

WYKORZYSTANE BEZZAŁOGOWYCH APARATÓW LATAJĄCYCH (MINI ŚMIGŁOWCÓW) DO WYKONYWANIA FOTOGRAMETRYCZNYCH ZDJĘĆ LOTNICZYCH Z NISKICH PUŁAPÓW

THE USE OF UNMANNED AERIAL VEHICLES (MINI HELICOPTERS) IN PHOTOGRAMMETRY FROM LOW LEVEL

Bogdan Szczechowski

Zakład Geodezji, Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska, Politechnika Gdańska

SŁOWA KLUCZOWE: bezzałogowe aparaty latające w zastosowaniu do wykonywania fotogrametrycznych zdjęć lotniczych z niskich pułapów.

STRESZCZENIE: W artykule przedstawione są wybrane aspekty organizacyjne, techniczne oraz formalno – prawne związane z zastosowaniem bezzałogowych aparatów latających (mini śmigłowców) do wykonywania fotogrametrycznych zdjęć lotniczych z niskich pułapów. W przypadku tego typu aparatów latających do wykonywania zdjęć mogą być wykorzystywane jedynie tzw. kamery niometryczne czyli wybrane aparaty fotograficzne montowane w specjalnej obudowie zainstalowanej pod śmigłowcem.

Aparaty fotograficzne wymagają kalibracji.

W artykule przedstawione są dwa różne zestawy aparatury:

- pierwszy zestaw to miniaturowy mini śmigłowiec o nazwie MD4-200 firmy Microdrones GmbH z Niemiec zaprojektowany z myślą o wykorzystaniu do fotografowania z powietrza różnego rodzaju obiektów; śmigłowiec ma niewielki udźwieg – stąd też ma zainstalowany kompaktowy aparat fotograficzny Pentax Optio A40 o rozdzielczości 12 milionów pikseli;
- drugi zestaw to mini śmigłowiec MS EAGLE o udźwigu około 5 kg z zainstalowanym aparatem fotograficznym Canon EOS 5D.

W artykule są przedstawione także możliwości zastosowania tego typu aparatury w różnego rodzaju zagadnieniach pomiarowych; w artykule załączone są także zdjęcia aparatury.

1. WPROWADZENIE

Osoby parające się na co dzień opracowaniami fotogrametrycznymi mają świadomość, że relatywnie najbardziej kłopotliwym elementem technologii pomiarów fotogrametrycznych jest pozyskanie zdjęć terenu lub też zdjęć obiektu.

W przypadkach kiedy przedmiotem pomiaru fotogrametrycznego jest opracowanie z zakresu fotogrametrii lotniczej, pozyskanie zdjęć – w warunkach polskich - jest kłopotliwe przede z powodu konieczności oczekiwania na pogodę sprzyjającą wykonaniu tych zdjęć (pomijam tu koszty wykonania zdjęć).

Łatwiejszą może być sytuacja, kiedy charakter zadania pomiarowego i charakter mierzonego obiektu wymaga wykonania zdjęć naziemnych albo też wykonania zdjęć z niewielkich wysokości np. rzędu kilkudziesięciu metrów nad terenem.

W praktyce w przypadkach wykonywania zdjęć z niewielkich wysokości przez wiele lat dominowała opcja wykorzystywania podnośników samochodowych, których najnowsze konstrukcje pozwalają na osiągnięcie pułapu rzędu 70 metrów. Podnośnik taki wymaga jednak relatywnie dużo miejsca na ziemi, jest kłopotliwy (m.in. może w istotny sposób tamować ruch drogowy) i jest kosztowny.

W przeszłości w Polsce były już czynione próby wykorzystania do wykonywania zdjęć z niskich pułapów bezzałogowych mini samolotów, balonów, sterowców oraz motolotni; m.in. pisze o tym w swoich artykułach w roku 2002 Bogdan Jankowicz (Jankowicz, 2002).

