

NISKOKOSZTOWY, BEZZAŁOGOWY STATEK POWIETRZNY WYPOSAŻONY W KAMERĘ NIEMETRYCZNĄ JAKO ŹRÓDŁO DANYCH WYSOKOŚCIOWYCH

Michał TARGOŃSKI*

Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Politechnika Białostocka, ul. Wiejska 45A, 15-351 Białystok

Streszczenie: W ramach niniejszej pracy przeprowadzono badania mające na celu ocenę potencjału pomiarowego kamery niemetrycznej umieszczonej na platformie lotniczej operującej na niskim pułapie. Wykorzystano do tego popularny model zdalnie sterowanego czterowirnikowca. Pozyskane zobrazowania zostały przetworzone do postaci trójwymiarowej chmury punktów, którą skonfrontowano z danymi LiDAR zebranymi w ramach projektu ISOK.

Słowa kluczowe: Bezzałogowy Statek Powietrzny, dron, chmura punktów, GIS.

1. Wprowadzenie

Wykorzystanie Bezzałogowych Statków Powietrznych (BSP) nazywanych popularnie dronami (ang. *drone* – truteń, brzęczek), przestało być wyłączną domeną wojska. Spadek cen platform lotniczych przyczynił się do dynamicznego rozwoju sektora cywilnego. Obecnie BSP są wykorzystywane między innymi do tworzenia materiałów promocyjnych, monitorowania imprez masowych, inwentaryzacji majątku, patrolowania dróg czy koordynacji akcji ratunkowych (ULC, 2013).

Zdalnie sterowane modele mogą być wyposażone w różnego rodzaju aparaturę rejestrującą (aparaty, kamery, skanery), która pozwala wykonywać badania z zakresu ochrony przyrody, leśnictwa, rolnictwa, budownictwa i energetyki. Wraz z udoskonalaniem sprzętu ma miejsce rozwój oprogramowania służącego między innymi do planowania misji czy sterowania wirnikowcem podczas lotu. Powstają również narzędzia służące do półautomatycznego lub automatycznego przetwarzania zebranych danych oraz tworzenia z nich produktów pochodnych, takich jak: ortofotomapy, chmury punktów czy Numeryczne Modele Pokrycia Terenu (NMPT) (Bujakiewicz i Preuss, 2016).

Celem pracy była ocena możliwości wykorzystania kamery niemetrycznej umieszczonej na Bezzałogowym Statku Powietrznym do pozyskiwania danych wysokościowych.

2. Kamera niemetryczna źródłem danych wysokościowych

Systemy BSP wyposażone w kamery niemetryczne mogą pełnić rolę platform fotogrametrycznych i tele-detekcyjnych do realizacji badania na niewielkich obszarach. Pozyskane cyfrowo zobrazowania fotogrametryczne stanowią dwuwymiarową projekcję terenu na płaszczyznę tłową zdjęcia, zapisaną w postaci macierzy pikseli, w których przechowywana jest odpowiedź spektralna poszczególnych elementów terenowych. Dane te mogą być wykorzystane do wytworzenia Numerycznych Modeli Terenu (NMT), brył budynków, a nawet ekstrakcji ich poszczególnych elewacji. Wykorzystanie odpowiedniego pakietu fotogrametrycznego pozwalającego na automatyczne generowanie NMPT i NMT oraz tworzenia ortoobrazu zapewnia końcowy produkt o dokładności kilku centymetrów (ULC, 2013; Bujakiewicz i Preuss, 2016).

Technologia gęstego dopasowania pokrywających się cyfrowych zdjęć fotogrametrycznych pozwala na generowanie trójwymiarowej chmury punktów. Algorytm korelacji obrazów stereoskopowych ma na celu rekonstrukcję trójwymiarowej powierzchni poprzez wyszukanie punktów homologicznych na parze zdjęć o znanej orientacji wewnętrznej i zewnętrznej. W przypadku gdy mamy do czynienia ze zdjęciami cechującymi się dużym pokryciem podłużnym i poprzecznym, algorytm wykorzystuje kombinację wielu stereo-dopasowanych zdjęć, dostarczając nadliczbowych obserwacji, co pozwala eliminować błędy dopasowywania, a dzięki temu zwiększyć dokładność generowania chmury punktów. Wynikiem korelacji zdjęć

* Autor odpowiedzialny za korespondencję. E-mail: m.targonski@student.pb.edu.pl

jest zbiór punktów (posiadających współrzędne XYZ), zdefiniowanych w prostokątnym układzie współrzędnych, przedstawiających obiekty w przestrzeni trójwymiarowej (Kędzierski i in., 2014; Bujakiewicz i Preuss, 2016).

