



Impressie van het Expertise Centrum Additive Manufacturing (CZSK)

Additive Manufacturing

Hogere inzetbaarheid door meer adaptief en effectief onderhoud en modificaties

Schepen op zee, mariniers in het veld en techneuten bij de Directie Materiële Instandhouding (DMI) kennen allemaal de voorbeelden van defecte systemen en een gebrek aan onderdelen voor reparatie met alle gevolgen van dien voor de inzetbaarheid. Het lijkt steeds vaker voor te komen. CZSK heeft hiervoor een oplossing; 3D-printers maken, vaak ter plekke, de ontbrekende onderdelen. Sinds eind 2018 staan ze op de grote schepen en deze maand wordt in Noord-Noorwegen een container met 3D-printers getest voor ondersteuning van de eenheden in het veld. Dit artikel over *additive manufacturing*, vaak aangeduid met de term '3D-printen', beschrijft de rol van de techniek binnen het maritieme materieel-logistieke domein. Daarnaast beschrijft het de huidige en toekomstige toepassingen.

De aandacht voor *additive manufacturing* (AM) in documenten als de *Strategische Kennis- en Innovatieagenda* (SKIA) 2016-2020¹ en de *Defensievisie 2035*² als technologiegebied om sterk innoverend te blijven, onderstreept hoe belangrijk men het binnen Defensie vindt. AM is inmiddels op beperkte schaal operationeel toegepast binnen de Koninklijke Marine. Dit zal de komende jaren alleen maar toenemen, zowel binnen Defensie als bij leveranciers, om zo adaptiviteit en effectiviteit te vergroten.

Niet voor niets heet de DMI-visie 'Zonder onderhoud geen inzet'.³ Onderhoud is een essentiële activiteit in het proces van eenheden inzetgereed brengen en houden, met name voor technologisch hoogwaardige eenheden zoals die van CZSK. Het is ook een complexe activiteit die veel processen en vaardigheden vereist. Essentieel hierbij is een goede kennis van de systemen en van hun functioneren. Er komt een goede engineeringomgeving bij kijken waarin alle kennis is geborgd en die informatiegestuurd onderhoud met data-analyse-inzicht in het functioneren

levert. *Extended reality* zorgt voor het goed opleiden en ondersteunen van de onderhouders om hun taken juist uit te voeren.

Beschikbaarheidsproblemen

Er zijn echter vaak onderdelen en verbruiksartikelen nodig tijdens het onderhoud die ter plekke voorhanden moeten zijn. Op dit gebied zijn al jaren ontwikkelingen gaande die de beschikbaarheid van onderdelen in negatieve zin beïnvloeden. De toenemende concurrentie dwingt leveranciers om met hun producten steeds een stap voor te blijven op de concurrenten en dat veroorzaakt een enorme versnelling van nieuwe ontwikkelingen. Hierdoor zijn producten eerder verouderd (*obsolete*) en worden ze minder lang ondersteund. Zo gebeurt het steeds vaker dat op onze nieuwbouwschepen producten geïnstalleerd zijn die al *obsolete* blijken in het eerste operationele gebruiksjaar. Daarnaast dwingt de concurrentie om steeds goedkopere producten te zoeken. Dit leidt tot productie in lagelonenlanden zoals China. Kenmerkend hierbij is dat in groten getale onderdelen in *batches* gefabriceerd worden, maar dat die daarna niet meer beschikbaar zijn voor nieuwe fabricage zonder grote kosten en grote oplagen.

Door de druk op onze budgetten wil CZSK ook minder voorraden en gebruikt de logistiek steeds meer *just-in-time*-modellen voor onderdelen. De combinatie van de twee ontwikkelingen zorgt er in de praktijk voor dat lang niet altijd de juiste onderdelen op tijd beschikbaar zijn voor het onderhoudsproces en dat heeft een directe weerslag op de inzetgereedheid van de eenheden. Verder zorgt de snellere *obsolescence*-problematiek voor een toenemende vraag naar modificaties door de noodzaak voor het incorporeren van vervangende onderdelen die niet altijd dezelfde *form en fit* hebben. Ook de snelle veranderingen in het dreigingsniveau, gevoed door de snelle veranderingen van technische mogelijkheden van defensiesystemen,² vragen om snellere modificaties van wapensystemen. Samengevat is er grote druk op de beschikbaarheid van onderdelen voor onderhoud en het op tijd beschikbaar hebben ervan. Verder ontstaat een steeds grotere behoefte hier snel aanpassingen in aan te kunnen brengen waarbij het vaker om



