

ONGERUBRICEERD

TNO-rapport**TNO 2016 R10769****Ontsteker trilexperiment****Gebouwde Omgeving**
Van Mourik Broekmanweg 6
2628 XE Delft
Postbus 49
2600 AA Delftwww.tno.nlT +31 88 866 30 00
F +31 88 866 30 10

Datum	3 augustus 2016
Auteur(s)	Ing. E. Slis C. van Everdinck Ir. A.J. Bronkhorst Ir. E. Kroon
Aantal pagina's	20 (incl. bijlagen)
Aantal bijlagen	1
Opdrachtgever	Gemeente Rotterdam, EODD
Projectnummer	053.03023

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, 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 opdrachten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst.

Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belanghebbenden is toegestaan.

© 2016 TNO

ONGERUBRICEERD

Samenvatting

Het voorschrift 'Opsporen en ruimen van explosieven', druk 2 [VS-9-861, 2010] van de EOD Defensie (EODD), geeft een richtlijn voor de veiligheidsafstand tussen constructiewerkzaamheden (heien, het slaan van een damwand) en een (mogelijke) blindganger. Deze richtlijn is gebaseerd op een rapport van ingenieursbureau IFCO Funderingsexpertise BV [Muller, 1990] waarin horizontale versnellingen van circa 1 m/s^2 als kritisch worden beschouwd. Er is echter weinig bekend over de gevoeligheid van ontstekingsmechanismes in WOII vliegtuigbom-blindgangers voor trillingen ten gevolge van constructie-werkzaamheden zoals bijvoorbeeld heien. In een TNO rapport [Kroon, Bouma, van Ham, 2015] wordt een inventarisatie gepresenteerd van ontstekertypen die voorkomen in de Nederlandse bodem, waarbij bepaalde typen worden ingeschat als mogelijk trillingsgevoelig. Voor deze typen is het de vraag bij welke versnelling de ontsteker functioneert.

In december 2012 heeft de Vereniging voor Explosieven Opsporing (VEO) het initiatief genomen tot overleg over dit onderwerp met de gemeente Rotterdam, gemeente Zwolle, Prorail en de EODD. De gemeenten Rotterdam, Zwolle, Lingewaard en de EODD zijn bereid gevonden een financiële bijdrage te leveren aan wetenschappelijk onderzoek, uit te voeren door TNO. Het doel is het borgen van een veilige werk- en gebruiksomgeving in en nabij Conventionele Explosieven (CE)-verdacht gebied en een bijdrage te leveren aan de doelmatigheid van opsporing en ruiming. Met de resultaten uit dit onderzoek kan mogelijk, afhankelijk van het type ontsteker, de trillingsnorm worden verhoogd of verlaagd, respectievelijk leidend tot een grotere en kleinere veiligheidsafstand tussen constructiewerkzaamheden en blindganger.

Het onderzoek betreft trillingen in de bodem die worden overgedragen op het vliegtuigbomlichaam en uiteindelijk inwerken op de ontsteker. Het onderzoek bestaat uit twee fases [TNO Offerte, 2014]. Fase I levert:

- A. een inventarisatie van alle ontstekertypen en een inschatting van hun trillingsgevoeligheid;
- B. resultaten van veldmetingen hoe trillingen in de bodem zich voortplanten in/door een bomlichaam;
- C. de vaststelling hoe trillingen op een ontsteker gesimuleerd kunnen worden met behulp van een triltafel.

Fase II levert trillingscriteria per ontstekertype op basis van trillingsexperimenten op een triltafel.

Dit rapport beschrijft de resultaten van Fase IC. Verkennende triltesten zijn uitgevoerd op een opengewerkte Engelse pistool 30 ontsteker. Er is gebruik gemaakt van frequentiesweeps met variatie van de trilamplitude. Contact tussen slagpin en stelcontact (representatief voor het slaghoedje van de detonator) is geregistreerd met behulp van een oscilloscoop en een high-speed videorecorder. De testen hebben een versnellingswaarde opgeleverd waarbij potentiële initiatie optreedt van de detonator. Omdat er gebruik gemaakt is van een opengewerkte ontsteker is deze waarde indicatief voor een volledig gesloten ontsteker in de praktijk.

Vergelijking met praktijkwaarden voor heien en het trillen van damwanden levert daarom indicatieve afstanden waarbij deze versnellingen optreden in de bodem. Deze indicatieve afstanden tot aan de trilbron blijken klein te zijn, in de orde van enkele meters, ook als rekening wordt gehouden met mogelijke versterking van de trilling van de bodem naar de bom.

De gevolgde test-set up en aanpak kunnen globaal worden overgenomen in Fase II voor het bepalen van de daadwerkelijke veiligheidsafstanden voor een serie WOII vliegtuigbom ontstekers voor trillingen afkomstig van verkeer, heien en het trillen van damplanken.

Inhoudsopgave

	Samenvatting	2
1	Inleiding	5
2	Trilexperiment op een WOII pistoolontsteker	7
2.1	Test set-up	7
2.2	Resultaten	9
2.3	Vergelijking met praktijkwaarden	12
3	Conclusie en aanbeveling	13
4	Referenties	15
5	Ondertekening	16
	Bijlage(n)	
	A High-speed videobeelden	

1 Inleiding

In juli 2012 heeft TNO een analyse en advies afgegeven aan de gemeente Zwolle met betrekking tot de mogelijke aanwezigheid en kans op detonatie van niet-ontploffte Tweede Wereldoorlog (WOII) 500 lb vliegtuigbommen (blindgangers) onder woonhuizen in de wijk Holtenbroek [Kroon & van Ham, 2012]. Geadviseerd werd om conform het IFCO rapport [Muller, 1990] een gebied met een straal van 50 m af te bakenen. Dit advies wijkt af van de richtlijn [Huibers, 1990] voor de Explosieven Opruimings Dienst Defensie (EODD):

- Heien op een afstand van minder dan 10 m van een mogelijke blindganger kan zeer wel mogelijk een detonatie van die blindganger veroorzaken;
- Het is onwaarschijnlijk dat heien op een afstand tussen de 10 en 50 m van een mogelijke blindganger een detonatie van die blindganger veroorzaakt;
- Het is praktisch onmogelijk dat heien op een afstand van meer dan 50 m van een mogelijke blindganger detonatie van die blindganger veroorzaakt¹.

De Vereniging voor Explosieven Opsporing [VEO, 2013] concludeert dat de afwijking tussen het TNO advies aan de gemeente Zwolle en de EODD richtlijn onduidelijkheid creëert over de te hanteren veiligheidsafstand bij trillingsveroorzakende activiteiten in de nabijheid van een Conventioneel Explosief (CE). Dit geldt voor lopende projecten maar ook voor de planning en uitvoering van nieuwe (ruimtelijke) ontwikkelingen in of nabij een CE-verdacht gebied. Ook is er onduidelijkheid bij het plaatsen van een damwandkuip rondom een vermoede locatie van een CE zoals gebruikt wordt door opsporingsbedrijven voor het benaderen (blootleggen) van een CE. Het is een jarenlange praktijk dat de damwandkuip doorgaans op een afstand van 3 m van de vermoede locatie van het CE wordt geplaatst. Daarbij kunnen trillingsniveaus optreden hoger dan 1 m/s^2 .