3. Teren i metodyka badań

W lipcu 2016 roku przeprowadzono fotogrametryczny nalot niskopłajowy z wykorzystaniem popularnego modelu czterowirnikowca DJI Phantom 3 Advanced o napędzie elektrycznym, sterowanego zdalnie lub poruszającego się po wcześniej zaplanowanej trasie (Phantom 3, 2015).

Obszar opracowania obejmuje fragment miasta Białegostoku, będący częścią kampusu Politechniki Białostockiej. Jest to prostokąt o wymiarach 150×145 m, o powierzchni 2,175 ha (rys. 1). Obecnie znajdują się na nim trzy budynki Wydziału Budownictwa i Inżynierii Środowiska, których trójwymiarową reprezentację chciano uzyskać.

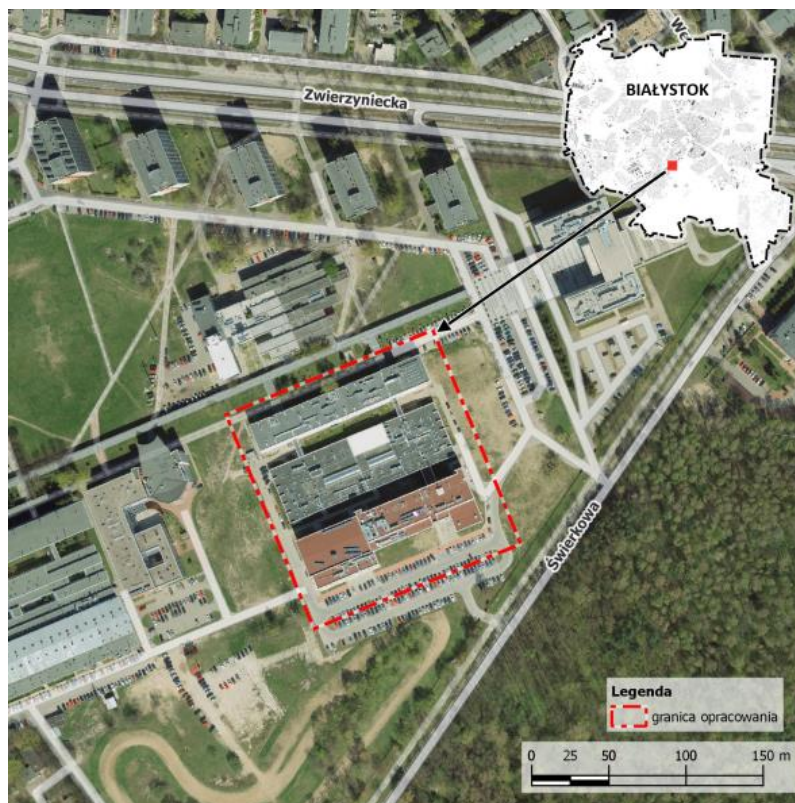
W trakcie nalołów wykonano serie 197 zdjęć o znacznym wzajemnym pokryciu podłużnym i poprzecznym. Część fotografii została wykonana jako zdjęcia prawie pionowe, przedstawiające głównie dachy budynków oraz elementy infrastruktury, które się na nich znajdują. W celu odwzorowania elewacji budynków wykonano zdjęcia ukośne, które pozwalają również na uwidocznienie podcieni budynków i innych elementów niewidocznych z góry (Bujakiewicz i Preuss, 2016).

Pozyskane zobrazowania zostały przetworzone

z wykorzystaniem oprogramowania, które umożliwia w pełni automatyczną orientację wzajemną z jednoczesnym wyznaczaniem parametrów orientacji wewnętrznej. Wykorzystano do tego celu oprogramowane PhotoScan firmy Agisoft w wersji profesjonalnej, które jest zaawansowanym narzędziem służącym do tworzenia danych trójwymiarowych na podstawie fotografii wykonanych aparatami cyfrowymi (zarówno metrycznymi, jak i niemetrycznymi). Pozwala ono na wygenerowanie chmury punktów o wysokiej gęstości, reprezentującej trójwymiarowy model pokrycia terenu analizowanego obszaru, wykorzystując procedurę wieloobrazowego dopasowywania (Agisoft, 2016).

