



INNOVATIE IN OBJECT INSPECTIES

Inspectie Van Brienoordbrug met de Skydio2 en Asio boldrone van Flybotix

Datum:20-10-2021

Status: Definitief



Inhoud

Samenvatting.....	3
1.Inleiding	4
2.Toepassingsgebied van de Skydio2.....	5
3. Uitgangspunten.....	5
3.1 Overleg met de opdrachtgevers.....	5
3.2 Objecten	5
A Historische vuurtoren.....	5
B Zuidersluis Nieuwegein (Functionele Inspectie Toets , FIT)	7
4. Onderzijde van het Val van de van Brienoordbrug	10
4.1 Inleiding	10
4.2 Voorbereiding inspectie	10
4.3 Doel en detailniveau van de inspectie en in te zetten drone's	10
4.4 Object en technische informatie	10
4.5 Uitvoering	10
4.6. Resultaten	11
5. Analyse Inzetbaarheid drones	11
6. Algemene Resultaten	13
7. Beperkingen	13
8. Artificial Intelligence & Machine Learning.....	13
9. Conclusie en aanbevelingen.....	16

Bijlage A: Screenshot van papers over ervaringen met de Skydio2

Bijlage B: Opdrachtomschrijving

Bijlage C: Technische informatie Skydio2

Bijlage D: Data sheet Asio, Flybotix

Bijlage E: In Nederland uitgevoerde demo's met de Skydio2

Colofon

Uitgegeven door:	Rijkswaterstaat VWM	
Opdrachtgevers	Ariea Vermeulen Gerard Otter Aad van den Burg	Rijkswaterstaat VWM Rijkswaterstaat WNZ Rijkswaterstaat
Uitgevoerd door:	Esai Beugelsdijk Samir Bouabdallah	Aerinspect B.V. Flybotix
In samenwerking met:	André Becker Martin Brandenburg Artificial Intelligence	Skydio Skydio Aerinspect B.V. & H3Dynamics

Goedkeuring vrijgave:

Datum:20-10-2021

Status: Definitief

Samenvatting

De inspectie met twee nieuwe drones: de Skydio2 (USA) en de Asio boldrone van Flybotix (Zwitserland) heeft veel en duidelijk beeldmateriaal opgeleverd. Het is zeker mogelijk om een goede indruk te krijgen van de staat waarin het beweegbare deel (val) en de kabels in de basculekelder van de brug verkeren. Groot voordeel is verder dat er veel minder (scheepvaart-)verkeersmaatregelen en bereikbaarheidsmiddelen ingezet hoeven te worden. Hierdoor is de veiligheid voor de uitvoerenden veel beter geborgd dan bij een traditionele inspectie. De inzet van verkeersmaatregelen blijkt in de praktijk niet zonder risico's van het personeel te zijn. Groot voordeel is bovendien dat er veel minder hinder voor wegverkeer en scheepvaart is.

Net als bij een traditionele inspectie is het belangrijk het juiste gereedschap te selecteren waarmee de inspectie wordt uitgevoerd.

De Skydio2 is uitermate geschikt om snel moeilijk bereikbare plekken in kaart te brengen, onder objecten en in gebieden waar slecht gps-bereik is. Vanwege de eenvoudige bediening en het compacte formaat kan vrijwel iedere dronepiloot er snel mee uit de voeten. Ondanks het feit dat de Skydio2 objecten tot 40 cm kan benaderen, wordt geadviseerd een minimale afstand van 1 meter aan te houden om adequaat te kunnen reageren op veranderende turbulentie. Vooral bij dichte constructies, zoals de onderzijde van de Van Brienenoordbrug kan op korte afstand turbulentie optreden.

De Asio boldrone van Flybotix is door zijn design zeer geschikt om binnen in te zetten. De kooi beschermt de aandrijving en daardoor kan er zeer op of dicht of tegen de objecten worden gevlogen. De ledverlichting van 1000 lumen zorgt ervoor dat de Asio zeer goed is in te zetten in donkere ruimtes. In combinatie met de langere vliegtijd is deze drone een echte aanwinst om een eerste indruk van een moeilijk bereikbare plek te krijgen. Op basis van de dronebeelden kan daarna de noodzaak voor een gerichte inspectie bepaald worden. Nadeel van de Asio is dat deze door zijn design buiten moeilijker in te zetten is. De producent in Zwitserland gaat hier een oplossing voor bedenken.

Wanneer de beelden en data die door de drone ingewonnen zijn met elkaar gecombineerd worden, ontstaat een 3D-model met veel mogelijkheden. Met de inzet van AI kunnen de gegevens geautomatiseerd beoordeeld worden, waardoor in de toekomst metingen bespaard kunnen worden. De ontwikkelingen in de AI gaan hard, waardoor het algoritme steeds beter in staat is om schadebeelden op een juiste manier te herkennen. De toepassing van deze algoritmes biedt een consistente beoordeling en vastlegging van schades, dat leidt tot betere, objectievere en efficiënte besluitvorming. Voor de Van Brienenoordbrug is er echter nog onvoldoende data beschikbaar om dit soort beoordelingen te kunnen doen. Hiervoor moeten meer dronevluchten uitgevoerd worden. Er is nog wel ontwikkeling nodig om drone systemen robuust genoeg te maken om in het B&O proces in te zetten. De winst die behaald kan worden op het gebied van veiligheid, efficiëntie en dataverzameling zijn zo groot dat dit zeker de moeite waard is om verder te onderzoeken.

1 Inleiding

Naar aanleiding van een White paper van Skydio en een paper van een inspectiebureau in Japan (zie bijlage A) is er bij diverse opdrachtgevers behoefte aan een onafhankelijk onderzoek naar de mogelijkheden van de Skydio2 drone. Deze drone is ontwikkeld in Amerika. In plaats van de gebruikelijke GPS of LiDAR werkt de Skydio2 met een 3 D model dat gemaakt wordt met zes 180 graden camera's waarvan er drie bovenop en drie onder op de drone gemonteerd zijn. Met behulp van dit 3D model houdt de Skydio2 afstand van het te inspecteren object. In februari 2021 is deze drone gekeurd door EuroUSC en opgenomen in het handboek van Aerinspect. Vervolgens zijn de eerste officiële testvluchten gemaakt. Daarna is in juni 2021 op vliegbasis Woensdrecht een vliegtuig geïnspecteerd.

