



Schoon schip maken

alternatieve brandstof voor de nieuwe hulpvaartuigen

Het Commando Zeestrijdkrachten beschikt voor een aantal specifieke en uiteenlopende taken over tien zogenoemde hulpvaartuigen. De taken lopen uiteen van het ruimen van explosieven in binnenwateren, het in kaart brengen van de zeebodem tot ondersteuning van inzet in het Caribisch gebied. De hulpvaartuigen zijn tussen 1987 en 2006 in dienst gekomen en worden, zoals staatssecretaris Barbara Visser aankondigde in haar kamerbrief van 7 mei jl., vanaf 2024 vervangen.¹

Dezelfde brief vermeldt tevens dat de technische haalbaarheid en financiële consequenties zullen worden onderzocht om de nieuwe schepen (gedeeltelijk) emissievrij te maken. Deze doelstelling vloeit voort uit de Defensie Energie en OmgevingsStrategie (DEOS 2019-2022)², die stelt dat Defensie minder afhankelijk moet worden van fossiele brandstoffen en dient bij te dragen aan de realisatie van klimaatdoelen. Dit artikel beschouwt de resultaten van een studie naar enkele kansrijke alternatieve brandstoffen, of beter: energiedragers die bijdragen aan deze doelstelling. Defensie werkt samen met de maritieme sector aan het masterplan voor een emissieloze maritieme sector. In diverse onderzoeken zoals Green Maritime Methanol³ en Zero JIP⁴ wordt gewerkt aan de benodigde technologieën, scheepsontwerpen en systeemintegratie. Daarnaast voert Defensie een uitgebreide studie uit naar de haalbaarheid van de toepassing

van klimaatneutrale technologie op haar hulpvaartuigen. Als deze technologie technisch haalbaar blijkt en de financiën beschikbaar zijn, streeft Defensie ernaar *launching customer* te zijn voor klimaatneutrale technologie.

De in dit artikel beschreven studie is uitgevoerd door het Maritime Research Institute Netherlands (MARIN) in samenwerking met de Defensie Materieel Organisatie (DMO) aan de hand van een door vernoemd instituut ontwikkelde onderzoeksmethodiek. Dit artikel analyseert de toepasbaarheid van de energiedragers methanol, ammoniak en waterstof als alternatief voor diesel voor de toekomstige hulpvaartuigen wat betreft operationele geschiktheid, consequenties voor het scheepsontwerp, levensduurkosten, effect op CO₂-uitstoot en technische gereedheid.

¹ Impresie van de toekomstige vloot van hulpvaartuigen voor de Koninklijke Marine (ministerie van Defensie)

| Huidige hulpvaartuigen | Einde levensduur |
|--|------------------|
| Marine opleidingsvaartuig Van Kinsbergen | 2024 |
| Torpedowerk- en ondersteuningsschip voor onderzeeboten Zr.Ms. Mercur | 2026 |
| Vijf duikvaartuigen | 2026/2027 |
| Transport- en ondersteuningsschip in het Caribische Gebied Zr.Ms. Pelikaan | 2031 |
| Beide hydrografische opnemingsvaartuigen | 2033/2034 |

Tabel 1: hulpvaartuigen met einde levensduur

Uitgangspunten voor de vervangende hulpvaartuigen

Tabel 1 toont een overzicht van de huidige hulpvaartuigen met hun beoogde levensduureinde. Een uitgangspunt voor de nieuwe schepen is het streven naar 'familievorming'. Dat betekent: waar mogelijk en doelmatig, gemeenschappelijkheid creëren in het ontwerp (romp, inrichting) en de scheepssystemen. Deze aanpak levert mogelijk schaalvoordelen op voor de af te sluiten verwervingscontracten, alsmede exploitatievoordelen op het gebied van onder meer instandhouding, opleidingen en *Integrated Logistic Support*, zoals is te lezen in de brief van de staatssecretaris. Ten behoeve van de in dit artikel beschreven studie is voor een generiek hulpvaartuig een aantal ontwerpparameters geformuleerd, zie tabel 2.

