

Lessen uit waterstofincidenten

WP2 Risicobeheersing en incidentbestrijding

Auteur: Margreet Spoelstra (NIPV)

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



Delen uit deze publicatie mogen worden overgenomen op voorwaarde van bronvermelding: WVIP (2023), Lessons learned waterstofincidenten: Waterstof Veiligheid Innovatie Programma.

Dit rapport is een product vanuit het Waterstof Veiligheid Innovatie Programma (WVIP). Doel van het programma is te zorgen dat er duidelijke regels, voorschriften en handleidingen komen voor het klein- en grootschalig toepassen van waterstof in de samenleving. Momenteel werken ruim 30 partijen samen waaronder het Nederlands Instituut Publieke Veiligheid (NIPV), kennisinstituten, het ministerie van Justitie en Veiligheid en bedrijven die actief zijn in productie, transport en gebruik van waterstof. Zie voor de volledige lijst van betrokken partijen en voor het werk van WVIP de [pagina](#) van het WVIP op de website van NLHydrogen.

Inhoudsopgave

1. Inleiding	5
1.1. Aanleiding.....	5
1.2. Leeswijzer	5
2. Overzicht beschikbare informatie	6
2.1. Inleiding	6
2.2. European Hydrogen Incident and Accident Database.....	6
2.3. Het Kjørbo-incident.....	7
2.4. Diverse incidenten	8
2.5. Geraadpleegde bronnen.....	12
2.6. Bevindingen	12
3. Aanbevelingen	13
3.1. Inleiding	13
3.2. Melden (waterstof)incident.....	13
3.3. Rapportage waterstofincident	13
3.4. Training en kennisopbouw	13
3.5. Model voor inzet bij waterstofincidenten.....	13
3.6. Adviesrol veiligheidsregio	14
3.7. Gebruik van CO-meter voor waterstof	15
Bijlage 1. Veiligheidsprincipe EHSP	16
Bijlage 2: Informatie Sverre Junker.....	17
Bijlage 3: Overig geraadpleegde bronnen.....	24

Gebruikte afkortingen

AGS	Adviseur Gevaarlijke Stoffen
ARIA	Analysis, Research and Information on Accidents
ATEX	ATmosphères EXplosibles
BLEVE	Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion
CO	Koolstofmonoxide
CoPi	Commando Plaats Incident
CSB	Chemical Safety Board
DDT	Deflagration to Detonation Transition
EHSP	European Hydrogen Safety Panel
eMARS	European Major Accident Reporting System
HIAD	Hydrogen Incident and Accident Database
HIRD	Hydrogen Incident Reporting Database
iChemE	Institution of Chemical Engineers
ID	IDentification number
OHSA	Occupational Safety and Health Administration
OvD	Officier van Dienst
PRD	Pressure Relief Device
RISCAD	Relational information system for chemical accidents database
SP	Safety Principle
TBO	Team Brandonderzoek
TPRD	Thermally Activated Pressure Relief Device
TS	Tankautospuut
VROM	Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer
WP	Werkpakket
WVIP	Waterstof Veiligheid Innovatie Programma

1. Inleiding

1.1. Aanleiding

Werkpakket 2 van het Waterstof Veiligheid Innovatie Programma (WP2 WVIP) heeft als doel om de veiligheid en de acceptatie van waterstof in het publieke domein te vergroten. Hierbij wordt zowel gekeken naar het voorkomen van incidenten (risicobeheersing), als naar de hulpverlening bij incidenten (incidentbestrijding). WP2 ontwikkelt handelingsperspectieven voor overheden en haar adviseurs, voor andere professionele betrokkenen en voor gebruikers zodat veilig en efficiënt met waterstof gewerkt kan worden.

Er is veel bekend over het veilig omgaan met waterstof, maar dat wil niet zeggen dat incidenten niet zullen plaatsvinden. Als een waterstofincident zich voordoet, is een belangrijke vraag hoe het incident heeft kunnen gebeuren. Dit met als doel daar lessen uit te trekken. Met de opgedane kennis kunnen in de toekomst immers risico's beperkt worden en mogelijk andere incidenten voorkomen worden. Een aspect dat vaak onderbelicht blijft, is welke lessen hulpdiensten kunnen leren van de inzet bij waterstofincidenten. Dit document beschrijft de resultaten van het onderzoek dat WP2 heeft gedaan naar de opgedane ervaringen bij de bestrijding van waterstofincidenten.

1.2. Leeswijzer

Na deze inleiding is in hoofdstuk 2 de beschikbare informatie over bestrijding bij waterstofincidenten beschreven. Het gaat om waterstofincidenten beschreven in de Europese HIAD-database, om het Kjørbo-incident en om overige waterstofincidenten. In hoofdstuk 3 worden aanbevelingen gedaan op basis van de informatie uit hoofdstuk 2.

2. Overzicht beschikbare informatie

2.1. Inleiding

In dit hoofdstuk wordt ingegaan op beschikbare informatie over waterstofincidenten. De informatie die beschikbaar is over (waterstof)incidenten gaat vooral over de faaloorzaken en hoe een incident voorkomen had kunnen worden. Informatie over de inzet van de hulpverlening en lessen is nauwelijks beschikbaar; de meeste incidentbeschrijvingen gaan hier niet op.

Door een werkgroep van WP2 is een inventarisatie uitgevoerd van de beschikbare informatie over de bestrijding bij waterstofincidenten in de HIAD-database (paragraaf 2.2). Ook is de brandweercommandant bij het Kjørbo-incident in Noorwegen geïnterviewd (paragraaf 2.3). Daarnaast is via het netwerk van de werkgroep een uitvraag gedaan naar waterstofincidenten (paragraaf 2.4). Tenslotte zijn nog diverse bronnen geraadpleegd om te onderzoeken of en wat in deze documenten staat over de inzet van hulpdiensten bij incidenten (paragraaf 2.5). Op basis van alle informatie is een aantal algemene bevindingen geformuleerd in paragraaf 2.6.

2.2. European Hydrogen Incident and Accident Database

De European Hydrogen Incident and Accident Database (HIAD) is een Europese database voor waterstofincidenten. Deze database is opgesteld en wordt onderhouden door de Joint Research Centre van de Europese Commissie. De scope van HIAD is breed en bevat incidenten in onder andere de chemische industrie, laboratoria, transport, waterstoftankstations en productiefabrieken. In 2021 is een analyse uitgevoerd van 706 incidenten met waterstof¹. Onderdeel hiervan zijn de 'geleerde lessen'. De lessen zijn verdeeld in de thema's productie, installatie en aanpassing, menselijke factoren en hulpverlening.

Onderdelen uit deze lessen die relevant zijn voor de hulpverlening:

- Een geul met waterstofleidingen naast hete leidingen is een potentieel gevaar (bijvoorbeeld gebeurtenis ID544). Bij de aanleg is een duidelijke scheiding nodig en aandacht voor specifieke brandbestrijding.
- Noodprocedures werden niet bijgewerkt of gevolgd (bijvoorbeeld ID665 en ID666).
- Gebrek aan inzicht en kennis door onvoldoende opleiding van het technisch personeel en ook voor het personeel van de hulpdiensten. Omdat de toepassingen van waterstofenergie nog relatief nieuw zijn, zijn hulpverleners over het algemeen minder goed uitgerust met de kennis over de verschillende ongevalsscenario's die ze kunnen tegenkomen en weten ze niet genoeg hoe ze moeten reageren. Deze statistische analyse heeft dan ook direct bijgedragen aan de actualisering van de European Emergency Response Guide.²
- Escalatie van een incident kan voorkomen worden door de uitstroom van waterstof snel te beperken.
- De installatie en de noodbediening moeten bekend zijn bij de hulpdiensten.
- Overleg en gemeenschappelijke oefeningen en opleidingen op het gebied van het veilig optreden bij waterstofincidenten zijn belangrijk.
- Slechte drainage kan de effectiviteit van de rampenbestrijding belemmeren (ID547).
- Het blussen van een brand terwijl er nog waterstof ontsnapt, kan leiden tot escalatie van het incident (ID539).

