

Onverwachte explosierisico's

De voor de hand liggende conclusie is niet altijd de juiste

Ake Harmanny

1. Inleiding

In de loop van de jaren is ISMA betrokken geweest bij het onderzoek van diverse explosies. Hoewel in veel gevallen het resultaat van het onderzoek min of meer was zoals verwacht werd was het resultaat in een aantal gevallen verrassend. Een aantal van deze situaties wordt hier gepresenteerd, samen met een aantal gevallen waar het nog juist goed ging (omdat het explosie risico over het hoofd was gezien).

De vraag kan gesteld worden waarom het zo belangrijk is de oorzaak van een explosie te achterhalen. In het algemeen is dit van belang om maatregelen te kunnen nemen om herhaling te voorkomen. Uiteraard dienen deze maatregelen niet enkel gericht te zijn op het voorkomen van juist dit specifieke incident, maar ook op (bijvoorbeeld) het voorkomen van andere mogelijke ontstekingsbronnen die bij het onderzoek geïdentificeerd werden. Soms heeft het weinig zin om de echte ontstekingsbron op te sporen. Bijvoorbeeld: bij het onderzoek naar een explosie in een droger bleek al snel dat, door een fout, het product maar bleef circuleren: het werd extreem droog, heet en fijn. In zo'n geval is de werkelijke ontstekingsbron nauwelijks interessant: vrijwel iedere elektrostatische ontlading of mechanisch vonkje is in staat te ontsteken. In dit geval is de belangrijkste preventieve maatregel: voorkomen dat het product langdurig in circulatie kan blijven.

Als je achteraf op sommige van de hierna besproken situaties terug kijkt kun je je afvragen hoe men zo "dom" heeft kunnen zijn door dergelijke voor de hand liggende zaken over het hoofd te zien. Maar bedenk dat, achteraf, dingen vaak heel logisch zijn. Echter: het is vooral van belang er van te voren (bij het ontwerp van een installatie) over na te denken wat er mis kan gaan. We hopen dat deze presentatie hiertoe mag bijdragen.

2. Oorzaak of gevolg

Een belangrijke vraag bij het onderzoek van incidenten is altijd of bepaalde waarnemingen de oorzaak of het gevolg van een explosie zijn. Een typisch voorbeeld zijn smeulende resten: deze kunnen ontstaan zijn als gevolg van de explosie, maar kunnen ook resten zijn van de ontstekingsbron. Soms is het mogelijk het onderscheid te maken. Bijvoorbeeld als een smeulende klomp materiaal bedekt is door een dikke laag onverbrand (of nauwelijks verbrand) materiaal is het minder waarschijnlijk dat dit het gevolg was van de explosie: waarschijnlijk was deze klomp al voor de explosie aanwezig. In het algemeen moet men altijd heel voorzichtig zijn met het onderscheiden van oorzaken en gevolgen.

In één geval traptten bijna alle onderzoekers in deze valkuil.

Een betonnen silo bezweek, wat resulteerde in een dodelijk slachtoffer en veel materiele schade. Een bewakingscamera registreerde een grote vuurbal en na afloop werd ter plaatse smeulend product gevonden. Het formele onderzoek concludeerde daarom dat een stofexplosie de silo had verwoest.

Bij nader onderzoek bleek echter dat er diverse waarnemingen waren die moeilijk te verklaren waren. De belangrijkste: de silo was voorzien van breekplaten op het dak, maar deze bleken nog min of meer intact. Als er een explosie in het bovenste deel van de silo was geweest is het praktisch uitgesloten dat de breekplaten niet zouden openen. Het zou kunnen dat het ontlastoppervlak onvoldoende was, zodat de silo

bezweek, maar ook dan zouden de breekplaten toch op zijn minst geopend zijn. Dat maakt een explosie in het bovenste deel van de silo, met overdrukken voldoende om de silo te vernielen, erg onwaarschijnlijk. Het instorten van een brug, in combinatie met smeulend product, zou een mogelijke verklaring kunnen zijn. Immers: een tamelijk hoog vochtgehalte (zoals hier het geval was) kan leiden tot brugvorming, maar verhoogt ook de kans op smeulend materiaal als gevolg van broei. In dat geval zou er een explosie plaats gevonden kunnen hebben onderin de silo (onder het product) waardoor de breekplaten niet openen. Een ander mogelijke oorzaak gerelateerd aan brugvorming is een gasexplosie: broei kan leiden tot de vorming van CO. Als, bijvoorbeeld door het (deels) bezwijken van een brug de CO kan mengen met lucht, zou een explosief mengsel kunnen ontstaan wat gemakkelijk ontstoken kon worden. Beide potentiële scenario's waren nogal zorgwekkend, omdat deze impliceren dat breekplaten op een silo mogelijk onvoldoende zijn om bezwijken van de silo bij een explosie te voorkomen.

