

# Een kwestie van lange adem:

## aanpak van dieselmotor-emissieoverlast op zee

De uitstoot van dieselmotoren op de schepen en boten van het Commando Zeestrijdkrachten (CZSK) leidt tot gezondheidsklachten bij opvarenden die eraan worden blootgesteld. De overlast van dieselmotoremissie, DME<sup>1</sup> in jargon, manifesteert zich direct als rookhinder op open dekken, of indirect doordat afvoergassen via luchtinlaten van het ventilatiesysteem terechtkomen in de hutten, dagverblijven en werkruimten van de bemanning.

**T**ijdens momenten van blootstelling aan DME ervaren opvarenden kortetermijnklachten als hoofdpijn en misselijkheid, die weer verdwijnen zodra er geen blootstelling meer is. Maar ook zijn schadelijke langetermijneffecten bekend. De gevolgen van blootstelling aan DME maken maatregelen noodzakelijk, bij voorkeur bij de bron – voorkomen is immers beter dan genezen – maar soms zijn beheersmaatregelen nodig. Dit artikel beschrijft de inspanningen om de blootstelling aan DME op de schepen zoveel mogelijk te beperken. Deze inspanningen strekken zich uit over een breed gebied van uiteenlopende expertises: techniek, operaties, gezondheid, arbeidsomstandigheden en milieu en beginnen reeds in de ontwerpfase van nieuwe scheepsklassen.

### Wat is DME en wat zijn mogelijke effecten?

Dieselmotoremissie (DME) ontstaat bij de verbranding van diesel in een dieselmotor. DME is een complex mengsel van gassen (o.a. stikstofoxiden, koolmonoxide, formaldehyde, aromaten) en zeer fijne vaste deeltjes (roetdeeltjes, elementair koolstof en polycyclische aromatische koolwaterstoffen) die tot diep in de longen kunnen doordringen.<sup>2</sup> Blootstelling aan DME kan zowel acute als chronische effecten tot gevolg hebben. De belangrijkste *acute* effecten zijn irritatie aan de ogen en de luchtwegen. Verder kunnen algemene symptomen zoals hoofdpijn, vermoeidheid en misselijkheid optreden. De acute effecten worden met name veroorzaakt door de gasvormige bestanddelen van





DME. Voor de gasvormige bestanddelen (o.a. NO, NO<sub>2</sub>) zijn de wettelijke (publieke) grenswaarden vastgesteld op basis van de niet-carcinogene effecten. *Chronische* effecten kunnen zijn: longaandoeningen, hart- en vaatziekten, allergische reacties en verschillende typen kanker (met name longkanker en blaaskanker). Voor de carcinogene effecten van DME geldt de vaste component elementair koolstof (EC) als markerstof, waarvoor Defensie een bedrijfsnorm heeft vastgesteld. De grenswaarden voor NO, NO<sub>2</sub> en EC zijn weergegeven in tabel 1. Voor carcinogene stoffen geldt de verplichting om blootstelling te voorkomen. Indien dit niet mogelijk is, moet de werkgever de blootstelling beheersen tot een zo laag mogelijk niveau.

Component	Type	Grenswaarde <sup>3</sup>
Stikstofmonoxide (NO)	Publieke grenswaarde	2500 µg/m <sup>3</sup>
Stikstofdioxide (NO <sub>2</sub> )	Publieke grenswaarde	960 µg/m <sup>3</sup>
Elementair Koolstof (EC)	Bedrijfsnorm Defensie <sup>4</sup>	8 µg/m <sup>3</sup>

