

19970407077

TNO-rapport
PML 1996-A59

Evaluatie van de Friability test

TNO Prins Maurits Laboratorium

DTIC QUALITY INSPECTED 4

Lange Kleiweg 137
Postbus 45
2280 AA Rijswijk

Telefoon 015 284 28 42
Fax 015 284 39 58

Datum
januari 1997

Auteur(s)
Ir. J.H.G. Scholtes
Dr. B.J. van der Meer

Rubricering
Vastgesteld door : Ing. J.A. van Gool
Vastgesteld d.d. : 15 september 1996
(De rubricering wijzigt niet)

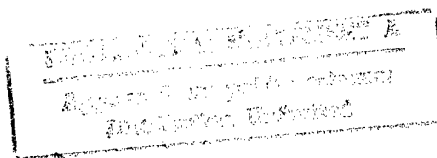
Titel : Ongerubriceerd
Managementuitreksel : Ongerubriceerd
Samenvatting : Ongerubriceerd
Rapporttekst : Ongerubriceerd
Bijlagen A - C : Ongerubriceerd

Alle rechten voorbehouden.
Niets uit deze uitgave mag worden
vermenigvuldigd en/of openbaar
gemaakt door middel van druk, foto-
kopie, microfilm of op welke andere
wijze dan ook, zonder voorafgaande
toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd
uitgebracht, wordt voor de rechten en
verplichtingen van opdrachtgever en
opdrachtnemer verwezen naar de
Algemene Voorwaarden voor Onder-
zoeksopdrachten aan TNO, dan wel
de betreffende terzake tussen de
partijen gesloten overeenkomst.
Het ter inzage geven van het
TNO-rapport aan direct belang-
hebbenden is toegestaan.

Exemplaar nr. : 13
Oplage : 25
Aantal pagina's : 23 (incl. bijlagen,
excl. RDP & distributielijst)
Aantal bijlagen : 3

© 1997 TNO



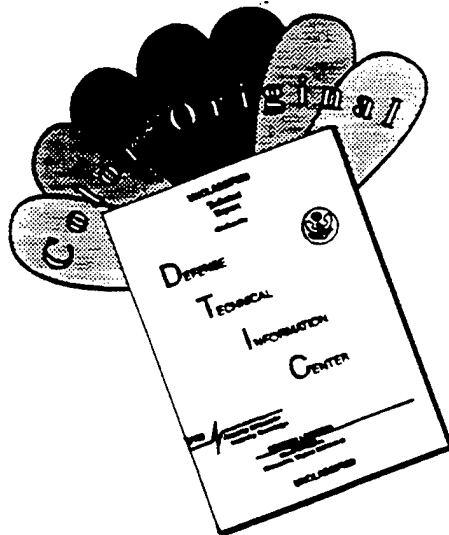
TNO Prins Maurits Laboratorium is onderdeel
van de hoofdgroep TNO Defensieonderzoek
waartoe verder behoren:

TNO Fysisch en Elektronisch Laboratorium
TNO Technische Menskunde



Nederlandse Organisatie voor toegepast-
natuurwetenschappelijk onderzoek TNO

DISCLAIMER NOTICE



THIS DOCUMENT IS BEST QUALITY AVAILABLE. THE COPY FURNISHED TO DTIC CONTAINED A SIGNIFICANT NUMBER OF COLOR PAGES WHICH DO NOT REPRODUCE LEGIBLY ON BLACK AND WHITE MICROFICHE.

Managementuittreksel

Titel : Evaluatie van de Friability test
Auteur(s) : Ir. J.H.G. Scholtes, Dr. B.J. van der Meer
Datum : januari 1997
Opdrachtnr. : A94KL408
Rapportnr. : PML 1996-A59

Aanleiding van het onderzoek

Als onderdeel van de MOU met Frankrijk is in samenwerking met SNPE de Friability test gebouwd en uitgevoerd. Deze test was niet aanwezig op het TNO Prins Maurits Laboratorium (TNO-PML) en was wel gewenst, aangezien met deze test inzicht verkregen kan worden in de schokgevoeligheid van explosieven. SNPE voert deze test al een aantal jaren uit en met behulp van die kennis kon de test nu worden gerealiseerd. Met deze test diende vervolgens een aantal inleidende experimenten te worden uitgevoerd met inerte samples en explosieven.

Doel van het onderzoek

Het doel van het onderzoek is het evalueren van de Friability test door het opdoen van ervaring met de testopstelling met behulp van inerte samples en explosieven. In dit rapport, behorende bij A-opdracht A94KL408, worden de bevindingen bij het uitvoeren van de eerste testen geëvalueerd.

Korte omschrijving van het onderzoek

De Friability test bestaat uit twee onderdelen. In het eerste deel wordt het sample met behulp van een gaskanon (waarbij samengeperste lucht gebruikt wordt) tegen een stalen plaat geschoten met een snelheid van 150 m/s. Hiermee wordt nagegaan in hoeverre scheur- en kruimelvorming het brandgedrag van de explosieve stof beïnvloeden.

In het verlengde van dit samenwerkingsproject wordt onder opdracht 'Thermische Initiatie', nummer A95KL408, werkpakket 4, gewerkt aan de evaluatie van de Friability test. Het zwaartepunt van de evaluatie is gericht op de afschietfase van deze test omdat dit onderdeel nieuw is op het TNO-PML, terwijl de 'closed vessel' test reeds op het laboratorium aanwezig was. In het kader van deze opdracht zijn testen uitgevoerd om de werking van de Friability test te optimaliseren. Een aantal verbeteringen, betrekking hebbende op de afschieteenheid, is aangebracht om de test betrouwbaarder te kunnen uitvoeren. Hierbij is naast het optimaliseren van de instellingen van de gebruikte apparatuur, ervaring opgedaan met de te verrichten handelingen tijdens het schieten met het gaskanon met projectielen van hard-PVC en met energetische materialen. In hoofdstuk 2 van het rapport wordt een korte beschrijving van de Friability test gegeven. In hoofdstuk 3 wordt ingegaan op de instelling van de apparatuur. Eveneens worden de experimenten met hard PVC en met de explosieve stoffen beschreven. Het rapport wordt afgesloten met de conclusies en aanbevelingen.

Conclusies en aanbevelingen

Conclusies

Het afschietgedeelte van de Friability test functioneert naar behoren.

Aan de beide kalibratie-eisen die gesteld worden aan de 'closed vessel' voor wat betreft de piekdruk en de drukstijgsnelheid kan (nog) niet worden voldaan. Er wordt nog met SNPE overlegd wat hier aan te doen is.

Aanbevelingen

Alvorens met energetische materialen te schieten is het aan te raden met hard-PVC projectielen te schieten. Hiermee wordt de loop schoon gemaakt, de richting van de loop gecheckt en de werking van de snelheidsmeetapparatuur getest.

Door gebruik te maken van afgedraaide sabots (18,35 mm) zal de gewenste snelheid van het projectiel nauwkeuriger van te voren ingesteld kunnen worden. Door verder de chronometer/counter op de 'hold-stand' in te stellen, zal bij de snelheidsmeting alleen het eerste signaal van het projectiel en niet het signaal van het sabot de counter triggeren.

