

Memorandum ONGERUBICEERD

Aan

Arthur de Beus
Gemeente Zwolle, Afdeling omgevingsadvies

Van

Dr. ir. R.H.B. Bouma

Kopie aan

Erik Kroon
Nico van Ham
Huub Keizers

Onderwerp

Gevoeligheid van UneXploded Ordnance voor grondtrillingen

Technical Sciences

Lange Kleiweg 137
2288 GJ Rijswijk
Postbus 45
2280 AA Rijswijk

www.tno.nl

T +31 88 866 80 00

F +31 88 866 69 49

infodesk@tno.nl

Datum

05 juli 2012

Onze referentie

12EM/712

Doorkiesnummer

+31 88 866 14 20

In het rapport "Analyse en advies met betrekking tot potentiële WOII blindgangers in de Zwolse wijk Holtenbroek" [Kroon & Van Ham, 2012] wordt een beschouwing ten aanzien van de relatie tussen grondtrillingen, UXO (UneXploded Ordnance) en veiligheidsafstanden gegeven. In dit memorandum wordt beschreven waarom voorsnog een 50 meter veiligheidsafstand tussen heistelling en UXO wordt geadviseerd.

In [Muller, 1990] wordt het volgende gesteld t.a.v. de te verwachten effecten op 10 meter afstand tot de heistelling¹:

1. "De versnellingen zijn op 10 m van de paal ca. 1 m/s^2 en nemen daarna evenredig met de afstand af. Op 100 m vanaf de paal worden versnellingen van 0.1 m/s^2 gevonden."
2. "Voorwerpen gaan schuiven als de wrijvingskracht tussen het voorwerp en de ondersteuning wordt overwonnen. Dat is voor horizontale versnellingen bij ca. 1 m/s^2 , omdat de wrijvingscoëfficiënt in veel gevallen ongeveer 0.1 is. ..."
3. "Als een bom met een actief ontstekingsmechanisme zich in de grond bevindt op een afstand van meer dan 10 m vanaf een te heien paal, dan blijven de versnellingen van de bom en van de grond er omheen kleiner dan 1 m/s^2 (10-20 Hz) en worden er geen verschuivingen van betekenis verwacht."
4. "Het zal naar alle waarschijnlijkheid afhangen van de gevoeligheid van het ontstekingsmechanisme of een bom bij een versnelling van ca. 1 m/s^2 zal exploderen. Het ontbreekt IFCO, opererend als grondmechanisch adviesbureau, aan de kennis om hierover, een uitspraak te kunnen doen. .."

In [Muller, 1990] wordt het volgende gesteld t.a.v. de te verwachten effecten op 50 meter afstand tot de heistelling:

¹ In [Muller, 1990] wordt daarbij verwezen naar een rapportage met trillingsmetingen op Schiphol-Oost i.v.m. met de voorgenomen heiwerkzaamheden t.b.v. de bouw van een hangar. Deze referentie is niet bekend bij TNO.

Datum

05 juli 2012

Onze referentie

12EM/712

Blad

2/7

5. "Bij de metingen is gebleken dat op het maaiveld versnellingen van 0.15 m/s² aanwezig zijn, ook bij afwezigheid van heiwerk. Voor zover bekend hebben deze versnellingen geen gevolgen gehad voor eventueel in de bodem aanwezige bommen. Desalniettemin lijkt het voorbarig om voetstoots aan te nemen dat deze versnellingen zondermeer voor bommen kunnen worden geaccepteerd."
6. "Het maximum van de gemeten versnellingen is in figuur 6 als functie van de afstand tot de heistelling uitgezet. Uit deze figuur blijkt dat de versnellingen ten gevolge van het heien op een afstand groter dan 50 m kleiner worden dan 0.15 m/s², zijnde de versnellingen die onder normale gebruikscondities op het maaiveld zijn gemeten. Wellicht wordt hiermee een handvat aangedragen op grond waarvan explosieven-experts een besluit kunnen nemen ten aanzien van een veilige afstand welke dient te worden aangehouden tussen het heiwerk en het terreingedeelte dat nog op de aanwezigheid van bommen moet worden onderzocht."

In [Huijbers] wordt vervolgens geconcludeerd:

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

Ad. 2) Voorwerpen gaan schuiven als de wrijvingskracht tussen het voorwerp en de ondersteuning wordt overwonnen, d.w.z. voorwerpen gaan schuiven wanneer de versnelling a groter dan of gelijk is aan het product van de wrijvingscoëfficiënt f en de zwaartekrachtversnelling g van 9.81 m/s²:

$$a \geq fg$$

Voor veel materiaal combinaties is de wrijvingscoëfficiënt groter dan of gelijk aan 0.1. Voor kogellagers kan men echter ook beduidend lagere wrijvingscoëfficiënten vinden, zie bijvoorbeeld Tabel 1.

