

Onderhoud aan de Cougar-helikopter gekwantificeerd

Efficiënte en effectieve instandhouding van technologisch hoogwaardige platformen en systemen is voor Defensie een belangrijk thema. Onderhoud maakt, naast logistieke ondersteuning, wezenlijk deel uit van dit instandhoudingsproces. Preventieve en correctieve onderhoudsactiviteiten kosten veel tijd, geld en personeel. Verbeteringen en innovaties die betrekking hebben op het onderhoudsproces kunnen dus veel opleveren, zowel financieel als in termen van inzetbaarheid. Dit artikel laat voor het specifieke geval van de Cougar-helikopter zien hoe een technisch-wetenschappelijke aanpak kan leiden tot verbeteringen in het onderhoudsproces.

LTZT3 T. Stuivenberg*

'Another flaw in the human character is that everyone wants to build, and nobody wants to do maintenance'.

Dit bekende citaat van de Amerikaanse schrijver Kurt Vonnegut geeft aan dat onderhoud aan systemen veel minder span-

nend en uitdagend is dan het ontwerpen ervan. Toch is het belang van onderhoud bijzonder groot en zijn de kosten die ermee verbonden zijn, enorm.¹

In een tijd waarin tijd en geld beperkt wordt, is het dan ook van groot belang dat onderhoudsprocessen zo efficiënt en effectief mogelijk worden uitgevoerd. Hoewel er op sommige plaatsen in de defensieorganisatie veel data wordt verzameld over het gebruik en het falen van systemen, blijft het analyseren van deze data vaak achterwege. Dat komt enerzijds doordat de data vaak slecht toegankelijk is en anderzijds door het ontbreken van kennis en capaciteit voor het uitvoeren van de analyses.

Opzet artikel

Dit artikel demonstreert hoe een technisch-wetenschappelijke analyse van een onderhoudsproces met relatief weinig data kan worden uitgevoerd, gebruikmakend van simulatiemodellen. Dit leidt tot verbeterde inzichten in de verschillende processen en optimalisatie van het onderhoud. Concreet wordt hier het onderhoudsproces aan de *main gearbox* van de Cougar-helikopter gekwantificeerd.

* De auteur heeft in 2010 de bachelor Militaire Systemen en Technologie op de Nederlandse Defensie Academie (NLDA) afgerond in de afstudeerrichting Operations Research. Hij is momenteel bezig met een aansluitende Master Aerospace Engineering aan de Technische Universiteit Delft. Dit artikel beschrijft de opzet en resultaten van zijn afstudeeronderzoek en is tot stand gekomen met inbreng van de begeleiders van de auteur op de NLDA: dr. ir. R.H.P. Janssen en dr. ir. T. Tinga.

¹ Sinds enige tijd werken de kennisteams *Operations Research* (OR) en Onderhoudstechnologie van de NLDA samen om verbeteringen in onderhoudsprocessen te bewerkstelligen. OR benadert deze processen vooral vanuit de onderzoeksvraag. Met andere woorden: gegeven de (schaarse) middelen – personeel, onderdelen, et cetera – hoe kunnen deze middelen zo optimaal mogelijk worden ingezet? Onderhoudstechnologie richt zich primair op de inzetbaarheid van systemen, en past fysische kennis toe om zogeheten faalgedrag beter te begrijpen. Het idee achter de intensievere samenwerking van beide kennisteams is dat een beter begrip van faalmechanismen tot een optimalere inzet van materieel moet leiden. Zo wordt in het onderzoeksprogramma *Maintenance of Military Platform Systems* van de NLDA gewerkt aan de ontwikkeling van innovatieve onderhoudsconcepten die het Defensie-instandhoudingsproces efficiënter en effectiever kunnen maken. De auteur heeft in zijn OR-afstudeerproject voornamelijk simulatietechnieken toegepast om het onderhoudsproces te optimaliseren. Begin 2010 heeft hij zijn onderzoek uitgevoerd op vliegbasis Gilze-Rijen en Logistiek Centrum Woensdrecht, onder begeleiding van kap. C.W. van Rooij en elt. R.J. van der Bij.



FOTO: AVDD

Onderhoud aan de Cougar-helikopter is gebonden aan strenge veiligheidseisen

Het onderhoud aan de Cougar wordt streng voorgeschreven aan de hand van internationale veiligheidseisen. Het onderhoud kan, zoals voor alle vliegtuigen en helikopters, worden onderverdeeld in drie soorten: *line maintenance*, *base maintenance* en *component repair*.

Het eerste niveau van onderhoud bestaat uit relatief eenvoudige checks en vervangingen, die op de operationele basis kunnen worden uitgevoerd. Voor het tweede niveau, *base maintenance*, wordt het toestel voor een langere periode aan de operationele inzet onttrokken om meer complexe onderhoudsstaken uit te voeren. Voor de Cougar geldt dat er na een vast aantal vlieguren of na een vooraf vastgestelde interval een inspectie dient plaats te vinden.

