

Kennisvragen softwarepakketten externe veiligheidsrisico's

WP4 Veiligheidsaspecten en risico's

Auteur: TNO

Dit project is medegefinancierd door TKI Nieuw Gas | Topsector Energie uit de PPS-toeslag onder referentienummer TKI2019 WVIP



Aanleiding

WVIP WP 4 werkt aan kennisvragen voor het borgen van waterstofveiligheid en heeft als doelstelling:

1. Het inventariseren van alle mogelijke veiligheidsrisico's die gepaard gaan met de productie, opslag, transport en gebruik van waterstof.
2. Welke maatregelen zijn noodzakelijk om waterstof als veilige en betrouwbare energiedrager grootschalig te kunnen introduceren en daarmee de publieke acceptatie te vergroten.

Dit document is bedoeld voor alle partijen die bezig waren, momenteel bezig zijn, dan wel in de nabije toekomst betrokken zullen zijn bij de ontwikkeling van de waterstofinfrastructuur en specifiek voor partijen die zich bezig houden met de toepassing van waterstof als brandstof voor mobiliteit over de weg. Dit document geeft handvatten om de vragen en antwoorden die er over dit onderwerp zijn centraal te ontsluiten met het doel de waterstofveiligheid te borgen.

Dit document beantwoordt een van de kennisvragen zoals die zijn geïnventariseerd door de deelnemers van WP4 in 2020. Voor meer informatie over en de totstandkoming van de kennisvragen zie <https://nlhydrogen.nl/wp4-inventarisatie-van-kennisvragen>.

Het doel van het behandelen van de kennisvraag is om een eenduidig beeld te hebben welke softwarepakketten geschikt zijn voor het bepalen van het veiligheidscontouren voor waterstof.

Introductie

Er zijn meerdere softwarepakketten beschikbaar die gebruikt moeten worden voor het uitvoeren van een zogenaamde Quantitative Risk Assessment (QRA) wanneer er een situatie is waar waterstof bij betrokken is. Per softwarepakket dient er bepaald te worden of deze in staat is om betrouwbare risicocontouren voor waterstof te berekenen en/of het kan worden aangepast om dergelijke berekeningen voor waterstof mogelijk te maken. De meeste voorgeschreven softwarepakketten zijn gevalideerd met experimentele data.

Kennisvraag

In licht van bovenstaande, is de volgende kennisvraag geformuleerd:

Zijn de voorgeschreven softwarepakketten voor het berekenen van de externe veiligheidsrisico valide om met waterstof te rekenen?

Uitwerking van de kennisvraag

Er dient te worden opgemerkt dat onderstaande informatie een beknopte weergave is van een groter document waarin onder meer op QRA-softwarepakketten wordt ingegaan [1]. Er zijn vele verschillende QRA-softwarepakketten bekend in de wereld [2]. Sommige daarvan zijn vrij beschikbaar, voor andere kan een licentie worden verkregen en weer andere zijn alleen beschikbaar via de organisatie die het pakket heeft ontwikkeld. Voor voorliggend document is uitgegaan van de situatie zoals die wordt voorgeschreven door het bevoegd gezag in Nederland [3] en daarmee is het aantal keuzemogelijkheden van QRA-pakketten ingekaderd tot Carola, Safeti-NL en RBM II. Deze pakketten staan hieronder beschreven.

