

Cals

Overdruk uit maandblad DE VEILIGHEID,

OD 88

4230

Prins Maurits laboratorium TNO

DOCUMENTATIE

R80-028

Stofexplosie-onderzoek

Ing. Th. M. Groothuizen en Ir. H. Beumer
Instituut voor Chemische en Technologische Research TNO, Rijswijk

Stofexplosie-onderzoek

Ing. Th. M. Groothuizen* en Ir. H. Beumer**

Instituut voor Chemische en Technologische Research TNO, Rijswijk

Stofexplosies zijn de laatste jaren steeds meer in de publieke belangstelling komen te staan. Vermoedelijk wordt dit vooral veroorzaakt door de tragische gevolgen van enkele vrij recente stofexplosies (o.a. USA, december 1977; Duitsland, februari 1979). Mede daardoor is er een toenemende belangstelling voor onderzoek naar de oorzaken van stofexplosie en naar mogelijkheden om ze te voorkomen. Hiertoe behoren ook praktisch hanteerbare richtlijnen ter voorkoming van stofexplosies en/of ter beperking van het effect ervan.

In Nederland verricht TNO, in samenwerking met het bedrijfsleven, al een aantal jaren studie en onderzoek op dit terrein. In de eerste fase van dit onderzoek is een literatuurstudie uitgevoerd naar de oorzaken en omstandigheden van een groot aantal stofexplosies die in de periode 1860-1973 hebben plaatsgevonden (1, 2). Deze studie geeft de destijds bekende maatregelen ter voorkoming van stofexplosies en ter beperking van hun effect. Op basis van deze studie en van gegevens uit het bedrijfsleven zijn in de tweede fase „Richtlijnen en aanbevelingen” (3) en „Instructies” (4) ter beperking van stofexplosies opgesteld en onder de bij het onderzoek betrokken bedrijfstakken verspreid. Deze brochures geven een aantal praktisch uitvoerbare maatregelen, vooral in de sfeer van de bedrijfsvoering, waardoor het gevaar van stofexplosies sterk kan worden beperkt.

In de derde fase is vooral experimenteel onderzoek uitgevoerd naar de explosie-eigenschappen van een aantal stoffen, die voorkomen in bedrijven die bloem, mengvoeders, zetmeel en zuivelprodukten verwerken en opslaan (5). In het onderstaande worden enkele punten uit dit onderzoek belicht.

Doel en opzet van het onderzoek

Doel van het onderzoek was het vastleggen van enkele belangrijke explosie-eigenschappen van stoffen, zoals ze onder praktijkomstandigheden voorkomen in de bij het onderzoek betrokken bedrijfstakken. Hiertoe werden in een zevental bedrijven in totaal 26 stofmonsters genomen, in de meeste gevallen op vrij willekeurige plaatsen en momenten. Zonder een volledige

opsomming te geven, kunnen de onderzochte stoffen als volgt gekarakteriseerd worden:

- *bloemindustrie*: enkele bloemsoorten en enkele stofmonsters afkomstig van de afzuiging van reinigingsmachines.
- *mengvoederindustrie*: stofmonsters van grondstoffen, van een mengsel en enkele premixen (voornamelijk uit filters of cyclonen).
- *overslagbedrijf*: diverse monsters uit stoffilters en van het cellendek.
- *zetmeelindustrie*: diverse monsters van aardappelzetmeelderivaten.
- *zuivelindustrie*: diverse monsters magere melkpoeder en weipoeder.

De monsters werden voor het onderzoek niet gedroogd en alleen de grofste bestanddelen werden afgezeefd (maaswijdte 1,5 mm), indien dit voor de uitvoering van de proeven noodzakelijk was. Van alle onderzochte monsters werden het vochtgehalte en de deeltjesgrootteverdeling bepaald.

Van alle monsters werden de volgende explosie-eigenschappen bepaald.

- het maximale effect, gekarakteriseerd door de maximale *drukstijgsnelheid* en de *maximale overdruk*, die tijdens de explosie worden bereikt. Eén en ander is schematisch weergegeven in figuur 1. De maximale drukstijgsnelheid is hierin de maximale helling van het druk-tijdverloop (= $\tan \alpha$).
- de *minimale ontstekingsenergie*, dat is de laagste energie die in een stofluchtmengsel een explosie veroorzaakt.

