

# Samenvatting proefschrift

## Preventing major hazard accidents through barrier performance monitoring

Peter Schmitz<sup>1</sup>

### Samenvatting

Zware ongevallen voorzien of zelfs voorspellen is begrijpelijkerwijs een uitdaging, zowel voor elke betrokken beroepsbeoefenaar als voor veiligheidswetenschappers en andere academici. Het begrijpen van deze gebeurtenissen en ze proberen te voorkomen is een primair doel van een veiligheidstheorie. Majeure proces gerelateerde ongevallen komen zelden voor, maar kunnen wel veel slachtoffers en gewonden veroorzaken en grote financiële gevolgen hebben door productieverlies, materiële schade aan de installatie en/of milieuschade. Uiteindelijk kunnen majeure, proces gerelateerde ongevallen het betrokken bedrijf te gronde richten. Procesveiligheid wordt steeds belangrijker in de procesindustrie en hangt sterk samen met betrouwbaarheid, kwaliteit, productiviteit, leveringszekerheid en een goede bedrijfsvoering.

OCI, één van de grootste bedrijven van Chemelot, heeft te maken gehad met verschillende ernstige, plotselinge procesveiligheid gerelateerde ongevallen, waaronder die bij de twee ammoniakfabrieken. Hoewel bij geen van de incidenten lichamelijk letsel werd opgelopen, moest de ammoniakfabriek in sommige gevallen voor een langere periode worden stilgelegd, met zowel materiële schade als substantieel productieverlies tot gevolg. Een extern onderzoek, waarbij gekeken werd naar enkele incidenten op Chemelot in 2015 en 2016, kwam tot de conclusie dat onvoldoende werd geanticipeerd op "early warnings" van de chemische processen. OCI startte een eigen onderzoek, dat resulteerde in dit promotieonderzoek naar procesveiligheid en hoe in een vroeg stadium gerichte maatregelen kunnen worden genomen om de ontwikkeling van zware ongevallenprocessen te stoppen. De hoofdvraag van dit promotieonderzoek is:

### In hoeverre kunnen majeure proces gerelateerde ongevallen in de procesindustrie worden voorkomen?

In dit promotieonderzoek worden majeure proces gerelateerde ongevallen in beeld gebracht met "bowties". "Bowties" omvatten één of meer gevaren, de initiërende gebeurtenissen van scenario's, de centrale gebeurtenis, de gevolgen en de barrières die het scenario kunnen tegenhouden. Barrières op scenarioniveau hebben direct invloed

op het ongevalsproces. Aan de andere kant hebben organisatorische factoren of "management delivery systems" een indirecte invloed op grote ongevalsprocessen en moeten ze worden gezien als systemen die het functioneren van barrières ondersteunen. Een goed beheer van de barrières door effectieve organisatorische factoren of "management delivery systems" garandeert de kwaliteit of betrouwbaarheid van deze systemen, en is zo ontworpen dat het de ontwikkeling van de ongevallenprocessen stopt. Organisatorische factoren of "management delivery systems" zijn niet-technisch van aard en moeten worden beschouwd als werkprocessen en procedures waarin menselijk handelen of besluitvorming de boventoon voert. Door indicatoren nauwkeurig te definiëren, kan inzicht worden verkregen in de kwaliteit of betrouwbaarheid van de barrièresystemen, evenals in de effectiviteit van de organisatorische factoren of de "management delivery systemen". Deze gedefinieerde indicatoren bepalen niet alleen de urgentie, maar geven ook aan wat er moet gebeuren.

In de eerste stap van dit onderzoek is de omvang van grote procesveiligheidsincidenten van het ammoniakproces onderzocht. Met andere woorden: de apparaten die bij falen leiden tot de meest ernstige gevolgen. Uit de berekeningen werd geconcludeerd dat de apparaten waarin de hoogste druk heerst en de apparaten met vloeibare ammoniak de gevaarlijkste zijn. Deze apparaten hebben in geval van falen de grootste nadelige gezondheidsgevolgen voor mensen. De effecten en daarmee de nadelige gezondheidsimpact op mensen worden groter als druk, temperatuur en massa toenemen. Bovendien vormt vloeibare, 'warme' ammoniak een ernstige bedreiging, omdat het bij het vrijkomen snel verdampt en een grote giftige wolk vormt.

De volgende stap beantwoordt de vraag hoe de kans op grote procesveiligheidsincidenten in de loop van de tijd kan worden bewaakt. Deze vraag is beantwoord aan de hand van scenario's veroorzaakt door mechanisch falen van statische procesapparaten. De focus lag daarbij primair op waarschijnlijke en zeer waarschijnlijke scenario's, die óf al hebben plaatsgevonden bij OCI, óf bekend zijn uit de internationale literatuur over ongevallen bij ammoniakfabrieken. Op basis van procesparameters zoals druk, temperatuur en debiet wordt het mogelijk geacht de ontwikkeling

<sup>1</sup> OCI Nitrogen en Safety and Security Group, TU Delft Promotie TU Delft, 15 november 2021

van deze scenario's te volgen. "Early warnings" afgeleid van deze procesparameters kunnen dienen als een indicator om de ontwikkeling van de scenario's te volgen.