[VEO Position paper, 2013] stelt dat deze onduidelijkheid onwenselijk is. In december 2012 heeft de VEO daarom het initiatief genomen tot overleg over dit onderwerp met de gemeente Rotterdam, gemeente Zwolle, Prorail en de EODD. De VEO heeft de gemeenten Rotterdam, Zwolle en Lingewaard en de EODD bereid gevonden een financiële bijdrage te leveren aan wetenschappelijk onderzoek door TNO.

Het doel van dit onderzoek is:

- het borgen van een veilige werk- en gebruiksomgeving in en nabij CE verdacht gebied;
- een bijdrage te leveren aan de doelmatigheid van opsporing en ruiming van CE.

Met de resultaten uit dit onderzoek kan mogelijk, afhankelijk van het type ontsteker, de trillingsnorm zowel worden verhoogd als verlaagd (respectievelijk leidend tot een grotere en kleinere veiligheidsafstand). Kennis over de trillingsgevoeligheid van ontstekingsmechanismen levert ook kennis en informatie op die breder toepasbaar is, bijvoorbeeld voor het beoordelen van risico's in de projectgebonden risicoanalyse en voor de methode van het tijdelijk veiligstellen en ruimen van CE.

¹ Opvallend is de abrupte overgang in kans op detonatie van "zeer wel mogelijk" naar "onwaarschijnlijk" bij heien op een afstand rond de 10 meter van een mogelijke blindganger.

Het onderzoek bestaat uit 2 fases met de volgende werkpakketten:

Fase 1

- Deel A
 - a. Een inventarisatie van alle ontstekertypen in blindgangers die in de Nederlandse bodem worden aangetroffen;
 - b. Het onderscheid maken tussen ontstekertypen die wel en niet trillingsgevoelig zijn, of trillingsgevoelig worden na veroudering;
 - c. Verificatie van de bevindingen bij derden;
- Deel B
 - a. Een studie (en indien mogelijk experimenteel onderzoek) naar trillingen in de bodem tijdens het slaan van damwanden, heien en weg- en treinverkeer;
 - b. Bepalen hoe trillingen in de bodem zich voortplanten in/door een bomlichaam;
- Deel C
Vaststellen hoe trillingen gesimuleerd kunnen worden voor een ontsteker op een triltafel (shaker). Globaal vaststellen hoe het testprogramma van de tweede fase gedefinieerd is.

Fase 2

- Deel D:
Opstellen van een definitief testprotocol;
- Deel E:
Uitvoeren van trillingsexperimenten op de ontstekertypen die gevoelig zijn voor trillingen, en het afleiden van trillingscriteria voor ontsteking per type.

Fase 1 deel A is beschreven in [Kroon, Bouma, van Ham, 2015]. Op basis van de ingeschatte trillingsgevoeligheid en frequentie van aantreffen, wordt geadviseerd een zevental impact-ontstekers te onderzoeken op trillingsgevoeligheid.

Fase 1 deel B is beschreven in [Bronkhorst, 2016]. Uit veldmetingen blijkt dat de trilling in de bom een factor 1 tot 2 hoger is dan in de nabije grond voor frequenties tot 30 Hz. Voor frequenties tussen 30 en 60 Hz is de trilling in de bom een factor 1 tot 2 hoger voor een verticale-bom-oriëntatie in kleigrond en een factor 2 tot 4 hoger voor een horizontale-bom-oriëntatie in zandgrond.

Dit rapport beschrijft Fase 1 deel C van het onderzoek. Hoofdstuk 2 beschrijft een verkennend trillexperiment op een WOII impactontsteker en vergelijkt het gemeten versnellingsniveau waarbij de ontsteker initieert met gemeten versnellingen als gevolg van heien en het trillen van damplanken.

2 Trilexperiment op een WOII pistoolontsteker

Paragraaf 2.1 geeft de test set-up die voor het verkennende trilexperiment is gebruikt. Paragraaf 2.2 beschrijft de testresultaten die in paragraaf 2.3 worden vergeleken met gemeten trillingsniveaus van heien en het trillen van damplanken.

2.1 Test set-up

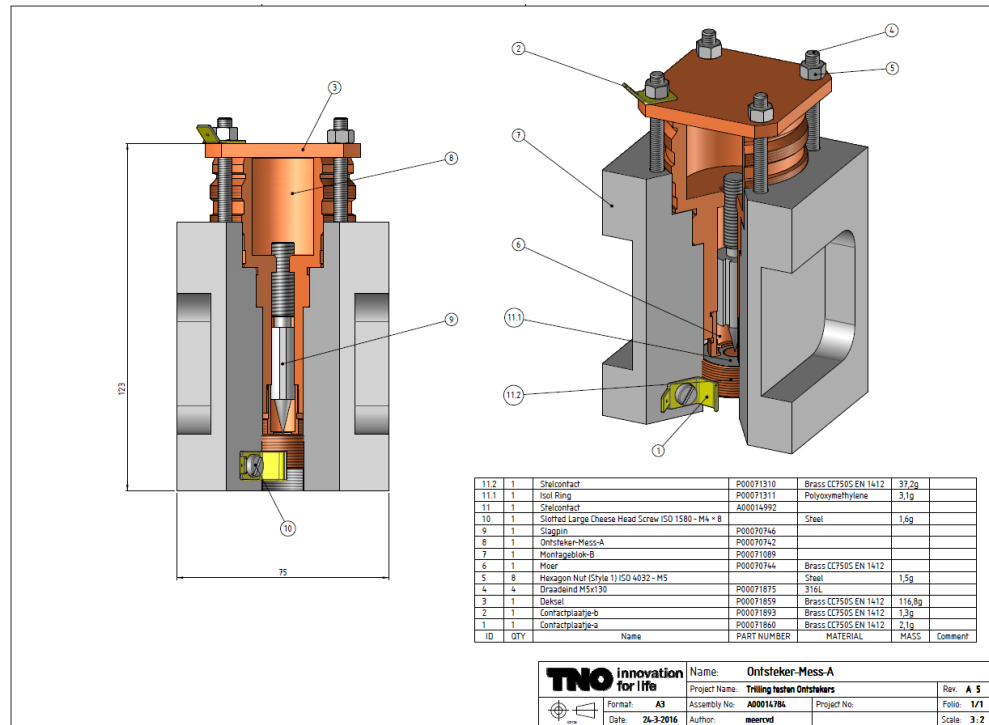
Voor het trilexperiment is een opengewerkte WOII Engelse nr30 pistoolontsteker beschikbaar gesteld door de EODD, zie Figuur 1. Door TNO is een houder gemaakt voor bevestiging op de trilmachine (shaker) van de TNO-afdeling Structural Dynamics (SD). Er is gekozen voor het relatief sterke en stijve Polyoxymethyleen (POM) kunststof, zodat de houder niet kapot gaat tijdens het trillen en niet de trilling dempt (als een veersysteem) door onvoldoende stijfheid. De houder is aan de onderzijde voorzien van een in hoogte verstelbaar plateau (hierna te noemen: stelcontact) dat de bovenzijde van het slaghoedje van een detonator voorstelt. Met deze opzet kan de slag van de slagpin volledig worden beheerst; het raakvlak van het stelcontact is instelbaar van 0 - 8 mm vanaf de veerhouder aan de onderzijde van de ontsteker en de slagpin heeft een slag van maximaal 7 mm. Voor deze flexibiliteit is gekozen voor het geval er in het vervolgonderzoek mocht blijken dat er een bepaald impact energieniveau nodig is om initiatie van de energetische lading in het slaghoedje te realiseren; de slagpin kan grotere snelheden en dus grotere energieën bereiken met toenemende slaglengte.



