

**OPRACOWANIE ORTOFOTO OBIEKTU ZABYTKOWEGO METODAMI
FOTOGRAMETRII BLISKIEGO ZASIĘGU Z WYKORZYSTANIEM
NAZIEMNEGO SKANINGU LASEROWEGO**

**GENERATION OF ORTHOPHOTOS OF HISTORIC STRUCTURES USING
CLOSE RANGE PHOTOGRAMMETRY AND TERRESTRIAL LASER SCANNING**

Michał Kędzierski, Michalina Wilińska, Anna Fryśkowska

Zakład Teledetekcji i Fotogrametrii, Wydział Inżynierii Lądowej i Geodezji,
Wojskowa Akademia Techniczna

SŁOWA KLUCZOWE: fotogrametria bliskiego zasięgu, ortofoto, naziemny skaningu laserowy, model 3D, dokumentacja architektoniczna

STRESZCZENIE: W Polsce zasady inwentaryzacji architektonicznej regulują wytyczne techniczne G-3.4 sprzed 30 lat. Określają one, jakie materiały i informacje o aktualnym stanie obiektu są wymagane i niezbędne w pracach projektowych i technicznych służących ochronie zabytków. Jednym z takich opracowań jest rysunek wektorowy tworzony na podstawie opracowania fotogrametrycznego w postaci ortoobrazu. Jest to jednak proces długotrwały, w którym czas wykonania produktu końcowego wzrasta wraz ze stopniem szczegółowości obiektu. Podstawową trudnością takiego opracowania jest wygenerowanie prawidłowego modelu 3D obiektu. Przedmiotem pomiarów był kościół Św. Anny w Warszawie. Prace badawcze podzielone zostały na dwa etapy – opracowanie sklepień nawy głównej oraz elewacji kościoła. W przypadku sklepień kolebkowych, w pierwszej kolejności do transformacji obrazów wykorzystano metodę DLT (ang. *Direct Linear Transformation*). Drugie podejście opierało się na przeprowadzeniu terratriangulacji stereopar metodą wiązek i utworzeniu Numerycznych Modeli Powierzchni Obiektu (NMPO) dwoma sposobami – na podstawie zorientowanych stereopar oraz z wykorzystaniem chmury punktów pozyskanej ze skaningu laserowego. Następnie na podstawie obu modeli wygenerowano ortoobrazy. Fasadę kościoła opracowano w podobny sposób, również z wykorzystaniem NMPO utworzonych różnymi metodami. Na podstawie przeprowadzonych badań można stwierdzić, że praktycznie nie ma możliwości wygenerowania prawidłowego modelu 3D obiektu zabytkowego o skomplikowanym kształcie metodą w pełni automatyczną. Metody półautomatyczne również nie są korzystnym sposobem, ze względu na długi czas opracowania. Dlatego też zastosowanie modelu 3D pochodzącego z naziemnego skaningu laserowego jest optymalnym rozwiązaniem, które umożliwia znaczne ograniczenie czasu pracy i prawidłowe przeprowadzenie procesu ortorektifikacji.

1. WPROWADZENIE

Jednym z wielu zastosowań fotogrametrii jest możliwość wykorzystania niektórych jej metod do opracowania dokumentacji architektonicznej obiektów zabytkowych. Podstawowym produktem fotogrametrycznym wykorzystywanym do tych celów jest ortoobraz. Wykonanie ortoobrazu obiektu zabytkowego nie jest pozbawione problemów. Podstawową trudnością takiego opracowania jest wykonanie prawidłowego modelu 3D obiektu. Modele

wygenerowanie automatycznie zawierają wiele błędów. Spowodowane są one nie tylko skomplikowanymi i szczegółowymi kształtami obiektów zabytkowych, powodującymi utrudnienia opracowania w miejscach przysłonięcia pewnych fragmentów obiektu innymi jego elementami, ale również niedoskonałością algorytmów tworzących modele. Zastosowanie modelu 3D pochodzącego z naziemnego skaningu laserowego umożliwia znaczne ograniczenie czasu pracy i prawidłowe przeprowadzenie procesu ortorektyfikacji. Na podstawie badań można stwierdzić, iż w wielu przypadkach, takie podejście pozwala na wyeliminowanie procesu pomiaru osnowy fotogrametrycznej tradycyjnymi metodami geodezyjnymi (Fryškowska *et al.* 2008).