Het onderzoek dat dit artikel beschrijft richt zich op de fase-inspectie die plaatsvindt na 750 vlieguren of na een periode van 24 maanden na de voorgaande fase-inspectie. In deze fase-inspectie wordt grootschalig onderhoud aan de helikopter, verricht op een vaste onderhoudslocatie. Deze inspectie valt onder *base maintenance*, dat door de Koninklijke Luchtmacht wordt uitgevoerd op de vliegbasis Gilze-Rijen en het Logistiek Centrum Woensdrecht.

Tijdens de inspectie wordt de helikopter grotendeels uit elkaar gehaald. Alle onderdelen worden geïnspecteerd, gerepareerd of vervangen, en soms vinden er modificaties plaats. In de praktijk vindt de fase-inspectie van de Cougar elke 24 maanden plaats omdat de 750 vlieguren niet bereikt worden.

De doorlooptijd van de inspectie bedraagt in theorie 60 dagen en mag maximaal

86 dagen duren om de huidige operationele inzetbaarheid te handhaven. In de praktijk blijkt dit echter vaak uit te lopen naar meer dan 80 dagen. Dit komt door (niet gepland) correctief onderhoud en het niet beschikbaar zijn van personeel en materiaal voor het uitvoeren van een onderhoudstaak. De belangrijkste consequentie van deze uitloop is dat de helikopter pas veel later weer inzetbaar is dan gepland.

Onderzoeksopzet

Omdat de tijd voor het hier beschreven onderzoek beperkt was, is er voor gekozen om niet een volledige fase-inspectie – bestaande uit honderden onderhoudsstaken en randvoorwaarden – te simuleren. Het onderzoek beperkt zich tot het onderhoud aan de main gearbox van de

Cougar (zie figuur 1). Dit is niet alleen één van de zwaarst belaste onderdelen, maar ook de meest kritieke module van de helikopter.



Figuur 1: 'Main gearbox' en 'main rotorhead' van de Cougar-helikopter

Falen van de gearbox leidt namelijk tot het wegvallen van zowel draagvermogen als voortstuwing. Bovendien is van de gearbox relatief veel data beschikbaar. In de praktijk zijn de verschillende onderhoudsactiviteiten aan de main gearbox sterk verweven met de activiteiten die behoren bij de *main rotorhead*. Daarom is besloten om in de simulatie de taken aan de main rotorhead die een voorwaarde vormen om te kunnen beginnen aan het onderhoud van de main gearbox, ook mee te nemen.

In dit onderzoek is de invloed van variaties in de beschikbaarheid van onderhoudspersoneel op de doorlooptijd van de inspectie aan de Cougar gekwantificeerd door gebruik te maken van een simulatiemodel. Het onderhoudsproces kan met behulp van dat model worden gesimuleerd voor een verschillend aantal monteurs dat aan het onderhoud wordt toegewezen,

alsmede voor enkele leerlingen die aan de monteurs worden gekoppeld.

Ook de invloed van vertragingen van specifieke onderhoudstaken wordt met dit model geanalyseerd. Aan de hand van de resultaten zullen verbeteringen van het onderhoudsproces worden voorgesteld.

Hierna komt eerst het onderhoudsproces aan de main gearbox van de Cougar-helikopter aan de orde. Daarna beschrijf ik hoe het simulatiemodel is opgezet en vervolgens worden de resultaten gepresenteerd en besproken. Het artikel sluit af met een aantal conclusies.

Het onderhoudsproces

Nu volgt een beschrijving van het onderhoudsproces aan de hand van informatie die afkomstig is van zogeheten planningskaarten. Dit proces zal vervolgens worden toegelicht. Daarna zullen belangrijke aspecten van het onderhoudsproces nader worden bekeken met het oog op het bouwen van een simulatiemodel.

Het onderhoudsproces aan een Cougar-helikopter heeft verschillende opeenvolgende fasen: de *(pre) removal look phase*, de *look phase*, en de *installation phase*. In iedere fase is voor iedere module waaruit de helikopter is opgebouwd, zoals de main gearbox en de main rotorhead, het uit te voeren onderhoud apart beschreven. Zo worden de modules in de *(pre) removal look phase* gecontroleerd op corrosie en vinden er op specifieke onderdelen metingen plaats met betrekking tot speling en aandraaimoment.

In de *removal phase* worden de modules uit elkaar gehaald. En in de *look phase* vinden de verschillende inspecties op componentniveau plaats. In de *installation phase* ten slotte worden de verschillende componenten direct (of na vervanging en/of reparatie) weer geïnstalleerd.

Planningskaarten

Een manier om het onderhoudsproces te beschrijven is het proces te beschouwen op het niveau van de modules tijdens de verschillende fasen, zoals beschreven in de plannings-

kaarten. De planningskaart met nummer 31037 heeft bijvoorbeeld betrekking op de main rotorhead module tijdens de pre removal look phase, en bestaat uit een aantal afzonderlijke taken. Voor het onderhoud aan deze module wordt ongeveer 16 uur opgegeven.

