

REALIZACJA MISJI FOTOLOTNICZYCH Z WYKORZYSTANIEM ZAŁOGOWYCH I BEZZAŁOGOWYCH STATKÓW POWIETRZNYCH

MARIUSZ KACPRZAK, KONRAD WODZIŃSKI

Centrum Technologii Kosmicznych, Zakład Teledetekcji, Instytut Lotnictwa, al. Krakowska 110/114, 02-256 Warszawa
mariusz.kacprzak@ilot.edu.pl, konrad.wodzinski@ilot.edu.pl

Streszczenie

Publikacja zawiera porównanie realizacji misji lotniczej z wykorzystaniem samolotu załogowego i bezzałogowego. Wybór rodzaju statku powietrznego uzależniony jest od charakteru misji. Wielkość obszaru, wysokość lotu, ciężar ładunku oraz warunki meteorologiczne determinują typ statku najbardziej odpowiedniego do wykonania danego zadania. W publikacji rozważane jest zastosowanie samolotu załogowego, płatowca bezzałogowego oraz platformy wielowirnikowej. Każdy z typów statków powietrznych ma inne właściwości lotne i cechy charakterystyczne przez co jest przeznaczony do różnych rodzajów misji lotniczej. Od specjalisty odpowiedzialnego za realizację nalogu zależy dobór optymalnego nośnika kamery i poprawne zaplanowanie misji fotolotniczej.

Słowa kluczowe: samolot, bsp, lot fotogrametryczny.

WPROWADZENIE

Fotogrametria jest nauką o metodach, które umożliwiają wyznaczenie oraz określenie kształtów, wymiarów i wzajemnego położenia obiektów znajdujących się na zdjęciach. Ze względu na wykorzystany rodzaj materiału źródłowego wyróżniane:

- fotogrametrię naziemną (fotogrametria bliskiego zasięgu) z wykorzystaniem zdjęć z kamer niemetrycznych. Obecnie do fotogrametrii naziemnej zaliczamy również opracowania wykonane na podstawie zdjęć ukośnych z kamer zamontowanych na niskopułapowych platformach bezzałogowych
- fotogrametrię lotniczą z zastosowaniem zdjęć pionowych, prawie pionowych, nachylonych, ukośnych pochodzących z różnego rodzaju statków powietrznych, w tym platform bezzałogowych (płatowce, platformy wielowirnikowe), lekkich samolotów i klasycznych samolotów fotogrametrycznych.
- Fotogrametrię satelitarną z zastosowaniem scen pozyskanych z pokładu sztucznych satelitów ziemi (SSZ). Współczesne systemy obrazujące tego typu umożliwia pozyskanie zdjęć o rozdzielczości przestrzennej poniżej jednego metra. Dla wielu zadań fotogrametrycznych taka rozdzielczość jest wystarczająca [7].

Fotogrametria wymaga pozyskania wysoko jakościowych zdjęć, które dzięki odpowiedniemu przetworzeniu mogą zostać zastosowane do różnych celów. Najczęściej wykorzystywanym materiałem źródłowym do opracowań fotogrametrycznych są zdjęcia lotnicze, które umożliwiają wytworzenie m.in. ortofotomapy, modelu terenu oraz mapy wektorowej.

Zakład Teledetekcji Instytutu Lotnictwa zajmuje się pozyskiwaniem zdjęć lotniczych na potrzeby projektu HESOFF „Ocena wpływu nawozów fosforynowych na stan zdrowotny lasu zobrazowany za pomocą fotowoltaicznego Bezzałogowego Statku Powietrznego (BSP)”. Loty fotogrametryczne wykonywane są z udziałem załogowego oraz bezzałogowego samolotu. Oba rozwiązania mają swoje zalety i pewne ograniczenia. W niniejszej publikacji podjęto próbę oceny wykorzystania obu rodzajów statków powietrznych w różnych misjach fotolotniczych.

SPOSOBY REALIZACJI MISJI FOTOLOTNICZYCH

Loty fotogrametryczne stanowią zdecydowaną większość misji fotolotniczych. Realizowane są z różnych wysokości lotu nad różnymi powierzchniami. Z tego względu nie wszystkie rodzaje statków powietrznych nadają się do pozyskania zdjęć z każdego obszaru.

1. Teoretycznie najłatwiejszą misją fotogrametryczną jest pozyskanie zdjęć z jednorodnego, niewielkiego obszaru. Do tego celu najlepszym nośnikiem kamery jest platforma wielowirnikowa (Rys. 1).