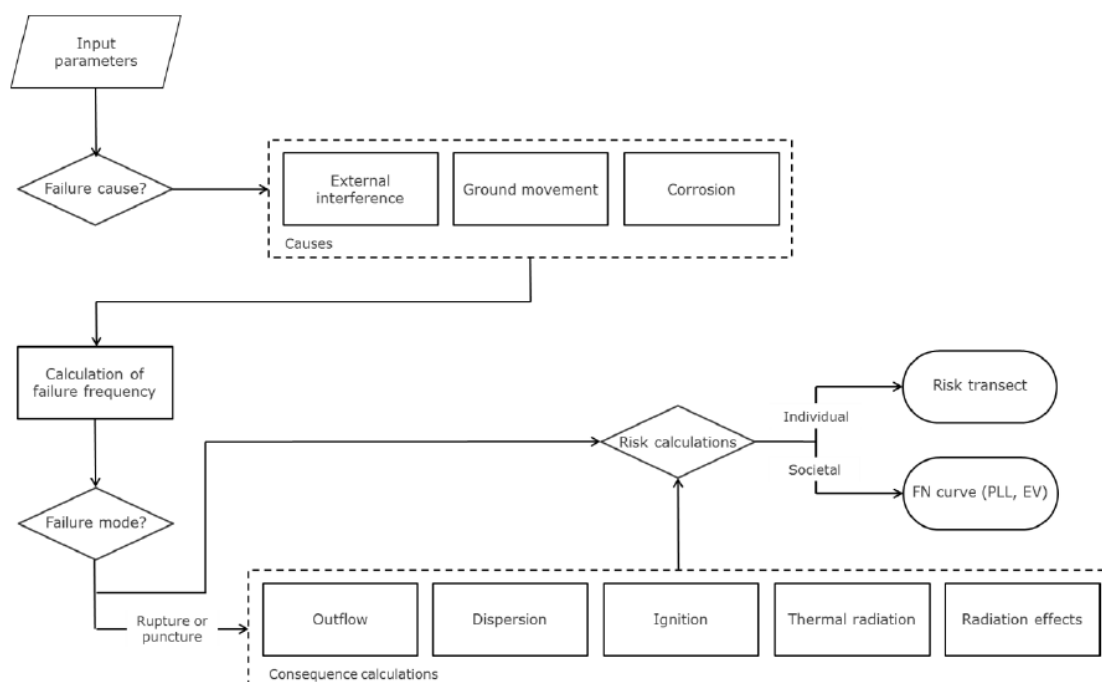
Pipesafe / Carola

De softwarepakketten PipeSafe en Carola [4] zijn gebaseerd op dezelfde methodiek, met het verschil dat Carola gebruik maakt van het 'opzoektabel'-principe. Met andere woorden, de Carola-software interpoleert tussen waarden die in de database aanwezig zijn, terwijl PipeSafe gebruik maakt van directe (niet openbare) berekeningsmethoden voor de verschillende parameters. Het verschil in eindresultaat tussen beide softwarepakketten is beperkt (< 2%) en wordt veroorzaakt door de hogere nauwkeurigheid van de parameters zoals bepaald met PipeSafe. Omdat dezelfde methode wordt gebruikt, wordt in dit document alleen naar PipeSafe verwezen.

PipeSafe [5] is ontwikkeld als een kwantitatieve risicobeoordelingspakket (QRA) voor ondergrondse (hoge druk: 40, 66 en 80 bar) transportleidingen voor aardgas en de bijbehorende componenten. Het rekenprogramma is gecentreerd rond wiskundige modellen voor het voorspellen van de effecten van gaslekken, zoals een brand, op mensen en gebouwen in de buurt. Het softwarepakket berekent de faalfrequentie van een pijpleiding en bepaalt daarmee de individuele en maatschappelijke risiconiveaus. De modellen zijn door de jaren heen gevalideerd aan de hand van experimentele gegevens, van kleine tot grote schaal.

Voor de risicobeoordeling van een hogedruk aardgasleiding houdt PipeSafe rekening met de volgende vier aspecten [5], schematisch weergegeven in Figuur 1:

- 1) Evaluatie van de faalfrequentie
- 2) Waarschijnlijkheid van ontsteking
- 3) Vaststelling van de gevolgen
- 4) Berekening van het risico



Figuur 1 Risicoberekeningsmethode van de PipeSafe software voor hogedruk ondergronds aardgastransmissieleidingen [5]

Voor het bezwijken van de pijpleiding worden drie oorzaken in aanmerking genomen, namelijk een externe oorzaak (zoals bouwwerkzaamheden), grondbewegingen en corrosie. Als de pijpleiding faalt, houdt PipeSafe rekening met twee faalwijzen: lekken (perforatie) of breuk (in tweeën breken van de leiding). De faalwijze wordt bepaald door de lengte, diepte en type defect en is vooral afhankelijk van de leidingdiameter, wanddikte, materiaaleigenschappen en de werkdruk. De kans op elke faalwijze kan worden opgeteld en wordt uitgedrukt in een faalfrequentie per jaar en per lengte-eenheid van