¹ Jennifer X. Wen et al. (2021), [Statistics, lessons learned and recommendations from analysis of HIAD 2.0 database](#), International Journal of Hydrogen Energy, Volume 47, Issue 38, Pages 17082-17096.

² <https://hyresponder.eu/e-platform/european-emergency-response-guide/>

De European Hydrogen Safety Panel (EHSP) heeft veiligheidsprincipes opgesteld om de kans op en de gevolgen van een incident te beperken (zie bijlage 1). Er worden geen aanbevelingen gedaan over het thema hulpverlening. Het enige wat daar in de buurt komt, gaat over het beperken van de gevolgen van transportongevallen: *‘The driver must at least know enough about firefighting, to inform the first responders arriving on site. This would guarantee that the knowledge of the vehicle and the transported gas is passed to the locals’*. Wat dat betreft zou het goed zijn als het veiligheidsprincipe over rapporteren van incidenten en opbouwen database wordt aangevuld met informatie over lessen voor hulpverleners.

2.3. Het Kjørbo-incident

Op 10 juni 2019 heeft in Noorwegen een incident plaatsgevonden bij een waterstoftankstation. Het ging hierbij om een lekkage van waterstof, gevolgd door een explosie en brand. Uit later onderzoek bleek dat de initiële lekkage is ontstaan in een opslagcilinder. Die lekkage is veroorzaakt door een assemblagefout van een specifieke plug in een waterstoftank in de hogedrukopslag.

Naar aanleiding van dit incident is door Arcadis een rapport opgesteld “Lessen van het Kjørbo-incident, Explosie en brand bij een Noors waterstoftankstation: toedracht en leerstof”. In dit rapport is een aanbeveling opgenomen die gericht is op optreden bij waterstofincidenten. Het gaat om de volgende aanbeveling: *We observeren dat de lokale brandweer diverse activiteiten heeft ontplooid: er is bijvoorbeeld een veiligheidszone ingesteld en een blusrobot ingezet om de installatie te koelen. We observeren bovendien dat er aanvalsprotocollen bestaan, opgesteld in het Europese project HyResponse. We concluderen dat de kans op succesvol handelen door de repressie verhoogd wordt als er uniforme aanvalsprotocollen bestaan voor incidenten met voertuigen en incidenten met tankstations. We bevelen aan IFV aan om de aandachtkaart voor H₂-tankstations te toetsen op de hier gegeven informatie en inzichten.*³

Op woensdag 9 november 2022 heeft een delegatie van WP2 een gesprek gehad met Sverre Junker, brandweercommandant Kjørbo (Noorwegen). Junker was de leider van de inzet bij het incident. Een weergave van de informatie van Junker staat in bijlage 2. De brandweer heeft in eerste instantie ruime afstand aangehouden (500 m), met de gedachte dat er sprake kon zijn van een terroristische actie en dat er meer explosies konden volgen. Bij de inzet is gebruik gemaakt van een blusrobot, een drone en een hoogwerker.

Aandachtspunten uit het rapport van Arcadis:

- De brandweer kende de situatie ter plaatse door een werkbezoek.
- Het technisch gebouw had geen dak, waardoor de warmtebeeldcamera van de drone gebruikt kon worden om de gevaarstelling te bestuderen.
- Het incident betrof een explosie van vrijgekomen waterstof, gevolgd door brand. De explosie vond plaats in de open lucht.
- De strategie van de brandweer was erop gericht om de boel te laten uitbranden en niet om de brand direct te bestrijden.
- Onderzoekers schatten dat 1,1 tot 3,3 kg waterstof is vrijgekomen.
- De lekkende waterstofcilinder is niet geëxplodeerd (geen fysische explosie dus) en ook de andere cilinders zijn intact gebleven. Zij hebben dus allemaal de explosie en de daaropvolgende brand doorstaan.

³ Door NIPV zijn de aandachtskarten aangepast. Zie <https://nipv.nl/waterstof/#aandachtskaarten>. Op de website van NLHydrogen is een uniforme aandachtkaart voor hulpverleners beschikbaar. Zie <https://nlhydrogen.nl/Aandachtskaart-waterstof-drukvaten-voor-hulpverleners.pdf>

- De gevolgen van de explosie zijn alleen te verklaren als er sprake is geweest van een overgang van deflagratie naar detonatie (DDT). Zo zijn door de drukgolf bijvoorbeeld airbags van auto's afgegaan.
- In de huidige QRA's voor waterstoftankstations wordt géén rekening gehouden met explosies (omdat gesteld wordt dat waterstof meteen ontsteekt).⁴

Lessen:

- *De brandweer kan bij een inzet gebruik maken van informatie over het drukverloop in een waterstofinstallatie, omdat dit gemonitord wordt.*
- *De brandweer kende het waterstoftankstation en dat was een groot voordeel bij de inzet.*

2.4. Diverse incidenten

2.4.1. Heinenoord 2007

Op 12 oktober 2007 werd melding gemaakt van kleine vlammetjes in het gras naast de Oude Maas, ter hoogte van de Heinenoordtunnel. Er was door werkzaamheden aan de buisleidingenstraat (aansluiting kerosineleiding) gas vrijgekomen. Uiteindelijk bleek de oorzaak het te zwaar belasten van de grond te zijn. Lange tijd bleef onduidelijk welk gas vrij was gekomen: waterstof (brandbaar) en/of ethyleenoxide (brandbaar en giftig). Het incident heeft tot veel onrust geleid, mede doordat omwonenden laat zijn ingelicht en doordat de sirenes in de omgeving zijn afgegaan. Het rapport dat de VROM-inspectie hierover geschreven heeft, gaat in op de oorzaak van het incident.⁵ De brandweer heeft ook een rapport geschreven, maar deze is online niet beschikbaar.⁶

Bij buisleidingen wordt de inzet van de brandweer vooral bepaald door de stof die vervoerd wordt. Bij het Heinenoordincident speelde de onduidelijkheid hierover de brandweer parten en het heeft lang geduurd voordat duidelijk werd dat het de waterstofleiding was die lekte.

Lessen:

- *Communicatie en informatievoorziening tussen exploitanten, hulpverleners en de omgeving zijn belangrijke factoren bij (waterstof)incidenten.*

2.4.2. Snelweg België 2012

Het 'Infoblad energietransitie voor incidentbestrijders' van het NIPV beschrijft een ongeval met waterstoftubes in België.⁷ Op 25 april 2013 waren twee vrachtwagens bij een ongeval betrokken op een snelweg in België. Eén van de vrachtwagens vervoerde 22 waterstoftubes van Air Liquide. Bij het ongeval schaarde deze vrachtwagen, kwam op de kop in de berm terecht en vloog in brand. De tubes raakten los en verspreidden zich over de snelweg en 'deze tubes lekten hun inhoud'. Tijdens de inzet heeft men een veiligheidsafstand van 300 m aangehouden en heeft men ingezet op koeling van de waterstoftubes. Met behulp van een warmtebeeldcamera heeft de brandweer de plek kunnen vaststellen waar de waterstof vrij kwam. Gezien enkele 'geblakerde' waterstoftanks zal er waarschijnlijk in elk geval één waterstoftube hebben gefakkeld.

⁴ RIVM (2016). [Risico- en effectafstanden waterstoftankstations](#).

⁵ VROM-Inspectie (2009). [Buisleidingenincident Heinenoord, 12 oktober 2007 - Onderzoek naar de oorzaak](#).

⁶ Regionale Brandweer Zuid-Holland Zuid, *Feitenevaluatie incident buisleidingenstraat Heinenoord 12 oktober 2007*, gemeente Binnenmaas.

⁷ NIPV (2022). [Infoblad energietransitie voor incidentbestrijders](#).