| Parameter | Value |
|---------------------------------|--------------------|
| Transitsnelheid | 12 knopen |
| Maximale snelheid | 15 knopen |
| Geïnstalleerd vermogen | 5000 kW |
| Actieradius bij transitsnelheid | 5000 zeemijl |
| Displacement | 2400 ton |
| Maximale belading | 800 ton |
| Ontwerplevensduur | 30 jaar |
| Voortzettingvermogen | 14 dagen |
| Vaardagen | 200 dagen per jaar |

Tabel 2: ontwerpparameters generiek hulpvaartuig

Tabel 3 laat een typisch operatieprofiel zien voor het generieke hulpvaartuig. Het operatieprofiel vormt de basis voor berekening van de energiebehoefte. Uitgaande van een maximale vaart van 15 knopen volgt uit het operatieprofiel een gemiddelde belasting van 59% van het geïnstalleerde vermogen.

| Type operatie | Vermogen (%) | Tijd (%) | Vaart |
|-----------------------------------|--------------|----------|-------|
| 1 Lage snelheid / station keeping | 33% | 15% | 4 kn |
| 2 Operations | 52% | 40% | 9 kn |
| 3 Economische vaart | 52% | 15% | 9 kn |
| 4 Hoge snelheid transit | 82% | 25% | 12 kn |
| 5 Maximale vaart | 99% | 5% | 15 kn |

Tabel 3: generiek operatieprofiel van de hulpvaartuigen

Onderzoeksmethodiek

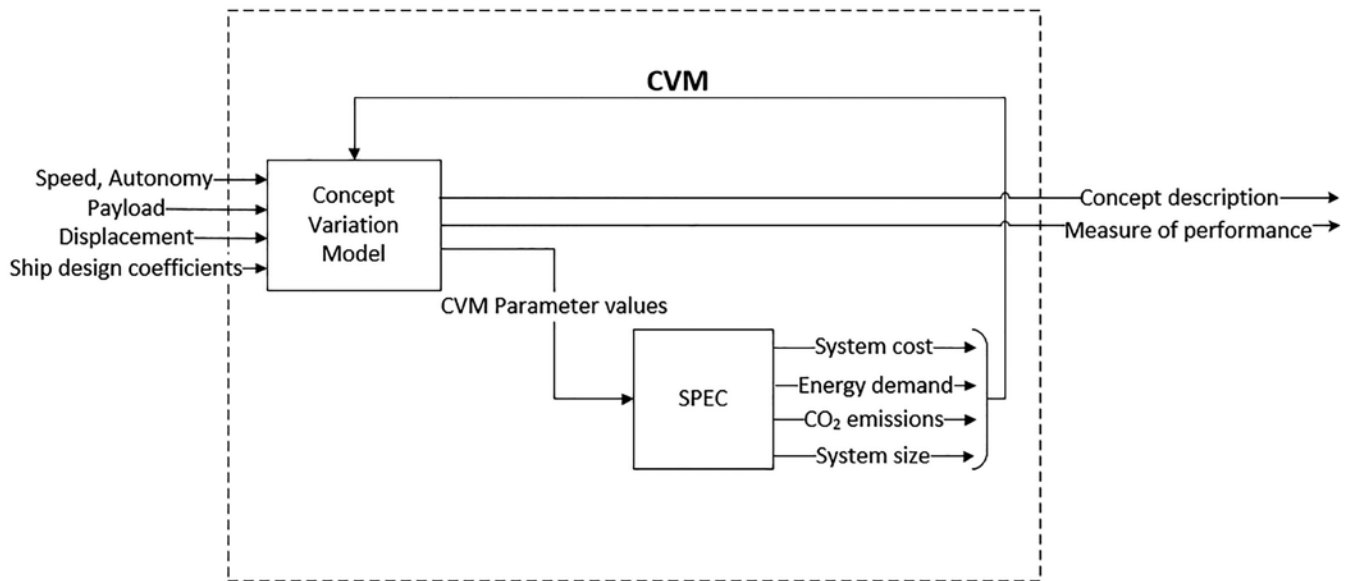
Bij de studie naar alternatieve energiedragers voor de hulpvaartuigen is gebruik gemaakt van de door MARIN ontwikkelde *Ship Power and Energy Concepts* tool (SPEC). Dit softwareprogramma analyseert de gevolgen van verschillende ontwerpkeuzen. SPEC maakt daarbij gebruik van een database van verschillende energiedragers en energiesystemen (waaronder verbrandingsmotoren en brandstofcellen). De SPEC-tool is geïntegreerd in het *concept variation model* (CVM), zie figuur 1. Dit model stelt de gebruiker in staat om verschillende ontwerpparameters te variëren. Het model berekent bijvoorbeeld voor gegeven parameters als snelheid, *displacement* en voortzettingvermogen (*autonomy*) de maximale belading (*payload*) op basis van een parametrisch ontwerp. Hierbij wordt overigens geen rekening gehouden met de specifieke eigenschappen van een ontwerp, zoals de benodig-