Het programma drones van Rijkswaterstaat heeft daarna het initiatief genomen om de Skydio2 in een aantal pilotprojecten te testen zodat de mogelijkheden van deze drone in de praktijk duidelijk worden. Aan Aerinspect uit Nootdorp (de potentiële vertegenwoordiger van Skydio voor Nederland en België) is gevraagd deze dronetesten uit te voeren. Voorafgaand aan de inzet van de Skydio2 is een algemene opdrachtomschrijving opgesteld (bijlage B) waarin een aantal verschillende inspecties (waaronder een gedeeltelijke bruginspectie) zijn beschreven. Vervolgens zijn verschillende opdrachtgevers benaderd met de vraag of er projecten zijn waar de Skydio2 ingezet kon worden om de functionaliteit te beoordelen.

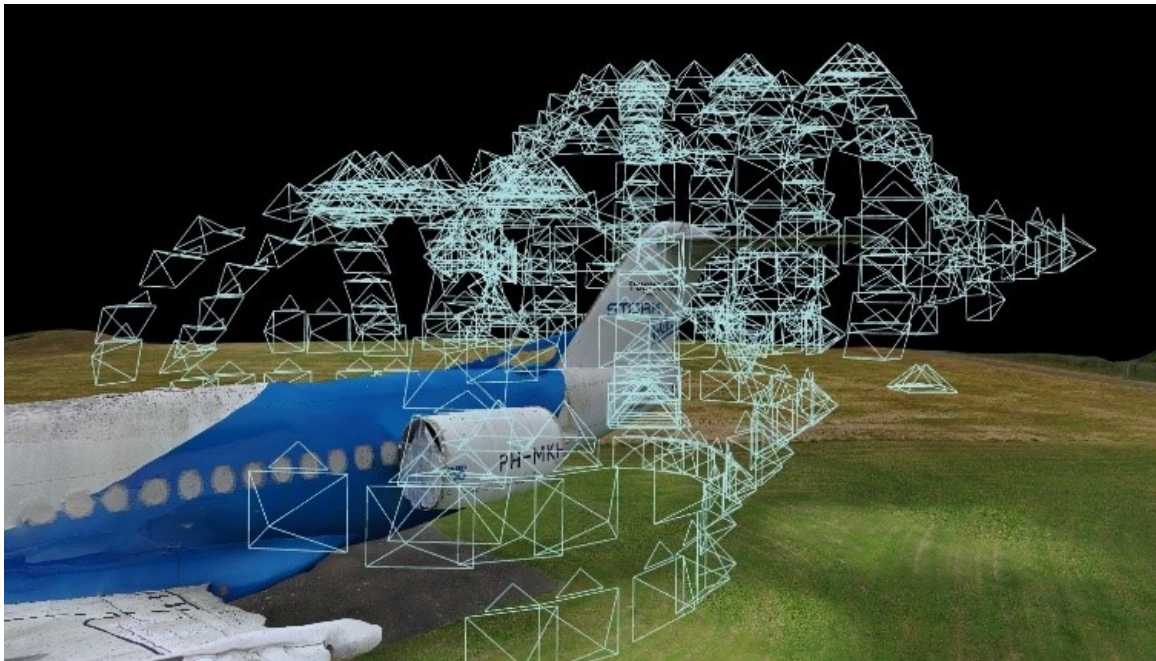


Foto Skydio2 vliegtuiginspectie op vliegbasis Woensdrecht

2.Toepassingsgebied van de Skydio2

Veel inspecteurs van beheers- en netwerkorganisaties moeten regelmatig controles doen van uitgevoerde werkzaamheden, de onderhoudsstaat van objecten of het bepalen van hoeveelheden of de omvang van schades aan objecten. Denk aan het inspecteren van zendmasten, wegportalen, cameramasten, schepen, spoorlijnen en opnemen van beelden na incidenten en ongevallen.

De betreffende inspecteur is al vanuit zijn functie op de controlelocatie aanwezig en moet snel een beeld kunnen maken. Met een drone die zelfstandig een scan van een object kan maken en ook op veilige afstand blijft is dit snel en veilig uitvoerbaar. Met name voor moeilijk bereikbare plaatsen is de inzet van een drone nuttig omdat er geen bereikbaarheidsmiddelen nodig zijn.

De meeste drones zijn complex in gebruik en moeten door een specialist bediend worden. Daarnaast zijn ze te kostbaar voor een snelle scan en is de nauwkeurigheid niet altijd noodzakelijk. Gezocht wordt naar een kleine drone die snel en veilig de beelden kan genereren en doorzenden. De Skydio 2 is voor dit doel ontwikkeld. De drone heeft drie 180 graden camera's aan de bovenzijde en drie aan de onderzijde. Hiermee wordt de positie bepaald en kan de drone afstand houden tot een object. Verder heeft de drone een gimbal camera 4k60 HDR die over drie assen kan bewegen. Het gewicht bedraagt 900 gram en de maximum snelheid 36 MPH. Daarnaast kan de drone bewegende objecten en personen volgen waarbij de drone obstakels (tenminste 2 cm doorsnede) kan waarnemen en ontwijken. De vliegtijd bedraagt 23 min en de maximale afstand vanaf het startpunt bedraagt 3,5 km. De overige technische informatie is opgenomen in bijlage C.

3.Uitgangspunten

In dit hoofdstuk worden de uitgangspunten van de verschillende pilotprojecten met drones beschreven. Hierbij is overleg gevoerd met opdrachtgevers, zijn objecten geselecteerd en zijn de eerste pilotprojecten uitgevoerd. Begonnen is met de inspectie van enkele eenvoudige objecten om ervaring op te doen. Later is het val en de basculekelder van de Van Brienoordbrug met de Asio boldrone geïnspecteerd.

3.1 Overleg met de opdrachtgevers

Voorafgaand aan de inspectie is met de verschillende opdrachtgevers besproken welke objecten in beeld gebracht zouden kunnen worden en met welke nauwkeurigheid. Daarbij zijn de locaties bekeken en zijn afspraken gemaakt over de uit te voeren werkzaamheden en veiligheidsvoorschriften.

