

# ZASTOSOWANIE ODBIORNIKÓW GPS I INERCYJNYCH JEDNOSTEK POMIAROWYCH W AKWIZYCJI MATERIAŁU ZDJĘCIOWEGO Z WYKORZYSTANIEM BEZZAŁOGOWYCH STATKÓW LATAJĄCYCH (BSL)

MARIUSZ KACPRZAK

Centrum Technologii Kosmicznych, Zakład Teledetekcji, Instytut Lotnictwa,  
Al. Krakowska 110/114, 02-256 Warszawa  
[mariusz.kacprzak@ilot.edu.pl](mailto:mariusz.kacprzak@ilot.edu.pl)

## Streszczenie

Celem artykułu jest przedstawienie zagadnienia pozycjonowania platform bezzałogowych i wyznaczenia wstępnych parametrów orientacji zewnętrznej zdjęć pozyskanych z ich wykorzystaniem. Montowane na pokładzie statków bezzałogowych systemy optyczne to najczęściej tradycyjne, stosunkowo lekkie (<2kg) aparaty cyfrowe wykorzystywane w klasycznej fotografii. Ze względu na ograniczoną masę startową BSL powszechnie stosowane są również lekkie jednoczęstotliwościowe odbiorniki GPS, ich dokładność jest mniejsza niż kilkanaście metrów. W publikacji zaprezentowano ograniczenia, które wpływają na jakość przetworzeń zdjęć, przedstawiono główne źródła błędów w pomiarach GPS. Zaprezentowane zostały również stosowane metody zwiększania dokładności wyznaczania pozycji z wykorzystaniem systemów nawigacji satelitarnej.

Słowa kluczowe: GPS, lot fotogrametryczny, akwizycja zdjęć, BSL, UAV, kamera niemetryczna, stacja referencyjna, poprawki.

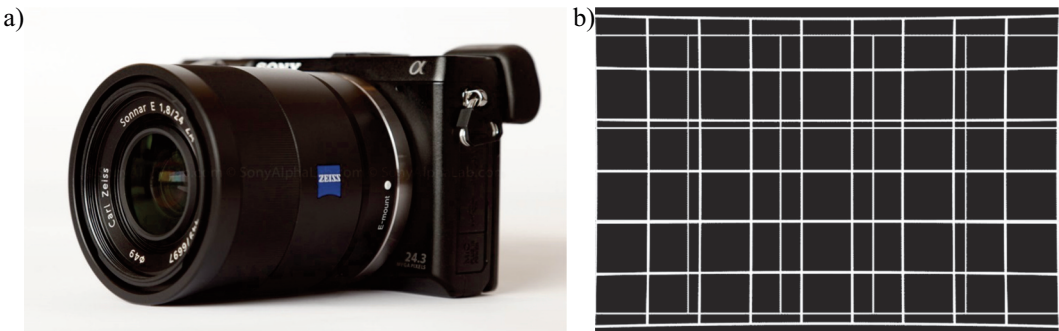
## 1. WPROWADZENIE

Od trzydziestu lat Bezzałogowe Statki Powietrzne (BSP) są wykorzystywane do pozyskiwania materiału zdjęciowego na szeroką skalę. Początkowo były one stosowane głównie przez wojsko. Kluczową zaletą jest to, że ich użycie minimalizuje zagrożenie utraty życia lub zdrowia operatora, który może kontrolować statek bezzałogowy z bezpiecznego miejsca oddalonego setki kilometrów od regionu nad którym porusza się UAV (ang. Unmanned Aerial Vehicle [1]). Niemalże równoległe z rozwojem w zakresie militarnym zostały podjęte próby cywilnego wykorzystania platform bezzałogowych. Zdjęcia pozyskane z ich pokładu służą do celów reklamowych, materiał video transmitowany w czasie rzeczywistym do stacji naziemnej wykorzystywany jest do wszelkiego rodzaju badań powierzchniowych [2]. Dzięki rozwojowi techniki, zwiększaniu wydajności akumulatorów i układu napędowego następuje zauważalny, ciągły wzrost udźwigu i czasu lotu platform bezzałogowych. Możliwy jest montaż kamer o dobrej jakości matryc i obiektywów. Materiał filmowy i zdjęciowy wykorzystywany jest przez specjalistów z różnych dziedzin. W ciągu ostatnich

