

MOŻLIWOŚCI STOSOWANIA DRONÓW DO INSPEKCJI MOSTÓW¹

Damian KALETA*, Dominik MACHETA*,
Ewelina REIZER, Mateusz RAJCHEL**

* Promost Consulting Rzeszów, ** Politechnika Rzeszowska

W artykule przedstawiono możliwości użycia dronów (obiektów bezzałogowych) w budownictwie komunikacyjnym, ze szczególnym ich wykorzystaniem do inspekcji obiektów mostowych. Ponadto w artykule zamieszczono informacje na temat: systemów bezzałogowych, zakresu wykorzystania dronów w przeglądach mostów jak również opis projektu „EyeBridge” którego jednym z realizatorów jest firma Promost Consulting.

Słowa kluczowe: dron, SBZ, inspekcja mostów.

1. WPROWADZENIE

Systemy bezzałogowe (w skrócie: SBZ, UAV, UAS), czyli popularne „drony” znajdują coraz szersze zastosowanie w różnych dziedzinach gospodarki [1]. Rozwijająca się w bardzo szybkim tempie technologia powoduje, że drony są wykorzystywane do coraz bardziej złożonych zadań. Nic więc dziwnego, że znalazły także swoje zastosowanie w budownictwie do takich usług jak:

- wykonywanie ortofotomap,
- pozyskiwanie danych geoinformacyjnych (terenowych),
- monitorowanie postępu prac na budowie,
- pozyskiwanie modeli 3D obiektów kubaturowych,
- skanowanie termowizyjne,
- cele marketingowe (prezentacje z lotu ptaka).

Większość wymienionych usług dotyczy budownictwa kubaturowego i przemysłowego. Zastosowanie dronów w inżynierii lądowej może być przydatne na różnych etapach procesu inwestycyjnego. W dużym uproszczeniu sprowadza się do dwóch elementów:

- pozyskanie fotografii terenu,
- pozyskanie chmury punktów.

¹ DOI 10.21008/j.1897-4007.2017.24.10

Jedno i drugie jest ściśle związane. Odpowiednio wyposażony obiekt latający, wykonując zdjęcia terenu daje możliwość uzyskania tzw. chmury punktów [3]. Pozwala to na stworzenie trójwymiarowego modelu terenu wraz z naniesionymi teksturami na poszczególne punkty, co znacznie ułatwia pracę zarówno w fazie projektowej, jak i na etapie budowy [4]. W przypadku potrzeby zeskanowania obiektu budowlanego, np. obiektu mostowego, o stosunkowo niewielkiej długości, natomiast o dużej szczegółowości niezbędnych do pozyskania informacji, stosuje się drony wielowirnikowe. Wielowirnikowce (rys. 1) to drony zbliżone konstrukcyjnie do helikopterów, o kilku śmigłach. Mają one ograniczony zasięg i prędkość, ale za to dużą zwrotność i możliwość dotarcia w trudno dostępne miejsca.



Rys. 1. Platforma bezzałogowa „GRYF” – FlyTech UAV

Wielowirnikowce również pozwalają na zmianę wyposażenia drona, co jest raczej rzadko spotykane w częściej stosowanych płatowcach, co umożliwia zmianę np. cyfrowego aparatu fotograficznego na kamerę na podczerwień, czy skaner laserowy.

Obecnie drony wykorzystywane są jako narzędzie sterowane przez człowieka i dostarczające przede wszystkim zdjęć/filmów obiektu mostowego. Tymczasem w USA drony zaczynają być stosowane jako pomoc przy inspekcji obiektów mostowych (rys. 2) [2].



Rys. 2. Dron podczas przeglądu obiektu mostowego [2]

2. DRONY W PRZEGLĄDACH MOSTÓW

W Polsce trudno znaleźć przykłady zastosowania dronów do przeglądów obiektów mostowych. Częściej są one stosowane do nagrywania reportaży z budów lub już po wybudowaniu obiektów, w celach marketingowych. Próby zastosowania BSP do przeglądów można znaleźć za granicą, np. w USA, Japoni, Holandii czy w Niemczech. W amerykańskim opracowaniu „Unmanned Aerial Vehicle Bridge Inspection. Demonstration Project. Final Report. [1]” znajduje się szereg danych na temat zastosowania UAV do inspekcji mostów. W opracowaniu skupiono się zarówno na problemach związanych z przepisami o stosowaniu UAS jak i sprawdzono praktyczne możliwości zastosowania dronów. Dokument przedstawia następujące konkluzje:

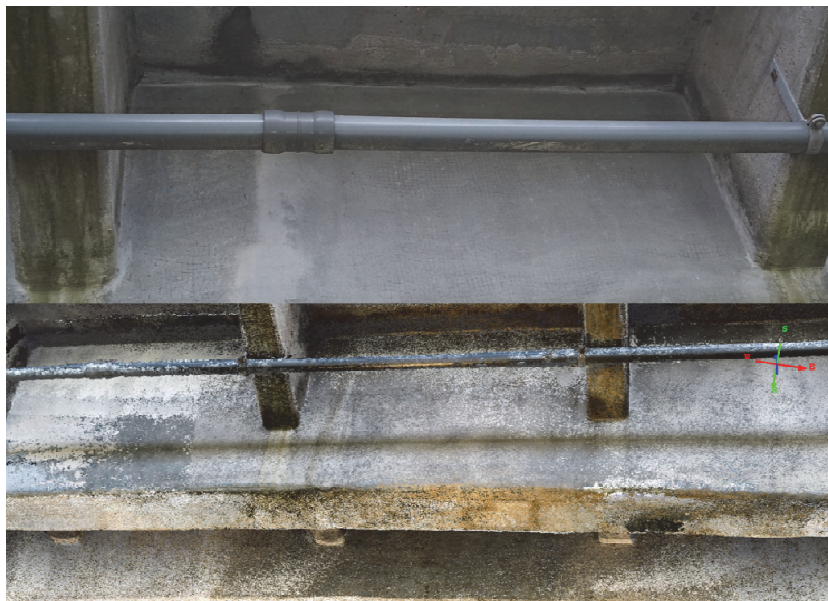
- BSP mogą być z powodzeniem używane do przeglądów;
- Ze względu na rozmiar, wagę oraz zabezpieczenia ryzyko uszkodzenia obiektu jest bardzo małe;
- Drony znacznie lepiej nadają się do obiektów dużych o prostej konstrukcji.
- BSP samodzielnie nie mogą przeprowadzać inspekcji ale są doskonałym narzędziem pomocniczym;
- Wielkości pomiarowe da się oszacować ze zdjęć i nagrań ale w niektórych przypadkach nie da się ominąć „pomiarów ręcznych” wykonywanych przez inspektora;
- Aktualne uwarunkowania prawne w USA są uciążliwe i powodują wydłużanie procesu adaptacji BSP do przeglądów;
- Bardzo ważną cechą BSP wykorzystywanych do przeglądów jest możliwość obrazowania przestrzeni nad statkiem latającym oraz możliwość latania bez zasięgu GPS, którego sygnał może zanikać pod obiektem;
- Technologia ta rozwija się bardzo szybko i w przeciągu najbliższych lat powinna się znacznie udoskonalić;
- W wielu przypadkach drony umożliwiają wykonanie przeglądu pod obiektami pozwalając na znaczne oszczędności zarówno czasu jak i kosztów związanych ze sprzętem wspinaczkowym lub alpinistycznym;
- BSP mogą dostarczyć w sposób efektywny ekonomicznie, informacji których nie dostaje się podczas standardowych przeglądów;
- Zamontowanie kamer na podczerwień i skanerów pozwala uzyskać dane o uszkodzeniach konstrukcji;
- BSP nadają się doskonale do kontroli warunków przepływu rzeki, stanu skarp, oraz do pozyskania map wielkoskalowych;
- BSP pozwalają na wstępną inspekcję i wytypowanie elementów, którym należy się dokładniej przyjrzeć;
- Użycie BSP zmniejsza ryzyko wypadków związanych z kontrolą ruchu podczas przeglądów jak i obsługą sprzętu;

W opracowaniu [1] użyto drona *Aeryon SkyRanger*. Jest to statek stosunkowo drogi, jednakże w przypadku użycia dronów do przeglądów należy mieć na uwadze nie tylko koszt bezzałogowca. Droższy sprzęt potrafi latać trzykrotnie dłużej niż sprzęt niższej kategorii (około 60 min.). Dodatkowo w tańszych często brakuje oprogramowania pozwalającego na pozyskiwanie danych oraz zabezpieczeń (tzw. Fail Safe Models), które zabezpieczają przed sytuacjami niekontrolowanymi. Mają też zazwyczaj słabszą jakość wykonania i materiałów co też wpływa na jakość obsługi.