In twee opeenvolgende studies is onderzocht in hoeverre dergelijke indicatoren informatie geven die betrekking heeft op de waarschijnlijkheid van de centrale gebeurtenis. In het eerste deelonderzoek zijn indicatoren afgeleid uit de status van het barrièresysteem. Er is een indicator ontwikkeld, 'preventieve barrière-indicator' genoemd, die heeft bewezen het veiligheidsniveau te bewaken en de operators in staat te stellen te beslissen wanneer, waar en welke actie nodig is. De preventieve barrière-indicator laat de ontwikkeling zien en de waarschijnlijkheid van een bepaald scenario, wat geen absolute waarde is, maar eerder een indicatie van de verandering in de status quo die al dan niet tot verdere actie zou moeten leiden. In de tweede deelstudie was het doel om organisatorische factoren of "management delivery systems" te onderzoeken. Er is een lijst opgesteld van negen organisatorische factoren of "management delivery systems", die toepasbaar zijn voor OCI Nitrogen, maar ook voor de procesindustrie als geheel. Audits en peer reviews zijn de juiste instrumenten om de efficiëntie van organisatorische factoren zowel kwalitatief als kwantitatief te beoordelen. Het bepalen van drempelwaarden waarvoor actie vereist is, is echter ingewikkeld omdat de invloed op de ongevalsprocessen moeilijk te bepalen is. Maar als er eenmaal drempelwaarden zijn vastgesteld, kunnen er managementindicatoren worden ontwikkeld die met een bepaalde frequentie van bijvoorbeeld eens per maand of eenmaal per kwartaal worden gemeten.

Ten slotte is het ongeval van de BP-raffinaderij in Texas City in 2005 als voorbeeld genomen om het model te valideren. De "bowtie"-metafoor is gebruikt om het ongeval visueel weer te geven, waarbij het barrièresysteem vanuit drie verschillende perspectieven wordt getoond. De risicoreductie van deze verschillende perspectieven is berekend en vergeleken met hun oorspronkelijke ontwerp. Bovendien zijn bewijsmateriaal en bevindingen van de onderzoeken van BP en de US Chemical Safety Board gecategoriseerd als gebreken en toegewezen aan de negen organisatorische factoren. De validatie werpt een nieuw licht op de monitoring van ongevalsprocessen en het barrièrebeheer, en toont aan dat dit ongeval van BP had kunnen worden verwacht met behulp van preventieve barrière-indicatoren en het monitoren van organisatorische factoren.

Het monitoren van de barrières, met behulp van preventieve barrière-indicatoren en een audittechniek gericht op organisatorische factoren, is de beste manier om majeure proces gerelateerde ongevallen in de procesindustrie te voorkomen. Om een operationeel barrière management op te zetten, wordt aanbevolen om de onderstaande stapsgewijze aanpak te volgen:

- Voer een gedegen literatuuronderzoek uit om een overzicht te krijgen van de grote, proces gerelateerde ongevallen van het betreffende chemische proces;
- Bepaal de nadelige gezondheidseffecten bij falen van elke procesapparatuur en focus op de gevaarlijkste;
- Selecteer de meest waarschijnlijke scenario's en visualiseer ze d.m.v. bowties;
- Stel de 'early warnings' vast die zijn afgeleid van procesparameters en neem actie wanneer deze aangeven dat een ongevalsproces is begonnen;
- Bewaak de betrouwbaarheid van de belangrijkste barrièresystemen met behulp van indicatoren, die de waarschijnlijkheid en ontwikkeling van de ongeval scenario's aangeven;
- Selecteer de organisatorische factoren en beoordeel ze regelmatig zowel kwalitatief als kwantitatief.

Er is toekomstig onderzoek nodig om dit model te versterken en te verbeteren. Ten eerste zou het gebruik van systemische ongevalsmodellen voor het voorspellen van majeure proces gerelateerde ongevallen onderzocht moeten worden om de invloed te ontdekken van buiten-organisatorische factoren waaruit aanvullende indicatoren kunnen worden afgeleid. Ten tweede moet het gebruik van "Bayesian Network" worden onderzocht om de onzekerheid van data van de "bowtie" te verminderen, opdat deze benadering de voorspelling van majeure proces gerelateerde ongevallen kan verbeteren. En ten derde moet dit model prospectief gevalideerd worden om aan te tonen in welke mate majeure proces gerelateerde ongevallen worden voorkomen.

Dit onderzoek is innovatief in de zin dat de waarschijnlijkheid en ontwikkeling van majeure proces gerelateerde ongevallen worden bewaakt voordat de gevolgen duidelijk worden. Dat gebeurt op basis van een combinatie van drie indicatoren: 1. "Early warnings" gebaseerd op procesparameters zoals druk en temperatuur die de initiatie van een ongevalsproces aangeven, 2. Preventieve barrière indicatoren die iets zeggen over de kwaliteit van het barrièresysteem, maar ook de ontwikkeling van het scenario als het scenario geïnitieerd is, en 3. Management indicatoren die informatie geven over de effectiviteit van de organisatorische factoren. Concluderend, met dit onderzoek komt procesveiligheid een stap dichterbij een broodnodige theorie.

Het proefschrift is op maandag 15 november jl. in het openbaar verdedigd. Voor toegang tot het proefschrift kun je een kijkje nemen in de TU Delft repository, <https://repository.tudelft.nl/islandora/search/?collection=research>.

Daarnaast is het proefschrift ook als flipbook te bekijken via <https://bit.ly/3FYEwgf> en als PDF te downloaden.