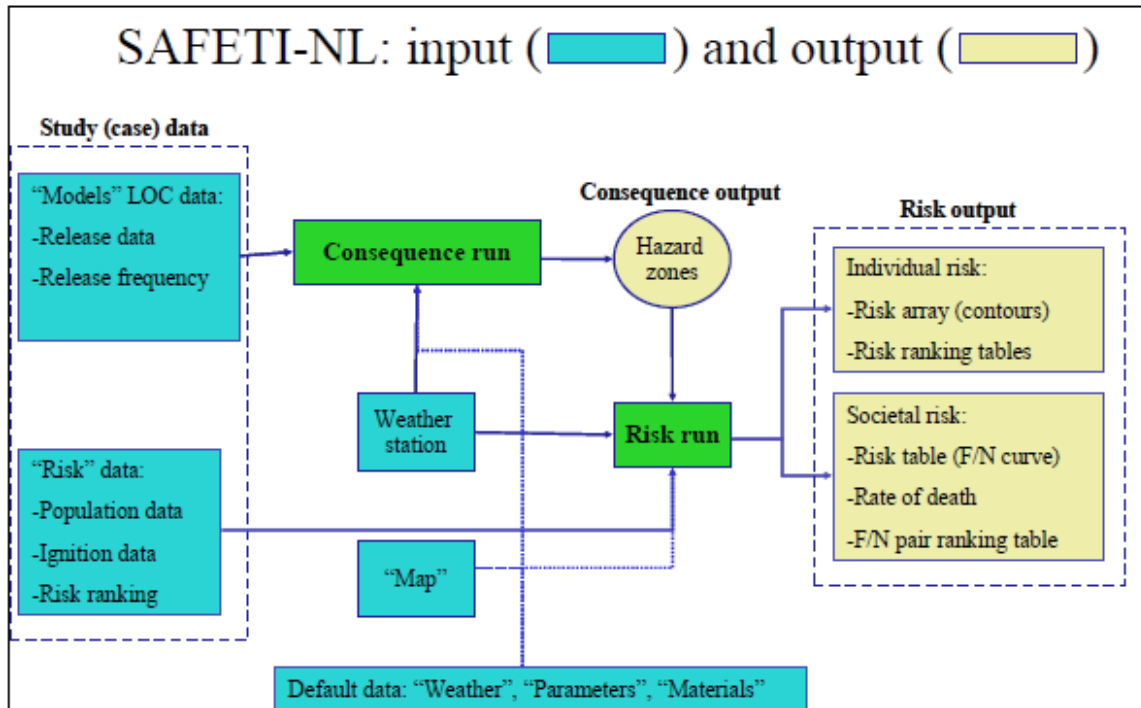
de leiding. De daaropvolgende ontstekingskans is gebaseerd op historische gegevens en of dit een directe ontsteking is die leidt tot een zogenoemde fakkel, of een vertraagde ontsteking die leidt tot een vuurbal en drukgolven. De consequentiemodellering in geval van ontsteking is afhankelijk van de gasleksnelheid en de bijbehorende thermische stralingsprofielen (fakkel versus vuurbal). Deze laatste profielen hebben effect op de mensen en gebouwen in de buurt. Om de mogelijke effecten nauwkeuriger in te schatten, houdt het model rekening met de meteorologische omstandigheden die de gevolgen van het aardgaslek beïnvloeden. Aangezien PipeSafe is ontwikkeld voor ondergrondse pijpleidingen, houdt het ook rekening met de grootte van de potentiële krater die wordt gevormd, afhankelijk van de faalwijze (perforatie versus breuk). Het risico voor de bevolking kan worden uitgedrukt als individueel risico, ofwel de frequentie waarmee een persoon op een bepaalde locatie naar verwachting een slachtoffer zal worden, of als een maatschappelijk risico, gedefinieerd als de relatie tussen de frequentie van een incident en het aantal slachtoffers dat kan ontstaan.

Aangezien PipeSafe (Carola) is ontwikkeld voor ondergrondse hogedruk aardgastransportleidingen, zijn de experimentele validatieprogramma's dan ook grotendeels bij deze drukken uitgevoerd. Voor de aardgassituatie kan het pakket betrouwbaar worden gebruikt vanaf 7 barg. De validatie van PipeSafe is en wordt momenteel uitgebreid met waterstof, bijvoorbeeld via het HyWay27-project [6, 7]. Technisch kan de huidige versie van PipeSafe worden gebruikt om de risicocontouren van waterstof te bepalen bij een leidingdiameter van 18 inch of meer bij een druk vanaf 16 barg [7]. Om deze risicocontouren van waterstoftransportleidingen te kunnen berekenen, kan gebruik gemaakt worden van de faalfrequenties van aardgastransportleidingen, indien voldaan wordt aan een veertiental randvoorwaarden [8].