Tabel 1: Grenswaarden DME

### Metten is weten

Op diverse scheepsklassen is door de jaren heen melding gemaakt van DME-overlast. Om deze te kwantificeren voert het Coördinatiecentrum Expertise Arbeidsomstandigheden en Gezondheid (CEAG<sup>5</sup>) desgevraagd DME-metingen uit op zee. Onder verschillende omstandigheden van koers, windrichting en bij verschillende dieselmotorconfiguraties meten medewerkers van het CEAG de concentratie van de markerstoffen van DME (NO, NO<sub>2</sub> en EC) op plekken als het helikopterdek, de hangaar en in accommodaties. Daarnaast voert het CEAG persoonlijke blootstellingsmetingen uit. Tijdens bijvoorbeeld helikopteroperaties worden op de persoon metingen uitgevoerd van zowel stikstofoxides als EC. De gemeten concentraties worden vergeleken met de grenswaarden en kunnen aanleiding geven tot maatregelen.<sup>6</sup>

Bij normoverschrijding zijn direct beheersmaatregelen nodig. Bij het nemen van beheersmaatregelen dient men te werk te gaan conform de volgorde van de *arbeidshygiënische strategie*:<sup>7</sup>

1. Bronmaatregelen: wegnemen van de oorzaak. In het geval van DME betekent dit bijvoorbeeld aanpassingen aan de motoren, of een elektrisch (hybride) voortstuwingssysteem met batterijen.
2. Technische maatregelen (indien bronmaatregelen niet mogelijk zijn): bijvoorbeeld filteren van de ventilatielucht om deze te ontdoen van schadelijke componenten.
3. Organisatorische maatregelen (indien technische maatregelen niet mogelijk of niet afdoende zijn): bijvoorbeeld een maximum stellen aan verblijftijden op het helikopterdek.
4. Persoonlijke beschermingsmiddelen, zoals het dragen van ademluchtbescherming of aangeblazen verseluchthelmen.

Het is alleen toegestaan naar een lager niveau te gaan van de arbeidshygiënische strategie indien maatregelen op bovenliggend niveau praktisch, technisch of organisatorisch onuitvoerbaar zijn. Geld mag hierbij geen rol spelen.<sup>8</sup>

### DME-maatregelen op bestaande schepen

Naar aanleiding van uitgevoerde metingen en onderzoeken hebben diverse schepen van CZSK technische modificaties ondergaan of bestaan plannen hiervoor. Ook lopen er nog verschillende DME-blootstellingsonderzoeken en staat er een aantal op stapel. Een knelpunt hierbij is de beperkte ruimte in de operationele planning van de schepen voor deze onderzoeken. Het zou in het kader van dit artikel te ver voeren een compleet overzicht te geven van de stand van zaken van de gehele marinevloot. Daarom volgt hier een selectie:

#### LCF'en

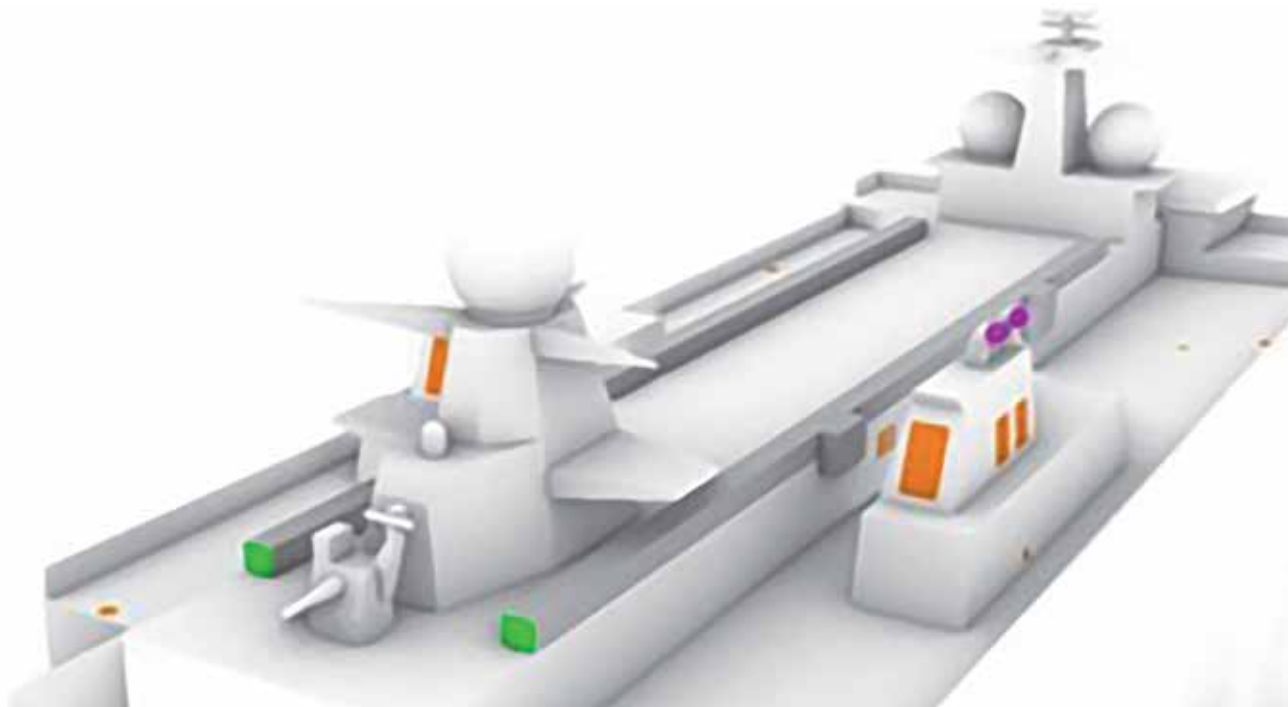
Uit metingen, na klachten van de bemanning, bleken de DME-concentraties in de hangaar en op het helikopterdek te hoog. Als technische maatregel zijn daarom de uitlaten van de kruisvaartdiesels en de generatordiesels voorzien van een *jet-X-box* (zie afbeelding 1), een installatie die de snelheid van de afvoergassen verhoogt door met een ventilator lucht in de uitlaat te blazen met de stromingsrichting mee. Het beoogde effect van deze maatregel is dat de afvoergassen buiten het zog van het schip blijven.



Afbeelding 1: Jet-X-box van een LCF met goed zichtbaar de ventilator die buitenlucht inblaast in de dieselmotoruitlaat



Afbeelding 2: windtunneltest van een OPV



Afbeelding 3: impressie van ventilatiekanalen op het antennedek van JWIT (met aanzuigopeningen in groen)<sup>13</sup>

Na plaatsing van de jet-X-boxen heeft CEAG tijdens diverse vaarperioden blootstellingsmetingen uitgevoerd op LCF'en. De boxen blijken een positief effect te hebben op de luchtkwaliteit. Er zijn aanvullende metingen nodig om vast te stellen of de blootstelling als beheerst mag worden beschouwd. Tot die tijd blijven organisatorische beperkingen van kracht: er geldt voor opvarenden een maximale verblijftijd op het helikopterdek en in de hangaar bij bepaalde windrichtingen en dieselmotorconfiguratie.<sup>9</sup>

#### OPV's<sup>10</sup>

De situatie op het OPV is vergelijkbaar met die op het LCF: de hoofdvaartdieselmotoren en de generatordiesels zijn de bron van de DME die blijft hangen op het helikopterdek en in de hangaar. Na aanleiding van *computational fluid dynamics* (CFD) software analyses en windtunneltesten (zie afbeelding 2) zijn de uitlaten gemodificeerd: deze zijn verlengd en wijzen nu schuin naar buiten en naar achteren. De eerste metingen laten zien dat de blootstelling aan DME is verminderd. Er zijn aanvullende metingen nodig om uitsluitsel te geven of verdere maatregelen nodig zijn.

