

*Bogdan Jankowicz*

## **FOTOGRAMTRYCZNE NISKOPUŁAPOWE NALOTY PLATFORM AUTONOMICZNYCH**

---

### ***CAV PHOTOGRAMMETRIC LOW-ALTITUDE FLIGHTS***

#### **Streszczenie**

Zwiększenie bezpieczeństwa lotów fotogrametrycznych oraz obniżenie kosztów, również dotyczących późniejszych opracowań i aktualizacji, będących ich rezultatem – to zawsze aktualne problemy. Zwiększenie bezpieczeństwa lotów fotogrametrycznych oraz obniżenie ich kosztów, również dotyczących późniejszych opracowań lub aktualizacji, będących ich rezultatem - to zawsze aktualne problemy.

Możliwość zastąpienia w uzasadnionych przypadkach tradycyjnych nalo-  
tów, a nawet bezpośrednich, geodezyjnych pomiarów terenowych – pozyskiwa-  
niem obrazów terenu z małych wysokości lotu (kilkadziesiąt do 200 metrów nad  
terenem) z bezzałogowych, małych platform lotniczych (BŚL – Bezzałogowe  
Środki Lotnicze lub z ang. UAV – Unmanned Air Vehicle), wyposażonych w nie-  
wielkie kamery cyfrowe, zapewniające dobrej jakości obrazy oraz powtarzalność  
orientacji wewnętrznej, o rozdzielczości gwarantującej wymaganą dokładność dla  
określonych opracowań (zwłaszcza o charakterze uzupełniającym i aktualizacyj-  
nym), również z dodatkową możliwością automatycznej nawigacji GPS, a opcjo-  
nalnie zdalnej kontroli rejestrowanego obrazu, zapewniającą właściwą orientację  
zdjęcia (obrazu) – wydaje się być godna uwagi, szczególnie jeśli wziąć pod uwagę  
dostępność i możliwość szybkiej realizacji zadań wspomnianą, zoptymalizowaną  
technologicznie, dokładnościowo i ekonomicznie metodą.

**Słowa kluczowe:** bezzałogowe środki lotnicze (BŚL), naloty niskopułapowe, plat-  
formy autonomiczne, obszary trudnodostępne

#### ***Summary***

*Development of air-technology, data communications and remote sensing  
involve the interest in applications of small Crewless Air Vehicles (CAV) in differ-  
ent subjects of economy.*

*Hence the idea of the application of low-altitude images (taken from heights below 200 m) from crewless air vehicles for quick data updating of geoinformation of local (small) and hard available areas by photogrammetric methods.*

**Key words:** *Crewless Air Vehicles (CAV), low-altitude flights, hard available areas*

## WPROWADZENIE

Ideą proponowanego rozwiązania jest stworzenie niezależnego, prostego systemu lokalnego pozyskiwania danych geoprzestrzennych na bazie małych bezzałogowych platform lotniczych, realizujących obrazowania powierzchni terenu z niskiego pułapu lotniczego (generalnie do 200 m), również dotyczącego terenów trudnodostępnych pod względem założenia osnowy polowej, z uwzględnieniem minimalizacji kosztów realizacji.

## BADANIA I METODY

Jako przykład – zrealizowano seryjne zdjęcia niskopułapowe z nalotu BŚL, z zastosowaniem aparatu fotograficznego Canon IXUS 900 Ti i wysokości typowej ok. 100 m, z tym, że do ostatecznego opracowania wybrano z serii – najbardziej optymalne pod względem fotogrametrycznym (rys. 1 i 2).

Osnowę dla przeprowadzanego nalotu stanowiła gęsta sieć fotopunktów / punktów kontrolnych, rozmieszczonych równomiernie na obiekcie, celem umożliwienia bardziej wnikliwych badań poszczególnych zdjęć w serii; w tym przypadku charakterystyka terenu umożliwiała bezproblemowe założenie osnowy polowej.

Jak wykazały badania – wybrane do opracowania zdjęcia charakteryzowały się wartościami EOZ typowymi (dopuszczalnymi), gdyż analiza dokładności określenia punktów (w tym punktów kontrolnych) wskazuje na dobrą jakość geometryczną jak również fototechniczną zrealizowanych zdjęć niskopułapowych.

