

6. Podsumowanie

Powstałe przy pomocy fotogrametrycznej stacji cyfrowej Delta opracowanie elewacji ogrodowej Pałacu Lubomirskich, pozwala na stwierdzenie faktu o pełnej jej przydatności do wykonywania tego typu opracowań. Jednak nawet przy komputeryzacji automatyzacji pewnych procesów nie da się całkowicie wyeliminować błędów, pomyłek i niedociągnięć. Powody ich występowania mogą być różne np. niedokładność operatora, niedoskonałość użytych instrumentów, czy też niewystarczające technologie i oprogramowanie. Na uwagę zasługuje fakt, iż przy opracowaniach elewacji składających się z wielu stereogramów, przy zastosowaniu stacji Delta, wskazanym jest użycie modułu Triada, który pozwala na uniknięcie błędów powstałych podczas ich łączenia. Wymaga to jednak dodatkowego klucza sprzętowego.

W przypadku opracowań obiektów architektonicznych o dużej ilości detali, zastosowanie rejestratora w postaci standardowej myszy komputerowej wyposażonej w scrollable nie zawsze zdaje egzamin. Takie rozwiązanie pozwala na punktową rejestrację szczegółów, a korekta wysokości położenia znaczka możliwa jest jedynie w punktach załamania linii. W przypadku rejestracji szczegółów takich jak np. ozdobne kule, rzeźby, nieregularne wykończenia, lepszym rozwiązaniem zdaniem autorów byłby rejestrator z możliwością ciągłej rejestracji znaczka pomiarowego.

Oprogramowanie stacji Delta nie posiada modułów pozwalających na wygładzanie rysunków oraz tworzenie modeli 3D, pomocnymi w tym wypadku są programy typu CAD.

1. Kwoczyńska B., Płaczek Ł., 2006. Zastosowanie niometrycznego aparatu cyfrowego Canon EOS 300D do wizualizacji 3D obiektu architektonicznego. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, Vol. 16, s. 395-402*
2. Sawicki P., Rolka J., Urbański W., 2001. Stereogrametryczna inwentaryzacja obiektu architektonicznego na podstawie niometrycznych zdjęć cyfrowych średniej rozdzielczości. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, Vol. 11, s. 3.53-3.59*

B. Jankowicz

Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

ANALIZA ZDJĘĆ NISKOPUŁAPOWYCH NA FSC"DELTA" W KONTEKŚCIE PRZYDATNOŚCI FOTOGRAMETRYCZNEJ W ARCHITEKTURZE KRAJOBRAZU O ZNACZENIU LOKALNYM

© Jankowicz B., 2009

Развитие авиационной техники, телеинформатики вызывает интерес к малым, беспилотным формам летающих аппаратов для их применения в фотограмметрии и дистанционном зондировании. Изображения, полученные с дельтопланов или других летающих аппаратов (с высоты менее 200 метров) предлагается применять для обновления геоданных небольших локальных участков фотограмметрическими методами. Низкопотолочные полёты выполнены на платформе самолёт – дельтоплан, затем полученные снимки проанализированы на ЦФС «Дельта».

Development of air-technology, data communications and remote sensing involve the interest in applications of small Crewless Air Vehicles (CAV) in different 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) areas by photogrammetric methods.

Photogrammetric low-altitude flights realized by small Crewless Air Vehicles - CAV (like small airplane tested in our Photogrammetry and Remote Sensing Institute, in Agricultural University) are an interesting alternative for traditional collecting of geoinformation, particularly in local, small areas.

1. Słowo wstępne.

Rozwój techniki lotniczej, teleinformatyki i teledetekcji wpływa na wzrost zainteresowania małymi, bezzałogowymi środkami latającymi (BŚL) - stąd pomysł zastosowania ich w fotogrametrii i teledetekcji.