3.2 Objecten

Om de toepassingsmogelijkheden van de Skydio2 te kunnen beoordelen zijn er een drietal objecten geïnspecteerd nl:

- A. Historische vuurtoren in Hoek van Holland
- B. Zuidersluis Nieuwegein (Functionele Inspectie en testen, FIT)
- C. Onderzijde van het Val van de Van Brienoordbrug

A Historische vuurtoren

De historische vuurtoren in Hoek van Holland is op 25 juni 2021 voor het eerst geïnspecteerd. Doel was om bij een klein object de mogelijkheden, het gebruiksgemak en beeldkwaliteit te beoordelen. Bij het starten van de drone vroeg het Skydio softwaresysteem om een update. Hierbij was geen keuze mogelijk om dit uit te stellen zodat de drone niet gestart kon worden. De test is daarna afgebroken en er is contact gezocht met Skydio in de USA. Er is met spoed een oplossing gerealiseerd (aanpassing in het bedieningsmenu bij een update) zodat op 30 juni 2021 een tweede inspectie uitgevoerd kon worden. Deze verliep voorspoedig. Eerst is manueel gevlogen met de drone waarbij door de

vakwerkconstructie van de vuurtoren kon worden gevlogen. Daarna is een digitale geo-fence rond de vuurtoren ingesteld (hoogte, en drie punten rond de vuurtoren). Vervolgens is een afstand ingesteld van 3 meter waarna de drone automatisch 1045 foto's van het object maakte. Omdat dit circa 35 min duurde ging de drone bij 20% van de batterijcapaciteit automatisch terug naar de startplaats. De data van de scan wordt automatisch opgeslagen, er werd een nieuwe batterij geplaatst en de drone werd weer gestart. Deze maakte de inspectie automatisch af vanaf het punt waar deze gebleven was, maakte de scan af en lande weer op startplaats.



Skydio2 op de start en landingsplaats.

Bij het landen kan de Skydio2 kan deze (door het activeren van een speciale instelling) ook met de hand uit de lucht genomen worden door de piloot. De drone komt dan naar de startplaats en blijft dan op een instelbare hoogte stationair in de lucht hangen. De drone geeft via lichtsignalen door in welke modus het zich bevindt. De lichtsignalen zijn duidelijk zichtbaar. Bij een groen licht kan de piloot de drone aan de onderzijde uit de lucht pakken waarna deze automatisch stopt.

Resultaat

Het gebruiksgemak van de Skydio2 is voor deze toepassing (vuurtoren) zeer goed. De software is gebruikersvriendelijk en het instellen van de drone gaat snel. Eenmaal ingesteld is een druk op de startknop voldoende om de inspectie van het object automatisch uit te laten voeren. De piloot kan zich concentreren op de drone en de omgeving en kan de drone overnemen en zo nodig op een vaste hoogte laten pauzeren als er een vogel of hond te dichtbij komt. Daarnaast is de drone opvallend stil (70 dB) in relatie tot andere drones van deze gewichtsklasse.

Met de verzamelde foto's van de vuurtoren is een 3D model gegenereerd. Dit model is te bekijken via:

[Vuurtoeren @aerinspect.com](mailto:Vuurtoeren@aerinspect.com)
[vuurtoren | 3D Scan Capture Report \(aerinspect.com\)](#)

Deze links zijn bereikbaar t/m 01 december 2021.

Optioneel kan de data automatisch worden geüpload naar elk willekeurig platform van de opdrachtgever via de Skydio servers (in de EU) zodra de drone connectie kan maken met een vooraf ingesteld bekend Wifi netwerk én tegelijkertijd op wordt geladen.

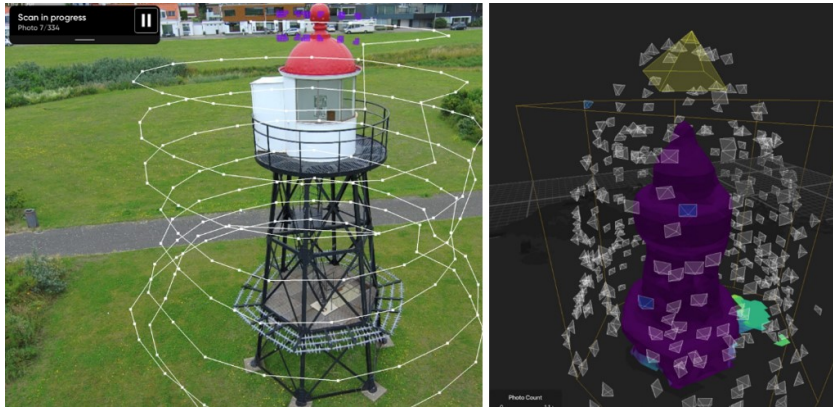


Foto inspectie Historische vuurtoren Hoek van Holland en 3D model*

*bovenstaand 3d model is gegenereerd door de Skydio2 drone en zichtbaar in de app. Op deze wijze kan de dronepiloot in het veld controleren of de verzamelde data volstaat om later een goed model te maken met de verzamelde foto's. Paars geeft aan dat er een goede dekking is.

B Zuidersluis Nieuwegein (Functionele Inspecties en Testen, FIT)

Het tweede object dat geïnspecteerd is met de Skydio2 betreft de Zuidersluis bij Nieuwegein. Rijkswaterstaat voert periodiek FIT activiteiten uit op de objecten. Deze inspecties en testen geven duidelijkheid over de betrouwbaarheid, beschikbaarheid en veiligheid van een object en zijn een aanvulling op de toestandsinspecties die door de opdrachtnemer binnen prestatiecontracten worden uitgevoerd. Door het periodiek inspecteren en testen van installaties van objecten kan onmerkbaar falen van dynamische onderdelen tijdig worden opgemerkt en krijgt Rijkswaterstaat gebreken en storingen beter en sneller in beeld.

Met de uitvoering van de functionele inspecties en testen kijkt men onder meer naar verschillende bedien- en besturingsfuncties, een aantal kritieke onderdelen, cybersecurity en veiligheidsaspecten.

