

25 Jaar kwetsbaarheids- en letaliteitsonderzoek bij TNO-PML

Ir. Z.C. Verheij*

Verantwoording

Reeds lange tijd bestond bij de auteur het voornemen om over de ontwikkeling van het kwetsbaarheids- en letaliteitsonderzoek binnen het TNO Prins Maurits Laboratorium (TNO-PML) en de ermee bereikte resultaten een algemeen artikel te schrijven. Allerlei omstandigheden hebben er echter toe geleid dat dit er tot nu toe niet van was gekomen.

Het feit dat het dit jaar vijfentwintig jaar geleden is dat de eerste stappen op het pad van genoemd onderzoek werden gezet, is een aardige aanleiding om de pen dan toch maar eens ter hand te nemen. Extra stimulans daarbij vormt het feit dat TNO Defensieonderzoek dit jaar vijftig jaar bestaat.

Overigens blijft het moeilijk het juiste moment dat met dit onderzoek werd gestart te bepalen. Zo is het maar de vraag welke activiteit in dit verband als eerste stap moet worden gezien, terwijl ook van sommige van die activiteiten niet goed is na te gaan op welk moment ze werden begonnen.

Wel staat vast dat er ongeveer twee jaar voordat de auteur eind 1974 in dienst kwam van het toenmalig Technologisch Laboratorium van de dan nog Rijksverdedigingsorganisatie (RVO) van TNO, sprake was van een eerste opzet van de huidige computersimulatiemethode, waarmee zowel de

kwetsbaarheid van doelen als de uitwerking, of letaliteit, van munitie daartegen kan worden bepaald.

Hoewel enerzijds bij het bepalen van de letaliteit van munitie steeds meer factoren worden betrokken om te komen tot de totale effectiviteit van het wapensysteem waarmee de munitie wordt verschoten, terwijl anderzijds bij de kwetsbaarheid van doelen de nadruk steeds meer komt te liggen op het kunnen overleven, beperkt dit artikel zich tot kwetsbaarheid en letaliteit in de engere zin. In beide gevallen is het uitgangspunt de treffer van het projectiel dan wel de explosie van de granaat.

Inleiding

In het begin van de jaren zeventig begon men binnen de Koninklijke Landmacht (KL) steeds meer in te zien dat een treffer op het doel niet altijd behoefte te leiden tot uitschakeling daarvan. Deze periode viel samen met die waarin langzaam maar zeker de militairen die nog oorlogservaring hadden uit de krijgsmacht verdwenen. Dit ging op zich weer gepaard met een afnemende kennis van, of soms letterlijk een gevoel voor, de uitwerking die munitie op een doel kan hebben.

Mede door de toenemende internationale contacten tussen Defensielaboratoria (waartoe voor het gemak ook maar even de toen RVO-laboratoria van TNO worden gerekend) op het gebied van munitie-technologie, werd duidelijk dat Nederland ten opzichte van vooral de grotere omringende

NAVO-landen een achterstand had opgelopen op het gebied van munitie/doel-interactie.

Gesteund door de voorloper van de huidige Afdeling Munitie van de Directie Materieel van de Koninklijke Landmacht (DMKL) en in navolging van het buitenland werd begonnen met een opzet waarin het met behulp van computersimulatiemodellen mogelijk zou moeten zijn deze interactie rekenenderwijs te bepalen. De gedachte hierachter was het gehele proces van het treffen van doelen door projectielen, waaronder ook scherven gerekend kunnen worden, tot en met het bepalen van de gevolgen voor die doelen, op een computer te simuleren. Het feit dat het experimenteel bepalen van de effectiviteit van wapens en munitie een tijdrovende en kostbare aangelegenheid is, heeft hier ongetwijfeld een belangrijke rol in gespeeld.

Uiteindelijk heeft dit ertoe geleid dat er momenteel binnen de researchgroep WapenEffectiviteit van het TNO-PML in Rijswijk meerdere methoden voorhanden zijn waarmee allerlei munitie/doel-interacties in verschillende mate van detail kunnen worden gesimuleerd. Deze methoden zijn in de afgelopen jaren vaak gebruikt om de Nederlandse krijgsmacht van adviezen te voorzien op het gebied van ontwikkeling, aanschaf, verbetering en inzet van materieel.

