

PORÓWNANIE PROCESU KARTOWANIA ELEMENTÓW ŚRODOWISKA PRZYRODNICZEGO Z WYKORZYSTANIEM TECHNOLOGII GPS I UAV

MACIEJ SMACZYŃSKI

Zakład Kartografii i Geomatyki, Wydział Nauk Geograficznych i Geologicznych,
Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu,
ul. B. Krygowskiego 10, 61-680 Poznań

Abstract: The dynamic development of unmanned aerial vehicles allows them to be used in various sectors of everyday life. Also in the field of earth sciences, increasingly often unmanned aerial vehicles are seen as a tool for spatial data acquisition, on the basis of which it is possible to edit the thematic map. Often, the mapping of the natural environment for the purposes of editing the map is done using a GPS receiver. This allows the accuracy of the mapping on map scales of 1:10 000 and smaller. The need to edit large scale maps in the aspect of the natural environment components protection requires the use of more accurate measurement methods. The research problem is to identify the potential of low aerial imagery in the environmental inventory process. For this purpose, the results acquired from the GPS receiver and UAV technology will be analyzed.

Keywords: environmental inventory, UAV, BSP, mobile GPS, data acquisition, geomatic

WPROWADZENIE

Obszary zurbanizowane często charakteryzują się zdegradowanym środowiskiem przyrodniczym (Macias, Kubacka 2015). Niestety często wiąże się to z brakiem odpowiedniej polityki gospodarowania przestrzenią, brakiem egzekwowania ochrony prawnej środowiska oraz niewystarczającą świadomością mieszkańców w zakresie kształtowania środowiska przyrodniczego, co może skutkować utratą cennych walorów przyrodniczych (Chmielewski 2006, 2011; Poskrobko 2008, 2011). Jak wskazują Kubiak i Ławniczak (2011), zaleca się zwiększać szczegółowość map sozologicznych właśnie dla obszarów silnie użytkowanych przez człowieka, czyli głównie obszarów miejskich. Macias i Kubacka (2015) zaznaczają, że niezwykle ważnymi elementami w procesie monitoringu i w ocenie stanu środowiska przyrodniczego są sozologiczne opracowania kartograficzne. Niezbędny do ich sporządzenia proces kartowania terenowego dostarcza informacji dotyczących zagrożeń dla danego obszaru oraz może być kluczowy dla zasilenia bazy danych SOZO. Brak szczegółowych informacji o stanie poszczególnych komponentów środowiska przyrodniczego może w następstwie skutkować niewłaściwą oceną środowiska na etapie opracowywania dokumentacji planistyczno-strategicznych (Macias, Kubacka 2015).

Podkreślają oni również duży problem związany z różną dokładnością danych zoologicznych oraz niejednorodnym formatem ich zapisu, co może utrudniać ich integrację, a następnie redakcję mapy. Kartowanie środowiska przyrodniczego może być oparte na standardowych opracowaniach kartograficznych. Należy wspomnieć, iż geometria obiektów na nich zawarta jest uzależniona od wielu czynników, tj. skali, jakości druku, danych, a nawet dokładności kartografa (Ławniczak, Kubiak 2016). W znanej klasycznej fotogrametrii do pozyskiwania zobrażeń i sporządzania na ich podstawie map topograficznych, ortofotomap oraz innych produktów fotogrametrycznych wykorzystuje się tradycyjne samoloty załogowe i specjalne kamery wielkoformatowe. Zaletą tego sprzętu fotogrametrycznego jest możliwość wykonywania zobrażeń obszarów o dużej powierzchni, a wadą wysoki nakład finansowy potrzebny do jego realizacji (Ahmad 2011). Utrzymujący się aktualnie wysoki poziom zapotrzebowania na mapowanie obszarów o małej powierzchni sprawia, że klasyczne formy pozyskiwania danych obrazowych stają się wysoce nieopłacalne. Zatem UAV jest znakomitą alternatywą dla zobrażeń satelitarnych i lotniczych (Zhang, Kovacs 2012). Ponadto bezzałogowe statki powietrzne stanowią nowe narzędzie do pozyskiwania informacji geograficznej, która może posłużyć do przeprowadzenia dalszych wielowymiarowych badań naukowych (Kunz 2013).