Met het oog op de afbakening van het onderzoek is gekozen om nader in te gaan op het onderhoudproces aan één module. Het onderhoud aan een specifieke module tijdens een fase valt dan uiteen in een aantal uit te voeren taken. Een voorbeeld van een planningskaart is opgenomen in figuur 2.

Een planningskaart geeft aan welk onderhoud moet worden uitgevoerd en welke materialen en gereedschappen daarbij benodigd zijn. Daarnaast vermeldt de planningskaart welke kwalificaties de monteurs moeten hebben en hoe lang het onderhoud nominaal duurt. Zo heeft de planningskaart in figuur 2 betrekking op de taak *check the tightening torque of the fixed swashplate balljoint guide bolts* (7566) van de main rotorhead tijdens de pre removal look phase (31037).

Voor deze taak is minimaal één uitvoeringsbevoegde monteur (UB) nodig. Nadat de taak is uitgevoerd, moet deze worden gecontroleerd en afgetekend door een inspecteur met een zogeheten B1-kwalificatie. De tijd voor het uitvoeren van deze taak is tussen de 45 en 60 minuten.

Door gedurende het onderhoudproces de planningskaarten en de volgorde daarvan nauwkeurig te volgen wordt het onderhoud veilig en volgens de richtlijnen uitgevoerd. Er kan pas met een nieuwe fase in het onderhoudsproces worden begonnen indien alle taken van de voorafgaande fase zijn doorlopen.

Uitgangspunten

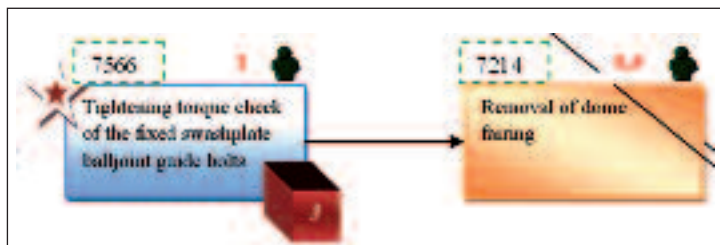
Aan de hand van de planningskaarten kan het hiervoor beschreven onderhoudsproces met betrekking tot de main gearbox op taakniveau worden uitgewerkt in een stroomschema. Alle taken worden daarin aangegeven, waaronder de taken die betrekking hebben op de main gearbox in een en dezelfde fase.

Figuur 2: Voorbeeld van één van de taken van een planningskaart

In figuur 3 zijn twee taken verder uitvergroot, waarbij de eerste taak overeenkomt met de planningskaart in figuur 2. Het groene poppetje representeert de benodigde uitvoeringsbevoegde monteur. Het sterretje geeft aan dat een B1 inspecteur benodigd is en het rode getal 1 geeft de benodigde doorlooptijd (in uren) weer.

Het rode blokje rechtsonder geeft ten slotte aan dat er correctief onderhoud nodig kan zijn (zie verderop in dit artikel). In een stroomschema is de volgorde tussen de taken weergegeven met pijlen en wordt in ieder blokje aangegeven wat de verwachte arbeidstijd van die taak is en hoe de toewijzing van personeel voor die taak zal plaatsvinden. Omdat aangenomen zal worden dat al het benodigde gereedschap en alle onderdelen voor een taak altijd aanwezig zijn, is deze informatie niet opgenomen in de blokjes. Het stroomschema dient als uitgangspunt voor het simulatiemodel waarbij het onderhoudsproces aan de main gearbox van de Cougar zal worden gesimuleerd vanaf het moment dat de main gearbox gedemonteerd is en naast de helikopter staat opgesteld tot aan

het moment dat de main gearbox weer geïnstalleerd is.



Figuur 3: Detailweergave van twee specifieke onderhoudstaken

Belangrijke aspecten

Voor het bouwen van een simulatiemodel van het onderhoudsproces moet aandacht worden besteed aan de volgende belangrijke aspecten van dit proces.

• Taakvolgorde

De planningskaarten leggen een bepaalde volgorde vast voor de verschillende taken van het onderhoudsproces. Sommige taken mogen pas worden gestart als andere taken zijn afgerond. Bij het analyseren van de verschillende planningskaarten is gebleken dat sommige onderhoudstaken simultaan kunnen worden uitgevoerd. Indien het onderhoud dus op taakniveau wordt gepland in plaats van op het niveau van de planningskaart (zoals nu gebeurt), dan zou het onderhoud verder kunnen worden geoptimaliseerd en kan de doorlooptijd op die manier worden verkort.