W stosunku do w/w roku 2002 w ostatnich latach w fotogrametrii zaszły istotne zmiany; w szczególności:

- pojawiły się relatywnie niedrogie (koszt rzędu kilkudziesięciu tysięcy złotych) i relatywnie łatwe w obsłudze bezzałogowe aparaty latające,
- pojawiła się cała gama tanich, lekkich, cyfrowych, wysokorozdzielczych, zdalnie wyzwalanych aparatów fotograficznych,
- pojawiły się relatywnie tanie systemy informatyczne (zarówno software jak i dedykowany obserwacjom stereoskopowym hardware) dedykowane kompleksowym opracowaniom fotogrametrycznym wykonywanym na bazie zdjęć wykonywanych aparatami cyfrowymi (zw. kamerami niemetrycznymi) np. PI-3000, polski Dephos, Photo Modeler, AeroSys itp.,
- pojawiły się proste i tanie „systemy” do kalibracji aparatów fotograficznych,
- pojawiła się potrzeba istotnego zwiększenia dyspozycyjności wykonywania zdjęć fotogrametrycznych,
- znaczenia nabrała potrzeba racjonalizacji (zmniejszenia) kosztów wykonania zdjęć lotniczych – szczególnie istotna w przypadkach fotografowania niewielkich obiektów,
- itp.

Wszystkie te elementy razem wytworzyły ciśnienie na powstanie technologii fotogrametrycznej wykorzystującej zdjęcia wykonywane z bezzałogowych aparatów latających.

W niniejszym artykule przedstawiona jest opcja technologii opracowań fotogrametrycznych wykorzystującej bezzałogowe aparaty latające – konkretnie mini śmigłowce – jako platformy nośnej dla aparatów fotograficznych wykonujących zdjęcia fotogrametryczne; w szczególności w pracach doświadczalnych, na bazie których opracowany jest niniejszy artykuł, wykorzystane były dwa różne, niżej opisane zestawy aparatury:

- pierwszy zestaw to miniaturowy, czterowirnikowy mini śmigłowiec o nazwie MD4-200 firmy Microdrones GmbH z Niemiec (rys.1) zaprojektowany z myślą o wykorzystaniu do fotografowania z powietrza różnego rodzaju obiektów; śmigłowiec ma niewielki udźwieg – stąd też ma zainstalowany cyfrowy, kompaktowy aparat fotograficzny o nazwie Pentax Optio A40. Wymieniony aparat fotograficzny ma wbudowany obiektyw zoom o ogniskowej w przedziale: 7.9 mm – 23.7 mm (co w przypadku omawianego aparatu stanowi odpowiednik ogniskowej: 37 mm – 111 mm w formacie 35 mm) oraz o rozdzielczości 12 milionów pikseli. Inne parametry techniczne tego zestawu są następujące:
 - waga: 900 gram,
 - udźwieg: 200 gram,
 - rozmiar: odległość między osiami śmigieł 700 mm,

