

**WYBRANE ASPEKTY OPRACOWANIA DOKUMENTACJI  
ARCHITEKTONICZNEJ OBIEKTÓW ZABYTKOWYCH**

**SOME ASPECTS OF ARCHITECTURAL DOCUMENTATION OF CULTURAL  
HERITAGE OBJECTS**

**Michał Kędzierski, Piotr Walczykowski, Anna Fryškowska**

Zakład Teledetekcji i Fotogrametrii, Wojskowa Akademia Techniczna

**SŁOWA KLUCZOWE:** naziemny skaningu laserowy, dokumentacja architektoniczna, teksturowanie, modele 3D obiektów

**STRESZCZENIE:** Modele elewacji i rysunki wektorowe są często wykorzystywane przez architektów i konserwatorów zabytków do tworzenia dokumentacji architektonicznej zabytkowych obiektów sztuki sakralnej i świeckiej. Służą one jako informacja niezbędna do odtworzenia np. faktycznego i dokładnego stanu obiektu przed renowacją, stworzenia ortoobrazu obiektu lub bardzo dokładnych przekrojów. Ponadto, dane ze skaningu laserowego mogą być wykorzystane także do badania stanu uszkodzeń obiektów zabytkowych zarówno pod względem kształtu jak i ich struktury. Prace badawcze przeprowadzone zostały skanerem impulsowym na przykładzie jednego z warszawskich kościołów. W ramach projektu zostały zeskanowane: elewacja kościoła, główne sklepienie, ołtarze, ambona i organy. Skaningu fasady kościoła wykonano z rozdzielczością 7 mm, natomiast przy badaniach takich elementów jak sklepienie czy uszkodzenia ścian konieczne było zmniejszenie rozdzielczości poniżej 1 mm. Przeprowadzone badania pozwoliły określić np. szerokość szczeliny czy rysy, do jakiej jej pomiar jest możliwy (w naszym przypadku były to 2 mm), a także zamodelować uszkodzenia np. kolumny lub ściany oraz obliczyć powierzchnię i objętość ubytku. Wykorzystanie metody tarcz celowniczych do łączenia skanów umożliwiło wektorowe opracowanie elewacji kościoła z dokładnością rzędu 0.005 m. Błąd względny opracowania pozostawał na poziomie 1: 6000. W ramach prac wykonano teksturowanie obiektu, co jest szczególnie ważne wówczas, kiedy należy wykonać ortoobraz elewacji, rzeźb, fresków czy malowideł.

## **1. WPROWADZENIE - PROBLEMATYKA BADAŃ**

Dokumentacja architektoniczna obiektów zabytkowych jest niezbędna w pracach konserwatorskich, renowacyjnych, budowlanych czy architektonicznych. Aby przeprowadzić inwentaryzację architektoniczną obiektu zabytkowego niezbędne są materiały i informacje o jego aktualnym stanie, które umożliwią późniejsze ich wykorzystanie w pracach projektowych i technicznych służących ochronie zabytków. Spośród wielu aspektów tworzenia dokumentacji architektonicznej do najważniejszych można zaliczyć wykonanie ortoobrazu, trójwymiarowych modeli wraz z ich teksturowaniem, sporządzanie rysunków wektorowych czy przekrojów. Dotychczas najbardziej popularną techniką wykonywania takiej dokumentacji była fotogrametria bliskiego zasięgu wykorzystująca w klasycznym podejściu zdjęcia fotograficzne i tworzone na ich podstawie fotoplany, ortoobrazy czy rysunki wektorowe. Nowoczesną metodą