Bij de uitvoering van FIT activiteiten is gebleken dat onderdelen van een object niet altijd gemakkelijk in beeld te brengen zijn. Vooral bij grote objecten zijn soms bereikbaarheidsmiddelen nodig zoals steigers, hoogwerkers en pontons om de controles uit te kunnen voeren. Onder water moeten vaak duikers ingezet worden.

Omdat de ontwikkeling van (onder water) drones de laatste jaren heel snel is gegaan heeft het FIT team van RWS/CIV aan het programma drones gevraagd een demo-inspectie met een vliegende drone uit te voeren. Vooraf is met de opdrachtgever afgestemd welk object en op welk moment deze demo uitgevoerd kon worden. Gekozen is voor de Zuidersluis in Nieuwegein omdat dit object in september gecontroleerd moest worden.

Op 7 september 2021 is de demo-inspectie uitgevoerd met de Skydio2 door Aerinspect uit Nootdorp. Een lichte drone die geschikt is voor dit soort inspecties. Hierbij waren Rudi Wolfs en Frank Kok van het FIT team aanwezig. Eerst is uitgelegd welke procedures bij het vliegen met een drone gevolgd moeten worden. Daarna zijn een aantal objecten met de drone in beeld gebracht zoals de hydraulische drukstangen waarmee de sluisdeuren geopend en gesloten worden, een scheepvaartlicht, de sluiscolk, etc.



Uitleg Skydio2



Opname zuigerstang



FIT team RWS/CIV & Pilot

Resultaat

De eerste indruk van het FIT team om een vliegende drone in te zetten voor dit soort inspecties was na de demo bij de Zuidersluis positief. Er zijn afspraken gemaakt om het gebruik van drones mogelijk te maken. In dit geval (FIT activiteiten) gaat het om vooraf planbare drone inspecties dus een marktpartij zal de drone activiteiten uit moeten voeren (zie kader) en de beelden beschikbaar stellen aan het FIT team.

Kader

Beleid inzet drones bij RWS

Rijkswaterstaat heeft een droneteam van ongeveer 24 (deeltijd) dronepiloten. Deze worden ingezet voor ad hoc dronetaken zoals incidentmanagement en crisismanagement. Andere planbare drone activiteiten zoals; bruginspecties, inventariseren van natuur, zwerfvuil etc. moeten door marktpartijen uitgevoerd worden. Hierover zijn met het bestuur RWS duidelijke afspraken gemaakt. De FIT inspecties vallen onder planbare drone-activiteiten. Nadere info over inzet van drones bij Rijkswaterstaat is verkrijgbaar bij droneloket@rws.nl

Onder water drones

Voor de inzet van onderwaterdrone 's loopt er een traject bij RWS/ON (Rob van der Heijden) om de mogelijkheden van verschillende merken en typen te beoordelen. Ook hiervoor gelden bovengenoemde afspraken over planbare en ad hoc inzet.

4. Inspectie onderzijde van het Val van de Van Brienoordbrug

Voorafgaand aan de inzet van de Skydio2 is contact gelegd met het team bruggen van Rijkswaterstaat WNZ (Gerard Otter). Vervolgens is er een algemene opdrachtomschrijving opgesteld waarin een aantal verschillende inspecties (waaronder een bruginspectie) zijn beschreven. Daarna zijn verschillende opdrachtgevers benaderd met de vraag of er projecten zijn waar de Skydio2 ingezet kon worden om de functionaliteit te beoordelen. Hierop heeft RWSWNZ het verzoek gedaan om de drone in te zetten bij de inspectie van de Van Brienoordbrug.

4.1 Doel en detailniveau van de inspectie en in te zetten drone's

De kwaliteit van het beweegbare deel van de Van Brienoordbrug (val) neemt door de verkeersbelasting van vrachtverkeer steeds verder af. Hierdoor is er meer inspectie nodig. Wekelijks wordt de constructie gecontroleerd door een inspecteur op de inspectiewagen die onder de brug aanwezig is op losgetrilde of afgebroken bouten waar het houten brugdek mee bevestigd is. Om te onderzoeken of de controle ook met een drone uitgevoerd kan worden heeft de beheerder toestemming gegeven om een inspectie test met de Skydio2 uit te voeren.

4.2 Objectverkenning en technische informatie

Op 31 augustus 2021 is een verkennend werkbezoek uitgevoerd, hierbij waren vertegenwoordigers van het RWS-district, RWS PPO en de onderhoudsaannemer aanwezig. Tijdens dit bezoek is de vraagstelling duidelijk gemaakt en de inspectielocatie (onderzijde van de brug) is bekeken. Ook is uitgelegd wat er met de drone in beeld kan worden gebracht en hoe de data opgeslagen en bewerkt kan worden.

De volgende punten zijn belangrijk bij deze inspectie:

- Veiligheid van de vliegoperatie (vergunningen etc. op orde en PBM's);
- In beeld brengen van de boutkoppen, losgetrilde moeren of afgebroken bouten;
- In beeld brengen boutgaten waar de bout niet meer in aanwezig is;
- Reproduceerbaarheid en automatische beoordeling van de foto's middels AI.



Uitleg problematiek brugdek



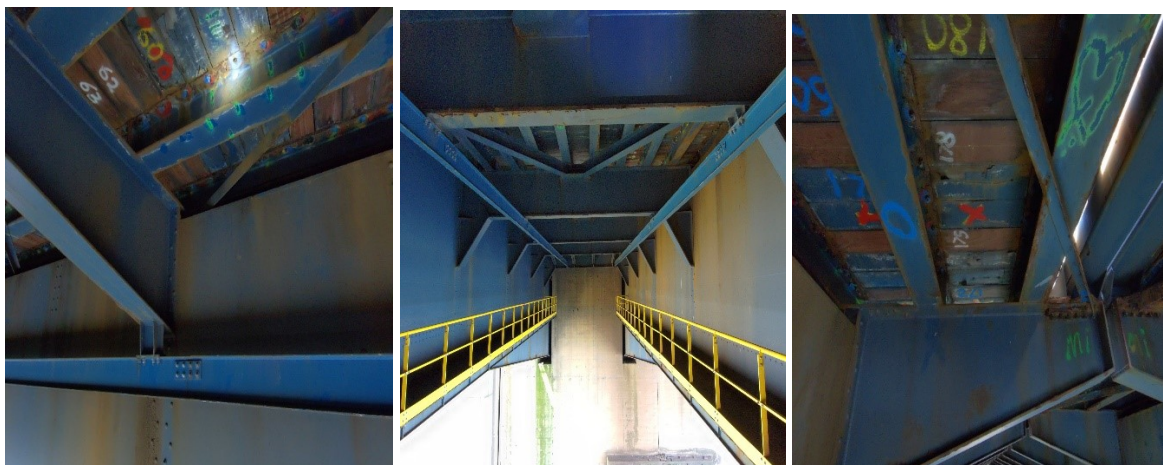
Foto bout en afgebroken steel met ring, moer en volgmoer

