



Laan van Westenenk 501
Postbus 342
7300 AH Apeldoorn

www.mep.tno.nl

T 055 549 34 93
F 055 549 32 01
info@mep.tno.nl

TNO-rapport

R 2003/306

**Gedrag van koolzuurcilinders in een
brandsituatie
(een experimenteel onderzoek)**

Datum	Juni 2003
Auteurs	Ing. J.M. Ham Ing. S.J. Elbers
Projectnummer	34678
Trefwoorden	- Bonfire test - Gascilinders - Koolzuur
Bestemd voor	Vereniging GDH T.a.v. mevrouw A.M. Nelck Postbus 26155 3002 ED Rotterdam

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 onderzoeksopdrachten 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.

© 2003 TNO

Samenvatting

In opdracht van de Vereniging GDH is door TNO-MEP een experimenteel onderzoek uitgevoerd naar het gedrag van met koolzuur gevulde gascilinders wanneer deze worden blootgesteld aan een brandsituatie.

Aanleiding voor dit onderzoek was de wenselijkheid van vaststelling van nut en noodzaak om voor de opslag van deze cilinders, die gebruikt worden in de drankengroothandel en horeca, het veiligheidsregime voor opslag van gevaarlijke stoffen conform de richtlijnen CPR-15.1 van toepassing te laten zijn. Een theoretische beschouwing had aangetoond dat brandsituaties in drankengroothandel-bedrijven niet kunnen worden uitgesloten. Verder was hierbij geconcludeerd dat niet zondermeer kan worden aangenomen dat de standaard toegepaste overdrukbeveiliging –door middel van een breekplaatje– op de koolzuurcilinders voldoende (overdimensionering in) afblaascapaciteit zal hebben om de snelle drukstijging bij extreme verhitting te kunnen afvoeren en daarmee het exploderen van een cilinder zal voorkomen. Experimenteel onderzoek werd wenselijk geacht om de geconstateerde onzekerheden over explosie-risico's te reduceren.

In een in de buitenlucht opgestelde testfaciliteit zijn tien experimenten uitgevoerd waarbij koolzuurcilinders (vijf stalen en vijf aluminium exemplaren) aan de hitte van een brand zijn blootgesteld. De tests zijn uitgevoerd conform de voor autogas-tanks (LPG) vereiste Bonfire test. Hierbij zijn onder voorgeschreven testcondities het verloop van temperatuur en druk, alsmede het gedrag van de cilinder en het breekplaatje gemeten en geregistreerd. Tevens zijn de experimenten op VHS-video vastgelegd.

De waarnemingen en resultaten van de experimenten zijn als volgt samen te vatten:

- Alle tests voldeden, voor wat betreft hun geldigheid met betrekking tot de vereiste proefcondities, aan het protocol voor Bonfire-tests.
- Volgens specificatie behoort een breekplaatje te bezwijken bij een cilinderdruk van 250 bar. In alle tests bezweek het breekplaatje tijdig, dus bij een druk die lager ligt dan deze specificatie. De gemeten range in de bezwijkdruk bedroeg 213 – 248 bar.
- Het tijdstip van bezwijken van het breekplaatje lag in bijna alle gevallen tussen 2 en 4 minuten na begin van de test (het ontsteken van de brand). Alleen bij de eerste test was sprake van een langere tijdsduur tot aan afblazen van de overdruk. Deze als proefsessie bedoelde test onderscheidde zich van de daarop volgende experimenten in de positie van de cilinder ten opzichte van de warmtebron. Cilinder 1 was op enige afstand van het vuur geplaatst. Naar aanleiding van de daarbij opgedane ervaring zijn bij de opvolgende tests de cilinders direct tegen de rand van het vuur geplaatst. Aangezien de resultaten van het eerste experiment alleen afweken ten aanzien van de snelheid van opwarmen en drukverhoging, en niet ten aanzien van het gedrag na aanspreken van het

breekplaatje, is besloten om het proef-experiment ook deel te laten uitmaken van de resultaten.

- De variaties in het bezwijktijdstip van de breekplaatjes zijn waarschijnlijk in sterke mate veroorzaakt door de variaties in de weersomstandigheden tijdens de tests. Vooral de wisselingen in de wind(richting) beïnvloedden de maximale hitte-aanstraling van de geteste cilinders.
- Bij alle tests, op één na, werd na het bezwijken van het breekplaatje een snelle en niet verstoorde drukafname van de cilinders vastgesteld. Binnen 30 seconden na activering neemt de druk af tot 100 bar, binnen twee minuten daalt de druk naar 50 bar, en na 4 à 5 minuten is de cilinder 'drukloos'. Bij de ene uitzondering was sprake van een bijzondere uitvoering van de kraan op de cilinder; door een daarin geïnstalleerd terugslagklepje kon de cilinderdruk na barsten van het breekplaatje niet meer representatief worden gemeten. Uit audiovisuele waarnemingen kan toch worden geconcludeerd dat deze cilinder zich bij de blootstelling aan hitte heeft gedragen conform de andere negen geteste exemplaren.
- Alle cilinders hebben de tests doorstaan; dat wil zeggen dat geen van de geteste cilinders door de overdruk is bezweken of zichtbare vervormingen heeft opgelopen. Dit laatste afgezien van een door het vuur zwart-geblakerde buitenwand en van gesmolten kunststof delen zoals de beschermkap op de afsluiter.
- Er zijn geen significante verschillen geconstateerd in het gedrag van stalen cilinders ten opzichte van aluminium exemplaren.
- Bij de tests is geen vuurdovende werking door via de breekplaat vrijkomende CO₂ waargenomen. Dit hangt zeker samen met het feit dat de tests in de open lucht werden uitgevoerd, waardoor er steeds aanvoer van voldoende zuurstof kon plaatsvinden om de brand in stand te houden. In besloten (opslag)ruimten daarentegen, is het niet uitgesloten dat het koolzuurgas de heftigheid van een brand zal onderdrukken.

Uit de proeven is er geen noodzaak gebleken om uit oogpunt van explosiegevaar verregaande eisen te stellen aan de voorzieningen van opslag van deze koolzuurcilinders. Dit laatste uiteraard onder de voorwaarde dat wordt verzekerd dat bij de drankengroothandel en haar afnemers alleen cilinders worden toegepast die zijn voorzien van een deugdelijke overdrukbeveiliging zoals een breekplaatje. Wel verdient het aanbeveling om opslagruimten voor koolzuurcilinders als zodanig te kenmerken (middels een tekstbord of een schild/vignet) en in de aanvalsplannen van de BHV-organisatie van de betreffende bedrijven aandacht aan deze opslagen te besteden. Ook wordt aanbevolen om de externe (gemeentelijke) brandweer over de aanwezigheid van een opslag van koolzuurcilinders te informeren, en om het BHV-plan actief naar/met de externe hulpverlening te communiceren.

Inhoudsopgave

Samenvatting	3
Inhoudsopgave.....	5
1. Inleiding	7
2. Programma van experimenten.....	9
2.1 Begeleidingsgroep vaststelling testprogramma	9
2.2 Testprogramma	9
2.3 Bonfire test procedure.....	10
2.4 Testopstelling.....	11
2.4.1 Bonfire.....	11
2.4.2 Positie van de CO ₂ cilinder in de Bonfire	12
2.4.3 Vulgraad	13
2.5 Temperatuur- en drukmetingen	13
3. Resultaten Bonfire testen.....	15
3.1 Stalen cilinders.....	16
3.1.1 Activeren breekplaat	16
3.1.2 Afblaascapaciteit	18
3.2 Aluminium cilinders	19
3.2.1 Activeren breekplaat	19
3.2.2 Afblaascapaciteit	22
3.3 Algemene waarnemingen	23
4. Conclusies en aanbevelingen	25
4.1 Conclusies	25
4.2 Aanbevelingen	26
5. Referenties	27
6. Verantwoording	29

Bijlagen

1. Theoretische beoordeling van de risico's van koolzuurcilinders in een brandsituatie (een deskundigenoordeel)
2. Vulgraad cilinders
3. Detailfoto kraan + breekplaat
4. Bonfire test cilinder nr. 749759 (test 1)
5. Bonfire test cilinder nr. 722596 (test 2)
6. Bonfire test cilinder nr. 746155 (test 3)
7. Bonfire test cilinder nr. 522185 (test 4)
8. Bonfire test cilinder nr. 528621 (test 5)
9. Bonfire test cilinder nr. 62099 (test 6)
10. Bonfire test cilinder nr. 79351 (test 7)
11. Bonfire test cilinder nr. 129164 (test 8)
12. Bonfire test cilinder nr. 44110 (test 9)
13. Bonfire test cilinder nr. 52826 (test 10)

1. Inleiding

De Vereniging van de Nederlandse Groothandel in Dranken en Horecabehoeften (GDH) vertegenwoordigt de belangen van haar leden in de productie, handel en distributie van dranken voor levering via de horeca. Hierin vervult de GDH ook een coördinerende en adviserende rol in implementatie van regelgeving op het gebied van milieu en veiligheid in de keten van producten en behoeften van de betreffende branche.

Binnen het domein van veiligheid is de toepassing van koolzuurgas in drink- en mineraalwater, in frisdranken en in bier een onderwerp van belang. Zo adviseert de GDH haar leden en hun afnemers bijvoorbeeld over de toepassing van veiligheidsvoorzieningen in en rond de opslag van koolzuurcilinders, vanwege het risico van verstikking door zuurstofverdringing in geval van lekkage van zo'n cilinder.

Ingevolge het Besluit Opslag- en Transportbedrijven Milieubeheer wordt, in Paragraaf 1.6, vereist dat gasflessen, indien de totale hoeveelheid gasen groter is dan 115 liter, in een opslagplaats moeten zijn geplaatst die uitgevoerd is conform de eisen voor gevaarlijke stoffen die hiervoor gesteld zijn in CPR-15.1. In de bestaande situaties wordt hieraan bij veel van de betreffende (groothandel)bedrijven niet voldaan. Realisatie van een dergelijke uitvoering van de opslagplaatsen zal vaak grote investeringen vergen. Aangezien kooldioxide (koolzuur, CO₂) geen bijzonder milieuschadelijke stof is, is de vraag ontstaan of de aanwijzing van het CPR-15.1 regime (vooral bedoeld ter bescherming tegen verontreiniging van water en bodem door milieugevaarlijke stoffen) noodzakelijk is.

Wel wordt onderkend dat koolzuurcilinders in geval van sterke opwarming kunnen barsten door stijging van de inwendige druk. Ter voorkoming hiervan zijn de in Nederland gangbare cilinders standaard voorzien van een breekplaatje (breekdruk 250 bar). Bij bereiken van deze breekdruk zal het plaatje openbarsten en de overdruk van het gas naar de atmosfeer aflaten, waardoor bezwijken van de cilinder niet zal optreden. De breekplaatjes zijn echter niet specifiek ontworpen om ook de drukstijging door een zeer snelle opwarming (bijvoorbeeld een omgevingsbrand) voldoende snel af te voeren. Indien de capaciteit van het breekplaatje hiervoor onvoldoende blijkt, zal de cilinder alsnog barsten en mogelijk als een projectiel worden gelanceerd. Voor personen of hulpverleners in de nabijheid van zo'n brand kan dit tot ernstig letsel leiden.

De GDH heeft, mede via InfoMil, aan de afdeling Industriële Veiligheid van TNO Milieu, Energie en Procesinnovatie (TNO-MEP) opdracht gegeven om, middels een deskundigenoordeel, na te gaan of een brand in een opslag van CO₂-cilinders een reëel risico vormt voor de veiligheid van personen en/of gebouwen. Aan het deskundigenadvies is ook meegewerkt door Lloyds/Stoomwezen en door de Nederlandse Koolzuur Centrale; de laatste is marktleider op het gebied van levering van koolzuurcilinders aan leden van de GDH.

De conclusies van de deskundigen zijn aan de GDH gerapporteerd. Het rapport is als bijlage 1 aan dit rapport toegevoegd. Hieronder zijn in het kort de conclusies weergegeven:

- De bestaande uitvoering en praktijk rond opslagen van koolzuurcilinders kunnen het ontstaan van een brand niet uitsluiten;
- De theoretische afblaascapaciteit van een breekplaatje is (in orde grootte) gelijk aan, of iets hoger dan de drukverhoging die bij een standaard omgevingsbrand kan optreden. De gewenste veiligheidsmarge (overcapaciteit van ongeveer een factor 10) wordt volgens de berekening zeker niet gehaald. Het is dan ook niet geheel uit te sluiten dat een cilinder die aan een omgevingsbrand wordt blootgesteld als gevolg hiervan bezwijkt.
- Aangezien de afblaasvoorziening (breekplaatje) in Europa niet wettelijk verplicht is, valt niet uit te sluiten dat er ook cilinders zonder die voorziening in het circuit terechtkomen.
- Bij barsten van de cilinder door een hoge inwendige gasdruk is niet uit te sluiten dat fragmenten worden weggeslingerd en dat personen hierdoor getroffen kunnen worden. In het bijzonder moet hierbij gedacht worden aan werknemers, omwonenden en betrokkenen bij de hulpverlening, bijvoorbeeld brandweer.

Gezien de geconstateerde onzekerheden in het werkelijke gedrag van CO₂-cilinders bij blootstelling aan brand, is door TNO-MEP aan de GDH geadviseerd om door experimenteel onderzoek nader inzicht te verkrijgen in dit fenomeen. Hierbij is voorgesteld om een aantal cilinders te onderwerpen aan een zogenaamde Bonfire test. Dit is een gestandaardiseerde test van LPG-tanks welke vereist is voor toelating voor inbouw in personenauto's in Nederland.

Op basis van bovengenoemde rapportage heeft het bestuur van de GDH aan TNO-MEP opdracht gegeven voor de uitvoering van een aantal tests met CO₂ cilinders in een brand. Deze testen moeten antwoord geven op de volgende onderzoeksvragen:

1. Is de afblaascapaciteit van het breekplaatje voldoende om het barsten van een cilinder in een brandsituatie te voorkomen?
2. Op welk tijdstip na het ontsteken van de brand wordt het breekplaatje geactiveerd, bij welke druk en hoelang duurt het voordat de cilinder drukloos is?
3. Bestaat er verschil in gedrag tussen stalen cilinders en aluminium cilinders?
4. Heeft het via de breekplaat vrijkomende koolzuurgas een vuurdovende werking?

Dit rapport geeft een beschrijving van de uitgevoerde brandproeven. In hoofdstuk 2 wordt een overzicht gegeven van het programma van experimenten, de test procedure en de testopstelling. Hoofdstuk 3 gaat nader in op de resultaten van de Bonfire testen terwijl in hoofdstuk 4 de conclusies en aanbevelingen zijn weergegeven.

2. Programma van experimenten

2.1 Begeleidingsgroep vaststelling testprogramma

Omdat voor het beproeven van een CO₂ cilinder in een brand geen testprotocol beschikbaar was (zoals bijvoorbeeld voor LPG autotanks), is er een begeleidingsgroep (BG) samengesteld voor de vaststelling van de testcondities en van het programma van experimenten. De volgende partijen / personen waren in deze begeleidingsgroep vertegenwoordigd:

- De GDH, als opdrachtgever. De GDH werd vertegenwoordigd door mevrouw A.M. Nelck, secretaris.
- De Nederlandse Koolzuur Centrale, Sittard (NKC), als leverancier van koolzuurcilinders en marktleider voor levering aan leden van de GDH. Namens de NKC nam de heer D. Damoiseaux deel aan de BG.
- InfoMil, als adviseur voor het Ministerie van VROM en lagere overheden op het gebied van (toepassing van) regelgeving op milieugebied. Namens Infomil werd het BG-overleg bijgewoond door de heer M. Rams. InfoMil liet zich hierbij verder adviseren door het Centrum voor Externe Veiligheid van het RIVM, de heer H-J. Manuel.
- Lloyds Register / Stoomwezen, als test- en certificeringsinstelling voor drukapparatuur waaronder gascilinders. Namens Lloyds werd vertegenwoordigd door de heer J.A. Philipsen.
- Het Netwerk Officiëren Gevaarlijke Stoffen van de Nederlandse Vereniging voor Brandweezorg en Rampenbestrijding, vanuit de ervaring van brandbestrijding en de behoefte aan informatie ten behoeve van preparatie op bijzondere objecten. Het NVBR-OGS werd vertegenwoordigd door de heer D. Arentsen, werkzaam bij het NIBRA.

Op 8 mei 2003 is deze groep bijeen geweest voor afstemming over en vaststelling van het testprogramma. De bijeenkomst werd gecoördineerd door TNO-MEP, vertegenwoordigd door de heren J.M. Ham (projectleider), G. Kuipers en S.J. Elbers. De NVBR-OGS liet zich in deze bijeenkomst vertegenwoordigen door dhr. P.C. van Beek.

De leden van de begeleidingsgroep zijn in de gelegenheid gesteld om een gedeelte van de uitvoering van de tests bij te wonen. Hiervoor waren twee dagdelen beschikbaar gesteld. Ieder van de leden heeft van deze gelegenheid ook daadwerkelijk gebruik gemaakt.

2.2 Testprogramma

Tijdens het bovengenoemde overleg zijn de volgende afspraken gemaakt m.b.t. het testprogramma:

1. De voorkomende typen cilinders, te weten stalen cilinders en aluminium cilinders, worden in een brand beproefd. Van elk type worden vijf exemplaren getest.
2. De testen worden uitsluitend uitgevoerd voor cilinders welke voorzien zijn van een breekplaatje (breekdruk 250 bar).
3. De testen worden uitgevoerd met cilinders met een inhoud van 10 kg (13.4 liter), zijnde de CO₂ cilinders met de grootste inhoud die in de drankengroothandel worden aangetroffen. Uit oogpunt van de vereiste afblaascapaciteit worden deze cilinders als meest conservatief gezien.
4. De te testen cilinders worden door de NKC beschikbaar gesteld en, op instructie van TNO-MEP, voorzien van een aansluiting ten behoeve van de drukmeting.
5. De cilinders worden voorafgaande aan de test door NKC met de maximaal toelaatbare hoeveelheid CO₂ gevuld; de vulling wordt middels weging door TNO-MEP vastgesteld.
6. De testen worden uitgevoerd volgens het testprotocol voor LPG autotanks [1] met een aantal specifieke aanpassingen voor de CO₂ cilinders.

TNO-MEP heeft voor de uitvoering van Bonfire-tests de beschikking over een gedeelte van het oefenterrein (schietbaan) van het Infanterie Schietkamp Harskamp (de Veluwe). De beschikbaarheid is hierbij afhankelijk van vaststaande programma's voor gebruik van het terrein door de Landmacht van Defensie, en van het programma van de terreinbeveiliging en –brandweer van het Schietkamp. Het terrein was voor het Bonfire-testprogramma beschikbaar gedurende drie dagen in de periode 10 – 13 juni 2003.

In § 2.3 wordt nader ingegaan op het betreffende testprotocol voor LPG autotanks en de gemaakte aanpassingen voor de CO₂ cilinders. Paragraaf 2.4 geeft een beschrijving van de testopstelling terwijl in § 2.5 een overzicht is gegeven van de druk- en temperatuurmetingen.

2.3 Bonfire test procedure

In een Bonfire test wordt een voor 80% met commerciële LPG gevulde autotank blootgesteld aan een brand van gedefinieerde afmetingen. Als gevolg van deze brand neemt de temperatuur in de tank toe, evenals de druk. Tijdens de test wordt het functioneren van het op de tank aangebrachte beveiligingssysteem (een veer-veiligheid al dan niet in combinatie met een smeltveiligheid) bestudeerd.

Het resultaat van een uitgevoerde Bonfire test is geldig indien wordt voldaan aan de volgende punten:

1. Binnen 5 minuten na de start van de test bereikt de Bonfire een temperatuur van minimaal 590 °C. Deze temperatuur blijft tot het eind van de test gehandhaafd.
2. Het einde van de test wordt bepaald door het moment waarop de druk in de tank atmosferisch is.

3. De aanwezige LPG wordt uitsluitend afgeblazen via het op de tank aangebrachte beveiligingssysteem.
4. De autotank doorstaat de test, dat wil zeggen dat de tank als gevolg van de blootstelling aan de brand niet bezwijkt.

TNO –MEP is door RDW Voertuigtechniek en Informatie erkend als certificerende instantie voor uitvoering van deze testen t.b.v. toelating van nieuwe (typen) LPG autotanks in voertuigen.

2.4 Testopstelling

Op basis van de hierboven beschreven Bonfire test procedure is een testopstelling voor de CO₂ cilinders gemaakt. In de volgende paragrafen wordt nader ingegaan op deze testopstelling.

2.4.1 Bonfire

De afmetingen van de Bonfire (een open bak gevuld met brandstof) zijn: 1,65 x 1,2 meter (zie figuur 2-1). Voorafgaande aan elke test wordt de vloeistofbak gevuld met ongeveer 80 liter brandstof. Als brandstof is gekozen voor een mengsel van huisbrandolie (UN 1202) en kookpuntenbenzine (UN 1203) in een verhouding 3:1



Figuur 2-1 Overzicht van de vloeistofbak.

Vanwege het feit dat de testen in de buitenlucht plaatsvinden, zijn invloeden van wind op de Bonfire niet uit te sluiten. Om deze windinvloeden¹ echter zoveel mogelijk te beperken, zijn aan de achterzijde en zijkanten van de vloeistofbak stalen platen opgesteld die fungeren als windscherm. Deze platen moeten er voor zorgen dat het vuur regelmatig brandt en dat de vlammen niet van de cilinder weg worden geblazen.

2.4.2 Positie van de CO₂ cilinder in de Bonfire

In [1] is aangegeven dat de te testen autotank horizontaal² dient te worden opgesteld boven het midden van de brandstofbak. De tank dient daarbij op een frame te worden geplaatst om direct contact met de brandstof uit de vloeistofbak te voorkomen. De hoogte van het frame dient daarbij zodanig te worden gekozen dat de tank geheel door vlammen wordt omringd.

CO₂ cilinders

Vanwege het feit dat CO₂ cilinders tijdens opslag bij de drankengroothandel zich niet in de directe omgeving van brandstoffen / brandbare materialen bevinden, is besloten om de cilinders niet boven de vloeistofbak te plaatsen maar er naast. Hierdoor worden de cilinders niet geheel door vlammen omringd maar wel aangestraald. Dit representeert een brand van bijvoorbeeld het gebouw.

In de tests zijn de koolzuurcilinders verticaal geplaatst omdat dit de normale positie is in de opslag bij de drankengroothandel en bij transport.