‘Een uitgangspunt voor de nieuwe schepen is het streven naar familievorming’

de ruimte op de werkdekken. Het parametrisch ontwerp geeft dus een eerste indicatie van de impact van alternatieve brandstoffen, maar om de echte impact te beoordelen moet een ontwerp in meer detail uitgewerkt worden. De SPEC-tool berekent aan de hand van deze parameters de kosten⁵, energiebehoefte, CO₂-emissie en systeemomvang. De aldus berekende waarden zijn te gebruiken om diverse ontwerpkeuzen met elkaar te vergelijken. Hiermee is het mogelijk de gevolgen van ontwerpkeuzen voor het scheepsontwerp direct inzichtelijk te maken.

Alternatieve energiedragers en energiesystemen

Het eerste hulpvaartuig dat volgens de planning vervangen moet worden, is het Van Kinsbergen. Om de vervanger reeds in 2024 in dienst te kunnen nemen dienen de toegepaste technische concepten nu al in een vergevorderd stadium van technische gereedheid te zijn: dus met een hoge TRL.⁶ Derhalve zijn alleen energieconcepten beschouwd die in meer of mindere mate voldoen aan die voorwaarde.



Figuur 1: schematische weergave van integratie van het CVM en het SPEC-tool

Methanol en ammoniak zijn geschikt voor verbranding in een verbrandingsmotor, waterstof voor toepassing in een brandstofcel. Voor een verbrandingsmotor is waterstof minder geschikt vanwege het lagere systeemrendement. Er is niet gekeken naar energieopslag in batterijen, aangezien deze voor de genoemde actieradius het schip

onrealistisch groot en zwaar zouden maken. Tabel 4 toont enkele belangrijke eigenschappen van de beschouwde energieconcepten. De studie maakt onderscheid tussen methanol geproduceerd uit biomassa en uit groene waterstof geproduceerde synthetische methanol, dit door het verschil in CO₂-reductiepotentieel.

| Energieconcept | Groene waterstof in PEM brandstofcel | Synthetische – of biomethanol met verbrandingsmotor | Synthetische ammoniak met verbrandingsmotor |
|--|--|--|---|
| Productiemethode energiedrager | Hernieuwbare elektriciteit bijv. wind | Synthetisch: groene waterstof plus CO ₂ van CO ₂ -opvang. Bio: van biomassa of organisch afval | Groene waterstof plus afgevangen N ₂ . 95 % synthetische ammoniak in combinatie met 5% diesel. |
| Energieomzetting | Gecomprimeerde waterstof (700 bar) reageert in PEM brandstofcel | Methanol wordt verbrand in ottomotor ('benzinemotor') | Ammoniak met diesel als pilotbrandstof wordt verbrand in dieselmotor |
| CO ₂ -reductiepotentieel | 100% | Synthetisch: 92% Biomassa: 35% | 80% |
| Technische gereedheid energieomzetting | TRL 7 – Technologie aangetoond te werken, TRL 9 verwacht binnen 5 jaar | TRL 7 - Prototypes aangetoond met dual fuel technologie, fabrikanten ontwikkelen steeds efficiëntere motoren | TRL 5 - Laboratoriumfase; fabrikanten bezig met testmotoren, proefschip verwacht binnen 5 jaar |