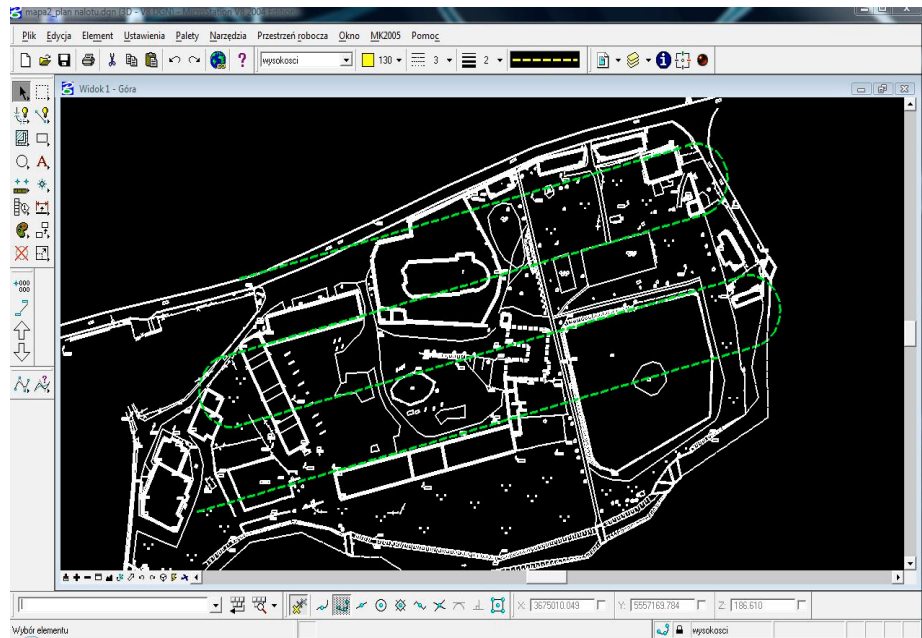
Zastosowanie opisywanej metody ma uzasadnienie nie tylko techniczne (dokładność, szybkość, ergonomia) ale również ekonomiczne.

Z raportu opracowania wybranej, przykładowej stereopary przedstawiającej ruiny pałacu wynika jej wysoka dokładność – średni błąd kwadratowy określenia poszczególnych współrzędnych punktów w stosunku do odpowiadających im punktów terenowych wynosi:

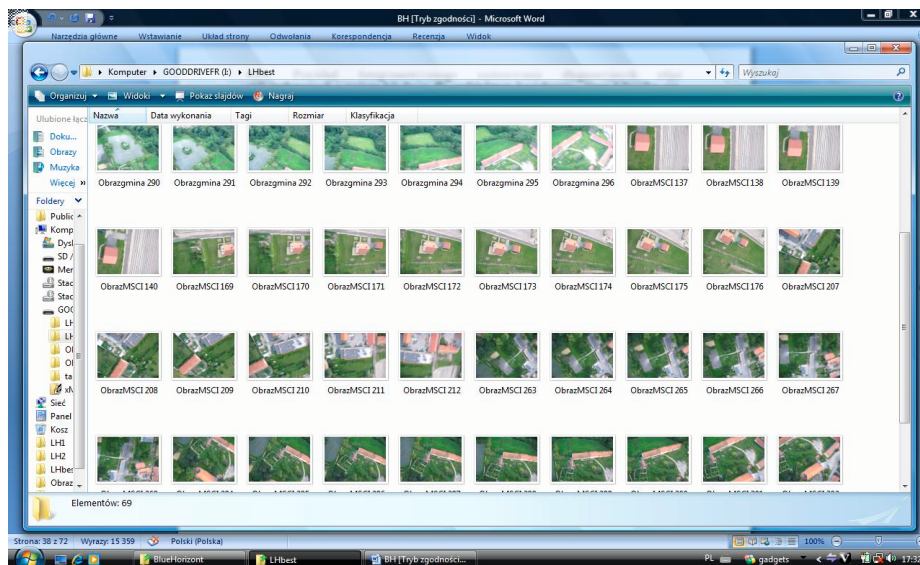
$$M_x = 0,04 \text{ m,}$$

$$M_y = 0,03 \text{ m,}$$

$$M_z = 0,03 \text{ m,}$$



Rysunek 1. Projektowany plan nalotu – obiekt: teren folwarku Mściwojów (woj. dolnośląskie)