De explosiegrenzen, d.w.z. de minimale en de maximale stofconcentratie, waarbij een

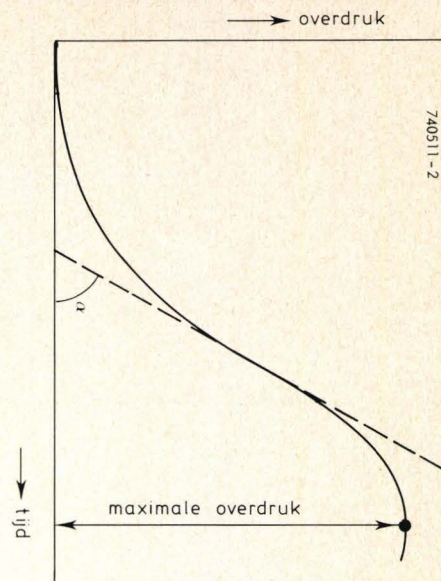


Fig. 1. Druk-tijdverloop van een stofexplosie in een gesloten vat. De maximale overdruk is circa 10 bar en de duur van de explosie 0,05 tot 1 seconde.

explosie kan plaatsvinden zijn niet bepaald, omdat deze eigenschappen van minder praktisch belang werden geacht.

Van acht monsters is ook de glimtemperatuur bepaald. Dit is de laagste temperatuur waarbij liggend stof tot gloeien (glimmen) komt. Zo'n gloeiverschijnsel is potentieel een ontstekingsbron voor een stofexplosie. Met één stofmonster zijn proeven uitgevoerd om het effect van breekplaat en van een daarachter gekoppelde leiding naar buiten na te gaan. De achtergrond hiervan is het volgende:

Wanneer men het optreden van stofexplosies niet kan uitsluiten, kan men installaties (of gebouwen) beschermen tegen de gevolgen van een stofexplosie door het aanbrengen van zwakke plaatsen (b.v. breekplaten). Hierdoor kan de maximale explosiedruk in de installatie sterk beperkt worden. Vaak zal men achter een breekplaat een leiding naar buiten moeten monteren om eventuele secundaire explosies in de werkruimte te voorkomen. Een dergelijke leiding heeft weerstand en doet de maximale explosiedruk in de installatie weer toenemen en beperkt zo het nut van de breekplaat.

Apparatuur en uitvoering van de proeven

De explosieproeven werden uitgevoerd in een 1 m³-explosieapparaat en een zogenaamd Hartmannapparaat (een buisvormig stofexplosieapparaat met een volume van 1,2 liter).

De genoemde apparaten zijn schematisch weergegeven in de figuren 2 en 3. De proeven in deze apparaten zijn uitgevoerd onder internationaal overeengekomen standaardcondities.

* Prins Maurits Laboratorium TNO, Postbus 45, 2280 AA Rijswijk

** Instituut voor Graan, Meel en Brood TNO, Postbus 15, 6700 AA Wageningen.

Samenvatting

Zonder beantwoording van alle vragen over de stof-explosie-problematiek, doen auteurs verslag van een wetenschappelijk stof-explosie-onderzoek verricht in het Nederlandse bedrijfsleven. Zij adviseren ter preventie o.a. het regelmatig verwijderen van stof en ontstekingsbronnen in ruimten waarin hoge stofconcentraties aanwezig of te verwachten zijn. Ook biedt de toepassing van breekplaten in sommige bedrijfstakken effect bij de beperking van stofexplosies.

Summary

Without answering all questions about the dust-explosion problems, authors render an account of a scientific research on dust-explosions in the Netherlands industry. As prevention they advise among others the regular removing of dust and ignition-sources there where high dust-concentrations be present or are to be expected. They pose that the application of jaw plates in some industries offer good effects in reduction of dust-explosions

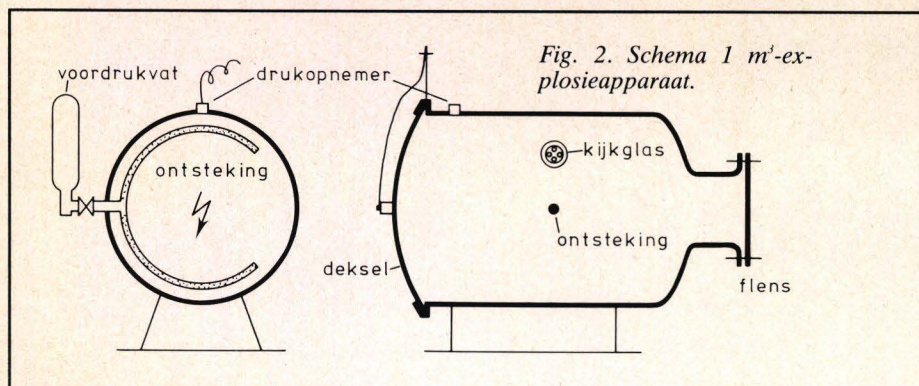


Fig. 2. Schema 1 m³-explosieapparaat.

