



Europees "Train the Trainer"-programma voor hulpverleners

Les 6

Schadecriteria voor mensen en eigendommen

NIVEAU I

Brandweerman

De informatie in deze les is gericht op het niveau van **brandweerman**.

Dit onderwerp is ook beschikbaar op niveau IV (specialist).

Deze les maakt deel uit van een pakket met opleidingsmateriaal voor de niveaus I tot IV: brandweerman, onderofficier, officier en specialist. Gelieve de les af te stemmen op de competenties en de leerverwachtingen van de doelgroep.

Opmerking: dit materiaal is eigendom van het HyResponder Consortium en moet als dusdanig erkend worden; de resultaten van HyResponse zijn als basis gebruikt.



Disclaimer

Ondanks de zorg waarmee dit document werd opgesteld, is de volgende disclaimer van toepassing: de informatie in dit document wordt verschaft zoals ze is; er wordt geen enkele garantie gegeven dat de informatie geschikt is voor een bepaald doel. De gebruiker ervan gebruikt de informatie op eigen risico en verantwoordelijkheid.

Het document bevat enkel de meningen van de auteurs. De FCH JU en de Europese Unie zijn niet aansprakelijk voor enig gebruik dat gemaakt zou worden van de hierin verschaft informatie.

Dankwoord

Het project heeft subsidies ontvangen van de Fuel Cells and Hydrogen 2 Joint Undertaking (JU) onder subsidieovereenkomst nr. 875089. De JU ontvangt steun van het onderzoeks- en innovatieprogramma Horizon 2020 van de Europese Unie en van het Verenigd Koninkrijk, Frankrijk, Oostenrijk, België, Spanje, Duitsland, Italië, Tsjechië, Zwitserland en Noorwegen.

Overzicht

In deze les krijgen hulpverleners waardevolle informatie over de impact van waterstoflekken, -branden en -explosies op de gezondheid van de mens en op zijn omgeving. Ook de mogelijke schade aan structuren en uitrusting door waterstofbranden en overdruk wordt besproken.

Trefwoorden

Ongeval met waterstof, thermische straling, overdruk, schadecriteria, persoonlijke beschermingsmiddelen

Inhoudstafel

Overzicht	3
Trefwoorden	3
Inhoudstafel	4
1. Doelgroep	5
1.1 Taakomschrijving: brandweerman	5
1.2 Competentieniveau: brandweerman	5
1.3 Voorkennis: brandweerman	5
2. Inleiding en doelstellingen	6
3. Belangrijkste definities	8
4. Gezondheidsrisico's van vrijgekomen waterstof	9
4.1 Gasvormige waterstof	9
4.2 Vloeibaar gemaakte waterstof	10
5. Schadelijke effecten van de verbranding van waterstof op mensen	11
5.1 Effect van de luchttemperatuur	11
5.2 Effect van rechtstreeks contact met waterstofvlammen	11
5.3 Effect van uitgestraalde warmtefluxen van waterstofbranden	11
5.4 Effect van overdruk op mensen	11
6. Etikettering van waterstofsysteem	12
7. Persoonlijke beschermingsmiddelen	15
8. Milieu-effecten	17
Dankwoord	17
Referenties	18

1. Doelgroep

De informatie in deze les is gericht op NIVEAU 1: brandweerman. Er zijn ook lessen beschikbaar op niveau II, III en IV: onderofficier, officier en specialist.

De taakomschrijving, het competentieniveau en de leerverwachtingen waarvan wordt uitgegaan op het niveau brandweerman worden hieronder beschreven.

1.1 Taakomschrijving: brandweerman

Een brandweerman is verantwoordelijk en wordt verwacht in staat te zijn om op een veilige manier interventies uit te voeren met persoonlijke beschermingsmiddelen, inclusief ademhalingsbescherming, waarbij hij de ter beschikking gestelde uitrusting gebruikt, zoals voertuigen, ladders, slang, blusapparaten, communicatie- en uitrusting, in eender welke klimatologische omstandigheden, op eender welke plaats en in alle noodsituaties waarin redelijkerwijs kan worden verwacht dat er een antwoord geboden moet worden.

