

Antoni Rzonca*

INTEGRACJA WYNIKÓW SKANOWANIA LASEROWEGO
I POMIARÓW FOTOGRAMETRYCZNYCH
NA PRZYKŁADZIE INWENTARYZACJI NAGROBKA ANNY JAGIELLONKI
W KATEDRZE WAWELSKIEJ**

1. Wprowadzenie

Duża przydatność i coraz powszechniejsze zastosowanie metod fotogrametrycznych przy inwentaryzacji zabytków jest bezsprzeczna. Obiekty architektoniczne należą do grupy bardzo trudnych z punktu widzenia technologii pomiaru. Każdy obiekt wymaga bowiem indywidualnego potraktowania z uwagi na swoje cechy charakterystyczne. Wynika to również ze specyfikacji zleceń. W tradycyjnych inwentaryzacjach stosowano fototeodolity analogowe i teodolity (do pomiaru punktów kontrolnych). Kolejnym etapem było stosowanie analogowych, a potem cyfrowych kamer metrycznych i niemetrycznych, cyfrowa obróbka materiału pomiarowego i znacznie szerszy wachlarz potencjalnych produktów (np. ortofotogramy, których stosowanie w fotogrametrii analogowej nie było powszechne). Kilkanaście lat temu pojawiło się nowe narzędzie stanowiące wsparcie i znakomite uzupełnienie bądź nawet rozwiązanie alternatywne wobec fotogrametrii naziemnej – skanowanie laserowe 3D [2, 4]. Wcześniej taką możliwość dawały jedynie tachimetry zmotoryzowane o odpowiednim oprogramowaniu. Naturalnie posiadały dokładność kilkaset tysięcy razy mniejszą od aktualnie dostępnych na rynku skanerów i *de facto* nie nadawały się do szerokiego zastosowania w produkcji. W lecie 2002 uczestniczyłem w pracach stanowiących próbę zastosowania tachimetru do celu inwentaryzacji – zobrazowania fragmentu kamieniarki i płaskorzeźby [9]. Publikacja ta przedstawia skaning jako metodę równoległą do fotogra-

* Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska, Zakład Fotogrametrii i Informatyki Teledetekcyjnej

** Opracowano w ramach promotorskiego grantu MEiN nr 4 T12E 016 30

metrii. Jednak po upływie kilku lat i pojawieniu się na rynku całej gamy skanerów okazuje się, że najbardziej korzystne byłoby połączenie obu metod, tzn. użycie skanera, i kamery [6]. O możliwościach takiej integracji będzie traktował ten artykuł.

2. Ogólny opis metody

Zastosowanie fotogrametrii bliskiego zasięgu przy pracach inwentaryzacyjnych obejmuje przede wszystkim rejestrację polichromii, kamieniarki i murów dla generowania barwnych ortofotoplanów oraz pomiar geometrii obiektów w celu wykreślenia planów architektonicznych: rzutów, przekrojów i widoków elewacji. Każde z tych zadań posiada swoją specyfikę. Inwentaryzacja polichromii w postaci barwnych ortofotoplanów musi być wykonana z zachowaniem absolutnej wierności kolorystycznej oraz z najwyższą możliwą rozdzielczością. Stosuje się obrazy o rozmiarze piksela terenowego rzędu $0,15\div 0,30$ mm, gdyż może wynikać konieczność wydruku w skali 1:1. Opracowanie ortofotoplanów murów i kamieniarki nie wymaga już tak wysokiej rozdzielczości ($1\div 2$ mm). Natomiast dla celów inwentaryzacji geometrii wystarcza piksel terenowy rzędu $2\div 5$ mm. Metoda klasyczna opracowania dokumentacji polega na ortorektyfikacji zdjęć wyrównanego bloku na podstawie modelu przestrzennego obiektu pochodzącego z pomiaru na fotogrametrycznej stacji cyfrowej.

