

**Anna Banaszek, Sebastian
Banaszek, Anna Cellmer,
Aleksander Żarnowski**

**Wykorzystanie bezzałogowych
statków powietrznych w zarządzaniu
obiektami wielkopowierzchniowymi**

Studia i Prace Wydziału Nauk Ekonomicznych i Zarządzania 45/1, 151-164

2016

Artykuł został opracowany do udostępnienia w internecie przez Muzeum Historii Polski w ramach prac podejmowanych na rzecz zapewnienia otwartego, powszechnego i trwałego dostępu do polskiego dorobku naukowego i kulturalnego. Artykuł jest umieszczony w kolekcji cyfrowej bazhum.muzhp.pl, gromadzącej zawartość polskich czasopism humanistycznych i społecznych.

Tekst jest udostępniony do wykorzystania w ramach
dozwolonego użytku.



DOI: 10.18276/sip.2016.45/1-12

Anna Banaszek*

Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie

Sebastian Banaszek**

Dron House S.A., Warszawa

Anna Cellmer***

Aleksander Żarnowski****

Politechnika Koszalińska

WYKORZYSTANIE BEZZAŁOGOWYCH STATKÓW POWIETRZNYCH W ZARZĄDZANIU OBIEKTAMI WIELKOPOWIERZCHNIOWYMI

Streszczenie

W ostatnich latach nastąpił rozwój badań dotyczących wykorzystania obrazów cyfrowych pozyskiwanych za pomocą bezzałogowych statków powietrznych do przeglądów technicznych obiektów budowlanych. W artykule omówiono warunki prawne i techniczne wykonywania bezzałogowych kontroli okresowych oraz aktualny stan badań dotyczący możliwości wykorzystania danych uzyskanych za pomocą BSP w zarządzaniu nieruchomościami. Przedstawiono wyniki eksperymentu z zastosowaniem BSP wyposażonego w wysokiej rozdzielczości kamerę cyfrową do wizualnej oceny stanu technicznego dachu obiektu wielkopowierzchniowego. Użyteczność wykorzystywania obrazów cyfrowych uzyskanych za pomocą BSP do kontroli i monitorowania stanu technicznego obiektów zaprezentowano na konkretnych przykładach. Technologia oparta na nowoczesnych metodach pozyskania danych obrazowych oraz najnowsze osiągnięcia w dziedzinie zautomatyzowanych technik

* Adres e-mail: anna.banaszek@uwm.edu.pl.

** Adres e-mail: sebastian.banaszek@dronhouse.pl.

*** Adres e-mail: anna.cellmer@wilsig.tu.koszalin.pl.

**** Adres e-mail: azarnowski@wilsig.tu.koszalin.pl.

odwzorowywania stwarzają nowe możliwości w zarządzaniu nieruchomościami, w szczególności w sektorze *facility management* oraz *building information modelling*.

Słowa kluczowe: bezzałogowy statek powietrzny, zarządzanie, kontrola okresowa, dach, *facility management*, BIM

Wstęp

W ostatnich latach nastąpił rozwój badań dotyczących wykorzystania obrazów cyfrowych pozyskiwanych za pomocą bezzałogowych statków powietrznych (BSP) do przeglądu technicznego obiektów inżynierskich oraz architektonicznych. Konwencjonalne kontrole stanu technicznego są w głównej mierze oparte na wizualnych metodach badawczych. Duże konstrukcje, takie jak obiekty wielkopowierzchniowe, mosty, kominy, wieże, tamy, elektrownie przemysłowe, obiekty zabytkowe, strukturalnie są często trudno dostępne dla szczegółowego przeglądu technicznego. W większości przypadków kontrole okresowe takich obiektów są skomplikowane technicznie. Technologia oparta na BSP oraz najnowsze osiągnięcia w dziedzinie zautomatyzowanych technik odwzorowywania stwarzają nowe możliwości w zarządzaniu nieruchomościami, w szczególności przy monitorowaniu ich stanu technicznego, w sektorze *facility management* oraz przy modelowaniu danych o budynkach i budowlach, tak zwanym *building information modelling*.

