

Anna Banaszek

Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie

Anna Cellmer

Politechnika Koszalińska

Sebastian Banaszek

Dron House S.A.

Aleksander Żarnowski

Politechnika Koszalińska

e-mails: anna.banaszek@uwm.edu.pl; anna.cellmer@wilsig.tu.koszalin.pl;
sebastian.banaszek@dronhouse.pl; azarnowski@wilsig.tu.koszalin.pl

ZASTOSOWANIE NOWYCH TECHNOLOGII POZYSKIWANIA DANYCH GEOPRZESTRZENNYCH W GOSPODARCE PRZESTRZENNEJ

APPLICATION OF NEW TECHNOLOGIES OF ACQUISITION OF SPATIAL DATA IN SPATIAL MANAGEMENT

DOI: 10.15611/pn.2017.467.22

JEL Classification: O2

Streszczenie: Rozwój technologii satelitarnej, fotogrametrii i teledetekcji sprawił, że tworzone obecnie systemy informacji przestrzennej wykorzystują jako główne źródło danych geometrycznych zdjęcia lotnicze i satelitarne. W ostatnich latach pojawiła się idea stworzenia niezależnego, prostego systemu lokalnego pozyskiwania danych geoprzestrzennych w oparciu o bezzałogowe statki powietrzne (BSP). W artykule przedstawiono obszary zastosowań BSP w gospodarce przestrzennej oraz analizę usług świadczonych za pomocą bezzałogowych statków powietrznych na terenie Polski. Użyteczność wykorzystywania nowych technologii pozyskiwania danych geoprzestrzennych zaprezentowano na wybranych przykładach. Wyniki prac eksperymentalnych pokazują, że bezzałogowe statki powietrzne mogą stanowić narzędzie przydatne dla władz miejskich, dostarczając dane w czasie rzeczywistym, co umożliwia dostęp do wiarygodnej informacji, realizację aktywnego monitoringu oraz usprawnia proces zarządzania przestrzenią. Należy zwrócić uwagę na szersze wykorzystanie BSP w takich obszarach, jak: planowanie i zagospodarowanie przestrzenne, opodatkowanie nieruchomości, zarządzanie własnością publiczną, dostępność informacji przestrzennej, rozstrzyganie sporów przestrzennych oraz zarządzanie kryzysowe.

Słowa kluczowe: bezzałogowy statek powietrzny (BSP), dane przestrzenne, gospodarka przestrzenna, administracja samorządowa.

Summary: The development of satellite technology, photogrammetry and remote sensing caused the current information systems make use of aerial photographs and satellite as the primary data source. In recent years there has been the idea of establishing an independent, simple system of local sourcing geospatial data based on unmanned aerial vehicles (UAVs). The article presents the areas of application of UAVs in spatial management and the analysis of services provided by unmanned aircraft in Poland. The utility of the use of new technologies for acquiring spatial data is presented using selected examples. Based on the research it can be concluded that the unmanned aircraft vehicles are a helpful tool for urban planners, municipal authorities and urban design companies, providing real-time data, allowing access to reliable information, the implementation of active monitoring and improving the process of spatial management. The main focus should be placed on the wider use of UAVs in such areas as planning and land use, taxation of real estate, management of public property, the availability of spatial information, spatial conflict management and emergency management.

Keywords: unmanned aerial vehicle (UAV), spatial data, spatial management, local government.

1. Wstęp

Realizacja zadań polityki przestrzennej wymaga opracowywania i wykorzystania metod stałej obserwacji i oceny zachodzących przemian społecznych, ekonomicznych i przestrzennych [Borsa 2004]. Poprawa jakości zarządzania przestrzenią zależy od kilku kluczowych czynników związanych z procesem informatyzacji gospodarki przestrzennej: uporządkowania i aktualizacji rejestrów publicznych, uproszczenia procedur udostępniania danych, rozbudowy infrastruktury informacji przestrzennej oraz kreowania informacji zarządczej na podstawie wiarygodnych przekrojowych danych. Systemy geoinformatyczne tworzone w skali lokalnej i regionalnej ułatwiają administracji zarządzanie danymi przestrzennymi, a dzięki ich udostępnieniu w sieci umożliwiają dostęp do geoinformacji szerokiemu gronu użytkowników [Wojkowski 2011].

