SERIA GEOMATYKA

1

TECHNOLOGIA POMIARÓW FOTOGRAMETRYCZNYCH WYKORZYSTUJĄCA NIEMETRYCZNE ZDJĘCIA CYFROWE WYKONYWANE Z BEZZAŁOGOWYCH, ZDALNIE STEROWANYCH APARATÓW LATAJĄCYCH

dr inż. Bogdan Szczechowski

ISBN 978-83-930010-0-2

2009

Wydawnictwo Polskiego Internetowego Informatora Geodezyjnego
seria GEOMATYKA – wydanie 2009
wydawca: I-NET.PL
ul. Kołobrzeska 14b/90, 10-443 Olsztyn
tel. 89 6 70 11 00 faks 89 6 70 11 11
www.i-net.pl office@i-net.pl

Autor: Bogdan Szczechowski

ISBN 978-83-930010-0-2

Niniejsza praca była podlegała recenzji naukowej w zespole projektu nr ROW-II-393-2008:
TECHNOLOGIA POMIARÓW FOTOGRAMETRYCZNYCH WYKORZYSTUJĄCA
NIEMETRYCZNE ZDJĘCIA CYFROWE WYKONYWANE Z BEZZAŁOGOWYCH,
ZDALNIE STEROWANYCH APARATÓW LATAJĄCYCH.
W realizacji pracy uczestniczyli także:
BIURO PROJEKTÓW I ZASTOSOWAŃ SYSTEMÓW INFORMATYCZNYCH
„MICROSYSTEM" sp z o.o. SOPOT
oraz OKRĘGOWE PRZEDSIĘBIORSTWO GEODEZYJNO-KARTOGRAFICZNE Z GDAŃSKA.
Niniejsza praca podlegała recenzji w ramach ww. projektu oraz Wydawnictwo.

ZAWARTOŚC OPRACOWANIA: STRONY:

I. Wstęp 5 - 7

II. Zalety i ograniczenia bezzałogowych statków powietrznych w zastosowaniu do pomiarów fotogrametrycznych: 7 - 9

III. Wymogi formalno – prawne lotów bezzałogowych statków powietrznych 10 - 15

IV. Problematyka obiektów niejawnych na zdjęciach wykonywanych z bezzałogowych statków powietrznych 15 - 16

V. Istotne elementy pomiarowego cyklu technologicznego – różne od cyklu standardowego 17 - 23

VI. Wymagania technologiczne w stosunku do niezbędnego zestawu aparatury i oprogramowania: 23 - 27

VI.1. Wymagania w stosunku do mini śmigłowca: 23 - 24

VI.2. Wymagania w stosunku do aparatu fotograficznego: 24 - 25

VI.3. Wymagania w stosunku do systemu informatycznego: 25 - 25

VI.4. Wymagania w stosunku do urządzeń towarzyszących: 25 - 27

VII. Zasady doboru głównych parametrów technicznych technologii fotogrametrycznej dla potrzeb konkretnego zadania pomiarowego. 27 - 32

VIII. Organizacyjne i inne dotąd niewymienione techniczne aspekty przedmiotowej technologii. 32 - 35

VIII.1. Stacja naziemna, 32 - 32

VIII.2. Kontrola danych: 32 - 33

VIII.3. Pomiary geodezyjne oraz przygotowanie niezbędnych danych do przetwarzania zdjęć: 33 - 33

VIII.4. Projekt lotu: 33 - 35

IX. Technologia pomiarów fotogrametrycznych wykorzystująca niemetryczne zdjęcia cyfrowe wykonywane z wybranych dwóch bezzałogowych, zdalnie sterowanych statków powietrznych 35 - 55

IX.1. Wprowadzenie 35 - 38

IX.2. Szczegółowa charakterystyka techniczna aparatury i oprogramowania: 38 - 48

IX.3. Fazy cyklu technologicznego opracowań fotogrametrycznych: 48 - 55

IX.3.1. Faza prac przygotowawczych; 49 - 51

IX.3.2. Faza wykonania prac terenowych; 51 - 54

IX.3.3. Faza opracowania zdjęć; 54 - 54

IX.3.4. Faza przygotowania dokumentacji wynikowej opracowania; 55 - 55

X. Możliwości zastosowania zdjęć lotniczych wykonywanych z bezzałogowych statków powietrznych 56 - 56

XI. Wnioski 57 - 57

XII. Literatura 58 - 59

XIII. Wykaz załączników 60 - 61

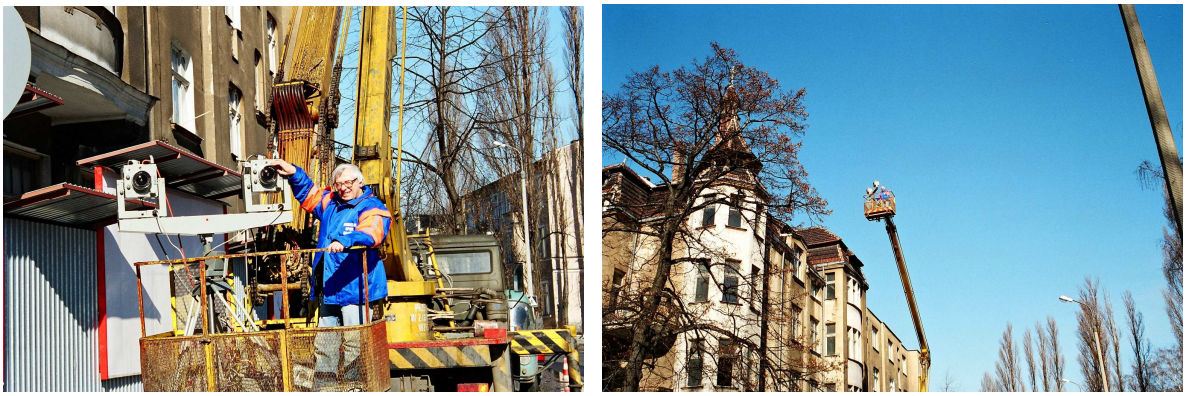
I. WSTĘP

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

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 dla potrzeb opracowań fotogrametrycznych zdjęć fotograficznych z niewielkich wysokości przez wiele lat dominowała opcja wykorzystywania do tego celu podnośników samochodowych (rys. 1 i 2), których najnowsze konstrukcje pozwalają na osiągnięcie pułapu rzędu 70 metrów (rys. 2A i B). Podnośnik taki wymaga jednak relatywnie dużo utwardzonego miejsca na ziemi, jest kłopotliwy (m.in. może w istotny sposób tamować ruch drogowy), jego ustawienie - oraz ewentualne przesunięcie - wymaga też czasu a przy dużych wysokościach także bezwietrznej pogody; wykorzystanie podnośnika samochodowego jest też relatywnie kosztowne. Dodatkowym, technicznym ograniczeniem zastosowania podnośnika samochodowego w pomiarach fotogrametrycznych jest fakt, że – poza wyjątkowymi przypadkami - nie nadaje się on do wykonywania zdjęć skierowanych w dół – ku ziemi; podnośnik dobrze spełnia rolę platformy nośnej dla zdjęć wykonywanych bocznie w stosunku do obiektu czyli dla potrzeb inwentaryzacji górnych części elewacji wysokich budowli (rys. 1A i B i 2B).



Rys. 1A i B. Zdjęcia stanowiska fotogrametrycznego, z zestawem dwóch kamer fotogrametrycznych UMK, usytuowanego w koszu podnośnika samochodowego – podczas fotografowania obiektu w Sopocie dla potrzeb jego inwentaryzacji (w omawianym przypadku wysokość kosza podnośnika wynosiła kilkanaście metrów).

Rys.2A i B. Zdjęcia wykonane z podnośnika samochodowego z wysokości około 65 m; na lewym zdjęciu widać podnośnik z wysięgnikiem; a na prawym zdjęciu widać wieże Kościoła Mariackiego w Krakowie. Zdjęcia wykonane przy wykorzystaniu obiektywu tzw. rybie oko (zdjęcia zamieszczono za zgodą autora Księdza Piotra Guzika).

W przeszłości w Polsce czynione były jednostkowe próby wykorzystania do wykonywania zdjęć z niskich pułapów bezzałogowych mini samolotów oraz miniaturowych motolotni; m.in. pisze o tym w swoich artykułach Bogdan Jankowicz (Jankowicz, 2002, 2007, 2008).

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 statki powietrzne,
- 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 realizowanym na bazie zdjęć wykonywanych aparatami cyfrowymi (zw. kamerami niemetrycznymi) np. system PI-3000 firmy Topcon, 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 wykonywania 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 opracowaniu przedstawiona jest technologia opracowań fotogrametrycznych wykorzystująca bezzałogowe statki powietrzne – konkretnie mini śmigłowce – jako platformy nośnej dla aparatów fotograficznych wykonujących zdjęcia dla potrzeb fotogrametrycznych.

II. ZALETY I OGRANICZENIA BEZZAŁOGOWYCH STATKÓW POWIETRZNYCH W ZASTOSOWANIU DO POMIARÓW FOTOGRAMETRYCZNYCH

Bezzałogowe statki powietrzne znakomicie wkomponowują się w istniejącą w fotogrametrii 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 statków powietrznych 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 umożliwia 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 fotograficznych 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 (zdjęcia lotnicze i satelitarne dla potrzeb fotogrametrycznych w Polsce wykonywane są w okresie od początku kwietnia do połowy października),
- zdjęcia wykonywane z mini śmigłowców 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 (większy od 4m/sec) 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 także z bardzo niskich pułapów np. z wysokości kilku metrów co w praktyce stwarza zupełnie nowe możliwości odnośnie zastosowania metod fotogrametrycznych do geometryzacji różnych – zarówno statycznych jak i dynamicznych – niewielkich obiektów,

- 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; czas potrzebny do uruchomienia aparatury na ogół nie przekracza 20 – 30 minut. Oczywistym jest też fakt, że zastosowania 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:

- sterowanie mini śmigłowcem wymaga dużej wprawy, praktycznego doświadczenia - łącznie z umiejętnością w miarę bezpiecznego sprowadzania na ziemię mini śmigłowca w przypadkach jego awarii – oraz bardzo przydatnej wiedzy z zakresu meteorologii. **Prace testowe wykonane w ramach niniejszego projektu celowego wykazały także, że operator bezzałogowego mini śmigłowca MUSI posiadać niezbędną, podstawową wiedzę z zakresu fotogrametrii umożliwiającą mu m.in. świadome wykonywanie poprawnych geometrycznie stereogramów.**
  Dotychczasowe, praktyczne doświadczenia – wynikające także z sytuacji zaistniałych w trakcie wykonywania prac badawczych przedmiotowego projektu - pokazują, że w trakcie lotów z udziałem mini śmigłowców należy się liczyć z możliwością wystąpienia różnego rodzaju awarii tych urządzeń np. w trakcie prac badawczych wykonywanych w ramach przedmiotowego projektu zdarzyły się następujące sytuacje:
  - w trakcie lotu awarii uległ jeden z 4 silników mini śmigłowca MD 4-200,
  - w trakcie lotu śmigłowca MD4-200 na wysokości około 150m wystąpił niespodziewanie tak silny wiatr - niewyczuwalny na ziemi - że były poważne problemy ze sprowadzeniem urządzenia na ziemię;
  - zdarzył się przypadek utraty łączności z mini śmigłowcem MS EAGLE; w tym przypadku, w celu zapobieżenia w przyszłości podobnym zdarzeniom w ramach prac badawczych skonstruowano dodatkową linię komunikacyjną ze śmigłowcem zapobiegającą jego „urwaniu” się;

  Z doświadczeń wynika, że operator mini śmigłowca bezwarunkowo powinien mieć urządzenie w zasięgu wzroku i słuchu – tak aby móc zareagować na ewentualne nieprawidłowości w jego locie; niezbędne jest też osiągnięcie swoistej wprawy w sprowadzaniu śmigłowca na ziemię – w przypadkach jego awarii (pożądany jest też trening operatora w tym zakresie).
  W zależności od typu mini śmigłowca oraz od zaawansowania technicznego jego oprzyrządowania, do jednoczesnej obsługi śmigłowca i aparatu fotograficznego może być potrzeba współdziałania dwóch osób;
- niewielki udźwig śmigłowca, który wymusza zastosowanie do fotografowania wyłącznie niewielkich, lekkich, cyfrowych aparatów fotograficznych wyposażonych w niewielką wymiarowo matrycę np. w przypadku aparatu

Canon EOS 5D jest to matryca CMOS o wymiarach 24x36 mm a w przypadku aparatu Pentax OPTIO A40 jest to matryca CCD o wymiarach 1/1.8”,

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 powiększyć zasięg terytorialny pojedynczego zdjęcia jest zastosowanie w aparatach fotograficznych szerokokątnych lub nadszerokokątnych obiektywów (Eisenbeiss, 2004) np. 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. Innym rozwiązaniem, które umożliwia powiększenie zasięgu zdjęcia jest zastosowanie aparatów fotograficznych o większej matrycy CCD, np. aparatu MAMIYA ZD, który posiada matrycę o wymiarach 48 x 36 mm.

Biorąc powyższe pod uwagę wydaje się zasadne stwierdzenie, że obecnie liczbowym wymiarem zalecanego zasięgu terytorialnego opracowania fotogrametrycznego wykonywanego przy zastosowaniu mini śmigłowców jako platformy nośnej cyfrowego aparatu fotograficznego wydaje się być obszar o powierzchni nie większej od kilkunastu hektarów – przy obiektach powierzchniowych lub obszar nie dłuższy od kilku kilometrów – przy obiektach liniowych.

- dużą wrażliwość na wiatr – pod wpływem wiatru występuje „bujanie” się mini śmigłowca czego konsekwencją mogą być nadmiernie nachylone i skręcone zdjęcia. Relatywnie silny wiatr – większy od 4m/sec – w zasadzie uniemożliwia wykonywanie lotów jako że grozi to niekontrolowanym przebiegiem lotu a w konsekwencji nawet upadkiem mini śmigłowca.

  W celu zminimalizowania wpływu wiatru na mini śmigłowiec korzystne jest wykonywanie lotów na jak najniższych dla danego typu obiektu pułapach. Dla potrzeb obniżenia pułapu lotu korzystne jest stosowanie obiektywów o relatywnie krótkich ogniskowych np. w przypadku aparatu fotograficznego Canon EOS 5D korzystne byłoby zastosowanie wspomnianego już w poprzednim punkcie obiektywu Canon EF 14 mm f/2,8 USM albo też obiektywu Canon EF 20 mm f/2.8 USM.
- drgania mini śmigłowca – przy braku specjalnego, tłumiącego drgania zawieszenia aparatu fotograficznego, drgania powodują nieostrość zdjęć (z dotychczasowych doświadczeń wynika, że część zdjęć wykonywanych z mini śmigłowca jest wyraźnie nieostra właśnie z powodu drgań tego urządzenia).

  W celu zminimalizowania wpływu drgań mini śmigłowca na ostrość zdjęć korzystne jest stosowanie relatywnie krótkich czasów naświetlania – nie dłuższych niż 1/500s; dla potrzeb tego typu czasu można wesprzeć się zwiększeniem czułości matrycy CCD np. nawet do wartości ISO 800. Innym, organizacyjnym rozwiązaniem minimalizującym wpływ drgań mini śmigłowca na jakość zdjęć jest stosowanie zasady wykonywania na każdym stanowisku co najmniej kilku zdjęć a następnie wyboru najlepszego z nich do dalszego opracowania.

III. WYMOGI FORMALNO – PRAWNE LOTÓW BEZZAŁOGOWYCH STATKÓW POWIETRZNYCH.

Według stanu na dzień 31 grudnia 2008r. w Polsce temat pozwolenia na loty regulują następujące akty prawne:

- ustawa „Prawo Lotnicze" z dnia 3 lipca 2002r. z późn. zmianami (tekst jednolity: Dz.U. nr 100/2006r. poz. 696);
- Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 216/2008 z dnia 20 lutego 2008r. w sprawie wspólnych zasad w zakresie lotnictwa cywilnego i utworzenia Europejskiej Agencji Bezpieczeństwa Lotniczego oraz uchylające dyrektywę rady 91/670/EWG, rozporządzenie (WE) nr 1592/2002 i dyrektywę 2004/36/WE.
- Rozporządzenie Ministra Transportu z dnia 27 kwietnia 2007r. „zmieniające rozporządzenie w sprawie klasyfikacji statków powietrznych" (Dz.U. nr 89 poz.592).

Ustawa „Prawo Lotnicze" reguluje stosunki prawne z zakresu lotnictwa cywilnego; w szczególności w odniesieniu do lotów modeli latających (do bezzałogowych statków powietrznych) tyczyć się mogą poniżej zamieszczone, wybrane artykuły Prawa Lotniczego:

Art. 34. *1. Rejestr cywilnych statków powietrznych, zwany dalej "rejestrem statków", prowadzi Prezes Urzędu. Prezes Urzędu dokonuje wpisania statku powietrznego do rejestru statków, zmiany danych rejestrowych, odmowy wpisania i wykreślenia statku powietrznego z tego rejestru, w drodze decyzji administracyjnej.*

Art. 37. *1. Wpisu do rejestru statków dokonuje się na podstawie zgłoszenia. Zgłoszenia może dokonać właściciel lub upoważniony przez niego inny użytkownik statku powietrznego, z zastrzeżeniem art. 39 ust. 2.*

2. Zgłoszenie, o którym mowa w ust. 1, powinno zawierać:

1) nazwisko lub nazwę (firmę) oraz miejsce stałego pobytu (siedzibę) właściciela oraz innego użytkownika statku powietrznego;

2) nazwisko lub nazwę (firmę) oraz miejsce stałego pobytu (siedzibę) osoby faktycznie władającej statkiem powietrznym na podstawie umowy z użytkownikiem;

3) dane o typie statku powietrznego, numer fabryczny i aktualne podstawowe dane techniczne statku powietrznego pozwalające określić jego rodzaj i charakterystykę;

4) fotografie statku powietrznego lub ich zapis cyfrowy.

3. Do zgłoszenia należy dołączyć:

1) ważne świadectwo zdatności do lotu wydane przez Prezesa Urzędu lub uznane przez niego obce świadectwo zdatności do lotu;

2) oświadczenie, że statek powietrzny nie jest zarejestrowany w rejestrze innego państwa;

3) dokumenty potwierdzające istnienie wobec statku powietrznego prawa własności i ograniczonych praw rzeczowych;

4) ważną umowę ubezpieczenia od odpowiedzialności cywilnej za szkody wynikające z tytułu użytkowania statku powietrznego;

Art. 46. *Zabrania się, z zastrzeżeniem art. 49 i 50, używać na terytorium Rzeczypospolitej Polskiej i w polskiej przestrzeni powietrznej statku powietrznego, który nie posiada ważnego świadectwa zdatności do lotu albo*

równorzędnego dokumentu lub nie spełnia warunków określonych w certyfikacie typu lub innym równoważnym dokumencie.