Op basis van een systematisch onderzoek van alle gegevens werd uiteindelijk de meest waarschijnlijke oorzaak achterhaald. Voor het incident waren er verschillende meldingen van brugvorming in de silo. De silo was in de loop van de tijd verzwakt door instortende bruggen, die haarscheuren in de beton veroorzaakten. Tijdens het incident was er opnieuw een instortende brug, die resulteerde in het bezwijken van de verzwakte silo. De instortende silo kwam terecht op een hoogspanningslijn. De vonkvorming die daardoor ontstond was ruimschoots voldoende om de stofwolk, ontstaan door het instorten van de silo, te ontsteken.

3. Combinaties van veilige producten kunnen mogelijk onveilig zijn

In het algemeen is er een stofexplosie risico als het betreffende product brandbaar is en er voldoende fijn stof aanwezig is. Inerte producten, zoals zand, vormen geen stofexplosie risico.

Voor vloeistoffen is de benadering wat anders. Als de vloeistof niet brandbaar is, is er geen gasexplosie risico. Als de vloeistof brandbaar is, is het vlampunt de bepalende factor. Als de temperatuur boven het vlampunt ligt kan er zich een explosieve atmosfeer boven de vloeistof vormen: er dient een gaszone te worden gedefinieerd en apparatuur moet aan de zone zijn aangepast. Als de temperatuur van de vloeistof veilig onder het vlampunt ligt is er onvoldoende verdamping om een explosief mengsel mogelijk te maken. Dit betekent niet dat er, in dergelijke situaties, nooit een explosie risico is: een nevel van fijne druppeltjes kan ook onder het vlampunt voor een nevel explosie zorgen.

Een bedrijf produceert vloeibare diergeneesmiddelen. Omdat het eindproduct een hoog vlampunt heeft en het proces bij kamertemperatuur plaats vindt is er geen gasexplosie risico.

Echter: een nauwkeurige dosering van een dergelijke vloeistof aan droge veevoeders is verre van gemakkelijk. Een gebruikelijke oplossing is dat een inerte drager gecoat wordt met het medicijn. Het (gedroogde) poeder kan dan gemakkelijk en nauwkeurig door het veevoer worden gemengd.

Producten die typisch als drager worden gebruikt zijn fijn zand of kalk. Omdat dit inerte poeders zijn en de vloeistof geen gasexplosie risico vormt werd verwacht dat het resulterende poeder ook veilig zou zijn. Om zeker te zijn werd beslist een eenvoudige test te doen (in een gemodificeerde Hartman buis) met een monster poeder. Het gevolg was een explosie. De test werd daarom herhaald met andere monsters en het resultaat was dat ze allemaal explodeerden, sommige zelfs zeer heftig.

De verklaring is dat, door het coating proces, deeltjes worden verkregen die nog steeds grotendeels inert zijn, maar een brandbaar oppervlak hebben. Bij een stofexplosie verbrand, in eerste instantie het oppervlak van het stofdeeltje. Daarom, ook al was de hoeveelheid brandbaar product heel beperkt, explodeerde het poeder toch.



4. Mengsels met inert stof

Een preventieve maatregel, die niet vaak wordt toegepast, is het mengen van explosiegevaarlijke poeders met inert stof. Indien voldoende inert stof wordt bijgemengd, is de totale stofwolk niet meer explosief. De reden dat deze methode zelden wordt toegepast is dat grote hoeveelheden inert stof benodigd zijn. De benodigde hoeveelheid hangt uiteraard af van de materiaalcombinatie. Maar over het algemeen kan worden aangenomen dat meer dan 50% van het mengsel uit inert stof moet bestaan. In de meeste gevallen is het toevoegen van dergelijke hoeveelheden niet aanvaardbaar.

Jaren geleden werd een risicoanalyse uitgevoerd voor een bedrijf wat kunststof harsen gebruikte voor de productie van elektrische kasten. Hoewel zulke kasten gewoonlijk als "plastic" worden betiteld bestaat het materiaal in feite grotendeels uit inerte materialen, zoals glasvezel en krijt. De kunststof harsen vormen slechts een klein aandeel van het totale mengsel. Teneinde explosie risico's te voorkomen was daarom beslist de harsen niet apart op te slaan en te transporteren, maar alleen het totale mengsel wat benodigd is voor de productie. Omdat slechts een kleine fractie van dit mengsel brandbaar is (de harsen) werd verondersteld dat er geen explosie risico meer was. Om zeker te zijn werd een monster (van het mengsel) getest wat de veronderstelling bevestigde: geen explosie risico.

