

# Inhoud

<b>1</b>	<b>Module 4: Cluster Fabricage van (petro)chemische halffabrikaten en eindproducten</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Installatie 1: Reactoren</b>	<b>4</b>
2.1	Typen reactoren	4
2.2	LOC-scenario's reactoren	6
<b>3</b>	<b>Installatie 2: Procesvaten</b>	<b>11</b>
3.1	Typen procesvaten	11
3.2	LOC-scenario's procesvaten	12
<b>4</b>	<b>Installatie 3: Pompinstallaties</b>	<b>17</b>
4.1	Typen pompen	17
4.2	LOC-scenario's pompen	18
<b>5</b>	<b>Installatie 4: Compressorinstallaties</b>	<b>21</b>
5.1	Typen compressoren	21
5.2	LOC-scenario's zuigercompressor	22
5.3	LOC-scenario's centrifugaalcompressor	24
5.4	LOC-scenario's lekkage algemeen	25
<b>6</b>	<b>Installatie 5: Leidingwerk</b>	<b>27</b>
6.1	Typen leidingen	27
6.2	LOC-scenario's leidingen	28
<b>7</b>	<b>Installatie 6: Warmtewisselaars</b>	<b>35</b>
7.1	Typen warmtewisselaars	35
7.2	LOC-scenario's buizenwarmtewisselaar	37
7.3	LOC-scenario's platenwarmtewisselaar	40
<b>8</b>	<b>Installatie 7: Flaresystemen</b>	<b>42</b>
8.1	Onderdelen flaresystemen	42
8.2	LOC-scenario's knockout drum	43
8.3	LOC-scenario's flarestack	44
8.4	LOC-scenario's flareline	45
<b>9</b>	<b>Installatie 8: Fornuizen en verbrandingsinstallaties</b>	<b>46</b>
9.1	Fornuizen	46
9.2	Verbrandingsinstallaties	47
9.3	LOC-scenario's procesfornuizen en verbrandingsinstallatie	47
<b>10</b>	<b>Installatie 9: Destillatiekolommen</b>	<b>49</b>
10.1	Principe destillatiekolommen	49
10.2	LOC-scenario's destillatiekolommen	50

## Inhoud (vervolg)

<b>11</b>	<b>Installatie 10: Koelinstallaties</b>	<b>52</b>
11.1	Typen koudemiddelen	52
11.2	LOC-scenario's koudemiddelen	52
<b>12</b>	<b>Installatie 11: Verwarmingsinstallaties</b>	<b>54</b>
12.1	Typen verwarmingsinstallaties	54
12.2	LOC-scenario's hot oil	55
12.3	LOC-scenario's microwave en elektrisch	56
12.4	LOC-scenario's stoom	57
<b>13</b>	<b>Installatie 12: onderdrukinstallatie</b>	<b>58</b>
13.1	Typen onderdrukinstallaties	58
13.2	LOC-scenario's onderdrukinstallaties	59
<b>14</b>	<b>Installatie 13: Katalysatorsystemen</b>	<b>63</b>
14.1	Type katalysatorsystemen	63
14.2	LOC's vanuit katalysatorsystemen	64
<b>15</b>	<b>Installatie 14: Scrubbers, afgasbehandelingssystemen</b>	<b>66</b>
15.1	Principe scrubbers, afgasbehandelingssystemen	66
15.2	LOC-scenario's scrubbers, afgasbehandelingssystemen	67

# 1 Module 4: Cluster Fabricage van (petro)chemische halffabrikaten en eindproducten

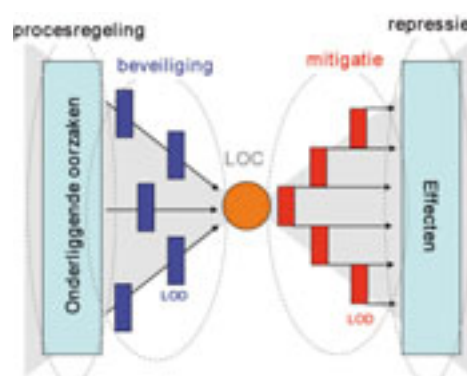
Deze Module dient gehanteerd te worden naast de 'Algemene Module'.

De Algemene Module bevat algemene informatie over de scenario's waaronder:

- Soorten scenario's;
- Ontstekingsbronnen;
- Beoordeling LOD's;
- Vuistregels en schema's.

Deze Module beschrijft de denkbare scenario's voor mitigatie (beperken in de vorm door beheersen of bestrijden) bij de fabricage van (petro)chemische half-fabrikaten en eindproducten. Bij de uitwerking van de verschillende installatieonderdelen wordt een structuur aangehouden die is gebaseerd op het 'vlinderdas'-model.

Hiermee wordt beoogd de herkenbaarheid en logische opbouw van een scenario met alle deelaspecten te benadrukken.



Het is mogelijk dat op één inrichting verscheidene installaties aanwezig zijn die niet in deze Module voorkomen. In dat geval wordt verwezen naar de overige Modules. De Modules moeten dan in samenhang met elkaar worden gebruikt.

De uitwerking van de onderliggende oorzaken, procesregelingen (preventieve LOD's), correctieve LOD's, en LOD-scenario's zijn algemeen, maar nooit volledig omdat iedere installatie als uniek kan worden beschouwd.

## 2 Installatie 1: Reactoren

De onderstaande tabel geeft een overzicht van de scenario's. Dit betreft zowel de reële als typerende, generieke en specifieke scenario's voor reactoren:

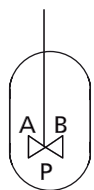
Directe oorzaken	Type Loss Of Containment			
	Instantaan	10 minuten	0,1D	Spill
Corrosie		G (T/E/B)	G (T/E/B)	G (B)
Impact	G (T/E/B)	G (T/E/B)	G (T/E/B)	G (B)
Operatorfout			G (T/E/B)	G (B)
Overdruk	S (T/E/B)	S (T/E/B)	S (T/E/B)	S (B)
Wijziging / onderhoud			G (T/E/B)	G (B)

*T = toxische wolk / E = Explosie / B=brand / G=generiek / S=specifiek*

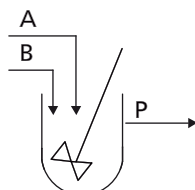
Naast alle generieke faalorzaken zoals corrosie, operatorfout en defecte/foute onderdelen, is de belangrijkste, specifieke directe oorzaak voor het falen van reactoren: overdruk door een ongewenste chemische reactie. In de volgende paragrafen 2.2.1. en 2.2.2 zullen de ongewenste reacties 'runaway', 'explosie' en 'ontleding' worden behandeld.

### 2.1 Typen reactoren

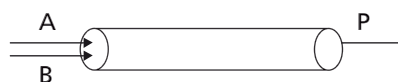
Reactoren worden in de procesindustrie toegepast voor een omzetting van stoffen in een tussen- of eindproduct. Er vindt een chemische reactie plaats, vaak bij verhoogde temperatuur of druk, soms onder invloed van een katalysator. Er worden drie soorten reactoren onderscheiden: batchreactoren, continu geroerde reactoren en propstroomreactoren.



Batchreactor



Continu geroerde reactor



Propstroomreactor

### 2.1.1 Batchreactor

Deze reactoren zijn 'gesloten' procesvaten waarin gedurende een bepaalde tijd een reactie plaatsvindt. Dat gebeurt door de reactanten al dan niet met een katalysator voor te leggen en de reactie te starten, bijvoorbeeld door de temperatuur te verhogen.

Een andere mogelijkheid is om een van de reactanten continu te suppleren aan de reactor zodat op die manier de reactie verloopt. Na afloop van de reactie wordt het product, al dan niet na een nabehandeling, afgevoerd voor verdere bewerking (zuivering, nareactie, opslag, etc.).



### 2.1.2 Continu geroerde reactor

Een continu geroerde reactor is een reactorvat waar continu reactanten aan het reactiemengsel worden toegevoegd en het product wordt afgevoerd. Door voor voldoende verblijftijd van de reactanten in het vat te zorgen, zullen deze tot de gewenste omzettingsgraad met elkaar reageren. De beschikbare variabelen voor het sturen van de verblijftijd zijn de verhouding tussen de toe- en afvoerstroam en de menging.



Een variant is de cascadeopstelling. In deze paragraaf wordt gemakshalve van een enkelvoudige opstelling uitgegaan.

De belangrijkste verschillen met de batchreactor zijn:

- **Reactorinhoud:** deze kan aanzienlijk verschillen voor eenzelfde productiecapaciteit van een batchreactor. Een niet al te grote batchreactor van 5 m<sup>3</sup> heeft een productietijd van 1,5 uur (gangbaar bij harsen). De effectieve reactietijd bedraagt ca. 20 minuten. Een vereenvoudigde berekening wijst uit dat bij een geroerde reactor met een doorzet van 3,3 m<sup>3</sup>/uur (=5 m<sup>3</sup>/1,5 uur) voor een reactietijd (=verblijftijd) van 20 minuten een volume van 1 m<sup>3</sup> noodzakelijk is. Dit scheelt een factor 5 in volume. Hiermee wordt de bronterm van een mogelijk LOC-scenario significant kleiner;
- **Samenstelling reactiemengsel:** bij een batchreactor verandert de samenstelling van het reactiemengsel in de tijd. Bij een geroerde reactor wordt de samenstelling (en dus omzettingsgraad) door menging over het gehele reactorvolume gelijk gehouden. De samenstelling van de reactorinhoud is gelijk aan die van het uitstromende product. Dit heeft als voordeel dat de reactiviteit constant en relatief laag kan worden gehouden;

Het bovenstaande toont aan dat batchreactoren vanuit een veiligheidsoogpunt in principe de minst gunstige vorm zijn.

### 2.1.3 Propstroomreactor

Een propstroomreactor, ook wel buisreactor genoemd, is een horizontaal reactorvat waaraan continu reactanten aan het reactiemengsel worden toegevoegd en product wordt afgevoerd. Door voor voldoende verblijftijd van de reactanten in het vat te zorgen, zullen deze tot de gewenste omzettingsgraad met elkaar reageren. De beschikbare variabele voor het sturen van de verblijftijd is het debiet.



De belangrijkste verschillen met de batchreactor zijn:

- Reactorinhoud. Deze kan aanzienlijk verschillen van een batchreactor. Een niet al te grote batchreactor van 5 m<sup>3</sup> heeft een productietijd van 1,5 uur (gangbaar bij harsen). Van deze tijd is de effectieve reactietijd ca. 20 minuten. Een vereenvoudigde berekening wijst uit dat bij een propstroomreactor met een doorzet van 3,3 m<sup>3</sup>/uur (= 5m<sup>3</sup>/1,5 uur) voor een reactietijd (=verblijftijd) van 20 minuten een volume van 1 m<sup>3</sup> noodzakelijk is. Dit scheelt een factor 5 in volume. Hiermee wordt de bronterm van een mogelijk LOC-scenario significant kleiner;
- Samenstelling reactiemengsel. Bij een batchreactor verandert de samenstelling van het reactiemengsel in de tijd, maar is altijd homogeen. Bij een propstroomreactor verandert de samenstelling van het reactiemengsel in de tijd én in de stromingsrichting van de reactor.

Ook hier toont het bovenstaande aan dat batchreactoren vanuit een veiligheids oogpunt in principe de minst gunstige vorm zijn.

## 2.2 LOC-scenario's reactoren

### 2.2.1 Runaway (exotherme reactie)

**Karakteristieken:**

- Een van de mogelijke onderliggende oorzaken van een overdrukscenario door een ongewenste chemische reactie, is inherent aan de karakteristieken van de exotherme reactie. Uitgaande van een vast volume van een batchreactor als insluitsysteem, zijn druk en temperatuur direct aan elkaar gekoppeld;
- Het is van groot belang dat bij exotherme reacties enerzijds de temperatuur wordt beheerst en daarmee de reactiviteit. Aan de andere kant moeten reactiedampen worden gecondenseerd door middel van koeling om drukopbouw te voorkomen;
- Runaway-reacties hebben een cyclisch zelfonderhoudend verloop: de druk loopt op door overmatige dampvorming als gevolg van oplopende temperatuur. Hierdoor stijgt het kookpunt van de vloeistof, neemt de warmte-inhoud van het reactiemengsel toe, neemt de reactiviteit toe en vindt per tijdseenheid meer dampvorming plaats. De snelheid waarmee de reactie verloopt, loopt in de regel exponentieel op. Er zijn meerdere manieren om deze cirkel te doorbreken.

**Onderliggende oorzaken LOC**

Het optreden van één van onderstaande afwijkingen is voldoende om een runaway-reactie te kunnen initiëren:

- Er wordt een verkeerde stof toegevoegd die een hogere reactiviteit teweegbrengt dan verwacht;
- De juiste stof wordt in de verkeerde vorm toegevoegd, bijvoorbeeld in een hogere concentratie;
- De juiste stof wordt in de verkeerde hoeveelheid toegevoegd;
- De juiste stof wordt in de juiste hoeveelheid, te snel toegevoegd;
- Het roerwerk valt uit, waardoor de warmteoverdracht (en dus de warmteafvoer) vermindert. Ook kan dan als gevolg van mogelijke inhomogeniteit van het reactiemengsel plaatselijke opwarming optreden;
- Uitval van de temperatuurbeheersing (koeling).

#### Procesregeling en preventieve LOD's:

- Continue doseren van reactanten. Hiermee wordt de reactiviteit geregeld en zelfs gestopt. Vaak wordt de dosering gestuurd op omzettingsgraad en/of temperatuur;
- Koelen. Door druk-/temperatuurmetingen in de reactor te plaatsen kan op gewenste momenten de koeling middels interne koelwaterspiralen worden geactiveerd. Het is verstandig hiernaast ook een flow- en temperatuurmeting in het koelwatercircuit te plaatsen;
- Condenseren. Door het koelen van reactiedampen kan de druk constant worden gehouden en vindt er enige (veelal niet significante) afkoeling plaats;
- Produceren onder vacuüm. Het kookpunt van het reactiemengsel wordt verlaagd en daarmee ook de reactiviteit;
- Dragende constructie van de reactor voorzien van (passieve) bescherming (koeling, fire proofing) tegen de invloeden van warmte(straling).

#### Veiligheden (correctieve LOD's)

- Noodkoeling door een (extra) inwendige koelspiraal. Vaak enkel efficiënt in een vroeg stadium van de runaway-ontwikkeling;
- Inhibitor toevoegen die de reactie blokkeert. Is veelal alleen werkzaam in vroeg stadium van de reactie;
- Noodkoeling door het storten van een medium met een hoge warmtecapaciteit. Hierbij moet wel altijd rekening worden gehouden met de reactietemperatuur en het kookpunt van het in te zetten medium (stoomexplosies!);
- Drukontlasting middels ontluchting (atmosferische reactoren), veiligheidskleppen (reactoren onder druk) en/of breekplaten. Hierbij moet worden gegarandeerd dat door afblazen van schadelijke gassen/dampen het probleem niet wordt verplaatst naar de (directe) omgeving van de reactor. Drukontlasting heeft als doel om een te grote drukstijging op te vangen hetgeen zou kunnen leiden tot overschrijding van de ontwerpdruk van de reactor. Het is van belang vast te stellen wat het bepalende scenario is voor de werking, plaatsing en dimensionering van druk-ontlastings-componenten. In dit geval dus runaway óf iets vergelijkbaars;
- Noodstort. Middels het openen van de bodemklep van de reactor wordt de gehele reactorinhoud in een (veelal open) opvangbak gestort. In deze bak is meestal een vastgestelde hoeveelheid (regen)water aanwezig om het reactiemengsel af te koelen. Hierdoor wordt de reactie afgeremd/afgebroken en zal het uitdampen van de componenten van het reactiemengsel worden verminderd. Ook is het aan te bevelen om voorzieningen te treffen om het reactiemengsel af te dekken met schuim, poeder of een andere voorziening teneinde uitdamping te verminderen. Tevens is er in dit geval sprake van een gecontroleerde LOC.

#### Waarschijnlijke LOC-scenario's

We onderscheiden de volgende varianten:

- Drukontlasting naar omgeving. Dit zal doorgaans plaatsvinden op een zogeheten veilige locatie. De LOC vindt veelal plaats op een locatie op (grote) hoogte en/of voldoende afstand van personen, werkplekken en andere installaties. Bij de beoordeling van dit scenario is van belang:
  - de exacte locatie van de LOC (hoogte, afstand);
  - de samenstelling en eigenschappen van het vrijkomende product/mengsel;
  - de procescondities (P en T);
  - de soort uitstroming (damp, vloeistof, tweefasen);
  - de dichtheid van de damp met het oog op de verspreiding.

Die gegevens samen bepalen of er nog sprake is van een potentieel gevaar.

Bij het vrijkomen van brandbare producten moet nog rekening worden gehouden met de mogelijkheid van ontsteking (direct of vertraagd), waarbij de locatie van potentiële ontstekingsbronnen en de dichtheid van het uitstromende medium van belang zijn.

Vooraf bij tweefasenuitstroming of het vrijkomen van zwaar gas kan extra gevaar ontstaan vanwege het uitzakken, waardoor problemen op grondniveau kunnen ontstaan.

Bij toxische stoffen gaat het wat betreft gevaar voor de omgeving vooral om blootstelling op grondniveau en dus om de concentratie, die daar kan optreden. Ook dan zijn vooral de dichtheid en de mogelijkheid op uitzakken van de betrokken stof van belang;

- Drukontlasting in een gesloten systeem. Deze voorziening is in potentie een veilige optie mits de capaciteit van het noodstelsel (bijv. de fakkel) is gedimensioneerd op het scenario;
- Noodstort voert reactorinhoud af naar buiten. Hierbij moet worden gedacht aan een bodemklep aan de afvoer van de reactor met een open verbinding naar een opvangbassin. Ook dan spelen dezelfde factoren een rol als hierboven beschreven bij de veilige locatie, zoals ligging locatie, capaciteit en omgeving;
- Noodstort voert reactorinhoud af naar een gesloten systeem. Dit wordt ook wel een secondary containment genoemd. Voorbeelden hiervan zijn noodsystemen onder een reactor, die bij een potentieel gevaarlijke situatie (oplopende druk/temperatuur) de inhoud van een reactor snel kunnen opvangen en zorgen voor een veilige situatie door afkoeling/drukontlasting, etc.);
- Lekkage. Dit moet worden gezien als een verzamelnaam voor alle LOC's die optreden als gevolg van het falen van 'zwakke' onderdelen die aan de reactor zijn gekoppeld. Denk hierbij aan o.a. lekkende flensverbindingen, pakkingen en lasnaden. In de regel zijn dit uitstromingen door een effectieve diameter van 0,1D. Lekkages kunnen plassen, plasbranden, sproeibranden (hoge druk) en fakkels veroorzaken (dampen);
- Falen van de reactor. Dit is de situatie die de grootste risico's oplevert. Als gevolg van het niet (goed) functioneren van de veiligheidskleppen zal er verdere drukverhoging optreden met kans op het overschrijden van de ontwerpdruk van het vat. Dit vat zal dan falen, waardoor de inhoud van de reactor binnen 10 minuten uitstroomt of zelfs instantaan vrijkomt. Bij brandbare stoffen kan dat leiden tot een grote brand of explosie. Bij toxische stoffen tot een giftige wolk. Deze scenario's zijn 'worst case'-scenario's, die ook een rol kunnen spelen in de QRA van de betreffende inrichting.

