

ANALIZA WPLYWU ROZDZIELCZOŚCI DANYCH ŹRÓDŁOWYCH NA JAKOŚĆ PRODUKTÓW FOTOGRAMETRYCZNYCH OBIEKTU ARCHITEKTURY

ANALYSIS OF SOURCE DATA RESOLUTION ON PHOTOGRAMMETRIC PRODUCTS QUALITY OF ARCHITECTURAL OBJECT

Jakub Stefan Markiewicz¹, Michał Kowalczyk¹, Piotr Podlasiak¹, Krzysztof Bakula¹,
Dorota Zawieska¹, Aleksandra Bujakiewicz², Elżbieta Andrzejewska¹

¹Zakład Fotogrametrii, Teledetekcji i Systemów Informacji Przestrzennej,
Wydział Geodezji i Kartografii, Politechnika Warszawska

²Katedra Geoinformatyki, Wydział Inżynierii Lądowej, Środowiska i Geodezji,
Politechnika Koszalińska

SŁOWA KLUCZOWE: integracja danych, naziemny skaningu laserowy, naziemne zdjęcia cyfrowe, ortoobraz, produkt wektorowy, rozdzielczość geometryczna

STRESZCZENIE: Wraz z szybkim rozwojem bezinwazyjnych metod pomiarowych opartych na pomiarze odległości od badanego obiektu zwiększyła się możliwość pozyskiwania danych z większą dokładnością przy jednoczesnym skróceniu czasu pomiaru. Pozwoliło to znacznie poszerzyć efektywność metod fotogrametrycznych w dokumentacji i analizie obiektów dziedzictwa kulturowego, poprzez połączenie danych z naziemnego skaningu laserowego z obrazami. Taka integracja pozwala pozyskać wymagane zwykle w tych zastosowaniach 3D modele obiektów, a także cyfrowe mapy obrazowe – ortoobrazy oraz produkty wektorowe. Jakość produktów fotogrametrycznych jest charakteryzowana zarówno ich dokładnością jak i zasobem treści, tj. liczbą i wielkością zawartych w nich detali. Jest to zawsze zależne od rozdzielczości geometrycznej danych źródłowych. Badania przedstawione w niniejszym referacie dotyczą oceny jakości dwóch produktów, obrazowego - ortoobrazu i wektorowego, wygenerowanych dla wybranych fragmentów obiektu architektonicznego. Danymi źródłowymi są chmury punktów z naziemnego skaningu laserowego oraz obrazy cyfrowe. Oba rodzaje danych zostały pozyskane w kilku rozdzielczościach. Numeryczne Modele Obiektu pozyskane z chmur punktów o różnej rozdzielczości, stanowią podstawę do orientacji zewnętrznej obrazów oraz stworzenia kilku wersji ortoobrazów o różnych rozdzielczościach. Porównanie tych produktów pomiędzy sobą pozwoli ocenić wpływ rozdzielczości danych źródłowych na ich jakość (dokładność, zasób informacji). Dodatkowa analiza zostanie przeprowadzona na podstawie porównania produktów wektorowych, pozyskanych na podstawie wektoryzacji (monoplotingu) ortoobrazów.

1. WSTĘP

Charakterystyka geometryczna i spektralna danych źródłowych ma istotny wpływ na jakość produktów fotogrametrycznych tworzonych dla celu inwentaryzacji architektonicznej. Jakość produktu jest zwykle określana poprzez jego dokładność oraz zasób zawartej treści. Obydwa aspekty jakości są zawsze zależne od rodzaju stosowanych

danych źródłowych. Obecnie w opracowaniach fotogrametrycznych bliskiego zasięgu, są zwykle stosowane dane z naziemnego skaningu laserowego oraz zdjęć cyfrowych. W celu wygenerowania produktów fotogrametrycznych w najlepszym stopniu opisujących rzeczywistą postać obiektu, zarówno pod względem dokładności określenia kształtu jak i zawartości liczby szczegółów (treści), coraz powszechniej stosuje się integrację danych źródłowych z obu tych systemów, wykorzystując ich zalety oraz komplementarność [Kadobayashi, *et al.*, 2004; Guarnieri *et al.*, 2004]. Jakość produktów fotogrametrycznych zależy od kilku czynników, z których rozdzielczość danych źródłowych ma istotny wpływ, co jest szczególnie ważne w przypadku ortoobrazów [Boroń i Pastucha, 2012]. W tworzeniu dokumentacji obiektów architektonicznych, problem ten jest istotny, ze względu na istnienie wielu małych detali dekoracyjnych o historycznym znaczeniu, dla których wskazany jest pomiar i prezentacja (wizualizacja) z odpowiednio wysoką dokładnością i szczegółowością.

W niniejszym artykule zostaną przedstawione badania prowadzone, w ramach prac własnych i badań statutowych, dotyczące jakości produktów fotogrametrycznych uzyskanych z różnej rozdzielczości danych pozyskanych ze skaningu naziemnego i obrazów cyfrowych.

2. ZAŁOŻENIA STOSOWANEJ METODYKI BADAŃ

Przyjęte założenia dotyczą trzech etapów projektu: pozyskania fotogrametrycznych danych źródłowych skanerem naziemnym i kamerą cyfrową, ich odpowiedniego przetworzenia oraz analizy jakości produktów fotogrametrycznych, pod kątem liczby rozpoznawalnych detali i ich dokładności wyznaczenia, w zależności od rozdzielczości danych źródłowych.

W etapie pozyskania danych źródłowych skanerem i kamerą cyfrową, należy dobrać odpowiednie warunki geometryczne, zarówno dla pozyskania skanów (odległość systemu skanującego od obiektu, kąt i tryb skanowania), jak i obrazów cyfrowych (odległość i kąt osi kamery w stosunku do obiektu, parametry fotografowania), pozwalających analizować wpływ zmiennej ich rozdzielczości na jakość produktów. W większości istniejących aktualnie naziemnych systemów skaningu laserowego, kamery cyfrowe są zintegrowane ze skanerem, a zatem warunki geometryczne przyjęte dla skanów są jednocześnie narzucone dla obrazów cyfrowych.