#### Zr.Ms. Karel Doorman (DMAN)

Bij bepaalde windrichtingen belanden uitlaatgassen via de inlaten van het ventilatiesysteem in de bovenste delen van de accommodatie van de DMAN. Na klachten van de bemanning hierover heeft CEAG metingen uitgevoerd die dit beeld bevestigden. Dit vormde aanleiding tot een modificatie van het ventilatiesysteem (technische maatregel): op het antennedek zijn ventilatiekokers geplaatst met meerdere inlaatopeningen die door een automatiek open en dicht kunnen worden gestuurd. Afhankelijk

van de windrichting kiest het systeem automatisch een 'bovenwindse' luchtinlaat, die derhalve lucht aanzuigt voordat deze vervuild raakt met afvoergassen. De installatie gebruikt informatie van de windmeters om te bepalen welke inlaatopeningen open en dicht moeten worden gestuurd. Het systeem is nog niet vrij van kinderziekten. Naar verwachting zijn deze in de loop van dit jaar verholpen, waarna metingen volgen om aan te tonen of de accommodatie dan echt vrij is van DME. Ook zullen in opdracht van DMO concentratiemetingen plaatsvinden ter validatie van de bestaande stromingsmodellen van de DMAN.

*'Tijdens de mid-life update krijgt Zr.Ms. Johan de Witt een soortgelijke installatie als op Zr.Ms. Karel Doorman, die moet verhinderen dat DME in de accommodatie terechtkomt'*

waarna metingen volgen om aan te tonen of de accommodatie dan echt vrij is van DME. Ook zullen in opdracht van DMO concentratiemetingen plaatsvinden ter validatie van de bestaande stromingsmodellen van de DMAN.

#### Zr.Ms. Johan de Witt (JWIT)

Tijdens amfibische operaties wordt personeel in het dok en op het voertuigdek van de JWIT blootgesteld aan DME. Bij deze inzet varen landingsvaartuigen in en uit het schip en geven, tezamen met de- en embarkerende voertuigen, aanleiding tot DME-overlast. Technische maatregelen als roetfilters op de uitlaten van vaar- en voertuigen verminderen de blootstelling aan de vaste DME-componenten, waaronder EC, maar hebben geen invloed op de NO<sub>x</sub>-uitstoot<sup>11</sup>. Verdere technische maatregelen zijn niet voorhanden (zie ook Zr.Ms. Rotterdam) waardoor organisatorische en persoonlijke beschermingsmaatregelen nodig zijn (respectievelijk taakrotatie en het dragen van adembescherming).

Evenals op de DMAN ervaart de bemanning van de JWIT overlast van DME in de accommodatie. Ter verbetering van de luchtkwaliteit vond op de JWIT een proef plaats met DME-filterkasten die schadelijke componenten uit de inlaatlucht verwijderen. De filterkasten bevatten filters die

effectief zijn tegen gasvormige bestanddelen; daarnaast zijn in de luchtbehandelingskasten in het schip fijnfilters geplaatst tegen de roetdeeltjes. Deze proef was slechts deels effectief; het filtermateriaal verzadigde te snel door de vochtige, zoute zeelucht.

In aanloop naar de *mid-life update* (MLU) van de JWIT heeft DSNS<sup>12</sup> in opdracht van DMO een studie uitgevoerd naar de DME-problematiek op de JWIT. De studie toont dat een jet-X-box op de JWIT weinig effectief zal zijn. De oplossing van de DMAN – maar dan zonder kinderziekten – geeft meer vertrouwen. Tijdens de MLU krijgt de JWIT een soortgelijke installatie als op de DMAN, die moet verhinderen dat DME in de accommodatie terechtkomt. Afbeelding 3 toont de extra bovendekse ventilatiekanalen; het systeem zal een luchtinlaat kiezen die naar de wind is gericht.

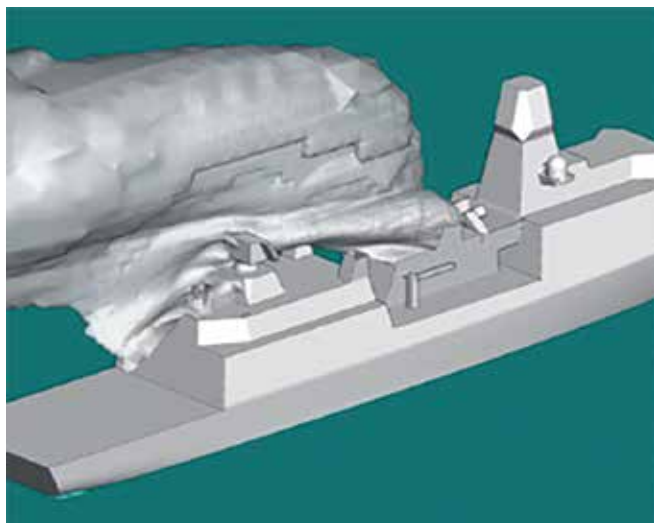
### Zr.Ms. Rotterdam (RDAM)