De brandweer wist niet wat de mechanische impact van het ongeval en de impact van de warmtestraling was op de tubes. Het heeft uren geduurd voordat de medewerkers van Air Liquide ter plaatse waren en zij konden toen kennelijk geen zekerheid geven of het veilig was om de tubes te bergen. De brandweer heeft namelijk de tubes anderhalve dag gekoeld, hoewel koelwater een issue was. De beschrijving is op dit punt niet duidelijk. Heeft de brandweer met de warmtebeeldcamera kunnen zien of en hoeveel tubes stonden te fakkelen? Heeft men kunnen horen dat de tubes waterstof lekten? Het dichtzetten van afsluiters op de tubes was namelijk geen optie, omdat *'het risico van die handeling te groot was afgewogen tegen het effect dat het afsluiten zou opleveren'*. Zodra de uitstroom van waterstof was gestopt, is men de tubes gaan inspecteren. Enkele tubes die nog niet waren leeggelopen, zijn door technici van Air Liquide leeg gemaakt met behulp van een afblaasinstallatie. Daarna is men de tubes en de vrachtwagen gaan bergen. Beelden daarvan zijn online te vinden.⁸

Lessen:

- *Verifieer welke stof vervoerd wordt.*
- *Haal kennis en informatie binnen door contact met de leverancier of eigenaar van de waterstof-tubes op te nemen en zo mogelijk ter plaatse te laten komen.*
- *Probeer zo snel mogelijk na te gaan of er sprake is van waterstoflekages en/of van waterstof-fakkels.*
- *Op snelwegen is koelend vermogen een aandachtspunt.*
- *De brandweer had de keuze te koelen om escalatie te voorkomen of afstand nemen en de omgeving evacueren.*

2.4.3. Doetinchem 2021

Op donderdag 28 oktober 2021 lekte door onbekende oorzaak waterstof uit een waterstoftank op een nieuwe bus van Arriva die geparkeerd stond in de werkplaats. Het vrijgekomen gas ontstak waardoor meerdere fakkelbranden ontstonden. Eén van de fakkelbranden was horizontaal gericht in plaats van verticaal omdat het uitstroombuisje verbogen was. Uiteindelijk gingen de bus en de werkplaats verloren. Het Team Brandonderzoek (TBO) van de veiligheidsregio Noord- en Oost-Gelderland heeft een rapport geschreven over het incident in Doetinchem.⁹

Aandachtspunten uit dit rapport zijn:

- Bij bussen is de uitstroomrichting van de TPRD omhoog, maar door impact kan de uitstroomrichting veranderen.
- De fakkels zorgden voor domino-effecten omdat de bus binnen stond.

⁸ <https://www.youtube.com/watch?v=wqkJldAqd-U>

⁹ Team Brand Onderzoek VNOG (2022). *Rapport Brandonderzoek Waterstofbus Doetinchem*. Dit rapport is niet online beschikbaar.

- Afstand tot objecten, toevoer van koele lucht en afvoer van warme lucht door de kapotte lichtstraat beperkten de omvang van de brand. Dus een aanbeveling kan zijn om bij een waterstofbrand alles wat open kan, open te zetten.
- De waterstofwolk is ontstoken voordat het waterstofdetectiesysteem waterstof heeft gedetecteerd. Er zat enkele seconden tussen eerste puf en de explosie.
- Afgeblazen tanks kunnen gevaarlijk zijn (of zijn gevaarlijk?). Na afblazen kan door onderdruk lucht naar binnen worden gezogen. Als daar nog een restje waterstof zit, kan zich een ontvlambaar mengsel van waterstof en lucht (zuurstof) in de tank vormen.
- Als één waterstoftank is afgeblazen wil dat niet zeggen dat de andere waterstoftanks ook zijn afgeblazen.
- Waterstofvlammen zijn slecht te zien.
- De bevelvoerder heeft geen operationele informatie gebruikt tijdens het aanrijden en ook niet toen hij ter plaatse was. De Officier van Dienst heeft de aandachtskaart na het ter plaatse komen wel geraadpleegd.
- Bij dit incident is gekozen voor een defensieve buiteninzet.
- Er is commentaar op de aandachtskaarten van de veiligheidsregio in de zin dat informatie ontbreekt.¹⁰ Er zou onder andere meer aandacht moeten zijn voor de hitte van vlammen, het harde geluid dat gepaard gaat met afblazen, de kans op een (krachtige) explosie en het risico van het koelen met bluswater van de TPRD waardoor deze niet meer functioneert.
- Tijdens de inzet zijn diverse ‘fouten’ gemaakt. Het rapport benoemt de volgende:
 - Er is geen opdracht gegeven ontstekingsbronnen uit bluspakken te verwijderen.
 - Het is niet duidelijk gemaakt wat de gevarenzone is.
 - Men heeft geen gebruik gemaakt van de explosiegevaarmeter of van CO-detectie.
 - Men heeft geen gebruik gemaakt van een warmtebeeldcamera.
 - Er is bluswater ingezet.¹¹
 - De tankautospuut (TS) is op een potentieel gevaarlijke plek geparkeerd.

Het rapport beschrijft een aantal zaken niet of nauwelijks die wel relevant (kunnen) zijn:

- Het rapport beschrijft nauwelijks wat de aanwezigen die het begin van de brand hebben meegemaakt, gezien en gehoord hebben.
- Het rapport beschrijft niet dat het afblazen van de TPRD zoveel geluid met zich meebracht, dat de brandweer communiceerde via whatsapp.
- Het rapport beschrijft niet hoe is vastgesteld dat er geen waterstofrisico meer was.
- Het rapport beschrijft niet waarom er onder de rook weinig zicht was, terwijl de rook niet lager kwam dan 3 meter.
- Het rapport beschrijft niet welke ‘aandachtspunten in de beginfase van het incident zijn ontstaan’ door gebrek aan kennis en het niet lezen van aandachtskaarten.

Lessen:

- *Het geluid van het afblazen c.q. affakkelen van een waterstoftank moet niet onderschat worden. Het affakkelen van de waterstoftanks zorgde voor dermate veel geluid, dat de brandweer niet kon communiceren. Men heeft in de periode dat de waterstoftanks afbliezen, gebruik gemaakt van Whatsapp.*
- *Detectie van waterstof kan bedoeld zijn als voorwaarschuwing, als signaal om het waterstofsysteem uit te schakelen en/of om vluchten mogelijk te maken (geluid kan dat ook bewerkstelligen). Detectie hoeft niet een incident te voorkomen: in Doetinchem was de snelheid waarmee het*

¹⁰ Er zijn overigens ook andere aandachtskaarten, bijvoorbeeld van Brandweer Nederland.

¹¹ Het is niet duidelijk of dat op de waterstoftanks op de bus gericht was.

incident zich ontwikkelde sneller dan de detectiesnelheid. De aanwezigheid van detectie kan schijnveiligheid geven. Ventilatie kan ervoor zorgen dat waterstof niet gedetecteerd wordt.

2.4.4. Groningen 2021

Een waterstofbus die op de stalling aan de Peizerweg staat, liet tijdens het tanken een luide pieptoon horen. De brandweer kwam ter plaatse om de bus te controleren. Over de oorzaak en de afloop van de storing aan de tankinstallatie is niets bekend. De meldkamer gaf aan het lastig te vinden hoe het incident aangemaakt moest worden in het meldingsysteem. Er was geen keuze beschikbaar om aan te geven dat het ging om een waterstofbus. De melding is daarom aangemaakt onder HV (hulpverlening) en niet onder IBGS (incidentbestrijding gevaarlijke stoffen).

Lessen:

- *Juiste incidentbeschrijving meldkamer van belang voor optreden.*

2.4.5. Incidenten met accu's

Bij verschillende incidenten met loodaccu's werd koolmonoxide (CO) gemeten, zonder dat er een CO-bron te vinden was. CO-detectoren reageren echter ook op waterstof. Waterstof ontstaat als loodaccu's overladen worden. Waterstof is veel lichter dan lucht waardoor een CO-melder op een hogere verdieping in alarm kan gaan.

De waterstofconcentratie is in werkelijkheid altijd groter dan wat de CO-meter aangeeft, maximaal een factor 10. Hoe lager de concentraties, hoe groter de verschillen tussen wat de display aangeeft en de werkelijke waterstofconcentraties. Waterstof wordt al op ppm-niveau gemeten, een niveau dat ver onder de laagste explosiegrens ligt van 4 vol.% (=40.000 ppm).