- silnik elektryczny,
- czas trwania pojedynczego lotu: maksymalny - 20 minut na jednym zestawie baterii (wymiana baterii na nowy zestaw pozwala na kolejny lot o czasie trwania 20 minut; mini śmigłowiec jest wyposażony w 4 zestawy baterii, które łącznie pozwalają na wielogodzinny lot z międzylądowaniami co około 15÷20 minut),
- zasięg lotu: maksymalny 400 metrów,
- maksymalny pułap 150 metrów – przy tej wysokości lotu rozmiary terenu sfotografowanego na jednym zdjęciu wynoszą: 140x105 m,
- podgląd obrazu w czasie rzeczywistym – zarówno na ekranie monitora laptopa jak i na ekranie specjalnych okularów,
- komputer pokładowy wraz z odbiornikiem GPS umożliwi nawigację mini śmigłowca wzdłuż zadanej trasy oraz na zadanej wysokości.
- drugi zestaw to mini śmigłowiec MS EAGLE z zainstalowanym aparatem fotograficznym Canon EOS 5D o matrycy CCD o wymiarach: 35.8 x 23.9 mm, o ogniskowej obiektywu równej 50 mm oraz o rozdzielczości 12 milionów pikseli (rys. 2). Inne parametry techniczne tego zestawu są następujące:
 - waga: około 15 kg (z maksymalnym obciążeniem),
 - udźwig maksymalny 5 kg,
 - rozmiary mini śmigłowca: 1400 mm x280 mm x500 mm, rozpiętość łopat 1650 mm,
 - silnik spalinowy o mocy 4.8 KM,
 - czas trwania pojedynczego lotu: maksymalnie 50 minut na jednym baku (uzupełnienie paliwa pozwala na kolejny lot o czasie trwania 50 minut; mini śmigłowiec pozwala na wielogodzinny lot z międzylądowaniami co około 40÷50 minut),
 - zasięg lotu: maksymalny 500 metrów,
 - maksymalny pułap 200 metrów - przy tej wysokości lotu oraz przy zastosowaniu standardowego obiektywu aparatu CANON EOS 5D o ogniskowej 50 mm rozmiary terenu sfotografowanego na jednym zdjęciu wynoszą: 140x105 m,
 - podgląd obrazu w czasie rzeczywistym – na ekranie monitora laptopa,
 - komputer pokładowy wraz z odbiornikiem GPS umożliwi nawigację mini śmigłowca wzdłuż zadanej trasy oraz na zadanej wysokości.

Wykorzystane bezałogowych aparatów latających (mini śmigłowców) do wykonywania fotogrametrycznych zdjęć lotniczych z niskich pułapów



Rys.1. Zdjęcie mini śmigłowca MD4-200 z aparatem cyfrowym Pentax Optio A40



Rys.2. Zdjęcie mini śmigłowca MS EAGLE z zamontowanym aparatem cyfrowym CANON EOS 5D



2. ZALETY I OGRANICZENIA WYKORZYSTANIA MINI ŚMIGŁOWCÓW JAKO PLATFORMY NOŚNEJ DLA KAMER FOTOGRAMETRYCZNYCH

Bezzałogowy aparat latający – jak to już wyżej wspomniano w omawianym w niniejszym artykule przypadku są to dwa różne mini śmigłowce (rys. 1 i 2) – znakomicie wkomponowuje się w istniejącą lukę pułapową: z satelitów wykonuje się zdjęcia fotogrametryczne z pułapu kilkuset kilometrów, z samolotów wykonuje się zdjęcia z pułapu od około 500 metrów do około 4000 metrów a z bezzałogowych aparatów latających wykonuje się zdjęcia z pułapu od kilku metrów począwszy na kilkuset metrach skończywszy.

Zastosowanie bezzałogowych mini śmigłowców jako platformy nośnej kamery fotograficznej w porównaniu do innych podobnych środków latających (bezzałogowych mini samolotów, sterowców, balonów a także motolotni) wykazuje jedną istotną zaletę: charakterystycznym wyłącznie dla mini śmigłowca atutem jest możliwość jego „zawiśnięcia” na pewien okres czasu w jednym miejscu i wykonywania z tego miejsca cyklicznych zdjęć – w określonych, nawet bardzo krótkich odstępach czasu; właściwości tej nie posiadają inne w/w rodzaje aparatów latających. Wykonywanie wielu zdjęć z tego samego, dokładnie wybranego stanowiska, przy jednoczesnym podglądzie kadru zdjęcia w czasie rzeczywistym, jest korzystne przede wszystkim z tego powodu, że umożliwiałoby wybór zdjęcia – z całej plejady zdjęć wykonanych z danego stanowiska – o optymalnych parametrach technicznych (m.in. minimalne kąty φ , ω , κ , właściwe parametry pokrycia podłużnego i poprzecznego zdjęć oraz najlepsza w danych warunkach jakość fotograficzna zdjęcia). Stwierdzić bowiem należy, że wykonywanie zdjęć z tego typu wrażliwych na wiatr aparatów latających, posiada ograniczenia wynikające z braku technicznych możliwości dokładnej stabilizacji kierunku fotografowania kamery i z braku możliwości dokładnej stabilizacji kierunku lotu aparatu a także z powodu wpływu drgań aparatu latającego na ostrość zdjęć.