2. POZYSKANIE DANYCH

Obiektem podlegającym pomiarom był zabytkowy kościół rzymskokatolicki pod wezwaniem Św. Anny, mieszczący się przy Krakowskim Przedmieściu 68, w Warszawie. Jest to jeden z najstarszych kościołów w stolicy oraz najstarszy przy Trakcie Królewskim. Powstał w roku 1454 z inicjatywy księżnej Anny. Widnieje on w rejestrze zabytków pod numerem 253/1.

Kościół Św. Anny posiada elementy aż czterech stylów architektonicznych, których wiele fragmentów nie zostało zniszczonych podczas II wojny światowej i zachowało się w oryginalnej postaci. W budowli odnajduje się fragmenty gotyckich przypór i murów, renesansowych kaplic, barokowy korpus i freski oraz klasycystyczną fasadę.

Pomierzone zostały fasada kościoła oraz sklepienie nawy głównej. W roku 2009 podczas prac remontowych torów tramwajowych na trasie W-Z, znajdującej się w bezpośrednim sąsiedztwie skarpy, na której posadowiona jest budowla, zaobserwowano niepokojące spękania na sklepieniach i murach kościoła. Zespół, w skład którego wchodził specjalista z dziedziny budownictwa i geodezji z Wojskowej Akademii Technicznej im. J. Dąbrowskiego, przeprowadził ekspertyzę wyżej wymienionego kościoła. W związku z powyższym, przeprowadzony został skaningu laserowy wnętrza i fasady obiektu. Dane te posłużyły do opracowania ortoobrazów sklepień kolebkowych oraz elewacji budynku – cennego materiału kartometrycznego.

Dane pomiarowe do opracowania ortoobrazów pozyskane zostały na początku lipca 2009 roku. Wykorzystano naziemny skaner laserowy *Leica ScanStation 2* oraz kamerę cyfrową *Kodak DCS 14n Pro*. *ScanStation 2* jest skanerem impulsowym, który osiąga dokładność wyznaczenia położenia punktu do 6 milimetrów i odległości do 4 milimetrów oraz zdolność zagęszczenia ścieżki skanowania poniżej 1 milimetra. Rozwiązanie to jest szczególnie przydatne przy precyzyjnych pomiarach niewielkich elementów architektonicznych i przemysłowych. *Kodak DCS 14n Pro* jest kamerą cyfrową z matrycą o wymiarach 36 mm × 24 mm i rozdzielczością 13,5 miliona pikseli (4500 × 3000 pikseli). Do wykonania zdjęć wykorzystano obiektyw firmy *Nikon* o długości ogniskowej 24 mm. Zdjęcia wykonane zostały z maksymalną rozdzielczością 13,5 megapikseli.

Oprócz specjalistycznego sprzętu do opracowania wykorzystano również oprogramowanie *Leica Geosystems HDS Cyclone 5.8*, kompatybilne ze skanerem *Leica ScanStation 2*. Aplikację wykorzystuje się w procesie pozyskiwania chmury punktów. Docelowo powstała ona na potrzeby opracowywania danych pochodzących ze skaningu naziemnego.

Innym wykorzystanym programem był *Image Master Pro* firmy *TOPCON*. Jest to oprogramowanie inżynierskie do obróbki zdjęć cyfrowych zarejestrowanych za pomocą aparatu cyfrowego (po jego wcześniejszym skalibrowaniu w odpowiednim module prog-

ramu). Dodatkowo aplikacja umożliwia połączenie tak opracowanych zdjęć z danymi pomiarowymi 3D pozyskanymi tachimetrem lub skanerem laserowym.

2.1. Pomiar wnętrza kościoła – sklepienia nawy głównej

Trójprzęsłowe sklepienie kolebkowe z żagielkami, podzielone gurtami wspartymi na przyściennych filarach, zeskanowano z trzech różnych stanowisk pomiarowych. Pomierzono również pięć tarcz celowniczych. Fragmenty chmur punktów przedstawiające tarcze wykorzystane zostały do późniejszej orientacji danych. Stanowiska usytuowano w środkowej części kościoła, wzdłuż nawy głównej, co zapewniło pełne pokrycie obiektu punktami pomiarowymi. Skanowanie przeprowadzono ze średnią rozdzielczością równą 1 centymetr.

