



Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu
Ministerie van Volksgezondheid,
Welzijn en Sport

> Retouradres Postbus 1 3720 BA Bilthoven

Nederlands Normalisatie-Instituut NEN
PGS Projectbureau
Mevrouw drs. P. Bohlander
Postbus 5059
2600 GB DELFT



A. van Leeuwenhoeklaan 9
3721 MA Bilthoven
Postbus 1
3720 BA Bilthoven
www.rivm.nl
KvK Utrecht 30276683
T 030 274 91 11
F 030 274 29 71
info@rivm.nl

Behandeld door
ir. S. Mahesh
Centrum Veiligheid
T 030 274 4585
F 030 274 4442
soedesh.mahesh@rivm.nl

Ons Kenmerk
20140031 VLH CS SM/rb

Bijlage(n)
1

Datum 25 februari 2014
Betreft Oplevering rapportage project "Effectafstanden opslag
kleine hoeveelheden explosieven - PGS 32"

Geachte mevrouw Bohlander,

In opdracht van het PGS Projectbureau hebben wij in de periode november en december 2013 de werkzaamheden uitgevoerd in het kader van het project "Effectafstanden opslag kleine hoeveelheden explosieven - PGS 32", projectnummer E/123007/01.

De resultaten van deze werkzaamheden staan in de bijgevoegde bijlage bij deze brief. Deze rapportage vervangt de brief met bijlage van 27 januari 2014 met het kenmerk 20140015 VLH CS SM/rb. Wij verzoeken u de brief met bijlage van 27 januari 2014 te vernietigen dan wel aan ons te retourneren.

Het onderzoek leidt tot de volgende bevindingen voor het opslaan van kleine hoeveelheden explosieven in verplaatsbare en niet-verplaatsbare opslagsystemen.

Verplaatsbare opslagsystemen:

- er zijn verschillende verplaatsbare opslagsystemen beschikbaar voor het opslaan van 0,1, 0,5 of 2,5 kg TNT-equivalenten explosieven waarbij de gevaarstelling wordt gereduceerd van de gevarensklasse 1.1 naar de gevarensklasse 1.4S;
- er wordt aanbevolen om afhankelijk van het verplaatsbare opslagsysteem een effectafstand van 1 tot 1,5 meter aan te houden tussen de verplaatsbare opslagsystemen en kwetsbare objecten van derden.

Niet-verplaatsbare opslagsystemen:

- voor niet-verplaatsbare bewaarplaatsen blijken metselwerk (met een minimale dikte van 115 mm) en beton (met een minimale dikte van 200 mm) geschikt te zijn als gevelconstructie voor het opslaan van kleine hoeveelheden explosieven. De explosieven moeten minimaal 30 cm (voor 0,1 en 0,5 kg TNT-equivalenten) en 100 cm (voor 2,5 kg TNT-equivalenten) van de wand staan;
- om te voorkomen dat een bewaarplaats bezwijkt door een accidentele explosie in zo'n bewaarplaats, dient een bewaarplaats een minimale grootte van 20, 100 en 500 m³ te hebben voor het opslaan van respectievelijk 0,1, 0,5 en 2,5 kg TNT-equivalenten explosieven én moet



een bewaarplaats beschikken over voldoende drukontlastende voorzieningen;

- de effectafstanden bedragen 10, 17,5 en 30 meter voor het opslaan van respectievelijk 0,1, 0,5 en 2,5 kg TNT-equivalenten explosieven.

Datum

25 februari 2014

Ons kenmerk

20140031 VLH CS SM/rb

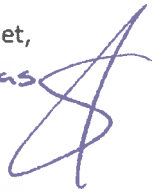
Met deze rapportage beschouwen wij de opdracht als afgerond.

De eindfactuur wordt separaat van deze brief nagezonden.

Wij danken u voor het in ons gestelde vertrouwen en voor de prettige samenwerking

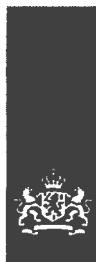
Mocht u nog vragen hebben naar aanleiding van deze brief dan kunt u contact opnemen met de heer S. Mahesh, telefoonnummer 030 – 274 4595.

Met vriendelijke groet,

B.A. S. Baars 

Drs. F.S.M. Stom

Wvd. Hoofd Centrum Veiligheid



bijlage

Effectafstanden opslag kleine hoeveelheden explosieven
PGS 32

A. van Leeuwenhoeklaan 9
3721 MA Bilthoven
Postbus 1
3720 BA Bilthoven
www.rivm.nl
KvK Utrecht 30276683

T 030 274 91 11
F 030 274 29 71
info@rivm.nl

Datum
18 februari 2014

Bijlage(n)
Part_Of
Ons kenmerk 20140031 VLH CS/SM/rb
Contactpersoon Ir. S. Mahesh

In deze bijlage worden de werkzaamheden beschreven die het Centrum Veiligheid van het RIVM in de periode november – december 2013 heeft uitgevoerd voor het Nederlands Normalisatie-Instituut (NEN).

Deze werkzaamheden zijn uitgevoerd in het kader van het project "Effectafstanden opslag kleine hoeveelheden explosieven – PGS 32", projectnummer E/123007/01. De resultaten van dit onderzoek worden gebruikt voor het opstellen van een nieuwe richtlijn PGS 32 – Explosieven voor civiel gebruik: Opslag – uit de Publicatierreeks Gevaarlijke Stoffen.