Wobec pojawiających się nowych możliwości pozyskiwania danych geometrycznych, poprzez skanowanie 3D, podjęto próbę połączenia sił obu metod rejestracji danych w taki sposób, aby uzupełniały się, eliminując najbardziej żmudne etapy technologii fotogrametrycznej. Przykładowo, etapem możliwym do ominięcia jest pomiar geometrii obiektu dla celów ortorektyfikacji. Po wyrównaniu bloku zdjęć i orientacji chmury punktów w tym samym układzie dostępna jest informacja geometryczna i fotograficzna w formie pozwalającej na wygenerowanie ortofotogramów. Analiza współczesnej, zagranicznej literatury pokazała, że rozwiązanie to jest znane i budzi duże zainteresowanie na świecie [5, 7, 8]. Zastosowanie tej metody w pracach autora zostanie przedstawione poniżej.

3. Opis przyrządu

W pracach inwentaryzacyjnych w Kaplicy Zygmuntońskiej w Katedrze Wawelskiej zastosowano skaner laserowy Z+F LARA 53500 (rys. 1).

Jest to skaner o wydajności pomiaru ok. 100 000 punktów/s. Poziomy kąt widzenia to 360° , pionowy – 310° . Wobec zasięgu pomiaru (do 53 m) znakomicie nadaje się do pomiaru zarówno wewnątrz, jak i elewacji zewnętrznych niewielkich obiektów. Pomiar polega na obrocie korpusu skanera o odpowiedni kąt w poziomie (min. $0,01^\circ$), obrocie zespołu optycznego o kąt w pionie (interwał min. $0,018^\circ$) i pomiarze odległości (dokł.: $\pm 2\div 4$ mm). Kąty odkładane są z dokładnością $\pm 0,01^\circ$ [1]. Natychmiast zostaje obliczone położenie punktu

i zapisane w pliku chmury punktów. Efektem pracy instrumentu jest zgrubnie spoziomowana chmura punktów zarejestrowana z każdego ze stanowisk skanera. Stanowiska dobiera się tak, aby zminimalizować liczbę martwych pól (cieni) w chmurze i otrzymać zakładaną rozdzielczość terenową chmury punktów. Warto dodać, że skaner Z+F oprócz rejestracji położenia punktu zapisuje „czwartą współrzędną” – jest to wartość określająca natężenie promieniowania laserowego powracającego od obiektu skanera, tzw. refleksyjność. Zależy ona od materiału, koloru, temperatury i oświetlenia celu. Wobec tego pojawia się możliwość generowania widoków chmur punktów, w projekcji ortogonalnej, które mogą stanowić wartościowy materiał mapowy np. dla konserwatorów [3].



Rys. 1. Skaner laserowy Z+F LARA 53500 (fot. www.zflaser.com)

4. Prace na polu testowym

Prace wykonano w związku z inwentaryzacją Kaplicy Zygmuntońskiej na Wawelu, którą przeprowadził zespół firmy DEPHOS w Krakowie. Obiektem służącym zastosowaniu metody integracji danych pochodzących ze źródła fotogrametrycznego i skanerowego był nagrobek Anny Jagiellonki. Jest to renesansowy pomnik wykonany z czerwonego marmuru przedstawiający śpiącą królową. Poniżej postaci umieszczono epitafium. Obiekt został wybrany z uwagi na wysoki stopień skomplikowania geometrycznego oraz rodzaj materiału mogący stwarzać dodatkowe problemy przy skanowaniu – zdarza się, że w wyniku skanowania obiektów błyszczących otrzymuje się błędne wyniki. Wobec stopnia trudności pola testowego można uważać, że wyniki testowania metody różniczkowego generowania ortofotogramów w oparciu o skanerową chmurę punktów są reprezentatywne. Występują tu bowiem wszystkie rodzaje form i kształtów: począwszy na ostrych krawędziach filarów, poprzez gładkie załamania sukni, aż po obszary o niewielkiej krzywiznie lub całkiem pł-

skie. Napisy epitafium stanowią doskonały test jakościowy wierności odwzorowania treści zdjęć w projekcji ortogonalnej.