Art. 94. *1. Do wykonywania lotów i innych czynności lotniczych są uprawnieni wyłącznie członkowie personelu lotniczego oraz osoby uczestniczące w szkoleniu lotniczym prowadzonym zgodnie z przepisami wydanymi na podstawie art. 104 ust. 1 pkt 4 lit. e oraz osoby uczestniczące w zajęciach rekreacyjnych na lotniach i paralotniach, prowadzonych zgodnie z przepisami wydanymi na podstawie art. 33 ust. 2.*

2. Członkiem personelu lotniczego jest osoba, która posiada ważną licencję lub świadectwo kwalifikacji i jest wpisana do państwowego rejestru personelu lotniczego lub innego odpowiedniego rejestru prowadzonego zgodnie z odrębnymi przepisami.

Art. 95. *1. Świadectwem kwalifikacji jest dokument stwierdzający posiadanie określonych kwalifikacji i upoważniający do wykonywania określonych czynności lotniczych.*

2. Świadectwa kwalifikacji wydawane są dla następujących specjalności personelu lotniczego:

5) pilot-operator modelu latającego;

3. Aby uzyskać świadectwo kwalifikacji członka personelu lotniczego, osoba ubiegająca się o nie musi spełniać następujące wymagania dla poszczególnych specjalności w zakresie wieku i wykształcenia:

6) pilot-operator modelu latającego - ukończone 16 lat, posiadanie co najmniej podstawowego wykształcenia oraz zgoda opiekunów prawnych.

4. Świadectwa kwalifikacji wydawane są przez Prezesa Urzędu.

Art. 158. *1. Użytkownik statku powietrznego jest obowiązany zapewnić jego bezpieczną eksploatację.*

Art. 160. *1. Podjęcie i wykonywanie działalności w lotnictwie cywilnym, w zakresie określonym w ust. 3, wymaga uzyskania certyfikatu.*

3. Certyfikacji podlega:

1) wykonywanie działalności gospodarczej przy użyciu statków powietrznych;

Art. 209. *1. Użytkownicy statków powietrznych, przewoźnicy i inni przedsiębiorcy prowadzący działalność lotniczą są zobowiązani ubezpieczyć się od odpowiedzialności cywilnej odpowiednio za szkody wyrządzone w związku z ruchem statków powietrznych, z przewozem lotniczym lub wykonywaniem innej działalności lotniczej.*

Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 216/2008 z dnia 20 lutego 2008r. w sprawie wspólnych zasad w zakresie lotnictwa cywilnego i utworzenia Europejskiej Agencji Bezpieczeństwa Lotniczego oraz uchylające dyrektywę rady 91/670/EWG, rozporządzenie (WE) nr 1592/2002 i dyrektywę 2004/36/WE – w odniesieniu do lotów bezzałogowych aparatów latających nie zawiera żadnych istotnych zapisów.

Rozporządzenie Ministra Transportu z dnia 27 kwietnia 2007r. „zmieniającego rozporządzenie w sprawie klasyfikacji statków powietrznych" w odniesieniu do problematyki bezzałogowych aparatów latających zawiera dwa niżej cytowane zapisy:

§ 2 punkt 2:

Ze względu na charakterystykę i przeznaczenie statki powietrzne dzielą się na: statki powietrzne kategorii specjalnej …….. objęte obowiązkiem uzyskania pozwolenia na lot w tym: a) bezpilotowe statki powietrzne – statki powietrzne bez pilota, nieprzeznaczone do celów sportowych i rekreacyjnych, zdolne do lotu autonomicznego programowanego lub zdalnie sterowanego.

§ 2 punkt 4:

Pozostałe statki powietrzne – nieobjęte obowiązkiem uzyskania dokumentu zdatności do lotu: a) modele latające – niezdolne do uniesienia człowieka, przeznaczone do celów sportowych, rekreacyjnych, pokazowych, kolekcjonerskich lub edukacyjnych: o masie startowej nie większej niż 25kg – dla modeli latających cięższych od powietrza.

Pomimo cytowanych powyżej zapisów wyżej wymienione dokumenty nie są dostosowane do obecnych potrzeb i możliwości użytkowania (i dopuszczania do lotu) bezzałogowych statków powietrznych; w takim duchu wypowiada się na ten temat Departament Techniki Lotniczej ULC w swoim piśmie nr ULC-LTT-3/4351-00016/2008-01 z dnia 30.06.2008r. skierowanym do BPiZS „Microsystem", w którym to piśmie Departament Techniki Lotniczej proponuje stosowanie zasad wzorowanych na brytyjskich wytycznych CAP 722 „Unmanned Aerial Vehile Operations In UK Airspace – Guidance" oraz wytycznych CAP 658 „Model Aircraft – A Guide to Safe Flying".

W w/w Wytycznych CAP 722: „Unmanned Aerial Vehile Operations In UK Airspace – Guidance" oraz w Wytycznych CAP 658: „Model Aircraft – A Guide to Safe Flying" m.in. zapisane są następujące zasady:

a. bezzałogowe statki powietrzne dzielą się na „kategorie": <7kg masy startowej, 7-20 kg masy startowej i cięższe przy czym do masy startowej nie wlicza się ciężaru paliwa ale wlicza się masę wszystkich elementów wyposażenia;
b. inne wymagania formalne dotyczą statków o masie startowej mniejszej niż 7 kg i inne dla statków o masie startowej większej od 7 kg i mniejszej od 20 kg i jeszcze inne dla statków o masie większej niż 20 kg.

   Uwaga: w niniejszym opracowaniu zajmować się będziemy wyłącznie statkami powietrznymi o masie startowej nie przekraczającej 20 kg.
c. loty bezzałogowych statków powietrznych o masie startowej <7kg powinny odbywać się z zachowaniem następujących warunków:
   - loty powinny odbywać się w sprzyjających warunkach pogodowych; szczególnie istotnym parametrem jest prędkość wiatru, która nie powinna przekraczać 5m/sekundę,
   - pułap lotu nie powinien przekraczać wysokości nad powierzchnią ziemi równej 400 stóp (tj. około 122metry),
   - odległość pomiędzy operatorem a statkiem powinna umożliwiać bezpośrednią widoczność statku przy czym odległość ta nie powinna być większa niż 500 metrów; wymieniona odległość nie powinna przekraczać 150 metrów w przypadku lotów nad terenami zamieszkałymi,
   - osoba odpowiedzialna za lot bezzałogowego statku powietrznego (operator) musi zadbać o to aby statek podczas lotu nie stanowił zagrożenia dla jakiejkolwiek innej, postronnej osoby oraz dla jakiejkolwiek własności np. pojazdu, budowli itp.; operator jest też zobowiązany do upewnienia się, że podwieszony pod statek powietrzny ładunek (np. gimbal z aparatem fotograficznym) nie zostanie upuszczony.

d. loty bezzałogowych statków powietrznych o masie startowej zawartej pomiędzy 7kg a 20kg powinny odbywać się z zachowaniem następujących warunków:
   - loty powinny odbywać się w sprzyjających warunkach pogodowych, szczególnie istotnym parametrem jest prędkość wiatru, która nie powinna przekraczać 5m/sekundę,
   - pułap lotu nie powinien przekraczać wysokości nad powierzchnią ziemi równej 400 stóp (tj. około 122metry),
   - odległość pomiędzy operatorem a statkiem powinna umożliwiać bezpośrednią widoczność statku przy czym odległość ta nie powinna być większa niż 500 metrów; wymieniona odległość nie powinna przekraczać 150 metrów w przypadku lotów nad terenami zamieszkałymi,
   - loty powinny odbywać się przy zachowaniu bezpiecznych odległości od ludzi oraz pojazdów i budowli; w szczególności odległość ta powinna być nie mniejsza niż 50 m od osób, pojazdów i budowli. Odległość ta może zostać zmniejszona do 30 m podczas startu i lądowania. Inni operatorzy oraz personel pomocniczy mogą znajdować się w mniejszej odległości,
   - osoba odpowiedzialna za lot bezzałogowego statku powietrznego (operator) musi zadbać o to aby statek podczas lotu nie stanowił zagrożenia dla jakiejkolwiek innej, postronnej osoby oraz dla jakiejkolwiek własności np. pojazdu, budowli itp.; operator jest też zobowiązany do upewnienia się, że podwieszony pod statek powietrzny ładunek (np. gimbal z aparatem fotograficznym) nie zostanie upuszczony.
   - bezzałogowy statek powietrzny musi być wyposażony w sprawne, dodatkowe urządzenia zabezpieczające umożliwiające oddziaływanie operatora na bezpieczny lot statku także w tych przypadkach kiedy utracony zostanie bezpośredni kontakt ze statkiem.

Biorąc pod uwagę zapisy wszystkich w/w dokumentów (trzech dokumentów formalnych oraz Wytycznych CAP 722 i CAP 658 w temacie pozwolenia na loty dla bezzałogowych statków powietrznych), można założyć, że do momentu, w którym pojawią się polskie szczegółowe przepisy dotyczące lotów bezzałogowych statków powietrznych, przy wykonywaniu lotów z udziałem bezzałogowych statków powietrznych należy kierować się następującymi wytycznymi:

1. bezzałogowe statki powietrzne (w tym mini śmigłowce) o całkowitej masie startowej mniejszej od 7 kg NIE wymagają pozwolenia na loty.

W przypadkach wykonywania lotów bezzałogowymi statkami powietrznymi o masie startowej mniejszej niż 7 kg niezbędne jest spełnienie poniżej wymienionych wymagań:

- **użytkownik bezzałogowego statku powietrznego musi posiadać ubezpieczenie od odpowiedzialności cywilnej za ewentualne szkody wyrządzone w związku z ruchem statku powietrznego (mini śmigłowca),**
- **loty powinny odbywać się w sprzyjających warunkach pogodowych; szczególnie istotnym parametrem jest prędkość wiatru, która nie powinna przekraczać 5m/sekundę,**
- **pułap lotu nie powinien przekraczać wysokości nad powierzchnią ziemi równej 150 metrów – w znaczeniu wysokości nad punktem startu statku powietrznego,**
- **odległość pomiędzy operatorem a statkiem powinna umożliwiać bezpośrednią widoczność statku przy czym odległość ta nie powinna być większa niż 500 metrów. Wymieniona w poprzednim zdaniu odległość nie powinna przekraczać 150 metrów w przypadku lotów nad terenami zamieszkałymi,**

- **osoba odpowiedzialna za lot bezzałogowego statku powietrznego (operator statku) musi zadbać o to aby statek podczas lotu nie stanowił zagrożenia dla jakiejkolwiek innej, postronnej osoby oraz dla jakiejkolwiek własności np. pojazdu, budowli itp.; operator jest też zobowiązany do upewnienia się, że podwieszony ładunek pod statek powietrzny (np. gimbal z aparatem fotograficznym) nie zostanie upuszczony,**
- **właściciel (lub aktualny użytkownik) terenu powinien być powiadomiony o planowanych lotach mini śmigłowca nad przedmiotowym terenem,**

Uwaga: Powyższe wymogi nie dotyczą przypadków lotów bezzałogowych statków powietrznych nad terenami ćwiczebnymi w rodzaju pustych pól testowych.

2. bezzałogowe statki powietrzne (w tym mini śmigłowce) o całkowitej masie startowej większej od 7 kg ale mniejszej od 20 kg, można użytkować bez pozwolenia na loty ale po spełnieniu łącznie niżej wymienionych warunków:

- **przedmiotowe statki muszą posiadać wymagany prawem certyfikat techniczny,**
- **operator mini śmigłowca musi posiadać tzw. Świadectwo Kwalifikacji uprawniające do sterowania bezpilotowymi statkami powietrznymi – wydawane przez Prezesa ULC,**
- **użytkownik bezzałogowego statku powietrznego musi posiadać ubezpieczenie od odpowiedzialności cywilnej za ewentualne szkody wyrządzone w związku z ruchem statku powietrznego (mini śmigłowca),**
- **loty powinny odbywać się w sprzyjających warunkach pogodowych; szczególnie istotnym parametrem jest prędkość wiatru, która nie powinna przekraczać 5m/sekundę,**
- **pułap lotu nie powinien przekraczać wysokości nad powierzchnią ziemi równej 150 metrów,**
- **odległość pomiędzy operatorem a statkiem powinna umożliwiać bezpośrednią widoczność statku przy czym odległość ta nie powinna być większa niż 500 metrów; wymieniona odległość nie powinna przekraczać 150 metrów w przypadku lotów nad terenami zamieszkałymi,**
- **loty powinny odbywać się przy zachowaniu bezpiecznych odległości od ludzi oraz pojazdów i budowli; w szczególności odległość ta powinna być nie mniejsza niż 50 m od osób, pojazdów i budowli. Odległość ta może zostać zmniejszona do 30 m podczas startu i lądowania. Inni operatorzy oraz personel pomocniczy mogą znajdować się w mniejszej odległości. Osoby przebywające na obiekcie muszą być uprzedzone o konieczności zachowania ostrożności z tytułu lotów bezzałogowego aparatu powietrznego,**
- **osoba odpowiedzialna za lot bezzałogowego statku powietrznego (operator) musi zadbać o to aby statek podczas lotu nie stanowił zagrożenia dla jakiejkolwiek innej, postronnej osoby oraz dla jakiejkolwiek własności np. pojazdu, budowli itp.; operator jest też zobowiązany do upewnienia się, że podwieszony ładunek pod statek powietrzny (np. gimbal z aparatem fotograficznym) nie zostanie upuszczony,**
- **bezzałogowy statek powietrzny musi być wyposażony w sprawne, dodatkowe urządzenia zabezpieczające umożliwiające oddziaływanie operatora na bezpieczny lot statku także w tych przypadkach kiedy utracony zostanie bezpośredni kontakt ze statkiem.**
- **właściciel (lub aktualny użytkownik) terenu powinien być powiadomiony o planowanych lotach mini śmigłowca nad przedmiotowym terenem,**

Uwaga: Powyższe wymogi nie dotyczą przypadków lotów bezzałogowych statków powietrznych nad terenami ćwiczebnymi w rodzaju pustych pól testowych.

Powyżej przedstawione wytyczne czynią bezproblemowym dowolne wykorzystywanie mini śmigłowca MD4-200 – o masie startowej równej około 1 kg; podobnie będzie w przypadku nowej konstrukcji firmy Microdrones czyli mini śmigłowca MD4-1000 o masie startowej równej około 5kg. Przedstawione wytyczne stwarzają jednak ograniczenia dla lotów mini śmigłowca MS EAGLE o masie startowej równej około 13 kg.

IV. PROBLEMATYKA OBIEKTÓW NIEJAWNYCH NA ZDJĘCIACH WYKONYWANYCH Z BEZZAŁOGOWYCH STATKÓW POWIETRZNYCH.

W standardowym przypadku wykonywania zdjęć lotniczych dla celów fotogrametrycznych obowiązują przepisy następujących ustaw: ustawy z dnia 17 maja 1989r. „Prawo Geodezyjne i Kartograficzne", tekst jednolity opublikowany w Dzienniku Ustaw nr. 240 z dnia 8 grudnia 2005r. poz. 2027 oraz ustawy z dnia 8 stycznia 1999r. „o ochronie informacji niejawnych" tekst jednolity opublikowany w Dz.U. nr 196/2005, poz. 1631.
Na mocy stosownych zapisów w/w ustaw oraz na podstawie wypraktykowanych zasad, wykonywanie zdjęć lotniczych dla celów fotogrametrycznych podlega następującym procedurom:

- na nie mniej niż 7 dni przed planowanym lotem Wykonawca fotogrametrycznych zdjęć lotniczych zobowiązany jest do poinformowania o zamiarze wykonywania zdjęć lotniczych w określonym obszarze właściwy organ Ministerstwa Obrony Narodowej (obecnie tym organem jest Zarząd Analiz Wywiadowczych i Rozpoznawczych Sztabu Generalnego Wojska Polskiego); procedura ta wynika z ustawy Prawo Geodezyjne i Kartograficzne – art. 10.3.
- obowiązkowemu zgłoszeniu do właściwych organów (w tym przypadku do Centralnego Ośrodka Dokumentacji Geodezyjnej i Kartograficznej w Warszawie) zamiaru wykonania zdjęć lotniczych; stosowne zgłoszenie należy złożyć przed przystąpieniem do wykonania pracy. Procedura ta wynika z ustawy Prawo Geodezyjne i Kartograficzne – art. 12.
- złożeniu pisma skierowanego do Departamentu Spraw Obronnych (DSO) oraz Ochrony Informacji Niejawnych przy Głównym Urzędzie Geodezji i Kartografii (GUGiK) z zapytaniem czy na wskazanym, planowanym do sfotografowania obszarze występują „tzw. tereny zamknięte". DSO wydaje opinię w tej sprawie (jest to „opinia" a nie „zgoda" na wykonanie zdjęć lotniczych). W omawianym przypadku możliwe są dwa warianty:

  Wariant I: opinia DSO stwierdza, że na wskazanym obszarze nie występują tereny zamknięte – wówczas:

  - potwierdzenie przyjęcia zgłoszenia roboty geodezyjnej przez CODGiK w Warszawie jest podstawą do wykonania zdjęć lotniczych.
  - wykonywane są zdjęcia, które na etapie wywoływania i opracowania nie podlegają żadnym ograniczeniom.

  Wariant II: opinia DSO stwierdza, że na wskazanym obszarze występują „tereny zamknięte" – wówczas:

  - DSO opracowuje Instrukcję Bezpieczeństwa Przemysłowego.
  - wykonawca zdjęć lotniczych musi pozyskać z Agencji Bezpieczeństwa Wewnętrznego (ABW) Świadectwo Bezpieczeństwa Przemysłowego,

- zdjęcia lotnicze podlegają procesowi odtajnienia. W praktyce odtajnianie zdjęć wykonywane jest w Centralnym Ośrodku Dokumentacji Geodezyjnej i Kartograficznej w Warszawie.