Rysunek 2. Przykładowe zdjęcia niskopulapowe (wieloseryjne) obiektu Mściwojów

pozostałe zalety przedstawionej przez autora technologii to m. in.:

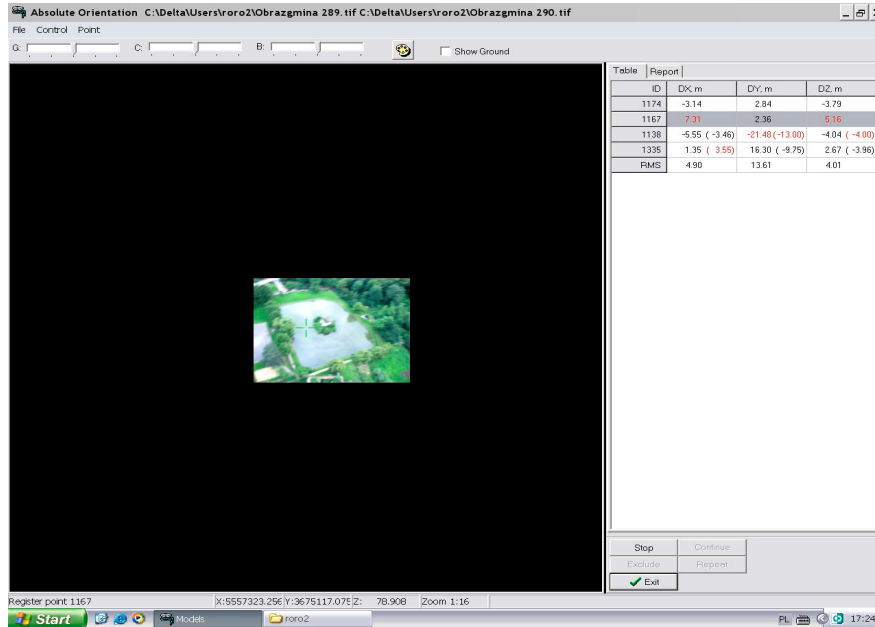
- duża ilość spostrzeżeń (obrazów) nadliczbowych (możliwość eliminacji gorszych jakościowo obrazów) – w przypadku zdjęć wykonywanych seryjnie;
- stałość orientacji wewnętrznej w danej serii;
- wysoka precyzja i jako jej pochodna – dokładność odwzorowania położenia obiektów na zdjęciu;
- niski koszt platformy bezzałogowej oraz sensora (kamery), i ich uniwersalność;
- zdjęcia można opracowywać zarówno jako wybiórcze stereogramy jak i blokowo z zastosowaniem aerotriangulacji, podobnie jak w metodach standardowych;
- ze względu na aktualizacyjno-uzupełniający charakter technologii, plan nalotu fotogrametrycznego może być realizowany wybiórczo-precyzyjnie, zgodnie z rzeczywistymi potrzebami pokrycia terenu obszarem opracowania, a więc niekoniecznie według standardowych zasad przebiegu linii lotu jak to ma miejsce przy planowaniu tradycyjnego nalotu na większych obszarach;
- istnieje prosta możliwość aplikacji zdjęć i opracowań niskopułapowych do wirtualnych globów.

Rozważmy jednak przypadek, który może wystąpić chociażby przy okazji analiz krajobrazu, kiedy mamy do czynienia z terenem niedostępnym lub trudnodostępnym (rys. 3).