kilku lat stworzonych zostało wiele systemów bezzałogowych przeznaczonych do pozyskania precyzyjnych zdjęć na potrzeby fotogrametrii i teledetekcji [3]. Wiele z nich oferuje możliwość akwizycji danych obrazowych wraz z przybliżonymi elementami orientacji zewnętrznej: położenie kamery w układzie WGS84 oraz dane kątowe z inercyjnych jednostek pomiarowych, IMU (ang. Inertial Measurement Unit) [4]. Ze względu na ograniczony udźwig platform bezzałogowych najczęściej wykorzystywane są lekkie jednoczęstotliwościowe moduły i proste anteny, które nie eliminują m.in. błędów wielodrożności [5]. Mimo wszystkich ograniczeń związanych z masą sensorów możliwe jest jednak pozyskanie z ich wykorzystaniem danych o odpowiedniej jakości dla późniejszego przetworzenia [6]. Należy jednak przestrzegać pewnych zasad i zachować odpowiednie standardy dotyczące budowy platform bezzałogowych. Najważniejszym parametrem decydującym o przydatności statku powietrznego do wykonywania misji fotolotniczych jest jego stabilność i odporność na podmuchy wiatru [6]. Dzięki optymalizacji pod kątem masy, własności aerodynamicznych i odpowiedniemu doborowi układu napędowego możliwa jest realizacja lotu prostoliniowego z dokładnością zachowania poszczególnych szeregów na poziomie kilkunastu metrów [7].

## 2. SENSORY MONTOWANE NA POKŁADZIE ZDALNIE STEROWANYCH STATKÓW

Pierwsze kamery montowane na pokładzie bezzałogowców charakteryzowały się masą nieprzekraczającą dwustu gramów i rozdzielczością niższą niż 1,3 Mpx [6]. Wykorzystywane były one w lotach FPV (ang. First Person View). Sygnał transmitowany był do stacji naziemnej i rejestrowany na wymiennych nośnikach pamięci. Wraz ze stopniowym zwiększaniem udźwigu platform zaczęto montować cięższy sprzęt o lepszej jakości. Amatorskie kompaktowe aparaty cyfrowe programowano do wykonywania zdjęć seryjnych z interwałem od 1 do 5 sekund. Udźwig platform bezzałogowych jest mocno ograniczony, dlatego należy stosować kamery, których stosunek masy do jakości obiektywu i wielkości/czułości sensora jest najlepszy. Dla zdjęć barwnych w zakresach RGB optymalne jest wykorzystanie aparatów bezlusterkowych, mało zasadne jest natomiast wykorzystywanie popularnych lustrzanek, których masa jest stosunkowo duża, a układ optyczny bardzo wrażliwy na drgania, ciężar korpusu kamery (body) i obiektywu przekracza często 1,5 kg. Popularnymi aparatami używanym na potrzeby fotogrametrii lotniczej są produkty z serii Sony NEX, bardzo dobrym obiektywem z mocowaniem typu E, kompatybilnym w pełni z opisywanym sprzętem jest Carl Zeiss 24mm (Rys. 1a), kąt widzenia po przekątnej to 61°, masa takiego zestawu wynosi około 0,7 kg. Zniekształcenia związane z dystorsją nie przekraczają wartości 1,5% (Rys. 1b).



Rys. 1. a) Aparat Sony NEX z obiektywem Carl Zeiss 24mm [8], b) Zdjęcie kalibracyjnego pola testowego [9]

Typowe jest to, że nawet w chwili obecnej wielu producentów i integratorów systemów bezzałogowych oferuje sensory optyczne bez szczegółowych informacji o parametrach uzyskanych w wyniku przeprowadzonej kalibracji. Niestety świadomość operatorów i użytkowników BSL w zakresie profesjonalnego pozyskania i wstępnego przetworzenia zdjęć jest wciąż na niskim poziomie. W przypadku gdy zdjęcia mają zostać wykorzystane do tworzenia profesjonalnych produktów fotogrametrycznych konieczna jest znajomość parametrów kamery takich jak [6]:

- Kalibrowana odległość obrazowa:  $C_k$
- Położenie środka rzutów:  $X_0$  i  $Y_0$
- Fizyczna wielkość piksela [ $\mu\text{m}$ ]
- Parametry dystorsji radialnej:  $K_1, K_2, K_3$
- Parametry dystorsji tangencjalnej:  $P_1, P_2$