Een door RAMLAB voor Damen geprinte schroef die onder een sleepboot in de haven van Rotterdam is gebruikt (RAMLAB)

minder grote aantallen onderdelen zal gaan. Voor CZSK, met eenheden die over het algemeen niet dichtbij een grote ondersteuningsbasis opereren, vormt de logistieke aanvoer ook een aandachtspunt.

Veel van de hiervoor geschetste problemen zijn niet bijzonder voor CZSK en Defensie, maar gelden ook voor fabrikanten. De markt pakt het probleem aan door gebruik te maken van vergaande digitalisering van de ontwerp- en fabricageprocessen. Door eerst een volledig digitaal ontwerp te maken van een product ontstaat een zogenaamde *digital twin* ten opzichte van het werkelijke product. Op deze wijze kan vanuit een digitaal model gewerkt worden naar fysieke producten, hetgeen een andere manier van denken en nieuwe manieren van vervaardigen vereist. Alle stappen worden nu immers digitaal doorlopen en kunnen continu worden aange-



PDCA-cirkel tussen de digital twin van een product en de productie en het daadwerkelijke product en de prestaties hiervan (Siemens)

past en bijgewerkt, met als groot voordeel dat er steeds één model blijft en daardoor één waarheid. Er wordt een *PDCA-loop*⁴ gecreëerd die vanuit een digitaal model direct aan het werkelijke model kan worden gekoppeld, waardoor prestaties en gebruikservaringen direct verwerkt kunnen worden. Hierdoor wordt het gehele proces meer adaptief en sneller dan conventionele productieprocessen. Zeker als het gekoppeld is aan AM. AM vereist namelijk geen grote productieomgevingen en kan doorgaans binnen enkele uren tot enkele dagen een bruikbaar onderdeel opleveren. Deze vergaande digitalisering wordt veelal aangeduid als industrie 4.0, een typering voor de vierde industriële revolutie. Naast AM zijn ook andere initiatieven binnen CZSK - zoals data voor onderhoud⁶, *engineering 2.0*⁵ en *virtual reality*⁷ - onderdeel van de digitalisering binnen industrie 4.0 met in de basis een *digital twin* als spin in het web.

Additive manufacturing

Additive manufacturing is een verzameling van activiteiten en processen, waaronder 3D-printen, gericht op het toevoegen van materiaal om tot een product te komen. De techniek is radicaal anders dan de traditionele wijzen om tot een product te komen, namelijk door het weg nemen van materiaal ofwel de zogenoemde verspanende technieken. Waar bij de traditionele fabricagetechnieken continu rekening moet worden gehouden met de grenzen van de mogelijkheden, zijn de laatste bij AM juist vrijwel onbegrensd. Belangrijker nog is de verschuiving van traditionele, gecentraliseerde fabricage met grote centrale productielijnen naar decentrale fabricage op locatie bij de gebruikers.

Ondanks dat AM al rond 1984⁸ is uitgevonden kent de technologie pas sinds enkele jaren echt een grote ontwikkeling. Dat heeft twee redenen. De belangrijkste reden is dat een zeer select groepje bedrijven in het begin van AM de patenten in bezit had. Met het verlopen van veel patenten in de laatste jaren zijn grotere investeringen op gang gekomen en beginnen prijzen te dalen. Hierdoor is AM pas sinds een paar jaar interessant voor gebruik in fabricagetoepassingen. De tweede reden is de digitale ondersteuning. De verdere digitalisering heeft pas in de laatste jaren speciale software en voldoende snelle hardware opgeleverd. Door de nu optredende versnelling