#### **Beperken, beheersen bestrijden (repressieve LOD's)**

Bij het inzetten van een LOC is de toepasbaarheid en het effect ervan afhankelijk van het soort LOC-scenario:

- Afdichtkussens. Geschikt om plaatselijke, relatief kleine lekkages snel af te dichten. Dit is een tijdelijke oplossing om de LOC te beperken/stoppen, die alleen effectief is als de drijvende kracht van de LOC (in dit geval drukopbouw, maar ook de statische druk van de vloeistof) niet langer aanwezig is;
- Mobiele of vast opgestelde waterschermen bedoeld om zich verspreidende toxische gaswolken te verdunnen en/of op te lossen. Eventueel mobiele of vast opgestelde schuimapplicatie om een plas af te dekken. De schuimapplicatie (mobiel of vast opgesteld) dient conform een geschikte norm zoals NFPA 11 of NFPA 16 te zijn;
- Mobiele of vast opgestelde poeder-/schuimapplicatie om vloeistof in een plas onder de reactor of in de containment af te dekken om ontsteking te voorkomen. Omgeving veiligstellen door shutdown-procedures en het opstellen van (indien noodzakelijk) mobiele koeling. De schuimapplicatie (mobiel of vast opgesteld) dient te voldoen aan een geschikte norm zoals de NFPA 11 of NFPA 16;
- De omgeving van de reactor zal middels waterkoeling beschermd moeten worden tegen opwarming van een eventuele plasbrand onder de reactor en/of sproeibranden nabij de reactor. Hierbij dient een geschikte norm zoals de NFPA 15 en/of de IP-19 als uitgangspunt gehanteerd te worden. Daarnaast dient de dragende constructie van de apparaten te worden beschermd tegen de gevolgen van brand om escalatie (het falen van de constructie) te voorkomen. Hiervoor bestaan meerdere mogelijkheden:
  - passieve bescherming van de constructie;
  - vast opgesteld koelen van de constructie (conform een geschikte norm zoals NFPA 15);
  - mobiel koelen van de constructie (verdient niet de voorkeur).
- Mobiele of vast opgestelde schuimapplicatie om een brandende plas af te dekken (blussen). Bij een mobiele of vast opgestelde applicatie dient een geschikte norm zoals de NFPA 11 of NFPA 16 aangehouden te worden. Voor manschappen en mobiel materieel wordt verwezen naar de Algemene Module.



**Kanttekeningen**

- Polymerisatieprocessen (productie van kunststoffen/harsen) verdienen extra aandacht. Bij runaway kan versnelde, ongecontroleerde uitharding optreden waardoor er enkele vervelende neveneffecten optreden:
  - mogelijke afzetting op koelspiraal en reactorwand. Dit werkt isolerend, waardoor de warmteoverdracht bij koeling sterk wordt verminderd;
  - het insluiten van gassen/dampen, waardoor voorziene drukontlastingssystemen buiten werking worden gesteld;
  - effectieve noodstort kan niet worden geactiveerd door verhoogde viscositeit en plaatselijke verstopping.
- Het uitwendig koelen van een reactor in een vergevorderde runaway-situatie wordt nadrukkelijk afgeraden. De warmteoverdracht is niet genoeg om de reactie te stoppen. Bij het reactorincident bij Cindu in Uithoorn (8 juli 1992) hebben drie brandweerlieden hierdoor het leven gelaten. Detail: het betrof een harsreactor;
- Vaak staan batchreactoren in pandig, verzonken in een etagevloer opgesteld. Bij het niet-explosief, instantaan falen van een reactor zal de vorming van het mogelijke toxische effect ook grotendeels in pandig optreden. Pluimvorming in de buitenlucht zal minimaal zijn.

**2.2.2 Ontleding / Explosie****Karakteristieken**

- Verbranding, ontleding en explosie zijn vormen van ongewenste (neven)reacties. Bij (chemische) explosies worden gassen gevormd (en opgewarmd) waardoor het gasvolume in de 'dampruimte' (gasfase boven vloeistofniveau) toeneemt. Een drukstijging is het gevolg;
- Voor ontledingsprocessen moet voor iedere stof afzonderlijk worden bepaald of er gasdampen worden gevormd. Is dit het geval, dan kan er een drukopbouw plaatsvinden die kan leiden tot een (fysische) explosie;
- Het belangrijkste criterium voor de beheersbaarheid van deze ongewenste reacties is de snelheid waarmee de druk zich opbouwt ( $dp/dt$ ). Voor explosies verloopt de drukstijging 'explosief', als de  $dp/dt > 1 \text{ bar/s}$  is. Een vuistregel is dat de uiteindelijke druk in dat geval een factor 8-10 hoger ligt dan de oorspronkelijke druk van het gas/de damp. Voor een ontledingsproces is de drukopbouw door gasvorming afhankelijk van de reactiesnelheid en eventuele temperatuureffecten. Dit zal per stof moeten worden vastgesteld, maar zal in de meeste gevallen niet explosief zijn ( $dp/dt < 1 \text{ bar/s}$ ).

**Onderliggende oorzaken LOC**

- De belangrijkste onderliggende oorzaak voor een chemische explosie is de eventuele vorming van een brandbaar gasmengsel in de dampruimte van de reactor. Dit gasmengsel kan vervolgens worden ontstoken;
- Ontledingsprocessen zijn in de regel sterk afhankelijk van (combinaties van) het medium waarin het proces plaatsvindt, temperatuur en druk.

**Procesregeling (preventieve LOD's)**

- Inertiseren. Door het toevoegen van een inert gas zoals stikstof ( $N_2$ ) wordt het zuurstofgehalte in de dampruimte verlaagd tot een concentratie waarbij geen verbranding meer kan optreden. De stikstoftoevoer wordt dan geregeld middels een zuurstof- en/of explosiegrensmeter;
- EX-proof-instrumentatie. Alle (elektrische) instrumentatie aan en om de reactor moet EX-proof zijn uitgevoerd conform de zonering. Voor inwendige zonering van reactoren wordt in de regel zone 0 gehanteerd (NPR 7910-1);
- Preventief onderhoud bewegende delen. Een roerwerk is in de regel het belangrijkste bewegende deel van een batchreactor. Een kleine onbalans in het roerwerk kan voldoende zijn om genoeg warmte te ontwikkelen die kan leiden tot ontsteking. Indien een pakking slijtage vertoont, kan er zelfs metaal-op-metaalcontact optreden tussen as van het roerwerk en de reactor, met vonkvorming als mogelijkheid. Regelmatig onderhoud aan het roerwerk is derhalve zeker gewenst.

### **Veiligheden (correctieve LOD's)**

- Explosieonderdrukking. Met zogenaamde explosieonderdrukkingssystemen (EOS) worden beginnende explosies in de kiem gesmoord;
- Drukontlasting van explosieve drukstijging. Dit gebeurt in de regel door zogenaamde breekplaten. Criteria voor de dimensionering en locatie van deze breekplaten zijn gelijk aan die van veiligheidskleppen zoals behandeld in paragraaf 2.2.1 betreffende runaway-reacties;
- Drukontlasting van niet-explosieve drukstijging. Hierbij kan worden gedacht aan ontluchting (atmosferische reactoren) en veiligheidskleppen (reactoren onder druk). Een combinatie met breekplaten is vaak het geval.

### **Waarschijnlijke LOC-scenario's**

- Drukontlasting naar de omgeving (zie paragraaf 2.2.1);
- Drukontlasting naar een gesloten systeem (zie paragraaf 2.2.1);
- Lekkage (zie paragraaf 2.2.1);
- Falen van de reactor (zie paragraaf 2.2.1).

### **Repressie (beperken, beheersen, bestrijden)**

- Afdichtkussens (zie paragraaf 2.2.1);
- Mobiele of vast opgestelde schuimapplicatie (zie paragraaf 2.2.1);
- Mobiele of vast opgestelde waterschermen (zie paragraaf 2.2.1).

### **2.2.3 Overige overdrukscenario's**

Voor alle overige, generieke overdrukscenario's gelden in hoofdlijnen de zelfde overwegingen als bij een runaway-reactie, explosie en ontleding. Ook hier zal in de overweging van maatregelen rekening moeten worden gehouden met de snelheid van drukopbouw ( $dp/dt$ ) en de dynamiek van de drijvende kracht achter de drukopbouw (instantaan, continu, discontinu).

## 3 Installatie 2: Procesvaten

De onderstaande tabel geeft een overzicht van de scenario's. Dit betreft zowel de reële als typerende, generieke en specifieke scenario's voor procesvaten:

Directe oorzaken	Type Loss Of Containment			
	Instantaan	10 minuten	0,1D	Spill
Corrosie	-/-	G (T/E/B)	G (T/E/B)	G (B)
Impact	G (T/E/B)	G (T/E/B)	G (T/E/B)	G (B)
Overdruk	S (T/E/B)	S (T/E/B)	S (T/E/B)	S (B)
Wijziging / Onderhoud	-/-	-/-	G (T/E/B)	G (B)

*T = toxische wolk / E = Explosie / B=brand / G=generiek / S=specifiek*

Naast alle generieke faaloorzaken zoals corrosie, operatorfout en defecte/foute onderdelen, is de overdruk de belangrijkste, specifieke directe oorzaak voor het falen van procesvaten. In de volgende paragrafen zullen de scenario's behandeld worden waarbij het filterelement/huis verstopt en de afvoer geblokkeerd is.

### 3.1 Typen procesvaten

In procesvaten vindt een verandering plaats van de fysische eigenschappen van de stoffen, bijvoorbeeld de temperatuur, fase of samenstelling. Voorbeelden van procesvaten zijn filters, buffervaten en mengvaten.

#### 3.1.1 Filters

Filters hebben in de procesindustrie vaak een actieve rol. Dat wil zeggen dat ze in die gevallen niet zijn bedoeld om product te filteren, maar zijn opgesteld om eventuele vervuilingen af te vangen. Op die manier voorkomen zij procesverstoring, beschadiging en vervuiling in de achtergelegen procesonderdelen.

Een filter vormt een restrictie. Over een filter is altijd een drukval aanwezig. Dit is inherent aan de werking van een filter. Voor het afvangen van ongewenste vaste delen in een proces zal er een geperforeerd filterelement worden geplaatst dat een obstructie vormt in de vloeistofstroom.

Er zijn verschillend typen filters, waarvan de karakteristieken worden bepaald door het filterelement. Het filterhuis moet in alle gevallen geschikt zijn voor het medium waarin het aanwezig is en de procescondities zoals druk en temperatuur.



### 3.1.2 Buffervaten

Buffervaten worden om meerdere redenen ingebouwd. Enkele mogelijke functies van een buffervat zijn het opvangen van procesverstoringen en het conditioneren van het procesmedium. Een bekend buffervat is de zogenaamde 'voorraadtank'. Hierin wordt een relatief kleine hoeveelheid opgeslagen, dicht op het proces als buffer tussen de grondstoffen die in bulkhoeveelheden zijn opslagen.

Hoewel buffervaten ook een opslagfunctie hebben, verschilt deze op enkele punten wezenlijk van de conventionele opslagtanks:

- Buffervaten hebben een relatief beperkte inhoud;
- Buffervaten hebben een continue toe- en afvoerstroomb;
- Buffervaten staan relatief dicht bij de installatie.

### 3.1.3 Mengvaten

Mengvaten zijn bedoeld voor de fysische menging van productstromen. De meest bekende mengverschijnselen zijn warmteontwikkeling en volumecontractie en -expansie. Er wordt van uitgegaan dat chemische reacties niet plaatsvinden, ze zijn zelfs ongewenst.

Mengvaten kunnen continu werken of batchgewijs. Dit bepaalt de omvang van het LOC en het effect bij mengvaten. De overwegingen hierin zijn vrijwel identiek aan die tussen batchreactoren en continue reactoren (o.a. inhoud en tijdsafhankelijke toestand).

## 3.2 LOC-scenario's procesvaten

### 3.2.1 Verstopping (filters)

#### Karakteristieken

Tijdens het gebruik van een filter loopt de drukval over het filter op, afhankelijk van de hoeveelheid vervuiling die wordt afgevangen. Indien de druk oploopt zijn er twee mogelijke uitkomsten. De druk overstijgt de ontwerpdruk van het filterelement waardoor:

- Het filterelement faalt;
- Het filterhuis faalt.

#### Onderliggende oorzaken LOC

- Groot aanbod vervuiling. Door een uitzonderlijk hoog aanbod van vervuiling afkomstig uit de voorliggende installatiedelen (bijvoorbeeld door kwaliteitsproblemen of achterstallig onderhoud) kan het filter verstopt raken;
- Verkeerd filterelement. Indien, bijvoorbeeld door periodiek onderhoud, een te fijn filter wordt (terug)geplaatst in het filterhuis, kan dit leiden tot een onverwachte, snelle drukverhoging;
- Procescondities. Vooral bij vloeistoffen die kunnen uitkristalliseren onder afwijkende procescondities, is vervuiling van het filter door afzettingen waarschijnlijk. Bij een beheerst proces zal dit worden opgevangen door een passend onderhoudsplan. Bij procesverstoring kan dit snel verlopen.

#### Procesregeling (preventieve LOD's)

- Verschilddrukmeting (dp). Door het meten van het drukverschil over de filterunit kan bij drukstijging tijdig worden ingegrepen door het filter te reinigen. Bij discontinue processen kan dit worden ingevuld door een (niet-geplande) productiestop. Bij continue processen is redundantie de meest praktische benadering. Er zijn ook veel zelfreinigende filtervarianten op de markt.

#### **Veiligheden (correctieve LOD's)**

- Voedingspomp interlock. Dit is de uiterste noodgreep waarbij de drukverschilmeting bij een ingestelde waarde de voedingspomp stopt.

#### **LOC-scenario's**

- Lekkage.  
Lekkage kan leiden tot plassen, plasbrand en sproeibrand;
- Falen van het filterhuis.  
Het falen van het filterhuis zal resulteren in vrijkomen van een ontvlambare of toxische plas. Plassen met een ontvlambare stof kunnen ontstoken worden.

#### **Bestrijding (beperken, beheersen, bestrijden)**

Voor de mobiele bestrijding wordt verwezen naar de Algemene Module. Indien er vast opgestelde installaties aanwezig zijn zullen dit voornamelijk deluge-installaties zijn. Voor vast opgestelde installaties dient een geschikte norm zoals de NFPA 15 als uitgangspunt gehanteerd te worden.

Niet-brandende plassen dienen afgedekt te worden met een daarvoor geschikt middel om het verdampen van de stof tegen te gaan en ontsteken van de dampen te voorkomen. Brandende plassen dienen afgedekt te worden en de omgeving gekoeld. Bij sproeibranden dient de omgeving gekoeld te worden.

#### **Kanttekening**

Dit type LOC bij een filterunit is vaak een 'leak before break'-scenario. Dit houdt in dat door de geleidelijke drukopbouw eerst de 'zwakste' delen van de unit (bijvoorbeeld flenzen en appendages) lekkages zullen gaan vertonen. Het instantaan falen van een unit is minder waarschijnlijk.

### **3.2.2 Geblokkeerde afvoer (filters, buffervat, continu mengvat)**

#### **Karakteristieken**

Vaten worden in de regel ingebouwd middels een flensverbinding op de toe- en afvoerleiding. In deze leidingen zijn afsluiters aanwezig om de unit te kunnen inblokken, om deze na drainage uit te bouwen voor bijvoorbeeld onderhoudswerkzaamheden. Indien de afvoer wordt geblokkeerd en de druk oploopt, zijn er twee mogelijke uitkomsten. De druk overstijgt de ontwerpdruk van het vat waardoor er flenslekkages of lekkages in aangesloten instrumentatie ontstaan. Daarnaast bestaat er ook de mogelijkheid dat het vat faalt.

#### **Onderliggende oorzaken LOC**

- De afsluiter in de afvoerleiding van het vat staat dicht;
- In de afvoerleiding van het vat zit een verstopping.

#### **Procesregeling (preventieve LOD's)**

- Drukmeting welke alarmeert bij te hoog drukniveau waardoor correctieve acties worden geïnitieerd;
- Niveaumeting welke alarmeert bij te hoog vloeistofniveau of correctieve acties initieert.

### Veiligheden (correctieve LOD's)

- Afvoerafsluiter met standmelding. Door standmelding op te nemen op de afvoer-afsluiter als opstartvoorwaarde voor het gebruik van het vat, wordt het pompen tegen een gesloten afsluiter voorkomen;
- Locked Open (LO-)beveiliging. Middels een vergrendeling van de afsluiter in open toestand wordt voorkomen dat de afsluiter in bedrijf per ongeluk wordt dichtgezet;
- Drukontlasting naar een gesloten systeem. Door het plaatsen van een overstortventiel op de persleiding van de pomp wordt het vat buitenspel gezet. Dit kan worden gecombineerd met een thermische beveiliging om te voorkomen dat de pomphuis-temperatuur onacceptabel hoog oploopt;
- Voedingspomp interlock. Dit is de uiterste noodgreep waarbij de drukmeting bij een ingestelde waarde de voedingspomp stopt.

### LOC-scenario's

Zie paragraaf 3.2.1.

### Repressie (beperken, beheersen, bestrijden)

Zie paragraaf 3.2.1.

### Kanttekening

- Het type voedingspomp is sterk bepalend voor de snelheid van drukopbouw. Verdringerpompen kunnen zeer snel, zeer hoge drukken teweegbrengen. Instantaan falen van het vat (opblazen) is zeer wel mogelijk;
- ntrifugaalpompen zullen meer geleidelijk hun maximale pompdruk bereiken. In dit geval is een 'leak before break'-scenario het meest waarschijnlijk.

## 3.2.3 Ongewenste chemische reactie (mengvaten)

### Karakteristieken

Bij het fysisch mengen van twee of meerdere stoffen wordt een chemische reactie uitgesloten. Het kan echter voorkomen dat bij het mengen fouten optreden waardoor het combineren van chemisch onverenigbare stoffen toch plaatsvindt. Dit leidt tot ongewenste reacties.

Afhankelijk van het open of gesloten karakter van het mengvat kan dit leiden tot LOC-scenario's die vergelijkbaar zijn met die van reactoren.

### Onderliggende oorzaken LOC

- Verkeerde receptuur;
- Juiste receptuur maar aansluiting op verkeerde tank(s);
- Juiste receptuur, aansluiting op juiste tanks maar verkeerde stof(fen) in tank;
- Vreemd (rest)product in mengvat (niet onderdeel van beoogde receptuur).

### Procesregeling (preventieve LOD's)

PLC-gestuurde recepturen.

### Veiligheden (correctieve LOD's)

Mengvaten zijn in veel gevallen niet beveiligd tegen de effecten van 'heftige' chemische reacties. De gekozen LOD's zijn veelal geïntegreerd in procesregeling door softwarematige voorwaarden (PLC), hiërarchisch receptuurbeheer, procedures (bijv. los-procedures) en hardwarematige beveiliging (bijv. unieke slangkoppelingen). Eventueel aanwezige koelspiralen en/of drukontlastingen zullen in veel gevallen niet toereikend zijn om de gevolgen van chemische reactie te compenseren.

#### LOC-scenario's

- Ongewenste combinatie levert drukopbouw boven ontwerpdruk met lekkage of zelfs falen tot gevolg;
- Ongewenste combinatie levert exotherme reactie boven ontwerptemperatuur met lekkage of zelfs falen tot gevolg.

#### Repressie (beperken, beheersen, bestrijden)

Voor de mobiele bestrijding wordt verwezen naar de Algemene Module. Indien er vast opgestelde installaties aanwezig zijn, zullen dit voornamelijk deluge-installaties zijn. De vast opgestelde installaties dienen gebaseerd te zijn op een geschikte norm zoals de NFPA 15 en NFPA 16.

Bij lekkage is het afdekken van de plas een maatregel voor het beperken en/of beheersen van de gevolgen. Bij een plasbrand dient de plas geblust te worden en de omgeving gekoeld. Bij het falen van vaten zonder brand, afdekken plas. Bij het falen van vaten met brand, blussen plas en koelen omgeving.

### 3.2.4 Explosie (alle typen vaten)

#### Karakteristieken

- Brand en explosie zijn een vorm van ongewenste (neven)reactie. Bij (chemische) explosie worden gassen (verbrandingsproducten) gevormd (en opgewarmd) waardoor het gasvolume in de dampruimte (gasfase boven vloeistofniveau) toeneemt. Een drukstijging is het gevolg;
- Het belangrijkste criterium voor de beheersbaarheid van deze ongewenste reacties is de snelheid waarmee de druk zich opbouwt (dp/dt). Bij explosies verloopt de drukstijging 'explosief' (dp/dt > 1bar/s). Een vuistregel is dat de uiteindelijke druk een factor 8-10 hoger ligt dan de oorspronkelijke druk van het gas.

#### Onderliggende oorzaken LOC

- De belangrijkste onderliggende oorzaak voor een chemische explosie is het ontstaan van een brandbaar gasmengsel dat wordt gevormd in de dampruimte van een vat dat kan worden ontstoken.

#### Procesregeling (preventieve LOD's)

Zie paragraaf 2.2.2 voor toe te passen LOD's in de procesregeling.

#### Veiligheden (correctieve LOD's)

- Explosieonderdrukking. Met zogenaamde explosieonderdrukkingssystemen (EOS) worden beginnende explosies in de kiem gesmoord;
- Drukontlasting van explosieve drukstijging. Dit gebeurt in de regel door zogenaamde breekplaten. Criteria voor de dimensionering en locatie van deze breekplaten zijn gelijk aan die van veiligheidskleppen zoals behandeld in paragraaf 2.2.1 betreffende runaway-reacties;
- Drukontlasting van niet explosieve drukstijging. Hierbij kan worden gedacht aan ontluchting (atmosferische reactoren) en veiligheidskleppen (reactoren onder druk). Een combinatie met breekplaten wordt in de praktijk vaak toegepast.