Datum
05 juli 2012

Onze referentie
12EM/712

Blad
3/7

Het is onduidelijk of alleen wrijvingscoëfficiënten > 0.1 van toepassing zijn op het mechaniek in buizen² voor vliegtuigbommen. Men kan niet op voorhand uitsluiten dat versnellingen kleiner dan 1 m/s² kunnen leiden tot initiatie van de ontsteker in de buis, met detonatie van de hoofdclading tot gevolg.

Daarnaast is de versnelling waarbij de wrijvingskracht tussen twee mechanische onderdelen van een ontsteekmechanisme wordt overwonnen zelfs kleiner dan of gelijk aan de wrijvingscoëfficiënt maal de zwaartekrachtversnelling, vanwege de hoek ten opzichte van het aardoppervlak waaronder die twee onderdelen bewegen.

Coefficient of friction for a range of material combinations				
combination	Static		Dynamic	
	dry	lubricated	dry	lubricated
steel-steel	0.5..0.6	0.15	0.4..0.6	0.15
copper-steel	-	-	0.5..0.8	0.15
steel-cast iron	0.2	0.1	0.2	0.05
cast iron - cast iron	0.25	0.15	0.2	0.15
friction material - steel	-	-	0.5-0.6	-
steel-ice	0.03	-	0.015	-
steel-wood	0.5-0.6	0.1	0.2-0.5	0.05
wood-wood	0.4-0.6	0.15..0.2	0.2..0.4	0.15
leather-metal	0.6	0.2	0.2..0.25	0.12
rubber-metal	1	-	0.5	-
plastic-metal	0.25..0.4	-	0.1..0.3	0.04..0.1
plastic-plastic	0.3-0.4	-	0.2..0.4	0.04..0.1

The coefficient of friction between two materials in relative sliding may depend on contact pressure, surface roughness of the relative harder contact surface, temperature, sliding velocity and the type of lubricant whether the level of contamination. It's the reason that the data found in the many reference tables available may show a large variation.

Coefficient of friction in bearings	
	Coefficient of friction [-]
Slide bearing, hydrodynamic	0.003..0.04
Slide bearing, sinter bronze, oil lubricated	0.04..0.07
Slide bearings, solid bronze, grease lub	0.07..0.12
Polymer slide bearing, polyamide, dry	0.2..0.3
Polymer bearing, composite, dry	0.05..0.15
Ball bearings	0.001..0.0015
Roller bearings	0.0018
Needle bearings	0.0045
Air bearings, pressurized	0.0
Hydrostatic bearings	0.001..0.002, ref viscous shearing

Tabel 1 Wrijvingscoëfficiënten voor verschillende materiaal combinaties (links) en voor kogellagers (rechts) [<http://www.tribology-abc.com/abc/cof.htm>]

Ad. 3) Hoewel op 10 meter afstand tot een heistelling geen maaiveldverzakking van betekenis wordt verwacht, sluit dit niet het functioneren van de buis door grondtrilling uit. Voor het functioneren van een mechanische buis is namelijk de relatieve verplaatsing van onderdelen binnen in de buis bepalend, en niet zozeer de verplaatsing van het totale bomlichaam.

Ad. 4) Voor zover bij TNO bekend is de gevoeligheid van munitie (meer specifiek: de gevoeligheid van afgeworpen en gewapende vliegtuigbommen uit WOII) voor grondtrillingen nog niet vastgesteld.

In [*Huijbers*] is de volgende grafiek opgenomen van de versnellingen tijdens heien uitgezet tegen de afstand tot de heistelling, zie Figuur 1. Hoe de versnelling is gemeten is onduidelijk. NB: de massa waarop de versnellingsopnemer is bevestigd beïnvloedt de hoogte van de waargenomen versnelling.