Otrzymane wyniki porównano z chmurą punktów, znajdującą się w Państwowym Zasobie Geodezyjnym i Kartograficznym, pozyskaną metodą LiDAR. LiDAR (ang. *Light Detection and Ranging*) jest to aktywny system teledetekcyjny wykorzystujący promieniowanie elektromagnetyczne z zakresu bliskiej podczerwieni. Zamontowane w skanerze źródło światła generuje impulsy, a moduł obliczeniowy określa czas od jego wysłania do powrotu do urządzenia po odbiciu od przeszkody terenowej (Podręcznik, 2014)

Do porównania wykorzystano chmurę punktów LiDAR pozyskaną na terenie Białegostoku w ramach projektu ISOK, wykonaną w Standardzie II, ze średnią gęstością 12 pkt/m². Dokładność wysokościowa (błąd średni) chmury po wyrównaniu wynosi $\leq 0,10$ m, natomiast dokładność sytuacyjna (błąd średni) po wyrównaniu $\leq 0,40$ m (CODGiK, 2017).



Rys. 1. Lokalizacja obszaru opracowania. Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych CODGiK i Open Street Map

4. Analiza uzyskanych wyników

Podstawowym produktem otrzymanym w wyniku przeprowadzonych badań jest gęsta chmura punktów widoczna na rysunku 2, powstała ze zdjęć wykonanych nad obszarem opracowania (rys. 3). Składa się ona z ponad 16 miliona punktów, które szczegółowo odwzorowują trójwymiarową bryłę budynków znajdujących się na analizowanym obszarze. Dla porównania, chmura punktów pozyskanych metodą LiDAR, obejmująca ten sam teren, składa się z około 1,8 miliona punktów.

Średnia gęstość punktów pozyskanych metodą LiDAR, które zostały wykorzystane do budowy NMPT (jedynie punkty zarejestrowane jako pierwsze odbicia oraz należące do klas: grunt, roślinność, budynki, budowle i obiekty inżynierskie), wyniosła 8,3 pkt/m² (rys. 4a). Poprzez korelację zdjęć uzyskano średnią gęstość 759 pkt/m², jednak w tym przypadku – z uwagi na dużą nadliczbowość punktów znajdujących się na elewacjach budynków – bardziej miarodajna będzie mediana gęstości, która wyniosła 543 pkt/m² (rys. 4b).

Analizując przestrzenny rozkład gęstości punktów należy zwrócić uwagę na luki w danych pozyskanych metodą LiDAR. Wyraźnie widać, że wiązka lasera nie zarejestrowała dwóch świetlików znajdujących się na dachu budynku, podczas gdy te obiekty są widocznie na chmurze pozyskanej ze zdjęć.

Gęsta chmura punktów posłużyła do stworzenia Numerycznego Modelu Pokrycia Terenu (rys. 5b), na którym wyraźnie widać zmiany, jakie zaszły pomiędzy 2012 a 2016 rokiem na analizowanym obszarze. Można rozpoznać nowy budynek, zlokalizowany w miejscu dawnego parkingu, jak również zidentyfikować drzewa, które zostały wycięte podczas jego budowy (lewy dolny róg rysunku 5a). Na dachach dwóch pozostałych budynków można zauważyć przewody wentylacyjne zamontowane podczas remontu obiektów.