Bepaalde processen zijn gevoelig voor explosiegevaar. Schadelijke gevolgen tijdens of na een explosie kunnen zo veel mogelijk worden beperkt door beheersing van explosies. Het beheersen van explosies kan worden bereikt door het gebruik van explosieonderdrukkingssystemen. Door het detecteren van een beginnende explosie en verwerking in een controle-eenheid, wordt binnen enkele milliseconden een geschikt blusmiddel zoals water of bluspoeder in het betreffende systeem geïnjecteerd. Dit onderdrukt de explosieve verbranding. Hierdoor blijft de explosiedruk beperkt en zeer kortstondig, waardoor schade aan de installatie minimaal blijft.



Blusmiddelhouders (EOS)

#### Waarschijnlijke LOC-scenario's

- Drukontlasting naar de omgeving (zie paragraaf 2.2.1);
- Drukontlasting naar een gesloten systeem (zie paragraaf 2.2.1);
- Lekkage (zie paragraaf 2.2.1);
- Falen van het vat (zie paragraaf 2.2.1).

Bestrijding bij lekkage (mitigerende/repressieve LOD's)

- Afdichtkussens (zie paragraaf 2.2.1);
- Mobiele of vast opgestelde schuimapplicatie (zie paragraaf 2.2.1);
- Mobiele of vast opgestelde waterschermen (zie paragraaf 2.2.1).

Het falen van het vat (explosie) gaat gepaard met drukgolven. Hier is repressief weinig aan te doen. Wel kunnen secundaire branden het gevolg zijn van de explosie.

#### 3.2.5 Overige overdrukscenario's

Voor alle overige, generieke overdrukscenario's gelden in hoofdlijnen de zelfde overwegingen. Ook hier zal in de overweging van maatregelen rekening moeten worden gehouden met de snelheid van drukopbouw ( $dp/dt$ ) en de dynamiek van de drijvende kracht achter de drukopbouw (instantaan, continue, discontinue). Voorbeelden van overige onderliggende oorzaken voor drukopbouw zijn o.a.:

- Drukpuls uit andere delen van de installatie;
- Falende drukregeling (gas);
- Overcompressie van gassen door verstoppingen of te hoge compressorinstellingen;
- Overvullen van (atmosferische) vaten.

Een belangrijke preventieve maatregel is het passief beschermen van dragende constructies tegen de gevolgen van brand. Met name wanneer de inhoud van de vaten groot zijn, kan bescherming gewenst zijn om uitbreiding te voorkomen.



## 4 Installatie 3: Pompinstallaties

De onderstaande tabel geeft een overzicht van de scenario's. Dit betreft zowel de reële als typerende, generieke en specifieke scenario's voor pompen:

Directe oorzaken	Type Loss of Containment	
	Catastrofaal	Lekkage
Corrosie	-/-	G (T/E/B)
Hoge temperaturen	-/-	G (T/E/B)
Trillingen	-/-	S (T/E/B)
Overdruk	S (T/E/B)	S (T/E/B)
Wijziging / Onderhoud	-/-	G (T/E/B)

*T = toxische wolk / E = Explosie / B=brand / G=generiek / S=specifiek*

Naast alle generieke faaloorzaken zoals corrosie, hoge temperaturen en defecte/foute onderdelen, zijn de belangrijkste, specifieke directe oorzaken voor het falen van pompen overdruk door een verstopping/blokkade en trillingen. In de volgende paragrafen zullen de scenario's behandeld worden waarbij het de persafsluiter dicht staat en de koppeling met de persleiding faalt door trillingen.

### 4.1 Typen pompen

Pompen in dit hoofdstuk zijn bedoeld voor vloeistoftransport. We onderscheiden pompen in twee typen: impuls pompen en verdringerpompen.

#### 4.1.1 Impulspompen

Bij impuls pompen wordt de pompwerking opgewekt door een snelheidsverandering van het te verpompen medium. Over het algemeen bestaat er bij de pompen een open verbinding tussen de zuig en de pers van de pomp, waardoor de persdruk zelden ontoelaatbaar hoog kan worden. Dit type pomp heeft maar weinig bewegende delen en mede hierdoor zijn ze minder gevoelig voor slijtage.

Het bekendste voorbeeld van een impuls pomp is de centrifugaal pomp.



### 4.1.2 Verdringerpompen

De pompwerking van verdringerpompen berust (zoals de naam al aangeeft) op het principe van 'verdringing'. Dat wil zeggen dat het medium het pomphuis inloopt en de beschikbare vrije ruimte vult, waarna het er weer door beweging van de pomp uit wordt geperst. Dit pomptype is geschikt voor het realiseren van zeer hoge drukken en het nauwkeurig doseren van stoffen.

De bekendste voorbeelden van verdringerpompen zijn de membraampomp, tandradpomp en de zuiger-/plunjerpomp.



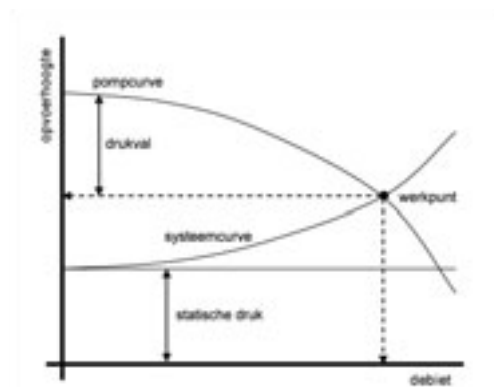
## 4.2 LOC-scenario's pompen

### 4.2.1 Persafsluiter staat dicht

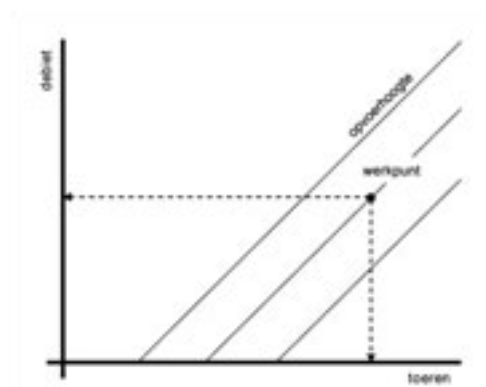
#### Karakteristieken

Pompen zijn bedoeld om vloeistof te transporteren (debiet). Hiervoor moet de pomp weerstand overwinnen, de 'drukval'. Drukval is de weerstand die de pomp ondervindt o.a. als gevolg van het type, de lengte, ligging en diameter van het leidingwerk na de pomp. Ook de statische druk (vloeistofkolom) achter de pomp levert weerstand.

Het werkpunt van een pomp is het debiet dat kan worden geleverd nadat de systeemweerstand is overwonnen. Onderstaande afbeelding geeft dit weer voor een centrifugaalpomp en verdringerpompen:



*Pompkarakteristiek centrifugaalpomp*



*Pompkarakteristiek verdringerpomp (algemeen)*

Indien de persleiding van een pomp wordt geblokkeerd, door bijvoorbeeld de afsluiter dicht te zetten, zal de pomp zijn maximale druk leveren. Voor centrifugaalpompen ligt dit in een bereik van 2 bar tot zeker 30 bar (meertraps, heavy duty). Voor verdringerpompen zijn drukken van 300 bar (!) mogelijk.

#### Onderliggende oorzaken LOC

- Procedurefout bij opstarten;
- Dichtstand door falen afsluiter;
- Aanstoten afsluiter.

#### **Procesregeling (preventieve LOD's)**

Inherent veilig ontwerp. Leidingen en flenzen moeten zo ontworpen zijn dat ze bestand zijn tegen maximaal voorzienbare procesdrukken. Gasdetectie wordt toegepast om lekkages te ontdekken.

#### **Veiligheden (correctieve LOD's)**

- Persafsluiter met standmelding. Door standmelding op de afvoerafsluiter als opstartvoorwaarde voor het gebruik van het vat op te nemen wordt het pompen tegen een gesloten afsluiter voorkomen;
- Locked Open (LO-)beveiliging. Middels een vergrendeling van de afsluiter in open toestand wordt voorkomen dat de afsluiter in bedrijf per ongeluk wordt dichtgezet;
- Drukontlasting naar een gesloten systeem. Door het plaatsen van een overstortventiel op de persleiding van de pomp wordt het systeem ontlast. Dit kan worden gecombineerd met een thermische beveiliging om te voorkomen dat de pomphuistemperatuur onacceptabel hoog oploopt;
- Voedingpomp interlock. Dit is de uiterste noodgreep waarbij de drukmeting bij een ingestelde waarde de voedingpomp stopt.

#### **LOC-scenario's**

- Catastrofaal falen van het systeem (leiding) met grote uitstroming tot gevolg. Hierdoor ontstaat een toxische plas, een plas met ontvlambare stof óf bij ontsteking een plasbrand;
- Lekkende afdichtingen en/of verbindingen. Hierdoor ontstaat een plas of een sproeier en bij ontsteking een plasbrand of een sproei-brand.

#### **Repressie (beperken, beheersen, bestrijden)**

Voor de mobiele bestrijding wordt verwezen naar de Algemene Module. Indien er vast opgestelde installaties aanwezig zijn, zullen dit voornamelijk deluge-installaties zijn. De vastopgestelde installaties dienen te zijn gebaseerd op een geschikte norm zoals de NFPA 15 en/of NFPA 16.

Doel beheersen en beperken: afdekken plas, koelen omgeving.

### **4.2.2 Falen leidingkoppeling door trilling**

#### **Karakteristieken**

Pompen met een mechanische aandrijving trillen per definitie (apparaatspecifieke frequentie). Deze trillingen kunnen worden overgebracht op andere onderdelen in het proces en in eerste instantie op de aan de pomp gekoppelde leiding. Als gevolg van resonantie kan de leiding en zijn koppelingen mogelijk overbelast raken en 'afbreken'. Ook onbalans in het pomplichaam (bijvoorbeeld de waaier van een centrifugaalpomp) of het onvoldoende vast installeren van een pomp kan tot hevig en ongecontroleerd trillen leiden.

#### **Onderliggende oorzaken LOC**

- Ontwerpfout;
- Installatiefout;
- Slijtage;
- Ontoereikend onderhoud.

#### **Procesregeling (preventieve LOD's)**

- Inherent veilig ontwerp;
- Regulier onderhoud.

#### **Veiligheden (correctieve LOD's)**

- Trillingsmetingen.

#### **LOC-scenario's**

Zie paragraaf 4.2.1.

#### **Repressie (beperken, beheersen, bestrijden)**

Voor de mobiele bestrijding wordt verwezen naar de Algemene Module. Indien er vast opgestelde installaties aanwezig zijn, zullen dit voornamelijk deluge-installaties zijn. De vastopgestelde installaties dienen te voldoen aan een geschikte norm zoals de NFPA 15 en/of NFPA 16 als uitgangspunt te hebben. Zie verder paragraaf 4.2.1.

### **4.2.3 Lekkage aan de pomp**

#### **Karakteristieken**

Door één van de volgende oorzaken kan er lekkage aan het pomphuis ontstaan:

- Pomp raakt oververhit en vat vlam;
- Cavitatie (pomp onvoldoende ontlucht) waardoor brand ontstaat of pomp scheurt;
- Pomp loopt warm waardoor het product veel damp kan vormen;
- Door gebrekkig onderhoud faalt de pomp en breekt de as waarna deze vloeistof gaat lekken;
- Onvoldoende vetsmering lagers waardoor pompen warm lopen;
- Seal-lekkage.

#### **Onderliggende oorzaken LOC**

- Ontwerpfout;
- Installatiefout;
- Slijtage;
- Ontoereikend onderhoud.

#### **Procesregeling (preventieve LOD's)**

- Inherent veilig ontwerp;
- Regulier onderhoud;
- Gasdetectie.

#### **Veiligheden (correctieve LOD's)**

- Trillingsmetingen.

#### **LOC-scenario's**

Zie paragraaf 4.2.1.

#### **Bestrijding (mitigerende/repressieve LOD's)**

Voor de mobiele bestrijding wordt verwezen naar de Algemene Module. Zie verder paragraaf 4.2.1.

## 5 Installatie 4: Compressorinstallaties

De onderstaande tabel geeft een overzicht van de scenario's. Dit betreft zowel de reële als typerende, generieke en specifieke scenario's voor compressoren:

Directe oorzaken	Type Loss Of Containment (perszijde en zuigzijde)		
	Type compressor	Instantaan (lage kans, 10 <sup>-4</sup> )	0,1D
Corrosie	Zuiger Centrifugaal	G (T/E/B) G (T/E/B)	G (T/E/B) G (T/E/B)
Trillingen	Zuiger Centrifugaal	G (T/E/B) G (T/E/B)	G (T/E/B) G (T/E/B)
Beschadiging door falen temperatuur beveiliging	Zuiger Centrifugaal	G (T/E/B) G (T/E/B)	G (T/E/B) G (T/E/B)
Overdruk door falen overdruk beveiliging	Zuiger Centrifugaal	S (T/E/B) G (T/E/B)	S (T/E/B)
Overdruk door falen terugslagkleppen	Zuiger Centrifugaal	S (T/E/B)	S (T/E/B)
overdruk door geblokkeerde afvoer	Zuiger Centrifugaal	S (T/E/B)	S (T/E/B)
Onderdruk door falen toevoer	Zuiger Centrifugaal	S (T/E/B) -/-	-/- -/-

*T = toxische wolk / E = Explosie / B=brand / G=generiek / S=specifiek*

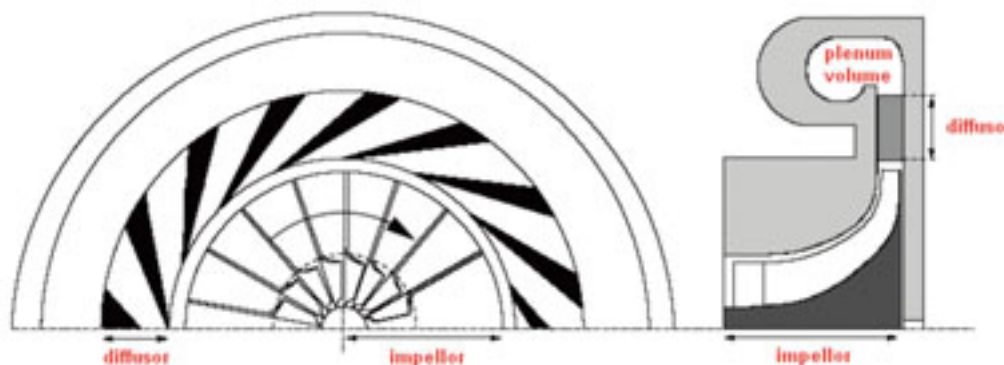
Naast de generieke faaloorzaken is er in de tabel ook een aantal scenario's als specifieke scenario's benoemd. In de volgende paragrafen zal hierop verdere toelichting worden gegeven.

### 5.1 Typen compressoren

Er zijn twee typen compressoren, die binnen de zware industrie veelvuldig voorkomen: de zuigercompressor en de centrifugaalcompressor. Voor de kleinere capaciteiten en hoge drukken wordt in veel gevallen de zuigercompressoren toegepast en voor de grotere capaciteiten (gastransport) de centrifugaalcompressor.

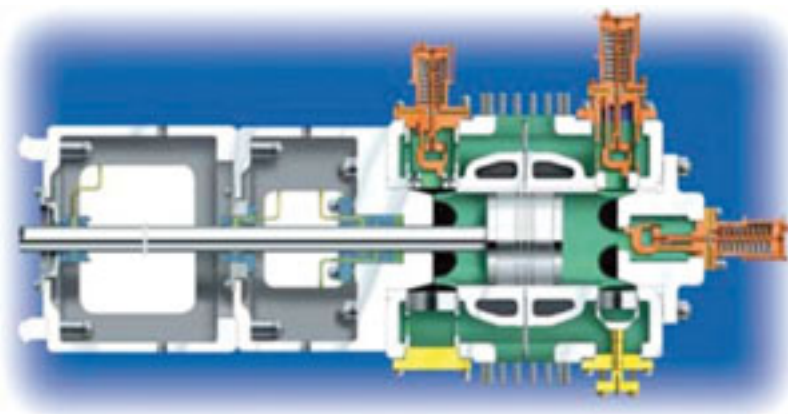
### 5.1.1 Centrifugaalcompressor

Een centrifugaalcompressorsysteem bouwt druk op middels zijn vier componenten binnen de compressor (zie onderstaand figuur). Het medium wordt versneld door de impellor en afgeremd door de diffuser. Het deel dat de uitstroom reguleert, is de last. En het plenumvolume is het volume tussen de compressor en de last.



### 5.1.2 Zuigercompressor

Voor zeer hoge drukken is de zuigercompressor de meest gebruikte compressor. De werking berust op het principe van verdringing middels een zuiger waarbij veelal zowel de heengaande als de teruggaande beweging van de zuiger wordt gebruikt. Indien grotere flow's gewenst zijn, worden er meerdere zuigers in één compressorblok geïntegreerd.



## 5.2 LOC-scenario's zuigercompressor

Zuigercompressoren kennen veelal een hoge einddruk. Daarnaast vindt vanwege het zuigerprincipe de drukopbouw vaak pulserend plaats. Veelal worden hiervoor voorzieningen getroffen teneinde de trillingen – die het gevolg zijn van het pulseren - tot een minimum te beperken. Incidenten waarbij de overdruk een rol speelt, zijn de meest voorkomende LOC-scenario's.

## 5.2.1 Overdruk

### Karakteristieken

Door één of meerdere van de in tabel 5.1 genoemde oorzaken, kunnen er lekkages ontstaan of kunnen delen van de compressor falen. Door blokkades in het proces of het plotseling afsluiten van de persleiding, kan er drukopbouw plaatsvinden. Met name bij zuigercompressoren kunnen de drukken hierbij hoog oplopen. Indien de aangebrachte veiligheidsmaatregelen vervolgens falen, kan dit leiden tot LOC's met lekkages aan de compressor en het aangesloten leidingwerk.

Overdruk kan plaatsvinden in één van de volgende gevallen:

- Druk wordt te hoog in de compressor door geblokkeerde afvoer;
- Falen overdrukbeveiliging.

### Procesregeling (preventieve LOD's)

- Drukmeting;
- Temperatuurmeting.

### Veiligheidsmaatregelen (correctieve LOD's)

Zuigercompressoren zijn voorzien van een aantal beveiligingen. Deze beveiligingen schakelen in, in geval van overdruk of een te hoge temperatuur.

- Overdrukbeveiliging middels afluatsystemen;
- Afschakelen.

### LOC-scenario's

- Door de beschadiging van de compressor kunnen er lokaal lekkages ontstaan in de afdichtingen van de compressor;
- Catastrofaal falen van de leidingen (breuk);
- Lekkende afdichtingen en/of verbindingen van aangesloten leidingwerk.

De LOC's kunnen vervolgens de volgende effecten tot gevolg hebben:

- Gaslek bij het lekkagepunt;
- Fakkels bij ontsteking van het gaslek;
- Explosie bij het vertraagd ontsteken van de gaswolk.

### Repressie (beperken, beheersen bestrijden)

Compressoren op zichzelf worden meestal niet voorzien van vast opgestelde repressieve systemen. Wanneer ze zich op een locatie bevinden waar brand een groot risico vormt, kan overwogen worden dit gebied te voorzien van gebiedsbeveiliging (deluge). Voor de mobiele bestrijding wordt verwezen naar de Algemene Module. Gebiedsbeveiliging moet uitgevoerd worden tegen een daarvoor geschikte norm zoals de NFPA 15. Daarnaast wordt ook gasdetectie toegepast om een mogelijke LOC te detecteren en daarop acties te nemen zoals het inblokken of afschakelen van de compressor.

Doel van de repressieve inzet:

- Koelen omgeving bij fakkelsbranden;
- Neerslaan of dispergeren van de damp of gaswolk;
- Inblokken van de brand.

## 5.3 LOC-scenario's centrifugaalcompressor

Moderne compressoren bevatten tegenwoordig nauwelijks oliesystemen. Oliesmeersystemen worden meestal gebruikt om alle lagers te smeren van zowel de motor als de compressor. Vooral in de oudere compressoren ook in het asafdichtingssysteem (mechanical seals). Tegenwoordig past men vooral droge mechanische asafdichtingen (dry gaseals) toe, die als afdichting een extreem dun gaslaagje gebruiken. Deze wordt opgebouwd tussen twee zeer gladde keramische schijven, waarbij één schijf op de as zit en dus draait en de andere vast zit op het huis.