Należy wiedzieć, że sprzęt musi być kalibrowany [10] po każdej zmianie ogniskowej i po każdym gwałtownym zdarzeniu z udziałem aparatu. Bardzo wskazane jest wykorzystanie obiektywów stałoogniskowych, które są bardziej stabilne geometrycznie niż obiektywy zmienneogniskowe. Ważne jest również to, aby w trakcie lotu wyłączony był autofocus, w innym przypadku każde zdjęcie zostanie wykonane z innymi parametrami. W celu zapewnienia odpowiedniej orientacji kamery w czasie pozyskiwania zdjęć wykorzystuje się specjalne systemy stabilizujące, tzw. gimbałe jedno-, dwu- lub trzyosiowe. Kompensują one wychylenia platformy, działają najczęściej w przedziale  $\pm 10^\circ$ . Ich skuteczność jest zależna od dokładności IMU, częstotliwości pracy kontrolera i szybkości pracy układów mechanicznych. W celu ułatwienia przetwarzania ogromnych zbiorów zdjęć, do każdej sceny pozyskanej z platformy bezzałogowej przypisywane są wstępne parametry orientacji zewnętrznej. Dane z odbiornika GPS oraz informacje kątowe z inercyjnej jednostki pomiarowej (IMU), która jest najczęściej trwale sprzęgnięta z kamerą/zestawem kamer. Lekki jednoczęstotliwościowy odbiornik GPS o dokładności kilkunastu metrów montowany jest najczęściej w centralnej, górnej części platformy, dzięki czemu zapewniona jest duża widoczność satelitów. Ze względu na niską dokładność odbiorników GPS ( $<10\text{m}$ ) nie uwzględniany jest offset między środkiem rzutów kamery a anteną GPS. Dopiero w przypadku zastosowania odbiorników o wyższej dokładności, do obliczeń wprowadzane są poprawki związane z przesunięciem anteny i kamery. Informacje o orientacji kamery w czasie akwizycji danych obrazowych wspomagają proces selekcji. Zdjęcia grupowane są w szeregi, odrzucane są obrazy wykonane przy dużym odchyleniu kamery od pionu. Do przetworzenia wybierane są obrazy wykonane nad obszarem badanym, z wyłączeniem zdjęć pozyskanych w czasie wykonywania zakrętów. Analityczny proces opracowania pozyskanego materiału wymaga wykorzystania naziemnych punktów osnowy terenowej (ang. Ground Control Points – GCP). Dokładność ich wyznaczenia i identyfikacji wpływa w bezpośredni sposób na jakość wynikowego produktu fotogrametrycznego. Ze względu na duży koszt pomierzenia i sygnalizacji w terenie z wykorzystaniem specjalnych znaczników dąży się do ograniczenia ich liczby. Przy zachowaniu wysokich standardów technicznych i zastosowaniu odpowiednich sensorów mierzących w trakcie lotu elementy orientacji zewnętrznej liczba punktów może zostać znacznie zredukowana, nawet do 3-5 punktów. Georeferencja wprost, a więc pomiar położenia kamery fotolotniczej podczas lotu to niejako tworzenie osnowy opartej o środki rzutów [11]. Kamery fotogrametryczne zamontowane w typowych samolotach załogowych sprzęgnięte są z systemem zarządzania lotem (ang. Flight Management System – FMS). Dzięki odpowiedniej kombinacji pozyskanych danych, topowe rozwiązania, np. IGI CCNS4 wraz z AEROcontrol umożliwiają osiągnięcie dokładności na poziomie [11]:

- 0,03-0,05 [m] dla pozycji X i Y
- 0,005m/s dla prędkości
- $0,004^\circ$  dla kątów przechylenia i pochylenia (ang. Roll/Pitch)
- $0,01^\circ$  dla odchylenia od trasy lotu (ang. Heading)

Udźwig lekkich zdalnie sterowanych statków bezałogowych o masie do 25 kg wynosi kilka kilogramów [12], nie jest więc możliwe zamontowanie na pokładzie statku bezałogowego typowego fotogrametrycznego systemu do zarządzania misją fotolotniczą. Wykorzystanie tego systemu jest również bezzasadne ze względu na bardzo duże koszty zakupu, montażu i integracji. Technologie UAV (ang. Unmanned Aircraft Vehicle) mają zrewolucjonizować rynek fotogrametryczny i pomiarowy, aby tak się stało ich cena musi być odpowiednio niższa w stosunku do tradycyjnych/załogowych systemów. Mimo wszelkich ograniczeń możliwe jest jednak pozyskanie elementów orientacji zewnętrznej z dokładnością lepszą niż ta oferowana przez wielu producentów systemów bezałogowych.

### 3. TEORETYCZNA DOKŁADNOŚĆ SENSORÓW STOSOWANYCH NA POKŁADZIE BSL

W celu zapewnienia maksymalnej jakości dla produktów przetworzenia materiału zdjęciowego należy przede wszystkim zadbać o odpowiednią jakość sensorów optycznych. Niemetryczne aparaty cyfrowe muszą zostać poddane procesowi pełnej kalibracji geometrycznej w celu wyznaczenia elementów orientacji wewnętrznej. Bardzo często proste dwuwymiarowe pola kalibracyjne są niewystarczające. Konieczne jest przeprowadzenie kalibracji na specjalnie skonstruowanym polu przestrzennym. Dane kalibracyjne są przypisane do konkretnego modelu aparatu i ulegają zmianom w czasie, dlatego proces kalibracji musi być okresowo powtarzany. Oprócz elementów orientacji wewnętrznej kamery, dla każdego zdjęcia pozyskiwane są elementy orientacji zewnętrznej: współrzędne w układzie WGS84 oraz kąty obrotu wokół trzech osi [11]. Popularnie stosowane w platformach bezałogowych lekkie jednostki IMU oparte są na sensorach mikroelektromechanicznych (MEMS). Typowo ich dokładność wynosi od 0,1 do 10 [°] i spada wraz z upływem czasu, znaczny dryft obniża wiarygodność pomiarów. Większą dokładność można uzyskać, dzięki zastosowaniu jednostek IMU opartych na technologiach optycznych, barierą w ich wykorzystaniu jest jednak znaczna masa i cena, która jest kilkukrotnie wyższa niż w przypadku zastosowania jednostek opartych na technologii MEMS. W ramach prac Zakładu Teledetekcji prowadzono prace z wykorzystaniem różnych urządzeń IMU. Ich dokładność w warunkach dynamicznych była każdorazowo niższa od deklarowanej przez producenta. Obecnie trwają próby z wykorzystaniem modelu IG-500N katalogowa dokładność to 1°. Na rysunku numer 2 przedstawiono zdjęcie jednostki IMU wraz z podstawowymi informacjami dostarczonymi przez producenta.