De maximale drukstijg snelheid en de maximale explosiedruk zijn bepaald in het 1 m³-explosieapparaat. Het principe van de bepaling is als volgt (zie figuur 2):

Het te onderzoeken stof wordt vanuit het voordrukvat via een sproeiring in de explosieruimte verstoven. Het stof-luchtmengsel vult de explosieruimte en een zekere tijd na het begin van de verstuiving (vertraagtijd) wordt het door middel van een pyrotechnische ontsteker (vergelijkbaar met een stukje siervuurwerk dat ontstoken wordt) met een energie van 10 kJ ontstoken. Het druk-tijdverloop (zie figuur 1) tijdens de explosie wordt geregistreerd. Door de proeven te herhalen met verschillende stofconcentraties kan men de maximale drukstijg snelheid en de maximale explosiedruk bepalen. De maxima voor de drukstijg snelheid en de explosiedruk treden niet altijd bij dezelfde stofconcentratie op.

Het Hartmannapparaat is gebruikt voor de bepaling van de minimale ontstekingsenergie. Deze werd bepaald bij die stofconcentratie (= gewicht van het stof gedeeld door het volume van de explosieruimte), die de maximale drukstijg snelheid geeft. Het principe van de bepaling is als volgt (zie figuur 3):

Het te onderzoeken stof onderin het drukvat wordt opgewerveld door een luchtstoot vanuit een voordrukvat en ontstoken door een gloeispiraal, waaraan tot het moment van opwervelen een energie van ca. 1,3 kJ is toegevoerd. Het druk-tijdverloop van de hierdoor optredende explosie wordt geregistreerd. Door de proeven te herhalen met verschillende stofconcentraties vindt men de concentratie die het maximale effect geeft. Bij de bepaling van de minimum ontstekingsenergie zelf wordt het drukvat vervangen door een perspex buis, afgesloten door een breekmembran en de gloeispiraal door wolfram elektroden. Het stof wordt weer opgewerveld door een luchtstoot en na een zekere vertraagtijd ontstoken door een condensator te laten ontladen over de elektroden. Door proeven te doen met verschillende ontladingsenergieën en daarbij vast te stellen bij welke energie een explosie optreedt en bij welke niet, vindt men de minimale ontstekingsenergie.

De glimtemperatuur is bepaald volgens VDE 0165/8.69 (6) en is in deze norm gedefinieerd als de laagste temperatuur van een verwarmd vrijliggend oppervlak waarbij een hierop liggend stoflaagje met een dikte van 5 mm binnen twee uur nog juist tot gloeien (glimmen) komt. De glimtempera-

tuur wordt bepaald door het te onderzoeken stof op een elektrisch verwarmd plaatje te brengen, waarvan de temperatuur op ± 2 °C nauwkeurig kan worden ingesteld. Het resultaat wordt als positief beoordeeld als binnen maximaal 2 uren een vuurgloed is waar te nemen. Rookontwikkeling of verkoling worden als negatief beoordeeld. Bij de proeven ter bepaling van het effect van leidingen achter breekplaten is de flens van het 1 m³-explosieapparaat vervangen door een flens met een opening waarin een breekplaat werd vastgezet (diameter 0,35 m, barstdruk 0,46 bar). Hierachter werden buizen van verschillende lengte gemonteerd met dezelfde diameter als de breekplaat.

Resultaten

Alle onderzochte stoffen bleken onder de toegepaste proefomstandigheden (niet gedroogd, niet gezeefd) met lucht explosieve mengsels te kunnen vormen. Tabel 1 geeft een indruk van de onderzochte eigenschappen en van de getalswaarden voor enkele van de onderzochte stoffen.

Om de gevaarlijkheid van stoffen onderling te kunnen vergelijken is er een klasse-indeling gemaakt op grond van de onder standaardcondities bepaald maximale drukstijg snelheid.