Sinds een aantal jaren worden steeds meer magneetlagers gebruikt om de rotor van de (centrifugaal)compressor en de elektromotor te dragen.

Hierbij speelt het zogenaamde 'surge'-effect een belangrijke rol. Dit is een situatie waarbij de compressor geen gasstroom meer genereert vanwege een te hoge druk aan de afnamezijde (blokkade). Hierdoor kan gas worden teruggeduwd in de compressor met als gevolg trillingen, hoge temperatuur en uiteindelijk beschadiging van de impeller. Bij een te lage druk aan de afnamezijde kan het zogenaamde 'choke'-effect ontstaan. Dit is een toestand waarbij de compressor geen gas meer aanzuigt en geen drukopbouw meer genereert. Dit kan leiden tot hoge temperaturen en beschadiging van de compressor.

### 5.3.1 Overdruk

Overdruk kan plaatsvinden in één van de volgende gevallen:

- Druk wordt te hoog in de compressor door geblokkeerde afvoer;
- Falen overdrukbeveiliging.

Tevens kan lekkage plaatsvinden bij verbindingen waar problemen zijn met de afdichting, zoals flenslekkages.

#### Karakteristieken

Door blokkades in het proces of het plotseling afsluiten van de persleiding, kan er drukopbouw plaatsvinden. Indien veiligheden vervolgens falen, kan dit leiden tot lekkages aan de compressor en het aangesloten leidingwerk.

#### Procesregeling (preventieve LOD's)

- Overdruk beveiliging.

#### Veiligheden (correctieve LOD's)

- Overdrukbeveiliging middels aflaatsystemen;
- Afschakelen.

#### LOC-scenario's

- Door de beschadiging van de compressor kunnen er lokaal lekkages ontstaan in de afdichtingen van de compressor;
- Catastrofaal falen van de leidingen (breuk);
- Lekkende afdichtingen en/of verbindingen van aangesloten leidingwerk.

De LOC's kunnen vervolgens de volgende effecten tot gevolg hebben:

- Gaslek bij het lekkagepunt;
- Fakkels bij ontsteking van het gaslek;
- Explosie bij het vertraagd ontsteken van de gaswolk.



### **Repressie (beperken, beheersen, bestrijden)**

Compressoren op zichzelf worden meestal niet voorzien van vast opgestelde repressieve systemen. Wanneer ze zich in een gebied bevinden waar brand een groot risico vormt, is het mogelijk dat dit gebied voorzien is van gebiedsbeveiliging (deluge). Voor de mobiele bestrijding wordt verwezen naar de Algemene Module. Gebiedsbeveiliging, conform geschikte norm zoals de NFPA 15.

Doel van de repressieve inzet:

- Koelen omgeving bij fakkelbranden;
- Neerslaan of dispergeren van de damp of gaswolk;
- Inblokken.

## **5.4 LOC-scenario's lekkage algemeen**

Lekkage door mechanische schade kan plaatsvinden in één van de volgende gevallen:

- Toevoer naar de compressor faalt of raakt geblokkeerd;
- Falen temperatuurbeveiliging;
- Lekkage door corrosie;
- Lekkage door trillingen (metaalmoetheid);
- Lekkage door erosie.

### **Karakteristieken**

Centrifugaalcompressoren kennen een lagere drukopbouw dan zuigercompressoren. De einddrukken kunnen echter nog steeds hoog zijn (80 bar). Door een blokkade aan de afnamezijde gaat de druk omhoog en kan binnen de compressor het surge-effect optreden. Indien deze situatie lang aanhoudt, kan de temperatuur in de compressor oplopen en kunnen ongewenste trillingen ontstaan. Bij hoge assnelheden kunnen deze trillingen de compressor beschadigen, gevolgd door lekkages.

Bij zuigercompressoren vindt vanwege het zuigerprincipe de drukopbouw pulserend plaats. Vanwege dit laatste worden de zuigercompressoren vaak voorzien van buffers om de pulsen af te dempen. Desondanks kunnen er nog steeds trillingen ontstaan. Verder kunnen onderdruk, corrosie, trillingen en erosie eveneens leiden tot lekkages in en om de compressor.

Een blokkade in de toevoer, bijvoorbeeld verstopte filters, kan bij compressoren leiden tot een onderdruk aan de zuigzijde. Hierdoor kunnen beschadigingen optreden aan het leidingwerk en de compressor zelf door oververhitting.

### **Procesregeling (preventieve LOD's)**

- Temperatuurbeveiliging;
- Monitoretrillingen;
- Drukregeling.

### **Veiligheden (correctieve LOD's)**

- Regelkleppen.

### **LOC-scenario's**

- Door de beschadiging van de compressor kunnen er lokaal lekkages ontstaan in de afdichtingen van de compressor;
- Door corrosie/erosie kunnen er lokaal lekkages ontstaan in en om de compressor;
- Lekkende afdichtingen en/of verbindingen van aangesloten leidingwerk.

De LOC's kunnen vervolgens de volgende effecten tot gevolg hebben:

- Gaslek bij het lekkagepunt;
- Fakkels bij ontsteking van het gaslek;
- Explosie bij het vertraagd ontsteken van de gaswolk.

**Repressie (beperken, beheersen, bestrijden)**

Compressoren op zichzelf worden meestal niet voorzien van vast opgestelde repressieve systemen. Wanneer ze zich in een gebied bevinden waar brand een groot risico vormt, is het mogelijk dat dit gebied voorzien is van gebiedsbeveiliging (deluge). Voor de mobiele bestrijding wordt verwezen naar de Algemene Module. Gebiedsbeveiliging, conform geschikte norm zoals de NFPA 15. Daarnaast wordt ook gasdetectie toegepast om een mogelijke LOC te detecteren en daarop acties te nemen zoals het inblokken of afschakelen van de compressor.

Doel van de repressieve inzet:

- Koelen omgeving bij fakkelsbranden;
- Neerslaan of dispergeren van de damp of gaswolk;
- Inblokken.

## 6 Installatie 5: Leidingwerk

De onderstaande tabel geeft een overzicht van de scenario's. Dit betreft zowel de reële als typerende, generieke en specifieke scenario's voor leidingen:

Directe oorzaken	Type Loss of Containment	
	Catastrofaal	Lekkage
Corrosie	-/-	G (T/E/B)
Hoge temperaturen	-/-	G (T/E/B)
Trillingen	-/-	G (T/E/B)
Overdruk	G (T/E/B)	G (T/E/B)
Externe belasting	S (T/E/B)	S (T/E/B)
Impact	S (T/E/B)	S (T/E/B)
Wijziging / Onderhoud	-/-	G (T/E/B)

*T = toxische wolk / E = Explosie / B=brand / G=generiek / S=specifiek*

De belangrijkste, specifieke directe oorzaak voor het falen van leidingen is breuk door externe belasting of impact. Daarnaast zijn er alle generieke faaloorzaken zoals corrosie, hoge temperaturen en defecte/foute trillingen, overdruk en onderdelen.

### 6.1 Typen leidingen

Er kan gesproken worden over de volgende typen leidingen:

- Gasleiding;
- Vloeistofleiding;
- Vastestoftransportleidingen (pneumatisch transport).

Deze leidingen, of combinaties hiervan, lopen door installaties en gebouwen. Verder worden ze gezamenlijk op een leidingenbrug gelegd. Door de veelal lange leidinglengtes kunnen de systeeminhouden behoorlijk oplopen bij de grotere leidingdiameters. Leidingbruggen bevinden zich zowel in de installatiegebouwen als daarbuiten.



Leidingenbrug buiten



Leidingenbrug binnen

Binnen de installaties wordt er altijd naar gestreefd de leidinglengtes tot een minimum te beperken. Leidinggoten komen weinig voor binnen procesinstallaties en bevinden zich voornamelijk in de opslaglocaties binnen inrichtingen. Voor leidinggoten/straten: zie Module 1.

## 6.2 LOC-scenario's leidingen

### 6.2.1 Schokken, vervorming en trillingen in de leiding

#### Karakteristieken

Leidingen worden vaak blootgesteld aan trillingen, schokken en vervorming. Hier zijn leidingen binnen een bepaald stramien op berekend. Wanneer er echter omstandigheden zijn waardoor de leiding buiten dit stramien wordt blootgesteld aan krachten, kunnen zich problemen voordoen.

#### Onderliggende oorzaken LOC

- Trillingen vanuit installaties in de leiding (pulserend medium, trillingen van aangesloten installaties worden slecht gedempt);
- Afsluiters welke slecht afgesteld staan en daardoor veel schokken in de leiding veroorzaken;
- Manueel of automatisch snel afsluiten van de leiding leidt tot hamerslag;
- Te hoge temperatuur waardoor de leiding uitzet en van zijn schoenen afschiet. Dit wordt gevolgd door lage temperatuur waardoor i.v.m. krimp spanning in de leiding ontstaat;
- Overdruk in combinatie met een veiligheidsklep in de leiding.

#### Procesregeling en preventieve LOD's

- Veilig ontwerp (ruimte voor de leiding);
- Schokabsorberende maatregelen;
- Bij grote leidingen kan ervoor gekozen worden de dragende constructies te voorzien van passieve brandbescherming.

#### Veiligheden (correctieve LOD's)

- Procesregeling;
- Inbloksystemen leidingen.

### LOC-scenario's

- Catastrofaal falen van de leidingen (breuk);
- Lekkende afdichtingen en/of verbindingen (ontzetting).

De LOC's kunnen vervolgens de volgende effecten tot gevolg hebben:

- Plasvorming (toxische of ontvlambare stof) onder het lekkagepunt;
- Plasbrand bij ontsteking;
- Sproeier bij het lekkagepunt (bij hoge drukken);
- Sproei-brand bij ontsteking van de sproeier;
- Gaslek bij het lekkagepunt;
- Fakkels bij ontsteking van het gaslek;
- Explosie bij het vertraagd ontsteken van de dampwolk of gaswolk.

### Repressie (beperken, beheersen, bestrijden)

Leidingen op zichzelf worden meestal niet voorzien van vast opgestelde repressieve systemen. Wanneer ze zich in een gebied bevinden waar brand een groot risico vormt, is het mogelijk dat dit gebied voorzien is van gebiedsbeveiliging (deluge). Voor de mobiele bestrijding wordt verwezen naar de Algemene Module. Gebiedsbeveiliging, conform geschikte norm zoals de NFPA 15.

Doel van de repressieve inzet:

- Afdekken plassen;
- Blussen plassen bij ontsteking en koelen omgeving;
- Koelen omgeving bij sproei- en fakkelbranden;
- Neerslaan of dispergeren van de damp of gaswolk.

## 6.2.2 Leidingen algemeen

### Karakteristieken

Omdat leidingen de verbindende factor vormen tussen de verschillende apparaten/ installaties, worden ze veelal blootgesteld aan dezelfde drukken en temperaturen als de apparaten/installaties zelf. Indien druk en temperatuur buiten het ontwerpgebied van de leidingen treden of als de verbindingen (pakkingen) slecht zijn, kunnen er lekkages optreden. Tevens kunnen door corrosie of erosie verzwakkingen in de leidingen optreden met lekkage of falen als gevolg.

Bij erosie worden leidingdelen (met name bochten) weggesleten door het medium waardoor na verloop van tijd een lekkage ontstaat.

### Onderliggende oorzaken LOC

- Onjuist ontwerp;
- Verkeerde procesbeheersing;
- Impact van buitenaf.

### Procesregeling en preventieve LOD's

- Veilig ontwerp;
- Overdrukbeveiliging;
- Temperatuurdetectie;
- Passieve brandbescherming dragende constructies;
- Werkprocedures/werkvergunningen.

### Veiligheden (correctieve LOD's)

- Procesbeheersingsmaatregelen.

### LOC-scenario's

- Catastrofaal falen van de leidingen (breuk);
- Lekkende afdichtingen en/of verbindingen;
- Lekkage ter hoogte van corrosie/erosie ;

### **Repressie (beperken, beheersen, bestrijden)**

Zie paragraaf 6.2.1.

## **6.2.3 Leidingenbruggen algemeen**

### **Karakteristieken**

Leidingenbruggen kruisen veelal doorgaande wegen voor vervoer en transport. Het aanrijden van een leidingenbrug is een voorzienbaar voorval. Daarnaast kunnen zich binnen een leidingenbrug ook flensverbindingen en instrumentatie bevinden waar een LOC zou kunnen optreden door externe krachten. Tevens dient rekening gehouden te worden met de LOC-scenario's uit 6.2.2.

### **Onderliggende oorzaken LOC**

- Verkeerde inschatting bestuurder;
- Opstaande laadkleppen;
- Niet ingetrokken hijswerktuigen;
- Verkeerd onderhoud/beheer.

### **Procesregeling en preventieve LOD's**

- Inherent veilig ontwerp;
- Snelheidsbeperking voertuigen;
- Veilige rijroutes;
- Voldoende doorrijhoogte;
- Zichtbare markering;
- Aanrijdbeveiliging;
- Passieve brandbescherming dragende constructies.

### **Veiligheden (correctieve LOD's)**

- Snelafsluiters met interlock op druk- en/of flowmeters.

### **LOC-scenario's**

- Catastrofaal falen van de leidingen (breuk);
- Lekkende afdichtingen en/of verbindingen (ontzetting).

### **Repressie (beperken, beheersen, bestrijden)**

Leidingenbruggen worden meestal niet voorzien van vast opgestelde repressieve systemen. Alleen wanneer ze zich op een locatie bevinden waar brand een groot risico vormt, is het mogelijk dat de binnen dat gebied aanwezige vast opgestelde systemen voor een bepaalde lengte worden doorgetrokken over de leidingenbrug. Voor de mobiele bestrijding wordt verwezen naar de Algemene Module. Vast opgestelde systemen, conform een geschikte norm zoals de NFPA 15. Zie verder paragraaf 6.2.1.

## **6.2.4 Verzakken leidingenbrug**

### **Karakteristieken**

De draagconstructie van de leidingenbrug rust op pilaren. Afhankelijk van het type ondergrond zal er een geschikte fundering moeten worden gelegd.

### **Onderliggende oorzaken LOC**

- Ontwerpfout;
- Installatiefout;
- Overstroming;
- Aardbeving.

#### **Procesregeling (preventieve LOD's)**

- Inherent veilig ontwerp.

#### **Veiligheden (correctieve LOD's)**

- Snelafsluiters met interlock op druk- en/of flowmeters.

#### **LOC-scenario's**

- Catastrofaal falen van de leidingen (breuk);
- Lekkende afdichtingen en/of verbindingen (ontzetting);

#### **Repressie (beperken, beheersen, bestrijden)**

Leidingenbruggen worden meestal niet voorzien van vast opgestelde repressieve systemen. Alleen wanneer ze zich in een gebied bevinden waar brand een groot risico vormt, is het mogelijk dat de binnen dat gebied aanwezige vast opgestelde systemen (met name koeling) voor een bepaalde lengte worden doorgetrokken over de leidingenbrug. Voor de mobiele bestrijding wordt verwezen naar de Algemene Module. Vast opgestelde systemen, conform een geschikte norm zoals de de NFPA 15. Zie verder paragraaf 6.2.1.

### **6.2.5 Omgevingsbrand**

#### **Karakteristieken**

Zoals eerder aangegeven, heeft leidingwerk een bepaald ontwerpstramien. Indien de ontwerpwaarden worden overschreden kan het leidingwerk gaan lekken of zelfs falen. Een specifiek voorbeeld is een omgevingsbrand welke het medium in de leiding opwarmt. Indien het een afgesloten leidingdeel betreft, kan er drukopbouw plaatsvinden. Bij voldoende drukopbouw kan de leiding falen (bijvoorbeeld BLEVE). Indien de leidingen groter in omvang zijn (DN 150 en groter) kan het lang duren voordat de opwarming effect heeft op de systeeminhouden. De leidingen worden voor een bepaalde tijd als het ware gekoeld door het medium dat erin aanwezig is. Dit houdt in dat de leiding zelf enige standtijd krijgt alvorens deze gaat falen. In die tijd is het mogelijk dat de ondersteunende elementen (dragende constructies) gaan verweken en de leiding niet meer kunnen dragen. Bij het falen van de supports is er vervolgens kans op escalatie.

#### **Onderliggende oorzaken LOC**

- Brand.

#### **Procesregeling (preventieve LOD's)**

- Overdrukbeveiliging.

#### **Veiligheden (correctieve LOD's)**

- Stoppen toevoer brandhaard,
- Isolatie leiding (fire proofing),
- Passieve brandbescherming dragende constructies (ook leidingenbruggen).

#### **LOC-scenario's**

- Catastrofaal falen van de leidingen (BLEVE).

#### **Repressie (beperken, beheersen, bestrijden)**

Leidingen op zichzelf worden meestal niet voorzien van vast opgestelde repressieve systemen. Wanneer ze zich op een locatie bevindt waar brand een groot risico vormt, is het mogelijk dat dit gebied voorzien is van gebiedsbeveiliging (deluge). Voor de mobiele bestrijding wordt verwezen naar de Algemene Module. Hierbij dient opgemerkt te worden dat de inzet zich met name dient te richten op het blussen van de brand. Het is bijna ondoenlijk iedere leiding binnen een procesinstallatie te koelen ten tijde van brand. Gebiedsbeveiliging, conform een geschikte norm zoals de NFPA 15. De essentie van de repressieve inzet zit hem in het voorkomen van leidingfalen.

## 6.2.6 Vents en Drains

### Karakteristieken

Leidingen worden tijdens de bouw voorzien van vents en drains. Deze vents en drains hebben vaak als functie de leidingen te laten leeglopen na het testen of bij het uit bedrijf nemen van de installatie. Indien de vents en drains na het opleveren van de installatie niet meer nodig zijn, worden ze vaak dichtgelast. Incidenteel worden drains ook gebruikt voor het nemen van monsters, hoewel ze daar officieel niet voor bedoeld zijn. Het afsluiten van drains na het uit bedrijf nemen, kan vergeten worden door onderhoudsmensen. Hierdoor kan tijdens de opstart een LOC plaatsvinden.

### Onderliggende oorzaken LOC

- Operatorfout;
- Verkeerde procedures;
- Verkeerd onderhoud/beheer.

### Procesregeling (preventieve LOD's)

- Interlocksystemen (bepaalde functies kunnen hierdoor niet worden opgestart zolang een drain of vent open staat).

### Veiligheden (correctieve LOD's)

- Snelafsluiters (eventueel met interlock op druk- en/of flowmeters).

### LOC-scenario's

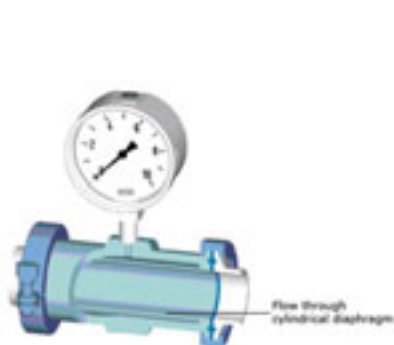
- Lek via openstaande vents of drains.

De LOC's kunnen de volgende effecten tot gevolg hebben:

- Plasvorming (toxische of ontvlambare stof) onder het lekkagepunt;
- Plasbrand bij ontsteking;
- Sproeier bij het lekkagepunt (bij hoge drukken);
- Sproeibrand bij ontsteking van de sproeier;
- Gaslek bij het lekkagepunt;
- Fakkels bij ontsteking van het gaslek;
- Explosie bij het vertraagd ontsteken van de dampwolk of gaswolk.

### Repressie (beperken, beheersen, bestrijden)

Vents en drains bevinden zich veelal door de gehele installatie waardoor de LOC overall kan plaatsvinden. Voor de mobiele bestrijding wordt verwezen naar de Algemene Module. De gebruikelijke vast opgestelde systemen zijn gebiedsbeschermingssysteem, conform geschikte norm zoals de NFPA 15 of 16. Opgemerkt moet worden dat vents en drains geen directe aanleiding geven voor het installeren van gebiedsbescherming. Zie verder paragraaf 6.2.1.





### 6.2.7 Inline-instrumentatie

#### Karakteristieken

Inline-instrumentatie bevindt zich vaak op instrumentatienozzles welke op de leiding zijn gelast. Thermowells en drukmeters worden hierop gemonteerd.