W czasie, gdy skaner pozyskiwał chmurę punktów wykonano serię zdjęć niometryczną kamerą cyfrową *Kodak DCS 14n Pro*. Zdjęcia wykonywane były ze statywu, w zbliżonych warunkach oświetleniowych. Pozyskanie ostrych i poprawnych pod względem ekspozycji zdjęć wymagało użycia odpowiedniej konfiguracji parametrów.

Obrazy pozyskiwane były z płaszczyzny w przybliżeniu prostopadłej do stycznej na środku sklepienia łukowego. Zapewnione zostało wzajemne pokrycie zdjęć wynoszące minimum 60%. Miało to na celu utworzenie modelu stereoskopowego. Jednak ze względu na specyficzną budowę kościoła, sąsiednie zdjęcia pozyskiwano z bazy równej około 1÷2 metra, co przełożyło się na dość niekorzystny stosunek bazy (B/H) na poziomie $0.06 \div 0.13$.

2.2. Pomiar zewnętrznej części obiektu – fasady kościoła

Tak, jak w przypadku wnętrza kościoła, do opracowania wykorzystano chmury punktów pozyskane metodą naziemnego skaningu laserowego przez skaner *Leica ScanStation 2* oraz zdjęcia wykonane kamerą cyfrową *Kodak DCS 14n Pro*.

Zewnątrz kościoła zostało zeskanowane z dwóch różnych stanowisk pomiarowych. Pomierzono również cztery tarcze celownicze, a przedstawiające je fragmenty chmur punktów wykorzystane zostały w późniejszej orientacji danych. Stanowiska usytuowane zostały w odległości około 20 metrów od fasady, co zapewniło pełne pokrycie obiektu punktami pomiarowymi. Skanowanie przeprowadzono z rozdzielczością równą 2 centymetry.

Wykonano również serię stereoskopowych zdjęć obiektu. Obrazy pozyskiwane były z płaszczyzny równoległej do fasady, z sąsiadujących ze sobą stanowisk tworzących bazę tak, aby wzajemne pokrycie poprzeczne wynosiło minimum 60%. Stosunek bazy (B/H) wyniósł 0.98. Do opracowania wykorzystane zostały 4 zdjęcia tworzące 3 stereopary.

3. OPRACOWANIE POZYSKANYCH DANYCH – SKLEPIENIE NAWY GŁÓWNEJ KOŚCIOŁA

W pierwszej kolejności przeprowadzono rejestrację pozyskanych chmur punktów. Została ona wykonana w oprogramowaniu *Leica Geosystems HDS Cyclone 5.8*, metodą w pełni automatyczną, wykorzystującą punkty homologiczne w postaci pięciu tarcz celowniczych. Automatyczna rejestracja została zakończona z błędem $RMS = \pm 1$ mm, który określa dokładność dopasowania do siebie poszczególnych chmur punktów. Wyniki orientacji implikowane były odpowiednią liczbą tarcz celowniczych, dobrą ich widocznością oraz stabilnością położenia.

Po zakończeniu procesu rejestracji przystąpiono do wyboru fotopunktów służących do wykonania orientacji zdjęć. Wykorzystano do tego moduł *Cyclone VIEVER*, dzięki któremu

możemy dowolnie przeglądać zorientowaną chmurę punktów. Do poprawnego wygenerowania ortobrazu potrzebne były fotopunkty rozmieszczone możliwie równomiernie na całej powierzchni sklepienia kolebkowego. Wybrano 67 fotopunktów, które wykorzystano w późniejszym generowaniu ortobrazów przy użyciu oprogramowania *Image Master Pro* oraz *ERDAS IMAGINE 9.0*.