1.2 Competentieniveau: brandweerman

Een brandweerman dient opgeleid te zijn in het veilig en correct gebruik van PBM, ademhalingsbescherming en andere uitrusting die hulpverleners verwacht worden te gebruiken, waarbij ondersteuning door passende kennis en oefening noodzakelijk is. Gedrag dat hun eigen veiligheid en die van andere collega's beschermt, moet beschreven worden in standaard operationele procedures. Vaardigheid en oefening in het dynamisch beoordelen van risico's voor de eigen veiligheid en die van anderen zijn noodzakelijk.

1.3 Voorkennis: brandweerman

Een brandweerman dient te beschikken over basiskennis en praktische basisvaardigheden die vereist zijn om relevante informatie te gebruiken om taken uit te voeren en standaard problemen met behulp van eenvoudige regels en hulpmiddelen op te lossen. Werken of studeren onder toezicht met enige zelfstandigheid.

2. Inleiding en doelstellingen

De voornaamste zorg op het vlak van waterstofveiligheid is de bescherming van het leven en van eigendommen. Daarom is het belangrijk om criteria vast te stellen voor operators, gebruikers, het brede publiek en hulpverleners, die de gevolgen kunnen ondervinden van een incident of ongeval met een systeem of infrastructuur op basis van brandstofcellen en waterstof. De aanvaardingscriteria voor klanten en personeel betrokken bij het gebruik, de inspectie en het onderhoud van installaties en infrastructuur op basis van brandstofcellen en waterstof zijn gelijkaardig, terwijl de aanpak voor het brede publiek dat zich toevallig op de plaats van een incident/ongeval bevindt, conservatiever zou moeten zijn. Volgens de Britse norm BS 7974 (2004) worden brandweerlieden als een afzonderlijke categorie van betrokkenen beschouwd. Zij zijn niet ter plaatse op het moment dat het incident/ongeval gebeurt en arriveren vaak op een moment waarop de voorwaarden het gevaarlijkst zijn en moeten dan hun beroepstaken uitvoeren. Ze zijn kwetsbaar voor het mogelijke instorten van gebouwen/structuren en de gevolgen van een drukgolf. Ook kunnen ze, doordat ze uitgerust zijn met speciale persoonlijke beschermingsmiddelen, weerstaan aan een hogere thermische straling en temperatuur en verstikkende en toxische omgevingen. Verder is de plaats binnen de infrastructuur op basis van brandstofcellen en waterstof waar iemand zich bevindt op het moment van een incident/ongeval zeer belangrijk. De effecten van een incident/ongeval met waterstof kunnen onmiddellijk zijn en zullen een verschillende impact hebben op mensen, afhankelijk van hoe dicht bij de bron van de schade ze zich bevinden. Mensen die zich binnen bevinden lopen meer kans om getroffen te worden door de drukgolf dan mensen buiten.

Het geven van geharmoniseerde schadecriteria of drempelwaarden om de mogelijke impact van gevaarlijke situaties te beschrijven valt buiten het bereik van het HyResponder-project. Alle betrokkenen moeten de in hun land geldende normen toepassen.

Aan het eind van deze les kunnen hulpverleners:

- De voornaamste gezondheidsrisico's beschrijven die verbonden zijn aan niet-ontstoken vrijgekomen waterstof, fysische explosies (breuk van drukvat), branden, deflagratie en detonatie van gasvormige en vloeibare waterstof;
- De schadelijke effecten van niet-ontstoken vrijgekomen waterstof in besloten ruimtes beschrijven:
 - het geluidsniveau;
 - het effect van de temperatuur van de waterstof;
 - het effect van de overdruk in het geval van drukpieken.
- De schadelijke effecten van de verbranding van waterstof op mensen beschrijven:
 - het effect van de omgevingstemperatuur bij verbranding;
 - blootstelling aan uitgestraalde warmtefluxen;
 - het effect van de overdruk.
- Zich bewust zijn van de principes en toepassing van het kader van schadecriteria voor mensen en het milieu en de schadecriteria voor structuren en uitrusting:
 - luchttemperatuur;
 - thermische dosis;

- warmteflux;
 - overdruk enz.
- De waarden aangeven van de gevaarlijke dosis, mediaan van de letale dosis (LD50);
- Onderscheid maken tussen directe en indirecte schadelijke effecten van overdruk op mensen;
- In het bijzonder de schade aan structuren, uitrusting en het milieu veroorzaakt door waterstofbranden/drukgolven in verband brengen met de niveaus van uitgestraalde warmtefluxen en overdruk;
- Etiketteringssystemen voor de opslag van gasvormige en vloeibare waterstof bij waterstof- en brandstofceltoepassingen herkennen;
- De persoonlijke beschermingsmiddelen opnoemen die niet alleen door hulpverleners maar ook door het personeel van installaties voor waterstof en brandstofcellen een gebruikt moeten worden;
- De impact van waterstof op het milieu beschrijven.