Figuur 1 Opengewerkt Engels pistool no30 impact ontsteker; de slagpin wordt opgehouden door een ophoudveer die is ingeklemd tussen de slagpin (links) en (ingeschroefde) veerhouder aan het uiteinde van de ontsteker (rechts).

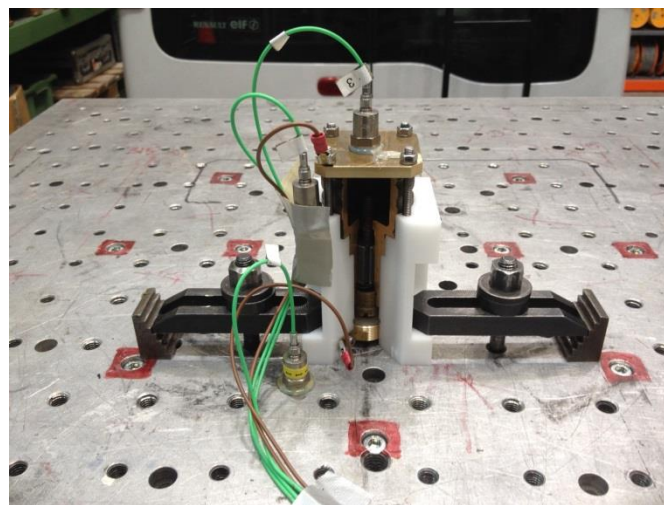
Voor de triltest wordt de kunststof houder (inclusief ontsteker) vastgeklemd op de triltafel, zie Figuur 3. Op het stelcontact wordt bedrading aangesloten om het contact tussen de slagpin en het stelcontact (elektrisch) te registreren en zichtbaar te maken met een oscilloscoop tijdens een triltest (nr. 11.2 in Figuur 2). De opengewerkte ontsteker in Figuur 1 is gekozen voor de verkennende triltesten omdat de beweging van de slagpin ten opzichte van die van de triltafel kan worden waargenomen tijdens de test. Tijdens één van de triltesten is de beweging van de tafel en de slagpin gefilmd met een high-speed videorecorder.

De wrijving van de slagpin langs de wand van de opengewerkte ontstekerbehuizing is minder dan die bij een volledig gesloten ontsteker. Daarom moeten gemeten versnellingen in dit onderzoek worden beschouwd als indicatief voor de praktijk.



Figuur 2 Opengewerkte Engels no30 impact staartpistool in kunststof houder inclusief stelcontact.

Trillingen in het verticale vlak zijn aangeboden aan de ontsteker in verticale positie en met de slagpin naar beneden gericht. Dit is het meest kritieke scenario omdat een deel van de benodigde kracht voor activering van de ontsteker wordt geleverd door de zwaartekracht [Kroon, Bouma, van Ham, 2015]. Met deze opstelling zijn trillingen uitgevoerd met als doel de condities (frequentie, amplitude en opening tussen veerhouder en stelcontact) te bepalen waaronder de slagpin het stelcontact raakt. Om de frequentie vast te stellen waarbij contact ontstaat, zijn frequentie-sweeps uitgevoerd met verschillende amplitudes en openingen tussen veerhouder en stelcontact. Vervolgens is bij deze frequentie de amplitude gevarieerd.



Figuur 3 Houder inclusief ontsteker vastgeklemd op de triltafel en voorzien van bedrading.

2.2 Resultaten

Tabel 1 geeft een overzicht van de uitgevoerde testen. Ten eerste is er een frequentie-sweep uitgevoerd van 3 tot 60 Hz en met een (willekeurig gekozen) opening van 5 mm tussen de veerhouder en het stelcontact. De aangeboden trilling is harmonisch (sinusvormig) zoals bijvoorbeeld bij het trillen van damplanken. De amplitude van het aangeboden snelheidssignaal is 10 mm/s.