Tabel 4: eigenschappen van beschouwde energieconcepten

Brandstofkosten en CO₂-belasting

De operationele uitgaven (OPEX) voor elk van de energieconcepten worden berekend aan de hand van huidige en voorspelde brandstofprijzen en een CO₂-belasting. In tabel 5 staan de verwachte brandstofprijzen weergegeven over 2020-2030 en 2030-2050.⁸ De prijzen staan vermeld per kilowattuur (kWh) en zijn inclusief logistieke en bunkerkosten. De dieselprijs wordt als constant verondersteld voor de komende 30 jaar. Naast de brandstofkosten is een CO₂-belasting meegenomen in de berekeningen en is onderzocht hoe deze de financiële haalbaarheid beïnvloedt van de verschillende energieconcepten. De brandstofprijzen laten zich uiteraard niet voorspellen en de hoogte van de CO₂-belasting is evenzeer een onzekere factor. De hierna gepresenteerde resultaten moeten daarom worden gezien in het licht van deze onzekerheid.

| | EURO per kWh | |
|-----------------------|--------------|-----------|
| | 2020-2030 | 2030-2050 |
| Diesel | 0,050 | 0,050 |
| Biomethanol | 0,080 | 0,065 |
| Synthetische methanol | 0,198 | 0,098 |
| Synthetische ammoniak | 0,101 | 0,045 |
| Groene Waterstof | 0,110 | 0,050 |

Tabel 5: brandstofprijzen

Resultaten

De SPEC-tool berekent voor de beschreven energieconcepten de investeringskosten (CAPEX), de OPEX in de perioden 2020-2030 en 2030-2050, de afmetingen en het displacement. In tabel 6 staan de relatieve 'scores' vermeld ten opzichte van een conventioneel systeem met diesel als brandstof. De toename van de afmetingen is het gevolg van de (veel) lagere energiedichtheid van de beschouwde energiedragers ten opzichte van diesel. De getallen geven een globale schatting van de onderlinge verhoudingen tussen de verschillende energieconcepten en moeten niet worden gezien in absolute zin. Maar duidelijk is dat de beschouwde alternatieven leiden tot hogere kosten, grotere afmetingen en toename van displacement. Uit uitgewerkte conceptontwerpen van de hulpvaartuigen in de A-fase van het ontwerpproces is wel

gebleken dat de schepen overtollige ruimte hebben voor brandstof door de vereiste ruimte op de open dekken. Hierdoor kan de impact van methanol op het displacement en de afmetingen significant kleiner zijn.

Om de financiële consequenties van de verschillende concepten op een meer bruikbare manier te presenteren zijn de totale jaarlijkse kosten berekend (CAPEX en OPEX), aangevuld met CO₂-belasting. Dit is weergegeven in figuur 2 op de volgende pagina. Deze laatste maakt de invloed van de brandstofprijzen (tabel 5) en de hoogte van de CO₂-belasting op de jaarlijkse kosten duidelijk. De waarden op de y-as geven de relatieve kosten ten opzichte van diesel (rode horizontale lijn -> 100%). De verticale lijn in de grafiek komt overeen met een CO₂-belasting van € 30 per ton uitgestoten CO₂; bij die waarde zijn de kosten voor een systeem met biomethanol bepaald op 141% van die van diesel over de periode 2020-2030 (Bio-MEOH 2030) en 123% voor 2030-2050 (Bio-MEOH 2050), zoals valt af te lezen uit de grafiek.