W stosunku do zdjęć wykonywanych z samolotu (bądź z satelity) zdjęcia fotogrametryczne wykonywane z bezzałogowych aparatów latających (mini śmigłowców) charakteryzują się następującymi właściwościami:

- zdjęcia można wykonywać praktycznie przez cały rok (dla przypomnienia: zdjęcia lotnicze i satelitarne dla potrzeb fotogrametrycznych w Polsce wykonywane są w okresie od początku kwietnia do połowy października),
- zdjęcia wykonywane z mini śmigłowca generalnie nie wymagają szczególnych warunków pogodowych – można je zatem praktycznie wykonywać każdego dnia (zdjęcia lotnicze i satelitarne wymagają bezchmurnej pogody!); w odniesieniu do warunków atmosferycznych ograniczeniem w stosowaniu mini śmigłowca jest silny wiatr i relatywnie zła pogoda (padający deszcz albo padający śnieg itp.),
- atutem zdjęć wykonywanych z bezzałogowych aparatów latających jest fakt, iż z aparatów tych można wykonywać zdjęcia z bardzo niskich pułapów np. począwszy już od kilku metrów co w praktyce stwarza zupełnie nowe możliwości odnośnie zastosowania metod fotogrametrycznych do geometryzacji różnych – zarówno statycznych jak i dynamicznych – niewielkich obiektów,
- zastosowany w naszym przypadku zestaw aparatury posiada następujące właściwości:

- dzięki komputerowi pokładowemu oraz dzięki odbiornikowi GPS możliwa jest automatyczna nawigacja mini śmigłowca wzdłuż z góry zadanej trasy oraz na zadanej wysokości,
 - możliwe jest zdalne wyzwalenie migawki aparatu fotograficznego,
 - możliwy jest zdalny, w czasie rzeczywistym, podgląd kadru zdjęcia (przed jego wykonaniem); ta właściwość pozwala na kontrolowane z ziemi wykonywanie zdjęć,
 - możliwa jest ciągła zmiana kierunku fotografowania kamery – w trakcie trwania lotu mini śmigłowca; ta właściwość pozwala na wykonywanie podczas jednego lotu mini śmigłowca zarówno tzw. pionowych, zdjęć widokowych jak również zdjęć bocznych względem obiektu - szczególnie dogodnych w przypadkach konieczności fotografowania wysokich elewacji budowli,
- wymieniona już wyżej możliwość „zawiśnięcia” mini śmigłowca na pewien okres czasu w jednym miejscu i wykonywania z tego miejsca cyklicznych zdjęć pozwala także na wykorzystywanie zestawu aparatury do badań geometrycznych dynamicznie zmieniających się obiektów.

Oprócz w/w technicznych zalet zastosowania mini śmigłowca do rejestracji fotogrametrycznej nie sposób nie wymienić zalet natury organizacyjnej i ekonomicznej takiego rozwiązania. W szczególności zastosowanie mini śmigłowca do rejestracji fotogrametrycznej jest wyjątkowo dyspozycyjne (mobilne) – wymaga podjęcia decyzji o konieczności fotografowania, zapakowania do samochodu aparatu i dojazdu do obiektu; oczywistym jest też fakt, że zastosowanie takiego aparatu – w porównaniu np. do samolotu – jest też zdecydowanie tańszym przedsięwzięciem.

Mówiąc tak pozytywnie o możliwościach (i o zaletach) zestawu aparatury: *mini śmigłowiec z podwieszoną kamerą fotograficzną* konieczne jest też wymienienie jego ograniczeń, do których należy zaliczyć:

- niewielki udźwig śmigłowca, który wymusza zastosowanie do fotografowania wyłącznie niewielkich, lekkich, cyfrowych aparatów fotograficznych wyposażonych w niewielką wymiarowo matrycę CCD – najczęściej jest to matryca o wymiarach 24x36 mm (np. aparat Canon EOS 5D).