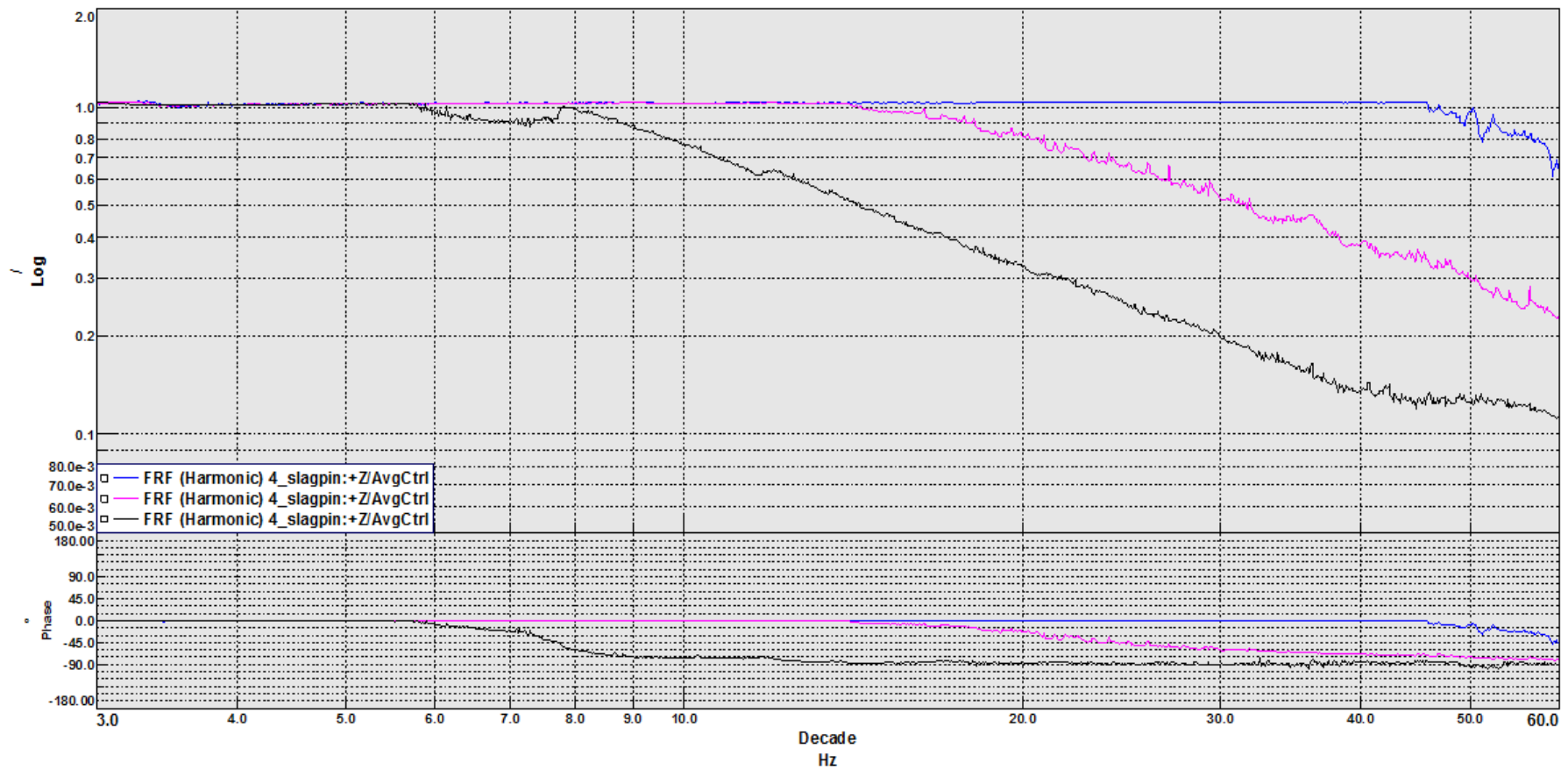
Figuur 4 (boven) laat zien dat bij een harmonische trilling met een snelheidsamplitude van 10 mm/s van de triltafel (blauwe lijn) de amplitude van de slagpin en de triltafel gelijk zijn tot een frequentie van ongeveer 46 Hz. Boven frequenties van 46 Hz neemt de amplitude van de slagpin af ten opzichte van die van de tafel. Vergelijkbaar dynamisch gedrag is ook waargenomen in de overige metingen. Hieruit volgt dat de slagpin in combinatie met de veer en het huis een sterk gedempt systeem is: er is nooit sprake van opslingering van de slagpin ten opzichte van het ontstekerhuis.

Figuur 4 (onder) geeft het faseverschil tussen de slagpin en de triltafel c.q. het ontstekerhuis. Voor een snelheidsamplitude van 10 mm/s (blauwe lijn) is te zien dat er geen sprake is van een faseverschil tussen slagpin en huis tot een frequentie van 46 Hz. Dit betekent dat tot een frequentie van 46 Hz de slagpin en het ontstekerhuis in fase bewegen; er is dus geen kans dat de slagpin loskomt van het ontstekerhuis. Voor frequenties groter dan 46 Hz ontstaat er een faseverschil, in deze situatie is er wel een mogelijkheid dat de slagpin loskomt van het ontstekerhuis.

Hierna zijn frequentiesweeps uitgevoerd bij snelheidsamplitudes van 20 en 50 mm/s. Hierbij valt op dat bij een toename in snelheidsamplitude het fase- en amplitudeverschil tussen slagpin en huis optreedt bij lagere frequenties. Bij een snelheidsamplitude van 20 mm/s is de omslag waarneembaar bij 14 Hz, en bij 50 mm/s vindt deze omslag plaats bij 5.8 Hz. In Tabel 1 is het versnellingsniveau gespecificeerd waarbij de slagpin en huis ten opzichte van elkaar gaan bewegen. Uit de eerste drie metingen is op te maken dit pas gebeurt voor versnellingen in de orde van 2 m/s^2 en groter. In deze metingen is geen contact geregistreerd tussen de slagpin en het stelcontact.

Tabel 1 Resultaten verkennende triltesten met een pistool 30 ontsteker.

Frequentie [Hz]	Verplaatsing (amplitude) [mm]	Opening veerhouder en stelcontact [mm]	Frequentie voor losraken slagpin van ontstekerbehuizing	Versnelling bij frequentie losraken slagpin m/s^2	Contact tussen slagpin en stelcontact	Snelheid [mm/s]	Versnelling $[\text{m/s}^2]$
3 – 60	0.03 – 0.53	5.0	46	2.9	Nee	10	0.2 – 3.8
3 – 60	0.06 – 1.06	5.0	14	1.8	Nee	20	0.4 – 7.5
3 – 60	0.13 – 2.65	5.0	5.8	2.2	Nee	50	0.9 – 18.8
3 – 20	5	3.7	5.6	-	Ja, tussen 6 en 14 Hz	95 - 628	1.8 – 79
6	5.5 – 6.5	5.0	5.6	-	Ja	0.21 – 0.24	7.8 – 9.2



Figuur 4 Metingen voor een harmonische trilling over een frequentiebereik van 3 tot 60 Hz: (boven) verhouding tussen de amplitude van de triltafel en slagpin, (onder) faseverschil tussen de beweging van de triltafel en de slagpin. (blauw: $v = 10$ mm/s, paars $v = 20$ mm/s, zwart $v = 50$ mm/s)

In de vierde test zijn metingen over een kleinere range aan frequenties (3 - 20 Hz) uitgevoerd waarbij een kleinere opening is aangehouden tussen de veerhouder en het stelcontact. De opening bedroeg (de willekeurig gekozen waarde van) van 3.7 mm, zie Figuur 5.



Figuur 5 Opening tussen onderzijde (stelring) van de ontsteker en stelcontact (test nr 4 en 5).

Hierbij is de verplaatsingsamplitude in stappen vergroot. Bij een amplitude van 5 mm werd contact tussen slagpin en stelcontact waargenomen op de oscilloscoop bij frequenties tussen 6 en 14 Hz. Op basis van de frequentie (f) en verplaatsing (d) kunnen de bijbehorende snelheid (v) en versnelling (a) van de trilling worden berekend met:

$$v = 2\pi f d \quad (1)$$

$$a = (2\pi f)^2 d \quad (2)$$

Bij 6 Hz is er een trilsnelheid van 188 mm/s en een versnelling van 7.1 m/s², bij 14 Hz zijn deze 440 mm/s en 39 m/s².