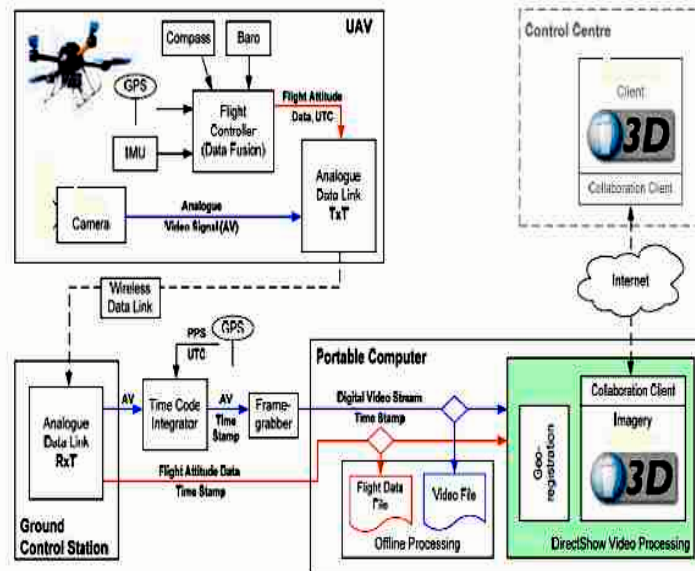
Na takim obszarze nie ma możliwości realizacji fotopunktów.

Wiąże się to z koniecznością wyposażenia platformy lotniczej w systemy GPS/INS, celem pozyskania niezbędnych danych, dotyczących położenia i orientacji zdjęcia w przestrzeni (rys. 4).

Największą trudnością w wykonywaniu obrazów lotniczych jest trudność dokładnej rejestracji trajektorii lotu i kątów nachylenia kamery. Jest ona szczególnie uwidoczniła podczas stosowania do nalotów samolotów bezzałogowych, które są mniej stabilne niż samoloty pilotowane przez pilota. Samoloty te są lżejsze i bardziej podatne na wszelkie czynniki zewnętrzne podczas lotu. Rozwiązaniem tego problemu jest zintegrowanie dwóch systemów: GPS i INS. System GPS pozwala rejestrować trajektorię lotu (X,Y,Z) z dokładnością nie przekraczającą 10 centymetrów. Natomiast inercjalny system nawigacyjny (INS) mierzy przyspieszenie wzdłuż trzech osi oraz zmian kątowych pochyleń kamery. Ciągłe sumowanie tych pomiarów podczas lotu pozwala bardzo dokładnie wyznaczyć trajektorię lotu samolotu (dopuszczalny błąd rzędu 2 cm) i kątów pochyleń kamery. Jedną z głównych wad systemu INS jest tzw. dryft, powodujący spadek dokładności pomiaru pozycji i kątów nachylenia z upływem czasu. Błąd ten może być jednak korygowany z danych GPS, zachowując przy tym wysoką i stabilną w czasie dokładność. Dane INS mogą natomiast służyć do interpolacji pozycji podczas możliwych krótkich przerw w łączności z satelitami GPS. Systemy te charakteryzują się różną, komplementarną propagacją błędów.



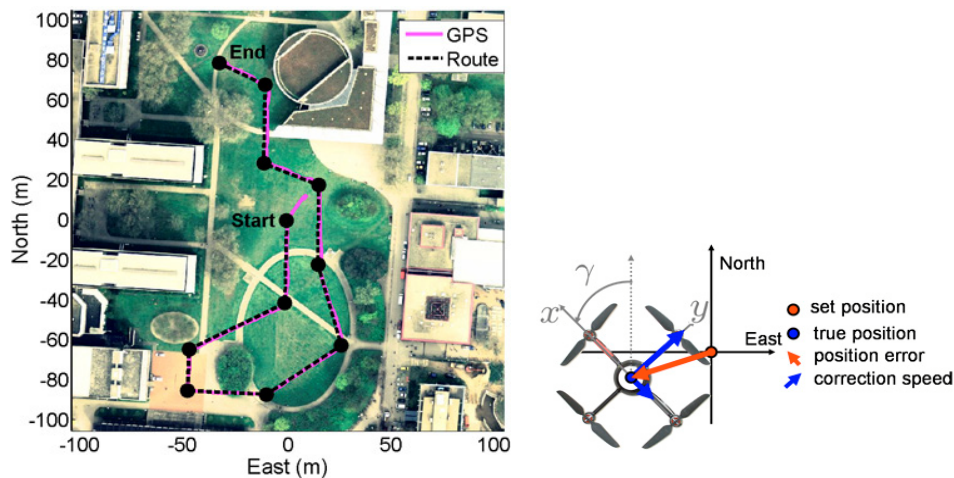
Rysunek 3. Przykład obszaru (wysepką na stawie) uniemożliwiającego założenie osnowy polowej (fotopunktów)