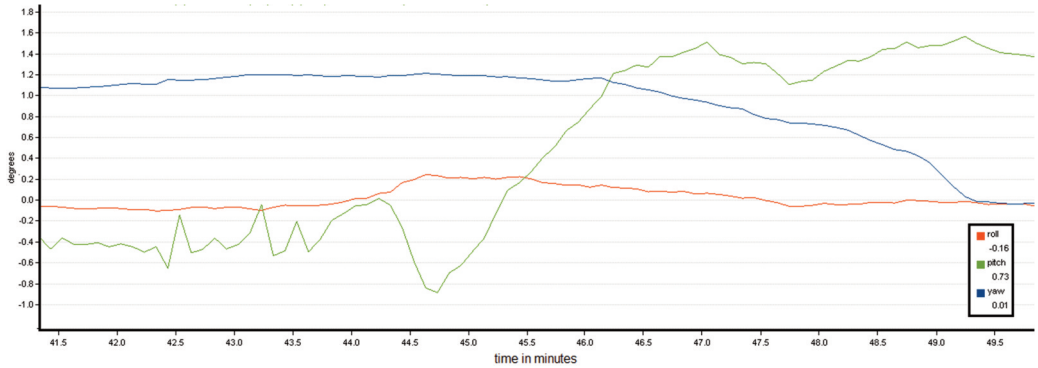
**Masa:** 44 gramy  
**Pobór mocy:** 800mW  
**Wymiary:** 36 x 49 x 25 [mm]  
**Sposób filtracji:** rozszerzony filtr Kalmana (EKF)  
**Możliwość integracji z czujnikiem ciśnienia i odbiornikiem GPS**  
**Niska wrażliwość na wibracje**



Rys. 2. Jednostka IMU, IG-500N wraz z podstawowymi parametrami [13]

Dane z sensorów pomiarowych uzyskane w czasie lotu fotogrametrycznego synchronizowane są z pozyskanymi zdjęciami. IMU podaje kąty (ang. degrees): przechylenia (ang. roll), pochylenia (ang. pitch), i odchylenia (ang. heading) z precyzją 0,01°. Zapisy rejestracyjne pozwalają w sposób

jednoznaczny ocenić stabilność lotu platformy bezzałogowej. Na potrzeby przetworzenia fotogrametrycznego stosuje się specjalne systemy podwieszenia, które minimalizują odstępstwa osi optycznej aparatu cyfrowego od pionu. Jeśli odchylenie jest mniejsze niż  $3^\circ$  to mówimy o zdjęciach prawie pionowych. Na rysunku 3 przedstawiony został przykładowy zapis rejestracyjny z lotu testowego. Dla platform bezzałogowych typowe wychylenie waha się w przedziale od 1 do  $15^\circ$ .



Rys. 3. Zapis rejestracyjny z testowego zawisu platformy bezzałogowej w pomieszczeniu zamkniętym [opracowanie własne]

Dzięki zapisom z odbiorników systemów nawigacji satelitarnej możliwe jest wstępne przedstawienie układu szeregów i początkowa ocena pokrycia podłużnego i poprzecznego, bez konieczności wyrównywania bloku zdjęć. Dane o położeniu kamery znacznie upraszczają prace i pozwalają skrócić czas przetworzenia. Typowa dokładność powszechnie stosowanych jednoczesotliwościowych odbiorników GPS wynosi kilkanaście metrów, błędy pozycjonowania związane są w znacznej mierze z atmosferą i jej dużą zmiennością. Refrakcja jonosferyczna i troposferyczna generuje błędy na poziomie od kilku do nawet kilkudziesięciu metrów. Pomiar pseudoodległości z zastosowaniem odbiorników dwuczęstotliwościowych pozwala na zmniejszenie błędu związanego z refrakcją jonosferyczną, nawet do pojedynczych centymetrów (typowo: od 1 do 10 [cm]). Kolejnym istotnym czynnikiem wpływającym na dokładność pomiarów GPS jest niedoskonałość prognozowania perturbacji orbit satelitów, błąd z tym związany wynosi od jednego do dwóch metrów. W tabeli numer 1 zostały zestawione główne źródła błędów pomiaru pseudoodległości.