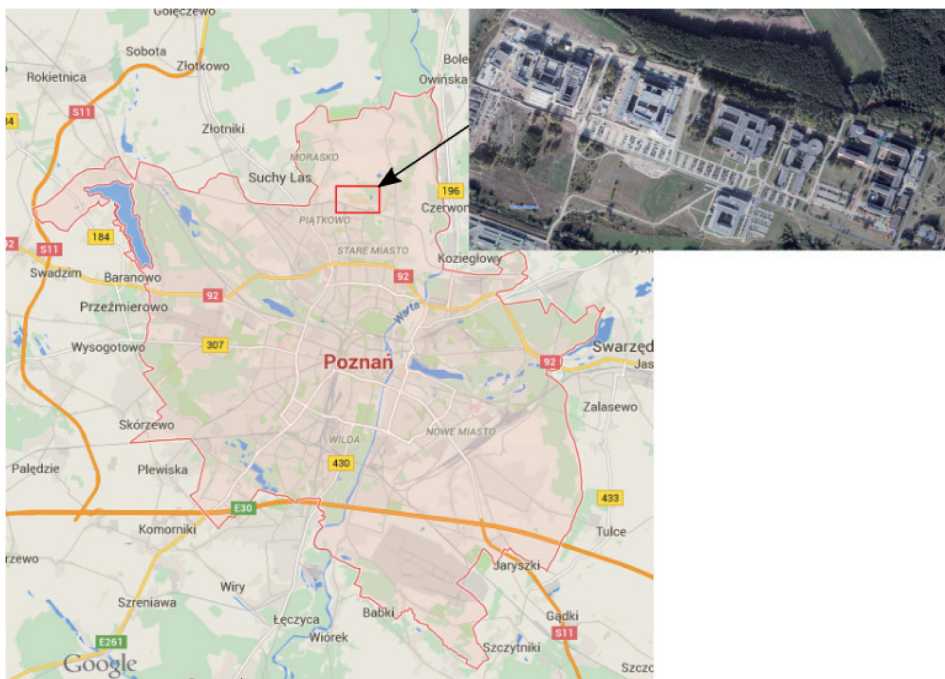
CEL BADAŃ

Głównym celem niniejszego artykułu jest próba określenia przydatności technologii bezzałogowych statków powietrznych (BSP) w procesie kartowania komponentów środowiska przyrodniczego na obszarze do 20 ha. Dodatkowo określono cel pośredni, tj. odniesiono wyniki pomiarowe uzyskane z wykorzystaniem technologii UAV do rezultatów pomiarów otrzymanych z zastosowaniem przyjętej w kartowaniu środowiska przyrodniczego technologii mobilnego GPS. Podstawowym problemem staje się zdefiniowanie granicznych wartości dokładności sytuacyjnych dla uzyskanych podczas pomiaru obserwacji. Jak podaje Halik, Lorek i Medyńska-Gulij (2015), proces tradycyjnego kartowania terenu może zostać skutecznie wsparty dzięki wykorzystaniu mobilnych urządzeń wyposażonych w moduł GPS, tj. nawigacyjnych odbiorników GPS, tabletów czy nawet smartfonów. Postęp technologiczny sprawił, iż tego typu urządzenia są coraz bardziej dostępne dla osób zajmujących się badaniem środowiska przyrodniczego i coraz chętniej przez nie wykorzystywane z uwagi na usprawnienie i przyspieszenie prac terenowych. Dodatkowo, jak podaje Medyńska-Gulij (2010), poziom dokładności pomiarów wykonywanych z wykorzystaniem odbiornika GPS jest zgodny z założeniami kartowania terenowego na podkładach mapowych w skalach 1 : 10 000–1 : 25 000, a nawet 1 : 50 000. Ma to związek z faktem, iż przyjmowana dokładność położenia obiektów topograficznych

wynosi nawet 5 m, stąd nie jest konieczne wspieranie pomiaru z wykorzystaniem poprawek referencyjnych. Potrzeba redakcji wielkoskalowych opracowań sozologicznych w skali 1 : 5000 i większych niesie z sobą konieczność pozyskiwania bardziej dokładnych danych geometrycznych o obiektach, które w następstwie pozwolą na dokładniejsze opracowania ekofizjograficzne.

OBSZAR BADAŃ

Wybór obszaru badań uzależniono od stopnia zagospodarowania terenu. Zgodnie z zaleceniami Kubiaka i Ławniczaka (2011), dotyczącymi potrzeby uszczegóławiania mapy sozologicznej dla obszarów silnie zabudowanych, niniejsze badanie postanowiono przeprowadzić dla obszaru miejskiego, na którym występują elementy zarówno zwartej zabudowy, jak i poszczególne komponenty środowiska przyrodniczego. Badanie przeprowadzono na terenie zachodniej części kampusu Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu (ryc. 1)



Ryc. 1. Lokalizacja obszaru badań (oprac. własne na podstawie: <<https://maps.google.com/>>)

Fig. 1. Location of the study area

POMIAR GPS

Kartograficzna prezentacja obiektów na mapie odbywa się zwykle z wykorzystaniem jednej z trzech postaci geometrycznych: punktu, linii lub powierzchni (Medyńska-Gulij 2015). Zgodnie z zasadami geometrii wykreślnej budowa zarówno linii, jak i obiektów poligonowych jest oparta na punktach. Stąd właśnie ich dokładność wyznaczania w niniejszym badaniu uznano za kluczową. Do licznie występujących komponentów środowiska przyrodniczego, przedstawianych za pomocą punktu na mapie, zalicza się m.in. drzewa. Analizę dokładnościową w niniejszym badaniu oparto właśnie na tego typu obiektach.