De vijfde test is uitgevoerd bij 6 Hz, de eerste (laagste) frequentie waarbij de slagpin contact maakte met het stelcontact (in de vierde test). De opening is vastgezet op 5 mm zoals in test 1 tot en met 3. Bij een frequentie van 6 Hz werd contact geregistreerd bij een amplitude van 5.5 tot 6.5 mm. De snelheid en versnelling van de trilling worden met vergelijkingen (1) en (2) respectievelijk berekend op 210 - 240 mm/s en 7.8 - 9.2 m/s².

Bij deze condities is een high-speed video-opname gemaakt. Deze laat zien hoe de slagpin en triltafel uit fase bewegen. Ter illustratie zijn enkele stilstaande beelden uit de high-speed video weergegeven in Appendix A.

N.B: Voor frequenties boven de 6 Hz (in de range tot 14 Hz waarbij contact tussen slagpin en stelcontact is vastgesteld) liggen de versnellingen hoger bij dezelfde trilamplitude en opening tussen veerhouder en stelcontact. De hierboven berekende snelheden en versnellingen gelden daarom als onderste (conservatieve) grenswaarden.

2.3 Vergelijking met praktijkwaarden

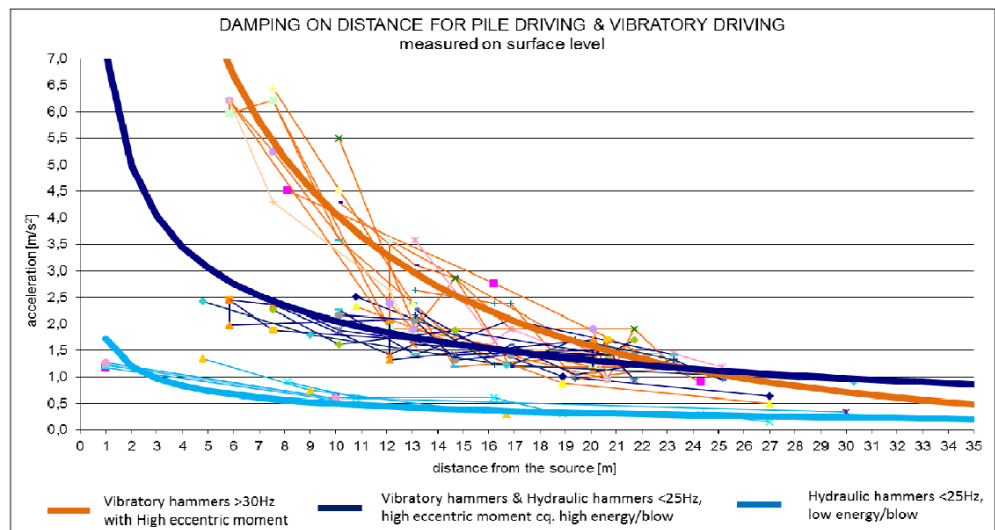
Om een eerste indicatie te geven van een veilige afstand tussen een trilbron en een WOII vliegtuigbom ontsteker wordt de versnelling waarbij contact optreed tussen slagpin en stelcontact hier vergeleken met versnellingen in de bodem als gevolg van trillingen gegenereerd aan het oppervlak.

De in paragraaf 2.2 beschreven resultaten van de verkennende triltesten leveren indicatieve versnellingen rond de 8 a 9 m/s² bij een frequentie van 6 Hz waarbij de slagpin van een pistool 30 ontsteker het slaghoedje van een onderliggende detonator kan raken. Ter vergelijking worden versnellingen gepresenteerd in Figuur 6 voor heien en trillen aan het oppervlak [Zandbergen, Martens]. Uit Figuur 6 (lichtblauwe en donker blauwe lijnen) blijkt dat versnellingen rond de 8 a 9 m/s² onder de 25 Hz voorkomen op zeer korte afstand (< 1 m) van de trilbron, wanneer deze versnellingen gemeten zijn op het maaiveld.

Voor frequenties boven de 30 Hz zijn is deze afstand ongeveer 5 m vanaf de trilbron (oranje lijn in Figuur 6). De versnelling bij deze afstand kan echter niet direct worden vergeleken met de indicatieve versnelling uit de triltest omdat de laatste is gerealiseerd bij een frequentie onder de 30 Hz.

[Bronkhorst, 2016] concludeert dat voor frequenties tot 30 Hz de trilling in de bom een factor 2 sterker kan zijn dan in de bodem nabij de bom. Wanneer conservatief wordt uitgegaan van een factor 2, dan vormen bodemversnellingen van 4 a 4.5 m/s² de indicatieve kritieke grenswaarden. Uit Figuur 6 (lichtblauwe en donker blauwe lijnen) blijkt dat onder de 25 Hz deze versnellingen voorkomen op korte afstand (< 3 m) van de trilbron, wanneer deze gemeten zijn op het maaiveld.

In Fase 2 van dit onderzoek wordt de daadwerkelijke veiligheidsafstand bepaald voor een serie WOII vliegtuigbom ontstekers voor trillingen afkomstig van verkeer, heien en het trillen van damplanken.



Figuur 6 Damping van trillingen gegenereerd aan het oppervlak versus afstand [Zandbergen, Martens].

3 Conclusie en aanbeveling

Verkennde triltesten zijn uitgevoerd op een opengewerkte Engelse pistool 30 ontsteker. Er is gebruik gemaakt van frequentiesweeps met variatie van de trilamplitude en de opening tussen de veerhouder aan de onderzijde van de ontsteker en het stelcontact dat representatief is voor het slaghoedje van de detonator. Contact tussen slagpin en stelcontact is geregistreerd met behulp van een oscilloscoop en een high-speed videorecorder.

Bij de laagste frequentie waarbij contact tussen slagpin en stelcontact is waargenomen zijn additionele triltesten uitgevoerd wederom met variatie van de amplitude en opening. De testen hebben een versnellingswaarde opgeleverd waarbij potentiële initiatie optreedt van de detonator onder de ontsteker. Omdat er voor de testen gebruik gemaakt is van een opengewerkte ontsteker is deze waarde indicatief voor een volledig gesloten ontsteker in de praktijk. Vergelijking met praktijkwaarden voor heien en het trillen van damwanden levert daarom indicatieve afstanden waarbij deze versnellingen optreden in de bodem (bij meting van deze versnellingen op het maaiveld). Deze indicatieve afstanden tot aan de trilbron blijken klein te zijn, in de orde van enkele meters, ook als rekening wordt gehouden met mogelijke versterking van de trilling van de bodem naar de bom.

De gevolgde test-set up en aanpak kunnen worden overgenomen in een vervolgproject. De volgende globale opzet voor vervolgonderzoek (Fase II) wordt aanbevolen:

Te testen ontsteker typen, volgend uit de inventarisatie:

1. Engels no30 impact staartpistool (representatief voor de no28);
2. Amerikaans M100 staart-impactbuis (representatief voor de M101 en M102);
3. Amerikaans AN-M103 in superquick stand (representatief voor de M139 en M163 en conservatief voor de delay-stand van deze ontstekers);
4. Engels no873 neus-impact diafragma buis;
5. Engels no846 neus-impact buis;
6. Amerikaans M106 staart-impactbuis;
7. Amerikaans M112 staart-impactbuis.