Rys. 1. Octocopter jako przykład platformy wielowirnikowej [1]



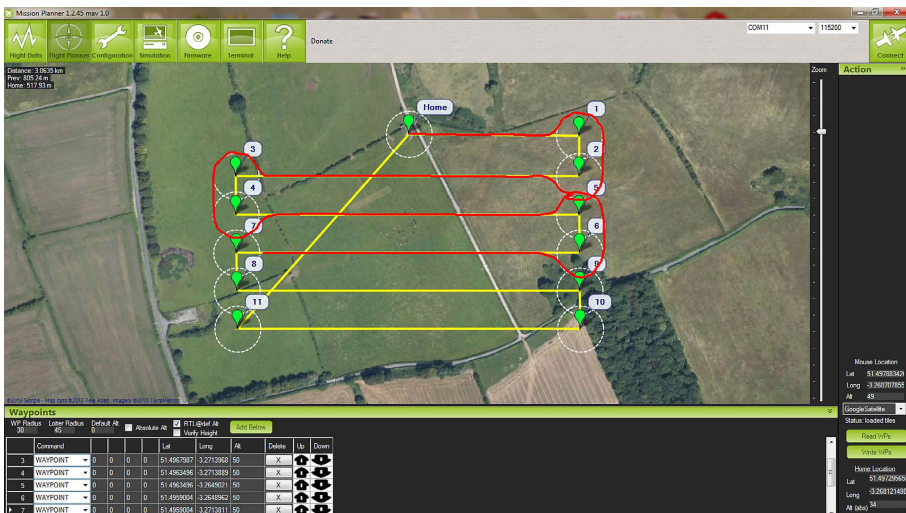
Rys. 2. Trajektoria lotu wielowirnikowca [2]

Platformy wielowirnikowe są statkami powietrznymi, które mogą zawisnąć w danym miejscu i pozyskać dużą liczbę zdjęć tego samego obszaru. Wielowirnikowce mogą wykonać lot wzdłuż krzywej łamanej lub innej skomplikowanej trajektorii lotu (Rys. 2). Zmiana kierunku lotu nie wpływa na dokładność utrzymania trajektorii lotu, jak to ma miejsce w przypadku płatowców. Głównymi wadami platform wielowirnikowych jest maksymalny pułap, który zazwyczaj nie przekracza 400 m. oraz czas lotu, który w wielu przypadkach nie przekracza 40 minut, co wynika z pojemności akumulatorów i dysponowanej mocy wirnikowca.

2. Do pozyskania zdjęć z obszarów o powierzchni do 5 km² służą lekkie bezałogowe płatowce (Rys. 3). Zazwyczaj wykonują misję fotolotniczą na wysokości 100 – 600 m po trajektoriach prostoliniowych. Trasa lotu obejmuje od kilku do kilkunastu szeregów fotogrametrycznych (Rys. 4). Nie mogą być one oddalone od stacji naziemnej o więcej niż 1 – 2 km ze względu na konieczność utrzymania łączności radiowej z samolotem oraz przepisy dotyczące UAV (ang. Unmanned Aerial Vehicle) mówiące o lotach w zasięgu wzroku operatora. W przypadku, gdy powierzchnia jest oddalona od miejsca bazowego, należy wziąć pod uwagę konieczność transportu płatowca na miejsce pozyskiwania materiału zdjęciowego.



Rys. 3. Bezałogowy płatowiec przystosowany do pozyskiwania zdjęć [M. Kacprzak, 2013]



Rys. 4. Zaplanowana trasa lotu płatowca z naniesioną aktualną trajektorią [3]

3. Tereny większe niż kilkanaście kilometrów kwadratowych są fotografowane z załogowego samolotu (Rys. 5). Lekkie systemy bezzałogowe są zbyt mało efektywne do pozyskiwania zdjęć dla wielokilometrowego terenu. Z wykorzystaniem samolotów załogowych, możliwe jest pozyskanie obrazów ze znacznie większych wysokości niż w przypadku omawianych systemów bezzałogowych. Długość trasy lotu mierzy się w godzinach, a nie dziesiątkach minut jak w przypadku Bezzałogowych Statków Latających (BSL). Zastosowanie załogowego statku powietrznego pozwala na pozyskanie w jednym dniu zdjęć nawet dla kilku znacznie oddalonych od siebie obszarów. Wyeliminowany zostaje problem uciążliwego przenoszenia sprzętu lotniczego w okolice poszczególnych rejonów. Projektowanie trasy lotu jest podobne jak dla bezzałogowych płatowców. Samolot porusza się wzdłuż równoległych szeregów równomiernie od siebie oddalonych (Rys. 6). Możliwe jest wykonywanie załogowych misji fotolotniczych na małej wysokości rzędu 150 m nad małym obszarem, należy wtedy mieć świadomość ograniczeń związanych z koniecznością wchodzenia w głębokie zakręty pomiędzy kolejnymi szeregami oddalonymi od siebie o kilkadziesiąt metrów.