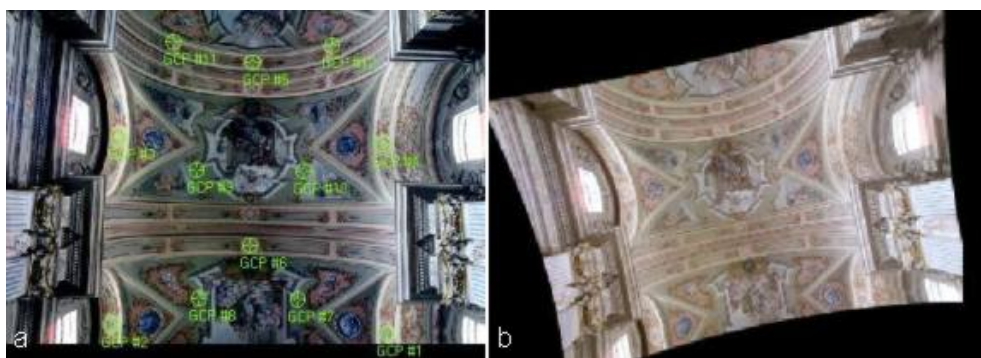
Dane ze skaningu laserowego posłużyły do wygenerowania szczegółowego modelu powierzchni sklepienia. Z zarejestrowanego środowiska skanowania wyeksportowano fragmenty chmury punktów pokrywające się z obszarem ujętym na zdjęciach. Następnie z wykorzystaniem aplikacji *Image Master Pro* dla każdego ortobrazu wygenerowano Numeryczny Model Powierzchni Obiektu w postaci siatki TIN (ang. *Triangular Irregular Network*).

3.1. Transformacja zobrazowań sklepień kolebkowych nawy głównej kościoła Św. Anny metodą DLT

Transformacja obrazów została wykonana przy użyciu oprogramowania *ERDAS IMAGINE 9.0*. Do opracowania zdjęć sklepień łukowych wykorzystano funkcję przekształcenia rzutowego przestrzeni na płaszczyznę, znaną jako bezpośrednia transformacja liniowa (DLT). *Pozwala ona na wyznaczenie parametrów pośrednio opisujących orientację zdjęcia bez znajomości przybliżeń tych elementów* (Tokarczuk, Brodzińska, 2003). Aby możliwe było obliczenie współczynników transformacji potrzebne jest minimum 6 fotopunktów o znanych współrzędnych przestrzennych X, Y, Z. Ich rozmieszczenie na powierzchni jednego ze sklepień łukowych przedstawiono na rysunku 1a.

Transformacja przeprowadzona została z błędem poniżej jednego piksela. Jednakże pomimo niewielkiej wartości błędu przetransformowany obraz nie został prawidłowo wygenerowany (Rys. 1b). Spowodowane jest to tym, iż DLT jest bardzo czuła na równomierny rozkład fotopunktów na powierzchni całego zdjęcia, a jak widać na rysunku 1a znajdują się one głównie w centralnym pasie obrazu.

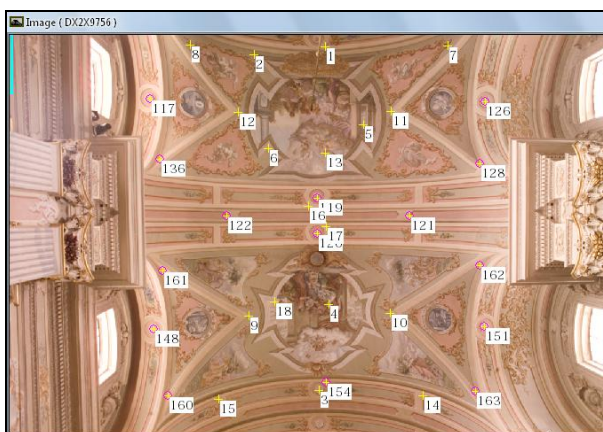
W celu sprawdzenia dokładności uzyskanych obrazów pomierzono na nich odległości poziome między punktami kontrolnymi, a następnie porównano je z tożsamymi odległościami obliczonymi ze współrzędnych. Na podstawie uzyskanych wyników można wnioskować, że transformacja DLT nie nadaje się do transformowania obrazów sklepień kolebkowych z żagielkami oraz innych do nich podobnych.



Rys. 1. a) Rozmieszczenie fotopunktów; b) Niepoprawnie przetransformowany obraz sklepienia nawy głównej

3.2. Orientacja stereopar sklepień kolebkowych nawy głównej kościoła Św. Anny z wykorzystaniem metody wiązek

Kolejną metodą było generowanie ortobrazów sklepień kolebkowych nawy głównej kościoła Św. Anny. Proces ten przeprowadzono w programie *Image Master Pro* opracowanym przez firmę *TOPCON*. Służy on między innymi do generowania ortobrazów i modeli 3D z wykorzystaniem obrazów pozyskanych za pomocą kamer metrycznych oraz niemetrycznych. Aplikacja realizuje proces terratriangulacji z wykorzystaniem metody wiązek.