Triltest aanpak en uitwerking (voor elk ontstekertype):

1. Uitvoeren van een frequentie-sweep voor bepaling van de kritieke frequenties waarbij de slagpin contact maakt met de detonator;
2. Uitvoeren van triltesten bij de kritieke frequenties voor bepaling van de kritieke trilamplitude en afleiding van de bijbehorende snelheden en versnellingen.

Omdat naast de massa van de ontsteker en de ophoudveer ook de zwaartekracht en wrijving bepalend zijn voor de frequentie en amplitude waarbij de slagpin loskomt van de ontstekerbehuizing en inslaat op de detonator, worden de triltesten uitgevoerd op complete ontstekers (met dichte behuizing) in verticale en horizontale oriëntatie. Voor beide oriëntaties worden de triltesten uitgevoerd met een stootbelasting (representatief voor heiwerkzaamheden) en een harmonische belasting (representatief voor het intrillen van damplanken).

Tabel 2 presenteert een eerste globale opzet voor het vervolgonderzoek. Het totaal aantal trilstesten met een frequentie tussen 3 en 60 Hz wordt geschat op 420². Het totaal aantal testen bij kritieke frequenties is afhankelijk van het aantal kritieke frequenties die volgen uit de sweeps of testen met een stootbelasting.

Tabel 2 Globale opzet voor vervolgonderzoek.

Test opzet	Frequentie	Oriëntatie	Type belasting	Aantal typen ontstekers	Geschat aantal testen
Trilstesten	3 – 60 Hz	Horizontaal	Sweep (harmonisch)	7	15
			Stoot	7	15
		Verticaal	Sweep (harmonisch)	7	15
			Stoot	7	15
	Kritieke frequenties	Horizontaal	Harmonisch en/of stoot	7	3 x aantal kritieke frequenties
		Verticaal	Harmonisch en/of stoot	7	3 x aantal kritieke frequenties

Het testprogramma in Fase 2 wordt uitgevoerd:

- zonder opening tussen het stelcontact en de veerhouder van de ontsteker, zoals in de praktijk met het slaghoedje van de detonator en de veerhouder het geval is [Kroon-Bergman, 2016];
- waarbij activering van de detonator wordt veronderstelt zodra de activeringskracht³ is bereikt die nodig is voor initiatie van de energetische lading. De activeringskracht wordt bepaald op basis van literatuurgegevens.

De experimenteel bepaalde kritieke versnellingen worden vergeleken met waarden uit de literatuur voor trillingsdemping met afstand tot de trilbron voor heien, trillen van damplanken en verkeer. Veiligheidsafstanden worden hiervan afgeleid, rekening houdend met de mogelijke versterking van de trilling in de bodem naar de bom. Aanvullend kan een meetrichtlijn gedefinieerd worden om het veiligheidsniveau voor trillingen te borgen voor een specifieke CE-verdachte locatie.

² Testen met 5 verschillende amplitudes maal 3 herhalingen (om de betrouwbaarheid van de meting aan tonen) maal 7 ontstekers maal 2 oriëntaties maal 2 belasting typen.

³ Zie ook tabel 2 en 3 in [Kroon, Bouma, van Ham, 2015].

4 Referenties

Bronkhorst, 2016

Verhouding tussen trilling in de bodem en in een vliegtuigbom, TNO 2016 R10011, Juli 2016

Kroon, Bouma, van Ham, 2015

Inventarisatie van WOII vliegtuigbom ontstekers in NL bodem, TNO 2015 R10074, 15 oktober 2015

Kroon-Bergman, 2016

Telefoongesprek tussen Erik Kroon (TNO) en Kees Bergman (EODD), 13 juni 2016

VEO, 2013

Position Paper Trillingen in Conventionele Explosieven (CE) verdacht gebied, 3VEO-VOO.05999.R, 25 april 2013

Zandbergen, Martens

Reducing risk on unexploded ordnance by vibrations in the Rotterdam subsoil, gemeente Rotterdam, datum onbekend.

5 Ondertekening

Rijswijk, 3 augustus 2016

TNO Technical Sciences

A handwritten signature in blue ink, enclosed in a blue oval. The signature appears to be 'P. Hendriksen'.

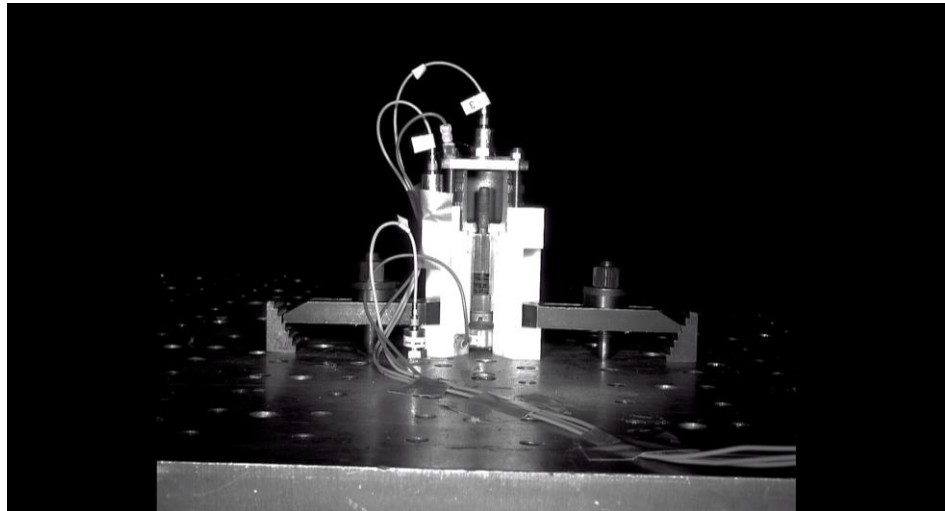
Ing. P. Hendriksen
Afdelingshoofd

A handwritten signature in blue ink, enclosed in a blue oval. The signature appears to be 'E. Kroon'.