skracającą czas wykonania takich opracowań i podnoszącą zarazem ich dokładność jest naziemny skaning laserowy. Jest to obecnie jedyna tak precyzyjna technologia zapewniająca szybkie i bardzo szczegółowe stworzenie dokumentacji architektonicznej. W wyniku pomiaru skanerem laserowym uzyskuje się chmurę punktów o znanych współrzędnych przestrzennych X, Y i Z, a na ich podstawie można tworzyć trójwymiarowe modele badanych obiektów czy pozyskiwać informację o strukturze lub przemieszczeniu obiektu. Jednak czasami pojawiają się czynniki utrudniające przeprowadzenie pomiaru. Wówczas w niektórych przypadkach konieczne jest opracowanie odpowiedniej metodyki wykonywania tego typu prac. Problem ten jest szczególnie istotny zwłaszcza wtedy, gdy zachodzi konieczność wykonania dokładnego badania fragmentu obiektu lub jego całości w miejscu trudnodostępnym, odległym lub niebezpiecznym np. ruchliwe ulice. Oprócz prawidłowej metody i podejścia do techniki skaningu laserowego (zwłaszcza w przypadku badania specyficznych budynków czy rzeźb) bardzo cenną informacją dla wykonawcy skaningu jest charakterystyka i właściwości fizyczne materiałów z jakich wykonane są obiekty zabytkowe. Często warunkują one możliwość pomiaru i jego istotne parametry efektywności tj. użytkowy zasięg skanowania, kąt pod jakim wykonywane mogą być pomiary, a co za tym idzie minimalna i optymalna liczba stanowisk potrzebna do przeprowadzenia skaningu całego obiektu. W artykule przedstawione zostaną wyniki testów różnych surowców, z jakich mogą być stworzone obiekty zabytkowe, a także poruszona zostanie problematyka oceny stanu i jakości materiałów oraz metody pomiarów i teksturowania za pomocą skaningu laserowego.

## **2. TECHNOLOGIA SKANINGU LASEROWEGO**

Naziemny skaner laserowy Leica ScanStation2, którym wykonano pomiary jest uniwersalnym skanerem impulsowym o maksymalnym zasięgu do 250 metrów. Wysoka produktywność ScanStation2 jest zapewniona poprzez dużą dokładność wyznaczenia pozycji (6 mm), pomiaru odległości (4 mm), a przede wszystkim niespotykaną dotąd zdolność zagęszczenia ścieżki skanowania poniżej 1mm. Takie rozwiązanie jest szczególnie przydatne przy precyzyjnych pomiarach niewielkich elementów architektonicznych czy przemysłowych. Przewagą systemu jest również możliwość wizualnego umiejscowienia pojedynczego, specyficznego punktu czy wybranego elementu obiektu na badanej powierzchni i wykonanie bardzo dokładnego pomiaru tego elementu.

Wynikiem pomiarów danego obiektu z kilku stanowisk są pojedyncze skany złożone z chmur punktów o znanych współrzędnych przestrzennych. Wzajemna orientacja i łączenie skanów pozyskanych z różnych niezależnych stanowisk wykonywana jest podczas rejestracji skanów oraz postprocessingu. Rejestracja skanów może odbyć się poprzez manualne odnalezienie odpowiadających sobie szczegółów pomierzonych obiektów na pokrywających się obszarach skanów bądź w pełni automatycznie: przez wyszukiwanie punktów homologicznych w postaci sygnałów HDS czy na podstawie cech geometrycznych obiektów (powierzchni płaskich lub konturów obiektów). Przykładem takiego rozwiązania jest zaproponowany przez C. Brennera i C. Dolda (Brenner, *et al.*, 2007) algorytm orientacji wzajemnej skanów, który najpierw automatycznie wyróżnia powierzchnie płaskie w każdej osobnej chmurze punktów, a następnie przyporządkowuje sobie trójki takich elementów pomiędzy różnymi

zestawami pomierzonych danych. Służy to następnie do wyznaczenia składowych orientacji wzajemnej: rotacji i przesunięcia względem siebie wszystkich chmur punktów, tworzących skan danego obiektu. Matematycznie, sprowadza się to do wyznaczenia sześciu stopni swobody: najpierw macierzy rotacji  $R$  (zależność między punktami z dwóch skanów),

$$x_1 = R \cdot x_2 + t \quad (1)$$

a później wektora przesunięcia między punktami ( $t$ ), wykorzystując definicję płaszczyzny (wyznaczoną przez wektory normalne  $n, m, p$ ), analizę wektorów własnych ( $d, e, f$ ) oraz transformację:

$$\begin{bmatrix} n^T \\ m^T \\ p^T \end{bmatrix} \cdot t = \begin{bmatrix} d_1 - d_2 \\ e_1 - e_2 \\ f_1 - f_2 \end{bmatrix} \quad (2)$$

Takie podejście zapewnia równomierny rozkład błędu wyznaczenia wielkości kątowych orientacji pomiędzy dwoma odpowiadającymi sobie wektorami.