NEN is verantwoordelijk voor het opstellen en actualiseren van de PGS-richtlijnen.

Allereerst geven wij in hoofdstuk 1 het algemene onderzoekskader aan. Daarna bespreken wij in hoofdstuk 2 de scope van het verrichte literatuuronderzoek en de analyse van de gegevens. Vervolgens bespreken wij in hoofdstuk 3 de opslagsystemen voor het reduceren van de gevaarstelling en in hoofdstuk 4 gaan wij in op de conventionele opslagsystemen. Tot slot worden de conclusies van het onderzoek in hoofdstuk 5 gepresenteerd.

1 Algemeen

Tijdens het uitvoeren van dit project heeft het Centrum Veiligheid voldoende informatie vergaard om voorstellen te kunnen doen voor de effectafstanden voor het opslaan van kleine hoeveelheden explosieven (0,1 kg, 0,5 kg en 2,5 kg) van de gevarensklasse 1.1. Deze explosieven worden in het civiele domein gebruikt en het majeure gevaar van explosieven van de gevarensklasse 1.1 is massa explosie. De effecten van een massa explosie zijn de werking van schokgolven (blast) en scherven en/of brokstukken. De (secundaire) scherven en brokstukken komen mogelijk vrij door het falen van de bewaarplaats van de explosieven.

In het kader van dit project is literatuuronderzoek verricht en vervolgens zijn de literatuurgegevens geanalyseerd. Daarnaast zijn er aanvullende berekeningen uitgevoerd. Op basis van deze informatie doen wij aanbevelingen voor de effectafstanden voor het opslaan van kleine hoeveelheden explosieven in bepaalde opslagsystemen.

In het onderzoek zijn twee aspecten nader beschouwd. Ten eerste is nagegaan of er opslagsystemen beschikbaar zijn die de gevaarstelling van de opgeslagen explosieven kunnen reduceren indien de explosieven onverhoopt exploderen.

Door deze opslagsystemen kunnen de majeure effecten van de schokgolven en het vrijkomen van scherven en brokstukken worden gereduceerd tot brand met weinig warmtestraling (gevaarsubklasse 1.4S).

Datum
18 februari 2014

Ten tweede is nagegaan aan welke (bouw)technische eisen een bewaarplaats moet voldoen, zodat een bewaarplaats niet bezwijkt als gevolg van een accidentele explosie van de explosieven in de bewaarplaats. In dat geval zullen er dan geen scherven en brokstukken vrijkomen, zodat alleen rekening moet worden gehouden met de effecten van de schokgolven (blast). Er zal ook gekeken worden naar bewaarplaatsen die de beide aspecten (scherven/brokstukken en blast) binnen de containment kunnen houden.

2 Literatuuronderzoek en analyse van de literatuurgegevens

Er is in de openbare literatuur gezocht naar specifieke opslagsystemen voor het opslaan van kleine hoeveelheden explosieven. Daarbij is gezocht naar vaste opslagplaatsen en verplaatsbare (mobiele) opslagsystemen. Er is ook specifiek gezocht naar opslagsystemen die niet bezwijken bij een accidentele explosie in het opslagsysteem. De effecten van de explosie blijven binnen de containment en de gevaarszetting wordt gereduceerd.

Uit het eerste deel van het onderzoek blijkt dat er verschillende verplaatsbare opslagsystemen beschikbaar zijn. De effectiviteit van deze opslagsystemen is aangetoond op basis van volle schaal testen. De gevaarszetting die van deze opslagsystemen uitgaat, is brand met weinig warmtestraling. Zodoende wordt de gevaarszetting gereduceerd tot die van gevaarsubklasse 1.4S. Deze opslagsystemen zijn doorgaans gecertificeerd en worden in Nederland, maar vooral in het buitenland veel gebruikt door onder meer Defensie, EOD, Politie, private bedrijven en op luchthavens voor het veilig vervoer van kleine hoeveelheden explosieven (o.m. luchtvervoer). Deze verplaatsbare opslagsystemen kunnen in gebouwen worden neergezet en ook in de open lucht worden geplaatst. De specifieke kenmerken van deze opslagsystemen zullen wij in hoofdstuk 3 nader uitwerken.

In het tweede deel van het onderzoek is vooral gezocht naar niet-verplaatsbare (conventionele) opslagsystemen die vervaardigd zijn van beton, gewapend beton of metselwerk (bakstenen). In de literatuur hebben wij veel bruikbare informatie gevonden over de dynamische belasting van muren die vervaardigd zijn van deze materialen. Deze muren bezwijken niet als ze worden blootgesteld aan de explosie effecten van kleine hoeveelheden explosieven. Ook deze informatie is gebaseerd op volle schaal testen en zullen wij gebruiken voor het geven van aanbevelingen voor het opslaan van kleine hoeveelheden explosieven in bewaarplaatsen. In hoofdstuk 4 zullen wij hierop nader ingaan.