Door de aanwezigheid van een weegschaal op de schietlocatie kan direct de massa van het projectiel voor en na het schieten bepaald worden. Tevens wordt door gebruik te maken van een bodembedekking van de opvangbuis het verzamelen van de fragmenten vergemakkelijkt.

Samenvatting

In samenwerking met SNPE, Frankrijk, is de Friability test gebouwd. Deze test wordt toegepast bij het bepalen van het effect van een stoot op een explosieve stof die kandidaat is voor kwalificatie als een 'extreem ongevoelige detonerende stof'. Daartoe wordt een sample van het te testen explosief met een snelheid van 150 m/s met behulp van een gaskanon tegen een stalen plaat geschoten.

Daarna wordt een 'closed vessel' test uitgevoerd waarin wordt bekeken of de brandeigenschappen van een explosief zijn veranderd als gevolg van deze stoot, via verandering van de piekdruk en de drukstijgsnelheid.

Daartoe moest het volume van de bestaande 'closed vessel' worden aangepast teneinde te kunnen voldoen aan de kalibratiespecificaties met betrekking tot de drukstijgsnelheid en de piekdruk. Deze kalibratie wordt uitgevoerd met behulp van een referentiekruit welke door SNPE is aangeleverd. Gebleken is dat niet aan beide kalibratie-eisen kon worden voldaan. De enige parameter die kan worden gevarieerd is het volume van de 'closed vessel'. Aan de eis voor de piekdruk kon worden voldaan, maar niet aan de eis voor de drukstijgsnelheid.

Met de Friability test is een negental test-experimenten naar tevredenheid uitgevoerd. Daarna zijn van een tweetal explosieven, een standaard raketkruit en een PBX-HMX kruit, de brandeigenschappen bepaald in de 'closed vessel' test. Beide kruiden verpulveren tot kleine korrels in de Friability test. Ondanks dat geven de resultaten in de 'closed vessel' test aan dat zowel de piekdruk als de drukstijgsnelheid gematigd is in vergelijking met die van het referentiekruit.

Inhoud

Managementuittreksel	2
Samenvatting	4
1 Inleiding	6
2 Korte beschrijving van de Friability test.....	7
2.1 Inleiding	7
2.2 Het gaskanon-experiment	7
2.3 Het 'closed vessel'-experiment.....	8
2.4 Kalibratie 'closed vessel'	8
3 Testen en experimenten.....	9
3.1 Inleiding	9
3.2 Inleidende testen voor de gaskanonopstelling	9
3.3 Testen met hard-PVC projectielen in het gaskanon	11
3.4 Testen met explosieve stoffen in het gaskanon	12
3.5 Resultaten Friability test met energetische materialen	12
3.6 Algemene opmerkingen	14
4 Conclusies en aanbevelingen	15
4.1 Conclusies.....	15
4.2 Aanbevelingen en verbeteringen	15
4.3 Aanbevelingen	15
5 Referenties.....	16
6 Ondertekening	17
Bijlagen:	
A Constructietekeningen van de Friability test	
B Foto's van gaskanonopstelling	
C Foto's van testmonsters	

1 Inleiding

In 1994 is tussen het Franse onderzoekslaboratorium SNPE en TNO Prins Maurits Laboratorium (TNO-PML), in het kader van de 'Memrandom of Understanding', een samenwerkingsovereenkomst getekend. Als onderdeel van deze samenwerking is onder opdrachtnummer A94KL419 de constructie van de Friability test op het TNO-PML verwezenlijkt [1]. Met de Friability test wordt het effect van een stoot op de brandeigenschappen van een EIDS-kandidaat bepaald [2]. In de eerste fase van deze test wordt een testmonster met een massa van $9,0 \pm 0,1$ g en een diameter van 18 mm met een snelheid van 150 m/s tegen een stalen plaat geschoten. In de tweede fase van de test wordt de maximale drukstijging van dit monster bij een verbranding in een 'closed vessel' test bepaald.

In het verlengde van dit project wordt onder opdrachtnummer A95KL408, werk-pakket 4, gewerkt aan de evaluatie van de Friability test. Het zwaartepunt van de evaluatie is gericht op de afschietfase van deze test omdat deze test nieuw is op het TNO-PML, terwijl de 'closed vessel' test reeds op het laboratorium aanwezig was. In het kader van deze opdracht zijn testen uitgevoerd om de werking van de Friability test te optimaliseren. Een aantal verbeteringen, betrekking hebbende op de afschieteenheid, zijn aangebracht om de test betrouwbaarder te kunnen uitvoeren. Hierbij is naast het optimaliseren van de instellingen van de gebruikte apparatuur, ervaring opgedaan met de te verrichten handelingen tijdens het schieten met het gaskanon met projectielen van hard-PVC en met energetische materialen. In hoofdstuk 2 wordt een korte beschrijving van de Friability test gegeven. In hoofdstuk 3 wordt ingegaan op de instelling van de apparatuur. Eveneens worden de experimenten met hard-PVC en met de explosieve stoffen beschreven. Het rapport wordt afgesloten met de conclusies en aanbevelingen.

2 Korte beschrijving van de Friability test

2.1 Inleiding

De uitvoering van de Friability test bestaat uit twee fasen. In de eerste fase wordt een testmonster met een massa van $9,0 \pm 0,1$ g met een snelheid van 150 m/s tegen een stalen plaat geschoten. In de tweede fase wordt in een 'closed vessel' de maximale drukstijging bij de verbranding van het testmonster bepaald. Onder andere scheurvorming kan het brandgedrag aanzienlijk beïnvloeden. De laatste test geeft een indruk over de schokbestendigheid van de korrel.

In de volgende paragrafen worden beide testen kort beschreven.

2.2 Het gaskanon-experiment

In bijlage A figuur 3, is een overzichtstekening gegeven van de afschieteenheid van de Friability test. Het gaskanon bestaat uit een gastank (onderdeelnummer 2) gemonteerd tussen twee gaskleppen, (2 en 3) gekoppeld aan een loop. De loop heeft een binnendiameter van $18,35 \pm 0,05$ mm en is van binnen gehoond om de wrijving tussen het projectiel en de loop te verkleinen. Het testmonster (projectiel), met een diameter van 18 mm en een massa van $9,0 \pm 0,1$ gram, wordt samen met een plastic sabot van 1 gram (18,35 mm) via de bunker kant tot een bepaalde diepte in de loop ingebracht. Na het inbrengen van het projectiel kan de bunkerdeur gesloten worden. Vanuit de bedieningsruimte wordt door het openen van de eerste gasklep (1) de gastank vanuit een voorraad-luchtcilinder (9) van 50 liter (maximale druk: 20 MPa) gevuld. In de gastank bevindt zich een druksensor die de druk in de tank registreert en terugkoppelt aan een drukcontroller. Indien de druk in de tank de vooraf ingestelde druk (1,2 MPa) bereikt, wordt de luchttoevoer automatisch gestopt. Nadat alle voorzorgsmaatregelen getroffen zijn kan het projectiel gelanceerd worden.