Rys. 2. Rozmieszczenie fotopunktów i punktów wiążących podczas orientacji przykładowej stereopary

Rysunek 2 przedstawia rozmieszczenie fotopunktów i punktów wiążących. Uzyskane błędy orientacji nie przekroczyły 1 piksela, która to wartość mieści się w dopuszczalnych granicach. Również wartość paralaksy poprzecznej nie przekroczyła dopuszczalnej wartości 1 piksela (ma to znaczenie przy generowaniu Numerycznego Modelu Powierzchni Obiektu – NMPO z wykorzystaniem stereopary).

Wykorzystane zdjęcia wchodzące w skład stereopar zostały poprawnie zorientowane. Zestawienie wyników orientacji stereopar przedstawia tabela 1.

Tab. 1. Wynik orientacji stereopar

Stereopara	Paralaksa [piksel]	RMS [μm]	Liczba fotopunktów / punktów wiążących
1 – 2	0.93	7.2	13 / 23
2 – 3	1.00	7.8	14 / 36
3 – 4	0.95	7.4	15 / 18

Tab. 2. Średnie odchylenia standardowe i odchyłki maksymalne na fotopunktach

Stereopara	Odchylenie standardowe [mm]			Odchyłka maksymalna [mm]		
	SX	SY	SZ	DX	DY	DZ
1 – 2	12.6	15.6	5.0	27.6	-31.2	-12.7
2 – 3	14.8	18.0	7.4	-29.1	33.1	17.7
3 – 4	17.4	21.2	6.8	-31.9	-38.5	-11.7

W procesie orientacji obliczone zostały średnie odchylenia standardowe oraz odchyłki maksymalne na fotopunktach dla poszczególnych stereopar (Tab. 2). Dzięki temu mamy informację o tym, który z użytych przez nas fotopunktów obarczony jest największym błędem. Punkty takie były wykluczane z procesu orientacji.

3.3. Generowanie Numerycznego Modelu Powierzchni Obiektu – sklepienie nawy głównej kościoła

Generowanie Numerycznego Modelu Powierzchni Obiektu (NMPO) w programie *Image Master Pro* odbywać się może na dwa sposoby. Model TIN może zostać wygenerowany w oparciu o utworzoną stereoparę lub z wykorzystaniem chmury punktów pozyskanej ze skaningu laserowego.

W przypadku pierwszej metody dokładność modelu zależy w głównej mierze od błędów procesów orientacji i automatycznej korelacji obrazów, a także od samych zdjęć oraz od kształtu opracowywanego obiektu. (Cheng, Jin, 2006) Po zakończonym procesie terratriangulacji wygenerowano model TIN metodą automatyczną. Efekt nie był zadowalający i charakteryzował się znacznymi błędami.

Inna metoda generowania modelu TIN bazuje na zaimportowanej chmurze punktów, pozyskanej w wyniku skaningu laserowego i zorientowanej w układzie lokalnym skanera. Taki model wiernie i dokładnie aproksymuje powierzchnię obiektu. Metoda ta nie wymaga od użytkownika wykonywania skomplikowanych operacji i przeprowadzana jest automatycznie. Całość ogranicza się do wyboru parametrów generowania modelu.

Wygenerowany Numeryczny Model Powierzchni Obiektu poddany został analizie dokładności. Na podstawie punktów kontrolnych rozmieszczonych równomiernie na obszarze objętym opracowaniem określono błąd modelu na poziomie 12 milimetrów.

3.4. Generowanie ortoobrazów wnętrza kościoła

Po przeprowadzonym procesie orientacji, wykorzystując model TIN z danych z NSL (obszaru znajdującego się na danej stereoparze) wygenerowano ortoobrazy. Terenowa rozdzielczość obrazów wyjściowych wynosiła 1 centymetr, a rozdzielczość radiometryczna 24 bity (8 bit/kanał). Aby objąć cały obszar trójprześłowego sklepienia kolebkowego z żagielkami nawy kościoła Św. Anny wygenerowano 3 ortoobrazy. Przykładowy efekt przedstawiono na rysunku 3.