4.4 Uitvoering

De eerste dronetest met de Skydio2 is op 7 september 2021 uitgevoerd. Bij deze test is met opzet direct heel dicht bij de constructie (afstand 28 cm) gevlogen. Dit ging in aanvang goed maar de turbulentie die opgewekt werd was te veel voor de Skydio2 om de aanzuigende werking richting de ligger en het dek automatisch te corrigeren. Daardoor raakte de drone in onbalans en vloog tegen de zijkant van de ligger en viel op de onderliggende inspectiebrug. Hij kon daar opgepakt worden en gerepareerd worden.

Na vervanging van de propellers is de inspectie vervolgd op een afstand van 87 cm. Op deze afstand van de brugonderdelen heeft de drone geen last ondervonden van turbulentie en in het vervolg van de

inspectie is het gedrag (turbulentie) niet meer geconstateerd. Dit voorbeeld toont aan dat de Skydio2 is ontworpen dóór inspecteurs in het veld vóór inspecteurs in het veld. De drone kan tegen een flinke stoot vanwege zijn stevige behuizing die grotendeels van aluminium gemaakt is.



De onderzijde van de brug bestaat uit houten delen die op de staalconstructie bevestigd zijn.

Om de onderzijde van het brugdek goed in beeld te kunnen brengen was wel extra licht nodig. De Skydio2 heeft geen lichtbron aan boord dus is er handmatig met een felle zaklamp vanaf de inspectiebrug bijgelicht. Hierdoor konden er goed bruikbare beelden met de drone gemaakt worden.

Op deze manier is de rechterijstrook van het val op de hoofdrijbaan in beide richtingen aan de onderzijde geïnspecteerd. Ook is het deel waar geen inspectie vanaf de inspectiewagen mogelijk is laatste 20 m, vanwege een schuin constructieonderdeel) met de drone geïnspecteerd. Dit bleek goed mogelijk.

4.5. Resultaten

De beelden zijn direct na de opname op de laptop in een overlegruimte bij de ingang van de brug bekeken. Hieruit bleek dat een deel van de opnames goed bruikbaar is. Echter de boutverbindingen aan de zijkanten van het brugdeel zijn niet goed zichtbaar. Dit komt omdat de drone dan op een afstand van 30 cm van de ligger af moet vliegen en dat is met de Skydio2 niet mogelijk (zoals eerder beschreven).

In overleg met de opdrachtgever is voorgesteld om hier een ander type drone (de Asio boldrone van Flybotix) in te zetten. Dit type drone is nog niet vrij in Nederland verkrijgbaar. Er is contact gelegd met de fabrikant uit Zwitserland en deze is begin oktober 2021 naar Nederland gekomen en heeft een demo-inspectie van het val van de Van Brienoordbrug uitgevoerd.

5. Inzet Flybotix drone

Vooruitlopend op de inspectietesten met de Asio boldrone van Flybotix is bij ILT een tijdelijke ontheffing aangevraagd voor het SBVL. Daarnaast is een aparte verzekering voor de drone afgesloten.

Op 5 oktober 2021 zijn de inspectietesten uitgevoerd. Vooraf is door de vertegenwoordigers van Flybotix (die naar Nederland gekomen waren) een korte toelichting op de mogelijkheden van de drone gegeven en was er ruimte voor het stellen van vragen. De technische specificaties zijn opgenomen in bijlage B. De Asio is een indoor drone, kan 24 min vliegen, heeft een lichtbron van 1000 lumen. De beeldkwaliteit voor foto's is 12 MP, voor video is het 4 K. De data wordt vastgelegd op een SD-kaart en het systeem heeft een IR camera. Nadere info is opgenomen in bijlage D.

Andere typen boldrones vliegen circa 8 min, zijn groter en maken veel geluid.

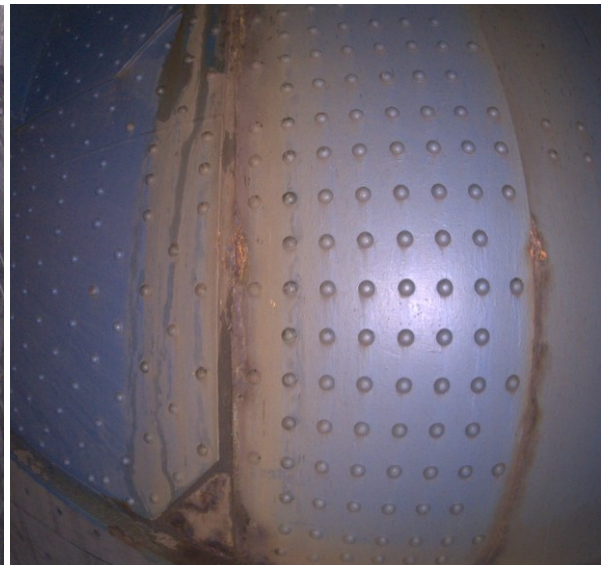
Testvlucht 1: vliegen onder het val (buiten)

Door harde wind en regen bleek dat deze testen niet verantwoord uitgevoerd konden worden. Er stond een sterke windstroming onder de brug. De drone had wel kunnen vliegen maar de power van de drone was volgens de piloot niet voldoende om tegen de wind in terug te vliegen. Om veiligheidsredenen is deze test niet uitgevoerd.