Rozwój technologii satelitarnej i lotniczej oraz fotogrametrii i teledetekcji sprawił, że tworzone obecnie systemy informacji przestrzennej wykorzystują jako główne źródło danych geometrycznych zdjęcia lotnicze i wysokorozdzielcze obrazy satelitarne. W ostatnich latach promowana jest idea stworzenia niezależnego, prostego systemu lokalnego pozyskiwania danych geoprzestrzennych w oparciu o lekkie bezzałogowe statki powietrzne [Jankowicz 2010]. Jest to zgodne z podejściem *fit-for-purpose*, które dotyczy budowania systemów zarządzania przestrzenią w stosunkowo krótkim czasie, na bazie rozwiązań przystępnych technologicznie i cenowo [The World Bank... 2014]. Celem badań było przeprowadzenie eksperymentów oraz opracowanie założeń technicznych do pozyskiwania danych geoprzestrzennych z niskiego pułapu lotniczego (do 200 m) za pomocą bezzałogowego statku powietrznego (BSP), z uwzględnieniem minimalizacji kosztów realizacji nalotów. Przy prowadzeniu badań wykorzystano BSP do pozyskiwania geoinformacji ob-

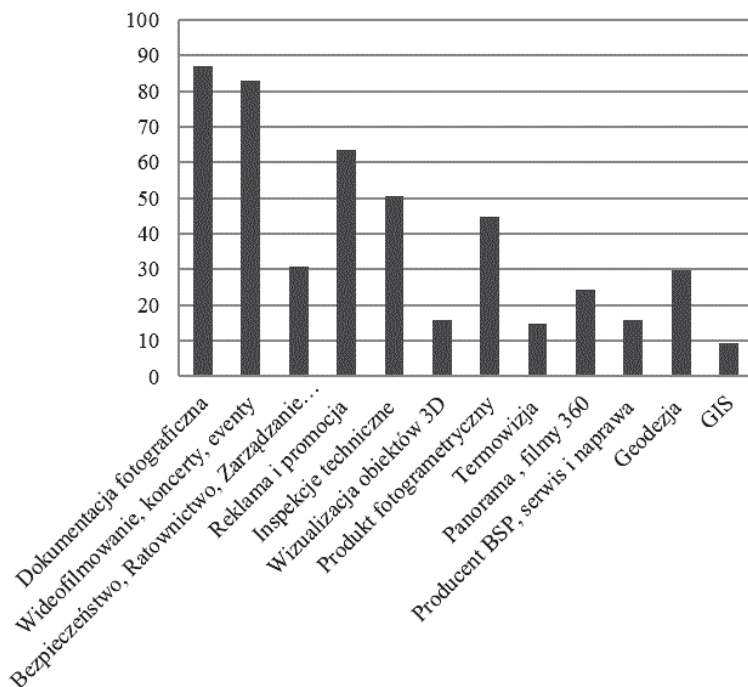
razowej w celu: wywiadowczym (filmy wideo, pojedyncze obrazy cyfrowe); fotointerpretacyjnym (obrazy cyfrowe RGB wysokiej rozdzielczości radiometrycznej, obrazy multispektralne oraz termowizyjne); fotogrametrycznym (ortofotomapa, NMPT, 3D-modelowanie); urbanistyczno-architektonicznym (ortofotoplany, modele 3D elewacji). Na podstawie wykonanych prac eksperymentalnych ustalono parametry techniczne prowadzenia nalotów dla różnych zadań i rekomendacje ich zastosowania w gospodarce przestrzennej. W niniejszym artykule przedstawiono część wyników badań z wykorzystaniem BSP DJI Inspire 1 z kamerą FC350 oraz oprogramowania Pix 4D Pro mapper.