Niet onvermeld mag blijven dat de reeds genoemde Afdeling Munitie van de DMKL niet alleen vanaf het eerste begin een stimulerende rol

* Ir. Z.C. Verheij is hoofd researchgroep WapenEffectiviteit, TNO Prins Maurits Laboratorium, te Rijswijk.

heeft gespeeld in de ontwikkeling van de modellen, maar daar tot op de dag van vandaag ook regelmatig gebruik van maakt in het kader van wetenschappelijke ondersteuning bij diverse materieelaanschaffingsprojecten. De 'klanten' voor dit type onderzoek zijn overigens ook zowel elders binnen de KL, als bij de Koninklijke Marine (KM) en de Koninklijke Luchtmacht (Klu) te vinden.

Algemene criteria

Bij de hier te bespreken methode gaat het er onder meer om criteria op te stellen, die voor een doel (bijvoorbeeld een voertuig) aangeven waaraan een tegen dat doel in te zetten penetrator (bijvoorbeeld een scherp) moet voldoen om dat doel met een bepaalde waarschijnlijkheid uit te schakelen. Daarbij kan onder meer worden gedacht aan een minimaal vereiste snelheid en massa van de treffende penetrator of een erdoor veroorzaakt gat van minimale grootte. Wanneer het doel nu wordt beschouwd als een simpele doos, zouden deze criteria in principe kunnen worden geschat, echter met een zeer geringe betrouwbaarheid. Deze vrij onbetrouwbare, geschatte waarden worden echter soms weer rechtstreeks gebruikt in modellen van een hogere orde, bijvoorbeeld OR-studies, waar zij een wezenlijke invloed op het eindresultaat kunnen hebben. Door het betreffende doel verder op te delen in een aantal kleinere doosjes (bijvoorbeeld motor, versnellingsbak, assen en wielen van het voertuig), wordt het enerzijds eenvoudiger de 'uitschakelcriteria' hiervoor op te stellen, terwijl anderzijds het eindresultaat betrouwbaarder wordt.

Zo doorredenerend kan men de onderdelen zodanig gedetailleerd beschrijven dat men uiteindelijk een punt bereikt waarop men voor het kleinst beschreven onderdeelje het bijbehorende criterium 'eenvoudig' kan opstellen, terwijl de betrouwbaarheid maximaal is.

In een dergelijk geval zal echter al gauw de grens van het toelaatbare

worden overschreden voor wat betreft de tijd die het gaat kosten om een dusdanig gedetailleerde doelmodellering te maken en voor alle daarin voorkomende deeltjes de criteria op te stellen.

Er zal dus moeten worden gestreefd naar een aanvaardbaar compromis, ook al omdat voldoende informatie over het betreffende doel in een vroeg stadium van een ontwikkelingsproject vaak ontbreekt. Verder kan de mate van detailinformatie over de tegen het doel in te zetten penetrator ook in grote mate dit compromis bepalen.

Het compromis zelf is mogelijk door niet alle onderdelen van het doel tot in detail te beschrijven, maar ze eenvoudig vast te leggen met een of enkele van de verderop in dit artikel genoemde stereometrische figuren en daaraan criteria toe te kennen die rekening houden met de specifieke functie(s) van het onderdeel.

De methode

Zoals reeds vermeld, werd in het begin van het kwetsbaarheids/leta-liteits-onderzoek besloten om te komen tot een computersimulatiemethode waarmee de gevolgen van een munitie/doel-interactie rekenenderwijs kunnen worden bepaald. Het hier gehanteerde principe is gebaseerd op de zogenaamde schootslijnmethode. Deze methode houdt in dat de baan van een penetrator, waaronder in het algemeen projectielen en scherven kunnen worden verstaan, wordt voorgesteld en gesimuleerd door middel van een schootslijn, die zich na het treffen van het doel er doorheen beweegt. De diepte van penetreren is afhankelijk van een aantal factoren, waaronder het penetratievermogen van de penetrator en de weerstand van het doel. Op zijn weg door het doel komt de penetrator achtereenvolgens allerlei (onder-) delen van het doel tegen. Steeds wordt daarbij berekend:

- of de penetrator in staat is het onderdeel te penetreren en welke schade daarbij wordt veroorzaakt,

- wat het gevolg van deze schade is voor het functioneren van het onderdeel, en
- welke gevolgen een niet meer of niet meer goed functioneren van het onderdeel heeft op het functioneren van het doel als geheel.