Mając na uwadze powszechne wykorzystywanie mobilnych odbiorników GPS w procesie kartowania środowiska przyrodniczego, uzyskane przy ich użyciu współrzędne przyjęto jako referencyjne. Pomiar przeprowadzono z wykorzystaniem odbiornika Garmin GPSmap 62stc. W wyniku prac pomiarowych uzyskano łącznie 305 obiektów punktowych zdefiniowanych w układzie współrzędnych płaskich prostokątnych „2000” (EPSG, 2177). Łączny czas prac terenowych poświęconych na pomiar sytuacyjny drzewostanu wyniósł 3 godz. W przypadku potrzeby sporządzenia dodatkowej dokumentacji lub opisu inwentaryzacyjnego poszczególnych drzew czas odpowiednio uległby wydłużeniu. Dane pomiarowe zestawiono w formie tabelarycznej w programie C-GEO (tab. 1).

Tabela 1. Część danych pomiarowych pozyskanych przy użyciu mobilnego odbiornika GNSS

Table 2. Part of the measurement data acquired with the mobile GNSS receiver

Nr	X	Y	H
1	5 815 255,67	6 427 097,43	93,00
2	5 815 258,79	6 427 095,59	93,00
3	5 815 243,56	6 427 080,25	92,00
4	5 815 246,70	6 427 076,53	91,00
5	5 815 249,96	6 427 065,25	91,00
6	5 815 250,02	6 427 061,47	91,00
7	5 815 253,19	6 427 055,85	91,00
8	5 815 256,37	6 427 050,24	92,00
9	5 815 256,45	6 427 044,57	91,00
10	5 815 268,34	6 427 076,85	92,00
11	5 815 271,63	6 427 063,68	92,00
...

NALOT FOTOGRAMETRYCZNY

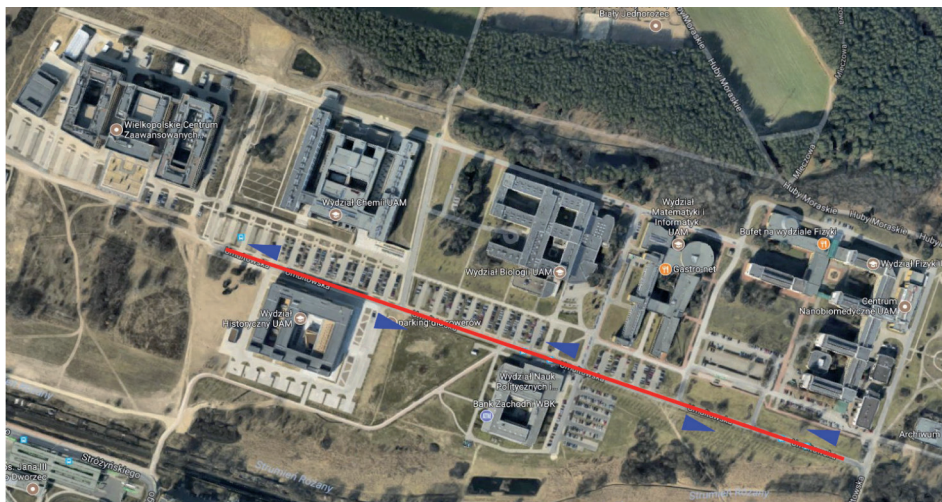
Do pozyskania danych obrazowych z niskiego pułapu lotniczego obszaru badań wykorzystano wielowirnikową bezzałogową platformę powietrzną Tarot X6, wyposażoną w aparat Panasonic DMC-DH4 o matrycy 16,1 Mpx oraz dodatkowo w obiektyw DJI Zenmuse X5 (DL015) (ryc. 2). Niniejsza platforma może pracować na jednym pakiecie baterii od 15 min do 20 min.

Pierwszą czynnością niezbędną do przeprowadzenia nalotu fotogrametrycznego jest jego staranne zaplanowanie oraz przygotowanie. Mając na uwadze zabudowany charakter obszaru badań, niezwykle trudne stało się określenie dogodnego do startu i zarządzania lotem miejsca oraz zaprojektowanie ścieżki nalotu. Miało to związek przede wszystkim z priorytetową kwestią bezpieczeństwa postronnych osób. Na podstawie analizy ortofotomap dostępnych na internetowych portalach mapowych analizowanego obszaru badań wykluczono możliwość przeprowadzenia klasycznej ścieżki nalotu fotogrametrycznego, która w kilku szeregach zobrazowałaby cały analizowany obszar. Konieczne stało się przyjęcie jednego szeregu wzdłuż osi drogi przebiegającej przez teren kampusu (ryc. 3). Uznano, iż jest to najbezpieczniejsza forma wykonywania nalotu.