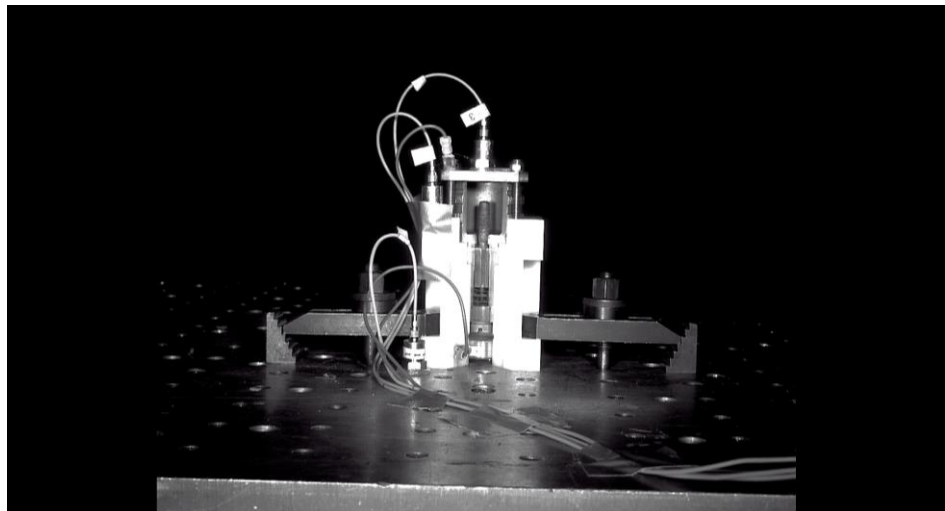
Ir. E. Kroon
Project manager

A High-speed videobeelden

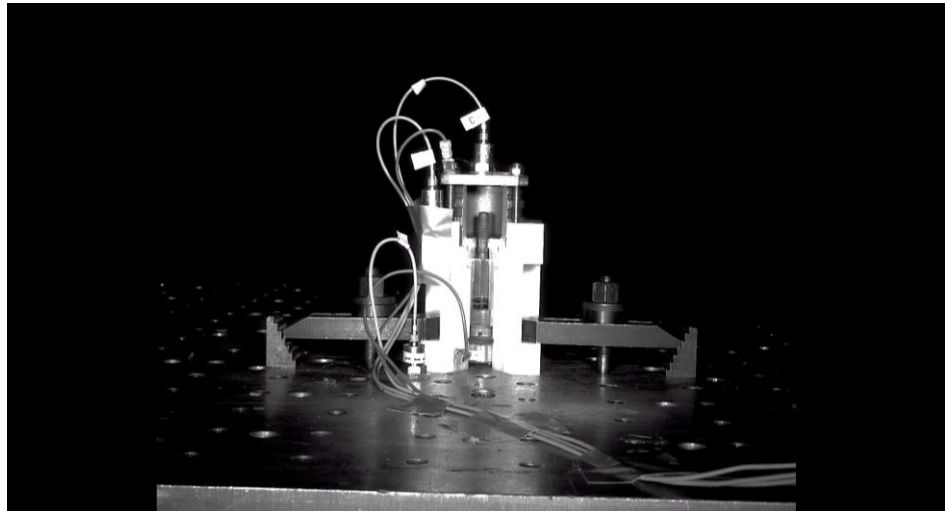
Hieronder wordt een aantal beelden (stills) getoond die de beweging van de triltafel en ontsteker illustreren tijdens een trilttest. De beelden laten zien hoe de beweging van de slagpin na-ijlt (uit fase loopt) met de beweging van de triltafel.



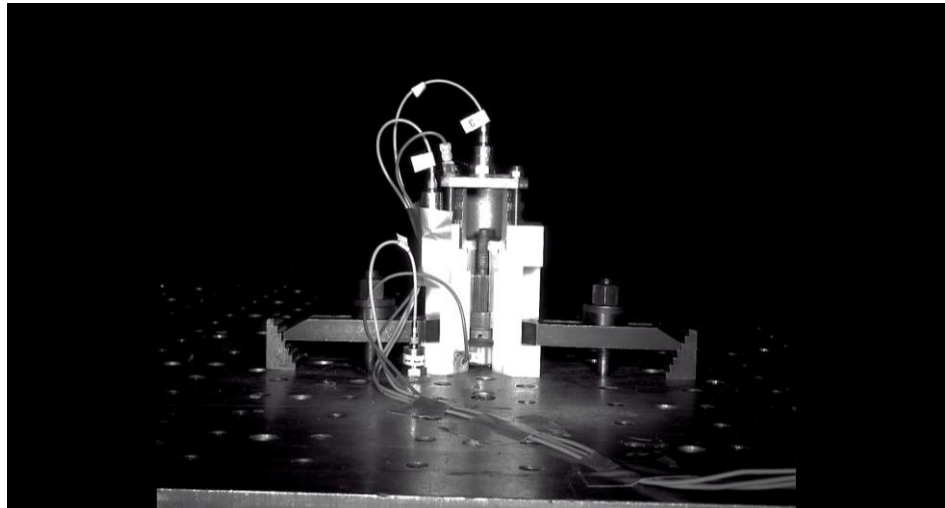
Triltafel beweegt omlaag; de slagpin staat stil (3 windingen van de ophoudveer zichtbaar)



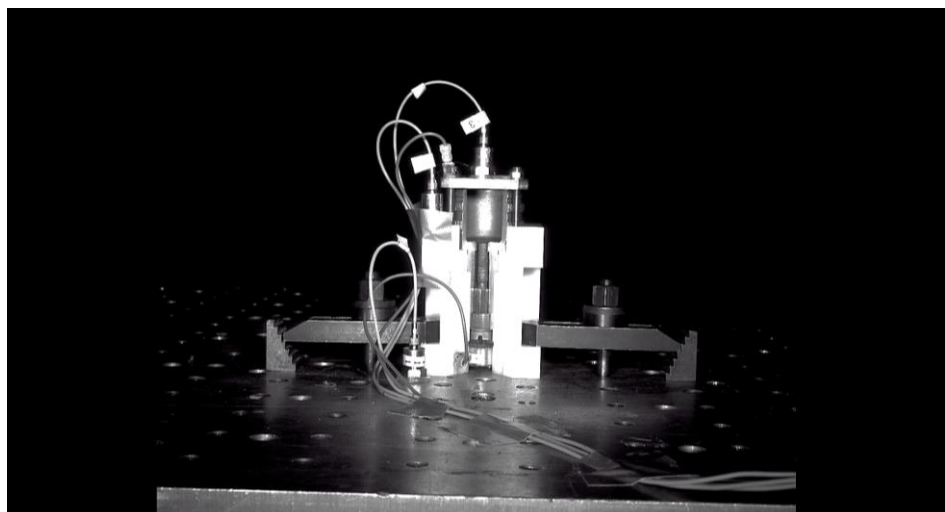
Triltafel beweegt omlaag; de slagpin begint omlaag te bewegen (3 windingen van de ophoudveer zichtbaar)