Prace terenowe przebiegały w następujący sposób: zasygnalizowano 15 punktów osnowy fotogrametrycznej i pomierzono je w dwóch seriach biegunowo tachimetrem bezlustrowym Trimble 3305 DR. Następnie wykonano dwa szeregi zdjęć, po sześć zdjęć każdy, kalibrowaną kamerą cyfrową Canon EOS 300D wyposażoną w obiektyw o ogniskowej 20 mm. Osnowa fotogrametryczna została zasygnalizowana takimi biało-czarnymi tarczami, jakimi sygnalizuje się punkty osnowy służące do orientacji chmur punktów. Zatem tarcze te posłużyły do orientacji zdjęć i efektu skanowania laserowego – chmur punktów. Skanowanie odbyło się z dwóch stanowisk w celu wygaszenia powstających martwych pól – cieni. Rozdzielczość skanowania ustalono na średnią (*high*). Rysunek 2 przedstawia widok chmury punktów na powierzchni cylindrycznej pomierzonej z lewego stanowiska.



Rys. 2. Wizualizacja (na powierzchni cylindrycznej) chmury punktów pomierzonej skanerem z lewego stanowiska. Skala szarości odpowiada natężeniu promieniowania laserowego odbitego od obiektu

Prace kameralne podzielono na trzy etapy.

Najpierw obliczono współrzędne punktów osnowy. Uzyskana dokładność ich wyznaczenia wyniosła około ± 1 mm.

Następnie przystąpiono do opracowania chmur punktów. Wyniki rejestracji zostały przefiltrowane przy wykorzystaniu oprogramowania udostępnianego przez producenta skanera. Proces ten usunął z chmury te punkty, które są wynikiem błędnej, w pewnych sytuacjach, pracy dalmierza skanera. Od tego momentu wszystkie prace kameralne odbywały się przy zastosowaniu własnego oprogramowania firmy DEPHOS. Moduł *scanview* współpracujący z programem DEPHOS Mapper służy do opracowywania chmur punktów (transformacji, łączenia, edycji, eksportu, wektoryzacji). Przy wykorzystaniu jego możliwości zaimportowano chmury w formacie ASC, przetransformowano je na 15 punktów osno-

wy, uzyskując odchyłki wpasowania wynoszące około 1 mm. Tak przygotowane zbiory punktów wyeksportowano do własnego formatu wektorowego *.det oprogramowania DEPHOS Mapper.

Opracowanie fotogrametryczne przebiegło w sposób typowy dla tego typu projektów realizowanych w firmie DEPHOS. Najpierw nastąpiło usunięcie wpływu dystorsji i konwersja do formatu TIFF z piramidami obrazów (*overview*). Następnie założono projekt pomiarowy i wykonano wyrównanie ściśle bloku z odchyłkami na punktach kontrolnych poniżej 1 mm (DEPHOS External Orientation). Następnie wykonano pomiar na stacji fotogrametrycznej DEPHOS Mapper w celu uzyskania geometrii obiektu metodą klasyczną, ortofotogramy uzyskane tą metodą posłużą do porównania obu metod. Za pomocą modułu DEPHOS Ortho z każdego z 12 zdjęć wygenerowano ortofotogramy na płaszczyznę pionową równoległą do frontu nagrobka.

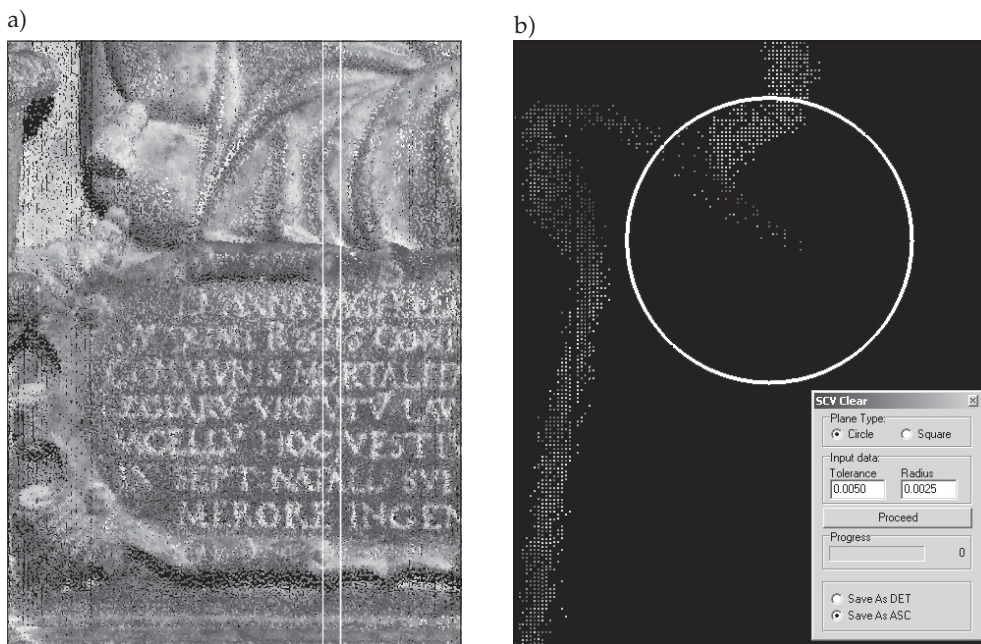
Dysponując tak przygotowanym materiałem pomiarowym, można było przystąpić do prac badawczych. Pierwszy eksperyment zakończył się częściowym niepowodzeniem. Numeryczny model powierzchni, będący wynikiem tworzenia siatki TIN punktów chmury, miał dwa poważne błędy. W rezultacie zastosowania tego modelu uzyskany ortofotogram również nie stanowił właściwej projekcji ortogonalnej pierwszego planu, patrząc na obiekt prostopadle, od strony płaszczyzny rzutowania. Przyczyny pojawienia się tych nieprawidłowości są dosyć oczywiste.