Rys. 3. Przykładowe zdjęcie wykonane kamerą na podczerwień [1]

W opracowaniu przeprowadzono inspekcje czterech obiektów mostowych po uzyskaniu niezbędnych zezwoleń. W kilku przypadkach okazało się że sprzęt nie spełniał warunków do przeprowadzenia pełnego przeglądu. Ze względu na typ obiektów (most łukowy z jazdą górą) przelot pod pomostem był niemożliwy. Dodatkowo FAA, czyli organ wydający zezwolenia do użycia UAV zabronił lotów poniżej poziomu barier. Na 40 przeglądanych i ocenianych elementów, 30 zostało ocenione jako możliwe do przeglądnięcia za pomocą drona. W Holandii użyto bezzałogowca w celu uzupełnienia przeglądu. W miejscach gdzie konstrukcja mostu była poza zasięgiem inspektora, wykorzystano BSP z aparatem o matrycy 36MPix w celu stworzenia chmury punktów, która dała możliwość określenia stanu dźwigarów.



Rys. 4. Przegląd mostu w Holandii (u góry zdjęcie wykonane dronem, u dołu chmura punktów)

3. PROJEKT „EyeBridge”

Firmy Promost Consulting z Rzeszowa oraz FlyTech UAV z Krakowa, podjęły się próby stworzenia wielozadaniowego drona, przystosowanego do wykonywania przeglądów obiektów mostowych w ramach projektu naukowo – badawczego pod nazwą: „*EyeBridge – Bezzałogowy system latający przeznaczony do autonomicznego wykonywania przeglądów obiektów mostowych*”. Projekt ten realizowany jest w ramach umowy POIR.01.02.00-00-0075/16, działanie 1.2 „Sektorowe programy B+R”, program sektorowy „INNOSBZ” i finansowany przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju.

Dron stworzony w ramach projektu będzie w stanie wykonać przelot autonomicznie, tj. bez współpracy człowieka. Dron zostanie wyposażony w wysokiej dokładności aparaturę pomiarową, a rezultatem przelotu ma być model 3D obiektu. System zostanie zaprojektowany tak, aby uniezależnić drona od sygnałów GNSS, które w strefach pod obiektem mostowym, mogą być niestabilne.

Zgodnie z charakterystyką usługi – inspekcja obiektów mostowych, wiąże się zawsze z pracą na wysokości. Zazwyczaj jest to praca w bardzo trudnych warunkach m.in. nad ciekami wodnymi, nad drogą lub linią kolejową po której odbywa się ruch pojazdów. Dodatkowo wymóg kontroli poszczególnych elementów konstrukcji „nieuzbrojonym okiem” z odległości około 1m jest często niemożliwym do spełnienia przez inspektora. Zdarza się, że dostęp do danego

elementu konstrukcji jest mocno ograniczony, a czasami w przypadku człowieka wręcz niemożliwy do osiągnięcia. BSP zastępujący człowieka podczas wstępnych oględzin konstrukcji obiektu (praca na wysokości) będzie w stanie wykonać dokładną dokumentację fotograficzną, która w formie „chmury punktów” będzie umożliwiała wygenerowanie rysunków. Rysunki te będą odzwierciedleniem rzeczywistych elementów konstrukcji wraz z realną powierzchnią, miejsc uszkodzenia. Projektowany BSP przeznaczony do autonomicznego wykonywania inspekcji obiektów mostowych będzie miał możliwość dotarcia w miejsca trudnodostępne dla Inspektora, jak również odległość pomiędzy dronem a sprawdzanym elementem konstrukcji będzie mniejsza niż wymagany 1 m. Po wstępnych oględzinach konstrukcji obiektu, tj. po wykonaniu dokładnej dokumentacji fotograficznej (bazy do wygenerowania rysunków elementów konstrukcyjnych z ich uszkodzeniami) oraz filmów Inspektor wraz z osobami towarzyszącymi mu w terenie, przeprowadzi na miejscu analizę zebranego materiału, a następnie wytypuje elementy konstrukcji, które wymagają dokładniejszego przeglądu. Po pierwszym nalocie rozpoznawczym i wytypowaniu przez Inspektora konkretnych elementów konstrukcji, które wzbudziły zastrzeżenia BSP wyposażony w moduł precyzyjnego planowania misji, będzie w stanie po np. zmianie aparatu fotograficznego/kamery na skaner laserowy, pomierzyć rozwarłość rys i pęknięć elementów konstrukcji.