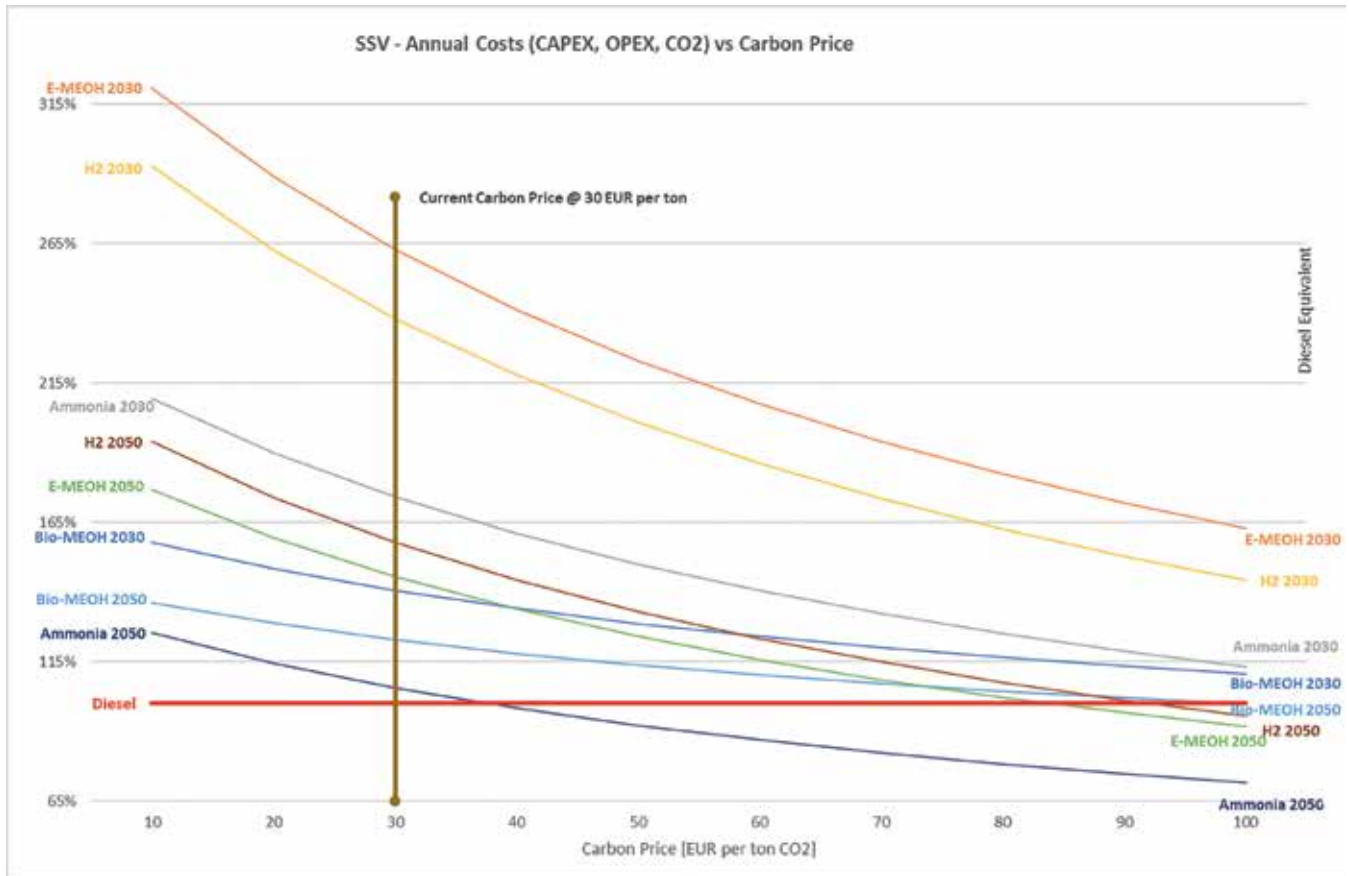
Voor de periode 2020-2030 is een pleidooi voor synthetische methanol (E-MEOH 2030) of waterstof (H₂ 2030) onrealistisch, al zou de CO₂-belasting oplopen naar 100 euro per ton. Biomethanol en ammoniak geven voor deze periode een veel gunstiger beeld. De periode 2030-2050 toont dat de verschillen veel kleiner worden, zelfs met een bescheiden CO₂-belasting van € 30 per ton. Tabel 7 geeft, met deze CO₂-belasting, de totale kosten weer voor beide perioden, waarbij we ammoniak en bio-methanol concurrerend kunnen noemen met diesel. Mocht de CO₂-belasting stijgen, gunstiger zullen de alternatieven gunstiger tegen diesel afsteken.

