Boost in waterstoftechnologie als opportuniteit voor gebruik composieten

14 januari 2022, 01:00

Linde De Vriese

In de globale transformatie naar een koolstofarme economie speelt waterstof een belangrijke rol. Dit betekent ook een interessant potentieel voor composietmaterialen. Zo zou het gebruik van waterstofgas in mobiliteit een markt kunnen creëren van miljoenen opslagtanks in (koolstofvezelversterkte) composietmaterialen. Een stand van zaken met focus op de kansen en uitdagingen voor composietmaterialen voor waterstof in mobiliteitstoepassingen.

Al jaren bieden vaten uit koolstofvezelversterkte composieten (CFRP) een lichtgewicht oplossing voor de opslag van waterstof onder druk. Emissiearme, door waterstofcellen aangedreven wagens beschikken over zogenaamde type IV-tanks bestaande uit een thermoplastische liner omhuld door koolstofvezel en epoxyhars. De verwachtingen zijn dat de vraag naar degelijk type IV-tanks in de toekomst enorm zal toenemen. Daarnaast bestaan er nog enkele serieuze uitdagingen. Zo maakt de kostprijs van koolstofvezels de tanks zeer duur. Een tweede struikelblok is de opslagdichtheid: hoewel waterstofgas onder druk drie keer de energie per kilogram heeft van benzine, is de energie per volume ervan vrij laag. Daarom zijn er relatief grote cilinders nodig om voldoende waterstof op te slaan. Voor mobiele toepassingen heeft het gebruik van type IV-tanks uit CFRP een streepje voor op de metalen alternatieven dankzij hun lichtgewicht. Voor stationaire toepassingen zoals hervulstations voor waterstof, is gewicht geen primaire stimulans.

In de vorm van een cryogene vloeistof (op een temperatuur lager dan -253 °C) heeft waterstof een aanzienlijk hogere (energie)dichtheid. De huidige cryotanks bestaan typisch uit metaal. De performantie en levensduur (onder vermoeiing) van de alternatieven op basis van composieten moeten nog verder gedemonstreerd en gevalideerd worden. Deze technologie staat nog niet zover als de type IV-tanks voor gecomprimeerd gas.

We geven een overzicht van waar de technologie momenteel staat, waar ze naartoe gaat en wat de rol van composietmaterialen zal zijn.

Waterstof voor zwaar transport

De Amerikaanse motorenproducent Cummins werkt samen met truckbouwer Navistar aan een vrachtwagen in de hoogste gewichtsklasse aangedreven door brandstofcellen. Deze zal een jaar lang op proef meedraaien bij het Amerikaans transport- en logistiekbedrijf Werner Enterprises. Daarnaast is Cummins begonnen met het testen van een waterstof-aangedreven verbrandingsmotor (d.i. H2 wordt onmiddellijk verbrand). Deze zal geëvalueerd worden in verschillende toepassingen, al dan niet op snelwegen. Aan het einde van dit decennium zou een dergelijk aanbod de total cost of ownership (TCO) van een dieselmotor benaderen. Gezien het

streven naar nul-emissie, wordt een out-phasing van dieselmotoren verwacht voor zwaar transport en vervanging door waterstof, brandstofcellen of elektrische batterijen.

In Europa legt de wetgeving een reductie van 30 procent in CO2-uitstoot op tegen 2030 voor de vloot van nieuwe vrachtwagens, in vergelijking met het niveau van 2019. Dit betekent wellicht dat een deel van de truckproductie in Europa waterstof-aangedreven zal zijn. Een scenario schat een groei in van 2.000 trucks/jaar in 2026-'27 tot 15.000 à 20.000 trucks/jaar (of 5 procent van de vloot) tegen 2030. Met 5 tot 7 type IV-tanks per voertuig zou dit voor de markt van zware vrachtwagens neerkomen op een jaarlijkse vraag van 100.000 tanks tegen 2030. Dit komt neer op een jaarlijkse behoefte van ongeveer 6.000 ton koolstofvezel.