Rys. 5. Załogowy samolot wykorzystywany w misjach fotolotniczych [M. Kacprzak, 2014]



Rys. 6. Wyznaczona trasa lotu samolotu załogowego [K. Wodziński, 2014]

CZYNNIKI DETERMINUJĄCE WYBÓR STATKU POWIETRZNEGO

1. Długotrwałość lotu.

Jednym z parametrów decydujących o wyborze statku powietrznego jest długotrwałość lotu. Samoloty załogowe mogą wykonywać misję fotolotniczą przez kilka godzin, podczas gdy bezzałogowe platformy mają czas ograniczony do około jednej godziny, a wielowirnikowce nawet do trzydziestu minut. W przypadku bezzałogowych platform i wirnikowców czas lotu zależy od masy przenoszonego ładunku, który również jest ograniczony, zazwyczaj do ok. 2 kg dla lekkich statków powietrznych. Aby wykonać długotrwały lot nad rozległym obszarem konieczne jest lądowanie i wymiana baterii. Reasumując, bezzałogowe platformy bardzo dobrze sprawdzają się przy realizacji misji fotolotniczych na małych obszarach, podczas gdy samoloty załogowe mogą z powodzeniem sfotografować teren nawet dwudziestokrotnie większy bez lądowania.

2. Zasięg lotu.

Kolejnym ważnym kryterium oceny przydatności statków powietrznych jest ich zasięg. Dla bezzałogowych statków powietrznych jest on ograniczony łącznością radiową, która w zależności od zastosowanego systemu wynosi od kilku do kilkunastu kilometrów. Obecne polskie przepisy nie przewidują lotów BSP poza zasięgiem wzroku. Ograniczenia prawne wpływają na to, że zasięg bezzałogowego statku jest dość mocno ograniczony. Zasięg samolotu załogowego jest zdecydowanie większy, zależy głównie od typu samolotu i ilości zatankowanego paliwa.

3. Udźwig.

Maksymalny udźwig samolotu determinuje rodzaj kamery, która może być wykorzystana do pozyskania zdjęć. Typowe aparaty cyfrowe mogą być montowane na pokładach bezzałogowych statków powietrznych, których udźwig nie przekracza zazwyczaj 2 kg. Aparaty z sensorem o wymiarach 36 x 24 mm (pełna klatka) i dobrym obiektywem mają masę ponad 2 kg i nie mogą być zainstalowane na lekkich bezzałogowcach. Samoloty załogowe mają udźwig rzędu kilkudziesięciu kilogramów i bez trudu zabierają na pokład ciężkie, profesjonalne urządzenia fotogrametryczne.

4. Maksymalna wysokość lotu.

Zaletą wykorzystania samolotu załogowego jest praktyczny pułap lotu. Zdjęcia mogą być pozyskiwane nawet z kilku tysięcy metrów, dzięki temu zasięg pojedynczego zdjęcia jest stosunkowo duży (zależy od zastosowanej kamery). To z kolei przekłada się na mniejszą liczbę szeregów i czas potrzebny na wykonanie nalotu. Lekkie samoloty bezzałogowe osiągną maksymalną wysokość lotu do 1 km. Dla platform wielowirnikowych jest ona jeszcze mniejsza (zazwyczaj do 0,5 km) ze względu na użyteczną moc silników. Dopiero duże bezzałogowe samoloty napędzane silnikami tłokowymi lub odrzutowymi osiągają wysokości lotu rzędu kilku kilometrów. Większa wysokość lotu umożliwia uzyskanie zdjęć o większym zasięgu, ale też mniejszej rozdzielczości terenowej. Aby uzyskać zadowalającą wielkość piksela terenowego należy stosować kamery o dobrej optyce i większej rozdzielczości, a to z kolei wiąże się z masą kamer.

5. Minimalna wysokość lotu.

Ograniczeniem samolotów załogowych jest ich minimalna wysokość lotu. Przepisy definiują ją jako 150 m nad terenem niezabudowanym, ale dla celów specjalnych ta wysokość może być mniejsza. Biorąc pod uwagę dużą prędkość przelotową, zdjęcia pozyskane z wysokości mniejszej

niż 150 metrów, bardzo często nie mają dobrych parametrów i są nieprzydatne w opracowaniach fotogrametrycznych. Na małej wysokości doskonale sprawdzają się statki bezzałogowe, które poruszają się zdecydowanie wolniej przez co mogą pozyskać zdjęcia o lepszej jakości. Najmniejszą użyteczną wysokość lotu uzyskamy wykorzystując platformę bezzałogową, która może zawisnąć na wysokości kilku metrów nad terenem i pozyskać precyzyjne zdjęcia, dobrej jakości.

6. Maksymalna prędkość wiatru.

Pod uwagę należy wziąć możliwość lotu przy wietrze wiejącym z prędkością większą niż 5 m/s. Samoloty załogowe radzą sobie bardzo dobrze nawet w trudnych warunkach atmosferycznych. Stabilny lot platformą bezzałogową ograniczony jest prędkością wiatru rzędu 5 - 6 m/s.