Safeti-NL

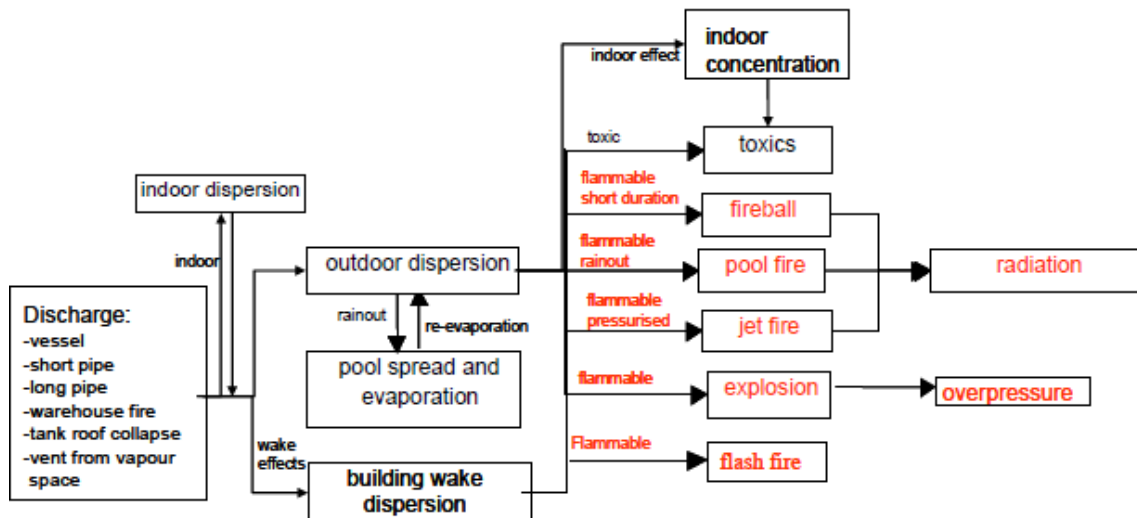
Safeti-NL is de Nederlandse versie van het Safeti softwarepakket van DNV [9] en houdt rekening met de risicoregelgeving en -methodiek, zoals origineel beschreven in het zogenaamde Parse Boek [10] en zoals nu omschreven in Handleiding Risicoberekeningen Bevi [11]. Safeti-NL is een generiek instrument voor kwantitatieve risicobeoordeling dat kan worden toegepast voor alle installaties waarbij toxische en/of brandbare chemicaliën betrokken zijn, zoals die worden aangetroffen in de chemische procesindustrie en andere industrieën die dergelijke materialen hanteren, transporteren en opslaan.

Safeti-NL berekent het individuele risico en het groepsrisico bij het vrijkomen van brandbare en/of giftige stoffen in de atmosfeer vanaf een bepaalde locatie, zoals weergegeven in Figuur 2 [9]. Door een kaart in de software te uploaden en het dichtstbijzijnde weerstation te selecteren, importeert de software automatisch de relevante weergegevens van die locatie. De gebruiker definieert vervolgens onder andere de faalfrequentie, de bedrijfsomstandigheden (stof, druk, temperatuur, volume), type scenario (doorboring, breuk, catastrofale breuk vat/leiding) en of de lekkage binnen of buiten plaatsvindt.



Figuur 2 Risicoberekeningsmethode van het softwarepakket Safeti-NL [9].

Met deze invoer berekent SAFETI-NL thermische, overdruk- en concentratieprofielen. Wanneer de gebruiker ook input definieert over de populatie in de directe omgeving van de gekozen locatie, en in het geval van een brandbare stof, de ontstekingsbron en de ontstekingswijze (direct versus vertraagd), berekent Safeti-NL de individuele en ‘groepsrisicocontouren’ – beter bekend als zogenaamde FN-curve, zie ook Figuur 3. Voor het vrijkomen van waterstof heeft Safeti-NL specifieke modellen voor het lekken (expansie uit opening) en verspreiding van brandbare stoffen.



Figuur 3 Submodellen voor thermische en overdrukprofielen van het Safeti-NL softwarepakket [9].

De lekkage- en verspreidingsmodellen en de daaropvolgende effecten na ontsteking zijn gevalideerd met gepubliceerde experimentele gegevens, waaronder waterstof. Er moet worden opgemerkt dat de Safeti-modellen vaker worden gevalideerd tegen experimentele gegevens verkregen bij hogere initiële drukken, simpelweg omdat er meer literatuurgegevens beschikbaar zijn voor dergelijke omstandigheden, maar niet uitsluitend.

