

Veiligheidsafstand overdruk waterstof

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 het duiden van de veiligheidsafstanden voor wat betreft de overdruk van een gasexplosie.

Introductie

Er worden vele initiatieven ontwikkeld en de nodige initiatieven zijn in de demonstratiefase of zelfs al ingevoerd om waterstof als energiedrager te produceren, op te slaan en/of te vervoeren. Hierbij speelt de veiligheid een belangrijke rol, ook omdat de nodige initiatieven dicht bij het publiek zullen komen, zoals bijvoorbeeld waterstoftankstations voor auto's rijdend op waterstof en opslagtanks voor waterstof nabij windturbines/zonneparken. Dit vereist kennis over de veiligheidsafstanden in geval van een waterstofexplosie in relatie tot de gegeneerde overdruk.

Kennisvraag

In licht van bovenstaande, is de volgende kennisvraag geformuleerd:

Wat zijn de veiligheidsafstanden in termen van overdruk bij een waterstofexplosie?

- Wat is acceptabel qua uitstroomdebiet?
- Hoe kunnen lekken aangetoond worden?
- Welke invloed heeft de omgeving / Open veld versus (deels) afgesloten ruimte?

Uitwerking van de kennisvraag

1.1. Veiligheidsafstanden

Bij een explosie zijn de overdrukeffecten weer te geven als een zich uitdijende bolvorm met als middelpunt de bron van de explosie [1]. De genereerde overdruk is van een aantal parameters afhankelijk, zoals de concentratie brandstof in lucht, de grootte van de wolk (en daarmee het uitstromende debiet, de plaats van ontsteking, de aanwezigheid van obstakels die de verbranding kunnen versnellen en daarmee de drukopbouw en nog een aantal factoren. Daarmee is alleen voor een openlucht scenario a priori een indicatie te geven van de veiligheidsafstand. De aanwezigheid

van obstakels bijvoorbeeld heeft een wezenlijke invloed op de opgebouwde druk en daarmee veiligheidsafstand. Daartoe zijn andere methodieken nodig, zoals geavanceerde softwarepakketten, om tot een antwoord te komen.

De overdruk plant zich voor met de geluidssnelheid. De gevormde drukgolf plant zich via de lucht of via de bodem voort en komt terecht bij mensen of objecten. De kracht van overdrukeffecten neemt exponentieel af als de afstand vanaf de explosie toeneemt ^[1]. Een mens of object in de omgeving van de explosie zal eerst worden geraakt door het front van de drukgolf (de piekoverdruk). Als de drukgolf voorbijtrekt neemt de druk weer af. Er treedt dan een negatieve fase (zuiging) op waarbij de druk achter de golf korte tijd lager is ten opzichte van de omgeving. Direct schade aan mensen als gevolg van een drukgolf (zoals schade aan longen of gehoor) ontstaat vooral bij hoge overdrukken en lange duur van de golf. Verwondingen als gevolg van de drukgolf kunnen levensbedreigend zijn ^[1]. Het grootste gevaar wordt veroorzaakt door de indirecte gevolgen van de drukgolf, bijvoorbeeld als mensen vallen, zich bevinden in of onder instortende (delen van) constructies of geraakt worden door glasscherven (ruitbreuk) of dakbedekking (zoals dakpannen of kiezels) ^[1]. In tabel 1 is een overzicht gegeven van de mogelijke effecten als functie van de kracht van de drukgolf ^[1]. Ter illustratie, onder standaard atmosferische condities heerst er een atmosferische druk van 101,3 kPa. Een standaard ballon heeft bij opblazen een druk van ruwweg 108 kPa, ofwel een overdruk van 7 kPa.

Tabel 1. Potentieel effect op mensen en infrastructuur als functie van de kracht van de drukgolf [1].