Bij het eerste aspect wordt gebruik gemaakt van eindballistische gegevens in de vorm van bijvoorbeeld penetra-tierelaties, die veelal afkomstig zijn van het Laboratorium voor Ballistisch Onderzoek (LBO), de moderne schiet-faciliteit van TNO-PML op de voormalige vliegbasis Ypenburg.

Het bepalen van de mate waarin een onderdeel wordt uitgeschakeld als gevolg van opgelopen schade, geschiedt met behulp van de reeds genoemde criteria.

Bij het bepalen van de functioneringsgraad van het doel als geheel wordt gebruik gemaakt van 'uitschakelcategorieën', waaronder alle functies zijn samengevat waarnaar wordt gekeken. Deze functies worden bepaald door het type platform; zo zal bij een tank worden gekeken naar het nog kunnen rijden en/of het nog kunnen schieten, zal bij een vliegtuig het nog kunnen blijven vliegen en het nog kunnen landen van belang zijn, terwijl bij een fregat het functioneren van de lucht-verdediging een punt van aandacht kan zijn. Aangezien het uitvallen van deze functies ten gevolge van schade aan de onderdelen vaak tijdafhanke-lijk is, zal in alle gevallen ook de tijd in rekening moeten worden gebracht. Voorbeelden van uitschakelcategor-rieën zijn:

- schade die er binnen vijf minuten toe leidt dat een voertuig niet meer kan rijden, en
- schade die er binnen dertig sekonden toe leidt dat een vliegtuig niet meer kan blijven vliegen.

Bij het bepalen van de onderdelen die de penetrator op zijn weg door het doel tegen komt, wordt gebruik ge-maakt van een driedimensionaal geo-metrisch model van het doel, waarin in ieder geval alle voor de goede functionering essentiële onderdelen voorkomen. Een en ander is sterk af-hankelijk van de mate van detail

waarvoor wordt gekozen en van de eerder genoemde uitschakelcategorieën. Een dergelijk model is opgebouwd uit een aantal ruimtelijke standaardfiguren waaronder een doos, een cilinder en een bol.

Bij het opzetten van het model wordt gebruik gemaakt van een aantal *tools*, die gedeeltelijk in eigen beheer zijn gemaakt, dan wel commercieel of via uitwisseling met andere instituten zijn verkregen. Met name het gebruik van zogenaamde *Computer Aided Design* (CAD) pakketten heeft de mogelijkheden op dit terrein enorm verbeterd. Deze pakketten bieden naast het geometrisch opzetten van een model vaak een aantal handige mogelijkheden om het model te testen; bijvoorbeeld het berekenen van het gewicht en het massatraagheidsmoment alsmede de ligging van het zwaartepunt. In dit rijtje hoort ook thuis: het uiteindelijke visualiseren van het resultaat, wat zeer realistisch overkomt.

Nadat het doel geometrisch is gemodelleerd en de erbij behorende uitschakelcriteria en -categorieën zijn opgesteld, kunnen de schootslijnen daadwerkelijk erop worden losgelaten. In grote lijnen kan dit op drie manieren gebeuren:

- Het vanuit een bepaalde schootsrichting volledig en systematisch bedekken van het doel met een rooster van schootslijnen; de over de schootslijnen gemiddelde kans op uitschakeling geeft dan een indruk van de kwetsbaarheid van het doel, c.q. de uitwerking van de betreffende penetrator vanuit die richting.
- Het vanuit een bepaald springpunt genereren van schootslijnen, die een schervenspray voorstellen; het gecombineerde effect van deze schootslijnen levert dan de uitwerking van de betreffende schervenspray.
- Het rondom een bepaald mikpunt genereren van een aantal schootslijnen waarmee het inslagpatroon van een salvo wordt gesimuleerd; het gecombineerde effect van deze schootslijnen geeft dan de uitwerking van dat salvo.

In het vervolg van dit artikel wordt meer specifiek ingegaan op de kwetsbaarheid van en de letaliteit tegen respectievelijk zee-, land- en lucht-doelen. Naast de algemene kwetsbaarheidsaspecten die voor alle typen doelen gelden, zoals bijvoorbeeld de gehele systeem-layout van het doel, waartoe de ligging van de kritieke componenten behoren en de mate van bescherming daarvan, hebben alle genoemde typen zo hun eigen problemen.