7. Czas przygotowania samolotu.

Zdemontowane bezzałogowe płatowce i platformy wielowirnikowe przewożone są w skrzyniach transportowych. Przygotowanie samolotu do lotu obejmuje złożenie płatowca, uruchomienie stacji naziemnej, połączenie jej z samolotem, wczytanie trasy lotu i sprawdzenie stanu technicznego płatowca. Całość operacji można zrealizować w czasie jednej godziny. Przygotowanie wielowirnikowca zajmuje znacznie mniej czasu, ponieważ platforma wielowirnikowa zazwyczaj nie wymaga złożenia. Samolot załogowy przygotowujemy jest w podobnym czasie co przygotowanie wielowirnikowca do lotu. W przypadku samolotu należy zrobić przegląd przedlotowy, dokonać montażu kamery, wykonać próbę silnika, oraz wczytać trasę lotu.

8. Czas potrzebny na przygotowanie trasy lotu.

Najkrótszy czas przygotowania trasy lotu jest dla BSP. Aplikacje autopilotów pozwalają na wybór obszaru, z którego mają być pozyskane zdjęcia. Program automatycznie wyznacza liczbę szeregów w zależności od parametrów kamery i zadanej wysokości lotu. Całkowity czas planowania misji wynosi zaledwie kilka minut. W przypadku samolotów załogowych, należy wykorzystać urządzenia nawigacyjne, w które wyposażony jest samolot i wpisać trasę lotu manualnie punkt po punkcie. Wcześniej należy określić położenie punktów zwrotnych samolotu w układzie współrzędnych WGS-84. Dobór odpowiednich punktów i ich implementacja do urządzenia nawigacyjnego zajmuje kilka godzin.

9. Czas przybycia na powierzchnie badawcze.

Bezzałogowe samoloty i platformy latające muszą być transportowane nad obszary badawcze przy pomocy różnego rodzaju środków transportu (najczęściej wystarczy samochód osobowy). Im mniejsza odległość od miejsca bazowego do powierzchni tym sensowność i atrakcyjność wykorzystania UAV wzrasta. Natomiast przy większych odległościach koniecznych do pokonania samochodem, zasadność wykorzystania samolotów załogowych wzrasta. Mając do dyspozycji samolot załogowy trasę 400 km pokonamy w niecałe 2 godziny. Po krótkiej przerwie i zamontowaniu kamery można przystąpić do lotu fotogrametrycznego. Dysponując bezzałogowymi systemami, należy je najpierw przetransportować w miejsce badawcze. Dla trasy 400 km. jest to około 6 godzin jazdy samochodem.

10. Liczba dni misji.

Lot fotogrametryczny samolotem załogowym nad kilkoma terenami oddalonymi od siebie o 50 – 100 km można wykonać nawet w trakcie jednego dnia (wraz z dolotem i przylotem na miejsce startu). Realizując naloty samolotem bezzałogowym należy każdorazowo go złożyć

i spakować w celu transportu w okolice kolejnego obszaru badawczego. Zajmuje to znaczną część czasu. Realizacja misji z wykorzystaniem statków bezzałogowych nad oddalonymi od siebie obszarami badawczymi zajmuje nawet 4 - 5 dni.

11. Koszty noclegów.

Dzięki zastosowaniu samolotu załogowego koszty misji pomniejszone są o koszty noclegów, gdyż zadanie lotnicze wykonywane jest zazwyczaj w trakcie jednego dnia, podczas którego realizowany jest dojazd do powierzchni badawczych, lot fotogrametryczny i powrót do miejsca bazowego. W przypadku bezzałogowców należy liczyć się z kosztami noclegowymi, jeśli powierzchnie badawcze znacznie oddalone są od siebie i miejsca w którym znajduje się siedziba firmy.

12. Koszt wynajmu (jedna godzina).

Koszty wykonania misji lotniczej można rozpatrywać na kilka sposobów. W pierwszej kolejności należy uwzględnić koszty związane z wynajmem statku powietrznego. Godzina lotu wynajętego (niefotogrametrycznego) samolotu załogowego kosztuje 900 zł (Cessna 182), 1300 zł (Piper Seneca, Vulcanair Observer), a bezzałogowego statku 3000 – 4000 zł. Cena związana jest z innowacyjnością tego sektora lotniczego. W rzeczywistości wycenie usługi BSP poddaje się dzień lotny statku bezzałogowego i wtedy jest ona krotnością ceny godzinowej, ale do oceny porównawczej przedstawionej w dalszej części publikacji przyjęto wycenę jednej godziny.

13. Koszt eksploatacji (jedna godzina).

W przypadku posiadania własnego statku powietrznego koszty eksploatacji są zdecydowanie niższe niż wynajmu. Zawierają w sobie koszty paliwa, przeglądów, materiałów, części. Eksploatacja bezzałogowców jest zdecydowanie tańsza niż samolotów załogowych, dlatego ich wykorzystanie jest ekonomicznie uzasadnione.