Verder zijn er instrumenten welke tussen flenzen in de leiding worden ingebouwd zoals debietmeters. LOC's ontstaan door flenslekkages, corrosie binnen de instrumentatie of door hoge druk waar de instrumentatie niet op berekend is.

#### Onderliggende oorzaken LOC

- Onderhouds-/beheerfouten;
- Onjuist ontwerp.

#### Procesregeling (preventieve LOD's)

- Alarmering bij foutmelding van het instrument of niet normale waarden;
- Inblokken middels afsluiters.

#### Veiligheden (correctieve LOD's)

- n.v.t.

#### LOC-scenario's

- Lek via flens;
- Lek door instrument heen door falen van het instrument;
- Lek door foutieve demontagehandeling tijdens onderhoud aan 'Life'-installaties.

Zie verder paragraaf 6.2.1.

#### Repressie (beperken, beheersen, bestrijden)

Instrumentatie bevindt zich veelal door de gehele installatie waardoor de LOC overal kan plaatsvinden. Voor de mobiele bestrijding wordt verwezen naar de Algemene Module. De gebruikelijke vast opgestelde systemen zijn gebiedsbeschermingssystemen, die ontworpen en aangelegd worden conform een geschikte norm zoals de NFPA 15 of NFPA 16. Opgemerkt moet worden dat inline-instrumentatie geen directe aanleiding geeft voor het installeren van gebiedsbescherming. Zie verder paragraaf 6.2.1.

### 6.2.8 Afsluiters en regelkleppen



Regelklep



Gate valve



Kogelklep

### **Karakteristieken**

Afsluiters en regelkleppen zijn appendages welke de doorstroom van een medium kunnen regelen of afsluiten. Deze appendages kunnen manueel of automatisch bediend worden en kennen vele uitvoeringsvormen. Automatisch bediende afsluiters en regelkleppen worden gebruikt voor het regelen van temperatuur, druk en debiet. De automatische afsluiters en kleppen worden aangedreven middels elektromotoren, luchtmotoren en luchtcilinders al dan niet in combinatie met veerretour.

Afsluiters en regelkleppen vormen op zichzelf ook vaak een LOD door het mogelijk te maken een inluitsysteem in te blokken. Het is daarom belangrijk dat het correct functioneren van de afsluiters en regelkleppen gewaarborgd is middels een onderhoudsysteem. Verder is het belangrijk dat afsluiters en regelkleppen welke tevens een LOD functie hebben, worden voorzien van een redundante voeding. Voor elektrische aandrijving in de vorm van accu pakketten (UPS, Un-interrupted Power Supply), voor lucht aangedreven afsluiters en kleppen middels buffertanks.

### **Onderliggende oorzaken LOC**

- Onderhouds-/beheerfouten;
- Onjuist ontwerp.

### **Procesregeling (preventieve LOD's)**

- Alarmering bij foutmelding van de afsluiter/regelklep of niet normale waarden;
- Inblokken middels omliggende afsluiters.

### **Veiligheden (correctieve LOD's)**

- n.v.t.

### **LOC-scenario's**

- Lek via flens;
- Lek in de afsluiter/regelklep;
- Lek door foutieve demontagehandeling tijdens onderhoud aan 'Life'-installaties.

Zie verder paragraaf 6.2.1.

### **Repressie (beperken, beheersen, bestrijden)**

Afsluiters en regelkleppen bevinden zich door de gehele installatie waardoor de LOC overal kan plaatsvinden. Voor de mobiele bestrijding wordt verwezen naar de Algemene Module. De gebruikelijke vast opgestelde systemen zijn gebiedsbeschermingssystemen, die ontworpen en aangelegd worden conform een geschikte norm zoals de NFPA 15 of NFPA 16. Opgemerkt moet worden dat afsluiters en regelkleppen geen directe aanleiding geven voor het installeren van gebiedsbescherming. Zie verder paragraaf 6.2.1.

## 7 Installatie 6: Warmtewisselaars

De onderstaande tabel geeft een overzicht van de scenario's. Dit betreft zowel de reële als typerende, generieke en specifieke scenario's voor warmtewisselaars:

Directe oorzaken	type Loss Of Containment			
	Instantaan	10 minuten	0,1D	Spill
Corrosie	-/-	G (T/E/B)	G (T/E/B)	G (B)
Impact	-/-	G (T/E/B)	G (T/E/B)	G (B)
Trillingen	S (T/E/B)	S (T/E/B)	S (T/E/B)	-/-
Overdruk	S (T/E/B) Geldt niet voor platen wisselaar	S (T/E/B) Geldt niet voor platen wisselaar	S (T/E/B)	S (B)
Wijziging / Onderhoud	-/-	-/-	S (T/E/B)	S (B)

T = toxische wolk / E = Explosie / B=brand / G=generiek / S=specifiek

Naast de generieke faaloorzaken zoals corrosie, trillingen en impact zijn de belangrijkste, specifieke directe oorzaken voor het lekken van warmtewisselaars wijzigingen of onderhoud en overdruk.

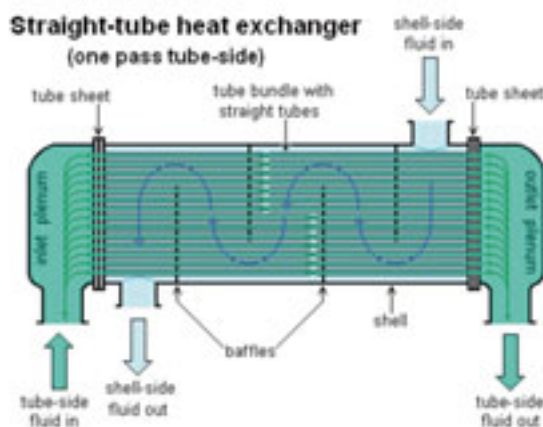
### 7.1 Typen warmtewisselaars

Binnen de procesindustrie worden de volgende warmtewisselaars het meest toegepast:

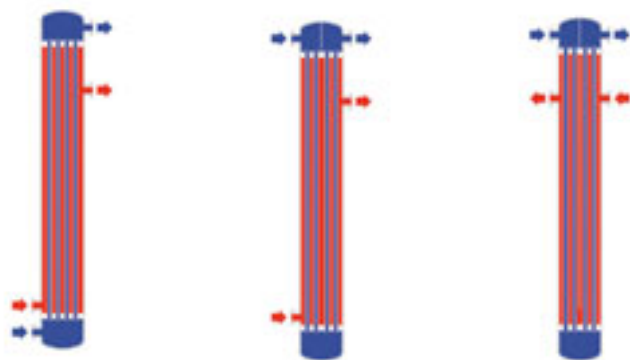
- Buizenwarmtewisselaar;
- Platenwarmtewisselaar;
- Fin-Fan-warmtewisselaar.

#### 7.1.1 Buizenwarmtewisselaar

De buizenwarmtewisselaar is in de industrie ook bekend onder zijn Engelse term Shell & Tube. In zijn meest eenvoudige vorm is het een buis in een andere buis, ofwel een buis met daaromheen een mantel. Meestal echter zijn er meerdere buizen in een grote mantel.



Het ene medium stroomt dan door de buis en het andere medium door de mantel. Dit kan op meerdere manieren (zie onder) Als er een temperatuurverschil bestaat tussen de twee vloeistoffen, zal warmte van de warme vloeistof/stoom aan de koudere vloeistof worden overgedragen.



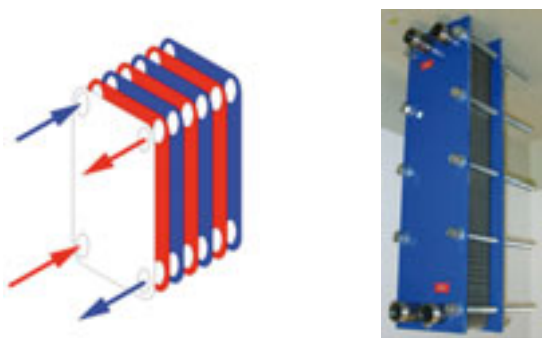
Single pass

2 pass

2 x 2 pass

### 7.1.2 Platenwarmtewisselaar

Een platenwarmtewisselaar is een specifiek type warmtewisselaar. Een platenwarmtewisselaar bestaat uit een aantal dunne, geribbelde platen. Deze platen worden tegen elkaar aangedrukt in een frame, waarbij de randen van de platen zijn voorzien van een pakking of waarbij de platen aan de randen aan elkaar worden gelast. Op deze manier ontstaan parallelle kanalen tussen de platen. De ene vloeistof wordt door de even kanalen geleid, terwijl de andere vloeistof door de oneven kanalen wordt geleid. Als er een temperatuurverschil bestaat tussen de twee vloeistoffen, zal warmte door de platen heen van de warme vloeistof aan de koudere vloeistof worden overgedragen.



Platenwarmtewisselaars kunnen worden gebruikt om vloeistoffen te verwarmen of te koelen, om vloeistoffen te verdampen en om dampen te condenseren.

### 7.1.3 Fin-Fan-warmtewisselaar (luchtkoeler)

Een luchtkoeler maakt gebruik van omgevingslucht om de processtroom te koelen. Hierbij kan de ventilator boven of onder de wisselaar geplaatst zijn.



### 7.1.4 Koel/verwarmingsmedium

Het koel- of verwarmingsmedium voor warmtewisselaars bestaat voornamelijk uit:

- Stoom voor verwarmen;
- Processtroom voor koelen/verwarmen;
- Gekoeld water voor koelen;
- Chilled water voor diepkoelen;
- Lucht voor koelen (fin-fan).

Aan de proceszijde van de wisselaar kunnen zowel vloeistoffen als gassen/dampen aanwezig zijn.

Gekoeld water wordt of direct aan de lucht of via een secundair systeem met oppervlaktewater gekoeld. Chilled water wordt opgewekt door koelmachines. Zie hiervoor hoofdstuk 11.

Voor het koel- of verwarmingsmedium kunnen de volgende scenario's zorgen voor een LOC bij een warmtewisselaar:

- Het falen van aanvoer van het medium.  
Door het wegvallen van aanvoer raakt het systeem in onbalans. Hierdoor kan een verhoging van de temperatuur ontstaan binnen de wisselaar welke buiten het ontwerpstramien kan vallen met schade tot gevolg;
- Over-/onderdruk aan de mediumzijde.  
Ook hier is sprake van het wegvallen van de balans tussen beide zijden van het warmtewisselsysteem. Hierdoor kunnen vervormingen binnen de wisselaar optreden met lekkage tot gevolg. Daarnaast kan het materiaal vermoeid raken en in een later stadium falen;
- Te lage/hoge temperatuur aan de mediumzijde.  
Dit geeft dezelfde gevolgen als bij het falen van de mediaanvoer.

## 7.2 LOC-scenario's buizenwarmtewisselaar

### 7.2.1 Lekkage pijpen daardoor vermenging producten

#### Karakteristieken

Door corrosie, erosie, trillingen, oververhitting en/of onjuist materiaalgebruik kunnen de pijpen binnen de wisselaar lek raken. Normaliter worden geen koelmedia gebruikt die niet verenigbaar zijn met de processtroom. Water of stoom kan echter met een aantal processtoffen heftige reacties veroorzaken. Indien hierbij drukken optreden welke de ontwerpdruk van de wisselaar te boven gaan, bestaat de kans op lekkage of zelfs falen.

#### Onderliggende oorzaken LOC

- Ontwerpfout;
- Procesfout in de aansturing;
- Slecht onderhoud en beheer;
- Agressieve processtromen.

#### Procesregeling (preventieve LOD's)

- Veilig ontwerp.

#### Veiligheden (correctieve LOD's)

- Overdrukbeveiliging;
- Temperatuur beveiliging;
- Drukval meting;
- Inblokken wisselaar.

#### LOC-scenario's

- Catastrofaal falen van het systeem bij overdruk;
- Lekkage bij overdruk.

De LOC's kunnen de volgende effecten tot gevolg hebben:

- Plasmvorming (toxische of ontvlambare stof) onder het lekkagepunt;
- Plasbrand bij ontsteking;
- Sproeier bij het lekkagepunt (bij hoge drukken);
- Sproeibrand bij ontsteking van de sproeier;
- Gaslek bij het lekkagepunt;
- Fakkels bij ontsteking van het gaslek;
- Explosie bij het vertraagd ontsteken van de dampwolk of gaswolk.

#### Repressie (beperken, beheersen, bestrijden)

Wisselaars op zichzelf worden meestal niet voorzien van vast opgestelde repressieve systemen in verband met de lage systeeminhoud. Wanneer ze zich in een gebied bevinden waar brand een groot risico vormt, is het mogelijk dat dit gebied voorzien is van gebiedsbeveiliging (deluge). Voor de mobiele bestrijding wordt verwezen naar de Algemene Module. Gebiedsbeveiliging, conform een geschikte norm zoals de NFPA 15 en/of NFPA 16.

Doel van de repressieve inzet:

- Afdekken plassen;
- Blussen plassen bij ontsteking en koelen omgeving;
- Koelen omgeving bij sproei- en fakkelbranden;
- Neerslaan of dispergeren van de damp of gaswolk.

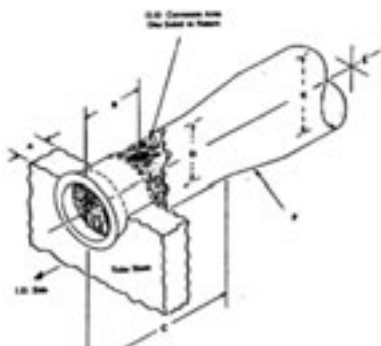
### 7.2.2 Lekkage flenzen/monsterpunten/instrumentatie

Lekkages hebben dezelfde effecten als omschreven bij leidingwerk in paragraaf 6.2. Hierbij dient opgemerkt te worden dat de grootste flensverbindingen de afsluitende deksels van de buizenwisselaar zijn. Hiermee is de doorsnede van de wisselaar dus maatgevend voor het lekkage scenario.

### 7.2.3 Tube burst

#### Karakteristieken

Door vooral erosie en oververhitting kunnen de buizen lek raken of zelfs open klappen (tube burst).



Voor de verdere LOC-omschrijving wordt verwezen naar 7.2.1.

### 7.2.4 Falen overdrukbeveiliging

#### Karakteristieken

Door het falen van de overdrukbeveiliging kunnen de drukken binnen een warmtewisselaar dusdanig hoog oplopen dat dit kan leiden tot lekkages of volledig falen. Binnen 7.2.1 speelt de overdrukbeveiliging een cruciale rol teneinde het falen van de warmtewisselaar te voorkomen.

#### Onderliggende oorzaken LOC

- Ontwerpfout;
- Slecht onderhoud/beheer.

#### Procesregeling (preventieve LOD's)

- Inblokken warmtewisselaar.

#### LOC-scenario's en bestrijding

Voor de verdere omschrijving wordt verwezen naar 7.2.1.

### 7.2.5 Verstopping van pijpen (kalkafzetting)

#### Karakteristieken

Binnen de processtroom of mediastroom kunnen afzetting zorgen voor een verstopping van de buis of buizen. Dit zal niet direct leiden tot een overdruksituatie omdat binnen de wisselaar nog alternatieve routes zijn voor het medium of de processtroom. De weerstand van de warmtewisselaar zal wel toenemen wat voor problemen in het verdere proces binnen de installatie kan zorgen. De verstopping kan wel erosie veroorzaken met lekkage tot gevolg. Voor de verdere omschrijving wordt verwezen naar 7.2.1.

#### Onderliggende oorzaken LOC

- Slecht onderhoud/beheer;
- Medium voldoet niet aan de specificaties.

#### **Procesregeling (preventieve LOD's)**

- Drukvalmeting;
- Inblokken warmtewisselaar.

#### **Veiligheden (correctieve LOD's)**

- Overdrukbeveiliging;
- Temperatuurbeveiliging.

#### **LOC-scenario's en bestrijding**

Voor de verdere omschrijving wordt verwezen naar 7.2.1.

## **7.3 LOC-scenario's platenwarmtewisselaar**

### **7.3.1 Lekkage van pakkingen en door corrosie (naar buiten)**

Lekkages van de pakkingen hebben dezelfde effecten als omschreven bij leidingwerk in paragraaf 6.2. Hierbij dient opgemerkt te worden dat het grootste lek wordt bepaald door de omtrek van de pakking op de plaat. Hiermee is de doorsnede van de wisselaar dus maatgevend voor het lekkage scenario.

### **7.3.2 Lekkage van pakking en door corrosie (medium naar product en omgekeerd)**

#### **Karakteristieken**

Door corrosie, erosie, oververhitting, onjuist materiaalgebruik en foutieve montage kunnen de platen en pakkingen binnen de wisselaar lek raken. Normaliter worden geen koelmedia gebruikt die niet verenigbaar zijn met de processtroom. Water kan echter met een aantal processtoffen heftige reacties veroorzaken. Indien hierbij drukken optreden welke de ontwerpdruk van de wisselaar te boven gaan, bestaat de kans op lekkage.

#### **Onderliggende oorzaken LOC**

- Ontwerpfout;
- Procesfout in de aansturing;
- Slecht onderhoud en beheer;
- Agressieve processtromen.

#### **Procesregeling (preventieve LOD's)**

- Veilig ontwerp.

#### **Veiligheden (correctieve LOD's)**

- Overdrukbeveiliging;
- Temperatuurbeveiliging;
- Drukvalmeting;
- Inblokken wisselaar.

#### **LOC-scenario's**

- Lekkage bij overdruk.

De LOC's kunnen de volgende effecten tot gevolg hebben:

- Plasvoorkoming (toxische of ontvlambare stof) onder het lekkagepunt;
- Plasbrand bij ontsteking;
- Sproeier bij het lekkagepunt (bij hoge drukken);
- Sproeibrand bij ontsteking van de sproeier;
- Gaslek bij het lekkagepunt;
- Fakkels bij ontsteking van het gaslek;
- Explosie bij het vertraagd ontsteken van de dampwolk of gaswolk.



### **Repressie (beperken, beheersen, bestrijden)**

Wisselaars op zichzelf worden meestal niet voorzien van vast opgestelde repressieve systemen in verband met de lage systeeminhouden. Wanneer ze zich in een gebied bevinden waar brand een groot risico vormt, is het mogelijk dat dit gebied voorzien is van gebiedsbeveiliging (deluge). Voor de mobiele bestrijding wordt verwezen naar de Algemene Module. Gebiedsbeveiliging, conform een geschikte norm zoals de NFPA 15 en/of NFPA 16.

Doel van de repressieve inzet:

- Afdekken plassen;
- Blussen plassen bij ontsteking en koelen omgeving;
- Koelen omgeving bij sproei- en fakkelbranden;
- Neerslaan of dispergeren van de damp of gaswolk.

### **7.3.3 Lekkage door overdruk (falen beveiliging)**

#### **Karakteristieken**

Door het falen van de overdrukbeveiliging kunnen de drukken binnen een warmtewisselaar zodanig hoog oplopen, dat dit kan leiden tot lekkages. Het volledig in één keer falen van de wisselaar is gezien de constructie niet mogelijk.

#### **Onderliggende oorzaken LOC**

- Ontwerpfout;
- Slecht onderhoud/beheer.

#### **Procesregeling (preventieve LOD's)**

- Inblokken warmtewisselaar.

#### **LOC-scenario's en bestrijding**

Voor de verdere omschrijving wordt verwezen naar 7.3.2.

### **7.3.4 Verstopping/vervuiling door uitzakken vaste stoffen**

#### **Karakteristieken**

Verstoppingen en vervuilingen resulteren in een slechte doorstroom door de warmtewisselaar. De warmtewisselaar veroorzaakt hierdoor een hoge drukval en heeft een slechte warmteoverdracht waardoor oververhitting kan ontstaan. Bij volledige verstopping is de kans op overdruk aanwezig. Indien de overdrukbeveiliging faalt, bestaat er een risico op lekkage. Zie verder 7.3.2.

#### **Onderliggende oorzaken LOC**

- Slechte filters in de processtroom of in de mediumstroom;
- Slecht onderhoud/beheer.

#### **Procesregeling (preventieve LOD's)**

- Filters;
- Overdrukbeveiliging;
- Drukvalmeting met acties;
- Temperatuurmetering met acties.

#### **Veiligheden (correctieve LOD's)**

- Inblokken warmtewisselaar.

#### **LOC-scenario's en bestrijding**

Voor de verdere omschrijving wordt verwezen naar 7.3.2.