• Arbeidstijd

De tijd die aan elke taak wordt besteed, is een belangrijke invoerparameter in het model. De gehele planning van het onderhoudsproces is gebaseerd op deze verwachte arbeidstijd = voorcalculatie). Er is echter eerst onderzocht of de voorcalculatie overeenkomt met de werkelijke arbeidstijd (gekwantificeerd door ervaren monteurs). Uit de data-analyse blijkt dat er sprake is van een significant verschil tussen de voorcalculatie en de werkelijke arbeidstijd op het niveau van de planningskaart niveau. De voorcalculatie op dit niveau blijkt significant lager te zijn dan de werkelijkheid. Echter, de voorcalculatie op taakniveau blijkt niet significant af te wijken van de werkelijke tijd die aan

de taken is besteed. Er kan dus worden gesteld dat de verschillen tussen de verwachting en de werkelijkheid op het niveau van de planningskaart worden veroorzaakt door vertragingen *tussen* de verschillende taken, en niet door vertragingen *van* de verschillende taken. Het is statistisch dan ook verantwoord om in het simulatiemodel gebruik te maken van de voorcalculatie als arbeidstijd voor de verschillende taken.

• Personeel

Het onderhoudspersoneel is verdeeld in twee groepen: personeel voor vliegtuigonderhoud (VO) en voor Avionicatechniek (AVT). Binnen deze twee groepen is een gradatie aangebracht in de kwalificatie van het personeel, respectievelijk Uitvoeringsbevoegden (UB) en monteurs met meer ervaring en de nodige aanvullende kwalificaties: B1 (VO) / B2 (AVT). Er gelden de volgende voorwaarden:

- voor de uitvoering van de werkzaamheden dient te worden getekend door diegene die de werkzaamheden heeft uitgevoerd;
- in sommige gevallen moet er daarnaast worden geïnspecteerd door daartoe bevoegd personeel (B1/B2 inspecteur). Een volgende taak kan pas worden gestart indien de onderhoudstaak getekend is.

• Leerlingen

Naast de vaste monteurs nemen ook leerlingmonteurs deel aan het onderhoudsproces. Deze leerlingen zijn niet uitvoeringsbevoegd en zij worden dan ook altijd begeleid door iemand die dat wel is. Dit leidt er toe dat de arbeidstijd van de verschillende taken en de tijd die de inspectie van die taak in beslag neemt, toeneemt. De grootte van deze toename is niet bekend en is daarom één van de variabelen in deze studie.

• Correctief onderhoud

Naast het geplande reguliere onderhoud worden er tijdens de fase-inspectie ook regelmatig andere gebreken geconstateerd. Daarbij gaat het vooral om scheurtjes in de constructie of corrosie. Deze gebreken zijn moeilijk op voorhand te voorspellen. Om die reden zijn ze niet opgenomen in het reguliere (preventieve)

onderhoud. De problemen moeten tijdens de fase-inspectie worden opgelost en verlengen daardoor de doorlooptijd. Om de gevoeligheid van de doorlooptijd voor correctief onderhoud vast te stellen is voor de huidige simulatie met behulp van experts (zeer ervaren monteurs) per taak vastgesteld wat de kans op correctief onderhoud is (vaak, regelmatig of zelden) en hoe groot de tijdbelasting is (arbeidsintensief, gemiddelde of korte duur). Eventueel correctief onderhoud tijdens het uitvoeren van een taak kan worden weergegeven met een code. Zo representeert de code 3 in figuur 3 dat correctief onderhoud bij taak 7566 zelden voorkomt, maar als het voorkomt dan is het wel arbeidsintensief.

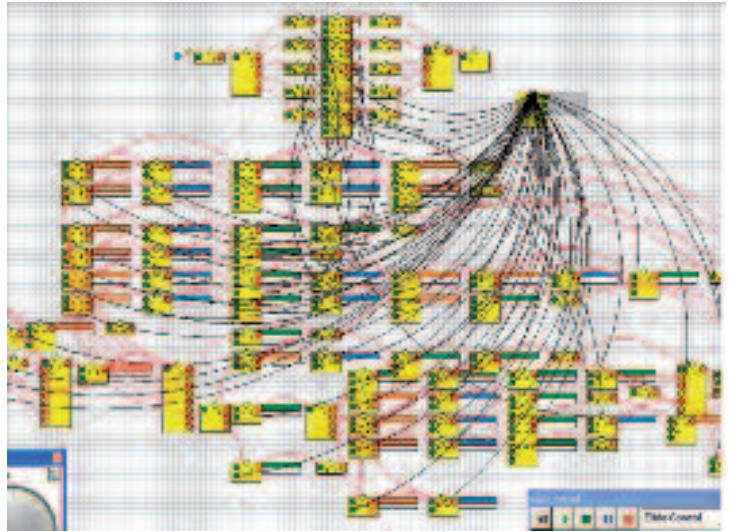
Simulatiemodel

Het onderhoudsproces van de Cougar main gearbox zoals hiervoor beschreven, is vervolgens gemodelleerd in het softwarepakket Enterprise Dynamics. Dit pakket werkt op basis van een *discrete event simulation*, een methode die veel wordt toegepast om problemen van wachtrijen (in bijvoorbeeld productieprocessen) te modelleren. Dit onderzoek laat zien dat het ook met succes kan worden toegepast in het instandhoudingsproces.