1. Przegląd zastosowań BSP w zarządzaniu nieruchomościami

Wdrożenie geoinformacji obrazowej uzyskanej z bezzałogowych lotów oferuje wiele potencjalnych korzyści dla zarządców nieruchomości, w szczególności w sektorze *facility management*. Kontrolę stanu technicznego obiektów budowlanych z wykorzystaniem wysokorozdzielczych obrazów cyfrowych można ogólnie podzielić na dwa etapy: pozyskiwania danych (*in-flight*) oraz cyfrowego przetwarzania końcowego (*post-flight*). Ogólne zasady przedstawiono w pracy Eschmanna, Kuo, Kuo i Bollera (2012). Zauważono, że proces akwizycji danych jest najbardziej czasochłonny, technicznie złożony i tym samym stanowi najbardziej kosztowną część kontroli. W pracy Hallermanna, Morgenthala i Rodehorsta (2015) przedstawiono studia przypadków zastosowania BSP (multirotor platform AscTec Falcon 8) w monitoringu stanu technicznego obiektów różnej wielkości (budynku mieszkalnego, tamy, ściany

oporowej przy pasie drogowym). Wykorzystano kombinację tradycyjnych pomiarów kontrolnych oraz nowoczesnych metod fotogrametrycznych w celu budowy georeferencyjnego modelu 3D. Analiza zdjęć lotniczych elewacji wykazała, że jakość obrazu o wysokiej rozdzielczości umożliwia identyfikację wizualną pęknięć od 0,3 mm przy odległości fotografowania około 10 m od badanej powierzchni. Departament Transportu Stanu Minnesota (USA) w 2015 roku zlecił opracowanie raportu dotyczącego wykorzystania BSP do inspekcji mostów. Ich zastosowanie zdaniem Departamentu może zmniejszyć koszty inspekcji technicznych oraz poprawić jakość kontroli stanu technicznego. Ogólnym celem raportu było zbadanie skuteczności wykorzystania technologii opartej na BSP zgodnie z ustanowionymi standardami inspekcji technicznych mostów (Zink, 2015). W przypadku przeglądów dużych obiektów budowlanych idealnym rozwiązaniem wydaje się zastosowanie platformy bezzałogowej uzbrojonej w kamerę termowizyjną w celu: badania energochłonności budynków mieszkalnych (Krawczyk, Mazur, Sasin, Stokłosa, 2015), kontroli izolacji dachu (Zhang, Jung, Sohn, Cohen, 2015), analizy dachu do instalacji paneli słonecznych (López-Fernández, Lagüela, Picón, González-Aguilera, 2015).

Innowacyjne metody zarządzania z wykorzystaniem nowych technologii są niezbędne w zakresie efektywnego zarządzania projektami w celu uniknięcia dodatkowych kosztów i opóźnień harmonogramu oraz planowania działań zapobiegawczych. Analizę aktualnego wykorzystania technologii pozyskiwania danych z bezzałogowego statku w Building Information Modelling (BIM) przedstawia praca Vacanasa, Themistocleousa, Agapiou i Hadjimitsisa (2015). Autorzy ci wskazują na nową perspektywę włączenia technologii do nowoczesnego zarządzania nieruchomością. W tym przypadku badanie obiektów budowlanych wykonuje się na wygenerowanej chmurze punktów, która może być przetwarzana i importowana do oprogramowania Building Information Modelling, takich jak Autodesk Revit i ArchiCAD, w celu stworzenia inteligentnego modelu 3D. Wszelkie uszkodzenia lub deformacje w konstrukcjach budowlanych lub dachach można łatwo modelować i integrować z oprogramowaniem BIM. Firmy oferujące nowe rozwiązania technologiczne podkreślają, że w zarządzaniu nieruchomościami następuje nowa era – przejście od tradycyjnej metod geodezji do nowoczesnego podejścia do pozyskiwania danych z wykorzystaniem BSP (From UAV to BIM..., 2016).

2. Warunki prawne i techniczne wykonywania bezzałogowych kontroli okresowych

Zarządzanie nieruchomością polega między innymi na podejmowaniu decyzji i dokonywaniu czynności mających na celu zapewnienie bezpieczeństwa użytkownika i właściwej eksploatacji oraz utrzymanie nieruchomości w stanie nie pogorszonym. Zgodnie z ustawą z 7 lipca 1994 roku – Prawo budowlane (t.j. Dz.U. 2016, poz. 290) właściciel lub zarządca obiektu budowlanego jest obowiązany:

- 1) utrzymywać i użytkować obiekt w sposób zgodny z jego przeznaczeniem i wymaganiami ochrony środowiska oraz utrzymywać w należytych stanie technicznym i estetycznym, nie dopuszczając do nadmiernego pogorszenia jego właściwości użytkowych i sprawności technicznej;
- 2) zapewnić, dochowując należytej staranności, bezpieczne użytkowanie obiektu w razie wystąpienia czynników zewnętrznych oddziałujących na obiekt, związanych z działaniem człowieka lub sił natury, takich jak: wyładowania atmosferyczne, wstrząsy sejsmiczne, silne wiatry, intensywne opady atmosferyczne, osuwiska ziemi, zjawiska lodowe na rzekach i morzu oraz jeziorach i zbiornikach wodnych, pożary lub powodzie, w wyniku których następuje uszkodzenie obiektu budowlanego lub bezpośrednio zagrożenie takim uszkodzeniem mogące spowodować zagrożenie życia lub zdrowia ludzi, bezpieczeństwa mienia lub środowiska.

Obiekty budowlane powinny być w czasie ich użytkowania poddawane przez właściciela lub zarządcę kontroli okresowej w zakresie: 1) okresowej, co najmniej raz w roku, polegającej na sprawdzeniu stanu technicznego: a) elementów budynku, budowli i instalacji narażonych na szkodliwe wpływy atmosferyczne i niszczące działania czynników występujących podczas użytkowania obiektu, b) instalacji i urządzeń służących ochronie środowiska, c) instalacji gazowych oraz przewodów kominowych (dymowych, spalinowych i wentylacyjnych); 2) okresowej, co najmniej raz na 5 lat, polegającej na sprawdzeniu stanu technicznego i przydatności do użytkowania obiektu budowlanego, estetyki obiektu budowlanego oraz jego otoczenia; kontrolą tą powinno być objęte również badanie instalacji elektrycznej i piorunochronnej w zakresie stanu sprawności połączeń, osprzętu, zabezpieczeń i środków ochrony od porażenia, oporności izolacji przewodów oraz uziemień instalacji i aparatów; 3) okresowej, co najmniej dwa razy w roku, w terminach do 31 maja oraz do 30 listopada, w przypadku budynków o powierzchni zabudowy przekraczającej 2000 m² oraz innych obiektów budowlanych o powierzchni dachu przekraczającej 1000 m².

Szczegóły tego, co powinna objąć kontrola stanu technicznego budynku, precyzuje rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z 16 sierpnia 1999 roku w sprawie warunków technicznych użytkowania budynków mieszkalnych (Dz.U. nr 74, poz. 836). Wszystkie kontrole, których przeprowadzanie jest według Prawa budowlanego obowiązkiem zarządców i właścicieli nieruchomości, mogą być wykonywane jedynie przez osoby do tego uprawnione. Szczegółowe informacje na ten temat można znaleźć w rozporządzeniu Ministra Infrastruktury i Rozwoju z 11 września 2014 roku w sprawie samodzielnych funkcji technicznych w budownictwie (Dz.U. poz. 1278) oraz rozporządzeniu Ministra Gospodarki i Pracy z 20 lipca 2005 roku zmieniającym rozporządzenie w sprawie szczegółowych zasad stwierdzania posiadania kwalifikacji przez osoby zajmujące się eksploatacją urządzeń, instalacji i sieci (Dz.U. nr 141, poz. 1189).

Powyższe akty prawne nie regulują użycia do kontroli stanu technicznego technologii BSP. Podstawy prawne wykonywania bezzałogowych lotów cywilnych zawarte są w ustawie z 3 lipca 2002 roku – Prawo lotnicze (t.j. Dz.U. 2016, poz. 605) oraz następujących aktach wykonawczych:

- a) rozporządzeniu Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z 26 marca 2013 roku w sprawie wyłączenia zastosowania niektórych przepisów ustawy – Prawo lotnicze do niektórych rodzajów statków powietrznych oraz określenia warunków i wymagań dotyczących używania tych statków (Dz.U. poz. 440, z późn. zm.);
- b) rozporządzeniu Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z 3 czerwca 2013 roku w sprawie świadectw kwalifikacji (Dz.U. poz. 664);
- c) rozporządzeniu Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z 26 kwietnia 2013 roku w sprawie przepisów technicznych i eksploatacyjnych dotyczących statków powietrznych kategorii specjalnej, nieobjętych nadzorem Europejskiej Agencji Bezpieczeństwa Lotniczego (Dz.U. poz. 524).