Lessen:

- *Veel CO-meters meten niet alleen koolmonoxidegas maar ook waterstofgas. Zorg dat gebruikers van CO-meters hiermee bekend zijn.*
- *Gebruik een warmtebeeldcamera om de status van accu's te controleren als het meten van CO mogelijk is veroorzaakt door waterstof.*

2.4.6. Potentieel incident: ophoping waterstof in straatpot

Uit een inventarisatie van aardgasincidenten¹² blijkt dat er tussen 2008 en 2018 372 gasuitstromingen waren, alle zonder ontsteking. Zo'n 65% van de uitstromingen waren bij gaspotten. Dat zijn half gesloten systemen die toegang geven tot ondergrondse afsluiters.¹³ Bij gebruik van aardgasleidingen voor transport van waterstof bestaat het risico dat waterstof zich ophoopt in een straatpot.



Lessen hadden alleen betrekking op het voorkomen van incidenten:

- Praktijkproeven uitvoeren voor straatpotten en afblaasbeveiligingen
- Personeel specifiek opleiden voor waterstoftransport.
- Aanpassen onderhoud van afsluiters bij gebruik in waterstofnetwerk.
- Simpele constructiewijzigingen doorvoeren: voorkomen is beter dan genezen.

¹² Afstudeerscriptie van Derk Bakema van de Gasunie. In de scriptie stond de vraag centraal wat geleerd kan worden van kleine uitstromingen van aardgas met het oog op het grootschalig transport van waterstof door aardgasleidingen. Zijn scriptie is vertrouwelijk, maar de gegevens komen uit de onlineverdediging van zijn scriptie.

¹³ Verder 15% aanzienlijke bovengrondse lekkage, 11% geringe ondergrondse lekkage, 5% geringe bovengrondse lekkage en 0,3% aanzienlijke ondergrondse lekkage.

2.5. Geraadpleegde bronnen

Er zijn diverse bronnen geraadpleegd om te onderzoeken of en wat in deze documenten staat over de inzet van hulpdiensten bij incidenten. De lijst met geraadpleegde bronnen staat in bijlage 3. In geen van deze bronnen is bruikbare informatie gevonden. De diverse documenten beschrijven wel de oorzaak van incidenten en/of hoe dat voorkomen had kunnen worden, maar niet welke lessen hulpdiensten hieruit kunnen leren.

2.6. Bevindingen

Uit de opgehaalde informatie komt een aantal algemene bevindingen naar voren. Allereerst blijkt dat de informatie die beschikbaar is over (waterstof)incidenten vooral gaat over de faaloorzaken en hoe dat voorkomen had kunnen worden. Er is weinig informatie beschikbaar over de inzet van hulpdiensten.

Verder blijkt dat er tijdens een waterstofincident veel onduidelijkheid is wat de inzet complex maakt. Voorbeelden zijn:

- Aan een waterstoftank van vezelversterkt polymeer kan je niet zien hoe vol of leeg de tank is. Een warmtebeeldcamera helpt dus niet. Je moet er van uit gaan dat de waterstoftank vol is, tenzij het tegendeel bewezen is. Je moet altijd ervan uitgaan dat er iets achterblijft; leeg is nooit echt leeg. Het incident kan dan voor de brandweer wel onder controle zijn, maar bij de overdracht moet je wel aangeven dat er nog wat waterstof in de tank kan zitten.
- Er bestaat onduidelijkheid of waterstoftanks aan elkaar gekoppeld zijn en hoe het dan zit met het leeglopen of leegblazen van waterstoftanks. Cilinders in een rek zijn aan elkaar gekoppeld. Er zit één aansluiting op, dus als één cilinder lek is, lopen uiteindelijk alle cilinders leeg.
- Een incident bestaat uit fasen: de waterstoftank is (nog) niet afgeblazen, de waterstoftank is aan het afblazen c.q. affakkelen of de waterstoftank is afgeblazen. Wat qua inzet in de ene fase goed is, hoeft dat in de andere fase niet te zijn. Fase, omstandigheden en type installatie bepalen de inzetstrategie tijdens een fase.
- Een waterstoftank kan door overdruk fysisch exploderen. Oorzaken hiervoor zijn bijvoorbeeld het aansluiten van een 700 bar systeem op een 350 bar systeem, de aanwezigheid van een zwakke plek in de waterstoftank, veroudering of het gebruik van verkeerd materiaal.

3. Aanbevelingen

3.1. Inleiding

De lessen uit de waterstofincidenten in hoofdstuk 2 zijn vertaald naar de aanbevelingen in dit hoofdstuk. De aanbevelingen hebben dus geen betrekking op het voorkomen van incidenten.

3.2. Melden (waterstof)incident

Een brand of lek van een waterstofinstallatie wordt gezien als een incident en een brand in de buurt van een installatie als een bijna-incident met een waterstofinstallatie. Het is van belang dat dit wordt onderkend op het moment dat een incident wordt gemeld. De meldkamer moet op de hoogte zijn van waterstofinstallaties in het gebied.

3.3. Rapportage waterstofincident

De informatie die beschikbaar is over (waterstof)incidenten gaat vooral over de faaloorzaken en hoe dat voorkomen had kunnen worden. Aanbevolen wordt dat veiligheidsregio's na elk waterstofincident een rapport opstellen waarbij nadrukkelijk aandacht wordt besteed aan de wijze van optreden en de problemen die hierbij naar voren kwamen. Die rapportages moeten gedeeld worden binnen de veiligheidsregio's in Nederland. Een format voor een dergelijke rapportage zou daarbij kunnen helpen. Mogelijk ligt hier een rol voor het programma Veilige Energietransitie van Brandweer Nederland.

3.4. Training en kennisopbouw

Eén van de belangrijkste maatregelen voor het optreden bij waterstofincidenten, is het trainen en onderwijzen van personeel van hulpverleningsdiensten, met name de brandweer. Het voorbereiden op calamiteiten en het leren kennen van de lokaal aanwezige waterstofinstallaties verdient zich terug bij onverhoopte onregelmatigheden en zwaardere incidenten. Uit de informatie komt naar voor dat er veel vragen zijn over het herkennen van waterstofcilinders/-tanks en vooral hoe de brandweer kan bepalen hoe vol of leeg een cilinder is.

Aanbevolen wordt om het kennisniveau te verhogen. Dit zou moeten bestaan uit:

- kennis van waterstof en de gevaren;
- kennis van waterstofhouders (cilinders, tubes, buisleiding)
- praktijkervaring met opslagsystemen;
- kennis van lokaal aanwezige waterstofinstallaties;
- afspraken over advisering nieuwe waterstofinstallaties;
- kennis van de verschillende mogelijkheden van optreden bij een incident.

Deze aanbeveling is van belang voor alle veiligheidsregio's en voor de organisaties die opleidingen op officiersniveau aanbieden.

3.5. Model voor inzet bij waterstofincidenten

Bij een waterstofincident heeft de brandweer vaak de keuze tussen een defensieve inzet (bijvoorbeeld afstand houden) of voor een offensieve inzet (bijvoorbeeld koelen). Welke keuze bij een waterstofincident gemaakt kan worden, is op voorhand niet te zeggen want dat hangt immers van de omstandigheden af. Aanbevolen wordt dat voor waterstofincidenten een model wordt opgesteld waarin

criteria staan aan de hand waarvan de brandweer haar inzet kan bepalen.¹⁴ Aanvullend hierop wordt het NIPV aanbevolen om de Scenarioboeken uit te breiden met waterstof gerelateerde incidenten.