Safeti-NL beschikt over alle relevante gegevens over waterstof en daarmee kunnen de risicocontouren worden berekend. Specifiek voor een fakkel van waterstof kan door de gebruiker gekozen worden voor het model van Miller [13], zoals geïmplementeerd in Safeti-NL vanaf versie 8.8. Dit specifieke model is gevalideerd aan de hand van experimentele gegevens voor zowel verticale als horizontale fakkels en voor leksnelheden variërend van 0,02 tot meer dan 100 kg/s waterstof. Het Miller-model [12] is ontwikkeld met het oog op vlammen met een lage stralingssterkte, wat tot uiting komt in de meer realistische inschattingen van de (stralings)risicocontouren versus modellen die sterk luminescerende (koolwaterstof)vlammen gebruiken als referentie voor het bepalen van de contouren van waterstof. De validatie van Safeti-NL voor waterstof wordt gestaag uitgebreid en hierbij wordt ook aandacht geschonken aan het implementeren van een realistische ontstekingskans, zoals die nu worden omschreven in de HRB [11].

RBM II

RBM II (RisicoBerekeningsMethodiek Versie 2) berekent het risico van het vervoer van gevaarlijke stoffen over de weg, het spoor en het water [14] zoals voorgeschreven in de Handreiking risicoberekening transport (HART) [15]. De effectmodellen zijn gebaseerd op die zoals beschreven in het zogenaamde Gele Boek [16].

RBM II is een QRA-softwarepakket die is gebaseerd op een beperkt aantal 'model'-stoffen en bijbehorende ongeval scenario's. De stoffen zijn ingedeeld naar toestand (vloeistof, gas), ontvlambaarheid en toxiciteit [13]. De scenario's zijn gebaseerd op continue, openbare transportwegen (spoor, water of weg) op maaiveldniveau. Met open transportwegen wordt hier alles bedoeld behalve geheel of gedeeltelijk gesloten locaties, zoals tunnels, specifieke spoorwegsituaties op stations (daken) of specifieke vaarwegsituaties (bruggen). Met RBM II kan een groepsrisico en/of het risico voor een (set van) gebouw(en) worden berekend. Voor stationaire situaties is de software niet van toepassing en wordt de gebruiker doorverwezen naar Safeti-NL. Door het importeren van een kaart kan de gebruiker aangeven welk pad gevolgd gaat worden en kan gebruik worden gemaakt van de ingebouwde toepassing van het geografisch informatiesysteem (GIS). Door een weerstation in de buurt te selecteren, kunnen de overeenkomstige meteorologische gegevens worden opgevraagd en wordt de verspreiding van de gevaarlijke (gasvormige) stoffen gemodelleerd. Het aantal personen op de opgegeven route kan handmatig worden ingevoerd of er kan gebruik worden gemaakt van de Landelijke Bevolkingsservice [17]. De gebouwen zijn woongebieden, bedrijven 'overdag', bedrijven 'doorlopend' (zoals ziekenhuizen, hotels), evenementen tijdens de werkweek en evenementen in het weekend, zie ook Figuur 4.

Type bebouwing	Aantal aanwezigen en fractie buitenshuis dag (8.00 – 18.30 uur)	Aantal aanwezigen en fractie buitenshuis nacht (18.30 – 8.00 uur)	Mensen aanwezig werkdagen	Mensen aanwezig in weekend
Woonbebouwing	Variabel: kan per bebouwingsblok worden ingevoerd	Variabel: kan per bebouwingsblok worden ingevoerd	Ja	Ja
Bedrijven (dagdienst) (°)	Variabel: kan per bebouwingsblok worden ingevoerd	Nee	Ja	Nee
Bedrijven (continu dienst) (°)	Variabel: kan per bebouwingsblok worden ingevoerd	Variabel: kan per bebouwingsblok worden ingevoerd	Ja	Ja
Evenementen (op werkdagen) (**)	Variabel: kan per bebouwingsblok worden ingevoerd	Variabel: kan per bebouwingsblok worden ingevoerd	Ja	Nee
Evenementen (in het weekend) (**)	Variabel: kan per bebouwingsblok worden ingevoerd	Variabel: kan per bebouwingsblok worden ingevoerd	Nee	Ja
Bouwplannen (°)	Standaard nul	Standaard nul	N.v.t.	N.v.t.
Bouwputten (°)	N.v.t.	N.v.t.	N.v.t.	N.v.t.