3. Belangrijkste definities

Het is belangrijk dat hulpverleners in staat zijn de impact te beoordelen van incidenten/ongevallen met waterstof op de veiligheid van het menselijk leven en eigendommen. Er zijn verschillende methoden beschikbaar om de gevolgen van een incident/ongeval te bepalen en te beoordelen op basis van de ernst, de blootstelling, de duur en de getroffen personen of zaken (d.w.z. het brede publiek, aanwezigen, structuren, gebouwen, uitrusting enz.). Er zijn een aantal nuttige definities die in deze en verdere lessen worden gebruikt.

Aanvaardingscriteria zijn de referentiewaarden aan de hand waarvan de veiligheid van een ontwerp voor een installatie/infrastructuur op basis van waterstof en brandstofcellen wordt beoordeeld [1].

Onbekwaamheid is een toestand waarin mensen niet correct functioneren en niet in staat zijn te ontsnappen uit onhoudbare omstandigheden [2].

Aanwezigen zijn mensen die binnen de grenzen van een installatie/infrastructuur op basis van waterstof en brandstofcellen aanwezig zijn, waaronder het personeel dat betrokken is bij de bediening en het onderhoud ervan en de klanten/bezoekers [1].

Een veilige plaats is een vooraf bepaalde plaats binnen of buiten de installatie/infrastructuur op basis van waterstof en brandstofcellen waar er geen onmiddellijk gevaar is voor mensen door vrijgekomen waterstof of een waterstofbrand of -explosie [1].

Het brede publiek zijn mensen die zich buiten de grenzen van een installatie/infrastructuur op basis van waterstof en brandstofcellen bevinden.

Een kwetsbaar gebied is een vestiging, infrastructuur of uitrusting waar voorraden van gevaarlijke stoffen aanwezig zijn die een bron van schade kunnen worden wanneer ze het voorwerp zijn van een incident/ongeval met waterstof [1].

De overlevingskans is de maximale blootstelling die ontvangen kan worden met een verwaarloosbare statistische kans op overlijden/schade en zonder beperking van iemands vermogen om te ontsnappen [1].

Houdbaarheid is de maximale blootstelling aan de gevaren van een incident/ongeval met waterstof die getolereerd kan worden zonder dat de veiligheidsdoelstellingen in het gedrang komen [1].

Drempelwaarde is de maximale intensiteit of dosis voor een bepaald gevaar die overeenkomt met een specifieke fysiologische (voor mensen) of structurele (voor structuren en uitrusting) respons [1].

4. Gezondheidsrisico's van vrijgekomen waterstof

Waterstofgas is lichter dan lucht, daarom stijgt het snel en wordt het snel verdund in de lucht wanneer het per ongeluk vrijkomt in een open omgeving. Wanneer het per ongeluk vrijkomt in een besloten ruimte/binnen, kan het schade toebrengen aan mensen door verstikking. Bovendien is er bij het vrijkomen van waterstof in een besloten ruimte een explosierisico. Waterstof-luchtmengsels zijn brandbaar door het brede ontstekingsgebied, van 4 tot 75% vol waterstof. Wanneer het vrijkomt in lucht en er een ontstekingsbron aanwezig is, zal waterstof ontbranden, waarbij water en warmte worden geproduceerd. De kans dat waterstof na het vrijkomen ontstoken wordt, is zeer groot, aangezien het een lage minimale ontstekingsenergie heeft: zelfs een ontlading van statische elektriciteit is voldoende om waterstof te ontsteken. Het is niet nodig dat hulpverleners beschermende kledij dragen om ontladingen van statische elektriciteit te vermijden, want deze zijn slechts in zeldzame gevallen voldoende om waterstof te ontsteken. In geval van een brand is de waterstofvlam bijna onzichtbaar bij daglicht en kan een temperatuur tot 2000 °C bereikt worden. Hoewel er bij een waterstofvlam weinig uitstraling is in vergelijking met een koolwaterstofvlam, bestaat er een risico dat hulpverleners door de vlammen lopen.