In figuur 2-1 is de opstelling van de CO₂ cilinder weergegeven. Zoals uit deze figuur blijkt, is het frame deels in de vloeistofbak gepositioneerd zodat de daarop aanwezige CO₂ cilinder zich net buiten de vloeistofbak bevindt. Opgemerkt wordt daarbij dat tijdens test 1 het gehele frame buiten de vloeistofbak was geplaatst waardoor de cilinder zich zo'n 35 cm buiten de vloeistofbak bevond (zie figuur 2-2). Vanwege het feit dat de aanstraling van de cilinder tijdens deze test als onvoldoende werd beschouwd, is voor de overige testen gekozen voor een positionering zoals weergegeven in figuur 2-1.

¹ De aanwezigheid van wind zorgt in meer of mindere mate voor een onregelmatig brandend vuur. Daarnaast kan wind er voor zorgen dat de vlammen van de cilinder af worden geblazen.

² De positie waarin de LPG tank wordt getest is overeenkomstig de positie waarin de LPG tank in het voertuig is gemonteerd.



Figuur 2-2 Opstelling CO₂ cilinder tijdens test 1.

2.4.3 Vulgraad

Zoals aangeven in § 2.3 dienen de te testen LPG tanks voor 80% te worden gevuld, zijnde de maximale vulgraad van de tank.

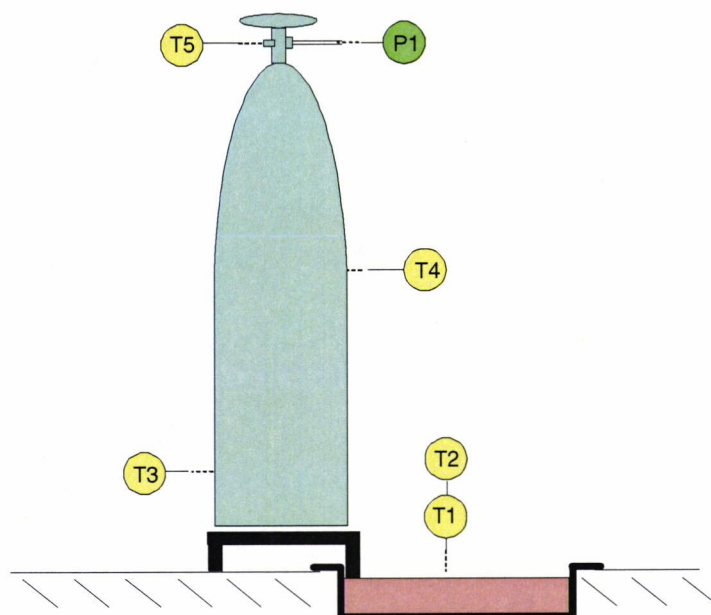
CO₂ cilinders

Voor de te testen CO₂ cilinders is uitgegaan van een vulling van 10 kg¹, zijnde de maximaal toegestane vulling. Gebaseerd op een volume van 13.4 liter komt deze vulling overeen met een dichtheid van 0.75 kg/m³. Voor de geteste cilinders is middels weging vóór en na de test de vulgraad vastgesteld (zie bijlage 2).

2.5 Temperatuur- en drukmetingen

Om het verloop van de druk en temperatuur tijdens de Bonfire test te kunnen volgen, zijn voorafgaande aan elke test een vijftal thermokoppels (genummerd T1 t/m T5) en een drukaansluiting (P1) op de CO₂ cilinder en op de testopstelling aangebracht. In figuur 2-3 is schematisch de opstelling van de CO₂ cilinder weergegeven en is tevens de locatie van T1 t/m T5 en P1 aangegeven.

¹ Met een door NKC gehanteerde tolerantie van 5% naar beneden toe.



Figuur 2-3 Schematische weergave opstelling CO₂ cilinder.

De thermokoppels T1 en T2 registreren de temperatuur van de Bonfire. De thermokoppels T3 en T4 meten de temperatuur aan de wand van de CO₂ cilinder. T3 registreert de temperatuur zo'n 10 cm boven de onderzijde van de cilinder, en is van het vuur af gericht. T4 bevindt zich halverwege de cilinder en is, in tegenstelling tot T3, naar het vuur toe gericht. Thermokoppel T5 tenslotte registreert de temperatuur aan de bovenzijde van de cilinder, ter hoogte van het breekplaatje. In tabel 2-1 is de positie van de thermokoppels samengevat.

Tabel 2-1 Positie van de thermokoppels.

Thermokoppel	Omschrijving
T1	Bonfire, linkerzijde
T2	Bonfire, rechterzijde
T3	Cilinderwand, onderzijde (van vuur af gericht)
T4	Cilinderwand, halverwege (naar vuur toe gericht)
T5	Bovenzijde cilinder, ter hoogte van breekplaat (van vuur af gericht)

Drukaansluiting P1 is bevestigd op de kraan en meet de heersende druk in de cilinder. Wel dient daarvoor de kraan opengezet te worden hetgeen afwijkend is van de wijze waarop de cilinders bij de drankengroothandel worden opgeslagen.

De bovengenoemde data zijn met een tijdsinterval van 10 seconden geregistreerd. Daarnaast is elke test op (video)tape vastgelegd om het gedrag tijdens de test achteraf te kunnen bestuderen.

3. Resultaten Bonfire testen

Zoals aangegeven in § 2.2 zijn in totaal tien Bonfire testen uitgevoerd, vijf testen met stalen CO₂ cilinders (test 1 t/m 5) en vijf testen met aluminium cilinders (test 6 t/m 10). De testen zijn uitgevoerd op 10, 11 en 12 juni 2003. In tabel 3-1 is een overzicht gegeven van de geteste cilinders. De testen 2 en 3 (10 juni) en de testen 5, 6 en 7 (11 juni) zijn bijgewoond door leden van de begeleidingsgroep.

Bij de selectie van de te testen cilinders is gekeken naar het productiejaar (1^{ste} keurdatum) van de cilinders uit het 'flessenpark' van de NKC. Hierbij is ernaar gestreefd om een mix van cilinders met verschillende leeftijden samen te stellen. Voor stalen cilinders varieert het productiejaar van geselecteerde cilinders tussen 1978 – 1991, voor aluminium cilinders tussen 1987 en 2001¹.

Elk van de testen is nader uitgewerkt en als aparte bijlagen aan dit rapport toegevoegd (zie tabel 3-1).

Tabel 3-1 Overzicht geteste cilinders.

Test		Cilinder		Uitwerking test
Nr.	Datum	Nr.	Type	
1	10-06-2003	749759	Staal	Bijlage 4
2	10-06-2003	722596		Bijlage 5
3	10-06-2003	746155		Bijlage 6
4	11-06-2003	522185		Bijlage 7
5	11-06-2003	528621		Bijlage 8
6	11-06-2003	62099	Aluminium	Bijlage 9
7	11-06-2003	79351		Bijlage 10
8	11-06-2003	129164		Bijlage 11
9	12-06-2003	44110		Bijlage 12
10	12-06-2003	54826		Bijlage 13

Dit hoofdstuk geeft op hoofdlijnen een beschrijving van de resultaten van de uitgevoerde Bonfire testen. In § 3.1 wordt nader ingegaan op de resultaten voor de stalen cilinders terwijl de resultaten voor de aluminium cilinders in § 3.2 zijn weergegeven. In § 3.3 ten slotte zijn de overige waarnemingen beschreven.

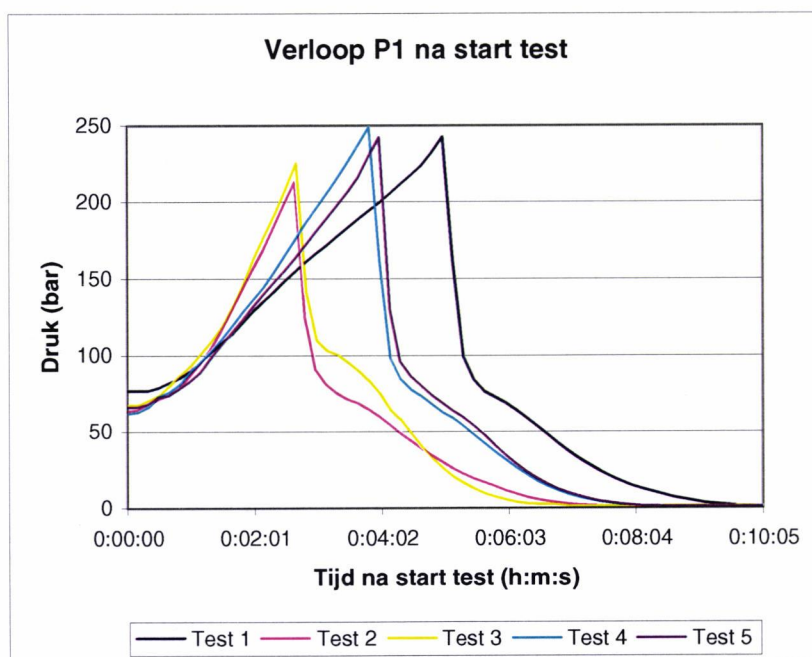
¹ Door de NKC zijn tot begin jaren '90 stalen cilinders ingekocht, vanaf deze periode zijn uitsluitend aluminium cilinders ingekocht.

3.1 Stalen cilinders

Achtereenvolgens wordt voor de stalen cilinders ingegaan op het activeren van de breekplaat (§ 3.1.1) en de afblaascapaciteit (§3.1.2).

3.1.1 Activeren breekplaat

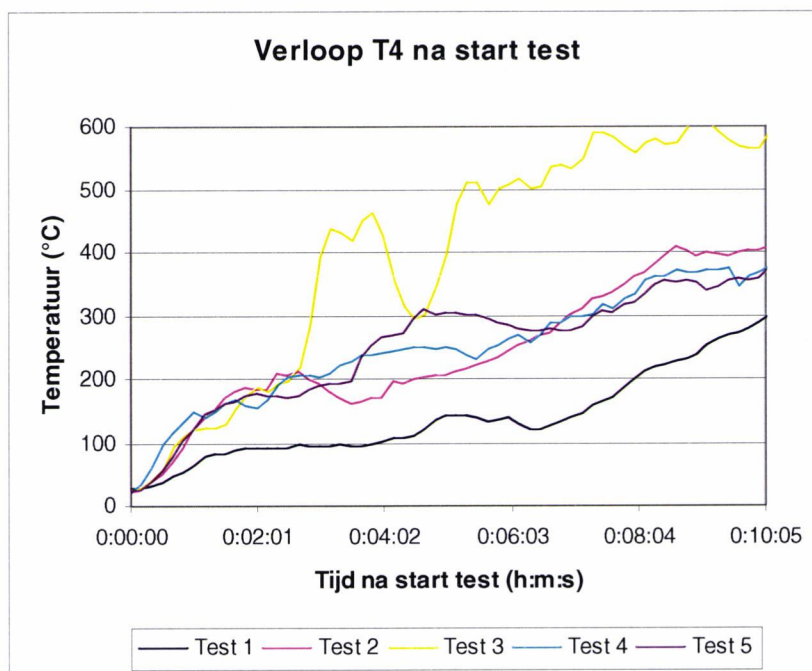
In figuur 3-1 is het verloop van de druk (P1) als functie van de tijd weergegeven voor de stalen cilinders (test 1 t/m 5).



Figuur 3-1 Overzicht drukverloop stalen cilinders.

Zoals uit figuur 3-1 blijkt, hebben de drukcurven voor de testen 1 t/m 5 hetzelfde verloop maar treden verschillen op met betrekking tot 1) het tijdstip waarop de breekplaat wordt geactiveerd en 2) de druk behorende bij dit tijdstip.

In tabel 3-2 zijn de gegevens met betrekking tot het activeren van de breekplaat opgenomen. Zoals uit deze tabel blijkt, varieert het tijdstip waarop de breekplaat opent tussen 2min-41sec en 4min-58sec. Om dit verschil in tijdstip te kunnen verklaren is in figuur 3-2 het temperatuurverloop van T4 weergegeven. Zoals aangegeven in § 2.5 meet dit thermokoppel de temperatuur op de cilinderwand, aan de zijde van het vuur. In feite geeft deze figuur dus de mate van aanstraling van de cilinder door de brand weer.



Figuur 3-2 Overzicht temperatuurverloop T4 stalen cilinders

Uit figuur 3-2 kan worden opgemaakt dat T4 tijdens test 1 ver achter blijft bij de waarde zoals gemeten tijdens de overige testen. Deze waarneming kan worden verklaard door het feit dat tijdens test 1 de cilinder verder van het vuur stond opgesteld dan tijdens de overige testen (zie ook § 2.4.2). De condities van de brand en de opwarming van deze cilinder, alsmede ook het afblaasgedrag geven echter geen aanleiding om test 1 als 'ongeldig' uit de experimenten te schrappen.

Verder blijkt uit figuur 3-2 dat tijdens test 3 in de tijdsperiode vanaf 2min-30sec voor T4 de hoogste temperatuur wordt gemeten. Door deze hogere temperatuur (in vergelijking tot de overige testen) neemt ook de druk in de cilinder relatief sneller toe waardoor de barstdruk van het breekplaatje eerder wordt bereikt. Dit blijkt overeen te komen met de waarnemingen uit tabel 3-2.

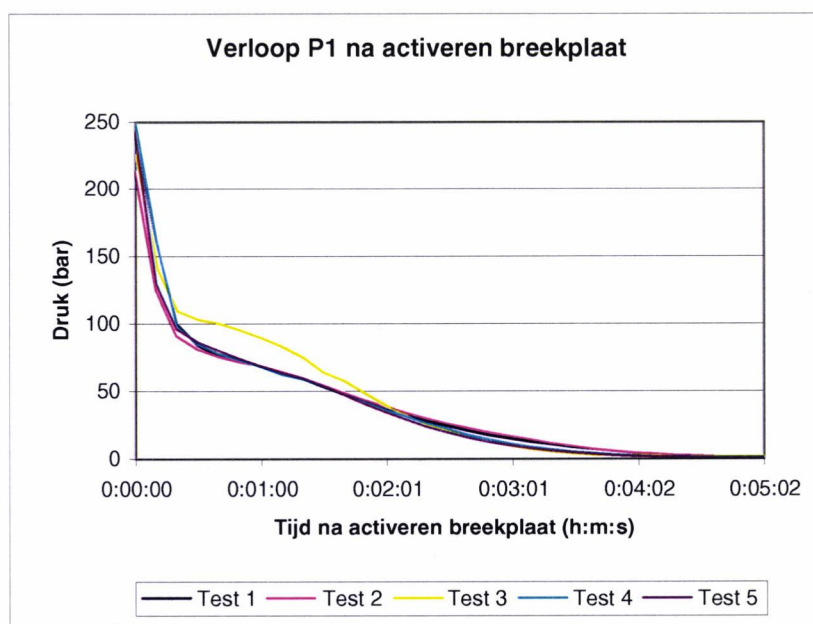
Tabel 3-2 Overzicht activeren breekplaat stalen cilinders.

Test	Activeren breekplaat		T5
	Tijdstip (h:m:s)	P1 (bar)	(°C)
1	04:58	243	82
2	02:43	213	265
3	02:41	225	108
4	03:53	248	57
5	03:55	242	70

In tabel 3-2 is naast het tijdstip van activering tevens de druk in de cilinder (P1) weergegeven op het moment dat de breekplaat wordt geactiveerd. Zoals uit de gegevens blijkt, varieert de openingsdruk tussen 213 en 248 bar. Vergeleken met de ontwerp breekdruk van de breekplaat (250 bar) wijkt de gemeten openingsdruk van 213 bar (test 2) zo'n 15% van deze waarde af. Om deze afwijking te kunnen verklaren is in tabel 3-2 tevens de gemeten temperatuur ter hoogte van de breekplaat (T5) weergegeven. Uit deze gegevens blijkt dat tijdens test 2 voor T5 een temperatuur wordt gemeten die veel hoger is dan de gemeten temperaturen tijdens de overige testen. Hieruit zou geconcludeerd kunnen worden dat door de hogere temperatuur ter plaatse van de breekplaat, de breekplaat z'n eigenschappen gedeeltelijk is kwijtgeraakt waardoor deze reeds bij een lagere druk is geactiveerd.

3.1.2 Afblaascapaciteit

In figuur 3-3 is voor de stalen cilinders het verloop van de druk in de cilinders (P1) weergegeven vanaf het moment waarop de breekplaat wordt geactiveerd.



Figuur 3-3 Overzicht drukverloop na activeren van de breekplaat, stalen cilinders.

Uit figuur 3-3 blijkt dat de drukcurven na activering van de breekplaat voor alle vijf de testen min of meer hetzelfde verloop vertonen met uitzondering van test 3 waar de curve in de tijdsperiode tot circa 2 minuten iets hoger ligt. Waarschijnlijk toont zich hier een sterkere druktoename als gevolg van de hogere temperatuur voor T4 tijdens deze test. In tabel 3-3 is een samenvatting gegeven van de drukafname door voor een drietal drukken (100 bar, 50 bar, atmosferisch) het bijbehorende tijdstip vanaf het moment van activering van de breekplaat weer te geven.

Tabel 3-3 Samenvatting drukverloop na activeren breekplaat, stalen cilinders.

Drukdeling tot:	Tijdstip bereiken druk (m:s)				
	Test 1	Test 2	Test 3	Test 4	Test 5
100 bar	00:20	00:20	00:50	00:30	00:20
50 bar	01:40	01:40	01:50	01:40	01:40
Atmosferisch	04:40	04:40	04:20	04:10	04:10

Uit tabel 3-3 blijkt dat na activering van de breekplaat de druk in de cilinder in de meeste gevallen in circa 20 seconden afneemt tot 100 bar, in de daaropvolgende periode van circa 1 minuut en 20 seconden daalt de druk van 100 tot 50 bar. Vervolgens duurt het nog zo'n drieëneenhalve minuut alvorens de druk atmosferisch is geworden.

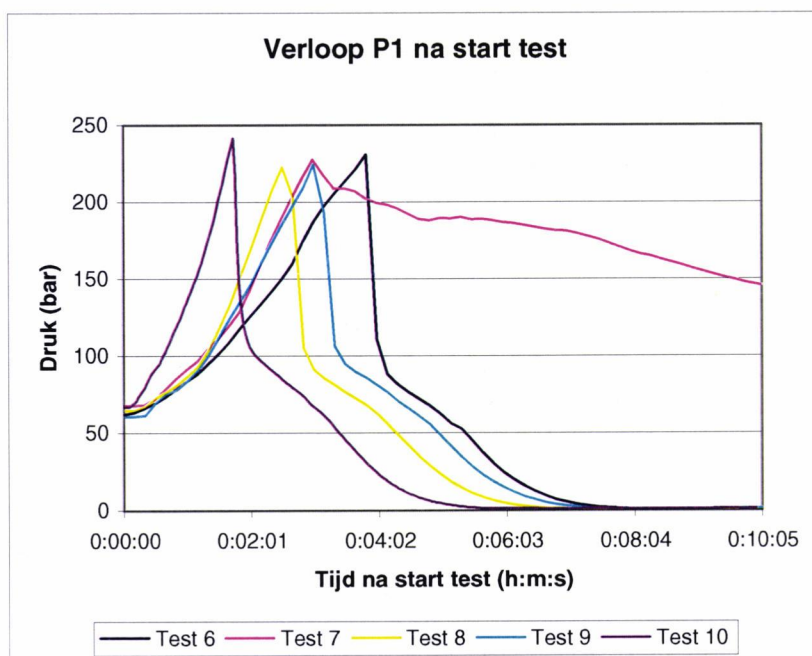
Uit het feit dat de druk na activering van de breekplaat uitsluitend daalt kan worden geconcludeerd dat de afblaascapaciteit voldoende groot is in verhouding tot de druktoename als gevolg van de sterke opwarming door de brand.

3.2 Aluminium cilinders

Achtereenvolgens wordt voor de aluminium cilinders ingegaan op het activeren van de breekplaat (§ 3.2.1) en de afblaascapaciteit (§3.2.2).

3.2.1 Activeren breekplaat

In figuur 3-4 is het verloop van de druk (P1) als functie van de tijd weergegeven voor de aluminium cilinders (test 6 t/m 10).

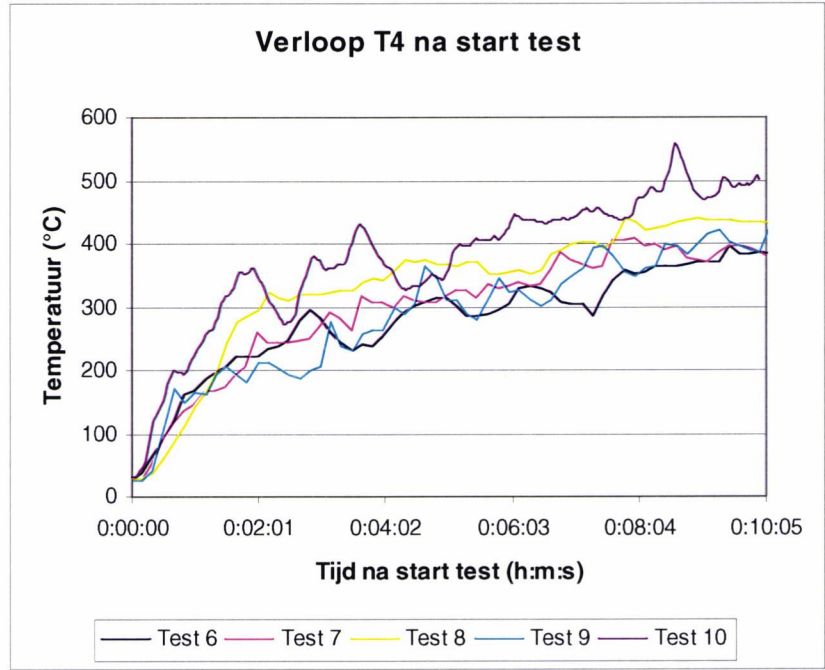


Figuur 3-4 Overzicht drukverloop aluminium cilinders.

Zoals uit figuur 3-4 blijkt, hebben de drukcurven behorende bij de testen 6, 8, 9 en 10 hetzelfde verloop maar treden verschillen op met betrekking tot 1) het tijdstip waarop de breekplaat wordt geactiveerd en 2) de druk behorende bij dit tijdstip. Test 7 daarentegen vertoont een afwijkend gedrag: de drukdaling in de cilinder lijkt veel trager te verlopen. Dit afwijkende gedrag kan worden verklaard door het feit dat tijdens test 7 een cilinder met een afwijkende kraan is getest. Deze kraan was voorzien van een beveiliging die bij een hogere druk in de leiding naar de afnemer (in dit geval de drukopnemer) dan in de cilinder, de leiding inblokt zodat terugstroming naar de cilinder toe wordt voorkomen. Deze situatie heeft zich voorgedaan op het moment dat de breekplaat werd geactiveerd waardoor niet langer de druk is gemeten in de cilinder maar die in de drukleiding tussen de cilinder en de drukopnemer. Hierdoor dient de betreffende drukmeting vanaf de activering van de breekplaat als onbruikbaar voor de bepaling van de druk in de cilinder te worden aangemerkt. Echter, de waarnemingen betreffende het moment van bezwijken van het breekplaatje, de visuele en VHS-video waarnemingen, alsmede de weging van de cilinder na de test geven aan dat de drukbeveiliging en -afblaas naar behoren heeft gefunctioneerd. Test nr. 7 is daarom voor de conclusies van het testprogramma behouden.