| | Kosten (ten opzichte van diesel) | |
|-----------------------|----------------------------------|-------------|
| | 2020-2030 | 2030-2050 |
| Biomethanol | 141% | 123% |
| Synthetische methanol | 263% | 146% |
| Ammoniak | 174% | 106% |
| Waterstof | 238% | 158% |

Tabel 7: jaarlijkse kosten vergeleken met diesel bij CO₂-belasting van 30 EUR per ton CO₂

| | CAPEX | OPEX | | Afmetingen | Displacement |
|-----------------------|-------|-----------|-----------|------------|--------------|
| | | 2020-2030 | 2030-2050 | | |
| Bio-methanol | | +82% | +48% | | |
| Synthetische methanol | +39% | +349% | +122% | +12% | +41% |
| Ammoniak | +120% | +139% | +7% | +14% | +50% |
| Waterstof | +344% | +185% | +30% | +20% | +72% |

Tabel 6: SPEC-resultaten voor de hulpvaartuigen, afgezet tegen een conventioneel systeem met diesel



Figuur 2: jaarlijkse kosten (diesel = 100%) uitgezet tegen CO₂-belasting⁹

Discussiepunten

- Het voorgaande illustreert dat de introductie van een alternatief energiesysteem voor de hulpvaartuigen leidt tot een groter en zwaarder schip. Bij eenzelfde snelheid en belading is dan meer vermogen nodig. Van de beschouwde energiedragers is deze invloed het grootst bij waterstof als gevolg van de zeer lage energiedichtheid. Toename van de afmetingen van een schip heeft behalve de genoemde financiële gevolgen ook operationele consequenties: het kan de geschiktheid van het vaartuig om bepaalde operaties uit te voeren alsook inzet in bepaalde gebieden beperken. Uit vervolgstappen in het ontwerp zal moeten blijken hoe groot deze consequenties precies zijn en of deze acceptabel zijn.
- Biomethanol is op dit moment het meest kosteneffektieve alternatief, gebaseerd op de prijsramingen voor 2020-2030 en een CO₂-belasting van € 30 per ton. Om een overstap naar synthetische methanol voor de periode van 2030-2050 rendabel te maken zou de CO₂-belasting verder moeten stijgen naar € 60-80 per ton, tenzij de productiekosten significant dalen en/of de dieselprijs stijgt. Deze scenario's zijn niet onrealistisch mits de verdere ontwikkeling van alternatieve energieconcepten zich gesteund weet door (inter)nationaal hierop gericht beleid. De jaarlijkse kosten van biomethanol voor 2020-2030 en synthetische methanol voor 2030-2050 betekenen een respectievelijke toename van 41% en 46% ten opzichte van diesel, zie tabel 7. Deze

‘Dit roept de (politieke) vraag op hoe belangrijk het streven is naar 100% CO₂-reductie. Of volstaat de 92% reductie die synthetische methanol belooft?’