Pierwsze niekorzystne zjawisko polega na tym, że ortofotogram posiada informację obrazową nie tylko związaną z pierwszym planem, ale również z częściami zasłoniętymi, ale objętymi skanowaniem i fotogramami. Wynika to z różnic pomiędzy kierunkiem rzutowania w trakcie skanowania i fotografowania (rzuty środkowe) a kierunkiem projekcji ortogonalnej. Zjawisko to widać na rysunku 3 w górnej części woluty.



Rys. 3. Powiększenie fragmentu ortofotogramu wstępnie wygenerowanego z wykorzystaniem chmury punktów jako numerycznego modelu powierzchni – efekt pierwszych prób integracji danych, przed zastosowaniem filtrów geometrycznych. Na wolutie widać ubytki obrazu pierwszego planu – pojawia się informacja obrazowa odpowiadająca części zasłoniętej. Litery napisów zostają „poszarpane” na skutek błędów w pomiarze odległości przez skaner

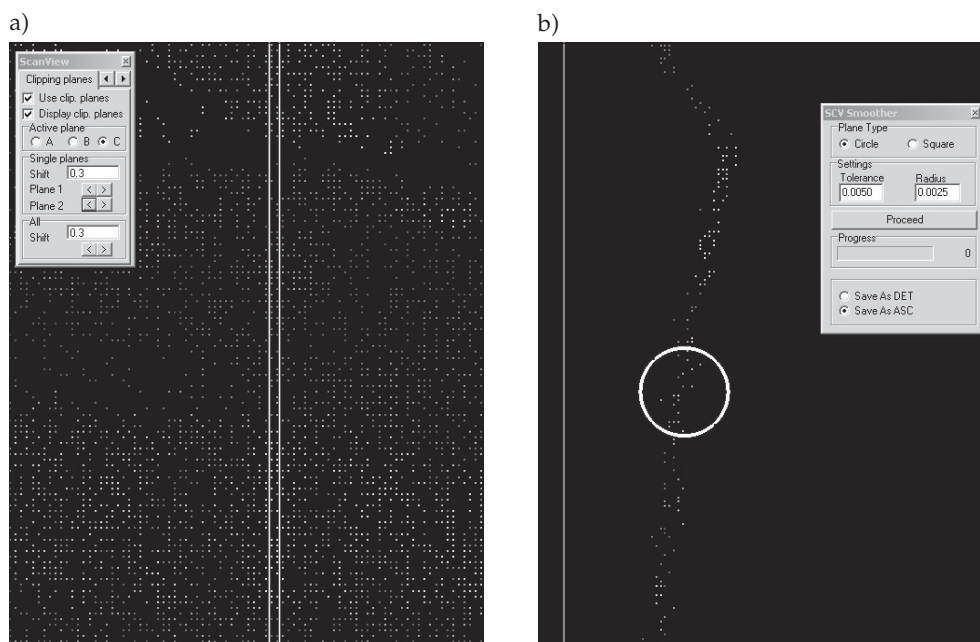
W efekcie obraz wygląda, jakby był podziurawiony, co wynika z istnienia punktów w drugim planie, które nie są widoczne w pierwszym planie w projekcji ortogonalnej na płaszczyznę ortofotogramu. Tworzone trójkąty modelu TIN posiadają część wierzchołków należących do jednego, a część – do drugiego planu. W celu lepszego uwidocznienia przyczyny błędu na rysunku 4 pokazano przekrój pionowy chmury punktów, prostopadły do płaszczyzny ortofotogramu.