Jaren later echter werd ISMA opgeroepen omdat er een stofexplosie was opgetreden in het ontstoffingsfilter. Een monster uit het filter werd nader onderzocht en het bleek dat dit een grote hoeveelheid harsen bevatte, veel meer dan de waarde die verwacht mocht worden op basis van de samenstelling van het mengsel. Nader onderzoek maakte duidelijk dat de harsen werden toegevoegd als relatief fijne en lichte poeders, terwijl de andere componenten relatief grof en zwaar waren. Als het mengsel in een vat wordt gestort zal de concentratie van harsen in de gevormde stofwolk daarom veel hoger zijn dan in het oorspronkelijke mengsel. Blijkbaar was deze hoeveelheid hars voldoende om een explosie te veroorzaken in het filter waarnaar het stof werd afgezogen.

Meer recent was een risico analyse nodig op een installatie waarin diverse producten manueel worden toegevoegd aan procesvaten. Er is stofafzuiging naar een filter, wat geen explosiebeveiliging heeft. De meeste producten zijn namelijk inert of zeer moeilijk te ontsteken, slechts één component (product "X") is explosiegevaarlijk, met een lage ontstekingsenergie MOE (5 mJ). Maar X wordt alleen in zeer kleine hoeveelheden toegepast.

Voorafgaand aan de ISMA analyse had de klant het totale mengsel al laten testen: niet explosief. Om zeker te zijn had de verzekeraar aanbevolen een monster te testen wat verzameld was uit het filter. Dit bleek explosief te zijn, maar de heftigheid was zeer gering. Men had de Kst-waarde getest en deze bleek minder te zijn dan 40 bar.m/s (product X heeft een Kst-waarde van 180 bar.m/s). De verzekeraar concludeerde daarom dat er slechts een zeer beperkt risico was en dat beveiligen van het filter niet nodig werd geacht.

Tijdens het bezoek van ISMA aan de installatie werd waargenomen dat product X werkelijk een heel fijn en stoffig product is. Om meer zekerheid te krijgen werd daarom aangeraden een monster te verzamelen van de filterelementen. Immers, dit is het stof wat tijdens het pulsreinigen een stofwolk zal vormen. Bovendien werd aangeraden, in plaats van de Kst-waarde, de MOE te testen, omdat deze meer relevant is voor de risico analyse. De gevonden MOE bedroeg 5 mJ, gelijk aan die van product X. Indien de risico analyse was gebaseerd op de Kst-waarde van 40 bar.m/s, zou het explosierisico in het filter dus zwaar onderschat zijn geweest.



De verklaring van dit gedrag is dat, in een afzuigleiding, door de hoge lichtsnelheid, al het stof in zwevende toestand blijft. In de filterkast is er echter nauwelijks enige lichtsnelheid. Het meeste stof zal daardoor uitzakken en alleen het fijnste stof blijft zweven en zet zich af op de filter elementen. Omdat product X verreweg het fijnste product is, bestaat het stof op de filter elementen dus voornamelijk uit X. Tijdens een reinigingspuls wordt dit stof van de filter elementen geblazen. Wat betekent dat, voor de risico analyse van het filter, de explosie eigenschappen van X moeten worden gebruikt (en dat het filter beveiligd dient te worden).

5. Voor de hand liggende ontstekingsbron

Tijdens een productie stop werden wijzigingen uitgevoerd aan een installatie. Daarvoor diende een bestaande valleiding naar een vat te worden verwijderd. De buis werd met een slijpschijf doorgeslepen. Voor het slijpen was de leiding niet schoon gemaakt. Tijdens het slijpen trad een zware explosie op, die aanzienlijke schade aan het gebouw veroorzaakte. De voor de hand liggende conclusie was dat stof, wat nog in de leiding aanwezig was, ontstoken was door het hete oppervlak veroorzaakt door het slijpen.

Maar, omdat er veel schade was, werd een uitgebreid onderzoek naar het incident gevraagd. Bij dit onderzoek werd het volgende geconstateerd:

- In de leiding die werd doorgeslepen was geen enkel spoor te vinden dat wees op een explosie in deze leiding.
- Ook bleek dat er een andere installatie was (een maallijn) die uit dienst was genomen (er was een nieuwe maallijn geïnstalleerd) maar de oude installatie werd niet verwijderd of zelfs maar schoon gemaakt. In deze oude installatie werden sporen van smeulend product aangetroffen die duiden op zelfontbranding van oude afzettingen. De sporen konden min of meer worden gevolgd naar de plaats waar de explosie had plaats gevonden.