Elke taak is afzonderlijk gemodelleerd in het programma op een vast gedefinieerde plek in het onderhoudsproces (zie figuur 4). Vervolgens worden voor iedere taak de volgende vragen beantwoord en geïmplementeerd in de specifieke taak.

- 1 Hoeveel uitvoeringsbevoegden (UB) zijn er nodig voor de uitvoer van de taak en van welke discipline?
- 2 Is een inspectie door een B1 / B2 vereist? En zo ja, hoeveel tijd kost dat?
- 3 Wat is de nominale duur van de taak?
- 4 Wat is de kans op correctief onderhoud en wat is de bijbehorende tijdsduur?

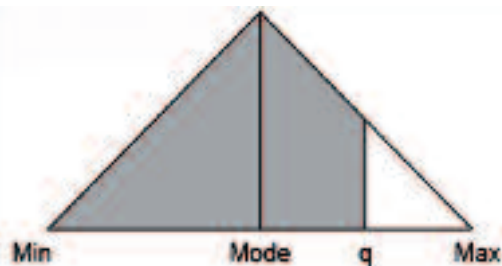
De hier genoemde tijdsduren zijn waarden die keer op keer variëren. Dit wordt in de simulatie meegenomen door de tijdsduur te definiëren via een kansverdeling, waaruit per keer een



Figuur 4: Weergave van het simulatiemodel voor de removal look phase

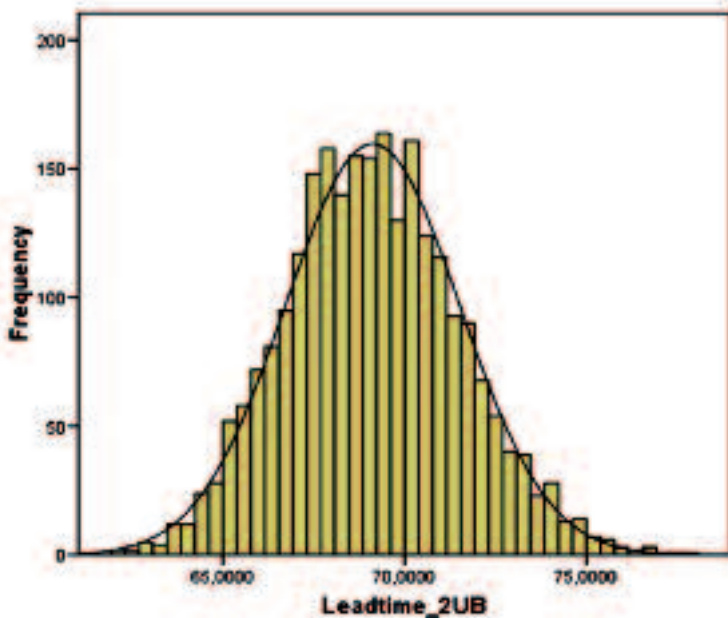
waarde wordt getrokken. Voor alle kansverdelingen is een driehoeksverdeling aangenomen op basis van de minimale arbeidstijd, de meest waarschijnlijke arbeidstijd (modus) en de maximale arbeidstijd.

Zoals figuur 5a laat zien is de kans op een tijdsduur in de buurt van de modus vrij groot en komen de extreme waarden veel minder vaak voor. Door deze variabele tijdsduur per taak zal de doorlooptijd van de inspectie van de main gearbox per simulatierun verschillen. Om die



Figuur 5a: Driehoeksverdeling gebruikt voor de simulatie voor de duur van onderhoudstaken

reden worden 2500 simulaties uitgevoerd om een betrouwbare waarde voor de gemiddelde doorlooptijd te verkrijgen, inclusief de verwachte spreiding daarin. De gesimuleerde doorlooptijd voor het basismodel met twee monteurs is dan ook normaal verdeeld, zoals weergegeven in figuur 5b.



Figuur 5b: Verdeling van de doorlooptijd van het onderhoudsproces na 2500 simulaties

Het doel van het simulatiemodel is het onderzoeken van de gevoeligheid van het onderhoudsproces voor diverse variaties. In het model is een aantal parameters voorhanden waarmee gevarieerd kan worden, zoals:

- het totale aantal beschikbare uitvoeringsbevoegde (UB) en hoger gekwalificeerde monteurs (B1/B2) voor de uitvoering en het aftekenen van de verschillende onderhoudstaken;
- de snelheid waarmee een monteur werkt;
- het aantal leerlingen dat toegewezen is aan het onderhoudsproces en de vertragingfactor die zij per taak veroorzaken;
- de kans op correctief onderhoud en de daarvoor benodigde arbeidstijd.

De belangrijkste maat voor de prestatie van het onderhoudsproces is de totale doorlooptijd. Daarnaast zal men echter ook kijken naar de bezettingsgraad van de ingezette monteurs. Dit is het percentage van zijn beschikbare tijd dat een monteur daadwerkelijk aan een taak is toegewezen.