## 8 Installatie 7: Flaresystemen

De onderstaande tabel geeft een overzicht van de scenario's. Dit betreft zowel de reële als typerende, generieke en specifieke scenario's voor procesvaten:

Directe oorzaken	Type Loss Of Containment			
	Instantaan	10 minuten	0,1D	Spill
Corrosie door: - verkeerd ontwerp	-/-	G (T/E/B)	G (T/E/B)	G (B)
Overdruk door: - overvullen	S (T/E/B)	S (T/E/B)	S (T/E/B)	S (B)
Wijziging / Onderhoud	-/-	-/-	G (T/E/B)	G (B)

T = toxische wolk / E = Explosie / B=brand / G=generiek / S=specifiek

Naast generieke faaloorzaken zoals corrosie en wijziging/onderhoud, is de belangrijkste specifieke directe oorzaak voor het falen van flaresystemen overdruk.

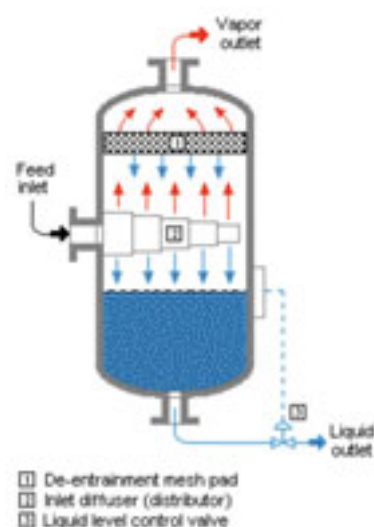
Een flaresysteem is een veiligheidsvoorziening binnen procesinstallaties en kent meerdere uitvoeringen. De meest gebruikte is de flarestack. De stack wordt meestal op een veilige afstand van de installaties geplaatst. Staat die dichterbij, dan worden ze vaak hoog uitgevoerd.

### 8.1 Onderdelen flaresystemen

#### 8.1.1 Knockout drum

Knockout drums in flaresystemen hebben als functie het scheiden van vloeistof en gas. Het doel van flaresystemen is de verbranding van gasvormige componenten/mengsels, die in een proces zijn vrijgekomen en niet meer op een andere manier kunnen worden gebruikt. Soms gaat het over het verbranden van grotere hoeveelheden damp/gas als gevolg van het optreden van overdruk in een installatie-onderdeel of als gevolg van een noodsituatie waarbij installatieonderdelen drukloos gemaakt worden. De op die onderdelen aanwezige veiligheidsvoorzieningen zijn aangesproken (geopend) en zorgen voor een drukdaling middels de afvoer van de overdruk naar de flare.

Voordat de gasstroom naar de fakkel gaat, is een drum aanwezig die de aanwezige vloeistof opvangt. Deze kan nabij de flarestack staan of nabij de procesinstallatie.



Een KO-drum is doorgaans voorzien van een niveauaanwijzing/-regeling alsmede van een alarmering op hoog niveau (soms meerdere). Ook kan sprake zijn van een hoog-niveaubeveiliging, die via een ingreep voorkomt dat vloeistof, in plaats van gas, naar de fakkel wordt afgevoerd. Het hangt van de installatie af welke beveiliging aanwezig is.

### 8.1.2 Flarestack

Een flarestack wordt gebruikt voor het affakkelen van gassen en dampen welke ongepland vrijkomen uit overdrukventielen of noodsystemen. Daarnaast kan het ook zo zijn dat residu-stromen met dampen en gas via het flaresysteem verbrand worden in verband met de veiligheid binnen de inrichting (voorkomen explosiegevaar).

De gassen en dampen worden verbrand zodra ze de stack verlaten. Om te voorkomen dat er roetwolken ontstaan wordt vaak stoom in de vlam geïnjecteerd bij koolwaterstofstromen, terwijl bij gasstromen met een 'hoog' zwavelgehalte extra koolwaterstoffen worden toegevoegd om een volledige omzetting tot SO<sub>2</sub> te realiseren. De flare wordt middels een pilot vlam ontstoken. Deze pilot vlam brandt altijd en wordt gevoed met een aparte gasaansluiting.



### 8.1.3 Flareline

Wanneer er ergens in de installaties een overdrukventiel afgaat worden de vrijgekomen gassen, vloeistof en dampen in een grote leiding gebracht, de zogenaamde flareline, voor transport naar de flarestack. De leiding is van voldoende diameter en sterkte om de soms heftig expanderende gassen veilig af te voeren. Omdat een flaresysteem één van de belangrijkste veiligheidsvoorzieningen is worden vaak maatregelen genomen om de dragende constructie van de flareline hoog en brandwerend uit te voeren teneinde het falen van de leiding te voorkomen.

## 8.2 LOC-scenario's knockout drum

De scenario's uit paragraaf 3.2 zijn in de meeste gevallen ook hier van toepassing.

### 8.2.1 Overvullen knockout drum

#### Karakteristieken en onderliggende oorzaken LOC

Wanneer desondanks toch overvullen plaatsvindt, is de kans reëel dat vloeistof in het voor gas/damp bestemde systeem terechtkomt. Dat kan leiden tot ongewenste effecten:

1. Toevoer van vloeistof naar de fakkel. Er ontstaat een ongecontroleerde, mogelijk onvolledige verbranding, waardoor (een deel van) de vloeistof vrijkomt in de atmosfeer. Afhankelijk van de fysische eigenschappen van het product en de druk en temperatuur waarmee het uittreedt, wordt er damp gevormd met kans op de vorming van een explosief mengsel. Een aanwezige ontstekingsbron zorgt voor ontbranding, een drukgolf die resulteert in externe belasting;
2. Wanneer sprake is van tot vloeistof verdicht gas (bijv. LPG) treedt een snelle verdamping op in het flaresysteem en is het mogelijk dat de ontwerpcondities van de fakkel worden overschreden. Er kan sprake zijn van het falen van het fakkelsysteem.

#### **Procesregeling (preventieve LOD's)**

Detectie. Die vindt plaats via het beveiligingssysteem van de KO-drum. Zoals reeds is vermeld, is het beveiligingsniveau vermoedelijk niet altijd gelijk. Daarom dient per geval beoordeeld te worden welke LOD's bestaan ter voorkoming van LOC door overvullen.

#### **LOC-scenario's en bestrijding**

Dit is een lastig probleem omdat niet te voorzien is wat gebeurt en hoe het scenario zich ontwikkelt. Het flaresysteem vormt zelf al een noodstelsel in het geval er iets misgaat binnen de installaties. Veelal zijn er geen vast opgestelde brandbeheersings- of blussystemen aanwezig bij flaresystemen. In geval van een plasbrand op grondniveau is bestrijding mogelijk middels mobiele middelen door de (bedrijfs)brandweer. Bij een brandbare gaswolk is het voorkomen van een explosie in eerste instantie geen repressieve taak.

### **8.3 LOC-scenario's flarestack**

#### **8.3.1 Te weinig stoom e.d. bij koolwaterstofstromen waardoor de temperatuur te hoog kan oplopen**

##### **Karakteristieken**

Stoom wordt aan de fakkels op de flare toegevoegd om roetvorming te voorkomen. Bij het achterwege blijven daarvan of wanneer te weinig stoom wordt toegevoerd, kunnen de temperaturen aan de tip van de fakkels leiden tot beschadiging (bijv. vervormingen) van de tip.

##### **Onderliggende oorzaken LOC**

- Uitval utilities door meerdere oorzaken;
- Verkeerd ontwerp fakkels (stoom kan altijd wegvallen).

##### **Procesregeling (preventieve LOD's)**

Omdat de flare reeds een noodvoorziening is, dient dit systeem op basis van het 'worst case'-scenario te zijn ontworpen.

##### **Veiligheden (correctieve LOD's)**

De flare is reeds een noodvoorziening daarom zijn verdere correctieve LOD's niet van toepassing.

##### **LOC-scenario's en bestrijding**

- Door beschadiging van de tip kan de pilotvlam falen waardoor de gassen, dampen en wellicht vloeistof onverbrand vrijkomen;
- Vervorming van de tip kan leiden tot verstopping of drukopbouw met lekkages of falen van de voorliggende installaties (knock-out drum) als gevolg. Zie verder paragraaf 8.2.1.

De LOC's kunnen vervolgens de volgende effecten tot gevolg hebben:

- Gas/dampwolk;
- Explosie bij ontsteking van de gassen/dampen.

##### **Repressie (beperken, beheersen, bestrijden)**

Bestrijding is niet of nauwelijks mogelijk.

#### **8.3.2 Vervuiling nozzles waardoor explosieve wolk vrij kan komen**

##### **Karakteristieken**

Door vuilafzetting op de tip van de flare is het mogelijk dat niet optimaal afgefakkeld wordt door bijvoorbeeld het missen van de pilotvlam. Hierdoor kunnen de gassen/dampen onverbrand vrijkomen.

#### Onderliggende oorzaken LOC

- Verkeerd ontwerp;
- Slecht onderhoud/beheer.

#### Procesregeling (preventieve LOD's)

- Het voorkomen van vervuilende stoffen in de flare middels juist ontworpen knock-out-systemen.

#### Veiligheden (correctieve LOD's)

n.v.t.

#### LOC-scenario's en bestrijding

Het vrijkomen van de gassen/dampen gevolgd door een vertraagde ontsteking kan leiden tot een drukgolf waardoor escalatie kan ontstaan. Bestrijding van het primaire incident is niet of nauwelijks mogelijk. In dergelijke gevallen moet men zich richten op het beperken van de gevolgen voor de omgeving.

### 8.3.3 Te weinig additionele brandstof bij zwavelhoudende afgasstromen

#### Karakteristieken

Door het toevoegen van additionele brandstof (aardgas) wordt voorkomen dat door onvolledige verbranding van zwavelhoudende afgasstromen (met name zwavelwaterstof) deze afgassen vrijkomen.

#### Onderliggende oorzaken LOC

- Zie overige installaties.

#### Procesregeling (preventieve LOD's)

- Overdrukmelding uit installaties met afgasstromen met een hoog zwavelgehalte, leidt automatisch tot het bijstoken van additionele brandstof.

#### Veiligheden (correctieve LOD's)

n.v.t.

#### LOC-scenario's en bestrijding

Onvolledige verbranding heeft het vrijkomen van een (toxische) gaswolk tot gevolg. Dit kan voorkomen worden door het op een beheerste wijze bijstoken van additionele brandstof.

## 8.4 LOC-scenario's flareline

LOC-scenario's omtrent de flarelijn zijn gelijkvormig aan de scenario's die beschreven zijn onder het kopje leidingwerk in hoofdstuk 6. Wel dient vermeld te worden dat de flarelijn deel uitmaakt van een noodstelsel. Daarom moet dit stelsel beschermd worden tegen de invloeden van bijvoorbeeld een omgevingsbrand. Deze brandbescherming zal veelal passief zijn, maar kan ook actief of mobiel zijn.

## 9 Installatie 8: Fornuizen en verbrandingsinstallaties

Onderstaande tabel geeft een overzicht van de scenario's. Het betreft zowel de reële als typerende, generieke en specifieke scenario's voor fornuizen en verbrandingsinstallaties:

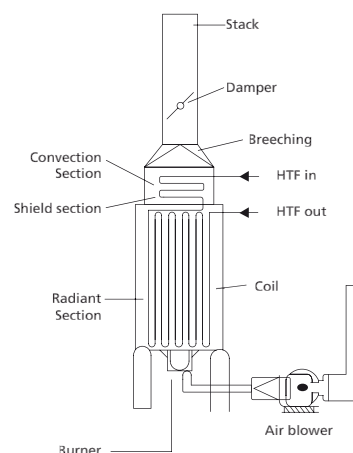
Directe oorzaken	Type Loss of Containment	
	Catastrofaal	Lekkage
Corrosie	G (T/E/B)	G (T/E/B)
Hoge temperaturen	S (T/E/B)	S (T/E/B)
Overdruk	S (T/E/B)	S (T/E/B)
Wijziging / Onderhoud	G (T/E/B)	G (T/E/B)

*T = toxische wolk / E = Explosie / B=brand / G=generiek / S=specifiek*

Fornuizen bevatten normaliter geen grote hoeveelheden gevaarlijke stoffen. Naast generieke faaloorzaken zoals corrosie en onderhoud, is de belangrijkste specifieke directe oorzaak voor LOC's bij fornuizen overdruk en te hoge temperatuur.

### 9.1 Fornuizen

Fornuizen binnen de procesindustrie zijn vaak direct gestookt en leveren grote hoeveelheden warmte aan processtromen. Deze processtromen worden via leidingen door het fornuis geleid. Het ontwerp van een fornuis wordt bepaald door zijn functie in het proces, verwarmingsfunctie, soort brandstof en de wijze van verbranding. Fornuizen staan meestal buiten de eigenlijke procesinstallatie. Dit in verband met het verhoogde brand- en explosiegevaar.



Enkele voorbeelden van fornuizen zijn:

- Verwarming van productstromen;
- Thermische oliekrakers, voor kraken van de zwaardere componenten binnen zware olie in lichtere componenten;
- Hot oil units, voor het opwarmen van thermische olie welke gebruikt wordt voor het verwarmen van procesinstallaties en opslagvaten.
- Maar ook afvalverbrandingsovens en incinerators.

## 9.2 Verbrandingsinstallaties

Verbrandingsinstallaties kennen binnen de procesindustrie een veelzijdige toepassing. Het doel van de installatie is het verbranden van restproducten of juist het verbranden van grondstoffen om andere stoffen te verkrijgen.

Enkele voorbeelden van verbrandingsinstallaties zijn:

- Incinerator. Voor het verbranden van rest- of afvalgassen uit een proces;
- Roetbrander. Voor het verkrijgen van koolstof (onvolledige verbranding);
- Ovens. Voor het verhitten van vaste stoffen.

Afvalverbrandingsinstallaties komen in module 5 aan de orde.

## 9.3 LOC-scenario's procesfornuizen en verbrandingsinstallatie

Voor fornuizen en verbrandingsinstallaties kunnen de LOC's worden gegroepeerd in twee categorieën:

1. Lekkage buiten het fornuis of verbrandingsinstallatie;
2. Lekkage binnen het fornuis of verbrandingsinstallatie.

### 9.3.1 Lekkage buiten het fornuis of verbrandingsinstallatie

#### Karakteristieken

Door één of meerdere van de directe oorzaken kunnen lekkages ontstaan in de toevoer van de productstroom of brandstof. Een fornuis of verbrandingsinstallatie heeft aan de buitenzijde meerdere aansluitingen waar de lekkage zich kan voordoen.

#### Onderliggende oorzaken LOC

- Slecht onderhoud/beheer;
- Oververhitting door te lage stroomsnelheid;
- Falen overdruk- en temperatuurbeveiligingen.

#### Procesregeling en preventieve LOD's

- Temperatuurregeling;
- Drukregeling;
- Brandstofregeling;
- Passieve brandbescherming dragende constructies.

#### Veiligheden (correctieve LOD's)

- Overdrukbeveiliging.

#### LOC-scenario's en bestrijding

Bij lekkage van de productstromen kunnen deze zodanig verwarmd zijn dat spontane zelfontbranding plaatsvindt. Bij de bestrijding van deze brand kan zich tevens hevige stoomvorming voordoen. Voor de verdere ontwikkeling van de LOC's en de bestrijding ervan wordt verwezen naar hoofdstuk 6. Wel wordt de ondersteunende constructie van een fornuis vaak voorzien van passieve bescherming om deze te beschermen tijdens een eventuele plasbrand.

### 9.3.2 Lekkage binnen het fornuis

#### Karakteristieken

Door één of meerdere van de directe oorzaken kunnen lekkages ontstaan binnen het fornuis of verbrandingsinstallatie. Hierdoor kunnen stoffen in de verbrandingskamer terechtkomen die hier niet thuishoren.

#### Onderliggende oorzaken LOC

- Slecht onderhoud/beheer;
- Oververhitting door te lage stroomsnelheid;
- Falen overdruk- en temperatuurbeveiligingen.

#### Procesregeling (preventieve LOD's)

- Temperatuurregeling;
- Drukregeling;
- Brandstofregeling.

#### Veiligheden (correctieve LOD's)

n.v.t.

#### LOC-scenario's en bestrijding

Lekkage van de productstromen in de verbrandingskamer kan leiden tot een additionele brand of tot een explosie. Een brand kan alleen visueel gedetecteerd worden. Tenzij de lekkage van dien aard is dat drukval in de processtroom gecombineerd met roetvorming uit de schoorsteen leiden tot detectie. Bij vroegtijdige detectie kan het incident bestreden worden door het stoppen van de toevoer, gevolgd door het afschakelen van het fornuis of de verbrandingsinstallatie. Indien de lekkage enige tijd voortduurt, kan deze na verloop van tijd leiden tot een explosie met als gevolg catastrofaal falen van de installatie of onderdelen van de installatie.



## 10 Installatie 9: Destillatiekolommen

De onderstaande tabel geeft een overzicht van de scenario's. Dit betreft zowel de reële als typerende, generieke en specifieke scenario's voor destillatiekolommen:

Directe oorzaken	Type Loss Of Containment			
	Instantaan	10 minuten	0,1D	Spill
Corrosie		G (T/E/B)	G (T/E/B)	G (B)
Impact	G (T/E/B)	G (T/E/B)	G (T/E/B)	G (B)
Operatorfout			G (T/E/B)	G (B)
Overdruk	S (T/E/B)	S (T/E/B)	S (T/E/B)	S (B)
Wijziging / Onderhoud			G (T/E/B)	G (B)

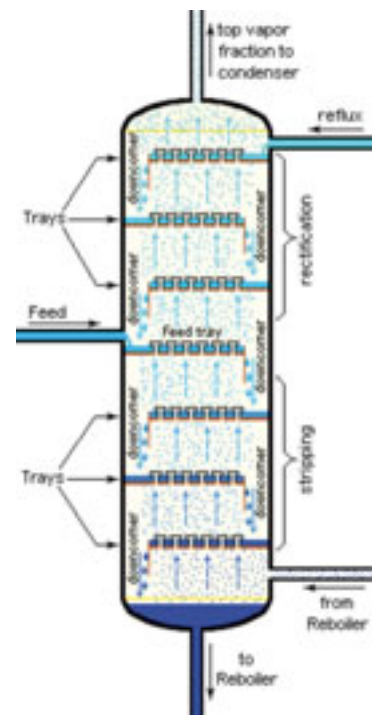
*T = toxische wolk / E = Explosie / B=brand / G=generiek / S=specifiek*

Naast alle generieke faaloorzaken is de belangrijkste, specifieke directe oorzaak voor lekkages of het falen van destillatiekolommen overdruk.

### 10.1 Principe destillatiekolommen

Een destillatiekolom bestaat uit een holle, verticale buis met daarin een zogenaamde pakking of een groot aantal geperforeerde platen of schotels. Hierdoor ontstaat een groot oppervlak waarop vloeistoffen en gassen intensief met elkaar in contact gebracht worden. De damp wordt dan niet meteen na de vorming gescheiden en gecondenseerd, maar omhoog geleid door de kolom. De damp die boven uit de kolom treedt, wordt gecondenseerd en in de kolom teruggevoerd. In de kolom ontstaat zo een opgaande dampstroom en een neergaande vloeistofstroom die in de kolom met elkaar in contact komen. Hierbij vindt een uitwisseling plaats: De hoogkokende producten hebben de neiging naar de vloeistoffase te gaan en de laagkokende producten naar de dampfase. Hierdoor wordt de damp bij het naar boven gaan aangereikt met vluchtige bestanddelen en de vloeistof gelijktijdig met minder vluchtige bestanddelen. Er zal zich een temperatuurevenwicht instellen waarbij naarmate men hoger in de kolom komt, een steeds lagere temperatuur heerst. De zuiverheid van de laagkokende verbinding(en) zal naar boven toe in de kolom steeds verder toenemen.

Een (klein) deel van de damp die de top van de destillatiekolom heeft bereikt, wordt nu afgescheiden gecondenseerd.



Bij continu-distillatie, zoals onder andere gebruikt wordt bij de raffinage van aardolie, worden de verschillende fracties op verschillende hoogtes uit de kolom afgetapt. Hier wordt in eerste instantie niet gestreefd naar volledige scheiding, maar naar het produceren van mengsels met bepaalde toepassingsgebieden, zoals benzine, kerosine, stookolie en dergelijke.