Kracht van drukgolf[kPa]	Effect
> 2	Ruitbreuk en rondvliegend glas
> 10	Scherfwerking met mogelijke dodelijke slachtoffers
> 30	Potentieel instortingsgevaar van gebouwen

Middels softwarepakketten als Safeti.nl ^[2], een keuze van het geaccepteerde risiconiveau (meestal $1 \cdot 10^{-6}$ per jaar) en een keuze van effectniveau (in dit geval overdruk, zie Tabel 1), kunnen de veiligheidsafstanden worden vastgesteld. Safeti.nl ^[2] wordt door het bevoegd gezag voorgeschreven als het pakket dat hiertoe dient te worden gebruikt. Andere softwarepakketten zullen tot gelijkende afstanden komen. Zo werkt de brandweer bijvoorbeeld vaker met het softwarepakket Effects. Middels Computational Fluid Dynamics (CFD) kunnen de drukprofielen als functie van afstand ook worden berekend en indien een criterium voor veiligheid wordt aangenomen, zoals bijvoorbeeld een waarde uit Tabel 1, kan de veiligheidsafstand worden vastgesteld. Met name in geval van veel obstakels, zal door vlamversnelling de overdruk sterker oplopen dan in een open veld. Middels CFD is dit accurater te berekenen, daar de modellen direct rekening houden met de vlamversnelling.

Het HyResponse project^[3] benoemt een aantal typische waarden voor veiligheidsafstanden, zie Figuur 1 en 2, in geval van het bezwijken van een drukvat in de openlucht, al dan niet gevolgd door onmiddellijke ontsteking van de gevormde brandbare wolk.

Type of tanks	Piping leak diameter, mm	Pressure of the tank (bar)	Direct ignition (JET FIRE)					Delayed ignition (UVCE)			
			Thermal effects (m)			Flame length (m)		Overpressure effects (m)			
			3 kW/m ²	5 kW/m ²	8 kW/m ²	L	r	20 mbar	50 mbar	140 mbar	200 mbar
Tank (7 m ³)	0.1	35	0.06	0.06	0.06	0.06	0.01	-	-	-	-
Tank (14 m ³)	1	35	0.8	0.8	0.7	0.7	0.1	-	-	-	-
Tank (28 m ³)	5	35			3.9	3.9	0.7	-	-	-	-
Tank (56 m ³)	10	35	14	12	10	8	1.3	40	20	8.5	6.1
Trailer, Rack V9 B50, Rack V18 B50	0.1	200	0.2	0.2	0.2	0.2	0.03	0.5	-	-	-
	0.2	200	0.5	0.4	0.4	0.4	0.06	1	0.5	-	-
	4	200	11	9	8	7	1.2	20	10	6	5
Trailer	Full rupture of flexible of trailer	200	7.2	7.2	7.2			13.1	8.2		
Buffer 1 m ³	0.1	450	0.2	0.2	0.2			0.8	0.4		
Buffer 2 m ³	4	450	16	14	12	11	1.8	30	15	9	7
Rack H4 B142	0.1	525	0.4	0.3	0.3	0.4	0.06	1	0.5	-	-
	0.21	525	0.7	0.6	0.6	0.8	0.13	2	1	-	-
	2.3	525	9	7.9	7	7	1.2	18	9	6	5
	4	525	17	15	13	12	2	32	16	9	8
	5.2	525	22	19	17	15	2.5	42	21	12	10
Rack H4 B142	0.1	700	0.2	0.2	0.2	0.5	0.08	1	0.5	-	-
	0.2	700	0.8	0.4	0.4	0.8	0.13	2	1	-	-
	2.3	700	10	9	8	8	1.3	22	11	6	5
	4	700	19	17	15	14	2.3	38	19	11	9

Figuur 1. Effectafstanden ten aanzien van thermische belasting en overdruk ten gevolge van het bezwijken van een vat in de openlucht [3].