In tabel 3-4 zijn de gegevens met betrekking tot het activeren van de breekplaat opgenomen. Zoals uit deze tabel blijkt, varieert het tijdstip waarop de breekplaat opent tussen 01:46 en 03:53. Om dit verschil in tijdstip te kunnen verklaren is in figuur 3-5 het temperatuurverloop van T4 weergegeven. Zoals aangegeven in § 2.5 registreert dit thermokoppel de temperatuur op de cilinderwand, aan de zijde van

het vuur. In feite geeft deze figuur dus de mate van aanstraling van de cilinder weer.



Figuur 3-5 Overzicht temperatuurverloop T4 aluminium cilinders.

Uit figuur 3-5 kan worden opgemaakt dat voor T4 tijdens test 10 in het tijdsinterval tot 02:10 de hoogste temperatuur is gemeten. Door deze hogere temperatuur neemt ook de druk in de cilinder relatief sneller toe waardoor de breekdruk van het breekplaatje eerder wordt bereikt. Dit blijkt overeen te komen met de waarnemingen uit tabel 3-4.

Tabel 3-4 Overzicht activeren breekplaat aluminium cilinders.

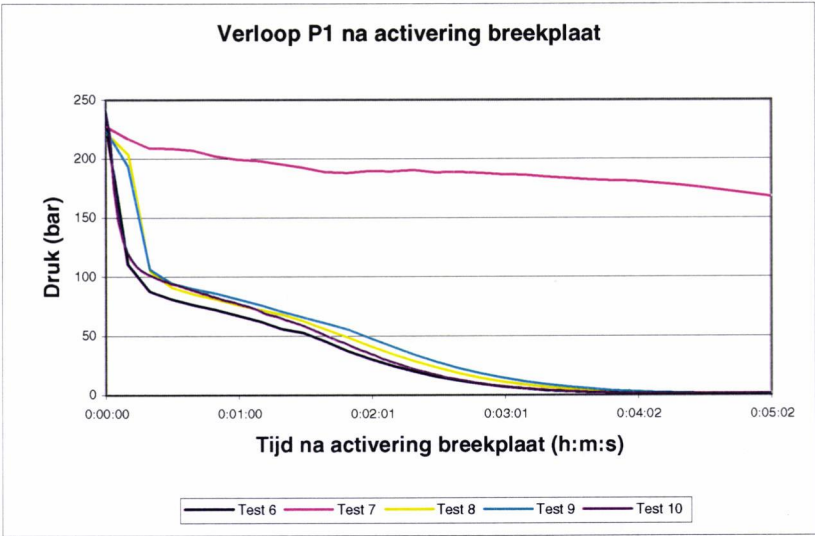
Test	Activeren breekplaat		T5
	Tijdstip (h:m:s)	P1 (bar)	(°C)
6	03:53	231	75
7	02:50	228	166
8	02:33	223	132
9	02:59	224	186
10	01:46	241	146

In tabel 3-4 is naast het tijdstip van activering tevens de druk in de cilinder (P1) weergegeven op het moment dat de breekplaat wordt geactiveerd. Zoals uit de gegevens blijkt, varieert de openingsdruk tussen 223 en 241 bar. Tevens is in deze tabel de gemeten temperatuur ter hoogte van de breekplaat (T5) weergegeven. De laagst gemeten druk waarbij de breekplaat wordt geactiveerd bedraagt 223 bar hetgeen overeenkomt met een afwijking van 11% ten opzichte van de ontwerp-

breekdruk van de breekplaat. Op basis van de gegevens uit tabel 3-4 is, in tegenstelling tot tabel 3-2, niet direct een verklaring te geven voor het verschil in druk waarbij de breekplaat wordt geactiveerd. Immers tijdens test 10 bedraagt de omgevingsdruk 241 bar bij een temperatuur T5 van 146 °C.

3.2.2 Afblaascapaciteit

In figuur 3-6 is voor de aluminium cilinders het drukverloop in de cilinder (P1) weergegeven vanaf het moment waarop de breekplaat wordt geactiveerd.



Figuur 3-6 Overzicht drukverloop na activeren van de breekplaat, aluminium cilinders.

Uit figuur 3-6 blijkt dat de drukcurven na activering van de breekplaat voor de testen 6, 8, 9 en 10 min of meer hetzelfde verloop vertonen. Zoals hierboven reeds aangegeven is het drukverloop na activering van de breekplaat voor test 7 ongeschikt voor nadere conclusies. In tabel 3-5 is een samenvatting gegeven van de drukafname door voor een drietal drukken (100 bar, 50 bar, atmosferisch) het bijbehorende tijdstip vanaf het moment van activering van de breekplaat weer te geven.

Tabel 3-5 Samenvatting drukverloop na activeren breekplaat, aluminium cilinders

Drukdaling tot:	Tijdstip bereiken druk (m:s)				
	Test 6	Test 7	Test 8	Test 9	Test 10
100 bar	00:20	- (1)	00:30	00:30	00:30
50 bar	01:40	- (1)	01:50	02:00	01:50
Atmosferisch	03:50	- (1)	04:10	04:20	03:50

Noot:

- (1) Zoals hierboven reeds aangegeven is de drukcurve voor test 7 niet geschikt voor nadere analyse vanaf het moment waarop de breekplaat wordt geactiveerd.

Uit tabel 3-5 blijkt dat na activering van de breekplaat de druk in de cilinder in circa 30 seconden afneemt tot 100 bar, in de daaropvolgende periode van circa 1 minuut en 20 seconden daalt de druk van 100 tot 50 bar. Vervolgens duurt het nog zo'n twee minuten alvorens de druk atmosferisch is geworden.

Uit het feit dat de druk na activering van de breekplaat uitsluitend daalt kan worden geconcludeerd dat de afblaascapaciteit voldoende groot is in verhouding tot de druktoename als gevolg van de sterke opwarming door de brand.

3.3 Algemene waarnemingen

Op basis van de uitgevoerde testen zijn de volgende algemene waarnemingen gedaan:

- Alle cilinders hebben de blootstelling aan de brand doorstaan.
- De cilinders vertoonden na de tests geen visueel waarneembare vervormingen of beschadigingen. Wel was de buitenzijde zwart-geblakerd en waren delen van de lak verdwenen. Ook kunststof delen, zoals de beschermkap op het kraanstuk, waren gesmolten of zelfs niet meer aanwezig.
- Tijdens geen van de testen is een lekkage opgetreden via een appendage anders dan via de breekplaat.
- Uit analyse van de breekplaten na de test wordt geconcludeerd dat de breekplaten in alle gevallen geheel geopend zijn (gatdiameter 6 mm), zie figuur 3-7.



Figuur 3-7 breekplaat.



Figuur 3-8 breekplaat met gestold product.

- Wel is op enkele breekplaten (test 7 en 9) gestold materiaal aangetroffen, zie figuur 3-8. Uit navraag bij de NKC is vastgesteld dat dit materiaal afkomstig is van de zitting van de kraan. Uit de drukcurven van de betreffende testen valt niet op te maken dat deze afzetting een nadelige invloed heeft gehad op de afblaascapaciteit. De indruk bestaat dat degradatie van de zitting pas aan het eind van de test is opgetreden, op het moment dat de kraan door de brand voldoende was opgewarmd. Een tweede argument hiervoor is dat afzetting van materiaal

op de breekplaat bij een lage druk (eind van de test) veel waarschijnlijker is dan bij hoge druk. Omdat aan het eind van de test de afblaascapaciteit een veel minder belangrijke rol speelt wordt verwacht dat afzetting van het materiaal geen negatieve invloed heeft op de werking van de breekplaat.

- Tijdens de Bonfire testen is geen vuurdovende werking van via de breekplaat vrijkomende CO₂ waargenomen. Daarbij wordt opgemerkt dat de testen in de buitenlucht zijn uitgevoerd waardoor voldoende aanvoer van zuurstof kon blijven plaatsvinden om de brand onbelemmerd in stand te houden. In de praktijk kan er sprake zijn van een besloten opslagruimte waardoor wel sprake zou kunnen zijn van een vuurverstikkende werking.
- In tabel 3-6 zijn de resultaten van brandtesten met de stalen cilinders en de aluminium cilinders samengevat. Daarbij wordt opgemerkt dat de resultaten van test 1 (grotere afstand tot vuur) en test 7 (ongeldige drukmeting) niet in deze tabel zijn opgenomen.

Tabel 3-6 Samenvatting resultaten stalen en aluminium cilinders

Type	Activeren breekplaat		Drukdaling na activering breekplaat tot		
	Tijdstip (m:s)	Druk (bar)	100 bar	50 bar	Atm.
Staal	02:41 – 03:55	213 - 248	00:20 – 00:50	01:40 – 01:50	04:10 – 04:40
Aluminium	01:46 – 03:53	223 - 241	00:20 – 00:30	01:40 – 02:00	03:50 – 04:20

Zoals uit tabel 3-6 blijkt komen de resultaten voor de stalen cilinders en die voor de aluminium cilinders min of meer met elkaar overeen. Op basis hiervan wordt geconcludeerd dat het gedrag tijdens een brandsituatie voor beide typen cilinders min of meer vergelijkbaar is.

4. Conclusies en aanbevelingen

Op basis van de resultaten van de uitgevoerde brandproeven met CO₂ cilinders (zie hoofdstuk 3) zijn in dit hoofdstuk de conclusies en aanbevelingen weergegeven.

4.1 Conclusies

In hoofdstuk 1 is een viertal onderzoeksvragen gedefinieerd. Op basis van de resultaten van de uitgevoerde brandproeven kan ten aanzien van deze onderzoeksvragen het volgende worden geconcludeerd:

1. Is de afblaascapaciteit van het breekplaatje voldoende om het barsten van een cilinder in een brandsituatie te voorkomen?
 ⇒ *Uit het verloop van de drukcurve na activering van de breekplaat wordt geconcludeerd dat de afblaascapaciteit voldoende groot is in verhouding tot de druktoename als gevolg van de sterke opwarming door de brand. Geconcludeerd is tevens dat de afblaascapaciteit niet negatief wordt beïnvloed door de afzetting van materiaal afkomstig van de zitting van de kraan.*
2. Op welk tijdstip na het ontsteken van de brand wordt het breekplaatje geactiveerd, bij welke druk en hoelang duurt het voordat de cilinder drukloos is?
 ⇒ *In tabel 4-1 is een samenvatting gegeven van de resultaten van de brandtesten met de stalen en aluminium cilinders. Daarbij wordt opgemerkt dat de resultaten van test 1 (grotere afstand tot vuur) en test 7 (ongeldige drukmeting) niet in deze tabel zijn opgenomen.*

Tabel 4-1 Samenvatting resultaten stalen en aluminium cilinders.

Type	Activeren breekplaat		Drukdaling na activering breekplaat tot		
	Tijdstip (m:s)	Druk (bar)	100 bar	50 bar	Atm.
Staal	02:41 – 03:55	213 - 248	00:20 – 00:50	01:40 – 01:50	04:10 – 04:40
Aluminium	01:46 – 03:53	223 - 241	00:20 – 00:30	01:40 – 02:00	03:50 – 04:20

Op basis van deze resultaten wordt geconcludeerd dat het tijdstip waarop de breekplaat activeert en de daarbij behorende druk afhankelijk zijn van de condities in de brand, welke mede beïnvloed werden door de weers- en windcondities.

3. Bestaat er verschil in gedrag tussen stalen cilinders en aluminium cilinders?
 ⇒ *Op basis van tabel 4-1 wordt geconcludeerd dat het gedrag tijdens een brandsituatie voor beide type cilinders min of meer vergelijkbaar is.*

4. Heeft het via de breekplaat vrijkomende koolzuurgas een vuurdovende werking?
- ⇒ *Tijdens de Bonfire testen is geen vuurdovende werking van via de breekplaat vrijkomende CO₂ waargenomen. Daarbij wordt opgemerkt dat de testen in de buitenlucht zijn uitgevoerd waardoor voldoende aanvoer van zuurstof kon blijven plaatsvinden. In de praktijk kan er sprake zijn van een besloten opslagruimte waardoor wel sprake zou kunnen zijn van een vuurverstikkende werking.*

4.2 Aanbevelingen

Met betrekking tot de testresultaten worden aan de GDH en aan de gebruikers van koolzuurcilinders de volgende aanbevelingen gedaan:

- In § 4.1 is geconcludeerd dat de afblaascapaciteit via de breekplaat voldoende groot is om het barsten van een cilinder in een brandsituatie te voorkomen. Op basis van deze conclusie bestaat er uit oogpunt van externe risico's (explosie) geen noodzaak voor bijzondere opslagvereisten. Wel kan een verhoogde CO₂ concentratie, welke kan ontstaan wanneer cilinders door de gevolgen van een brand zijn afgeblazen, in een besloten ruimte verstikkend werken. Daarom wordt aanbevolen om de aanwezigheid van CO₂ cilinders in het aanvalsplan van de BHV-organisatie op te nemen.
- In vervolg daarop wordt aanbevolen om de inhoud van dit aanvalsplan ook actief te communiceren met de gemeentelijke brandweer, respectievelijk de externe hulpverleningsdiensten.
- Aanbevolen wordt om de ruimten voor opslag van CO₂ cilinders als zodanig aan de buitenzijde herkenbaar te maken, door middel van een daarvoor bestemd waarschuwingsbord of –embleem.

Aan overige bij dit onderzoek betrokkenen wordt nog het volgende in overweging gegeven: In de marge van de uitgevoerde studie is meermalen de behoefte uitgesproken aan de ontwikkeling (of actualisatie) van richtlijnen voor de opslag van gascilinders, ook voor andere gassen dan koolzuur. Een initiatief daartoe via de Commissie Preventie van Rampen door Gevaarlijke Stoffen (CPR) of de haar opvolgende instantie wordt sterk aanbevolen.

5. Referenties

- [1] Draft supplement 2 to Regulation No. 67 (equipment for liquefied petroleum gas)
Economic and Social Council, United Nations
TRANS/WP.29/656, 12 January 1999
- [2] Corrigendum 1 to supplement 2 to regulation No. 67 (equipment for liquefied petroleum gas)
Economic and Social Council, United Nations
TRANS/WP.29/699, 9 December 1999

6. Verantwoording

Naam en adres van de opdrachtgever:

Vereniging GDH
T.a.v. Mevrouw A.M. Nelck
Postbus 26155
3002 ED Rotterdam

Namen en functies van de projectmedewerkers:

Ing. J.M. Ham - projectleider
Ing. S.J. Elbers – projectmedewerker, coördinator Bonfire tests
G. Kuipers, Ing. J. Kruize en Ing. H.J. Olthuis - projectmedewerkers meetteam

Namen van instellingen waaraan een deel van het onderzoek is uitbesteed:

-

Datum waarop, of tijdsbestek waarin, het onderzoek heeft plaatsgehad:

Mei - Juni 2003

Ondertekening:



Ing. J.M. Ham
projectleider

Goedgekeurd door:



Ir. J.J. Meulenbrugge
afdelingshoofd

Bijlage 1 Theoretische beoordeling van de risico's van koolzuurcilinders in een brandsituatie (een deskundigenoordeel)



TNO Briefrapport
TNO-MEP – BR 2003/110

**TNO Milieu, Energie
en Procesinnovatie**

TNO-MEP
Laan van Westenenk 501
Postbus 342
7300 AH Apeldoorn

Telefoon: 055 549 34 93
Fax: 055 541 98 37
Internet: www.mep.tno.nl

Opdrachtgever
Vereniging GDH
t.a.v. Mevrouw A. Nelck
Postbus 26155
3002 ED Rotterdam

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.

© 1997 TNO

Verantwoording
Afdeling Industriële Veiligheid

Ondertekening:

Ing. J.M. Ham
projectleider

Het kwaliteitssysteem van TNO Milieu, Energie en
Procesinnovatie voldoet aan ISO 9001.

TNO Milieu, Energie en Procesinnovatie is een nationaal en
internationaal erkend kennis- en contractresearch instituut
voor bedrijfsleven en overheid op het gebied van duurzame
ontwikkeling en milieu- en energiegerichte procesinnovatie.

Theoretische beoordeling van de risico's van koolzuurcilinders in een brandsituatie (een deskundigen-oordeel)

Datum
Maart 2003

Auteur(s)
Ing. J.M. Ham

Projectnummer
34408

Rubricering
**koolzuur
cilinders
bonfire**

Aantal pagina's
14

Goedgekeurd door:

Ir. J.J. Meulenbrugge
afdelingshoofd

Nederlandse Organisatie voor toegepast-
natuurwetenschappelijk onderzoek TNO

Op opdrachten aan TNO zijn van toepassing de Algemene
Voorwaarden voor onderzoeksopdrachten aan TNO, zoals
gedeponeerd bij de Arrondissementsrechtbank en de
Kamer van Koophandel te 's-Gravenhage.



1. Inleiding

Naar aanleiding van in de praktijk vaak opgelegde vereisten rond de uitvoering van de opslag van koolzuurcilinders bij bedrijven in de drankengroothandel en de vaak ingrijpende maatregelen die moeten worden getroffen om de inrichtingen aan deze vereisten te laten voldoen, heeft de Vereniging van de Nederlandse Groothandel in Dranken en Horecabenodigdheden (GDH) te Rotterdam in overleg met Infomil en enkele deskundigen verzocht om zich te buigen over de als volgt geformuleerde vraag:

“Geef aan of er wel of geen aanvaardbare veiligheidsrisico’s zijn ten aanzien van koolzuurcilinders indien brand plaatsvindt in een ruimte waar koolzuurcilinders zijn opgeslagen. Deze risico’s moeten worden benoemd en aantoonbaar zijn. De situatie bij de drankengroothandel dient hierbij als uitgangspunt.”

Op dinsdag 4 maart 2003 (14.20 – 16.50 uur) vond over dit onderwerp een bespreking plaats in Hotel Mercure te Bunnik, waaraan de volgende personen deelnamen:

- Ir. D. Damoiseaux, van Nederlandse Koolzuur Centrale (NKC) te Sittard, marktleider voor de levering van CO₂ ten behoeve van (ondermeer) de drankenindustrie, drankengroothandel en horeca;
- Ing. J.A. Philipsen, van Stoomwezen / Lloyd’s Register te Rotterdam; specialist transportable containers;
- Ing. S.J. Elbers, van TNO-MEP te Apeldoorn; onderzoeksmedewerker, projectleider Bonfire-tests;
- Ing. J.M. Ham, van TNO-MEP te Apeldoorn; senior projectleider veiligheidsstudies.

In dit verslag zijn de beschrijvingen en conclusies van de bespreking van 4 maart gerapporteerd. Deze zijn verder aangevuld met in het kader van deze rapportage uitgevoerde berekeningen en verder (literatuur)onderzoek, en met aanvullende opmerkingen van de aanwezigen bij de eerste versie van dit rapport.

2. Situatie-beschrijving

Voor de opslag van CO₂-cilinders worden in [1] en [2] eisen gesteld aan voorzieningen voor:

- Brandpreventie: geen vuur of warmtebronnen in de buurt; brandwerendheid van opslagruimten of belendende gebouwen gedurende 30 minuten. Deze eis geldt zowel voor binnen- als voor buitenopslag
- Preventie van verstikkingsgevaar bij binnenopslag: CO₂-detectie en alarmen; ruimteventilatie; persoonlijke beschermingsmiddelen.
- Specifieke vereisten voor buitenopslag: onder afdak; beschermd tegen vandalisme en diefstal; etc.



In de praktijk blijkt dat vooral bij de implementatie van deze voorzieningen en bij de beoordeling door bevoegd gezag en brandweer verschillen ontstaan in de interpretatie van de vereisten. Zo is gebleken dat de interpretatie van bestaande regelgeving er in een aantal situaties toe heeft geleid dat aan de uitvoering van de opslag eisen werden gesteld conform die voor opslag van chemicaliën volgens CPR-15. Het standpunt van het Ministerie van VROM is weliswaar dat de bedoelde CPR-richtlijn niet bedoeld is voor opslagen van gascilinders maar het blijkt dat via wijzigingen uit andere ministeriële regelingen (onder andere voor opslag- en transportbedrijven) deze koppeling wel wordt gelegd [3].

Cilinders voor koolzuur zijn onder te verdelen in drie maten, te weten met inhoud van 10 kg, van 6 kg en van 2 kg. De volumes van de cilinders bedragen respectievelijk circa 13,4 liter, 8,0 liter en 2,7 liter.

Bij een drankengroothandel worden deze cilinders verpakt in boxpallets van 30 stuks à 10 kg, van 42 stuks à 6 kg, en van 55 stuks à 2 kg. De cilinders staan recht op naast elkaar binnen de box. De boxpallets kunnen in een opslag worden gestapeld, volgens de regels tot maximaal vijf hoog, in de praktijk meestal niet meer dan vier.

Een opslag van gascilinders valt onder CPR-15.1, indien er binnen de betreffende inrichting meer dan 115 liter koolzuur in cilinders aanwezig is. Gezien de omvang van één boxpallet (150 – 400 liter) wordt deze grenswaarde-hoeveelheid bij drankengroothandels in de praktijk dus (vrijwel) altijd overschreden. Volgens schatting van NKC is in zeker 95% van de bedrijven meer dan 115 liter koolzuur in cilinders aanwezig.

Over de cilinders wordt verder nog het volgende opgemerkt:

- Koolzuurcilinders worden zowel in naadloos staal als in naadloos aluminium uitgevoerd. Deze materialen hebben een verschillend gedrag bij sterke verwarming. Staal vertoont vervloeiing bij temperaturen vanaf circa 600 °C, terwijl verzwakking van aluminium reeds bij 300 °C kan optreden.
- De in Nederland gangbare cilinders zijn voorzien van een overdrukbeveiliging. Deze is uitgevoerd als een op het ventiel gemonteerd stopje voorzien van een breekplaatje en een afblaaskanaaltje. Wanneer de bezwijkdruk van het breekplaatje (circa 250 bar, tolerantie +/- 10 %) wordt overschreden, blaast de inhoud van de cilinder naar buiten. De beveiliging is ontworpen op het volledig leegblazen bij een overdruksituatie ten gevolge van verhoging van de temperatuur, bijvoorbeeld door langdurige blootstelling in de felle zon. De voorziening is niet bedoeld en ontworpen om een extreme drukverhoging in een brandsituatie te verwerken.
- De druk-ontwerpeisen van de 250 bar koolzuurcilinders zijn als volgt:
 - Afvuldruk en werkdruk, onder gebruikscondities: circa 60 bar. Bij een druk van 59,3 bar en een temperatuur van 22,2 °C is de cilinder geheel gevuld met vloeibare koolzuur.
 - Ontwerpdruk, en afblaasdruk breekplaatje: 250 bar. Deze druk wordt bij een gevulde cilinder bereikt bij circa 70 °C.
 - Beproevingdruk: 393 bar (~1,5 x ontwerpdruk).
 - Barstdruk: 600 – 800 bar.