Voor de sector van zwaar transport is waterstof een interessante optie. Elektrische batterijen zijn immers relatief groot en zwaar, en vereisen lange herlaadtijden. Gekoppeld aan de eisen inzake payload en actieradius leidt dit tot een economisch voordeel van waterstof ten opzichte van elektrische aandrijving. Tankproducenten als Hexagon Purus verwachten dat de verkoop van type IV-tanks sterk zal toenemen, en het grootste deel daarvan (ca. 30 procent) uit zware vrachtwagens zal komen.

Lichte vracht en personenvoertuigen

Nieuwkomers op de markt van type IV-tanks Faurecia en Plastic Omnium, beide Franse Tier-1-leveranciers voor de automobielsector, voorzien een productie van 2 miljoen waterstof aangedreven wagens per jaar tegen 2030, waarvan 1,5 miljoen lichte vrachtwagens en passagiersvoertuigen zouden zijn. Azië wordt verwacht de leiding te nemen in de verkoop van wagens met waterstofbrandstofcellen. De ambities zijn er aanwezig en wellicht niet toevallig bevindt zich ook daar heel wat van de koolstofvezelproductie. In China zou de voorkeur gaan naar type I- en type III-tanks, terwijl type IV-tanks er tot voor kort verboden waren. Type I-tanks bestaan uit metaal en zijn bestand tegen een maximale druk tot 200 bar, type III-tanks zijn vervaardigd uit composietmateriaal met een metalen liner, voor toepassingen die vragen om 350 bar; tanks voor 700 bar zijn in de laatste testvalidatiefase.

Vraag naar FCV's en koolstofvezel

Het Franse Plastic Omnium berekende dat 700 bar type IV-tanks 10 kg aan koolstofvezel per opgeslagen kilogram H2 vereisen. Rekening houdend met het feit dat brandstofcelwagens ('full- cel vehicles' of FCV's) minimum 5-6 kg H2 dragen, zou er dus, om de voorziene 5 miljoen FCV's op de weg te hebben tegen 2030, ca. 250.000 ton koolstofvezel voor de H2-opslagtanks moeten geproduceerd worden. Andere sectoren, zoals offshore en lucht- en ruimtevaart, maken bovendien eveneens gebruik van het materiaal. Een rapport van de Hydrogen Council (Hydrogen Council's 2021 'Hydrogen Insights' report) schat de hoeveelheid FCV's tegen 2030 in op zo'n 4,5 miljoen. De 5-6 kg H2 waarvan sprake slaat echter op personenwagens; een zware vrachtwagen kan makkelijk 35 kg H2 met zich mee hebben en zware trucks zouden 25 procent van de jaarlijkse FCV-productie voor hun rekening nemen.

Voldoende koolstofvezel voorradig hebben is dus een van de voornaamste zorgen. De sector heeft nood aan koolstofvezel binnen een bepaalde prijscategorie met een bepaalde kwaliteit en eigenschappen: de meeste type IV-tanks maken gebruik van Toray T700-vezels met een treksterkte van 4.900 MPa, modulus van 230 MPa of gelijkaardig. Een minder sterke vezel vereist meer windingen en zo wordt de tank dikker, wat niet acceptabel is. Fabrikanten zoals het Japanse

Toray en Koreaanse Hyosung zeggen zich voor te bereiden op een groeiende vraag na 2023.

Trein en bus

Ook voor het vervoer per spoor zit waterstofgas in de lift. In Duitsland is sinds dit jaar een H2-aangedreven trein (de Coradia iLint) in gebruik, waarvan er 14 eenheden rondrijden in Nedersaksen. In 2022 zullen 27 bijkomende eenheden in gebruik worden genomen in Rijn-Main. De trein wordt momenteel ook getest in Oostenrijk en Nederland. Met een bereik van 1.000 km en topsnelheid van 140 km/u kan de iLint zich qua performantie meten met de regionale treinen. De 2-wagoneenheden maken gebruik van 24 type IV-tanks, die in een dakcompartiment bovenop elke wagon zitten, samen met de brandstofcellen. De trein is voorzien van 350-bar tanks met een lengte van 2,2 m en een diameter van 0,5 m. Er zijn daarnaast ook andere treinen op waterstof in ontwikkeling in Europa. Siemens heeft zijn Mireo Plus H-treinen met twee en drie wagons die in 2023-'24 op verschillende regionale lijnen in Duitsland getest worden. Het Spaanse Talgo zal zijn Vittal-One-trein testen in 2023. Tenslotte is er de FLIRT-trein, die gebouwd en getest wordt in Zwitserland, alvorens in Californië in gebruik genomen te worden in 2024.