W odniesieniu do wykonywania zdjęć z bardzo niskich pułapów – przy wykorzystaniu bezzałogowych statków powietrznych brak jest stosownych uregulowań prawnych dotyczących problematyki obiektów niejawnych („terenów zamkniętych"). W tej sytuacji dla potrzeb niniejszego opracowania przeprowadzone zostały uzgodnienia z Departamentem Spraw Obronnych oraz Ochrony Informacji Niejawnych Głównego Urzędu Geodezji i Kartografii. Efektem uzgodnień poczynionych z Dyrektorem Departamentu płk. Szczepanem Majewskim oraz z z-cą Dyrektora płk. Jackiem Płaska są następujące wytyczne:

- zamiar wykonywania fotogrametrycznych zdjęć lotniczych wskazanego obiektu przy wykorzystaniu bezzałogowych statków powietrznych (w tym mini śmigłowców) podlega zgłoszeniu do Departamentu Spraw Obronnych oraz Ochrony Informacji Niejawnych GUGiK. Zgłoszenie może mieć formę e-maila; zgłoszenie należy przesłać na adres w/w Departamentu przy czym obecnie za obowiązujące uznaje się następujące dwa adresy: szczepan.majewski@gugik.gov.pl oraz jacek.plaska@gugik.gov.pl. Departament Spraw Obronnych oraz Ochrony Informacji Niejawnych GUGiK zobowiązał się, że w terminie 24 godzin od momentu otrzymania zgłoszenia wyda swoją opinię na temat występowania na terenie objętym fotografowaniem tzw. „terenów zamkniętych" (obiektów niejawnych). Zakłada się, że w przypadku występowania na przewidzianym do sfotografowania obszarze obiektów niejawnych Wykonawca zdjęć fotogrametrycznych z bezzałogowego statku powietrznego odstąpi od ich wykonania. Mając na uwadze fakt, że fotogrametryczne zdjęcia lotnicze z bezzałogowych statków powietrznych wykonywane będą wyłącznie dla obiektów jawnych przyjmuje się, że wykonywanie tego typu zdjęć nie wymaga poinformowania właściwego organu Ministerstwa Obrony Narodowej (obecnie tym organem jest Zarząd Analiz Wywiadowczych i Rozpoznawczych Sztabu Generalnego Wojska Polskiego).
- zamiar wykonywania zdjęć fotogrametrycznych podlega także zgłoszeniu do właściwego Ośrodka Dokumentacji Geodezyjnej i Kartograficznej z zastrzeżeniem, że dotyczy to wyłącznie tych prac geodezyjnych i kartograficznych, które zgodnie z zapisami Rozporządzenia Ministra Rozwoju Regionalnego i Budownictwa z dnia 16 lipca 2001r. „w sprawie zgłaszania prac geodezyjnych i kartograficznych, ewidencjonowania systemów i przechowywania kopii zabezpieczających bazy danych a także ogólnych warunków umów o udostępnianie tych baz" (Dz. U. nr 78/2001 poz. 837) podlegają obowiązkowi zgłoszenia;

V. ISTOTNE ELEMENTY CYKLU TECHNOLOGICZNEGO – RÓŻNE OD CYKLU STANDARDOWEGO.

W porównaniu do standardowego cyklu technologicznego opracowań fotogrametrycznych, w przypadku pomiarów bazujących na zdjęciach fotograficznych terenu wykonanych przy wykorzystaniu jako platformy nośnej dla aparatu fotograficznego, bezzałogowych statków powietrznych, mamy do czynienia z kilkoma cechami odróżniającymi ten proces od standardowego cyklu.

W szczególności w przypadku zastosowania bezzałogowych statków powietrznych 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 osnowy fotogrametrycznej oraz sposobu jej rozmieszczenia,
3. spełnienie przez zdjęcia właściwych 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.

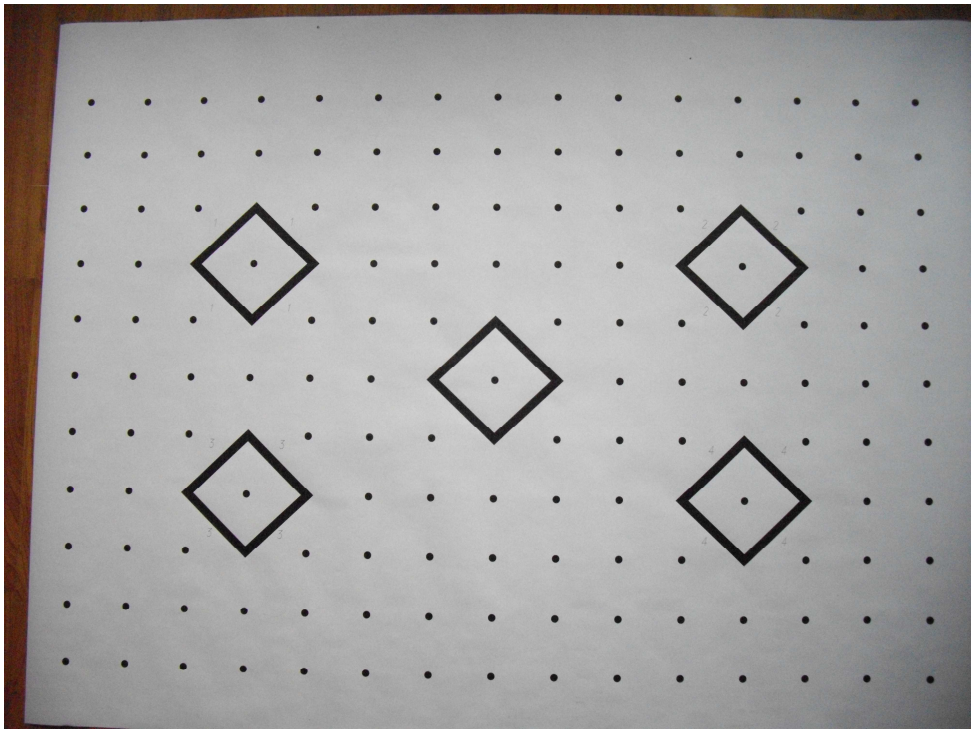
Ad 1. Kalibracja aparatów fotograficznych:

Kalibracja aparatu fotograficznego może być przeprowadzona w trojaki sposób:

- pierwszy sposób kalibracji aparatu fotograficznego jest bardzo łatwy i wygodny – wymaga on wykonania zdjęć badanym aparatem, z pięciu stanowisk w odpowiedni sposób rozmieszczonych w przestrzeni, specjalnych plansz kalibracyjnych, których wzorce są dołączone do takich systemów informatycznych jak PI – 3000 (rys. 3) 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.

  Szczegółowe zasady przeprowadzania kalibracji aparatów fotograficznych według opisanego wyżej sposobu przedstawione są w fabrycznej instrukcji producenta oprogramowania zatytułowanej: „Podręcznik użytkownika Camera Calibration PI – Calib”



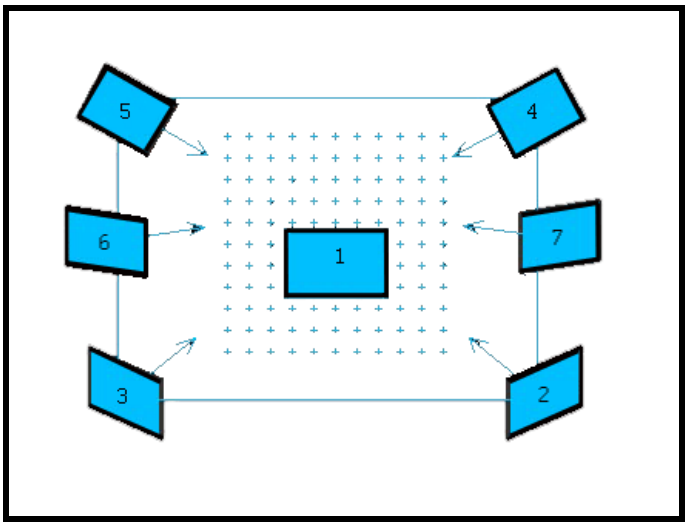
Rys. 3. Wzorzec planszy kalibracyjnej dołączony do systemu PI – 3000.

- drugi sposób kalibracji aparatu fotograficznego wymaga wykonania zdjęć badanym aparatem fotograficznym specjalnego, laboratoryjnego pola testowego. Ilość i rozmieszczenie stanowisk fotografowania wynika z charakterystyki danego pola testowego. Opracowanie zdjęć i niezbędne wyliczenia parametrów kalibracji aparatu odbywa się w ramach specjalnie dobranego dla danego pola programu.
  Odpowiednie dla celów kalibracji aparatów fotograficznych pole testowe jest założone m.in. w Akademii Górniczo – Hutniczej w Krakowie (rys. 4) oraz w Politechnice Warszawskiej (rys. 6 i 7).

  Pole krakowskie (rys. 4) składa się z siatki regularnie rozmieszczonych punktów o znanych przestrzennych współrzędnych terenowych wyznaczonych drogą pomiaru geodezyjnego przy czym pole to jest wzbogacane o dodatkowe punkty (tworzą je białe kartki widoczne w tle zdjęcia – rys. 4) rozmieszczone na pionowych linkach rozwieszonych w pewnej odległości przed płaszczyzną ściany pola. Punkty te nie są punktami odniesienia (nie mają wyznaczonych współrzędnych), ale ich obecność podnosi dokładność sieci samokalibracji.

Rys. 4. Pole testowe do kalibracji aparatów fotograficznych założone na AGH w Krakowie.

W wydaniu krakowskim kalibracja aparatu fotograficznego przebiega w ten sposób, że z badanego aparatu wykonuje się 7 zdjęć, w trybie manualnego ogniskowania i przy wyłączonej lampie błyskowej, z odległością nastawienia ostrości identyczną jak w czasie wykonywania pomiaru właściwego (nieskończoność). Schemat rozmieszczenia zdjęć względem pola obrazuje poniższy rysunek nr 5.



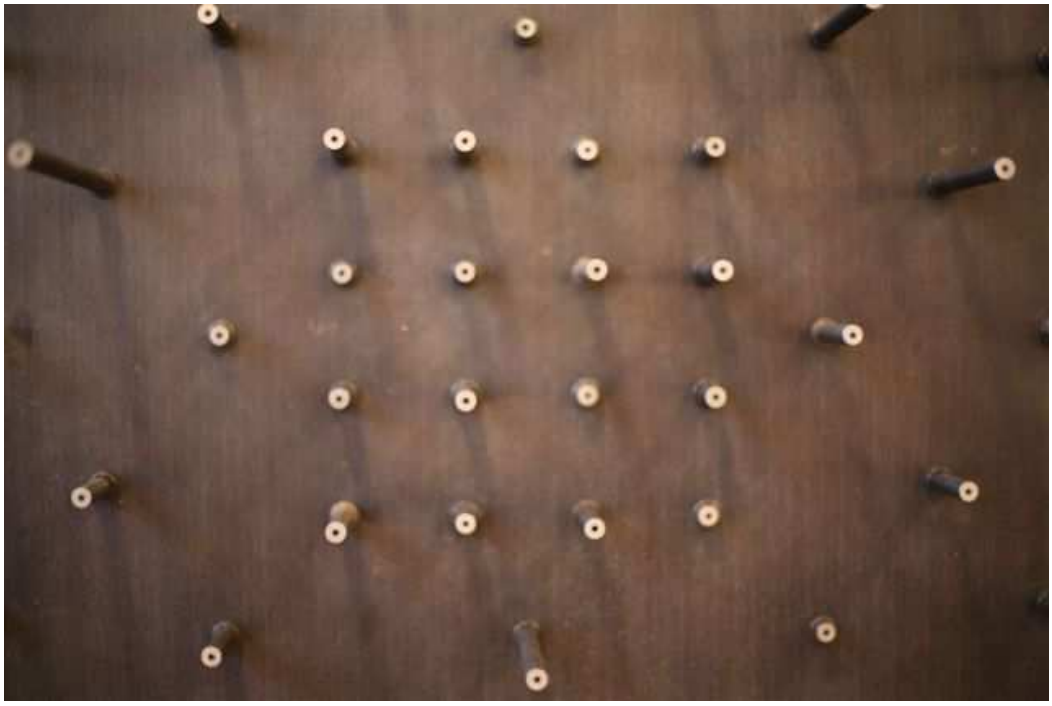
Rys. 5. Szkic rozmieszczenia zdjęć do kalibracji

Do obliczenia parametrów kalibracji wykorzystuje się zdjęcia z pięciu stanowisk, dwa dodatkowe zdjęcia są wykonywane w celu skontrolowania poprawności wyznaczenia elementów kalibracji. Obserwacje zdjęć oraz obliczenie i wyrównanie sieci kalibracji dokonuje się przy pomocy programu ORIENT, powstałego na Uniwersytecie Technicznym w Wiedniu (Regina Tokarczyk – pozycja 12 wykazu literatury).

Warszawski poligon testowy składa się w rzeczywistości z dwóch oddzielnych elementów:

- pierwszym elementem poligonu warszawskiego jest pole złożone z 18 punktów (rys.6) o współrzędnych wyznaczonych metodami geodezyjnymi. Pole to jest bardzo rozbudowane przestrzennie co pozwala na dokładne określenie ogniskowej badanego aparatu fotograficznego ale ze względu na niewielką ilość punktów gorsze wyniki uzyskuje się przy określaniu parametrów dystorsji obiektywu aparatu; właśnie z tego powodu poligon warszawski jest rozbudowany o dodatkowy element.
- drugim elementem warszawskiego poligonu testowego jest plansza kalibracyjna (rys.7) złożona z 30 punktów rozmieszczonych na całej przestrzeni – plansza ta służy do określania dystorsji obiektywu aparatu fotograficznego (Dorota Zawieska – poz. wykazu literatury nr 16)

Rys.6. Pole testowe do kalibracji aparatów fotograficznych założone w auli Gmachu Głównego Politechniki Warszawskiej.



Rys.7. Plansza kalibracyjna do kalibracji aparatów fotograficznych w Politechnice Warszawskiej.

- trzeci sposób kalibracji tzw. niemetrycznego aparatu fotograficznego wymaga odpowiedniego, dużego i przestrzennie rozbudowanego, terenowego pola testowego (rys. 8); 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 sposób określenia parametrów kalibracji aparatu jest merytorycznie bardziej poprawny od poprzednich dwóch, jako że bazuje on na zdjęciach wykonanych w rzeczywistych warunkach, ale wymaga on odpowiednio rozbudowanego przestrzennie (sytuacyjnie i wysokościowo) pola testowego oraz wymaga on dużo więcej zabiegów technicznych a tym samym sposób ten jest też bardziej czasochłonny.

Rys.8. Naturalne pole testowe do kalibracji aparatów fotograficznych składające się z 77 punktów, założone przez autora technologii na odkrytym polu w dzielnicy Chwarzno w Gdyni.

Ad 2 i 3: Warunki geometryczne wykonywania zdjęć oraz niezbędna osnowa fotogrametryczna:

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 w danych warunkach 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.
W ramach prac badawczych przedmiotowego projektu opracowano szczegółowe zasady postępowania, które umożliwiają osiągnięcie założonych parametrów geometrycznych zdjęć. Zasady te przedstawione są w rozdziale VIII niniejszego opracowania.

Ad 4. Problem dedykowanego dla tego typu opracowań systemu informatycznego:

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.

- wymieniony już w rozdziale I niniejszego opracowania system firmy Topcon o nazwie Image Surveying Station PI-3000 (z modułem do kalibracji aparatów o nazwie PI – Calib); system ten jest także wyposażony w specjalny monitor (z okularami) umożliwiający obserwację stereoskopową zdjęć – co czyni go szczególnie korzystnym do zastosowania. Firma TOPCON zapowiada, że w roku 2009 udostępni następcę systemu PI – 3000; nazwa tego nowego pakietu oprogramowania brzmi: ImageMaster w wersji konfiguracyjnej PRO przy czym zawierać on

będzie także moduł do kalibracji obiektywów aparatów fotograficznych oraz moduł do obserwacji stereoskopowej zdjęć.

- system o nazwie Photo Modeler (także z modułem do kalibracji aparatów),
- 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.

VI. WYMAGANIA TECHNOLOGICZNE W STOSUNKU DO NIEZBĘDNEGO ZESTAWU APARATURY I OPROGRAMOWANIA:

Dla potrzeb zastosowań fotogrametrycznych zestaw aparatury: *mini śmigłowiec z podwieszonym aparatem fotograficznym* powinien spełniać następujące wymagania:

VI. 1. WYMAGANIA W STOSUNKU DO MINI ŚMIGŁOWCA:

1. Bezzałogowy aparat latający (mini śmigłowiec) aby mógł być wykorzystywany w pomiarach fotogrametrycznych powinien spełniać następujące wymagania:

1.1. Wymagania niezbędne do spełnienia:

a) mini śmigłowiec musi być sterowany zdalnie, bezprzewodowo ze stanowiska naziemnego przy wykorzystaniu specjalnej konsoli sterującej,
b) mini śmigłowiec musi być „uzbrojony” w następujące urządzenia:
   - tzw. transmiter WiFi – do bezprzewodowego sterowania lotem śmigłowca,
   - urządzenie do sterowania aparatem fotograficznym,
   - urządzenie do przenoszenia obrazu kadru zdjęcia do stacji naziemnej (bazowej) - w czasie rzeczywistym,
   - tzw. magnetometr czyli elektroniczny kompas do orientacji w przestrzeni,
   - tzw. gimbal czyli specjalną platformę nośną mieszczącą aparat fotograficzny, podwieszoną do śmigłowca.

   Konstrukcja platformy nośnej aparatu fotograficznego (gimbala) powinna umożliwiać ciągłą zmianę kierunku fotografowania; ta właściwość pozwala na wykonywanie podczas jednego lotu mini śmigłowca zarówno zdjęć tzw. pionowych jak również zdjęć bocznych względem obiektu - szczególnie dogodnych w przypadkach konieczności fotografowania wysokich elewacji budowli.

   Platforma nośna aparatu fotograficznego powinna być także odpowiednio miękko wymoszczona (albo też powinna być wyposażona w odpowiednie urządzenie żyroskopowe) , tak aby na aparat fotograficzny – na tyle na ile to będzie możliwe – nie przenosiły się drgania mini śmigłowca.

c) mini śmigłowiec musi mieć odpowiedni udźwig: urządzenie musi być w stanie udźwignąć platformę nośną wraz z wybranym aparatem fotograficznym (i obiektywem) oraz wraz z wszystkimi niezbędnymi urządzeniami towarzyszącymi wymienionymi w punkcie b),
d) mini śmigłowiec musi posiadać konstrukcyjnie zagwarantowaną możliwość podwieszenia platformy nośnej aparatu fotograficznego - np. w postaci specjalnych uchwytów albo specjalnych mocowań,
e) w tych przypadkach, w których masa startowa mini śmigłowca będzie większa niż 7 kg powinien on być wyposażony w dwie niezależne od siebie ścieżki komunikacyjne do zdalnego sterowania; druga, niezależna ścieżka sterowania śmigłowcem ma na celu zabezpieczenie przed utratą łączności ze śmigłowcem spowodowaną awarią pierwszej ścieżki komunikacyjnej.
f) mini śmigłowiec musi być wyposażony w wysokościomierz, którego wskazania muszą być przenoszone do stacji naziemnej (bazowej) – w czasie rzeczywistym,
g) minimalny czas lotu śmigłowca nie powinien być krótszy niż 20minut,
h) zasięg działania śmigłowca nie powinien być mniejszy niż 500 metrów od stacji naziemnej (bazowej).

1.2. Wymogi pożądane do spełnienia:

a) mini śmigłowiec powinien być wyposażony w urządzenie GPS (odbiornik z anteną) umożliwiający wyznaczanie aktualnej pozycji (w tym także wysokości) z dokładnością rzędu +/-1 m wraz z funkcją przenoszenia tych danych do stacji bazowej – w czasie rzeczywistym,
b) zestaw aparatury powinien być wyposażony w specjalny system - bazujący na wskazaniach odbiornika GPS, składający się z odpowiednich urządzeń oraz oprogramowania - do wykonywania lotu według z góry zadanej trajektorii,

VI.2. WYMAGANIA W STOSUNKU DO APARATU FOTOGRAFICZNEGO:

Dla potrzeb technologii opracowań fotogrametrycznych wykorzystującej zdjęcia wykonywane z mini śmigłowca aparat fotograficzny powinien spełniać następujące wymagania:

- aparat musi posiadać możliwość zdalnego wyzwalania migawki,
- w miarę możliwości powinien to być aparat fotograficzny typu: lustrzanka cyfrowa z matrycą CCD (lub CMOS) o wymiarach tzw. pełnej klatki tj. o wymiarach 36x24 mm; pożądana byłaby matryca o większych wymiarach np. aparat MAMIYA ZD posiada matrycę o wymiarach 48x36 mm.
- powinien posiadać możliwość zdalnego podglądu kadru zdjęcia (tzw. funkcję live view); ta właściwość pozwala na kontrolowane z ziemi wykonywanie zdjęć,
- powinien posiadać minimalną rozdzielczość nie gorszą niż 10 milionów pikseli,
- w miarę możliwości aparat fotograficzny powinien być wyposażony w zestaw kilku stało-ogniskowych obiektywów o ogniskowych od około 15mm do około 100mm; przy wyborze obiektywów należy starannie

przeanalizować ich charakterystykę techniczną szczególnie na okoliczność wystąpienia błędów optycznych (stosowna analizę można przeprowadzić np. na podstawie danych w Internecie).