Ciekawą alternatywą dla tradycyjnego sposobu pozyskiwania danych geoprzestrzennych, o charakterze lokalnym, uzupełniającym i aktualizacyjnym mogą być naloty niskopułapowe realizowane przez bezzałogowe, niewielkie konstrukcje lotnicze, jak chociażby testowana przez autora platforma (samolot-motolotnia) sterowana zdalnie, z której wykonano zdjęcia niskopułapowe, a następnie poddano analizie na fotogrametrycznej stacji cyfrowej.

Podjęcie zagadnienia stosowania bezzałogowych fotogrametrycznych nalotów uzasadnia nie tylko fakt potrzeby ciągłej aktualizacji geoinformacji ze względu na rozwój gospodarczy, ale wymierne korzyści ekonomiczne, które wynikłyby z wdrożenia opisywanej technologii na skalę przemysłową, szczególnie, że wyniki tych analiz są obiecujące jeśli porównać opracowanie fotogrametryczne testowanego obszaru z wynikami pomiaru bezpośredniego w terenie.

2. Opracowanie i ocena stereogramów niskopułapowych na FSC „DELTA”.

W wyniku przeprowadzonego nalotu niskopułapowego (pułap - ok. 45 m) za pośrednictwem małego (rozpiętość-1.8m) samolotu bezzałogowego (modelu lotniczego opisywanego we wcześniejszych publikacjach autora w „Geodezja...”) wykonano zdjęcia aparatem stało-ogniskowym ($f=27\text{mm}$) VIVITAR, spośród których wybrano stereogramy i wykonano opracowanie na fotogrametrycznej stacji cyfrowej „DELTA” (prod. Ukraina – Winnica) w oparciu o fotopunkty, równomiernie wybrane spośród mierzonych metodą tradycyjną (bezpośrednią) punktów na obszarze testowym.



Ryc.1. Przykładowa, jedna z kilkudziesięciu par zdjęć niskopułapowych, realizowanych na terenie WIŚiG Uniwersytetu Rolniczego przy ul. Balickiej w Krakowie – opracowywane na FSC „DELTA”.