- De variatie in de cilinderinhouden (10, 6 en 2 kg) heeft vooral een praktische reden. Afhankelijk van het koolzuurverbruik bij de klanten (eindafnemers in de horeca) kan een grotere (10 kg) of een kleinere (6 kg) cilinder aantrekkelijk zijn. De toepassing van het kleinste type (2 kg) komt vooral voort uit het feit dat bij cilinders met een inhoud van 3 kg of meer, volgens Beleidsregel 4.4-9 binnen de ARBO-wetgeving [1], vereisten moeten zijn vervuld ten aanzien van voorkoming van verstikkingsgevaar door CO₂-lekkages in besloten ruimten (extra ventilatie en/of gasdetectie). Afnemers kiezen dan graag voor de 2 kg cilinders. De besparing op investeringen bij achterwege laten van de genoemde veiligheidsvoorzieningen weegt vaak op tegen de marginale meerkosten van kleinere cilinders (vaker wisselen, duurder per kilogram).

3. Brandrisico's

De door de GDH en Infomil geformuleerde vraagstelling (zie paragraaf 1) is in het bijzonder gericht op de veiligheid van de cilinders in een brandsituatie. In de discussie over het al dan niet bestaan van (on)aanvaardbare risico's werden ook de aspecten van de kans op ontstaan van een brand in of nabij de opslag aan de orde gesteld, alsmede de mogelijke effecten van het eventueel falen van de cilinders. Voor wat dit laatste betreft, werd de vraag opgeworpen of het denkbaar is dat personen zich (blijvend) ophouden in de opslagruimte terwijl daar een brand heerst. Bijzondere aandacht moet hierbij besteed worden aan de (externe) hulpverlening, zoals de brandweer.

Gelet op genoemde discussie is besloten om een driedeling in de risico's te maken: ontstaan van brand, gedrag van de cilinder(s) en gevaar voor personen. De nadruk ligt hierbij op de vraagstelling van de GDH en Infomil welke gericht is op de cilinders zelf, binnen de omgeving van de drankengroothandel. Om de beschrijving van bevindingen over mogelijke gebeurtenissen te structureren, is een feitenboom opgesteld. Hierin wordt steeds bij een veronderstelde conditie de vraag gesteld of (en hoe) deze kan optreden, waarna afhankelijk van het JA/NEE-antwoord wordt vastgesteld wat de gevolgen of ontwikkelingen kunnen zijn. De feitenboom is in figuur 1 gegeven. De volgende condities / vragen worden achtereenvolgens onderscheiden:

1. Is de brandpreventie afdoende, m.a.w.: kan er brand ontstaan of niet?
2. Zijn er blusvoorzieningen aanwezig?
3. Is de afblaascapaciteit van het breekplaatje voldoende?
4. Scheurt de cilinder bij bezwijken gecontroleerd open, of explodeert deze?
5. Bevinden personen zich op een veilige afstand?

De besproken of beoordeelde condities en de daaruit volgende gebeurtenissen zijn hierna in afzonderlijke paragrafen beschreven.

3.1 Brandpreventie

In de 'checklist opslag koolzuurcilinders' van de GDH [2] wordt aangegeven dat de cilinders 'niet in de nabijheid van vuur of andere warmtebronnen opgeslagen mogen worden'. Over vermijden van de mogelijke aanwezigheid van brandbare materialen (papier, hout, kunststoffen) wordt niet expliciet gesproken.



Bij toepassing van vereisten volgens CPR-15.1 dient de opslagruimte zelf van brandwerende wanden en eventuele compartimentering te zijn voorzien, zodat brand in belendende ruimten zich niet snel zal uitbreiden naar de koolzuuropslag. Bij strikte en volledige toepassing van de genoemde regels zal de kans op het ontstaan van een brand gering zijn, maar niet nihil. Bovendien is uitvoering van de opslag conform CPR-15 bij de drankengroothandel niet (overal) de gangbare praktijk. Verder werd opgemerkt dat het in perioden van grote omzet van dranken en koolzuur (bijvoorbeeld: zomerperiode, feestdagen, evenementenweekends, carnaval) logistiek niet altijd mogelijk is om alle wisselcilinders weer direct in de daartoe ingerichte opslagruimte te plaatsen. Minder gecontroleerde opslag, ook van losse flessen, wordt dan in de praktijk regelmatig aangetroffen. Hierbij kan ook de nabijheid van brandbare materialen niet worden uitgesloten. Geconcludeerd moet worden dat de mogelijkheid van een brand in de opslagruimte niet voor 100% kan worden uitgesloten.

3.2 *Repressie door blussing*

Er werden tot nu toe in het algemeen geen bijzondere eisen gesteld aan de aanwezigheid van brandblusvoorzieningen in de opslagruimten, zoals sprinklers. Door NKC werd opgemerkt dat dit onder het regime van CPR-15.1 mogelijk voor grote opslagoppervlakken wel verlangd kan worden; dit moet nog worden uitgezocht. Een beginnende brand zal in de meeste gevallen worden aangevallen met handblusmiddelen, zoals een waterslang of een poederblusser. Dit zal in eerste instantie door eigen personeel ter hand worden genomen, eventueel later geassisteerd door de externe brandweer. Vanwege de aard van de meest waarschijnlijke branden (vooral vaste materialen), zal in veel gevallen een vroegtijdige blussing mogelijk zijn. Er bestaat echter geen informatie over de vereiste snelheid (beschikbare tijd) van blussen om te voorkomen dat de aanwezige cilinders zodanig worden verhit dat ze door drukverhoging beschadigd zouden raken. Een bijzondere situatie doet zich voor wanneer een brand ontstaat buiten de reguliere werktijden, wanneer er dus ook geen personeel aanwezig is voor de eerste blusinzet. In die gevallen is men aangewezen op de latere alarmering en inzet van de externe brandweer. Afhankelijk van de escalatiesnelheid van de brand bestaat er een gerede kans dat de blussing te laat begint en branduitbreiding niet meer kan worden voorkomen. De hittestraling op de cilinders kan dan tot verhoging van de temperatuur en de druk van de koolzuurinhoud leiden.

3.3 *Breekplaatje en afblaasventiel*

Bij stijgen van de druk in een cilinder tot hoger dan 250 bar, dient het breekplaatje in het afblaasventiel te barsten. Hierdoor ontstaat een gaatje met een door NKC geschatte diameter van 1 à 2 millimeter waardoor het gas kan ontsnappen voordat de druk tot schade aan, en mogelijk zelfs barsten van de cilinder zou leiden. De aangenomen doorstroombiameter van het breekplaatje (1,5 mm) is mogelijk onderschat. De doorlaat van de fitting waarin dit plaatje is gemonteerd is ongeveer 5 mm in diameter, waarna het spuitstukje drie gaatjes van 1,5 à 2 mm heeft. Het verbindingskanaaltje tussen de cilinderinhoud en het breekplaatje heeft, volgens tekening, een diameter van ongeveer 2 mm, en een lengte van circa 8 mm. Dit kanaaltje kan daarom de doorlaat-beperkende factor vormen.



Bekend is verder dat de materiaalsterkte van het breek-plaatje afneemt bij hogere temperatuur, waardoor het in geval van brand waarschijnlijk bij een lagere druk zal bezwijken.

Het afblaasventiel is niet specifiek ontworpen op het beschermen van de cilinder tegen drukverhoging als gevolg van extreme warmte-input. Uiteraard zal het een bijdrage leveren aan het vertragen of voorkomen van blijvend oplopen van de druk, waarbij het uitgeblazen koolzuurgas bovendien een vuurdovende werking kan hebben.

Bij de bespreking had de NKC drie koolzuurcilinders meegebracht die aan een brand waren blootgesteld geweest. De zichtbare schade was beperkt tot een gesmolten beschermkap over het afsluiterventiel en uitwendige zwarting van de cilinders door roet en een afgebladderde verflaag. De cilinders zelf bleken mechanisch intact. De brandomstandigheden (aard van aanwezige brandbare stoffen of constructie) waren verder niet bekend. Ook was niet vast te stellen welke beschermen de functie het breekplaatje in ieder van de gevallen heeft gehad.

Door Stoomwezen is opgemerkt dat in Amerika voor persluchtcilinders eisen bestaan voor het snel van druk afblazen in geval van brand. Hiervoor worden ook breekplaatjes toegepast. De gerapporteerde ervaringen daarmee zijn positief, in de zin dat de cilinders na 1,5 minuten leegliepen zonder noemenswaardige beschadigingen.

De deskundigen zijn gezamenlijk van mening dat bij het toekennen van credit aan de overdrukbeveiliging door het afblaasventiel een ruime veiligheidsfactor moet bestaan tussen de verwachte drukstijging en dampvorming enerzijds, en de afblaas-snelheid anderzijds. Deze veiligheidsfactor zou bijvoorbeeld minstens een factor 3 tot 10 moeten zijn.

In de bespreking is geopperd om de effectiviteit van het breekplaatje en afblaasventieltje nader vast te stellen, op twee manieren:

Experimenteel:

Voorgesteld is om een cilinder moedwillig te overvullen en deze vervolgens te verwarmen (bijvoorbeeld in een bak met heet water). Na openen van het breekplaatje wordt dan de grootte van het uitstroomdebiet vastgesteld uit weging van de gewichtsafname en de tijdsduur van de uitstroming. Hierbij is vooral de eerste fase van drukontlasting van belang, bijvoorbeeld over het traject van ontwerpdruk (250 bar) tot beneden de werkdruk (bijv. 30 bar).

Dit experiment is uitgevoerd door NKC. De waarnemingen zijn beschreven in een intern testrapport, gedateerd 18 maart 2003 [4]. Samengevat zijn de resultaten:

- Het breekplaatje barstte bij een druk in de cilinder van 247 bar. Dit ging gepaard met een harde knal.
- In de eerste 15 sec. daalde de druk snel, naar circa 50 bar. De drukafname bedraagt dan circa 13 bar/sec. De gewichtsafname bedraagt 1,5 kg, ofwel 0,1 kg/sec
- De drukdaling tot 30 bar duurt circa 100 sec. Dit komt overeen met een gemiddelde drukdaling van 2,2 bar/sec. De gewichtsafname over deze periode bedraagt circa 4,4 kg, ofwel 0,044 kg/sec



Berekening:

Uitgaande van een initiële druk van 250 bar wordt het uitstromingsdebiet berekend en vergeleken met de potentiële verdampingssnelheid van de inhoud wanneer de cilinder direct door de vlammen van een brand wordt aangestraald.

Een dergelijke theoretische benadering kent een aantal onzekerheden en bovendien moet een aantal aannamen worden gedaan over onbekende fysische omstandigheden.

De belangrijkste onzekerheden liggen in de vrij lage kritische temperatuur van CO₂, namelijk 31 °C. Boven die temperatuur kan de stof niet meer als vloeistof bestaan en is het een gas met een hoge dichtheid en een relatief hoge viscositeit. De voor ideale gassen geldende thermodynamische – en stromingswetten gaan voor superkritische stoffen niet meer op. De berekeningen van uitstromingsdebiet, verdamping, temperatuur- en drukverhoging kunnen dan alleen op benaderende wijze worden uitgevoerd waardoor uitersten van de resultaten worden verkregen.

De theoretische uitstromingssnelheid en (daardoor) drukvermindering bij barsten van het breekplaatje is op drie manieren berekend:

- a. Benadering als vloeistofuitstroming:
De volgende uitgangspunten zijn genomen: gatdiameter 1,5 mm, dichtheid van de 'vloeistof' 0,746 kg/liter, afblaasdruk 250 bar.
De uitstroming bedraagt dan circa 0,2 kg/sec. Dit model veronderstelt dat de druk constant is.
- b. Benadering als gasuitstroming uit een gaatje in de cilinderwand:
De volgende uitgangspunten zijn genomen: gatdiameter 1,5 mm, dichtheid van het 'gas' 0,746 kg/liter, afblaasdruk initieel 250 bar.
De uitstroming bedraagt dan circa 0,07 kg/sec. De drukafname tot 30 bar gebeurt in 135 sec (ruim 2 min.), en bedraagt gemiddeld 1,6 bar/sec.
- c. Benadering als gasuitstroming uit een buisje op de cilinderwand (kanaaltje in afblaasventiel).
De volgende uitgangspunten zijn genomen: gatdiameter 1,5 mm, lengte buisje 10 mm, dichtheid van het 'gas' 0,746 kg/liter, afblaasdruk initieel 250 bar.
De uitstroming bedraagt dan initieel circa 0,07 kg/sec. De drukafname tot 30 bar gebeurt in 150 sec (2,5 min.), en bedraagt gemiddeld 1,5 bar/sec.

Afhankelijk van de gekozen modellering, wordt een afblaascapaciteit berekend van 0,07 - 0,2 kg/s, en een drukafname voor gas van gemiddeld 1,5 – 1,6 bar/sec. De uitstroming van 0,2 kg/sec is berekend voor de aanname dat het koolzuur zich als een vloeistof gedraagt; zoals ook uit het experiment blijkt, levert dit een overschatting van het uitstroomdebiet op. De aanname blijkt overschattend, en dus niet correct.

De berekende waarden voor gasuitstroming stemmen redelijk overeen met de waarnemingen in het beschreven experiment, waarbij opgemerkt wordt dat de initiële uitstroming en drukverlaging (dus gedurende de eerste seconden) bij de test beduidend hoger lagen dan de berekeningen voorspellen.

Voor de berekening van de dampvorming en drukverhoging per tijdseenheid in geval van brand is uitgegaan van de volgende veronderstellingen:

- De brand heerst in een stapel hout; de hierdoor veroorzaakte warmtestraling bedraagt 50 kW/m². (Opm.: Deze waarde kan als representatief worden genomen voor brand van een gebouw. Bij brand van benzine, propaan of aardgas



treden veel hogere warmtestralingen op, tot 150 à 200 kW/m² of meer. Dit wordt echter als te pessimistisch beschouwd voor de situatie bij een dranken-groothandel.).

- Het aangestraalde wand-oppervlak van een cilinder van 14 liter bedraagt circa 0,40 m². (Opm.: aangezien de cilinders binnen een boxpallet zijn omgeven door andere cilinders, is dit een enigszins conservatieve aanname. Voor de berekening wordt verondersteld dat de gehele cilinder door vuur is omringd en dat deze geen afscherming ondervindt van de andere cilinders).
- Hieruit volgt een warmte-belasting op de cilinderwand van 20 kW, ofwel 20 kJ/sec.

Aangezien alleen het temperatuurtraject boven de kritische temperatuur van belang is ($t > 31\text{ °C}$), bevat de cilinder uitsluitend gasvormig CO₂. De geabsorbeerde warmte wordt dan volledig gebruikt voor temperatuurverhoging van het koolzuur en van het cilindermetaal. De aangenomen warmtebelasting resulteert dan in een temperatuurverhoging van circa 0,8 °C/sec. Dit komt volgens de algemene Gaswet overeen met een drukstijging van gemiddeld 0,67 bar/sec (traject 250 – 300 bar).

De voorspelde drukstijging bij brand (0,67 bar/sec) is lager dan de (berekende en gemeten) drukverlaging door openen van het afblaasventiel (1,5 – 2,2 bar/s). De gemeten drukverlaging in de vroegste fase van het experiment (hoogste begindruk) was nog aanmerkelijk groter: circa 13 bar/sec. Dit is bijna 20x zo hoog als de berekende drukstijging door brand. Indien de uitgangspunten en berekeningen correct zijn, lijkt een explosie van een koolzuurcilinder dus niet op te kunnen treden. De veiligheidsmarge over een wat langere duur (enkele minuten) is echter veel geringer: ongeveer een factor 2 – 3, wat minder is dan de vooraf gestelde (expert-opinion) wenselijke waarde van een factor 4 – 10. De marge wordt daarom te gering geacht om definitief een positieve conclusie te verbinden aan de beveiligingsfunctie van het breekplaatje in brandsituaties. Experimentele bepaling van de werkelijke uitstroomsnelheid en het gedrag van de cilinders, zowel onder overvulcondities als onder brandomstandigheden, zal hierover verder uitsluitsel kunnen geven. Vooralsnog moet geconcludeerd worden dat het ongewenst oplopen van de druk in de koolzuurcilinders in een brandsituatie, ondanks het afblaasventiel, niet kan worden uitgesloten. De capaciteit van afblazen via het breekplaatje kan bij extreme condities onvoldoende blijken.

Benadrukt moet worden dat aan de berekeningsresultaten geen absolute waarde mag worden toegekend. Het feit dat het beschreven overdrukfenomeen zich afspeelt boven de kritische temperatuur van koolzuur, maakt dat de veronderstelde uitstroomsnelheid en de gehanteerde dichtheid van het koolzuur niet met standaard modelberekeningen (ideaal gas) mogen worden benaderd.

Tenslotte is hierbij nog opgemerkt dat het toepassen van de beschreven afblaasvoorziening in Nederland niet verplicht, maar wel algemeen gangbaar is. Over de situatie elders in Europa bestaat geen zekerheid. Indien er elders koolzuurproducenten zijn die het breekplaatje niet toepassen, valt niet uit te sluiten dat dergelijke cilinders ook op de Nederlandse markt komen. Dit kan momenteel waarschijnlijk alleen worden voorkomen door dit aspect vast te leggen in de eisen van levering aan de GDH en/of haar leden.



3.4 *Wijze van falen van cilinder*

Door leveranciers en keuringsinstanties wordt gesteld dat bij overdruktesten van CO₂-cilinders (en ook bij andere gasflessen) bij bereiken van de barstdruk een (vertikale) scheur in de cilinderwand ontstaat. De cilinder loopt daardoor leeg, maar zal niet van zijn plaats gaan.

Wel is er ervaring met situaties waarbij een appendage op de cilinder (afsluiter, manometer) afbreekt of losraakt door ondeskundig gebruik, en waardoor de cilinder door de kracht van het uitstromende gas wordt verplaatst (als een projectiel wegschiet).

Door TNO wordt opgemerkt dat het testen van drukvaten vrijwel altijd gebeurt door het vat te vullen met water en daarop vervolgens een hoge druk uit te oefenen totdat de tankwand begint te vervormen (opbollen) en deze uiteindelijk barst. Zodra het water naar buiten kan ontsnappen, is de overdruk verdwenen en is van verder mechanisch gedrag door de cilinder geen sprake meer. Omdat water nauwelijks samendrukbaar is, vindt er ook nauwelijks mechanische expansie plaats.

Echter, zou de proef worden uitgevoerd met een vulling van gas, dan treedt bij bezwijken van het vat een sterke uitzetting van de inhoud op. Bij een bezwijkdruk van 750 bar bijvoorbeeld, bedraagt de expansie een factor 750. De oorspronkelijke inhoud van 13,4 liter neemt dan een volume van ruim 10 m³ in. Deze benadering geldt overigens strikt genomen alleen voor ideale gasen.

De expansie kan ook worden voorspeld door uit te gaan van het potentiële gasvolume van de cilinderinhoud van 10 kg CO₂. Deze hoeveelheid neemt bij atmosferische omstandigheden een volume in van 10 kg / 44 kg/kmol x 24 m³/kmol, ofwel 5,5 m³ = 5500 liter. Dit komt overeen met een expansie van een factor 410 ten opzichte van het cilindervolume van 13,4 liter.

De expansie gaat vaak gepaard met mechanisch geweld waardoor het vat in een vrije omgeving enkele tientallen meters kan worden weggeslingerd.

In bijgaande foto's in figuur 2 en 3 is het verschil te zien tussen twee experimenten. Beide situaties betreffen een overdruktest voor een propaantank:

- In figuur 2 was het vat gevuld met water en vervolgens op hoge druk gezet. Uit de foto is te zien dat het vat door de inwendige druk sterk is opgebeld en bij het bezwijken een rechte scheur in de wand is ontstaan. Het vat bleef na bezwijken keurig op z'n plaats staan.
- In figuur 3 was het vat gevuld met propaan (tot vloeistof verdicht gas) waarvan de druk werd verhoogd door externe warmte toe te voeren. Het vat werd daartoe in een bak heet water geplaatst. Bij bereiken van de bezwijkdruk scheurde de tank met veel geweld open en werd hij van zijn drageropstelling geworpen. De restanten werden op meer dan 50 meter afstand teruggevonden. Het op deze wijze bezwijken van een tank leidt overigens vrijwel nooit tot het fragmenteren in meerdere (of vele) delen. In het getoonde geval was het restant één stuk gebleven.

Hoewel de getoonde verschijnselen zijn gevonden voor het falen van een tank gevuld met propaan, en er dus geen bewijs is dat dit verschijnsel ook bij koolzuurcilinders zal optreden, is er ook geen aanleiding om dit gedrag voor CO₂ uit te sluiten. De beschreven expansie-effecten kunnen bij CO₂-cilinders overigens wel geringer zijn omdat de vloeibare koolzuur bij een druk lager dan 6 bar verandert in vaste vorm (koolzuursneeuw). Niettemin is niet uitgesloten dat personen, construc-



ties en materialen in de baan van een tankfragment ernstig letsel, respectievelijk aanzienlijke schade zullen oplopen.

Het feit dat de cilinders gewoonlijk met 30 of 55 stuks in een boxpallet zijn verpakt, kan voor de mogelijke effecten op twee manieren uitwerken. Enerzijds zal het samengepakt zijn de mogelijkheid van (ver) wegschieten van cilinderfragmenten kunnen beperken; de meest waarschijnlijk bewegingsrichting is omhoog. Anderzijds bestaat er een kans dat de explosie van een individuele cilinder tot beschadiging van andere cilinders leidt.

Uit dit deelaspect wordt geconcludeerd dat onvoldoende zekerheid kan worden gegeven over het op veilige wijze bezwijken van koolzuurcilinders in een brand.