Praktyczną konsekwencją w/w ograniczenia jest relatywnie niewielki zasięg terytorialny rejestrowany na pojedynczym zdjęciu a tym samym i niewielki obszar opracowania fotogrametrycznego realizowanego przy wykorzystaniu omawianej aparatury.

Sposobem, którym można wyraźnie poszerzyć zasięg terytorialny pojedynczego zdjęcia jest zastosowanie w aparatach cyfrowych szerokokątnych lub nadszerokokątnych obiektywów (Eisenbeiss, 2004); w przypadku aparatu fotograficznego Canon EOS 5D, przy obiektywie o ogniskowej 14 mm i przy wysokości lotu około 150 m sfotografowany na jednym zdjęciu obszar ma wymiary około 380 m x 250 m. Możliwe jest także zastosowanie aparatów o większej matrycy CCD, np. aparat MAMIYA ZD, który posiada matrycę o wymiarach 48 x 36 mm.

Liczbowym wymiarem zalecanego zasięgu terytorialnego opracowania fotogrametrycznego wykonywanego przy zastosowaniu omawianej aparatury wydaje się być obszar o powierzchni kilkunastu hektarów – przy obiektach powierzchniowych lub obszar o długości nawet kilku kilometrów – przy obiektach liniowych.

- dużą wrażliwość na wiatr – konsekwencją „bujania” się mini śmigłowca pod wpływem wiatru mogą być nadmiernie nachylone i skrecone zdjęcia,



- drgania mini śmigłowca – przy braku specjalnego, tłumiącego zawieszenia kamery, drgania powodują nieostrość zdjęć (z dotychczasowych doświadczeń wynika, że część zdjęć wykonywanych z mini śmigłowca jest wyraźnie nieostra z powodu drgań tego aparatu),
- zdalne nawigowanie mini śmigłowcem wymaga dużej praktycznej wprawy łącznie z umiejętnością awaryjnego sprowadzania na ziemię mini śmigłowca przy nie działającym silniku,
- nieuregulowany na dzień dzisiejszy status formalno – prawny lotów bezzałogowych aparatów latających.

3. ISTOTNE ELEMENTY POMIAROWEGO CYKLU TECHNOLOGICZNEGO – RÓŻNE OD CYKLU STANDARDOWEGO

W porównaniu do standardowego cyklu technologicznego opracowań fotogrametrycznych, w przypadku pomiarów bazujących na zdjęciach fotograficznych terenu (lub innego obiektu) wykonanych przy wykorzystaniu jako platformy nośnej kamery, bezzałogowych aparatów latających, mamy do czynienia z kilkoma cechami odróżniającymi ten proces od standardowego cyklu.

W szczególności w przypadku zastosowania bezzałogowych aparatów latających jako platformy nośnej dla aparatu fotograficznego mamy do czynienia z czterema właściwościami, których uwzględnienie wymusza inne niż standardowe podejście do sposobu realizacji pracy; właściwości te są następujące:

1. stosowane do wykonywania zdjęć lekkie, cyfrowe aparaty fotograficzne wymagają przeprowadzenia kalibracji – w dostosowaniu do zastosowanych na danym obiekcie warunków geometrycznych fotografowania,
2. na pojedynczym zdjęciu rejestruje się relatywnie niewielki obszar terenu; tego typu sytuacja wymusza indywidualne – dla każdego obiektu - projektowanie pokrycia podłużnego i poprzecznego zdjęć oraz indywidualne projektowanie gęstości i rozmieszczenia osnowy fotogrametrycznej,
3. spełnienie przez zdjęcia warunków geometrycznych wymaga wyjątkowej staranności w zakresie wyboru stanowisk i w zakresie doboru wysokości fotografowania a także w zakresie jakości fotograficznej i jakości geometrycznej zdjęć,
4. do opracowania zdjęć konieczne jest zastosowanie dedykowanego dla tego typu opracowań systemu informatycznego takiego jak już wcześniej wspomniany system firmy Topcon o nazwie PI-3000, który jest m.in. wyposażony w specjalny monitor (z okularami) umożliwiający obserwację stereoskopową zdjęć.