Conclusie: het feit dat de explosie optrad tijdens het slijpen was louter toeval. Een belangrijke les die uit dit incident kan worden getrokken is dat installaties die niet meer worden gebruikt bij voorkeur moeten worden verwijderd. Of tenminste dienen dergelijke installaties te worden gereinigd en vervolgens te worden afgesloten (om intrede van product te voorkomen).

6. Niet elke explosie is een stofexplosie

Er moest een reparatie worden uitgevoerd aan een kettingtransporteur, die naar een elevator voedt. De voet van de elevator en de ketting transporteur bevinden zich in de kelder onder een aantal silo's: de ketting transporteur ontvangt product uit de silo's en brengt dit naar de elevator. Deze elevator wordt ook gebruikt om product te ontvangen uit geloste vrachtwagen en dit naar de silo's te transporteren. Tijdens het lossen van vrachtwagens wordt de ketting transporteur van de elevator gescheiden door middel van een schuif.

Voor de reparatie moest een mechanisch deel van de ketting transporteur worden verwijderd. Het stuk werd met succes los geslepen en naar de werkplaats gebracht. Een nieuw stuk werd naar de kelder gebracht, om in te worden vast gelast. Op het moment dat de lasbrander werd ontstoken, volgde een explosie die een grote vuurbal in de kelder veroorzaakte en aanzienlijke schade aan de elevator.

Het onderzoek richtte zich vrijwel uitsluitend op een stofexplosie in de elevator. De elevator was namelijk tijdens de reparatiewerkzaamheden opgestart om product van een lossende vrachtwagen te ontvangen. Maar de monteurs hadden deze opstart niet opgemerkt. Op deze wijze was waarschijnlijk een explosief stof-lucht mengsel in de elevator ontstaan. Er werd ontdekt dat er een gat zat in de afsluitende schuif. Op deze wijze kon de explosie zijn doorgeslagen naar de ketting transporteur. De vermoedelijke ontstekingsbron was een smeulbrand, veroorzaakt door de slijpwerkzaamheden. Het feit dat de explosie zich voordeed op het moment dat de lasbrander werd ontstoken werd als toeval beschouwd.



Echter, deze conclusie liet een aantal vragen onbeantwoord:

- Het product was geëxtraheerd raapzaad. Dit product heeft een brandgetal (BZ-waarde) van 2. Dat betekent dat vonken niet zullen resulteren in een smeulbrand, maar zullen uitdoven.
- De explosie omvatte de elevator, die deels open was naar de kelder toe. Uiteraard zou een explosie in de elevator, via de open verbinding, naar de kelder kunnen doorslaan. Maar de waarnemingen waren juist omgekeerd: er was eerst een vuurbal in de kelder, gevolgd door een explosie in de elevator.
- Was het werkelijk toeval dat de vuurbal/explosie juist optrad op het moment dat de brander werd ontstoken, of was er wellicht de een of andere explosieve atmosfeer in de kelder die door de brander werd ontstoken?

Bij de productie van raapolie wordt hexaan gebruikt om de laatste resten olie uit het zaad te halen. Daarna wordt altijd geprobeerd de hexaan zo goed mogelijk terug te winnen (bijvoorbeeld door het schroot te behandelen met stoom). Maar de ervaring is dat er altijd sporen hexaan achterblijven. Het is bekend dat dit een potentieel explosie gevaar vormt: de aanwezigheid van hexaan in schroten heeft al een aantal explosie incidenten veroorzaakt.

Hexaan is veel zwaarder dan lucht. Als gevolg daarvan zal de hexaan, die langzaam vrijkomt uit het schroot in de silo's, de neiging hebben op te hopen in het onderste deel van de silo's. Omdat silo's normaal niet gasdicht zijn, zal de hexaan uit de silo's lekken en zich verzamelen in de kelder onder de silo's. Op deze wijze kan een explosief hexaan-lucht-mengsel ontstaan in de kelder. En als de concentratie maar juist boven de onderste explosiegrens ligt zal een zeer krachtige ontstekingsbron, zoals een lasbrander, zeker in staat zijn dit mengsel te ontsteken.