Door het openen van de extra snelle gasklep (3) worden door de gasdruk het sabot en het projectiel versneld. De snelheid bij het verlaten van de loop is afhankelijk van de druk, de massa van het projectiel en de insteekdiepte in de loop en kan daardoor van tevoren ingesteld worden. Echter, voordat het projectiel de cilindrische opvangbuis (6) van PMMA binnentreedt, wordt door middel van twee optische sensoren (5) de snelheid van het projectiel bepaald. Uiteindelijk wordt het projectiel gestopt door de stalen plaat (8) aan het einde van de opvangbuis. Nadat de druk in de gastank gecontroleerd is (1 bar), kan de bunkerdeur geopend worden en kunnen de resten van het testmonster verzameld en gewogen worden.

2.3 Het 'closed vessel'-experiment

Indien de massa van de fragmenten na het gaskanon-experiment minimaal 8,8 gram bedraagt is het testmonster geschikt voor de test in de 'closed vessel'. In figuren 4 en 5 in bijlage A zijn constructietekeningen te zien van de totale en het centrale gedeelte van de 'closed vessel' test. Voor de Friability test is ten opzichte van de standaard 'closed vessel' test de grootte van de kamer via een insteekplug verkleind (zie paragraaf 2.4). Nadat de kamer en de verschillende componenten van de test met alcohol zijn schoongemaakt wordt de druksensor (Kistler 6211, 0-750 MPa) in de kamer ingebracht. Nadat de fragmenten van het testmonster in de kamer zijn gebracht wordt de ontstekingsplug met de ontsteker op de juiste plaats aangebracht. Nadat alle veiligheidsmaatregelen getroffen zijn kan de ontsteker afgevuurd worden. Deze ontsteekt op zijn beurt het monster in de kamer. Bij de verbranding wordt de druk als functie van de tijd geregistreerd. Na de test worden de druktijdgegevens gefilterd en wordt de afgeleiden van de druk naar de tijd berekend hetgeen de maximale drukstijging oplevert. Deze waarde correspondeert met de impactsnelheid van het projectiel bij het gaskanon-experiment. Indien bij een snelheid van 150 m/s de maximale drukstijging in het 'closed vessel'-experiment groter is dan 15 MPa/ms, valt de test positief uit en is de teststof geen EIDS-kandidaat.

2.4 Kalibratie 'closed vessel'

De grootte van de verbrandingskamer wordt bepaald aan de hand van de verbrandingseigenschappen van een referentiekruit dat door SNPE ter beschikking is gesteld. De drukopbouw van dat referentiekruit dient te voldoen aan een tweetal eisen. Allereerst dient de piekdruk een waarde van 80 ± 2 MPa te hebben. Vervolgens dient de drukstijgsnelheid $15,2 \pm 0,2$ MPa/ms te zijn.

Via het gebruik van een insteekplug wordt het volume van de verbrandingskamer gevarieerd zodat aan de eis van de piekdruk voor het referentiekruit wordt voldaan. De opgenomen drukcurve van het referentiekruit is voldoende 'glad' om de maximale druk te kunnen aflezen binnen de vereiste nauwkeurigheid. Voor het bepalen van de maximale drukstijgsnelheid moet $(dp/dt)_{\max}$ worden bepaald. Daartoe wordt de drukcurve gefilterd via een 'Fast Fourier Transformatie' zodat ruis op het signaal verminderd wordt. Dat is noodzakelijk omdat de ruis van dezelfde snelheid is als de drukstijging. Op deze wijze wordt de maximale drukstijgsnelheid bepaald op $12,3 \pm 0,2$ MPa/ms en blijkt dus niet te voldoen aan de gestelde eisen. Tevens blijkt de nauwkeurigheid te worden bepaald door de wiskundige methode: het toepassen van een aantal verschillende methoden levert een variatie in het antwoord op van 0,2 MPa/ms. Worden daarbij de experimentfouten opgeteld dan wordt de uiteindelijke nauwkeurigheid minder dan de vereiste. Waarschijnlijk is de vereiste nauwkeurigheid te streng.

Omdat alleen het volume de te variëren parameter is kan blijkbaar niet aan beide eisen (voor piekdruk en drukstijgsnelheid) worden voldaan door de huidige 'closed vessel'. Hoe dit dilemma kan worden opgelost is nog niet duidelijk.

3 Testen en experimenten

3.1 Inleiding

Na de constructie en de assemblage van het gaskanon is een aantal inleidende testen en experimenten met het gaskanon uitgevoerd. De eerste testen betroffen de instelling van de apparatuur en het functioneren van de verschillende componenten van de opstelling. Nadat de opstelling bleek te functioneren, is een aantal experimenten met projectielen van hard-PVC uitgevoerd. Als laatste zijn testen met explosieve stoffen uitgevoerd. Daarna is de kamer van de 'closed vessel' test gekalibreerd (zie paragraaf 2.4) met het 'referentiekruit' (SNPE) en is een aantal testen met explosieve stoffen uitgevoerd. In de volgende paragrafen worden de verschillende testen en experimenten apart beschreven en geëvalueerd.

3.2 Inleidende testen voor de gaskanonopstelling

Bij een gaskanon-experiment bepaalt de snelheid van het projectiel de 'beschadiging' van de explosieve stof ten gevolge van de impact. Daarom is een van de belangrijkste factoren van de gaskanonopstelling de snelheidsmeting van het projectiel. De snelheidsmeting wordt uitgevoerd aan de hand van twee kleine optische raamsensoren die een puls afgeven bij het passeren van een projectiel. Door eenvoudig de afstand tussen de twee raamsensoren te delen door de tijd die het projectiel nodig heeft om beide sensoren te passeren verkrijgt men de gemiddelde snelheid van het projectiel.

3.2.1 De kalibratie van de snelheidsmeetapparatuur

Volgens de leverancier van de raamsensoren (STM RLS 128) hebben de raamsensoren een schakelvertraging van $\tau < 10 \mu\text{s}$ voor objecten met een minimale diameter van 5 mm en snelheden in de orde grootte van 100 m/s. Om de werking van de raamsensoren te testen zijn deze vergeleken met het grote, pas gekalibreerde optische systeem van het Laboratorium voor Ballistisch Onderzoek (LBO) van het TNO-PML. In tabel 1 is een overzicht gegeven van de verschillen in gemeten snelheden tussen de twee systemen. Voor een uitvoerige beschrijving van deze testen wordt verwezen naar [1]. Uit de metingen blijkt dat de snelheidsverschillen tussen de kleine raamsensoren en het optische systeem voor snelheden groter dan 400 m/s 0,4% zijn. Voor snelheden kleiner dan 400 m/s, zijn de verschillen kleiner dan 0,05%.

De snelheid van het projectiel in het gaskanon-experiment komt theoretisch niet boven een waarde 230 m/s bij een druk van 1,2 MPa, een 9,0 grams projectiel en de volledige lengte van de loop. Vergeleken met het (kostbare) optische systeem van het LBO is bij deze snelheden de afwijking van de goedkope raamsensoren nihil.