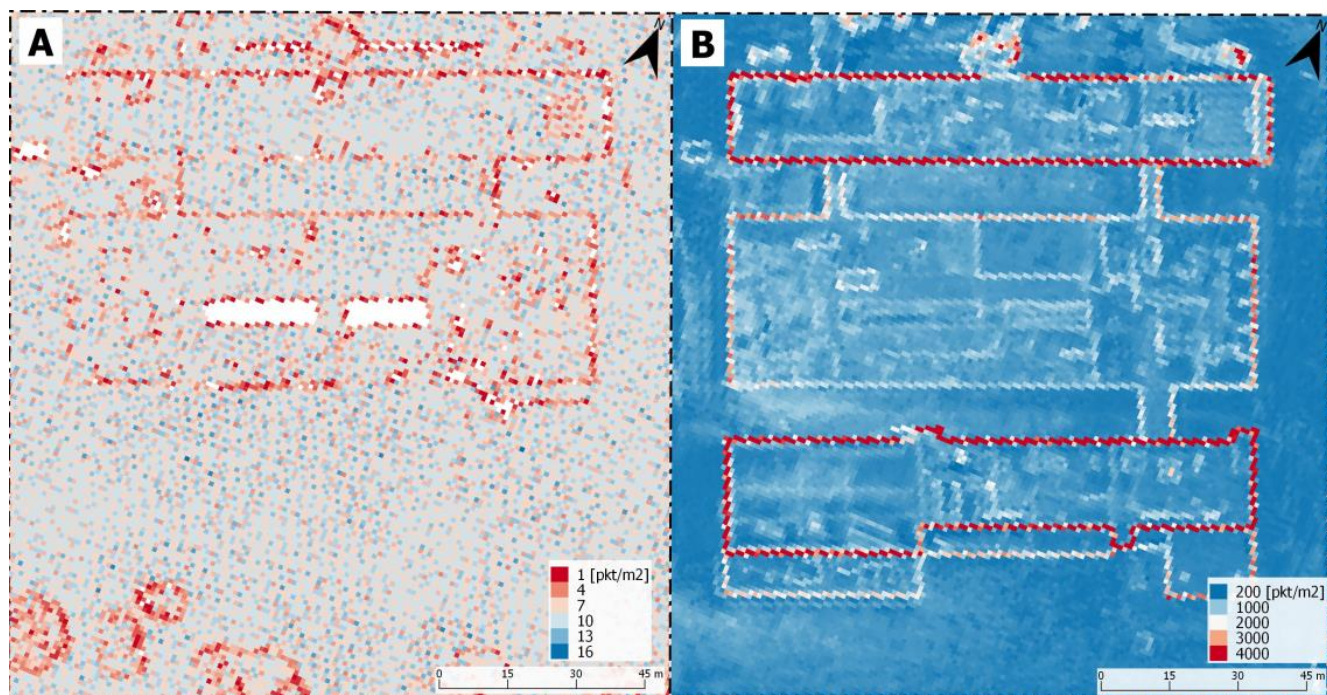
NMPT stworzony na podstawie zdjęć pozyskanych z pokładu BSP (rys. 5b) z dużo większą szczegółowością odwzorowuje powierzchnię terenu, niż dane pozyskane metodą LiDAR (między innymi murki okalające dachy są widoczne jedynie na rysunku 5b).



Rys. 2. Rzut izometryczny chmury punktów przedstawiającej fragment obszaru opracowania, stworzony na podstawie zdjęć wykonanych z pokładu bezzałogowego statku powietrznego



Rys. 3. Zdjęcie ukośne wykonane z pokładu bezzałogowego statku powietrznego, przedstawiające fragment obszaru opracowania



Rys. 4. Przestrzenny rozkład gęstości chmury punktów: a) pozyskanych metodą LiDAR, b) stworzonych na podstawie zdjęć wykonanych z pokładu bezzałogowego statku powietrznego. Źródło: Dane CODGiK oraz opracowanie własne



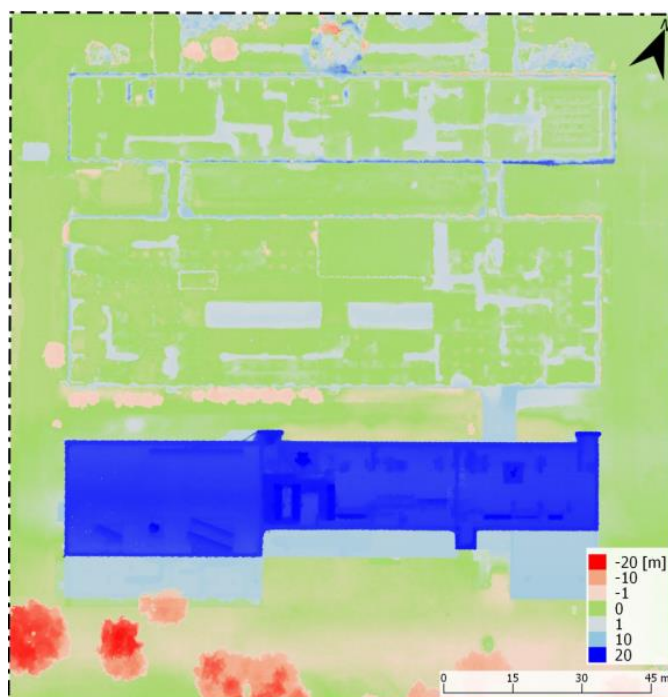
Rys. 5. Numeryczny Model Pokrycia Terenu obszaru objętego opracowaniem: a) stworzona na podstawie danych LiDAR – stan na rok 2012, b) stworzona na podstawie zdjęć wykonanych z pokładu bezzałogowego statku powietrznego – stan na rok 2016. Źródło: Dane CODGiK oraz opracowanie własne