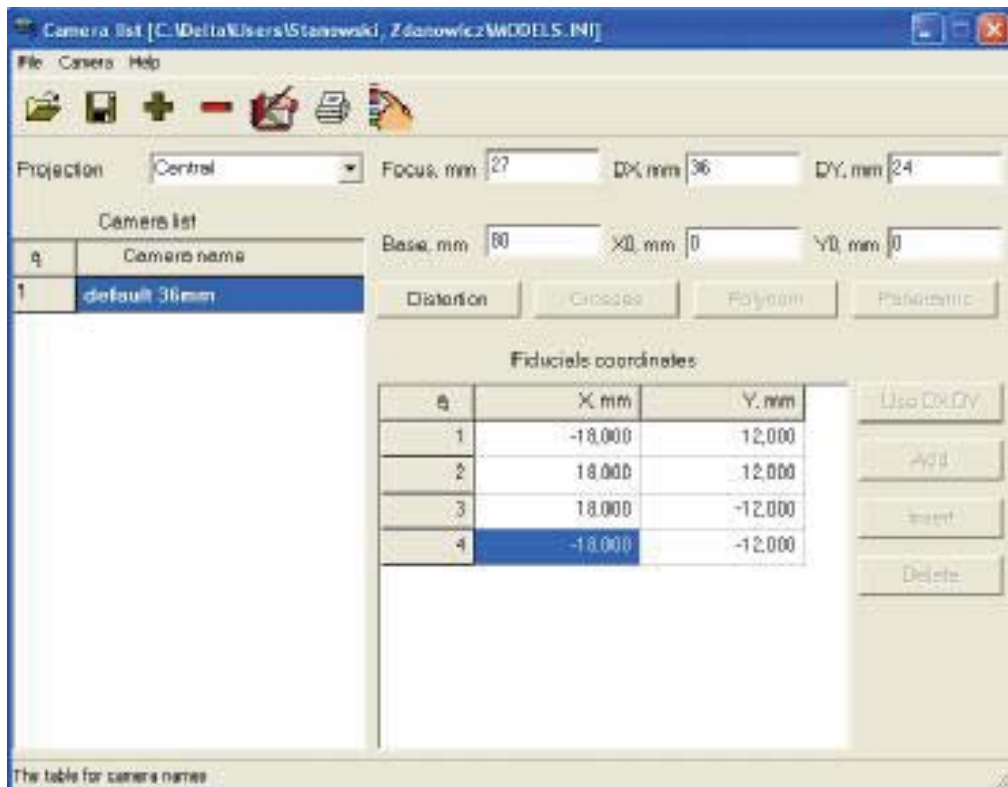


Рис.2. Окно властивості камери – опрацювання на FSC „DELTA”.

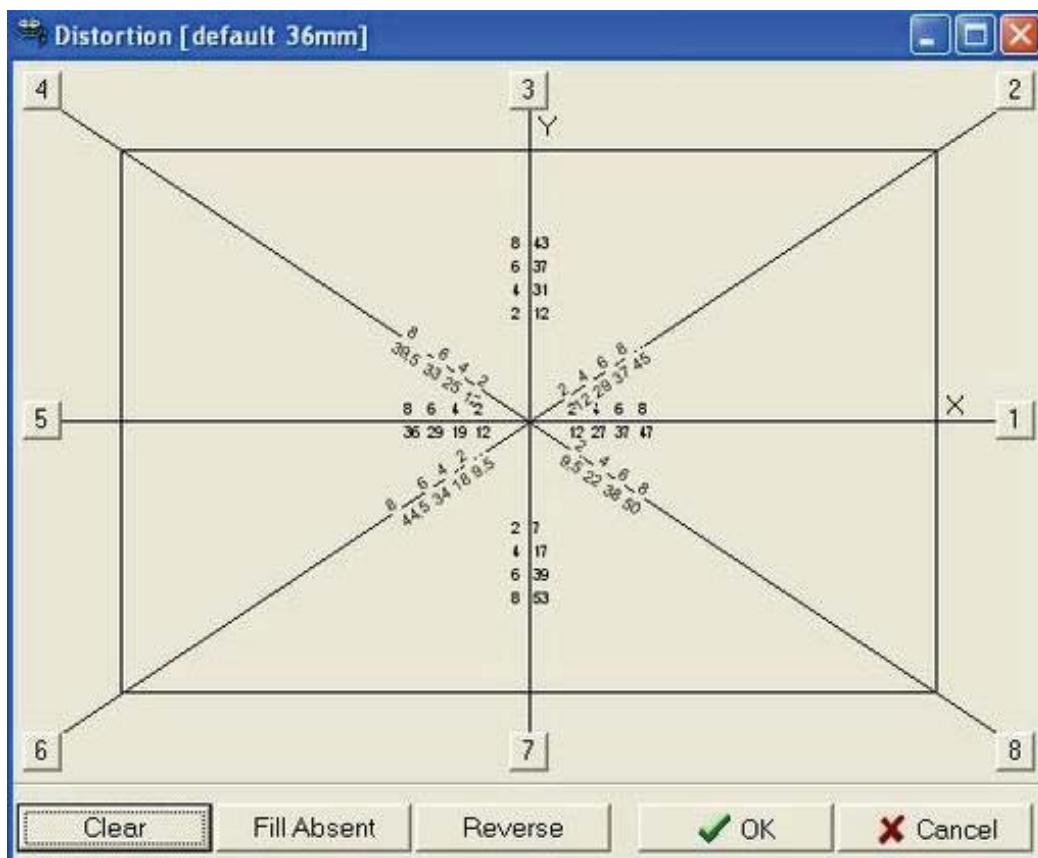


Рис.3. Дисторсія камери Vivitar – опрацювання на FSC „DELTA”.

Raport z przeprowadzonej orientacji bezwzględnej znajduje się poniżej.