3 Opslagsystemen voor het reduceren van de gevaarszetting

Deze opslagsystemen zijn verplaatsbaar (mobiel) [1]. Daardoor kunnen deze opslagsystemen zowel op een vaste locatie in een gebouw van binnen een inrichting worden opgesteld als ook elders op locatie (onder meer in de open lucht) worden gebruikt. Daarnaast kunnen deze opslagsystemen gemakkelijk worden getransporteerd. Een voordeel van het gebruik van deze mobiele opslagsystemen is dat bij een brandcalamiteit de hulpverleners of werknemers deze opslagsystemen snel en eenvoudig kunnen verplaatsen naar een veilige

omgeving. Hierdoor vormen de explosieven in deze opslagsystemen geen gevaar voor hulpverleners van de brandweer en voor de leefomgeving.

Datum
18 februari 2014

Doordat deze opslagsystemen niet bezwijken en een volledige containment kunnen waarborgen, zijn deze opslagsystemen in technisch opzicht beter dan de standaard bewaarplaats voor explosieven. Daarom mogen deze opslagsystemen worden aangemerkt als een stand der techniek opslagsysteem voor het opslaan van explosieven.

Zoals gezegd, ligt de focus van dit onderzoek op het zoeken naar geschikte opslagsystemen voor het opslaan van kleine hoeveelheden explosieven tot maximaal 2,5 kg TNT-equivalenten.

Er zijn in de openbare literatuur opslagsystemen (meestal op wielen) gevonden die bekend staan onder de handelsnamen GOLAN, NABCO en EXPLOSAFE [2,3,4]. De opslagsystemen van GOLAN en NABCO zijn door het Amerikaanse Department of Defense Explosives Safety Board (DDESB) goedgekeurd voor gebruik voor Defensie doeleinden en worden door het Amerikaanse Ministerie van Defensie gebruikt [5 t/m 12].

Er zijn verschillende volle schaal testen uitgevoerd met deze opslagsystemen. De opslagsystemen van GOLAN en NABCO zijn getest met meer explosieven (25%) dan de toegelaten opslaghoeveelheden TNT. Het EXPLOSAFE opslagsysteem is getest met de maximaal toegelaten opslaghoeveelheid TNT. Daarnaast zijn met EXPLOSAFE zogeheten Bonfire testen uitgevoerd conform Test Serie 6(c) van de Manual and Testcriteria van United Nations [13]. Op basis van deze testen is de EXPLOSAFE transportbox geclassificeerd als gevarensklasse 1.4S. Dat houdt in dat EXPLOSAFE in het kader van vervoer is gecertificeerd als gevarensklasse 1.4S en ook in civiele vliegtuigen mag worden vervoerd.

In de beschreven opslagsystemen mogen fragmenterende munitie (diameter maximaal 40 mm) worden opgeslagen en/of vervoerd. Het is echter niet toegestaan om holle ladingen in deze opslagsystemen op te slaan en/of te vervoeren. Als met deze restricties rekening wordt gehouden dan zullen de explosie effecten (blast en scherven) beperkt blijven tot het opslagsysteem.

De specifieke technische informatie kan worden opgevraagd bij de producenten van deze opslagsystemen. Deze opslagsystemen worden globaal hieronder besproken.

GOLAN: Er zijn ongeveer 13 opslagsystemen bekend waarin tussen de 0,03 kg en 45 kg TNT-equivalenten explosieven kunnen worden opgeslagen. In het kader van de onderzoeksvraag komen GOLAN 0.15, GOLAN 0.5, GOLAN 1, GOLAN 2 en GOLAN 3 in beeld. In deze opslagsystemen kunnen respectievelijk 0,15, 0,5, 1, 2 en 3 kg TNT-equivalenten explosieven worden opgeslagen. Deze opslagsystemen hebben de vorm van een cilinder (met diameter D) en kunnen horizontaal of verticaal worden geplaatst. In Tabel 1 is de relevante informatie vermeld.

NABCO: Er zijn verschillende opslagsystemen bekend waarin tussen de 1,0 en 4,5 kg TNT-equivalenten explosieven kunnen worden opgeslagen. Deze opslagsystemen hebben de vorm van een bol. In Tabel 1 is informatie over deze opslagsystemen vermeld.

EXPLOSAFE: Er zijn twee opslagsystemen voorhanden. In de EXPLOSAFE 7.5 mag maximaal 7,5 gram TNT-equivalenten aan explosieven worden vervoerd. In EXPLOSAFE 500 mag maximaal 0,5 kg TNT-equivalenten explosieven worden vervoerd. Deze opslagsystemen hebben de vorm van een cilinder. Over EXPLOSAFE 500 is meer informatie vermeld in tabel 1.

In dit verband merken wij nog op dat wij ook de technische documentatie van meerdere opslagsystemen hebben gereviewd. De opslagsystemen die wij hebben gereviewd, zijn geschikt voor het opslaan van explosieven (behalve voor holle ladingen) in het civiele domein en voor explosieven tot circa 50 kg TNT-equivalenten. Aangezien de nadruk van dit onderzoek ligt op het opslaan van kleine hoeveelheden explosieven, worden de overige opslagsystemen voor het opslaan van grote hoeveelheden explosieven niet verder besproken.

Tabel 1. Verplaatsbare opslagsystemen voor kleine hoeveelheden explosieven.