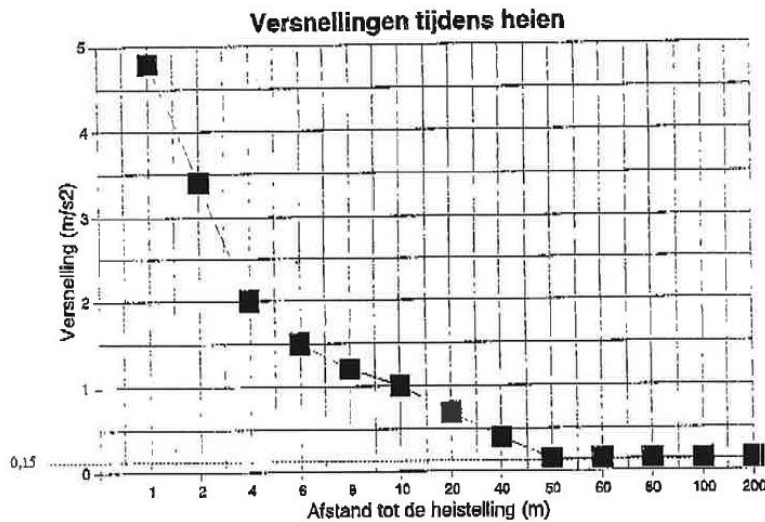
² Buis is in het Engels een fuze of fuzing system. De definitie volgens NATO AOP-38 ed. 4 luidt:

A physical system designed to: a. sense a target or respond to one or more prescribed conditions, such as elapsed time, pressure or command; b. initiate an explosive train in a munition; c. provide as a primary role safety and arming in order to preclude munition arming before the desired position or time. Note: A safety and arming device is a part of a fuzing system.

Datum
05 juli 2012

Onze referentie
12EM/712

Blad
4/7



Figuur 1 Versnelling vs. afstand tot heistelling [Huijbers(Figuur 6)].

In een recent artikel [Muller, 2007] geeft de auteur aan dat trillingsprognoses langs theoretische weg kunnen worden uitgebracht. Een alternatieve mogelijkheid is het geven van een empirische prognose van de trillingsbelasting op basis van een database met meetgegevens.

Er is een onderscheid te maken tussen het heien van palen, en het laagfrequent en hoogfrequent in- of uittrillen van damwanden. Daarnaast beïnvloeden afmetingen en type van de heipaal, en vastheid van de ondergrond de trillingsbelasting. In de prognosegrafieken wordt geen rekening gehouden met de aanwezigheid van obstakels in de ondergrond. Wanneer op een obstakel wordt gestuit, nemen de trillingen in het algemeen sterk toe. In hoeverre een vliegtuigbom in de ondergrond overeenkomt met een obstakel is onduidelijk.

Ter illustratie zijn een aantal figuren uit [Muller, 2007] overgenomen. Figuur 2 is een prognose voor de maximale snelheid van de trilling als functie van de afstand in het geval van heien. Figuur 3 is de prognose in het geval van trillen, c.q. uittrekken van damwanden. Trillingen worden in de regel gemeten op stijve constructiedelen op de begane grond van een gebouw. De maximale snelheid is gerepresenteerd i.p.v. de maximale versnelling; de SBR-A richtlijn voor toegestane trillingsniveaus in gebouwen is ook in deze grootte uitgedrukt. De relatie tussen maximale versnelling a_{max} , maximale snelheid v_{max} en maximale uitwijking x_{max} voor een perfect sinusvormige trilling met frequentie f is gelijk aan

$$a_{max} = 2\pi f v_{max}$$

en

$$x_{max} = \frac{1}{2\pi f} v_{max}$$

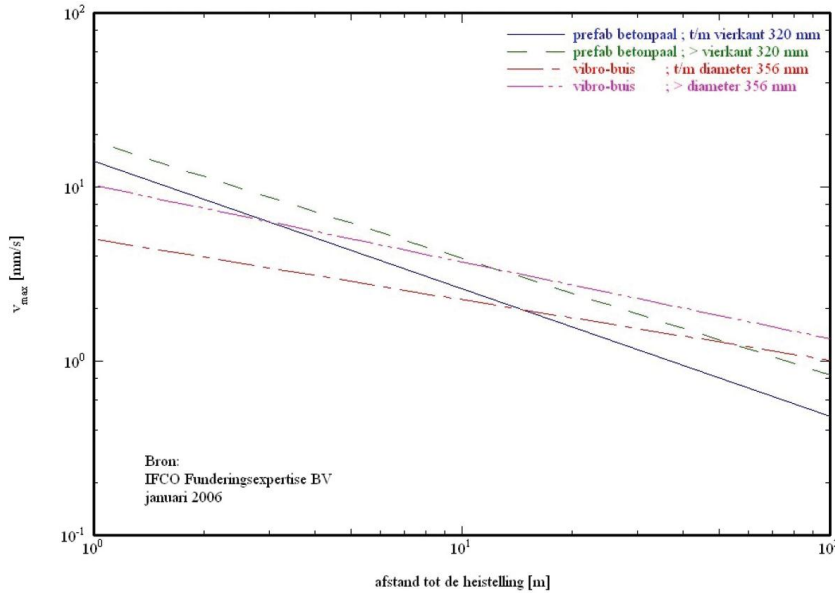
waarbij f de frequentie van de trilling is. De dominante frequenties bij heien zijn in het bereik 5-25 Hz, bij hoogfrequent trillen van damplanken 30-40 Hz, en bij laagfrequent trillen 20-25 Hz.