Rys. 4. Przekrój pionowy przez chmurę punktów: a) pionowe linie pokazują przebieg przekroju; b) w białym okręgu zaznaczono punkty leżące w drugim planie, powodujące istnienie błędów ortofotogramu widocznych na wolucie na rysunku 3. W prawym dolnym rogu okienko dialogowe filtra *scvclearscan*

Wyraźnie widać, że pojawiają się punkty leżące na normalnej (na rysunku kierunek poziomy) do płaszczyzny ortofoto w dwóch planach. Dla usunięcia tej wady został opracowany specjalny filtr geometryczny. Filtr *scvclearscan* (od: *scanview clear scan*) sprawdza dla każdego punktu chmury, czy za nim, wzdłuż normalnej do płaszczyzny ortofotogramu przechodzącej przez dany punkt, pojawia się jakiś inny punkt, którego odległość od płaszczyzny rzutowania jest większa. Szukanie punktów w drugim i dalszych planach odbywa się wewnątrz walca, którego osią jest właśnie wspomniana normalna, a średnica walca dobrana jest jako jeden z parametrów filtra podawanych przez operatora. Pozostałym parametrem jest wartość zbliżona do grubości chmury punktów w danym planie. Warunek ten służy temu, aby nie usuwać punktów należących do tego samego planu. Punkty, które mieszczą się w walcu, a nie zostały zakwalifikowane do tego samego planu, zostają wykasowane (rys. 4).

Drugim problemem, również widocznym na rysunku 3, są lokalne zakłócenia geometryczne obrazu, szczególnie widoczne w obszarach o dużej ilości krawędzi kolorystycznych – w tym przypadku na napisach epitafium. Widoczna utrata gładkości obrazu wynika również z geometrii chmury punktów. Mianowicie punkty te nie układają się w gładką reprezentację modelu, ale w granicach błędu pomiaru odległości przez dalmierz skanera ($\pm 1\div 2$ mm) odstają od przebiegu powierzchni rzeczywistej (rys. 5).



Rys. 5. Powiększenie przekroju przez chmurę punktów: a) przebieg przekroju; b) w białym okręgu widoczny defekt wynikający z błędów pomiaru odległości dalmierza skanera, powodujących niegładkość chmury punktów. W prawym górnym rogu – okienko dialogowe filtra *scvsmoother*

Drugi opracowany filtr, o nazwie *scvsmoother* (od: *scanview smoother*), ma za zadanie wygładzić chmurę punktów, wykorzystując analogiczny warunek geometryczny podobnie jak *scvclearscan*. Różnica polega na tym, że współrzędne punktów znalezionych wewnątrz walca i mieszczących się w określonej odległości (tolerancji) przed lub za sprawdzanym punktem są uśredniane. W efekcie uzyskuje się wygładzenie chmury.

5. Ocena uzyskanych wyników

Po tych dodatkowych czynnościach przygotowawczych uzyskano oczekiwany efekt (rys. 6). Ocenie podano jego dwa aspekty.



Rys. 6. Powiększenie fragmentu ortofotogramu wygenerowanego z wykorzystaniem chmury punktów jako numerycznego modelu powierzchni, po zastosowaniu filtrów geometrycznych – w porównaniu z rysunkiem 3 widoczne są spodziewane efekty działania filtrów (*scvclearscan*, *scvsmoother*). Cały pierwszy plan zakrywa elementy dalsze, litery mają proste krawędzie

Pierwszy to jakość obrazu. Początkowo niedostateczna, po zastosowaniu filtrów osiągnęła w przybliżeniu poziom obrazu fotograficznego. Pojawiają się jeszcze drobne nieciągłości na krawędziach, wyeliminowanie ich wymagałoby zastosowania algorytmu krawędziującego. Do oceny jakości ortofotogramów można wykorzystać teorię falkową [10].