Absolute orientation results

Left photo: C:\Delta\Users\Stanowski, Zdanowicz\tif\L001-025.tif

Right photo: C:\Delta\Users\Stanowski, Zdanowicz\tif\R001-024.tif

Date 2007-03-06 Time 11:27:33

 ID | X, m | Y, m | Z, m | DX, m | DY, m | DZ(m) |Stat|

15 5407501.760 4549056.620 1.024 -0.013 0.000 -0.034 On
 17 5407490.490 4549050.160 0.995 0.049 0.009 0.055 On
 16 5407499.400 4549051.420 1.090 -0.007 -0.030 -0.012 On
 6 5407501.620 4549053.440 1.078 -0.051 0.026 0.052 On
 3 5407483.610 4549046.440 1.040 -0.029 -0.009 -0.037 On
 24 5407518.770 4549057.900 1.187 -0.062 -0.057 0.082 Off
 22 5407510.420 4549056.600 1.197 -0.028 -0.025 0.001 On
 19 5407506.230 4549053.730 1.155 0.040 -0.009 -0.015 On
 18 5407503.050 4549052.730 1.133 0.038 0.036 -0.010 On
 7 5407513.320 4549060.530 1.228 -0.045 -0.070 -0.031 Off
 9 5407491.050 4549042.600 1.410 0.062 0.063 -0.156 Off

Root mean square| 0.035 0.022 0.033

Average deviation| -0.004 -0.006 -0.010

Scale 1:163 Relative error in height is 1/1756

Orientation elements

Left photo Right photo

X0, m: 5407529.964 BX, m: -13.016 X0, m: 5407516.948

Y0, m: 4549043.373 BY, m: -0.415 Y0, m: 4549042.958

Z0, m: 59.026 BZ, m: 1.031 Z0, m: 60.056

Alpha, deg: -9.742368 Alpha, deg: 11.813216

Omega, deg: -9.797600 Omega, deg: -7.928772

Kappa, deg: -73.909412 Kappa, deg: -68.492845

gdzie:

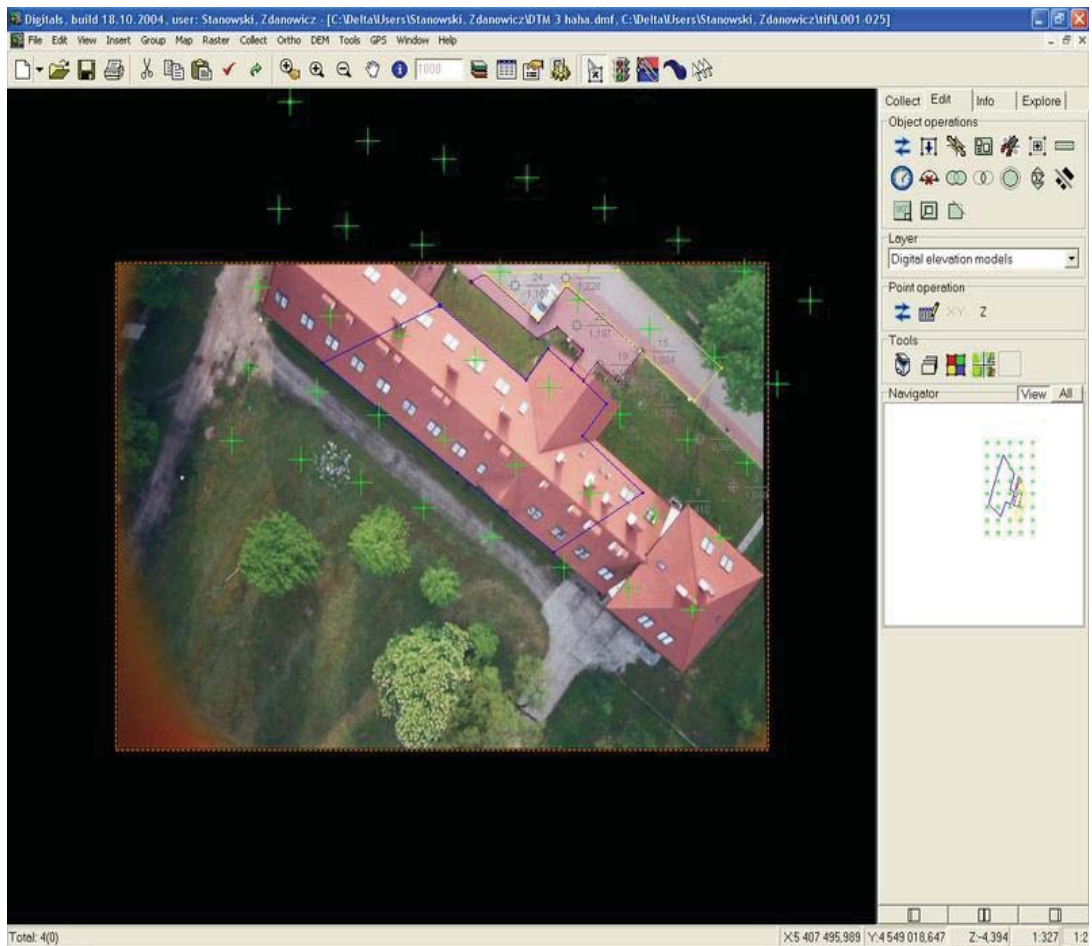
Xo, Yo, Zo – współrzędne położenia środka obiektywu w momencie fotografowania;