- dopuszcza się zastosowanie kompaktowych zmienno-ogniskowych obiektywów – z koniecznością uwzględnienia w technologii pomiarów wynikających z tego specjalnych wymogów co do kalibracji tego typu obiektywów.

Aparaty fotograficzne w zestawie z danym obiektywem muszą podlegać stosownej kalibracji celem określenia ich charakterystyki geometrycznej w tym dystorsji obiektywu oraz odległości ogniskowej aparatu.
Kalibracja aparatu i obiektywu może być dokonywana którymś ze sposobów opisanych w rozdziale IV niniejszego opracowania.

VI.3. WYMAGANIA W STOSUNKU DO SYSTEMU INFORMATYCZNEGO:

Dla potrzeb przedmiotowej technologii system informatyczny do opracowania zdjęć powinien spełniać następujące wymagania:

- system powinien umożliwiać wykonywanie pomiarów na zdjęciach – zarówno w trybie monoskopowym jak i w trybie stereoskopowym,
- system powinien umożliwiać wykonywanie automatycznego generowania modelu cyfrowego powierzchni terenu (dla potrzeb opracowania tzw. Numerycznego Modelu Terenu),
- system powinien umożliwiać tworzenie linii warstwicowych i linii przekrojowych terenu,
- system powinien umożliwiać tworzenie tzw. ortoobrazów,
- system powinien umożliwiać generowanie tzw. modeli 3D obiektów – wraz z ich wyświetlaniem na ekranie i edycją łącznie z funkcją teksturowania,
- pożądane jest aby system umożliwiał transformację współrzędnych oraz pomiary długości i pomiary objętości,
- system powinien umożliwiać drukowanie rysunków,

Pożądane jest aby przedmiotowy system był także wyposażony w moduł do przeprowadzania kalibracji aparatów fotograficznych.

VI.4. WYMAGANIA W STOSUNKU DO URZĄDZEŃ TOWARZYSZĄCYCH:

Oprócz mini śmigłowca i aparatu fotograficznego w skład aparatury wykorzystywanej podczas lotów dla potrzeb fotogrametrycznych wchodzą następujące elementy:

1. **urządzenia do bezprzewodowego sterowania śmigłowcem i aparatem fotograficznym ze stanowiska naziemnego,**
2. **urządzenia do zdalnego, kontrolnego podglądu kadrów zdjęć,**
3. **przenośny komputer (laptop),**
4. **wysokościomierz z funkcją bezprzewodowego przenoszenia wskazań do stacji naziemnej – dotyczy przypadków w których śmigłowiec nie jest „uzbrojony” w odbiornik GPS,**
5. **stacja referencyjna GPS,**

6. **wymienne baterie oraz urządzenie do ładowania baterii – dotyczy przypadków kiedy śmigłowiec posiada silniki elektryczne,**
7. **zbiornik z paliwem – w przypadkach śmigłowców z silnikiem spalinowym.**

Ad.1. Urządzenia do bezprzewodowego sterowania śmigłowcem i aparatem fotograficznym:

W zależności od konstrukcji aparatury, do sterowania zestawem: ***mini śmigłowiec z podwieszonym aparatem fotograficznym*** może być wykorzystywana albo pojedyncza, zintegrowana konsola umożliwiająca sterowanie zarówno lotem śmigłowca jak i aparatem fotograficznym albo też mogą to być dwie oddzielne konsole, z których jedna umożliwia sterowanie lotem śmigłowca a druga umożliwia sterowanie aparatem fotograficznym. Oczywistym jest, że wygodniejszym rozwiązaniem jest konsola zintegrowana (w tego typu konsolę wyposażony jest mini śmigłowiec MD4-200, który zastosowano w pracach badawczych przedmiotowego projektu).

Ad.2. Urządzenia do zdalnego, kontrolnego podglądu kadrów zdjęć:

W zależności od konstrukcji aparatury do podglądu kadrów zdjęć – w czasie rzeczywistym – mogą być wykorzystywane:

- miniaturowy monitor montowany na podstawie konsoli sterującej,
- specjalnie zaprojektowane okulary z ekranem, na którym widoczny jest kadr zdjęcia,
- monitor laptopa.

Ad.3. Przenośny komputer (laptop):

Laptop przy nalotach pełnić może – w zależności od potrzeb – trojaką rolę:

- może być stacją rejestrującą istotne parametry lotu śmigłowca w tym: aktualne położenie i aktualną wysokość a także parametry czysto eksploatacyjne np. poziom naładowania baterii,
- może umożliwiać podgląd kadrów zdjęć,
- może służyć do kontroli jakości technicznej zdjęć oraz do archiwizacji danych pozyskanych w trakcie nalotów.

Ad.4. Wysokościomierz:

W przypadkach, w których śmigłowiec nie jest „uzbrojony” w odpowiedni odbiornik GPS, na pokładzie śmigłowca musi być zainstalowany wysokościomierz z funkcją bezprzewodowego przenoszenia – w czasie rzeczywistym - wskazań do któregoś z urządzeń stacji naziemnej.

Ad. 5. Stacja referencyjna GPS:

Podczas lotu fotogrametrycznego – ale tylko w tych przypadkach, w których mierzony obiekt wymagał będzie wykonania wielu zdjęć – przydatny będzie kontakt w systemie on-line z co najmniej jedną stacją referencyjną GPS (stacja referencyjna GPS to jest punkt o znanych współrzędnych, na którym funkcjonuje 24 godziny na dobę odbiornik GPS). Pobór odpowiednich danych umożliwia precyzyjną nawigację mini śmigłowca oraz umożliwia określenie współrzędnych miejsc, w których wykonywane będą zdjęcia fotogrametryczne.
Zakłada się, że stworzona ostatnio przez Główny Urząd Geodezji i Kartografii sieć stacji referencyjnych równomiernie pokrywających terytorium kraju będzie wystarczającą dla potrzeb wykonywania zdjęć fotogrametrycznych z mini śmigłowca.

Ad.6. Wymienne baterie oraz urządzenie do ładowania baterii:

W przypadkach, w których mini śmigłowiec jest wyposażony w silniki elektryczne, niezbędnym wyposażeniem dodatkowym muszą być wymienne baterie oraz urządzenie do ładowania bezpośrednio w terenie tych baterii np. po podłączeniu do wyjścia zapalniczki w samochodzie.

Ad. 7. Zbiornik z paliwem:

W przypadkach śmigłowców z silnikiem spalinowym, niezbędnym wyposażeniem musi być dodatkowy zbiornik z zapasem paliwa dostosowanym do wymogów eksploatacyjnych danego silnika.

VII. ZASADY DOBORU GŁÓWNYCH PARAMETRÓW TECHNICZNYCH TECHNOLOGII FOTOGRAMETRYCZNEJ DLA POTRZEB KONKRETNEGO ZADANIA POMIAROWEGO.

GŁÓWNE PARAMETRY TECHNICZNE TECHNOLOGII FOTOGRAMETRYCZNEJ.

W przypadku przedmiotowej technologii do głównych parametrów technicznych należy zaliczyć:

1. parametry zestawu: mini śmigłowiec z podwieszonym aparatem fotograficznym,
2. parametry obiektywu aparatu fotograficznego,
3. skalę zdjęć,
4. wysokość fotografowania,
5. pokrycie podłużne zdjęć,
6. pokrycie poprzeczne zdjęć,
7. liczebność i rozmieszczenie punktów osnowy fotogrametrycznej,
8. szczególne uwarunkowania techniczne wynikające ze specyfiki zastosowanej aparatury.

Ad.1. Przy doborze zestawu: mini śmigłowiec z podwieszonym aparatem fotograficznym należy uwzględnić następujące uwagi:

Dobór, dla konkretnego zadania pomiarowego, zestawu: mini śmigłowiec z podwieszonym aparatem fotograficznym jest możliwy tylko wtedy, kiedy ma się do dyspozycji co najmniej dwa zestawy o wyraźnie różnych parametrach (w pracach badawczych przedmiotowego projektu zastosowano dwa bardzo odmienne technicznie zestawy – ich szczegółowa charakterystyka techniczna przedstawiona jest w rozdziale VIII niniejszego opracowania).

W tego typu przypadkach przy dobieraniu aparatury dla konkretnego zadania należy się kierować następującymi przesłankami:

- niezbędnym dla danego obiektu zasięgiem lotu,
- niezbędnym czasem lotu,
- jakością aparatu fotograficznego (w tym wielkością matrycy CCD)
- parametrami obiektywu fotograficznego,
- pożądaną dokładnością opracowania,
- charakterem obiektu a w szczególności faktem czy na jego terenie w trakcie nalotu będą przebywać ludzie,
- koniecznością spełnienia wymogów formalno – prawnych wymienionych w rozdziale III niniejszego opracowania (wymogi te są nieco różne w zależności od masy startowej mini śmigłowca),

Ad.2 Przy wyborze parametrów obiektywu aparatu fotograficznego należy uwzględnić następujące uwagi:

Przy doborze obiektywu aparatu fotograficznego w zasadzie obowiązują zalecenia stosowane w tradycyjnej technologii fotogrametrycznej wykorzystującej standardowe zdjęcia lotnicze

Przesłanki dotyczące doboru obiektywu aparatu fotograficznego dla potrzeb konkretnego zadania pomiarowego obowiązujące w technologii fotogrametrycznej wykorzystującej standardowe zdjęcia lotnicze są następujące::

- obiektyw nadszerokokątny (super szerokokątny) – przeznaczony jest do fotografowania terenów odkrytych oraz terenów o niskiej zabudowie, płaskich i lekko falistych (zastosowanie tego typu obiektywu w opracowaniach fotogrametrycznych pozwala na uzyskanie relatywnie dużej dokładności określenia wysokości punktów terenu),
- obiektyw szerokokątny – jest preferowany do fotografowania terenów odkrytych o niskiej zabudowie oraz o niedużych deniwelacjach np. terenów płaskich i pagórkowatych oraz dla terenów podmiejskich i rekreacyjnych;
- obiektyw pośredni (półnormalnokatny) – przeznaczony jest do fotografowania terenów o relatywnie dużych deniwelacjach np. terenów podgórskich oraz do fotografowania centrów miast.
- obiektyw normalnokątny – przeznaczony jest do fotografowania dużych aglomeracji miejskich z wysoką zabudową oraz terenów wysokogórskich.

W przypadku stosowania bezzałogowych aparatów latających do w/w listy zaleceń dochodzi jeszcze jedno zalecenie: przy doborze obiektywu aparatu fotograficznego należy dodatkowo uwzględnić konieczność zastosowania takiego obiektywu, który pozwoli na wykonywanie nalotu z pułapu nie wyższego niż 150 m nad fotografowanym terenem.

Ad.3. Przy wyborze skali zdjęć należy uwzględnić następujące uwagi:

Skala zdjęć jest jednym z podstawowych parametrów geometrycznych projektowanych zdjęć; determinuje ona ilość zdjęć, dokładność opracowania a także pracochłonność i koszty opracowania.
W fotogrametrii, w odniesieniu do skali zdjęć, generalnie obowiązuje następująca zasada: skala zdjęć - przede wszystkim ze względu na czasochłonność i koszty opracowania - powinna być najmniejsza z możliwych ale jednocześnie skala ta powinna być na tyle duża, aby w konkretnych warunkach technologicznych planowanego opracowania gwarantowała osiągnięcie celu, dla którego wykonuje się zdjęcia. Zasada ta w praktyce realizowana jest w ten sposób, że w stosownych Wytycznych Technicznych podaje się wzajemną relację pomiędzy skalą zdjęć lotniczych a skalą ortofotomapy opracowanej na podstawie tych zdjęć; stosowny współczynnik w przypadku zdjęć wykonywanych profesjonalnymi kamerami fotogrametrycznymi wynosi około 5 tzn. na podstawie zdjęć lotniczych wykonanych w skali 1:25000 można opracować ortofotomapę w skali 1:5000.
W przypadkach stosowania do wykonania zdjęć fotogrametrycznych kamer cyfrowych np. kamery DMC firmy Intergraph w/w współczynnik wzrasta nawet do 10; w przypadkach zdjęć wykonywanych kamerami cyfrowymi podstawowym parametrem decydującym o skali zdjęć jest terenowa wartość pojedynczego piksela np. dla opracowania ortofotomapy w skali 1:1000 terenowa wartość piksela na zdjęciu lotniczym powinna wynosić 0,10m.

W przypadku technologii fotogrametrycznej wykorzystującej niemetryczne zdjęcia cyfrowe wykonywane z bezzałogowych, zdalnie sterowanych aparatów latających w odniesieniu do skali zdjęć dominującym jest dotąd nie wymieniany czynnik minimalizacji pułapu lotu aparatu latającego; w szczególności stosowny warunek brzmi jak następuje:
w ramach przedmiotowej technologii, przy określaniu skali zdjęć jako czynnik dominujący należy przyjąć potrzebę zastosowania najmniejszej z możliwych wysokości fotografowania czyli najmniejszy z możliwych pułap lotu mini śmigłowca.
Przy wyborze skali zdjęć należy także uwzględnić:

- przeznaczenie zdjęć,
- wymagania co do dokładności - sytuacyjnej i wysokościowej - prac pomiarowych,
- spodziewaną jakość geometryczną i zdolność rozdzielczą zdjęć,
- warunki technologiczne opracowania zdjęć (metoda opracowania zdjęć, rozkład i dokładność osnowy fotogrametrycznej, charakterystyka systemu informatycznego i aparatury do opracowania zdjęć).

Warto w tym miejscu przytoczyć dane dotyczące możliwych do osiągnięcia dokładności opracowania fotogrametrycznego bazującego na zdjęciach wykonanych niemetrycznymi aparatami fotograficznymi z mini śmigłowca: wielokrotne testy wykonane na specjalnie założonym dla potrzeb niniejszego projektu polu testowym wykazały, że dla zdjęć wykonywanych z wysokości około 100 m nad terenem czyli dla zdjęć wykonanych w skali około 1:2000 możliwe do osiągnięcia są następujące dokładności: mxy = od 2 do 5 cm a mz = od 5 do 10 cm.

Ad.4. Przy wyborze wysokości fotografowania należy uwzględnić następujące uwagi:

Wysokość fotografowania oblicza się dla ustalonej, zaprojektowanej skali zdjęć i wybranego obiektywu. Wysokość lotu określa się względem średniej płaszczyzny obszaru fotografowania.
W przypadkach kiedy podlegający pomiarowi fotogrametrycznemu obszar jest zróżnicowany wysokościowo oraz jest na tyle rozległy, że wymaga wykonania kilku lotów śmigłowca wysokość lotu określa się oddzielnie dla każdego lotu.
W przedmiotowym przypadku dodatkowym ale jednocześnie koniecznym warunkiem jest aby parametry fotografowania były tak dobrane aby wysokość lotu śmigłowca nie była większa niż 150 m.

Ad.5 Przy wyborze pokrycia podłużnego zdjęć należy uwzględnić:

Tak zwane pokrycie podłużne zdjęć wyrażane jest poprzez procentowe określenie wzajemnego zachodzenia na siebie dwóch sąsiednich zdjęć w pojedynczym szeregu. W standardowej technologii fotogrametrycznej pokrycie podłużne zdjęć wynosi 60%; w coraz częstszych przypadkach wykonywania zdjęć fotogrametrycznych kamerami cyfrowymi preferowane jest pokrycie podłużne zdjęć w wymiarze 80%.
W przypadku stosowania przedmiotowej technologii wykorzystującej zdjęcia cyfrowe wykonywane z aparatów „niemetrycznych" pokrycie podłużne zdjęć nie może być mniejsze niż 60% przy czym zaleca się zwiększyć to pokrycie do 80% (a w szczególnych przypadkach nawet do 90%).
W przypadku przedmiotowej technologii zwiększenie pokrycia podłużnego zdjęć do 80% powoduje wydłużenie czasu prac zdjęciowych (wydłużenie czasu wykonywania zdjęć wynika m.in. z konieczności naprowadzenia mini śmigłowca na dodatkowe stanowiska) ale daje istotne korzyści w późniejszym opracowaniu zdjęć m.in. przy 80% pokryciu podłużnym zdjęć w istotny sposób zwiększa się możliwość opracowania zdjęć z dowolnych stanowisk (w tego typu przypadkach opracowaniu może podlegać każde co drugie zdjęcie w szeregu).

Ad.6. Przy wyborze pokrycia poprzecznego zdjęć należy uwzględnić:

Pokrycie poprzeczne określa pokrycie zdjęć między sąsiednimi szeregami i wyrażane jest w procentach. Standardowe pokrycie poprzeczne zdjęć wynosi 25-30%.
Generalnie zakłada się, że w omawianej technologii przypadki występowania więcej niż jednego szeregu zdjęć będą sporadyczne - tylko w takich przypadkach występować będzie pokrycie poprzeczne zdjęć. Dla tego typu przypadków należy przyjąć w/w parametr pokrycia poprzecznego zdjęć równy 25-30%.

Ad.7. Osnowa fotogrametryczna:

Każdemu przypadkowi wykonywania zdjęć fotogrametrycznych musi towarzyszyć specjalna osnowa terenowa składająca się z odpowiednio rozmieszczonych na badanym terenie tzw. fotopunktów o znanych współrzędnych X, Y i Z.
W przedmiocie wyboru punktów osnowy fotogrametrycznej możliwe są dwa rozwiązania: pierwszy, w którym punkty osnowy są sygnalizowane w terenie specjalnymi znakami (rys. 23A i 23B) – przed wykonaniem zdjęć oraz

rozwiązanie drugie, w którym punkty osnowy wybierane są z charakterystycznych punktów terenowych zarejestrowanych na zdjęciach. W tym drugim rozwiązaniu współrzędne punktów zwanych także fotopunktami naturalnymi określane są dopiero po szczegółowej analizie zdjęć; w tym zatem przypadku pomiar osnowy fotogrametrycznej jest rozdzielny względem czynności wykonania zdjęć obiektu.

W obu przypadkach współrzędne fotopunktów należy wyznaczyć przy zastosowaniu metod geodezyjnych – w tym także z wykorzystaniem technologii GPS.

Dokładność określenia współrzędnych X, Y i Z fotopunktów jest uwarunkowana potrzebami danego zadania pomiarowego; w przypadkach typowych dokładność określenia poszczególnych współrzędnych nie powinna być gorsza niż +/- 1cm.