Natomiast drugim aspektem jest ocena dokładności otrzymanego produktu. Składają się na nią: uzyskana dokładność wyrównania bloku zdjęć (położenie punktu na modelu można określić z dokładnością ok. $\pm 1 \div 2$ mm) oraz dokładność wyznaczenia położenia punktów chmury (również ok. $\pm 1 \div 2$ mm). W celu przeprowadzenia kontroli ortofotogramu otrzymanego metodą integracji danych wykonano pomiar kontrolny. W płaszczyźnie równoległej do płaszczyzny ortofotogramu pomierzono bezpośrednio 66 odcinków o długości od 0,10 m do ponad 2 m o dowolnym przebiegu: pionowych, poziomych i ukośnych. Następnie pomierzono te same odcinki autogrametrycznie na bloku zdjęć oraz na wygenerowanym ortofotogramie. Wyniki przedstawiają tabele 1 i 2.

Tabela 1 weryfikuje podaną wyżej dokładność wyrównanego bloku. Większość odchyłek ma wartość równą ± 1 mm lub mniejszą, wyliczone odchylenie średnie wynosi 0,9 mm. W tabeli 2 podano odchyłki pomiędzy miarami bezpośrednimi a miarami pobranymi z ortofotogramu. Dane w tej tabeli, o podobnym rozkładzie w tabeli 1, potwierdzają uzyskanie wiarygodnych wyników – wyliczone odchylenie średnie wynosi 1,0 mm.

Drugą zastosowaną metodą kontroli było porównanie współrzędnych 14 punktów osnowy stabilizowanej na obiekcie biało-czarnymi tarczami: pomierzonych bezpośrednio, pomierzonych autogrametrycznie oraz na ortofotogramie. Współrzędne pochodzące z pomiarów w terenie i na modelach należało przetransformować do układu ortofotogramu. Wyniki porównania są podane w tabelach 3 i 4.

Tabela 1. Rozkład odchyłek pomiędzy bezpośrednimi miarami liniowymi a wyznaczonymi z pomiaru autogrametrycznego

Odchyłka [±mm]	Liczba wystąpień
0,0	14
0,5	17
1,0	18
1,5	8
2,0	7
2,5	1
3,0	2
3,5	0

Tabela 2. Rozkład odchyłek pomiędzy bezpośrednimi miarami liniowymi a pomierzonymi na ortofotogramie

Odchyłka [±mm]	Liczba wystąpień
0,0	13
0,5	14
1,0	21
1,5	9
2,0	6
2,5	4
3,0	0

Tabela 3. Rozkład odchyłek XY pomiędzy współrzędnymi wyznaczonymi bezpośrednio a pomierzonymi na modelach

Odchyłka XY [±mm]	Liczba wystąpień
0,0	14
1,0	10
2,0	0

Tabela 4. Rozkład odchyłek XY pomiędzy współrzędnymi wyznaczonymi bezpośrednio a pomierzonymi na ortofotogramie

Odchyłka XY [±mm]	Liczba wystąpień
0,0	14
1,0	11
2,0	2
3,0	1
4,0	0

Odchylenia średnie pomiędzy współrzędnymi wyznaczonymi bezpośrednio a pomierzonymi na modelach wynoszą tyle samo wzdłuż osi X i Y – 0,4 mm. Natomiast kontrola zgodności współrzędnych pomierzonych bezpośrednio i odczytanych z ortofotogramu (tab. 4) daje średnie odchyłki odpowiednio 0,9 i 0,6 mm.

Na podstawie tych dwóch metod oceny zgodności wyników można stwierdzić, że metoda integracji danych dostarcza produktu o wysokiej wiarygodności. Należy wnioskować, że dokładność położenia punktu na ortofotogramie wynosi $\pm 1\div 2$ mm.

