek een goed onderbouwde schatting te kunnen maken van de gevolgen hiervan voor de totale effectiviteit van onze wapensystemen, bv. de Tow. Dit onderzoek wordt voor de Afdeling Munitie van DMKL experimenteel uitgevoerd op het LBO, waarbij wordt gekeken naar verschillende samenstellingen van de pantsers, de invloed van de doos waarin het ERA zit en de invloed van parameters als inslaghoek en plaats van inslag. Afb. 7 toont een voorbeeld van de verstoring die een ERA-pakket op een holle-ladingsstraal kan hebben. Met de resultaten van deze experimenten wordt

dan berekend welke de vermindering van de kwetsbaarheid van Russische tanks is door het gebruik van dergelijke pantsers. De voortzetting van dit onderzoek zal geschieden in directe samenwerking met de Bondsrepubliek en de VS.

Een tweede voorbeeld van recent onderzoek betreft de ontwikkeling van materialen voor helmen en vesten voor de nieuwe persoonlijke standaarduitrusting. Artillerievuur maakt relatief veel slachtoffers onder „uitgestegen” personeel. Het aantal doden, maar vooral ook gewonden, is aanzienlijk te reduceren door gebruik van goede ballistische bescherming. Nieuwe supersterke materialen met laag soortelijk gewicht, verwerkt als weefsels of met vezel versterkte kunststoffen van aramide (Twaron van AKZO en Kevlar uit de VS) en polyetheen (Dyneema van DSM) worden hierin gebruikt. Deze ontwikkeling wordt samen met de Afdeling Persoonsgebonden uitrusting van DKML uitgevoerd. De gevonden ballistische prestaties zijn een maat voor de bescherming die de helm of het vest geven tegenover bv. scherven van artilleriegranaten. Daarmee wordt een directe kwantitatieve relatie verkregen tussen de ballistische prestaties van de materialen en de vermindering in het aantal uitschakelingen bij het detoneren van een artilleriegranaat. Verschillende helmontwerpen zijn bekeken, zoals een volledige composiethelm (analoog aan de Kevlar-helm van de VS), een helm bestaande uit een buitenlaag van staal en een binnenlaag van een composiet, en helmen bestaande uit twee kunststofschalen met

daartussen weefsels van sterke vezels. Er zijn resultaten bereikt waarbij een ballistische prestatie gelijk aan die van de Amerikaanse helm of zelfs een betere werd geconstateerd (d.i. aanzienlijk beter dan de huidige NL-helm). Deze prestaties werden bovendien behaald met een veel (tot 35%) lager gewicht van de helm. De ontwikkeling van vestmaterialen is nog in volle gang. Het is echter de bedoeling al dit jaar te beginnen met operationele beproevingen. De Nederlandse ontwikkelingen worden door o.a. de Duitsers met grote belangstelling gevolgd.

Een derde illustratie betreft onderzoek aan een nieuw type hoge-snelheidssubkalibermunitie met losse sabot (APDS-munitie) voor de luchtverdediging (35 mm kaliber). Dit wordt verricht in samenwerking met de aanschaforganisatie van het Ministerie van Defensie van de BRD (BWB) en de Afdeling Munitie van DMKL. Door de hoge snelheid wordt de vluchttijd tot het doel korter en daarmee wordt de trefkans groter. De werking van de nieuwe munitie tegen de, eindballistisch gezien relatief lichte, luchtdoelen is gebaseerd op het uiteenvallen van het projectiel bij penetreren van het doel. Om dit te bereiken is een groot deel van het projectiel van een brosse soort wolfram vervaardigd. Het projectiel wordt aangeduid met FAPDS (Frangible Armour Piercing Discarding Sabot). Doordat het projectiel uiteenvalt, ontstaat een wolk van fragmenten achter de eerste doelplaat, waardoor schadewerking in de breedte sterk wordt verbeterd, zonder dat zulks gepaard



Afb. 7 Röntgenflitsopname van het effect van ERA op een holle-ladingsstraal; de straal komt van links, twee staalplaten worden door een dunne laag springstof uit elkaar gedreven, waarbij ze de straal verstoren

gaat met een grote vermindering van de dieptewerking (afb. 5). Er is nu een taakverdeling gemaakt. In de BRD is een vereenvoudigde evaluatie op doelplaat-arrays en doelsecties uitgevoerd, terwijl het PML tracht via geïnstrumenteerde experimenten en modellering de werking te beschrijven, zodat aan de hand van kwetsbaarheidsmodellen betere kwantitatieve uitspraken over de effectiviteit van deze nieuwe munitie kunnen worden gedaan.

Met de mogelijkheden van het nieuwe LBO heeft

het Nederlandse onderzoek op het gebied van de effectiviteit van wapensystemen en ballistische bescherming extra impulsen gekregen. Daarmee zal de Nederlandse krijgsmacht betere informatie krijgen over nieuw aan te schaffen materieel. Tevens is voor de Nederlandse defensie-industrie een moderne faciliteit ter beschikking gekomen. Ten slotte zal het voor de defensie en defensie-industrie in het buitenland aantrekkelijker worden met Nederland samen te werken. Enkele projecten zijn al in voorbereiding, o.a. een gezamenlijke beproeving van de Tow-2A raketprojectielen.