Door het variëren van de genoemde parameters kunnen verschillende scenario's gesimuleerd worden, en kan de invloed van bovenstaande

parameters op de totale doorlooptijd worden onderzocht.

Resultaten

De invloed van de verschillende parameters van het simulatiemodel is onderzocht en de resultaten worden hierna weergegeven.

Invloed van inzet personeel

Om te analyseren wat de invloed is van extra personeel op de doorlooptijd is het proces onder identieke omstandigheden gesimuleerd met twee, drie en vier beschikbare monteurs. In de praktijk wordt het onderhoud altijd met twee monteurs uitgevoerd. Het effect van extra personeel op het onderhoud aan de main gearbox kan op deze manier kwantitatief worden geanalyseerd.

De resulterende gemiddelde doorlooptijden staan weergegeven in figuur 6a. Hoe meer monteurs er beschikbaar zijn, hoe korter de totale doorlooptijd wordt. Echter, in het geval van vier beschikbare monteurs kan het voorkomen dat niet alle vier monteurs continu bezig zijn met het uitvoeren van onderhoudstaken: een monteur moet bijvoorbeeld wachten met het starten van een nieuwe onderhoudstaak op de afronding van de daaraan voorafgaande taak door een andere monteur.

Daarom is berekend wat het aantal manuren is dat in werkelijkheid aan het onderhoud van de main gearbox wordt besteed. Alleen de tijd dat de monteur bij een proces wordt aangeroepen tot het moment dat de monteur weer wordt vrijgegeven, wordt in dat geval meegenomen in de analyse van het aantal manuren. Het resultaat van deze analyse staat in figuur 6b. Voor alle drie scenario's ligt het totale aantal manuren tussen de 126 en 129 uur (respectievelijk 128.8, 126.6 en 127).

Er kan dus worden geconcludeerd dat het inzetten van meer personeel de doorlooptijd aanzienlijk verkort, maar dat het aantal bestede manuren nagenoeg hetzelfde blijft en de gemiddelde bezettingsgraad per monteur afneemt (respectievelijk 93.2, 75.1 en 65.8 procent).

De prioriteiten van de organisatie bepalen in dit geval wat de optimale inzet van personeel is. Daarbij speelt ook een rol of de monteurs die tijdelijk niet aan de main gearbox kunnen werken in de tussentijd taken kunnen uitvoeren aan een andere module.

Invloed van werktempo monteurs

Om te onderzoeken wat de invloed is van het werktempo van de monteurs op de doorlooptijd van het proces is een arbeidssnelheidsfactor k in het model opgenomen. Met deze factor kan de duur van een taak worden vertraagd (met $k = 2$ duurt een taak twee maal zo lang).

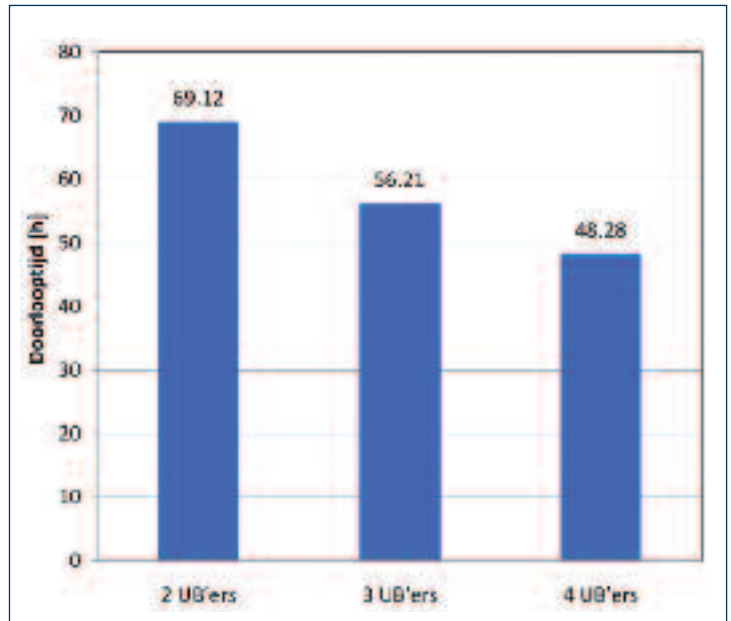
Zoals verwacht leidt een lager werktempo van alle monteurs tot een grotere doorlooptijd. Echter, doordat sommige taken extern worden uitgevoerd, zijn die onafhankelijk van het werktempo en leidt een verdubbeling van k tot slechts 76 procent toename van de doorlooptijd.