De problematiek op de RDM is vergelijkbaar met die van de JWIT. Door middel van CFD-analyses is onderzocht of een technische maatregel in de vorm van extra ventilatie in het dok effectief kan zijn tegen blootstelling aan DME tijdens amfibische operaties. Het onderzoek toonde aan dat het effect te gering is om een ingrijpende modificatie te rechtvaardigen. Deze conclusie geldt ook voor de JWIT. In het voorjaar van 2022 heeft CEAG DME-metingen uitgevoerd in de accommodatie van de RDM en op landingsvaartuigen.<sup>14</sup> De mogelijkheid luchtkwaliteit te verbeteren in de accommodatie van de RDM door deze uit te rusten met extra ventilatiekanalen met windafhankelijke luchtinlaat zoals op de DMAN en JWIT is op dit moment in onderzoek.

### Simulaties en testen

Vanwege hun hoge rendement en betrouwbaarheid zijn dieselmotoren bij uitstek geschikt als energieleveranciers ten behoeve van de voortstuwing en de opwekking van elektriciteit aan boord van schepen. Ook nieuwe schepen van CZSK worden uitgerust met dieselmotoren, zoals het in aanbouw zijnde *Combat Support Ship* (dat Zr.Ms. Den Helder gaat heten), de nieuwe mijnenbestrijdingsvaartuigen (de vervanger van de huidige Alkmaarklasse) en de toekomstige *Anti-Submarine Warfare* fregatten (ASWF, de vervanger van het M-fregat). Om te voldoen aan de meest recente uitstooteisen worden deze motoren voorzien van een afvoergassennabehandelingsinstallatie die de schadelijke stikstofoxiden grotendeels verwijdert uit de afvoergassen.<sup>15</sup> Een eis die de Defensie Materieel Organisatie (DMO) stelt aan deze nieuwe schepen is dat de aangevoerde buitenlucht ten behoeve van de ventilatie van het schip zoveel als praktisch mogelijk vrij is van rookgassen van dieselmotoren en cv-ketels. Ook worden er bindende eisen gesteld aan de luchtkwaliteit in leef- en werkruimtes: de grenswaarden voor blootstelling aan DME mogen niet worden overschreden. Met het ontwerp van het bovenwaterschip van de nieuwe vaartuigen houden de ontwerpers hier zo goed mogelijk rekening mee. Hiertoe worden onder regie van DMO omvangrijke studies ondernomen en testen met schaalmodellen in een windtunnel.

De ontwerpers maken daarbij gebruik van computermodellen op basis van CFD-software. Dit gebeurt overigens



Afbeelding 4: CFD-simulatie van een LCF.<sup>16</sup> Zichtbaar is dat de rook deels daalt en in het zog van de hangaar belandt. Dit verklaart DME-overlast op het helikopterdek en vormde aanleiding voor technische modificatie (jet-X-box) en beheersmaatregelen.

niet alleen in de ontwerpfase maar ook daarna om het effect van een modificatie te voorspellen. Bij een CFD-model wordt de directe omgeving rondom het schip opgedeeld in kleine cellen; na het definiëren van de randvoorwaarden voor een bepaald scenario (windrichting, -sterkte en dieselmotorconfiguratie en -belasting) lost de software met gebruikmaking van een numerieke rekenmethode de relevante stromingsvergelijkingen op voor elke cel. Dit resulteert in een voorspelling van de stroming van de afvoergassen voor dit scenario rond het schip. Specifiek kijkt de ontwerper naar de resulterende concentratie afvoergassen op verschillende posities op en rond het schip, zoals het helikopterdek en bij ventilatieluchtinlaten. Het doel is dat er, ook onder de ongunstigste omstandigheden, geen overschrijding van de grenswaarden plaatsvindt. Afbeelding 4 laat het resultaat zien van een CFD-simulatie van een LCF.