Generowanie produktów fotogrametrycznych, bazujące na odpowiednim przetwarzaniu danych pozyskanych skanerem i kamerą cyfrową, wykonuje się zwykle w dwóch etapach. W pierwszym – wstępnym, dokonuje się przetwarzania niezależnego dla każdego rodzaju danych źródłowych. W przypadku skanów, należy w pierwszej kolejności dokonać odpowiedniej filtracji chmur punktów w celu usunięcia punktów odstających i zredukowania szumu pomiarowego oraz dla zredukowania liczby punktów w celu umożliwienia sprawniejszego przetwarzania. Następnie dokonuje się łączenia skanów i ich orientację do układu referencyjnego oraz zamianę chmur punktów na numeryczny model powierzchni obiektu (NMPO) [Böhm, 2005]. W przypadku zdjęć cyfrowych, należy przeprowadzić zarówno korektę radiometryczną w celu poprawy jakości radiometrycznej obrazu poszczególnych zdjęć oraz wyrównania radiometrii pomiędzy zdjęciami, jak i korektę geometryczną, poprzez uwzględnienie wpływu błędów systematycznych zdjęć [Habrouk, Faig, 1996; Bujakiewicz *et al.*, 2006], jeśli nie jest to przewidziane w dalszych

procedurach przetworzenia stosujących metodę samokalibracji. W drugim etapie przetwarzania dokonuje się integracji danych, która może przebiegać w różny sposób [Böhm, *et al.*, 2007; Guarnieri, *et al.*, 2006]. W przypadku wykorzystania wstępnie przetworzonych obrazów cyfrowych dla teksturowania płaszczyzn modelu 3D obiektu, stworzonego z danych ze skaningu, orientację zewnętrzną obrazów wykonuje się w oparciu o punkty osnowy zidentyfikowane w chmurze (NMPO). Stosując 11-parametrową bezpośrednią liniową transformację DLT-3D [Karara, 1972; Tokarczyk, Brodzińska, 2003], poprawia się także wyznaczone wstępnie parametry opisujące geometrię wewnętrzną zdjęcia. Wykorzystując zorientowane zdjęcia cyfrowe oraz NMPO, można wygenerować także takie produkty fotogrametryczne jak ortoobrazy oraz (poprzez monoploting) produkt wektorowy dla obiektu. Stworzenie tych produktów w oparciu o dane źródłowe (skany, obrazy cyfrowe) o różnej rozdzielczości, pozwala porównać je pomiędzy sobą w celu oceny wpływu rozdzielczości na ich jakość, tj. dokładność i zasób zawartej treści.

Ortoobraz jest produktem, który zachowuje treść zdjęcia a jednocześnie posiada poprawną charakterystykę geometryczną. Na obrazie nie ma więc żadnych przesunięć spowodowanych pochYLENIEM zdjęcia, czy głĘBIĄ obiektu. Dane ze skaningu laserowego pozwalają dostarczyć precyzyjne modele powierzchni obiektu usprawniając automatyczne generowanie ortoobrazów. W literaturze można spotkać różne nazwy tego produktu: *ang. true-ortho*; prawdziwy ortoobraz, true-orto, ortoobraz. W fotogrametrii bliskiego zasięgu należałoby mówić o *true-ortho*, zgodnie z metodyką generowania tego produktu. Z uwagi na to, że bardziej popularną nazwą, przyjętą w środowisku architektów, ochrony dziedzictwa kultury jest ortoobraz, w niniejszym artykule będzie wykorzystywane właśnie to pojęcie.

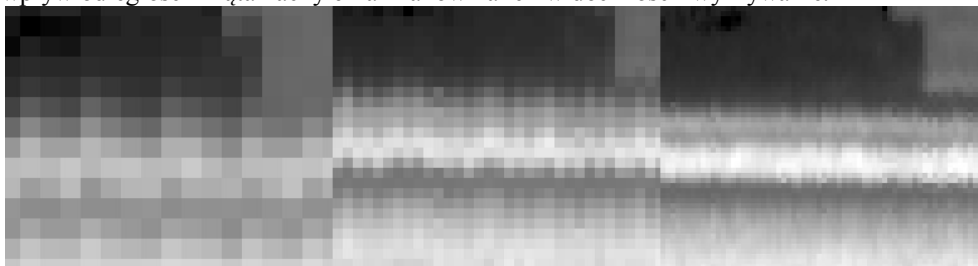
3. EKSPERYMENT

W ramach eksperymentu wygenerowano produkty fotogrametryczne takie jak numeryczny model powierzchni obiektu, ortoobrazy, a także produkt wektorowy dla obiektu przy zastosowaniu danych pozyskanych z 3 stanowisk skanera, a także co istotniejsze dla 3 różnych rozdzielczości rejestracji przestrzennej (kątovej) skanera. Celem eksperymentu była ocena jakości wytworzonych modeli przy różnych parametrach skanowania, a także weryfikacja ich wpływu na wytworzony produkt. Obiektem testowym badań była Duża Aula Gmachu Głównego Politechniki Warszawskiej, a w szczególności występujący detal architektoniczny. W eksperymentach wykorzystano skaner laserowy Z+F Imager 5006h charakteryzujący się pionowym polem widzenia do 310° oraz minimalnym zasięgiem skanowania 0.4 m. Zdjęcia cyfrowe wykonano kamerą niemetryczną Canon 350D rejestrującą obrazy o rozdzielczości 3456 x 2304 pikseli (8.0 megapikseli) z wykorzystaniem obiektywów Canon 20mm, 35mm, Tamron 28-300mm. Oprogramowaniem wykorzystanym w eksperymentach był LupoScan.

Dalsze podrozdziały opisują kolejne etapy podczas realizacji eksperymentu. Przetawiają one zarówno etapy przetwarzania surowych danych jak i operacje generowania produktów fotogrametrycznych.

3.1. Łączenie danych z różnych stanowisk skanowania

Skanowanie obiektu odbyło się z trzech różnych stanowisk przy ustawieniu trzech rozdzielczości skanowania: tryb high charakteryzujący się kątem próbkowania 0.036° , odpowiadające mu odległości 6 mm pomiędzy punktami przy odległości skanowania 10 m, super high - 0.018° , 3.2 mm / 10 m i ultra high - 0.009° , 1.6 mm / 10 m. W tej części eksperymentów analizie podlegała: rozdzielczość skanowania, jakość i detekcja znaków, wpływ odległości i kąta nachylenia znaków na ich widoczność i wykrywanie.