Ad 1

Kalibracja aparatu fotograficznego może być przeprowadzona w dwojaki sposób:

- pierwszy sposób kalibracji aparatu fotograficznego jest bardzo łatwy i wygodny – polega on na sfotografowaniu, z pięciu stanowisk w odpowiedni sposób rozmieszczonych w przestrzeni, specjalnych plansz kalibracyjnych, których wzorce są dołączone do takich systemów informatycznych jak PI – 3000 oraz PhotoModeler. Opracowanie zdjęć testowych odbywa się automatycznie pod nadzorem systemu i w przypadku systemu PI-3000 zajmuje nie więcej niż pół godziny; łącznie zatem w czasie około 1 godziny możliwe jest przeprowadzenie kalibracji aparatu niemetrycznego – w zakresie umożliwiającym fotogrametryczne, kompleksowe opracowanie zdjęć.



Opisany proces kalibracji aparatu może być przeprowadzony w kameralnych warunkach – w nieco większym niż typowe pomieszczeniu biurowym.

- drugi sposób kalibracji tzw. niemetrycznego aparatu fotograficznego wymaga odpowiedniego zagęszczenia osnowy terenowej na mierzonym obiekcie; w tego typu przypadkach parametry kalibracji aparatu wyliczane są na podstawie wyników obserwacji zdjęć a ściślej biorąc na podstawie wyników obserwacji punktów osnowy fotogrametrycznej odfotografowanych na zdjęciach. Ten drugi sposób określenia parametrów kalibracji aparatu jest bardziej poprawny, jako że bazuje on na zdjęciach wykonanych w rzeczywistych warunkach, ale wymaga on dużo więcej zabiegów technicznych i jest bardziej czasochłonny.

Ad 2 i 3

Konieczność spełnienia przez zdjęcia odpowiednich parametrów geometrycznych (m.in. minimalne kąty φ , ω , κ , zgodne z planowanymi parametry pokrycia podłużnego i poprzecznego zdjęć, zgodna z projektowaną wysokość lotu mini śmigłowca oraz najlepsza jakość fotograficzna zdjęcia) w warunkach małej stabilności platformy nośnej oraz w warunkach rejestracji na pojedynczym zdjęciu relatywnie niewielkiej powierzchni terenu jest w omawianym przypadku niezwykle istotna.

Dla potrzeb spełnienia przez zdjęcia w/w parametrów proponuje się następujące rozwiązania techniczne i organizacyjne:

1. Dla zagwarantowania odpowiednich kątów φ , ω , κ oraz dla zagwarantowania dobrej jakości fotograficznej zdjęcia proponuje się wykonywanie na każdym stanowisku kilku zdjęć, np. 5 zdjęć (a w szczególnie trudnych warunkach nawet 10 zdjęć), z których do opracowania należy wybrać – po analizie – najlepsze z tych zdjęć; dodać przy tym należy, że wykonanie więcej niż jednego zdjęcia na pojedynczym stanowisku nie pociąga za sobą praktycznie żadnych ujemnych konsekwencji (w minimalnym stopniu wydłuża jedynie czas misji lotniczej).

Warto tutaj ponownie przytoczyć fakt, że tylko śmigłowiec pozwala na wykonywanie wielu zdjęć z tego samego stanowiska „zdjęciowego”.

2. W celu zagwarantowania parametrów pokrycia podłużnego i poprzecznego zdjęć można zastosować taki parametr pokrycia, który gwarantowałby możliwość opracowania zdjęć nawet wtedy kiedy trzeba by pominąć zdjęcia z jakiegoś pojedynczego stanowiska.

