



Education in Hydrogen Technologies Area

WATERSTOF TANKSTATIONS



**Co-funded by
the European Union**

Project is supported
within the Erasmus+ programme
2021-1-CZ01-KA220-VET-000028073

INHOUD

Inhoud	2
Inleiding.....	4
Inleiding - Geschiedenis.....	4
1 Vergelijking van een waterstofauto en een elektrische auto	8
2 Wetgeving inzake de exploitatie en het onderhoud van tankstations	9
2.1 Basisnomenclatuur overeenkomstig de technische voorschriften tpg 304 03.....	11
2.2 Waterstof tankstations - en 17127 - buitenstations voor waterstofgas met vulprotocollen	14
2.3 Tankstations voor waterstof - iso 19880-1:2020 - waterstofgas - tankstations - deel 1: algemene eisen.....	15
2.4 Eigenschappen van waterstof - en 17124 - waterstofbrandstof - productspecificatie en kwaliteitsborging voor tankstations voor waterstofgas - protonuitwisselingsmembraan (pem) brandstofceltoepassingen voor voertuigen	16
2.5 Vulproces - en 17127 (verwijst naar sae j2601) - vulprotocollen voor lichte oppervlaktevoertuigen op waterstofgas.....	17
2.5.1 Vulaansluitingen - en iso 17268 - aansluitingen voor het vullen van waterstofgas in landvoertuigen	19
3 Technische gasvulinstallaties.....	19
3.1 Transport van waterstof.....	21
3.1.1 Vervoer van waterstof via pijpleidingen	21
3.1.2 Vervoer van gecomprimeerde waterstof voor weg of spoor.....	22
3.1.3 Vervoer van vloeibare waterstof.....	22
3.1.4 Vervoer van waterstof via pijpleidingen in een mengsel met aardgas	23
3.2 Veiligheidsregels voor het werken met industriële gassen.....	23
4 Bouwdelen van het tankstation	24
4.1 De belangrijkste onderdelen van een waterstoftankstation	25
5 Exploitatie en onderhoud van het tankstation.....	30
5.1 Voorwaarden voor een veilige exploitatie van een waterstoftankstation	31
5.2 Bedieningscontrole van het waterstoftankstation.....	32
5.3 Ongevallen bij waterstoftankstations	33
6 Soorten tankstations	34
6.1 Indeling naar soort waterstof.....	35
6.2 Verdeling per locatie	35
6.3 Indeling naar waterstofbron	36

7	Prognoses in ontwikkeling.....	39
8	Samenvatting.....	42
9	Bronnen	43
10	Lijst van foto's.....	45
11	Lijst van tabellen.....	45

Ondersteund door de Europese Unie. De standpunten en meningen zijn echter uitsluitend die van de auteurs en komen niet noodzakelijkerwijs overeen met die van de Europese Unie of het Uitvoerend Agentschap voor onderwijs en cultuur (EACEA). Noch de Europese Unie, noch het EACEA kan verantwoordelijk worden gehouden.

Inleiding

Deze module richt zich op waterstoftankstations. Het hoofddoel van de module is de lezer vertrouwd te maken met de fundamentele aspecten van het ontwerp, de bouw en de exploitatie van tankstations. In het inleidende deel maakt de lezer kennis met de geschiedenis en de ontwikkeling van waterstoftankstations en het gebruik ervan in het vervoer. Er wordt informatie verstrekt over de eerste waterstoftankstations en de daaropvolgende ontwikkeling ervan. In dit hoofdstuk wordt ook basisinformatie over waterstof verstrekt, maar alleen in de vorm van een basisoverzicht. In de volgende hoofdstukken wordt deze informatie aangevuld met een basisoverzicht van de wettelijke voorschriften voor het ontwerp en de exploitatie van waterstoftankstations. In dit hoofdstuk krijgt de lezer ook een basisoverzicht van de normen die van invloed zijn op de bouw en de exploitatie van tankstations. Het volgende hoofdstuk geeft een samenvatting van informatie over industriële gastankstations en, terloops, over de productie van waterstof en het vervoer ervan naar de vulplaats. Deze onderwerpen worden diepgaand behandeld in modules die daarop zijn toegespitst. Andere hoofdstukken gaan over de indeling van tankstations, de bouw ervan, afzonderlijke structurele eenheden en operationele veiligheid. Daarom worden ook gevallen behandeld van ongevallen die zich tijdens de exploitatie van tankstations hebben voorgedaan. De bedrijfsveiligheid van niet alleen tankstations, maar van de waterstoftechnologie in het algemeen is van cruciaal belang voor de toekomstige ontwikkeling en het praktische gebruik ervan. Het laatste hoofdstuk is gewijd aan prognoses voor de toekomstige ontwikkeling van tankstations en het gebruik ervan in het vervoer.

Inleiding - Geschiedenis

TREFWOORDEN

waterstof, geschiedenis, personen- en goederenvervoer, tankstations, elektrische voertuigen, infrastructuur, tanken, brandstofcellen, IJsland, emissies, milieu, ecologie

Waterstof is het lichtste gasvormige chemische element, het is ook het op twee na meest voorkomende element op aarde. Vanwege zijn hoge reactiviteit komt het bijna uitsluitend als verbinding in de natuur voor. Een waterstofatoom bestaat uit één proton in de kern en één elektron in de schil. Waterstof vervuult het milieu niet wanneer het ontsnapt, waardoor het een emissievrije energiebron is. Waterstof is licht ontvlambaar, maar ondersteunt geen verbranding. Waterstof werd in 1766 ontdekt door Henry Cavendish, maar ten tijde van de ontdekking had waterstof nog niet veel toepassing gevonden. Een van de eerste toepassingen van waterstof in het vervoer kwam met de

ontwikkeling van ballonvaren en luchtschepen, waarbij waterstof werd gebruikt als draaggas naast helium. Wat het huidige gebruik van waterstof voor aandrijving betreft, moeten we een onderscheid maken tussen het gebruik ervan in brandstofcellen, of de ontdekking van de brandstofcel zelf, en in verbrandingsmotoren.

Het principe van de brandstofcel werd in 1838 ontdekt door de Zwitserse wetenschapper Christian Friedrich Schönbein, en het eerste werkende prototype werd gebouwd door de Britse wetenschapper Sir William Grove. Na de uitvinding van de dynamo raakte de brandstofcel gedeeltelijk in de vergetelheid. "Zijn echte " De brandstofcel beleefde zijn echte renaissance in de jaren 1960. Dit was grotendeels te danken aan kosmisch onderzoek, omdat de brandstofcel een gunstigere verhouding energie-gewicht heeft. De Apollo-ruimtevaartuigen waren er bijvoorbeeld mee uitgerust, maar ze zijn ook de krachtbron voor de huidige spaceshuttles." [3]

Hoewel de waterstofmotor met interne verbranding de eerste gepatenteerde motor met interne verbranding was, en wel in 1808, toen een Frans octrooi werd verleend aan de gepensioneerde majoor Issac de Rivaz, dateert het praktische gebruik ervan van een veel later tijdstip. De waterstof in de motor van Rivaz werd verkregen door elektrolyse van water en "het ontwerp was ... onzeker en praktisch onwerkbaar" [4]. De eerste werkende waterstof verbrandingsmotor werd pas een eeuw na het eerste Franse octrooi ontwikkeld, in 1920. Het gebruik ervan werd voor het eerst getest in de luchtschipmotoren van Ricardo en Maybach.

Met de inspanningen om de emissies in het vervoer te verminderen en de ontwikkeling van emissievrije energiebronnen in het vervoer, ontwikkelt het gebruik van waterstof als energiebron zich naast de elektrische mobiliteit. Om waterstof in voertuigen te pompen, zijn speciale vulstations nodig om de tanks van de auto snel en veilig te kunnen vullen. Waterstof wordt in gasvorm gepompt en tot hoge druk samengeperst. Het eerste waterstoftankstation werd in 2002 geopend in Reykjavik. [2] Toen Shell het in 2003 opende, reden er in IJsland slechts één brandstofcelauto, een Mercedes-Benz Sprinter, en drie waterstofbussen van Daimler Chrysler.

IJsland werd beschouwd als een ideale locatie voor dit proefproject omdat het een overvloed heeft aan goedkope en schone hydro- en geothermische energie die kan worden gebruikt om brandstof te produceren door middel van elektrolyse met minimale kooldioxide-emissies. Hierdoor werd IJsland een pionier in de overgang naar een waterstofeconomie, met meer dan 40 voertuigen op de weg in 2007, meestal Toyota Prius hybrides, de tweede plaats na Californië.

Japan heeft momenteel het grootste aantal waterstoftankstations van alle landen ter wereld. In september 2021 waren er 154 waterstoftankstations in gebruik in het land. De positie van Japan als

toonaangevende leverancier van waterstofauto's is niet verrassend, aangezien de Japanse automakers Toyota en Honda tot de enige drie automakers ter wereld behoren die waterstofauto's in massaproductie hebben. [3]

Er zijn ongeveer 136 waterstoftankstations in de Europese Unie. De eerste waterstoftankstations begonnen in 2016, maar hun uitbreiding stagneerde tot 2019, toen het aantal in één jaar bijna verdrievoudigde. Waterstof wordt gezien als een essentiële hulpbron voor het bereiken van emissiereducties en het gebruik ervan in het vervoer wordt door veel regeringen gesteund. In 2020 zag de EU een daling van 10 tankstations als gevolg van het vertrek van het VK uit de EU.

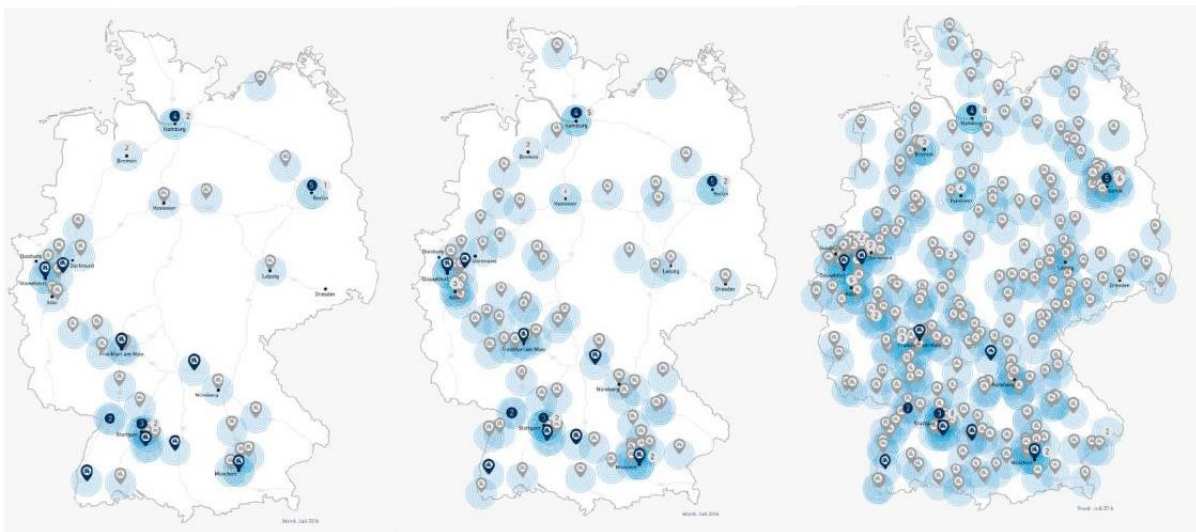


Foto 1 Netwerk van tankstations in Duitsland in 2016, 2018, 2023 [5]

Het eerste niet-openbare tankstation in Tsjechië werd in 1999 geopend in Neratovice, gevolgd door nog een in ÚJV Řež (Instituut voor Nucleair Onderzoek) in 2020. In 2022 werd het eerste openbare tankstation in Tsjechië geopend in Ostrava.

Wereldwijde vraag naar waterstof het akkoord van Parijs en meer recent na COP26 (Conferentie over klimaatverandering) probeert de wereld innovatieve technologieën te vinden om fossiele brandstoffen te vervangen en de uitstoot van broeikasgassen te verminderen. Waterstof is naar voren gekomen als een van die alternatieven, met name voor de vervoerssector. De wereldwijde vraag naar waterstof bedroeg in 2019 71 miljoen ton, waarbij de raffinagesector de grootste afnemer is. Het IEA voorspelt dat de totale vraag tegen 2070 meer dan 500 miljoen ton zou kunnen bedragen, waarbij de vervoerssector naar verwachting de grootste verbruiker van waterstof zal zijn. Waar de huidige infrastructuur tekortschiet, moet niet alleen de technologie vooruitgaan, maar moet ook de nodige

infrastructuur worden ontwikkeld om landen in staat te stellen hun netto nuldoelstellingen te halen. Slechts drie landen in Europa hebben voldaan aan de EU-vereisten voor een duurzame taxonomie voor waterstofproductie met behulp van elektriciteit uit nationale netwerken. De meeste landen zouden waterstof met een hoge koolstofintensiteit produceren indien zij elektriciteit van het net zouden gebruiken. Naast de koolstofintensiteit van het product waren de grootste wereldwijde uitdagingen voor de waterstoftechnologie volgens het onderzoek van 2021 de complexe distributie en de inconsistente problemen met de levering en opslag ervan.