4.1 Gasvormige waterstof

Waterstofgas is geur-, kleur- en smaakloos en kan niet door de menselijke zintuigen worden gedetecteerd. Het gebruik van geurstoffen (bv. mercaptaan) in opslagvaten is niet mogelijk aangezien ze de brandstofcellen kunnen vergiftigen. Waterstof is geen kankerverwekkende stof. Er wordt niet verwacht dat waterstof mutageniteit¹, teratogeniteit², embryotoxiciteit³ of reproductieve toxiciteit zal veroorzaken. Er is ook geen bewijs van nadelige gevolgen voor de huid of de ogen bij blootstelling aan waterstof. Waterstofstralen onder hoge druk kunnen echter wel in de blote huid snijden [3]. Ingeademde waterstof kan leiden tot de vorming van een brandbaar mengsel in iemands longen.

Zoals bij andere gassen leidt een stijging in de waterstofconcentratie tot een daling van het zuurstofgehalte in de lucht, wat op zijn beurt kan leiden tot verstikking. Waterstof wordt ingedeeld als een verstikkende stof; het heeft geen drempelwaarde [4]. Hoge waterstofconcentraties in de lucht in volledig/gedeeltelijk besloten ruimtes leiden tot de vorming van zuurstofarme omgevingen. Personen die aan dergelijke omgevingen blootgesteld worden of deze lucht inademen, kunnen de volgende symptomen ondervinden: hoofdpijn, duizeligheid, slaperigheid, bewusteloosheid, misselijkheid, braken, aantasting van alle

¹ Het veroorzaken van erfelijke veranderingen in de hoeveelheid of structuur van het genetisch materiaal van cellen of organismen.

² Afwijkingen bij de geboorte via een toxisch effect op een embryo of foetus.

³ Toxische effecten op het embryo van een stof die de barrière van de placenta doorbreekt.

zintuigen enz. De betrokken personen kunnen een blauwe huid krijgen en in sommige omstandigheden kan de dood optreden. Wanneer iemand waterstof heeft ingeademd en de bovenstaande symptomen opgemerkt worden, moet de betrokkene naar de frisse lucht gebracht worden; bij een moeizame ademhaling moet er zuurstof toegediend worden en als de betrokkene niet meer ademt, moet kunstmatige beademing worden gebruikt.

4.2 Vloeibaar gemaakte waterstof

Vloeibaar gemaakte waterstof wordt wegens zijn lage kookpunt (-253 °C) bij extreem lage temperaturen opgeslagen/gebruikt. De gezondheidsrisico's verbonden aan het vrijkomen van vloeibaar gemaakte waterstof worden hieronder opgesomd.

- Het contact met vloeibare waterstof of spatten ervan op de huid of in de ogen kunnen ernstige brandwonden door bevriezing of onderkoeling veroorzaken.
- Er kunnen ook cryogene brandwonden optreden door het contact van onbeschermde lichaamsdelen met koude vloeistoffen of oppervlakken.
- Het inademen van koude waterstofdampen kan leiden tot een moeizame ademhaling en verstikking.
- Direct fysiek contact met LH₂, koude dampen of koude voorwerpen kan ernstige weefselschade veroorzaken. Kortstondig contact met een kleine hoeveelheid van de vloeistof houdt mogelijk een minder groot gevaar in doordat er mogelijk een beschermende laag van verdampende gasvormige waterstof wordt gevormd. Er is een risico op bevriezing wanneer er grote hoeveelheden worden gemorst, waardoor er een grote blootstelling is⁴.
- Het personeel mag de koude metalen delen niet aanraken en moet beschermende kledij dragen. De betrokken zone moet ook bedekt worden met een losse bedekking.
- Hartproblemen zijn frequent wanneer de interne lichaamstemperatuur zakt tot 27 °C of lager, en de dood kan optreden wanneer de interne lichaamstemperatuur zakt tot onder 15 °C [5].
- Verstikking is ook mogelijk bij het vrijkomen en verdampen van vloeibare waterstof in een binnenruimte.