Rys. 1. Analiza różnych rozdzielczości skanowania; kolejno od lewej wynik przy ustawieniu trybu: *high* (6mm / 10m), *super high* (3.2mm / 10m), *ultra high* (1.6mm / 10m)

Już na etapie analizy danych obserwując wyniki skanowania przy poszczególnych rozdzielczościach chmury punktów dało się zaobserwować niestabilność rejestracji widoczną szczególnie dla współrzędnych pionowych obiektów znajdujących się w położeniu wertykalnym (Rys. 1). Niestabilność ta miała większy wymiar dla niższej rozdzielczości chmury i znalazła swoje odzwierciedlenie w późniejszym generowaniu numerycznego modelu powierzchni obiektu. Wykazała to również przeprowadzona analiza, w której algorytm wyszukiwał w okolicach znaczka pomiarowego płaszczyzny i wyznaczał dla tego fragmentu odchylenie standardowe związane z nieprzystawaniem części punktów do wyznaczonej powierzchni, gdzie uzyskany wynik wykazał, iż dla najniższej rozdzielczości skanowania (*high*) wyniósł ± 3 mm, a dla największej rozdzielczości (*ultra high*) ± 1.4 mm.

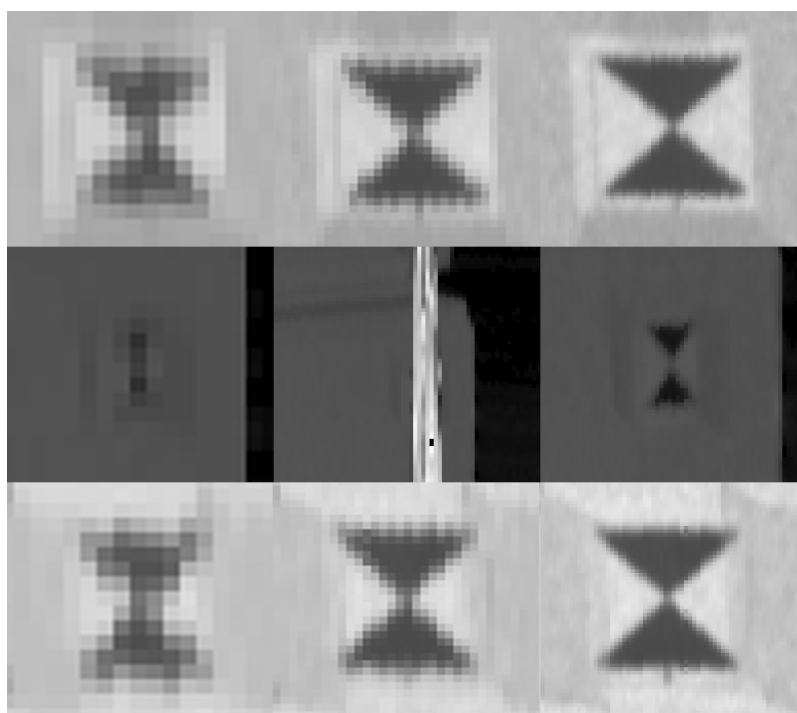
Tab. 1. Analiza wyników przeprowadzonej orientacji wzajemnej danych z naziemnego skaningu laserowego

Stanowisko	tryb skanowania	v(x) [m]	v(y) [m]	v(z) [m]	sigma [m]
1	ultra high	0.0010	0.0020	0.0013	0.0028
2	ultra high	-	-	-	-
3	ultra high	0.0012	0.0029	0.0015	0.0031
1	super high	0.0011	0.0026	0.0016	0.0022
2	super high	0.0012	0.0018	0.0018	0.0018
3	super high	0.0010	0.0017	0.0017	0.0016
1	high	0.0010	0.0023	0.0024	0.0021
2	high	0.0015	0.0035	0.0033	0.0032
3	high	0.0017	0.0048	0.0040	0.0041

Łączenie rezultatów skanowania odbywało się z wykorzystaniem sygnalizowanych punktów - metoda oparta na rejestracji znaków (*ang. Target Based Registration*).

Wszystkie dane zostały zorientowane do lokalnego układu odniesienia względem środkowego skanu pozyskanego z rozdzielczością *ultra high*. Dokładności łączenia skanów zawarte zostały w tabeli 1.

Jak można zauważyć dokładność wzajemnej orientacji maleje wraz ze spadkiem rozdzielczości skanowania. Jest to szczególnie widoczne w odchyłkach dla współrzędnej Z przy orientacji skanów, gdzie dla chmury pozyskanej w trybie *high* osiągają one wartości od 2.4 do 4.0 mm. Problem spadku możliwości orientacji skanów widoczny jest również analizując rysunek 2 przedstawiający obraz znaczków przy zastosowaniu różnego trybu skanowania. Prezentując obrazy znaczków z chmury o różnej rozdzielczości w tej samej skali widać, iż możliwość identyfikacji środka znaczka znacząco maleje dla niższej rozdzielczości skanowania.



Rys. 2 Analiza jakości wykrywania znaków, (kolejno od lewej), wynik przy ustawieniu trybu: *high* (6 mm / 10 m), *super high* (3.2 mm / 10 m), *ultra high* (1.6 mm / 10 m) znaczki przeskalowane do jednego rozmiaru

Analizując wyniki przedstawione w tabeli 2 widać, że manualna identyfikacja punktów sygnalizowanych wprowadza spore błędy liczone w mm. Współrzędne X, Y, Z opisują położenie centrum kolejnych punktów osnowy w lokalnym układzie skanera, odległość od skanera (R) i kąt padania promienia lasera na znaczek pomiarowy (γ). Kolumny „pix_h”, „pix_s”, „pix_u” pokazują błąd położenia w kierunku od płaszczyzny znaczka aproksymowanej w pewnym sąsiedztwie do stanowiska skanera. Widać, że dokładność

wskazania położenia znaczka wynosi w najlepszym wypadku 2-3 mm (w płaszczyźnie znaczka dla największej gęstości skanowania).