3.5 *Letselrisico voor aanwezige personen*

Het scheuren en mogelijk wegvliegen van een exploderende cilinder kan voor personen in de nabijheid van de explosie ernstig, en zelfs dodelijk letsel veroorzaken. Met de inzichten die op basis van het bovenstaande zijn verkregen, is een explosie van koolzuurflessen bij een brand niet uit te sluiten. Het is dan ook van het grootste belang dat men de brand omzichtig benadert en, bij ontbreken van bescherming, alleen een beginnend vuur in aanwezige brandbare materialen nog tracht te blussen. Wanneer de brand een directe bedreiging vormt voor de koolzuuropslag, dienen de aanwezige werknemers zich in veiligheid te brengen en zich niet aan riskante bluswerkzaamheden te wagen. De pogingen tot blussen van de brand moeten dan worden overgelaten aan een daartoe opgeleide en toegeruste organisatie als de (gemeentelijke) brandweer. Het is aan te bevelen om alle personen (dus zowel omstanders als werknemers) op ruime afstand van de opslag te brengen en te houden. Een met de plaatselijke situatie bekende persoon (de inrichtinghouder of diens plaatsvervanger) dient de gealarmeerde brandweer direct bij aankomst op de aanwezigheid van de cilinderopslag te wijzen.

Ook in de preparatiefase is het van belang om de brandweer en andere hulpverleningsdiensten goed te informeren over de aanwezigheid van koolzuurcilinders en over de inrichting van het terrein en de gebouwen van het bedrijf. Ook dient vooraf informatie te worden uitgewisseld over hoe gehandeld moet worden in geval van brand rond de koolzuuropslagen. Hiermee kan worden voorkomen dat de hulpverlening bij haar inzet verrast wordt door exploderende cilinders.

4. **Conclusies en aanbevelingen**

Uit het in hoofdstuk 3 gestelde kan worden geconcludeerd dat de mogelijkheid van brand rond koolzuuropslagen niet kan worden uitgesloten, en dat daardoor de veiligheidsrisico's voor personen door explosies van CO₂-cilinders niet kunnen worden verwaarloosd. Belangrijke reductie van risico's kan worden bereikt, zowel in preventie (voorkoming van brand) als in preparatie (voorbereid zijn van hulpdiensten), en mogelijk ook in repressie (blussen).



Concreet worden de volgende (aanvullende) maatregelen in overweging gegeven:

- Preventie van ontstaan van brand, het uitbreiden van de GDH-checklist [2] met de volgende instructies:
 - geen brandbare materialen of producten in de nabijheid van de opslag van koolzuurcilinders;
 - geen losse cilinders laten rondslingeren, maar deze altijd direct in een speciale opslag plaatsen;
 - een verbod van roken en open vuur in de gehele opslagruimte.
- Repressie van brand:
 - automatisch blussysteem in de nabijheid van koolzuurcilinders; dit is waarschijnlijk alleen voor binnen-opslag realistisch, i.v.m. bevroering van bluswater buiten.
- Bescherming van werknemers en externe hulpverleners:
 - duidelijke instructies voor de BHV's;
 - bord bij de opslagplaats met waarschuwing voor hulpverleners.

Over het te verwachten gedrag van een koolzuurcilinder in een brandsituatie bestaat onzekerheid. Indicatieve berekeningen tonen aan dat een explosie niet valt uit te sluiten. De effecten door scherfwerking kunnen dan aanzienlijk zijn. De veiligheidsvoorzieningen op de flessen zelf lijken niet op brandcondities te zijn ontworpen en daarom ook niet te voldoen. Hierbij wordt opgemerkt dat in deze berekeningen zijn wel enkele conservatieve aannamen gedaan. De afblaascapaciteit van het breekplaatje zou groter kunnen zijn dan nu is geschat, zeker in de eerste fase van afblazen, en verder zou het samengepakt zijn van de cilinders in een boxpallet de mogelijkheid van projectiel-werking bij een explosie sterk kunnen beperken.

Uitsluitsel over deze aspecten is alleen door experimenteel onderzoek te verkrijgen. Er zijn geen (resultaten van) tests met koolzuurcilinders in een brandsituatie bekend. Aanbevolen wordt daarom om hiervoor een testmethode te ontwikkelen en het gedrag van CO₂-cilinders in een brand experimenteel te onderzoeken. Ook kan een voor andere gascilinders ontwikkelde test worden gebruikt.

Eén van de methoden die voor de uitvoering van zo'n experiment in aanmerking komt is de zogenaamde 'Bonfire-test' voor de in personenauto's ingebouwde tanks voor autogas (LPG). De Bonfire-test is vereist om een tank, inclusief zijn appendages en toebehoren, als brandstofreservoir in voertuigen toe te laten (certificatie). Het systeem wordt hierbij in zijn geheel aan de test onderworpen, waarbij dient te worden aangetoond dat het op de tank aangebrachte beveiligingssysteem in staat is om de tank gecontroleerd van druk af te laten en er zodoende voor zorgt dat de tank als gevolg van de test niet bezwijkt.

In een Bonfire-test (zie ook bijgaande brochure) wordt de te onderzoeken gastank voorzien van meetapparatuur om de temperatuur en druk van zowel het vat als de inhoud continu te kunnen meten. Vervolgens wordt de tank boven een bak met brandbare vloeistof geplaatst en wordt deze vloeistof aangestoken. Dan moet gedurende de gehele proef, die meestal zo'n 15 - 30 minuten duurt, de tank door de vlammen worden omringd en dient de temperatuur van de buitenwand minimaal 590 °C te bereiken en te blijven. De veiligheidsvoorzieningen moeten er daarbij voor zorgen dat de tank, ondanks het sterk stijgen van de gasdruk, niet explodeert. Alleen als aan al deze condities is voldaan, krijgt de tankconfiguratie een certificaat



voor toelating in landen die het LPG-reglement hebben ondertekend, waaronder Nederland.

Aan de GDH wordt in overweging gegeven om een dergelijke test ook voor de koolzuurcilinders te laten uitvoeren. Voor de definitie van het onderzoekprogramma wordt nader overleg aanbevolen, ondermeer betreffende:

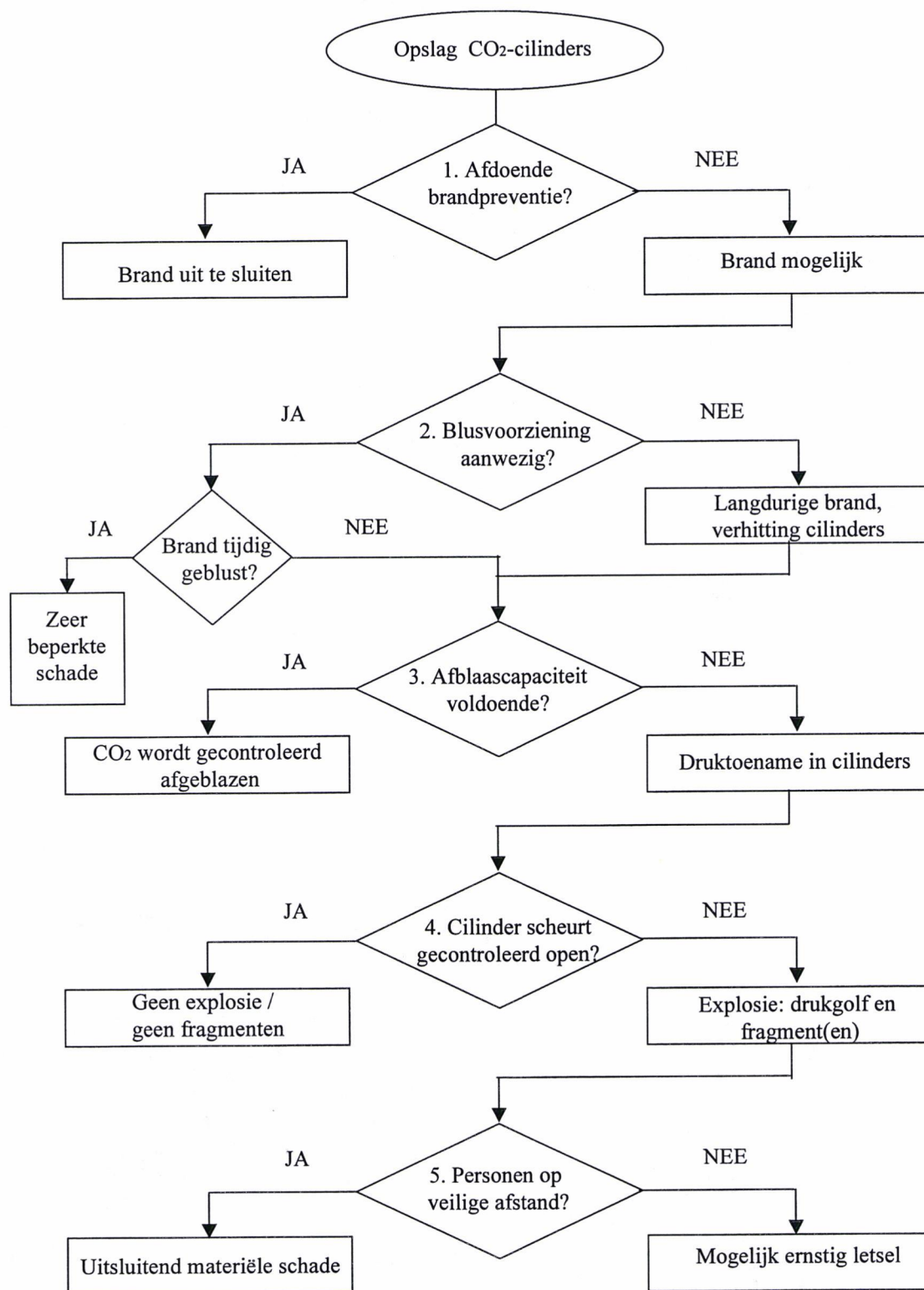
- het aantal te beproeven tanks (hoeveel per grootte-type?);
- tests van cilinders met, en cilinders zonder breekplaatje;
- tests met stalen en met aluminium cilinders;
- de wenselijkheid van een test met een volledig gevulde boxpallet.

De tests zullen ook inzicht geven in het gedrag van de cilinderinhoud in de tijd, en vooral hoeveel tijd verloopt tussen het begin van blootstelling aan de brand en het uiteindelijk bezwijken van de cilinder. Dit gegeven is vooral van belang om vast te stellen of hulpverlening veilig kan worden uitgevoerd.

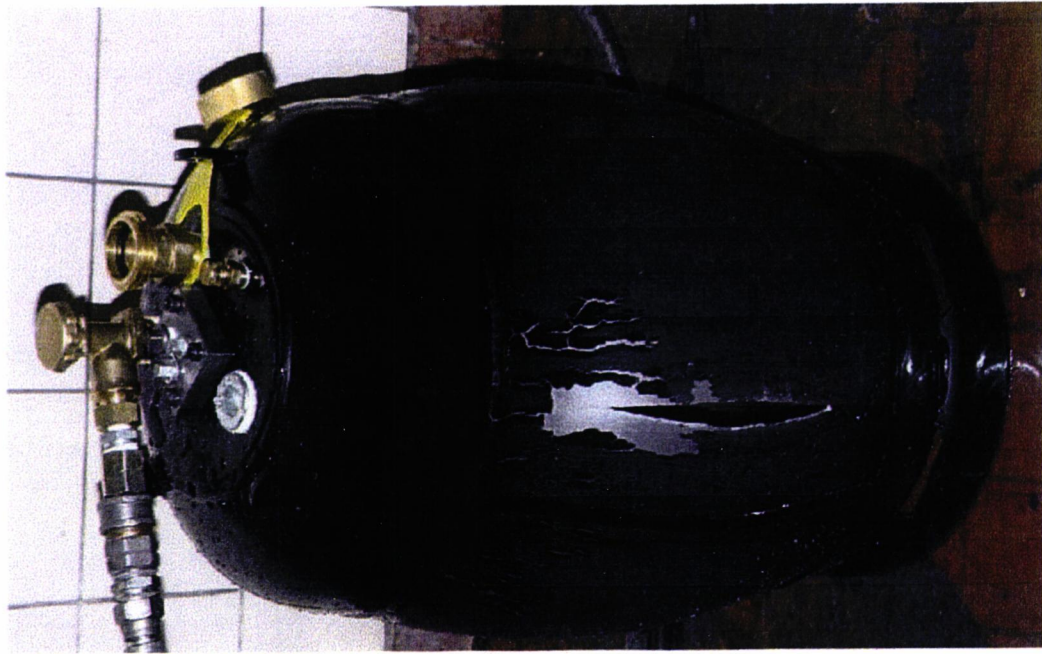
Het wordt ook aangeraden om over het beoogde testprogramma te overleggen met vertegenwoordigers van betrokken overheidsinstanties en hulpverleningsdiensten, en tevens de koolzuurleveranciers hierbij te betrekken. Inbreng van deze belanghebbenden kan waardevolle aanvulling opleveren over de gewenste proefcondities en over de resultaten die voor de toekomstige toepassing van regels zullen worden geaccepteerd.

5. Referenties

- [1] Besluit tot wijziging van de beleidsregels arbeidsomstandighedenwetgeving in verband met de vaststelling van beleidsregels inzake de beheersing van blootstelling aan kooldioxide, wijziging van de lijst van bestuurlijke grenswaarden en enige andere wijzigingen.
Ministerie SZW, Directie Arbeidsomstandigheden, Nr. ARBO/AIS/00/77072.
November 2000.
- [2] GDH, Rotterdam
Checklist opslag koolzuurcilinders
- [3] Besluit Opslag- en transportbedrijven Milieubeheer
- [4] Nederlandse Koolzuur Centrale
D. Damoiseaux en L. Vitalis
Testrapport van breekplaatje van een koolzuurcilinder A03Z1190, d.d. 18 maart 2003.



Figuur 1: Feitenboom Brand rond CO₂-cilinders



Figuur 2: Propaantank na overdruktest, gevuld met water



Figuur 3: Propaantank na overdruktest, gevuld met propaan

Bijlage 2 Vulgraad cilinders

Om de hoeveelheid CO₂ in de cilinder te bepalen te bepalen is voorafgaande aan de test een weging uitgevoerd en eveneens een weging na afloop van de test. Het verschil tussen beide wegingen resulteert in de hoeveelheid CO₂ die in de cilinder aanwezig was. Echter, doordat de cilinder voorafgaande aan de test voorzien is van een kunststof kap die als gevolg van test is verbrand, dient in de verschilweging eveneens het gewicht van de kap te worden meegenomen. In onderstaande tabel is het resultaat van de wegingen weergegeven.

Tabel B2-1 Overzicht vulgraad geteste cilinders.

Cilinder nr	Tarra gewicht	Gewicht vóór:	Gewicht na:	Gewicht kap	Inhoud CO ₂	Dichtheid
[-]	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	[kg/m ³]
749759	19.6	29.8	19.6	0.2	10	0.75
722596	22.5	32.6	22.4	0.2	10	0.75
746155	23.1	33.2	23.0	0.2	10	0.75
522185	17.2	27.2	17.0	0.2	10	0.75
528621	20.5	30.6	20.6	- (1)	10	0.75
62099	15.5	25.6	15.4	0.2	10	0.75
79351	15.9	26.2	15.8	0.2	10.2	0.76
129164	15.8	25.8	15.8	0.2	9.8	0.73
44110	16.5	26.4	16.4	0.2	9.8	0.73
54826	16.3	26.4	16.2	0.2	10	0.75

Noot:

- (1) Na afloop van de test voor cilinder 528621 zat de kap nog grotendeels op de cilinder zodat hiervoor geen correctie m.b.t. de verschilweging is toegepast.

Bijlage 3 Detailfoto kraan + breekplaat



Figuur B3-1 Vooraanzicht kraan met behuizing breekplaat.



Figuur B3-2 Zijaanzicht kraan met behuizing breekplaat.



Figuur B3-3 Detailfoto breekplaat (ongebruikt)

Bijlage 4 Bonfire test cilinder nr. 749759

In deze bijlage is een overzicht gegeven van de resultaten van de Bonfire test voor de stalen CO₂-cilinder met nummer 749759. Voorafgaande aan de testresultaten is eerst een nadere specificatie gegeven van de geteste cilinder.

1. Specificatie CO₂ cilinder

In de tabellen B4-1 and B4-2 is een specificatie gegeven van de CO₂-cilinder en de appendages zoals gemonteerd op de cilinder.

Tabel B4-1 Specificatie van cilinder.

Item	Specificatie
Merknaam / code	749759
Vorm	Cilinder
Materiaal	Cr Mo 4,0
Homologatienummer	Cilinder voldoet aan RToD
Diameter (mm)	204 ± 4
Hoogte (mm)	580
Extern oppervlak cilinder (m ²)	Niet bekend
Wanddikte cilinder (mm)	Niet bekend
Inhoud (l)	13,4
Productiemaand	12-89

Tabel B4-2 Specificatie van appendages (zoals genoemd in R67-01).

Item	Type	Homologatie Nr.	Extensie Nr.
<i>Appendages zoals genoemd in § 1.2.4.5.8 van R656</i>			
Overvulbeveiliging (80%)	N.v.t.	-	-
Niveau-indicator	N.v.t.	-	-
Drukontlastklep	N.v.t.	-	-
(Afname)kraan	Ceodeux 095210	-	-
Brandstofpomp	N.v.t.	-	-
Multivalve	N.v.t.	-	-
Gasdichte omhuizing	N.v.t.	-	-
Voedingsbus (elektriciteit)	N.v.t.	-	-
Terugslagklep	N.v.t.	-	-
Drukontlastvoorziening	Breekplaat, 250 bar ⁽¹⁾	-	-
<i>Additionele appendages (m.b.t. § 1.2.4.5.8 van R656; bijvoorbeeld mangat)</i>			
N.v.t.	-	-	-

(1) Voor een detailfoto van de breekplaat wordt verwezen naar bijlage 3.

In onderstaande figuur is een overzicht gegeven van cilinder nr. 749759.



Figuur B4-1 Overzicht van cilinder nr.749759.

2. Test resultaten

2.1 Test datum

De Bonfire test voor cilinder nr. 749759 is uitgevoerd op 10 juni 2003.

2.2 Resultaten Bonfire test

Met betrekking tot de testresultaten wordt onderscheid gemaakt in:

- a) (Audio)visuele waarnemingen;
- b) Druk- en temperatuurmetingen.

Hieronder wordt op elk van deze onderwerpen nader ingegaan

Ad a) (Audio) visuele waarnemingen

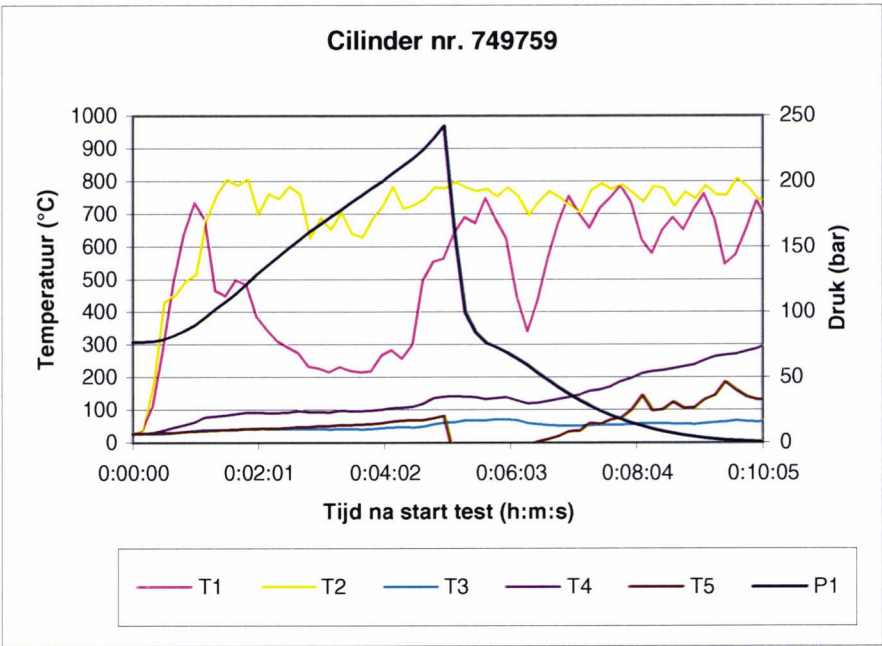
De (audio)visuele waarnemingen tijdens test nr. 1, zoals vastgelegd op videoband, zijn weergegeven in tabel B4-3.

Tabel B4-3 *Overzicht van relevante (audio)visuele waarnemingen tijdens test nr. 1.*

Tijd [min:sec]	Omschrijving
00:00	Start van de test
04:58	Activeren breekplaat
09:40	Cilinder drukloos / einde test

Ad b) *Druk / temperatuurmetingen*

In figuur B4-2 is het druk- en temperatuurverloop tijdens test nr. 1 weergegeven.



Figuur B4-2 *Druk- en temperatuurverloop tijdens test nr. 1.*

Noot (behorende bij figuur B4-2):

Voor een nadere toelichting van T1, T2, T3, T4, T5 en P1 wordt verwezen naar § 2.4.

Uit figuur B4-2 kan worden afgelezen dat de maximale druk in de cilinder 243 bar bedraagt.

2.3 Samenvatting test nr. 1

Vier minuten en achtenvijftig seconden na de start van de Bonfire test wordt de breekplaat geactiveerd bij een druk van 243 bar. Als gevolg van deze activering wordt gasvormige CO₂ afgeblazen waardoor de druk in de cilinder in circa 5 minuten atmosferisch wordt.

2.4 Toetsing eisen Bonfire test

Toetsing aan de eisen voor een geldige Bonfire test (zie § 2.3) resulteert in de volgende waarnemingen:

1. Binnen 5 minuten na de start van de test bereikt de Bonfire een temperatuur van tenminste 590 °C. Deze minimale temperatuur blijft tot het einde van de test gehandhaafd.
⇒ *Na 50 seconden wordt in de Bonfire een temperatuur van 590 °C gemeten. Uit figuur B4-2 (temperatuurcurve 'T2') blijkt dat deze waarde gedurende het verdere verloop van de test gehandhaafd blijft. Temperatuurcurve 'T1' daarentegen is gedurende een groot deel van de test lager dan deze vereiste waarde. Uit bestudering van de videobeelden blijkt dat dit verschil niet veroorzaakt wordt door een ongelijkmatig brandend vuur. Op basis daarvan is geconcludeerd dat thermokoppel 'T1' tijdens test nr. 1 een onjuiste waarde heeft weergegeven. Het betreffende thermokoppel is na constatering (na test 3) vervangen.*
2. Het eind van de test wordt bepaald door het moment waarop de druk in de CO₂ cilinder atmosferisch is.
⇒ *Uit tabel B4-3 blijkt dat de cilinder na 9 minuten en 40 seconden atmosferisch is geworden.*
3. De aanwezige CO₂ wordt uitsluitend afgeblazen via de op de cilinder aanwezige breekplaat.
⇒ *Uit bestudering van de videobeelden wordt geen zichtbare lekkage via een appendage anders dan de breekplaat waargenomen.*
4. De cilinder doorstaat de test.
⇒ *De CO₂ cilinder is als gevolg van de test niet bezwaken.*

Bijlage 5 Bonfire test cilinder nr. 722596

In deze bijlage is een overzicht gegeven van de resultaten van de Bonfire test voor de stalen CO₂-cilinder met nummer 722596. Voorafgaande aan de testresultaten is eerst een nadere specificatie gegeven van de geteste cilinder.