Bij de zeedoelen betreft dat de mate waarin de constructie in staat is de gevolgen van een inwendige explosie van de *warhead* van een binnen-dringend *missile* te weerstaan, bij gevechtstanks speelt het vermogen van het pantser om de dreiging buiten te houden een cruciale rol, terwijl bij alle typen luchtdoelen het feit dat het geheel moet blijven vliegen nadrukkelijk de kwetsbaarheid van het doel beïnvloedt. Vanwege het specifieke karakter van deze problemen vallen deze echter buiten het kader van dit artikel.

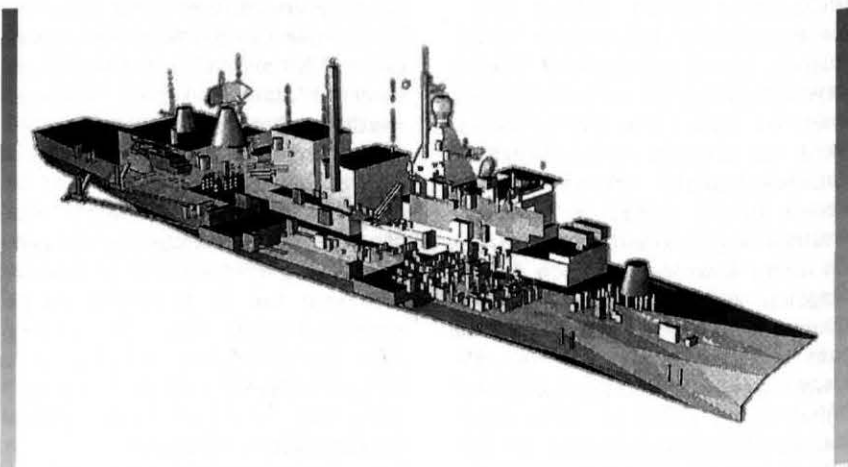
Hoewel het zich in de platformen bevindende personeel (bemanning, chauffeur, commandant, piloot enzovoort) als onderdeel daarin wordt meegenomen, wordt in dit artikel geen aandacht besteed aan de specifieke kwetsbaarheidsaspecten van personeel. Ingezoomd zal worden op de meer algemene kwetsbaarheids- en

letaliteitsaspecten met betrekking tot materiële doelen.

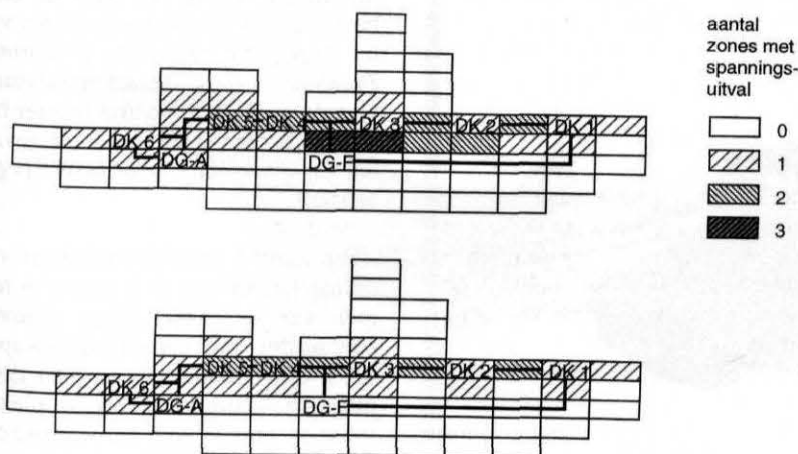
Naast opmerkingen over de positiebepaling van het meest betrokken krijgsmachtdeel, passeren enkele zaken uit het verleden de revue die te maken hebben met het betreffende onderwerp. Daarna wordt per type doel een voorbeeld gegeven van in de afgelopen jaren door TNO-PML uitgevoerd kwetsbaarheids- en/of letaliteitsonderzoek. In dit gedeelte komt zijdelings ook de experimentele validatie van de modellen aan de orde.

Zeedoelen

Aan het eind van de jaren zeventig ontstond binnen de Koninklijke Marine een toenemende belangstelling voor het kwantificeren van de kwetsbaarheid, en daarmee de operationele gereedheid na een treffer, van de eigen schepen. Het feit dat in Nederland voor en door de KM nog steeds schepen worden ontworpen en gebouwd was daar uiteraard debet aan. Het uiteindelijke doel van dit onderzoek was en is nog steeds om in een zo vroeg mogelijk stadium van het scheepsonwerp kwetsbaarheidsverlagende maatregelen mee te nemen om zodoende het overlevingsvermogen van het schip te verhogen. Als eerste schip werd het S-fregat gemodelleerd (zie afbeelding 1).