⁴ Effect van vloeibare waterstof:

<https://www.youtube.com/watch?v=F9dhZJQk80A&feature=youtu.be&t=291>

5. Schadelijke effecten van de verbranding van waterstof op mensen

Het inademen van verbrandingsproducten afkomstig van conventionele brandstoffen vormt één van de voornaamste oorzaken van letsel en één van de voornaamste gevolgen van een brand. Het wordt als minder ernstig beschouwd in het geval van waterstof omdat het enige verbrandingsproduct waterdamp is (niet toxisch, niet giftig). Secundaire branden kunnen echter rook of andere verbrandingsproducten produceren die een gezondheidsrisico inhouden.

5.1 Effect van de luchttemperatuur

Tijdens een waterstofbrand warmt de omringende lucht sterk op, wat een impact kan hebben op mensen die in de buurt zijn. Rechtstreeks contact met brandende waterstof of hete gassen die door de verbranding van waterstof ontstaan, zal ernstige *thermische brandwonden* veroorzaken. Een stijging van de luchttemperatuur kan leiden tot ademhalingsmoeilijkheden of verbranding van de luchtwegen. Een hoge temperatuur kan ook leiden tot instorting.

5.2 Effect van rechtstreeks contact met waterstofvlammen

De impact van waterstofvlammen op mensen is gelijkaardig aan die van vlammen van andere gangbare brandstoffen. Rechtstreeks contact met brandende waterstof of hete gassen die door de verbranding van waterstof ontstaan, zal ernstige brandwonden veroorzaken [11].

5.3 Effect van uitgestraalde warmtefluxen van waterstofbranden

In vergelijking met koolwaterstoffen stralen waterstofvlammen aanzienlijk minder warmte uit, en ze zijn nagenoeg onzichtbaar bij daglicht. De maximale golflengte van de afgifte is ongeveer 311 nm, wat in de buurt van het ultraviolette (UV) deel van het stralingsspectrum valt [11]. Dit betekent dat mensen die zich in de buurt van een waterstofvlam bevinden, de nabijheid ervan mogelijk niet voelen tot ze ermee in contact komen [11]. Zonder geschikte detectieapparatuur is het eerste teken van een kleine vlam waarschijnlijk een "sissend" geluid van het gas dat ontsnapt door een opening en misschien het verschijnen van "hitterimpels" [11].

Merk op dat een waterstofvlam een minimale infrarode straling uitzendt en zo goed als geen zichtbare straling. Mensen die niet rechtstreeks in contact komen met waterstofvlammen lopen het risico van blootstelling aan hoge uitgestraalde warmtefluxen gedurende voldoende tijd om eerste-, tweede- en derdegraads brandwonden te veroorzaken.

5.4 Effect van overdruk op mensen

Eén van de belangrijke indirecte effecten van overdruk wordt veroorzaakt door rondvliegende fragmenten (projectielen genoemd). De ernst van het letsel zal afhangen van de grootte en het gewicht van de fragmenten, de impactsnelheid en de plaats waar ze een menselijk lichaam raken [12]. De versnelling van het projectiel is de voornaamste factor die letsel veroorzaakt. De kans op verwonding door een in het lichaam dringend fragment wordt groter bij een hogere snelheid, vooral bij kleinere projectielen zoals glasscherven.

6. Etikettering van waterstofsysteemen

De pictogrammen voor commercieel vervoer van waterstof worden getoond in [figuur 1](#), waarbij "1049" verwijst naar gasvormige waterstof en "1966" naar vloeibare waterstof [13].
















Figuur 1. Voorbeelden van pictogrammen voor het vervoer van waterstof.

Voor brandstofcelvoertuigen beveelt Verordening (EU) Nr. 406/2010 het gebruik aan van groene ruiten met een witte rand met de woorden "H2 GAS" of "LIQUID H2" in witte letters [14].

De belangrijkste stappen in de ontwikkeling van symbolen voor de formele identificatie van gevaren worden getoond in de [figuren 2](#) en [3](#). Deze kleuren worden ook gebruikt in reddingsinformatie en voor de kleuren van voertuigonderdelen (reddingskaarten).