Ook in Azië wordt momenteel volop ontwikkeld en getest, waaronder een 2-wagonstrein in Japan (bereik 140 km - topsnelheid 110 km/u - H2-opslagcapaciteit van 40 kg H2 bestaande uit vijf 700-bar-tanks in elk van de vier opslagcompartimenten).

Een ander voorbeeld zijn brandstofcel-aangedreven trams in China, voor stedelijk vervoer over korte afstanden, met zes 350-bar-tanks met 4 kg gecomprimeerd H2-gas, goed voor een actieradius van 125 km en topsnelheid van 70 km/u.

Op de markt van vrachttreinen zal de diesellocomotief van het Amerikaanse Sierra Northern Railway vervangen worden door een alternatief met H2-brandstofcel en 225 kg aan H2. Ook Canadian Pacific laat een bestaande diesel-elektrische vrachtlocomotief retrofitten. Retrofitting van locomotieven met een levensduur van meer dan 50 jaar, wordt geacht een haalbaar en kostenefficiënt alternatief te zijn voor 'hydrail'-treinen.

Een aanzienlijk voordeel van H2-aangedreven railverkeer, zowel voor passagiers- als vrachtvervoer, is dat er geen aanpassingen van de bestaande spoorwegen nodig zijn. Dit in tegenstelling tot elektrische treinen, waarvoor elektriciteitsleidingen moeten voorzien worden, wat een hele investering is.

Net als voor treinen is voor bussen de infrastructuur de sleutel tot een evolutie naar waterstofgas: elke dag komen ze terug naar dezelfde stelplaats, waar vulstations kunnen voorzien worden. Zo beschikt RVK, het regionale vervoersysteem van Keulen, momenteel over de grootste vloot ter wereld van bussen op basis van H2-brandstofcellen. Ze zetten momenteel dagelijks 37 dergelijke bussen in, en nemen er tegen het einde van dit jaar nog 15 extra in gebruik. Op dit moment worden deze bevoorraad met slechts twee vulstations.

Scheepvaart

Naast H2-gas op land is ook het water een haalbare kaart en de vraag vanuit de sector groeit snel. Opslagsystemen voor aan boord zijn in ontwikkeling, vanaf de H2-productie naar de opslag en van de opslag naar de brandstofcel. Composieten zouden de ideale opslagoplossing zijn voor toepassingen op zee omwille van de barre omgeving en corrosie.

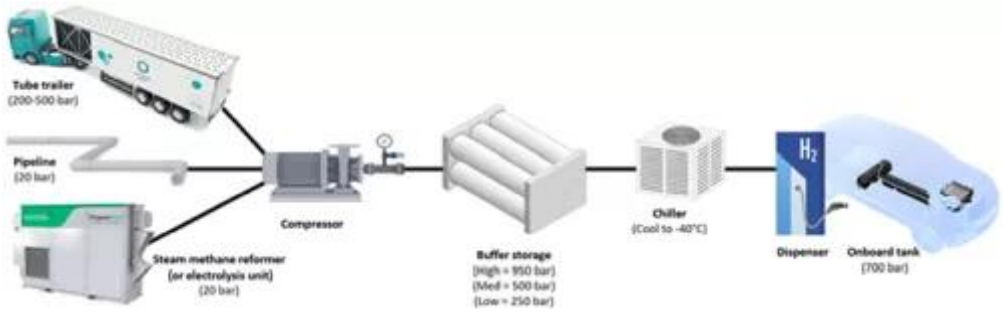
Ook in de maritieme industrie worden de komende jaren grote veranderingen verwacht. Een stijgend aantal pilootprojecten lopen al of staan in de steigers. Drijvende kracht zijn de ambitieuze doelstellingen van de Internationale Maritieme Organisatie: reductie van de CO2-uitstoot van de totale vloot (i.e. bestaande en nieuwe schepen) met 40 procent tegen 2030 en met 70 procent tegen 2050 tegenover referentiejaar 2008. Daarbovenop zijn er ook nog lokale initiatieven en regelgeving die de overstap naar alternatieven verder aansturen.