Model	Opslaghoeveelheid	Dimensie L x H x D	Gewicht (geschat)	Omvang opening
	[kg TNT-equivalenten]	[cm]	[kg]	[cm]
GOLAN 0.15	0,15	68 x 57 x 53	100	20 x 12
GOLAN 0.5	0,50	71 x 81 x 61	300	24 x 17
GOLAN 1	1,00	93 x 105 x 95	500	50 x 20
GOLAN 2	2,00	101 x 116 x 102	900	50 x 25
GOLAN 3	3,00	117 x 150 x 172	1.900	76,5 x 55
		D [cm]		D [cm]
NABCO PTCV	1,00	50	400	25
NABCO TCV	4,50	107	1600	55
		L x D [cm]		D [cm]
EXPLOSAFE 500	0,50	63,5 x 41	150	16,5

Effectafstanden

In de rapportages worden effectafstanden aanbevolen voor de verplaatsbare opslagsystemen. De effectafstand die aangehouden moet worden tussen de verplaatsbare opslagsystemen en kwetsbare objecten van derden bedraagt 1,5 meter voor NABCO TCV en 1 meter voor alle overige opslagsystemen (NABCO PTCV, GOLAN 0.15, GOLAN 0.5, GOLAN 1, GOLAN 2 en GOLAN 3). Hoewel voor de EXPLOSAFE geen effectafstand is gegeven, lijkt een afstand van 1 meter afdoende.

Resumé:

- Er zijn verschillende verplaatsbare opslagsystemen beschikbaar voor het opslaan van 0,1, 0,5 of 2,5 kg TNT-equivalenten explosieven waarbij de gevaarzetting wordt gereduceerd van de gevarensklasse 1.1 naar de gevarensklasse 1.4S.
- Er wordt aanbevolen om afhankelijk van het opslagsysteem een effectafstand van 1 tot 1,5 meter aan te houden tussen de verplaatsbare opslagsystemen en kwetsbare objecten van derden.

4 Conventionele opslagsystemen

Datum
18 februari 2014

Wij bespreken hierna de conventionele opslagsystemen die niet bezwijken bij een accidentele explosie van explosieven in de bewaarplaats. De bewaarplaatsen kunnen al dan niet zijn voorzien van drukontlastende voorzieningen.

4.1 Conventionele opslagsystemen zonder drukontlastende voorzieningen

In de openbare literatuur is weinig informatie gevonden over bewaarplaatsen die niet bezwijken bij een accidentele explosie van explosieven in de bewaarplaats. Polcyn beschrijft drie bewaarplaatsen voor het opslaan van explosieven met hoeveelheden tot 0,1, 0,5 en 6,81 kg TNT-equivalenten [14]. Deze opslagfaciliteiten zijn gebaseerd op de standaarden van het Amerikaanse Ministerie van Defensie en zijn zodanig ontworpen om de effecten van blast en fragmenten als gevolg van een explosie in de opslagfaciliteit volledig op te vangen en zijn niet voorzien van drukontlastende voorzieningen.

De opslagfaciliteit voor 6,81 kg TNT-equivalenten explosieven is ontworpen voor het testen van explosieven. De explosieven worden opgeslagen in het midden van deze opslagfaciliteit en op één meter boven de vloer. Deze opslagfaciliteit heeft een achthoekige vorm (om alle inwendige dynamische belastingen van een explosie te weren) en heeft een diameter van 4,88 meter. Het dak bevindt zich op 4,58 meter van de vloer. De wanden, de vloer en het dak zijn vervaardigd van gewapend beton met een dikte van 91,5 cm. De deur is vervaardigd van staal met een dikte van 15,3 cm.

Een opslagfaciliteit voor het opslaan van 0,1 kg TNT-equivalenten explosieven is vervaardigd van metselwerk met een dikte van 20,5 cm. Voor het opslaan van 0,454 kg TNT-equivalenten explosieven dient een opslagfaciliteit vervaardigd te zijn van gewapend metselwerk met een dikte van 30,5 cm.

Voor het opslaan van kleine hoeveelheden explosieven zijn juist deze opslagsystemen interessant die niet bezwijken als gevolg van een accidentele explosie in de bewaarplaats. Zoals gezegd, beschrijft Polcyn enkele opslagsystemen die hieraan voldoen (geen effecten van blast en scherven buiten de opslag), maar voor het realiseren van deze opslagsystemen is een nauwkeurige en gedetailleerde technische uitvoering van de opslagplaats noodzakelijk [14]. Daarbij moeten deze opslagsystemen worden onderbouwd aan de hand van technische berekeningen. Wij verwachten dat deze opslagsystemen (met name uit oogpunt van kosten-effectiviteit) niet veel zullen worden gebruikt voor het opslaan van de in dit project vermelde kleine hoeveelheden explosieven. De aanvullende technische informatie hadden wij ook niet voorhanden op het momenten van het uitvoeren van het onderzoek voor dit project. Daarom is een verdere uitwerking van deze opslagsystemen niet gedaan.

4.2 Conventionele opslagsystemen met drukontlastende voorzieningen

Er is in de literatuur wel veel informatie gevonden over het gedrag van gevelconstructies (muren) die vervaardigd zijn van beton, gewapend beton of metselwerk en het gedrag van deze gevelconstructies bij blootstelling aan de explosie effecten van explosieven. Er zijn met deze gevelconstructies verschillende volle schaal testen uitgevoerd om na te gaan onder welke omstandigheden (hoeveelheid explosieven, afstand van de explosieven tot de muur, materiaal waarvan de muur is vervaardigd, dikte van de muur, etc.) deze gevelconstructies

niet bezwijken. Wij zullen deze informatie gebruiken voor het stellen van technische randvoorwaarden aan de bewaarplaatsen voor het opslaan van kleine hoeveelheden explosieven die voorzien zijn van drukontlastende voorzieningen. In Tabel 2 worden de relevante gegevens vermeld.