- kostenstijgingen zijn te rechtvaardigen gezien de aanzienlijke reductie van CO₂-uitstoot, respectievelijk 35% tot 2030 en 92% na 2030 (tabel 4). De getallen kunnen in de toekomst nog gunstiger uitvallen als gevolg van steeds efficiëntere productiemethoden.
- Synthetische waterstof is, met 100% reductie in CO₂-uitstoot, de ‘groenste’ optie. Maar, zoals beschreven, het batterijconcept is verworpen voor de hulpvaartuigen en waterstof leidt tot ongewenste toename van afmetingen en displacement. Dit roept de (politieke) vraag op hoe belangrijk het streven is naar 100% CO₂-reductie. Of volstaat de 92% reductie die synthetische methanol belooft?
- Het ammoniakconcept is op de lange termijn de goedkoopste optie, maar geeft een minder gunstige CO₂-reductie (80%) dan synthetische methanol. Met een TRL van (slechts) 5 is tijdige beschikbaarheid van de technologie daarnaast onzeker. Bovendien blijft onduidelijk hoeveel stikstofoxide (NO_x) ontstaat bij de verbranding van ammoniak in een verbrandingsmotor. Een hoge hoeveelheid kan zeer ongunstig uitpakken gelet op de invloed die stikstofdepositie heeft op de biodiversiteit.¹⁰
- De TRL van 7 van verbrandingsmotoren op methanol toont dat er minder onzekerheid is over deze toepassing dan bij de rivaal ammoniak. Naast technische uitdagingen bij de implementatie van nieuwe technologieën is er de vraag met welk gemak een organisatie een transitie ondergaat naar een nieuwe brandstof als methanol. Voor een succesvolle overgang moet er aandacht zijn voor alle relevante aspecten, van persoonlijke veiligheid



Een van de bestaande hulpvaartuigen, Zr.Ms. Pelikaan, het ondersteuningsschip in het Caribisch gebied. De Pelikaan heeft net groot onderhoud gehad en een midlife update (ministerie van Defensie)

tot logistiek, van brandbestrijding tot haveninfrastructuur. Ondanks de moeilijkheden die samenhangen met deze brandstof met laag vlampunt¹¹ zijn de uitdagingen te overwinnen. Dat blijkt uit succesverhalen als de ferry Stena Germanica, die laat zien hoe een overstap van conventionele diesel naar methanol op succesvolle wijze kan worden gemaakt.¹²

Ten slotte

Teneinde tegemoet te komen aan de doelstellingen van de Defensie Energie en Omgevingsstrategie en een emissieloze maritieme sector, lijkt de invoering van verbrandingsmotoren op methanol voor de hulpvaartuigen de meest voor de hand liggende oplossing. Zoals de uitgevoerde studie toont, is het de meest kosteneffectieve optie voor 2020-2030 en blijft ze waarschijnlijk kosteneffectief in 2030-2050, terwijl de CO₂-uitstoot op termijn met 92% afneemt. Introductie van methanol zal minder complex zijn dan die van waterstof of ammoniak, omdat de eigenschappen van methanol (meer dan ammoniak en waterstof) vergelijkbaar zijn met diesel. Voordat het zover is, is echter nog meer onderzoek nodig:

- Onderzoek naar methoden om de uitstoot van stikstofdioxide verder te reduceren, zoals mengen van methanol met water en selectieve katalytische reductie.
- De exacte impact op het ontwerp (afmetingen, deplacement) van de hulpvaartuigen dient in verdere ontwerpstappen duidelijk te worden. Vooral de impact van de extra ruimte benodigd voor methanol moet in meer detail uitgewerkt worden en is mogelijk minder groot dan volgt uit het parametrisch ontwerp van de SPEC-tool.
- De gevolgen die het lage vlampunt van methanol heeft voor de veiligheid van opslag en gebruik als brandstof aan boord maakt verder onderzoek nodig.