Tab. 1. Błędy pomiaru pseudoodległości [5]

Źródło błędu pomiaru pseudoodległości (przy stosowaniu się do wytycznych dot. pomiaru)		Wielkość błędu [m]
Segment:	Przyczyna:	
Segment kosmiczny	Wzorec czasu satelity	1 – 2
	Prognoza perturbacji orbit	1 – 2
Propagacja sygnału z satelity do użytkownika	Jonosfera (pomiar na dwóch częstotliwościach)	0,01 – 0,1
	Jonosfera (dobry model)	1 – 2
	Jonosfera (model podstawowy)	5 – 10
	Jonosfera (model uproszczony)	10 – 50
	Troposfera	0,1 – 0,7
	Wielodrożność	0,01 – 2
Segment użytkownika	Szumy odbiornika	0,2 – 1
	Sprzęt komputerowy	0,1 – 1

#### 4. PRACA BADAWCZA

Prace badawcze obejmowały pozyskanie i przetworzenie zdjęć do postaci ortofotomapy, w celu określenia dokładności odbiornika GPS wykorzystywanego do nadania wstępnej georeferencji zdjęć. Nalot wykonany został samolotem Cessna 182. W zamontowanym na zewnątrz zasobniku została umieszczona platforma wielospektralna rejestrująca sześć wąskich zakresów spektralnych promieniowania elektromagnetycznego. Do pozyskania współrzędnych kamery w trakcie wykonywania zdjęcia wykorzystano lekki jednoczęstotliwościowy odbiornik GPS i inercyjną jednostkę pomiarową. Ze względu na niską masę, zestaw ten może być również z powodzeniem wykorzystany na pokładzie zdalnie sterowanego statku powietrznego. W celach badawczych pozyskano łącznie 523 zdjęcia z wysokości około 800 metrów, wielkość piksela terenowego, GSD (ang. Ground Sampling Distance) wynosi około 24 cm. Obszar opracowania obejmuje ponad 2,5 km<sup>2</sup>. Wyrównanie bloku zdjęć przeprowadzono w oprogramowaniu Agisoft PhotoScan [14]. Współrzędne pozyskane w trakcie lotu zostały wykorzystane jako dane wejściowe w procesie aerotriangulacji. Na osnovę polową składało się 13 punktów pomierzonych techniką GPS RTK z dokładnością około 2 centymetrów. Punkty sygnalizowane są w terenie przy pomocy drewnianych palików o wymiarach: 2 x 2 x 30 [cm]. Na czas nalotu układane są specjalne znaczniki w kształcie krzyża o boku 2 metry i szerokości 0,4 metra (rys. 4). W analitycznym procesie wyrównania punkty osnowy fotogrametrycznej wskazane na zdjęciu posłużyły do wyznaczenia finalnych współrzędnych środków rzutów dla każdego zdjęcia wykorzystanego w procesie wyrównania [14]. Różnice współrzędnych otrzymanych po wyrównaniu bloku zdjęć i współrzędnych otrzymanych w trakcie lotu posłużyły do oceny dokładności stosowanego jednoczęstotliwościowego odbiornika GPS.



Rys. 4. Zdjęcie krzyża sygnalizującego punkt osnowy polowej, obraz pozyskany z wysokości 800 metrów (kanał czerwony). [opracowanie własne]

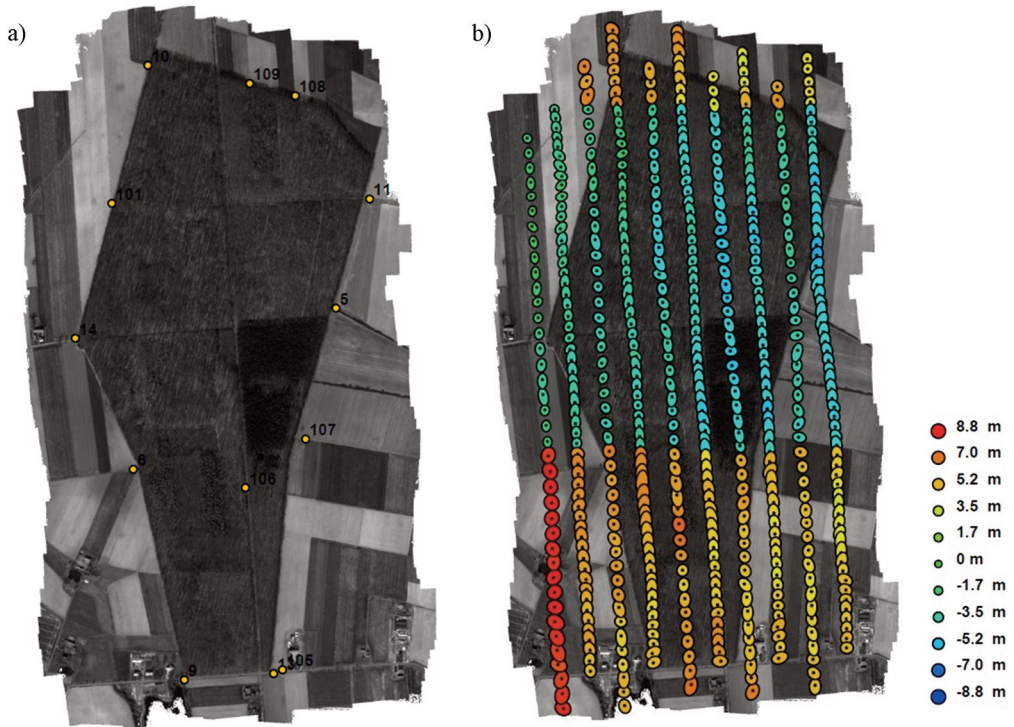
Dokładność wyznaczenia współrzędnych punktów osnowy fotogrametrycznej na wynikowej ortofotomapie wynosi około 0,5 px.