Type of storage	Tank capacity	Storage pressure (bar)	Overpressure burst (bar)	Significant lethal effects – Domino effects 200 mbar (m)	Lethal effects 140 mbar (m)	Irreversible effects 50 mbar (m)	Indirect effects : broken glass 20 mbar (m)
Type I	B20 (20 l)	200	380	5	6	16	32
Type I	B50 (50 l), Rack V9 B50, Rack V18 B50	200	380	7	9	22	44
Type I	Tank (7 m ³)	35	53	18	22	55	110
Type I	Tank (14 m ³)	35	53	22	28	69	139
Type I	Tank (28 m ³)	35	53	28	35	87	175
Type I	Tank (56 m ³)	35	53	35	44	110	220
Type I	Trailer (2 m ³)	200	430	22	29	67	134
Type I	Buffer (cigar) 1 m ³	450	675	23	29	72	145
Type I	Buffer 2 m ³	450	675	26	36	85	170
Type IV	Rack H4 B142	525	578	9	13	31	62
Type IV	Bottle 80	700	770	9	12	28	56
Type IV	Rack H4 B142	700	770	13	16	40	79
Type I	Buffer (cigar) 1 m ³	1000	2000	34	40	105	211
Type I	Buffer 2 m ³	1000	2000	42	50	133	266

Figuur 2. Effectafstanden ten aanzien van ten gevolge van het bezwijken van een waterstoftank in de openlucht (geen ontsteking) [3].

1.2. Wat is acceptabel qua uitstroomdebiet?

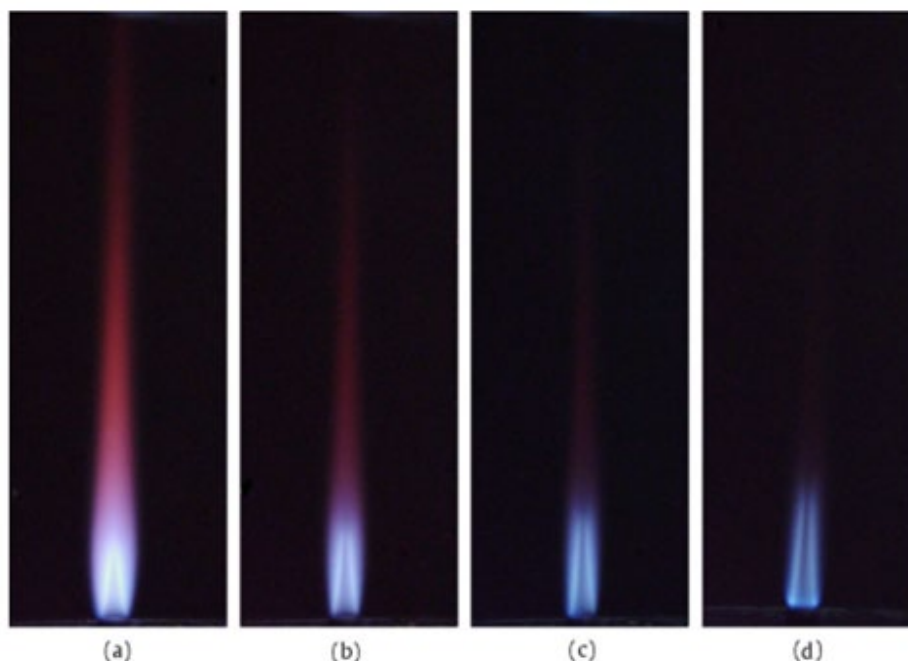
De facto is geen enkel uitstroomdebiet acceptabel (inherente veiligheid). Zoals gemeld bij de beantwoording van de kennisvraag over de ontstekingskans, zie <https://nlhydrogen.nl/WP4-Ontstekingskansen-directe-en-vertraagde-ontsteking>, naarmate het debiet kleiner wordt, zal de kans op ontsteking afnemen.

1.3. Hoe kunnen lekken aangetoond worden?

Er dient te worden opgemerkt dat onderstaande informatie een beknopte weergave is van een groter document waarin onder meer op QRA softwarepakketten wordt ingegaan ^[4]. Er wordt hier uitgegaan van twee situaties: een lekkage met en zonder ontsteking. In het eerste geval is er daarmee sprake van een vlam.