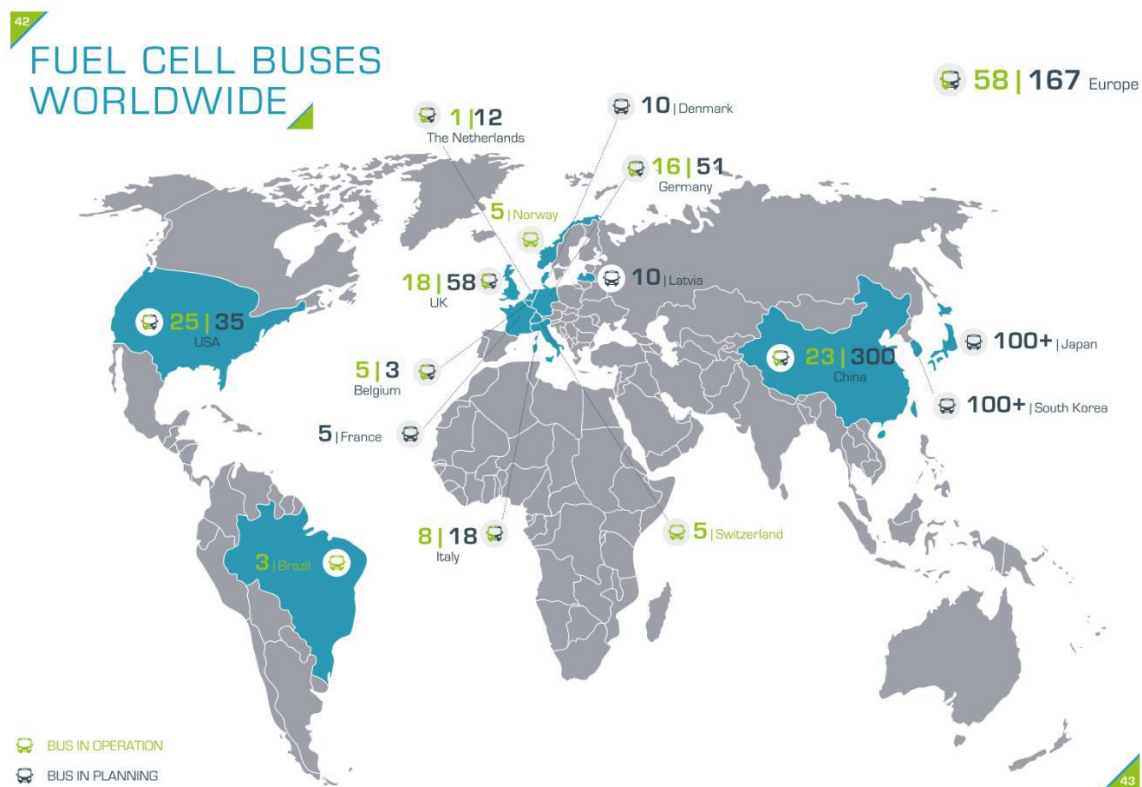


Foto 2 Huidige status en vooruitzichten voor de uitbreiding van waterstofbussen. [4]

Het tanken gebeurt bij tankstations. Het hele proces lijkt sterk op het tanken van traditionele fossiele brandstoffen. Nadat je het vulpistool op de tankklep hebt aangesloten, draai je aan een hendel en het systeem doet de rest. Het vullen van de tanks duurt 5 minuten en geeft de auto de volle capaciteit. Tanken is dus vergelijkbaar met CNG/LPG-voertuigen, behalve dat het bij waterstof om gecomprimeerd en niet om vloeibaar gas gaat. Dit verschil is te wijten aan het feit dat een temperatuur van -253°C nodig is om waterstof vloeibaar te maken. Het bereiken van een dergelijke lage temperatuur zou economisch en technisch een grote uitdaging zijn.

1 Vergelijking van een waterstofauto en een elektrische auto

Gezien de snelle ontwikkeling van elektrische voertuigen en de bijbehorende infrastructuur wordt een vergelijking tussen dit type aandrijving en waterstofaandrijving voorgesteld. Hoewel hieraan specifieke modules zijn gewijd, is het de moeite waard hier ten minste enige basisinformatie te vermelden.

In de sector personenauto's is het belangrijkste voordeel van waterstofaandrijving de vultijd, die, afhankelijk van het type voertuig en tankstation, meestal in de orde van minuten ligt (5-10 min). Een ander voordeel is dat een brandstofcelvoertuig niet zoveel accu's hoeft mee te nemen en dus lichter is dan een zuiver elektrisch voertuig. Het lagere gewicht vertaalt zich in een groter bereik, dat bijna vergelijkbaar is met dat van voertuigen die op fossiele brandstoffen rijden (ongeveer 450-700 km). Een van de voordelen van elektrische voertuigen is de mogelijkheid om de batterijen thuis op te laden. Dit voordeel is echter afhankelijk van de installatie van een oplaadinstallatie en de noodzaak van een eigen parkeerplaats. Het grootste nadeel van personenauto's op waterstof in vergelijking met elektrische auto's is het ontbreken van een netwerk van tankstations en de geringe actieradius van personenauto's op elektrische autos.

Andere gebieden van vervoer waar waterstof als brandstof kan worden gebruikt zijn met name het goederenvervoer over de weg, het openbaar vervoer, werk- en transportmachines en het spoorwegvervoer. Op deze gebieden blijkt het gebruik van waterstof als energiebron efficiënter te zijn dan zuivere elektriciteit. De belangrijkste voordelen van waterstofaandrijving zijn het aanzienlijk lagere gewicht van deze voertuigen, de snelheid van het vullen en de eenvoudiger constructie van een vulstation in vergelijking met een laadstation met het vereiste vermogen.

CONTROLEVRAGEN:

- 1) Waar en wanneer werd 's werelds eerste waterstoftankstation geopend? [Reykjavik, 2003]
- 2) Welk land had in 2021 het grootste aantal tankstations ter wereld? [Japan; 154]
- 3) Noem ten minste twee fabrikanten van personenauto's die op grote schaal waterstofvoertuigen produceren. [Hyundai, Toyota, Honda]

2 Wetgeving inzake de exploitatie en het onderhoud van tankstations

TREFWOORDEN

Wetgeving, norm, ISO, IEC, SAE, HFS, waterstofkwaliteit, communicatie, vulverbinding, nomenclatuur, normalisatie, geldigheid, veiligheid, vulproces, protocol

Dit hoofdstuk gaat over de wettelijke basis voor de exploitatie en het onderhoud van waterstoftankstations (HFS). De wetgeving met betrekking tot het ontwerp van HFS houdt ook verband met deze kwestie, en daarom is een deel van dit hoofdstuk ook daaraan gewijd. Naleving van de wettelijke voorschriften is essentieel om de veilige werking van de HFS te garanderen en de levensduur ervan te waarborgen. In dit hoofdstuk wordt de lezer vertrouwd gemaakt met de basisterminologie volgens de huidige wetgeving en een uitleg van de basisbegrippen. De wetgeving binnen de EU wordt bepaald door Europese normen, maar sommige operationele en technische details kunnen worden gespecificeerd in nationale voorschriften, zoals brandvoorschriften. De belangrijkste internationale organisaties die technische normen uitvaardigen zijn ISO (International Organisation for Standardisation), IEC (International Electrotechnical Commission) en SAE (Society of Automotive Engineers). Binnen deze organisaties worden normen ontwikkeld door leden van de TC (Technical Committee) van CEN (Europees Comité voor Normalisatie) en CENELEC (Europees Comité voor Elektrotechnische Normalisatie). De ontwikkeling van wettelijke normen gaat zeer snel en in de context van de ontwikkeling van waterstoftechnologie is er een constante evolutie en wijziging van bestaande normen en de creatie van nieuwe. [17]

De belangrijkste CEN/CENELEC TC's voor waterstofgerelateerde normen zijn:

CEN/CLC/TC 6 - Waterstof

CEN/TC 23 Verplaatsbare gascilinders

CEN/TC 69 Industriële kleppen

CEN/TC 185 Bevestigingsmiddelen

CEN/TC 197 Pompen

CEN/TC 234 Gasinfrastructuur

CEN/TC 235 Gasdrukregelaars en aanverwante veiligheidsapparatuur voor gebruik in de gasindustrie bij het transport en de distributie van gas;

CEN/TC 236 Niet-industriële handbediende afsluiters voor gas en gasdistributie speciale afsluitercombinaties - Andere producten

CEN/TC 238 Testgassen, testdrukken, toestelcategorieën en gastoestellen.

Types

CEN/TC 268 Cryogene vaten en specifieke toepassingen van waterstoftechnologie commissie.

Aangezien de onderwerpen en de reikwijdte van deze normen buiten het bestek van deze module vallen, worden hieronder normen beschreven die specifiek betrekking hebben op de bouw en de exploitatie van HFS. [17]

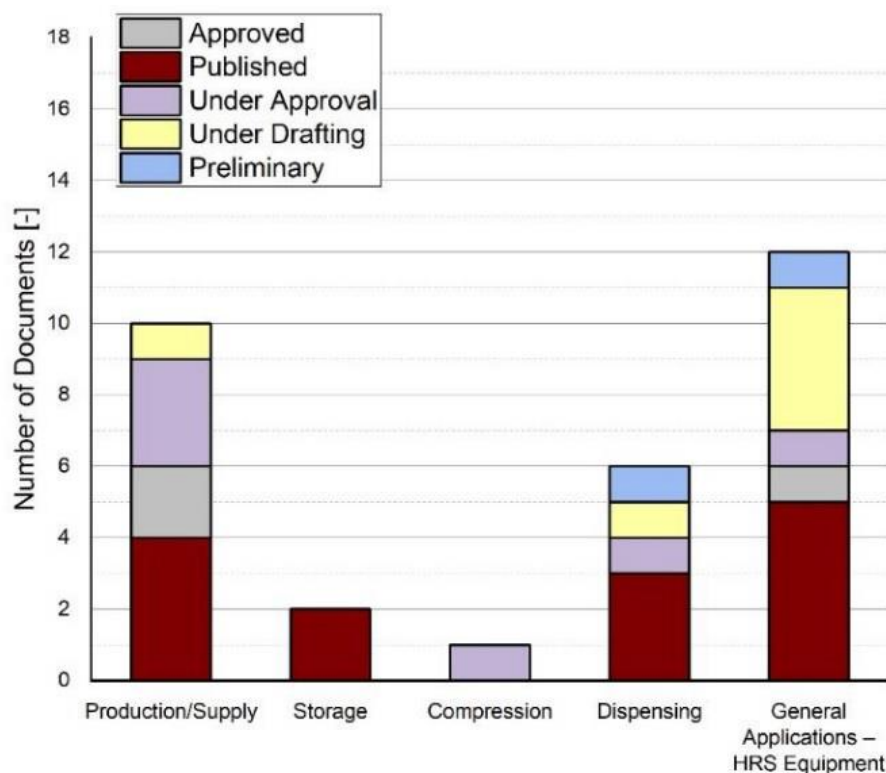


Foto 3 Status van de ontwikkeling van CEN- en CENELEC-normen voor HFS. [17]

De wetgeving inzake HFS in de EU wordt voornamelijk geregeld door de volgende normen [12]:

Waterstofvulstations - EN 17127 - Buitenstations voor het vullen van waterstofgas met vulprotocollen;
ISO 19880-1:2020 - Waterstofgas - Vulstations - Deel 1: Algemene eisen

Eigenschappen van waterstof - EN 17124 - Waterstofbrandstof - Productspecificatie en kwaliteitsborging voor waterstoftankstations - Protonuitwisselingsmembraan (PEM) brandstofceltoepassingen voor voertuigen

Vulproces - EN 17127 (verwijst naar SAE J2601) - Vulprotocollen voor lichte oppervlaktevoertuigen op waterstofgas

SAE J2799 - Hardware en software voor communicatie tussen oppervlaktewaterstofvoertuigen en -stations

Vulaansluitingen - EN ISO 17268 - Aansluitingen voor het vullen van waterstofgas in oppervlaktevoertuigen.