Rejestracja skanów może być przeprowadzona na podstawie tarcz celowniczych HDS, które przed pomiarem rozmieszczane są w taki sposób, aby widoczne były ze wszystkich stanowisk, albo na podstawie szczegółów terenowych i obiektowych, wspólnych dla łączonych skanów.

### 3. CHARAKTERYSTYKA MATERIAŁÓW I TEKSTUROWANIE

Informacja o intensywności odbitego sygnału może być źródłem informacji o stopniu zużycia lub uszkodzenia niektórych elementów fasad czy rzeźb, a także pomocą przy zaplanowaniu lokalizacji stanowisk i długości celowych. W związku z tym stworzone zostało pole testowe, umożliwiające przeprowadzenie oceny próbek materiałów takich jak cegła, gładź czy stal, z jakich mogą być wykonywane obiekty zabytkowe. Stworzone w tym celu pole testowe pozwoliło określić nie tylko użytkowy zasięg skanowania, czyli odległości na jakich możliwe jest dokonanie pomiaru, ale również położenie skanera ze względu na kąt padania wiązki lasera oraz rodzaju i struktury badanej powierzchni materiału.

Do badań wykorzystane zostały próbki materiałów z jakich mogą być wykonane obiekty zabytkowe: cegła, drewno, szkło witrażowe, gładź itp. badanych próbek (cegła, drewno i szkło witrażowe) i ich skan, przedstawione na rysunku 1.



Rys. 1. Przykłady badanych próbek (cegła, drewno i szkło witrażowe) i ich skan

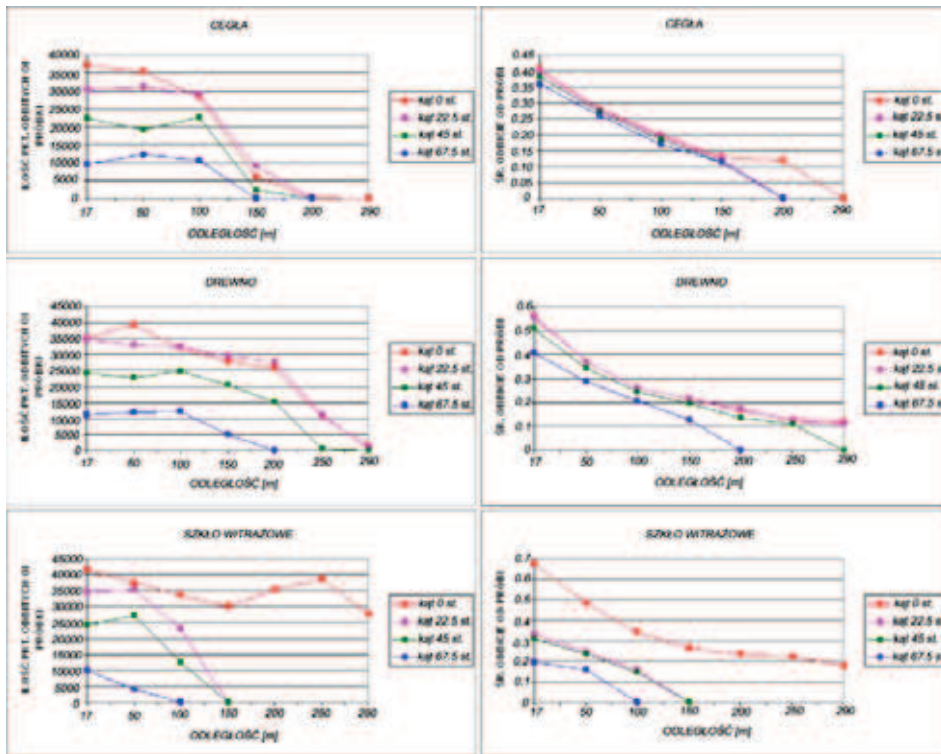
Pomiary testowe przeprowadzono na różnych odległościach badanych materiałów od skanera (17, 50, 100, 150, 200, 250, 290 metrów) oraz przy różnych kątach ustawienia próbek względem wiązki lasera (zmiana kąta co 22,5°). Minimalna odległość (17 m) wyznaczona została na podstawie dokładności pomiaru kierunku skanerem (60  $\mu$ rad). Gęstość ścieżki skanowania na poziomie 1 mm możliwa jest do osiągnięcia na odległości co najmniej 17 m.