1. Specificatie CO₂ cilinder

In de tabellen B5-1 and B5-2 is een specificatie gegeven van de cilinder en de appendages zoals gemonteerd op de cilinder.

Tabel B5-1 Specificatie van cilinder.

Item	Specificatie
Merknaam / code	722596
Vorm	Cilinder
Materiaal	Cr Mo 4,4
Homologatienummer	Voldoet aan RToD
Diameter (mm)	204 ± 4
Hoogte (mm)	590
Extern oppervlak cilinder (m ²)	Niet bekend
Wanddikte cilinder (mm)	Niet bekend
Inhoud (l)	13,4
Productiemaand	02-78

Tabel B5-2: Specificatie van appendages (zoals genoemd in R67-01)

Item	Type	Homologatie Nr.	Extensie Nr.
<i>Appendages zoals genoemd in § 1.2.4.5.8 van R656</i>			
Overvulbeveiliging (80%)	N.v.t.	-	-
Niveau-indicator	N.v.t.	-	-
Drukontlastklep	N.v.t.	-	-
(Afname)kraan	Ceodeux, 095210	-	-
Brandstofpomp	N.v.t.	-	-
Multivalve	N.v.t.	-	-
Gasdichte omhuizing	N.v.t.	-	-
Voedingsbus (elektriciteit)	N.v.t.	-	-
Terugslagklep	N.v.t.	-	-
Drukontlastvoorziening	Breekplaat, 250 bar ⁽¹⁾	-	-
<i>Additionele appendages (m.b.t. § 1.2.4.5.8 van R656; bijvoorbeeld mangat)</i>			
N.v.t.	-	-	-

(1) Voor een detailfoto van de breekplaat wordt verwezen naar bijlage 3.

In onderstaande figuur is een overzicht gegeven van cilinder nr. 722596.



Figuur B5-1 Overzicht van cilinder nr.722596

2. Test resultaten

2.1 Test datum

De Bonfire test voor cilinder nr. 722596 is uitgevoerd op 10 juni 2003.

2.2 Resultaten Bonfire test

Met betrekking tot de testresultaten wordt onderscheid gemaakt in:

- a) (Audio)visuele waarnemingen;
- b) Druk- en temperatuurmetingen.

Hieronder wordt op elk van deze onderwerpen nader ingegaan

Ad a) (Audio) visuele waarnemingen

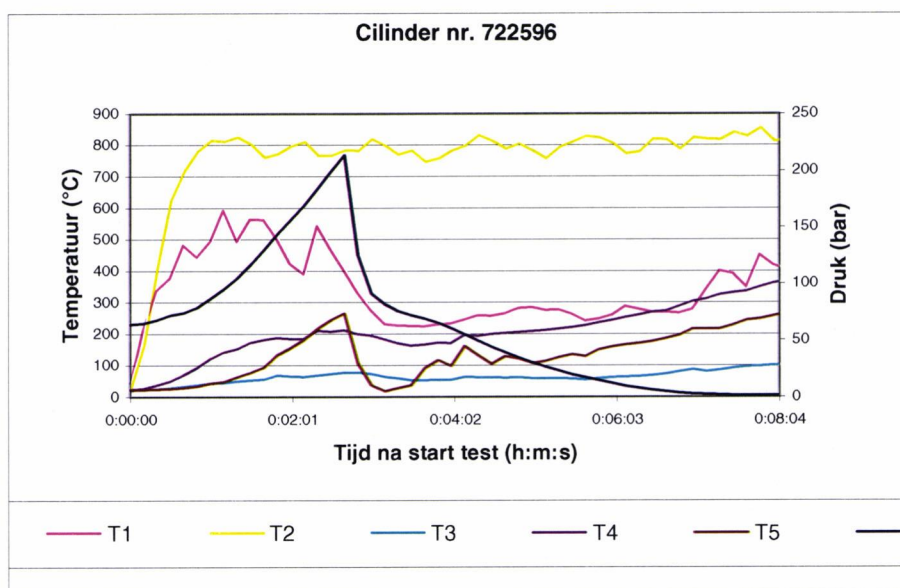
De (audio)visuele waarnemingen tijdens test nr. 2, zoals vastgelegd op videoband, zijn weergegeven in tabel B5-3.

Tabel B5-3 Overzicht van relevante (audio)visuele waarnemingen tijdens test nr. 2.

Tijd [min:sec]	Omschrijving
00:00	Start van de test
02:43	Activeren breekplaat
07:30	Cilinder drukloos / einde test

Ad b) Druk / temperatuurmetingen

In figuur B5-2 is het druk- en temperatuurverloop tijdens test nr. 2 weergegeven.



Figuur B5-2 Druk- en temperatuurverloop tijdens test nr. 2

Noot (behorende bij figuur B5-2):

Voor een nadere toelichting van T1, T2, T3, T4, T5 en P1 wordt verwezen naar § 2.4.

Uit figuur B5-2 kan worden afgelezen dat de maximale druk in de cilinder 213 bar bedraagt.

2.3 Samenvatting test nr. 2

Twee minuten en drieënveertig seconden na de start van de Bonfire test wordt de breekplaat geactiveerd bij een druk van 213 bar. Als gevolg van deze activering wordt gasvormige CO₂ afgeblazen waardoor de druk in de cilinder in circa 5 minuten atmosferisch wordt.

2.4 Toetsing eisen Bonfire test

Toetsing aan de eisen voor een geldige Bonfire test (zie § 2.3) resulteert in de volgende waarnemingen:

1. Binnen 5 minuten na de start van de test bereikt de Bonfire een temperatuur van tenminste 590 °C. Deze minimale temperatuur blijft tot het einde van de test gehandhaafd.
⇒ *Na 30 seconden wordt in de Bonfire een temperatuur van 590 °C gemeten. Uit figuur B5-2 (temperatuurcurve 'T2') blijkt dat deze waarde gedurende het verdere verloop van de test gehandhaafd blijft. Temperatuurcurve 'T1' daarentegen is gedurende een groot deel van de test lager dan deze vereiste waarde. Uit bestudering van de videobeelden blijkt dat dit verschil niet veroorzaakt wordt door een ongelijkmatig brandend vuur. Op basis daarvan is geconcludeerd dat thermokoppel 'T1' tijdens test nr. 2 een onjuiste waarde heeft weergegeven. Het betreffende thermokoppel is na constatering (na test 3) vervangen.*
2. Het eind van de test wordt bepaald door het moment waarop de druk in de cilinder atmosferisch is.
⇒ *Uit tabel B5-3 blijkt dat de cilinder na 7 minuten en 30 seconden atmosferisch is geworden.*
3. De aanwezige CO₂ wordt uitsluitend afgeblazen via de op de cilinder aanwezige breekplaat.
⇒ *Uit bestudering van de videobeelden wordt geen zichtbare lekkage via een appendage anders dan de breekplaat waargenomen.*
4. De cilinder doorstaat de test.
⇒ *De CO₂ cilinder is als gevolg van de test niet bezwaken.*

Bijlage 6 Bonfire test cilinder nr. 746155

In deze bijlage is een overzicht gegeven van de resultaten van de Bonfire test voor de stalen CO₂-cilinder met nummer 746155. Voorafgaande aan de testresultaten is eerst een nadere specificatie gegeven van de geteste cilinder.

1. Specificatie CO₂ cilinder

In de tabellen B6-1 and B6-2 is een specificatie gegeven van de cilinder en de appendages zoals gemonteerd op de cilinder.

Tabel B6-1 Specificatie van cilinder.

Item	Specificatie
Merknaam / code	746155
Vorm	Cilinder
Materiaal	Cr Mo 4,19
Homologatienummer	Cilinder voldoet aan RToD
Diameter (mm)	204 ± 4
Hoogte (mm)	620
Extern oppervlak cilinder (m ²)	Niet bekend
Wanddikte cilinder (mm)	Niet bekend
Inhoud (l)	13,4
Productiemaand	10-85

Tabel B6-2 Specificatie van appendages (zoals genoemd in R67-01).

Item	Type	Homologatie Nr.	Extensie Nr.
<i>Appendages zoals genoemd in § 1.2.4.5.8 van R656</i>			
Overvulbeveiliging (80%)	N.v.t.	-	-
Niveau-indicator	N.v.t.	-	-
Drukонтlastklep	N.v.t.	-	-
(Afname)kraan	Ceudeux, 095210	-	-
Brandstofpomp	N.v.t.	-	-
Multivalve	N.v.t.	-	-
Gasdichte omhuizing	N.v.t.	-	-
Voedingsbus (elektriciteit)	N.v.t.	-	-
Terugslagklep	N.v.t.	-	-
Drukонтlastvoorziening	Breekplaat, 250 bar ⁽¹⁾	-	-
<i>Additionele appendages (m.b.t. § 1.2.4.5.8 van R656; bijvoorbeeld mangat)</i>			
N.v.t.	-	-	-

(1) Voor een detailfoto van de breekplaat wordt verwezen naar bijlage 3.

In onderstaande figuur is een overzicht gegeven van cilinder nr. 746155



Figuur B6-1 Overzicht van cilinder nr.746155.

2. Test resultaten

2.1 Test datum

De Bonfire test voor cilinder nr. 746155 is uitgevoerd op 10 juni 2003.

2.2 Resultaten Bonfire test

Met betrekking tot de testresultaten wordt onderscheid gemaakt in:

- a) (Audio)visuele waarnemingen;
- b) Druk- en temperatuurmetingen.

Hieronder wordt op elk van deze onderwerpen nader ingegaan

Ad a) (Audio) visuele waarnemingen

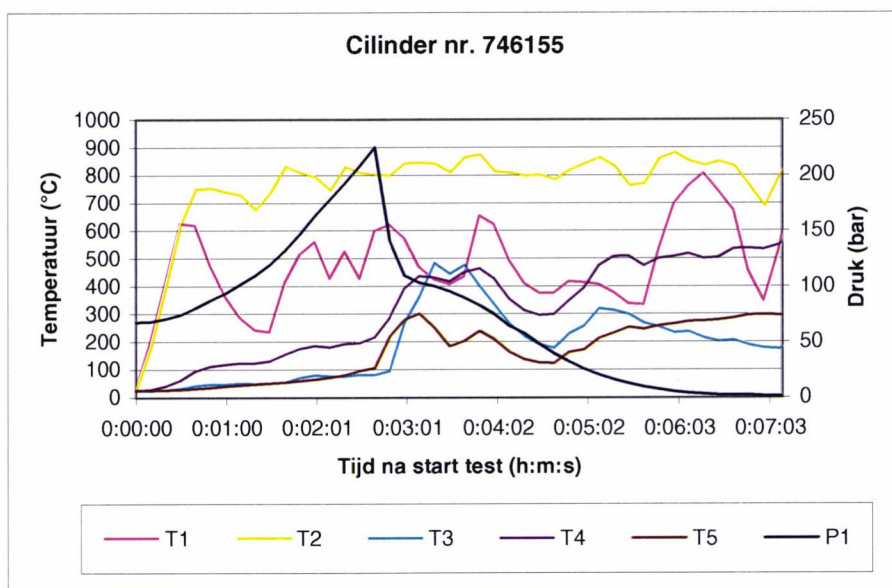
De (audio)visuele waarnemingen tijdens test nr. 3, zoals vastgelegd op videoband, zijn weergegeven in tabel B6-3.

Tabel B6-3 Overzicht van relevante (audio)visuele waarnemingen tijdens test nr. 3.

Tijd [min:sec]	Omschrijving
00:00	Start van de test
02:41	Activeren breekplaat
07:00	Cilinder drukloos / einde test

Ad b) Druk / temperatuurmetingen

In figuur B6-2 is het druk- en temperatuurverloop tijdens test nr. 3 weergegeven.



Figuur B6-2 Druk- en temperatuurverloop tijdens test nr. 3.

Noot (behorende bij figuur B6-2):

Voor een nadere toelichting van T1, T2, T3, T4, T5 en P1 wordt verwezen naar § 2.4.

Uit figuur B6-2 kan worden afgelezen dat de maximale druk in de cilinder 225 bar bedraagt.

2.3 Samenvatting test nr. 3

Twee minuten en eenenveertig seconden na de start van de Bonfire test wordt de breekplaat geactiveerd bij een druk van 225 bar. Als gevolg van deze activering wordt gasvormige CO₂ afgeblazen waardoor de druk in de cilinder in circa 4 minuten atmosferisch wordt.

2.4 Toetsing eisen Bonfire test

Toetsing aan de eisen voor een geldige Bonfire test (zie § 2.3) resulteert in de volgende waarnemingen:

1. Binnen 5 minuten na de start van de test bereikt de Bonfire een temperatuur van tenminste 590 °C. Deze minimale temperatuur blijft tot het einde van de test gehandhaafd.
⇒ *Na 30 seconden wordt in de Bonfire een temperatuur van 590 °C gemeten. Uit figuur B6-2 (temperatuurcurve 'T2') blijkt dat deze waarde gedurende het verdere verloop van de test gehandhaafd blijft. Temperatuurcurve 'T2' daarentegen is gedurende een groot deel van de test lager dan deze vereiste waarde. Uit bestudering van de videobeelden blijkt dat dit verschil niet veroorzaakt wordt door een ongelijkmatig brandend vuur. Op basis daarvan is geconcludeerd dat thermokoppel 'T2' tijdens test nr. 3 een onjuiste waarde heeft weergegeven. Het betreffende thermokoppel is na constatering (na test 3) vervangen.*
2. Het eind van de test wordt bepaald door het moment waarop de druk in de cilinder atmosferisch is.
⇒ *Uit tabel B6-3 blijkt dat de cilinder na 7 minuten atmosferisch is geworden.*
3. De aanwezige CO₂ wordt uitsluitend afgeblazen via de op de cilinder aanwezige breekplaat.
⇒ *Uit bestudering van de videobeelden wordt geen zichtbare lekkage via een appendage anders dan de breekplaat waargenomen.*
4. De cilinder doorstaat de test.
⇒ *De CO₂ cilinder is als gevolg van de test niet bezwaken.*

Bijlage 7 Bonfire test cilinder nr. 522185

In deze bijlage is een overzicht gegeven van de resultaten van de Bonfire test voor de stalen CO₂-cilinder met nummer 522185. Voorafgaande aan de testresultaten is eerst een nadere specificatie gegeven van de geteste cilinder.

1. Specificatie CO₂ cilinder

In de tabellen B7-1 and B7-2 is een specificatie gegeven van de cilinder en de appendages zoals gemonteerd op de cilinder.

Tabel B7-1 Specificatie van cilinder.

Item	Specificatie
Merknaam / code	522185
Vorm	Cilinder
Materiaal	Cr Mo 4,2 T
Homologatienummer	Cilinder voldoet aan RToD
Diameter (mm)	204 ± 4
Hoogte (mm)	560
Extern oppervlak cilinder (m ²)	Niet bekend
Wanddikte cilinder (mm)	Niet bekend
Inhoud (l)	13,4
Productiemaand	05-90

Tabel B7-2: Specificatie van appendages (zoals genoemd in R67-01).

Item	Type	Homologatie Nr.	Extensie Nr.
<i>Appendages zoals genoemd in § 1.2.4.5.8 van R656</i>			
Overvulbeveiliging (80%)	N.v.t.	-	-
Niveau-indicator	N.v.t.	-	-
Drukontlastklep	N.v.t.	-	-
(Afname)kraan	Ceodeux, 095210	-	-
Brandstofpomp	N.v.t.	-	-
Multivalve	N.v.t.	-	-
Gasdichte omhuizing	N.v.t.	-	-
Voedingsbus (elektriciteit)	N.v.t.	-	-
Terugslagklep	N.v.t.	-	-
Drukontlastvoorziening	Breekplaat, 250 bar ⁽¹⁾	-	-
<i>Additionele appendages (m.b.t. § 1.2.4.5.8 van R656; bijvoorbeeld mangat)</i>			
N.v.t.	-	-	-

(1) Voor een detailfoto van de breekplaat wordt verwezen naar bijlage 3.

In onderstaande figuur is een overzicht gegeven van cilinder nr. 522185.



Figuur B7-1 Overzicht van cilinder nr.522185

2. Test datum /test resultaten

2.1 Test datum

De Bonfire test voor cilinder nr. 522185 is uitgevoerd op 11 juni 2003.

2.2 Resultaten Bonfire test

Met betrekking tot de testresultaten wordt onderscheid gemaakt in:

- a) (Audio)visuele waarnemingen;
- b) Druk- en temperatuurmetingen.

Hieronder wordt op elk van deze onderwerpen nader ingegaan

Ad a) (Audio) visuele waarnemingen

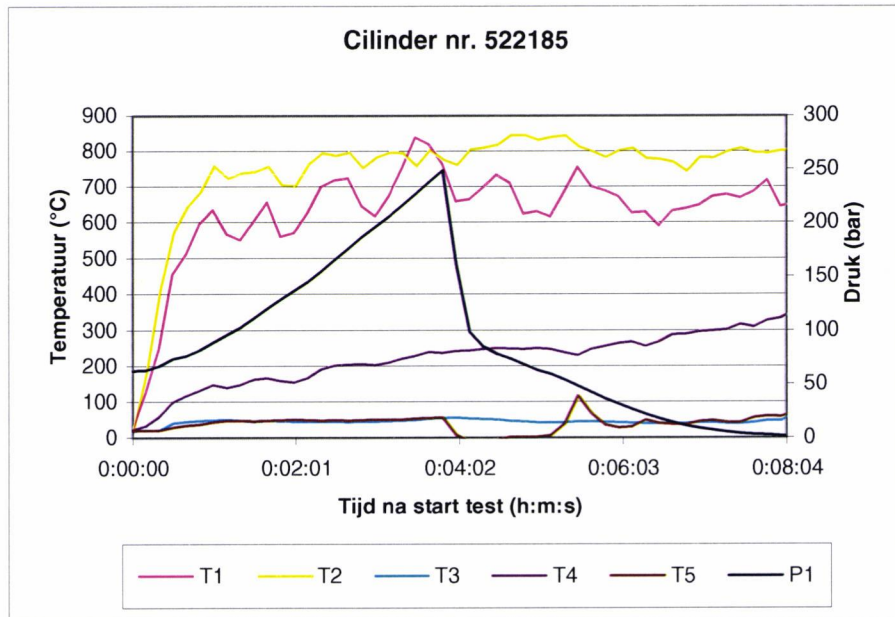
De (audio)visuele waarnemingen tijdens test nr. 4, zoals vastgelegd op videoband, zijn weergegeven in tabel B7-3.

Tabel B7-3 Overzicht van relevante (audio)visuele waarnemingen tijdens test nr. 4

Tijd [min:sec]	Omschrijving
00:00	Start van de test
03:53	Activeren breekplaat
08:30	Cilinder drukloos / einde test

Ad b) Druk / temperatuurmetingen

In figuur B7-2 is het druk- en temperatuurverloop tijdens test nr. 4 weergegeven.



Figuur B7-2 Druk- en temperatuurverloop tijdens test nr. 4

Noot (behorende bij figuur B7-2):

Voor een nadere toelichting van T1, T2, T3, T4, T5 en P1 wordt verwezen naar § 2.4.

Uit figuur B7-2 kan worden afgelezen dat de maximale druk in de cilinder 248 bar bedraagt.

2.3 Samenvatting test nr. 4

Drie minuten en drieënvijftig seconden na de start van de Bonfire test wordt de breekplaat geactiveerd bij een druk van 248 bar. Als gevolg van deze activering wordt gasvormige CO₂ afgeblazen waardoor de druk in de cilinder in circa 4 minuten atmosferisch wordt.

2.4 Toetsing eisen Bonfire test

Toetsing aan de eisen voor een geldige Bonfire test (zie § 2.3) resulteert in de volgende waarnemingen:

1. Binnen 5 minuten na de start van de test bereikt de Bonfire een temperatuur van tenminste 590 °C. Deze minimale temperatuur blijft tot het einde van de test gehandhaafd.
 ⇒ Na 40 seconden wordt in de Bonfire een temperatuur van 590 °C gemeten. Uit figuur B7-2 (temperatuurcurve 'T2') blijkt dat deze waarde gedurende het verdere verloop van de test gehandhaafd blijft.

2. Het eind van de test wordt bepaald door het moment waarop de druk in de cilinder atmosferisch is.
⇒ Uit tabel B7-3 blijkt dat de cilinder na 8 minuten en 30 seconden atmosferisch is geworden.
3. De aanwezige CO₂ wordt uitsluitend afgeblazen via de op de cilinder aanwezige breekplaat.
⇒ Uit bestudering van de videobeelden wordt geen zichtbare lekkage via een appendage anders dan de breekplaat waargenomen.
4. De cilinder doorstaat de test.
⇒ De CO₂ cilinder is als gevolg van de test niet bezwaken.

Bijlage 8 Bonfire test cilinder nr. 528621

In deze bijlage is een overzicht gegeven van de resultaten van de Bonfire test voor de stalen CO₂-cilinder met nummer 528621. Voorafgaande aan de testresultaten is eerst een nadere specificatie gegeven van de geteste cilinder.

1. Specificatie CO₂ cilinder

In de tabellen B8-1 and B8-2 is een specificatie gegeven van de cilinder en de appendages zoals gemonteerd op de cilinder.

Tabel B8-1 Specificatie van cilinder.

Item	Specificatie
Merknaam / code	528621
Vorm	Cilinder
Materiaal	T
Homologatienummer	ε1 D9024D
Diameter (mm)	204 ± 4
Hoogte (mm)	580
Extern oppervlak cilinder (m ²)	Niet bekend
Wanddikte cilinder (mm)	Niet bekend
Inhoud (l)	13,4
Productiemaand	01-91

Tabel B8-2 Specificatie van appendages (zoals genoemd in R67-01).

Item	Type	Homologatie Nr.	Extensie Nr.
<i>Appendages zoals genoemd in § 1.2.4.5.8 van R656</i>			
Overvulbeveiliging (80%)	N.v.t.	-	-
Niveau-indicator	N.v.t.	-	-
Drukontlastklep	N.v.t.	-	-
(Afname)kraan	Ceodeux, 095210	-	-
Brandstofpomp	N.v.t.	-	-
Multivalve	N.v.t.	-	-
Gasdichte omhuizing	N.v.t.	-	-
Voedingsbus (elektriciteit)	N.v.t.	-	-
Terugslagklep	N.v.t.	-	-
Drukontlastvoorziening	Breekplaat, 250 bar ⁽¹⁾	-	-
<i>Additionele appendages (m.b.t. § 1.2.4.5.8 van R656; bijvoorbeeld mangat)</i>			
N.v.t.	-	-	-

(1) Voor een detailfoto van de breekplaat wordt verwezen naar bijlage 3.