Testvlucht 2: vliegen in de basculekelder

De inspectievluchten in de basculekelder (de omgeving waar de drone voor ontwikkeld is) verliepen succesvol. Het blijkt mogelijk om scherpe beelden van constructieonderdelen te maken op plaatsen die anders alleen met grote steigers bereikbaar zijn. Ook met de IR camera kunnen beelden van constructies gemaakt worden waarbij moeilijk zichtbare scheuren in beeld gebracht kunnen worden. Op verzoek van de opdrachtgever zijn ook de kabelbundels van de brug geïnspecteerd met de bevestigingsbeugels. Hiervoor is later nog een tweede vlucht uitgevoerd met een lagere lichtintensiteit zodat er minder reflectie ontstond. De beelden waren daarna goed zichtbaar en bruikbaar voor de assetmanager. Tijdens de testen heeft de Asio 20 min gevlogen met 100 % verlichting en er was nog 20 % acculading over.



Kabels met bevestigingsbeugels in de bascule kelder Verbinding staalconstructie met klinknagels



Asio opname zonder verlichting



Asio opname met verlichting

6. Algemene Resultaten

Skydio2

Uit de testvluchten met de Skydio2 bij inspecties zoals bij de vuurtoren in Hoek van Holland, de Sluis in Nieuwegein en de controle van de bevestiging van het val van de Van Brienoordbrug is gebleken dat deze drone hier goed inzetbaar is. Hij is makkelijk te bedienen is robuust en levert goede beelden op voor niet te complexe inspecties.

Asio, Flybotix

De Asio boldrone is ontwikkeld als een indoor drone. Hierdoor is hij alleen bij mooi windstil weer inzetbaar voor buiteninspecties. Om die reden is de inspectie van het val van de Van Brienoordbrug niet gelukt omdat er te veel wind stond.

De inspectie van de basculekelder is wel heel goed gelukt. De beelden waren helder, de vliegtijd werd gehaald (met volledige verlichting), en de assetmanagers waren zeer tevreden over de beelden.

Een bijkomend voordeel van de Asio is dat deze drone ook beschikt over een infraroodcamera. Tijdens de hele vlucht worden er naast de opgenomen 4k video's ook infrarood beelden opgeslagen. Op deze wijze kan een gebied waarop zichtbaar iets te zien is ook worden vergeleken met infrarood beelden.

7. Beperkingen

Skydio2: De drone kan goed op een vaste afstand van het object vliegen als de lucht in de constructie voldoende weg kan. Op plaatsen waar de lucht die de drone opwekt door het vliegen niet weg kan (zoals bij een gesloten ligger en dicht bij het brugdek) zal de drone bij het vliegen op korte afstand (30 cm) instabiel en onbestuurbaar worden. Op een afstand van 100 cm treedt dit effect niet op.

Asio, Flybotix: De Asio zoals nu getest bleek nog niet geschikt om met wind onder de brug te vliegen. Met name het tegen de wind terugkomen was niet mogelijk. De fabrikant gaat kijken of hier een oplossing voor bedacht kan worden. Dit kan in de richting gaan van meer power van de motor of een horizontaal kabelsysteem zoals dit voor drones van defensie door Delft Dynamics is ontwikkeld.

8. Artificial Intelligence & Machine Learning

De drone levert zeer veel beeldmateriaal op. Wanneer dit beeld voor beeld door een mens beoordeeld moet worden kost dat veel tijd. Daarom is deze inspectiemethode bij uitstek geschikt voor de inzet van AI voor het herkennen van schades. Via app.aerinspect.com is een AI-algoritme beschikbaar om foto's te analyseren. Dit algoritme is ontwikkeld door Aerinspect B.V & H3Dynamics en is speciaal getraind op het herkennen van een aantal veelvoorkomende schades op verschillende materialen. Dit zijn o.a. corrosie op staal en scheuren in beton. Dit algoritme kunnen wij ook trainen om de volgende vraag te

beantwoorden: kan AI & machine learning uit beelden relevante data leveren mbo bouten en moeren zoals:

- Verdwenen moeren
- Verdwenen bouten
- Afgebroken bouten met moer

Het ontwikkelen van een AI-algoritme is vaak een lang ontwikkeltraject met vele onderliggende stappen.

Om de haalbaarheid van het AI-algoritme aan te tonen wordt eerst gewerkt binnen een specifieke, gecontroleerde omgeving met weinig variëteit. Hierin verwachten we dat het algoritme met hoge zekerheid visuele herkenningen kan doen. Binnen de context van bruginspecties is dat het herkennen van 1 of een aantal schadebeelden op 1 specifieke brug (of zelfs alleen een deel van de brug, zoals de betonnen zijkant). De AI begrijpt dan deze hele specifieke casus goed (en andere situaties daarbuiten nog niet) en kan hier schadebeelden herkennen.

Binnen een echte inspectie moeten meerdere schadebeelden worden herkend op verschillende type bruggen. De AI-algoritmen dienen bijvoorbeeld op zowel blauwe, groene, witte en grijze stalen bruggen roest herkennen. De condities aan de onderkant van het wegdek brengen ook hun eigen uitdagingen met zich mee. Turbulentie en lichtomstandigheden kunnen het verzamelen van geschikte data voor analyse flink in de weg zitten.

Onderstaande foto's tonen de resultaten van de van Brienenoordbrug met ons huidige algoritme. Hetzelfde algoritme is ook gebruikt om diverse andere objecten te analyseren.

10



Defect Type: Paint Peeling

Severity: Safe

Facade Type: Others

Height: 27.0 meters


Created By: Artificial_Intelligence

Save Edit

Delete

Photo No: 1

12



Defect Type: Rust

Severity: Require Repair

Facade Type: Attachments

Height: 27.0 meters

Created By: Artificial_Intelligence

Save Edit

Delete

Photo No: 2

Comment:

Rusting in the steel members.

Resolution:

Thoroughly clean the surface free from loose painting / rust and apply suitable corrosion protection coating.

