**ReMAP in vier vragen en antwoorden**

**1**

**Wat is de aanleiding van ReMAP?**

Vliegtuigonderhoud wordt momenteel uitgevoerd op vaste tijdsgebonden cycli, zoals aantal vlieguren, aantal vluchten of kalenderdagen, welke het eerst optreedt. Onderdelen worden vervangen terwijl die vaak nog gewoon goed zijn. Met de nieuwste sensortechnologieën en AI-algoritmen kunnen vliegtuigsystemen worden onderhouden op basis van hun gezondheid. Onderdelen worden alleen vervangen als dat nodig is. Dit heet condition-based maintenance (CBM). CBM kan onderhoudskosten en ongepland vliegtuigonderhoud verlagen en beschikbaarheid van vliegtuigen verhogen. Alleen al in Europa kan de potentiële besparing op vliegtuigonderhoud oplopen tot 700 miljoen euro per jaar.

Het concept van CBM is niet nieuw, maar het wordt nauwelijks toegepast in de luchtvaartindustrie, en een routekaart voor de feitelijke implementatie ontbreekt. Er is simpelweg te weinig kennis en ervaring om het héle concept in één klap toe te passen in de bedrijfsvoering. Het potentieel van CBM wordt immers alleen bereikt met een systematische end-to-end-benadering, van sensordata naar diagnose, prognose en CBM-onderhoudsplanning. En dat voor de gehele vloot. ReMAP heeft de opdracht deze routekaart op te stellen en te bewijzen dat het huidige veiligheidsniveau gehandhaafd kan blijven of zelfs nog verbeterd kan worden.

De Advisory Council for Aeronautical Research in Europe (ACARE) stelt dat CBM al in 2035 als standaard benadering is geaccepteerd voor het monitoren van de gezondheid van een vliegtuig en het plannen van het vliegtuigonderhoud. In 2050 verwacht zij dat alle nieuwe vliegtuigen ontworpen worden voor CBM. Door toepassing van CBM worden materialen en systemen continu en real time data bewaakt. De vliegtuigen kunnen daardoor mogelijk lichter worden ontworpen door vermindering van back-up-systemen en door nóg lichtere vliegtuigconstructies als gevolg van de continue monitoring. Op de middellange termijn wordt geschat dat dit een gewichtsvermindering van 3 tot 7% oplevert en op de lange termijn 10-20%. Voor een vliegtuig met 700 vluchten per jaar resulteert dit in 105 ton brandstofbesparing en 350 ton CO2-reductie.

ReMAP (Real-time Condition-Based Maintenance for Adaptive Aircraft Maintenance Planning) is een vierjarig Europees project dat in juni 2018 van start ging. Dit project heeft financiering ontvangen van het onderzoeks- en innovatieprogramma Horizon 2020 van de Europese Unie.

Verdere achtergrondinformatie over de aanleiding/noodzaak van ReMAP:  
Interview met projectleider Bruno Santos (TU Delft):  
<https://www.tudelft.nl/lr/actueel/spotlight/vliegtuigonderhoud-met-datasnelheid>

Deze blogs van luchtvaartexperts geven de noodzaak van ReMAP vanuit hun gezichtspunt aan:

Thales Avionics:  
<https://h2020-remap.eu/now-we-must-prove-that-condition-based-maintenance-is-mature-enough-to-implement-into-aviation/>

Vliegtuigbouwer Embraer:   
<https://h2020-remap.eu/7-aspects-to-accelerate-condition-based-maintenance-in-aircraft-industry/>

**2**

**Hoe is dit onderzoek uitgevoerd?**

Er lopen grofweg twee parallelle technologische paden in dit onderzoek:

1. Het ene pad kijkt naar de mogelijkheden van sensortechnieken en diagnose- en prognosemogelijkheden van composiet vliegtuigstructuren:
   1. Sensortechnieken:  
      De huidige handmatige inspecties aan composieten vliegtuigstructuren vragen veel tijd, omdat schade hierin vaak niet zichtbaar is aan het oppervlak. In dit onderzoek wordt gekeken of sensoren betrouwbare data kunnen leveren die nodig zijn in het verwerken van diagnose- en prognosesystemen. Het plaatsen van sensoren op composieten materialen van een vliegtuig is wegens regelgeving niet toegestaan. Dit onderzoek gebeurt dan ook uitsluitend op laboratoriumschaal.
   2. Diagnose- en prognosesysteem  
      Daarnaast zijn algoritmes ontwikkeld om met deze meetdata met gebruik van kunstmatige intelligentie te bepalen óf er schade is, waar de schade is, welke schade dat is en hoe erg de schade is, een Structural Health Management Systeem (SHM): <https://h2020-remap.eu/4-shm-approach/>
   3. Openbare kennisbank:  
      Een intensieve tweejarige testcampagne op composiete vliegtuigstructurenbij de Faculteit Luchtvaart- en Ruimtevaarttechniek van de TU Delft en bij de Universiteit van Patras (GR) heeft geresulteerd in een unieke kennisbank voor het monitoren van de gezondheid van deze materialen. Met deze kennisbank wordt het mogelijk om niet alleen de huidige toestand van composiet structuurelementen van vliegtuigen real time te diagnosticeren, maar ook om de toekomstige toestand hiervan te voorspellen met behulp vanAI-modellen. Deze kennisbank kan onderhoudstechnici van vliegtuigen ondersteunen bij het detecteren, lokaliseren en beoordelen van de ernst van schade. Deze kennisbank is de eerste - wereldwijd – die voor dit doel openbaar beschikbaar is.   
      -De kennisbank is beschikbaar op: <https://dataverse.nl/dataverse/ReMAP_H2020_SHM_data_repository>.   
      Meer informatie over dit onderzoek en de lancering van de database: <https://h2020-remap.eu/remap-consortium-opens-1st-open-access-intelligent-knowledge-databank-to-predict-the-future-state-of-composite-aircraft-structures/>