2. Wykorzystanie bezzałogowych statków powietrznych na potrzeby pozyskiwania danych przestrzennych

Bezzałogowe statki powietrzne stanowią narzędzie pomocne dla urbanistów, władz miejskich oraz firm projektowych i planistycznych, dostarczając dane w czasie rzeczywistym, dając możliwość szybkiego i praktycznie natychmiastowego monitorowania sytuacji terenowej. Bezzałogowe statki wyposażone w odpowiednie sensory mają zastosowanie w wielu obszarach, takich jak: obserwacje terenowe – jakościowe i ilościowe, inspekcje techniczne budynków, ustalenie aktualnego użytkowania przestrzeni publicznej, zarządzanie ruchem drogowym, monitorowanie zanieczyszczeń, monitoring zagrożeń, stworzenie mapy nasłonecznienia miasta, co przyczynia się do rozwoju każdego inteligentnego miasta (*smart city*) [Farhan i in. 2014]. Na podstawie zdjęć uzyskanych z pokładu BSP tworzone są fotorealistyczne modele 3D terenu, układów urbanistycznych i pojedynczych budynków przydatne w procesie planowania przestrzennego [Remondino i in. 2011; Nex, Remondino 2014].

Bezzałogowe statki powietrzne wypełniają lukę pomiędzy załogowymi statkami powietrznymi i systemami satelitarnymi. K. Lynch w swojej książce *The Image of the City* [Lynch 1960] stwierdza, że nowe technologie pozyskiwania danych geoprzestrzennych pomagają tworzyć obraz całkowity miasta, dzięki czemu planista lub projektant może zidentyfikować jego część lub strukturę „osadzoną w całości”. BSP pozwala na wykonanie zdjęć z niskiego pułapu dla terenów inwestycyjnych, korytarzy ulic, obszarów przyrodniczych oraz form urbanistycznych, dając urbanistom miejskim nową perspektywę projektowania oraz bezprecedensowy dostęp do danych przestrzennych. Ciekawym przykładem wykorzystania technologii jest projekt dotyczący uregulowania sytuacji planistycznej i prawnej w osiedlach nielegalnych tzw. faveli w Urugwaju. Takie osiedla charakteryzują się gęstą zabudową o nieregularnym kształcie, nietrwałymi konstrukcjami, niektóre obiekty mogą znajdować się na obszarach zagrożonych powodzią – wszystkie te cechy oznaczają, że gromadzenie danych topograficznych jest procesem bardzo skomplikowanym. Eksperyment pokazał, że dane uzyskane ze zdjęć wykonanych z pokładu BSP spełniają wymagania techniczne oraz stanowią najlepsze rozwiązania dla takich tere-

nów [Birriel, González 2006]. Przykłady zastosowania bezzałogowych statków powietrznych w zarządzaniu kryzysowym zawierają prace [Haarbrink, Koers 2006; Levin i in. 2016].



Rys. 1. Struktura usług świadczonych za pomocą bezzałogowych statków powietrznych w 2016 r. (%)

Źródło: opracowanie własne.

Na podstawie analizy działalności ponad 100 firm świadczących usługi za pomocą bezzałogowych statków powietrznych na terenie Polski można wskazać następujące obszary zastosowań cywilnych BSP: bezpieczeństwo, ratownictwo oraz zarządzanie kryzysowe; dokumentacja fotograficzna (zdjęcia lotnicze); fotogrametria, geodezja; GIS; inspekcje techniczne obiektów powierzchniowych i liniowych; monitoring środowiska; panoramy 360 st. oraz filmy sferyczne; pomiary oraz monitoring na potrzeby archeologii, geologii, rolnictwa; produkcja, serwis, rozbudowa, naprawa BSP; reklama i promocja; termowizja; wideofilmowanie oraz obsługa koncertów, eventów, wydarzeń sportowych; wizualizacja obiektów 3D. Zakres i strukturę usług świadczonych przez polskie firmy za pomocą bezzałogowych statków powietrznych przedstawiono na rys. 1. Większość firm świadczy usługi filmowania lub fotografowania z powietrza (87%), jednak część firm zaczyna się specjalizować w takich usługach, jak inspekcje techniczne (50%), produkty fotogrametryczne (45%) lub geodezja (30%). Poszerzenie oferty dotyczy również kręgu klientów, co-

raz częściej firmy szukają zleceniodawców wśród podmiotów publicznych: organów administracji samorządowej i rządowej, policji, straży pożarnej.