Ostateczna dokładność pomiarów GPS wykonanych w trakcie lotu dla poszczególnych składowych: X, Y, Z, wyniosła około siedmiu metrów dla X i Y oraz około 5 metrów dla Z (Tab. 2). Można więc przyjąć, że w typowych warunkach dynamicznych takich jak lot tradycyjnego samolotu lub BSL w strefie umiarkowanych szerokości geograficznych (konstelacja satelitów i teoretyczna dokładność wyznaczenia pozycji zależy od szerokości geograficznej) jednoczęstotliwościowy odbiornik GPS wyznacza pozycję z dokładnością nie gorszą niż kilkanaście metrów.

Tab. 2. Błędy pomiaru pseudoodległości [5]

Błąd X [m]	Błąd Y [m]	Błąd Z [m]	Łączny błąd [m]
6.81	7.09	4.80	10.94





Rys. 5. a) Rozmieszczenie punktów osnowy fotogrametrycznej; b) Dokładność wyznaczenia współrzędnej wysokościowej środka rzutu kamery w momencie wykonania zdjęcia [opracowanie własne]

## 5. METODY ZWIĘKSZENIA PRECYZJI WYZNACZENIA ELEMENTÓW ORIENTACJI KAMERY W TRAKCIE LOTU

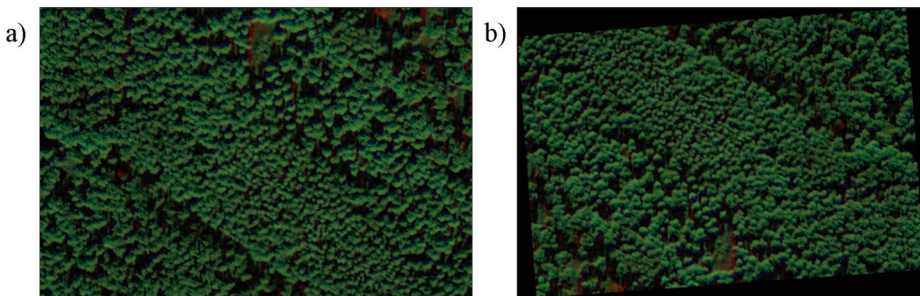
W przypadku wielu zastosowań mobilnych, dokładność pomiaru GPS na poziomie kilku lub kilkunastu metrów jest w zupełności wystarczająca [15]. W trakcie kameralnego opracowania zdjęć współrzędne wyznaczone w trakcie lotu są wykorzystywane jako dane przybliżone. Metody fotogrametryczne umożliwiają orientacje zdjęć w oparciu m.in. o współrzędne punktów pomierzonych w terenie [16]. Dla wielu nowych rozwiązań mobilnych z obszaru np. nowo rozwijanej dziedziny zwanej fotogrametrią czasu rzeczywistego (ang. Real-Time Photogrammetry) lub zaawansowanej nawigacji w lotnictwie, wymagana jest znacznie wyższa dokładność już na etapie pozyskiwania danych. W celu wyeliminowania kosztownych pomiarów terenowych należy wykorzystać dostępne na rynku rozwiązania techniczne. Aby zwiększyć dokładność pomiaru pozycji kamery w trakcie wykonania zdjęcia należy zastosować dwuczęstotliwościowe odbiorniki, które mogą przyjmować poprawki ze stacji referencyjnych [17]. Lekkie anteny należy zastąpić anteną o specjalnej konstrukcji, która eliminuje wielodrożność sygnału. Na rysunku numer cztery zaprezentowany został wielowirnikowiec z zamontowanym systemem do precyzyjnych pomiarów (dwuczęstotliwościowy odbiornik GPS, IMU i LiDAR). Pomiary różnicowe eliminują m.in. błąd zegara satelity, błąd efemeryd oraz opóźnienie jonosferyczne i troposferyczne [18]. Dzięki poprawkom ze stacji bazowej możliwe jest wyznaczenie bezwzględnej pozycji platformy mobilnej z błędem kilku centymetrów [19]. (w szczególnych przypadkach nawet kilka mm). Taka dokładność jest wystarczająca nawet dla zaawansowanych zastosowań z wykorzystaniem BSL.