Alvorens de afzonderlijke normen te bespreken is het van essentieel belang vertrouwd te raken met de basisterminologie. Voor het gemak is de Tsjechische norm TPG 304 03 - Waterstofgasvulstations voor mobiele apparatuur ontwikkeld om de basisoriëntatie die nodig is voor het ontwerp, de bouw, de fabricage, de exploitatie en het onderhoud van HFS te vereenvoudigen. In deze norm zijn de noodzakelijke basisterminologieën uitgewerkt. Kennis van deze terminologie is noodzakelijk voor een correcte oriëntatie, niet alleen in wetgevingsdocumenten, maar ook in technische voorschriften en technische literatuur.

2.1 Basisnomenclatuur overeenkomstig de technische voorschriften tpg 304 03

Veilige afstand - de afstand tussen de bron van het gevaar en het doelwit (personen, uitrusting, milieu) die een aanvaardbaar risico tot een voorzienbare grens waarborgt. Het waterstoftankstation is zowel de bron van het gevaar als het doelwit. Hetzelfde geldt voor de apparatuur rond het waterstoftankstation ten opzichte daarvan. De veiligheidsafstand kan worden verkleind door aanvullende veiligheidsmaatregelen.

Veiligheidsafstand - de minimale afstand tussen de bron van een gevaar en een object die nodig is om het effect van een te verwachten gebeurtenis te beperken en te voorkomen dat een klein incident escaleert tot een groot incident.

Risicobeoordeling van de exploitatie van een waterstoftankstation - Bepaling van een kwantitatieve of kwalitatieve risicowaarde voor specifieke situaties en erkende gevaren van een waterstoftankstation onder normale bedrijfsomstandigheden. Het risicobeoordelingsverslag van de commissie maakt deel uit van de projectdocumentatie.

Compressor - Een inrichting die de via de zuigleiding aangevoerde waterstof comprimeert tot ten minste de maximale bedrijfsdruk van de tank voor mobiele apparatuur.

Mechanische ontkoppeling - Een voorziening die voorkomt dat de vulslang breekt, het doseerapparaat beschadigt en de vulsnelkoppeling loskomt.

Maximale werkdruk (MWP) - de maximale druk waaraan het waterstoftankstation in bedrijf bij een bepaalde processtand kan worden blootgesteld, onafhankelijk van de waterstoftemperatuur, voordat wordt ingegrepen met middelen om ervoor te zorgen dat deze niet veilig wordt overschreden of verlaagd, bijvoorbeeld door veiligheidskleppen.

Onvoorziene omstandigheden - Elke ongeplande situatie bij de normale exploitatie van een waterstoftankstation die gezondheidsschade, schade aan of verlies van eigendommen, materialen, milieuschade of bedrijfsschade kan of zal veroorzaken.

Gevarenzone - Een gebied waar een zodanige explosieve atmosfeer bestaat of kan voorkomen dat speciale voorzorgsmaatregelen moeten worden genomen bij het ontwerp, de installatie en het gebruik van het waterstoftankstation.

Niet-publiek waterstoftankstation - een station dat een gesloten groep klanten bedient, bijvoorbeeld een bedrijfsstation.

Nominale werkdruk (NWP) - de druk waarop de inrichting is ingesteld bij een waterstoftemperatuur van 15 °C; typische waarden voor auto's zijn 700 bar, voor bussen en vrachtwagens 350 bar.

Bediener - een persoon die gekwalificeerd is om de apparatuur te bedienen

Waterstofstroombegrenzer - Inrichting die de waterstofstroom afsluit wanneer een vooraf bepaalde waterstofstroomgrens wordt bereikt, die gewoonlijk 60 g waterstof per seconde bedraagt.

Vuloverdruk - De druk waarmee het gas aan de mobiele apparatuur wordt geleverd.

Vulaansluiting - Een onderdeel van een doseerrek of -apparaat dat bestaat uit een flexibele aansluiting (vulslang), een mechanische ontkoppeling en een vulsnelkoppeling.

Waterstofvulstation - Een inrichting voor het vullen van de druktanks van mobiele apparatuur met gecomprimeerde waterstof. Het bestaat uit een waterstofbron, een compressor, een koeleenheid, hogedrukopslag tanks, afvulapparatuur en eventueel ander toebehoren.

Langzaam vulstation - een vulstation zonder hogedrukopslag tank voor gecomprimeerde waterstof, waar de tank van de mobiele apparatuur rechtstreeks uit de persleiding van de compressor wordt gevuld.

Werkdruk (WP) - De hoogste druk die voor een waterstoftankstation bij een bepaalde procespositie in normaal bedrijf wordt verwacht.

Niet-explosiegevaarlijk gebied - Een gebied waar een explosieve atmosfeer naar verwachting niet in zodanige hoeveelheden aanwezig zal zijn dat speciale voorzorgsmaatregelen moeten worden genomen bij het ontwerp, de installatie en het gebruik van het waterstoftankstation.

Lektest onder bedrijfsdruk - Een lektest die wordt uitgevoerd op apparatuur die in bedrijf is.

Snelvulstation - een vulstation met een onder hoge druk staande tank met samengeperste waterstof, waarmee de tank van een of meer mobiele apparaten tegelijk snel kan worden gevuld door overvulling.

Zuigleiding - de waterstoftoevoerleiding van de lagedruktank naar de inlaat van de compressor.

Druklektest - Een procedure om na te gaan of de te testen apparatuur aan de lekvoorschriften voldoet.

Gebruiker - De exploitant van de mobiele apparatuur of de bestuurder van de mobiele apparatuur of de exploitant van het waterstoftankstation, d.w.z. een persoon ouder dan 18 jaar die vertrouwd is met de bediening van de gecomprimeerde waterstoftank.

Openbaar waterstoftankstation - een station dat de verkoop van waterstof aan mobiele apparaten aan het grote publiek mogelijk maakt overeenkomstig Wet nr. 311/2006 Coll.

Ventilatie - de uitwisseling van lucht in een ruimte door de werking van natuurlijke convectie (windwerking, temperatuurgradiënt), geforceerde convectie (ventilatorwerking) of een combinatie van beide.

Waterstof - een gas van de kwaliteit die nodig is voor de werking van brandstofcellen; volgens ISO 14687-2 moet de zuiverheid van waterstof ten minste 99,97 % bedragen.

Waterstoffilter - een apparaat voor het verwijderen van mechanische onzuiverheden uit gecomprimeerde waterstof.

Druksterkteproef - Een procedure om na te gaan of het geteste materiaal voldoet aan de eisen inzake mechanische sterkte.

Explosieve atmosfeer - een mengsel van lucht met brandbare stoffen, b.v. waterstof, in de vorm van gassen, dampen, nevels of stof onder atmosferische omstandigheden variërend van de onderste explosiegrens (LEL) tot de bovenste explosiegrens (UEL) waarbij, na initiatie, de verbranding zich uitbreidt tot het volume van het gehele onverbrande mengsel.

Tapinstallatie - een tapinstallatie die niet voldoet aan de definitie van een automaat, maar die een functie vervult voor het afleveren van gecompriëerde waterstof in specifieke omstandigheden (interne faciliteiten, kleine tankstations, ontwikkelingstankstations en andere faciliteiten waarvoor deze oplossing geschikt is).

Doseerrekk - een gecompriëerd waterstofdoseerapparaat dat niet hoeft te worden geopend voor gebruik en dat is uitgerust met een gespecificeerde meter voor het meten van de hoeveelheid waterstof die voor commerciële doeleinden wordt afgegeven (in kilogrammen) en een controle- en veiligheidsvoorziening om ervoor te zorgen dat aan de voorgeschreven vulvoorwaarden wordt voldaan.

Doseerapparatuur - apparatuur voor het doseren en meten van de hoeveelheid afgenomen gecompriëerde waterstof; dit zijn doseerrekken en doseerapparaten.

Hogedrukopslagtank - een apparaat voor de opslag van gecompriëerde waterstof voor het snel vullen van een of meer mobiele apparaten tegelijk, waarbij de compressor minder vaak hoeft te worden gestart.

Veiligheidsvoorziening - Een voorziening ter bescherming tegen een gevaarlijke situatie die er automatisch voor zorgt dat het vullen van een mobiel apparaat wordt onderbroken als er waterstof lekt of de vulslang kapot is.

Waterstofkoelapparaat - een apparaat dat waterstof koelt; het bevindt zich stroomafwaarts van de compressoruitlaat

2.2 Waterstof tankstations - en 17127 - buitenstations voor waterstofgas met vulprotocollen

In dit document worden de minimumeisen vastgesteld om de interoperabiliteit te waarborgen van waterstoftankstations, inclusief tankprotocollen, die gasvormige waterstof leveren aan

wegvoertuigen (bv. elektrische brandstofcelvoertuigen) die voldoen aan de wetgeving die op deze voertuigen van toepassing is. De veiligheids- en prestatievoorschriften van het gehele waterstoftankstation, die overeenkomstig de bestaande relevante Europese en nationale wetgeving worden behandeld, zijn niet in dit document opgenomen. [13]

2.3 Tankstations voor waterstof - iso 19880-1:2020 - waterstofgas - tankstations - deel 1: algemene eisen

Het bevat minimumvoorschriften voor het ontwerp, de installatie, de inbedrijfstelling, de werking, de inspectie en het onderhoud, de veiligheid en, indien van toepassing, de prestaties van openbare en niet-openbare tankstations voor HFS die gasvormige waterstof voor lichte wegvoertuigen leveren. De informatie in dit document bevat ook richtsnoeren en voorschriften voor het vullen van middelzware wegvoertuigen. Bovendien kan de informatie in dit document worden toegepast op waterstoftankstations met andere toepassingen, zoals:

- vulstations voor motorfietsen, vorkheftrucks, trams, treinen, rivier- en scheepvaarttoepassingen;
- binnen uitgifte stations;
- residentiële toepassingen voor de aandrijving van landvoertuigen;
- mobiele vulstations
- niet-openbare demonstratiestations.

Dit document gaat echter niet in op andere specifieke eisen die nodig kunnen zijn voor de veilige exploitatie van deze tankstations.

Dit document bevat eisen en richtsnoeren voor de volgende elementen van een tankstation

- waterstofproductie/afgiftesysteem:
- levering van waterstof via pijpleidingen, levering van gasvormige en/of vloeibare waterstof via vrachtwagens of aanhangwagens voor de opslag van metaalhydriden;
- waterstofgeneratoren ter plaatse die gebruik maken van het water elektrolyseproces of waterstofgeneratoren die gebruik maken van brandstofverwerkingstechnologieën;

- opslag van vloeibare waterstof;
- waterstofzuiveringssystemen, indien van toepassing;
- compressie;
- compressie van waterstofgas;
- pompen en verdamper;
- opslag van waterstofgas;
- verkoelingsapparatuur;
- doseersystemen voor waterstofgas; [14]

2.4 Eigenschappen van waterstof - en 17124 - waterstofbrandstof - productspecificatie en kwaliteitsborging voor tankstations voor waterstofgas - protonuitwisselingsmembraan (pem) brandstofceltoepassingen voor voertuigen

Dit document specificeert de kwaliteitskenmerken van waterstofbrandstof die in waterstoftankstations wordt geleverd voor gebruik in Proton Exchange Membrane (PEM) brandstofcelssystemen en de overeenkomstige kwaliteitsborgingsaspecten om de consistentie van de waterstofbrandstof te garanderen. [15]

Totaal aandeel waterstof en verontreinigende gassen	
Minimumgehalte aan zuivere waterstof	99,97 %
Totale hoeveelheid andere gassen dan waterstof	300µmol/mol
Maximumconcentraties van afzonderlijke verontreinigende gassen	
Water (H ₂ O)	5 µmol/mol
Totaal koolhydraten (methan)	2 µmol/mol
Zuurstof (O) ₂	5 µmol/mol
Helium (He)	300 µmol/mol
Totaal stikstof (N ₂) a Argon (Ar)	100 µmol/mol

Kooldioxide (CO) ₂	2 µmol/mol
Koolstofmonoxide (CO)	0,2 µmol/mol
Totaal zwavelverbindingen (H ₂ S)	0,004 µmol/mol
Formaldehyd (HCHO)	0,01 µmol/mol
Mierenzuur (HCOOH)	0,2 µmol/mol
Amoniak (NH ₃)	0,1 µmol/mol
Totaal halogeniden	0,05 µmol/mol
Maximale deeltjesconcentratie	1 mg/kg

Tabel 1 Waterstofkwaliteitseisen voor waterstofbrandstofcellen [8]