Badania testowe wykonane dla potrzeb niniejszego projektu wykazały, że optymalnym rozwiązaniem jest zastosowanie sygnalizowanych punktów osnowy fotogrametrycznej w ilości nie mniejszej niż 4 fotopunkty (a najlepiej 6 fotopunktów) na stereogram rozmieszczone równomiernie na terenie objętym danym stereogramem. Każdorazowo należy założyć także kilka punktów kontrolnych. Badania wykazały także, że przy zastosowaniu programu PI – 3000 nie jest możliwe dokładne opracowanie stereogramów „uzbrojonych" jedynie w tzw. osnowę liniową czyli w osnowę scharakteryzowaną jedynie odległościami pomiędzy fotopunktami naturalnymi albo sygnalizowanymi.

Ad. 8. Szczególne uwarunkowania techniczne wynikające ze specyfiki zastosowanej aparatury,

W przypadku zdjęć wykonywanych aparatem fotograficznym z platformy nośnej podwieszonej do mini śmigłowca prawidłowe wykonanie zdjęć pod względem jakości geometrycznej i fotograficznej jest uwarunkowane:

- warunkami pogodowymi w trakcie wykonywania zdjęć (szczególnie ważne jest aby podczas wykonywania zdjęć wiatr nie był zbyt silny oraz aby nie występowały opady deszczu czy też śniegu),
- możliwościami eksploatacyjnymi mini śmigłowca (m.in. od nich zależy czas pobytu mini śmigłowca w powietrzu a tym samym od nich zależy jaki obszar uda się sfotografować podczas pojedynczego lotu mini śmigłowca) ,
- precyzją aparatury nawigacyjnej mini śmigłowca,
- ograniczeniami sprzętu fotograficznego,

W przypadku zdjęć wykonywanych z mini śmigłowca szczególnie ważne jest aby zdjęcia były „ostre" oraz aby tworzyły poprawne stereogramy tzn. aby sąsiednie zdjęcia w danym szeregu nakładały się na siebie bez nadmiernych skręceń i nadmiernych przesunięć. Korzystne też będzie kiedy zdjęcia fotograficzne wykonywane z mini śmigłowca dla celów pomiarowych będą „prawie pionowe".

Dla potrzeb szybkiej oceny parametru poprawnej „ostrości" zdjęć można posłużyć się oglądem na ekranie aparatu fotograficznego powiększonych fragmentów zdjęć zawierających znaczniki osnowy fotogrametrycznej; można uznać zdjęcia za poprawne jeśli wyraźnie widoczny będzie pierścień znaczników fotopunktów.

Uwzględniając uwarunkowania wynikające z możliwości aparatury, w przypadku wykonywania zdjęć fotogrametrycznych z mini śmigłowca za dopuszczalne uznaje się:

- niewielkie odstępstwo od założonej wysokości lotu,
- niewielkie liniowe przesunięcie sąsiednich zdjęć względem siebie (i względem osi szeregu zdjęć),

- niewielkie wzajemne skręcenie sąsiednich zdjęć,
- niewielkie kąty nachyleń zdjęć,

Dostępne obecnie systemy informatyczne do opracowania cyfrowych, niemetrycznych zdjęć fotogrametrycznych umożliwiają poprawną geometryzację obiektu zarejestrowanego także na takich zdjęciach, które będą charakteryzowały się odstępstwami od założonych parametrów technicznych np. w prospekcie informacyjnym systemu PI-3000 jest wręcz zapis o tym, że program umożliwia opracowanie zdjęć wykonywanych w dużym zakresie kata zbieżności.

VIII. ORGANIZACYJNE I INNE DOTĄD NIEWYMIENIONE ASPEKTY PRZEDMIOTOWEJ TECHNOLOGII.

VIII.1. STACJA NAZIEMNA,

Dla potrzeb wykonywania zdjęć fotogrametrycznych konkretnego obiektu - w jego najbliższej okolicy (najlepiej na obrzeżach obiektu ale jednocześnie w miejscu dobrego wglądu w obiekt) – na otwartym obszarze o powierzchni kilkunastu metrów kwadratowych należy zorganizować tzw. stację naziemną (bazową) czyli swoiste stanowisko dowodzenia nalotem oraz miejsce startów i lądowań śmigłowca.

Na terenie stacji naziemnej należy zainstalować urządzenie do zdalnego sterowania zestawem: ***mini śmigłowiec z podwieszonym aparatem fotograficznym*** oraz komputer przenośny.

W stacji naziemnej odbywać się będzie:

- będą miały miejsce starty i lądowania mini śmigłowca,
- sterowanie lotem mini śmigłowca,
- kontrola parametrów lotu i parametrów eksploatacyjnych zastosowanego typu mini śmigłowca,
- sterowanie aparatem fotograficznym,
- kontrolny podgląd kadrów zdjęć,
- kontrola jakości zdjęć - po wylądowaniu śmigłowca,
- archiwizacja zasobu zdjęć w pamięci komputera,

VIII. 2. KONTROLA DANYCH:

Po wykonaniu zdjęć a następnie po zgraniu zasobu zdjęć z karty pamięci aparatu fotograficznego do pamięci komputera należy przeprowadzić staranny ogląd zdjęć pod kątem ich jakości fotograficznej oraz pod kątem spełnienia przez zdjęcia założonych parametrów geometrycznych takich jak: skręcenie sąsiednich zdjęć, przesunięcia sąsiednich zdjęć, zachowanie założonych parametrów pokrycia podłużnego i poprzecznego zdjęć itp.

O ile powyższa kontrola wykaże istotne usterki w tym np. luki w pokryciu terenu wykonywane będą powtórne naloty lub też będzie miało miejsce lokalne uzupełnienie zdjęć (o ile ten ostatni przypadek będzie możliwy do przeprowadzenia i o ile będzie to uzasadnione merytorycznie).

Ze względów merytorycznych racjonalnym rozwiązaniem jest przeprowadzenie przedmiotowej kontroli jeszcze podczas pobytu na obiekcie – po to aby przy ewentualnych usterkach zdjęć móc je od razu usunąć. Jak jednak pokazały doświadczenia wyniesione z prac badawczych przeprowadzenie tego typu kontroli wymaga zarówno odpowiednich warunków jak i czasu co w praktyce skutkuje przeniesieniem tej czynności do miejsca pracy kameralnej.

VIII.3. POMIARY GEODEZYJNE ORAZ PRZYGOTOWANIE NIEZBĘDNYCH DANYCH DO PRZETWARZANIA ZDJĘĆ:

Wykonywaniu zdjęć lotniczych dla potrzeb fotogrametrycznych – jak o tym już wspomniano w rozdziale VI punkt 7 - zawsze towarzyszy specjalna osnowa fotogrametryczna, która z reguły jest sygnalizowana w terenie specjalnymi znacznikami (rys. 22A i 22B).

Wymieniona osnowa fotogrametryczna musi podlegać pomiarom geodezyjnym wykonywanym bądź za pomocą instrumentów tzw. Total Station (rys. 23A i 23B) albo też przy wykorzystaniu technologii GPS.

Na podstawie pomiarów geodezyjnych określane są współrzędne punktów osnowy fotogrametrycznej; w uzasadnionych przypadkach dla wybranych punktów tej osnowy sporządza się tzw. opisy topograficzne punktów tej osnowy. Opisy te dołączane są do dokumentacji z pomiarów geodezyjnych.

Oznaczenie lokalizacji punktów osnowy fotogrametrycznej wraz z wykazem współrzędnych tych punktów oraz wraz z oceną dokładności wyznaczenia tych współrzędnych stanowi niezbędną dla dalszego opracowania zdjęć dokumentację geodezyjną.

VIII.4. PROJEKT LOTU:

W przypadkach rozległych obiektów wymagających wykonania wielu zdjęć podstawą do wykonania zdjęć z mini śmigłowca jest projekt lotu, w którym dla przypadku przedmiotowej technologii zawarte powinny być poniżej wymienione dane:

- cel pracy,
- zasięg terytorialny badanego obiektu oznaczony na podkładzie mapowym,
- założone parametry techniczne prac pomiarowych w tym: skala zdjęć, pokrycie podłużne zdjęć i ewentualnie pokrycie poprzeczne zdjęć, dokładność opracowania oraz charakterystyka wymaganej zamówieniem dokumentacji,
- przewidywana technologia wykonania prac oraz przewidywany do wykonania zdjęć konkretny zestaw aparatury: określony mini śmigłowiec oraz określony aparat fotograficzny z określonym obiektywem.

W przypadku technologii fotogrametrycznej wykorzystującej zdjęcia wykonane z mini śmigłowców projekt lotu należy sporządzić na mapie geodezyjnej (lub na ortofotomapie) w relatywnie dużej skali np. 1:2000 (nie gorzej niż 1:5000) – rys. 9.

Uwaga: przy opracowywaniu projektu lotu pamiętać należy, że zasięg pojedynczego lotu mini śmigłowca nie może przekraczać odległości 500 m od stacji naziemnej (bazowej). W tych przypadkach, w których w/w odległość byłaby większa niż 500 m fotografowany obiekt należy podzielić na kilka mniejszych obszarów, dla których należy opracować oddzielne projekty nalotów.

Rys. 9. Fragment projektu lotu opracowany na fotomapie pozyskanej z przeglądarki Google: projektowane stanowiska mini śmigłowca na polu testowym w dzielnicy Chwarzno w Gdyni.

Na w/w podkładzie mapowym zawierającym oznakowany zasięg terytorialny opracowania należy zaprojektować osie nalotu oraz należy oznakować miejsca, z których powinny być wykonywane rejestracje fotograficzne.

Przy projektowaniu lokalizacji stanowisk fotografowania należy uwzględnić następujące uwagi:

- jednorazowy nalot nie może przekraczać odległości widoczności mini śmigłowca; generalnie odległość od stacji bazowej do mini śmigłowca nie może przekraczać odległości 500 m,
- w każdym szeregu zdjęć należy zaplanować wykonanie co najmniej dwóch zdjęć tzw. rozbiegowych tzn. dwóch zdjęć wykonywanych przed granicami obiektu oraz dwóch zdjęć wykonywanych po przekroczeniu granic obiektu,

- należy stosować pułap nalotu nie wyższy niż 150 m. (wysokość lotu wynika z prostej zależności pomiędzy długością ogniskowej planowanego do wykorzystania aparatu fotograficznego oraz założonej skali zdjęć),
- należy projektować pokrycie podłużne nie mniejsze niż 60% i ewentualnie nie mniejsze niż 25% pokrycie poprzeczne zdjęć,
- aparat fotograficzny należy ułożyć w platformie nośnej w ten sposób aby dłuższy bok zdjęcia był skierowany wzdłuż osi nalotu,

Mając w/w dane należy dokonać stosownych obliczeń, na podstawie których należy oznakować na mapie miejsca, z których powinny być wykonywane zdjęcia; w zależności od charakterystyki systemu do nawigacji mini śmigłowców należy przygotować dane dostosowane do potrzeb wybranego do wykonania zdjęć zestawu aparatury

IX. TECHNOLOGIA POMIARÓW FOTOGRAMETRYCZNYCH WYKORZYSTUJĄCA NIEMETRYCZNE ZDJĘCIA CYFROWE WYKONYWANE Z WYBRANYCH DWÓCH BEZZAŁOGOWYCH, ZDALNIE STEROWANYCH STATKÓW POWIETRZNYCH.

IX.1. WPROWADZENIE:

Dla potrzeb opracowania technologii pomiarów fotogrametrycznych wykorzystującej niemetryczne zdjęcia cyfrowe wykonywane z bezzałogowych, zdalnie sterowanych statków powietrznych wykonano obszerny program prac badawczych; w szczególności program ten obejmował:

- rozpoznanie problematyki wykonywania zdjęć fotograficznych z mini śmigłowca poprzez wykonanie pierwszych próbnych zdjęć fotograficznych z podwieszonego pod mini śmigłowcem MS EAGLE aparatu fotograficznego Canon EOS 5D. Zdjęcia wykonywano na niezabudowanym polu testowym wybranym w dzielnicy Chwarzno w Gdyni. Pole to pokazane jest na załączniku nr 1 do niniejszego opracowania. W przypadku drugiej sesji zdjęciowej na przedmiotowym polu rozłożono około 50 punktów osnowy fotogrametrycznej, które zamierzono z zastosowaniem tachimetru elektronicznego - w lokalnym układzie współrzędnych,

  Efekty pierwszych dwóch sesji zdjęciowych były nieudane – zdjęcia nie tworzyły poprawnych geometrycznie stereogramów, dodatkowo też druga z sesji zakończyła się kompletnym fiaskiem – wszystkie zdjęcia były nieostre.. Powyższe próby udokumentowane są na załącznikach do niniejszego opracowania o nr. 2 i 3.

  Analiza przyczyn nieudanych sesji pozwoliła na wprowadzenie takich zmian, które poskutkowały tym, że kolejne sesje zdjęciowe – poza w/w pierwszymi dwoma – zakończyły się sukcesem (poprawne geometrycznie stereogramy z relatywnie ostrymi zdjęciami zaprezentowane są na załącznikach od nr 4 do nr 19 włącznie oraz na załącznikach od nr 24 do nr 29),
- budowę ruchomego (umożliwiającego zmianę kierunku fotografowania w trakcie lotu) podwieszenia – tzw. gimbala – dostosowanego do aparatu fotograficznego Canon EOS 5D,
- instalację miniaturowej kamery video w wizjerze aparatu Canon EOS 5D – dla potrzeb bezprzewodowego przenoszenia obrazu kadru zdjęcia na ekran monitora laptopa,
- dołączenie do mini śmigłowca MS EAGLE odbiornika GPS rejestrującego także wysokość lotu,

- skonstruowanie i pomyślne zainstalowanie oddzielnej, awaryjnej linii komunikacji z mini śmigłowcem MS EAGLE – na okoliczność awarii podstawowej linii komunikacji,
- wdrożenie do prac nowo zakupionego mini śmigłowca MD 4 -200 z aparatem fotograficznym Pentax Optio A-40
- wykonanie poprawnych stereogramów gmachu głównego Politechniki Gdańskiej (elewacji, detali oraz powierzchni dachu); przedmiotowe prace udokumentowane są poprzez 9 załączników do niniejszego opracowania – od nr 6 do nr 14,
- wykonanie poprawnych geometrycznie stereogramów odkrywki archeologicznej w Krakowie; na przedmiotowej odkrywce założono też i geodezyjnie pomierzono złożoną z 44 punktów osnowę fotogrametryczną; podczas pobytu w Krakowie oprócz stereogramów odkrywki archeologicznej wykonano także stereogramy dachu budynku Sukiennic. Przedmiotowe prace udokumentowane są poprzez 5 załączników do niniejszego opracowania – od nr 15 do nr 19,
- opracowanie ortofotomapy – z redakcją dostosowaną do skali 1:100 - oraz modelu 3D odkrywki archeologicznej w Krakowie; przedmiotowe prace udokumentowane są poprzez 4 załączniki do niniejszego opracowania – od nr 20 do nr 23,
- wykonanie poprawnych geometrycznie stereogramów pola testowego w dzielnicy Chwarzno w Gdyni; poprawne zdjęcia wykonano trzema zestawami aparatury przy zastosowaniu nowatorskiego sposobu wyznaczania lokalizacji stanowisk mini śmigłowca. Na przedmiotowym polu testowym założono też i geodezyjnie pomierzono złożoną z 77 punktów osnowę fotogrametryczną. Przedmiotowe prace udokumentowane są poprzez 6 załączników do niniejszego opracowania – od nr 24 do nr 29,
- wykonanie wielu prób kalibracji aparatów fotograficznych – na podstawie:
  - zdjęć planszy kalibracyjnej programu PI – 3000 (6 załączników: od nr 30 do nr 35),
  - zdjęć pola testowego z AGH Kraków (2 załączniki: nr 36 i 37),
  - zdjęć pola testowego z auli Politechniki Warszawskiej (załącznik nr 38),
  - zdjęć naturalnego pola testowego z Chwarzna (6 załączników – od nr 24 do nr 29).

  W ramach prac badawczych przedmiotowego projektu wykonano kalibrację aparatów fotograficznych przy wykorzystaniu wszystkich wymienionych w rozdziale III sposobów oraz przy wykorzystaniu czterech różnych pól testowych. W przedmiocie kalibracji aparatów współpracowano z osobami specjalizującymi się w problematyce kalibracji aparatów fotograficznych; w szczególności z przedstawicielem Akademii Górniczo – Hutniczej w Krakowie – z panią dr inż. Reginą Tokarczyk oraz z przedstawicielem Politechniki Warszawskiej – panią dr inż. Dorotą Zawieską. W ramach prac badawczych wykonano zdjęcia zarówno w Krakowie jaki w Warszawie. Tylko jeden sposób wykorzystujący naturalne pole testowe nie dał pozytywnych wyników – okazało się, że naturalne pole testowe na którym zasygnalizowano 77 punktów na obszarze 80x50m charakteryzowało się zbyt małą głębią (maksymalna różnica wysokości pomiędzy punktem najwyższym i najniższym wyniosła 8 m) co w praktyce uniemożliwiło wyznaczenie parametrów kalibracji.
- opracowanie zdjęć pola testowego z Chwarzna – w różnych konfiguracjach,

  W ramach opracowania zdjęć pola testowego w Chwarznie wykonano m.in. obserwacje instrumentalne około 70 różnych zdjęć.

Wyżej wymienionym pracom badawczym m.in. towarzyszyły:

- konsultacje ws. kalibracji aparatów fotograficznych,
- konsultacje w sprawie wymogów formalno – prawnych lotów bezzałogowych aparatów latających. Tej czynności towarzyszyła także analiza stosownych aktów prawnych oraz analiza przetłumaczonych – w ramach przedmiotowego projektu celowego - na język polski dwóch Wytycznych tzw. CAP 722: „Unmanned Aerial Vehile Operations In UK Airspace – Guidance" oraz Wytycznych CAP 658: „Model Aircraft – A Guide to Safe Flying" .
- wdrożenie do „produkcji" systemu informatycznego PI – 3000 (oprócz tego rozpoznano także inne możliwe do zastosowania systemy informatyczne jak np. DEPHOS, PhotoModeler czy też AeroSys).
- analizy powstających dokumentów – przede wszystkim pod kątem uzyskiwanych dokładności opracowania,
- opracowanie niniejszego dokumentu,
- itp.

W ramach prac badawczych przedmiotowego projektu - dla potrzeb praktycznego sprawdzenia możliwości wykorzystania mini śmigłowców do wykonywania zdjęć fotograficznych nadających się do opracowań fotogrametrycznych - przygotowano dwa niżej wymienione zestawy aparatury: ***mini śmigłowiec z podwieszonym aparatem fotograficznym:***

- mini śmigłowca MS EAGLE z zainstalowanym aparatem fotograficznym CANON EOS 5D (rys. 10- 16) oraz
- mini śmigłowca Microdrones MD4-200 z aparatem fotograficznym PENTAX OPTIO A40 (rys. 17 - 21).