Aanbevelingen bij inzet:

- De brandweer moet weten waar vaste waterstofinstallaties staan. Van mobiele installaties, waterstoftransport of waterstofauto's zal de brandweer dat niet weten.
- De brandweer moet nagaan van welk materiaal bij brand betrokken waterstoftanks of -cilinders zijn gemaakt, hoe vol de waterstoftanks zijn danwel of ze afgeblazen zijn.
- De brandweer moet zo snel mogelijk zien te achterhalen of het een incident met een waterstofinstallatie betreft of dat de waterstofinstallatie bedreigd wordt door een externe brand.
- Zo spoedig mogelijk na de melding moet de meldkamer navraag doen of informatie over het drukverloop beschikbaar is (wat is het drukverloop, is die dalende of stijgende? Zag je wat vreemds afgezien van fluctuaties door temperatuurverschillen).
- Op basis van de risicoperceptie en -inschatting van de brandweer worden beschermingsmiddelen en opstellijnen bepaald. De risicoperceptie en -inschatting van de brandweer hoeft echter niet overeen te komen met die van een operator of eigenaar van een waterstofinstallatie. Het is daarom belangrijk dat de brandweer zich zo snel mogelijk laat informeren door de operator/eigenaar.
- De brandweer moet altijd rekening houden met de kans dat een waterstoftank explodeert, ook al is die kans klein.
- Een metalen waterstoftank kan gekoeld worden, een tank gemaakt van polymeer niet omdat dat warmte slecht geleidt.
- De verwachting is dat met waterstof de brandweer meer zal kiezen voor defensieve inzetten en gebruik zal maken van onbemande inzetten.
- Het inschatten van de explosiekans is moeilijk. Als die kans klein genoeg geacht worden (afhankelijk van de situatie), dan is redding mogelijk met gebruikmaking van bluspak en normale PBM's.
- Op basis van ervaringen hanteert de Veiligheidsregio Rotterdam-Rijnmond de vuistregel dat bij waterstofdrukken hoger dan 35 bar waterstof altijd direct zal ontsteken. Bij een druk lager dan 35 bar hoeft waterstof niet altijd direct te ontsteken.

3.6. Adviesrol veiligheidsregio

Nederland is verdeeld in 25 veiligheidsregio's. Iedere veiligheidsregio zet zich in voor de veiligheid van de inwoners en bezoekers van dat gebied. Zo zorgt de veiligheidsregio ervoor dat er een brandweer is. Ook maakt de veiligheidsregio afspraken over de aanpak van rampen en crises.

Aanbevolen wordt om de adviesrol van de veiligheidsregio duidelijk te omschrijven voor zover het gaat om het gebruik van waterstof. Bij een initiatief voor het gebruik van waterstof is het van belang dat de gemeente (of omgevingsdienst) de veiligheidsregio vanaf het begin betreft. Het gaat dan om de aspecten veiligheid, bereikbaarheid en bestrijdbaarheid. De veiligheidsregio kan toetsen of wordt voldaan aan eisen voor wat betreft bereikbaarheid en bestrijdbaarheid. De veiligheidsregio kan zich dan ook voorbereiden op eventuele calamiteiten.

Het beleidsplan van de veiligheidsregio (artikel 14 Wet veiligheidsregio's) geeft een beschrijving van de omvang van de adviesfunctie en kan daarbij criteria stellen voor het al dan niet betrekken van de veiligheidsregio bij waterstofinitiatieven. Ook bevat het beleidsplan een beschrijving van de wijze waarop gemeenten de veiligheidsregio in de gelegenheid stellen haar adviesfunctie uit te oefenen tot omgevingsplannen. In het omgevingsplan moet de Gemeente rekening houden met de

¹⁴ Een dergelijk model bestaat voor gebouwbranden, zie het NIPV- rapport "[Kwadrantmodel voor gebouwbrandbestrijding](#)".

mogelijkheden om een brand, ramp of crisis te voorkomen, te beperken en te bestrijden¹⁵. Dit betekent dat de gemeente ter uitvoering van deze instructieregel advies zal moeten inwinnen bij de veiligheidsregio en dat advies moet betrekken bij het toelaten van activiteiten met waterstof.

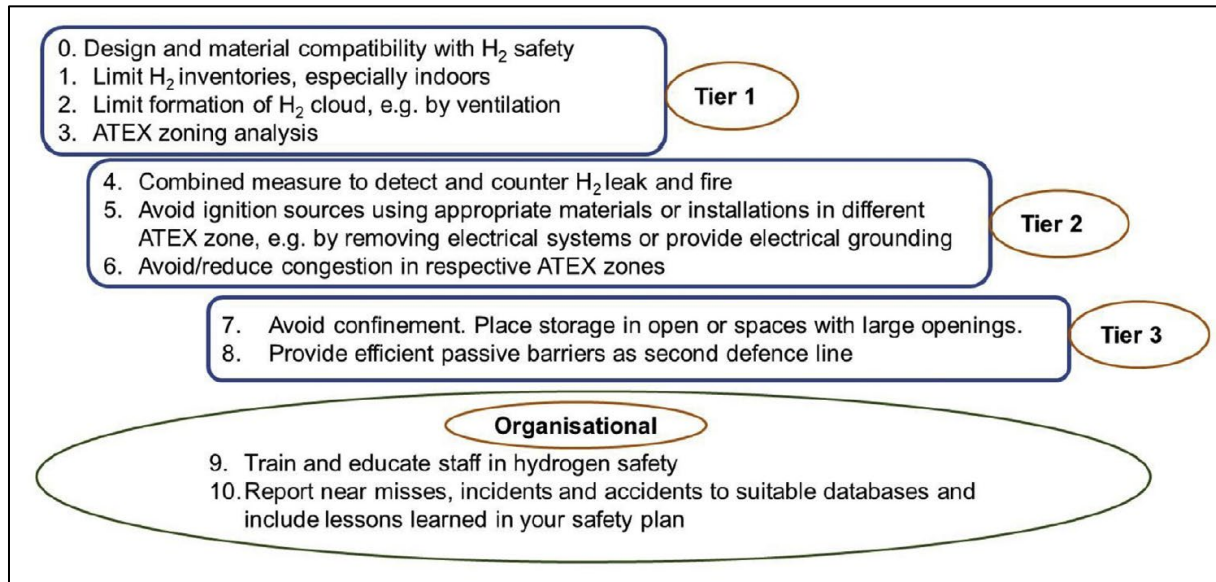
3.7. Gebruik van CO-meter voor waterstof

Aanbevolen wordt om hulpverleners bekend te maken met de kruisgevoeligheid van een CO-meter voor waterstof. Een CO-meter is bedoeld voor detectie van koolstofmonoxide (CO), maar veel CO-meters reageren ook op waterstof. Het is van belang dat hulpverleners de werking van de beschikbare CO-meter kennen, hoe deze te gebruiken en hoe de resultaten te interpreteren.

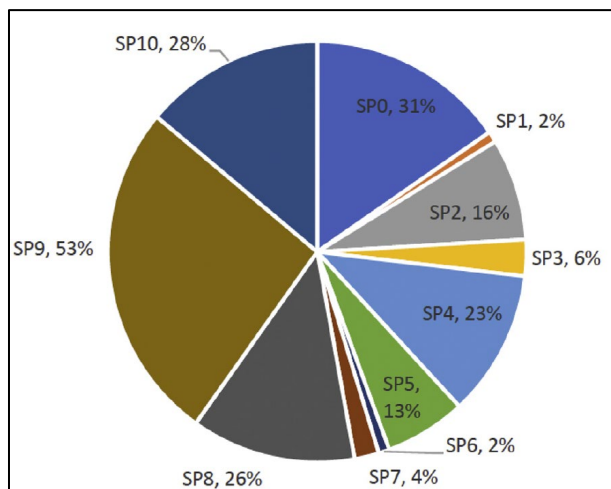
¹⁵ Artikel 5.2 Besluit kwaliteit leefomgeving

Bijlage 1. Veiligheidsprincipe EHSP

Wen et al. (2021) beschrijft de 11 veiligheidsprincipes die de European Hydrogen Safety Panel (EHSP) heeft opgesteld. De principes zijn gegroepeerd in verschillende niveaus ('tiers') en zijn allemaal bedoeld om de kans op en de gevolgen van een incident te beperken, zie Figuur 2.1 en Figuur 2.2.



Figuur 2.1 Veiligheidsprincipes (SP's) volgens de EHSP. Bron: Wen et al. (2021).