Opslag en infrastructuur

H2-tankstations

Wil men de ambitie om H2-aangedreven personen- en vrachtwagens op de weg waarmaken, dan is de bouw van een heel groot aantal tankstations nodig. In 2020 werden er 107 zulke tankstations in gebruik genomen, het hoogste aantal tot nu toe. Ondertussen zijn er wereldwijd meer dan 500 stations operatief, met nog eens 225 gepland. Tegen 2030 zullen zo'n 10.300 stations nodig zijn om de doelen voor brandstofcelvoertuigen te halen.

Koolstofvezelversterkte polymeertanks worden gebruikt in H2-stations, onder meer in Den Haag en Keulen. De H2 wordt geleverd aan de stations via buistrailer, vloeistoftanker of pijpleiding of het kan on-site worden gegenereerd via een stoomreformer met methaan (SMR) of elektrolyse-eenheid. Type IV-tanks uit koolstofvezelversterkte polymeren (CFRP) kunnen gebruikt worden in de buistrailers, om H2 te leveren en als bufferopslag on-site. Zo zou een station zo'n 1.250 kg H2 per dag kunnen produceren uit aardgas door gebruik te maken van een SMR-eenheid, om brandstofcelvoertuigen te hervullen die uitgerust zijn met 350-bar- en 700-bar-tanks. Dergelijke HRS-eenheden moeten daarbij wel passen binnen de beschikbare ruimte van al bestaande tankstations voor diesel en benzine.



(Klik om te vergroten)
Schematisch overzicht van de verschillende onderdelen van een H2-tankstation. Composiet drukvaten van type IV kunnen gebruikt worden in buistrailers om H2 te leveren en/of in de stapel tanks voor on-site bufferopslag
(Beeld: CompositeWorld)

Als het gaat om de prijs van materialen voor de tanks, is die van staal veel lager dan die van composiet. Toch zijn er meerdere toepassingen waarvoor composiettanks een goede oplossing bieden. Zo zijn er bijvoorbeeld cases in Europa waar de tanks bovenop het dak van het H2-station werden geplaatst, om de totale voetafdruk te verkleinen. Dit is mogelijk omdat de IV-tanks zo licht zijn in gewicht. Metalen tanks kosten weliswaar minder, maar vereisen een plaatsing op de begane

grond en je kan ze maar tot een bepaalde hoogte stapelen omwille van hun gewicht. Composiettanks daarentegen zijn hoger te stapelen, wat plaatsbesparing mogelijk maakt.

Worden de composietcilinders groter in diameter of is de druk groter, dan zal de wanddikte ook verhogen, wat bij elk drukvat het geval is. Dit vormt geen beperking voor composiettechnologie die grotere diametertanks aan 700 bar en meer mogelijk maakt. Hoe hoger de druk, hoe aantrekkelijker composieten lijken, maar ook hoe duurder het totale systeem, los van het materiaal, door de vereiste dikkere wanden. Ook een levensduur van minimum 15 jaar aan tot 10 perscycli per dag kan worden gegarandeerd. Vermoeiingstests tonen aan dat tanks uit composiet het aantal cycli aankunnen die nodig zijn voor H2-tankstations, ongeacht de grootte van de tank of de druk.

Glasvezels voor distributie van H2

De distributie of het transport van waterstofgas (via trailers), vanaf het productiepunt tot aan het tankstation of de industriële site, is een andere belangrijke markt voor composietcilinders. Producenten verwachten dat de groei van het aantal H2-aangedreven voertuigen een groeiend aantal tankstations zal vereisen, die op hun beurt afhangen van afdoende transport van de waterstof. Ook op het vlak van vat- en containerontwerpen zullen de komende twee jaar nieuwe oplossingen worden voorgesteld.