Obydwa w/w zestawy spełniają podstawowe dla technologii fotogrametrycznej warunki:

- możliwe jest bezprzewodowe sterowanie i mini śmigłowcem i aparatem fotograficznym – z urządzeń zainstalowanych w stacji bazowej (naziemnej)
- aparaty fotograficzne pozwalają na zdalne wyzwalanie migawki,
- aparaty fotograficzne pozwalają na zdalny, w czasie rzeczywistym, podgląd kadru zdjęcia;
- komputer pokładowy, odbiornik GPS zainstalowany na śmigłowcu oraz specjalnie dobrane oprogramowaniu pozwalają na automatyczną nawigację mini śmigłowca wzdłuż z góry zadanej trasy oraz na zadanej wysokości (z zastrzeżeniem, że w funkcję automatycznej nawigacji wyposażony jest tylko jeden z mini śmigłowców MS EAGLE; dla drugiego z mini śmigłowców brak jest odpowiedniego oprogramowania, które istnieje ale które nie zostało zakupione),
- konstrukcja zawieszenia aparatu fotograficznego pozwala na ciągłą zmianę kierunku fotografowania - w trakcie trwania lotu mini śmigłowca (ta właściwość pozwala na wykonywanie podczas jednego lotu mini śmigłowca zdjęć fotograficznych zarówno tzw. pionowych jak również zdjęć widokowych i zdjęć bocznych względem obiektu - szczególnie dogodnych w przypadkach konieczności fotografowania wysokich elewacji budowli).

W/w właściwości aparatury zostały w ramach prac badawczych projektu „obudowane" konkretnymi urządzeniami, bądź fabrycznymi – w przypadku mini śmigłowca MD4-200 bądź też dołączonymi – w przypadku mini śmigłowca MS EAGLE.

W nawiązaniu do zapisów dotyczących pozwolenia na loty (rozdział III niniejszego opracowania) dodać trzeba, iż z w/w dwóch mini śmigłowców jeden z nich – MD4-200 charakteryzuje się masą startową mniejszą od 7 kg a zatem nie wymaga uzyskiwania pozwolenia na loty; drugi z mini śmigłowców MS EAGLE charakteryzuje się masą startową równą około 13 kg i jakkolwiek –w myśl zapisów z rozdziału III także nie wymaga pozwolenia na loty to jednak w tym przypadku muszą być spełnione wszystkie pozostałe wymogi zapisane w w/w rozdziale III nin. opracowania (uwaga: w/w rygory nie są wymagane w przypadkach wykonywania lotów testowych – o charakterze naukowo – badawczym - nad pustymi terenami).

W konsekwencji zastosowania w pracach badawczych w/w dwóch zestawów aparatury i w/w oprogramowania poniżej zaprezentowana technologia jest dostosowana przede wszystkim do tej właśnie aparatury. Niezależnie od powyższego w niniejszym opracowaniu wskazywane będą także inne rozwiązania techniczne i organizacyjne, których celem jest uniwersalizacja technologii.

IX.1. SZCZEGÓŁOWA CHARAKTERYSTYKA TECHNICZNA APARATURY I OPROGRAMOWANIA:

1.1. pierwszy zestaw aparatury: mini śmigłowiec MS EAGLE z zainstalowanym aparatem fotograficznym Canon EOS 5D (rys. od 10 do 16); podstawowe parametry techniczne tego zestawu są następujące:

A. mini śmigłowiec MS EAGLE:

- waga: około 9,5 kg,
- udźwig maksymalny 5 kg,
- waga mini śmigłowca z podwieszonym aparatem fotograficznym CANON EOS 5D i obiektywem Canon EF 50mm f/1.4: 13 kg
- rozmiary mini śmigłowca: 1400 mm x 280 mm x 500 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 – w celu uzupełnienia paliwa – co około 40÷50 minut),
- zasięg terytorialny pojedynczego lotu – przy wykonywaniu zdjęć fotograficznych dla potrzeb fotogrametrycznych: jednorazowy nalot nie powinien przekraczać odległości widoczności mini śmigłowca; w praktyce odległość od stacji bazowej do mini śmigłowca nie może przekraczać 500m.
- pułap mini śmigłowca przy wykonywaniu zdjęć fotograficznych dla potrzeb fotogrametrycznych nie może przekraczać wysokości 150 m ,
- mini śmigłowiec został w ramach przedmiotowego projektu wyposażony w specjalne podwieszenie (tzw. gimbal) dostosowane do aparatu fotograficznego CANON EOS 5D (rys. 14) oraz został wyposażony w aparaturę do automatycznej nawigacji wzdłuż zadanej trasy oraz na zadanej wysokości; system nawigacyjny pochodzi z firmy RotoMotion i nazywa się: Automatic Flight Control System. Elementy systemu to: komputer

pokładowy z oprogramowaniem, odbiornik GPS (z anteną), magnetometr czyli elektroniczny kompas – do orientacji śmigłowca w przestrzeni.

Uwaga: system Automatic Flight Control System firmy RotoMotion został zainstalowany wyłącznie dla potrzeb przedmiotowego projektu; pomysłodawcą pozyskania tej aparatury oraz instalacją urządzenia na mini śmigłowcu MS EAGLE byli w tym przypadku panowie: Tadeusz i Łukasz Werner .

- w ramach przedmiotowego projektu mini śmigłowiec został też wyposażony w już wcześniej wspominaną oddzielną, awaryjną linię komunikacyjną – na okoliczność awarii podstawowej linii komunikacji,

B. aparat fotograficzny CANON EOS 5D z obiektywem CANON EF 50mm f/1.4 (rys. 13) – podstawowe parametry:

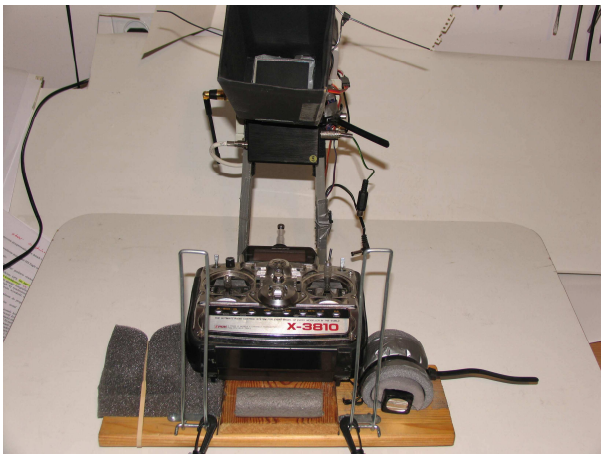
- lustrzanka z matrycą CMOS formatu pełnej klatki, o wymiarach: 35.8 x 23.9 mm.,
- rozdzielczość 12,8 milionów pikseli,
- ekwiwalenty czułości ISO 100 – 1600 (rozszerzenie do 50 i 3200),
- elektronicznie sterowana migawka szczelinowa,
- czasy otwarcia migawki 30-1/8000 s,
- maksymalna przysłona f/1.4,
- waga 810 gramów,
- wytrzymały korpus ze stopu magnezu i metalu (istotna cecha ze względu na potencjalne możliwości tzw. twardych lądowań czyli uderzeń o ziemię przy lądowaniu mini śmigłowca),
- stało ogniskowy obiektyw CANON EF 50mm f/1.4 charakteryzuje się następującymi cechami:
  - bardzo dobra ostrość obrazu zarówno w centrum jak i na brzegach kadru,
  - dobrze korygowany astygmatyzm,
  - średnia aberracja chromatyczna,
  - niewielka dystorsja obiektywu,
  - wady obiektywu: relatywnie duże tzw. winietowanie oraz widoczna koma ale tylko przy maksymalnej przysłonie (z tego powodu przy wykonywaniu zdjęć należy w miarę możliwości stosować przysłony poczynając od f/2.8),
- przy wysokości lotu równej 150 m rozmiary terenu sfotografowanego na jednym zdjęciu wynoszą około 108x72 m,

Aparat fotograficzny Canon EOS 5D nie jest fabrycznie wyposażony w funkcję live view w związku z czym w ramach niniejszego projektu aparat ten został „doposażony” w miniaturową kamerę video zakładaną na wizjer aparatu (rys. 12). Obraz z wizjera – za pomocą kamery video – przenoszony jest w czasie rzeczywistym na ekran monitora konsoli sterującej oraz na ekran monitora laptopa. W ramach niniejszego projektu został także zaprojektowany a następnie zrealizowany sposób wyzwalania migawki aparatu fotograficznego (rys. nr 10 i 12).

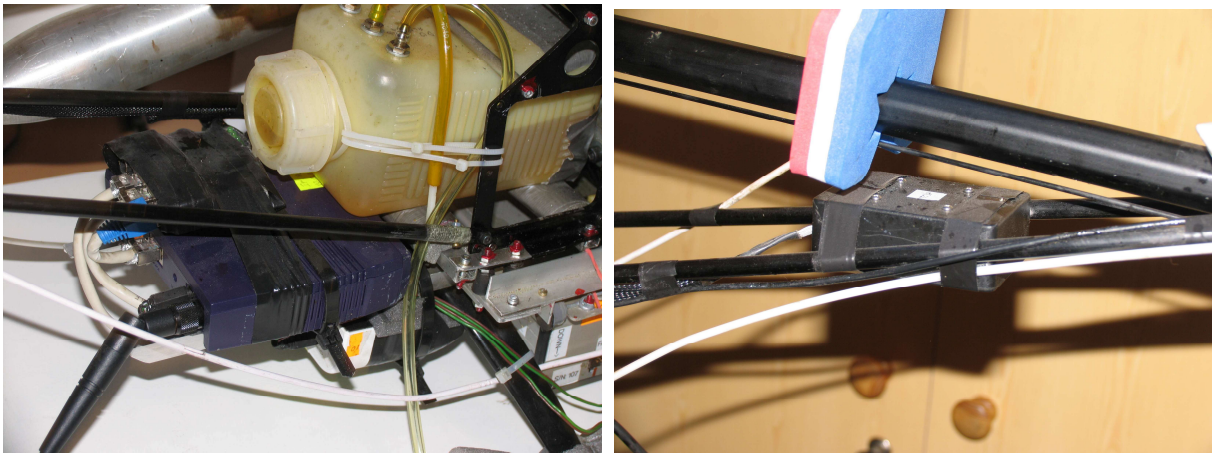
Uwaga: pomysłodawcą zastosowania mini kamery video do podglądu kadru zdjęcia oraz zastosowania mechaniczno – elektronicznego sposobu zdalnego wyzwalania migawki aparatu fotograficznego wraz ze specjalnym joystickiem a także wykonanie stosownych urządzeń i ich instalacja w aparacie fotograficznym oraz na mini śmigłowcu MS EAGLE byli w tym przypadku panowie: Tadeusz i Łukasz Werner .

Zestaw: mini śmigłowiec MS EAGLE z aparatem fotograficznym CANON EOS 5D (rys. 10) jest sterowany z dwóch niezależnych konsoli (rys. 11).

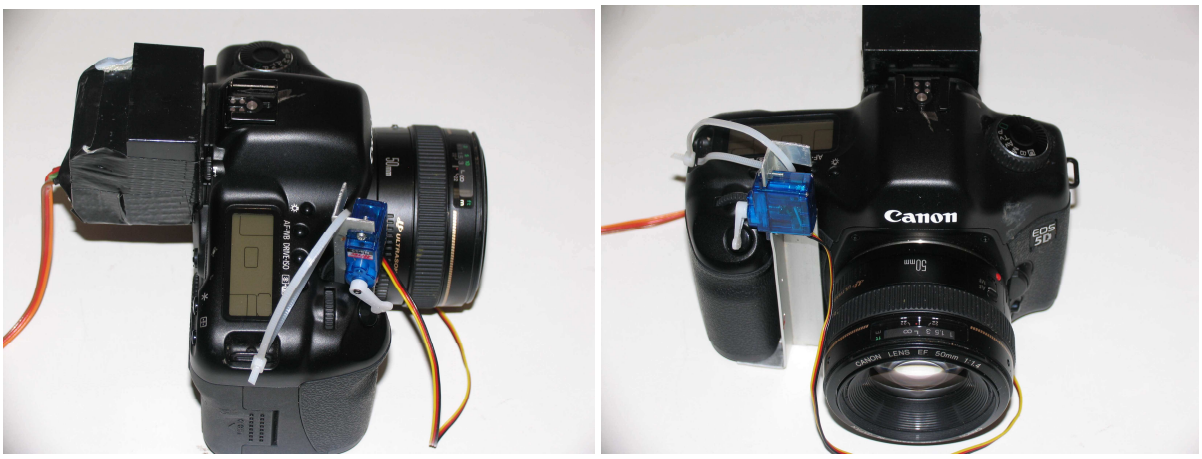
Rys.10. Zdjęcie mini śmigłowca MS EAGLE z zamontowanym aparatem cyfrowym CANON EOS 5D.



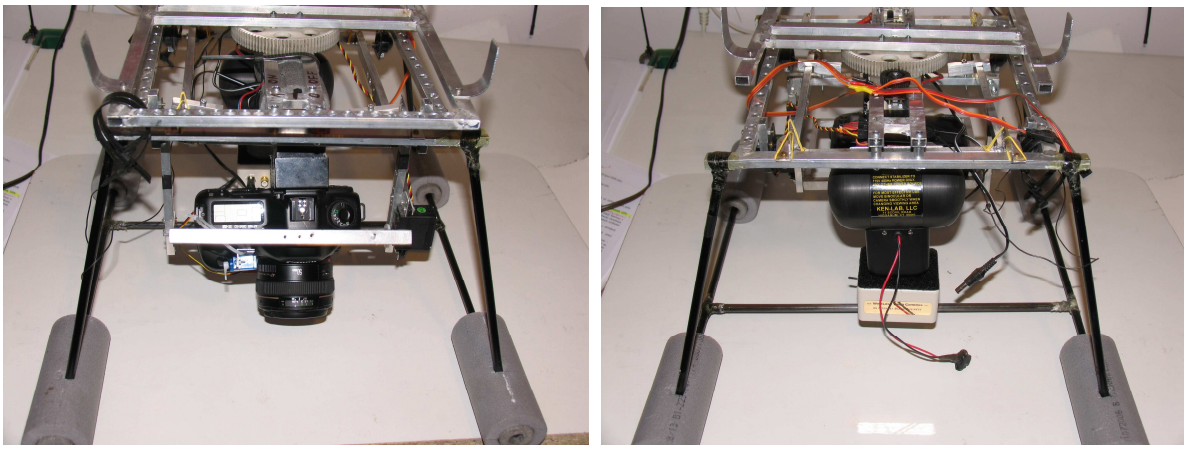
Rys.11A i B. Z lewej: Konsola sterująca z monitorem podglądu kadru zdjęcia; z prawej: obok komputera joystick do sterowania aparatem fotograficznym (pomysł i realizacja: Tadeusz i Łukasz Wernerowie);



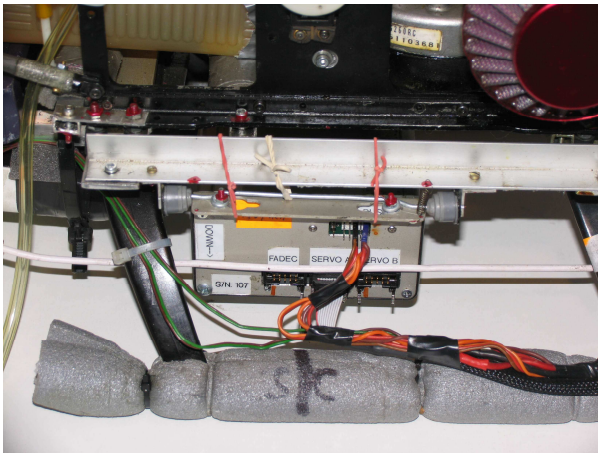
Rys.12A i B. Z lewej: transmiter WiFi zainstalowany na śmigłowcu: z prawej: tzw. magnetometr (elektroniczny kompas) – urządzenie sterujące do orientacji przestrzennej śmigłowca.



Rys.13A i B. Aparat fotograficzny CANON EOS 5D z obiektywem Canon EF 50mm f/1.4 z miniaturową kamerą video założoną na wizjer aparatu wraz z urządzeniem sterującym wykonywaniem zdjęć (z prawej); (pomysł rozwiązania i realizacja: Tadeusz i Łukasz Wernerowie).



Rys.14A i B. z lewej: aparat fotograficzny CANON EOS 5D zainstalowany w tzw. gimbalu podwieszanym do śmigłowca; z prawej: próba zastosowania urządzenia żyroskopowego do tłumienia drgań śmigłowca (pomysł i realizacja: Tadeusz i Łukasz Wernerowie);



Rys.15A i B. Komputer pokładowy (z odbiornikiem GPS) oraz miniaturowa antena GPS – przepasana opaską.

Rys.16A i B. MS EAGLE z aparatem CANON EOS 5D w powietrzu; po prawej operator z konsolą sterujący lotem śmigłowca.

1.2. drugi zestaw aparatury: mini śmigłowiec Microdrones MD 4-200 i aparat fotograficzny PENTAX OPTIO A40 (rys. 17- 21); podstawowe parametry techniczne tego zestawu są następujące:

A. mini śmigłowiec Microdrones MD4-200:

- waga: 900 gram,
- udźwig: 200 gram,
- odległość między osiami śmigieł 700 mm,
- 4 silniki elektryczne,
- czas trwania pojedynczego lotu: praktyczny – 15 minut (maksymalny - 20 minut) na jednym zestawie baterii, (wymiana baterii na nowy zestaw pozwala na kolejny lot o czasie trwania około 15 minut; mini śmigłowiec jest wyposażony w 4 zestawy baterii, które łącznie pozwalają na wielogodzinny lot z międzylądowaniami co około 15÷20 minut),

- zasięg terytorialny pojedynczego lotu - przy wykonywaniu zdjęć fotograficznych dla potrzeb fotogrametrycznych: jednorazowy nalot nie powinien przekraczać odległości widoczności mini śmigłowca; w praktyce – w przypadku tego typu relatywnie niewielkiego mini śmigłowca - odległość od stacji bazowej do mini śmigłowca nie powinna przekraczać 400m.
- pułap mini śmigłowca przy wykonywaniu zdjęć fotograficznych dla potrzeb fotogrametrycznych nie może przekraczać wysokości 150 m,
- mini śmigłowiec jest wyposażony w aparaturę do automatycznej nawigacji wzdłuż zadanej trasy oraz na zadanej wysokości. Elementy systemu to: komputer pokładowy z oprogramowaniem, odbiornik GPS (z anteną) oraz 3D magnetometr; nazwa fabryczna zestawu: ***Ogpsmag*** (testowany w ramach prac badawczych przedmiotowego projektu śmigłowiec MD4-200 nie był wyposażony w oprogramowanie do automatycznej nawigacji stąd też tej opcji w praktyce, w przypadku tego śmigłowca nie sprawdzono).