Deze klasse-indeling wordt ook gehanteerd in VDI 3673 (7) en is weergegeven in tabel 2. Hij is ook toegepast op de resultaten verkregen met het 1 m³-explosieapparaat (ontstekingsenergie ca. 10 kJ). De indeling van een stof in een der klassen is niet alleen afhankelijk van de chemische samenstelling maar ook van het vochtgehalte en de deeltjesgrootteverdeling. Wanneer deze veranderen, veranderen ook de explosie-eigenschappen van de stof en daarmee soms de indeling.

Tabel 2 Overzicht klasse-indeling

Gevarenklasse	K_{stof} [bar.m.s. ⁻¹]
St 1	≤ 200
St 2	>200 en ≤ 300
St 3	>300

* $K_{stof} = \max.$ drukstijg snelheid vermenigvuldigd met de derde-machtswortel uit het volume (in m³) van het vat waarin de proef is uitgevoerd.

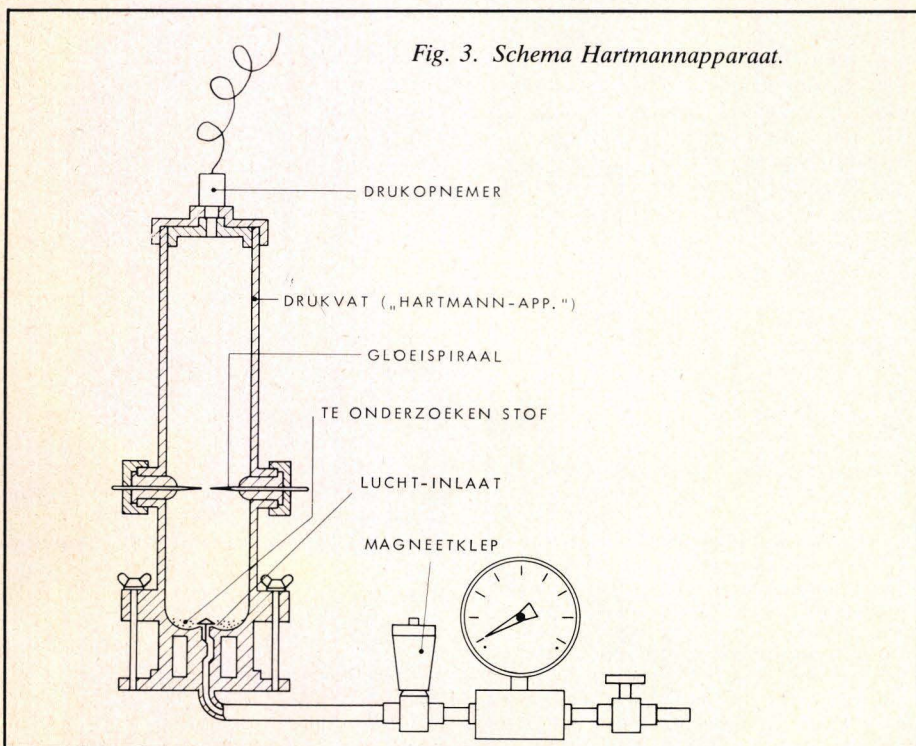


Fig. 3. Schema Hartmannapparaat.

Het in tabel 1 vermelde methionine was duidelijk gevaarlijker dan de andere stoffen. Het onderzochte monster had enerzijds een relatief lage minimumontstekingsenergie (0,14 J) en anderzijds de grootste maximale drukstijg snelheid in het 1 m³-explosieapparaat (370 bar/s). Daardoor moet deze stof worden ingedeeld in de gevaarlijke klasse St 3 van VDI 3673. Een mogelijke verklaring voor het zeer explosieve gedrag van het onderzochte methionine-monster ligt in het extreem lage vochtgehalte in vergelijking met de overige onderzochte stoffen.

De overige onderzochte stoffen konden, op één na die in de gevaarlijke klasse St.2 werd ondergebracht, worden ingedeeld in gevaarlijke klasse St.1.

Bij wijze van voorbeeld is in figuur 4 de invloed van de stofconcentratie op enkele ex-

Tabel 1 Resultaten voor enkele onderzochte stoffen

Stof-eigenschappen		Explosie-eigenschappen 1)			Gevaren- klasse volgens VDI 3673	Glimtem- peratuur volgens VDE 0165 (°C)	
Vocht- gehalte (%)	Aandeel deeltjes 63 µm (%)	Min. ontst. energie ²⁾ (Joules)	Max. explosie- druk ³⁾ (bar)	Max. drukstijg- snelheid ³⁾ (bar/s)			
Tarwebloem (droog)	13,2	59	— ⁴⁾	10,0	128	St.1	300 ⁵⁾
Tapiocastof	13,7	99	— ⁴⁾	11,4	120	St.1	—
Methionine ⁶⁾	0,04	35	0,14	10,0	370	St.3	—
Magere melkpoeder	5,1	83	36	10,1	168	St.1	275
Maisstof (droog)	12,0	88	52	9,9	160	St.1	275