en de impact van AM op het materieel-logistieke domein, wordt ze inmiddels gezien als een belangrijke disruptieve technologie. Ze verplaatst fabricage immers van centrale punten naar decentrale punten en heeft aldus invloed op de logistiek door een sterk verminderde behoefte aan opslag (en logistiek). AM beïnvloedt bovendien de onderdelenmarkt met een direct effect op de verdienmodellen van leveranciers. Er vindt een verschuiving plaats naar een digitale opslag van onderdelen en dit heeft impact op intellectueel eigendom en juridische aansprakelijkheid. Ook de nadruk op duurzaamheid geeft een impuls aan het gebruik van AM. Immers, minder materiaal wordt verspild en gebruikt materiaal kan vaak hergebruikt worden door het te verschromen en weer als basismateriaal voor een 3D-printer te gebruiken. Hierdoor ontstaat een circulaire productomgeving. De huidige COVID-19-crisis laat pijnlijk duidelijk de afhankelijkheid van logistieke aanvoerlijnen zien waardoor de belangstelling voor de mogelijkheden van AM is toegenomen. Men wil(de) niet alleen snel aan COVID-19-hulpmiddelen komen maar ook de verstoringen van de *supply chain* voorkomen.

Zoals aangegeven is de ontwikkeling van AM pas sinds enkele jaren echt op gang gekomen. Dit betekent dat AM nog niet is uitontwikkeld. Zo vindt veel onderzoek naar materialen en de materiaalkunde als gevolg van AM-printtechnieken plaats. Daarnaast wordt voor AM-ontwerpen en -simulatietechnieken veel onderzoek gedaan naar voorspelbaarheid en herhaalbaarheid. AM-printtechnieken zelf worden bovendien verder onderzocht op nauwkeurigheid en herhaalbaarheid. Om te voorkomen dat gefabriceerde onderdelen steeds volledige testen en keuringen moeten ondergaan, zoals nu met huidige productietechnieken gebeurt, wordt onderzocht in hoeverre digitale monitoringstechnieken kunnen worden gebruikt om door middel van procescertificeringen de kwaliteit van geprinte onderdelen te garanderen. Dit beperkt zich niet alleen tot het gebied van kunststoffen en metalen, maar omvat ook keramiek, beton, energetische materialen (explosieven), hybride vormen met sensoren en elektronische circuits in onderdelen en hele printplaten.

Daar waar veel mensen de kunststofvariant wel kennen zijn er inmiddels ook metaal geprinte onderdelen die gebruikt worden in hoog vermogen brandstofmotoren zoals



Een 3D-geprinte boot (University of Maine, USA, 2019)

cilinders van auto's en in gasturbines. Ook grotere objecten waaronder complete vaartuigen en scheepsschroeven zijn reeds geprint.

Het is noodzakelijk om hier ook onderwerpen als opslag van AM-printbestanden, het omgaan met intellectueel eigendom en een eerlijke vergoeding voor de oorspronkelijke leveranciers en patenthouders aan de orde te stellen. Voor ons als Defensie is een veilige opslag van de 3D-printbestanden van groot belang. Zonder beveiligingsmaatregelen is het gemakkelijk om digitale bestanden te wijzigen en kopiëren. Wijzigingen in bestanden kunnen grote schade toebrengen aan wapensystemen en in ernstige gevallen mensenlevens kosten. Kopiëren kan schade berokkenen aan een technische voorsprong en aan leveranciers die niet worden vergoed voor hun intellectueel eigendom. Het is belangrijk goed te kijken naar databeveiliging en de koppeling met de 'te beschermen belangen (TBB)' te maken. Voor leveranciers en patenthouders is een goede wijze van vergoeden van groot belang zodat de AM-printbestanden beschikbaar zijn en blijven. Door de opmars van de digitalisering is dit een niet te stuiten realiteit. Een mogelijke denkbare compensatiestructuur kan zijn het systeem in de muziek- en filmindustrie. Daar wordt via een abonnement toegang verkregen tot digitale bestanden. Het onderwerp is in ieder geval dusdanig beladen dat het op het World Economisch Forum wordt behandeld.⁹

AM bij CZSK

Ook Defensie richt zich op het benutten van AM binnen zijn bedrijfsvoering en experimenteert er mee. CZSK heeft daartoe het Maritieme Innovatiecluster (MIC) AM opgericht in 2016. Het MIC AM heeft tot doel, middels experimenteren, conceptontwikkeling en samenwerkingsverbanden te onderzoeken hoe AM een bijdrage kan leveren aan een hogere inzetbaarheid van de eenheden van CZSK en verkleining van de logistieke *footprint*. Inmiddels is aangetoond dat AM hieraan een positieve bijdrage levert, naast financiële besparingen.¹⁰ Dit geldt voor zowel AM-activiteiten in het operationele domein als voor AM-activiteiten bij de DMI. Tevens is duidelijk geworden dat op veel gebieden binnen AM of rakend aan AM nog verdere ontwikkeling noodzakelijk is.