Ryc. 2. Bezzałogowa platforma powietrzna Tarot X6 wykorzystana w badaniu
Fig. 2. Unmanned Aerial Vehicle Tarot X6 used in the study

Przyjęcie jednej osi ścieżki nalotu spowodowało zmniejszenie powierzchni obrazowanego obszaru. W celu jego zwiększenia postanowiono wykonać zdjęcia tak, aby kąt pomiędzy osią optyczną aparatu fotograficznego a płaszczyzną terenu wynosił 30° (ryc. 4). Dodatkowo w celu zwiększenia redundancji danych obrazowych wykonano nalot w obie strony wzdłuż osi nalotu.



Ryc. 3. Zaprojektowana ścieżka nalotu fotogrametrycznego
(oprac. własne na podstawie: <<https://maps.google.com/>>)

Fig. 3. Designed photogrammetric flight path



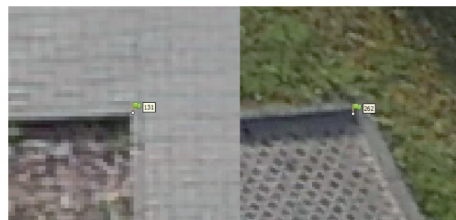
Ryc. 4. Przykładowe skośne zdjęcie fragmentu obszaru badań

Fig. 4. Sample oblique image of the research area

W wyniku nalotu fotogrametrycznego z niskiego pułapu lotniczego pozyskano łącznie 96 obrazowań z pułapu lotniczego 100m AGL (Above Ground Level). Całkowity czas konieczny do pozyskania obrazowań wyniósł 30 min.

OSNOWA FOTOGRAMETRYCZNA

W procesie wykorzystywania bezzałogowej platformy powietrznej oprócz zaplanowania lotu niezwykle ważne jest odpowiednie zaprojektowanie punktów osnowy fotogrametrycznej (Nex, Remondino, 2014). Jest ono szczególnie istotne w przypadku, gdy wykorzystywana platforma nie ma inercyjnego systemu nawigacyjnego (IMU) lub gdy sygnał satelitarny jest silnie zakłócony. Taka sytuacja wymusza jej zaplanowanie na etapie przygotowywania nalotu (Barazzetti i in. 2010). W związku z zagospodarowaniem obszaru badań i dużą liczbą charakterystycznych obiektów postanowiono zdefiniować zbiór punktów osnowy fotogrametrycznej niesygnalizowanych. Takie punkty powinny być jednoznacznie identyfikowalne na obrazowaniach w celu przeprowadzenia procesu georeferencji (Kędzierski, Fryškowska, Wierzbicki 2014). Założono, iż możliwie duża liczba punktów osnowy powinna być reprezentowana jednakowymi szczegółami terenowymi. Zaobserwowano, że powtarzalnymi elementami obszaru badań były liczne place parkingowe i chodniki. Dzięki utwardzonej powierzchni jako punkty osnowy fotogrametrycznej przyjęto załamania krawężnika drogowego na obszarach parkingów oraz załamania opornika betonowego chodników (ryc. 5).



Ryc. 5. Przykładowe punkty osnowy fotogrametrycznej na obszarze badań

Fig. 5. Ground Control Points in the study area

Zakładanie sieci punktów osnowy fotogrametrycznej powinna być wsparte wykorzystaniem geodezyjnym technik pomiarowych, tj. tachimetrią czy pozycjonowaniem satelitarnym (Siebert, Teizer 2014). Uważa się, że obecnie najlepszą i wystarczającą metodą pomiaru osnowy fotogrametrycznej jest przeprowadzenia obserwacji satelitarnych w czasie rzeczywistym (Real Time Kinematic – RTK), co jednocześnie przyczynia się do zmniejszenia wartości dystorsji pozyskanych obrazowań (de Kock, Gallacher 2016). W badaniu do pomiaru osnowy fotogrametrycznej wykorzystano kinematyczną metodę satelitarną (GNSS RTK) z zastosowaniem odbiornika Trimble R4 model 3. Łącznie na obszarze badań zdefiniowano 13 punktów osnowy fotogrametrycznej w układzie współrzędnych płaskich prostokątnych „2000” strefa VI (EPSG: 2177) (tab. 2).