W celu oceny dokładności pozyskanych danych wysokościowych przeanalizowano przestrzenny rozkład różnicy wysokości NMPT opracowanego na podstawie zdjęć wykonanych z pokładu bezzałogowego statku powietrznego oraz NMPT opracowanego na podstawie danych LiDAR (rys. 6). Analiza potwierdza przytoczone wcześniej spostrzeżenia że uwidoczniło się nowe powstałe obiekty oraz detale niezarejestrowane metodą LiDAR (odcienie niebieskiego), jak również elementy, które zniknęły z badanego obszaru (odcienie czerwone).

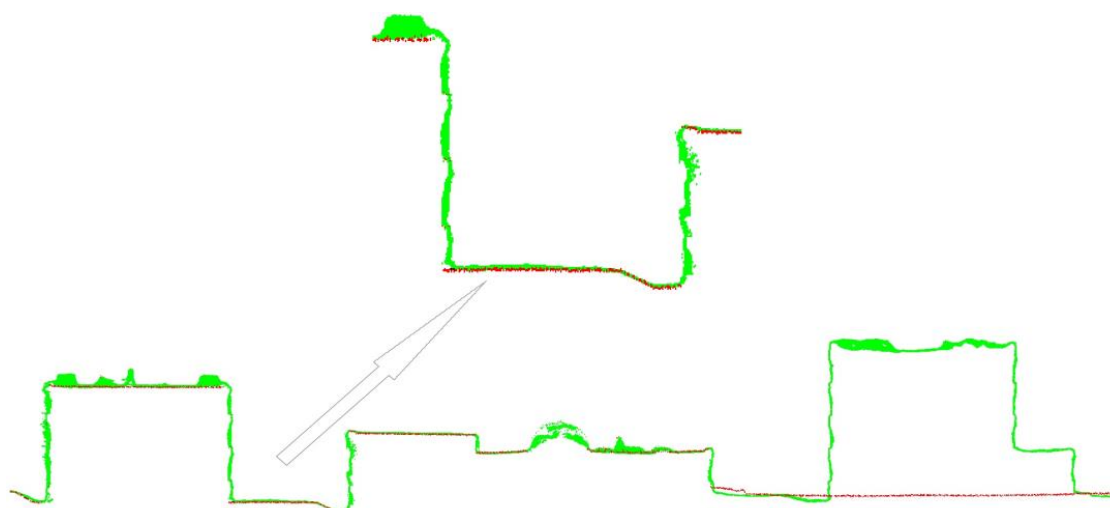
Ocena jakości dopasowania na podstawie średniej różnicy wysokości pomiędzy modelami, z uwagi

na istotne zmiany jakie zaszły w zagospodarowaniu terenu, byłoby niemiernodajna. Średnia różnica wysokości pomiędzy modelami, na obszarach które nie uległy przekształceniu, wynosi około 18 cm.

Przekrój przez chmury punktów (rys. 7) pozwala zauważyć zadowalający stopień dopasowania produktów pozyskanych porównywanymi metodami. Dodatkowo, należy zwrócić uwagę na wyraźnie większą liczbę punktów zarejestrowanych na elewacjach budynków w chmurze stworzonej na podstawie zdjęć wykonanych z pokładu Bezzałogowego Statku Powietrznego.