Alpha, Omega, Kappa – podłużny i poprzeczny kąt nachylenia oraz kąt skręcania zdjęcia wyrażony w stopniach;

Bx, By, Bz – składowe bazy fotografowania;

Scale – skala modelu.

Average deviation – średnie (przeciętne) odchylenie.



Ryc.4. Proces tworzenia numerycznego modelu terenu na FSC "DELTA".



Ryc.5. Wygenerowany fragment testowy ortofotomapy – opracowanie na FSC „DELTA”.

Z przedstawionego raportu można odczytać, że średnie błędy kwadratowe dla współrzędnych X,Y,Z punktów wynoszą odpowiednio:

0,035m, 0,022m i 0,033m;

natomiast średnie odchylenie po współrzędnych:

X= -0,004m, Y= -0,006m, Z= -0,010m.

Przeprowadzając analizę wyników założono, że pomiar współrzędnych sytuacyjnych szczegółów terenowych (III grupa dokładnościowa pomiaru) metodą biegunową wykonano z dokładnością 0,1m (według instrukcji G-4: $m_x = m_y = m_{sr.} = 0,1m$).

Współrzędne uzyskane z pomiaru fotogrametrycznego mieszczą się w granicach tego błędu, oczywiście również dotyczy to punktów nie stanowiących osnowy fotogrametrycznej (Off), a służących kontroli – porównaniu dokładności metody fotogrametrycznej z tradycyjną (bezpośrednią).

Błąd pomiaru wysokości punktów nie przekracza 0,05m – przy określeniu wysokości punktów względem osnowy wysokościowej (według instrukcji G-4).

Wynika stąd, że pomiar wysokościowy mieści się w granicach trzykrotnej tolerancji.

Mimo zastosowania amatorskiego sprzętu fotograficznego wpływ dystorsji obiektywu na dokładność późniejszego opracowania jak i ewentualnej niepowtarzalności elementów orientacji kamery okazał się niewielki, co nie bez znaczenia ma fakt zastosowania obiektywu typu stało-ogniskowego „focus-free” oraz technologia nalotu i jego parametry (wysokość lotu).

Stosunkowo małe zniekształcenia oraz dobre wyniki analizy dokładnościowej obrazów niskopułapowych, uzyskanych z amatorskiego sprzętu, skłoniły autora do dalszych badań w tej dziedzinie z zastosowaniem aparatu cyfrowego i techniki zdjęć wielkoseryjnych.