B. aparat fotograficzny Pentax OPTIO A40 z obiektywem Pentax SMC (rys. 18):

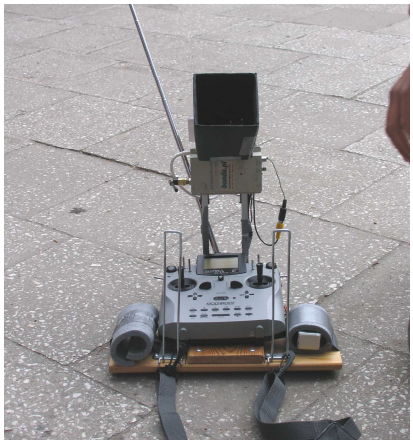
- cyfrowy aparat kompaktowy z wbudowanym obiektywem zoom,
- matryca CCD o rozmiarze 1/1,7”,
- rozdzielczość 12 milionów pikseli,
- obiektyw o ogniskowych 7,9 mm – 23,7 mm (odpowiednik 37 mm – 111 mm w formacie 35 mm)
- ekwiwalenty czułości ISO 50 – 3200,
- migawka elektroniczna / mechaniczna,
- czasy otwarcia migawki 4-1/2000 s,
- przysłona f/2.8 – f/5.6,
- waga 150 gramów,
- wytrzymała metalowa obudowa (istotna cecha ze względu na potencjalne możliwości uderzeń o ziemię przy lądowaniu mini śmigłowca),
- przy wysokości lotu równej 150 m rozmiary terenu sfotografowanego na jednym zdjęciu wynoszą: 145x 97 m,
- podgląd obrazu w czasie rzeczywistym – jednocześnie na ekranach kilku odbiorników: na ekranie monitora laptopa (rys. 21), na ekranie specjalnych okularów (rys. 19) oraz na ekranie dodatkowego miniaturowego monitora; ta ostatnia opcja – jako relatywnie najwygodniejsza - została skonstruowana przez p. Tadeusza Wernera w ramach prac badawczych (rys. 19),

Zestaw: mini śmigłowiec MD4-200 z aparatem fotograficznym Pentax Optio A40 jest sterowany z jednej, zintegrowanej konsoli – co jest jego wielką zaletą (rys. 20); po dołączeniu w/w miniaturowego monitora z podglądem kadru zdjęć funkcjonalność tej konsoli jeszcze się polepszyła.

Rys.17. Zdjęcia mini śmigłowca MD4-200 z aparatem cyfrowym Pentax Optio A40.

Rys 18. Aparat fotograficzny, kompaktowy PENTAX OPTIO A40

Rys 19. Podgląd kadru zdjęcia – w czasie rzeczywistym - równolegle na dwóch ekranach:
na ekranie specjalnych okularów oraz na ekranie dodatkowego mini monitora (pomysł i realizacja: Tadeusz Werner).



Rys. 20A i B. Z lewej: zintegrowana konsola sterująca zarówno lotem mini śmigłowca MD 4-200 jak i wykonywaniem zdjęć; z prawej ta sama konsola z dołączonym mini ekranem do podglądu kadru zdjęć.

Rys. 21A i B. Z lewej: mini śmigłowiec MD4-200 z widoczną miniaturową anteną odbiornika GPS (biała nakładka na głowicy); sam odbiornik GPS mieści się w głowicy śmigłowca. Nazwa fabryczna zestawu: ***Ogpsmag.***

Z prawej: widok ekranu monitora komputera ze zdjęciem dachu gmachu głównego Politechniki Gdańskiej oraz z danymi eksploatacyjnymi śmigłowca w tym z wysokością lotu oraz stanem naładowania baterii.

Pomimo faktu, iż obydwa w/w zestawy aparatury w dość istotny sposób różnią się między sobą parametrami technicznymi, w tym zasięgiem lotu, czasem lotu, jakością aparatu fotograficznego itp. mogą one dla celów fotogrametrycznych być stosowane wymiennie, z zastrzeżeniem, że zestaw: mini śmigłowiec MS EAGLE z aparatem fotograficznym CANON EOS 5D **NIE** powinien być stosowany w przypadkach fotogrametrycznej geometryzacji obiektów, na których w czasie wykonywania zdjęć będą przebywać ludzie. Innymi przypadkami gdzie z kolei zaleca się zastosować zestaw MS EAGLE z aparatem Canon EOS 5 D będą przypadki, kiedy opracowanie fotogrametryczne powinno pozyskać dane z maksymalną dokładnością (aparat fotograficzny Canon EOS 5D z obiektywem Canon EF 50mm jest w oczywisty sposób lepszy od kompaktowego aparatu Pentax Optio A40). Warto jednak pamiętać, że zestaw: MD 4-200 z aparatem Pentax OPTIO A 40 jest łatwiejszy w obsłudze i daje się szybciej uruchomić.

Warto tutaj także przypomnieć o opisanej w rozdziale I niniejszego opracowania opcji dołączenia do mini śmigłowca MS EAGLE np. aparatu Canon EOS 5D Mark II z obiektywem Canon EF 14mm f/2.8 USM (albo z obiektywem Canon 20 EF f/2.8 USM). Wymieniony zestaw: aparat fotograficzny i super szerokokątny obiektyw ma wiele korzystnych cech w tym m.in.: własny podgląd kadru zdjęcia (funkcja live view), rozdzielczość 21 milionów pikseli; zestaw ten stwarza także możliwość wykonywania zdjęć – dzięki bardzo krótkiej ogniskowej – z relatywnie najniższego z możliwych do zastosowania pułapów lotów.

Nowe możliwości w zakresie wykonywania zdjęć dla potrzeb fotogrametrycznych z bezzałogowych aparatów latających stworzy także niebawem nowa konstrukcja firmy Microdrones o nazwie MD4-1000 (rys. 22A i 22B), której własna masa startowa wynosi 3,9kg a nośność 1,2 kg. Oczywistym jest także fakt, iż możliwe do zastosowania w pomiarach fotogrametrycznych są także inne – aniżeli w/w - modele aparatów latających.

Rys. 22A. Nowa konstrukcja firmy Microdrones: mini śmigłowiec o nazwie: MD4 – 1000 (źródło: WWW.microdrones.de).

Rys. 22B. Nowa konstrukcja firmy Microdrones: mini śmigłowiec o nazwie: MD4 – 1000 (źródło: WWW.microdrones.de).

1.3. Do opracowania zdjęć obecnie – jako najlepsze rozwiązanie – zaleca się zastosować specjalistyczny system informatyczny firmy TOPCON o nazwie Image Surveying Station PI – 3000 dedykowany opracowaniom zdjęć wykonywanych z tzw. niemetrycznych aparatów fotograficznych; podstawowe cechy w/w systemu są następujące:

- system umożliwia wykonywanie pomiarów na zdjęciach – w trybie monoskopowym i w trybie stereoskopowym (system jest wyposażony w kolorowy monitor 3D z ekranem ciekłokrystalicznym oraz ze specjalnymi okularami – co łącznie umożliwia stereoskopową obserwację zdjęć),
- system pozwala na opracowanie zdjęć o relatywnie dużych kątach skręcenia i nachyleń: φ, ω, κ,
- system pozwala na automatyczny pomiar powierzchni terenu (dla potrzeb utworzenia tzw. Numerycznego Modelu Terenu) łącznie z funkcją tworzenia modelu trójwymiarowego oraz z możliwością nałożenia na model powierzchni obrazu zdjęcia,
- program pozwala na pozyskiwanie z modeli trójwymiarowych danych wektorowych oraz ich edycję np. system umożliwia tworzenie linii warstwicowych i linii przekrojowych terenu,
- system umożliwia tworzenie tzw. ortoobrazów,
- system umożliwia wyświetlanie i edycję tzw. modeli 3D obiektów,
- system umożliwia drukowanie rysunków,

Przedmiotowy system jest także wyposażony w moduł do przeprowadzania kalibracji aparatów fotograficznych o nazwie: PI- Calib.

Dwa zestawy w/w systemu znajdują się na wyposażeniu Zakładu Geodezji Wydziału Inżynierii Lądowej i Środowiska Politechniki Gdańskiej – co czyni ten system szczególnie łatwo dostępnym.

Uwaga: jak to już wspomniano w rozdziale IV punkt 4 firma TOPCON zapowiada, że w roku 2009 udostępni następcę systemu PI – 3000; nazwa tego nowego pakietu oprogramowania brzmi: ImageMaster w wersji konfiguracyjnej PRO przy czym zawierać on będzie także moduł do kalibracji obiektywów aparatów fotograficznych oraz moduł do obserwacji stereoskopowej zdjęć.

IX.2. FAZY CYKLU TECHNOLOGICZNEGO:

Przedmiotowa technologia, jak to już wspomniano w rozdziale II niniejszego opracowania, generalnie dedykowana jest obiektom o relatywnie niewielkich rozmiarach: nie przekraczających powierzchni kilkunastu hektarów –dla obiektów powierzchniowych lub nie dłuższych niż kilka kilometrów – w przypadku obiektów liniowych.

Powyższe założenie determinuje sposób wykonania prac pomiarowych konkretnego obiektu, które w ogólnym przypadku powinny przebiegać w poniżej przedstawionych czterech fazach:

- **faza prac przygotowawczych,**
- **faza wykonania prac terenowych,**
- **faza opracowania zdjęć,**
- **faza przygotowania dokumentacji wynikowej opracowania.**

Poniżej przedstawione są szczegółowe charakterystyki w/w faz.

IX.2.1. Faza prac przygotowawczych; w ramach tej fazy należy:

1. przeprowadzić analizę zagadnienia pomiarowego pod kątem celowości i możliwości zastosowania przedmiotowej technologii; w miarę możliwości w tej początkowej fazie prac pożądane jest jednoznaczne zdefiniowanie zadania pomiarowego wraz z oczekiwanymi dokładnościami. W tej fazie prac korzystne jest także pozyskanie aktualnej mapy terenu podlegającego pomiarowi,
2. przeprowadzić wywiad w terenie, w ramach którego należy wykonać poglądowe zdjęcia fotograficzne obiektu (zdjęcia należy wykonywać ze stanowisk naziemnych); celem wywiadu terenowego jest rozpoznanie uwarunkowań terenowych zadania pomiarowego. Efektem wywiadu powinny być poglądowe zdjęcia obiektu i pobliskiego terenu oraz zwięzły opis uwarunkowań terenowych zadania; wskazane jest także wytypowanie lokalizacji stacji naziemnej.
3. opracować Warunki Techniczne wykonania zadania pomiarowego, w ramach których należy:
   - podać dane formalno – prawne wykonania pracy: podstawa formalna wykonywania pracy, nazwę Zamawiającego, tytuł zadania pomiarowego, lokalizacja obiektu, charakterystyka obiektu, termin wykonania pracy itp.;
   - scharakteryzować zadanie pomiarowe poprzez:
     - podanie istoty zadania pomiarowego (na czym ono polega),
     - określenie parametrów charakteryzujących dokładność opracowania fotogrametrycznego,
     - przedstawienie charakterystyki technicznej końcowej dokumentacji technicznej,
   - wytypować do wykonania zadania konkretny aparat latający (jeden z dwóch: Microdrones lub MS EAGLE),
   - wskazać do wykonania zadania pomiarowego konkretny aparat fotograficzny i konkretny obiektyw,
   - określić sposób kalibracji zestawu: aparat fotograficzny / obiektyw (lub należy podać konkretne parametry kalibracji proponowanego do zastosowania zestawu: aparat fotograficzny / obiektyw),
   - wskazać dla danego zagadnienia pomiarowego metodę pomiaru: monoskopową lub stereoskopową,
   - określić parametry zdjęć:
     - skalę zdjęć,
     - odległość fotografowania (wysokość lotu mini śmigłowca),
     - pokrycie podłużne zdjęć,
     - pokrycie poprzeczne zdjęć.

     W celu zagwarantowania minimalnych parametrów pokrycia podłużnego i poprzecznego zdjęć zaleca się zastosowanie takich parametrów pokrycia, które gwarantowałyby możliwość opracowania zdjęć nawet wtedy kiedy trzeba by pominąć zdjęcia z jakiegoś pojedynczego stanowiska.
   - wskazać lokalizację miejsc (stanowisk aparatu / kamery fotogrametrycznej), z których będą wykonywane zdjęcia. Lokalizację stanowisk – w zależności od możliwości i potrzeb - można określić bądź poprzez oznakowanie ich lokalizacji na odpowiednio dokładnej mapie bądź też poprzez opisanie zasady wyznaczenia tych stanowisk bezpośrednio w terenie.

W przedmiocie ustalania lokalizacji stanowisk fotografowania możliwe są następujące rozwiązania:

A. dla prac, których celem jest opracowanie ortofotomapy albo też mapy wektorowej terenu (oraz zadań pochodnych np. opracowanie numerycznego modelu terenu dla potrzeb obliczenia objętości mas itp.):
   a) 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,
   b) 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,
   c) inne rozwiązania wynikające z charakteru obiektu oraz z rodzaju zadania pomiarowego,

B. dla prac z zakresu: inwentaryzacja obiektów budowlanych np. inwentaryzacja elewacji wysokich budowli:
   a) w przypadku wykonywania zdjęć (stereogramów) elewacji (i detali) obiektów budowlanych wybór stanowisk fotografowania jest z reguły zdeterminowany lokalizacją sąsiedniej zabudowy; w tego typu przypadkach należy kierować się zasadą, iż zdjęciami (a właściwie to stereogramami) należy pokryć cały inwentaryzowany obiekt (elewację, detal) tak aby nie było przerw oraz tak aby zdjęcia tworzyły stereogramy przy czym baza zdjęć tworzących stereogramy w stosunku do odległości fotografowania powinna się mieścić w przedziale od około 1:2 do 1:10.

- opisać sposób sygnalizacji niezbędnej osnowy fotogrametrycznej wraz ze wskazaniem miejsc wyłożenia poszczególnych fotopunktów; należy też podać sposób i metodę pomiaru osnowy oraz należy określić układ współrzędnych w jakim należy wykonać całe opracowanie (może to być układ lokalny dostosowany do charakterystyki mierzonego obiektu).

  Uwaga: przy projektowaniu liczby i lokalizacji punktów osnowy fotogrametrycznej należy założyć pewną liczbę punktów tzw. kontrolnych, które nie będą wykorzystane w podstawowym procesie opracowania zdjęć ale których współrzędne będą wyznaczone w procesie opracowania zdjęć. Punkty kontrolne posłużą do niezależnego określenia dokładności opracowania. Ilość punktów kontrolnych zależy od charakteru obiektu oraz od rodzaju zadania pomiarowego; w szczególnym przypadku współrzędne punktów kontrolnych mogą być zastąpione np. poprzez odległości pomierzone bezpośrednio na obiekcie.
- opisać sposób opracowania zdjęć wraz ze wskazaniem programu w środowisku którego opracowane zostaną zdjęcia.
- wymienić dokumenty, które podlegać będą przekazaniu Zamawiającemu.

Załącznikiem do Warunków Technicznych wykonania pracy – w przypadkach kiedy pomiarowi fotogrametrycznemu podlegać będą obiekty powierzchniowe – powinna być mapa obiektu lub ortofotomapa z oznaczonym zakresem terytorialnym opracowania oraz ewentualnie – w miarę możliwości i potrzeb – mapa z lokalizacją stanowisk kamery i z lokalizacją punktów osnowy fotogrametrycznej (tzw. fotopunktów w tym też

punktów kontrolnych). Na przedmiotowej mapie obiektu należy też oznaczyć lokalizację stacji naziemnej (bazowej).

Uwaga: wyżej przedstawiony cykl prac przygotowawczych dotyczy przypadków standardowych (ogólnych); dopuszcza się odstąpienie od tego cyklu – poprzez jego uproszczenie – w przypadkach prac o charakterze typowym, gdzie wszystkie w/w elementy zadania można określić m.in. bez wywiadu w terenie. Uproszczeniu podlegać będzie ta faza także w przypadkach kiedy zadanie fotogrametryczne dotyczyć będzie inwentaryzacji obiektu budowlanego.

IX.2.2. Faza wykonania prac terenowych;

Faza wykonania prac terenowych powinna być poprzedzona analizą prognozy pogody np. w dostępnych przeglądarkach internetowych; dopiero po upewnieniu się, że w planowym terminie wykonania zdjęć będą dogodne warunki pogodowe należy przystąpić do realizacji tej fazy prac; w ramach tej fazy prac należy:

1. przewieźć na teren mierzonego obiektu kompletny zestaw aparatury tj.:
   - mini śmigłowiec wraz całym niezbędnym oprzyrządowaniem,
   - aparat fotograficzny z właściwym obiektywem,
   - pomiarowy sprzęt geodezyjny: odbiornik GPS oraz instrument tzw. Total Station – do pomiaru odległości i kątów (z lustrem na tyczce umożliwiającej precyzyjny pomiar odległości i kątów - z dokładnością nie gorszą niż 1cm.; w miarę możliwości należy stosować lustro na krótkim szpikulcu); zaleca się także stosowanie zestawu radiotelefonów do komunikacji pomiędzy operatorem instrumentu i osobą stawiająca na punktach tyczkę z lustrem. W przypadkach wykonywania inwentaryzacji obiektów budowlanych zaleca się zastosować do pomiaru punktów osnowy fotogrametrycznej instrumentu Total Station z funkcja pomiaru bezlustrowego.
   - znaczniki osnowy fotogrametrycznej,
2. zmontować zestaw: mini śmigłowiec – aparat fotograficzny – stacja bazowa i kontrolnie wypróbować jego działanie,
3. rozłożyć na obiekcie – zgodnie ze wskazówkami z Warunków Technicznych - znaczniki osnowy fotogrametrycznej, składające się ze znaku właściwego oraz z numeru punktu (przykładowy wzór znacznika osnowy fotogrametrycznej jest pokazany na rysunkach nr 23A i 23B),

Rys. 23A i B: Wzór znacznika punktu osnowy fotogrametrycznej; z prawej znacznik w terenie - obiekt: odkrywka archeologiczna w Krakowie.

4. pomierzyć elementy (odległości i kąty) umożliwiające określenie współrzędnych X, Y i Z punktów osnowy fotogrametrycznej (tzw. fotopunktów) (rys. 24A i 24B); dla zachowania warunków do uzyskania dokładnych wyników pomiarów należy stosować zestaw radiotelefonów – tak aby osoba obsługująca lustro pomiarowe mogła wskazać operatorowi instrumentu moment pomiaru.

   Absolutnie niezbędny jest pomiar niezależnych od pomiaru podstawowego elementów kontrolnych np. wzajemnych odległości pomiędzy fotopunktami; dopuszcza się także niezależny, kontrolny pomiar fotopunktów z innego niż pierwsze stanowiska.

Rys. 24A i B. Pomiary geodezyjne osnowy fotogrametrycznej (obiekt: pole testowe w dzielnicy Chwarzno w Gdyni)

5. wskazać miejsca z których powinny być wykonane zdjęcia fotogrametryczne – w tych przypadkach, w których miejsc tych nie określono na etapie opracowania Warunków Technicznych na właściwej mapie (lub ortofotomapie).