Invloed van leerlingen

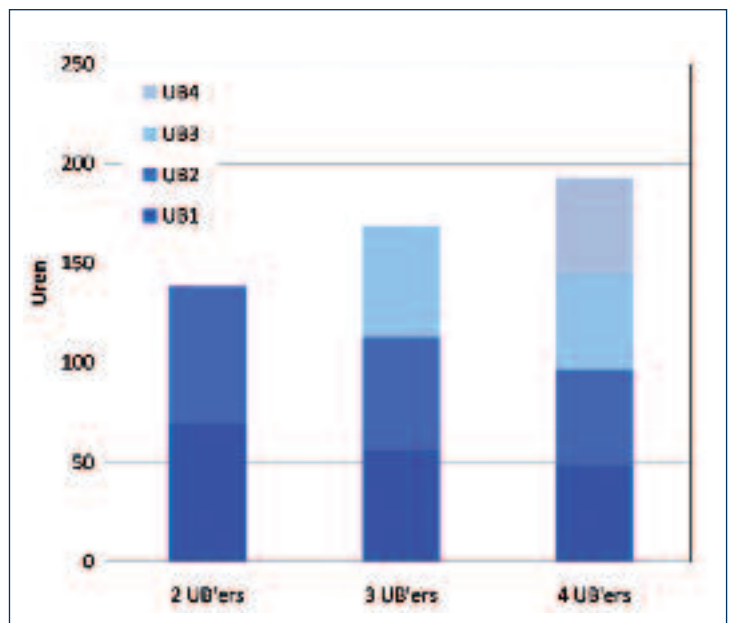
Naast de monteurs zijn er in het onderhoudsproces ook geregeld leerling-monteurs aanwezig. Deze monteurs mogen niet zelfstandig onderhoudstaken uitvoeren en zullen dus altijd moeten worden geassisteerd door ervaren monteurs. In de praktijk wordt gewerkt met maximaal twee leerlingen. Doordat de leerling-monteur niet hetzelfde werktempo heeft als de meer ervaren monteur, en de monteur bepaalde zaken moet uitleggen, neemt de arbeidstijd voor die taak toe.

Het simulatiemodel duidt deze toename aan met de factor q . Omdat er geen data beschikbaar is over de grootte van q zal in eerste instantie q geschat worden op 1.5. Het effect op de doorlooptijd van het meelopen van één respectievelijk twee leerling-monteurs is weergegeven in figuur 7.

Op deze figuur is te zien dat de toename van de doorlooptijd die wordt veroorzaakt door een tweede leerling kleiner is dan de toename veroorzaakt door de eerste leerling. Dit kan als volgt worden verklaard. Het directe gevolg van de aanwezigheid van één leerling in het onder-

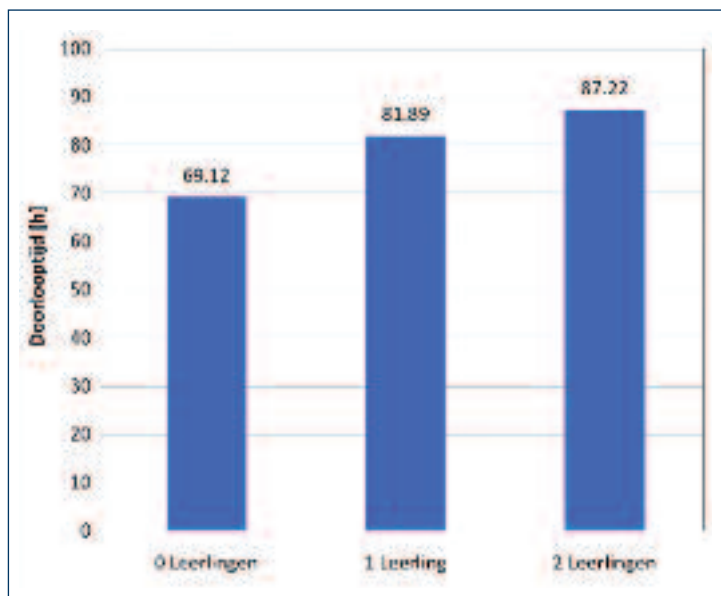


Figuur 6a: Effect van aantal monteurs op doorlooptijd



Figuur 6b: Effect op het aantal bestede manuren

houdsproces is dat de monteur die zonder leerling werkt vaker en langer zal moeten wachten op afronding van taken door de monteur met leerling.



Figuur 7: Doorlooptijd van het onderhoud bij geen, één of twee leerling-monteurs

Wanneer ook de tweede monteur een leerling meeneemt zal deze wachttijd nu worden gebruikt voor de extra duur van de onderhoudstaak. De wachttijd wordt nu omgezet in arbeidstijd zonder dat dit de doorlooptijd doet toenemen. In de praktijk is het dus het meest efficiënt om tijdens één fase-inspectie twee leerlingen mee te laten lopen en vervolgens een inspectie zonder leerlingen uit te voeren. Dit levert minder vertraging in doorlooptijd op dan wanneer er in twee achtereenvolgende inspecties telkens één leerling meeloopt.

Invloed van correctief onderhoud

Naast het onderhoud dat gepland is, vindt er tijdens de fase-inspectie ook correctief onderhoud plaats. Dit is onderhoud dat gedaan moet worden nadat gebreken worden geconstateerd tijdens de removal look phase en de look phase. De hoeveelheid en het soort correctief onderhoud zijn niet planbaar. Daardoor leidt correctief onderhoud altijd tot een verlenging van de doorlooptijd.