Hoewel het onmogelijk was te bewijzen dat de eerste explosie werkelijk een hexaan explosie in de kelder was geweest, die zich had voortgeplant naar de elevator en daar een stofexplosie had veroorzaakt, waren de resultaten van het gedetailleerde onderzoek:

- Dat er voldoende hexaan aanwezig was geweest in het in de silo's aanwezige product.
- Dat de verblijftijd van het product in de silo's voldoende was geweest om zoveel hexaan te laten vrijkomen dat zich een explosief mengsel in de kelder kon vormen.
- Dat een hexaan explosie veel consistentier is met de waarnemingen dan een stofexplosie (in de elevator).

Dit betekent dat de aanbevelingen uit het eerste onderzoek:

- de installatie schoon maken voor er heet werk wordt uitgevoerd
- de opening in de schuif dichtmaken
- de elevator niet starten als er heet werk in de kelder wordt uitgevoerd

uiteraard terecht zijn, maar in dit geval onvoldoende. Met al deze maatregelen had een hexaan explosie in de kelder niet kunnen worden voorkomen. Ofwel, los van wat de werkelijke oorzaak is geweest, voor een dergelijke situatie dient ook een gas explosie risico analyse (op basis van accumulatie van hexaan) uitgevoerd te worden.

7. Ga niet alleen af op ervaring

In de bouw worden veel polyurethaan (PU) elementen toegepast. Deze combineren goede isolatie eigenschappen met een laag gewicht, omdat het een schuim is. 1 m³ schuim bevat ongeveer 0,025 m³ PU, de rest is gas.

Tijdens de productie van PU elementen ontstaat onvermijdelijk productie afval, bij voorbeeld bij het overschakelen van de productielijn naar een andere afmeting. Om het volume afval te reduceren besliste een bedrijf dat dergelijke panelen maakt tot het installeren van een breker.

Kort na de opstart trad er een explosie op in de breker.

PU stof vormt een stofexplosie risico, echter de heftigheid van de explosie is laag en het stof is moeilijk te ontsteken (MOT > 500 °C, MOE > 300 mJ). Daarom had het bedrijf geen rekening gehouden met een mogelijke stofexplosie.

Voor de productie van deze PU elementen wordt pentaan gebruikt als "blaasgas". Tijdens het blaasproces reageert een deel van de pentaan en vormt CO₂. Als gevolg zijn de poriën van het schuim gevuld met een mengsel van CO₂ en pentaan. Tijdens het breken komt dit mengsel vrij en kan een explosief gas-luchtmengsel worden gevormd, wat gemakkelijk ontstoken kan worden door bijvoorbeeld mechanische vonkjes of elektrostatische ontladingen tijdens het breken.

Samenvattend: er is een beperkt stofexplosie risico in deze installatie, maar een aanzienlijk gasexplosie risico. Wat uiteraard de vraag doet rijzen: waarom was dit voor de hand liggende gasexplosie risico over het hoofd gezien? De belangrijkste redenen waren:

- Hoewel het bekend was dat er nog pentaan aanwezig was in de poriën was de verhouding pentaan/CO₂ onbekend: men veronderstelde dat de hoeveelheid pentaan gering was. Bovendien is CO₂ een inert gas.
- Het breekproces vergruist het schuim niet helemaal, het resultaat bestaat vooral uit klompjes PU schuim, eerder dan fijn stof. Slechts een fractie van het gas komt daarom vrij uit de poriën en het meeste gas blijft in deze klompjes.
- De leverancier van de breker had al veel van deze PU brekers (bij andere gebruikers) geleverd, zonder enige problemen. Maar de voorgaande brekers waren open met daardoor een aanzienlijke natuurlijke ventilatie. Op vraag van deze gebruiker was de breker in een gesloten uitvoering, om stof uittrede te beperken. Om stof uittreding verder te beperken en vrijkomend gas te verdunnen was er een sterke afzuiging geplaatst.

Na het ongeval werden de hoeveelheid CO₂ en pentaan in het gas dat de poriën vult gekwantificeerd: het blijkt meer pentaan dan CO₂ te bevatten. Op basis daarvan werd berekend dat het bijmengen van voldoende lucht tot een explosieve atmosfeer zal leiden: de hoeveelheid CO₂ is onvoldoende om de atmosfeer te inertiseren.

Na het incident werd de breker aangepast. Een grote aanpassing was de afzuiging. Het lucht debiet werd aanzienlijk verhoogd zodat, zelfs als al het gas zou vrijkomen, een explosief mengsel wordt voorkomen. Ook de lay-out van de afzuiging werd gewijzigd om dode hoeken in de breker weg te nemen.