Wszystkie loty cywilne inne niż rekreacyjne lub sportowe kwalifikują się jako wykorzystanie BSP w celach komercyjnych (*drone as a service* – DaaS): różnego rodzaju pomiary, inspekcje techniczne czy monitoring z powietrza. Dlatego wymagają od osoby pilotującej BSP posiadania świadectwa kwalifikacji operatora bezzałogowego statku powietrznego UAVO. Wymóg posiadania świadectwa jest podyktowany w art. 95 ust. 2 pkt 5a ustawy z 3 lipca 2002 roku – Prawo lotnicze, natomiast szczegółowe zasady uzyskiwania opisywanego dokumentu zawarto w rozporządzeniu Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z 3 czerwca 2013 roku w sprawie świadectw kwalifikacji. Uprawnienie podstawowe VLOS (*Visual Line*

of Sight operation) dotyczące realizacji operacji w zasięgu wzroku operatora wpisuje się do świadectwa kwalifikacji operatora po ukończeniu szkolenia teoretycznego i praktycznego (dopuszczalne jest samokształcenie) oraz zdaniu egzaminu państwowego przed egzaminatorem wyznaczonym z ramienia Urzędu Lotnictwa Cywilnego. Uznanie kwalifikacji operatora następuje po łącznym spełnieniu przez kandydata następujących warunków: 1) przedstawieniu dokumentów: a) zawierających informacje dotyczące zakresu i przebiegu szkoleń teoretycznych i praktycznych odbytych w lotnictwie państwowym, b) potwierdzających posiadany nalot na statkach powietrznych lotnictwa państwowego, c) potwierdzających uprawnienia nadane w lotnictwie państwowym; 2) uzyskaniu z ośrodka szkolenia lotniczego albo podmiotu szkolącego zaświadczenia o spełnieniu odpowiednich wymagań w zakresie dopuszczenia do egzaminu państwowego dla licencji albo świadectwa kwalifikacji, o które ubiega się kandydat; indywidualny tok szkolenia jest realizowany po zatwierdzeniu przez kierownika szkolenia ośrodka szkolenia lotniczego albo podmiotu szkolącego; 3) zdaniu egzaminu państwowego w zakresie wymaganym dla uzyskania świadectwa kwalifikacji, o które ubiega się kandydat; 4) złożeniu do Prezesa Urzędu wniosku o wydanie świadectwa kwalifikacji, o które ubiega się kandydat.

Po spełnieniu powyższych wymagań Prezes Urzędu Lotnictwa Cywilnego wydaje świadectwo kwalifikacji oraz wpisuje kandydata na listę operatorów bezzałogowego statku powietrznego.

Przed lotem operator dokonuje kontroli stanu technicznego BSP oraz stwierdza poprawność działania statku i urządzeń sterujących. Przy wykonywaniu bezzałogowych lotów na potrzeby przeprowadzania kontroli okresowych operator statku powietrznego: 1) zapewnia, aby każdy bezzałogowy statek powietrzny będący w jego dyspozycji był używany w sposób niestwarzający zagrożenia dla osób, mienia lub innych użytkowników przestrzeni powietrznej; 2) wykonuje lot z uwzględnieniem warunków meteorologicznych oraz informacji o ograniczeniach w ruchu lotniczym; 3) wykonuje lot w sposób zapewniający bezpieczną odległość od osób i mienia w przypadku awarii lub utraty kontroli nad bezzałogowym statkiem powietrznym; 4) ponosi odpowiedzialność za decyzję o wykonaniu lotu oraz jego poprawność. Loty BSP w warunkach VLOS wykonuje się z zachowaniem następujących warunków:

- a) zapewnieniem ciągłej i pełnej kontroli lotu, w szczególności przez zdalne sterowanie przy użyciu fal radiowych;
- b) w sposób umożliwiający uniknięcie kolizji z innym użytkownikiem przestrzeni powietrznej: poza strefami kontrolowanymi lotnisk (CTR); poza strefami ruchu lotniskowego lotniska wojskowego (MATZ) oraz strefami

kontrolowanymi lotniska wojskowego (MCTR); poza strefą ograniczoną R (*restricted*), strefą niebezpieczną D (*danger area*) oraz strefą zakazaną P (*prohibited*); poza otoczeniem lotniska lub lądowiska, to jest w odległości powyżej 5 km od jego granicy; w strefach ATZ (*aerodrome traffic zone* – strefa ruchu lotniskowego) lub w odległości mniejszej niż 5 km od granicy lotniska lub lądowiska – za zgodą zarządzającego lotniskiem lub lądowiskiem; w strefach CTR (*control zone* – strefa kontrolowana lotniska) na warunkach określonych i opublikowanych w Zbiorze Informacji Lotniczych (AIP) Polska przez Polską Agencję Żeglugi Powietrznej i za zgodą właściwego organu.