Wyniki pomiarów pozwoliły obliczyć dokładną liczbę punktów zarejestrowanych przez skaner a także określić wartość intensywności odbicia wiązki na danej powierzchni.

Tabela 1. Liczba punktów odbitych od próbki wraz z intensywnością odbicia od przykładowych powierzchni: cegły, drewna i szkła witrażowego

Odległość (m)	Kąt (stopnie)	Cegła		Drewno		Szkło witrażowe	
		Liczba pkt. odbitych	Intensywn. odbicia	Liczba pkt. odbitych	Intensywn. odbicia	Liczba pkt. odbitych	Intensywn. odbicia
17	0	37213	0,4049	35153	0,5598	41402	0,6769
	22,5	30440	0,3981	34637	0,5558	34461	0,3297
	45	22385	0,3838	24245	0,5054	24396	0,3087
	67,5	9600	0,3587	11104	0,4065	9837	0,1966
50	0	35320	0,2816	39500	0,3685	37298	0,4875
	22,5	31279	0,2780	33040	0,3689	35470	0,2444
	45	19271	0,2723	22782	0,3411	27105	0,2348
	67,5	12283	0,2605	11971	0,2895	4134	0,1595
100	0	28394	0,1993	32239	0,2608	33726	0,3423
	22,5	29218	0,1957	32547	0,2609	23101	0,1573
	45	22623	0,1884	24832	0,2473	12511	0,1448
	67,5	10629	0,1693	12139	0,2059	0	0
200	0	241	0,1197	25817	0,1691	35384	0,2356
	22,5	0	0	27672	0,1702	0	0
	45	0	0	15164	0,1369	0	0
	67,5	0	0	0	0	0	0
290	0	0	0	1283	0,1195	27871	0,1767
	22,5	0	0	791	0,1125	0	0
	45 i 67.5	0	0	0	0	0	0

W tabeli 1 zamieszczone zostały wyniki przeprowadzonych badań tj. liczba punktów odbitych od próbki wraz z intensywnością odbicia. Natomiast pełna charakterystyka różnych materiałów przedstawiona jest na rysunku 2.



Rys. 2. Wykresy przedstawiające liczbę punktów odbitych oraz średnie intensywności odbicia od próbek aluminium i skorodowanej blachy stalowej

Dla trzech przykładowych materiałów: cegły, drewna i szkła witrażowego można zauważyć, że w przypadku, kiedy odległość od obiektu osiąga 100 m i dla wartości kątów obrócenia próbek tylko do 45° intensywność odbicia spada ponad dwukrotnie. Na odległościach powyżej 200 m, dla cegły i szkła liczba zarejestrowanych punktów spadła do zera, zatem nie można było zarejestrować intensywności odbicia, nawet dla niewielkich wartości kątów obrotu. Wynika stąd, że powierzchnie szklane i np. chromowane cechują się nie tylko zdolnościami odbicia prostopadłego promienia pomiarowego, ale także właściwościami rozpraszającymi, stąd utrudniony pomiar przy różnych kątach. Cele betonowe lub ceglane wymuszają skrócenie odległości skanowania do ok. 150 m oraz zwiększenia liczby stanowisk przy dobrych warunkach ekspozycji i sytuowania budynku lub pomnika. Zdecydowanie najlepszą charakterystykę intensywności odbicia z dalekiego zasięgu posiada drewno (i powierzchnie lekko chropowate), dla którego współczynnik intensywności odbicia spadł do zera dopiero przy odległości 290 m i większych obrotach próbki.