Een CFD-simulatie kost veel rekenkracht: een snelle computer heeft enkele uren nodig voor het doorrekenen



Afbeelding 5: windtunneltest van het ASWF

van een enkel scenario van windrichting/windsterkte/dieselmotorconfiguratie. Afhankelijk van de resultaten van een simulatie kan de ontwerper de positionering van schoorstenen en inlaten van de ventilatielucht aanpassen, waarna een nieuwe computersimulatie volgt. Omdat bijvoorbeeld de positie en lengte van de hete uitlaten de prestaties van sensoren en radarsystemen en de infraroodsignatuur van het schip nadelig kunnen beïnvloeden, is de ontwerprijheid niet onbeperkt. Via een aantal iteraties leidt deze methodiek tot een voorlopig ontwerp van het bovenwaterschip. Zo resulteerden de CFD-simulaties van het ASWF erin dat de dieselmotoruitlaten zo ver en zo hoog mogelijk op het achterschip zijn gepositioneerd.<sup>17</sup> Daarnaast zijn de ventilatieluchtinlaten omschakelbaar en zijn ze zo geplaatst dat ze een minimale hoeveelheid vuile lucht aanzuigen. Van het voorlopig ontwerp wordt vervolgens een schaalmodel gemaakt om dit te beproeven in een windtunnel. De windtunneltesten dienen enerzijds ter validatie van de CFD-simulaties en anderzijds om na te gaan of er nog (kleine) aanpassingen nodig zijn voordat het ontwerp definitief wordt. Afbeelding 5 toont een windtunneltest van het ASWF.

Geven deze onderzoeken 100% garantie dat er in de praktijk geen DME-overlast meer zal zijn? Helaas niet. De gebruikte modellen beogen zo goed mogelijk de werkelijkheid na te bootsen, maar slechts een beperkt aantal scenario's is te simuleren in de beschikbare tijd en de modellen zijn noodzakelijkerwijs vereenvoudigingen van de werkelijkheid en kunnen geenszins alle *real-life* factoren meenemen. Zo beschouwen de rekenmodellen de dieselmotoruitstoot als een homogeen gas en kunnen daarom (nog<sup>18</sup>) geen rekening houden met de zeer fijne vaste deeltjes hierin, hoewel deze factoren wel bijdragen aan de DME-overlast. De modellen gaan daarnaast uit van een *stationaire* toestand: constante wind/koers/vaart en constante dieselmotorbelasting. De werkelijkheid is echter *dynamisch*: de wind verandert voortdurend van sterkte en richting, het motorvermogen fluctueert continu en daarmee ook de snelheid en samenstelling van de uitlaatgasen. Deze veranderlijke parameters zijn onmogelijk mee te nemen in de simulaties. De garantie die de ontwerper evenwel kan geven is dat de DME-overlast aanzienlijk minder zal zijn dan zonder de studies.

## Ten slotte

Uit het voorgaande moge duidelijk zijn dat DME-overlast een hardnekkig probleem vormt aan boord van de schepen van CZSK. Dit vraagstuk vereist een integrale aanpak; op alle niveaus van de arbeidshygiënische strategie moeten maatregelen worden getroffen. Voor bestaande vaartuigen kunnen ingrijpende modificaties – vaak maar niet altijd – leiden tot beheersing van de overlast. Het is wenselijk door middel van metingen op zee een goed beeld te verkrijgen van de exacte omvang van de problematiek. Het blijkt in de praktijk lastig, vanwege beperkte beschikbaarheid van de schepen, hier gelegenheid voor te creëren, wat niet bijdraagt aan een snelle oplossing. De