## 10.2 LOC-scenario's destillatiekolommen

### 10.2.1 Lekkage aan flenzen/mangaten/instrumentatie/beveiligingen en corrosie aan onderdelen

Lekkages hebben dezelfde effecten als omschreven bij leidingwerk in paragraaf 6.2. Hierbij dient opgemerkt te worden dat de grootste flensverbindingen de afsluitende deksels van mangaten zijn en dus maatgevend voor lekkage-scenario's.

### 10.2.2 Overvullen kolom

#### Karakteristieken

Het overvullen van een kolom speelt voornamelijk tijdens de opstart van het proces. Ook het falen van een drukvalregeling op de kolom kan leiden tot overvullen. Het incident in de Texas Refinery van BP is een goed voorbeeld van wat er kan gebeuren bij overvullen. Het scenario leidt niet direct tot lekkage bij de kolom zelf, maar kan wel gevolgen hebben in aangesloten installaties.

#### Onderliggende oorzaken LOC

- Slecht onderhoud/beheer;
- Procedures;
- Slecht ontworpen beveiligingen;
- Operatorfout.

#### Procesregeling (preventieve LOD's)

- Temperatuurregeling;
- Drukregeling;
- Niveauregeling.

#### Veiligheden (correctieve LOD's)

- Overflowbeveiliging.

#### LOC-scenario's en bestrijding

Door overvulling kunnen vloeistoffen zich naar aangesloten installaties begeven. Omdat het destillatieproces een gesloten proces is, zal veelal de vloeistof via veiligheden buiten de installatie terecht komen. Uiteindelijk komt het product in een flaresysteem uit.

### 10.2.3 Overdruk

Overdruk in een kolom kan ontstaan door de volgende scenario's:

- Overdrukbeveiliging faalt gevolgd door drukopbouw;
- Verstopping van kolompakking gevolgd door temperatuurverhoging en drukopbouw;
- Onvoorzien reactie tussen producten in destillatiekolom, zoals warmteontwikkeling gevolgd door drukopbouw;
- Falen drukregeling kolom gevolgd door drukopbouw.

### **Karakteristieken**

Destillatiekolommen worden ontworpen met een bepaalde ontwerpdruk en zijn in de regel voorzien van flensverbindingen op de toe- en afvoerleidingen. Door één van de hiervoor genoemde scenario's kan er drukopbouw plaatsvinden. Indien hier niet tijdig op gereageerd wordt, kunnen lekkages ontstaan aan de verbindingen. Als de druk verder oploopt en daarbij de ontwerpdruk overstijgt, bestaat de kans dat de kolom faalt.

### **Onderliggende oorzaken LOC**

- Onjuist onderhoud/beheer;
- Operatorfout;
- Omgevingsbrand.

### **Procesregeling en preventieve LOD's**

- Drukmeting die alarmeert bij te hoog drukniveau en (optioneel) correctieve acties initieert;
- Niveaumeting die alarmeert bij te hoog vloeistofniveau en (optioneel) correctieve acties initieert;
- Gasdetectie in het gebied rondom en binnen de installatie;
- Passieve brandbescherming dragende constructie (skirt). Ook aan de binnenzijde van de skirt bij open skirts en flenzen binnen de skirt;
- Fire proofing isolatie op de kolom.

### **Veiligheden (correctieve LOD's)**

- Drukontlasting naar een gesloten systeem.

### **LOC-scenario's**

- Lekkages aan de kolom. Zie verder hoofdstuk 6;
- Het falen van de kolom.

De LOC's kunnen de volgende effecten tot gevolg hebben:

- Plasvorming (toxische of ontvlambare stof) onder het lekkagepunt;
- Plasbrand bij ontsteking;
- Sproeier bij het lekkagepunt (bij hoge drukken);
- Sproeierbrand bij ontsteking van de sproeier;
- Explosie bij het vertraagd ontsteken van de dampwolk.

### **Repressie (beperken, beheersen, bestrijden)**

Kolommen worden soms voorzien van stationaire koelsystemen wanneer ze zich in een gebied bevinden met groot brandgevaar. Deze worden tot een bepaalde hoogte gemonteerd (afhankelijk van de mogelijke vlamhoogtes). Het kan ook zijn dat de koelsystemen een neerslaand of dispergerend effect hebben op eventuele toxische lekkages. De stationaire koelsystemen dienen conform een geschikte norm zoals de NFPA 15 te zijn uitgevoerd. Indien gebiedsbescherming met schuimtoevoeging aanwezig is, dient deze conform een geschikte norm zoals de NFPA 16 te zijn aangelegd. Voor de mobiele bestrijding wordt verwezen naar de Algemene Module.

Doel van de repressieve inzet:

- Afdekken plassen;
- Blussen plassen bij ontsteking en koelen omgeving;
- Koelen omgeving bij sproei- en fakkelbranden;
- Neerslaan of dispergeren van de damp of gaswolk.

Bij het instantaan falen van een kolom is er veelal sprake van een escalatie scenario en dus een rampscenario.

## 11 Installatie 10: Koelinstallaties

De onderstaande tabel geeft een overzicht van de scenario's. Dit betreft zowel de reële als typerende, generieke en specifieke scenario's voor koelinstallaties:

Directe oorzaken	Type Loss Of Containment			
	Instantaan	10 minuten	0,1D	Spill
Corrosie	G (T/E/B)	G (T/E/B)	G (T/E/B)	G (T)
Trillingen	G (T/E/B)	G (T/E/B)	G (T/E/B)	G (T)
Impact	S (T/E/B)	S (T/E/B)	S (T/E/B)	S (T)
Operator fout	G (T/E/B)	G (T/E/B)	G (T/E/B)	G (T)
Overdruk	S (T/E/B)	S (T/E/B)	S (T/E/B)	S (T)
Wijziging / Onderhoud	G (T/E/B)	G (T/E/B)	G (T/E/B)	G (T)

*T = toxische wolk / E = Explosie / B=brand / G=generiek / S=specifiek*

Naast de generieke faaloorzaken is er in de tabel ook een aantal scenario's als specifieke scenario's benoemd. In de volgende paragrafen zal hierop verdere toelichting worden gegeven.

### 11.1 Typen koudemiddelen

Binnen de procesindustrie worden koelinstallatie ook vaak chillers genoemd. De chillers hebben als doel een processtroom of water te koelen tot maximaal enkele graden boven 0. Veelal wordt glycol toegevoegd om bevriezing te voorkomen.

Chillers kunnen meestal gebruikmaken van de volgende koude middelen:

- Freonachtige koudemiddelen (fluorwaterstoffen, b.v. R134a, R404a);
- Ammoniak (R717);
- CO<sub>2</sub> (R744).

Binnen dit hoofdstuk worden alleen de koelmiddelen ammoniak en CO<sub>2</sub> besproken. De freonachtige koudemiddelen hebben beperkte gevaarlijke eigenschappen. Voor ammoniak wordt tevens verwezen naar de PGS 13. De PGS 13 bevat de minimale veiligheidsvoorschriften voor ammoniakinstallaties. Deze installaties dienen hieraan te voldoen.

### 11.2 LOC-scenario's koudemiddelen

#### 11.2.1 Vrijkomen koelmedium (ammoniak)

##### Karakteristieken

Door overdruk of impact kan het koudemiddel ammoniak vrijkomen. Dit kan als vloeistof of als gas.

#### Onderliggende oorzaken LOC

- Onjuist onderhoud/beheer;
- Operatorfout;
- Omgevingsbrand.

#### Procesregeling (preventieve LOD's)

- Zie PGS 12 en PGS 13, NEN3380.

#### Veiligheden (correctieve LOD's)

- Zie PGS 12 en PGS 13, NEN3380.

#### LOC-scenario's

- Lekkages aan leidingen, appendages en verbindingen door overdruk;
- Het falen van leidingen en drukvaten door impact.

De LOC's kunnen vervolgens de volgende effecten tot gevolg hebben:

- Plasvorming toxische stof (koudgekookte plas) onder het lekkagepunt;
- Toxische wolk;
- Explosie bij het vertraagd ontsteken van de gaswolk in een besloten ruimte.

#### Repressie (beperken, beheersen, bestrijden)

Ammoniakoelinstallaties zijn soms voorzien van een sproeiinstallatie ten behoeve van het neerslaan van de ammoniakdampen. Uitvoeren conform PGS 12. Voor de mobiele bestrijding wordt verwezen naar de Algemene Module.

Doel van de repressieve inzet:

- Afdekken plassen;
- Neerslaan of dispergeren van de damp of gaswolk.

Bij het instantaan falen van een groot drukvat is veelal sprake van een rampscenario.

### 11.2.2 Vrijkomen CO<sub>2</sub> (verstikking)

#### Karakteristieken

CO<sub>2</sub> kan binnen een gesloten ruimte zorgen voor zuurstofverdringing. Bij een lekkage uit een CO<sub>2</sub>-koelinstallatie kan dit leiden tot vergiftiging/verstikking van aanwezig personeel. Externe Veiligheid speelt hier geen rol.

#### LOC-scenario's

- Lekkages aan leidingen, appendages en verbindingen door overdruk;
- Het falen van leidingen en drukvaten door impact.

De LOC's kunnen de volgende effecten tot gevolg hebben:

- Zuurstofverdringing binnen een besloten ruimte.

#### Repressie (beperken, beheersen, bestrijden)

Stoppen van de lekkage en ventileren ruimte.

## 12 Installatie 11: Verwarmingsinstallaties

De onderstaande tabel geeft een overzicht van de scenario's. Dit betreft zowel de reële als typerende, generieke en specifieke scenario's voor verwarmingsinstallaties:

Directe oorzaken	Type Loss Of Containment			
	Instantaan	10 minuten	0,1D	Spill
Corrosie	G (E/B)	G (E/B)	G (E/B)	G (B)
Temperatuur	G (E/B)	G (E/B)	G (E/B)	G (B)
Operator fout	G (E/B)	G (E/B)	G (E/B)	G (B)
Overdruk	S (E/B)	S (E/B)	S (E/B)	S (B)
Wijziging / Onderhoud	G (E/B)	G (E/B)	G (E/B)	G (B)

*T = toxische wolk / E = Explosie / B=brand / G=generiek / S=specifiek*

Naast alle generieke faaloorzaken is de belangrijkste, specifieke directe oorzaak voor lekkages overdruk.

### 12.1 Typen verwarmingsinstallaties

Binnen procesinstallaties is vaak warmte nodig om processen op gang te brengen en te houden. Deze warmte wordt meestal aangeleverd middels stoom, heet water en thermische olie (hot oil). Ook zijn er processen waar de processtromen direct verwarmd worden middels een brandstof (aardgas). Dit gebeurt middels zogenaamde fornuizen (zie hoofdstuk 9), microwave of elektrische verwarmingselementen. Water wordt verder buiten beschouwing gelaten.

#### 12.1.1 Hot oil

Voor het opwarmen van thermische olie zijn de volgende mogelijkheden:

- Elektrisch;
- Gas gestookt.

Hierbij wordt thermische olie tot zeer hoge temperaturen verhit. Thermische olie kan na verloop van tijd verouderen waarbij lichtere componenten in het systeem kunnen ontstaan.



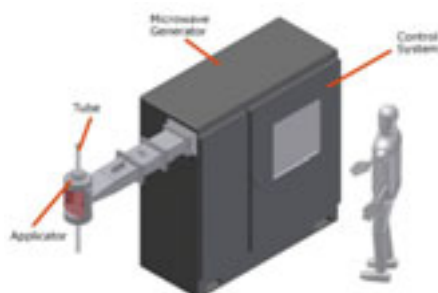
Elektrische hot oil unit



Gasgestookte hot oil unit

### 12.1.2 Microwave

Voor directe opwarming van processtromen kunnen ook microwave-generatoren worden gebruikt. Hierbij wordt een zogenaamde applicator om de leiding gebracht die de processtroom verwarmd.



### 12.1.3 Elektrisch

Middels elektrische elementen worden processtromen verwarmd. Veelal gebeurt dit in buffers zodat de processtroom de tijd krijgt om op te warmen. Een andere variant is het traceren van een lang leidingstuk met hoge temperatuurtracing.

## 12.2 LOC-scenario's hot oil

### Karakteristieken

Thermische olie kan na verloop van tijd verouderen waarbij lichtere componenten in het systeem kunnen ontstaan. Wanneer deze bij een lekkage vrijkomen, is het mogelijk dat ze uit zichzelf ontbranden (bij het bereiken van de zelfontbrandingstemperatuur) of ontstoken worden. Lekkage ontstaat vooral bij overdruk door bijvoorbeeld oververhitting.

### Onderliggende oorzaken LOC

- Oververhitting;
- Vervuiling verwarmers waardoor olie andere eigenschappen krijgt;
- Onjuiste systeemwerking.

### Procesregeling en preventieve LOD's

- Temperatuurregeling;
- Brandwerende afscheiding.

### Veiligheden (correctieve LOD's)

- Drukontlasting naar gesloten systeem;
- Afschakelen.

### LOC-scenario's

- Lekkage van flenzen. Olie kan vrijkomen en direct ontsteken of via een ontstekingsbron worden ontstoken;
- Lekkage van flenzen in isolatie waardoor een brandbare samenstelling ontstaat.

De LOC's kunnen vervolgens de volgende effecten tot gevolg hebben:

- Plasbrand;
- Sproei-brand.

### **Repressie (beperken, beheersen, bestrijden)**

Hot oil-units worden op zichzelf meestal niet voorzien van vast opgestelde repressieve systemen. Wanneer ze zich in een gebied bevinden waar brand een groot risico vormt, is het mogelijk dat dit gebied voorzien is van gebiedsbeveiliging (deluge). Voor de mobiele bestrijding wordt verwezen naar de Algemene Module. Gebiedsbeveiliging, conform een geschikte norm zoals de NFPA 15.

Doel van de repressieve inzet:

- Blussen plasbrand bij ontsteking en koelen omgeving;
- Koelen omgeving bij sproeibranden.

Bij het blussen dient rekening gehouden te worden met heftige stoomontwikkeling bij het opbrengen van water. Hierdoor worden de olie en de brand verspreid. Bluspoeder verdient de voorkeur.

## **12.3 LOC-scenario's microwave en elektrisch**

### **Karakteristieken**

Bij een te lage flow door de applicator of bij stilstand in de processtroom, kan oververhitting plaatsvinden. Lokaal kan de processtroom hierdoor gaan koken/uitzetten/ontleden, waardoor drukopbouw plaatsvindt.

### **Onderliggende oorzaken LOC**

- Oververhitting;
- Onjuiste systeemwerking.

### **Procesregeling en preventieve LOD's**

- Temperatuurregeling;
- Flowdetectie gekoppeld aan verwarming.

### **Veiligheden (correctieve LOD's)**

- Drukontlasting naar gesloten systeem;
- Afschakelen.

### **LOC-scenario's**

- Lekkage van flenzen. Processtroom kan vrijkomen en direct ontsteken of via een ontstekingsbron worden ontstoken.

De LOC's kunnen vervolgens de volgende effecten tot gevolg hebben:

- Plas;
- Plasbrand;
- Sproeibrand;
- Toxische wolk.

### **Repressie (beperken, beheersen, bestrijden)**

Wanneer de installatie zich in een gebied bevindt waar brand een groot risico vormt, is het mogelijk dat dit gebied voorzien is van gebiedsbeveiliging (deluge). Voor de mobiele bestrijding wordt verwezen naar de Algemene Module. Gebiedsbeveiliging, conform een geschikte norm zoals de NFPA 15.



Doel van de repressieve inzet:

- Afdekken plas;
- Blussen plasbrand bij ontsteking en koelen omgeving;
- Koelen omgeving bij sproeibranden;
- Neerslaan of dispergeren toxische wolk;
- Inblokken.

## 12.4 LOC-scenario's stoom

Stoom wordt opgewekt in verwarmingsinstallaties (ketels) en via leidingen naar de procesinstallaties getransporteerd. Bij stoomketels, stoomleidingen en warmtewisselaars welke met stoom werken, kunnen lekkages optreden. Buiten een hoge temperatuur heeft stoom geen gevaarlijke eigenschappen. Door overdruk en corrosie kunnen installaties met stoom instantaan falen. De bijbehorende drukgolven en scherfwerking kunnen leiden tot schade aan andere installaties. Zie verder hoofdstuk 7.

## 13 Installatie 12: onderdrukinstallatie

De onderstaande tabel geeft een overzicht van de scenario's. Dit betreft zowel de reële als typerende, generieke en specifieke scenario's voor onderdruk installaties:

Directe oorzaken	Type Loss of Containment	
	Catastrofaal	Lekkage
Corrosie	-/-	G (T/E/B)
Onderdruk	G (T/E/B)	G (T/E/B)
Hoge temperaturen	S (T/E/B)	S (T/E/B)
Trillingen	-/-	G (T/E/B)
Wijziging / Onderhoud	-/-	G (T/E/B)

*T = toxische wolk / E = Explosie / B=brand / G=generiek / S=specifiek*

Naast alle generieke faaloorzaken zoals corrosie, trillingen en defecte/foute onderdelen, is de belangrijkste, specifieke directe oorzaak voor het lekken of falen van onderdruk-installaties een hoge temperatuur. Een hoge temperatuur wordt vooral veroorzaakt door warmlopende delen.

### 13.1 Typen onderdrukinstallaties

In sommige processen is het gewenst om een onderdruk te creëren. Dit proces wordt in de chemische industrie gebruikt voor vloeistoffen met een hoog atmosferisch kookpunt of vloeistoffen die chemisch veranderen bij een hogere temperatuur.

Vacuüm of onderdruk wordt gecreëerd door pompen binnen de installaties. Hiervoor worden de volgende typen pompen het meest gebruikt:

- Zelfaanzuigende centrifugaalpompen;
- Vloeistofringvacuümpompen;
- Schroefpompen (Rootsblowers);
- Paletten/schottenpompen voor lage vacuümniveaus;
- Zuigerpompen;
- Waterstraalpompen voor hogere vacuümniveaus;
- Stoomejector;
- Zijkanaalventilatoren.

De pompen onttrekken gas of damp aan een installatie om onderdruk te creëren. Deze gassen of dampen worden vervolgens naar achterliggende installaties geleid voor verdere verwerking (b.v. verbrandingsinstallaties, gaswassers etc.). Hiermee creëren vacuümpompen een gezonde gebied in verband met explosie- en brandgevaar. Veelal zijn voor de intrede van de pompen filters aanwezig om intrede van vloeistof of vaste stoffen te voorkomen. Daarnaast zijn er veelal vlamdovers in het systeem aangebracht op die punten waar een mogelijke ontsteking zou kunnen plaatsvinden.

## 13.2 LOC-scenario's onderdrukinstallaties

De volgende LOC-scenario's zijn reëel en typerend voor onderdrukinstallaties met gevaarlijke stoffen:

- Verhitting van draaiende delen gevolgd door explosie;
- Intrede van lucht of zuurstof in een onderdrukstelsel met een verhoogd explosierisico tot gevolg;
- Lekkage van gas/dampen aan de uittredezijde van de vacuümpompen;
- Problemen in nevenprocessen van de vacuümpomp met lekkage tot gevolg.

Deze LOC-scenario's kunnen vervolgens leiden tot brand, explosie of het ontstaan van toxische wolken.

In de onderstaande tabel is weergegeven welke scenario's uit de onderliggende paragrafen kunnen optreden binnen de verschillende typen pompen.

Typen	Verhitting	Intrede lucht/O <sub>2</sub>	Lekkage	Problemen nevenprocessen
Impulspompen	-	x	x	x
Vloeistofringvacuümpompen	x	x	x	x
Schroefpompen/Rootsblowers	x	x	x	x
Schottenpompen	x	x	x	x
Zuigerpompen	x	x	x	-
Stoomejector	-	x	x	-

### 13.2.1 LOC-scenario's door verhitting draaiende delen

#### LOC-scenario's

Gedurende de operationele fase kunnen er zich situaties voordoen waarbij de draaiende delen van een vacuümpomp kunnen warmlopen. Hierdoor kan de temperatuur in de pomp oplopen waardoor in combinatie met de aanwezigheid van brandbare stoffen:

- Een explosie optreedt;
- Brand ontstaat.

#### Onderliggende oorzaken LOC

- Slecht onderhoud waardoor problemen met de smering ontstaan (falen oliesmering);
- Warmlopen of oververhitting;
- Drooglopen;
- Procescondities Vervuiling binnen de pomp kan smering negatief beïnvloeden.

#### Procesregeling en preventieve LOD's

- Temperatuurdetectie.

#### Veiligheden (correctieve LOD's)

- Afschakelen.