3. Przykłady pozyskiwania geoinformacji obrazowej za pomocą BSP

W gospodarce przestrzennej bada się wiele elementów przyczyniających się do zrównoważonego rozwoju, zatem technologie GIS (*Geographical Information System*) mogą w znacznym stopniu wspomóc ten proces. Dotychczasowe wykorzystanie GIS w planowaniu przestrzennym polega głównie na gromadzeniu dokumentów opisujących politykę przestrzenną gminy. Dzięki temu można zintegrować poszczególne strategie (gospodarczą, przestrzenną, społeczną, plany rewitalizacji, ochrony dziedzictwa przyrodniczego i kulturowego, plany zarządzania kryzysowego). Takie zebranie informacji w jednym miejscu umożliwia i ułatwia podejmowanie różnego rodzaju decyzji, dając możliwość monitorowania inicjatyw zrealizowanych, realizowanych i planowanych na terenie gminy. Oprogramowanie GIS daje też możliwość przygotowania prezentacji kartograficznej i multimedialnej. Graficzne przedstawienie wielu zjawisk i odpowiednie udostępnienie tych informacji mieszkańcom pozwala na łatwiejsze włączenie się do procesu planowania lokalnej społeczności [Wojkowski 2011]. Nowe technologie pozyskiwania danych za pomocą BSP wspomagają rozbudowę infrastruktury informacji przestrzennej oraz kreowanie informacji zarządczej na podstawie aktualnych zbiorów danych numerycznych i obrazowych. Rodzaj i jakość danych pozyskiwanych za pomocą bezzałogowych statków powietrznych zależy w dużej mierze od zainstalowanego na nich sensora. Obecnie nawet najprostsze modele BSP wyposażone są w dobrej jakości sensory RGB. Z kolei sprzęt zaliczany do kategorii półprofesjonalnej i profesjonalnej wyposażony jest w doskonałej jakości wymienne sensory, m.in. RGB, R, G, B, IR, THERMO czy LIDAR. Pomimo dużej różnorodności zarówno wśród samych bezzałogowych statków powietrznych, jak i sensorów, w które mogą zostać one wyposażone, należy wyróżnić dwa podstawowe sposoby rejestrowania obrazu: zdjęcia i pliki wideo. Obecnie standardem wśród sensorów RGB jest stosowanie matryc o rozdzielczości co najmniej 12 Mpix, co przekłada się najczęściej na zdjęcia o rozdzielczości 4000×3000 pix.