Tabel 1: *Verschillen in gemeten snelheden tussen optisch raamwerk en optische barrier van het Laboratorium voor Ballistisch Onderzoek (LBO).*

snelheid (m/s) LBO	Snelheid (m/s) raamsensoren	relatieve verschillen (%)
607,08	606,8	0,045
526,92	542,91	0,380
522,69	520,87	0,349
492,87	492,42	0,090
462,3	461,33	0,210
447,73	447,67	0,013
422,20	422,00	0,047
355,98	356,14	-0,045
327,44	327,38	0,017
318,29	328,29	0,000

3.2.2 Inleidende testen met projectielen

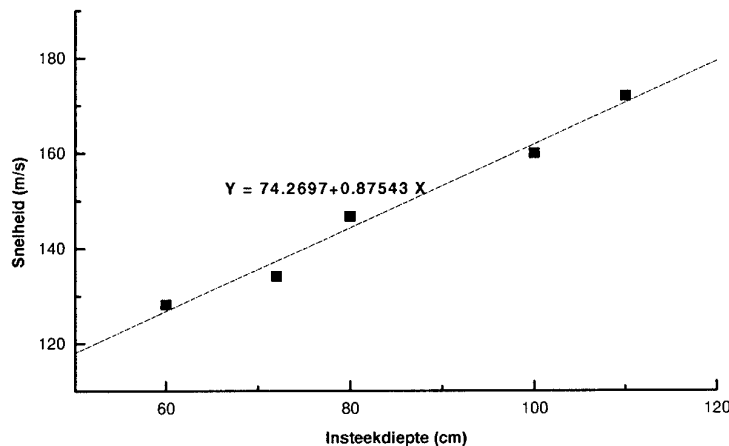
Na kalibratie van de raamsensoren zijn deze in de baan van het gaskanon geplaatst en is een tweetal experimenten met hard-PVC projectielen uitgevoerd. Na het eerste schot bevond het projectiel zich niet in de opvangbuis. Ook werd er geen tijd door de sensoren geregistreerd. Wel bleek de gebruikte chronometer/counter getriggerd te worden door allerlei schakelklikken vanuit de schakelkast. Deze traden op bij het vullen van de gastank en het verschieten van het projectiel. Daar de elektromagnetische kleppen via relais geschakeld zijn, leverde dit schakelklikken op in de meetapparatuur via de gemeenschappelijke voeding. Bij een tweede schot was de aluminium beschermplaat gedeukt en bleek de eerste sensor kapot te zijn. Het projectiel had een dusdanige impact dat de plaat en hierdoor ook de achterliggende sensor, verbogen werden. De kapotte sensor moest vervangen worden door een nieuwe.

3.2.3 Evaluatie van de inleidende testen

Ondanks dat de loop uitgericht was, is het projectiel toch van de verwachte schootslijn afgeweken. Het bleek dat het uitrichten van de loop in de toekomst wat meer aandacht verdient om verdere beschadigingen te voorkomen. Om de sensoren in toekomstige experimenten te beschermen zijn er in totaal drie stalen platen van 4 mm dikte tussen en voor de sensoren geplaatst. Verder is de apparatuur dusdanig aangepast dat deze geen verdere schakelklikken in het circuit van de sensoren-elektronica veroorzaakt. Als laatste is uit deze testen gebleken dat het gebruikte sabot, dat voor de aandrijving van het projectiel zorgt, reproduceerbaar afgedraaid moet worden tot een diameter van 18,35 mm. Door gebruik te maken van afgedraaide sabots zal de afsluiting en de wrijving tussen het sabot en de loop constant zijn dan bij afgesneden sabots hetgeen de reproduceerbaarheid van de snelheid ten goede komt. Hierdoor kan bij een constant ingestelde druk van 1,2 MPa, de gewenste snelheid door middel van de inbrengdiepte nauwkeuriger ingesteld worden.

3.3 Testen met hard-PVC projectielen in het gaskanon

Nadat bovenstaande werkzaamheden verricht waren en de loop opnieuw en zo goed mogelijk uitgericht was, is er een aantal nieuwe testen met hard-PVC projectielen uitgevoerd. Als eerste is er een aantal testen uitgevoerd om de werking van de totale gaskanonopstelling te testen. Deze testen verliepen correct. Zoals reeds vermeld, is de snelheid van het projectiel bij het verlaten van de loop hoofdzakelijk afhankelijk van de massa van het projectiel, de druk in de gastank en de insteekdiepte van het projectiel (met sabot) in de loop. Om een indicatie te krijgen van de eindsnelheid van 9 grams projectielen is, een aantal experimenten uitgevoerd waarbij de snelheid als functie van de insteekdiepte gemeten is. In figuur 1 is het resultaat van deze experimenten met hard-PVC projectielen uitgezet. Eveneens is in de grafiek lineaire fit door deze meetpunten uitgezet. De experimenten zijn uitgevoerd met projectielen van 9,4 gram, bij een begindruk van 1,2 MPa, bij verschillende insteekdiepten. Het blijkt dat voor het meetgebied van 120-170 m/s de relatie tussen de snelheid en de insteekdiepte vrij lineair is.



Figuur 1: Relatie tussen insteekdiepte en eindsnelheid van een hard-PVC projectiel.

3.3.1 Evaluatie van de hard-PVC experimenten

Uit deze testen is gebleken dat het gaskanon goed functioneert. Wel is gebleken dat het plastic sabot soms in de vlucht is meegegaan met het projectiel. Hierdoor worden de sensoren dubbel getriggerd zodat een verkeerde tijd gemeten wordt. Door de chronometer/counter op 'hold' te zetten wordt de counter voor elke sensor slechts eenmaal getriggerd en is het probleem opgelost.

Het vullen van de gastank tot de gewenste druk verloopt goed. Er moet echter opgemerkt worden dat de tank na het vullen licht lekt. Dit levert echter het voordeel dat men de tank op een iets hogere druk kan vullen en het projectiel kan afschieten zodra de drukindicator de gewenste druk van 1,2 MPa aangeeft.

3.4 Testen met explosieve stoffen in het gaskanon

Nadat de gaskanonopstelling ingesteld en uitgetest was, konden testen met energetische materialen uitgevoerd worden. Er is gekozen voor een HMX-PBX (HU28, 85% HMX met 15% binder) en een standaard raketkruit. Volgens de testbeschrijving in het UN oranje boek [2] behoren de testmonsters een diameter van 18 mm te hebben en dient de massa $9,0 \pm 0,1$ gram te zijn. Voor de HMX-PBX samples zijn speciale gietmallen van Teflon-glas en een doorsnede van 18 mm gemaakt. Bij aanmaak van de testmonsters worden deze gietmallen gevuld met het HMX-PBX mengsel waarna de samples een week moeten uitharden. Na uitharding kunnen de staafjes uit de mallen geperst worden. Voor de test dienen deze nog op lengte gesneden te worden zodat een massa van $9,0 \pm 0,1$ gram overblijft. Het raketkruit is eveneens speciaal op deze diameter aangemaakt en verwerkt tot samples van 9 gram. Voorafgaand aan een schiettest dient de massa nauwkeurig (0,05 gram) afgewogen te worden. Na het uitvoeren van de test wordt de massa van de fragmenten eveneens afgewogen. Bij uitvoering van de testen bleken de mechanische eigenschappen van de materialen dusdanig te zijn dat door de stoot de testmonsters in vele kleine fragmenten uit elkaar spatten. Door het groot aantal fragmenten wordt de brandsnelheid sterk verhoogd. Om toch een indicatie van de brandgedrag van deze samples te krijgen is slecht voor één van de twee soorten testmonsters één 'closed vessel' test uitgevoerd. De resultaten worden in de volgende paragraaf beschreven.