Przedstawione wcześniej przykłady realizacji obrazów niskopułapowych dotyczą zdjęć celowanych - pojedynczych tzn. wykonywanych w momencie podjętym przez operatora platformy bezzałogowej według zasad prowadzenia lotu fotogrametrycznego, uwzględniając jego parametry i zakładane parametry oczekiwanego obrazu (często również z zastosowaniem podglądu realizowanego obrazu w czasie rzeczywistym).

Propozycja autorska to zastosowanie kompaktowej kamery cyfrowej z możliwością realizacji zdjęć wielkoseryjnych (o długim czasie realizacji serii) podczas lotu. Wtedy orientacja wewnętrzna kamery jest powtarzalna w danej sesji, co jest niewątpliwym atutem tej techniki.

Ponadto zdjęcia wykonywane są automatycznie w stałych odstępach czasowych. Przy standardowych warunkach lotu niskopułapowego: lot na wysokości ok.100 m, ogniskowa obiektywu w odniesieniu do równoważnika 35mm rzędu 25-50mm (w badaniach $f=37mm$) pokrycie zdjęć sąsiednich dokonywane jest z dużą rezerwą, a nawet wykonanych zostaje wiele zdjęć nadliczbowych.

W przypadku zastosowania obiektywu niestałoogniskowego kalibracja kamery przed każdą sesją-serią jest zalecana w niektórych przypadkach, zwłaszcza, gdy chodzi o większe dokładności, lecz niekonieczna.

Jak wykazały wstępne badania (analiza) wykonanych zdjęć seryjnych przy uwzględnieniu podanych parametrów – ewentualne rozmazanie obrazu, przy optymalnym oświetleniu terenu jest niewielkie i nie ma większego znaczenia.

Czasookres wykonywania zdjęć seryjnych podczas 1 sesji powinien wynosić minimum 3 – 5 minut. Przy małej prędkości platformy (30 km/h) możliwe jest wykonywanie zdjęć seryjnych o interwałach poniżej 1 sek. z aplikacją odpowiedniej klasy lekkiego cyfrowego aparatu fotograficznego rejestrującego szereg zdjęć seryjnych z wymaganym interwałem.

W przypadku zastosowania sprzętu wyższej klasy - zalecana opcja to kierowanie-nawigacja wg wcześniej określonej trasy lotu oraz zapewnienie rejestracji środka rzutów met. GPS (miniaturowy odbiornik), a także dodatkowa kontrola pozyskiwanego obrazu drogą telewizyjną lub za pośrednictwem technologii GSM; przy czym jeżeli BŚL jest w zasięgu wzroku operatora i dysponujemy fotopunktami na wybranym obszarze to zalecana opcja nie musi mieć większego znaczenia.

Prostszy jest wariant wizualnej kontroli lotu, bez konieczności zastosowania autopilota (GPS), gdzie sterowanie BŚL przejmują wzajemnie dwie osoby, posiadające sterowniki pracujące na identycznych częstotliwościach radiowych, mające platformę w zasięgu wzroku, w odległości zapewniającej nad nią kontrolę (średnio kilkaset metrów do 2 km).

Założona prędkość motolotni bezzałogowej (30 km/h) jako najbardziej stabilnej i optymalnej, nie wymagającej nawet stabilizacji żyroskopowej zapewnia pomijalnie małe rozmazanie obrazu, a ustawienie interwału zdjęć seryjnych na okres nawet 1s warunkuje stosunkowo dużą liczbę ekspozycji nadliczbowych. Ponadto większa manewrowość i dopasowanie wysokości lotu do określonych potrzeb stwarza optymalne warunki lotu bezzałogowego dla celów fotogrametrycznych, co stanowi niewątpliwie jego przewagę nad standardowym lotem załogowym.

We wstępnych badaniach, przeprowadzonych przez autora wykorzystano cyfrowy aparat fotograficzny Canon IXUS 900Ti, $f=7.7-23.1\text{mm}$ (równoważnik 35mm: 37-111mm), o rozdzielczości 10 Mpiks., manualnej nastawie na nieskończoność i blokowanym obiektywie (zoom i ostrość) – wykonując ciąg 250 zdjęć seryjnych z interwałem 0.7 s, przez czas ok. 5 minut na karcie pamięci Ultra Speed 2 GB z rozdzielczością 3648x2736 pikseli.