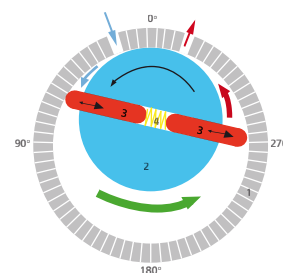
#### Repressie (beperken, beheersen, bestrijden)

Gebiedsbeveiliging (deluge), conform een geschikte norm zoals de NFPA 15 voor het beheersen van de brand. Voor de mobiele bestrijding wordt verwezen naar de Algemene Module.

## Falen oliesmering

### Schottenpomp

De aangedreven rotor van de pomp is excentrisch geplaatst in het huis. In de rotor zijn schotten geplaatst, die door veren, hydraulische druk of centrifugaalkracht naar buiten worden gedrukt tegen de 'stator', het huis.



Er worden dus telkens kamers gevormd tussen de rotor, de stator en twee schotten. Deze kamers worden tijdens het roteren groter en kleiner en verpompen op deze wijze de lucht. In de afbeelding worden twee schotten getoond, er kunnen echter ook meer schotten in een schottenpomp zitten.

Normaliter is een smeermiddel aanwezig tussen de stator en de schotten om wrijving, lekkage en slijtage tot een minimum te beperken. Het wegvallen van deze smering kan opwarming en oververhitting tot gevolg hebben. Tevens kan zuurstof toetreden. In combinatie met de brandbare gassen of dampen van de vacuüminstallatie kan dit leiden tot brand of een explosie.

### Zuigerpompen en schroefpompen

Bij deze pompen wordt ook smering van de verdringende delen toegepast om het verbreken van het vacuüm (lekkage) en opwarming door wrijving te voorkomen. Bij het falen van deze smering zijn de gevolgen gelijksoortig aan die van schottenpompen.

### Oververhitting schroefpomp (inwendige verbranding)

Oververhitting van een schroefpomp wordt veroorzaakt door het wegvallen van de smering en (of daarmee) eventuele koeling. Door uitzetting van de draaiende onderdelen en ophoping van wrijvingswarmte kan de pomp beschadigd raken met een LOC tot gevolg. In combinatie met de brandbare gassen of dampen van de vacuüminstallatie kan dit leiden tot brand of een explosie.

### Drooglopen door onvoldoende spoeling

Vloeistofringpompen dienen altijd gevuld te zijn met vloeistof om goed te kunnen werken. De vloeistof dient op peil te worden gehouden en moet eventueel bij vervuiling ook verversen en afgevoerd worden. Daarnaast warmt de vloeistof vaak op en moet dan ook gekoeld worden. Bij vorst zijn bij water als vloeistof maatregelen nodig om bevroering te voorkomen. Rondom de vloeistofring zijn dus enkele neveninstallaties nodig om de pompen goed te laten functioneren. Er bestaat dus een risico dat in de nevenprocessen een fout optreedt waardoor er onvoldoende spoeling plaatsvindt. Dit kan leiden tot drooglopen met oververhitting en intrede van lucht of zuurstof tot gevolg. In combinatie met de brandbare gassen of dampen van de vacuüminstallatie kan dit leiden tot brand of een explosie.

### Warmlopen externe lagering

Door allerlei oorzaken kunnen lagers warmlopen tijdens bedrijf. Indien er sprake is van een gezonde gebied bestaat er een kans op explosie.

### 13.2.2 LOC-scenario's door intrede van lucht of zuurstof

#### LOC-scenario's

Gedurende de operationele fase kunnen er zich situaties voordoen waarbij het vacuüm binnen een installatie doorbroken wordt. Hierdoor kan lucht of zuurstof in de installatie intreden waardoor in combinatie met de aanwezigheid van brandbare stoffen:

- Een explosie optreedt.

#### Onderliggende oorzaken LOC

- Slecht onderhoud waardoor problemen met de smering ontstaan;
- Procescondities. Vervuiling binnen de pomp kan smering negatief beïnvloeden;
- Onjuist ontwerp;
- Corrosie.

#### Procesregeling en preventieve LOD's

- Temperatuurdetectie.

#### Veiligheden (correctieve LOD's)

- Afschakelen.

#### Repressie (beperken, beheersen, bestrijden)

Vlamdovers nabij die locaties waar het risico op intrede van lucht of zuurstof het grootst is.

#### Lekkage van seal

Een lekkage in het sealsysteem aan de intredezijde van de vacuümpomp kan leiden tot intrede van lucht of zuurstof in de installatie. In combinatie met de brandbare gassen of dampen van de vacuüminstallatie kan dit leiden tot brand of een explosie.

#### Falen schotten in schottenpomp

Bij het falen van de schotten in de schottenpomp kan het vacuüm in de installatie opgeheven worden. Hierdoor kan lucht of zuurstof intreden in het proces. In combinatie met de brandbare gassen of dampen van de vacuüminstallatie kan dit leiden tot brand of een explosie.

#### Afzetting in schroefpomp

Bij het creëren van onderdruk in een systeem kan aantasting van de verdringende delen of vervuiling ervan optreden. Hierdoor sluiten de delen minder goed op elkaar aan en ontstaat er intrede van lucht of zuurstof. Om intreden van vloeistof of eventueel vaste stof te voorkomen, worden vaak filters voor de intrede van de pomp geplaatst.

#### Corrosie van vloeistofringpomp (luchtinstroom)

Door corrosie in het pomphuis kan er intrede plaatsvinden van lucht of zuurstof in de processtroom. In combinatie met de brandbare gassen of dampen van de vacuüminstallatie kan dit leiden tot brand of een explosie.

### 13.2.3 LOC-scenario's lekkage van gassen/dampen aan de uittredezijde van vacuümpompen

Aan de uittredezijde van de installatie kunnen hoge drukken ontstaan. Dit is overigens alleen mogelijk wanneer de afvoer van de gassen/dampen geblokkeerd of ernstig gehinderd wordt. De hoge drukken kunnen vervolgens lekkage veroorzaken in de achtergelegen installatie onderdelen zoals:

- Lekkage van flenzen in uitlaat;
- Lekkage van condensor/opvangvat in uitlaat;
- Lekkage afdichting vacuümpomp.

Hierdoor kan in combinatie met de aanwezigheid van een ontstekingsbron en de aanwezigheid van gevaarlijke stoffen:

- Een explosie optreden;
- Brand ontstaan;
- Een toxische wolk ontstaan.

#### Onderliggende oorzaken LOC

- Slecht onderhoud;
- Procescondities, corrosieve stoffen;
- Onjuist ontwerp;
- Falen overdruk beveiliging.

#### Procesregeling (preventieve LOD's)

- Temperatuurbeveiliging;
- Drukregeling.

#### Veiligheden (correctieve LOD's)

- Breekplaten.

#### Repressie (beperken, beheersen, bestrijden)

Stationaire koelsystemen zoals deluge-systemen (conform een geschikte norm zoals NFPA 15), de effecten blijven bij brand veelal beperkt tot lokale effecten. Bij toxische effecten bestaat de mogelijkheid dat deze tot buiten de inrichtingsgrenzen reiken. Voor de mobiele bestrijding wordt verwezen naar de Algemene Module.

### 13.2.4 Problemen in nevenprocessen van de vloeistofringvacuümpomp met lekkage tot gevolg

Door verontreinigingen in de vacuümstromen kan het voorkomen dat het spoelcircuit verstopt raakt. Dit kan leiden tot het drooglopen van de pomp. Zie verder 13.2.1.3.

## 14 Installatie 13: Katalysatorsystemen

Katalysatorsystemen zijn als separate groep installaties opgenomen, maar feitelijk gaat het niet om de installaties maar om de in deze installaties verwerkte extra materialen. Een katalysator is een stof die chemische reacties versnelt, maar er zelf niet aan meedoet. Circa 80% van alle chemische industriële productie wordt gerealiseerd met katalysatoren. De eerste industriële toepassing van katalyse is al bijna 100 jaar oud. Sinds die tijd is bekend wat de werking van katalysatoren is, en met empirisch onderzoek is tegenwoordig ook bekend wat de beste omstandigheden zijn waaronder elk type katalysator zijn werk doet. Desondanks ontbreekt voor veel katalysatoren de fundamentele kennis van hoe de katalytische reactie exact verloopt op het meest elementaire niveau.

Hiermee is ook de positionering van dit hoofdstuk gegeven. Alle beschreven systemen kunnen onder invloed van katalysatoren sneller of efficiënter werken. Het zoekproces naar de juiste katalysator is echter vaak 'trial and error' waardoor de hoge druk en hoge temperatuur als specifieke scenario's naar voren komen. De beschrijving voor de installaties is echter in de hoofdstukken 2, 3, 8, 9, 10 en 12 al gedaan.

De onderstaande tabel geeft een overzicht van de scenario's. Dit betreft zowel de reële als typerende, generieke en specifieke scenario's voor van alle reële en scenario's die typerend zijn voor procesvaten:

Directe oorzaken	Type Loss Of Containment			
	Instantaan	10 minuten	0,1D	Spill
Corrosie	-/-	G (T/E/B)	G (T/E/B)	G (B)
Hoge temperatuur	G (E/B)	G (E/B)	G (E/B)	G (B)
Impact	G (T/E/B)	G (T/E/B)	G (T/E/B)	G (B)
Overdruk	S (T/E/B)	S (T/E/B)	S (T/E/B)	S (B)
Operator fout			G (T/E/B)	G (B)
Menselijke fout tijdens gebruik	G (T/E/B)	G (T/E/B)	G (T/E/B)	G (B)
Wijziging / Onderhoud	-/-	-/-	G (T/E/B)	G (B)

*T = toxische wolk / E = Explosie / B=brand / G=generiek / S=specifiek*

Naast alle generieke faaloorzaken zoals corrosie, operatorfout en defecte/foute onderdelen, is de belangrijkste, specifieke directe oorzaak hetzelfde als die voor de procesvaten, zijnde overdruk.

### 14.1 Type katalysatorsystemen

De katalytische werking kan op verschillende manieren worden gerealiseerd. Door het toevoegen van vloeibare, vaste of poedervormige hulpstoffen in het proces. Het betreft dan feitelijk 'gewone' processen die alleen door toevoeging van een hulpstof worden versneld.

Daarnaast zijn er processen die alleen door het toevoegen van een hulpstof – de katalysator – verlopen. Hierbij valt te denken aan de katalytische naverbranding met behulp van keramische katalysatie-elementen.

## 14.2 LOC's vanuit katalysatorsystemen

De verschillende LOC's die kunnen optreden in systemen waar gewerkt wordt met katalysatoren, staan feitelijk al beschreven in de hoofdstukken 2 bij de reactoren, 3 onder procesvaten, 8 bij de flairsystemen, 9 bij de destilatiekolommen en 12 bij de verwarmingsinstallaties. De meeste LOC-scenario's vallen onder de runaway die onbeheersbaar wordt. Dit komt door een thermische instabiliteit als gevolg van de bijmenging van katalyserende hulpstoffen.

### 14.2.1 Ongewenste chemische reactie

#### Karakteristieken

Bij het fysisch mengen van 2 of meerdere stoffen wordt een chemische reactie uitgesloten. Het kan echter voorkomen dat bij het mengen fouten optreden waardoor het combineren van chemisch onverenigbare stoffen toch plaatsvindt. Dit leidt tot ongewenste reacties. Afhankelijk van het open of gesloten karakter van het mengvat kan dit leiden tot LOC-scenario's die vergelijkbaar zijn met die van reactoren.

#### Onderliggende oorzaken LOC

- Te veel of te weinig katalysator;
- Onjuiste katalysator toegevoegd.

#### Procesregeling (preventieve LOD's)

PLC-gestuurde recepturen.

#### Veiligheden (correctieve LOD's)

Mengvaten zijn in veel gevallen niet beveiligd tegen de effecten van 'heftige' chemische reacties. De gekozen LOD's zijn veelal geïntegreerd in procesregeling door softwarematige voorwaarden (PLC), hiërarchisch receptuurbeheer, procedures (bijv. los-procedures) en hardwarematige beveiliging (bijv. unieke slangkoppelingen). Eventueel aanwezige koelspiralen en/of drukontlastingen zullen in veel gevallen niet toereikend zijn in het geval van een chemische reactie.

#### LOC-scenario's

- Ongewenste combinatie levert drukopbouw boven ontwerpdruk met lekkage of zelfs falen tot gevolg;
- Ongewenste combinatie levert exotherme reactie boven ontwerp temperatuur met lekkage of zelfs falen tot gevolg.

#### Repressie (beperken, beheersen, bestrijden)

Voor de mobiele bestrijding wordt verwezen naar de Algemene Module. Indien er vast opgestelde installaties aanwezig zijn, zullen dit voornamelijk deluge-installaties zijn. De vastopgestelde installaties dienen een geschikte norm zoals de NFPA 15 en NFPA 16 als uitgangspunt te hebben.

Doel bij lekkage is de gevolgen van het incident beperken of te beheersen door het afdekken van de plas. Bij een plasbrand dient de plas geblust (bestreden) te worden en de omgeving gekoeld. Bij het falen van vaten zonder brand: afdekken plas. Bij het falen van vaten met brand: blussen plas en koelen omgeving.



## 14.2.2 Onbeheerste reactie of explosie

### Karakteristieken

Verbranding en explosie zijn vormen van ongewenste (neven)reacties. Bij (chemische) explosie worden gassen gevormd (en opgewarmd) waardoor het gasvolume in de dampkamer (gasfase boven vloeistofniveau) toeneemt. Een drukstijging is het gevolg. Het belangrijkste criterium voor de beheersbaarheid van deze ongewenste reacties, is de snelheid waarmee de druk zich opbouwt ( $dp/dt$ ). Voor explosies zit dit al in de naam opgesloten en verloopt de drukstijging 'explosief' ( $dp/dt > 1\text{bar/s}$ ). Een standaard (vereenvoudigde) rekenregel is dat de uiteindelijke druk een factor 8-10 hoger ligt dan de oorspronkelijke druk van het gas.

### Onderliggende oorzaken LOC

- De belangrijkste onderliggende oorzaak voor een chemische explosie is dat er mogelijk een brandbaar gasmengsel wordt gevormd in de dampkamer van een vat. Dit mengsel kan worden ontstoken.

### Procesregeling (preventieve LOD's)

- Inertiseren. Door het toevoegen van een inert gas zoals stikstof ( $N_2$ ) wordt het zuurstofgehalte in de dampkamer verlaagd tot een acceptabel minimum waarbij geen verbranding meer kan optreden;
- EX-proof instrumentatie. Alle (elektrische) instrumentatie moet EX-proof zijn uitgevoerd. Voor inwendige zonering van reactoren wordt in de regel zone 0 gehanteerd (NPR 7910-1);
- Preventief onderhoud bewegende delen. Een roerwerk is in de regel het belangrijkste bewegende deel van een batchgewijs bedreven mengvat. Een kleine onbalans in het roerwerk kan voldoende zijn om genoeg warmte te ontwikkelen die kan leiden tot ontsteking. Indien de pakking slijtage vertoont kan er zelfs metaal-op-metaal contact optreden tussen as van het roerwerk en de reactor, met vonkvorming als mogelijkheid. Regelmatig onderhoud aan het roerwerk is derhalve zeker gewenst.

### Veiligheden (correctieve LOD's)

- Drukontlasting van explosieve drukstijging. Dit gebeurt in de regel door zogenaamde breekplaten. Criteria voor de dimensionering en locatie van deze breekplaten zijn gelijk aan die van veiligheidskleppen zoals behandeld in paragraaf 2.2.1 betreffende runaway-reacties;
- Drukontlasting van niet-explosieve drukstijging. Hierbij kan worden gedacht aan ontluchting (atmosferische reactoren) en veiligheidskleppen (reactoren onder druk). Een combinatie met breekplaten is vaak het geval.

### Waarschijnlijke LOC-scenario's

- Drukontlasting naar de omgeving (zie paragraaf 2.2.1);
- Drukontlasting naar een gesloten systeem (zie paragraaf 2.2.1);
- Lekkage (zie paragraaf 2.2.1);
- Falen van het vat (zie paragraaf 2.2.1).

### Bestrijding bij lekkage (mitigerende/repressieve LOD's)

- Afdichtkussens (zie paragraaf 2.2.1);
- Mobiele of vast opgestelde schuimapplicatie (zie paragraaf 2.2.1);
- Mobiele of vast opgestelde waterschermen (zie paragraaf 2.2.1.)

## 15 Installatie 14: Scrubbers, afgasbehandelingsystemen

De onderstaande tabel geeft een overzicht van de scenario's. Dit betreft zowel de reële als typerende, generieke en specifieke scenario's voor procesvaten:

Directe oorzaken	Type Loss Of Containment			
	Instantaan	10 minuten	0,1D	Spill
Corrosie	-/-	G (T/E/B)	G (T/E/B)	G (B)
Impact	G (T/E/B)	G (T/E/B)	G (T/E/B)	G (B)
Overdruk	S (T/E/B)	S (T/E/B)	S (T/E/B)	S (B)
Wijziging / Onderhoud	-/-	-/-	G (T/E/B)	G (B)

*T = toxische wolk / E = Explosie / B=brand / G=generiek / S=specifiek*

Naast alle generieke faalorzaken zoals corrosie, operatorfout en defecte/foute onderdelen, is overdruk de belangrijkste, specifieke directe oorzaak voor het falen van scrubbers.

### 15.1 Principe scrubbers, afgasbehandelingsystemen

Scrubbers (gaswassers) worden bij industriële processen gebruikt om de lucht (gas) te ontdoen van bepaalde stoffen. Bij een gaswasser wordt gebruikgemaakt van het absorptieproces. De werking berust op het in contact brengen van de afvalstroom met een vloeistof (scrubbervloeistof). De scrubbervloeistof neemt een deel van de (schadelijke) gasstroom op door absorptie. Voor afgasverbrandingsinstallaties en dampverwerkingsystemen: zie module 1 en hoofdstuk 9.

Scrubbers komen in verschillende variaties voor. Soms wordt mechanische scheiding (b.v. cycloon) gecombineerd in één apparaat.



Zowel het gas of damp en de scrubbervloeistof kunnen bestaan uit gevaarlijke stoffen. Hierdoor kunnen er bij een LOC brand, explosie en toxische wolken ontstaan.

## 15.2 LOC-scenario's scrubbers, afgasbehandelingssystemen

De volgende LOC-scenario's zijn reëel en typerend voor scrubbers en afgasbehandelingssystemen met gevaarlijke stoffen:

- Corrosie in de scrubbers en afgasbehandelingssystemen met lekkage van gas of vloeistof tot gevolg. Door een slechte absorptie (gecorrodeerde slecht werkende sproeiers) kunnen gassen doorslaan met mogelijk explosiegevaar verderop in de installatie;
- Lekkage uit één van de vloeistofstromen in het proces, zie hiervoor hoofdstuk 5;
- Falen van de scrubbers en afgasbehandelingssystemen door exotherme reacties. Absorptie is veelal een exotherm proces. Bij een hoog aanbod vanuit de gasstroom kan zich de situatie voordoen dat er veel warmte wordt opgewekt binnen de scrubber;
- Falen van de scrubbers en afgasbehandelingssystemen door explosie.

Deze LOC-scenario's kunnen vervolgens leiden tot een plas, plasbrand, explosie of het ontstaan van toxische wolken.

### Onderliggende oorzaken LOC

- Slecht onderhoud;
- Procescondities.

### Procesregeling (preventieve LOD's)

- Temperatuurbewaking.

### Veiligheden (correctieve LOD's)

- Insluitsystemen;
- Overdrukbeveiliging.

### Repressie (beperken, beheersen, bestrijden)

Scrubbers worden in verband met hun geringe vloeistofinhoud veelal niet voorzien van stationaire koelsystemen zoals deluge. Wanneer de scrubbers zich in een gebied bevinden met groot brandgevaar, is het mogelijk dat dit gebied voorzien is van gebiedsbeveiliging (deluge) conform een geschikte norm zoals de NFPA 15 en NFPA 16.

Voor de mobiele bestrijding wordt verwezen naar de Algemene Module.

De systeeminhouden (brandbare vloeistof) en fysieke uitvoering van scrubbers en gaswassers zijn bepalend in hoeverre escalatie van een brandscenario kan plaatsvinden. Indien de scrubbers als insluitstelsel dienen, een grote inhoud hebben en er drukopbouw kan plaatsvinden, kan overwogen worden een stationair koelsysteem aan te brengen of/en de dragende constructie te voorzien van passieve bescherming.