#### 4. POZYSKANIE DANYCH

Dane pozyskano podczas pomiarów jednego z zabytkowych kościołów w Warszawie oraz pomnika Fryderyka Chopina. Skaniny przeprowadzone zostały skanerem Leica ScanStation2. W ramach prac badawczych dotyczących elewacji

budynku zeskanowano takie obiekty jak: fasada kościoła, główne sklepienie, ołtarze, ambona i organy.

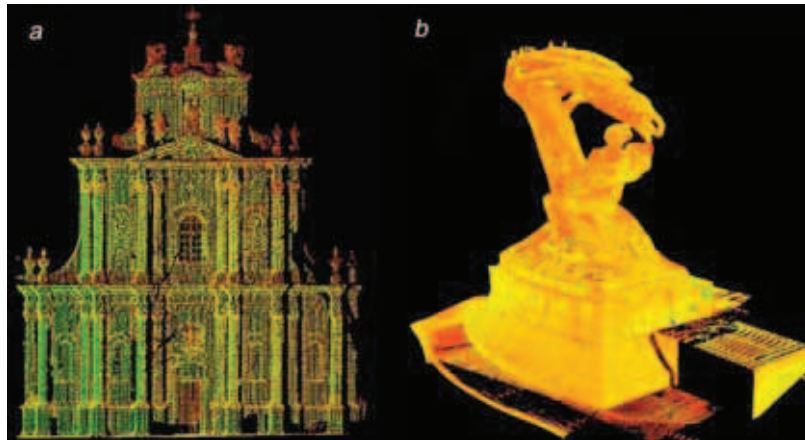
Elewacja kościoła pomierzona została z trzech stanowisk, których liczba i rozmieszczenie uwarunkowane zostało względami ekspozycji fasady, częściowo przysłoniętej drzewami i samochodami. Rozdzielczość skanowania dla ściany ustalona została na 7 mm na odległości od 10 do 50 m. W procesie automatycznej rejestracji obrazów (w oparciu o tarcze celownicze) wyznaczone zostały błędy na każdym punkcie (tarczy celowniczej), a średni błąd rejestracji wyniósł 0.004 m. Dokładność rejestracji i błędy na poszczególnych punktach sygnalizowanych przedstawione są w tabeli 2.

Tabela 2. Raport z rejestracji skanów elewacji kościoła

Nazwa punktu	ScanWorld ze stanowisk: 1,2,3	ScanWorld ze stanowisk: 1,2,3	Błąd śr. [m]	Wektor błędu [m]	Poz. [m]	Pion. [m]
TargetID: 10	ScanWorld 1	ScanWorld 2	0.002	(-0.001, -0.001, -0.001)	0.001	-0.001
TargetID: 12	ScanWorld 1	ScanWorld 2	0.001	(-0.001, -0.001, -0.000)	0.001	0.000
TargetID: 14	ScanWorld 1	ScanWorld 2	0.002	( 0.002, -0.001, -0.000)	0.002	0.000
TargetID: 10	ScanWorld 1	ScanWorld 3	0.003	( 0.001, -0.003, -0.001)	0.003	0.001
TargetID: 12	ScanWorld 1	ScanWorld 3	0.008	(-0.006, 0.005, 0.000)	0.008	0.000
TargetID: 14	ScanWorld 1	ScanWorld 3	0.005	( 0.005, -0.002, 0.000)	0.005	0.000
TargetID: 14	ScanWorld 2	ScanWorld 3	0.004	( 0.003, -0.003, 0.000)	0.004	0.000
TargetID: 12	ScanWorld 2	ScanWorld 3	0.007	(-0.005, 0.004, 0.000)	0.007	0.000
TargetID: 10	ScanWorld 2	ScanWorld 3	0.003	( 0.001, -0.002, 0.002)	0.002	0.002
TargetID: 11	ScanWorld 2	ScanWorld 3	0.004	( 0.002, 0.001, -0.003)	0.002	-0.003