De kans dat dit voorkomt en de benodigde arbeidstijd voor correctief onderhoud is per taak vastgesteld door experts. Daardoor kan het effect van correctief onderhoud op de doorlooptijd met het huidige simulatiemodel worden

gekwantificeerd. Van de totale gemiddelde doorlooptijd van 69.1 uur blijkt 18.7 uur, ofwel 27 procent van de doorlooptijd, besteed te worden aan correctief onderhoud. De storingen of schade die het correctieve onderhoud vereisen, zijn vaak moeilijk te verminderen, waardoor er weinig winst te halen valt in het terugbrengen van de benodigde arbeidstijd.

Maar als (een deel van) het correctief onderhoud planbaar gemaakt zou kunnen worden, bijvoorbeeld door het relateren van schades aan het gebruik van het systeem in de voorafgaande periode, dan zou dat flinke voordelen opleveren. Het wachten op personeel of onderdelen kan dan gelimiteerd worden.

Correctief onderhoud kan echter alleen planbaar gemaakt worden indien er voldoende data beschikbaar is over het 'faalgedrag' van verschillende systemen. Het is dan ook essentieel dat operationele managers een uitgebreide dataset opbouwen, waarmee dergelijk faalgedrag goed gedocumenteerd wordt. Indien dit gebeurt kan het huidige model met de nieuw beschikbare data wellicht een nog optimalere indeling van het onderhoudsproces aandragen.

Gevoeligheidsanalyse

In het simulatiemodel wordt aangenomen dat alle materialen en gereedschappen bij aanvang van het onderhoudsproces aanwezig zijn. Er kan in dat geval altijd met een taak worden begonnen indien alle voorgaande taken zijn afgerond. In de praktijk is dit niet het geval. Tekorten in materialen en gereedschappen veroorzaken nog meer vertragingen. Deze tekorten ontstaan door onvoldoende kennis van benodigde materialen, gebrek aan gereedschappen en lange wachttijden op onderdelen van de fabrikanten.

Omdat in het huidige simulatiemodel alle materialen en gereedschappen aanwezig zijn, moet op een andere manier een inschatting gedaan worden van de gevoeligheid van het onderhoudsproces. Dit wordt gedaan door het 'kritieke pad' te identificeren. Een taak behoort tot het kritieke pad indien een vertraging van die



FOTO AVDD, E. KLJUN

Efficiënt onderhoud draagt bij aan betere inzetbaarheid

taak leidt tot een vertraging van de doorlooptijd die minimaal gelijk is aan de opgelegde vertraging. Vertragingen in taken op het kritieke pad worden dus niet gecompenseerd door andere taken.

Voor de organisatie is het dus belangrijk om juist voor deze taken te zorgen dat de materialen en gereedschappen tijdig aanwezig zijn. Door in de simulatie elk proces handmatig een vertraging te geven – die de vertraging als gevolg van het ontbreken van materiaal en/of gereedschap representeert – kan worden gekeken wat het effect ervan is op de doorlooptijd van het gehele onderhoudsproces.

Op die manier wordt duidelijk welke taken een grote invloed hebben op de vertraging van het gehele onderhoudsproces, en voor welke taken een vertraging minder bijdraagt aan de totale vertraging van de doorlooptijd. Het kritieke pad wordt zo door de simulatie blootgelegd.

Conclusie

In dit artikel is beschreven hoe een numeriek simulatiemodel is ontwikkeld van het onder-

houdsproces aan de main gearbox van de Cougar-transporthelikopter. Toepassing van het model laat zien dat de invloed van diverse parameters – zoals de beschikbaarheid van personeel, het uitvoeren van correctief onderhoud en het laten meelopen van leerlingen – op de doorlooptijd van een fase-inspectie kan worden bestudeerd en gekwantificeerd.

In het geval van de Cougar-helikopter main gearbox levert

het inzetten van drie of vier monteurs een winst in doorlooptijd op van 19 respectievelijk 30 procent ten opzichte van de standaard-aanpak met twee monteurs. Verder blijkt het efficiënter om twee leerling-monteurs in één inspectie mee te laten lopen dan ze apart in twee afzonderlijke inspecties te begeleiden.

Ten slotte blijkt ongepland correctief onderhoud 27 procent van de doorlooptijd te beslaan. Dit wordt voornamelijk veroorzaakt door wachttijden voor het personeel of wachttijden op onderdelen. Waar veel van de resultaten in kwalitatieve zin intuïtief voorspeld konden worden, zijn deze met het simulatiemodel gekwantificeerd. Daarmee biedt de methode duidelijke argumenten voor het nemen van beslissingen die nodig zijn om het onderhoudsproces verder te optimaliseren.

Als laatste punt kan worden opgemerkt dat de hier gepresenteerde methode generiek is. Ze kan dus ook worden toegepast op onderhoudsprocessen aan andere Cougar-modules of andere wapensystemen, zoals vliegtuigen, schepen of voertuigen. ■