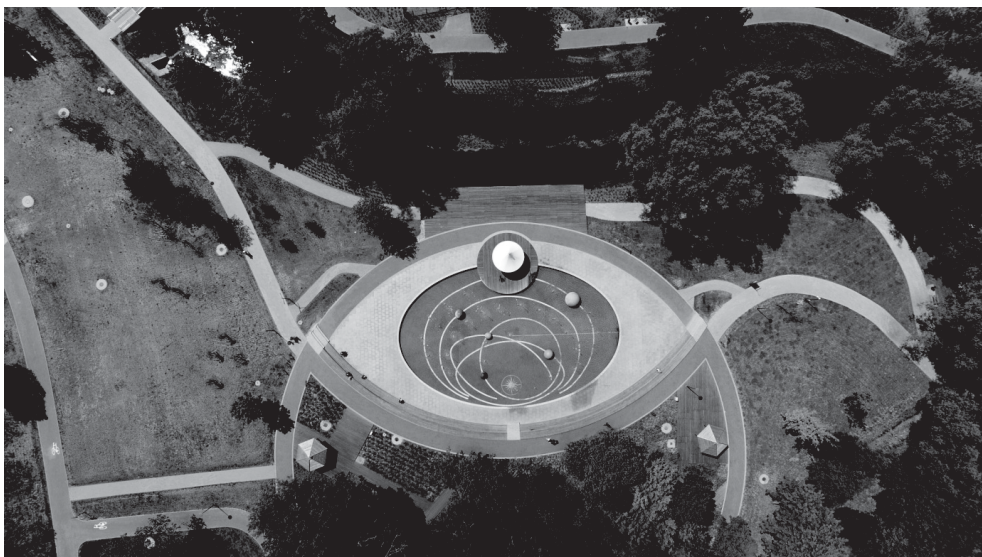
Pierwszy etap badań polegał na wykonaniu dokumentacji zdjęciowej z pokładu BSP. Na potrzeby monitoringu wskazanych obszarów wykonane zostały pojedyncze zobrazowania. Przykłady zdjęć ukośnego i pionowego przedstawiono na rys. 2 i 3.

Takie zdjęcia wykonane za pomocą bezzałogowych statków powietrznych w gospodarce przestrzennej mogą być wykorzystywane do monitorowania przestrzeni m.in. w celu ustalenia miejsc składowania odpadów i nielegalnych wysypisk śmieci, inwentaryzacji terenów zieleni, identyfikacji samowoli budowlanej, monitorowania miejsc parkingowych, ustalenia zmian funkcji terenu.



Rys. 2. Koszary Dragonów, Olsztyn (przykład 1) – zdjęcie ukośne (RGB)

Źródło: badanie własne.



Rys. 3. Park Centralny, Olsztyn (przykład 2) – zdjęcie pionowe (RGB)

Źródło: badanie własne.

Przy projektowaniu jednoszeregowych i wieloszeregowych nalotów fotogrametrycznych wykonuje się prace przygotowawcze. Ich głównym celem jest opracowanie

projektu nalotu do pozyskiwania geoinformacji obrazowej z odpowiednimi parametrami dokładności, geometrycznej rozdzielczości i radiometrycznej jakości. Dla dużych obiektów niezbędne jest ustawienie parametrów lotu na zasadach określonych w Wytycznych technicznych K-2.7 „Zasady wykonania prac fotolotniczych”, m.in. wyznaczanie skali zdjęcia, położenia centrum fotografowania, terenowego zasięgu zdjęcia oraz linii kierunku zdjęcia. Przydatne jest wykorzystywanie systemów projektowania i kontroli lotów, dla przykładu Mission Planner (dla BSP wyposażonych w kontroler Pixhawk i jego pochodne) lub Map Pilot (dla BSP marki DJI). Produktami, które mogą zostać wygenerowane na podstawie zdjęć prawie pionowych, a których zastosowanie wnosi nową jakość w proces zarządzania przestrzenią, są: ortofotomapa, chmura punktów i model 3D. Ortofotomapa to mapa stanowiąca obraz aerofotograficzny przetworzony metodą różniczkową i nawiązany do układu współrzędnych przyjętego odwzorowania kartograficznego. Obecnie standardem wśród ortofotomap generowanych ze zdjęć pozyskanych za pomocą BSP jest rozdzielczość terenowa 5 cm/pix, jednak w zależności od wybranych parametrów nalotu i sensora RGB możliwe jest uzyskanie rozdzielczości nawet na poziomie 1 cm/pix, co pozwala odwzorowywać przestrzeń z bardzo dużą dokładnością. Ortofotomapa może stanowić podstawę opracowania m.in. mapy ewidencyjnej, mapy sytuacyjno-wysokościowej, mapy zasadniczej, mapy topograficznej, map tematycznych, map zasięgów badanego zjawiska. Przykład ortofotomapy obrazującej przestrzeń o powierzchni 67 tys. m², powstałej na podstawie 168 zdjęć pionowych, wykonanych w trakcie nalotu charakteryzującego się następującymi parametrami: pokrycie podłużne i poprzeczne – 90%, wysokość nalotu – 80 m AGL, GSD – 3,5 cm/pix, przedstawiono na rys. 4. Kolejnym produktem jest chmura punktów, czyli numeryczna reprezentacja przestrzeni (model powierzchni terenu uzupełniony o elementy naturalne (roślinność) i antropogeniczne (obiekty budowlane) przedstawiony za pomocą zorganizowanego zbioru punktów charakteryzujących się określonymi w wybranym odwzorowaniu współrzędnymi X, Y, Z. Chmurę punktów składającą się z ponad 12,5 mln pkt., wygenerowaną na podstawie 179 zdjęć pionowych, wykonanych w trakcie nalotu charakteryzującego się następującymi parametrami: pokrycie podłużne i poprzeczne – 80%, wysokość nalotu – 60 m AGL, GSD – 2,5 cm/pix, przedstawiono na rys. 5. Chmurę punktów wykorzystuje się m.in. do analiz widoczności, nasłonecznienia, potencjału solarnego, obszarów zalewowych.