In geval van een lekkage zonder ontsteking, kan gebruik gemaakt worden van een ATEX gecertificeerde waterstofdetector. Afhankelijk van de grootte van het lek, kan het lek auditief waargenomen worden. Net zoals met aardgas wordt er ook gewerkt aan het toevoegen van een geurstof aan waterstof om mensen te attenderen op de aanwezigheid van een waterstoflek. In geval van hele kleine lekken kan zeepsop worden toegepast om het lek op te sporen.

Vanuit veiligheidsoogpunt is het belangrijk dat een waterstofvlam of -brand visueel kan worden waargenomen. Het is algemeen bekend dat een waterstofvlam moeilijk is waar te nemen, met name bij daglicht. De intensiteit van de vlam en de vlamkleur is onder meer afhankelijk van de gas-luchtverhouding van het brandbare mengsel. Normaal gesproken heeft de waterstofvlam een grauwbloeiende kleur. Echter, wanneer de ratio gas/lucht toeneemt, worden ook roodtinten zichtbaar en wordt de intensiteit van de vlam licht verhoogd, zie Figuur 3 ^[4, 5].



Figuur 3. Waterstofvlam als functie van ratio waterstof/lucht ^[3, 4].

Voor industriële toepassingen worden sensoren al jaren gebruikt voor waterstofvlamdetectie. Het gaat hierbij hoofdzakelijk om stationaire sensoren. Een andere methode om een waterstofbrand te

kunnen zien, zijn draagbare warmtebeeldcamera's, die een snelle en betrouwbare indicatie geven van het bestaan, de locatie en de grootte van een waterstofvlam. Een simpele, maar doeltreffende methode die tot op de dag van vandaag door de brandweer wordt toegepast, is het gebruiken van een bezem. Deze zal door de waterstofvlam worden aangestoken.

1.4. Welke invloed heeft de omgeving?

Een brandbare waterstofwolk die zich op een locatie bevindt met veel obstakels, kan voor hogere drukken zorgen ten gevolge van de versnelling van de vlam (genereren van turbulentie door obstakels) en daarmee de veiligheidsafstanden vergroten. Dit impliceert dat in een bebouwde omgeving, dan wel in een omgeving waar veel mensen aanwezig zijn (festival met waterstof-aggregaten), de resultaten van de veiligheidsanalyse restricties geven in welke mogelijkheden er zijn voor het plaatsen van opslag/buisleidingen. In een open veld zal de drukgolf (halve bolvorm uitgaande van ontsteking op de grond) exponentieel afnemen als functie van afstand en zal de vlamversnelling significant kleiner zijn.

Conclusies

De veiligheidsafstanden kunnen door middel van daartoe geautoriseerde en gevalideerde softwarepakketten worden bepaald. Voor een aantal typische waterstofdrukvatens zijn veiligheidsafstanden getabelleerd die gebruikt kunnen worden als richtlijn. Te allen tijde dient een lekkage voorkomen worden. In geval van een lekkage zijn er meerdere methoden voorhanden om deze lekkage (al dan niet ontstoken) te detecteren.

Referenties

1. Verbecke, F. (2016). HyResponse – Strategies and Intervention tactics for H2 refuelling station and storage installations. 3rd Pilot Training Session, 06 – 10 June 2016, Aix-en-Provence, France.
2. [Gevaren | RIVM](#)
3. [Rekenpakketten Omgevingsveiligheid | RIVM](#)
4. A. Noort (DNV), Eindrapport WP6A – Veiligheid waterstof in distributienet en gebouwde omgeving, deliverable D6A_4 – Overige aanbevelingen: toepasbaarheid QRA tools, detectie waterstofbranden, effectiviteit odorisatie en effect permeatie, juli 2023.
5. Schefer, R. W., Kulatilaka, W. D., Patterson, B. D., & Settersten, T. B. (2009). Visible emission of hydrogen flames. *Combustion and flame*, 156(6), 1234-1241.