Afb. 1 Kwetsbaarheidsmodel S-fregat met bemanningsleden op gevechtswachtposities



Afb. 2 Aantal scheepszones waarin elektriciteit uitvalt als gevolg van een warhead-explosie

Ten tijde van het Falkland-conflict ontstond het gerucht dat de ondergang van het eerste Engelse fregat, HMS Sheffield, vooral te wijten was aan de aanwezigheid van aluminium in de constructie daarvan. Tijdens een in 1982 uitgevoerde oriëntatiereis langs een aantal defensie-instituten in Noord-Amerika, die zich bezighielden met onderzoek naar de kwetsbaarheid van schepen, werd onder andere gesproken met een officier van de Royal Navy, die voor een bepaalde periode was gestationeerd in Canada. Deze man, die zelf in het ontwerp-team van de Sheffield had gezeten, wist echter te vertellen dat er in de constructie van de Sheffield in het geheel geen aluminiumdelen waren opgenomen!

Ook op de effectiviteit van de sinds het Falkland-conflict, en later de Golfoorlog, alom gevreesde Exocet-raket is nog wel wat af te dingen. Zo is in een groot aantal gevallen, waaronder de Sheffield, de gevechtsslading niet geëxplodeerd en bleken bemanningen van Nederlandse zeeslepers in de Golf niet zo bang te zijn voor de Exocets, 'omdat die toch meestal misten'!

Zoals reeds vermeld, wil de KM in een zo vroeg mogelijk stadium van het scheepsontwerp kwetsbaarheids-

verlagende maatregelen nemen. Het zal duidelijk zijn dat op dat moment nog onvoldoende informatie voorhanden is om een gedetailleerd kwetsbaarheidsmodel van het schip, zoals het in afbeelding 1 getoonde model, te maken. Dit houdt in dat ook aan de programmatuur waarin een dergelijk model wordt gebruikt, eisen worden gesteld. Het eerste plaatje in afbeelding 2 toont een meer schematische opzet van het ontwerp van een nieuw fregat, waarin de ligging van de distributiekasten (DK) en diesel generatorsets (DG) van het elektriciteitssysteem is aangegeven. De arceringen laten per compartiment zien in hoeveel scheepszones de elektriciteit uitvalt als zich in het betreffende compartiment een warhead-explosie voordoet. Door het toepassen van kwetsbaarheidsverlagende maatregelen, zoals bepantsering van kabels (zie het tweede plaatje in afbeelding 2) en het toepassen van explosiebestendige dubbelwandige schotten, kan dit effect aanzienlijk worden teruggebracht.

Landdoelen

De Koninklijke Landmacht is vanaf het begin van het kwetsbaarheids- en letaliteitsonderzoek in de jaren zeventig zeer geïnteresseerd geweest, iets

wat niemand hoeft te verbazen als men zich realiseert dat dit onderzoek vanaf het eerste begin door de KL werd gestimuleerd en gedragen.

Voor wat betreft het kwetsbaarheidsgebeuren heeft de belangstelling van de KL zich hoofdzakelijk bewogen rond enerzijds de tanks, met name de Leopard-2, terwijl er anderzijds altijd veel aandacht was voor het gepantserd personeelsvoertuig, de YPR-765. Terwijl TNO-PML aan het eind van de jaren zeventig nauw betrokken was bij voorbereiding, uitvoering, analyse en rapportage van op een YPR-prototype uitgevoerde proeven voor het testen van de TMT-eisen, werd meer recent gekeken naar de kwetsbaarheid van de bodem van de YPR voor anti-personeelsmijnen, iets dat moet worden gezien in het licht van het huidige optreden in VN-verband. Bij de Leopard-2 tank was en is TNO-PML nauw betrokken bij evaluatie van de door Duitsland voorgestelde verbeteringen van deze tank, de zogenaamde *Kampfwertsteigerung*, en dan met name de ballistische beschermingsaspecten (zie afbeelding 3).

Tijdens in de jaren tachtig door Duitsland uitgevoerde schietproeven met anti-tankmunitie op de Leopard-2 tank, bleek een van de penetratoren op een al te gemakkelijke maar niet voorziene wijze binnen te dringen in het personeelscompartiment, namelijk door het munitie-laadluikje!