3.5 Resultaten Friability test met energetische materialen

In tabellen 2 en 3 is een overzicht gegeven van de resultaten van de Friability test met energetische materialen. In rij 1 is de insteekdiepte van het projectiel (plus sabot) in de loop aangegeven. In de rijen 2 en 3 zijn respectievelijk de massa's van de projectielen voor en na het gaskanon-experiment gegeven. In rij 4 is het tijdsverschil van de twee triggerpulsen van de optische sensoren gegeven hetgeen met de gemiddelde detectorafstand van 300,56 mm ($\pm 0,2$ mm) de snelheid in rij 5 geeft. In de rijen 6 en 7 staan de testresultaten van de 'closed vessel' test, indien uitgevoerd. In bijlage C zijn foto's van de testmonsters na het gaskanon-experiment te zien. Duidelijk is te zien dat de monsters ten gevolge van de impact in veel kleine fragmenten en stofdelen opsplits zijn.

Tabel 2: Friability test resultaten van HU 28.

	FT 9501	FT 9502	FT 9503	FT 9504	FT 9505
Insteekdiepte (cm)	75	35	25	85	55
Massa voor (g)	9,0	9,0	9,1	9,1	9,1
Massa na (g)	7,7	8,8	8,8	8,1	8,2
Tijd (ms)	2,119	2,890	3,205	1,994	2,497
Snelheid (m/s)	141,9	104,0	93,8	150,7	120,4
Max. druk (MPa)	-	71,9	-	-	-
(dp/dt)max (MPa/ms)		7,5	-	-	-

Tabel 3: Friability test resultaten van een standaard raketkruit.

	FT 9506	FT 9507	FT 9508	FT 9509
Insteekdiepte (cm)	35	55	85	- ¹
Massa voor (g)	9,1	9,1	9,1	9,1
Massa na (g)	9,0 ²	9,1	8,7	9,0
Tijd (ms)	2,970	2,3897	2,037	2,2306
Snelheid (m/s)	101,2	125,8	147,6	136,2
Max. druk (MPa)	-	-	-	58,5
(dp/dt)max (MPa/ms)		-	-	6,4

1 Vermoedelijk was de insteekdiepte 70 of 75 cm.

2 Een fragment met een massa van 1,3 gram is op de vloer teruggevonden.

3.5.1 Evaluatie van de experimenten met energetische materialen

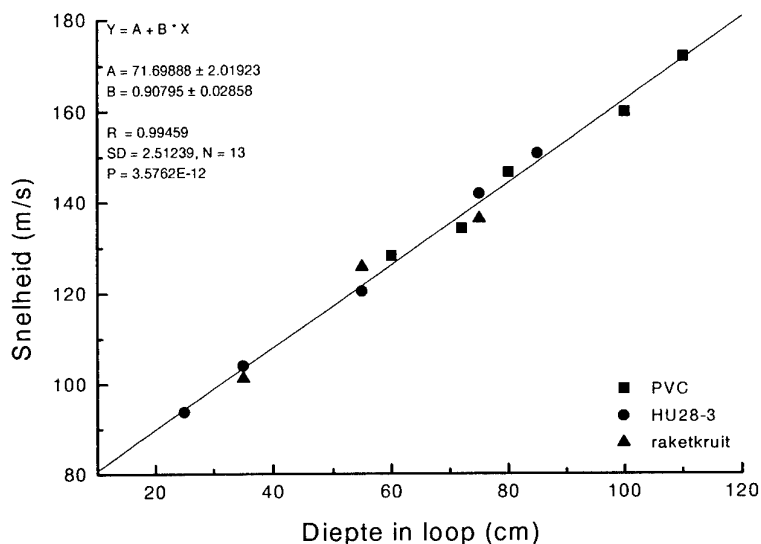
Door de uitvoering van de gaskanon-experimenten met de energetische materialen is gebleken dat de aanwezigheid van een weegschaal met een nauwkeurigheid van minimaal 0,05 gram op de testlocatie gewenst is. Hiermee kan de massa voor en na het experiment direct bepaald worden. Tevens bleek de regeling van de insteldruk voor de gastank van het gaskanon niet ideaal te zijn. De stelschroef is vervangen door een regelbare potentiometer. In de plaats van de schroevendraaier kan nu de insteldruk met de hand veranderd worden. Ook bleek dat bij herhaald bijvullen van de gastank de lek van de gasklep opgeheven werd en de druk lager werd in plaats van opliep. Dit laatste is het gevolg van de opwarming van het gas. Een extra aflatklep om het gas te laten ontsnappen naar de omgeving kan dit euvel verhelpen.

Tevens bleek bij de uitvoering van de testen van het HMX-PBX, dat 85% HMX bevat, het verzamelen van de fragmenten in de PMMA-buis enige problemen gaf door de statisch-elektrische eigenschappen van het HMX. Door de buis op de bodem te bedekken met grote vellen papier wordt het verzamelen van de fragmenten vergemakkelijkt.

Een laatste probleem is de voorgeschreven sampletemperatuur van 20 °C bij warm weer. Bij buitentemperaturen van minder dan 20 °C is het geen probleem om de loop en het sample op deze temperatuur te houden daar er een geregelde verwarming om de loop aangebracht is. Helaas wordt de loop niet gekoeld, waardoor bij temperaturen boven de 20 °C niet aan temperatureis kan worden voldaan. Om dit voorkomen wordt aan een waterkoeling gedacht die via de temperatuurcontroller geregeld wordt.

3.6 Algemene opmerkingen

Bij de gaskanon-experimenten is het nuttig een aantal proefschoten met hard-PVC projectielen uit te voeren. Dit heeft meerdere voordelen. De instelling van de chronometer kan gecheckt worden en de loop wordt schoongeblazen. Door temperatuurschommelingen kan de loop licht krom buigen en kan het projectiel de stalen beschermplaten van de sensoren raken. Met het proefschot kan gecheckt worden of de loop nog goed staat of dat deze opnieuw uitgericht dient te worden.



Figuur 2: De mondingssnelheid van een projectiel als functie van de insteekdiepte bij een gastankdruk van 12 MPa.

In figuur 2 is voor alle experimenten met hard-PVC projectielen en energetische materialen de gemeten snelheid van het projectiel, bij een druk van 1,2 MPa, als functie van de insteekdiepte in de loop, uitgezet. Eveneens is een lineaire fit door de meetpunten uitgezet met een snijpunt door de y-as van ongeveer 72 m/s en een helling van 1,0. Met de huidige opstelling kunnen bij 1,2 MPa, snelheden tussen de 70 en 210 m/s bereikt worden. Door verandering van de druk kunnen deze nog verhoogd of verlaagd worden.

4 Conclusies en aanbevelingen

4.1 Conclusies

Aan de hand van de aangeleverde informatie van SNPE is de Friability test geconstrueerd en gebouwd. Omdat de geplande locatie van de originele opzet van de gaskanonopstelling te klein is, is de tank van het gaskanon iets verkort. Voor zover te overzien hebben de aangebrachte veranderingen, ten opzichte van het originele concept, géén invloed op de functionaliteit van het gaskanon.

Na een eerste constructie en bouwfase zijn aan de hand van inleidende testen nog veranderingen aangebracht aan de opstelling. Zo hebben de sensoren drie extra stalen protectieschermen gekregen om een beschadiging te voorkomen. Bij de apparatuur is de ideale instelling gevonden en zijn de schakelklikken, die het triggersignaal van de snelheidsmetingen beïnvloedden, opgeheven. Eveneens is, door middel van een potentiometer, de insteldruk van de gastank eenvoudig met de hand te veranderen. Mede door deze kleine veranderingen is de functionaliteit van het gaskanon goed.