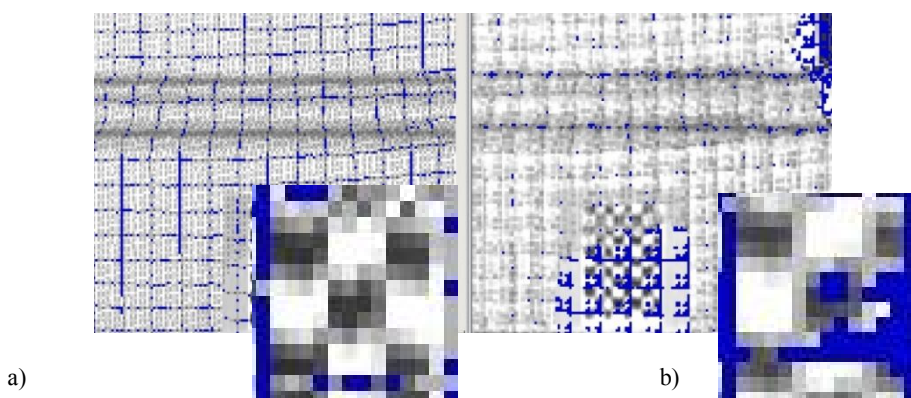
Tab. 2. Dokładności pomiaru manualnego pomiaru punktów osnowy na 3 wybranych fotopunktach przy różnej odległości punktu od skanera i kąta padania wiązki dla rozdzielczości skanowania *ultra high*.

lp	X [m]	Y [m]	Z [m]	R [m]	Xy [m]	γ [°]	pix_h [mm]	pix_s [mm]	pix_u [mm]
1	-2,5473	-1,5353	-10,2655	10,6877	2,9742	-16,2	6,7	3,4	1,7
2	13,9827	-1,5303	-10,1868	17,3675	14,0661	-54,1	10,9	5,5	2,7
3	2,1526	0,3587	-10,4309	10,6567	2,1822	-11,8	6,7	3,3	1,7

W przypadku niższych rozdzielczości skanowania oraz występowania punktów wiążących znajdujących się w niewielkiej odległości od skanera możliwe jest automatyczne wyznaczenie środka znaku poprzez zachowanie proporcji geometrycznych.

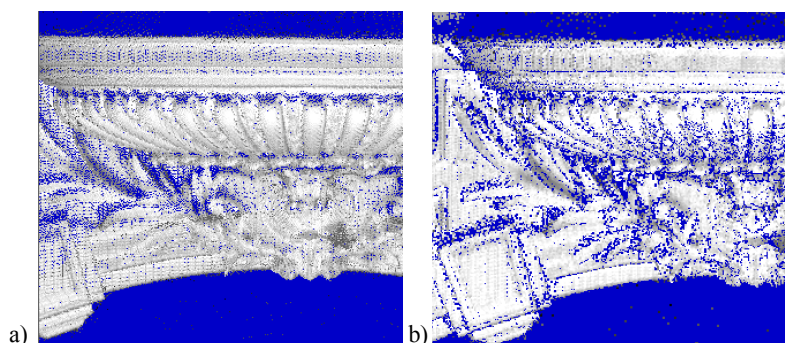
3.2. Tworzenie numerycznego modelu powierzchni obiektu (NMPO)

W ramach tej części eksperymentów dla całości obiektu wygenerowano numeryczne modele powierzchni obiektu o rozdzielczości 6 mm, 3 mm, 2 mm i 1 mm, a dla detalu architektonicznego 3 mm i 1 mm. Wykorzystano do tego oprogramowanie LupoScan i przyjęto dwie metody interpolacji najbliższego sąsiada i bilinearną. Głównym czynnikiem wpływającym na wybór wielkości oczka była rozdzielczość skanowania i to ona wpływała na maksymalną do uzyskania dokładność. W miejscach gdzie występowało załamanie wiązki lasera (tj. na krawędziach, powierzchniach skomplikowanych) wykorzystywano dane pozyskiwane z sąsiednich stanowisk skanera. Przy wyznaczaniu wartości współrzędnej dla regularnej siatki modelu powierzchni zbadano dwie możliwości interpolacji: najbliższego sąsiada oraz bilinearną (Rys. 3).



Rys. 3. Fragment modelu powierzchni obiektu wygenerowanego metodami: najbliższego sąsiada (a), bilinearną (b) z ukazaniem fragmentu zeskanowanej szachownicy

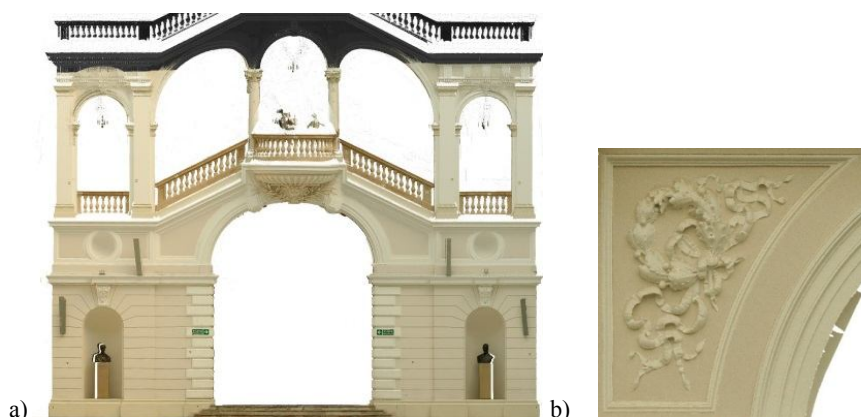
W celu zbadania wyboru najlepszej metody generowania NMPO sprawdzono w sposób wizualny otrzymane wyniki. Z powyższych analiz można zauważyć że lepsze rezultaty otrzymano dzięki zastosowaniu metody interpolacji najbliższego sąsiada. Zauważalne jest to w przypadku opracowywania krawędzi, na płaszczyźnie testowej zeskanowanej szachownicy czy elementach zdobienia. W przypadku opracowywania detali architektonicznych ważne jest odwzorowanie krawędzi szczegółów. Przy zastosowaniu metody bilinearnej elementy zdobień zostają rozmyte, a dodatkowo występuje sytuacja utraty części informacji pozyskanych metodą naziemnego skaningu laserowego (Rys. 4).



Rys. 4. Fragment modelu powierzchni obiektu wygenerowanego metodami: najbliższego sąsiada (a), bilinearną (b) z ukazaniem fragmentu zeskanowanego detalu architektonicznego

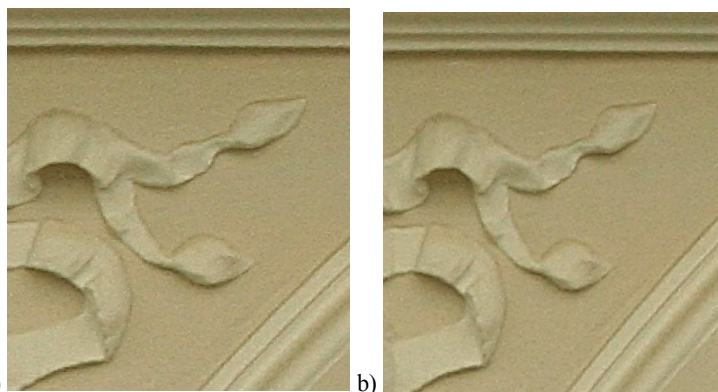
3.3. Generowanie ortoobrazów

W przypadku generowanych ortoobrazów analizie podlegała: rodzaj wykonywanej interpolacji w czasie tworzenia samego modelu, rozdzielczość wykorzystywanego modelu powierzchni obiektu, a także wynikowa rozdzielczość tworzonego ortoobrazu. W analizach zarówno dla całej Auli jak i detalu będącego jej fragmentem (Rys. 5) generowano obrazy o rozdzielczości przestrzennej 6 mm, 3 mm, 2mm, 1 mm, 0.5 mm, w oprogramowaniu LupoScan przy wykorzystaniu dwóch metod interpolacji najbliższego sąsiada i bilinearnej.