Hier was typisch sprake van een situatie waarbij de kans op een gebeurtenis klein is, maar de gevolgen van die gebeurtenis groot. Hoewel de uitkomst van het product van deze beide kansen niet voorshands vastligt, werd toch besloten deze zwakke plek in de tank te verbeteren om herhaling te voorkomen.

Overigens zal zo iets niet of nauwelijks blijken uit het resultaat van een kwetsbaarheidsonderzoek, als daarin alleen wordt gewerkt met gemiddelde uitschakelkansen, maar zal er gedetailleerder naar de individuele resultaten van de afzonderlijke schootslijnen gekeken moeten worden om een dergelijke 'achillespees' te ontdekken. →



Afb. 3 Kwetsbaarheidsmodel Leopard 2 met nieuwe bepantsering

Eveneens in de jaren tachtig werd door TNO-PML in samenwerking met de KL met anti-tankmunitie geschoten op van de sterkte afgevoerde AMX-pantservoertuigen. Daar voor de trefpunten plaatsen gekozen werden, waarvan werd verwacht dat die voor de validatie van het onderzoek interessante informatie zouden opleveren, werden bij alle schoten de voertuigen uitgeschakeld. Soms was dat een gevolg van het uitschakelen van de motor en daarmee de mobiliteit van het voertuig; in andere gevallen kwam uitschakeling tot stand als gevolg van uitschakeling van het grootste deel van het personeel. De daaruit ontstane indruk dat het treffen van een lichtgepantserd personeelsvoertuig door anti-tankmunitie altijd leidt tot uitschakeling daarvan, is in eerste instantie een eigen leven gaan leiden binnen de KL.

Deze conclusie is echter niet juist; de voertuigen hadden immers op zoveel andere plaatsen getroffen kunnen worden, waar veel minder schade zou zijn opgetreden, waarmee een lagere gemiddelde uitschakelkans gegeven een treffer zou zijn bereikt.

Ten tijde van de Koude Oorlog werden in het kader van de bewapeningswedloop tussen tanks en anti-tankwapens, met name in de landen van het voormalige Warschau-pact, tanks voorzien van explosief reactief pant-

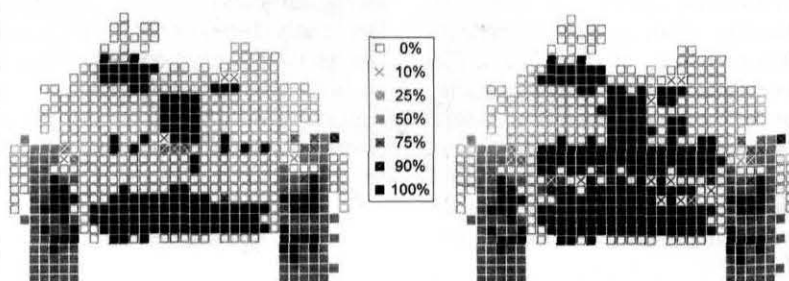
ser, het zogenaamde ERA (*Explosive Reactive Armour*). De werking hiervan berust op het principe dat wanneer de holle-ladingstraal van een anti-tankwapen een op de tank aangebracht ERA-pakket treft, er metalen platen worden 'afgeschoten' die de straal dermate verstoren dat het restant van de straal niet meer in staat is het hoofdpantser van de tank te penetreren. Als reactie hierop kwamen de ontwerpers van anti-tankwapens met twee mogelijkheden, de tandem-lading en *overflying top-attack* wapens. In het eerste geval is sprake van een kleine zogenaamde precursor-lading, die het ERA activeert en daardoor de weg vrij maakt voor de hoofdlading. Dit is bijvoorbeeld het geval bij de TOW 2A. In het tweede geval is het de bedoeling dat het anti-

tankwapen tijdens het over de tank heen vliegen één of twee ladingen van het type EFP (*Explosively Formed Projectile*) naar beneden afvuurt, waardoor de tank van zijn minder beschermde bovenkant wordt aangevalen. Op dit principe is de TOW 2B gebaseerd.