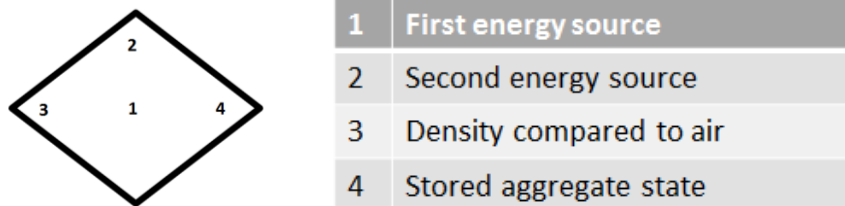
GREY	DIESEL
RED	GASOLINE
GREEN	GAS
WHITE	CRYOGEN LNG
BLUE	HYDROGEN
ORANGE	HIGH VOLTAGE

SYMBOLS

- 1) FIRST ENERGY SOURCE:    CNG LNG LPG
- 2) SECOND ENERGY SOURCE:    
- 3) DENSITY COMPARED TO AIR:   
- 4) STORED AGGREGATE STATE:   



Figuur 2. Door CTIF voorgestelde kleuren en symbolen voor de ontwikkeling van gestandaardiseerde tekens



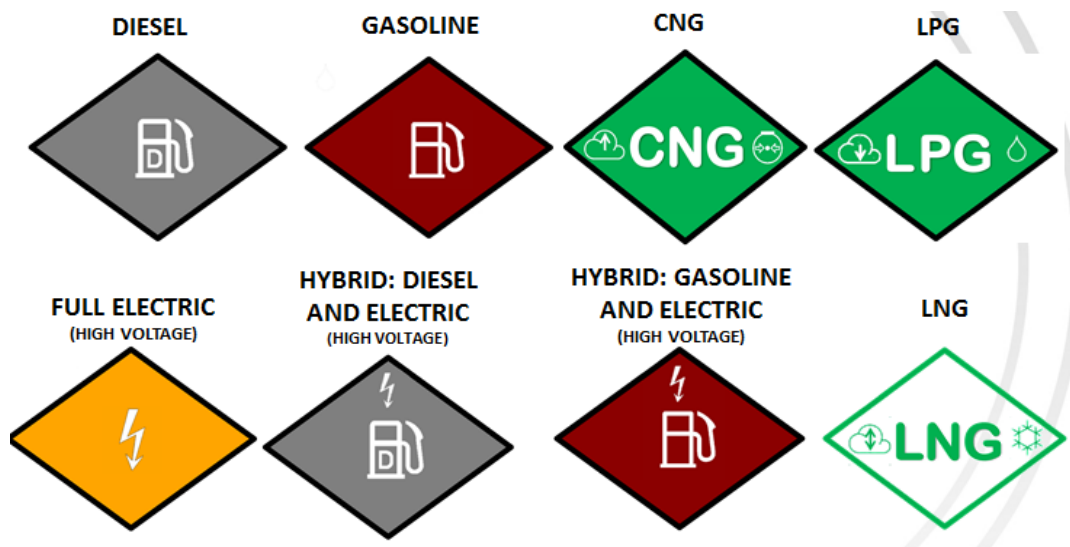
Figuur 3. Door CTIF voorgestelde ruitvorm voor de identificatie van gevaren verbonden aan voertuigen [15]

Figuur 4 toont de meest recente versie van een label voor een brandstofcelvoertuig, waarop twee belangrijke energiebronnen aangegeven worden: waterstof (in het midden) en elektriciteit (in de bovenste hoek). Het symbool in de linkerhoek geeft aan dat de eerste energiebron (d.w.z. waterstof) lichter is dan lucht; het symbool in de rechterhoek geeft aan dat het gaat om gecomprimeerd gas. ISO 17840-4 biedt hulpverleners waardevolle informatie over de gevaren, die vanop grote afstand zichtbaar is.



Figuur 4. Een symbool ontwikkeld door CTIF voor een brandstofcelvoertuig op gecomprimeerde gasvormige waterstof [15]

Voorbeelden van symbolen die door CTIF zijn voorgesteld voor andere soorten voertuigen, zowel traditionele als hybride, worden getoond in figuur 5.



Figuur 5. Door CTIF ontwikkelde symbolen voor verschillende soorten voertuigbrandstoffen/energieën [15]



Figuur 6. Formele identificatiemethoden die gebruikt worden in de VS [13]

7. Persoonlijke beschermingsmiddelen

Met betrekking tot de prestatie-eisen voor PBM voor brandweerlieden moeten er twee belangrijke EU-normen vermeld worden. (NF) EN 469:2006-02 [16] bevat de eisen voor beschermende kledij voor brandweerlieden en (NF) EN 136:1998 [17] die voor ademhalingsbescherming.