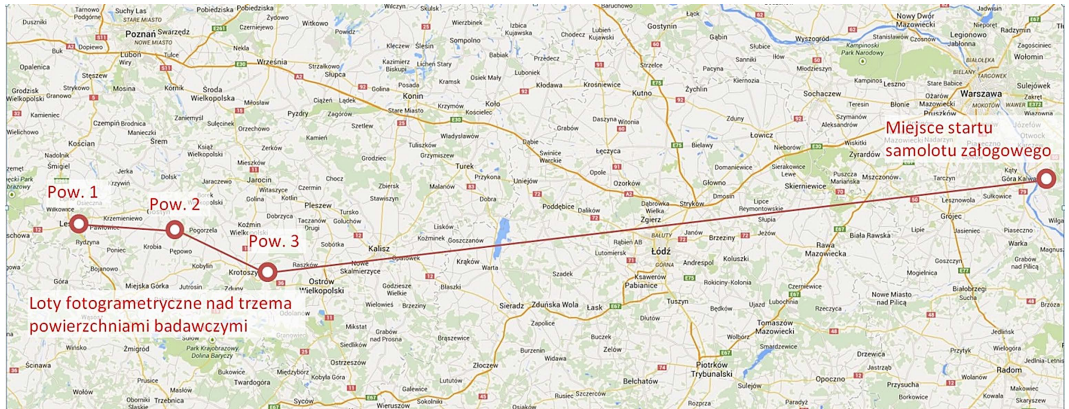
Główne czynniki decydujące o wyborze odpowiedniego statku powietrznego zostały przedstawione w tabelach w dalszej części publikacji. Pozwalają one na optymalny dobór platformy nośnej (załogowej lub bezzałogowej) w zależności od rodzaju i charakteru misji fotolotniczej. W celu wykonania profesjonalnego opracowania fotogrametrycznego nie należy się ograniczać jedynie do zdjęć pochodzących z profesjonalnych, ciężkich kamer fotogrametrycznych zamontowanych na certyfikowanych samolotach. Do pozyskania materiału zdjęciowego można z powodzeniem wykorzystać poprawnie skalibrowany półprofesjonalny aparat cyfrowy zamontowany na dowolnym nośniku. Oczywiście należy zadbać o poprawne zaplanowanie misji i poprawne ustawienie wszystkich parametrów pracy aparatu. Niezwykle ważnym elementem jest zadbanie o stabilność lotu i dokładność utrzymania zadanego kierunku. Współczesne oprogramowanie fotogrametryczne umożliwia poprawne wytworzenie produktów fotogrametrycznych ortofotomapy, modeli terenu nawet ze zdjęć tworzących nieregularny blok.

SYSTEM OCENY

Zaproponowany system oceny wykorzystania samolotu załogowego i bezzałogowego przedstawiony został w postaci tabel. Oceny dokonano niezależnie dla trzech typów misji fotolotniczych różniących się powierzchnią.

1. Projekt HESOFF.

Pierwsze porównanie odnosi się do wykonania misji fotolotniczej realizowanej na potrzeby projektu HESOFF. Trzy powierzchnie badawcze znajdują się 300 - 400 km od miejsca bazowego i rozmieszczone są w odległości 35 km od siebie. Na rysunku 7 przedstawiono rozmieszczenie powierzchni badawczych wraz z położeniem lotniska bazowego samolotu załogowego, który może być użyty na potrzeby projektu HESOFF. Kamera używana w projekcie ma masę około 3,5 kg.



Rys. 7. Teoretyczna trasa dolotu samolotu załogowego do powierzchni badawczych HESOFF [google maps, 2015]

Poniższa tabela (Tab. 1) przedstawia zestawienie i ocenę parametrów misji lotniczej w projekcie HESOFF dla samolotu załogowego i bezzałogowych systemów latających.

Tab. 1. Ocena przydatności różnych systemów nośnych w projekcie HESOFF

Lp.	Kryterium	Cessna 182	punkty	Elektryczny bezzałogowy płatowiec	punkty	Elektryczny wirnikowiec	punkty
1	Długość lotu	5 godz.	50	1 godz.	10	1 godz.	10
2	Zasięg lotu	1500 km	100	2 km	2	2 km	2
3	Udźwig	10 kg	100	2 kg	20	2 kg	20
4	Max. wysokość lotu	3 km	100	600 m	20	400 m	13
5	Min. wysokość lotu	150 m	70	100 m	80	50 m	90
6	Max. wiatr	10 m/s	100	6 m/s	60	5 m/s	50
7	Czas przygotowania samolotu	1 godz.	50	1 godz.	50	0.5 godz.	75
8	Czas przygotowania trasy	2 godz.	0	10 min	83	10 min	83
9	Czas przybycia na powierzchnie badawcze	2 godz.	80	6 godz.	40	6 godz.	40
10	Liczba dni misji	1	100	4	25	5	0
11	Koszty noclegów	0 zł	100	900 zł	70	1200 zł	60
12	Koszt wynajęcia 1 godz. lotu	900 zł	82	3000 zł	40	3000 zł	40
13	Koszt eksploatacji	500 zł	50	100 zł	90	100 zł	90
	SUMA		982		590		573