Datum
18 februari 2014

Tabel 2. Specifieke informatie over de door de explosie belaste muren.

Hoeveelheid explosieven (Q)	Specifieke informatie over de door explosie belaste muur		Horizontale afstand van explosief tot muur [cm]	Literatuurbron
	Dikte [mm]	Materiaal		
kg TNT-equivalenten				
0,100	205	Metselwerk	30	Polcyn [14]
0,231	115	Baksteen	29	Henderson [15]
0,363	115	Baksteen	29	Henderson [15]
0,454	305	Gewapend metselwerk	30	Polcyn [14]
0,480	230	Baksteen	29	Henderson [15]
0,568	305	Baksteen	68	Bulson [16]
0,700	280	Baksteen dubbel met spouw	30	Crockart [17]
0,933	230	Baksteen	29	Henderson [15]
2,50	280	Baksteen dubbel met spouw	130 ¹	Crockart [17]
6,81	915	Gewapend beton	244	Polcyn [14]

Volgens de huidige Circulaire opslag ontplofbare stoffen voor civiel gebruik van juli 2006 worden explosieven opgeslagen in een lichte opslagconstructie die vervaardigd is van beton met een dikte van minder dan 200 mm of baksteen met een dikte van minder dan 230 mm. Het dak is van een licht materiaal vervaardigd en de vloer is van beton vervaardigd. Deze bewaarplaatsen zijn niet bedoeld om de explosie effecten bij een accidentele explosie tot de bewaarplaats te beperken en zullen dus bezwijken bij een accidentele explosie in de bewaarplaats.

In het vervolg maken wij gebruik van de informatie uit de literatuur over de gevelconstructies (muren) die niet bezwijken als ze door een explosie worden belast. Op basis van deze informatie zullen wij eisen stellen aan de bewaarplaatsen voor het opslaan van kleine hoeveelheden explosieven. Daarvoor is echter nog de volgende aanvullende informatie nodig.

1. Een kwantitatieve onderbouwing / verklaring voor het niet bezwijken van de door explosie belaste muren. Die informatie kan vervolgens gebruikt worden om specifieke eisen te stellen aan de materialen (beton en metselwerk) waarmee de bewaarplaatsen voor het opslaan van kleine hoeveelheden explosieven worden vervaardigd.
2. Er dient nog rekening te worden gehouden met de effecten van de quasi-statische overdrukken in de bewaarplaats als gevolg van de explosie en de verbrandingsgassen. In de literatuur is gevonden dat de meeste bewaarplaatsen bestand zijn tegen een inwendige quasi-statische overdruk van 34,5 kPa [14]. Indien wij rekening houden met een gebruikelijke veiligheidsfactor van 1,15 dan kan als rekenwaarde voor de quasi-statische overdruk 30 kPa worden aangehouden.

¹ De minimale afstand tot de muur moet 100 cm bedragen ($D_{\min}(m)=0.8 \cdot Q^{1/3}$).

3. Indien met de voornoemde punten rekening wordt gehouden bij het ontwerpen van een bewaarplaats dan zal een bewaarplaats niet bezwijken bij een accidentele explosie in de bewaarplaats; geen scherfwerking te verwachten. Deze technische maatregelen hebben echter geen invloed op de blasteffecten. Er vindt dan ook geen vermindering plaats van de blasteffecten. Daarom worden de effectafstanden uitsluitend bepaald door de blasteffecten.

Ad.1. De volle schaal testen geven aan dat de door explosie belaste muren niet bezwijken. Dat houdt in dat de muren bestand zijn tegen bepaalde dynamische belastingen. Om inzicht in deze belastingen te krijgen, hebben wij de relevante grootheden (zoals de invallende piekoverdruk, gereflecteerde piekoverdruk, invallende impuls, gereflecteerde impuls, positieve fase-duur en de gereflecteerde positieve fase-duur) berekend met de rekenregels uit de richtlijn AASTP-1 [18]. In Tabel 3 zijn deze waarden vermeld.

Tabel 3. Informatie over de door explosie belaste gevelconstructies.

Q [kg TNT]	Z [m/kg ^{1/3}]	P _s [kPa]	P _r [kPa]	I _s [kPa.s]	I _r [kPa.s]	T _p [ms]	T _r [ms]
0,100	0,65	3.174	2.775	0,082	0,752	0,207	0,542
0,231	0,47	5.322	6.883	0,102	1,584	0,162	0,460
0,363	0,41	6.670	10.304	0,142	2,321	0,168	0,450
0,480	0,37	7.625	13.043	0,143	2,948	0,178	0,452
0,454	0,39	7.075	11.437	0,136	2,664	0,178	0,467
0,568	0,82	2.030	1.343	0,170	0,959	0,734	1,428
0,700	0,34	8.670	16.282	0,172	3,870	0,198	0,475
0,933	0,30	10.345	21.871	0,213	5,256	0,218	0,481
2,50	0,96	1.485	845	0,327	1,273	2,030	3,013
6,81	1,29	781	364	0,387	1,201	0,005	6,599

Toelichting bij Tabel 3:

Q: hoeveelheid explosieven [kg TNT-equivalenten];

Z: geschaalde afstand² (D/Q^{1/3}) [m/kg^{1/3}];

P_s: invallende piekoverdruk [kPa];

P_r: gereflecteerde piekoverdruk [kPa];

I_s: invallende impuls [kPa.s];

I_r: gereflecteerde impuls [kPa.s];

T_p: positieve fase-duur [ms];

T_r: gereflecteerde positieve fase-duur [ms].