Personeel dat handelingen uitvoert in een waterstofinstallatie kan de mogelijke gevolgen van een gevaar beperken door passende beschermingsmiddelen te gebruiken. Een aantal voorwaarden waarvoor personeel beschermd moet worden, zijn blootstelling aan cryogene temperaturen, vlamtemperaturen, thermische straling van een waterstofvlam en zuurstofarme omgevingen met waterstof of inerte spoelgassen zoals stikstof en helium. De aard van het werk bepaalt welke soort persoonlijke beschermingsmiddelen er gebruikt moeten worden. In ISO 15196 [11] zijn er een aantal algemene richtlijnen voor PBM gegeven. Deze richtlijnen omvatten niet de PBM die moeten worden overwogen wanneer er andere activiteiten worden uitgevoerd, zoals werk aan elektrische circuits of schoonmaak- of decontaminatie-activiteiten [11]. Nodige of verplichte PBM moeten worden gekozen in functie van de voorwaarden ter plaatse.

- Wanneer nodig moet er oogbescherming worden gebruikt (bv. er moet een volledig gezichtsmasker worden gedragen bij het vast- en loskoppelen van leidingen, of een veiligheidsbril bij de omgang met LH₂).
- Degelijk geïsoleerde handschoenen moeten worden gedragen bij elke omgang met voorwerpen die in contact komen met LH₂ of koud GH₂. De handschoenen moeten vlot over de handen passen, gemakkelijk uit te trekken zijn en mogen geen lange handboorden hebben.
- Er moet een lange broek worden gedragen, bij voorkeur zonder enkelboorden, waarbij de broekspijpen over de schoenen hangen.
- Er moeten schoenen met gesloten teen worden gedragen (geen open of poreuze schoenen).
- De kledij moet gemaakt zijn van gewoon katoen, vlamvertragend katoen of antistatisch materiaal. Draag geen kledij uit nylon of andere synthetische materialen, zijde of wol, want deze materialen kunnen statische elektriciteit produceren die brandbare mengsels kan ontsteken. Synthetische materialen (kledij) kunnen smelten en aan de huid vastkleven en zo leiden tot ernstigere brandwonden. Alle kledij waarop waterstof gespreid of gespat is moet verwijderd worden tot ze opnieuw volledig vrij is van waterstofgas.
- Kaphandschoenen, strakke kledij of kledij die vloeistof tegen het lichaam houdt (zakken) moeten vermeden worden.
- Wanneer de waterstofinstallatie uitrusting omvat die veel lawaai produceert, moet er gehoorbescherming gedragen worden.

- Er moeten veiligheidshelmen worden gedragen wanneer er een risico is op vallende voorwerpen.
- Er moet onafhankelijke ademhalingsapparatuur worden gedragen wanneer men werkt in een besloten ruimte waar mogelijk een zuurstofarme omgeving wordt gecreëerd.
- Er moet draagbare waterstof- en branddetectieapparatuur worden gebruikt om te waarschuwen voor waterstoflekken en -branden.
- Brandweerlieden moeten gebruik maken van thermische camera's en onbemande slangen of mondstukken om de situatie te bewaken.
- Personeelsleden moeten in contact zijn met de aarde voordat ze gereedschap aanraken of gebruiken bij een waterstofsysteem wanneer er een vermoeden is dat de omgeving waterstof zou kunnen bevatten.

8. Milieu-effecten

Waterstof verontreinigt het grondwater niet (het is een gas onder normale atmosferische omstandigheden) en vrijgekomen waterstof draagt niet bij tot de vervuiling van de atmosfeer. Men vindt waterstof in de aardse atmosfeer met een concentratie van 0,5 ppm (deeltjes per miljoen) van op grondniveau tot op een hoogte van 60 km [1]. De door Schultz [18] beschreven bronnen van waterstofemissies omvatten:

- Onvolledige verbranding van fossiele brandstoffen en biomassa (40%),
- Atmosferische petrochemische oxidatie van methaan en niet-methaan-KWS (50%),
- Emissies van vulkanen, oceanen en stikstofbindende peulvruchten (10%).

75% van de emissies van waterstof worden uit de atmosfeer verwijderd door droge afzetting op bodems, terwijl de resterende 25% verwijderd worden door oxidatie in de atmosfeer [18].