De 'closed vessel' test, de tweede fase van de Friability test, was reeds op het TNO-PML aanwezig. De kamer is verkleind en gekalibreerd volgens het voorschrift. Doordat deze test reeds aanwezig was op het laboratorium was verdere verandering niet nodig.

4.2 Aanbevelingen en verbeteringen

Ondanks het goed functioneren van de test, met name het nieuwe gedeelte van het gaskanon is er nog een aantal punten waarop de test verbeterd of de reproduceerbaarheid verhoogd kan worden.

4.3 Aanbevelingen

Alvorens met energetische materialen te schieten is het aan te raden met hard-PVC projectielen te schieten. Hiermee wordt de loop schoongemaakt, de richting van de loop gecheckt en de werking van de snelheidsmeetapparatuur getest.

Door gebruik te maken van afgedraaide sabots (18,35 mm) zal de gewenste snelheid van het projectiel nauwkeuriger van te voren ingesteld kunnen worden. Door verder de chronometer/counter op de 'hold-stand' in te stellen, zal bij de snel-

heidsmeting alleen het eerste signaal van het projectiel en niet het signaal van het sabot de counter triggeren.

Door de aanwezigheid van een weegschaal op de schietlocatie kan direct de massa van het projectiel voor en na het schieten bepaald worden. Tevens wordt door gebruik te maken van papier op de bodem van de opvangbuis het verzamelen van de fragmenten vergemakkelijkt.

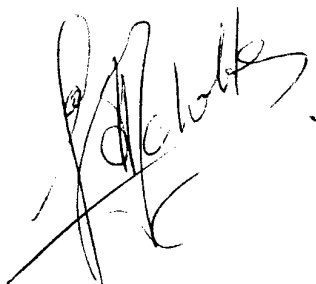
4.3.1 Verbeteringen

Naast een aantal kleine veranderingen die reeds zijn aangebracht, is het aan te bevelen om het gaskanon nog op een aantal punten te verbeteren. Zo is een richtinstallatie op de loop, bijvoorbeeld een vast vizier, handig bij het uitrusten van de loop. Tevens is een extra klep op de gastank om de druk af te laten bij calamiteiten of een te hoge druk, aan te bevelen. Als laatste kan gedacht worden aan een koelcircuit zodat bij te hoge omgevingstemperatuur, aan de voorgeschreven sampletemperatuur van 20 °C, voldaan kan worden.

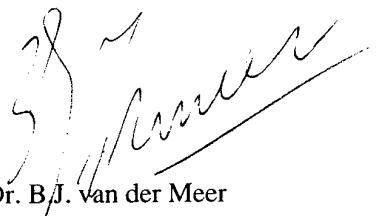
5 Referenties

- [1] Scholtes, J.H.G.,
'The construction of the Friability test at TNO-PML',
TNO-rapport PML 1996-A58, juli 1996.
- [2] 'Recommendations on the transport of dangerous goods'; test and criteria,
second edition, st/sg/ac.10/11 rev.1. United Nations, New York 1990.