Rys. 5. Ortoobraz wygenerowany dla Auli Głównej Politechniki Warszawskiej i jej fragmentu stanowiącego detal architektoniczny

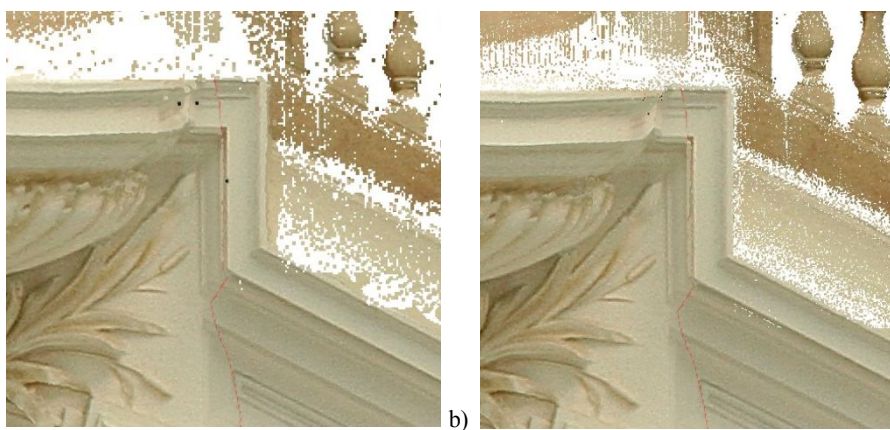
Porównanie tworzonych ortoobrazów polegało na wizualnej analizie wpływu, trybu skanowania (Rys. 6), rozdzielczości NMPO (Rys. 7), rozdzielczości generowanego obrazu (Rys. 8, 9) oraz na jakości tworzonych produktu.



Rys. 6. Ortoobrazy o rozdzielczości 0.5 mm wygenerowane z NMPO o rozdzielczości 3 mm z interpolacją najbliższego sąsiada z chmury punktów pozyskanej trybem *high* (a) i *super high* (b)

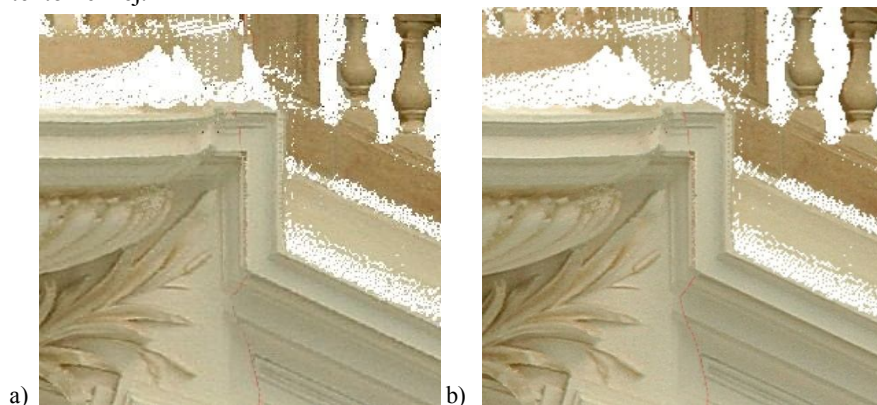
Na rysunku 6 zaobserwować można ortoobrazy wygenerowane z takimi samymi parametrami. W czasie ortorektyfikacji wykorzystano modele o tych samych parametrach które powstały z chmury punktów w innym trybie skanowania dającego różną gęstość punktów i różną dokładność. Widoczny efekt jest bardzo zbliżony, co daje informację, że jeżeli malejąca gęstość punktów w znaczący sposób nie zmienia kształtu NMPO nie ma to również wpływu na wynikowy ortoobraz.

Analizując rysunek 7 zaobserwować można, iż wykorzystanie modelu o wyższej rozdzielczości daje w efekcie ortoobraz o wizualnie lepszej jakości, gdyż mniej widoczne są obszary braku danych pochodzących z NMPO.



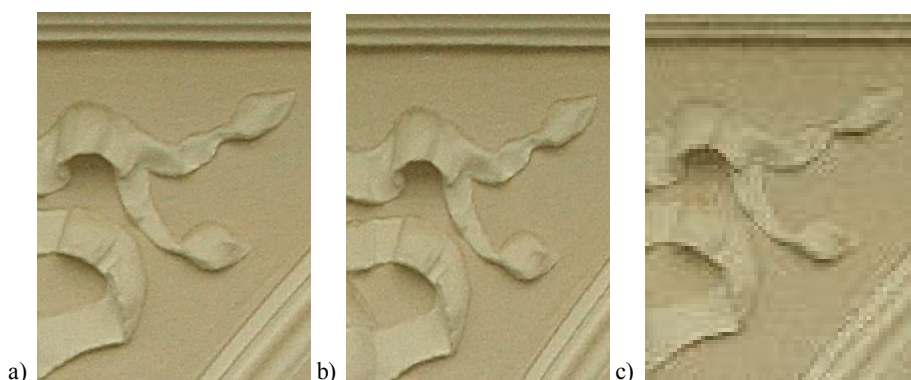
Rys. 7. Ortoobrazy o rozdzielczości 1 mm wygenerowane dla fragmentu auli przy wykorzystaniu różnej rozdzielczości NMPO – 6 mm (a) i 3mm (b) uzyskanego z danych pozyskanych w trybie *high* poprzez interpolację metodą bilinearną

Wpływ rozdzielczości NMPO jest zatem dosyć istotny, co widać tym bardziej na rysunku 8, na którym zwiększenie rozdzielczości generowanego obrazu może dać lepszy podgląd detalu, ale obszary braku danych jednakowo utrudniają tworzenie dokumentacji architektonicznej.