3. Przegląd techniczny dachu obiektu wielkopowierzchniowego z wykorzystaniem zdjęć lotniczych (BSP)

Głównym celem wykonania przeglądu okresowego dachu jest zarówno sprawdzenie stanu poszycia, jak i wyeliminowanie potencjalnych zagrożeń w najbliższej przyszłości. Przeglądy stanu technicznego dachów odnoszą się do zadań niebezpiecznych oraz złożonych ze względu na dużą ilość szczegółów. Kontrola optyczna stanu hydro- i termoizolacji dachu obejmuje między innymi: ogólny przegląd dachu, kontrolę ogólnego stanu drabin, kontrolę optyczną atyki i jej zamocowań wraz z obróbkami, kontrolę ogólnego stanu konstrukcji i izolacji daszków, kontrolę obróbek blacharskich, kontrolę zakładek zwieńczeń, wylotów wentylacyjnych, kontrolę stanu poliwęglanów, świetlików dachowych, kontrolę ogólnego stanu podstaw i konstrukcji pod rooftopy oraz pod urządzenia klimatyzacyjne, konsultację z inwestorem stanu istniejącego pokrycia dachu wraz z dokumentacją zdjęciową. W trakcie przeglądu dachu identyfikowane są rozszczelnienia i ubytki w połaci dachowej, miejsca zalegania wody, śniegu, liści i gałęzi.

3.1. Opis sprzętu

Celem eksperymentu było pokazanie możliwości zastosowaniu BSP wyposażonego w wysokiej rozdzielczości kamerę cyfrową do wizualnej oceny stanu technicznego dachu obiektu wielkopowierzchniowego. Do eksperymentu wykorzystano quadcopter wagi lekkiej DJI Inspire One o następujących parametrach technicznych: waga: 2935 g,

wertykalna dokładność GPS: 0,5 m (dokładność wyznaczenia wysokości), horyzontalna dokładność GPS: 2,5 m (dokładność wyznaczenia współrzędnych X, Y), maksymalna prędkość wznoszenia: 5 m/s, maksymalna prędkość opadania: 4 m/s, maksymalna prędkość przelotowa: 22 m/s (tryb ATTI, brak wiatru), maksymalna wysokość lotu: 4500 m ASL (*above sea level*), maksymalny wiatr: 10 m/s, czas lotu: 18 min, temperatura pracy: od -10° do 40°C , rozmiar: $438 \times 451 \times 301$ mm.

Do pozyskania obrazów cyfrowych użyto kamery (sensor RGB) o następujących parametrach: rozdzielczość: 12 Mpix (4000×3000), fizyczny rozmiar matrycy: $6,170$ mm \times $4,628$ mm, ogniskowa: 3,55 mm.

3.2. Nalot fotogrametryczny

Nalot fotogrametryczny za pomocą BSP wykonano nad biurowcem położonym w mieście liczącym powyżej 25 tys. mieszkańców (Olsztyn), w strefach ATZ lotniska Olsztyn-Dajtki (EPOD). Rozpoczęcie lotu bezzałogowym statkiem powietrznym w przestrzeni ATZ EPOD może się odbywać wyłącznie za zgodą zarządzającego strefą i powinno zostać poprzedzone przekazaniem informacji dotyczących przede wszystkim: typu BSP, maksymalnej masy startowej (MTOM), czasu rozpoczęcia i zakończenia lotów w UTC, lokalizacji administracyjnej, współrzędnych miejsca startu i lądowania, maksymalnej wysokości lotów (w stopach lub metrach AGL) oraz promienia operacyjnego. Po zakończeniu nalotu należy ponownie poinformować udzielającego zgodę zarządcę o zakończeniu lotu. Dodatkowo wykonywanie lotów bezzałogowych w miastach liczących powyżej 25 tys. mieszkańców, czyli w strefie ograniczonej R, wymaga uzyskania pozwolenia od władz miejskich poprzedzonego otrzymaniem właściwej zgody od Prezesa Urzędu Lotnictwa Cywilnego. Nalot zaprojektowano i wykonano za pomocą oprogramowania *Map Pilot* – aplikacji na system iOS, która umożliwia zaprojektowanie automatycznego wykonania lotu drona. Parametry zaprogramowanego lotu: obszar: 1,96 ha, dystans: 2,3 km, maksymalna prędkość: 3,4 m/s, czas lotu: 12 min 40 s, liczba zdjęć: 165 szt., punkty: 396, wysokość: 80 m AGL (*above ground level*), rozdzielczość: 3,5 cm/pix, pokrycie podłużne i poprzeczne: 90%, warunki atmosferyczne – lekkie zachmurzenie, kierunek kamery: nadir.