6. wykonać pomiar - przy zastosowaniu technologii wykorzystującej odbiorniki GPS - współrzędnych projektowanych stanowisk aparatu fotograficznego oraz kilku wybranych fotopunktów (uwaga: dokładność pomiaru odbiornikiem GPS nie powinna być gorsza niż +/- 1m.),
7. o ile czas i warunki atmosferyczne będą na to pozwalały właściwe wykonanie zdjęć należy poprzedzić zdjęciami próbnymi obiektu; po „ściągnięciu" aparatu na ziemię należy dokonać oceny jakości zdjęć (ocenianej m.in. na podstawie czytelności znaczników fotopunktów) i ewentualnie należy wprowadzić korektę nastaw aparatu fotograficznego;
8. wykonać zdjęcia obiektu aparatem fotograficznym z założonego pułapu oraz z wcześniej odpowiednio określonych stanowisk; w każdej lokalizacji należy wykonać nie mniej niż po 5 zdjęć fotograficznych (w przypadkach kiedy nie będą występowały jakieś szczególne ograniczania czasowe dotyczące wykonywania zdjęć zaleca się wykonywanie po 10 zdjęć dla każdej lokalizacji stanowiska – w myśl zasady: lepiej o jedno zdjęcie za dużo niż o jedno zdjęcie za mało). Większa - niż niezbędne jedno zdjęcie - liczba zdjęć w każdej lokalizacji podyktowana jest koniecznością zabezpieczenia nalotu przed wpływem drgań mini śmigłowca, które powodują, że niektóre zdjęcia bywają nieostre oraz koniecznością zabezpieczenia nalotu przed przypadkowymi przechyłami mini śmigłowca, które mogą powodować występowanie dużych kątów nachyleń zdjęć oraz dużego kąta skręcenia zdjęć.

   Do ostatecznego 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".

Mini śmigłowiec należy naprowadzić na pierwsze stanowisko przy wykorzystaniu współrzędnych tego stanowiska – w miarę możliwości należy sprawdzić poprzez podgląd na ekranie kadru zdjęcia czy mini śmigłowiec ustawiony został na właściwym miejscu.

Uwaga: przy planowaniu zdjęć należy uwzględnić:

- aparat fotograficzny należy ułożyć w platformie nośnej w ten sposób aby dłuższy bok zdjęcia był skierowany wzdłuż osi nalotu,
- jednorazowy nalot nie może przekraczać odległości widoczności mini śmigłowca; generalnie odległość od stacji bazowej do mini śmigłowca nie może przekraczać odległości 500m – dla mini śmigłowca MS EAGLE oraz 400 m dla mini śmigłowca Microdrones MD4 -200,
- wysokość mini śmigłowca nie może przekraczać wysokości 150 m,
- potrzebę wykonywania co najmniej dwóch zdjęć tzw. rozbiegowych tzn. dwóch zdjęć wykonywanych przed granicami obiektu oraz dwóch zdjęć wykonywanych po przekroczeniu granic obiektu.

Dla zagwarantowania dobrej jakości fotograficznej zdjęcia, dodatkowo zaleca się stosowanie czasu naświetlenia zdjęcia nie dłuższego niż 1/500 sekundy; w przypadkach złych warunków pogodowych (złych warunków oświetleniowych) można ten czas zrealizować w wyniku zmiany czułości matrycy aparatu – nawet do wielkości ISO równej 400 (a w szczególnie złych warunkach oświetleniowych nawet do wartości ISO 800). W celu

zagwarantowania dobrej jakości zdjęcia należy też dostosować parametry naświetlenia do indywidualnej charakterystyki zastosowanego obiektywu np. w przypadku obiektywu Canon EF 50 mm przysłona obiektywu nie powinna być maksymalną; korzystnie jest zastosowanie przysłony f/2.8 a jeszcze lepiej f/4.0. (zalecenie to wynika z badań omawianego obiektywu wykonanych przez Arkadiusza Olecha a zamieszczonych na stronie internetowej WWW.optyczne.pl).

9. „zgrać" zdjęcia do komputera; zaraz po zgraniu – o ile czas na to pozwoli - zasadne jest wykonanie zgrubnego przeglądu zdjęć; w przypadkach, w których wyraźnie zauważalne będą błędy zdjęć cały nalot należy powtórzyć.
   Zgrubny przegląd zdjęć zaleca się wykonać przy wykorzystaniu darmowych – pozyskiwanych ze stron internetowych - przeglądarek zdjęć o nazwie Picasa2 lub o nazwie DipEdit lub innych o podobnej charakterystyce (warto zaznaczyć, że w przeglądarce Picasa 2 możliwy jest podgląd istotnych atrybutów zdjęć takich jak: czas naświetlenia, przesłona, czułość matrycy, data wykonania zdjęć itp.; w przeglądarce DipEdit ilość atrybutów zdjęć jest ograniczona przy czym nie ma tam m.in. ani czasu naświetlania ani czułości matrycy).
10. demontaż aparatury, zebranie znaczników fotopunktów; zakończenie prac terenowych.

Uwaga: w powyższym wykazie czynności nie wymieniono kalibracji zestawu aparat fotograficzny / obiektyw; czynność kalibracji należy każdorazowo przeprowadzić w dostosowaniu do charakterystyki zadania pomiarowego – wykorzystując którąś z metod opisanych w punkcie II.Ad1. niniejszego opracowania. Możliwe jest także wykorzystanie wyników wcześniej wykonanej kalibracji – o ile jej wyniki będą miarodajne dla geometrii danego zadania pomiarowego.

IX.2.3. Faza opracowania zdjęć; w ramach tej fazy prac należy wykonać:

1. w pierwszej kolejności należy przeprowadzić staranną selekcję wykonanych zdjęć – należy wybrać z palety zdjęć wykonanych na poszczególnych stanowiskach pomiarowych po jednym zdjęciu, które będzie podlegało dalszemu opracowaniu. Z palety zdjęć wykonanych w poszczególnych stanowiskach należy wybrać to zdjęcie, które nie będzie nosiło znamion poruszenia (będzie „ostre") i które będzie miało najlepszy z możliwych kąt skręcenia względem kierunku głównego nalotu,
2. transformację współrzędnych stanowisk kamery na układ w jakim działał GPS mini śmigłowca,
3. w następnej kolejności - stosownie do charakteru zadania pomiarowego – należy przeprowadzić opracowanie wybranych zdjęć. Zakłada się, że do opracowania zdjęć wykorzystywane będzie w pierwszej kolejności oprogramowanie firmy TOPCON o nazwie PI – 3000; jako rezerwowe oprogramowanie przyjmuje się oprogramowania formy DEPHOS (w tzw. głębokiej rezerwie pozostaje oprogramowanie Photo Modeler oraz oprogramowanie AeroSys). Programy: PI – 3000 oraz DEPHOS znajdują się na wyposażeniu Zakładu Geodezji WILiŚ Politechniki Gdańskiej,

   Uwaga: szczegółowy przebieg opracowania zdjęć nie jest przytaczany w niniejszym dokumencie - wynika on z charakterystyki programu PI 3000, która zapisana jest w stosownej instrukcji technicznej.
4. w ramach opracowania zdjęć należy wyznaczyć parametry punktów kontrolnych, których porównanie z parametrami wyznaczonymi podczas prac pomiarowych pozwoli na określenie charakterystyki dokładnościowej opracowania; stosowną analizę należy załączyć do dokumentacji końcowej opracowania.

IX.2.4. Faza przygotowania dokumentacji wynikowej opracowania; w ramach tej fazy należy:

1. przygotować dokumenty wymagane zamówieniem.

   Efektem opracowania fotogrametrycznego (efektem opracowania zdjęć) może być:

   - punktowa charakterystyka geometryczna badanego obiektu lub badanego procesu np. numeryczny, punktowy model obiektu lub terenu,
   - liniowa (kreskowa, wektorowa) charakterystyka geometryczna badanego obiektu lub badanego procesu np. mapa wektorowa sfotografowanego obszaru, rysunek inwentaryzacyjny obiektu budowlanego, rysunek inwentaryzacyjny odkrywki archeologicznej itp.
   - ciągła, fotograficzna (rastrowa) charakterystyka geometryczna badanego obiektu lub badanego procesu np. mapa fotograficzna (tzw. ortofotomapa) terenu lub jej mniej dokładna odmiana tj. tzw. fotomapa.
   - tzw. rysunek 3D obiektu,

2. opracować sprawozdanie techniczne z wykonanych prac; w sprawozdaniu technicznym należy skomentować każdy z elementów prac oraz należy przedstawić szczegółową listę dokumentów przekazywanych zamawiającemu; w sprawozdaniu technicznym należy też przedstawić charakterystykę dokładnościową opracowania opartą na obserwacjach punktów kontrolnych.
3. zestawić dokumentację z wykonanych prac w tzw. operacie technicznym; w przedmiotowym operacie należy załączyć niżej wymienione rodzaje dokumentów – w następującej kolejności:
   - zgłoszenie roboty geodezyjnej do właściwego Powiatowego Ośrodka Dokumentacji Geodezyjnej i Kartograficznej – o ile charakter roboty pomiarowej będzie wymagał tego typu zgłoszenia,
   - Warunki Techniczne wykonania prac z załącznikami,
   - Sprawozdanie Techniczne z wykonanych prac,
   - dokumenty z pomiarów terenowych,
   - zapis cyfrowy zdjęć obiektu oraz zapis cyfrowy wyników opracowania,
   - inne – w zależności od charakteru zamówienia np. wydruki ortofotomapy obiektu itp.

X. MOŻLIWOŚCI ZASTOSOWANIA ZDJĘĆ LOTNICZYCH WYKONYWANYCH Z BEZZAŁOGOWYCH STATKÓW POWIETRZNYCH.

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 fotoszkicu) 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. fotoszkicu 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.

XI. WNIOSKI KOŃCOWE

Prace badawcze wykonane w ramach przedmiotowego projektu potwierdziły przydatność do wykonywania zdjęć fotograficznych dla potrzeb opracowań fotogrametrycznych zastosowanych w pracach doświadczalnych zestawów: mini śmigłowiec z podwieszonym aparatem fotograficznym.
Prace badawcze wykonane w ramach przedmiotowego projektu potwierdziły też przydatność do opracowania zdjęć systemu informatycznego firmy Topcon o nazwie Image Surveying Station PI – 3000 i jego dodatkowego modułu do kalibracji aparatów fotograficznych o nazwie PI- Calib.
Obiektywnym potwierdzeniem zapisanych powyżej twierdzeń - oprócz zawartych powyżej treści i zdjęć – są także załączone do niniejszego opracowania przykłady wykonanych w ramach prac badawczych dokumentów – poczynając od poprawnych geometrycznie stereogramów różnych obiektów (zarówno terenowych jak i budowlanych) na dokumentach z opracowania ortofotomapy kończąc.

Zdaniem autora niniejszego opracowania zastosowanie zestawów: bezzałogowy mini śmigłowiec z podwieszonym aparatem fotograficznym w zastosowaniach do pomiarów fotogrametrycznych jako rozwiązanie wyjątkowo dyspozycyjne (mobilne) i ekonomiczne jest „skazane” na sukces; niesie ono także za sobą zupełnie nowe, dotąd nie penetrowane przez fotogrametrię możliwości zastosowań.

Sprzyja temu także okoliczność zmniejszania się z roku na rok kosztów zakupu zarówno mini śmigłowców typu MS EAGLE – np. mini śmigłowiec GRS 260 o podobnych parametrach kosztuje obecnie kilkanaście tysięcy złotych jak również wyraźny spadek cen wysokiej klasy aparatów fotograficznych i obiektywów np. zestaw CANON EOS 5D Mark II z obiektywem Canon EF 14 mm f/2.8 można obecnie zakupić łącznie za kwotę około piętnastu tysięcy złotych.

W świetle także innych informacji takich jak np. informacja o tym, że mini śmigłowce o masie startowej nie większej niż 7 kg nie wymagają zgody na loty widzę szczególnie możliwości zastosowań do celów fotogrametrycznych dla tego typu sprzętu. Przykładem mini śmigłowca spełniającego powyższe wymagania jest wyżej już wspomniana nowa konstrukcja firmy Microdrones o nazwie MD 4-1000 o ciężarze 3,9 kg i udźwigu 1,2 kg; wymieniony mini śmigłowiec pozwoli na wykonywanie zdjęć fotograficznych aparatami o parametrach korzystniejszych niż Pentax Optio A40.

XII. LITERATURA

1. Bujakiewicz Aleksandra, Kowalczyk Michał, Podlasiak Piotr, Zawieska Dorota, 2006: Calibration of very close range digital camera, Geodezja i Kartografia, vol. 55, nr 2 pp 95-108,

2. Dzień Michał, 2006/2007: Analiza możliwości i zastosowań systemu PI - 3000 w inwentaryzacji kopalni odkrywkowych, praca magisterska, Akademia Górniczo – Hutnicza, (promotor pracy: dr inż. Regina Tokarczyk),

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

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

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

6. Jankowicz B., 2007. Analiza zastosowania bezzałogowych fotogrametrycznych nalotów niskopułapowych w kontekście szybkiego pozyskiwania geoinformacji. *Materiały Ogólnopolskiego Sympozjum Naukowego,* Kraków.

7. Jankowicz B., 2008. Analiza opracowań zdjęć niskopułapowych w kontekście szybkiego pozyskiwania Geoinformacji. *Materiały Ogólnopolskiego Sympozjum Naukowego,* Międzyzdroje.

8. Kowalczyk M. 2008. Badanie wpływu ogniskowania aparatu cyfrowego na wyniki kalibracji obrazów. *Materiały Ogólnopolskiego Sympozjum Naukowego,* Międzyzdroje.

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

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

11. Szczechowski Bogdan, 2008: Wykorzystanie bezzałogowych aparatów latających (mini śmigłowców) do wykonywania fotogrametrycznych zdjęć lotniczych z niskich pułapów. *Materiały Ogólnopolskiego Sympozjum Naukowego,* Międzyzdroje,

12. Tokarczyk R., 2008: Kalibracja dwóch aparatów cyfrowych: CANON EOS 5D z obiektywmi CANON EF 50 mm f/1.4. ogniskowanymi na nieskończoność.

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

14. Tokarczyk R, Stanios I. 2007. Kalibracja cyfrowego aparatu fotograficznego z wykorzystaniem darmowej wersji programu Aerosys,

15. Werner Łukasz, 2006: Bezzałogowy pojazd latający oparty na przemysłowym modelu śmigłowca; praca magisterska, Politechnika Gdańska, (promotor pracy: prof. dr hab. inż. Zdzisław Kowalczuk),

16. Zawieska D, 2008: Kalibracja aparatu fotograficznego CANON EOS 5D z obiektywem CANON EF 50 mm f/1,4

17. Podręcznik Użytkownika Image Surveying Station PI – 3000 – instrukcja obsługi systemu PI – 3000 firmy Topcon,

18. Podręcznik Użytkownika Camera Calibration PI – Calib – instrukcja kalibracji aparatów fotograficznych,

19. www.microdrones.de

20. www.optyczne.pl

21. www.ceneo.pl

XIII. ZAŁĄCZNIKI - WYKAZ:

1. mapa fotograficzna terenu – poligonu doświadczalnego, nad którym wykonywane były loty i zdjęcia testowe aparatu bezzałogowego,
2. efekty pierwszej próby wykonywania stereogramów z bezzałogowego aparatu latającego,
3. efekty drugiej próby wykonywania stereogramów z bezzałogowego aparatu latającego,
4. efekty trzeciej próby wykonywania stereogramów z bezzałogowego aparatu latającego,
5. udany ciąg zdjęć tworzących stereogramy w Gdyni,
6. poprawny stereogram dachu Gmachu Głównego Politechniki Gdańskiej,
7. poprawny stereogram fragmentu (część lewa) dachu Gmachu Głównego Politechniki Gdańskiej,
8. poprawny stereogram fragmentu dachu (część prawa) Gmachu Głównego Politechniki Gdańskiej,
9. poprawny stereogram wejścia do Gmachu Głównego Politechniki Gdańskiej,
10. poprawny stereogram detalu górnej części elewacji GG Politechniki Gdańskiej,
11. poprawny stereogram górnej części elewacji (część lewa) GG Politechniki Gdańskiej,
12. poprawny stereogram górnej części elewacji (część prawa) GG Politechniki Gdańskiej,
13. poprawny stereogram całej elewacji frontowej GG Politechniki Gdańskiej,
14. poprawny stereogram górnej części elewacji GG Politechniki Gdańskiej,
15. poprawne dwa stereogramy dachu Sukiennic na Rynku Starego Miasta w Krakowie,
16. poprawny stereogram całego dachu Sukiennic na Rynku Starego Miasta w Krakowie,
17. pojedyncze zdjęcie całej odkrywki archeologicznej w Krakowie,
18. pojedynczy stereogram całej odkrywki archeologicznej w Krakowie,
19. ciąg czterech zdjęć tworzących poprawne stereogramy całej odkrywki archeologicznej w Krakowie,
20. ortofotomapa całej odkrywki archeologicznej w Krakowie wraz z rysunkiem warstwicowym terenu,
21. wybrany jeden z tzw. widoków 3D odkrywki archeologicznej w Krakowie,
22. wybrany drugi z tzw. widoków 3D odkrywki archeologicznej w Krakowie,
23. wybrany kolejny z tzw. widoków 3D odkrywki archeologicznej w Krakowie,
24. poprawny stereogram pola testowego w dzielnicy Chwarzno w Gdyni,
25. ciąg zdjęć tworzących poprawne stereogramy pola testowego w dzielnicy Chwarzno w Gdyni (wysokość fotografowania – około 100 m),
26. ciąg zdjęć tworzących poprawne stereogramy pola testowego w dzielnicy Chwarzno w Gdyni (wysokość fotografowania – około 70 m),
27. kolejny zestaw zdjęć tworzących poprawne stereogramy pola testowego w Chwarznie (wysokość fotografowania – około 70 m),
28. kolejny zestaw zdjęć tworzących poprawne stereogramy pola testowego w Chwarznie (wysokość fotografowania – około 100 m),
29. kolejny zestaw zdjęć tworzących poprawne stereogramy pola testowego w Chwarznie (wysokość fotografowania – około 50 m) – aparat Pentax,
30. zdjęcia planszy kalibracyjnej systemu PI – 3000 wykonane w ramach kalibracji aparatu fotograficznego Pentax Optio A-40,

31. drugi zestaw zdjęć planszy kalibracyjnej systemu PI – 3000 wykonany w ramach kalibracji aparatu fotograficznego Pentax Optio A-40,
32. kolejny, trzeci zestaw zdjęć planszy kalibracyjnej systemu PI – 3000 wykonany w ramach kalibracji aparatu fotograficznego Pentax Optio A-40,
33. zestaw zdjęć planszy kalibracyjnej systemu PI – 3000 wykonany w ramach kalibracji aparatu fotograficznego Canon EOS 5D I,
34. zestaw zdjęć planszy kalibracyjnej systemu PI – 3000 wykonany w ramach kalibracji aparatu fotograficznego Canon EOS 5D II,
35. wyniki kalibracji obiektywów aparatu fotograficznego Canon EOS 5 D,
36. zestaw zdjęć pola testowego na AGH w Krakowie - wykonany w ramach kalibracji aparatu fotograficznego Canon EOS 5D I,
37. zestaw zdjęć pola testowego na AGH w Krakowie - wykonany w ramach kalibracji aparatu fotograficznego Canon EOS 5D II,
38. zestaw zdjęć pola testowego na Politechnice Warszawskiej - wykonany w ramach kalibracji aparatu fotograficznego Canon EOS 5D I,

Załączniki dostępne pod adresem
www.geodezja.pl/pub/isbn9788393001002