Rys. 8. True-ortoobrazy o różnej rozdzielczości – 5 mm (a) i 1 mm (b) wygenerowane dla fragmentu auli przy wykorzystaniu chmury punktów pozyskanej z rozdzielczością *high* i modelem powierzchni obiektu interpolowanego metodą najbliższego sąsiada o rozdzielczości 6 mm

Dla samej dokumentacji detalu architektonicznego najważniejszym parametrem tworzonego ortoobrazu jest jego wynikowa rozdzielczość. To ona świadczy o szczegółowości wykonanej dokumentacji. Rysunek 9 ukazuje fragment detalu architektonicznego na ortoobrazach wykonanych przy tych samych parametrach ortorektifikacji, ale z różnym wynikowym obrazem. Dla tego obiektu trudno jest dostrzec różnice w obrazach o rozdzielczości 0.5 i 1 mm. Widoczny natomiast jest spadek jakości obrazu przy jego rozdzielczości rzędu kilku milimetrów.



Rys. 9. Ortoobrazy o różnej rozdzielczości – 0.5 mm (a), 1 mm (b) i 3mm (c) wygenerowane dla fragmentu auli przy wykorzystaniu chmury punktów pozyskanej z rozdzielczością *super high* i modelem powierzchni obiektu interpolowanego metodą najbliższego sąsiada o rozdzielczości 3 mm

W ramach oceny kartometryczności wygenerowanego produktu, jakim był ortoobraz przeprowadzono analizę wpływu rozdzielczości generowanego ortoobrazu na jego jakość. Pomierzono 23 punkty kontrolne (Rys. 10), których współrzędne wyznaczono na podstawie pomiaru tachimetrycznego a następnie punkty te wskazywane były na ortoobrazach o różnej rozdzielczości przestrzennej.



Rys. 10. Analizowany detal architektoniczny z rozkładem punktów kontrolnych.

Wyniki zawarte w tabeli 3 wskazują, iż rozdzielczość generowanych obrazów ma istotny wpływ na możliwość pomiaru punktów identyfikowalnych na detalu architektonicznym. Szacowana dokładność identyfikacji wynosi około 1 piksela i jest skorelowana z rozmiarem piksela analizowanego ortoobrazu.

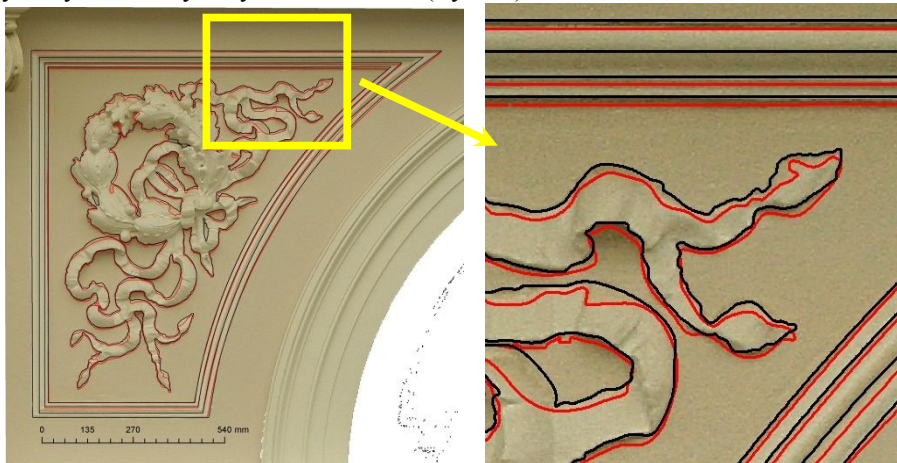
Tab. 3. Analiza różnych rozdzielczości skanowania na podstawie pomiaru punktów identyfikowalnych

GSD [mm]	błąd średni [mm]	błąd średni [piksel]
0.5	0.6	1.2
1.0	0.4	0.4
2.0	1.8	0.9
3.0	2.5	0.8

3.4. Generowanie danych wektorowych

Proces generowania danych wektorowych został wykonany na dwa sposoby. Pierwszy z nich polegał na manualnej wektoryzacji (monoplotingu) na kolorowych ortoobrazach (o różnych rozdzielczościach). Drugi na automatycznej ekstrakcji danych w oparciu o ortoobrazy uzyskane z intensywności wiązki lasera, gdyż ich dokładność geometryczna nieobciążona jest błędami wynikającymi z orientacji, rozdzielczości skanu, orientacji zdjęć,

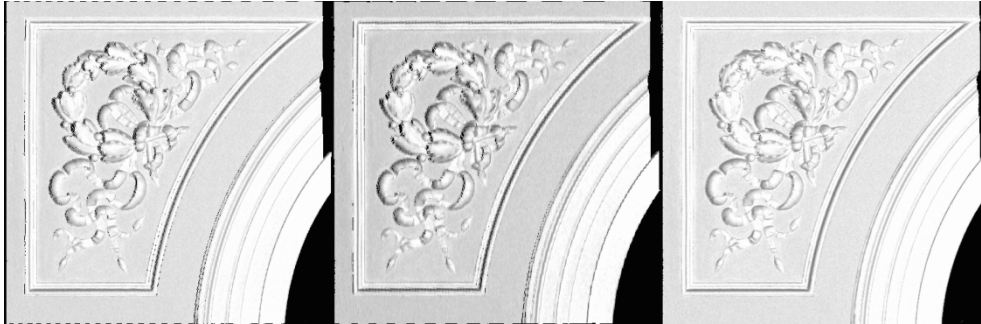
kalibracji zdjęć i ich rozdzielczości. W wyniku przeprowadzanego procesu monoplottingu wykonano manualną wektoryzację detalu architektonicznego na dwóch ortoobrazach powstałych dzięki integracji zdjęć z modelami powierzchni powstałymi z chmur pozyskanych w różnym trybie skanowania (Rys. 11).