2.5 Vulproces - en 17127 (verwijst naar sae j2601) - vulprotocollen voor lichte oppervlaktevoertuigen op waterstofgas

EN 17127 is voor het vulproces gebaseerd op SAE J2601 - Filling Protocols for Light Surface Hydrogen Gas Vehicles. De SAE J2601-norm definieert het protocol en de procesgrenzen voor het tanken van waterstof in voertuigen. De procesgrenzen (bv. temperatuur van de brandstoftoevoer, maximaal debiet, einddruk en de snelheid waarmee deze wordt bereikt) zijn afhankelijk van externe factoren zoals de omgevingstemperatuur, de temperatuur van de brandstoftoevoer en de druk van de tank waarin de waterstof wordt getankt. De SAE J2601-norm definieert standaardprotocollen voor het tanken van waterstof. Deze protocollen zijn ofwel gebaseerd op een opzoektabel die gebruik maakt van een vaste stijgsnelheid van de druk in de tank, ofwel op het gebruik van een dynamische formule voor de stijgsnelheid van de druk. In dat geval wordt de vulsnelheid tijdens het vulproces continu berekend. Bij het protocol met de opzoektabel is de waterstofdruk die aan het eind van het vulproces wordt bereikt, bekend, terwijl bij het protocol met de formule voor de drukstijgsnelheid de maximale waterstofdruk die tijdens het vulproces wordt bereikt, wordt bepaald. Beide protocollen maken waterstofvulling met of zonder communicatie (tussen de vulinrichting en het voertuig) mogelijk. Voor vullen met communicatie moet naast SAE J2601 ook SAE J2799 - Hardware en software voor communicatie tussen waterstofvoertuigen en -stations worden gebruikt. Een kritieke factor voor de prestaties van waterstofvulling is het vermogen van de HFS om de gewenste temperatuur van de geleverde waterstof te bereiken. Afhankelijk van de temperatuur wordt de geleverde waterstof verdeeld in drie categorieën, aangeduid met de letter "T": T40, T30 EN T20. De categorie T40 is de koudste. De SAE J2601-norm definieert vulprotocollen voor de drukklassen 350 bar en 700 bar en drie

categorieën brandstoftemperaturen (-40 °C, -30 °C, -20 °C). Ook worden twee maten van waterstofopslagsystemen gedefinieerd. Het eerste systeem werkt met een druk van zowel 350 als 700 bar en heeft een volume van 49,7l - 248,6l en het tweede werkt alleen met een druk van 700 bar en heeft een volume van 248,6l en meer. [16]

Parameter	Grens
Minimum waterstof temperatuur	-40 °C
Maximale waterstoftemperatuur	85 °C
Minimumdruk in de dispenser	0,5 MPa
Maximale druk in de dispenser	87,5 MPa
Maximaal debiet	60 g/sec.

Tabel 2 Prestatie- en veiligheidsgrenzen voor het vullen van waterstof volgens SAE J260

SAE J2799 - Hardware en software voor communicatie tussen oppervlaktewaterstofvoertuigen en -stations.

Deze norm specificeert de communicatiehardware en -softwarevereisten voor het tanken van waterstof door waterstofvoertuigen (HSV's) zoals brandstofcelvoertuigen, maar kan ook worden toegepast op zware bedrijfsvoertuigen (bv. bussen) en industriële vrachtwagens (bv. vorkheftrucks) met een gecompriëerde waterstofopslagtank. Het omvat een beschrijving van de communicatiehardware en het protocol die kunnen worden gebruikt om de HSV bij te tanken. Het doel van deze norm is de geharmoniseerde ontwikkeling en implementatie van interfaces voor het tanken van waterstof mogelijk te maken.

2.5.1 Vulaansluitingen - en iso 17268 - aansluitingen voor het vullen van waterstofgas in landvoertuigen

Dit document definieert het ontwerp, de veiligheid en de operationele kenmerken van connectoren voor het tanken van waterstofgas in grondvoertuigen. Dit document verdeelt tankverbindingen in de volgende drie basisonderdelen:

- Druk- en beschermkap (op het voertuig gemonteerd).
- Mondstuk
- Communicatieapparaat (communicatie tussen het gevulde voertuig en het HFS)

Dit document is bedoeld voor vulverbindingen met een nominale werkdruk tot 70 MPa.

Het ontwerp en de soorten vulverbindingen worden in een apart deel van de module behandeld.

CONTROLEVRAGEN:

- 1) Wat zijn de belangrijkste internationale organisaties die technische normen uitvaardigen? (ISO, IEC, SAE)
- 2) EN ISO 17268 - Waterstofgasvulaansluitingen voor landvoertuigen is bedoeld voor apparatuur die werkt tot welke nominale werkdruk? (70 MPa)
- 3) Wat is het minimale zuivere waterstofgehalte voor brandstofcellen (99,97 %)?

3 Technische gasvulinstallaties

TREFWOORDEN

waterstof, distributie, cilinders, cilinderbundels, vullen, productie, transport, opslag, industriële gassen, veiligheid

Industriële gassen zijn een alledaags onderdeel van ons leven, aangezien zij worden gebruikt voor de productie van de overgrote meerderheid van de artikelen die wij gebruiken. Industriële gassen vormen niet alleen een essentieel onderdeel van productieprocessen in de industrie, maar zijn ook onmisbaar

in de gezondheidszorg, de voedingsmiddelenindustrie, de elektrotechniek, het onderzoek en vele andere toepassingen. Het gebruik ervan beïnvloedt dus niet alleen ieders leven, maar ook het milieu waarin wij leven. Deze module richt zich op waterstof en aanverwante technologieën. In dit deel van de tekst komen naast waterstof ook andere technische gassen aan bod. U vindt er ook basisinformatie over de productie, het vervoer en de distributie van industriële gassen. Installaties voor het vullen van technische gassen leveren technische gassen aan klanten, vullen lege technische gastanks en vervoeren deze.

De productie en distributie van industriële gassen is een proces dat wordt uitgevoerd door internationale ondernemingen met een wereldwijde aanwezigheid. De producten van hun activiteiten zijn niet alleen industriële gassen, maar ook chemicaliën die in diverse industrieën worden gebruikt en afvalproducten van de chemische productie verwerken. De grootste producenten en distributeurs van waterstof in de wereld zijn onder meer Linde, Air Products, Messer, Air Liquide International en Cummins.

In industriële gasvulinstallaties wordt waterstof opgeslagen in bovengrondse of ondergrondse stalen tanks. Vanuit deze tanks wordt de waterstof verder gevuld in transport- of drukcilinders. De opslagtanks onder druk kunnen worden vervangen door ondergrondse tanks met een grote capaciteit op geschikte locaties. Dit zijn meestal ondergrondse ruimten die door mijnbouw zijn ontstaan. De waterstofopslagdruk bedraagt ongeveer 110 bar; hogere drukken worden niet gebruikt wegens mogelijke lekkage van aardgas door de rotsmassa. Ondergrondse opslagtanks hebben het voordeel van een grote capaciteit en nemen geen ruimte in aan de oppervlakte. Het nadeel van dit type opslag is de keuze van een geschikte locatie vanwege de geologische omstandigheden. De uitbreiding van waterstofvoertuigen is afhankelijk van een voldoende dicht netwerk van tankstations, die gemakkelijk toegankelijk moeten zijn voor de gebruikers. Daarom moeten tankstations worden gebouwd in steden en rond wegen waar geen geschikte waterstofbronnen zijn. Daarom moet waterstof naar de tankstations worden ingevoerd op een soortgelijke wijze als tankstations voor fossiele brandstoffen of LPG/CNG. Op de plaats van productie wordt de waterstof in voor vervoer geschikte containers gevuld en vervolgens naar het uiteindelijke distributiepunt vervoerd.

Vanwege de specifieke kenmerken van waterstof doen zich bij de opslag, het vervoer en de distributie ervan een aantal problemen voor, waarvan de belangrijkste zijn:

- Extreem lage bulkdichtheid (3,2 maal lager dan aardgas en 2700 maal lager dan benzine).
- Gecomprimeerde waterstof kan explosief zijn - explosiegevaar
- De regelgeving voor waterstofopslag is wereldwijd niet consistent

- Moeilijkheid om waterstof met aardgas te mengen bij vervoer in bestaande pijpleidingen
- Waterstof kan de broosheid vergroten van de materialen waarvan transport- en opslagapparatuur is gemaakt [18].

3.1 Transport van waterstof

In dit deel van de tekst wordt de lezer vertrouwd gemaakt met het vervoer van waterstof naar het uiteindelijke distributiepunt, de middelen voor het vervoer ervan en in relatie tot de tankstations. Aangezien de kwestie van het vervoer van waterstof van het punt van productie tot het uiteindelijke vulpunt van vitaal belang is voor de tankstations, wordt in het volgende deel ingegaan op de middelen voor het vervoer van waterstof. In het geval van tankstations is het essentieel dat er voldoende waterstof is om het dagelijkse verbruik te dekken, zelfs als deze stations in dichtbevolkte gebieden liggen die slecht toegankelijk zijn voor vrachtwagens.

Voor waterstoftankstations kunnen met name drie soorten waterstoftransport worden gebruikt:

- 1) Vervoer van waterstof via pijpleidingen
- 2) Vervoer van gebotteld waterstofgas over de weg of per spoor
- 3) Vervoer van vloeibare waterstof
- 4) Vervoer van waterstof via pijpleidingen in een mengsel met aardgas

3.1.1 Vervoer van waterstof via pijpleidingen

Waterstofpijpleidingen zijn van metaal of kunststof en worden gebruikt om waterstof te distribueren via de bestaande aardgasinfrastructuur of door nieuwe pijpleidingen aan te leggen die uitsluitend voor het vervoer van waterstof bestemd zijn.

De aanleg van nieuwe waterstofpijpleidingen vergt een aanzienlijke initiële investering, maar is waarschijnlijk de gemakkelijkste manier om het gas te distribueren. Anderzijds vergt het gebruik van bestaande aardgasinfrastructuur lagere initiële kosten, maar er moet voor worden gezorgd dat de juiste verhouding waterstof in het gasmengsel aanwezig is. Verdere investeringen in technologie om de waterstof van het aardgas te scheiden wanneer het zijn bestemming bereikt, zijn eveneens vereist. [18] Het vervoer van waterstof via pijpleidingen is voordelig op de plaats van productie om een

waterstoftankstation voor interne transportvoertuigen of een openbaar waterstoftankstation in de nabijheid van de waterstofproductie te bevoorraden.

3.1.2 Vervoer van gecompriemde waterstof voor weg of spoor

Het vervoer van gecompriemde waterstof over de weg of per spoor is momenteel de meest gebruikte wijze van vervoer van waterstof. Waterstof wordt vervoerd in containers onder druk bij een druk van 200 bar (gedefinieerd in de Overeenkomst betreffende het internationale vervoer van gevaarlijke goederen over de weg - ADR) [19] Voor een voorbeeld van het gebruik van waterstof en benzinevervoer per vrachtwagen kunnen we de vergelijking gebruiken die is gepubliceerd in de "Waterstofstrategie van de Tsjechische Republiek". Dezelfde vrachtwagen met gecompriemde waterstof kan 500 kg waterstof vervoeren (in cilinders met een druk van 200 bar). Dit komt doordat de cilinders een zeer hoge druk moeten kunnen weerstaan. Een vrachtwagen met waterstof weegt bijna hetzelfde als een vrachtwagen zonder waterstof, het enige verschil is de 500 kg. De gecompriemde waterstoftank is robuust. Vanwege de geringe hoeveelheid waterstof die in een enkele trailer wordt vervoerd, is deze manier van transport slechts tot een afstand van ongeveer 150 km rendabel. [19] Bij het vervoer van gecompriemde waterstof over de weg of per spoor hoeft geen transportinfrastructuur te worden aangelegd en kan de hoeveelheid vervoerde waterstof naar behoren worden gedoseerd. Voor de uiteindelijke distributie van waterstof kunnen transportcontainers worden gebruikt als mobiele opslagtanks voor tankstations, zodat er geen waterstof in de opslagtank van het tankstation hoeft te worden gepompt. De nadelen zijn de beperkte afstand, vooral in het geval van vervoer over de weg, en het risico van ongevallen. [19]

3.1.3 Vervoer van vloeibare waterstof

Een alternatieve route die de hoeveelheid vervoerde waterstof aanzienlijk zou kunnen vergroten, is het vloeibaar maken ervan. Vloeibare waterstof wordt opgeslagen bij een temperatuur van -253°C . Dit impliceert hogere eisen aan de gebruikte materialen en een hoge energiebehoefte voor het vloeibaar maken; een groot nadeel is dus het verlies van ongeveer 40% van de energie tijdens het vloeibaar maken zelf (Devinn, Irena).