Figuur 2.2 Percentages van de gebeurtenissen die gerelateerd zijn aan de veiligheidsprincipes. Bron: Wen et al. (2021).

Op basis van deze indeling, zijn onder andere de volgende aanbevelingen gedaan:

- Adequate training van personeel is essentieel (SP9) en van het grootste belang.
- Passieve en actieve veiligheidsmaatregelen moeten een cruciale rol krijgen. Lekdetectie (SP4) en ATEX-zonering (SP3, SP5) moeten worden toegepast om de kans op incidenten te verkleinen.
- Het is noodzakelijk om apparatuur en systemen up-to-date en schoon te houden, gecombineerd met passend toezicht en onderhoud.

Bijlage 2: Informatie Sverre Junker

Op woensdag 9 november 2022 heeft een delegatie van WP2 een gesprek gehad met Sverre Junker, brandweercommandant Kjørbo (Noorwegen). Junker was de leider van de inzet bij het incident bij het waterstoftankstation.

Hieronder staat een puntsgewijze weergave van het gesprek.

- Alle brandweerkorpsen in de omgeving zijn na de opening van het waterstoftankstation langs geweest en hebben gezien wat ze moeten doen als er een incident is.
- Er zijn dronebeelden van de brand online gekomen, maar de brandweer weet niet wie de beelden gemaakt heeft. Deze drone was weg toen de brandweer arriveerde.
- Toen de brandweer arriveerde, reed het verkeer nog steeds voorbij het waterstoftankstation. Junker heeft het over een motorrijder die viel, maar het is niet duidelijk of dat van de schrik was van de explosie of dat dat kwam door overdrukeffecten.
- Bij het waterstoftankstation werd waterstof geproduceerd.
- Op de vraag wie het waterstoftankstation vergund heeft, antwoordde Junker dat de 'Fire Directorate' dat gedaan heeft. Junker vertelde dat tegen de brandweer is gezegd dat het risico op een explosie zeer klein was.
- Er is een veiligheidsrapport geschreven met 10 punten. De 10 punten hebben betrekking op maatregelen, maar Junker heeft het rapport niet en weet niets over de maatregelen.
- Hoewel er eerder incidenten zijn geweest, heeft de brandweer over het algemeen weinig ervaring met waterstof in Noorwegen.
- De brandweer was 8 minuten na de melding ter plaatse. De tankautospuiter (TS) reed vlak langs het waterstoftankstation. De eerste TS'en stonden dichtbij, anderen op 200 m terwijl het publiek op 500 m moest blijven.
- Het eerste waar de brandweer aan dacht, was of hier sprake was van een terroristische aanslag, gezien de aanslag in 2011 in Utøya.
- De brandweer heeft een defensieve strategie gebruikt. Ze konden niet bij de brand komen en daarom hebben ze gebruik gemaakt van een drone om beter beeld van de situatie te krijgen. Men heeft de toegangsdeur geopend en met behulp van een blusrobot hebben ze de omgeving gekoeld. De blusrobot was niet voorzien van een camera, daarom heeft men met tape een mobiele telefoon met camera op de blusrobot geplaatst.
- Het waterstoftankstation is ommuurd. De muren waren aan beide kanten kapot. Op één van de foto's is te zien dat er stukken op de weg liggen.
- Junker had te weinig kennis van waterstof en hoe de situatie aan te pakken. Op papier zou de alarmcentrale de kennis à la AGS en meetplanleider (MPL) in huis moeten hebben, maar in de praktijk kreeg Junker de beste informatie van de experts. Zo kreeg hij van de alarmcentrale te horen dat er kans was op een BLEVE, terwijl de experts van NEL zeiden dat dat risico niet mogelijk was.
- Junker geeft meermaals aan dat hij zich niet competent voelde. Hij heeft veel baat gehad van de hulp van experts van Uno-X en NEL. Die experts zaten vast in de file maar via telefoon kon hij informatie krijgen. Zo is hem geadviseerd de brand te laten branden en om apparatuur er naast te koelen.
- De Deense bouwers van het waterstoftankstation zijn per vliegtuig gekomen en arriveerden de volgende ochtend. Zij hebben de overgebleven tanks met stikstof gespoeld ('purgem').
- Zover als WP2 het begrijpt, is er een Commando Plaats Incident (CoPi) ingericht om overzicht te krijgen en te houden.
- De omgeving is niet geëvacueerd, omdat men al snel de controle had over het incident. Bewoners hadden anders naar een hotel gekund.
- Er was veel media-aandacht en daarom heeft men een persconferentie ingelast.

- De warmtebeelden zijn met de drone gemaakt. Wat je ziet op een warmtebeeldcamera kan in het echt er anders uit zien.
- Op één van de foto's is een hoogwerker te zien die het waterstoftankstation in zijn geheel koelt.
- Over de oorzaak van het incident geeft Junker aan dat men geen signaal heeft gehad dat er een lek was. Men weet ook niet wat de ontstekingsbron was.
- Op de vraag of er een rapport is verschenen, vertelt Junker dat er een rapport is en dat dit naar NEL is gestuurd, maar dat het rapport niet publiekelijk beschikbaar is.

Vragen en antwoorden:

Has the awareness of hydrogen and the dangers of hydrogen been raised within the Norwegian fire department after the explosion in Kjørbo?

Junker denkt niet dat de competentie van brandweermensen op het gebied van waterstof hoog is. Er zijn weinig waterstoftankstations (komt door de markt). Ze moeten van veel gebieden kennis hebben.

Is it possible to obtain a Norwegian document of the fire department how to handle an incident with a hydrogen tankstation? This to compare it with the Dutch version.

Hun aanpak is niet veranderd na Kjørbo. Het waterstoftankstation is nu een parkeerplaats.

While on your way to the incident, did you use information of the object or were you busy with giving instructions to your personnel?

Junker had geen enkele informatie. Hij kwam van huis en had veel vragen.

When was the situation considered safe and based on what kind of information?

Junker voelde zich niet prettig bij het incident; hij was niet zeker dat er niet nog iets kon gebeuren. De meeste signalen stonden op veilig en er was druk om de snelweg weer te openen. Junker was daarom blij toen de experts arriveerden. Een positieve ontwikkeling was toen ze met de drone zagen dat de temperatuur aan het dalen was, want bij een waterstoflek neemt de temperatuur juist toe.

Ze moesten eerst weten van wie de auto's waren die op de weg stonden en daar waren achtergelaten. Binnen 30 minuten wisten ze dat. Daarnaast was er bij het incident alleen materiële schade. Als er sprake was geweest van een aanslag, zouden er slachtoffers zijn gevallen. Bij een eventuele tweede explosie konden er wel slachtoffers vallen en daarom hielden ze een grote veiligheidsafstand aan.

Het was makkelijk om verkeer op de snelweg van het incident weg te houden. Als het incident in een stad was gebeurd, had het incident veel langer geduurd. Junker verwijst naar botsing met treinen in Lillestrøm in 2000. Dat incident duurde enkele dagen.

What were the lessons learned for the fire department?

- Je moet rekening houden met de omstandigheden.
- Je moet soms beslissingen nemen die nadelig zijn voor anderen
- Junker heeft zich veel zorgen gemaakt over eigen veiligheid.
- Het incident kon veel erger uitpakken dan is gebeurd (voetgangers, fietsers).

There was an accident in the Netherlands and a team of the fire brigade investigated the accident. In the report it was written that several mistakes were made but these had no consequences. Do you recognize this in the Kjørbo accident?

Ja, Junker was bijvoorbeeld niet blij hoe de eerste tankautospuut parkeerde. De chauffeur dacht dat er misschien mensen gered moesten worden. Ze waren te offensief bezig en hadden meer afstand

moeten houden en gebruik moeten maken van bijvoorbeeld een verrekijker. Men nam te veel risico. Junker haalt een voorbeeld aan van een Zweedse brandweerman die ernstig verbrand is bij een ander, niet gerelateerd, incident. De tankautospuit veroorzaakte daar de ontsteking.

Did the fire brigade switch off the (production) installation or was the production of hydrogen already stopped when the fire brigade arrived?