Zastosowane kryteria:

1. Długość lotu dla obciążenia 3,5 kg: 0 godz. = 0 pkt, 10 godz. = 100 pkt.
2. Zasięg lotu: 0 km = 0 pkt, 100 km = 100 pkt
3. Udźwig samolotu dla misji lotniczej HESOFF. Dla samolotu Cessna 182 udźwig bez ingerencji w konstrukcję samolotu: 0 kg = 0 pkt, 10 kg = 100 pkt.
4. Max. wysokość lotu fotogrametrycznego: 0 m = 0 pkt, 3 km = 100 pkt.
5. Min. wysokość lotu fotogrametrycznego: 0 m = 100 pkt, 500 m = 0 pkt.
6. Max. wiatr zapewniający prawidłowe wykonanie zadania: 0 m/s = 0 pkt, 10 m/s = 100 pkt.
7. Czas przygotowania samolotu do misji, sprawdzenie samolotu, złożenie płatowca, wczytanie trasy lotu: 2 godz. = 0 pkt, 0 godz. = 100 pkt.
8. Czas przygotowania trasy, wyznaczenie punktów nawigacyjnych, szeregów fotogrametrycznych: 0 min. = 100 pkt, 60 min = 0 pkt.
9. Czas przybycia na powierzchnie badawcze oddalone o 400 km od miejsca bazowego: 10 godz. = 0 pkt, 0 godz. = 100 pkt.
10. Liczba dni misji dla trzech powierzchni badawczych: 1 dzień = 100 pkt, 5 dni = 0 pkt.
11. Koszty noclegów dla 2 osób na 3 - 4 doby misji lotniczej: 0 zł = 100 pkt, 3000 zł = 0 pkt.
12. Koszt wynajęcia (1 godz. lotu): 0 zł = 100 pkt, 5000 zł = 0 pkt.
13. Koszt eksploatacji w przypadku posiadania własnego samolotu (obejmuje przeglądy, paliwo, energię elektryczną, części): 0 zł = 100 pkt, 1000 zł = 0 pkt.

W przypadku misji fotolotniczych z użyciem kamery ważącej więcej niż 2 kg i na obszarach znacznie oddalonych od miejsca bazowego rozsądnym rozwiązaniem jest wybór samolotu załogowego do pozyskania zdjęć. Takie rozwiązanie ma wiele zalet pod względem logistycznym i ekonomicznym. Jeśli należałoby jednak wybrać bezzałogowy nośnik, to płatowiec okazuje się w tym wypadku lepszy od wielowirnikowca.

2. Pozyskiwanie zdjęć lekką kamerą (2 kg) z małej wysokości (100 m) i małego obszaru położonego blisko miejsca bazowego.

Zastosowane kryteria:

1. Długość lotu dla obciążenia 2 kg: 0 godz. = 0 pkt, 1 godz. = 100 pkt.
2. Zasięg lotu: 0 km = 0 pkt, 2 km = 100 pkt
3. Udźwig samolotu (dla samolotu Cessna 182 udźwig bez ingerencji w konstrukcję samolotu): 0 kg = 0 pkt, 2 kg = 100 pkt.
4. Max. wysokość lotu fotogrametrycznego: 0 m = 0 pkt, 400 m = 100 pkt.
5. Min. wysokość lotu fotogrametrycznego: 0 m = 100 pkt, 500 m = 0 pkt.
6. Max. wiatr zapewniający prawidłowe wykonanie zadania: 0 m/s = 0 pkt, 10 m/s = 100 pkt.
7. Czas przygotowania samolotu do misji (sprawdzenie samolotu, złożenie płatowca, wczytanie trasy lotu): 2 godz. = 0 pkt, 0 godz. = 100 pkt.
8. Czas przygotowania trasy (wyznaczenie punktów nawigacyjnych, szeregów fotogrametrycznych): 0 min = 100 pkt, 60 min = 0 pkt.

9. Czas przybycia na powierzchnie badawcze oddalone o 20 km od miejsca bazowego:
10 godz. = 0 pkt, 0 godz. = 100 pkt.
10. Liczba dni misji dla trzech powierzchni badawczych: 1 dzień = 100 pkt, 5 dni = 0 pkt.
11. Koszty noclegów dla 2 osób na 3 - 4 doby misji lotniczej: 0 zł = 100 pkt, 3000 zł = 0 pkt.
12. Koszt wynajęcia (1 godz. lotu): 0 zł = 100 pkt, 5000 zł = 0 pkt.
13. Koszt eksploatacji w przypadku posiadania własnego samolotu (obejmuje przeglądy, paliwo, energię elektryczną, części): 0 zł = 100 pkt, 1000 zł = 0 pkt.