W przedmiocie ustalania lokalizacji stanowisk fotografowania możliwych jest kilka rozwiązań:

- pierwsze rozwiązanie, w którym lokalizację stanowisk ustali się poprzez wskazanie konkretnych miejsc, nad którymi powinien zawisnąć śmigłowiec np. mogą to być krawędzie i środek odkrywki archeologicznej dodatkowo oznakowane w terenie dużymi kontrastowymi planszami,
 - drugim rozwiązaniem może być pomiar – techniką GPS - współrzędnych punktów naziemnych nad którymi powinien zawisnąć mini śmigłowiec i następnie wprowadzenie tych współrzędnych do komputera pokładowego mini śmigłowca i realizacja tych stanowisk przez automatyczną – ale monitorowaną z ziemi – nawigację mini śmigłowca,
 - inne rozwiązania.
3. W celu zagwarantowania zaplanowanej wysokości lotu mini śmigłowca należy zastosować urządzenie do zdalnej kontroli tego parametru – może to być specjalny wysokościomierz albo też można skorzystać z odpowiednio dobranej odbiornika GPS; warto tutaj dodać, że w omawianym przypadku nie jest wymagana wysoka



dokładność określenia wysokości lotu mini śmigłowca (wystarczy dokładność na poziomie kilku metrów).

Ad 4

Koniecznym dla fotogrametrycznego opracowania zdjęć wykonanych tzw. kamerami niemetrycznymi jest zastosowanie specjalistycznego oprogramowania. Stosunkowo najbardziej efektywnym rozwiązaniem jest zastosowanie dedykowanych dla tego typu opracowań systemów informatycznych takich jak np.

- kilkakrotnie już wymieniany system firmy Topcon o nazwie PI-3000,
- system o nazwie Photo Modeler,
- polski system o nazwie Dephos,
- system o nazwie AeroSys.

Pierwsze dwa z w/w systemów są wyposażone w moduł do kameralnej, bardzo sprawnej kalibracji aparatu fotograficznego – chociażby z tego powodu ich zastosowanie jest bardziej efektywne niż dwóch pozostałych.

4. MOŻLIWOŚCI ZASTOSOWANIA ZDJĘĆ LOTNICZYCH WYKONYWANYCH Z BEZZAŁOGOWYCH APARATÓW LATAJĄCYCH

Mając na uwadze wyżej wymienioną charakterystykę zdjęć lotniczych wykonywanych z mini śmigłowca zasadnym jest wykorzystywanie przedmiotowej techniki w następujących zagadnieniach:

1. wykonywanie aktualnej mapy fotograficznej (tzw. ortofotomapy lub fotoszki) terenów przeznaczonych pod ważne inwestycje – o obszarach nie większych niż kilkanaście hektarów,
2. dokumentowanie postępu prac na szczególnie ważnych inwestycjach zarówno drogowych (np. na budowie autostrady A1, w tym na budowie węzłów tej autostrady) jak i wielkoprzemysłowych (np. budowa kolejnych terminali w Porcie Północnym), bądź wielkoobszarowych (np. budowa hipermarketów itp.)
3. opracowanie dokumentacji technicznej dla sprawnego zarządzania infrastrukturą drogową (np. poprzez opracowanie tzw. fotoszki przedstawiającego pas drogowy na całej jego długości itp.);
4. dokumentowanie odkrywek archeologicznych wraz z opracowaniem stosownej dokumentacji inwentaryzacyjnej z tych odkrywek (przedmiotową technologią opracowano ortofotomapę odkrywki archeologicznej - na podstawie zdjęć wykonanych z mini śmigłowca MD4-200; do opracowania wykorzystano system informatyczny firmy Topcon PI-3000).
5. inwentaryzacja obiektów zabytkowych, szczególnie w konwencji rysunków tzw. 3D (fotografowanie z mini śmigłowca jest szczególnie przydatne w przypadkach trudnego dostępu do inwentaryzowanego obiektu, w przypadkach konieczności fotografowania górnych fragmentów wysokich elewacji budowli oraz w przypadkach kiedy obiekt jest rozległy),
6. rejestracja miejsc katastrof przestrzennych (np. teren po przejściu trąby powietrznej) oraz katastrof drogowych (rejestracja dla potrzeb sądowych miejsc katastrof drogowych),
7. pomiary (np. objętości) mocno nieregularnych powierzchni, np. składowisk węgla,
8. inwentaryzacja napowietrznych linii energetycznych,
9. inwentaryzacja brzegów klifowych,