Daarnaast hebben wij de eigentrillingstijden van de muren berekend [19]. Deze eigentrillingstijden geven ons inzicht in de tijd die een muur nodig heeft om te vervormen en vervolgens te bezwijken als gevolg van de effecten van de blast. Bij de berekening gaan wij uit van een muur met een hoogte van 2,5 meter (komt grofweg overeen met de hoogte van de bewaarplaatsen die in Nederland wordt gebruikt). In Tabel 4 hebben wij de eigentrillingstijden van de muren en andere relevante materiaalgegevens van de muren vermeld.

In Tabel 4 zijn de gegevens over gewapend betonnen constructies of gewapend metselwerk niet vermeld, omdat de eigentrillingstijden van constructies die van

² De hoeveelheid explosieven (kg) uitgedrukt in Q^{1/3} op een afstand D (m) van de gevel/muur.

deze materialen zijn vervaardigd significant groter zijn dan die van zonder bewapening uitgevoerde constructies.

Datum
18 februari 2014

Tabel 4. De eigentrillingstijden van de gevelconstructies die zijn vervaardigd van baksteen, metselwerk of beton.

Materiaal	Dikte	Dichtheid	Elasticiteitsmodulus	Trillingstijd³
	<i>[mm]</i>	<i>[kg/m³]</i>	<i>[GPa]</i>	<i>[ms]</i>
Baksteen	115	1.750	5	68
Baksteen	230	1.750	5	34
Baksteen ⁴	280	1.750	5	28
Baksteen	305	1.750	5	26
Metselwerk	205	2.000	5	41
Beton	200	2.500	30	20

Uit Tabel 4 blijkt dat de eigentrillingstijd van de hier beschouwde gevelconstructies ligt tussen de 20 en 68 ms. In het algemeen zullen constructies bezwijken na een tijd die varieert van een kwart (voor kortdurende belasting) tot een halve eigentrillingstijd (voor langdurige belasting) [20]. Het tijdstip van bezwijken zal voor deze gevelconstructies liggen tussen 5 en 34 ms.

Uit de laatste kolom van Tabel 3 blijkt dat deze gevelconstructies tussen de circa 0,5 en 3,0 ms worden belast door de explosie. Deze tijden zijn korter dan het tijdstip voor het bezwijken van deze constructies en geven een verklaring voor het in tact blijven van de gevelconstructies. Uit deze analyse leiden wij ook af dat de dynamische belasting⁵ op de gevelconstructies dermate kort duurt (enkele ms) dat het bezwijken van de gevelconstructies volledig wordt bepaald door de duur van de belasting (impuls) en niet door de blast (gereflecteerde piekoverdrukken).

Uit de analyse volgt dat constructies die vervaardigd zijn van metselwerk (met een minimale dikte van 115 mm) of beton (met een minimale dikte van 200 mm) in principe geschikt zijn om als gevelconstructie te worden gebruikt voor bewaarplaatsen om kleine hoeveelheden explosieven op te slaan, indien de horizontale afstand tussen de wanden en de explosieven minimaal 30 cm is voor 0,1 en 0,5 kg TNT en minimaal 100 cm is voor 2,5 kg TNT-equivalenten.

Deze bewaarplaatsen zullen niet bezwijken door de inwendige explosie effecten voor zover er maatregelen (minimale grootte bewaarplaats, drukontlasting) zijn getroffen om de quasi-statische overdruk in de bewaarplaatsen te beperken tot 30 kPa. Hieronder gaan wij nader in op dit aspect.

Ad.2. Wij zullen hier nagaan hoe groot een bewaarplaats met drukontlastende voorzieningen moet zijn om een inwendige quasi-statische overdrukwaarde van 30 kPa te kunnen doorstaan. Er is literatuur gevonden waarin de quasi-statische druk is berekend met diverse computerprogramma's (zoals INBLAS, BLASTINW en INBLAST) voor verschillende hoeveelheden explosieven als functie van de grootte van de bewaarplaats [16, 21]. Wij maken hier gebruik van de informatie

³ $T = \frac{1}{f}$ (s) met $f = \left[\frac{\pi}{2 \cdot x^3} \right] \cdot \sqrt{E \cdot \frac{d}{m}}$; $I = \frac{d^4}{12}$; m = dichtheid · dikte (d). x = hoogte van de gevel. Alles in SI-eenheden.

⁴ Dubbel met spouw.