De noodprocedure werkte naar behoren en als gevolg hiervan stopte de productie van waterstof.

Hieronder staat de presentatie van Sverre Junker.

 Hydrogenexplosion 10th of juni 2019 Head of fire operation Sverre N. Junker, Asker og Bærum brann og redning IKS	The opening 22.11.2016  Climate- and environment minister Vidar Helgesen, Colonialmajor Odd Reitan, Countymajor Anette Solli CEO in Enova Nils Kristian Nakstad and CEO Uno-X Group Vegar Kulset Eksplosjon i hydrogenstasjon Side 2
1. Cooperation project  Uno-X Nel Nippon Gases (Proaxier) Enova with 40% financial support 30 millions (NOK) Aim - 20 Uno-X hydrogen stations in Norway 160 hydrogenpowered personal vehicles (2,7 millions other vehicles) Eksplosjon i hydrogenstasjon Side 3	2. The first hydrogenstation in Norway  Hydrogenproduktion with solarenergy from powerhouse building Eksplosjon i hydrogenstasjon Side 4
3. APPROVED - The hydrogenstation was approved - Information about the owner, storage of hydrogen and location of the station - Safety report with 10 points - The fire department was orientated about the station - Inspections was done with the fire department and the Fire directorate in Norway - Another hydrogen station was planned another place in Bærum - It opened a few years ago	4. NOT THE FIRST GAS ACCIDENT 5th of April – 9th of April 2000. Traincollision Lillestrøm, propanleak and fire. Evacuation 14th of July 2005. Gasexplosion Shell at Strand in Bærum. Evacuation. The motorway was closed (E-18) from 18.30 pm to 01.30 am 11th of Desember 2008. Propanleak Shell station at Solbrå in Asker. The motorway was closed (E18) from kl. 08.30 am. Valve closed and the leak stopped. - The motorway (E-18) opened again at 09.00 am
5. NOT THE FIRST GAS ACCIDENT 25th of October 2016. Hydrogenleak at Mongstad. 600 persons were evacuated. 7th of february 2018. Propanleak at Schlumberger in Asker. - Many exsamples with fire in acetylenbottles – car workshops - Many gasaccidents other places in Norway and abroad	6. Asker og Bærum fire department Oslo fire department Nedre Romerike fire department Police Ambulances Uno- X Nel
7.	8.

MESSAGE TO THE FIRE FIGHTERS

- Kl. 17.29 110-central recieved telephone about explotion in Sandvika/Kjørbo
- The message was short and clear
- Gjettum fire station, Bekkestua fire station og Asker fire station
- 3 fire trucks, watertruck, fire lift og head of the fire operation
- Kl. 17.37 first fire truck at the place – no reservations and orientation given til 110-central

Unclear situation



Lot of people - curious
People hurt ?
No reservations
Secure the accident place and the surroundings
Motorway-E18 closed – 17.41 pm
500 meters og 200 meters safety distance

Explosion i hydrogenstasjon

Side 10

9.

Threat image



Terror ?
Done by purpose ?
Parked cars ?
Potential for several explotions ?
We all remember the 22 of July 2011

Explosion i hydrogenstasjon

Side 11

10.

Limitations



My own capacity
The resources
Police
Ambulances
Need for leader support
110 – central

Explosion i hydrogenstasjon

Side 12

11.

DEFENSIV STRATEGY



11 FIRE TRUCKS
LOCATIONS
LEADERSUPPORT
POLICEHELICOPTER
DRONE
STAFF UNO-X AND NEL

Explosion i hydrogenstasjon

Side 13

12.

SUPPORT



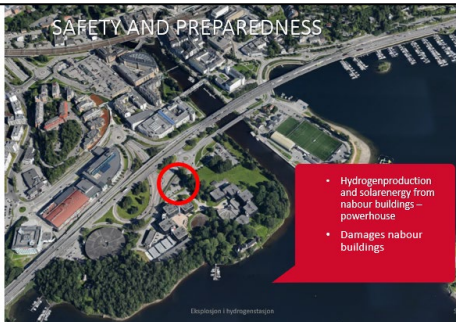
Uno-X Lysaker
110 central– Lysaker
Notification municipality
Drone – delay
E-18 closed
Hotel Oslofjord

Explosion i hydrogenstasjon

Side 14

13.

SAFETY AND PREPAREDNESS



- Hydrogenproduction and solarenergy from nabour buildings – powerhouse
- Damages nabour buildings

Explosion i hydrogenstasjon

Side 15

14.

Defensive effort



Nel og Uno-X support
Uno-X at Lysaker
110-central at Lysaker
Media
Press conferanse

Explosion i hydrogenstasjon

Side 16

15.

LUF og DRONE

- Fire lift
- Cooling
- Controlled fire
- Supported with professional competence



Explosion i hydrogenstasjon

Side 17

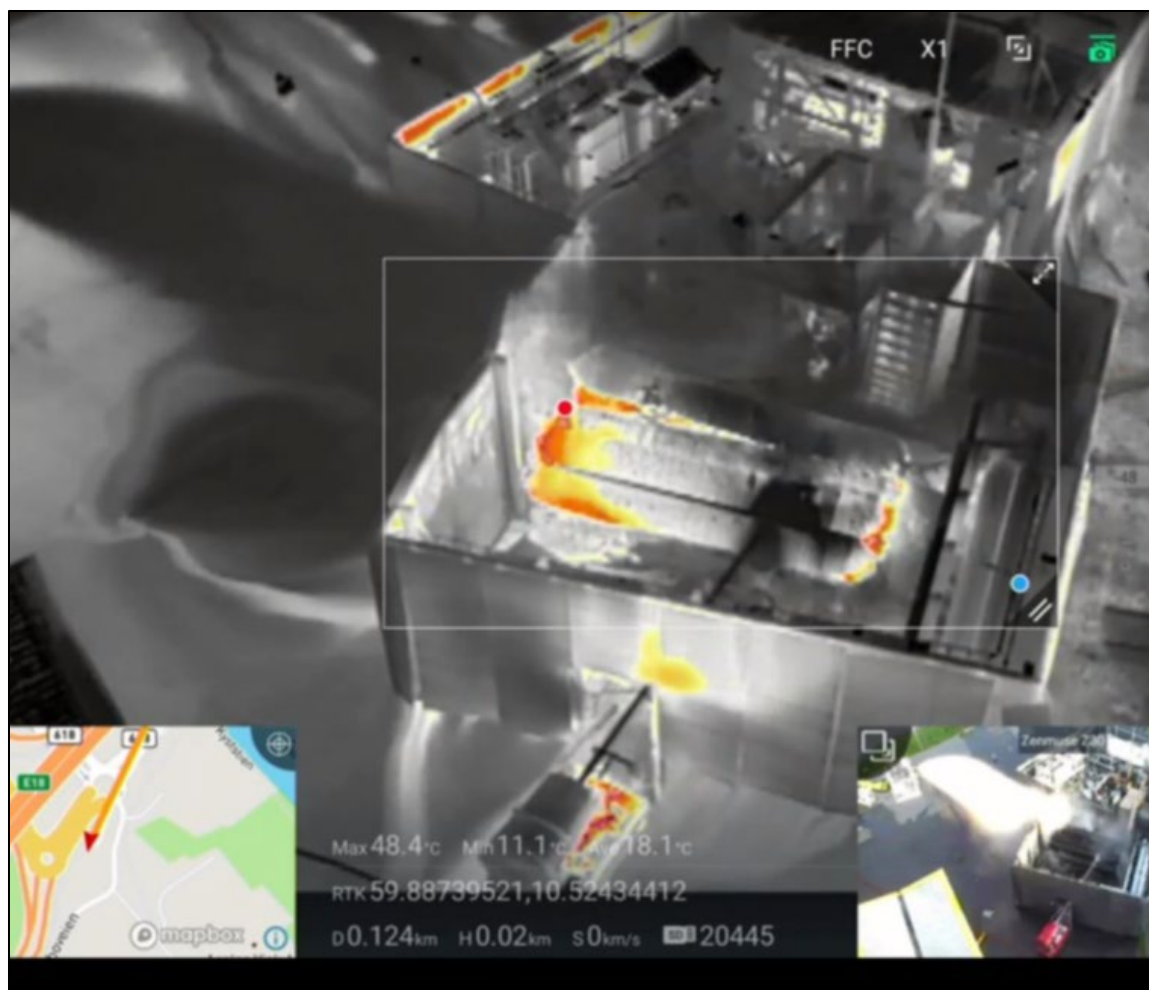
16.