W ostatnich latach nastąpił rozwój badań dotyczących wykorzystania niemetrycznych obrazów cyfrowych uzyskanych za pomocą BSP do rekonstrukcji trójwymiarowych realistycznych modeli zarówno pojedynczych obiektów budowlanych, jak i całych krajobrazów kulturowych. Wpływ na to ma rozszerzenie możliwości automatyzacji procesu przetwarzania danych obrazowych za pomocą specjalistycznego oprogramowania. Model 3D jest to zbudowany z siatek wielokątów lub definiowany za pomocą krzywych bądź powierzchni parametrycznych foto-realistyczny model odwzorowujący rzeczywistość z zachowaniem jej proporcji i geometrii. Modele 3D są wykorzystywane na potrzeby analiz środowiskowych, urba-



Rys. 4. Skrzyżowanie ulic Piłsudskiego i Leonharda, Olsztyn (przykład 3) – ortofotomapa (RGB)

Źródło: badanie własne.

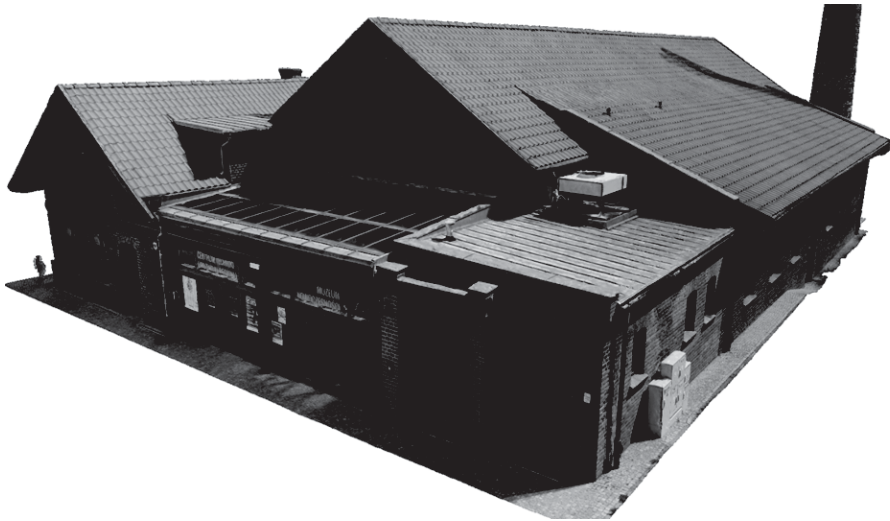


Rys. 5. Stadion Miejski, Olsztyn (przykład 4) – chmura punktów

Źródło: badanie własne.