Wanneer waterstof wordt gebruikt als brandstof, worden er geen dampen of rook gegenereerd. Een brandstofcelvoertuig produceert geen uitstoot via de uitlaat [19].

Dankwoord

Het HyResponse-project wordt hier vermeld omdat het hier voorgestelde materiaal gebaseerd is op de originele lessen van HyResponse.

Referenties

1. Saffers, JB (2010). Principles of hydrogen safety engineering. PhD thesis. University of Ulster.
2. NFPA (2009). Life safety code.
3. Hammer, W (1989). Occupational Safety Management and Engineering, 4th edition, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1989, ISBN 0-13-629379-4, chapter 19.
4. NASA (1997). Safety standard for hydrogen and hydrogen systems. Guidelines for hydrogen system design, materials selection, operations, storage, and transportation. Technical report NSS 1740.16, Office of safety and mission assurance, Washington.
5. Molkov, V (2012). Fundamentals of hydrogen safety engineering, Part I and Part II. Available from: www.bookboon.com, free download e-book
6. Prasher, D (2000). Noise Pollution Health Effects Reduction (NOPHER): An European Commission Concerted Action Workplan. Noise Health, Issue 2, pp. 79-84. Available from: <http://www.noiseandhealth.org/text.asp?2000/2/8/79/31748> [accessed 09.11.20].
7. Hydrogen Detection in Oil Refineries. A Gassonic. A General Monitors Company.
8. NIO Note D'Information Operationnelle (2013). 'Intervention sur les installations d'hydrogène et Les risques lies. In French and in English. Available from: [http://pnrs.ensosp.fr/Plateformes/Operationnel/Actualites/LA-NOTE-D-INFORMATION-OPERATIONNELLE-N.I.O.-SUR-LE-RISQUE-HYDROGENE-GENESE-INTERET/\(mode\)/full/\(page\)/14](http://pnrs.ensosp.fr/Plateformes/Operationnel/Actualites/LA-NOTE-D-INFORMATION-OPERATIONNELLE-N.I.O.-SUR-LE-RISQUE-HYDROGENE-GENESE-INTERET/(mode)/full/(page)/14) Download from: http://pnrs.ensosp.fr/content/download/32685/550103/file/ENSOSP-PNRS_LA%20NIO%20SUR%20LE%20RISQUE%20HYDROGENE.pdf [accessed 25.11.20].
9. Friedrich, A. et al. (2012). Ignition and heat radiation of cryogenic hydrogen jets. International Journal of Hydrogen Energy. Vol.31, pp.17589-17598.
10. Drysdale, D (1985). An introduction to fire dynamics. John Wiley and Sons, Chichester, p. 146
11. ISO/TR 15916 (2004). Basic considerations for the safety of hydrogen systems. International Organization for Standardization. ISO Technical Committee 197 Hydrogen Technologies. International Organization for Standardization, Geneva.
12. Okabayashi, K, Hirashima, H, Nonaka, T, Takeno, K, Chitose, K and Hashiguchi, K (2007). Introduction of Technology for Assessment on Hydrogen Safety. Mitsubishi Heavy Industries Ltd. Technical Review. Vol. 44(1), pp. 1-3.
13. US DoE, US Department of Energy (2008). Hydrogen safety training for first responders. Available from: <http://hydrogen.pnl.gov/FirstResponders/> [accessed on 11.11.20].
14. EU No 406/2010, Commission Regulation of 26 April 2010 implementing Regulation (EC) No 79/2009 of the European Parliament and of the Council on type-approval of hydrogen-powered motor vehicles. Official Journal of the European Union. Vol. 53, 18 May 2010. Available from: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2010:122:FULL:EN:PDF> [accessed on 09.11.20].
15. Van Esbroeck, T and Vollmacher, K (2015). ISO propulsion energy identification. Commission for Extrication and New Technologies. Unpublished.

16. (NF) EN 469:2006-02. European Standard. Protective clothing for firefighters. Performance requirements for protective clothing for firefighters.
17. (NF) EN 136: 1998. European Standard. Respiratory protective devices. Full face masks. Requirements, testing, marking.
18. Schultz, MG, Market, F, Pilegaard, K (2004). Hydrogen and environment. RisØ Energy Report, Roskilde, RisØ National Laboratory. P.58-62
19. CFCP, California Fuel Cells Partnership, 2014. Available from: <http://cafcp.org/> [accessed on 09.11.20].