Rys. 6. Bezzałogowa platforma wielowirnikowa z zamontowaną specjalną anteną do precyzyjnego pozycjonowania [20]

Niezależnie działające systemy GPS i INS (ang. Inertial Navigation System, Inercyjny System Nawigacyjny) umożliwiają pozyskanie danych o orientacji i położeniu kamery w czasie wykonania zdjęcia. Najlepsze rezultaty mogą zostać jednak uzyskane dzięki sprzęgnięciu ze sobą wyników uzyskanych z tych dwóch systemów. Zaawansowane algorytmy filtracji pozwalają na oszacowanie wielkości błędów wyznaczenia pozycji każdego z systemów. W przypadku typowego oprogramowania fotogrametrycznego wstępna orientacja zewnętrzna zdjęć jest niezbędna do przeprowadzenia aerotriangulacji i wygenerowania produktów fotogrametrycznych. Dla zdjęć bez znanej orientacji zewnętrznej proces przetworzenia może zostać wykonany z wykorzystaniem specjalnego oprogramowania wymaga jednak więcej czasu i zasobów systemowych. Specjalne algorytmy prowadzą dopasowanie zdjęć w oparciu o ich cechy morfologiczne. Po wstępnym odtworzeniu układu zdjęć następuje właściwe wyrównanie bloku zdjęć i wyznaczane są finalne współrzędne w przyjętym układzie odniesienia. W celu uzyskania satysfakcjonujących wyników konieczne jest pomierzenie osnowy polowej składającej się z dużej liczby punktów. W innym przypadku nie ma możliwości rzetelnej oceny wykonanej pracy.

Odczyty z odbiornika GPS i jednostki IMU służą nie tylko jako materiał wejściowy w oprogramowaniu fotogrametrycznym. Dane te umożliwiają również prezentację pozyskanego zdjęcia na dostępnym podkładzie kartograficznym. Na rysunku 5a został przedstawiony obraz, któremu w oparciu o pozyskane w trakcie lotu dane nadano georeferencję (Rys. 5b).



Rys. 7. a) Zdjęcie RGB pozyskane nad obszarem badawczym, b) Zdjęcie z nadaną georeferencją, obrócone zgodnie ze wskazaniami IMU [opracowanie własne]

Możliwość poprawnego wyświetlania zdjęć w odpowiednim oprogramowaniu, bez konieczności ich wstępnego przetwarzania jest szczególnie ważna w zastosowaniach związanych z szybkim rekonesansem [21]. Obraz zaimportowany do oprogramowania SIP (System Informacji Przestrzennej) może posłużyć do analizy terenu już w kilkanaście sekund od jego pozyskania (czas potrzebny na przesłanie zdjęcia i jego import do specjalnego oprogramowania) [22].