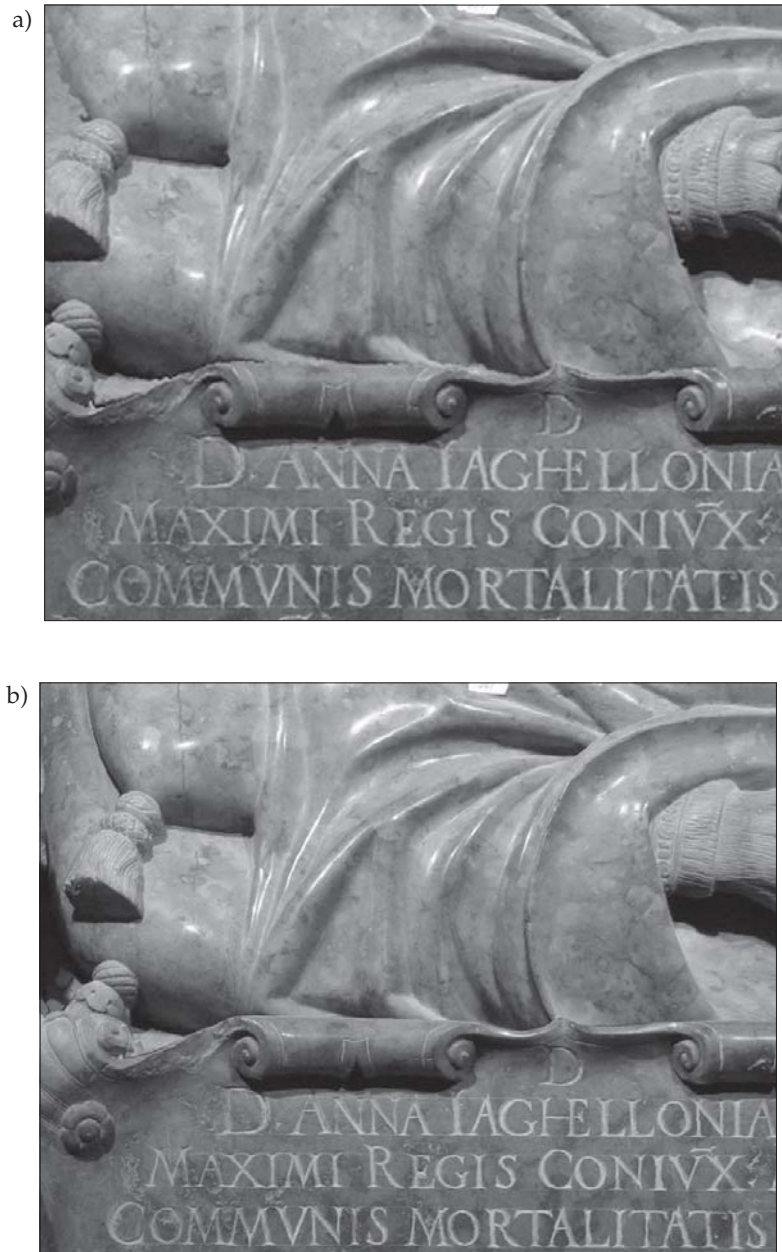
6. Podsumowanie i wnioski

Ortofotogram wygenerowany metodą integracji danych w praktyce nie ustępuje jakością ortofotogramowi pochodzącemu z metody klasycznej, tzn. powstałemu w oparciu o model 3D pomierzony na stacji fotogrametrycznej (rys. 7a, b).

Jednak wciąż pozostaje problem jakości obrazu na krawędziach obiektu. Istnieje możliwość dodatkowego, ręcznego pomiaru linii szkieletowych na stacji cyfrowej, co stanowiłoby uzupełnienie chmury punktów, bądź automatycznego wyszukiwania krawędzi geometrycznych.

Ortofotogram będący wynikiem integracji danych stanowi zaawansowany technologicznie produkt geodezyjnej inwentaryzacji zabytków. Jest znacznie szybszy w wykonaniu, gdyż nie wymaga pomiaru autogrametrycznego geometrii obiektu. Jakość produktu pozwala na wydruk nawet w skali 1:1. Również dokładność ortofotogramu skanerowego jest porównywalna z dokładnością klasycznego ortofotogramu. Prawidłowe skanowanie i przygotowanie chmur punktów zapewnia uzyskanie warunków dokładnościowych modelu trójwymiarowego służącego do ortorektyfikacji podobnych do warunków uzyskiwanych przy pomiarze na stacji fotogrametrycznej. Na rysunku 8 pokazano ostatecznie wygenerowane ortofotogramy przed zmozaikowaniem.