aanpak is daarom een kwestie van lange adem. Bij nieuwbouw proberen de ontwerpers door middel van CFD-simulaties en windtunneltesten zoveel mogelijk te voorkomen dat DME op plekken terechtkomt waar mensen werken en verblijven. De werkelijkheid is complexer dan zich laat modelleren en simuleren en er kan geen garantie worden gegeven dat er – zonder aanvullende maatregelen – geen blootstelling aan DME meer plaatsvindt; wel dat het aanzienlijk minder zal zijn. Toekomstige metingen op de nieuwe vaartuigen zullen moeten aantonen of de problematiek beheerst is of dat verdere beheersmaatregelen noodzakelijk zijn. Een gedeeltelijke geruststelling is de wetenschap dat de bestekken van de nieuwe schepen bindende eisen stellen aan de luchtkwaliteit binnenboord en de leverancier hier dus aan heeft te voldoen.

**LTZ1(TD) ing. J. Bongartz is werkzaam bij de Afdeling Maritieme Systemen (AMS) van DMO<sup>19</sup> en is mede-initiatiefnemer/oprichter van de werkgroep 'Aanpak DME-overlast', waarin, naast DMO/AMS zijn vertegenwoordigd: CEAG, DMO/Cluster Veiligheid Kwaliteit Arbo en Milieu, CZSK/Stafbureau Arbo en Milieu, CZSK/Groot Bovenwater/Bureau Veiligheid & Milieu, CZSK/Groot Bovenwater/Bureau Technische Bedrijfsvoering.**

## Noten

- 1 DME is door de wetgever geclassificeerd als 'gevaarlijke stof' en bovendien als kankerverwekkend. Hoe men binnen Defensie omgaat met gevaarlijke stoffen, waaronder DME, is vastgelegd in de Aanwijzing DGB/DV-021 *Risicobeheersing gevaarlijke stoffen op de werkplek*.
- 2 Zie: <https://www.arboportaal.nl/onderwerpen/dieselmotoremissie>
- 3 Het CEAG is onderdeel van de Defensie Gezondheidszorg Organisatie.
- 4 Het CEAG beoordeelt de gemeten blootstelling aan de hand van de norm NEN-EN 689.
- 5 Zie paragraaf 4.4 van Aanwijzing DGB/DV-021 *Risicobeheersing gevaarlijke stoffen op de werkplek*.
- 6 Dit geldt specifiek voor stoffen die zijn aangemerkt als carcinogeen en mutageen, zoals DME.
- 7 Dit is vastgelegd in het Voorschrift CZSK Algemeen 010, par. 25100 Roookgassenproblematiek
- 8 OPV: Hollandklasse *ocean-going patrol vessel*
- 9 Stikstofoxiden NO en NO<sub>2</sub> worden samen NO<sub>x</sub> genoemd.
- 10 Damen Schelde Naval Shipbuilding
- 11 Uit rapport van DSNS: Studie naar rookgashinder LPD-2, maart 2020
- 12 Het meetrapport is ten tijde van het schrijven van dit artikel nog in de maak.
- 13 Deze zogeheten SCR-installatie (*selective catalytic reduction*) spuit ureum in de afvoergassenstroom waardoor de stikstofoxiden worden *gereduceerd* tot de onschadelijke stikstof (N<sub>2</sub>).
- 14 LCF: luchtverdedigings- en commandofregat
- 15 In een vroeg stadium van het ASWF-ontwerp is onderzocht of uitlaten een gunstig effect zouden hebben, maar een CFD-studie toonde aan dat er juist meer DME-overlast te verwachten zal zijn.
- 16 DMO gaat in samenwerking met de Koninklijke Militaire School in Brussel onderzoeken of CFD-software ook elementair koolstof mee kan nemen in de simulaties.
- 17 De auteur dankt dr.ir. Etienne Duchateau en ir. Erik Takken van DMO/AMS voor hun bijdrage aan het onderdeel 'Simulaties en testen'.