In bovenstaande voorbeelden is duidelijk zichtbaar dat de software al corrosie en afbladderen van verf op hout heeft herkend. Elke 'herkenning' wordt door onze AI apart vermeld in onze rapportages. In bovenstaande voorbeelden (detectie 10 & 12) bijvoorbeeld wordt nu een advies uitgebracht over alleen dat stukje wat is gemarkeerd op de foto. Detectie 13 zou een ander advies zijn met gekoppeld aan een andere markering op dezelfde foto. Er is nog ruimte voor verbetering in de resultaten. Het algoritme wordt momenteel nog verder ontwikkeld en beter getraind en zal hierdoor steeds betere resultaten leveren.

Op dit moment heeft het algoritme een recall van 55% bij een precisie van 60%. Met andere woorden, circa 55% van de schadebeelden worden herkend en van elke 10 herkende schadebeelden zijn er 6 schadebeelden true positive en 4 false positive. Het model kan gevoeliger worden ingesteld, dan worden minder vals positieven herkend, maar ook minder vals positieven.

Zoals te zien is er al enige progressie geboekt waardoor de AI-algoritmen goed toepasbaar zijn op allerlei verschillende bruggen en materialen. Met meer specifieke data van bruggen verwachten we dat in de toekomst 70% tot 95% van de schadebeelden herkend kan worden herkend met weinig false positives (minder 10-30%). De kwaliteit van de data is bepalend voor de nauwkeurigheid van de algoritmen. Hierbij moet gedacht worden aan de scherpte (focus), licht, aantal pixels van de foto en de kwaliteit van de gebruikte camera.

* Complete rapportages zijn op aanvraag beschikbaar bij Aerinspect.

9. Conclusie en aanbevelingen

De inspecties met de Skydio2 en Asio drones hebben redelijk beeldmateriaal opgeleverd. Met beide drones is het mogelijk om een eerste indruk te krijgen van de kwaliteit van de onderzijde van de brug/wegdek zonder de gebruikelijke problemen (gps loss, compas errors) die vaak voorkomen bij de meest gebruikte drones op dit moment. Er is nog wel ontwikkeling nodig om deze systemen robuust genoeg te maken om in het B&O proces in te zetten. De winst die behaald kan worden op het gebied van veiligheid, efficiëntie en dataverzameling zijn zo groot dat dit zeker de moeite waard is om verder te onderzoeken.

Ook op het gebied van AI is er nog veel te winnen. Voor een goede AI-beoordeling is meer data van eenzelfde object nodig om samen met specialisten een betrouwbaar algoritme te ontwikkelen. Met de inzet van IR (warmtebeeld camera) kunnen gebreken vroegtijdig opgespoord worden. Door in kleine stappen inspecties uit te voeren kan bekeken worden waar deze techniek optimaal toepasbaar is.

Omdat een groot aantal kunstwerken bij Rijkswaterstaat groot onderhoud vraagt (V & R opgave) de komende 10 jaar is nader onderzoek ook rendabel gebleken. In het nieuwe inspectiecontract van GPO worden al richtlijnen opgenomen om de inzet van drones bij inspecties mogelijk te maken.

The image shows two white paper covers for Skydio. The left cover features the Skydio logo and the Japan Infra Waymark logo. The text on the left cover reads: "CUSTOMER SUCCESS STORY: Japan Infrastructure Waymark grows inspection business 70x in 12 months by switching from DJI to Skydio for bridge inspection". Below the text is a photograph of a drone inspecting a bridge. At the bottom of the left cover, three statistics are listed: "75% cost savings", "92% reduction in pilot training hours", and "70X growth in bridges inspected per year". The right cover features the Skydio logo and the text "White Paper" in the top right corner. The main title is "AI for Inspection: Precise and cost-effective aerial capture using autonomous drones". Below the title, it says "By Guillaume Delepine, Senior Product Marketing Manager". The right cover also features a photograph of a drone flying over a field of wind turbines. At the bottom of the right cover, it says "Inspection White Paper".

* Complete papers zijn beschikbaar bij Aerinspect.