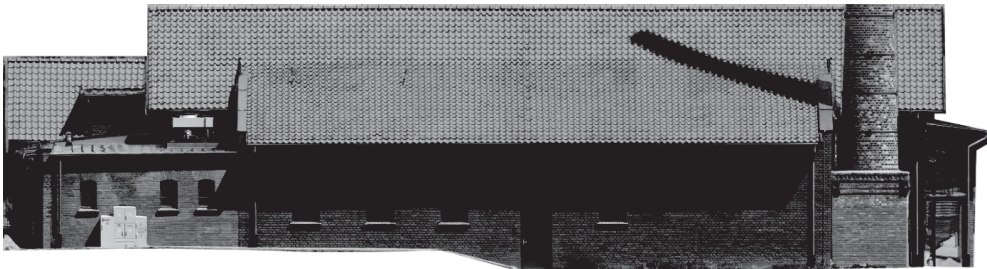
nistycznych lub antykrzysowych. Przedstawiony na rys. 6 trójwymiarowy model obiektu zabytkowego zbudowany z prawie 5 mln trójkątów, wygenerowany został na podstawie 168 zdjęć poziomych, ukośnych i pionowych, wykonanych w trakcie nalotu BSP charakteryzującego się następującymi parametrami: pokrycie podłużne i poprzeczne – 90%, GSD – 0,5 cm/pix. Do wygenerowania modelu użyto oprogramowania Pix4D Pro mapper. Na podstawie zdjęć lotniczych uzyskanych za pomocą bezzałogowego statku powietrznego można wygenerować ortofotoplany elewacji obiektu budowlanego pozwalający na uzupełnienie bądź odtworzenie z fotograficzną dokładnością części dokumentacji technicznej obiektu, przygotowanie doku-

mentacji konserwatorskiej, wykonanie pomiarów wybranych elementów elewacji, analizy geometrii i zniekształceń obiektu. Przykład takiego opracowania, które w kolejnych etapach przetwarzania może zostać poddane np. wektoryzacji, przedstawiono na rys. 7.



Rys. 6. Tartak Raphaelsohnów, Olsztyn (przykład 5) – model 3D

Źródło: badanie własne.



Rys. 7. Tartak Raphaelsohnów, Olsztyn (przykład 6) – ortofotoplan elewacji południowej

Źródło: badanie własne.

Zbiornicze zestawienie parametrów realizacji dla przedstawionych przykładów zawiera tab. 1.

Tabela 1. Podstawowe parametry realizacji nalotów oraz uzyskanych efektów dla przedstawionych przykładów

Tryb przeprowadzenia nalotu	Powierzchnia zobrazowania (km ²)	Liczba zdjęć (szt.)	Rodzaj zdjęć	Wysokość nalotu (m AGL)	Pokrycie poprzeczne (%)	Pokrycie podłużne (%)	Rozdzielczość GSD (cm/pix.)	Materiał końcowy
Manualny	≈ 0,04	1	ukośne	120	–	–	≈6,0	obraz cyfrowy
Manualny	0,03	1	pionowe	95	–	–	5,0	obraz cyfrowy
Automatyczny	0,07	168	pionowe	80	90	90	3,5	ortofotomapa
Automatyczny	–	179	pionowe	60	80	80	2,5	chmura punktów
Manualny	–	168	pionowe, poziome, ukośne	2-40	≈ 80-90	≈ 80-90	0,5	model 3D
Manualny	–	77	poziome, ukośne	2-8	≈ 80-90	≈ 80-90	0,5	ortofotoplan

Źródło: badanie własne.