Een andere mogelijkheid om het vervoerde volume van waterstof te vergroten is het vloeibaar maken ervan. Vloeibare waterstof wordt opgeslagen bij een temperatuur van -253°C . Het bereiken van een dergelijke lage temperatuur gaat gepaard met hoge energiekosten voor het vloeibaar maken en hoge eisen aan de materialen voor de opslag van de vloeibare waterstof. Tot 40% van de in de waterstof opgeslagen energie gaat verloren tijdens het vloeibaar maken. [19] Het voordeel van dit type transport is de mogelijkheid om grote hoeveelheden waterstof over aanzienlijke afstanden te vervoeren (totdat geschikte gaspijpleidingen zijn aangelegd). De nadelen zijn het energieverbruik en, in het geval van vervoer over de weg, het risico van ongevallen. [19]

3.1.4 Vervoer van waterstof via pijpleidingen in een mengsel met aardgas

Dit type vervoer maakt gebruik van het bestaande netwerk van pijpleidingen die ontworpen zijn voor het vervoer van aardgas, waaraan een bepaalde hoeveelheid waterstof zou worden toegevoegd. Momenteel is het gasnet technisch voorbereid op waterstof toevoegingen tot 2%. Na technische aanpassingen zou het theoretisch mogelijk zijn om tot 10% waterstof te vervoeren. Het belangrijkste nadeel van dit type transport is dat de waterstof bij de eindgebruiker van het aardgas moet worden gescheiden. Het voordeel is het hogere debiet van het aardgas/waterstofmengsel door de pijpleiding. Deze wijze van transport is kosteneffectief bij grote transportvolumes en wanneer een groot aantal afnemers in één regio is geconcentreerd. Volgens de Duitse waterstofstrategie zijn 1 200 wagons, 600 schepen of pijpleidingen met een diameter van 82 cm nodig om 100 000 ton waterstof te vervoeren. [19]

3.2 Veiligheidsregels voor het werken met industriële gassen

Werken met industriële gassen is uiterst gevaarlijk. Onjuiste omgang met deze stoffen kan ernstige gevolgen hebben, met gevaar voor gezondheid en leven. Afhankelijk van het soort gas dat wordt gebruikt, zijn er de volgende gevarencategorieën:

- Toxische gevaren,
- brandgevaar,
- explosiegevaar.

Veilig werken met gassen moet altijd beginnen met de aanleg van een geschikte infrastructuur, zoals interne en externe gasinstallaties, enkel- en dubbelzijdige en automatische gasexpansiestations, hoogdichte installaties van koperen of stalen leidingen, alsmede aanvullende apparatuur (reduceerventielen, afsluiters). Ruimten waarin een explosieve atmosfeer kan ontstaan, moeten eerst worden uitgerust met actieve veiligheids- en ventilatiesystemen. Laboratoria of productiehallen moeten worden uitgerust met detectiesystemen die geschikt zijn voor het soort gas en doeltreffende afzuigsystemen voor reactiegassen. Bovendien moet worden gezorgd voor doeltreffende ventilatie van ruimten, gaskasten en opslagruimten. Cilinders met samengeperste gassen moeten worden beschermd tegen kantelen, oververhitting en beschadiging. Wanneer het werk voltooid is, moeten de gascilinders worden verwijderd en verplaatst naar een plaats waar ze geen gevaar opleveren. Denk eraan dat er een groot explosiegevaar bestaat in geval van brand of onjuist vervoer (voor het vervoer moeten speciale karren worden gebruikt). Bovendien mag u de cilinders niet zelf schoonmaken. Het is ook verboden brandbare gassen op te slaan met onverenigbare stoffen, bijvoorbeeld oxiderende gassen met brandbare of agressieve gassen. Kennis van de basisregels en voorschriften is de sleutel tot veilig werken met gassen. Het loont de moeite om de regels en voorschriften te kennen en elkaar voor te lichten over veiligheid.

CONTROLEVRAGEN

- 1) Kunt u ten minste drie soorten vervoer van waterstof noemen? (Vervoer via pijpleidingen; Vervoer van gecomprimeerde waterstof over de weg of per spoor; Vervoer van vloeibare waterstof over de weg of per spoor; Vervoer van waterstof via pijpleidingen in een mengsel met aardgas)
- 2) Waarom is het nodig tankstations te bouwen in stedelijke gebieden of in de buurt van wegen (vanwege de gemakkelijke bereikbaarheid)?
- 3) Wat zijn de risico's van de omgang met industriële gassen? (explosiegevaar, brandgevaar, toxische risico's)

4 Bouwdelen van het tankstation

De lezer leert over de belangrijkste onderdelen van een waterstoftankstation, hun doel en functie. Ook wordt getoond hoe de verschillende onderdelen van een waterstoftankstation met elkaar verbonden zijn om een functionele en veilige eenheid te vormen. Omdat een waterstoftankstation

een complex apparaat is dat elektrische, mechanische en hogedrukelementen combineert, is het essentieel de functie van de afzonderlijke onderdelen en de veiligheidsvoorschriften voor het onderhoud en de reparatie ervan te kennen.

4.1 De belangrijkste onderdelen van een waterstoftankstation

Een waterstoftankstation bestaat uit de volgende onderdelen:

- Waterstofopslagtank (ondergronds, bovengronds)
- Compressor
- Warmtewisselaar
- Hogedruk opslagtank
- Koeloseerapparaat
- Doseerreuk
- Vullende snelkoppeling

Waterstofopslagtank - De waterstof die in het waterstoftankstation zal worden gevuld, wordt meestal gecomprimeerd opgeslagen in opslagtanks onder druk. Vanwege de zeer kleine waterstofmoleculen moet voor de opslagtanks een materiaal worden gekozen dat voorkomt dat er waterstof door de materiaalstructuur lekt. Drukvaten zijn meestal gemaakt van staal of composietmaterialen. In het geval van composietmaterialen wordt een stalen of aluminium laag in de tank aangebracht om waterstoflekage te voorkomen. De waterstof wordt in de tanks opgeslagen bij een druk van 200 bar. Dit waterstofopslagsysteem is reeds lang beproefd en getest. Het nadeel is de aanzienlijke omvang van de tanks, vooral in het geval van tankstations die een groot aantal voertuigen moeten bedienen. De opslagtanks onder druk kunnen een vast onderdeel zijn van het tankstation en de waterstof wordt via leidingen aangevoerd of met vrachtwagens naar de locatie vervoerd en vervolgens in de tank gepompt. De andere optie is het gebruik van mobiele opslagtanks, waarbij de waterstof in het tankstation voor industrieel gas wordt gevuld en deze tank vervolgens over de weg of per spoor naar het tankstation wordt vervoerd. Stalen of samengestelde tanks onder druk kunnen aan de oppervlakte of ondergronds worden geplaatst.

In sommige gevallen is het mogelijk ter plaatse waterstof te produceren, meestal door middel van elektrolyse ter plaatse, in welk geval de kosten van het vervoer van de waterstof naar het tankstation komen te vervallen.

De volgende twee systemen worden hoofdzakelijk gebruikt voor de opslag van waterstof ter plaatse:

Bulkbundel - een rek met gasflessen. Alle gasflessen van de bulkbundel zijn met elkaar verbonden door leidingen en kleppen. Dit opslagconcept is bij uitstek geschikt als het systeem later moet worden uitgebreid, omdat een willekeurig aantal volumes kan worden aangesloten. Ook zeer kleine hoeveelheden kunnen met dit concept worden opgeslagen.



Foto 4 Bulkbundel [20]

Buisvormige opslagtank - deze opslagtanks bestaan uit lange opslagunits die in een frame zijn geïnstalleerd. Een buisvormige opslageenheid is 6 of 12 meter lang en kan grote hoeveelheden waterstof opslaan.



Foto 5 Buisvormige opslagtank [20]

Compressor - De compressor comprimeert de waterstof om de druk te verhogen en het volume te verminderen, zodat meer waterstof in het systeem kan worden opgeslagen en het gas efficiënt kan stromen voor het afleveren. [22] Bij vullen onder hoge druk (700 bar) is de compressor nodig om de

waterstof op een druk van ongeveer 950 bar te brengen. [23] Bij middeldrukvulling wordt de waterstof gecomprimeerd tot een druk van ongeveer 530 bar. [23] Voor de compressie van waterstof worden droge-ketting zuigercompressoren met elektrohydrostatische aandrijving gebruikt. De compressoreenheid bestaat uit twee coaxiale, verticale gascilinders, elk mechanisch gekoppeld en aangedreven door een hydraulische cilinder. De ruimte tussen de gas- en aandrijfcilinders voorkomt verontreiniging van het medium met hydraulische olie.

De twee aandrijfcilinders zijn hydraulisch met elkaar verbonden. Veranderingen in de slagrichting worden uitgevoerd door contactloze schakelaars en de hydraulische cilinders worden aangedreven door een hydraulisch aggregaat. Bij gebruik van een systeem met een regelpomp kan de verandering van de zuigerslag traploos worden geregeld. Elektrohydrostatisch aangedreven drooglopende zuigercompressoren comprimeren gasen zoals waterstof, stikstof, helium, argon of ethyleen volledig vrij van smeermiddelen en vaste stoffen. Door de speciale opstelling en vormgeving van de gaszuigerafdichtingen en geleidingselementen kan bij toepassingen met hoge en piekdruk volledig worden afgezien van de gebruikelijke smering van de afdichtingscomponenten.



Foto 6 Compressor voor tankstation [21]

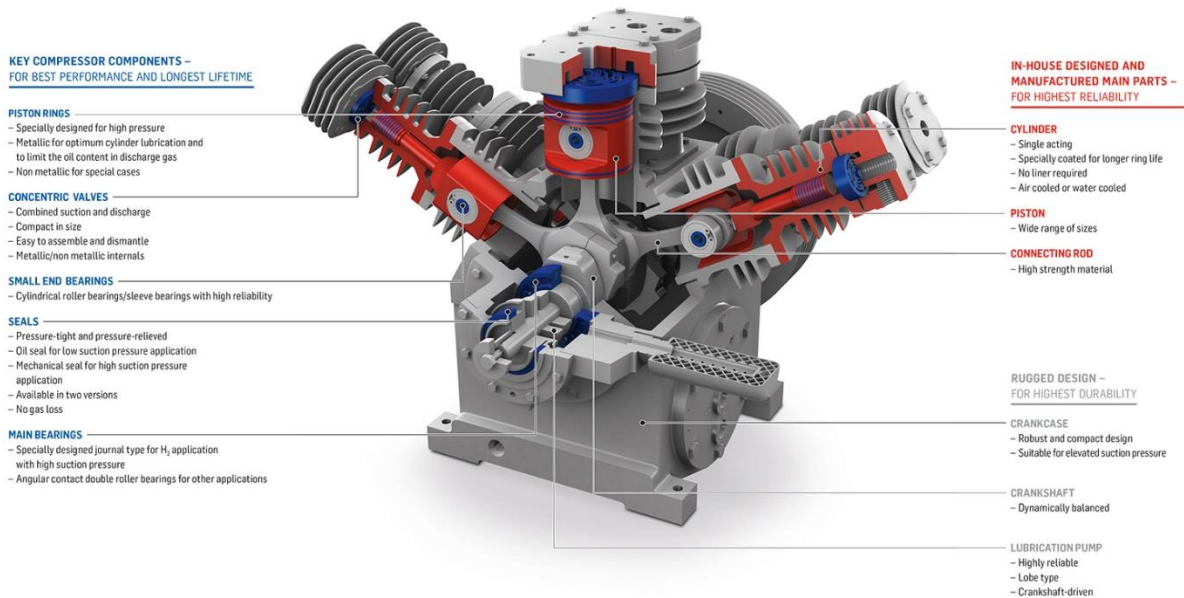


Foto 7 Diagram hogedrukcompressor [20]

Warmtewisselaar - tijdens het compressieproces wordt de waterstof ongewenst verhit, zodat de sterk gecomprimeerde waterstof door een warmtewisselaar moet gaan waar hij wordt afgekoeld.

Hogedruktank - Het sterk gecomprimeerde gas wordt opgeslagen in een tank waar het klaar is om in het voertuig te worden gevuld. De opslag wordt geregeld door speciaal ontworpen kleppen, fittingen en elektrische regelingen die ontworpen zijn om de druk te regelen en naar behoefte te interageren met de doseerapparatuur en het voertuig. [22]

Gekoelde doseerapparatuur - Voor het vullen wordt de waterstof gekoeld tot -40°C voor snel en efficiënt vullen om een veilige waterstofdosering en naleving van de vulprotocollen, d.w.z. protocol J2601, te garanderen.