Aparat ten testowano obok omawianej wcześniej kamery analogowej VIVITAR ze względu na jego wyjątkowe parametry, doskonale odpowiadające wymaganiom fotogrametrycznych nalotów niskopułapowych.

Jako aparat niometryczny w opracowaniach fotogrametrycznych można stosować go kalibrując zdjęcia w trakcie obliczeń współrzędnych punktów sfotografowanego obiektu (samokalibracja); bądź wyznaczając elementy orientacji wewnętrznej i dystorsję aparatu, przyjmując je potem jako znane i postępując przy opracowaniu jak przy zdjęciach metrycznych; można także wykorzystywać zdjęcia niekalibrowane oraz funkcję DLT (Boroń 1998).

Wysoka rozdzielczość (10 Mpix.), możliwość wyłączenia automatyki (manualna nastawa ostrości i nastawa stała na nieskończoność z możliwością blokady, bezpośrednio wpływające na powtarzalność orientacji wewnętrznej), dobre parametry geometrii obrazu (związane głównie z wysokiej jakości obiektywem jak: dystorsja, rozdzielczość, także jego jasność), mała masa (17 dag) i rozmiary aparatu, a nade wszystko możliwość realizacji zdjęć seryjnych do momentu zapełnienia pamięci karty SD – desygnuje ten aparat do zastosowania w samolocie bezzałogowym dla celów fotogrametrycznych.



Ryc.6. Aparat cyfrowy Canon IXUS 900 Ti.

W przypadku zastosowanego aparatu, realizując zdjęcia seryjne, cyfrowe ze stałą szybkością ok. 0.7 na sekundę przy założonej prędkości platformy $\sim 50\text{ km/h}$ i wysokości lotu $\sim 100\text{ m}$ z rozdzielczością 3648x2736 pikseli odzwierciedlają obszar o wymiarach ok. 80x60 m, bazie podłużnej $\sim 10\text{ m}$, pokryciu podłużnym powyżej 85%, co gwarantuje dużą ilość obrazów nadliczbowych, a rozmiar piksela nie przekracza 2.5 cm, rozmazanie przy czasie ekspozycji 1/1000 nie przekracza 1.4 cm.

W przypadku realizacji nalotu fotogrametrycznego nad terenem niedostępnym lub trudnodostępnym, gdzie uprzednie utworzenie i pomiar fotopunktów jest niemożliwy rozważana jest możliwość zastosowania BŚL z rejestracją środka rzutów met. GPS oraz kątów orientacji kamery za pośrednictwem urządzeń INS o podwyższonej precyzji i dokładności.

Ze względu na błędy w określeniu kątów orientacji potrzebna jest ich korekta, mimo dokładnych danych pierwotnych orientacji z GPS/INS.

Mając na uwadze szczególne cechy obrazów niskopułapowych jak wysoka precyzja, rozdzielczość i mniejszy wpływ kątów orientacji na zniekształcenia (w porównaniu z obrazem ze standardowego pułapu lotniczego) autor proponuje technologię opracowywania obrazów niskopułapowych BŚL terenów trudno- lub niedostępnych - bez aplikacji punktów dostosowania na całym obszarze (jedynie na jego części, służącej później wyrównaniu - kalibracji) – z rejestracją GPS/INS oraz korektą kątów orientacji. Propozycja taka wymaga jednakże zastosowania już bardziej profesjonalnego, droższego sprzętu – platformy lotniczej jak i aparatury rejestrującej obraz oraz systemu nawigacji i stabilizacji.

3. Wnioski.

Celem niniejszej pracy było przeprowadzenie badań na podstawie, których można stwierdzić w jakim stopniu zdjęcia z niskopułapowych lotów bezzałogowych mogą być przydatne do opracowań związanych z szeroko pojętą architekturą krajobrazu - szybkim, lokalnym pozyskiwaniem informacji o terenie; w związku z tym jak dokonać optymalizacji parametrów ich realizacji.