Publikacja ta ma na celu przedstawienie cząstkowych wyników otrzymanych w ramach badań prowadzonych nad zagadnieniem integracji danych pochodzących ze skanerów laserowych oraz danych fotogrametrycznych.



Rys. 7. Porównanie ortofotogramów wygenerowanych metodami integracji danych oraz metodą fotogrametryczną bazującą na pomiarze modelu powierzchni na stacji cyfrowej: a) fragment produktu integracji danych – ortorektyfikacja oparta na chmurze punktów; b) fragment ortofotogramu powstałego w sposób klasyczny – ortorektyfikacja oparta na pomiarze na fotogrametrycznej stacji cyfrowej



Rys. 8. Ortofotogramy cząstkowe przed zmozaikowaniem – zastosowanie na całym polu testowym ortorektyfikacji metodą integracji danych

Podstawowym celem publikacji jest przedstawienie możliwości integracji danych i zapowiedź publikacji na ten temat dalszych badań oraz wyników.

Za pomoc w zebraniu danych autor pragnie serdecznie podziękować zespołowi firmy DEPHOS, a szczególnie Łukaszowi Ortyłowi oraz Arturowi Rybarczykowi, natomiast informatykom: Grzegorzowi Mroczkowi, Piotrowi Belniakowi oraz Marcinowi Grabowskiemu – za pomoc w realizacji rozwiązań programistycznych.

Literatura

- [1] Abmayr T., Hartl F., Mettenleiter M., Heinz I., Hildebrand A., Neumann B., Frohlich C.: *Realistic 3D Reconstruction – Combining Laserscan Data with RGB Color Information*. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, vol. XXXV, Part B5, Istambul 2004
- [2] Al-Halbali N.N., El-Hakim S., Teskey W.F., Radovanovic R.S., Chapman M.A.: *Assessment of a Laser Scanning System for Deformation Measurements*. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, vol. XXXIII, Part B5, Amsterdam 2000
- [3] Baranowski P., Czajkowski K., Gładki M., Morysiński T., Rzonca A., Szambelan R.: *Polish experience with digital heritage recording methodology, including 3D laser scanning, CAD and GIS application, as the most accurate and flexible response for archeology and conservation needs at Jan III Sobieski Residence in Wilanów*. 6th International Congress on Lasers in the Conservation of Artworks, Wiedeń 2005 (w druku)

-
- [4] Boehler W., Heinz G., Marbs A.: *The Potential of Non-Contact Close Range Laser Scanners for Cultural Heritage Recording*. XVIIth CIPA Symposium, Poczdam 2001
 - [5] Borg C.E., Cannataci J.A.: *Thealasermetry: A Hybrid Approach to Documentation of Sites and Artifacts*. CIPA-ISPRS Workshop on Scanning for Cultural Heritage Recording, Korfu 2002
 - [6] Guarnieri A., Vettore A., El-Hakim S., Gonzo L.: *Digital Photogrammetry and Laser Scanning in Cultural Heritage Survey*. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, vol. XXXV, Part B5, Istambul 2004
 - [7] Georgopoulos A., Tsakiri M., Ioannidis C., Kakli A.: *Large Scale Orthophotography Using DTM from Terrestrial Laser Scanning*. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, vol. XXXV, Part B5, Istambul 2004
 - [8] Ioannidis Ch., Tsakiri M.: *Laser Scanning and Photogrammetry for the Documentation of a Large Statue – Experiences in the Combined Use*. XIXth CIPA Symposium, Antalya 2003
 - [9] Mierzwa W., Rzonca A.: *Skanowanie powierzchni jako nowa metoda rejestracji i interpretacji szczegółów architektonicznych*. Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, vol. 13B, Wrocław 2003
 - [10] Pyka K.: *Poszukiwanie falkowych miar potencjału informacyjnego obrazów cyfrowych jako wskaźników jakości wizualnej*. Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, vol. 14, Białobrzegi–Warszawa 2004