Voor dit onderzoek zijn composietpanelen ontworpen door vliegtuigbouwer Embraer (PT) en vervaardigd door Optimal Solutions (PT). De sensoren zijn geleverd door Cedrat Technologies (FR) en Smartec SA (CH). Deze zijn zorgvuldig op deze panelen geplaatst volgens wetenschappelijk onderbouwde criteria van de Universiteit van Patras (GR). École National Supérieure d'Arts et Métiers (FR) ontwikkelde de software voor data-acquisitie en betrouwbaarheid van sensoren, terwijl de Universiteit van Patras (GR) en de TU Delft verantwoordelijk zijn geweest voor de tests en de ontwikkeling van prognosealgoritmen.

1. Het tweede pad richt zich op vliegtuigsystemen en omvat de volgende deelonderzoeken:
   1. Data worden verzameld via sensoren die in KLM-vliegtuigen zijn geïnstalleerd. Elke dag verzamelt KLM gigabytes aan data die kunnen worden gebruikt om de prestaties van de vliegtuigen te monitoren. Deze gegevens kunnen ook worden gebruikt om de gezondheidstoestand van bepaalde vliegtuigsystemen te beoordelen.
   2. Algoritmes zijn ontwikkeld ter verbetering van de diagnose (er is een defect, en waarschijnlijk ligt de oorzaak in dit subsysteem) en de prognose (dit subsysteem of onderdeel zou binnen een bepaald tijdsbestek kunnen uitvallen). Het Prognose Health Management Systeem (PHM) voor systemen en componenten wordt in deze video uitgelegd: <https://h2020-remap.eu/5-phm-the-story/>
   3. Een besluitvorming ondersteunend systeem is ontwikkeld dat planners van vliegtuigonderhoud helpt bij het verwerken van de grote hoeveelheid informatie die de gezondheidsbewaking van meerdere systemen van een vloot vliegtuigen oplevert. Met de huidige handmatige wijze van plannen is maximaal enkele weken vooruit te plannen. Met ReMAP-Maintenance Decision Support Tool is dit op te rekken tot enkele maanden. Die extra tijd is cruciaal om problemen vóóraf te identificeren én een lange termijn onderhoudsstrategie te ontwikkelen. Het voordeel voor reizigers is duidelijk: minder ongepland onderhoud resulteert in minder vertraging en annulering van vluchten. Deze oplossing heeft een prijs ontvangen van het Nederlandse World Class Maintenance. <https://h2020-remap.eu/remap-researcher-paul-van-kessel-rewarded-at-world-class-maintenance-event/>
   4. Om alle systemen te koppelen is een IT-platform gemaakt. Het unieke aan dit platform is dat er geen vertrouwelijke data van luchtvaartmaatschappijen wordt overgedragen. In plaats daarvan worden modellen van diagnose- en prognosesystemen gedeeld dusdanig dat andere partijen hiervan kunnen leren én zelf weer kunnen aanvullen: <https://h2020-remap.eu/3-it-platform/>
   5. Bij de introductie van een nieuwe technologie, wat CBM in de luchtvaart is, moeten de effecten van deze technologie op de veiligheid van mens, goederen en milieu in kaart worden gebracht, de zogenoemde ‘gevaren-identificatie'. ReMAP heeft dit voor het eerst opgesteld. Hiervoor hebben ervaren onderhoudsspecialisten input geleverd. Dit is vastgelegd en gepubliceerd in een openbaar document: <https://h2020-remap.eu/documents/> (Deliverable 7.1: Hazards and Safety Barriers related with CBM technologies). Aan de hand van deze identificatie zijn modellen gemaakt van het vliegtuigonderhoud, met en zonder CBM, waarmee de impact op de vliegtuigveiligheid kan worden ingeschat wanneer CBM wordt ingebouwd.
   6. Alle technologieën worden gevalideerd in een zes maanden lopende demonstratie met real-time data van KLM. Hierbij wordt gekeken naar acht boordsystemen van wide-body en narrow-body vliegtuigen van KLM.

Partners die betrokken zijn bij dit onderzoek zijn ATOS (SP), Collins Aerospace (IE), ONERA (FR), University of Coimbra (PT), TU Delft en KLM.