Drone – with transfer to 110 central

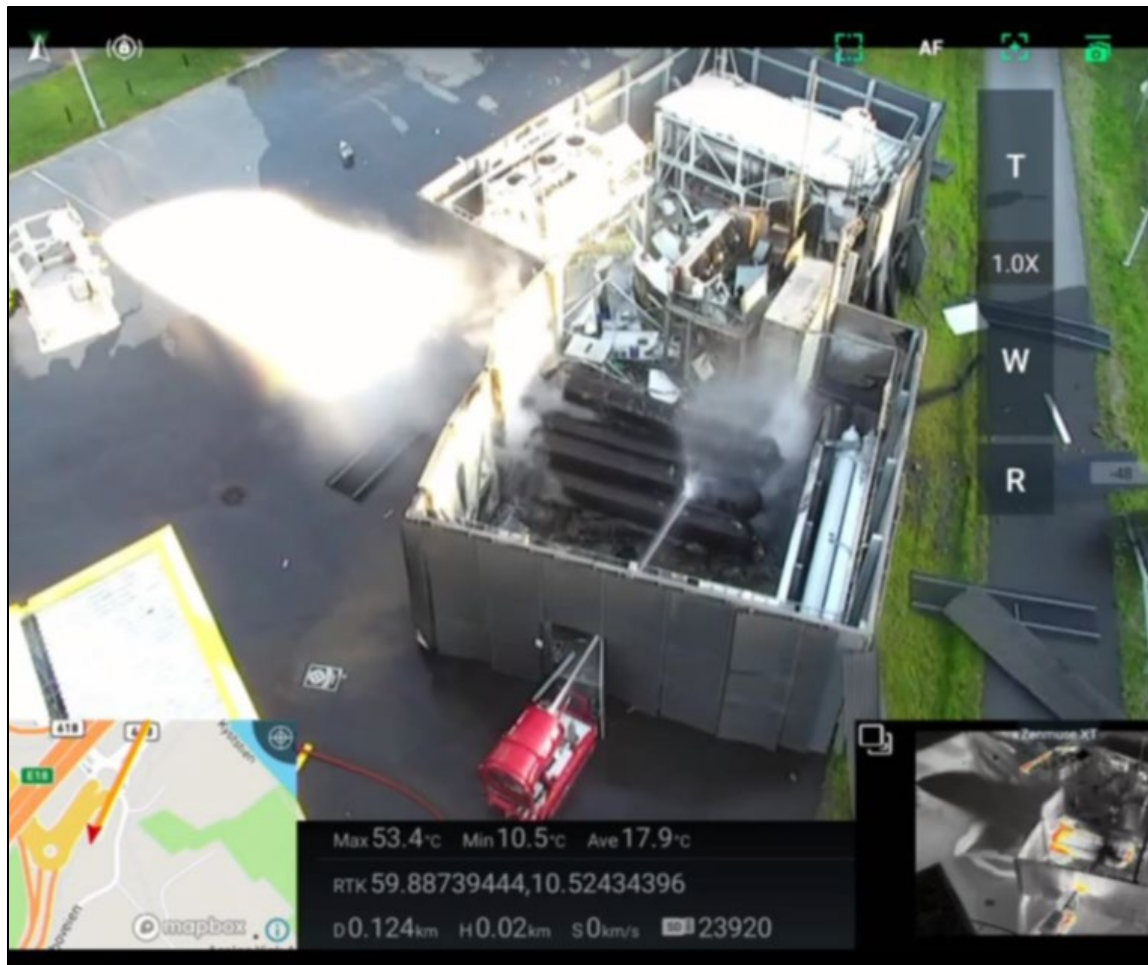


17.

18.



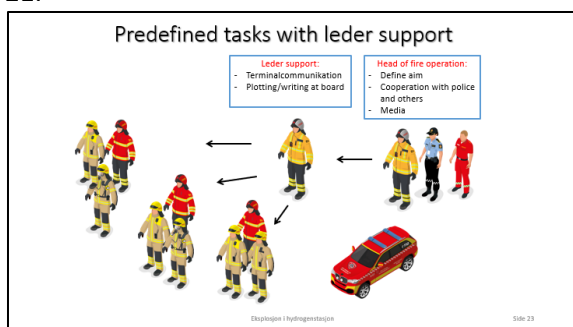
19



20

 Fire fighting • Fire fighters with local acquaintance • Control at 20.14 pm and motorway E-18 opened • Follow-up • Danish experts • Normal traffic at 07.00 am	E-18 OPENED 20.14 pm  Nel support - chartered aeroplane Specialists Nitrogen bottles Cooling Control tunnel 07.00 am normal traffic
--	--

21.



23.

22.

	Advantages leader support • Systematic organization, recognizable and predictable. • Possibility to practice and exercise systematic management. • Rehearsed systematisation gives increased capacity to handle several tasks and insecurity moments.
--	---

24.

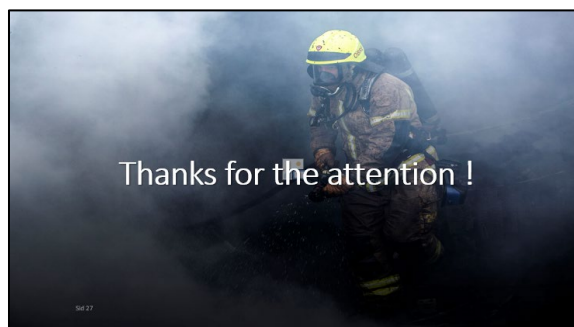


25.

THE ACCIDENTS ATTENTIVENESS

- Global interest
- UNO-X did not build any new hydrogen stations
- Pressconference Nel 26. juni
- The stock value
- Investigations by – Gexcon AS
- Leak from pipe
- Openness Uno-X, Nel og Nippon gases

26.



27.

Bijlage 3: Overig geraadpleegde bronnen

Onderstaande bronnen zijn geraadpleegd om te onderzoeken of en wat in deze documenten staat over de inzet van hulpdiensten bij incidenten. In geen van de bronnen is bruikbare informatie gevonden. De diverse documenten beschrijven wel de oorzaak van incidenten en/of hoe dat voorkomen had kunnen worden, maar niet welke lessen hulpdiensten hieruit kunnen leren.

- Wada et al. (2007). [Relational information system for chemical accidents database \(RISCAD\) with analysis of hydrogen accident](#). Incident betreft explosie op universiteit in testopstelling (2005).
- MAHB (2012) [Lessons Learned Bulletin](#). In het bulletin worden zes incidenten met waterstof in de chemische industrie beschreven. De incidenten komen uit eMARS (European Major Accident Reporting System).
- Mirza (2011). [Analysis of hydrogen incidents to support risk assessment](#). International Journal of Hydrogen Energy, vol. 36, blz. 12068-12077. De incidentbeschrijvingen komen uit Hydrogen Incident Reporting Database (HIRD). De beschrijvingen zijn bedoeld om gebruikt te worden in risicoanalyses.
- Weinier (2012). [Lessons learned from safety events](#). International Journal of Hydrogen Energy, vol. 37, blz. 17358-17363. Artikel gaat over Lessons Learned Corner (LCC) van de Hydrogen Incident Reporting and Lessons Learned [website](#).
- Hydrogen Incident Reporting and Lessons Learned [website](#). De website bevat 221 incidenten die onderverdeeld zijn naar oorzaken, schade en equipment. De database wordt niet meer bijgehouden.
- RIVM (2019). [Vijftien jaar incidentanalyse](#). Waterstof is vaak betrokken bij ongelukken bij Brzo-bedrijven.