Tabela 2. Wykaz współrzędnych punktów osnowy fotogrametrycznej
 Table 2. Coordinates of the Ground Control Points

Nr	X	Y	H
5	5 815 189,976	6 427 245,953	89,131
32	58 115 235,688	6 427 024,688	90,027
131	5 815 306,917	6 426 897,463	92,459
165	5 815 313,588	6 426 739,637	93,162
179	5 815 420,616	6 426 612,611	95,018
185	5 815 450,615	6 426 567,865	95,623
207	5 815 463,839	6 426 609,069	95,608
216	5 815 443,236	6 426 665,458	95,111
230	5 815 417,171	6 426 736,833	94,260
247	5 815 385,234	6 426 852,811	93,529
262	5 815 373,036	5 426 864,774	93,212
299	5 815 325,641	6 426 993,443	92,000
316	5 815 284,976	6 427 120,504	91,651

KAMERALNE PRZETWORZENIE DANYCH OBRAZOWYCH

Celem procesu przetworzenia danych obrazowych było ich zdefiniowanie w określonym układzie współrzędnych, czyli przeprowadzenie procesu ich georeferencji. Do wykonania niniejszej czynności wybrano oprogramowanie Agisoft PhotoScan Professional, które dzięki odpowiednim algorytmom oraz cyfrowym technikom fotogrametrycznym umożliwia przetworzenie danych obrazowych. Jak podają Uysal, Toprak i Polet (2015), to oprogramowanie jest szczególnie przydatne do przetwarzania zobrazowań pozyskanych z wykorzystaniem bezzałogowej platformy powietrznej oraz umożliwia wygenerowanie na ich podstawie numerycznego modelu terenu czy też ortofotomapy w dowolnie zdefiniowanym przez użytkownika układzie współrzędnych. Pierwszym krokiem w procesie georeferencji zobrazowań jest odtworzenie ich orientacji wewnętrznej (Siebert, Teizer 2014). Proces ten ma na celu zgrubną lokalizację pozyskanych zobrazowań na podstawie metadanych zapisanych w pliku EXIF zdjęć. Mając na uwadze konieczność wygenerowania kartometrycznego modelu fotogrametrycznego w celu późniejszych badań, niezbędne było powtórzenie procesu, lecz już na podstawie zdefiniowanych punktów osnowy fotogrametrycznej (ryc. 6).

W wyniku procesu rektyfikacji opartego na osnowie fotogrametrycznej obliczono średni kwadratowy błąd (RMSE) stanowiący o różnicy pomiędzy przyjętymi punktami nawiązania i obliczonymi w procesie georeferencji (Smaczyński, Medyńska-Gulij 2017). Jego całkowita wartość obliczona na podstawie



Ryc. 6. Rozmieszczenie punktów osnowy fotogrametrycznej
Fig. 6. Spatial distribution of the ground control point network

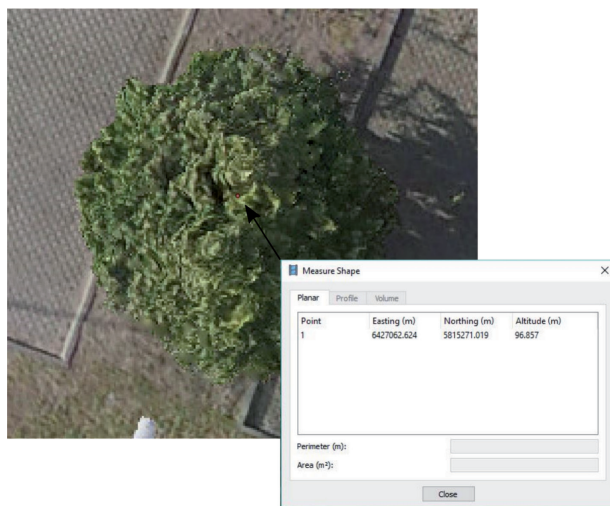
wszystkich punktów osnowy wyniosła 9,36 cm, co stanowiło wielkość 0,37 piksela (tab. 3). W wyniku kameralnego przetworzenia zobrazowań otrzymano chmurę punktów obrazującą powierzchnię terenu liczącą 156 586 536 punktów w czasie 13 godz. obliczeń w środowisku komputerowym. Taka chmura punktów może być wykorzystana w procesie tworzenia obrazu DEM do zobrazowania wizualizacji 3D obszaru badań (Horbiński, Medyńska-Gulij 2017).