Figuur 4 Definitie van verschillende soorten gebouwen [13].

De lengte van de route is standaard minimaal 1000 meter, hoewel kleinere routes kunnen worden gedefinieerd. Uit de groepsrisico's van de individuele bijdragen wordt het maximale groepsrisico per kilometer berekend. Het groepsrisico wordt opgeteld over 1000 meter met een resolutie van 25 meter. In Tabel 1-

Tabel 3 [15] is de indeling van de 'model' gevaarlijke stoffen gegeven voor de verschillende logistieke opties. Afhankelijk van de brandbare modelstof staat de ontstekingskans vast voor zowel instantane als vertraagde ontsteking, evenals de bijbehorende effecten (BLEVE, fakkel, flash fire, explosie of plasbrand). Er wordt geen specifieke informatie gegeven over de validatie van de gekozen ontstekingskans en bijbehorende effecten.

	Categorie	Modelstof
A	Brandbaar gas	Propaan
B2	Toxisch gas	Ammoniak
B3	Zeer toxisch gas	Chloor
C3	Zeer brandbare vloeistof	Pentaaan
D3	Toxische vloeistof	Acrylonitril
D4	Zeer toxische vloeistof	Acroleïne

Tabel 1 Gevaarlijke modelstoffen gebruikt in het RBM II softwarepakket voor transport per spoor [15].

	Categorie	Modelstof
GF1	Brandbaar gas	Ethyleenoxide
GF2	Brandbaar gas	Butaan
GF3	Brandbaar gas	Propaan
GT2	Toxisch gas	Methyl-mercaptan
GT3	Toxisch gas	Ammoniak
GT4/GT5	Toxisch gas	Chloor
LF1	Brandbare vloeistof	Heptaan (diesel)
LF2	Brandbare vloeistof	Pentaaan (gasoline)
LT1	Toxische vloeistof	Acrylonitril
LT2	Toxische vloeistof	Propylamine
LT3	Toxische vloeistof	Acroleïne
LT4	Toxische vloeistof	Methylisocyanaat

Tabel 2 Gevaarlijke modelstoffen gebruikt in het RBM II softwarepakket voor wegtransport [156].

	Categorie	Modelstof
GF2	Brandbaar gas	Butaan
GF3	Brandbaar gas	Propaan
GT3	Toxisch gas	Ammoniak
LF1	Brandbare vloeistof	Heptaan (diesel)
LF2	Brandbare vloeistof	Pentaaan (gasoline)
LT1	Toxische vloeistof	Acrylonitril
LT2	Toxische vloeistof	Propylamine

Tabel 3 Gevaarlijke modelstoffen gebruikt in het RBM II softwarepakket voor transport over water [15].

Het RBM II-model kan veiligheidscontouren van waterstof niet direct berekenen. Doordat het softwarepakket gebruik maakt van zogenaamde modelstoffen, zou een chemische stof kunnen worden gekozen die het gedrag van waterstof het beste benadert. Gezien de modelstoffen is er geen chemische stof in de database die in de buurt komt van het gedrag (lichter dan lucht) van waterstof. Indien een modelstof aanwezig zou zijn, dient de ontstekingskans gecorrigeerd te worden voor die van waterstof en mogelijk ook het bijbehorende effect.

Het is noemenswaardig dat gasvormig waterstof onder druk en vloeibaar waterstof voor risicoberekeningen ten behoeve van het Basisnet worden ingedeeld als een brandbaar gas (GF0, 'flammable gas') waar niet aan gerekend hoeft te worden ten behoeve van externe veiligheid. Dit geldt voor vervoer over weg en water waarbij geen verschil is aangebracht tussen gasvormig waterstof onder druk en vloeibaar waterstof. Omdat het vervoer van gevaarlijke stoffen bij deze indeling niet gemonitord wordt, zou waterstof in principe onbepaald vervoerd kunnen worden over weg en water. Bij een verdere toename van het vervoer van waterstof over de weg, zal de indeling echter wijzigen naar een zeer brandbaar gas (GF3). Een dergelijke aanpassing heeft in het verleden ook plaatsgevonden bij LNG. Bij vervoer over spoor wordt wel onderscheid gemaakt: in de berekeningen wordt gasvormig waterstof onder druk wel meegenomen en vloeibaar waterstof niet. Dit heeft te maken met het feit dat tot dusverre vloeibaar waterstof (nog) niet per spoor wordt vervoerd.