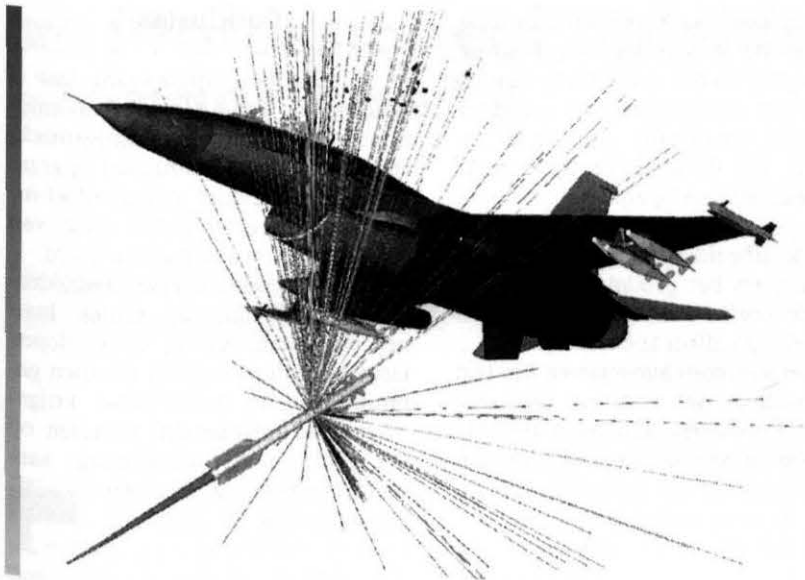
Afbeelding 4 toont het resultaat van de berekening van de letaliteit in termen van uitschakelkans gegeven een treffer van een anti-tankwapen tegen de voorkant van een met ERA uitgeruste tank. Het eerste plaatje toont de situatie voor het wapen zonder, het tweede plaatje die met een precursor-lading. Duidelijk zichtbaar is dat het verhoogd effect met name optreedt in het gebied waarin zich het ERA bevindt.

Luchtdoelen

Hoewel de Koninklijke Luchtmacht in eerste instantie wat minder geïnteresseerd was in het laten onderzoeken van de kwetsbaarheid van haar vliegend materieel, is er in de loop van de jaren toch het een en ander op dit gebied gebeurd. Terwijl het opzetten van een gedetailleerd kwetsbaarheidsmodel van de F-16 meer gestuurd werd vanuit het bepalen van de letaliteit van de tegen een modern jachtvliegtuig in te zetten wapens en munitie (zie afbeelding 5), werd wel veel tijd gestoken in het vergelijken van de kwetsbaarheid van de kandidaten voor een nieuwe gevechts- en



Afb. 4 Letaliteit van een anti-tankwapen zonder en met tandem-lading tegen een tank met ERA



Afb. 5 Wapen/doel-interactie tussen Service-to-Air Missile en F-16

transporthelikopter. Vanuit de KL bestond altijd al belangstelling voor kwetsbaarheidsmodellen van lucht-doelen, e.e.a. in het kader van het letaliteitsonderzoek aan munitie voor luchtverdedigingssystemen.

In een van de door Israël uitgevoerde acties in Libanon kwam de nietsvermoedende bemanning van een stilstaande Israëlische tank plotseling oog in oog te staan met een vanuit een dal vóór de tank opstijgende Gazelle-helikopter, waarvan de bemanning op haar beurt niet op de hoogte was van de aanwezigheid van de tank. Zonder zich een ogenblik te bedenken, vuurde de schutter van de tank het boordkanon af, waarbij de hoofdrotor van de helikopter werd getroffen, met als gevolg het neerstorten van de heli.

De actie ging zo snel dat er geen tijd was om een op de tank meerdrijvende waarnemer, uit wiens mond het verhaal later gehoord werd, te waarschuwen, met als gevolg dat de man enige tijd volslagen doof was. Hoewel aan de juistheid van het verhaal niet behoefte te worden getwijfeld, moet hieruit niet de indruk ontstaan dat een treffer van een helikopter door een projectiel vanuit een tankkanon wordt afgevuurd dat altijd tot volledige uit-