Een belangrijk aspect dat vermelding verdient is het gegeven dat methanol wereldwijd beschikbaar is. Echter, de meeste momenteel verkrijgbare methanol heeft als grondstof fossiele brandstof en is als zodanig minstens even zo niet meer vervuילend dan diesel of zware stookolie. Een grotere toekomstige afname van methanol als scheepsbrandstof zal leiden tot meer vraag naar op verantwoorde wijze geproduceerde bio- en synthetische methanol. Maar hiervoor zijn regeringsbeleid en (commerciële) investeringen nodig, ondersteund door onderzoek naar efficiënte

en effectieve methoden om brandstof te produceren en energie om te zetten.

Lt Cdr (Royal Navy) William Astley, Dorien Stroeve en LTZ1 (TD) Joos Bongartz zijn werkzaam bij de afdeling Maritieme Systemen van de Defensie Materieel Organisatie. Alex Grasman werkt bij het Ship Systems Integration Team van MARIN in Wageningen.¹³

Dit artikel is een Nederlandstalige bewerking van het conferentiepapier 'Exploring the impact of methanol as an alternative, cleaner fuel for the auxiliary and support vessels within the RNLN' geschreven ten behoeve van de International Naval Engineering Conference 2020.

Noten

- 1 Defensie (2020), *A-brief project 'Vervanging hulpvaartuigen CZSK'*, https://www.tweedekamer.nl/kamerstukken/brieven_regering/detail?id=2020Z08139&did=2020D17344.
- 2 Defensie (2019), *Defensie Energie en Omgeving Strategie 2019-2022*, <https://www.tweedekamer.nl/kamerstukken/detail?id=2019Z18270&id=2019D37969>.
- 3 Zie: <https://greenmaritimemethanol.nl>.
- 4 Zie: <https://vimeo.com/showcase/zero-jip>.
- 5 Kosten bestaan uit operationele kosten (*operating expenditures* of OPEX) en kosten voor ontwikkeling, (*capital expenditures* of CAPEX).
- 6 TRL: het *technology readiness level* geeft het ontwikkelingsstadium aan, waarbij TRL 9 het hoogste ontwikkelingsstadium is en TRL 1 het laagste.
- 7 PEM: protonexchange membrane brandstofcel, type brandstofcel waarbij een membraan de scheiding vormt tussen de positieve kathode en negatieve anode.
- 8 De verwachte brandstofprijzen zijn afkomstig uit een veelheid aan bronnen, waaronder: Lloyd's Register (2019), *Fuel production cost estimates and assumptions*, <https://www.lr.org/en/insights/global-marine-trends-2030/zero-emission-vessels-transition-pathways/>.
- 9 SSV (boven grafiek): *sea-going support vessel* (hulpvaartuig).
- 10 NO_x heeft geen impact op broeikaseffect maar is schadelijk omdat de in de lucht uitgestoten stikstof op land neerdaalt (stikstofdepositie), hetgeen leidt tot een afname van de biodiversiteit in met name natuurgebieden: <https://www.rivm.nl/stikstof>.
- 11 Methanol heeft een gevaarlijk laag vlampunt van 11°C waardoor de damp al bij kamertemperatuur tot ontbranding kan komen. Ter vergelijking: voor diesel geldt een minimaal vlampunt van 60°C. Aan de opslagtanken voor methanol worden daarom extra constructionele eisen gesteld, wat leidt tot grotere afmetingen. Daar staat tegenover dat voor methanol geen separator of reinigingsinstallatie nodig is, in tegenstelling tot diesel.
- 12 *The Motorship* (2020), 'Stena Germanica reaches methanol operation milestone', zie ook: <https://www.motorship.com/news/101/alternative-fuels/stena-germanica-reaches-methanol-operation-milestone>.
- 13 De auteurs danken KLTZ (TD) dr.ir. Rinze Geertsma voor zijn inhoudelijke commentaar op een eerdere versie van dit artikel.