Doseerreik - Dient hetzelfde doel als het doseerreik op een conventioneel tankstation. Omvat vulkoppeling, vulslang, display en regeltechniek. De betaalterminal kan apart worden geplaatst. Via het display kan de gebruiker gemakkelijk het tankproces starten. Vervolgens wordt een korte stapsgewijze instructie gevolgd totdat de vulkoppeling stevig aan de vulopening van het voertuig is bevestigd. Waterstof met temperaturen tot -40 °C stroomt dan door de vulkoppeling in de waterstoftank van het voertuig. De vuleenheid kan de tank van het voertuig vullen met een druk van zowel 350 als 700 bar. [20]



Foto 8 Doseerapparatuur [20]

De automaten moeten in de open lucht worden geïnstalleerd onder een afdak van onbrandbare materialen, inclusief dakbedekking. Zij moeten zo zijn geplaatst dat zij gemakkelijk zichtbaar zijn vanuit de positie van de exploitant van het waterstoftankstation of door middel van CCTV kunnen worden gecontroleerd en dat voertuigen niet door de gevaarlijke zones eromheen rijden. Het onderdak moet ontworpen zijn voor een windsnelheid van 160 km/u en een sneeuwbelasting op het dak van 100 kg/m², rekening houdend met de seismische weerstand.

Vulsnelkoppeling - verbindt de doseerapparatuur en het gevulde voertuig. Hij moet een vuldrukresolutie van 350 bar of 700 bar bieden. Voor vulverbindingen mogen alleen vulslangen worden gebruikt waarvan het ontwerp een geleidende verbinding met de mobiele vulinrichting waarborgt en bestand is tegen de waterstofstroom en de bedrijfsdruk. De vulaansluiting mag niet korter zijn dan 3 m en niet langer dan 5 m. Het ontwerp van de vulsnelkoppeling moet het gebruik ervan voor andere doeleinden dan het vullen van de tanks van mobiele waterstofinstallaties uitsluiten. Voorts moet zij ervoor zorgen dat de waterstofstroom alleen open is wanneer zij stevig is verbonden met de vulaansluiting van de mobiele uitrusting en moet zij een onopzettelijke ontkoppeling uitsluiten. Ontkoppeling van de vulsnelkoppeling mag alleen na drukverlaging mogelijk zijn. Als de mechanische spanning een bepaalde grens overschrijdt, zal zij de waterstoftoevoer van de pomp en de waterstofretourstroom van de tank van de gevulde mobiele uitrusting onderbreken en afsluiten. De kracht die nodig is om de verbinding te verbreken is aanzienlijk minder dan de treksterkte van de vulaansluiting of de kracht die nodig is om de vulsnelkoppeling te trekken of de doseerinrichting te

beschadigen. [24] De vulsnelkoppeling moet een voldoende snelle gasstroom mogelijk maken voor de kortst mogelijke vultijd van het voertuig en moet tevens een gegevensverbinding tussen het gevulde voertuig en de doseerinrichting mogelijk maken om de gegevenscommunicatie en de optimale instelling van de vulmodus te waarborgen.



Foto 9 Vullende snelkoppeling voor 700 bar druk. [25]

CONTROLEVRAGEN

- 1) Welke materialen worden het meest gebruikt voor opslagtanks voor gecomprimeerde waterstof (staal of composietmaterialen)?
- 2) Waarvoor dient de compressor in een waterstoftankstation? (comprimeert de waterstof uit de tank tot een hoge druk, die vervolgens in het voertuig wordt gebracht)
- 3) Noem ten minste vier functies die door het vulstation moeten worden gewaarborgd (voldoende snelle gasstroom, veilige ontkoppeling en drukverlaging, communicatie tussen de vulinrichting en het gevulde voertuig, geen verwarring van de vuldruk).

5 Exploitatie en onderhoud van het tankstation

TREFWOORDEN

veiligheid, waterstof, gasdetectie, inspectie, onderhoud, certificering, kwalificatie, veilige afstand, bescherming van inzittenden, risico's, explosie, lekkage.

Om de veiligheid tijdens het vullen van de voertuigen en tijdens de eigenlijke exploitatie van het tankstation te waarborgen, moet voldoende aandacht worden besteed aan operationele controles en

onderhoud van het waterstoftankstation. Dit punt zal in dit deel van de tekst worden behandeld. De lezer zal kennismaken met de verschillende taken in verband met de controle van de toestand van een waterstoftankstation, de veiligheidsvoorschriften en de systemen om een veilige werking te waarborgen. Ten slotte zullen gevallen van ongelukken met waterstoftankstations worden gepresenteerd, waarbij de oorzaken en gevolgen ervan worden toegelicht.

5.1 Voorwaarden voor een veilige exploitatie van een waterstoftankstation

Naleving van de gebruiksaanwijzing en de bedrijfsvoorschriften van de installatie is essentieel voor de veilige werking van het tankstation. Een schema van de uitrusting van het waterstoftankstation, de gebruiksaanwijzing en de plaatselijke bedrijfsvoorschriften (brandvoorschriften) moeten op de plaats van het tankstation beschikbaar zijn.

In de nabijheid van elke pomp voor gecomprimeerd waterstof moet op een in het oog springende plaats een bord worden aangebracht dat het vullen door onbevoegden verbiedt, alsmede instructies voor het vullen. Aanbevolen wordt dit verbod uit te voeren in ten minste twee wereltalen en, in grensgebieden, in de talen van de buurlanden. De motor van de mobiele uitrusting moet tijdens het vullen worden uitgeschakeld en tegen beweging worden beveiligd. Alleen de gevulde mobiele apparatuur mag zich tijdens het vullen in de aangewezen zone van de tapinstallatie bevinden. Roken en open vuur zijn verboden in de omgeving van het waterstoftankstation. Dit verbod moet op een zichtbare plaats worden aangebracht. Er moeten veiligheidstekens en -borden worden gebruikt, waarvan het ontwerp en de plaats in de desbetreffende wetgeving zijn gespecificeerd. Deze omvatten waarschuwingen tegen de volgende soorten gevaren:

- gebieden waar een explosieve atmosfeer kan heersen;
- brandbare stoffen;
- samengeperste gassen;
- risico van een elektrische schok;
- het afblazen van veiligheidskleppen;
- warme of koude oppervlakken;
- mechanische gevaren.

De verdeelapparatuur moet buiten de bedrijfsuren op de in de plaatselijke voorschriften beschreven wijze tegen misbruik worden beveiligd.

De documentatie van het waterstoftankstation in bedrijf omvat een instructiehandleiding met de juiste procedures voor het gebruik van alle onderdelen van het waterstoftankstation. In de handleiding moeten de risico's en gevaren worden aangegeven en de veiligheidsmaatregelen worden gespecificeerd. De handleiding moet ook een beschrijving en uitleg bevatten van alle op het waterstoftankstation gebruikte waarschuwingen en merktekens, met name die met betrekking tot gevaarlijke zones. De onderhoudshandleiding maakt deel uit van de technische documentatie en bevat instructies voor het gekwalificeerde onderhoud van de procesapparatuur, waarin de juiste procedures voor het opstellen, behandelen, preventieve controles en reparaties worden beschreven. Het onderhoudshandboek bevat aanbevelingen voor gekwalificeerd onderhoud, onderhoudsintervallen en registers. Indien methoden beschikbaar zijn om de correcte werking te controleren (bijvoorbeeld softwaretestprogramma's), moet het gebruik van deze methoden in detail worden beschreven. Gekwalificeerd onderhoud moet worden uitgevoerd door een erkende organisatie. De bepalingen zijn mutatis mutandis van toepassing op de constructieonderdelen van waterstoftankstations wanneer de onderhoudsinstructies door de aannemer worden opgesteld. [24] Bij een storing in het hogedrukgedeelte van het tankstation moet de waterstoftoevoer worden afgesloten, waarbij de waterstoftoevoer naar het getankte voertuig, indien aangesloten, wordt onderbroken. Vervolgens zal een gecontroleerd vrijkomen van waterstof uit de onder druk staande delen in de omringende atmosfeer plaatsvinden.

5.2 Bedieningscontrole van het waterstoftankstation

Het waterstoftankstation wordt ten minste om de zes maanden aan een periodieke keuring onderworpen:

- een visuele inspectie van de toestand van de gehele installatie;
- controle van de werking van de veiligheidsuitrusting en de op afstand bediende kleppen;
- controle van de operationele status van de brandbeveiligingsapparatuur
- controle van de dichtheid van de verbindingen tijdens de werking van de installatie;
- visuele inspectie van de integriteit van de kabelisolatie;

- visuele controle van de aardings- en bindingsvoorzieningen (integriteit van de geleiders, verbindingpunten vrij van corrosie en mechanische loslating, enz.)

De waterstoftankstations worden regelmatig, eens per jaar, geïnspecteerd:

- inspectie van de gasapparatuur
- controle van de doorgang en afstelling van de overdrukvoorzieningen;
- waterstofkwaliteitstesten
- controle van de compactheid en de markering van de brandzegels;
- controle van de waterstofmassastroommeter
- operationele inspectie van elektrische apparatuur in gevaarlijke gebieden.

Waterstoftankstations worden om de drie jaar aan een periodieke inspectie onderworpen:

- een operationele inspectie van de gasapparatuur, met inbegrip van een controle van de kwalificaties van de bediener;
- een operationele inspectie van de elektrische apparatuur, met inbegrip van een controle van de kwalificaties van de bediener.

Alleen personen ouder dan 18 jaar, medisch geschikt, aantoonbaar opgeleid, bekend met de plaatselijke bedrijfsvoorschriften, opgeleid in geval van een ongeval en gekeurd om een waterstoftankstation te bedienen, mogen een waterstoftankstation bedienen.

5.3 Ongevallen bij waterstoftankstations

Ondanks alle veiligheidsmaatregelen om de werking van waterstoftankstations te garanderen, heeft zich op 10 juni 2019 in de Noorse gemeente Bærum een explosie van een waterstoftankstation voorgedaan. Twee mensen die zich in een voertuig in de buurt van het waterstoftankstation bevonden, raakten bij het ongeval gewond. De explosie was zo krachtig dat de airbags van voertuigen in de omgeving werden geactiveerd. De fabrikant van het waterstoftankstation was NEL, het is de grootste fabrikant van elektrolyzers met een geschiedenis die teruggaat tot 1927 en een toonaangevende fabrikant van waterstoftankstations.

De eigenaar van het getroffen waterstoftankstation is Uno-X Hydrogen, het station werd in 2016 geopend. Het was een Nel H2Station met waterstofproductie ter plaatse.

De belangrijkste oorzaak van de explosie was het slecht aandraaien van de bouten van de waterstofopslagtank, wat leidde tot een geleidelijk falen van het afdichtingssysteem, gevolgd door een ongecontroleerde lekkage van waterstof (tijdstip: 17.30 uur) en vervolgens een explosie (tijdstip: 17.37 uur). Nader onderzoek bracht een fout aan het licht bij de assemblage van de hogedrukopslag, die bestaat uit stalen tanks en andere onderdelen van onderaannemers.

Het onderzoek testte de hogedrukopslagtanks die in dit type tankstation worden gebruikt en stelde vast dat het systeem qua materiaalstructuur en ontwerp volkomen veilig is, maar de montage van het systeem bleek onveilig te zijn. Het niet goed aandraaien van de bouten kan een waterstoflek veroorzaken met fatale gevolgen.

Na dit incident heeft NEL de controle op de assemblage van de drukvaten nog verder verscherpt, waarbij de afzonderlijke assemblagestappen worden gecontroleerd zoals in de luchtvaartindustrie.

CONTROLEPROBLEMEN

1) Wie mag een waterstoftankstation bedienen? (Personen ouder dan 18 jaar, medisch geschikt, aantoonbaar opgeleid, bekend met de plaatselijke exploitatievoorschriften, getraind in noodoefeningen en getest om een waterstoftankstation te bedienen.

2) Met welke intervallen wordt het waterstoftankstation geïnspecteerd? (6 maanden, 1 jaar, 3 jaar)

3) Welke taken worden uitgevoerd bij de 1-jaarlijkse inspectie? Noem er ten minste vier. (Gasapparatuur controleren, overdrukvoorzieningen controleren op speling en afstelling, waterstofkwaliteit testen, compactheid en markering van brandwerende afdichtingen controleren, waterstofmassastroommeter controleren, operationele inspectie van elektrische apparatuur in gevaarlijke zone.

6 Soorten tankstations

TREFWOORDEN

technische voorwaarden, waterstofbron, waterstoftankstation, opslag, mobiliteit, stationair station, intern vervoer, personenauto's, bussen, treinen, vliegtuigen, gecomprimeerde gasvormige waterstof, vloeibare waterstof, economie, koeling, beschikbaarheid, publiek

Hierna worden de waterstoftankstations in verschillende categorieën ingedeeld. Deze categorisering is bedoeld om de lezer te helpen de waterstoftankstations te begrijpen en de belangrijkste voor- en nadelen van elke oplossing samen te vatten. Bij de keuze van het type waterstoftankstation zijn de economische, technische en veiligheidsmogelijkheden en het specifieke beoogde gebruik van het tankstation van cruciaal belang. Nadat al deze aspecten in overweging zijn genomen, wordt een studie uitgevoerd en wordt het meest geschikte ontwerp van het tankstation gekozen. Hierbij worden waterstoftankstations ingedeeld naar het gebruikte type waterstof, de locatie van het station, het type voertuigen waarvoor het station bestemd is en de bron van de in het tankstation verdeelde waterstof.