**3**

**Wat zijn de belangrijkste conclusies?**  
Het belangrijkste resultaat van dit project is: ja, CBM is mogelijk in de luchtvaart. Het hele proces van het verzamelen van data van een vloot vliegtuigen, het verwerken van deze data, het ontwikkelen van prognoses en het maken van continue onderhoudsplannen met die prognoses is mogelijk. Anderzijds is duidelijker geworden dat CBM niet geschikt is voor álle systemen en niet voor alle vliegtuigconstructies. De analyse welk type systemen (en uiteindelijk ook welk type constructies) geschikter zijn om CBM als onderhoudsfilosofie te hebben is nu wél mogelijk.   
  
Een andere conclusie die uit de eerste experimenten volgt is dat onderhouds-procedures moeten veranderen om de CBM-filosofie - met prognoses en diagnostiek - volledig te benutten. Het grootste voordeel ontstaat wanneer het onderhoudsbeleid is aangepast aan CBM, met name wat betreft de frequentie dat een vliegtuig de hangar bezoekt. In de huidige praktijk bezoekt een vliegtuig elke twee tot drie maanden de hangar. Dat is een te lage frequentie om met prognostiek om te gaan en daarop te kunnen reageren. Simulaties laten zien dat, om de voordelen van CBM beter te benutten, het vliegtuig uiteindelijk elke twee weken, of minstens elke maand, de hangar moet bezoeken om de flexibiliteit te hebben om de niet-routinematige CBM-taken te plannen, volgens nieuwe prognoses. Dit zal de algehele efficiëntie van het onderhoudsproces verhogen. De onderhoudsindustrie zal hiervan profiteren zonder de operationele kant te belasten.

**4**

Bij de start van ReMAP was de vertrouwelijkheid van data in deze CBM-oefening een grote uitdaging. Het idee van een open IT-infrastructuur waarmee meerdere luchtvaartmaatschappijen uiteindelijk kunnen profiteren van de kennis van elkaar zonder data te hoeven delen blijkt de beste methode om CBM te implementeren. Enkele andere partijen in de markt doen al iets soortgelijks maar dan met gesloten oplossingen. Deze open-source oplossing die door verschillende partijen verder kan worden opgebouwd kan de CBM-implementatie in de luchtvaart versnellen.

**4**

**Wat gebeurt er nu verder met de resultaten?**  
Dit project is een eerste stap waarin CBM in de luchtvaart op een systematische wijze is onderzocht en een CBM-raamwerk is ontwikkeld. Hoewel er nog veel meer moet gebeuren om een CBM-oplossing in de praktijk te hebben is er nu wel een beeld ontstaan van wat hiervoor nodig is en wat de impact van CBM is. De resultaten helpen ook om te kijken naar de lange termijn impact van CBM in de levenscyclus van een vliegtuig, zoals onderhoudskosten, veiligheidsimplicaties en de beschikbaarheid van vliegtuigen. Uiteindelijk kan ook gekeken worden naar de impact van CBM op de huidige ontwerpcriteria voor vliegtuigen om deze lichter en efficiënter te maken.

CBM is alleen mogelijk als belanghebbenden samenwerken in deze data gedreven visie. Schaalgrootte is een belangrijke factor voor CBM. Hetzelfde type toestel wordt door meerdere luchtvaartmaatschappijen gebruikt. Zonder feitelijke data te hoeven delen, kan het door ReMAP-gebouwde ICT-raamwerk alle data volledig benutten om het voorspellend vermogen van de modellen te vergroten. Met gesloten oplossingen, waarin vliegtuigonderhouds-dienstverleners, luchtvaartmaatschappijen of fabrikanten hun kennis niet delen - geen data, maar kennis – zal de benodigde schaal voor een ​​betrouwbare CBM-oplossing voor de luchtvaart niet worden bereikt. Discussies hierover worden met belanghebbenden geïntensiveerd.

ReMAP is juni 2018 gestart en eindigt mei 2022. De resultaten worden gepresenteerd op 23 mei 2022 tijdens de **’ReMAP-Day’** bij de TU Delft. Deze workshop is openbaar en gratis voor alle belanghebbenden: <https://cbmacademy.eu/remap-day/> Dit jaar zal ReMAP een routekaart aan de Europese Commissie voorstellen hoe CBM in de praktijk kan worden geïmplementeerd. De ReMAP-resultaten en de discussie van deze workshop worden daarin meegenomen.  
  
In opvolging van ReMAP wordt de ‘**1st International Conference for CBM in Aerospace’** georganiseerd op 24 en 25 mei 2022 bij de TU Delft met support van alle ReMAP-partners: [www.cbmacademy.eu/](http://www.cbmacademy.eu/)   
  
Op het gebied van vliegtuigstructuren wordt vervolgonderzoek uitgevoerd door het in 2021 door de TU Delft opgerichte **'Centre of Excellence in AI for Structures'**: <https://www.tudelft.nl/2021/lr/nieuw-center-of-excellence-in-ai-for-structures>