In onderstaande figuur is een overzicht gegeven van cilinder nr. 528621.



Figuur B4-1 Overzicht van cilinder nr.528621.

2. Test resultaten

2.1 Test datum

De Bonfire test voor cilinder nr. 528621 is uitgevoerd op 11 juni 2003.

2.2 Resultaten Bonfire test

Met betrekking tot de testresultaten wordt onderscheid gemaakt in:

- a) (Audio)visuele waarnemingen;
- b) Druk- en temperatuurmetingen.

Hieronder wordt op elk van deze onderwerpen nader ingegaan

Ad a) (Audio) visuele waarnemingen

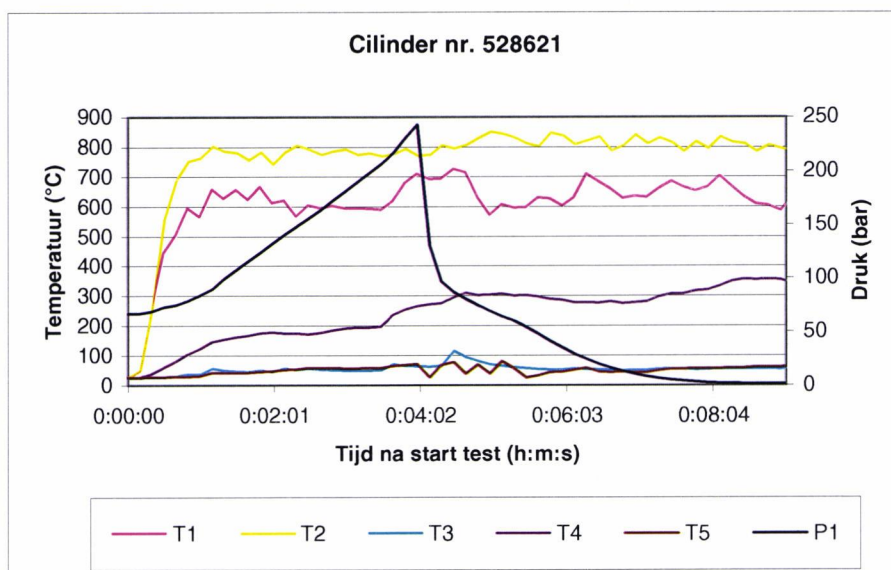
De (audio)visuele waarnemingen tijdens test nr. 5, zoals vastgelegd op videoband, zijn weergegeven in tabel B8-3.

Tabel B8-3 Overzicht van relevante (audio)visuele waarnemingen tijdens test nr. 5.

Tijd [min:sec]	Omschrijving
00:00	Start van de test
03:55	Activeren breekplaat
08:20	Cilinder drukloos / einde test

Ad b) Druk / temperatuurmetingen

In figuur B8-2 is het druk- en temperatuurverloop tijdens test nr. 5 weergegeven.



Figuur B8-2 Druk- en temperatuurverloop tijdens test nr. 5.

Noot (behorende bij figuur B8-2):

Voor een nadere toelichting van T1, T2, T3, T4, T5 en P1 wordt verwezen naar § 2.4.

Uit figuur B8-2 kan worden afgelezen dat de maximale druk in de cilinder 242 bar bedraagt.

2.3 Samenvatting test nr. 5

Drie minuten en vijftig seconden na de start van de Bonfire test wordt de breekplaat geactiveerd bij een druk van 242 bar. Als gevolg van deze activering wordt gasvormige CO₂ afgeblazen waardoor de druk in de cilinder in circa 4 minuten atmosferisch wordt.

2.4 Toetsing eisen Bonfire test

Toetsing aan de eisen voor een geldige Bonfire test (zie § 2.3) resulteert in de volgende waarnemingen:

1. Binnen 5 minuten na de start van de test bereikt de Bonfire een temperatuur van tenminste 590 °C. Deze minimale temperatuur blijft tot het einde van de test gehandhaafd.

⇒ Na 40 seconden wordt in de Bonfire een temperatuur van 590 °C gemeten. Uit figuur B8-2 (temperatuurcurve 'T2') blijkt dat deze waarde gedurende het verdere verloop van de test gehandhaafd blijft.

2. Het eind van de test wordt bepaald door het moment waarop de druk in de cilinder atmosferisch is.
⇒ *Uit tabel B8-3 blijkt dat de cilinder na 8 minuten en 20 seconden atmosferisch is geworden.*
3. De aanwezige CO₂ wordt uitsluitend afgeblazen via de op de cilinder aanwezige breekplaat.
⇒ *Uit bestudering van de videobeelden wordt geen zichtbare lekkage via een appendage anders dan de breekplaat waargenomen.*
4. De cilinder doorstaat de test.
⇒ *De CO₂ cilinder is als gevolg van de test niet bezwaken.*

Bijlage 9 Bonfire test cilinder nr. 62099

In deze bijlage is een overzicht gegeven van de resultaten van de Bonfire test voor de aluminium CO₂-cilinder met nummer 62099. Voorafgaande aan de testresultaten is eerst een nadere specificatie gegeven van de geteste cilinder.

1. Specificatie CO₂ cilinder

In de tabellen B9-1 and B9-2 is een specificatie gegeven van de cilinder en de appendages zoals gemonteerd op de cilinder.

Tabel B9-1 Specificatie van cilinder.

Item	Specificatie
Merknaam / code	62099
Vorm	Cilinder
Materiaal	AA6351 T6
Homologatienummer	ε2 UK902UK
Diameter (mm)	204 ± 4
Hoogte (mm)	640
Extern oppervlak cilinder (m ²)	Niet bekend
Wanddikte cilinder (mm)	11,5 (minimaal)
Inhoud (l)	13,4
Productiemaand	11-91

Tabel B9-2 Specificatie van appendages (zoals genoemd in R67-01).

Item	Type	Homologatie Nr.	Extensie Nr.
<i>Appendages zoals genoemd in § 1.2.4.5.8 van R656</i>			
Overvulbeveiliging (80%)	N.v.t.	-	-
Niveau-indicator	N.v.t.	-	-
Drukontlastklep	N.v.t.	-	-
(Afname)kraan	Ceodeux, 095210	-	-
Brandstofpomp	N.v.t.	-	-
Multivalve	N.v.t.	-	-
Gasdichte omhuizing	N.v.t.	-	-
Voedingsbus (elektriciteit)	N.v.t.	-	-
Terugslagklep	N.v.t.	-	-
Drukontlastvoorziening	Breekplaat, 250 bar ⁽¹⁾	-	-
<i>Additionele appendages (m.b.t. § 1.2.4.5.8 van R656; bijvoorbeeld mangat)</i>			
N.v.t.	-	-	-

(1) Voor een detailfoto van de breekplaat wordt verwezen naar bijlage 3.

In onderstaande figuur is een overzicht gegeven van cilinder nr. 62099.



Figuur B9-1 Overzicht van cilinder nr.62099.

2. Test resultaten

2.1 Test datum

De Bonfire test voor cilinder nr. 62099 is uitgevoerd op 11 juni 2003.

2.2 Resultaten Bonfire test

Met betrekking tot de testresultaten wordt onderscheid gemaakt in:

- a) (Audio)visuele waarnemingen;
- b) Druk- en temperatuurmetingen.

Hieronder wordt op elk van deze onderwerpen nader ingegaan

Ad a) (Audio) visuele waarnemingen

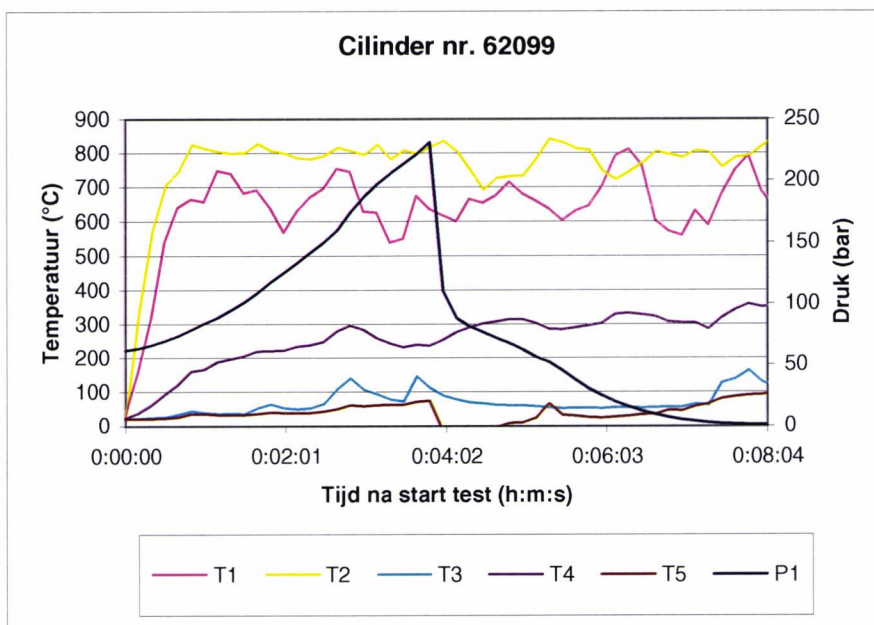
De (audio)visuele waarnemingen tijdens test nr. 6, zoals vastgelegd op videoband, zijn weergegeven in tabel B9-3.

Tabel B9-3 Overzicht van relevante (audio)visuele waarnemingen tijdens test nr. 6.

Tijd [min:sec]	Omschrijving
00:00	Start van de test
03:53	Activeren breekplaat
07:50	Cilinder drukloos / einde test

Ad b) Druk / temperatuurmetingen

In figuur B9-2 is het druk- en temperatuurverloop tijdens test nr. 6 weergegeven.



Figuur B9-2 Druk- en temperatuurverloop tijdens test nr. 6.

Noot (behorende bij figuur B9-2):

Voor een nadere toelichting van T1, T2, T3, T4, T5 en P1 wordt verwezen naar § 2.4.

Uit figuur B9-2 kan worden afgelezen dat de maximale druk in de cilinder 231 bar bedraagt.

2.3 Samenvatting test nr. 6

Drie minuten en drieënvijftig seconden na de start van de Bonfire test wordt de breekplaat geactiveerd bij een druk van 231 bar. Als gevolg van deze activering wordt gasvormige CO₂ afgeblazen waardoor de druk in de cilinder in circa 4 minuten atmosferisch wordt.

2.4 Toetsing eisen Bonfire test

Toetsing aan de eisen voor een geldige Bonfire test (zie § 2.3) resulteert in de volgende waarnemingen:

1. Binnen 5 minuten na de start van de test bereikt de Bonfire een temperatuur van tenminste 590 °C. Deze minimale temperatuur blijft tot het einde van de test gehandhaafd.

⇒ Na 30 seconden wordt in de Bonfire een temperatuur van 590 °C gemeten.

Uit figuur B9-2 blijkt dat deze waarde gedurende het verdere verloop van de test gehandhaafd blijft.

2. Het eind van de test wordt bepaald door het moment waarop de druk in de cilinder atmosferisch is.
⇒ Uit tabel B9-3 blijkt dat de cilinder na 7 minuten en 50 seconden atmosferisch is geworden.
3. De aanwezige CO₂ wordt uitsluitend afgeblazen via de op de cilinder aanwezige breekplaat.
⇒ Uit bestudering van de videobeelden wordt geen zichtbare lekkage via een appendage anders dan de breekplaat waargenomen.
4. De cilinder doorstaat de test.
⇒ De CO₂ cilinder is als gevolg van de test niet bezwaken.

Bijlage 10 Bonfire test cilinder nr. 79351

In deze bijlage is een overzicht gegeven van de resultaten van de Bonfire test voor de aluminium CO₂-cilinder met nummer 79351. Voorafgaande aan de testresultaten is eerst een nadere specificatie gegeven van de geteste cilinder.

1. Specificatie CO₂ cilinder

In de tabellen B10-1 en B10-2 is een specificatie gegeven van de cilinder en de appendages zoals gemonteerd op de cilinder.

Tabel B10-1 Specificatie van cilinder.

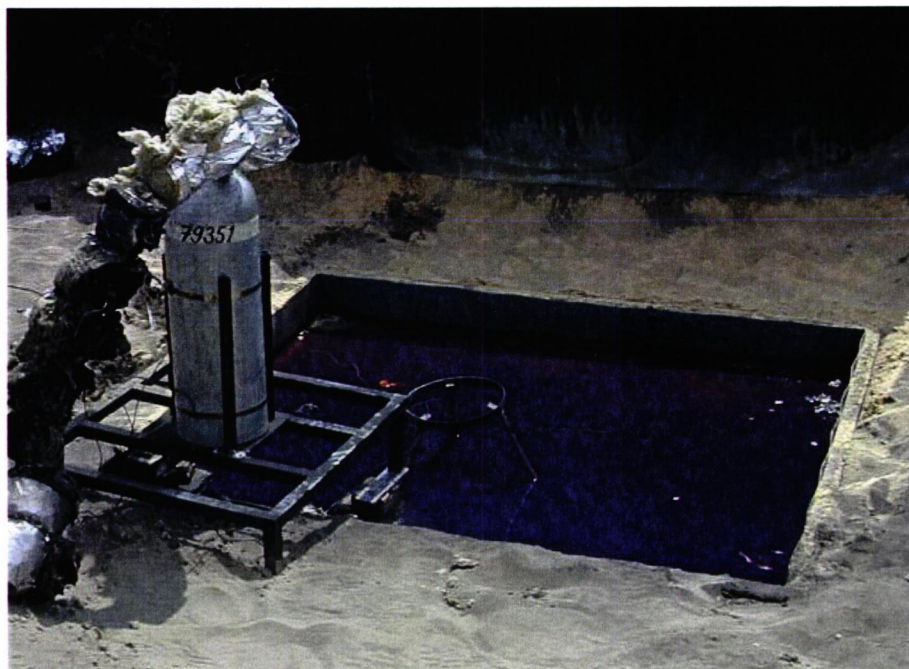
Item	Specificatie
Merknaam / code	79351
Vorm	Cilinder
Materiaal	AA6351 T6
Homologatienummer	ε2 UK902UK
Diameter (mm)	204 ± 4
Hoogte (mm)	640
Extern oppervlak cilinder (m ²)	Niet bekend
Wanddikte cilinder (mm)	11,5 (minimaal)
Inhoud (l)	13,4
Productiemaand	11-94

Tabel B10-2 Specificatie van appendages (zoals genoemd in R67-01).

Item	Type	Homologatie Nr.	Extensie Nr.
<i>Appendages zoals genoemd in § 1.2.4.5.8 van R656</i>			
Overvulbeveiliging (80%)	N.v.t.	-	-
Niveau-indicator	N.v.t.	-	-
Drukontlastklep	N.v.t.	-	-
(Afname)kraan	Ceodeux, RPV 212-8	-	-
Brandstofpomp	N.v.t.	-	-
Multivalve	N.v.t.	-	-
Gasdichte omhuizing	N.v.t.	-	-
Voedingsbus (elektriciteit)	N.v.t.	-	-
Terugslagklep	N.v.t.	-	-
Drukontlastvoorziening	Breekplaat, 250 bar ⁽¹⁾	-	-
<i>Additionele appendages (m.b.t. § 1.2.4.5.8 van R656; bijvoorbeeld mangat)</i>			
N.v.t.	-	-	-

(1) Voor een detailfoto van de breekplaat wordt verwezen naar bijlage 3.

In onderstaande figuur is een overzicht gegeven van cilinder nr. 79351.



Figuur B10-1 Overzicht van cilinder nr.79351.

2. Test resultaten

2.1 Test datum

De Bonfire test voor cilinder nr. 79351 is uitgevoerd op 11 juni 2003.

2.2 Resultaten Bonfire test

Met betrekking tot de testresultaten wordt onderscheid gemaakt in:

- a) (Audio)visuele waarnemingen;
- b) Druk- en temperatuurmetingen.

Hieronder wordt op elk van deze onderwerpen nader ingegaan

Ad a) (Audio) visuele waarnemingen

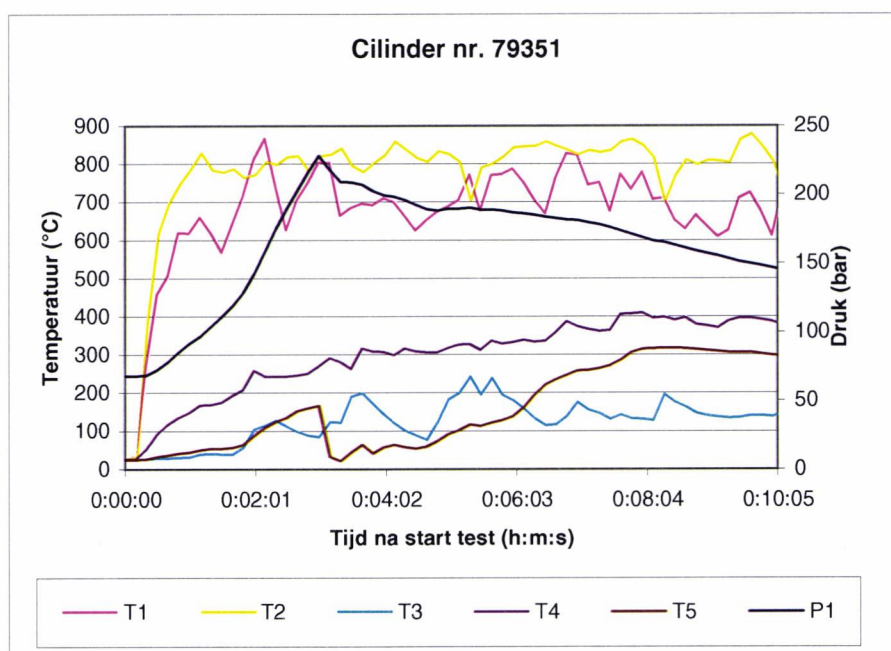
De (audio)visuele waarnemingen tijdens test nr. 7, zoals vastgelegd op videoband, zijn weergegeven in tabel B10-3.

Tabel B10-3 Overzicht van relevante (audio)visuele waarnemingen tijdens test nr. 7.

Tijd [min:sec]	Omschrijving
00:00	Start van de test
02:50	Activeren breekplaat
06:30	Cilinder drukloos / einde test

Ad b) Druk / temperatuurmetingen

In figuur B10-2 is het verloop van de druk en de temperaturen tijdens test nr. 7 weergegeven.



Figuur B10-2 Druk- en temperatuurverloop tijdens test nr. 7.

Noot (behorende bij figuur B10-2):

Voor een nadere toelichting van T1, T2, T3, T4, T5 en P1 wordt verwezen naar § 2.4.

Uit figuur B10-2 kan worden afgelezen dat de maximale druk in de cilinder 228 bar bedraagt.

2.3 Samenvatting test nr. 7

Twee minuten en vijftig seconden na de start van de Bonfire test wordt de breekplaat geactiveerd bij een druk van 228 bar. Als gevolg van deze activering wordt gasvormige CO₂ afgeblazen waardoor de druk in de cilinder in circa 4 minuten atmosferisch wordt.

2.4 Toetsing eisen Bonfire test

Toetsing aan de eisen voor een geldige Bonfire test (zie § 2.3) resulteert in de volgende waarnemingen:

1. Binnen 5 minuten na de start van de test bereikt de Bonfire een temperatuur van tenminste 590 °C. Deze minimale temperatuur blijft tot het einde van de test gehandhaafd.
⇒ *Na 30 seconden wordt in de Bonfire een temperatuur van 590 °C gemeten. Uit figuur B9-7 blijkt dat deze waarde gedurende het verdere verloop van de test gehandhaafd blijft.*
2. Het eind van de test wordt bepaald door het moment waarop de druk in de cilinder atmosferisch is.

Uit tabel B10-3 blijkt dat de cilinder na 7 minuten en 30 seconden atmosferisch is geworden. Volgens de registratie in figuur B10-2 daarentegen bedraagt 'P1' op het betreffende tijdstip nog zo'n 175 bar. Nadat het vuur al enige tijd gedoofd was, werd door de drukopnemer nog steeds een druk van zo'n 70 bar aangegeven. De gemeten drukafname was veel geringer dan bij de andere tests. Volgens het Bonfire-protocol zou dit moeten leiden tot het ongeldig verklaren van het experiment. Aan de eis 'tank moet aan het eind van de test drukloos zijn' lijkt immers niet te zijn voldaan.

Aangezien (uit visuele waarneming en uit het drukverloop) geconstateerd was dat de breekplaat was geactiveerd, duidt het traag afnemen van de druk op een verandering in de doorgang in de drukmeetleiding tussen de aansluiting op de cilinder en die op de drukopnemer. Aanvankelijk werd een verstopping in deze leiding vermoed. Door de aanwezige vertegenwoordiger van de NKC is toegelicht dat de doorstroomverhinderende werd veroorzaakt door een beveiliging op de kraan. In de op de onderzochte cilinder geïnstalleerde kraan van het type 'restdruk-ventiel' is een geïntegreerd terugslagklepje gemonteerd. Dit klepje dient om te voorkomen dat tijdens gebruik van de cilinder een vreemd product van de zijde van de gebruiker / afnemer in de cilinder terechtkomt. De beveiliging sluit de cilinder af op het moment dat de druk aan de zijde van de afnemer hoger is dan de druk in de cilinder. Hierdoor wordt terugstroming naar de cilinder toe voorkomen. Bij deze test heeft deze situatie zich voorgedaan op het moment dat de breekplaat werd geactiveerd. De druk in de meetleiding vormde toen de druk bij de gebruiker. Deze was even hoog als de druk in de cilinder vlak voordat het breekplaatje barstte, en drukte het klepje dicht. Hierdoor werd de verhoogde druk 'ingeblok' in de leiding, waardoor de geregistreerde druk niet langer de druk was in de cilinder maar die in de drukleiding tussen de cilinderkraan en de drukopnemer. Hierdoor dient de drukmeting en -registratie vanaf het moment van activering van de breekplaat als onbruikbaar te worden aangemerkt. Op basis van de overige waarnemingen (direct-visueel, VHS-video opname, gewichtsmeting van de cilinder na de test) wordt echter geconcludeerd dat het breekplaatje naar behoren heeft gefunctioneerd en dat de cilinder de test heeft doorstaan. Om die reden is deze test ook binnen de conclusies van het onderzoek betrokken.

Door NKC wordt overigens bevestigd dat het betreffende type kraan tegenwoordig gangbaar is en wordt toegepast in de producten van NKC.