10. rejestracja stanu zapełnienia zbiorników oczyszczalni ścieków,
11. rejestracji lokalnych zagrożeń środowiska, np. hałdy fosfogipsów w okolicach Gdańska,
12. rejestracja zjawisk dynamicznych, np. wodowania kadłubów statków, falowania morskiego, falowania na modelach hydraulicznych itp.
13. innych, np. przypadków, w których zdalna rejestracja fotograficzna niebezpiecznego zjawiska wykonywana z bezzałogowego aparatu latającego pozwala na uniknięcie zagrożenia życia lub zdrowia ludzkiego.

5. WNIOSKI KOŃCOWE

Zdaniem autora niniejszego artykułu zastosowanie mini śmigłowca do rejestracji fotogrametrycznej jako wyjątkowo dyspozycyjne (mobilne) i ekonomiczne jest „skazane” na sukces; niesie ono także za sobą zupełnie nowe, dotąd nie penetrowane przez fotogrametrię możliwości zastosowań.

6. LITERATURA

Eisenbeiss H., 2004. A mini unmanned aerial vehicle: system overview and image acquisition. *International Workshop*, Thailand.

Jankowicz B., 2002. Zastosowanie niskopułapowych lotów bezzałogowych dla fotogrametrycznego pozyskiwania informacji o terenach wiejskich. *Materiały Ogólnopolskiego Sympozjum Naukowego*, Białobrzegi – Warszawa.

Jankowicz B., 2002. Przydatność obrazów rejestrowanych kamerami APS (Advanced Photo System) z nalołów niskopułapowych dla fotogrametrycznego monitoringu obszarów wiejskich. *Materiały Ogólnopolskiego Sympozjum Naukowego*, Białobrzegi – Warszawa.

Nikiel S., Kupaj M., 2004. Fotogrametria w komputerowym modelowaniu obiektów architektonicznych. *Pomiary Automatyka Robotyka* nr 7-8.

Tokarczyk R., 2007. Automatyzacja pomiaru na obrazach cyfrowych w systemie fotometrycznym do badania wad postawy. *Uczelniane Wydawnictwa Naukowo – Dydaktyczne*, Kraków.

Rodriguez B, Garcia S., Pifiero Y., 2008. Experiences using non-metric cameras in photogrammetry. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Part B5, Beijing.

Yongjun Zhang, 2008. Photogrammetric processing of low altitude image sequences by unmanned airship. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Part B5, Beijing.



**THE USE OF UNMANNED AERIAL VEHICLES (MINI HELICOPTERS) IN
PHOTOGRAMMETRY FROM LOW LEVEL**

KEY WORDS: unmanned aerial vehicles, photogrammetry from low level.

Summary

The paper discusses organizational, technical, legal and formal issues of unmanned aerial vehicles use in photogrammetry from low level. This type of photogrammetry makes use of certain selected types of calibrated, non-metric cameras only. The cameras are placed in a box installed under the helicopter.

Two different sets of equipment are described:

- The MD4-200 mini helicopter manufactured by Microdrones GmbH (Germany) and a Pentax Optio A40 compact digital camera with 12.0 effective megapixels,
- The MS EAGLE mini helicopter with 5 kg load capacity and a Canon EOS 5D photo camera.

The paper discusses also some applications of the equipment.

dr ing. Bogdan Szczechowski
e-mail: bogdanz_gda@op.pl
tel. 0 603751274,