ONGERUBRICEERD

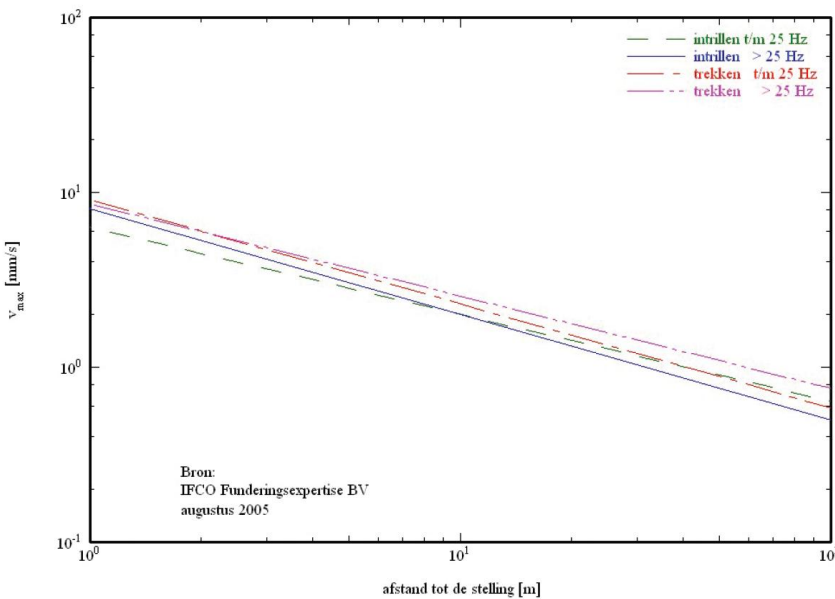
Datum
05 juli 2012

Onze referentie
12EM/712

Blad
5/7



Figuur 2 Prognosegrafiek voor het heien van palen [Muller, 2007].



Figuur 3 Prognosegrafiek voor het trillen van dubbele damplanken [Muller, 2007].

Bovenstaande prognosegrafieken zijn representatief voor eengezinswoningen van 2 tot 3 woonlagen. Deze grafieken moeten worden gecorrigeerd voor bodemvastheid en gebouwgewicht met een factor die varieert tussen 0.2 en 20 [Muller, 2007].

Ter illustratie wordt een eerste en ruwe afschatting gemaakt van de maximale trillingsbeweging bij maximale frequentie en op basis van de aanname dat de correctiefactor voor v_{max} gelijk is aan 20 (en dat het gewicht vliegtuigbom minder is dan het gewicht van een eengezinswoning met 2 tot 3 woonlagen).

ONGERUBRICEERD

Voor heien geldt dan op 10 meter: $a_{\max}=12.5 \text{ m/s}^2$ ($v_{\max}=80 \text{ mm/s}$, $x_{\max}=2.5 \text{ mm}$).
Voor trillen geldt dan op 10 meter: $a_{\max}=15.0 \text{ m/s}^2$ ($v_{\max}=60 \text{ mm/s}$, $x_{\max}=0.5 \text{ mm}$).
De berekende versnellingen zijn groter dan het criterium van 1 m/s^2 genoemd in [Huijbers] en [Muller, 1990].³

Datum
05 juli 2012

Onze referentie
12EM/712

Blad
6/7

Verder zij opgemerkt dat het stellen van een criterium voor de gevoeligheid van UXO voor trillingen in de ondergrond wordt bemoeilijkt door een aantal onzekerheden ten aanzien van de huidige staat van de munitie:

1. hoewel dit niet altijd het geval hoeft te zijn moet men vanuit veiligheidsoogpunt aannemen dat de buis van een afgeworpen vliegtuigbom in de gewapende stand staat;
2. de vliegtuigbom met buis heeft een significante vertraging ondergaan tijdens inslag in de bodem met onbekend effect op de inwendige mechanische onderdelen van de buis;
3. er kunnen meerdere oorzaken voor een weigeraar zijn (waaronder de slappe ondergrond in Nederland, een niet-optimale hoek van inslag, een niet goed functionerende buis, de aanwezigheid van een anti-handling device met het doel om af te gaan bij beroering van de munitie of bij verwijdering van de ontsteker);
4. de vliegtuigbom en buis met explosieve componenten zijn verouderd door verblijf van meer dan een halve eeuw onder de grondwaterspiegel.