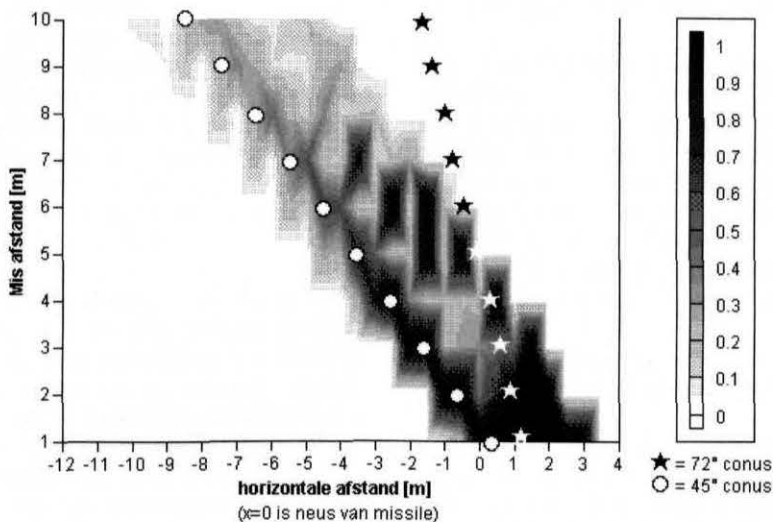
schakeling van de heli zal leiden. Ook hier zijn er immers andere, minder kwetsbare plaatsen waar de heli kan worden geraakt.

In het kader van de Engels-Nederlandse samenwerking werd hier met de Engelsen verder over gesproken. De voorlopige conclusie was dat de Engelse tanks niet goed in staat waren om een bewegende helikopter te tref-

fen, maar dat de Engelsen er in geval van een treffer wel vanuit gingen dat de heli werd uitgeschakeld.

In Nederland was de mening precies andersom; proefondervindelijk was aangetoond dat een Leopard 2-tank goed in staat is om met het hoofdwapen een bewegende helikopter te treffen, terwijl de uitkomst van door TNO-PML uitgevoerde berekeningen aantoonde dat de kans op uitschakeling gegeven een treffer laag was. Terwijl over dit laatste punt de meningen overigens nog verdeeld zijn, is ook hier sprake van een product van kansen waarvan de uiteindelijke uitkomst onzeker is.

In de VS is men in het kader van de luchtverdediging van de marineschepen volop bezig met de ontwikkeling van een opvolger van de ook op de Nederlandse fregatten aanwezige *Nato Sea Sparrow* (NSS). Deze ontwikkeling wordt door de KM met belangstelling gevolgd. Het uitgangspunt van de Amerikanen hierbij was in eerste instantie dat een aantal bestaande componenten van de NSS (zoals onder andere de *warhead* en de nabijheidsbuis) zou worden toegepast in een *missile* met een hogere snelheid. Uit op verzoek van de KM door TNO-PML uitgevoerde berekeningen



Afb. 6 Iso-kill contouren van missile warhead tegen supersonische seaskimmer

bleek de effectiviteit van deze *missile* tegen moderne *supersone seaskimmers* echter lager te zijn dan van de huidige NSS! De oorzaak hiervan moest worden gezocht in een verkeerde combinatie van enerzijds de hogere snelheid van de nieuwe *missile* met anderzijds de bestaande *warhead* en nabijheidsbuis, die niet waren afgestemd op deze hogere snelheid. Het gevolg was dat de meeste scherven van de bestaande *warhead* achter het doel langs vlogen zonder dit te beschadigen.

Door computersimulaties werd aangetoond dat een beter effect kon worden bereikt door een aanpassing van de hoek waaronder de nabijheidsbuis

naar het doel 'keek' en/of het corrigeren van de in deze buis ingebouwde vertraging, en een verbetering van het effect van de *warhead* door een meer optimale combinatie van aantal en grootte van de scherven die van de *warhead* afkomstig zijn.

Het in afbeelding 6 gearceerde gedeelte geeft het gebied aan waarbinnen de *warhead* moet exploderen om een bepaald effect te bereiken.

De met sterretjes aangegeven lijn laat het resultaat zien voor een niet-optimale buis/*warhead*-combinatie; de bolletjes geven de situatie voor een verbetering in de kijkhoek van de buis.

Conclusies

In de afgelopen vijftientig jaar is bij het TNO Prins Maurits Laboratorium in opdracht van de krijgsmacht een kennis- en infrastructuur opgezet waarbinnen allerlei munitie/doel-interacties in verschillende mate van detail kunnen worden gesimuleerd. De hiertoe ontwikkelde methoden, die de internationale kritiek kunnen doorstaan, zijn in de afgelopen jaren in een groot aantal gevallen gebruikt om de Nederlandse krijgsmacht van adviezen te voorzien op het gebied van ontwikkeling, aanschaf, verbetering en inzet van materieel.