Discussie

Er dient te worden opgemerkt dat voor bovenstaande analyse is uitgegaan van de informatie zoals die op het moment van schrijven beschikbaar was. Het RBM II softwarepakket is op moment van schrijven niet geschikt voor het bepalen van het risicocontouren van waterstof, daar deze stof niet in

de database van de software zit en er ook geen stof geselecteerd kan worden welke vergelijkbare chemische en fysische karakteristieken heeft als waterstof. Tevens wordt RBM II binnen een paar jaar uitgefaseerd. Pipesafe/Carola is specifiek geënt op (hoge druk) transmissieleidingen, terwijl Safeti-NL een breder toepassingsgebied heeft, zijnde voor installaties waar waterstof aanwezig is, zoals die worden aangetroffen in de chemische procesindustrie en andere industrieën. Voor beide pakketten zijn op dit moment validatieprogramma's opgetuigd, waarmee de pakketten worden uitgebreid met data over waterstof. Er dient hierbij te worden opgemerkt dat voor beide softwarepakketten - in geval van waterstof - gerekend wordt met worst case scenario's. Zo wordt onder meer de ontstekingskans van waterstof standaard op 100% gezet. Deze en andere parameters hebben een duidelijke invloed op de risicocontouren.

Conclusies

Van de voornoemde QRA-modellen die veelvuldig gebruikt worden voor de Nederlandse situatie (Pipesafe, RBM II en Safeti-NL), zijn Pipesafe/Carola en Safeti-NL geschikt om risicocontouren te bepalen voor situaties waarbij waterstof een rol speelt. Beide pakketten worden momenteel verder gevalideerd voor waterstof. Er dient opgemerkt te worden dat Safeti-NL door het Nederlands bevoegd gezag wordt voorgeschreven.

Referenties

1. A. Noort (DNV), Eindrapport WP6A HyDelta project – Veiligheid waterstof in distributienet en gebouwde omgeving, deliverable D6A_4 – Overige aanbevelingen: toepasbaarheid QRA tools, detectie waterstofbranden, effectiviteit odorisatie en effect permeatie, juli 2023.
2. Lewis, S. (2005). An overview of leading software tools for QRA. American Society of Safety Engineers–Middle East, 18-22.
3. [Rekenvoorschrift omgevingsveiligheid | RIVM](#)
4. RIVM, „Carola - Computerapplicatie voor risicoberekeningen aan ondergrondse leidingen met aardgas,” Version 1.2, June 2013.
5. PipeSafe Group, „An overview of the Pipesafe risk assessment package for natural gas transmission pipelines. PipeSafe version 2.19.0, Document number PG/15/01,” March 2015.
6. „HyWay 27,” [Online]. Available: <https://www.hyway27.nl>.
7. *Personal communication (TNO) and (GasUnie)*. [Interview].
8. RIVM, “Rekenmethodiek transport waterstof in (aardgas)leidingen”, 2021-0074/VLH/HdW/ib, november 2021.
9. DNV, „Handleiding Safeti-NL versie 8.5,” 2022.
10. Committee for the Prevention of Disasters, Guideline for Quantitative Risk Assessment (“Purple Book”) CPR 18E, The Hague : SDU, 1999, renumbered to PGS 3 in 2005.
11. RIVM, Handleiding Risicoberekeningen Bevi, Versie 4.3, 2021.
12. D. Miller, „New model for predicting thermal radiation from flares and high pressure jet fires for hydrogen and syngas,” *Process Safety Progress*, vol. 36, nr. 3, pp. 237-251, 2017.
13. D. Worthington, „Application of Phast and Safeti to hydrogen consequences and risks,” June 2022.
14. Adviesgroep AVIV BV, Handleiding RBM II Version 2.0, 2011.
15. RIVM, Handleiding Risicoanalyse Transport (HART) Version 1.2, January 2017.
16. Committee for the prevention of Disasters, Methods for the calculation of physical effects due to releases of hazardous materials (liquids and gases) (“Yellow Book”), CPR 14E, The Hague: SDU, 2005, renumbered to PGS 2 in 2005
17. Projectteam informatieproducten externe veiligheid (IPO), „Landelijke Populatieservice, Version 2.0,” April 2022.