In 2018 heeft CZSK na uitvoering van enkele operationele pilots ervoor gekozen om vlootbreed met een beperkte implementatie te beginnen. Verder heeft DMI het Expertise Centrum Additive Manufacturing (ECAM) opgericht om de implementatie van AM te begeleiden en te ondersteunen. Het ECAM voert daarnaast *concept development en experimentation* (CD&E)-activiteiten uit om verdere implementatie te faciliteren. Zo zijn opleidingen gestart en zijn regels voor gebruik opgesteld. Een voorbeeld is dat de uitrol van AM bij eenheden gekoppeld is aan de opleiding van de personeelsleden; pas na de opleiding krijgt een eenheid de benodigde hardware. Wijzigingen aan hardware en firmware zijn ten strengste verboden, omdat ze eenvoudig te wijzigen zijn, maar ook direct de kwaliteit van de geprinte onderdelen beïnvloeden.

De beperkte implementatie betekent verder dat alleen bepaalde kunststoffen geprint mogen worden en dan alleen voor onderdelen die niet kritisch zijn. Met niet kritisch worden onderdelen bedoeld die bij falen geen grote schade kunnen veroorzaken. Dit heeft direct verband met het nog lopend onderzoek op gebied van kwaliteitscontrole en het feit dat bij AM degene die print juridisch dezelfde status heeft als een fabrikant en dus verantwoordelijk is voor de kwaliteit van geprinte onderdelen.

Het ECAM ondersteunt eenheden met onderzoek naar materialen die in contact komen met bepaalde bedrijfsstoffen, met adviezen en assistentie bij het gebruik van AM voor onderdelen en met het onderhouden van hardware en software. Ook zorgt het ECAM via assortimentsmanagement voor de juiste logistieke coderingen zodat gebruiksmaterialen beschikbaar zijn. Middels een interne *Sharepoint*-website,¹¹ benaderbaar via MULAN of TITAAN, hebben eenheden toegang tot informatie en is een eerste versie van een digitale *warehouse* met AM-printfiles beschikbaar waarin deze files uitgewisseld kunnen worden.

Daarnaast vinden CD&E-activiteiten plaats op de onderzoeksgebieden zoals hierboven aangegeven en aanvullend op arbo- en milieugebied.

| TRL | CML | Ontwikkefase |
|-----|-----|---------------------------------------|
| 1-4 | 1-3 | Ontwikkeling (markt) |
| 5-6 | 4 | Concept Development & Experimentation |
| 7-8 | 5 | Proof of concept |
| 9 | 6 | Implementatie |

Relatie TRL, CML en Ontwikkefase

Het doel hiervan is niet om nieuwe technieken te ontwikkelen maar om in ontwikkeling zijnde technieken verder uit te werken voor toepassingen voor CZSK. Hier kijkt het ECAM niet alleen naar de techniek, maar naar het totaalconcept. Als dit succesvol blijkt, wordt het omgezet in een *proof of concept*-project, wat na een succesvol verloop leidt tot implementatie. Om dit traject in te delen wordt gebruikgemaakt van *technical readiness levels*¹² en *concept maturity levels*¹³ (zie de tabel hierboven).