- 1) De vermelde minimum- en maximumwaarden zijn bepaald bij verschillende stofconcentraties.
- 2) Bruto minimum ontstekingsenergie (1/2 CV²), bepaald in het Hartmannapparaat.
- 3) Bepaald in het 1 m³-explosieapparaat; 1 bar = 10⁵ Pa = 1 kgf/cm².
- 4) Het stof-luchtmengsel is niet tot ontsteking te brengen met een capacitatieve vonk van 128 Joule, maar wel met een gloeispiraal waaraan tot het moment van opwerveling van het stof ca. 1,3 kJ aan energie is toegevoerd.
- 5) Dit monster verkoolt bij 300 °C.
- 6) Geldt voor een bepaald monster methionine; een later onderzocht monster was duidelijk minder gevaarlijk.

plosie-eigenschappen van een monster filterstof van sojaschroot weergegeven.

De proeven met breekplaten hadden het volgende resultaat:

Met een stofmonster, dat in het gesloten 1 m³-explosieapparaat een maximale explosiedruk gaf van ca. 11 bar en een maximale drukstijgnsnelheid van 220 bar/s, werd een explosiedruk gemeten van slechts 0,50 bar, wanneer het explosie-apparaat was voorzien van een breekplaat met een diameter van 0,35 m en een barstdruk van 0,46 bar. Bij plaatsing van een leiding (diameter 0,35 m) achter de bovengenoemde breekplaat bleek de ten gevolge van de breekplaat gereduceerde explosiedruk weer op te lopen tot 2,8 bar bij een lengte van de leiding van 6 m of meer. Dit is weergegeven in figuur 5.

Voor enkele stoffen is de glimtemperatuur in tabel 1 vermeld. Die van vier andere stofmonsters was 275 °C; één stof verkoolde reeds bij 175 °C zonder te glimmen. Daarnaast is voor twee monsters nagegaan wat de invloed is van de dikte van de stoflaag op de tijdsduur nodig voor glimmen. Hierbij bleek dat tussen 5 en 25 mm de tijdsduur langer werd naarmate de laag dikker was. Van dezelfde monsters is tevens bij een constante laagdikte (5 mm) bij verschillende temperatuur de tijdsduur tot glimmen bepaald. Bij temperaturen beneden de glimtemperatuur blijkt deze tijdsduur snel toe te nemen bij dalende temperaturen.

Nabeschoowing

Het tot nu toe uitgevoerde onderzoek geeft

zeker geen antwoord op alle vragen die er met betrekking tot stofexplosies zijn. Wel is duidelijk dat vele stoffen met lucht tot explosie kunnen worden gebracht. Het al of niet optreden van stofexplosies in de praktijk is dan ook afhankelijk van omstandigheden die men tot op zekere hoogte kan beïnvloeden. Vooral het regelmatig verwijderen van stof en het verwijderen van ontstekingsbronnen in ruimten waar hoge stofconcentraties aanwezig zijn.

Beschermingsmaatregelen zoals breekplaten bieden soms mogelijkheden om het effect van een stofexplosie te beperken. Bij toepassing hiervan in bedrijfstakken met apparatuur van zeer lichte constructie zoals b.v. de mengvoederindustrie kan dit echter problemen geven, vooral wanneer er door de plaatselijke situering van de apparatuur leidingen na de breekplaat nodig zijn.

Het is de bedoeling het onderzoek voort te zetten met

- a) het nagaan van de invloed van het vochtgehalte en de deeltjesgrootteverdeling op de explosie-eigenschappen van onder andere tarwebloem en tapiocameel.
- b) oriënterende proeven betreffende het ontstekend vermogen van ontstekingsbronnen als slijpvonken en brandende sigaretten.
- c) het opstellen van concept richtlijnen met praktisch uitvoerbare maatregelen ter voorkoming van stofexplosies en ter beperking van hun effect.