NMPO ze skaningu laserowego jest bardzo dobrą podstawą do generowania ortoobrazu. Dane uzyskane w wyniku skanowania okazują się być bardzo pożądane jako materiał wejściowy w procesie opracowania ortoobrazów obiektów zabytkowych. NMPO wygenerowany tą metodą może także posłużyć do wszelkiego rodzaju analiz przestrzennych oraz symulacji i przewidywań ewentualnych przemieszczeń na danym obszarze.

Po wygenerowaniu ortoobrazów dokonano analizy ich dokładności. Polegała ona na porównaniu odległości poziomych pomiędzy fotopunktami – odległości obliczonych ze współrzędnych oraz tożsamy odległości pomierzonych na ortoobrazie. Otrzymany błąd średni wyniósł ± 17 mm. Wartość ta jest nieznaczna i świadczy o walorach kartometrycznych wygenerowanych ortoobrazów. Otrzymane błędy świadczą o tym, że wygenerowane ortoobrazy spełniają warunek wymaganej dokładności (1-2 piksele).



Rys. 3. Ortoobraz sklepienia kolebkowego wygenerowany ze stereopary 1 – 2

4. OPRACOWANIE POZYSKANYCH DANYCH – FASADA KOŚCIOŁA

W przypadku wnętrza obiektu zabytkowego dokładniejszym rozwiązaniem okazało się wykorzystanie chmury punktów pozyskanej ze skaningu laserowego. Oprócz wnętrz obiektów zabytkowych metoda ta sprawdza się również dla elewacji budynków. (Kędzierski *et al.*, 2008)

Orientacja pozyskanych chmur punktów wykonana została tak, jak poprzednio, w oprogramowaniu *Leica Geosystems HDS Cyclone 5.8*. Rejestracja środowisk skanowania została przeprowadzona również metodą automatyczną wykorzystującą punkty homologiczne w postaci czterech tarcz celowniczych HDS. Wyniki automatycznej rejestracji były w pełni zadowalające, błąd średni wyniósł ± 36 milimetrów.

Zarejestrowane chmury punktów wykorzystano do wygenerowania modelu TIN powierzchni elewacji. Z połączonych skanów usunięto fragmenty chmur stanowiące otoczenie, jak np. przechodnie, samochody.

4.1. Orientacja stereopar elewacji kościoła Św. Anny z wykorzystaniem metody wiązek

Tak, jak w przypadku wnętrza kościoła, przeprowadzono proces terratriangulacji. Z tą jednak różnicą, że w opracowanej elewacji wykorzystano 4 zdjęcia do terratriangulacji,

a w przypadku łuków sklepienia opracowania dotyczyły pojedynczych stereopar. Błędy terratriangulacji zawierają się w granicach dopuszczalnych dla tego typu opracowania (Tab. 4). Wartość paralaksy poprzecznej dla poszczególnych stereopar (Tab. 3) również mieści się w dopuszczalnych granicach i nie przekracza wartości 1 piksela.

Tab. 3. Wyniki orientacji stereopar

Stereopara	Paralaksa [pix]	RMS [μm]	Liczba punktów wiążących
1 – 2	0.74	5.8	46
2 – 3	0.73	5.7	51
3 – 4	0.92	7.2	33

Tab. 4. Średnie odchylenia standardowe i odchyłki na fotopunktach

Wynik terratriangulacji dla 4 zdjęć	Odchylenie standardowe [mm]			Odchyłka maksymalna [mm]		
	SX	SY	SZ	DX	DY	DZ
	4.1	6.0	6.1	-9.2	14.1	13.3