Rys. 11. Wynik manualnego monoplottingu szczegółu architektonicznego na podstawie ortoobrazu powstałego z wykorzystaniem numerycznego modelu powierzchni obiektu powstałego z rozdzielczości *high* (kolor czerwony) i *super high* (kolor czarny)

W wyniku tych prac stwierdzono, iż wyższa rozdzielczość ortoobrazu pozwala na wektoryzację wszystkich załamań, szczegółowych detali, natomiast generowanie danych wektorowych przy ortoobrazach o niższej rozdzielczości przyspiesza proces, ale wiąże się z utratą danych (stopień generalizacji zależy od rozdzielczości). Stopień dokładności wynikowego ortobrazu powinien zatem zależeć od wymaganych dokładności odwzorowania kształtu i położenia detali architektonicznego. W kontekście tworzenia wysokorozdzielczych ortoobrazów detali architektonicznych warto zastanowić się również nad celowością tworzenia dokumentacji w formie wektorowej, gdyż przy takiej szczegółowości produktu fotogrametrycznego wskazane jest wykorzystanie jedynie wysokorozdzielczych ortoobrazów. Wykonanie danych wektorowych na podstawie ortoobrazów o rozdzielczości rzędu 0.5 mm jest procesem bardzo czasochłonnym i w przypadku konieczności generowania produktu wektorowego rozważyć należy automatyzację tego procesu.

W czasie przeprowadzonych badań wykonano również automatyczną ekstrakcję danych wektorowych z ortoobrazów. Wykonano to przy wykorzystaniu autorskiego oprogramowania. Analizowano możliwości automatycznego wyszukiwania linii (krawędzi) na podstawie sygnału odbicia wiązki laserowej od obiektu rejestrowanego przez skaner w 3 trybach (Rys. 12), których jakość została poprawiona poprzez skorygowanie zmian intensywności odbicia w zależności od kierunku skanowania, co w większym stopniu wyeksponowało szczegóły podlegające wektoryzacji (Rys. 13). Metodyka ta zastosowana może być również na ortoobrazach będących wynikiem integracji danych ze skanera i zdjęć cyfrowych.



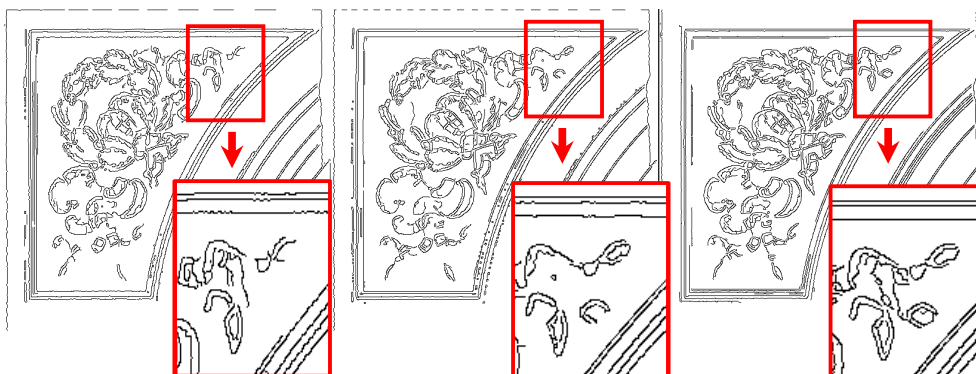
Rys. 12. Sygnał intensywności odbicia zarejestrowany przez skaner; od lewej: *tryb high*, *super high*, *ultra high*.



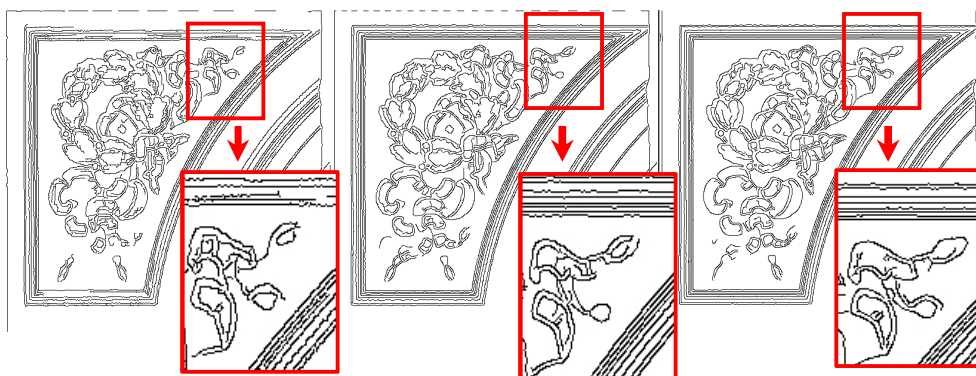
Rys. 13. Sygnał intensywności odbicia zarejestrowany przez skaner skorygowany o kąt pomiędzy kierunkiem widzenia a chwilowym kierunkiem wektora normalnego (wyznaczonego z pewnej liczby punktów sąsiednich)

Analizując różne algorytmy automatycznej ekstrakcji danych wektorowych, najlepsze wyniki uzyskano przy wykorzystaniu algorytmu Canny'ego (1986), umożliwiającego wielostopniowe wykrywanie krawędzi w różnych kierunkach. Na rysunkach 14 i 15 przedstawiono wyniki działania tego algorytmu na obrazach uzyskanych na podstawie sygnału odbicia i obrazu skorygowanego o kąt widzenia. Analizując uzyskane wyniki można zauważyć, że korekcja obrazu odbicia sygnału o kąt widzenia polepsza działania algorytmu Canny'ego. Podsumowując uzyskane wyniki należy podkreślić, że manualna wektoryzacja jest zbyt czasochłonna, a odpowiedniej jakości dane wektorowe można uzyskać wykorzystując odpowiednie algorytmy do automatycznej ekstrakcji danych wektorowych po odpowiedniej korekcji obrazu sygnału odbicia promienia skanera.

Analiza wpływu rozdzielczości danych źródłowych na jakość produktów fotogrametrycznych obiektu architektury



Rys. 14. Wyniki wektoryzacji uzyskane na podstawie sygnału odbicia zarejestrowanego przez skaner (od lewej: tryb *high*, *super*, *ultra*)



Rys. 15. Wyniki wektoryzacji uzyskane podstawie sygnału odbicia skorygowanego o kąt widzenia a chwilowy kierunek wektora normalnego (wyznaczonego z pewnej liczby punktów sąsiednich)