4. Zakończenie

Wraz z upływem czasu technologia pozyskiwania danych geoprzestrzennych z użyciem BSP zaczyna być coraz bardziej powszechna, popularna i znajduje coraz więcej zastosowań na rynku cywilnym, w tym również w Polsce. Jak pokazują prace eksperymentalne, wdrożenie geoinformacji obrazowej uzyskanej z pokładu bezzałogowych statków powietrznych w postaci filmów wideo, obrazów cyfrowych pojedynczych lub serii zdjęć umożliwia szybki dostęp do wiarygodnej informacji, realizację aktywnego monitoringu oraz może usprawnić proces zarządzania przestrzenią. Niemniej jednak zastosowanie BSP wymaga dokładnego zaprojektowania jednoszeregowych i wieloszeregowych lotów, wykonania nalotu w ramach wybranego trybu (manualnego, automatycznego lub półautomatycznego) i oprogramowania (Mission Planer, Map Pilot) oraz oceny jakości geometrycznej i radiometrycznej uzyskanych obrazów. Należy zwrócić uwagę na możliwość szerszego wykorzystania BSP w takich obszarach, jak: planowanie i zagospodarowanie przestrzenne oraz opodatkowanie nieruchomości, zarządzanie własnością publiczną, dostępność informacji przestrzennej, rozstrzyganie sporów przestrzennych oraz zarządzanie konfliktami, zarządzanie kryzysowe. Aby można było rozwijać zastosowania technolo-

gii bezzałogowych w gospodarce przestrzennej, należy wykonać dalsze badania w celu: określenia optymalnych zastosowań BSP w różnych zadaniach gospodarki przestrzennej, opracowania i wprowadzenia odpowiednich standardów bezpieczeństwa przy wykonywaniu lotów bezzałogowych, opracowania standardów technicznych projektowania, symulacji i wykonywania nalogów, dostosowania formatów danych uzyskanych za pomocą bezzałogowych statków powietrznych do oprogramowania wspierającego zarządzanie przestrzenią.

Literatura

- Birriel P., González R., 2016, *UAVs as Tools for Urban Planning in Uruguay*, Photogrammetric Surveys of Irregular Settlements GIM international, <http://www.gim-international.com/content/article/uav-as-a-tool-for-urban-planning> (1.08.2016).
- Borsa M., 2004, *Gospodarka i polityka przestrzenna*, Wyższa Szkoła Ekonomiczno-Społeczna, Warszawa.
- Farhan M., Idres A., Nader M., Jameela A., Imad J., 2014, *UAVs for smart cities: Opportunities and challenges*, International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS), 27-30 May 2014, Orlando, Florida, s. 267-273.
- Haarbrink R.B., Koers E., 2006, *Helicopter UAV for photogrammetry and rapid response*, The International Archives of Photogrammetry, Remote sensing and Spatial Information Sciences, Antwerp, Belgium, vol. XXXVI-1/W44.
- Jankowicz B., 2010, *Fotogrametryczne niskopulapowe naloty platform autonomicznych*, Infrastructure and Ecology of Rural Areas, no. 3, s. 95-101.
- Levin E., Zarnowski A., McCarty J.L., Bialas J., Banaszek A., Banaszek S., 2016, *Feasibility study of inexpensive thermal sensors and small UAS deployment for living human detection in rescue missions application scenarios*, Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci., XLI-B8, s. 99-103.
- Lynch K., 1960, *The Image of the City*, MIT Press, Cambridge Massachusetts.
- Nex F., Remondino F., 2014, *UAV for 3D mapping applications: A review*, Applied Geomatics, vol. 6, iss. 1, s. 1-15.
- Remondino F., Barazzetti L., Nex F., Scaioni M., Sarazzi D., 2011, *UAV photogrammetry for mapping and 3d modeling – current status and future perspectives*, International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, vol. XXXVIII-1/C22, Zurich.
- The World Bank and the International Federation of Surveyors (FIG), 2014, *Fit-For-Purpose Land Administration*, Copenhagen.
- Wojkowski J., 2011, *Rola technologii geoinformacyjnych w planowaniu i gospodarce przestrzennej*, [w:] Pijanowski J.M. (red.), *Podniesienie jakości kształcenia akademickiego w zakresie geodezyjnego urzędowania obszarów wiejskich w oparciu o doświadczenia praktyki i szkolnictwa wyższego Bawarii*, Wydawnictwo Uniwersytetu Rolniczego im. Hugona Kołłątaja, Kraków, s. 47 -56.
- Wytyczne techniczne K-2.7. *Zasady wykonywania prac fotolotniczych*, 1999, Główny Urząd Geodezji i Kartografii (GUGiK), Warszawa.