Het transport van H2-gas kan zonder dat er koolstofvezels aan te pas komen: dit via type IV-cilinders die gebruik maken van een thermoplastische liner volgens industriële standaard T4, omwikkeld met glasvezel-epoxy. Deze zijn nu al bruikbaar voor 200-350-bar-modules en in 2022 zal dat ook voor 450-500-bar-tanks het geval zijn. De tanks uit glasvezelversterkte polymeren (GFRP) staan voor dezelfde investeringsorde als stalen tanks, maar wegen 70 procent minder.



Type IV-tanks uit glasvezel
(Beeld: UMOE Advanced Composites)

Efficiëntie in kosten en opslag

Een hindernis voor type IV-tanks, is hun opslagdichtheid, d.i. de hoeveelheid H2 die kan opgeslagen worden in een gegeven volume. De voornaamste maatstaf hiervoor is gravimetrische, gewichts- of massaverhouding, gedefinieerd als de massa van opgeslagen H2 gedeeld door de massa van de tank of het opslagsysteem. In een overzicht van opslagsystemen voor waterstofgas

uit 2019 werd de gravimetrische dichtheid voor type I-, II- en III-tanks gegeven als zijnde respectievelijk 1,7 procent, 2,1 procent en 4,2 procent , wat ook wijst op opslagdichtheid of -efficiëntie. Voor VI-tanks werd de benchmarkwaarde in 2014 door Toyota op 5,7 procent vastgelegd voor zijn 700-bar-tanks dankzij een reductie van 20 procent in CFRP-gebruik door de wikkelpatronen van de vezels te optimaliseren.

Ondertussen bestaan er ook 700-bar-type IV-tanks met een opslagdichtheid van meer dan 6 procent en onderzoek is lopende om opslagefficiëntie nog op te drijven, maar hoe lichter de tank, hoe meer precisie van tel is en hoe minder tolerantie op schade er is. Daarbij is kost een belangrijke factor. Kostenverlaging is dan ook een doel dat door heel wat programma's wordt nagestreefd. De Franse toeleverancier Faurecia wil de kost van een H2-opslagsysteem met 75 procent doen dalen tegen 2030: van 1.300 euro naar 315 euro per opgeslagen kilogram H2. Plastic Omnium mikt op een reductie van 30 procent. De grootste kost van een tank is het aandeel koolstofvezels, goed voor tot 60 procent. Grotere volumes zullen de prijs van deze vezels niet significant doen dalen.

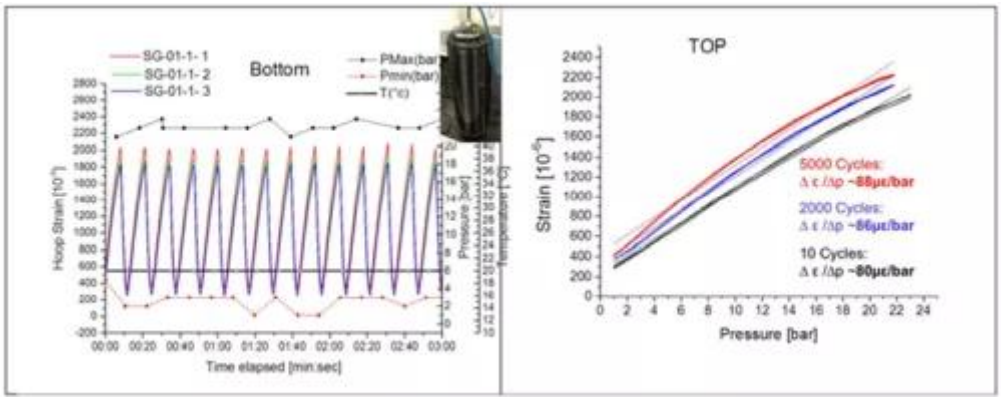
Hercertificering en monitoring van tanks

Een andere manier om de kosten te reduceren is levensduurverlenging. Zo heeft Hexagon een meeteenheid beschikbaar om via akoestische emissie tanks te inspecteren aan het einde van hun wettelijke levensduur. Door de tankintegriteit te analyseren wil het de levensduur van tanks op een veilige manier verlengen, wat kosten en emissies reduceert. De tool maakt gebruik van geavanceerde elektronica en sensoren, ontworpen voor een hogere gevoeligheid en data. Zo kan gevalideerd worden dat de tank niet beschadigd is.