3.3. Wyniki eksperymentu

W czasie nalotu wykonano 165 zdjęć lotniczych, na podstawie których uzyskano następujące produkty:

- 1) zdjęcia lotnicze niskiego pułapu wykonane z wysokości 183 m ASL;
- 2) ortofotomapę wygenerowaną na podstawie 165 zdjęć wykonanych na wysokości 165 m ASL w rozdzielczość GSD (*ground sampling distance*): 3,49 cm terenu przypada na 1 pixel, rozdzielczość pliku 10262 x 8649 pixeli;
- 3) chmurę punktów wygenerowaną na podstawie 165 zdjęć wykonanych na wysokości 165 m AGL, zbudowaną z 69 686 413 pkt, czyli 159,86 pkt/m³.

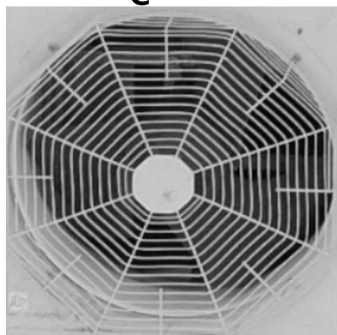
Do wygenerowania ortofotomapy oraz chmury punktów wykorzystano oprogramowanie *Pix4D*. Do przeglądania i analizy punktów użyto programu *Quick Terrain Reader*.

Wykorzystanie zdjęć lotniczych uzyskanych za pomocą BSP, wykonanych na różnych wysokościach, pozwala na dokonanie wizualnej oceny stanu technicznego pokrycia dachu, instalacji zamontowanych na dachu oraz innych jego elementów bez konieczności fizycznej obecności na dachu. Ze względu na wysoką rozdzielczość zdjęcia pozwalają dostrzec wiele szczegółów, na przykład szczelność pokrycia dachu, stan rynien, przekrzywienia, oberwania, uszkodzenia elementów, stan oraz wygląd kominów i wentylacji (fot. 1).

Na podstawie uzyskanych niemetrycznych obrazów cyfrowych można wygenerować ortofotomapę w dowolnej skali. Uzyskany produkt może mieć zastosowanie do oceny szczelności pokrycia dachu oraz stopnia ewentualnych zniszczeń czy zużycia materiałów (pęknięcia, ubytki). Na przykład wykorzystano oprogramowanie QGIS w celu dokonania wektoryzacji na podstawie wygenerowanej ortofotomapy. Określono powierzchnię dachu oraz dokonano inwentaryzacji uszkodzenia pokrycia dachowego w jednej z jego części (fot. 2).

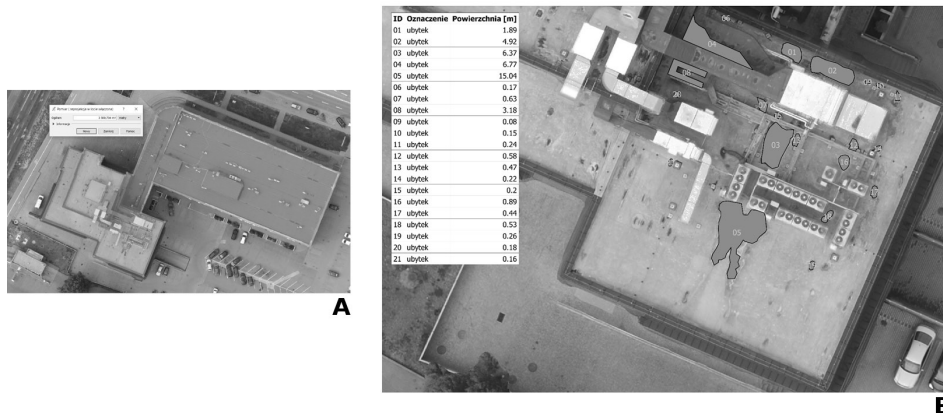
Na analizowanej powierzchni wyróżniono 21 ubytków o łącznej powierzchni prawie 44 m², z czego najmniejsze uszkodzenie ma powierzchnię 8 cm², a największe – 15,04 m².