Rys. 6. Rozkład przestrzenny różnicy wysokości NMPT opracowanego na podstawie zdjęć wykonanych z pokładu bezzałogowego statku powietrznego oraz NMPT opracowanego na podstawie danych LiDAR. Źródło: Opracowanie własne z wykorzystaniem danych CODGiK



Rys. 7. Przekrój fragmentu chmur punktów z obszaru objętego opracowaniem (kolor czerwony – punkty pozyskane metodą LiDAR, kolor zielone – punkty stworzone na podstawie zdjęć wykonanych z pokładu bezzałogowego statku powietrznego). Źródło: Opracowanie własne z wykorzystaniem danych CODGiK

5. Wnioski

Otrzymane wyniki pozwalają stwierdzić, że dane pozyskane z wykorzystaniem niemetrycznej kamery zintegrowanej z popularnym modelem Bezzałogowego Statku Powietrznego mogą być wykorzystane do wygenerowania trójwymiarowej chmury punktów oraz Numerycznego Modelu Pokrycia Terenu z wykorzystaniem algorytmów do automatycznej orientacji i korelacji wielu zdjęć. Porównanie z danymi pozyskanymi metodami tradycyjnymi dało satysfakcjonujące wyniki, wykazując dużą zgodność pomiędzy porównywanymi modelami.

Zobrazowania pozyskane z wykorzystaniem kamery niemetrycznej mogą być istotnym uzupełnieniem materiałów pochodzących z pomiarów geodezyjnych i fotogrametrycznych, jak również stanowić podstawę do tworzenia samodzielnych opracowań inżynierskich. Większa gęstość chmury punktów charakteryzująca się większą szczegółowością niż dane LiDAR, pozwala na identyfikację większej liczby detali analizowanego obszaru.

Istotnym atutem wykorzystanego rozwiązania jest niska cena zakupu platformy oraz jej późniejszej eksploatacji. Pozwala to na częstą aktualizację istniejących zbiorów danych przestrzennych oraz inwentaryzację zmian, które zaszły od czasu wykonania poprzednich pomiarów. Jednak rozwiązanie jest uzasadnione ekonomicznie do pozyskiwania wysokorozdzielczych danych obejmujących jedynie małe obszary.

Literatura

Agisoft (2016). Agisoft PhotoScan User Manual Professional Edition, Version 1.2. Agisoft LLC. www.agisoft.com [dostęp: 16.02.2017].

Bujakiewicz A., Preuss R. (2016). Wieloźródłowe dane fotogrametryczne dla tworzenia 3D modeli miast. *Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Koszalińskiej*, Koszalin.

CODGiK (2017). Numeryczne Dane Wysokościowe. *Centralny Ośrodek Dokumentacji Geodezyjnej i Kartograficznej*. www.codgik.gov.pl/index.php/zasob/numeryczne-dane-wysokosciowe.html [dostęp: 16.02.2017].

Kędzierski M., Fryśkowska A., Wierzbicki D. (2014). Opracowania fotogrametryczne z niskiego pułapu. M. Kędzierski (red.), *Wojskowa Akademia Techniczna*, Warszawa.

Phantom 3 (2015). Advanced. Instrukcja obsługi v1.0.

Podręcznik dla uczestników szkoleń z wykorzystania produktów LiDAR (2014). P. Wężyk (red.), *Główny Urząd Geodezji i Kartografii*, Warszawa.

UCL (2013). Bezzałogowe statki powietrzne w Polsce. Raport o aktualnym stanie prawnym odnoszącym się do bezzałogowych statków powietrznych (Raport otwarcia). Urząd Lotnictwa Cywilnego, Zespół do spraw bezzałogowych statków powietrznych, Warszawa. www.ulc.gov.pl/_download/publikacje/_UAV_raport_ULC_2013.pdf, [dostęp: 16.02.2017].

LOW-COST, UNMANNED AERIAL VEHICLE WITH NON-METRIC CAMERA AS A SOURCE OF ELEVATION DATA

Abstract: The aim of the study was to assess the potential of nonmetric camera placed at the unmanned aerial vehicle as a source of elevation data. In the study the popular model of remote-controlled quadcopter was used. The acquired imaging were processed to three-dimensional point cloud, which was next compared with the LiDAR data collected in the project ISOK.

Badania zostały zrealizowane w ramach pracy numer MB/WBiIS/13/2016