⁵ De afstand tussen de gevelconstructies en de explosieven (0,1 en 0,5 kg TNT-equivalenten) bedraagt minimaal 30 cm en minimaal 100 cm voor 2,5 kg TNT-equivalenten.

die ook het Amerikaanse Ministerie van Defensie gebruikt en die gebaseerd is op berekeningen met INBLAST en gevalideerd is met volle schaal testen [16, pagina 115 & 21, pagina 535, 22].

Datum
18 februari 2014

Volgens de berekeningen met INBLAST wordt een quasi-statische overdrukwaarde van 30 kPa in een bewaarplaats bereikt indien de minimale grootte van de bewaarplaats ruwweg overeenkomt met 200 keer de hoeveelheid van de opgeslagen explosieven, namelijk $V_{\text{inhoud bewaarplaats}} (\text{m}^3) = 200 \cdot Q$, met Q in kg TNT-equivalenten.

In Tabel 5 hebben wij de minimale grootte van de bewaarplaatsen voor 0,1, 0,5 en 2,5 kg TNT-equivalenten explosieven vermeld. Ook hebben wij een indicatie gegeven van de minimale afmetingen van zo'n bewaarplaats voor een standaard hoogte van 2,5 meter.

Tabel 5. De minimale grootte van een bewaarplaats in relatie tot de opgeslagen hoeveelheid explosieven.

Opgeslagen hoeveelheid explosieven [kg TNT-equivalenten]	Grootte van de bewaarplaats [m ³]	Afmeting van de bewaarplaats [indicatief, L x B x H] [m]
0,1	20	4 x 2 x 2,5
0,5	100	8 x 5 x 2,5
2,5	500	20 x 10 x 2,5

In Tabel 5 is de minimale grootte van een bewaarplaats aangegeven om te voorkomen dat de bewaarplaats bezwijkt door de optredende quasi-statische overdrukken bij een explosie in de bewaarplaats. De bewaarplaats is voorzien van voldoende drukontlastende voorzieningen; bijvoorbeeld drukontlasting via de deur of het plafond. Als een bewaarplaats is voorzien van voldoende drukontlastende voorzieningen en deze adequaat functioneren (in werking treden bij overdrukken van 10 kPa of lager) dan zal de quasi-statische overdruk in de bewaarplaats worden ontlast en is de kans op bezwijken van de bewaarplaats nihil.

Ad.3. In de voorgaande analyse hebben wij aangegeven dat de bewaarplaats niet zal bezwijken als de bewaarplaats vervaardigd is van bepaalde materialen met een minimale dikte, een minimale grootte heeft om de quasi-statische overdrukken te overbruggen en over voldoende drukontlastende voorzieningen beschikt. Er hoeft dan geen rekening te worden gehouden met het vrijkomen en de impact van secundaire scherven en brokstukken bij het opstellen van de effectafstanden.

Effectafstanden

De effectafstanden worden dan volledig bepaald door de invallende piekoverdruk van de blast. Wij hebben reeds aangegeven dat een invallende piekoverdrukwaarde van 5 kPa acceptabel is om (kwetsbare) objecten van derden te beschermen. De afstand (m) waarop deze waarde optreedt, is afhankelijk van de hoeveelheid explosieven (in kg TNT-equivalenten) en komt in getalswaarde overeen met $22,2 \cdot Q^{1/3}$ [18]. In Tabel 6 hebben wij de effectafstanden vermeld voor bewaarplaatsen waarin 0,1, 0,5 of 2,5 kg TNT-equivalenten explosieven worden opgeslagen.

Tabel 6. Effectafstanden⁶ voor het opslaan van kleine hoeveelheden explosieven.

Opgeslagen hoeveelheid explosieven [kg TNT-equivalenten]	Effectafstand [m]
0,1	10
0,5	17,5
2,5	30

Datum
18 februari 2014

Resumé:

- Metselwerk (met een minimale dikte van 115 mm) of beton (met een minimale dikte van 200 mm) zijn geschikt als gevelconstructie voor bewaarplaatsen voor het opslaan van kleine hoeveelheden explosieven. Daarbij bedraagt de horizontale afstand tussen de wanden en de explosieven minimaal 30 cm voor 0,1 en 0,5 kg TNT en minimaal 100 cm voor 2,5 kg TNT-equivalenten.
- Om te voorkomen dat een bewaarplaats bezwijkt door een accidentele explosie heeft een bewaarplaats een minimale grootte van 20, 100 en 500 m³ voor het opslaan van respectievelijk 0,1, 0,5 en 2,5 kg TNT-equivalenten explosieven en moet de bewaarplaats beschikken over voldoende drukontlastende voorzieningen.
- De effectafstanden bedragen dan 10, 17,5 en 30 meter voor het opslaan van respectievelijk 0,1, 0,5 en 2,5 kg TNT-equivalenten explosieven.

5 Conclusies

Het onderzoek leidt tot de volgende conclusies voor verplaatsbare en niet-verplaatsbare opslagsystemen.

Verplaatsbare opslagsystemen:

- er zijn verschillende verplaatsbare opslagsystemen beschikbaar voor het opslaan van 0,1, 0,5 of 2,5 kg TNT-equivalenten explosieven waarbij de gevaarstelling wordt gereduceerd van de gevarensklasse 1.1 naar de gevarensklasse 1.4S;
- er wordt aanbevolen om afhankelijk van het verplaatsbare opslagsysteem een effectafstand van 1 tot 1,5 meter aan te houden tussen de verplaatsbare opslagsystemen en kwetsbare objecten van derden.