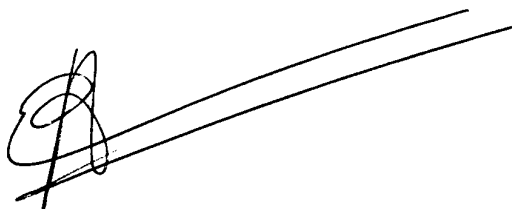
6 Ondertekening



Ir. J.H.G. Scholtes
Projectleider/Auteur

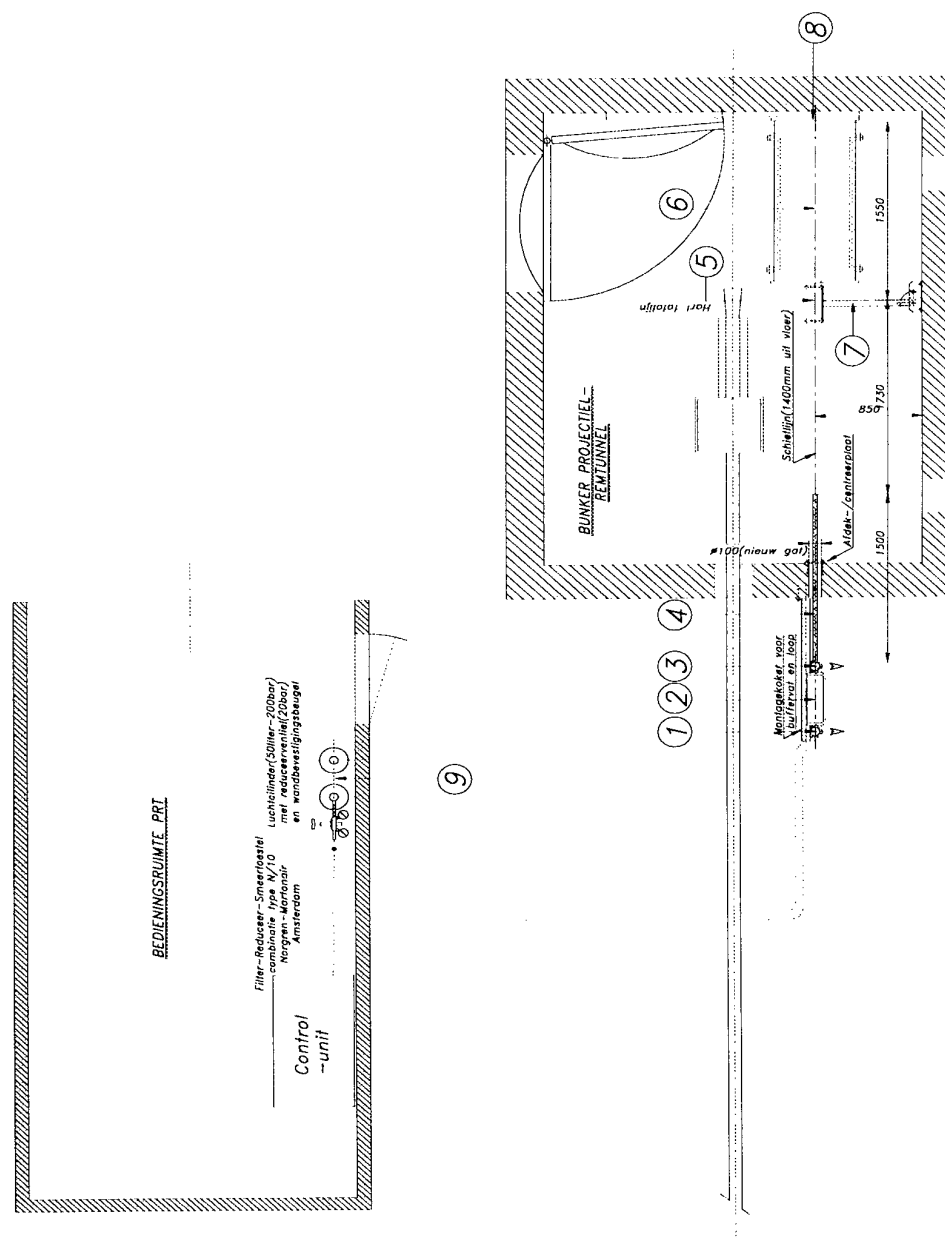


Dr. B.J. van der Meer
Research coördinator/Auteur

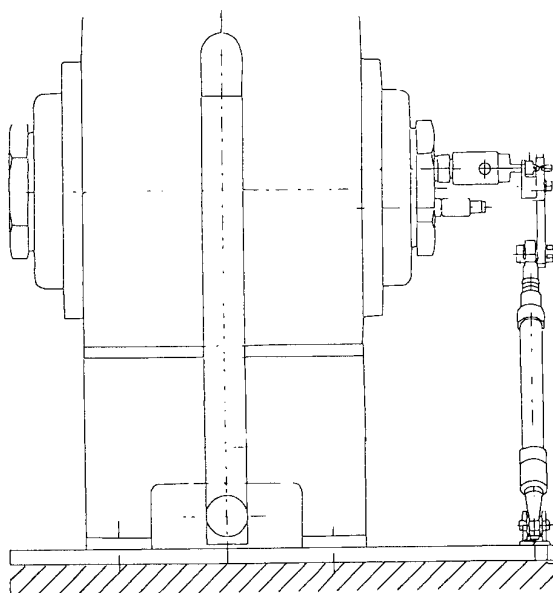


Dr. A.C. van der Steen
Groepshoofd

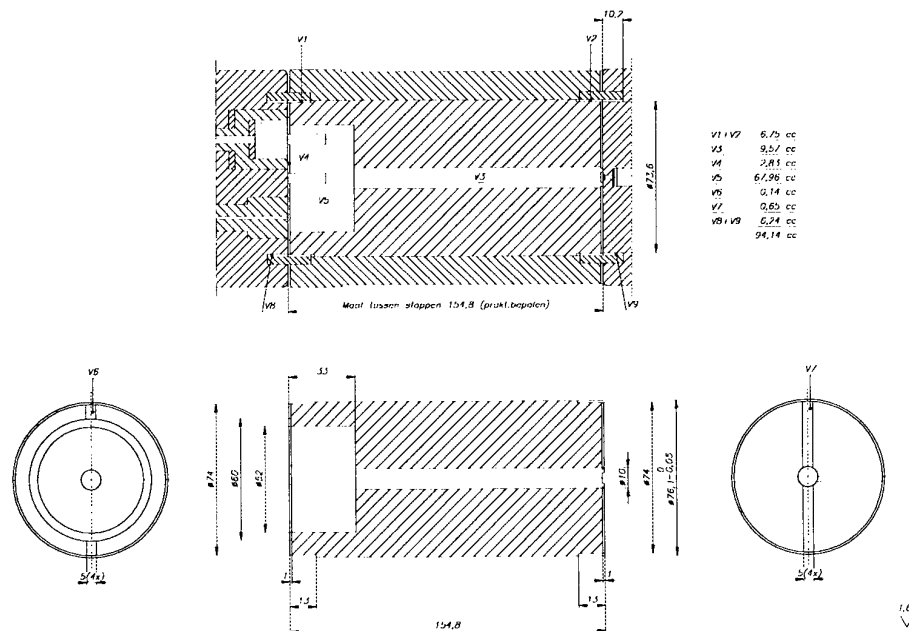
Bijlage A Constructietekeningen van de Friability test



*Figuur 3: De constructietekening van de gaskanonopstelling.
1 = luchtklep, 2 = gastank, 3 = luchtklep, 4 = lanseerbuis, 5 = twee optische
ogen, 6 = opvangbox, 7 = bevestigingsondersteuning voor de twee optische
ogen, 8 = betonnen muur, 9 = cilinders met lucht voor gastank.*



Figuur 4: Het uitwendige van de 'closed vessel' test.



Figuur 5: Het centrum van de 'closed vessel' test met extra plug om het kamervolume te verkleinen.

Bijlage B Foto's van gaskanonopstelling

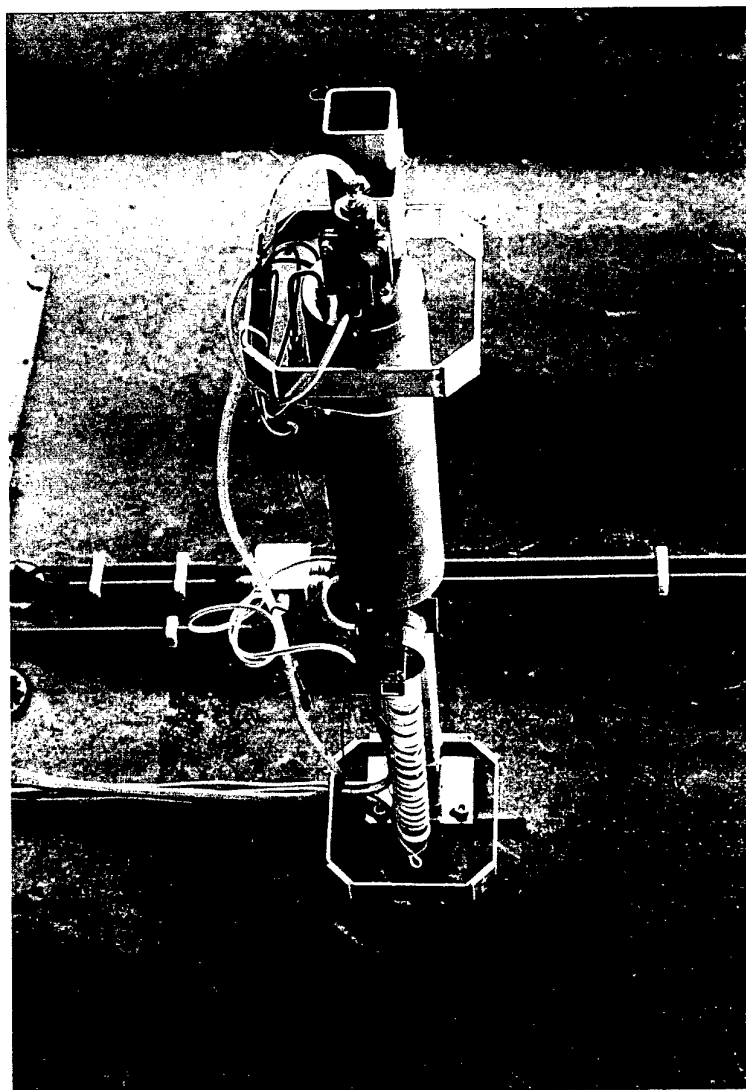


Foto B.1: De afschieteenheid van de gaskanonopstelling aan de buitenkant van de bunkerwand.