Fotografia 1. Wizualna ocena stanu technicznego pokrycia dachu za pomocą zdjęć lotniczych (BSP). Widok z poziomu: A – 183 m ASL, B – 165 m ASL, C – 127 m ASL, D – 112 m ASL, E – 112 m ASL – szczegół inwentaryzacyjny – powiększenie 100%

**A****B****C****D****E**

Źródło: opracowanie własne.

Fotografia 2. Inwentaryzacja uszkodzenia pokrycia dachowego za pomocą zdjęć lotniczych (BSP): A – obliczenie powierzchni dachu (3510 m²), B – inwentaryzacja uszkodzeń (21 ubytków o łącznej powierzchni 44 m²)



Źródło: opracowanie własne.

Wygenerowanie chmury punktów (fot. 3) umożliwia dokonywanie pomiarów w trzech wymiarach: X, Y, Z. Możemy wykorzystać do tego celu wartości bezwzględne (ASL) uzyskane na podstawie odczytu GPS zamontowanego w BSP lub wartości względne obliczone na podstawie wartości bezwzględnych. Na przykład najwyższy fragment dachu analizowanego budynku znajduje się na poziomie 110 m ASL. Biorąc pod uwagę poziom posadowienia gruntu na wysokości 85,7 m ASL, jesteśmy w stanie obliczyć wysokość budynku, która wynosi 24,3 m. Przy zastosowaniu w trakcie nalotu fotopunktów możemy otrzymać chmurę punktów, która umożliwi dokonywanie pomiarów z dokładnością, z którą pomierzono fotopunkty, a więc na przykład 1 cm.

Fotografia 3. Przykłady obliczeń na podstawie chmury punktów



Źródło: opracowanie własne.

Podsumowanie

Na podstawie przeprowadzonych badań można stwierdzić, że wykorzystanie BSP do pozyskiwania danych o nieruchomościach stanowi alternatywę dla kosztownych pomiarów fotogrametrycznych i czasochłonnych pomiarów terenowych. Koszty użycia BSP są kilkadziesiąt razy mniejsze od użycia śmigłowca lub samolotu (godzina lotu śmigłowca kosztuje ok. 12,5 tys. zł netto, godzina lotu BSP to koszt ok. 800 zł netto), niższe są również koszty samego sprzętu – platformy latającej oraz sensorów. Do mocnych stron BSP można zaliczyć wysoką mobilność w pozyskiwaniu danych, czyli możliwość wykonywania lotów na różnych wysokościach oraz uzyskania szczegółowych zdjęć lotniczych niskiego pułapu przydatnych dla przeglądów i inspekcji technicznych. Wykorzystanie BSP przy inspekcjach obiektów

trudno dostępnych i wysokich (mosty, dachy, turbiny wiatrowe, sieci energetyczne) lub w miejscach niebezpiecznych (w sytuacji pożaru, powodzi, radiacji, monitoring lawin górskich) zwiększa bezpieczeństwo wykonywania pracy.

Wykonywanie bezzałogowych lotów w celu kontroli okresowych wymaga spełnienia kilku podstawowych zasad: operator bezzałogowego statku powietrznego BSP musi posiadać świadectwo kwalifikacji VLOS oraz ubezpieczenie OC; parametry techniczne bezzałogowego statku powietrznego oraz kamery muszą być odpowiednie dla wykonania nalotów technicznych; operator musi przeprowadzić ocenę terenu pod względem bezpieczeństwa lotu oraz uzyskać niezbędne pozwolenia.