Tab. 2. Ocena przydatności różnych systemów nośnych podczas pozyskiwania zdjęć z małego obszaru położonego blisko miejsca bazowego

Lp.	Kryterium	Cessna 182	punkty	Elektryczny bezzałogowy płatowiec	punkty	Elektryczny wielowirnikowiec	punkty
1	Długotrwałość lotu	5 godz.	100	1 godz.	100	1 godz.	100
2	Zasięg lotu	1500 km	100	2 km	100	2 km	100
3	Udźwig	10 kg	100	2 kg	100	2 kg	100
4	Max. wysokość lotu	3 km	100	600 m	100	400 m	100
5	Min. wysokość lotu	150 m	70	100 m	80	50 m	90
6	Max. wiatr	10 m/s	100	6 m/s	60	5 m/s	50
7	Czas przygotowania samolotu	1 godz.	50	1 godz.	50	0.5 godz.	75
8	Czas przygotowania trasy	2 godz.	0	10 min	83	10 min	83
9	Czas przybycia na powierzchnie badawcze	0,5 godz.	95	0,5 godz.	95	0,5 godz.	95
10	Liczba dni misji	1	100	1	100	1	100
11	Koszty noclegów	0 zł	100	0 zł	100	0 zł	100
12	Koszt wynajęcia 1 godz. lotu	900 zł	82	3000 zł	40	3000 zł	40
13	Koszt eksploatacji	500 zł	50	100 zł	90	100 zł	90
	SUMA		1047		1098		1123

Misja lotnicza polegająca na pozyskaniu zdjęć z małego obszaru położonego blisko miejsca bazowego może być przeprowadzona z wykorzystaniem trzech różnych platform nośnych. Samolot załogowy, wielowirnikowiec i samolot bezzałogowy ocenione zostały na tym samym poziomie. Gdy założone zostają łagodne warunki atmosferyczne, mała wysokość lotu i fakt posiadania własnego bezzałogowca to wielowirnikowiec zdecydowanie znajduje się na pierwszym miejscu w systemie oceny.

Jeśli badany teren jest punktowym obszarem (spójny, niewielki obszarowo), to pozyskanie zdjęć za pomocą wielowirnikowca jest najlepszym rozwiązaniem. Zdolność utrzymania pozycji przez wirnikowca daje możliwość pozyskania kilku zdjęć tego samego obszaru. Zastosowanie precyzyjnego urządzenia GPS, odpowiedniej stabilizacji platformy i dobrego gimbału gwarantuje pełny sukces misji fotolotniczej.

3. Pozyskiwanie zdjęć ciężką kamerą (>10 kg) z dużej wysokości (3 km) i dużego obszaru położonego daleko od miejsca bazowego (500 km).

Tab. 3. Ocena przydatności różnych systemów nośnych podczas pozyskiwania zdjęć z dużego obszaru położonego daleko od miejsca bazowego

Lp.	Kryterium	Cessna 182	punkty	Elektryczny bezzalógowy płatowiec	punkty	Elektryczny bezzalógowy wirnikowiec	punkty
1	Długotrwałość lotu	5 godz.	50	1 godz.	10	0,5 godz.	5
2	Zasięg lotu	1500 km	100	2 km	0	2 km	0
3	Udźwig	10 kg	100	2 kg	20	2 kg	20
4	Max. wysokość lotu	3 km	100	600 m	20	400 m	13
5	Min. wysokość lotu	150 m	100	100 m	100	50 m	100
6	Max. wiatr	10 m/s	100	6 m/s	60	5 m/s	50
7	Czas przygotowania samolotu	1 godz.	50	1 godz.	50	0,5 godz.	75
8	Czas przygotowania trasy	2 godz.	0	10 min	83	10 min	83
9	Czas przybycia na powierzchnie badawcze	2 godz.	80	7 godz.	30	7 godz.	30
10	Liczba dni misji	1	100	5	0	5	0
11	Koszty noclegów	0 zł	100	1200 zł	60	1200 zł	60
12	Koszt wynajęcia 1 godz. lotu	900 zł	82	3000 zł	40	3000 zł	40
13	Koszt eksploatacji	500 zł	50	100 zł	90	100 zł	90
	SUMA		1012		563		566

Zastosowane kryteria:

- Długotrwałość lotu dla obciążenia 10 kg: 0 godz. = 0 pkt, 10 godz. = 100 pkt.
- Zasięg lotu: 0 km = 0 pkt, 1000 km = 100 pkt.
- Udźwig samolotu (dla samolotu Cessna 182 udźwig bez ingerencji w konstrukcję samolotu): 0 kg = 0 pkt, 10 kg = 100 pkt.
- Max. wysokość lotu fotogrametrycznego: 0 m = 0 pkt, 3 km = 100 pkt.
- Min. wysokość lotu fotogrametrycznego: 500 m = 100 pkt, 1000 m = 0 pkt.
- Max. wiatr zapewniający prawidłowe wykonanie zadania: 0 m/s = 0 pkt, 10 m/s = 100 pkt.
- Czas przygotowania samolotu do misji (sprawdzenie samolotu, złożenie płatowca, wczytanie trasy lotu): 2 godz. = 0 pkt, 0 godz. = 100 pkt.
- Czas przygotowania trasy (wyznaczenie punktów nawigacyjnych, szeregów fotogrametrycznych): 0 min = 100 pkt, 60 min = 0 pkt.
- Czas przybycia na powierzchnie badawcze oddalone o 500 km od miejsca bazowego: 10 godz. = 0 pkt, 0 godz. = 100 pkt.
- Liczba dni misji dla trzech powierzchni badawczych: 1 dzień = 100 pkt, 5 dni = 0 pkt.
- Koszty noclegów dla 2 osób (1 os. = 150 zł za noc): 0 zł = 100 pkt, 3000 zł = 0 pkt.
- Koszt wynajęcia (1 godz. lotu): 0 zł = 100 pkt, 5000 zł = 0 pkt.
- Koszt eksploatacji w przypadku posiadania własnego samolotu (obejmuje przeglądy, paliwo, energię elektryczną, części): 0 zł = 100 pkt, 1000 zł = 0 pkt.

Dla długotrwałych misji fotolotniczych najlepszym rozwiązaniem jest wykorzystanie samolotu załogowego jako nośnika kamery. Załogowe samoloty osiągają wysokości lotu niedostępne dla obecnie produkowanych lekkich platform bezzałogowych, dlatego przy misjach fotolotniczych wymagających dużych wysokości lotu samoloty załogowe pozostają niezastąpione. Wyróżniającym je parametrem jest długotrwałość lotu, która wynosi kilka godzin. Dzięki temu można pozyskać materiał zdjęciowy z bardzo dużego obszaru. Wygodą jest również możliwość szybkiego przemieszczenia się nad badany teren.

Nie zawsze na samolotach załogowych istnieje możliwość zainstalowania platformy stabilizującej kamerę. Dlatego istotne jest utrzymywanie samolotu w locie bez przechyleń. Niektóre bezzałogowe platformy mają zabudowany system stabilizacji jednoosiowej w osi podłużnej samolotu, dzięki czemu kamera nie jest wrażliwa na przechylenia samolotu. Jest to jednak wciąż rzadkie rozwiązanie dlatego bezzałogowe samoloty bez stabilizacji kamery pozyskują zdjęcia obarczone błędem przechylenia wynikającego z wrażliwości płata na ruchy atmosfery. Najlepszą stabilizację zapewniają (pełne) trójosiowe gimbale montowane na platformach wielowirnikowych.

Przed każdą misją lotniczą należy zastanowić się, jaki rodzaj nośnika kamery trzeba zastosować. Wszystkie omówione statki powietrzne są dedykowane do realizacji określonych typów misji lotniczych. Każdy z nich posiada swoje wady i zalety, dlatego operator musi dokonać odpowiedniego wyboru w zależności od charakteru realizowanego zadania lotniczego.

LITERATURA

- [1] http://www.kaspi.ca/data/photos/288_1in_flight2014.jpg.
- [2] <http://unmannedengineeria.com/blog/surveying-crops-by-drone-the-process/>.
- [3] <http://diydrones.com/forum/topics/using-flying-wings-for-aerial-mapping?id=705844%3ATopic%3A1060057&page=14>.
- [4] Boroń, A., *Projekt lotu fotogrametrycznego – konspekt dla studentów*, PWSTE Jarosław.
- [5] Konieczny, J., 2011, Teledetekcja bliskiego zasięgu, skrypt naukowy.
- [6] Valet, J., Panissod, F., 2011, *Photogrammetric performance of an ultra light weight swinglet „uav”*, Switzerland.
- [7] Kurczyński, J., 2014, *„Fotogrametria”* Wydawnictwo Naukowe PWN.

EXECUTION OF PHOTO MISSION BY MANNED AIRCRAFT AND UNMANNED AERIAL VEHICLE

Abstract

The publication includes a comparison of the aviation mission using manned aircraft and unmanned aerial vehicle. Select the type of aircraft depends on the nature of the mission. The size of the area, altitude, payload and weather conditions determine the most appropriate aircraft type for the mission. A manned aircraft, unmanned airframe and multicopter are taken into consideration. Each type of aircraft has different flight characteristics which makes it suitable for various types of air missions. The specialist responsible for the execution of the flight have to select the optimal carrier of cameras and proper planning of the photo mission.

Keywords: airplane, uav, photogrammetric flight, aviation mission, flight planning.