3. De aanwezige CO₂ wordt uitsluitend afgeblazen via de op de cilinder aanwezige breekplaat.
⇒ *Uit bestudering van de videobeelden wordt geen zichtbare lekkage via een appendage anders dan de breekplaat waargenomen.*
4. De cilinder doorstaat de test.
⇒ *De CO₂ cilinder is als gevolg van de test niet bezwaken.*

Bijlage 11 Bonfire test cilinder nr. 129164

In deze bijlage is een overzicht gegeven van de resultaten van de Bonfire test voor de aluminium CO₂-cilinder met nummer 129164. Voorafgaande aan de testresultaten is eerst een nadere specificatie gegeven van de geteste cilinder.

1. Specificatie CO₂ cilinder

In de tabellen B11-1 en B11-2 is een specificatie gegeven van de cilinder en de appendages zoals gemonteerd op de cilinder.

Tabel B11-1 Specificatie van cilinder.

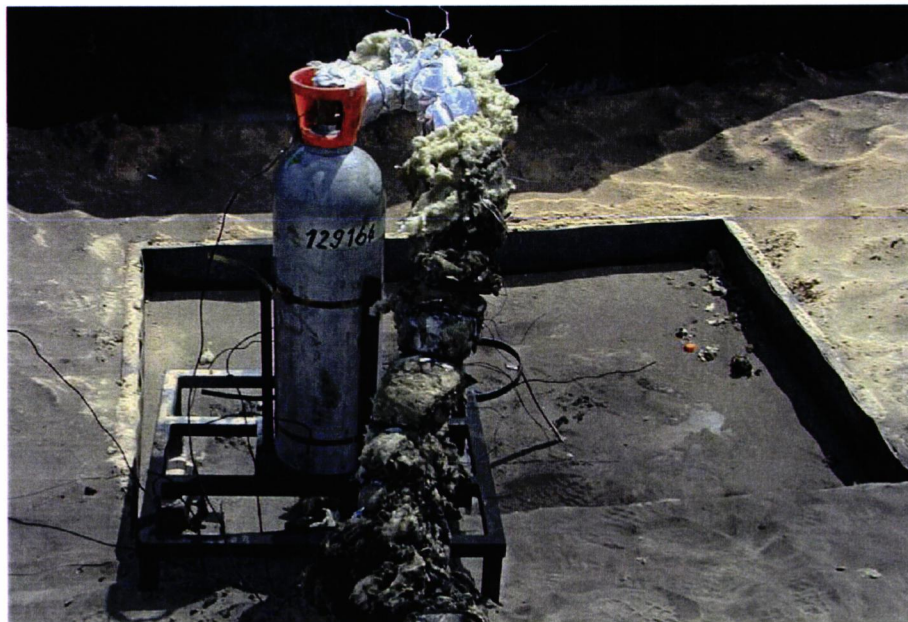
Item	Specificatie
Merknaam / code	129164
Vorm	Cilinder
Materiaal	AA6351 T6
Homologatienummer	ε2 UK902UK
Diameter (mm)	204 ± 4
Hoogte (mm)	650
Extern oppervlak cilinder (m ²)	Niet bekend
Wanddikte cilinder (mm)	11,5 (minimaal)
Inhoud (l)	13,4
Productiemaand	01-01

Tabel B11-2: Specificatie van appendages (zoals genoemd in R67-01).

Item	Type	Homologatie Nr.	Extensie Nr.
<i>Appendages zoals genoemd in § 1.2.4.5.8 van R656</i>			
Overvulbeveiliging (80%)	N.v.t.	-	-
Niveau-indicator	N.v.t.	-	-
Drukontlastklep	N.v.t.	-	-
(Afname)kraan	Ceodeux, 095210	-	-
Brandstofpomp	N.v.t.	-	-
Multivalve	N.v.t.	-	-
Gasdichte omhuizing	N.v.t.	-	-
Voedingsbus (elektriciteit)	N.v.t.	-	-
Terugslagklep	N.v.t.	-	-
Drukontlastvoorziening	Breekplaat, 250 bar ⁽¹⁾	-	-
<i>Additionele appendages (m.b.t. § 1.2.4.5.8 van R656; bijvoorbeeld mangat)</i>			
N.v.t.	-	-	-

(1) Voor een detailfoto van de breekplaat wordt verwezen naar bijlage 3.

In onderstaande figuur is een overzicht gegeven van cilinder nr. 129164.



Figuur B11-1 Overzicht van cilinder nr. 129164.

2. Test resultaten

2.1 Test datum

De Bonfire test voor cilinder nr. 129164 is uitgevoerd op 11 juni 2003.

2.2 Resultaten Bonfire test

Met betrekking tot de testresultaten wordt onderscheid gemaakt in:

- a) (Audio)visuele waarnemingen;
- b) Druk- en temperatuurmetingen.

Hieronder wordt op elk van deze onderwerpen nader ingegaan

Ad a) (Audio) visuele waarnemingen

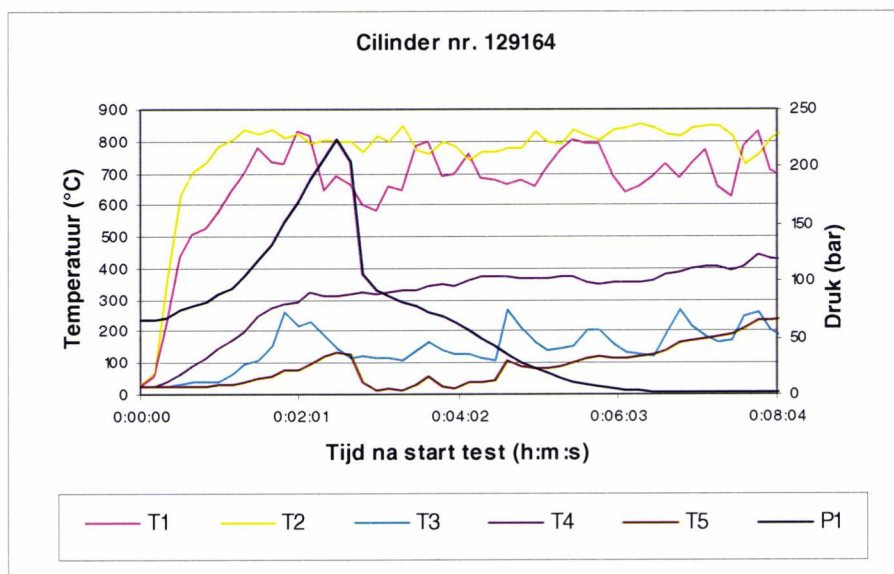
De (audio)visuele waarnemingen tijdens test nr. 8, zoals vastgelegd op videoband, zijn weergegeven in tabel B11-3.

Tabel B11-3 Overzicht van relevante (audio)visuele waarnemingen tijdens test nr. 8.

Tijd [min:sec]	Omschrijving
00:00	Start van de test
02:33	Activeren breekplaat
07:00	Cilinder drukloos / einde test

Ad b) Druk / temperatuurmetingen

In figuur B11-2 is het druk- en temperatuurverloop tijdens test nr. 8 weergegeven.



Figuur B11-2 Druk- en temperatuurverloop tijdens test nr. 8.

Noot (behorende bij figuur B11-2):

Voor een nadere toelichting van T1, T2, T3, T4, T5 en P1 wordt verwezen naar § 2.4.

Uit figuur B11-2 kan worden afgelezen dat de maximale druk in de cilinder 223 bar bedraagt.

2.3 Samenvatting test nr. 8

Twee minuten en drieëndertig seconden na de start van de Bonfire test wordt de breekplaat geactiveerd bij een druk van 223 bar. Als gevolg van deze activering wordt gasvormige CO₂ afgeblazen waardoor de druk in de cilinder in circa 4 minuten atmosferisch wordt.

2.4 Toetsing eisen Bonfire test

Toetsing aan de eisen voor een geldige Bonfire test (zie § 2.3) resulteert in de volgende waarnemingen:

1. Binnen 5 minuten na de start van de test bereikt de Bonfire een temperatuur van tenminste 590 °C. Deze minimale temperatuur blijft tot het einde van de test gehandhaafd.
 ⇒ Na 30 seconden wordt in de Bonfire een temperatuur van 590 °C gemeten.
 Uit figuur B11-2 blijkt dat deze waarde gedurende het verdere verloop van de test gehandhaafd blijft.

2. Het eind van de test wordt bepaald door het moment waarop de druk in de cilinder atmosferisch is.
⇒ Uit tabel B11-3 blijkt dat de cilinder na 7 minuten atmosferisch is geworden. Dit blijkt eveneens uit figuur B11-2.
3. De aanwezige CO₂ wordt uitsluitend afgeblazen via de op de cilinder aanwezige breekplaat.
⇒ Uit bestudering van de videobeelden wordt geen zichtbare lekkage via een appendage anders dan de breekplaat waargenomen.
4. De cilinder doorstaat de test.
⇒ De CO₂ cilinder is als gevolg van de test niet bezwaken.

Bijlage 12 Resultaten Bonfire test cilinder nr. 44110

In deze bijlage is een overzicht gegeven van de resultaten van de Bonfire test voor de aluminium CO₂-cilinder met nummer 44110. Voorafgaande aan de testresultaten is eerst een nadere specificatie gegeven van de geteste cilinder.

1. Specificatie CO₂ cilinder

In de tabellen B12-1 en B12-2 is een specificatie gegeven van de cilinder en de appendages zoals gemonteerd op de cilinder.

Tabel B12-1 Specificatie van cilinder.

Item	Specificatie
Merknaam / code	44110
Vorm	Cilinder
Materiaal	HE 30 TF
Homologatienummer	Cilinder voldoet aan RToD
Diameter (mm)	204 ± 4
Hoogte (mm)	650
Extern oppervlak cilinder (m ²)	Niet bekend
Wanddikte cilinder (mm)	12,1 (minimaal)
Inhoud (l)	13,4
Productiemaand	11-87

Tabel B12-2 Specificatie van appendages (zoals genoemd in R67-01).

Item	Type	Homologatie Nr.	Extensie Nr.
<i>Appendages zoals genoemd in § 1.2.4.5.8 van R656</i>			
Overvulbeveiliging (80%)	N.v.t.	-	-
Niveau-indicator	N.v.t.	-	-
Drukontlastklep	N.v.t.	-	-
(Afname)kraan	Ceodeux, 095210	-	-
Brandstofpomp	N.v.t.	-	-
Multivalve	N.v.t.	-	-
Gasdichte omhuizing	N.v.t.	-	-
Voedingsbus (elektriciteit)	N.v.t.	-	-
Terugslagklep	N.v.t.	-	-
Drukontlastvoorziening	Breekplaat, 250 bar ⁽¹⁾	-	-
<i>Additionele appendages (m.b.t. § 1.2.4.5.8 van R656; bijvoorbeeld mangat)</i>			
N.v.t.	-	-	-

(1) Voor een detailfoto van de breekplaat wordt verwezen naar bijlage 3.

In onderstaande figuur is een overzicht gegeven van cilinder nr. 44110.



Figuur B12-1 Overzicht van cilinder nr.44110.

2. Test resultaten

2.1 Test datum

De Bonfire test voor cilinder nr. 44110 is uitgevoerd op 12 juni 2003.

2.2 Resultaten Bonfire test

Met betrekking tot de testresultaten wordt onderscheid gemaakt in:

- a) (Audio)visuele waarnemingen;
- b) Druk- en temperatuurmetingen.

Hieronder wordt op elk van deze onderwerpen nader ingegaan

Ad a) (Audio) visuele waarnemingen

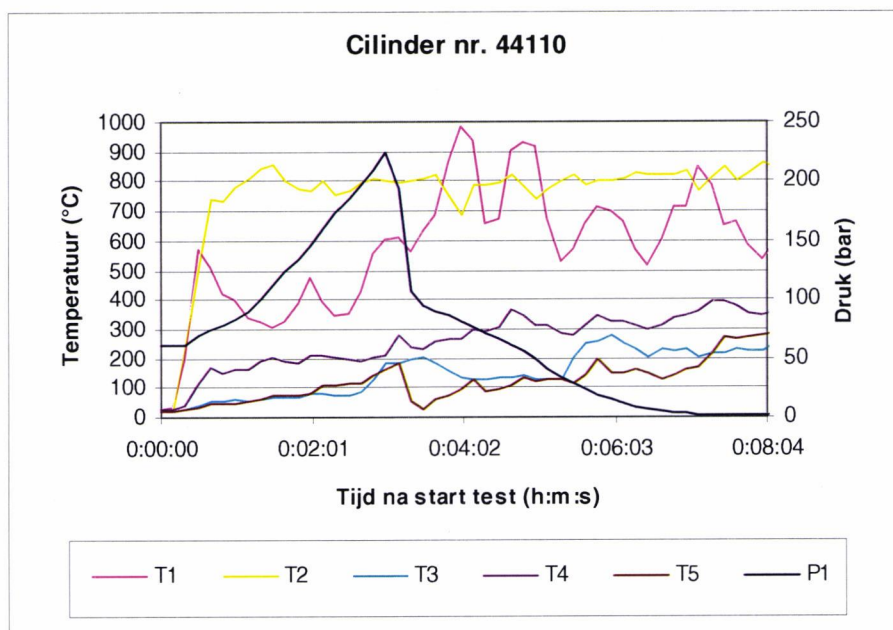
De (audio)visuele waarnemingen tijdens test nr. 9, zoals vastgelegd op videoband, zijn weergegeven in tabel B12-3.

Tabel B12-3 Overzicht van relevante (audio)visuele waarnemingen tijdens test nr. 9.

Tijd [min:sec]	Omschrijving
00:00	Start van de test
02:59	Activeren breekplaat
07:20	Cilinder drukloos / einde test

Ad b) Druk / temperatuurmetingen

In figuur B12-2 is het verloop van de druk en de temperaturen tijdens test nr. 9 weergegeven.



Figuur B12-2 Druk- en temperatuurverloop tijdens test nr. 9.

Noot (behorende bij figuur B12-2):

Voor een nadere toelichting van T1, T2, T3, T4, T5 en P1 wordt verwezen naar § 2.4.

Uit figuur B12-2 kan worden afgelezen dat de maximale druk in de cilinder 224 bar bedraagt.

2.3 Samenvatting test nr. 9

Twee minuten en negenenvijftig seconden na de start van de Bonfire test wordt de breekplaat geactiveerd bij een druk van 224 bar. Als gevolg van deze activering wordt gasvormige CO₂ afgeblazen waardoor de druk in de cilinder in circa 4 minuten atmosferisch wordt.

2.4 Toetsing eisen Bonfire test

Toetsing aan de eisen voor een geldige Bonfire test (zie § 2.3) resulteert in de volgende waarnemingen:

1. Binnen 5 minuten na de start van de test bereikt de Bonfire een temperatuur van tenminste 590 °C. Deze minimale temperatuur blijft tot het einde van de test gehandhaafd.

⇒ Na 40 seconden wordt in de Bonfire een temperatuur van 590 °C gemeten.

Uit figuur B12-2 (temperatuurcurve 'T2') blijkt dat deze waarde gedurende

het verdere verloop van de test gehandhaafd blijft.

Temperatuurcurve 'T1' daarentegen wijkt gedurende een gedeelte van de test aanzienlijk af van temperatuurcurve 'T2' en blijft beneden deze vereiste waarde. Uit bestudering van de videobeelden blijkt dat dit verschil niet veroorzaakt wordt door een ongelijkmatig brandend vuur. Op basis daarvan is geconcludeerd dat thermokoppel 'T1' tijdens test nr. 9 een onjuiste waarde heeft weergegeven en is als gevolg daarvan voorafgaande aan test 10 vervangen.

2. Het eind van de test wordt bepaald door het moment waarop de druk in de cilinder atmosferisch is.
⇒ Uit tabel B12-3 blijkt dat de cilinder na 7 minuten en 20 seconden atmosferisch is geworden.
3. De aanwezige CO₂ wordt uitsluitend afgeblazen via de op de cilinder aanwezige breekplaat.
⇒ Uit bestudering van de videobeelden wordt geen zichtbare lekkage via een appendage anders dan de breekplaat waargenomen.
4. De cilinder doorstaat de test.
⇒ De CO₂ cilinder is als gevolg van de test niet bezweken.

Bijlage 13 Bonfire test cilinder nr. 54826

In deze bijlage is een overzicht gegeven van de resultaten van de Bonfire test voor de aluminium CO₂-cilinder met nummer 54826. Voorafgaande aan de testresultaten is eerst een nadere specificatie gegeven van de geteste cilinder.

1. Specificatie CO₂ cilinder

In de tabellen B13-1 en B13-2 is een specificatie gegeven van de cilinder en de appendages zoals gemonteerd op de cilinder.

Tabel B13-1 Specificatie van cilinder.

Item	Specificatie
Merknaam / code	54826
Vorm	Cilinder
Materiaal	AA6351
Homologatienummer	Cilinder voldoet aan RToD
Diameter (mm)	204 ± 4
Hoogte (mm)	650
Extern oppervlak cilinder (m ²)	Niet bekend
Wanddikte cilinder (mm)	12,1 (minimaal)
Inhoud (l)	13,4
Productiemaand	10-90

Tabel B13-2 Specificatie van appendages (zoals genoemd in R67-01).

Item	Type	Homologatie Nr.	Extensie Nr.
<i>Appendages zoals genoemd in § 1.2.4.5.8 van R656</i>			
Overvulbeveiliging (80%)	N.v.t.	-	-
Niveau-indicator	N.v.t.	-	-
Drukontlastklep	N.v.t.	-	-
(Afname)kraan	Ceodeux, 095210	-	-
Brandstofpomp	N.v.t.	-	-
Multivalve	N.v.t.	-	-
Gasdichte omhuizing	N.v.t.	-	-
Voedingsbus (elektriciteit)	N.v.t.	-	-
Terugslagklep	N.v.t.	-	-
Drukontlastvoorziening	Breekplaat, 250 bar ⁽¹⁾	-	-
<i>Additionele appendages (m.b.t. § 1.2.4.5.8 van R656; bijvoorbeeld mangat)</i>			
N.v.t.	-	-	-

(1) Voor een detailfoto van de breekplaat wordt verwezen naar bijlage 11.

In onderstaande figuur is een overzicht gegeven van cilinder nr. 52826.



Figuur B13-1 Overzicht van cilinder nr.54826.

2. Test resultaten

2.1 Test datum

De Bonfire test voor cilinder nr. 54826 is uitgevoerd op 12 juni 2003.

2.2 Resultaten Bonfire test

Met betrekking tot de testresultaten wordt onderscheid gemaakt in:

- a) (Audio)visuele waarnemingen;
- b) Druk- en temperatuurmetingen.

Hieronder wordt op elk van deze onderwerpen nader ingegaan

Ad a) (Audio) visuele waarnemingen

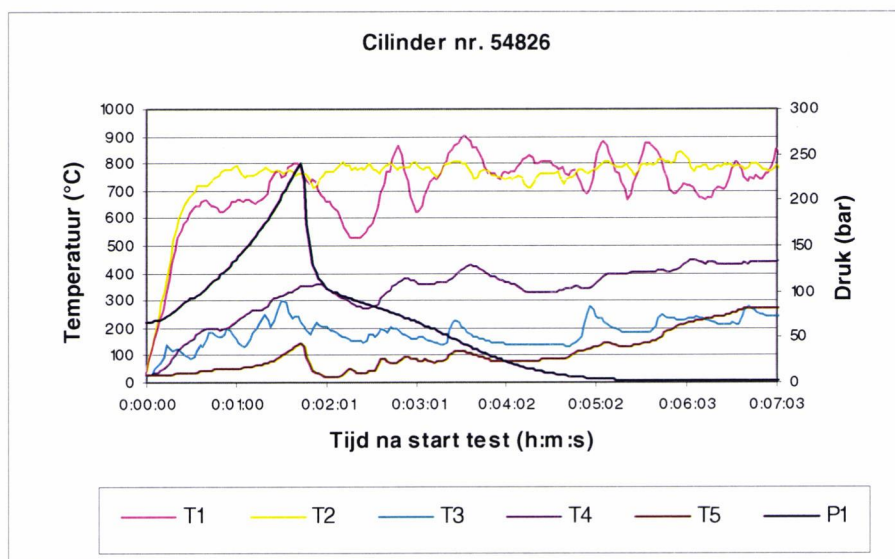
De (audio)visuele waarnemingen tijdens test nr. 10, zoals vastgelegd op videoband, zijn weergegeven in tabel B13-3.

Tabel B13-3 Overzicht van relevante (audio)visuele waarnemingen tijdens test nr. 10

Tijd [min:sec]	Omschrijving
00:00	Start van de test
01:46	Activeren breekplaat
05:50	Cilinder drukloos / einde test

Ad b) Druk / temperatuurmetingen

In figuur B13-2 is het druk- en temperatuurverloop tijdens test nr. 10 weergegeven.



Figuur B13-2 Druk- en temperatuurverloop tijdens test nr. 10.

Noot (behorende bij figuur B13-2):

Voor een nadere toelichting van T1, T2, T3, T4, T5 en P1 wordt verwezen naar § 2.4.

Uit figuur B13-2 kan worden afgelezen dat de maximale druk in de cilinder 241 bar bedraagt.

2.3 Samenvatting test nr. 10

Eén minuut en zesenvestig seconden na de start van de Bonfire test wordt de breekplaat geactiveerd bij een druk van 241 bar. Als gevolg van deze activering wordt gasvormige CO₂ afgeblazen waardoor de druk in de cilinder in circa 4 minuten atmosferisch wordt.

2.4 Toetsing eisen Bonfire test

Toetsing aan de eisen voor een geldige Bonfire test (zie § 2.3) resulteert in de volgende waarnemingen:

1. Binnen 5 minuten na de start van de test bereikt de Bonfire een temperatuur van tenminste 590 °C. Deze minimale temperatuur blijft tot het einde van de test gehandhaafd.

⇒ Na 20 seconden wordt in de Bonfire een temperatuur van 590 °C gemeten.
Uit figuur B13-2 blijkt dat deze waarde gedurende het verdere verloop van de test gehandhaafd blijft.

2. Het eind van de test wordt bepaald door het moment waarop de druk in de cilinder atmosferisch is.
⇒ Uit tabel B13-3 blijkt dat de cilinder na 5 minuten en 50 seconden atmosferisch is geworden.
3. De aanwezige CO₂ wordt uitsluitend afgeblazen via de op de cilinder aanwezige breekplaat.
⇒ Uit bestudering van de videobeelden wordt geen zichtbare lekkage via een appendage anders dan de breekplaat waargenomen.
4. De cilinder doorstaat de test.
⇒ De CO₂ cilinder is als gevolg van de test niet bezwaken.