6.1 Indeling naar soort waterstof

- 1) Waterstoftankstations voor gecompriëerde gasvormige waterstof
- 2) Tankstations voor vloeibare waterstof

Waterstofvulstations voor het vullen van brandstofcelvoertuigen met waterstof in gasvorm worden gebruikt voor voertuigen waarbij de waterstof eveneens als gas wordt opgeslagen in de opslagtank van het voertuig. Er zijn over het algemeen twee normen voor gasvormige waterstofstations - het vullen van waterstof bij 700 bar (H70) of bij 350 bar (H35). Personenauto's maken doorgaans gebruik van de H70-technologie. Tankstations voor vloeibare waterstof zijn veel minder gebruikelijk. Waterstof is alleen vloeibaar bij temperaturen onder $-252,87$ °C. Een vulstation voor vloeibare waterstof vereist een intensief koelsysteem dat zeer energie- en technologie-intensief is. [26]

6.2 Verdeling per locatie

- 1) Stationair
- 2) Mobiel

Waterstofstations zijn over het algemeen een stationair systeem. De belangrijkste functie van een waterstoftankstation is te fungeren als een waterstofopslagsysteem met waterstofopslag- en

tanktechnologie. In de meeste gevallen wordt waterstof momenteel aan het station geleverd in cilinders of in gespecialiseerde waterstofcontainers op vrachtwagens. Sommige stations produceren waterstof rechtstreeks in het waterstofstation door middel van elektrolyse (uit wind of zon). Pijpleidingen zouden in de toekomst een andere efficiënte manier zijn om waterstof aan deze stations te leveren. Mobiele waterstoftanksystemen zijn veel kleiner en worden gebruikt voor het tanken in noodgevallen of voor sommige speciale mobiele gebruikssituaties. Het voordeel van mobiele tankstations is dat het station kan worden ontworpen als een functionele eenheid, die vanaf de industriële gasvulinstallatie naar de locatie wordt gebracht en door een vol station wordt vervangen wanneer het wordt geleegd, terwijl het lege station wordt meegenomen om te worden gevuld. Dit systeem is bijvoorbeeld geschikt voor transport binnen een bedrijf. [26]. Waterstof voor personenauto's vereist waterstoftankstations die H70 (700 bar) druk leveren, terwijl vrachtwagens en andere speciale voertuigen tegenwoordig meestal H35 (350 bar) waterstoftankstations nodig hebben. Vloeibare waterstof zou in de toekomst ook kunnen worden gebruikt voor vrachtwagens; het voordeel is de hogere energiedichtheid van vloeibare waterstof. Het is de bedoeling dat vloeibare waterstof wordt opgeslagen in een waterstoftank met behulp van de modernste technologie. Brandstofcellbussen worden steeds populairder omdat deze typen waterstofvoertuigen een hoog waterstofverbruik hebben dat voorspelbaar is. Een vloot van meerdere waterstofbussen kan de investering in een eigen waterstoftankstation rechtvaardigen. Het waterstofverbruik kan worden berekend en het station kan regelmatig worden bijgevuld. Waterstofbussen met brandstofcellen slaan momenteel waterstof op bij 350 bar. Voor intern vervoer wordt hoofdzakelijk de 350 bar-technologie gebruikt omdat een dergelijk opslagsysteem minder investeringen vergt en, in tegenstelling tot auto's, regelmatig tanken kan worden gepland en uitgevoerd in een station dat dicht bij de algemene exploitatiebasis is gebouwd (bv. buiten of binnen de installatie). Andere vervoermiddelen, zoals treinen, trams of zelfs vliegtuigen, kunnen beschikken over tankstations voor waterstof in een remise of hangar. [26]

6.3 Indeling naar waterstofbron

- 1) Waterstoftankstations zonder eigen waterstofbron
- 2) Waterstoftankstations met een eigen waterstofbron

De meeste tankstations worden gebouwd op locaties waar geen geschikte waterstofbronnen zijn en waterstof moet naar deze stations worden vervoerd. Waterstoftankstations met een eigen waterstofbron moeten worden gebouwd op locaties waar waterstof wordt geproduceerd (bv.

productie uit stortgas, waterstof als afvalgas van chemische productie, enz.) Door op deze locaties waterstoftankstations te bouwen, wordt aanzienlijk bespaard op de kosten van het vervoer van de waterstof en het vullen ervan in transportcontainers. Het nadeel is dat het meestal minder toegankelijk is voor het publiek. Daarom is dit type tankstation vooral geschikt voor lokale klanten of voor het vullen van voertuigen die bij de productie van dit type waterstof betrokken zijn.

Momenteel is het meest gebruikelijke type waterstoftankstation dat voor gecomprimeerd waterstofgas. Deze stations zijn stationair en qua ontwerp vergelijkbaar met CNG-vulstations. De vuldruk is vastgesteld op 700 bar voor personenauto's en 350 bar voor vrachtwagens. In de meeste reeds ingevoerde tankstations wordt de waterstof ingevoerd in tanks en vervolgens in een opslagtank in het tankstation gepompt.

Ter illustratie volgt hier een voorbeeld van een klein waterstoftankstation dat dankzij de gebruikte technologie en de kleine afmetingen zeer geschikt is voor bijvoorbeeld dichtbevolkte stedelijke gebieden. Honda heeft een vrij lange geschiedenis met waterstofauto's. Het eerste model FCX clarity kwam al in 2007 op de markt. Tegelijkertijd heeft het ook lang gewerkt aan de ontwikkeling van een beter waterstoftankstation. In 2014 verscheen het eerste prototype SHS-station - een station dat alles wat nodig is om waterstof te produceren herbergt in de kleinst mogelijke ruimte. In 2015 kwam het met een revolutionaire technologie voor waterstofproductie met behulp van hogedrukelektrolyse met een eigen apparaat genaamd de Power Creator. Het SHS-station is een zeer compacte manier om waterstof te produceren, op te slaan en bij te vullen, allemaal met slechts een aansluiting op water en elektriciteit. De geleverde energie zal naar verwachting hoofdzakelijk afkomstig zijn van hernieuwbare bronnen, zodat de CO₂-uitstoot zelfs bij de productie van waterstof wordt beperkt. Door gebruik te maken van het Power Creator-systeem wordt waterstof onder hoge druk geproduceerd, waardoor er geen compressoren nodig zijn die ruimte in beslag nemen en dus wordt ook het elektriciteitsverbruik van de hele installatie verminderd, volgens de Honda website is het elektriciteitsverbruik teruggebracht tot 1/4. Tegelijkertijd zijn er niet zulke grote tanks nodig om meer waterstof op te slaan. Door al deze verbeteringen kan het station een ruimte innemen van 3,7m x 2,25m x 2,57m en kan het bijna overal worden geplaatst.

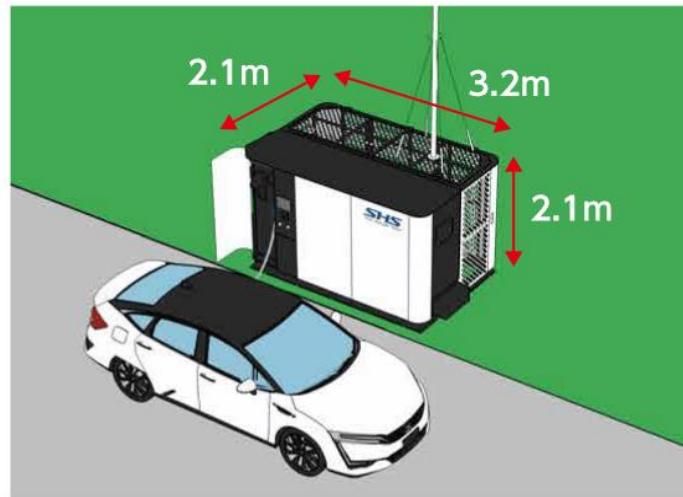


Foto 10 Honda SHS [27]

CONTROLEVRAGEN

- 1) Wat zijn de voor- en nadelen van ter plaatse gebouwde waterstoftankstations? (Voordelen: eliminatie van de kosten voor het vullen van waterstof in transportcontainers en het vervoer ervan van de plaats van productie naar de plaats van vulling; nadelen: minder toegankelijk voor het publiek, meer geschikt voor lokale distributie)
- 2) Wat is het grootste nadeel van waterstoftankstations voor vloeibare waterstof? (energie en technische complexiteit, voor vloeibare waterstof moet de temperatuur onder -258°C worden gehouden).
- 3) Wat is momenteel het meest gebruikelijke type waterstoftankstation? (stationair voor gecompriemd waterstofgas met een vuldruk van 700 bar voor personenvervoertuigen en 350 bar voor vrachtwagens, zonder eigen waterstofbron).

7 Prognoses in ontwikkeling

TREFWOORDEN

toekomst, ontwikkeling, efficiëntie, gebruik, onderzoek, beschikbaarheid, milieu, Europese Unie, subsidies, emissies, brandstofcellen, tankstations, onafhankelijkheid, waterstof, ecologie, vrachtwagens, auto's

De toekomst van waterstoftankstations is nauw verbonden met de ontwikkeling van de waterstofproductie en de infrastructuur voor het vervoer ervan naar de plaats waar wordt getankt. De volgende noodzakelijke stappen zijn de overschakeling op groene energiebronnen voor de productie van waterstof en de verhoging van de efficiëntie van brandstofcellen. Het toenemende aantal waterstofvoertuigen zal druk uitoefenen op het groeiende aantal tankstations en de grotere beschikbaarheid daarvan.

Om enkele voorbeelden te geven: de Japanse autofabrikant Toyota lanceerde zijn eerste waterstofauto in de vorm van de Mirai, en introduceerde begin december de experimentele GR Yaris met waterstof verbrandingsmotor. Beide auto's demonstreren op ingenieuze wijze twee verschillende benaderingen van het gebruik van waterstof in het vervoer: terwijl de Mirai gebruik maakt van chemische reacties in brandstofcellen om elektriciteit op te wekken voor elektrische aandrijving, verbrandt de GR Yaris waterstof in een aangepaste conventionele motor. Beide hebben onmiskenbare milieuvordelen: het gebruik van waterstof in een brandstofcel produceert alleen niet-gemineraliseerd water als afval, en zelfs verbranding in een conventionele motor resulteert in slechts relatief kleine hoeveelheden schadelijke NO_x. "De waterstofbrandstofcel is aanzienlijk gemakkelijker te recyclen, met als nadeel dat er zeer zeldzame metalen zoals platina of iridium worden gebruikt".

Toen de Europese Commissie in 2020 haar waterstofstrategie presenteerde, stelde zij zich ten doel een volledig waterstofecosysteem in de EU tot stand te brengen om alle betrokken sectoren te helpen koolstofvrij te maken. Twee jaar later ontstaat er op EU-niveau concrete wetgeving om de doelstellingen in de praktijk te helpen omzetten. Waterstof valt bijvoorbeeld onder het bekende klimaatwetgevingspakket "Fit for 55", dat de productie van hernieuwbare waterstof definieert en maatregelen bevat om het verbruik ervan aan te moedigen. Daartoe behoren de bouw van tankstations en bijbehorende infrastructuur. In het nieuwe energieplan REPowerEU, dat de EU moet helpen haar energieafhankelijkheid van Rusland te doorbreken en te zorgen voor betaalbare en schone energie voor de EU-27, heeft de Commissie een verhoging van de waterstofdoelstellingen voorgesteld. Europa denkt niet alleen aan waterstof als een andere schone energiebron of

energieopslag, maar ook als een alternatieve brandstof voor voertuigen. Hoewel waterstofvervoersprojecten nog in de kinderschoenen staan, hebben ze potentieel.