In de decennia na WOII zijn er met enige regelmaat constructie werkzaamheden uitgevoerd in de nabijheid van vliegtuigbommen. Ook is bekend dat er blindgangers onder woonwijken liggen. Dit betreft zowel bevestigde als onbevestigde gevallen⁴. Hoewel ongevallen zelden voorkomen, zijn er voorbeelden van munitiereacties door constructie werkzaamheden met materiële schade, persoonlijk letsel en overlijden tot gevolg.

Zowel voor incidenten met en zonder munitiereactie geldt dat de volgende aspecten bepalend waren voor het al dan niet afgaan van de munitie:

1. de staat waarin de aangetroffen munitie op dat moment verkeerde;
2. de aard van de constructie werkzaamheden (heien, trillen, graven, frezen in asfalt, etc.);
3. de afstand tussen werkzaamheden en munitie.

Bij ieder incident is er sprake van een specifieke situatie. Een generalisatie voor een veiligheidsafstand bij (herhaling van) constructie werkzaamheden, zoals heien, is zonder nader onderzoek niet te geven.

³ $a_{\max} > 1 \text{ m/s}^2$ wordt bij maximale frequentie ook berekend voor correctiefactoren ≥ 2 .

⁴ Dit geldt ook voor de wijk Holtenbroek in de gemeente Zwolle. Als verdacht aangemerkte locaties dienen bij een risico analyse buiten beschouwing te worden gelaten. Een risico analyse kan namelijk alleen zijn gebaseerd op het daadwerkelijke aantal ongelukken met munitie en op het daadwerkelijke aantal niet-ongelukken of "near misses" waarbij munitie in de nabijheid van constructie werkzaamheden aanwezig was. Dit betekent dat een potentiële blindganger als blindganger moet zijn bevestigd wil deze mogen bijdragen aan de statistiek van ongevallen met munitie in relatie tot constructie werkzaamheden.

ONGERUBRICEERD

Het feit dat er in het verleden munitie is aangetroffen nadat constructie werkzaamheden zijn uitgevoerd zonder respons van de munitie, sluit niet uit dat zich in de toekomst ongelukken met munitie kunnen voordoen. Een veiligheidsafstand op een specifieke locatie kan niet worden verkleind op grond van het feit dat er in het verleden op (vrijwel) dezelfde locatie constructie werkzaamheden zijn uitgevoerd.

Datum

05 juli 2012

Onze referentie

12EM/712

Blad

7/7

Eindbeschouwing

Omdat 50 m de grens is waarbij versnellingen door heien kleiner worden dan de natuurlijke achtergrond trilling [Muller, 1990] lijkt deze grens, bij gebrek aan relevante gegevens, de veilige grenswaarde, ongeacht of er in het verleden op (vrijwel) dezelfde locatie constructie werkzaamheden zijn uitgevoerd. Om deze afstand te mogen verkleinen is nader onderzoek nodig: trillingsniveaus door constructie werkzaamheden als functie van afstand, diepte en bodemvastheid, bij voorkeur gemeten in een representatieve inerte vliegtuigbom met buis, moeten worden vergeleken met achtergrond trillingsniveaus.

Referenties

Maj. M.J. Huijbers, Voormalig Commandant van de Explosieven Opruimings Dienst, Risico van een ondergrondse bomexplosie als gevolg van trillingen veroorzaakt door heien, samenvatting van rapport [Muller, 1990] aan D. Monshouwer b.v., geen datum.

E. Kroon, N. van Ham, Analyse en advies met betrekking tot potentiële WOII blindgangers in de Zwolse wijk Holtenbroek, TNO rapport TNO 2012 R10104, 25 juni 2012.

T.K. Muller, Mogelijke ondergrondse bomexplosies als gevolg van trillingen veroorzaakt door heien, IFCO B.V., Gouda, 4 juli 1990.

T.K. Muller, Meten, beoordelen en voorspellen van trillingen in de bouw, Geotechniek, pg 40-46, oktober 2007.

ONGERUBRICEERD