4. PODSUMOWANIE

Przeprowadzone badania wykazały, że rozdzielczość skanowania wpływa na możliwość wykonania i dokładność orientacji wzajemnej danych z naziemnego skaningu laserowego. W przypadku potrzeb uzyskiwania wysokorozdzielczych produktów fotogrametrycznych zalecane jest wykorzystywanie rozdzielczości skanowania w granicach około 2 mm, a dla detali architektonicznych 1 mm. Bardzo istotnym parametrem skanowania jest również kąt skanowania i typu podłoża (materiału), które znacząco wpływają na możliwą dokładność i kompletność danych. W kontekście tworzenia ortoobrazów dla potrzeb inwentaryzacji architektonicznej zaleca się wykorzystywanie wysokorozdzielczych zdjęć naziemnych w geometrii w przypadku normalnego przy ich wykonaniu. Nie zaleca się natomiast wykonywać ortoobrazów z wykorzystaniem rejestracji intensywności odbicia promienia lasera, gdyż są one jedynie obrazem w zakresie spektrum bliskiej podczerwieni. Przeprowadzone badania udowadniają również, że rozdzielczość geometryczna, a w konsekwencji możliwa wielkość piksela tworzonego ortoobrazu i jego rozmycie mają

znaczący wpływ na tworzenie produktu wektorowego w zastosowaniach architektonicznych. Zarówno manualna jak i automatyczna wektoryzacja przebiega dużo lepiej, gdy dane źródłowe posiadają wyższą rozdzielczość geometryczną. W przypadku konieczności wykonywania wektoryzacji wskazane jest wykorzystanie algorytmów do automatycznej ekstrakcji danych wektorowych, gdzie dobre wyniki można uzyskać wykorzystując algorytm Canny'ego.

BIBLIOGRAFIA

Böhm J., (2005). *Terrestrial laser scanning - a supplementary approach for 3D documentation and animation*. Photogrammetric Week '05, Wichmann, Heidelberg, 2005.

Böhm, J., Becker, S., Halla, N. (2007), *Model refinement by integrated processing of laser scanning and photogrammetry*. International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences Vol. XXXVI-5/W47;

Boroń A., Pastucha E. (2012), Metoda opracowywania ultrawysokorozdzielczych ortofotoplanów zabytkowych polichromii z wykorzystaniem zdjęć o różnej rozdzielczości, *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji* vol. 24, s. 53-62

Bujakiewicz A., Kowalczyk M., Podlasiak P., Zawieska D. (2006). 'Calibration of Very Close Range Digital Cameras' (w jęz. ang.). *Kwartalnik PAN 'Geodezja i Kartografia'* Vol. 55, No. 2,

Canny, J. (1986), *A Computational Approach To Edge Detection*, IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, 8, s. 679-714

Guarnieri, A., Vettorea, A., El-Hakim B, S., Gonzoc L., (2004). *Digital photogrammetry and laser scanning in cultural heritage survey*, International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Volume XXXV, B5 Commission V, Istambul

Guarnieri A., Remondino F., Vettore A. (2006). *Digital photogrammetry and TLS data fusion applied to cultural heritage 3D Modeling*. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. XXXVI, Part 5. Dresden.

Habrouk H.E., Li X.P., Faig W., (1996): *Determination of Geometric Characteristics of a Digital Camera by Self-Calibration*, International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. XXXI, Part B1, Vienna,

Kadobayashi R., Kochi N., Otani H., Furukawa, R., (2004). *Comparison and evaluation of laser Scanning and photogrammetry and their combined use for digital recording of cultural heritage*. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Volume XXXV, B5 Com. V, Istambul

Karara H.M. (1972). Simple Cameras for Close-Range Applications. *Photogrammetric Engineering*, Vol. XXXVIII, No. 5.

Tokarczyk R., Brodzińska M. (2003). *Fotogrametryczna rekonstrukcja odwachu na rynku w Krakowie na podstawie zdjęć archiwalnych*. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, vol. 13a, s. 467-475

ANALYSIS OF SOURCE DATA RESOLUTION ON PHOTOGRAMMETRIC PRODUCTS QUALITY OF ARCHITECTURAL OBJECT

KEY WORDS: data integration, close range laser scanning, terrestrial digital photos, true-ortho, vector product, geometric resolution

Summary

Due to considerable development of the non-invasion measurement technologies, taking advantages from the distance measurement, the possibility of data acquisition increased and at the same time the measurement period has been reduced. This, by combination of close range laser scanning data and images, enabled the wider expansion of photogrammetric methods effectiveness in registration and analysis of cultural heritage objects. Mentioned integration allows acquisition of objects three-dimensional models and in addition digital image maps – true-ortho and vector products. The quality of photogrammetric products is defined by accuracy and the range of content, therefore by number and the minuteness of detail. That always depends on initial data geometrical resolution.

The research results presented in the following paper concern the quality valuation of two products, image of true-ortho and vector data, created for selected parts of architectural object. Source data is represented by point collection in cloud, acquired from close range laser scanning and photo images. Both data collections has been acquired with diversified resolutions. The exterior orientation of images and several versions of the true-ortho are based on numeric models of the object, acquired with specified resolutions. The comparison of these products gives the opportunity to rate the influence of initial data resolution on their quality (accuracy, information volume). Additional analysis will be performed on the base of vector products comparison, acquired from monoplotted and true-ortho images. As a conclusion of experiment it was proved that geometric resolution has significant impact on the possibility of generation and on the accuracy of relative orientation TLS scans. If creation of high-resolution products is considered, scanning resolution of about 2 mm should be applied and in case of architecture details - 1 mm. It was also noted that scanning angle and object structure has significant influence on accuracy and completeness of the data. For creation of true-orthoimages for architecture purposes high-resolution ground-based images in geometry close to normal case are recommended to improve their quality. The use of grayscale true-orthoimages with values from scanner intensity is not advised. Presented research proved also that accuracy of manual and automated vectorisation results depend significantly on the resolution of the generated orthoimages (scans and images resolution) and mainly of blur effect and possible pixel size.

Jakub Stefan Markiewicz, Michał Kowalczyk, Piotr Podlasiak, Krzysztof Bakula, Dorota Zawieska,
Aleksandra Bujakiewicz, Elżbieta Andrzejewska

Dane autorów:

mgr inż. Jakub Markiewicz
j.markiewicz@wp.eu
telefon: 222347694

dr inż. Michał Kowalczyk
e-mail: mikowalczyk@wp.pl
telefon: 222347694

dr inż. Piotr Podlasiak
e-mail: podlasiak@wp.pl
telefon: 222347694

mgr inż. Krzysztof Bakula
e-mail: k.bakula@gik.pw.edu.pl
telefon: 222347694

dr inż. Dorota Zawieska
e-mail: dorotaz8@wp.pl
telefon: 222347694

prof. dr hab. inż. Aleksandra Bujakiewicz
e-mail: abujak7@wp.pl
telefon: 222347694

inż. Elżbieta Andrzejewska
e-mail: e.andrzejewska@op.pl
telefon: 22234769