## 6. WNIOSKI

Zastosowanie odbiorników GPS i inercyjnych jednostek pomiarowych wpływa na łatwość przetworzenia materiału zdjęciowego. Georeferencja wprost umożliwia zmniejszenie liczby koniecznych do pomierzenia i zasygnalizowania w terenie punktów osnowy fotogrametrycznej. Przeprowadzone prace wykazały, że dokładność typowych, lekkich, jednoczęstotliwościowych odbiorników GPS wynosi około kilkunastu metrów. W opisywanym przypadku różnice pomiędzy współrzędnymi przybliżonymi, a wyrównanymi wynosiły 11 metrów. Dla opracowań kameralnych jest to wystarczająca dokładność, wymaga ona jednak zastosowania punktów osnowy fotogrametrycznej. W opisywanym przypadku wytworzona ortofotomapa spełniała standardy techniczne dla tego typu opracowań. W przypadku opracowań czasu rzeczywistego i mobilnych rozwiązań pomiarowych zbliżonych do czasu rzeczywistego, NRT (ang. near real-time) w których ważna jest dokładność wyznaczania pozycji bezpośrednio w trakcie wykonywania misji należy zastosować lepsze anteny i odbiorniki dwuczęstotliwościowe z możliwością przyjmowania poprawek ze stacji referencyjnych. Sposoby poprawiania dokładności odbiorników GPS zostały opisane w rozdziale czwartym. Lekkie odbiorniki nawigacyjne gwarantują wystarczającą dokładność do wstępnej orientacji obrazów i odtworzenia bloku zdjęć. Dla bardziej zaawansowanych prac należy wykorzystać cięższe urządzenia gwarantujące większą dokładność.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] L. Loroch i A. Żyłuk, 2008, "New Technologies for air traffic security", Journal of KONBiN, vol. 4(7), pp. 95-112.
- [2] Jung Soon Jang i D. Liccardo, 2007, "Small UAV Automation Using MEMS", IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine, pp. 30-34.
- [3] C. Zhang, 2009, "Photogrammetric processing of low-altitude UAV imagery", w ASPRS 2009, Baltimore, Maryland (U.S.).
- [4] W. Wiśniowski i P. Wolański, 2014, „Rola Instytutu Lotnictwa w badaniach kosmicznych”, Prace Instytutu Lotnictwa, vol. 1(234), s. 9-16.
- [5] J. Januszewski, 2006, *Systemy satelitarne GPS*, Galileo i inne, Warszawa: PWN.
- [6] P. Sawicki, 2012, „Bezzałogowe aparaty latające UAV w fotogrametrii i teledetekcji – stan obecny i kierunki rozwoju”, Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, tom 23, s. 365-376.
- [7] M. Kacprzak i K. Wodziński, 2016, „Realizacja misji fotolotniczych z wykorzystaniem załogowych i bezzałogowych statków powietrznych”, Prace Instytutu Lotnictwa, vol. 2(243), s. 130-141.
- [8] Sony Alpha Lab, "sonyalphalab.com", [Online]. Available: ;
- [9] Lens Review, 2014, "SLR Lens Review", [Online]. Available: ..
- [10] Z. Kurczyński i Z. Preuss, 2000, *Podstawy Fotogrametrii*, Warszawa: Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej.
- [11] J. D. Barton, 2012, "Fundamentals of Small Unmanned Aircraft Flight", The Johns Hopkins APL Technical Digest, vol. 31, no. 2, pp. 132-149.
- [12] Z. Kurczyński i P. Feczan, 2010, „Pomiar położenia kamery fotolotniczej podczas lotu (georeferencja wprost)”, Geodeta. Magazyn Geoinformacyjny, nr 1, pp. 8-12.
- [13] SBG-Systems, "SBG Systems IG-5000N", [Online]. Available: <http://www.sbg-systems.com/docs/IG-500N-Leaflet.pdf>. [Data uzyskania dostępu: 08 2014].
- [14] "Gispro", 2014, [Online]. Available: .
- [15] B. Hofmann-Wellenhoff, H. Lichtenegger i E. Wasle, 2008, "GNSS – Global Navigation Satellite Systems: GPS", GLONASS, Galileo and more, Wiedeń: Springer.

- [16] I. Colomina i P. Molina, 2014, "Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: a review", *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, tom 92, pp. 79-97.
- [17] E. Ahmed, "Performance Analysis of the RTK Technique in an Urban Environment", *Australian Surveyor*, tom 45, nr 1, pp. 47-54, 2012.
- [18] Z. Kurczyński, 2014, *Fotogrametria*, Warszawa: PWN.
- [19] A. LLC, "www.agisoft.com", [Online]. Available: [http://www.agisoft.com/pdf/photoscan-pro\\_1\\_1\\_en.pdf](http://www.agisoft.com/pdf/photoscan-pro_1_1_en.pdf). [Data uzyskania dostępu: 24 06 2015].
- [20] University of Tasmania, Australia, "utas.edu.au", 10 2014. [Online]. Available: .
- [21] P. Czapski, M. Kacprzak, J. Kotlarz, T. Korniluk, K. Kubiak, A. Mazur, K. Mrowiec, T. Oszako, J. Pieniążek, A. Pośpieszczyk, M. Tkaczyk, N. Zalewska i K. Wodziński, 2014, „Budowa i zastosowanie platformy wielosensorowej w badaniu wybranych parametrów środowiska”, *Prace Instytutu Lotnictwa*, vol. 1(234), s. 126-142.
- [22] L. Litwin i G. Myrda, 2005, *Systemy Informacji Geograficznej – Zarządzanie danymi przestrzennymi w GIS*, SIP, LIS., Gliwice: Helion.

## **APPLICATION OF GPS RECEIVERS AND INERTIAL MEASUREMENT UNITS TO PHOTO ACQUISITION WITH USE UNMANNED AERIAL VEHICLE (UAV)**

### **Abstract**

The purpose of article is to describe the issue of determining the unmanned aerial vehicle (UAV) position and obtaining initial exterior orientation parameters of images acquired with their use. Mounted on UAV board, optical systems are usually simple, relatively light (<2kg) digital cameras used in classic photography. Due to the limited take-off mass of UAV commonly used are also lightweight single frequency GPS receivers and their accuracy is lower than a several meters. Paper presents major sources of errors in GPS measurements and the limitations which affect the quality of images processing. The document describes the methods used to increase the accuracy of determining position with the use of satellite navigation systems.

**Keywords:** GPS, photogrammetry flight, photo acquisition, UAV, multispectral camera, reference station, corrections.