Zebrane materiały przez BSP (m.in. dokładna dokumentacja fotograficzna, filmy, pomiary rozwarcia rys) staną się bazą do opracowania dokumentacji z kontroli obiektu mostowego, która zostanie przekazana zarządcy czy właścicielowi obiektu. Również na tym etapie nowa usługa pozwala na udoskonalenia, większy obiektywizm w ocenie technicznej konstrukcji, przyspieszeniu pracy w sporządzaniu dokumentacji/ protokołu z przeprowadzonej kontroli.

Wykonana przez BSP dokładna dokumentacja fotograficzna, w postaci chmury punktów zostanie przekonwertowana do programu CAD 2D/3D. W środowisku CAD punkty zostaną odpowiednio przygotowane, wynikiem czego będzie gotowy rysunek z rzeczywistą powierzchnią i lokalizacją uszkodzenia. Dodatkowo otrzymany rysunek zostanie uzupełniony o odpowiednie wymiary, opisy i stanie się załącznikiem do opracowywanej dokumentacji.

Dzięki zebranych podczas nalołów BSP, szczegółowym materiałom, w razie jakichkolwiek wątpliwości inspektor będzie mógł wielokrotnie wracać do filmów czy dokumentacji fotograficznej, a nawet poradzić się innych inspektorów bez potrzeby ponownej wizji w terenie.

Czynniki, które przemawiają za powodzeniem nowej usługi na rynku krajowym to:

- Znaczne zwiększenie bezpieczeństwa inspektorów podczas wykonywania przeglądów;
- Dokładniejsza i bardziej obiektywna ocena stanu technicznego obiektu dzięki:

- niewielkim gabarytom BSP będzie w stanie dotrzeć do miejsc trudno dostępne a często niemożliwych do sprawdzenia przez człowieka,
- dokumentacji fotograficznej i filmowej wykonanej z poziomu (na wysokości) elementu obiektu mostowego da jednoznaczną informację o wielkości, ilości, rodzaju i miejscu uszkodzenia,
- możliwości porównania archiwalnej dokumentacji fotograficznej oraz filmowej z bieżącą (gdzie trasa przelotu –xyz- będzie taka sama) pozwoli na sprawne wychwycenie zmian/różnic w konstrukcji w czasie, który upłynął od ostatniego przeglądu,
- użyciu skanera laserowego do pomiaru rozwarcia rys otrzymamy dokładne i obiektywne wyniki. Wykonywane do tej pory pomiary za pomocą lupy Brinella czy papierowych wzorników są obarczone subiektywną oceną inspektora.
- Skrócenie czasu potrzebnego na wykonanie przeglądów obiektów mostowych wraz z dokumentacją, co wiąże się ze zmniejszeniem kosztów, dzięki:
 - szybszym i sprawniejszym oględzinom i pomiarom obiektu przez BSP,
 - minimalizacji sprzętu używanego podczas inspekcji, bez potrzeby wypożyczania, rozstawiania i przestawiania sprzętu w terenie, np. rusztowań, zwyżek,
 - wygenerowaniu “chmury punktów”, która jest wynikiem dokumentacji fotograficznej wykonanej przez BSP, możliwe będzie wykonanie dokładniejszej dokumentacji rysunkowej z zaznaczeniem lokalizacji, rodzaju, ilości i wielkości uszkodzeń obiektu,
 - „zapamiętywaniu”/zapisywaniu przez trasy przelotu (xyz) podczas inspekcji konkretnego obiektu z możliwością ponownego odtworzenia podczas kolejnego przeglądu danego obiektu.
- Jakość i szczegółowość przygotowanej dokumentacji z przeglądu obiektu, m.in. BSP poza możliwością dotarcia w miejsca gdzie inspektor ma utrudniony dostęp do kontrolowanego elementu, a czasami wręcz niemożliwy, BSP w większości przypadków będzie w stanie dotrzeć do danego elementu na odległość nawet mniejszą niż 1 m;
- Udostępnienie inwestorowi materiałów w postaci filmików sporządzonych przez BSP podczas wykonywanego przelotu w ramach inspekcji. Pozwoli to zleceniodawcy na własną ocenę stanu technicznego obiektu, weryfikację otrzymanej dokumentacji i wyciągnięcie własnych wniosków i spostrzeżeń.