<p>Aan: Ariae Vermeulen (RWS), Rob Gerritsen (ProRail), Robin Kouwenhoven (ILT)</p> <p>Van: Aad van den Burg,(BC) Esai Beugelsdijk, (Aerinspect)</p> <p>Onderwerp: concept opdrachtomschrijving "onderzoek naar de gebruiksmogelijkheden van de Skydio2 drone voor inspecties en het in beeld brengen van objecten en incidenten.</p> <p>Datum: 2 juli 2021</p>	
<p>Inleiding en achtergrond</p>	<p>Naar aanleiding van een White paper van Skydio2 en een paper van een belangrijk inspectiebureau in Japan (zie bijlage 1) is er bij diverse opdrachtgevers behoefte aan een onafhankelijk onderzoek naar de mogelijkheden van de Skydio2 drone. Deze drone is ontwikkeld in Amerika. In plaats van de gebruikelijke GPS of LiDAR werkt de Skydio2 met een 3 D model dat gemaakt wordt met drie 180 graden camera's die boven op de drone gemonteerd zijn. Met behulp van dit 3D model houdt de Skydio2 afstand van het te inspecteren object. In februari 2021 heeft deze drone een SBVL gekregen na keuring door Eurosc en zijn de eerste testvluchten gemaakt. Daarna is in juni 2021 op vliegbasis Woensdrecht een vliegtuig geïnspecteerd en op 1 juli 2021 is 3D scan van een vuurtoren in Hoek van Holland gemaakt. De resultaten waren zo positief dat besloten is tot het uitvoeren van een groter onderzoek met verschillende stakeholders.</p>
<p>Probleembeschrijving</p>	<p>Veel inspecteurs van beheers- en netwerkorganisaties moeten regelmatig controles doen van uitgevoerde werkzaamheden, de onderhoudsstaat van objecten of het bepalen van hoeveelheden of de omvang van schades aan objecten. Denk aan het inspecteren van zendmasten, wegportalen, cameramasten, schepen, spoorlijnen en opnemen van beelden na incidenten en ongevallen.</p> <p>De betreffende inspecteur is vanuit zijn functie op de controlelocatie aanwezig en moet snel een beeld kunnen maken. Met een drone die zelfstandig een scan van een object kan maken en ook op veilige afstand blijft is dit snel en veilig uitvoerbaar.</p> <p>De meeste drones zijn complex in gebruik en moeten door een specialist bediend worden. Daarnaast zijn ze te kostbaar voor een snelle scan en is de nauwkeurigheid niet altijd noodzakelijk. Gezocht wordt naar een kleine drone die snel en veilig de beelden kan genereren en doorzenden.</p>
<p>Opdrachtbeschrijving, inclusief omschrijving van het te bereiken resultaat</p>	<p>In het onderzoek worden de mogelijkheden van de Skydio2 in combinatie met de software (die compatibel is met gebruikelijke ICT systemen) getest door inspecteurs die dit soort werkzaamheden uitvoeren. Het resultaat van de opdracht is:</p> <p>Fase 1 Verkenning van de in te zetten drone (deels al gebeurt) en software en opstellen van een plan van aanpak voor verschillende cases. Bepalen van de onderzoeksdoelen en resolutie van de beelden.</p> <p>Fase 2 Uitvoeren van de verschillende cases zoals inspecteren brug, zendmast, bovenleiding, en situatie na een ongeval op de weg of op het spoor.</p> <p>Fase 3 Rapporteren van de resultaten in een rapport dat na goedkeuring door de stakeholders vrij gepubliceerd mag worden.</p>
<p>Afbakening</p>	<p>Het project beperkt zich tot de opdrachtomschrijving.</p>
<p>Waarom wordt deze opdracht uitgevoerd?</p>	<p>Er zijn een groot aantal merken en typen drones op de markt met hun eigen toepassingsgebied. De Skydio2 is een kleine drone met een revolutionaire techniek die niet complex is. De drone is bedoeld als tool voor inspecteurs die een relatief klein object snel willen inspecteren. De software van Skydio2 en het dataplatform van Aerinspect ondersteunen de inspecteur daarbij.</p> <p>Het onderzoek wordt uitgevoerd om de mogelijkheden van deze drone voor Rijkswaterstaat, ProRail, ILT en andere beheerders in beeld te brengen.</p>
<p>Gevraagde capaciteit gedurende de looptijd</p>	<p>De inzet van de betrokken partijen zal beperkt zijn. Bedoeling is om in korte tijd op locaties die dicht bij elkaar liggen de inspecties uit te voeren. Bij voorkeur door de inspecteurs zelf onder begeleiding van Aerinspect.</p>
<p>Evt. overige betrokkenen en hun rol</p>	<p>Betrokkenen:</p> <p>Rijkswaterstaat (Ariae Vermeulen): selectie van te inspecteren objecten, stellen van de randvoorwaarden en toetsing van de rapportage.</p> <p>ProRail (Rob Gerritsen) selectie van te inspecteren objecten, stellen van de randvoorwaarden en toetsing van de rapportage.</p> <p>Aerosening team ILT (Robin Kouwenhoven): selectie van te inspecteren objecten, stellen van de randvoorwaarden en toetsing van de rapportage.</p> <p>Aerinspect (Esai Beugelsdijk); beschikbaar stellen van drone met software, uitvoeren van de dronenvluchten met inspecteurs en rapportage van het onderzoek.</p> <p>BC (Aad van den Burg): coördinatie en projectleiding</p>
<p>Tijd</p>	<p>Looptijd van het project: 1 juli 2021 – 1 augustus 2021 (uitvoering afhankelijk van beschikbare apparatuur, weersomstandigheden en samenkomstmogelijkheden COVID-19 regime)</p>

Kosten (geld)	Totaal bedrag van € XXXX voor project begeleiding en rapportage.
Afspraken over de communicatie met de opdrachtgever	De communicatie momenten worden door de opdrachtgever aangegeven.
Overige belangrijke aspecten	Zowel nationaal als internationaal is er behoefte aan sensoren die (bevestigd aan een drone) nauwkeurig metingen van technische gassen en chemische stoffen kunnen meten. Dit project geeft daar invulling aan.



PH-8LY
Skydio 2

Technical file



Specificaties Skydio2

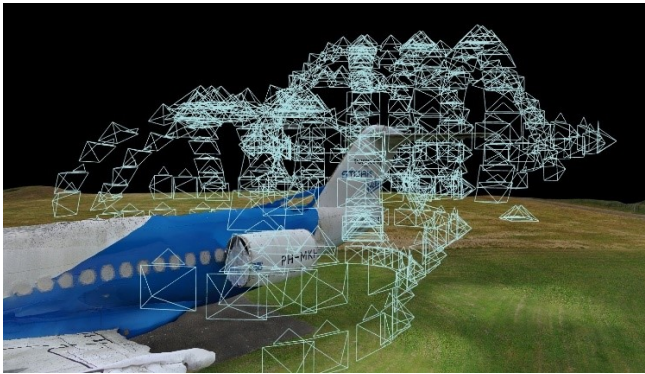
CAMERA 4k60 HDR*
AUTONOMOUS SPEED 36 MPH
BATTERY 23 min
SOUND 50% quieter
GIMBAL 3 axis
RANGE (UP TO) 3.5 km

*Omdat de drone op een vaste afstand dicht bij het object kan vliegen is een hoge resolutie van de beelden haalbaar.



Flight time	up to 24 minutes
Weight	1kg (2.2 lbs)
Dimensions	Ø395mm, H295mm (Ø15.6in, H11.6in)
Max transmission distance	outdoor: up to 16km (direct line of sight) indoor: tested from basement to 2nd floor
LED lighting	max 10K lumen, dimmable and adjustable
Noise level	80dB @ 1m 70dB @ 5m
RGB Camera	true 4K @ 30 fps
IR Camera	160x120px @ 9fps
Still pictures	12 MP
Pictures resolution	0.2mm/px @ 30cm
Gimbal system	±90° (damped)
Advanced algorithms	Autopilot, Wall-lock, Wall-scan, Obstacle repulsion, Safety slowdown, Rewind, Self-righting, Auto- landing
Operating temperature range	0°C to 30°C (32°F to 86°F)

Bijlage E: In Nederland uitgevoerde demo's met de Skydio2



Scan van de staart van een vliegtuig op Vliegbasis Woensdrecht.



Detailopname vliegtuigstaart



Scan van een historische vuurtoren in Hoek van Holland



Detailopname klimbeveiliging



Detailopname Hoogspanningsmasten.