Tabela 3. Obliczona wartość RMSE procesu georeferencji
Table 3. Calculations of the georeferencing RMSE value

Count	X error [cm]	Y error [cm]	Z error [cm]	XY error [cm]	Total [cm]	Image [pix]
13	6,55	6,55	1,40	9,26	9,36	0,37

POZYSKANIE DANYCH WEKTOROWYCH

Pozyskanie kartometrycznego materiału fotogrametrycznego reprezentującego obszar badań pozwoliło na przystąpienie do jego dalszego kameralnego przetworzenia polegającego na pozyskaniu informacji o lokalizacji poszczególnych drzew. W tym celu, przy użyciu odpowiedniego narzędzia, przeprowadzono proces wektoryzacji w programie Agisoft PhotoScan Professional (ryc. 7). Określenie współrzędnej danego drzewa polegało na oznaczeniu jego geometrycznego środka. Należy zaznaczyć, iż przyjęcie takiego sposobu wektoryzacji



Ryc. 7. Wektoryzacja drzewostanu obszaru badań na podkładzie ortofotomapy
 Fig. 7. Vectorization of the test site stand on an orthophotomap

oznaczało, że pozyskana rzędna wysokościowa odpowiadała całkowitej wysokości danego drzewa. Przy dodatkowym wykorzystaniu danej wysokościowej odpowiadającej poziomowi gruntu możliwe staje się obliczenie różnicy wysokości, co odpowiada fizycznej wysokości danego drzewa.

W wyniku procesu wektoryzacji uzyskano łącznie 305 obiektów punktowych, które odpowiadały drzewom pomierzonym przy użyciu odbiornika GPS.

INTEGRACJA I PORÓWNANIE DANYCH POMIAROWYCH

Porównanie wyników uzyskanych dwiema metodami pomiarowymi wymagało ich uprzedniej integracji. W tym celu dane wektorowe zaimportowano w formacie shapefile (.shp) do programu C-GEO. Podobnie jak dane pochodzące z pomiaru nawigacyjnego przy użyciu GPS dane wektorowe oparte na modelu fotogrametrycznym wykazano w formie tabelarycznej. Takie zestawienie umożliwiło zastosowanie porównawczego modułu obliczeniowego. Na podstawie współrzędnych obiektów obliczono różnicę między nimi. Zmienne w kolumnie 1 pochodzą z pomiaru przy użyciu nawigacyjnego odbiornika GPS, a w kolumnie 2 z pomiaru fotogrametrycznego (tab. 4)

Na podstawie otrzymanej wartości średniego błędu kwadratowego (RMSE) procesu georeferencji na poziomie 9,36 cm przyjęto, iż dane z pomiaru fotogrametrycznego są obciążone małym błędem lokalizacji sytuacyjnej. Stwierdzono, iż maksymalna odchyłka sytuacyjna w badanym zbiorze punktów pomiędzy pomiarem wykonanym metodą GPS a pomiarem z wykorzystaniem technologii

Tabela 4. Porównanie wartości współrzędnych z pomiaru GPS i UAV
 Table 4. Comparison of GPS and UAV coordinates

Nr 1 [GPS]	X1	Y1	Nr 2 [UAV]	X2	Y1	ΔX	ΔY	Δl
...
40*	5 815 262,61	6 427 033,35	40	5 815 261,93	6 427 033,59	0,68	-0,24	0,72
41*	5 815 264,69	6 427 028,91	41	5 815 263,47	6 427 028,97	1,22	-0,06	1,22
42*	5 815 264,69	6 427 024,38	42	5 815 265,09	6 427 024,04	-0,40	0,34	0,52
43*	5 815 267,48	6 427 020,60	43	5 815 266,84	6 427 019,35	0,64	1,25	1,40
44*	5 815 267,41	6 427 014,45	44	5 815 268,67	6 427 014,54	-1,26	-0,09	1,26
45*	5 815 269,93	6 427 008,92	45	5 815 270,46	6 427 009,89	-0,53	-0,97	1,11
46*	5 815 272,97	6 427 004,40	46	5 815 272,16	6 427 005,46	0,81	-1,06	1,33
47*	5 815 274,49	6 426 997,39	47	5 815 273,92	6 427 000,46	0,57	-3,07	3,12
48*	5 815 268,32	6 426 996,96	48	5 815 270,72	6 426 996,74	-2,40	0,22	2,41
49*	5 815 267,67	6 427 002,66	49	5 815 268,97	6 427 001,64	-1,30	1,02	1,65
50*	5 815 266,35	6 427 006,46	50	5 815 267,14	6 427 006,38	-0,79	0,08	0,79
51*	5 815 264,71	6 427 011,10	51	5 815 265,42	6 427 011,09	-0,71	0,01	0,71
52*	5 815 262,97	6 427 015,10	52	5 815 263,87	6 427 015,72	-0,90	-0,62	1,09
53*	5 815 260,78	6 427 020,16	53	5 815 262,21	6 427 020,39	-1,43	-0,23	1,45
54*	5 815 259,82	6 427 025,08	54	5 815 260,40	6 427 025,10	-0,58	-0,02	0,58
55*	5 815 258,30	6 427 028,56	55	5 815 258,75	6 427 029,98	-0,45	-1,42	1,49
...