Rysunek 4. Architektura systemu wykorzystującego BŚL na bazie śmigłowca MD4-200 z możliwością zastosowania kamery realizującej zdjęcia seryjne (adaptacja autorska)

Ich integracja jest realizowana w procesie obróbki zarejestrowanych danych z wykorzystaniem filtrowania Kalmana. Pozwala to wykorzystać zalety obu systemów. Dla celów fotogrametrycznych wykorzystuje się systemy GPS i średniej klasy systemy INS. Duży wpływ na zastosowanie odpowiedniego systemu ma jego stosunkowo wysoka cena. Jednakże zastosowanie systemów tej klasy daje dokładność położenia lepszą niż 10 cm, a wyznaczenie kątów orientacji z dokładnością 10-30". Jest to dokładność wystarczająca nawet dla potrzeb lotniczych kamer cyfrowych z linijką detektorów (systemy te są również sprzęgane z tradycyjnymi kamerami fotogrametrycznymi oraz skanerami laserowymi). Z racji tego, że poprzez zastosowanie systemów, możliwe jest wyznaczenie w locie wszystkich elementów orientacji zewnętrznej zdjęcia, to można pomiar fotogrametryczny sprowadzić do bezpośredniego „przestrzennego wcięcia w przód” ze znanych elementów orientacji. Oznacza to wyeliminowanie osnowy polowej i procesu aerotriangulacji.

Nabiera to szczególnego znaczenia w przypadku realizacji nalotu fotogrametrycznego nad terenem niedostępnym lub trudnodostępnym, gdzie uprzednie utworzenie i pomiar fotopunktów jest niemożliwy (rys. 5).



**Rysunek 5.** Testy lotów BŚL wyposażonych w urządzenia GPS/IMU (np. quadcopter md-4) wykazują na zgodność trasy planowanej z realizowaną, z tolerancją 2 m

Dlatego celowe staje się rozważenie zastosowania BŚL z rejestracją środka rzutów met. GPS oraz kątów orientacji kamery za pośrednictwem urządzeń INS o podwyższonej precyzji i dokładności.

## WNIOSKI KOŃCOWE

Na terenach trudnodostępnych pod względem możliwości realizacji osnowy polowej, ze względu na błędy w określeniu kątów nachylenia (w przypadku zastosowania systemu GPS/INS), jak również przestrzenne przesunięcie między centrum fazy anteny GPS i środkiem rzutów kamery – zalecana jest korekta tych kątów; zatem nie mając pełnego pokrycia fotopunktami, region, który je zawiera, można uznać za pole kalibracji, wtedy zewnętrzne elementy orientacji każdego zdjęcia mogą zostać dokładnie określone przez aerotriangulację.

Mając na uwadze szczególne cechy obrazów niskopułapowych, jak wysoka precyzja, rozdzielczość i stosunkowo niewielki wpływ kątów nachylenia na zniekształcenia (w porównaniu z obrazem ze standardowego pułapu lotniczego), – korzystne jest zastosowanie technologii opracowywania obrazów niskopułapowych BŚL, dotyczy to również terenów trudno- lub niedostępnych – bez aplikacji punktów dostosowania na całym obszarze opracowania – z rejestracją GPS/INS szczególnie z dodatkową korektą kątów nachylenia.

## BIBLIOGRAFIA

- The error analysis and correction method research of the attitude data for the UAV remote sensing images.* Institute of Remote Sensing & Geographic Information System, Peking University, Beijing 100871, China, zhaohy@pku.edu.cn, College of Surveying and Geographical Science, Liaoning Technical University, Fuxin 123000, China, qiuyuan-chen649@163.com.
- UAV for mapping – low altitude photogrammetric survey.* Chinese Academy of Surveying And Mapping, 16 Beitaiping Road, Haidian District, Beijing 1000039, China, lincasm@casm.ac.cn.

Bogdan Jankowicz  
Uniwersytet Rolniczy w Krakowie  
Katedra Geodezji Rolnej, Katastru i Fotogrametrii  
ul. Balicka 253a, Kraków  
E-mail: rmjankow@cyf-kr.edu.pl

Recenzent: *Prof. dr hab. Aleksander Żarnowski*