Deze activiteiten vereisen veel kennis en capaciteit. Aangezien de CD&E-activiteiten volgen op ontwikkelingen in de markt, ligt het voor de hand om samen met marktpartijen en kennisinstututen deze CD&E- en *proof of concept*-projecten uit te voeren. Dit gebeurt ook. Met name TNO, Brightlands en NLR leveren veel fundamentele kennis aan die vervolgens in samenwerking met bedrijven zoals DSM, Ultimaker, Royal Haskoning wordt omgezet naar projecten en uiteindelijk naar *proof of concept*-projecten. Een voorbeeld hiervan is een kunststof hijsschalm van 1 kilo die in augustus is gebruikt om een volledige pantserwagen op te tillen, zowel statisch als dynamisch (rijdend). Voordeel van de 3D-versie is dat die snel op



Vooruitgang en performance:
kunststof geprinte hijschalm tilt
12 ton YPR-pantserwagen

locatie kan worden gemaakt. Ze is licht en corrodeert niet. Aanvullende samenwerkingen worden continu actief opgezocht om zo effectief mogelijk CD&E uit te voeren.

Vanuit de hele defensieorganisatie komen vragen bij het ECAM binnen, via installatiemanagers en wapensysteemmanagers, over producten die *obsolete* zijn of in de praktijk niet voldoen of niet (meer) leverbaar zijn. Vaak leiden de vragen tot vervangende of nieuwe producten. Als een product voorlopig alleen bij het ECAM kan worden gemaakt dan wordt het in SAP vastgelegd en kan het via SAP worden besteld. Een overzicht van producten is zichtbaar op de interne *Sharepoint*-site van het ECAM. De afbeelding op de pagina hiernaast geeft een impressie van 3D-onderdelen.

Natuurlijk moet dit allemaal ergens toe leiden. Recent is daartoe binnen CZSK een document opgesteld genaamd 'Additive manufacturing, Van experiment naar implementatie en doorontwikkeling'.⁵ In dit document is de volgende visie vastgelegd: 'Additive manufacturing is binnen CZSK dé adaptieve instandhoudingscapaciteit die de operationele inzetbaarheid vergroot en de logistieke footprint verkleint.' Daartoe werkt het ECAM naar het kunnen fabriceren van zowel kunststof- als metalen onderdelen op locatie, naast grotere onderdelen en objecten die bij DMI of partners kunnen worden gefabriceerd voor effectiever onderhoud bij DMI. Overigens betekent dit niet dat AM de enige fabricagemethode is. AM komt naast de andere methoden te staan, maar zal een deel ervan wel verdringen. Dit vooral omdat het via AM mogelijk is om op locatie snel onderdelen te fabriceren.

Dat de ontwikkeling bij CZSK niet op zichzelf staat blijkt wel uit het feit dat een groot aantal bedrijven, waaronder Deutsche Bahn, Airbus, ASML, Siemens, GE, Rolls Royce, BMW, Porsche en BAE, AM inmiddels hebben omarmd. Ze erkennen het belang van de huidige en verdere toekomstige ontwikkelingen binnen AM. Ook binnen internationale defensieorganisaties gebeurt veel op dit gebied, waarbij met name de VS, Duitsland en Noorwegen zeer

serieuze activiteiten ontplooiën. En NATO en EDA hebben recent werkgroepen opgericht om op het gebied van AM standaardisatie en samenwerking te faciliteren. In de VS heeft de Secretary of the Army zelfs het directive 'Enabling Readiness and Modernization Through Advanced Manufacturing' uitgegeven.¹⁴ Hierin worden alle afdelingen in de US Army opgeroepen AM als uitgangspunt mee te nemen in hun activiteiten. Het bevestigt dat AM in de VS inmiddels een volledig geaccepteerde werkwijze is geworden. Binnen onze defensieorganisatie experimenteren inmiddels meer afdelingen met AM. Samenwerking hier, voor zover de beoogde doelen en bedrijfsvoering overeenkomen, lijkt dan ook voor de hand te liggen.

Samengevat

Additive manufacturing is een onderdeel van de vergaande digitalisering in de technische wereld. De technologie is met name interessant en disruptief, omdat ze in staat is zeer snel op locatie digitale onderdelen om te zetten naar fysieke onderdelen. Hierdoor is ze voor met name CZSK erg interessant om de adaptiviteit en effectiviteit van eenheden te verhogen. AM wordt inmiddels op beperkte schaal operationeel ingezet. Een expertisecentrum (ECAM) is ingericht om dit te ondersteunen en verder uit te bouwen naar de toekomst in samenwerking met de industrie en kennisinstellingen.