W celu rozwoju zastosowania technologii bezzałogowych w zarządzaniu nieruchomościami należy: ustalić najbardziej ogólne i przynoszące najwięcej korzyści zastosowania BSP; wprowadzić odpowiednie standardy bezpieczeństwa przy wykonywaniu bezzałogowych przeglądów i inspekcji technicznych obiektów budowlanych; opracować standardy współpracy operatora BSP oraz osoby posiadającej uprawnienia do przeprowadzania kontroli okresowych zgodnie z Prawem budowlanym; opracować zasady implementacji danych uzyskanych za pomocą bezzałogowych statków powietrznych do oprogramowania wspierającego zarządzanie nieruchomościami.

Wyniki badań wskazują na to, że na podstawie obrazów cyfrowych uzyskanych za pomocą BSP zarządca nieruchomości ma szybki dostęp do wiarygodnej informacji o stanie technicznym obiektu, która daje możliwość realizacji aktywnego monitoringu technicznego oraz usprawnia proces zarządzania nieruchomościami.

Literatura

- Eschmann, C., Kuo, C.M., Kuo, C.-H., Boller, C. (2012). Unmanned Aircraft Systems for Remote Building Inspection and Monitoring. *6th European Workshop on Structural Health Monitoring – Th.2.B.1*, 1–8. Pobrane z: <http://www.ndt.net/article/ewshm2012/papers/th2b1.pdf> (15.04.2016).
- From UAV to BIM – How UAV Data Fits into the Scan to BIM Work Flow (2016). Pobrane z: <http://www.remoteaerialsurveys.co.uk/blog/from-uav-to-bim-how-uav-data-fits-into-the-scan-to-bim-work-flow/22> (16.05.2016).
- Hallermann, N., Morgenthal, G., Rodehorst, V. (2015). Unmanned Aerial Systems (UAS) – Case Studies of Vision Based Monitoring of Ageing Structures. *International Symposium Non-Destructive Testing in Civil Engineering (NDT-CE)* September 15–17, 2015, Berlin, Germany. Pobrane z: http://www.ndt.net/article/ndtce2015/papers/169_hallermann_norman.pdf (10.03.2016).

- Krawczyk, J.M., Mazur, A.M., Sasin, T., Stokłosa, A.W. (2015) Infrared Building Inspection with Unmanned Aerial Vehicles. *Transactions of the Institute of Aviation*, 3 (240), 32–48. DOI: 10.5604/05096669.1194965.
- López-Fernández, L., Lagüela, S., Picón, I., González-Aguilera, D. (2015). Large Scale Automatic Analysis and Classification of Roof Surfaces for the Installation of Solar Panels Using a Multi-Sensor Aerial Platform. *Remote Sens*, 7, 11226–11248.
- Vacanas, Y., Themistocleous, K., Agapiou, A., Hadjimitsis, D. (2015). Building Information Modelling (BIM) and Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Technologies in Infrastructure Construction Project Management and Delay and Disruption Analysis. *Proc. SPIE 9535, Third International Conference on Remote Sensing and Geoinformation of the Environment (RSCy2015), 95350C (June 19, 2015)*. DOI: 10.1117/12.2192723.
- Zhang, J., Jung, J., Sohn, G., Cohen, M. (2015). Thermal Infrared Inspection of Roof Insulation Using Unmanned Aerial Vehicles. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XL-1/W4*, 381–386.
- Zink, J. (red.). (2015). *Unmanned Aerial Vehicle Bridge Inspection Demonstration Project Final Report*. St. Paul, Minnesota: Minnesota Department of Transportation Research Services & Library.

USING OF UNMANNED AERIAL VEHICLES (UAVs) IN THE MANAGEMENT OF LARGE BUILDINGS

Abstract

In recent years there has been the development of research on the use of digital images from Unmanned Aerial Vehicle (UAV) for the technical inspection of buildings. This article discusses the legal and technical conditions of UAV periodic inspection and the current research on the possibilities of using digital images obtained by UAVs in real estate management. It presents the results of an experiment on the use of the quadcopter equipped with high-resolution camera for the visual assessment of the rooftop of a particular type of large property: an office building. The digital images obtained from the Unmanned Aerial Vehicle used to the inspection of the technical condition are presented as examples. The technology is based on modern methods of acquiring image data, with the latest developments in automated mapping techniques, create new opportunities in real estate management – in particular the sectors of Facility Management and Building Information Modelling.

Translated by Anna Cellmer

Keywords: UAV, management, inspection, roof, Facility Management, BIM

JEL Code: C8