4.2. Generowanie Numerycznego Modelu Powierzchni Obiektu elewacji kościoła

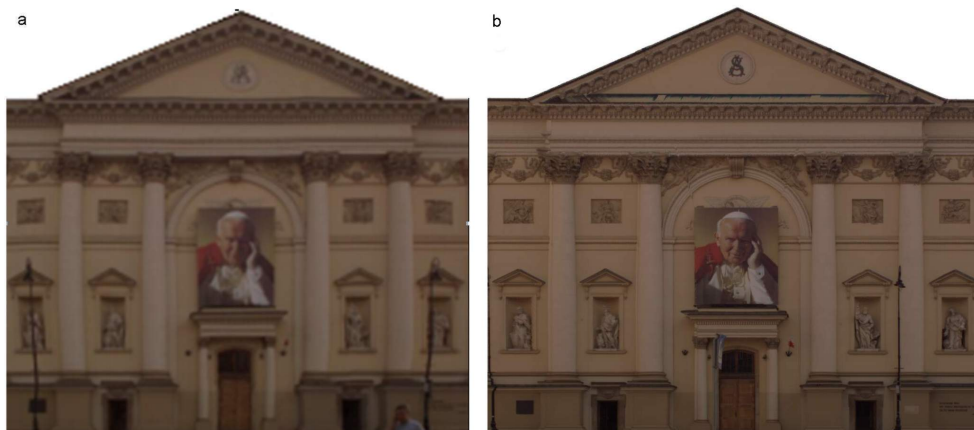
Generowanie Numerycznego Modelu Powierzchni elewacji kościoła przeprowadzono tak, jak w przypadku sklepień kolebkowych – w oparciu o utworzoną stereoparę oraz z wykorzystaniem chmury punktów pozyskanej ze skaningu laserowego.

W przypadku pierwszej metody, efekt nie był zadowalający i charakteryzował się licznymi błędami. Na podstawie przeprowadzonych badań można wywnioskować, że błędy generowania NMPO są znaczące szczególnie w przypadku obiektów zabytkowych, które posiadają nieregularną elewację. Wygenerowanie modelu 3D fasady, w sytuacji braku zdjęć wykonanych z różnej wysokości, a tylko z poziomu przyziemia, jest procesem trudnym i obciążonym dużymi błędami. Te zaś spowodowane są brakiem widoczności na obrazie elementów obiektu zasłoniętych przez wystające fragmenty budowli. Również przy zastosowaniu klasycznego obiektywu problemy takie będą występowały. W tych sytuacjach powinno się wspomóc generowanie modelu 3D zaznaczeniem obszarów płaskich i krawędzi elementów elewacji oraz wyłączeniem z procesu generowania modelu 3D fragmentów takich jak na przykład szyby.

Numeryczny Model Powierzchni Obiektu wygenerowany na podstawie chmury punktów okazał się o wiele dokładniejszy i bardziej szczegółowy, w porównaniu z modelem utworzonym na podstawie zorientowanych stereopar. Z wykorzystaniem punktów kontrolnych rozmieszczonych równomiernie na obszarze objętym opracowaniem przeprowadzono analizę dokładności. W jej wyniku określono błąd modelu na poziomie 20 milimetrów.

4.3. Generowanie ortoobrazów elewacji kościoła

Ortoobrazy zostały wygenerowane dwiema metodami: z wykorzystaniem Numerycznego Modelu Powierzchni Obiektu utworzonego ze stereopary oraz siatki TIN pozyskanej z chmury punktów ze skaningu laserowego.



Rys. 4. a) Ortoobraz wygenerowany na podstawie modelu opracowanego ze stereopary zdjęć cyfrowych; b) Ortoobraz wygenerowany na podstawie modelu ze skaningu laserowego

W pierwszym przypadku, ortobraz nie został wygenerowany prawidłowo (Rys. 4a). Błędy szczególnie uwidaczniają się w odwzorowaniu elementów konstrukcyjnych fasady, jak np. kolumn. Natomiast w przypadku wygenerowania ortobrazu z wykorzystaniem modelu ze skaningu laserowego (Rys. 4b) wynik jest w pełni zadowalający, zachowujący własności geometryczne fasady, co można stwierdzić na podstawie elementów charakterystycznych elewacji.

4. PODSUMOWANIE

Prace prowadzone przez nasz zespół miały charakter dokumentacyjny – dotyczący pęknięć i szczelin. Dlatego też dokładność wyznaczenia ewentualnych zmian obiektu w określonym czasie była bardzo istotna. Wymagało to opracowania metody generowania dokładnych i szczegółowych ortobrazów obiektów o skomplikowanej strukturze, na których dokonać można wiarygodnych pomiarów.