UAV wynosi 3,12 m. Ponadto najmniejsza stwierdzona odchyłka sytuacyjna wyniosła 0,49 m.

WNIOSKI

Pomiar komponentów środowiska przyrodniczego z wykorzystaniem odbiornika GPS zapewnia wystarczającą dokładność sytuacyjną podczas kartowania terenowego na podkładach mapowych w skalach 1 : 10 000–1 : 25 000, a nawet 1 : 50 000 (Medyńska-Gulij 2010). Jednakże duża potrzeba redakcji sozologicznych opracowań wielkoskalowych, szczególnie dla obszarów zurbanizowanych, wymusza stosowanie bardziej dokładnych technik pomiarowych. Przeprowadzenie badania porównawczego dwóch technik pomiarowych dla obszaru o powierzchni 20 ha pozwoliło na wyciągnięcie wniosków. Użycie odbiornika GPS podczas prac terenowych pozwoliło na uzyskanie dokładności sytuacyjnej na poziomie ponad 3 m. Pomiar z wykorzystaniem bezzałogowego statku powietrznego umożliwił wygenerowanie kartometrycznego modelu fotogrametrycznego

z dokładnością sytuacyjną wynoszącą niespełna 10 cm względem przyjętych punktów osnowy fotogrametrycznej, co jednocześnie jest lepszym wynikiem w porównaniu z odbiornikiem GPS. Należy dodać, iż wygenerowany model fotogrametryczny stanowi rzeczywisty obraz powierzchni terenu, a jego georeferencja umożliwia wektoryzację wybranych obiektów przestrzeni geograficznej. Zaletą pomiarów z wykorzystaniem platformy UAV jest minimalizacja niezbędnego czasu potrzebnego na wykonanie prac terenowych. W niniejszym badaniu wyniósł on zaledwie 0,5 godz., co jest wynikiem bardzo korzystnym w odniesieniu do prac terenowych z odbiornikiem GPS (3 godz.). Czas poświęcony na prace kameralne mające na celu przetworzenie danych pomiarowych w przypadku pomiaru GPS wyniósł jedynie 2 godz., a przetworzenie danych obrazowych z niskiego pułapu lotniczego aż 13 godz. Należy zaznaczyć, że proces obliczeń mający na celu wygenerowanie kartometrycznego modelu fotogrametrycznego w większej części nie wymaga ciągłej ingerencji operatora oraz zależy od mocy obliczeniowej jednostki komputera. Rezultatem obliczeń jest wygenerowanie chmury punktów obszaru badań o gęstości wynoszącej 820 pkt/m². Główną zaletą otrzymanego modelu fotogrametrycznego jest kompleksowa rejestracja wszystkich elementów środowiska przyrodniczego znajdujących się na obszarze badań, co daje możliwość wektoryzacji dowolnych obiektów środowiska przyrodniczego na etapie prac kameralnych, minimalizując jednocześnie czas poświęcony na prace terenowe. Należy podkreślić, iż w przypadku kartowania z wykorzystaniem tradycyjnych technik pomiarowych, tj. odbiornik GPS, uzyskuje się zarówno dane ilościowe dotyczące poszczególnych komponentów, ale również dane jakościowe opisujące ich stan. Pomiar z wykorzystaniem platformy bezzałogowej pozwala bardzo szybko uzyskać informację ilościową o środowisku przyrodniczym. Ilość danych jakościowych jest ograniczona i zależy od wielu czynników, tj. urządzenia rejestrującego czy parametrów nalotu. Wykorzystanie w procesie kartowania obu technik pomiarowych pozwala na pozyskanie najdokładniejszych danych dotyczących środowiska przyrodniczego, a zastosowanie bezzałogowej platformy powietrznej umożliwia pozyskanie najdokładniejszych danych ilościowych dotyczących poszczególnych komponentów środowiska przyrodniczego. Równie ważne dane jakościowe można otrzymać jedynie na podstawie bezpośrednich obserwacji w terenie.

LITERATURA

- Ahmad A., 2011: *Digital mapping using low altitude UAV*, *Pertanika Journ. of Sc. and Technol.*, 19 (spec. iss.), 51–58.
- Barazzetti L., Remondino F., Scaioni M., Brumana R., 2010: *Fully automatic UAV image-based sensor orientation*, *Internat. Arch. of Photogrammetry Remote Sensing and Spatial Inform. Sc.* Vol. XXXVIII Part 5 Commission V Symposium, 6.