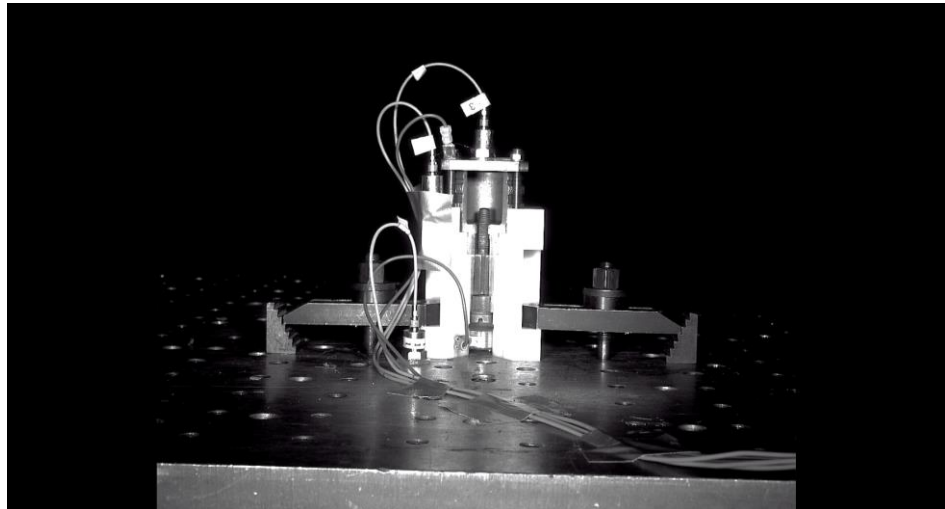
Triltafel en slagpin bewegen omlaag (2 windingen van de ophoudveer zichtbaar)



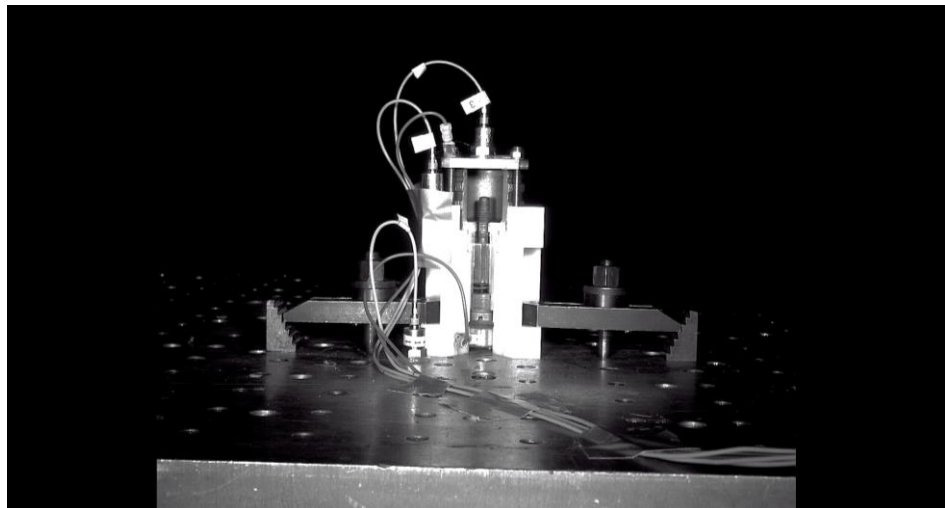
Triltafel bereikt laagste punt; de slagpin beweegt omlaag (geen windingen van de ophoudveer zichtbaar)



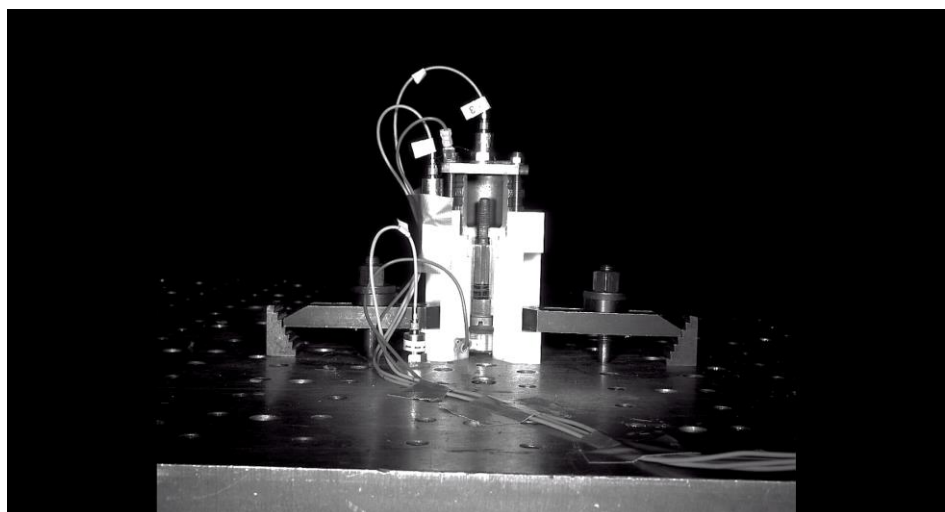
Triltafel beweegt omhoog; slagpin slaat in op stelcontact (kleine vonkjes zichtbaar)



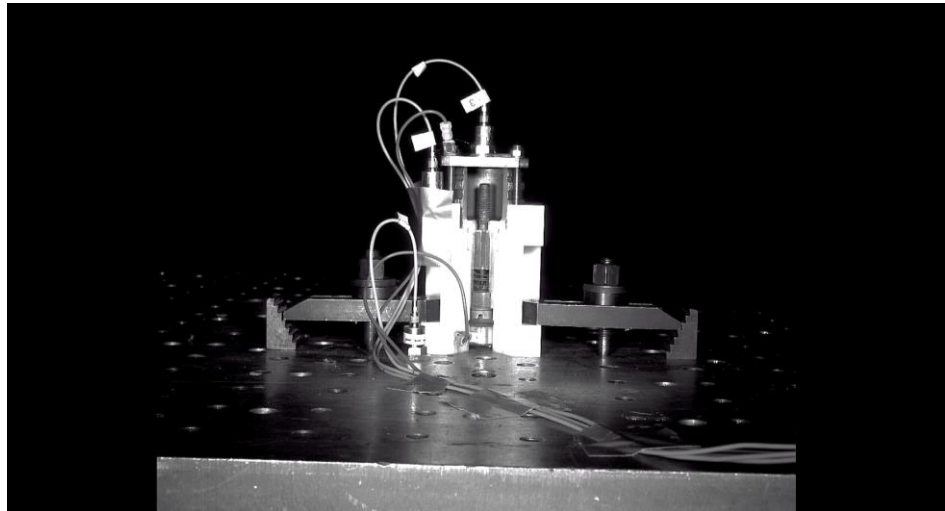
Triltafel beweegt omhoog; de slagpin begint omhoog te bewegen (geen windingen van de ophoudveer zichtbaar)



Triltafel en slagpin bewegen omhoog (2 windingen van de ophoudveer zichtbaar)



Triltafel bereikt hoogste punt; slagpin beweegt omhoog (4 windingen van de ophoudveer zichtbaar)



Triltafel beweegt omlaag; de slagpin slaat in op ontsteker behuizing (4 windingen van de ophoudveer zichtbaar)