Niet-verplaatsbare opslagsystemen:

- voor niet-verplaatsbare bewaarplaatsen blijken metselwerk (met een minimale dikte van 115 mm) en beton (met een minimale dikte van 200 mm) geschikt te zijn als gevelconstructie voor bewaarplaatsen voor het opslaan van kleine hoeveelheden explosieven. Daarbij bedraagt de afstand tussen de wanden en de explosieven minimaal 30 cm voor 0,1 en 0,5 kg TNT en minimaal 100 cm voor 2,5 kg TNT-equivalenten;
- om te voorkomen dat een bewaarplaats bezwijkt door een accidentele explosie in zo'n bewaarplaats, dient een bewaarplaats een minimale grootte van 20, 100 en 500 m³ te hebben voor het opslaan van respectievelijk 0,1, 0,5 en 2,5 kg TNT-equivalenten

⁶ Deze effectafstanden worden uitsluitend bepaald door de blasteffecten en gelden alleen als aan de andere eisen (materiaal gevelconstructie, muurdikte, grootte van de bewaarplaats en drukontlastende voorzieningen) zijn voldaan.

- explosieven en moet de bewaarplaats beschikken over voldoende drukontlastende voorzieningen;
- de effectafstanden bedragen 10, 17,5 en 30 meter voor het opslaan van respectievelijk 0,1, 0,5 en 2,5 kg TNT-equivalenten explosieven.

Datum
18 februari 2014

6 Literatuur

Datum
18 februari 2014

- 1 M. A. Polcyn, et. al. Transportation containers for Ordnance and Explosives Waste Remediation Projects. Southwest Research Institute. Texas. 1996.
- 2 Blast safe: Fully Confined GOLAN. Mistral Security. Maryland.
- 3 W. E. Wright. Approval of Explosives Limits for NABCO Portable Total Containment Vessel (PTCV). Department of Defense Explosives Safety Board. Virginia. 2004.
- 4 H. N. van der Maat. Explosafe: New, Efficient, and Low Coast Developments for Safe Transportation and Storage of Explosive Substances and Articles. The Netherlands. 1994.
- 5 W. E. Wright. Approval of Amended GOLAN 10 Protectainer Explosives Safety Parameters. Department of Defense Explosives Safety Board. Virginia. 2004.
- 6 D. T. Tompkins. Review of Unsolicited Manufacture's Design Documentation Submittal for the "Golan 5" and "Golan 10" Protectainer [G-158]. Department of Defense Explosives Safety Board. Virginia. 2000.
- 7 R. T. Adams. Review of Unsolicited Manufacture's Design Documentation Submittal, GOLAN 15 Protectainer Explosives Safety Parameters [N62470 / GOLAN-15/N-137]. Department of the Navy. 2004.
- 8 R. T. Adams. Request for Project Site Approval/Safety Certification for the installation of two portable explosives storage magazines, Naval Undersea Warfare Center Division Newport. Department of de Navy. 1997.
- 9 C. E. Canada. Explosive Ordnance Disposal Quick response Ready Stowage Lockers. 1996.
- 10 W. E. Wright. Approval of Explosives Limits for NABCO SV-50 Explosives Storage Vessel. Department of Defense Explosives Safety Board. Virginia. 2004.
- 11 WBDG. Ammunition and Explosive Storage Magazines. National Institute of Building Science. Washington. 2012.
- 12 L. W. Saffian, et. al. Safety Design Criteria for Explosives Manufacturing and Storage Facilities.
- 13 UN Manual of Test and Criteria. Fifth revised edition. United Nations. 2010.
- 14 M. A. Polcyn. R. S. Hansen. An Overview of the Blast Design of the Explosives Development Facility. Southwest Research Institute. Texas. 1996.
- 15 J. Henderson. Considerations for Storage of Limited Net Explosives Quantities in Masonry Buildings. UK Ministry of Defence. 2010.
- 16 P. S. Bulson. Explosive Loading of Engineering Structures. 1997.
- 17 R. B. Crockart. M. J. Bone. The Fragment Containment Characteristics of Explosives Buildings and other forms of Fragment Protection for HD 1.1 and HD 1.2 Charges up to 2.5 kg TNT Equivalent. Department of Defence. Australia. 1989.
- 18 Allied Ammunition Storage and Transport Publication. Manual of NATO Safety Principles for the Storage of Military Ammunition and Explosives. Edition no. 1. AASTP-1. 1997.
- 19 Methoden voor het bepalen van mogelijke schade. Publicatiereeks Gevaarlijke Stoffen. PGS 1. Den Haag. 2005.

- 20 J. G. Hageman. Berekening Gevelconstructies in verband met schuilgelegenheid in de woning. Onderdeel 1. Statische en dynamische berekeningen. Adviesbureau ir. J. G. Hageman B.V. Rijswijk. 1986.
- 21 P. E. Montanaro. M.M. Swisdak. INBLAST – A New and Revised Computer Code for the Prediction of Blast Inside Closed or Vented Structures. Naval Surface Warfare Center. Silver Spring. 1990.
- 22 W.E. Baker, et. al. Explosion Hazards and Evaluation. Amsterdam – Oxford – New York, 1983.

Datum
18 februari 2014