KLTZ (TD) ir. A.F. (Sander) Wannings was hoofd Instandhoudingsgroep KBW bij DMI Maritieme Instandhouding waar het MIC 3D-printen is ontstaan en die vanaf mei 2018 is overgegaan naar het Expertisecentrum Additive Manufacturing bij de instandhoudingsgroep KBW. Hier kreeg hij ook de nevenfunctie hoofd Expertisecentrum. Vanaf augustus 2019 is hij daarnaast geplaatst bij DMO Projecten als projectleider en clustercoördinator KBW. Sinds maart 2020 is Sander Wannings ook voorzitter in een defensiebrede regiecel 3D-printen voor COVID-19-ondersteuning.



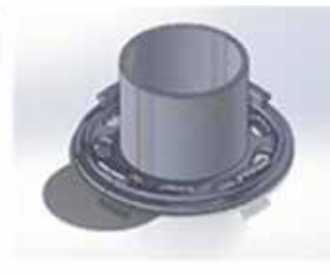
Antennevoet FRISC



Clips Sidescan 5900



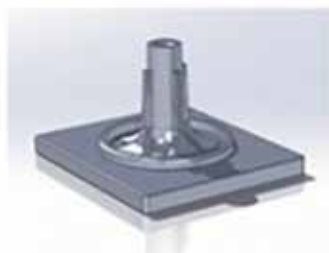
Deksel Lenspomp Groene Draeck



Deksels afvoerput LCF Fregat



Doorslagklep Merlin OZB



Drukknop Schakelkast ABB



Duik koffer DDG



Filter M Fregat



Gesp t.b.v. Filter Laskap



Dummy Helmet Display Unit



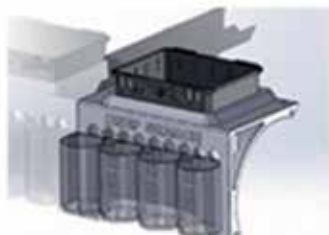
HEW



ID card holder Viking vlot



Isolation sleeve schakelkast



LCRM deep dive houder



Lenskorf LCU



Luchtrooster Zr. Ms. Mercurius

Deeloverzicht van operationele producten van het ECAM

Literatuur- en referentieopgave

1. Ministerie van Defensie, (2016), *Strategische Kennis en Innovatie Agenda Defensie, Voorblijven in een onveiligere wereld.*
2. Ministerie van Defensie (2020), *Defensievisie 2035, Vechten voor een veilige toekomst.*
3. CZSK/DMI (2017), *Zonder onderhoud geen inzet.*
4. Deming cirkel, PDCA staat voor *Plan, Do, Check, Act.*
5. K.J. Woltjer en H. Mulder, 'Engineering 2.0'. in: *Marineblad* mei 2020.
6. B. Pollmann, W. Tiddens, D. Curvers en J. Zegers, 'Informatie Ge-stuurd Onderhoud', in: *Marineblad* juli 2020.
7. M. Caspers, 'Werken aan virtual reality toepassingen op de XR campus', in: *Marineblad*, februari 2021.
8. C. W. Hull, *Apparatus for production of three-dimensional objects using stereolithography*, patent US 4575330 (A)- 1986-03-11, aanvraag ingediend op 8 Augustus 1984.
9. World Economic Forum (2020), *White paper '3D printing: a guide for decision-makers'.*
10. CZSK/DMI (2020), *Additive Manufacturing, van experiment naar implementatie en doorontwikkeling.*
11. Sharepoint website Expertisecentrum Additive Manufacturing (MU-LAN omgeving): <https://dwrdd.mindef.nl/sites/SWR010882/SitePages/Startpagina.aspx>.
12. Europese Unie (2014), *Technology readiness levels (TRL); Extract from Part 19 - Commission Decision C(2014)4995*, zie: https://ec.europa.eu/research/participants/data/ref/h2020/wp/2014_2015/annexes/h2020-wp1415-annex-g-trl_en.pdf
13. W. van de Wiel et al., *Concept Maturity Levels, Bringing structure to the CD&E process* (TNO, IITSEC 2010).
14. US Army, (2019), *Army Directive 2019-29 (Enabling Readiness and Modernization Through Advanced Manufacturing)*, Secretary of the Army.