- Chmielewski T.J. (red.), 2006: *Zarządzanie zasobami przyrody na obszarach Natura 2000 w Polsce*, Wyd. Akad. Rolniczej w Lublinie, Lublin, 152.
- Chmielewski T.J., 2011: *Ewolucja systemu ochrony przyrody w Europie i Polsce*, [w:] T. Poskrobko (red.), *Planistyczne i implementacyjne aspekty rozwoju obszarów przyrodniczo cennych*, Wyższa Szkoła Ekonomiczna w Białymstoku, Białystok, 127–142.
- Halik Ł., Lorek D., Medyńska-Gulij B., 2015: *Kartowanie terenowe w technologii GPS-GIS*, Bad. Fizjograf., R. VI – Ser. A – Geogr. Fiz. (A66), Poznań, 95–103 (DOI 10.14746/bfg.2015.6.7).
- Horbiński T., Medyńska-Gulij B., 2017: *Geovisualisation as a process of creating complementary visualisations: static two-dimensional, surface three-dimensional, and interactive*, Geod. and Cartography, Vol. 66, No. 1, 45–58 (DOI: 10.1515/geocart-2017-0009).
- Kędzierski M., Fryškowska A., Wierzbicki D., 2014: *Opracowania fotogrametryczne z niskiego pułapu*, Wojskowa Akademia Techniczna, Warszawa.
- de Kock M.E., Gallacher D., 2016: *From drone data to decisions: Turning images into ecological answers*, Conference Innovation Arabia 9.
- Kubiak J., Ławniczak R., 2011: *Mapa sozologiczna obszarów zurbanizowanych w skali 1 : 10 000*, Pol. Przegl. Kart., t. 43, nr 3, 252–262.
- Kunz M., 2013: *Nowoczesne metody i narzędzia telegeoinformatyczne służące pozyskiwaniu informacji geograficznej*, [w:] M. Kunz, A. Nienartowicz (red.), *Systemy informacji geograficznej w zarządzaniu obszarami chronionymi – od teorii do praktyki*, Wyd. FUH DANIEL, Toruń, 85–96.
- Ławniczak R., Kubiak J., 2016: *Geometric accuracy of topographical objects at Polish topographic maps*, Geod. and Cartography, Vol. 65, No. 1, 55–66 (DOI: 10.1515/geocart-2016-0003).
- Macias A., Kubacka M., 2015: *Rola kartowania sozologicznego i bazy danych SOZO w badaniach krajobrazowych na poziomie lokalnym*, Probl. Ekol. Krajobrazu, t. XXXIX, 87–94.
- Medyńska-Gulij B., 2010: *Wytyczne kartowania terenowego w technologiach GIS i GPS przy wykorzystaniu VMAP L2*, Rocz-i Geomatyki, t VIII, z. 1(37).
- Medyńska-Gulij B., 2015: *Kartografia. Zasady i zastosowania geowizualizacji*, Wyd. Nauk. PWN, Warszawa.
- Nex F., Remondino F., 2014: *UAV for 3D mapping applications: A review*, Appl. Geomatics, 6(1), 1–15, <<http://doi.org/10.1007/s12518-013-0120-x>>.
- Poskrobko B., 2008: *Zarys charakterystyki systemu zarządzania ochroną przyrody w Polsce*, [w:] K. Zimmewicz (red.), *Bariery w zarządzaniu parkami krajobrazowymi w Polsce*, PWE, Warszawa, 13–23.
- Poskrobko T., 2011: *Planistyczne i implementacyjne aspekty rozwoju obszarów przyrodniczo cennych*, [w:] T. Poskrobko (red.), *Zrównoważony rozwój obszarów przyrodniczo cennych*, Wyższa Szkoła Ekonomiczna w Białymstoku, Białystok, 329.
- Siebert S., Teizer J., 2014: *Mobile 3D mapping for surveying earthwork projects using an Unmanned Aerial Vehicle (UAV) system*, Automation in Construction, 41, 1–14, <<http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2014.01.004>> [dostęp: ???].
- Smaczyński M., Medyńska-Gulij B., 2017: *Low aerial imagery – an assessment of georeferencing errors and the potential for use in environmental inventory*, Geod. and Cartography, Vol. 66, No. 1, 89–104 (DOI: 10.1515/geocart-2017-0005).
- Uysal M., Toprak A.S., Polat N., 2015: *DEM generation with UAV Photogrammetry and accuracy analysis in Sahitler hill*, Measurement: Journ. of the Internat. Measurement Confed., 73, 539–543. <<http://dx.doi.org/10.1016/j.measurement>> [dostęp: 10.06.2015].
- Zhang C., Kovacs J.M., 2012: *The application of small unmanned aerial systems for precision agriculture: A review*, Precision Agr., 13(6), 693–712, <<http://doi.org/10.1007/s11119-012-9274-5>> [dostęp: ???].