Wśród ryzyk związanych z wykonywaniem przeglądów mostowych za pomocą dronów można wymienić:

- Pojawienie się konkurencyjnych produktów na rynku – rynek dronów rozwija się w błyskawicznym tempie;
- Regulacje prawne – przeszkodą może być zarówno prawo budowlane jak i lotnicze, np.:

- ograniczenie możliwości stosowania dronów w danym obszarze bądź zastrzeżenie się prawa lotniczego w zakresie stosowania dronów. Dronów nie można stosować w sąsiedztwie lotnisk. Firma Flytech posiada jednak patent na rozwiązanie pod nazwą „DroneRadar”, które pozwala na użycie dronów na terenie portów lotniczych, poprzez monitoring pracy drona,
- prawo budowlane w prawdzie nie definiuje sposobu wykonywania przeglądów. GDDKiA w wytycznych podaje, że przegląd szczegółowy powinien być wykonany „nieuzbrojonym okiem” z odległości około 1m”. GDDKiA w ramach prowadzenia nadzorów nad budową coraz częściej wymaga stosowania BSP do sprawdzania aktualnego stanu postępu robót budowlanych, co oznacza, że jest pozytywnie nastawiona do BSP i mamy nadzieję, że będzie przychylna na propozycję aktualizacji wytycznych.
- Brak zaufania Zarządców do nowej technologii – mogą wystąpić obawy co do skuteczności i opłacalności takich przeglądów. Przewiduje się wykonanie 3 use-cases w ramach, których będą wykonane przeglądy mostów, a rezultaty i efekty zostaną pokazane w filmie promocyjnym.

Rezultatem prowadzonego projektu będzie przede wszystkim:

- BSP wyposażony w wysokiej dokładności aparaturę pomiarową i inne wyposażenie pozwalające na bardzo dokładny przegląd konstrukcji obiektu inżynierskiego, realizujący nalot i nawigujący się za pomocą algorytmów obróbki wizji (niezależnie od systemów GNSS),
- naziemnej stacji kontroli lotu wraz z systemem łączności, umożliwiająca operatorowi nadzór nad prawidłowym przebiegiem lotu oraz dająca możliwość ingerencji w jego przebieg.

4. PODSUMOWANIE

Systemy przeglądów obiektów mostowych za pomocą dronów używane wspólnie w wysoce rozwiniętych krajach są coraz powszechniej stosowane. Powodem tego jest zwiększenie bezpieczeństwa inspektorów, dokładniejsza i bardziej obiektywna ocena stanu technicznego obiektu mostowego, skrócenie czasu wykonania przeglądu oraz brak potrzeby stosowania kosztownego sprzętu ułatwiającego bezpośredni dostęp do niekonwencjonalnych obiektów. Do pełnego przekonania administracji publicznej o zasadności stosowania tego typu rozwiązania, konieczne jest przeprowadzenie badań, symulacji oraz wykonanie prototypu drona. Wymienione elementy zostaną wykonane w ramach realizowanego projektu „*EyeBridge – Bezzałogowy system latający przeznaczony do autonomicznego wykonywania przeglądów obiektów mostowych*”.

LITERATURA

- [1] Brzozowski, B., Kordowski, P., Rochala, Z., Wojtowicz, K., *System antykolizyjny z wizualizacją otoczenia dla BSP*, Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej, 405–411, październik–grudzień 2013,
- [2] Lovelace B., *Unmanned Aerial Vehicle Bridge Inspection Demonstration Project*, Research Project. Final Report 2015-40, Minnesota Department of Transportation, 2015.
- [3] Rosnell T., Honkavaara E., *Point Cloud Generation from Aerial Image Data Acquired by a Quadcopter Type Micro Unmanned Aerial Vehicle and a Digital Still Camera*. Sensors — Open Access Journal, <http://www.mdpi.com/journal/sensors>, 2012.
- [4] Zhang, C., *Monitoring the condition of unpaved roads with remote sensing and other technology*, Final Report for US DOT DTPH56-06-BAA-0002. Geographic Information Science Center of Excellence, South Dakota State University, 2009.

**POSSIBILITIES OF DRON APPLICATION
FOR BRIDGE INSPECTION****Summary**

The article presents actual possibilities of using drones (unmanned aerial vehicle) in the construction industry, with an emphasis on the use bridge inspection.

The paper discusses:

- basic information about unmanned aerial system UAS,
- attempts to apply drones in bridge surveys,
- basic information about „EyeBridge” project.