W ramach prac wykonano nalot fotogrametryczny, wybrano zdjęcia i poddano je obróbce cyfrowej. Wykonano również kontrolny pomiar bezpośredni szczegółów terenowych znajdujących się na terenie wybranego obiektu, następnie obliczono współrzędne szczegółów terenowych oraz wykonano opracowanie fotogrametryczne na stacji cyfrowej.

Podsumowując, wyniki analizy pomiaru i obliczeń stwierdzono, że:

1. Różnice współrzędnych pomierzonych bezpośrednio w terenie i współrzędnych obliczonych metodą fotogrametryczną są niewielkie, mieszczą się w granicach błędu pomiaru tych metod, co wskazuje na wysoką przydatność zastosowanej metody dla określonych celów.

2. Biorąc pod uwagę, że do nalotu fotogrametrycznego został użyty amatorski sprzęt, uzyskane wyniki są tym bardziej zadowalające w kontekście zastosowania docelowo małej kamery cyfrowej (ew. odpowiedniej klasy lekkiego cyfrowego aparatu fotograficznego) z możliwością rejestracji szeregu zdjęć wielkoseryjnych z interwałem ca 0.7 sek., a w opcji bardziej zaawansowanej - nawigacji i kierowania lotem metodą żyro(INS)+GPS (miniaturowy odbiornik), a opcjonalnie dodatkowej kontroli pozyskiwanego obrazu drogą telewizyjną lub technologii GSM.

3. Realizacja lotniczych zdjęć fotogrametrycznych, pozyskiwanych z niskich wysokości, przy zastosowaniu bezzałogowych środków transportu powietrznego ma duże szanse stać się rutynowym sposobem rozwiązania geodezyjnych zagadnień związanych z lokalnym pozyskiwaniem informacji i monitorowaniem małych obszarów. Metoda ta może być w szczególności wykorzystywana dla celów szybkiego monitorowania środowiska, jak również w terenach o stosunkowo niskiej i rzadkiej zabudowie (tereny wiejskie), terenach trudnodostępnych do aktualizacji i uzupełniania treści map. Z powodzeniem może być stosowana w architekturze krajobrazu o zasięgu lokalnym.

4. Bogata różnorodność form zagospodarowania nieruchomości oraz wysoka dynamika zmian stwarza niejednokrotnie dużo problemów przy ich pomiarze metodami bezpośrednimi. Zdjęcia wykonane z niskiego pułapu takich terenów pozwalają na wierne odtworzenie na mapie wszystkich elementów zagospodarowania terenu.

Zaletą tej metody w porównaniu z metodami bezpośrednimi niewątpliwie jest szybkość z jaką można pozyskać potrzebne dane.

Reasumując, pomyślny wynik przeprowadzonych testów potwierdził przydatność badanych obrazów i przedstawionej technologii dla celów uzupełniania i aktualizacji danych geoprzestrzennych oraz szybkiego monitorowania środowiska, a także w architekturze krajobrazu o zasięgu lokalnym.

1. Boroń A. 1998. Przydatność aparatu cyfrowego Minolta RD 175 w fotogrametrycznych opracowaniach cyfrowych. *Archiwum F.K.iT.* 2. Dorozhynskyy Oleksandr „Fotogrametria analityczna i cyfrowa” – Wydawnictwo Politechniki Lwowskiej, Kraków – Lwów 2002. 3. Jáuregui M.2002. “Digital stereo-orthophotos of archeological sites from small format aerial hotographs” - *Photogrammetry Institute, Engineerring Faculty, Universidad de Los Andes, Av Tulio Febres, Mérida 5101. Commission V, WG V/4-mat. konferencyjne ISPRS.* 4. Instrukcja branżowa G-4. www.vinnitsa.com/geo/, 04.2007.