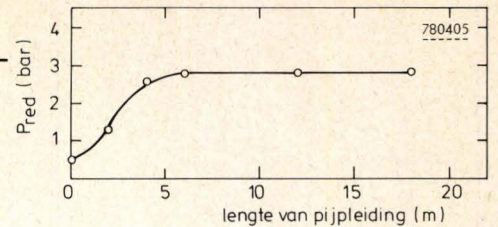


Fig. 5. Gereduceerde explosiedruk als functie van de lengte van de pijpleiding achter een breekplaat.

Informatie

Uitgebreide informatie over het hier beschreven onderzoek is vastgelegd in een rapport (5) dat verkrijgbaar is door bestelling bij het Bureau Industriële Veiligheid, Postbus 45, 2280 AA Rijswijk (Kosten f 40,—, excl. BTW). Ook het rapport van de eerste fase (literatuuronderzoek, kosten f 20,— voor de Nederlandstalige versie (1) en f 70,— voor de Engelstalige versie (2) en de boekjes (3,4) van de tweede fase (kosten f 2,50 resp. f 1,50 per exemplaar) kunnen via bovengenoemd bureau besteld worden.

Organisatie van Onderzoek

Het onderzoek is uitgevoerd door het: Prins Maurits Laboratorium TNO te Rijswijk, in samenwerking met het Instituut voor Graan, Meel en Brood TNO te Wageningen. De coördinatie was in handen van het Bureau Industriële Veiligheid TNO te Rijswijk. Het onderzoek werd gesubsidieerd door:

- Produktschap voor Granen, Zaden en Peulvruchten, 's-Gravenhage
- Vereniging van Graanopslag- en Overladingsbedrijven, Rotterdam
- Nederlands Instituut voor Zuivelonderzoek, Ede.

Literatuur

- (1) H. de Gooijer, Th. M. Groothuizen, M. E. Reinders.
Literatuuronderzoek naar het stofexplosiegevaar in bedrijven die granen en meel opslaan en verwerken.
Rapport Bureau Industriële Veiligheid TNO, november 1974. (Inclusief bijlagen ca. 100 p).
- (2) H. de Gooijer, Th. M. Groothuizen, M. E. Reinders.
Literature investigation into the dust explosion danger in industries storing and processing cereals and flour.
Rapport Bureau Industriële Veiligheid TNO, oktober 1975. (ca. 100 p).

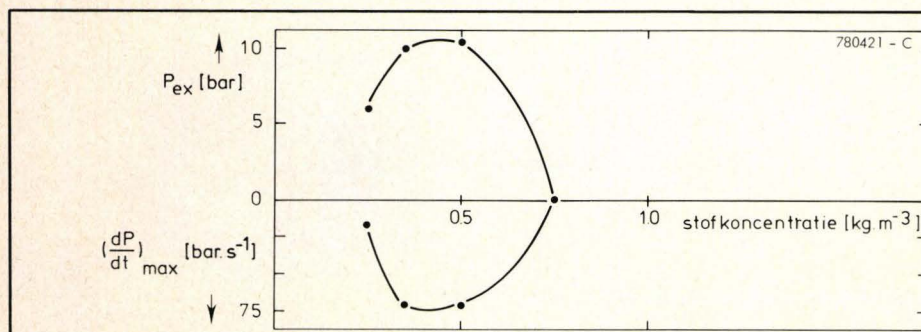


Fig. 4. Explosiedruk (P_{ex}) en max. drukstijgnsnelheid $(\frac{dp}{dt})_{max}$ in het 1 m³-apparaat als functie van de stofconcentratie van een monster filterstof van sojaschroot.

-
- (3) M. E. Reinders.
Richtlijnen en aanbevelingen ter beperking van stofexplosie, Deel 1. Bestemd voor de bedrijfsleiding.
Instituut voor Graan, Meel en Brood TNO, maart 1976. (15 p.).
- (4) M. E. Reinders.
Instructies ter beperking van stofexplosies, Deel II, bestemd voor de medewerkers, Instituut voor Graan, Meel en Brood TNO, maart 1976 (10 p.).
- (5) Th. M. Groothuizen.
Onderzoek naar stofexplosie-eigenschappen van een aantal stoffen dat voorkomt in bedrijven die bloem, mengvoeders zetmeel en zuivelproducten verwerken en opslaan.
- Rapport Prins Maurits Laboratorium TNO, G 6175, dd. 8 augustus 1979. (70 p.).
- (6) VDE 0165 8.69 Vorschriften für die Errichtung elektrischer Anlagen in explosionsgefährdeten Betriebsstätten 81969, met aanvullingen).
- (7) VDI 3673 Druckentlastung von Staubexplosionen (1979).