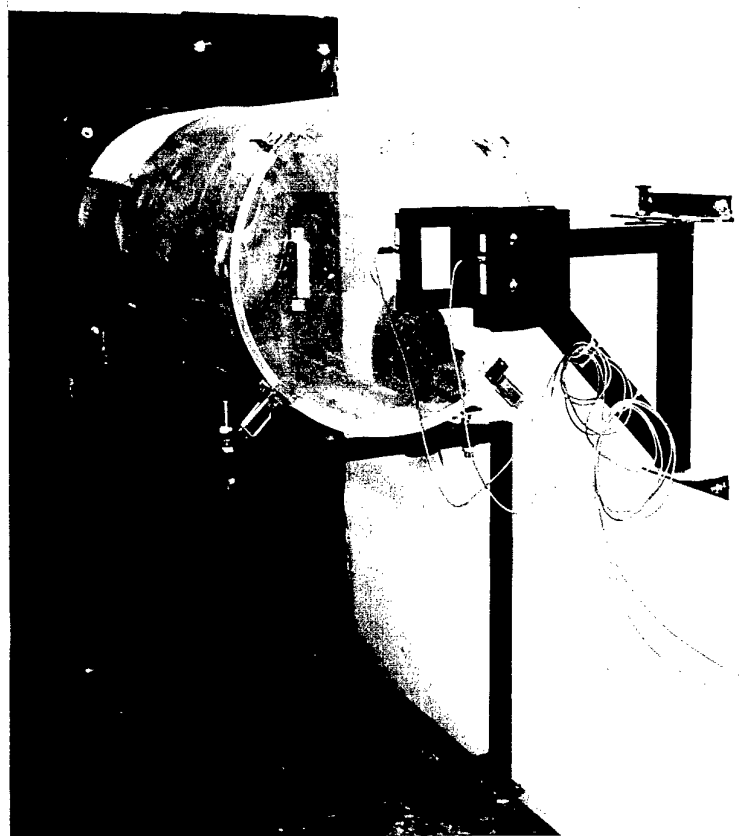


Foto B.2: De opvangeneheid en snelheidsmeetapparatuur van de gaskanonopstelling.

Bijlage C Foto's van testmonsters



Gaskanon experiment FT 9504 / HU 28-4

Foto C.1: Brokstukken van een HMX-PBX sample na een gaskanon-experiment met een snelheid van 150,7 m/s.



Gaskanon experiment
FT 9508 / St. Raketkruit

Foto C.2: Brokstukken van een standaard raketkruit na een gaskanon-experiment met een snelheid van 147,6 m/s.

ONGERUBRICEERD
REPORT DOCUMENTATION PAGE
(MOD-NL)

1. DEFENCE REPORT NO. (MOD-NL) TD96-0036	2. RECIPIENT'S ACCESSION NO.	3. PERFORMING ORGANIZATION REPORT NO. PML 1996-A59		
4. PROJECT/TASK/WORK UNIT NO. 221495224	5. CONTRACT NO. A94KL408	6. REPORT DATE January 1997		
7. NUMBER OF PAGES 23 (incl. 3 annexes, excl. RDP & distribution list)	8. NUMBER OF REFERENCES 2	9. TYPE OF REPORT AND DATES COVERED Final		
10. TITLE AND SUBTITLE Evaluatie van de Friability test (Evaluation of the Friability test)				
11. AUTHOR(S) Ir. J.H.G. Scholtes, Dr. B.J. van der Meer				
12. PERFORMING ORGANIZATION NAME(S) AND ADDRESS(ES) TNO Prins Maurits Laboratory, P.O. Box 45, 2280 AA Rijswijk, The Netherlands Lange Kleiweg 137, Rijswijk, The Netherlands				
13. SPONSORING AGENCY NAME(S) AND ADDRESS(ES) DMKL/Afd. Munitietechniek P.O. Box 90701, 2509 LS The Hague, The Netherlands				
14. SUPPLEMENTARY NOTES The classification designation Ongerubriceerd is equivalent to Unclassified.				
15. ABSTRACT (MAXIMUM 200 WORDS (1044 BYTE)) In co-operation with SNPE, France, the friability test has been constructed. This test is applied to determine the effect of impact on an explosive substance which is a candidate to be assigned as an Extremely Insensitive Detonating Substance (EIDS). In this test a sample is directed against a steel plate with a velocity of about 150 m/s with the use of a gas gun. After having performed this test, the explosive is tested in the 'closed vessel' test to assess any changes in the burning characteristic, i.e. the peak pressure and pressure rise rate, due to the impact. The volume of the existing 'closed vessel' needed to be adjusted in order to fulfil the calibration requirements with respect to peak pressure (80 ± 0.2 MPa) and pressure rise rate (not more than $15.2 \pm$ MPa/msec). This calibration was performed using a reference propellant delivered by SNPE. It appears that both calibration requirements could not be met by the 'closed vessel'. The requirement for the peak pressure could be fulfilled, but not for the pressure rise rate. Nine experiments were satisfactory performed using the friability test. Of two explosives, a standard rocket propellant and a PBX-HMX propellant, the burning characteristics were determined with the 'closed vessel' test. Both propellants broke into numerous pieces in the friability test. Nevertheless the results obtained from the 'closed vessel' test show that both the peak pressure and the pressure rise rate are moderate compared to the reference propellant.				
<table style="width: 100%;"><tr><td style="width: 50%;">16. DESCRIPTORS Friability test Explosives Propellants Sensitivity Impact</td><td style="width: 50%;">DESCRIPTORS Gas guns Combustion Closed vessel test Experimentation</td></tr></table>			16. DESCRIPTORS Friability test Explosives Propellants Sensitivity Impact	DESCRIPTORS Gas guns Combustion Closed vessel test Experimentation
16. DESCRIPTORS Friability test Explosives Propellants Sensitivity Impact	DESCRIPTORS Gas guns Combustion Closed vessel test Experimentation			
17a. SECURITY CLASSIFICATION (OF REPORT) Ongerubriceerd	17b. SECURITY CLASSIFICATION (OF PAGE) Ongerubriceerd	17c. SECURITY CLASSIFICATION (OF ABSTRACT) Ongerubriceerd		
18. DISTRIBUTION AVAILABILITY STATEMENT Unlimited Distribution		17d. SECURITY CLASSIFICATION (OF TITLES) Ongerubriceerd		

Distributielijst*

- 1*/2* DWOO
- 3 DWOO
- 4 HWO-KL
- 5* HWO-KLu
- 6* HWO-KM
- 7 DMKL
Ing. J.A. van Gool
- 8 DMKLu/MWFAW/MO
Maj. J. Paap
- 9 KM/ WAPCONSYS
LtZe 1 Ing. C.R. Timmer
- 10 Bureau TNO-DO
- 11/13 Bibliotheek KMA
- 14* Lid Instituuts Advies Raad PML
Prof. B. Scarlett, M.Sc.
- 15* Lid Instituuts Advies Raad PML
Prof. ir. K.F. Wakker
- 16 TNO-PML, Directeur; daarna reserve
- 17 TNO-PML, Directeur Programma; daarna reserve
- 18 TNO-PML, Hoofd Divisie Munitietechnologie en Explosieveiligheid
Dr. D.W. Hoffmans
- 19/21 TNO-PML, Divisie Munitietechnologie en Explosieveiligheid,
Groep Eigenschappen Energetische Materialen
Dr. A.C. van der Steen, Dr. B.J. van der Meer en Ir. J.H.G. Scholtes
- 22 TNO-PML, Documentatie
- 23 TNO-PML, Archief
- 24/25 TNO-PML, Reserve

* De met een asterisk (*) gemerkte instanties/personen ontvangen uitsluitend de titelpagina, het managementuittreksel, de documentatiepagina en de distributielijst van het rapport.