Er zijn al auto's, vrachtwagens, bussen, treinen en zelfs schepen op waterstof. Maar ze zijn verre van wijdverspreid. En sommige zullen het misschien niet eens meemaken. Vervoersdeskundigen zeggen dat waterstof eerder voor vrachtvervoer dan voor passagiersvervoer zal worden gebruikt. In het geval van auto's lopen batterijen voorop. Als we het hebben over personenvervoer, hebben batterijen bijna tien jaar voorsprong, wat ook aantoont dat de invoering van waterstof in het vervoer in het algemeen, en in het personenvervoer in het bijzonder, eerder een aanvullende oplossing lijkt te zijn dan de belangrijkste. In het goederenvervoer heeft waterstof echter een aantal voordelen ten opzichte van batterijen. Een van de voordelen is het lagere gewicht van de voertuigen, evenals het snelle tanken in 20 minuten en de betrouwbare en grotere actieradius, die zelfs in koude omstandigheden niet significant zou moeten afnemen. Ook om deze reden wordt waterstof gezien als een oplossing, vooral voor vrachtvervoer over lange afstanden en wanneer het voertuig continu moet worden geladen. Waarschijnlijk zullen accu's en waterstof worden aangevuld en naast elkaar bestaan. Waterstof is ook zinvol vanuit het oogpunt van ČESMAD BOHEMIA (de vereniging van vervoerders). "De geteste prototypes (van waterstofvoertuigen) lijken geschikt voor langeafstandsvervoer, hun actieradius is vergelijkbaar met die van diesellootvoertuigen en beter dan die van batterij-elektrische voertuigen."

Maar de uitbreiding van waterstofaandrijving is nog steeds de muziek van de toekomst, en verschillende vraagtekens moeten nog worden opgelost. Een daarvan is bijvoorbeeld waar de omvangrijke waterstoftanks moeten worden geïnstalleerd die vrachtwagens nodig hebben. Of Europa erin slaagt voldoende zuivere waterstof te produceren blijft ook een belangrijk vraagteken. Waterstofproductie uit fossiele brandstoffen zou zeker niet leiden tot koolstofneutraliteit. Als we het hebben over zogenaamde groene waterstof, is het grootste struikelblok de omvang van de benodigde productie. Om vervoer op waterstof te ontwikkelen, moeten er natuurlijk ook voldoende tankstations worden gebouwd. De bouw van tankstations is niet alleen financieel maar ook technisch veeleisend. Zo kostte het Tsjechische tankstation, dat sinds juni 2022 in Ostrava in bedrijf is, ongeveer 67 000 Euro. Tsjechië wil er tegen 2030 ongeveer 80 in eigen land bouwen. Een ander obstakel dat de snelle ontwikkeling van waterstofvoertuigen zal belemmeren, is de veronderstelling van een zeer hoge prijs van waterstofvoertuigen. Als de EU haar doelstellingen wil bereiken om het vervoer emissievrij te maken, moeten er tegen 2030 minstens om de 150 kilometer tankstations voor waterstof beschikbaar zijn langs het trans-Europese netwerk voor autovervoer. Dit zou een voldoende dicht netwerk van waterstoftankstations creëren om voldoende grensoverschrijdende connectiviteit in de EU te garanderen en de 60 000 waterstoftrucks te ondersteunen die naar verwachting in 2030 op de EU-

wegen zullen rijden. De 60 000 waterstoftrucks weerspiegelen de resultaten van een studie uit 2020 in opdracht van de Gemeenschappelijke Onderneming Brandstofcellen en Waterstof (FCH JU), waarin werd geconcludeerd dat brandstofcellen "een zeer veelbelovende oplossing zijn voor emissievrije aandrijving voor zwaar vrachtvervoer". In de studie werd geconcludeerd dat vrachtwagens met brandstofcellen op waterstof tegen 2027 kostenconcurrerend kunnen worden als de prijs van waterstof daalt tot 6 euro/kg. In de studie werd ook gewezen op de grote operationele flexibiliteit en de relatief korte tanktijd van waterstoftrucks. Een wetgevingskader is echter essentieel om waterstoftrucks een plaats te geven op de markt. "Zonder het vlaggenschip van de EU, het klimaatpakket Fit for 55, zouden er tegen 2030 slechts 3 000 waterstoftrucks op de Europese wegen zijn", vertelde een ambtenaar van de Europese Commissie aan EURACTIV. Met de huidige voorstellen om aan de klimaatambities van de EU te voldoen, zal dit aantal echter stijgen tot 60 000. De studie schetst een scenario waarin 17% van de nieuwe vrachtwagens die in 2030 worden verkocht op waterstof rijden. Er moet echter aan twee belangrijke criteria worden voldaan - waterstof moet worden verkocht tegen een prijs van minder dan 6 euro/kg en de kosten van de waterstoftechnologie moeten dalen. Als dit zou gebeuren, zouden er in 2030 ongeveer 60.000 waterstoftrucks op de Europese wegen rijden. In 2030 zou groene waterstof slechts 1,8 euro/kg kunnen kosten. De kosten van de technologie zouden op een veelbelovend neerwaarts traject kunnen worden gebracht door gezamenlijke financiering van onderzoek door de EU en de industrie.

Voor waterstoftankstations is de toekomst vooral gericht op het bouwen van een voldoende dicht netwerk van tankstations, het oplossen van het waterstofvoorzieningsprobleem en het verkorten van de vultijden. Een optie die wordt overwogen is het verhogen van de vuldruk, maar dit zal leiden tot nog hogere eisen aan de veiligheid, de kwaliteit van de materialen en het ontwerp van zowel de tankstations als de voertuigen. Naarmate het aantal tankstations toeneemt, zal de prijs van de tankstations dalen, waardoor het aantal stations nog verder kan toenemen.

Om de bouw en exploitatie van waterstoftankstations efficiënter en kosteneffectiever te maken, ontwikkelen de afdeling Energietechnologie van de Universiteit van Duisburg-Essen (UDE) en het Centrum voor Brandstofceltechnologie (ZBT) momenteel simulatiemodellen van onderdelen van tankstations om ontwerpen te analyseren en te evalueren. Onderzoekers van UDE en ZBT bekijken de basiscomponenten van een waterstoftankstation. Op de testbank van ZBT onderzoeken zij de brandstofpomp, de tankgrootte en de druk, voeren de resultaten in simulaties in en berekenen de relaties tussen de componenten om efficiënt te kunnen tanken. Cruciaal voor het ontwerp van een waterstoftankstation is het beoogde gebruik. Tankstations in kleine steden of bedrijven en stations langs snelwegen zullen totaal verschillend zijn.

Een andere kwestie die moet worden aangepakt zijn de verliezen in de productie- en distributieketen van waterstof. Hoe efficiënter het proces, hoe lager de uiteindelijke prijs van waterstof. Waterstof is ook aanzienlijk duurder dan fossiele brandstoffen. Projectleider Dr. Jürgen Roes van de afdeling Energietechniek zegt: "Toch is waterstof uit zonne- en windenergie een belangrijk energieopslagmiddel van de toekomst omdat het het milieu niet vervuult." Daarom is het zinvol de bron zo efficiënt mogelijk te gebruiken en na te gaan denken over een zo economisch mogelijk gebruik. [28]

CONTROLEVRAGEN

- 1) In welke vervoerstak wordt waterstof naar verwachting het meest gebruikt? (vrachtvervoer en stadsbussen)
- 2) Wat zijn de voordelen van waterstofvoertuigen in vergelijking met elektrische voertuigen (lichter gewicht, grotere actieradius, actieradius onafhankelijk van de buitentemperatuur, sneller tanken)?
- 3) Welk percentage van de nieuwe vrachtwagens die in 2030 in de EU worden verkocht, moet op waterstof rijden (17%)?

8 SAMENVATTING

Het doel van deze tekst is de lezer vertrouwd te maken met de basisaspecten van waterstoftankstations, hun geschiedenis en werking. De lezer moet vertrouwd zijn met de fundamentele wetgevingskwesties en technische voorschriften die van invloed zijn op zowel het eigenlijke ontwerp en de bouw van tankstations als de regels voor de exploitatie en het onderhoud ervan. In de volgende hoofdstukken wordt de lezer vertrouwd gemaakt met de soorten waterstoftankstations, hun basiskennmerken en het beoogde gebruik. De tekst wordt afgesloten met een beoordeling van de toekomstige ontwikkeling van waterstoftankstations en het algemene gebruik van waterstof als energiebron in het vervoer.

Het onderwerp waterstoftechnologie is zeer breed en maakt een dynamische ontwikkeling door, zodat het niet mogelijk is alle informatie over dit onderwerp in één onderwijstekst te behandelen. Voor een perfecte oriëntatie in de waterstofproblematiek en het gebruik ervan is het noodzakelijk kennis te nemen van andere modules en de ontwikkelingen op het gebied van waterstoftechnologie

te volgen. In het algemeen kunnen waterstoftechnologieën als zeer veelbelovend worden beschouwd, hoewel de grootschalige toepassing ervan gepaard zal gaan met een aanzienlijk aantal problemen en hoge kosten.

9 BRONNEN

[1]: <https://finmag.penize.cz/veda-a-technika/430830-je-vodik-palivem-budoucnosti-nastupujici-trend-ocima-expertu>

(2) <https://www.wired.com/2007/11/checking-in-on/>

(3) <https://www.statista.com/statistics/1026719/number-of-hydrogen-fuel-stations-by-country/>

[4] CHIC " *Brandstofcel elektrisch busproject CHIC lanceert definitief projectrapport als hulpmiddel voor steden en busondernemers* [online]. [vid. 2017-01-19]. Dostupné z: <http://chic-project.eu/newsevents/news/fuel-cell-electric-bus-project-chic-launches-final-project-report-as-tool-for-cities-and-bus-operators>

[5] H2-Stationen. *H2 Mobility* [online]. [vid. 2017-02-10]. Dostupné z: <http://h2-mobility.de/h2-stationen/>

[6] <https://www.iberdrola.com/sustainability/hydrogen-stations>

[7] <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/hydrogen-refuelling-station>

[8] TPG 304 03 www.cgoa.cz

[9] <https://hydro-tech.hennlich.cz/produkty/kompresory-a-plnici-stanice-vodiku-14468.html>

[10] <https://www.sultrade.cz/standardni-vysokotlakovy-kompresory/>

[11] <https://www.products.pcc.eu/cs/blog/vyznam-technicky-plynu-v-prumyslu/>

[12] <https://www.technicka-zarizeni.cz/sbornik-prednasek-kh-2021/vystavba-a-provoz-vodikovy-plnicich-stanic-a-nekere-souvislosti/>

[13] <https://www.technickenormy.cz/csn-en-17127-venkovni-vydejni-vodikove-cepaci-stanice-na-plynny-vodik-s-plnicimi-protokoly/>

[14] <https://www.iso.org/standard/71940.html>

[15] <https://standards.iteh.ai/catalog/standards/cen/90016399-7325-4ffa-a34f-058be6306350/en-17124-2022>

[16] https://www.sae.org/standards/content/j2601_202005/

[17] Vergelijkende studie van mondiale, Europese en Italiaanse normen inzake waterstoftankstations

Matteo Genovese, Viviana Cigolotti, Elio Jannelli en Petronilla Fragiaco E3S Web Conf., 334 (2022) 09003.

DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202233409003>

[18] <https://www.tuvsud.com/cs-cz/odvetvi/energetika/konvencni-energie/vodikova-energie/skladovani-preprava-a-distribuce-vodiku>

[19] Vodíková strategie České republiky, *Ministerstvo průmyslu a obchodu*

[20] <https://www.sultrade.cz/standardni-vysokotlake-kompresory/>

[21] <https://hydro-tech.hennlich.cz/produkty/kompresory-a-plnici-stanice-vodiku-14468.html>

[22] <https://www.haskel.com/en-us/blog/how-does-a-hydrogen-refuelling-station-work>

[23] <https://hdsam.es.anl.gov/index.php?content=hrsam>

[24] TPG 304 03

[25] <https://www.weh.us/weh-fueling-nozzle-tk17-h-70-mpa-for-fast-filling-cars-singlehanded-operation-selfservice.html>

[26] <https://hyfindr.com/hydrogen-refueling-station/>

[27] <https://global.honda/innovation/FuelCell/smart-hydrogen-station-engineer-talk.html>

[28] <https://fuelcellsworks.com/news/filling-station-of-the-future-using-hydrogen-more-efficiently/>

10 LIJST VAN FOTO'S

Afbeelding 1 Netwerk van tankstations in Duitsland in 2016, 2018, 2023 [5]	6
Afbeelding 2 Huidige stand van zaken en vooruitzichten voor de uitbreiding van bussen op waterstof. [4]	7
Afbeelding 3 Status van de ontwikkeling van CEN- en CENELEC-normen voor HFS. [17]	10
Foto 4 Bulkbundel [20].....	26
Foto 5 Buisvormige opslagtank [20]	26
Foto 6 Compressor voor tankstation [21].....	27
Afbeelding 7 Diagram hogedrukcompressor [20].....	28
Foto 8 Doseerapparatuur [20]	29
Afbeelding 9 Vullende snelkoppeling voor 700 bar druk. [25]	30
Foto 10 Honda SHS [27]	38

11 LIJST VAN TABELLEN

Tabel 1 Waterstofkwaliteitseisen voor waterstofbrandstofcellen [8].....	17
Tabel 2 Prestatie- en veiligheidsgrenzen voor waterstofvulling volgens SAE J260	18