W wyniku przeprowadzonych prac można stwierdzić, iż wykorzystanie danych z naziemnego skaningu laserowego w procesie generowania ortobrazów obiektów zabytkowych o skomplikowanym kształcie jest niezbędne. Chmura punktów jest dokładniejszą podstawą do generowania ortobrazów niż stereopary oraz eliminuje konieczność pomiaru fotopunktów tradycyjnymi metodami geodezyjnymi, co znacznie skraca czas tworzenia ortofotomap obiektu.

Warto zauważyć, że wykonanie skaningu elewacji wraz z wyborem fotopunktów, przeprowadzeniem terratriangulacji i wygenerowaniem ortobrazów odbyło się na miejscu pomiarów i trwało około 3 godzin, co okazało się bardzo korzystnym czasem z uwagi na potrzeby architektów.

5. LITERATURA

Altuntas C., Yildiz F., Karabork H., Yakar M., Karaska L., 2007. Surveying and documentation od detailed historical heritage by laser scanning, *XXI International CIPA Symposium*, 01-06 October 2007, Athens, Greece.

Cheng X.J. Jin W., 2006. Study on Reverse Engineering oh Historical Architecture Based on 3D Laser Scanner, *Journal of Physics: Conference Series 48*, s. 843–849, International Symposium on Instrumentation Science and Technology.

Fryškowska A., Kędzierski M., Walczykowski P., Sanecki J., 2008. Laser scanning of cultural heritage objects, *Polish Journal of Environmental Studies*, ISSN 1230–1485, Vol. 17 No. 1C, str. 27–30.

Kędzierski M., Walczykowski P., Fryškowska A., 2008. Wybrane aspekty opracowania dokumentacji architektonicznej obiektów zabytkowych, *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, ISBN 978-83-61576-08-2, str. 221–230.

Przybilla H.-J., Peipe J., 2007. 3D modeling of heritage objects by fringe projection and laser scanning systems, *International CIPA Symposium*, 01-06 October 2007, Athens, Greece.

Tokarczyk R., Brodzińska M., 2003. Fotogrametryczna rekonstrukcja odwachu na Rynku w Krakowie na podstawie zdjęć archiwalnych, *Materiały Ogólnopolskiego Sympozjum Geoinformacji „Geoinformacja Zintegrowanym Narzędziem Badań Przestrzennych”*, Wrocław, 2003.

GENERATION OF ORTHOPHOTOS OF HISTORIC STRUCTURES USING CLOSE RANGE PHOTOGRAMMETRY AND TERRESTRIAL LASER SCANNING

KEY WORDS: close range photogrammetry, orthophoto, close range laser scanning, 3D model, architectural documentation

SUMMARY: In Poland there are some technical instructions that determine rules of creating architectural documentation. For example, a kind of information about a real object condition and other data necessary for further design works, etc. Very often, on the basis of photogrammetric products (like orthophoto) vectorial sketches are created. As we know, this process is very time-consuming, especially when the historic building has a lot of detail. The main problem here is generating a correct 3D model of the structure. Research has been conducted on the Saint Anna Church in Warsaw.

The work was divided into two stages: measurements of the nave vaulting and the church façade. When working with the barrel vaulting, the primary image transformation was conducted using the DLT (Direct Linear Transformation) method. A second approach was based on terratriangulation of image stereopairs and creating a Digital Surface Model by means of two methods: one based on oriented stereopairs and the other by using a point cloud acquired with a laser scanner. Orthoimages were then generated using both models. The church façade was measured in a similar way, using the Digital Surface Model obtained with both methods.

On the basis of our research we can say that practically there is no possibility to automatically generate accurate and correct 3D models of historic buildings (because of their complex shapes and dimensions). Semi-automatic methods require more time. Using 3D models from terrestrial laser scanning data (point clouds) enables significant time efficiency and generation of correct orthophotos.

mgr inż. Michalina Wilińska
e-mail: mwilinska@wat.edu.pl
telefon: +48 22 683 71 48
fax: +48 22 683 77 18

mgr inż. Anna Fryškowska
e-mail: afryskowska@wat.edu.pl
telefon: +48 22 683 71 48
fax: +48 22 683 77 18

dr hab. inż. Michał Kędzierski
e-mail: mkedzierski@wat.edu.pl
telefon: +48 22 683 77 18
fax: +48 22 683 77 18