Daarnaast bieden ook monitoring en conditiebewaking een nog onbenut potentieel. Nu worden type IV-vaten niet geïnspecteerd alvorens ze tien jaar in dienst zijn. Het blijft dus de vraag wat er in die tijd gebeurd is met de integriteit van het drukvat en welke data dit kan ondersteunen. Daarom loopt momenteel een Europees programma om deze data te creëren: een groot aantal tanks werd hierin voorzien van verschillende sensoren om de impact van de levensduur op de tankintegriteit te bepalen op het vlak van temperatuur, drukcycli, agressieve brandstof, gebruik en misbruik. Zo wil men meer kennis vergaren alvorens de sensoren in het composietmateriaal te stoppen. Op die manier weet men wat men moet meten en wat te vergelijken bij de beslissing rond de staat van een drukvat.

Het Belgische Com&Sens, gespecialiseerd in de implementatie van optische vezelsensortechnologie, laat zien hoe ingebedde (FBG - Fiber Bragg grating) optische vezelsensoren kunnen worden ingezet om de productie van composiettanks te optimaliseren en voor in-situ gezondheidsmonitoring. De optische vezelsensor kan tijdens het wikkelproces samen met de vezelversterking ingewerkt worden in de H2-tank. Elke optische vezel kan 1-110 m lang zijn en heeft tot 20 sensorpunten met een minimum van 1 cm ertussen. Elk sensorpunt is zo gepositioneerd binnen de optische vezel om op elke discrete locatie te meten binnen ring- of spiraalvormige lagen van het composietlaminaat. De in het laminaat ingebedde optische vezel voelt de herverdeling van spanning in het materiaal en laten toe procesparameters die niet eerder gemeten konden worden te begrijpen en digitaliseren, waardoor optimalisering van het productieproces mogelijk is. Door druk, spanning en temperatuur te meten tijdens uitharding, vermoeiingscycli en breukfalen, en dit over het hele systeem, zullen testen de ontwerpers helpen FE-modellen te valideren en bijvoorbeeld materiaalgebruik in toekomstige ontwerpen te optimaliseren. De meest veelbelovende toepassing is voor monitoring van levenscyclus en structurele integriteit tijdens de werking van de tank, waardoor acceptatie van en vertrouwen in waterstoftechnologieën zal groeien. Zo zullen tanks kunnen worden geproduceerd met een digitale

voetafdruk en de tank op basis hiervan hercertificeren voor een langere gebruiksduur.



(Klik om te vergroten)
Optische vezelsensoren voor geoptimaliseerde tankproductie, -monitoring en -ontwerp (Beeld: Com&Sens)

Snelle verandering op til

Het verslag van 2021 van de Hydrogen Council geeft aan dat 75 landen emissiearme strategieën hebben uitgewerkt en dat meer dan 20 landen de verkoop van voertuigen met verbrandingsmotor zullen verbieden tegen 2035. Waterstof, elektrische batterijen, en andere alternatieve brandstoffen zullen deel uitmaken van de oplossingen die nodig zijn om deze doelen te bereiken. Er is echter een groeiende focus op en overheidssteun voor H2.

In een waterstofeconomie zal niet alleen de architectuur van voertuigen heruitgedacht worden, maar ook het volledige businessmodel en het operationeel systeem. Hiermee gaan risico's en heel wat investeringen gepaard.

Bronnen

- https://www.compositesworld.com/articles/the-potential-for-hydrogen-to-fuel-composites-growth-part-1
- https://www.compositesworld.com/articles/hydrogen-is-poised-to-fuel-composites-growth-part-2

Auteurs



Linde De Vriese