Uwzględniając wyniki połączenia skanów (błąd średni rejestracji i pozostałe wektory błędów), a także precyzję pomiaru skanera, określono możliwą maksymalną dokładność wektorowego opracowania elewacji budynku rzędu 0.005 m i błędzie względnym 1 : 6000. Wektory błędów przedstawiają kolejne składowe całkowitego błędu średniego, a także błędy w poziomie i w pionie. Eksperyment pozwolił stwierdzić, że aby uzyskać poprawne i wiarygodne wyniki łączenia skanów i oszacowania jego dokładności konieczne jest zastosowanie co najmniej 5 (minimalna liczba to 3, co wynika z liczby parametrów w równaniu łączenia skanów), równomiernie rozmieszczonych w przestrzeni punktów sygnalizowanych.





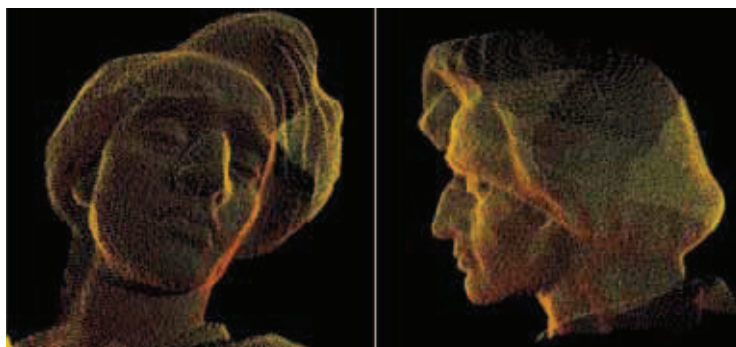
Rys. 3. a) Widok połączonych skanów elewacji kościoła (obraz zdegradowany) oraz b) pomnika Fryderyka Chopina

Podobne wyniki otrzymano podczas skaningu pomnika Fryderyka Chopina i rejestracji chmur punktów pozyskanych z czterech stanowisk. Rysunki 3a i 3b przedstawiają widoki połączonych skanów elewacji kościoła oraz pomnika Fryderyka Chopina. Rejestracja wykonana została jedynie na cztery tarcze celownicze. Korzystne rozmieszczenie stanowisk i marek pozwoliło na bardzo dokładne łączenie skanów (z błędem średnim na poziomie 0.002 m). Największymi błędami obarczone były łączenia skanów na tarczę, która skanowana była pod największym kątem w stosunku do promienia lasera.

## 5. WYNIKI OPRACOWANIA

### 5.1. Geometria i stan zniszczeń obiektu

Najczęściej pożądanymi informacjami dla architektów są: trójwymiarowa wizualizacja, geometria i jakość obiektu zabytkowego. Dzięki możliwości skanowania do 50 000 pkt/s odtworzenie tych właśnie cech zabytków w krótkim czasie nie jest już problemem. Rysunek 4 przedstawia przykładową wizualizację fragmentu pomnika. Cały obiekt reprezentowany jest przez chmurę ponad 5 mln punktów (rys. 3b). Jednak skanowanie laserowe nie jest pozbawione wad. Na wizualizacji figury widoczne są cienie i braki w informacji o obiekcie. Związane jest to ze skomplikowaną rzeźbą pomnika, a tym samym wzajemnym przysłonięciem pewnych jego elementów. Braki w danych występują także w górnych partiach monolitu.



Rys. 4. Chmura kilkudziesięciu tysięcy punktów przedstawiająca twarz Chopina

Do oceny stanu obiektu, wielkości jego uszkodzeń i pęknięć nawet w miejscach trudnodostępnych wykorzystano zdolność zagęszczenia ścieżki skanowania do 1 mm. Rysunki 5 i 6 przedstawiają wyniki pomiarów. Widoczne uszkodzenie kolumny zostało zamodelowane (rys. 6), a jego obliczona powierzchnia wyniosła ok. 1350 cm<sup>3</sup>.

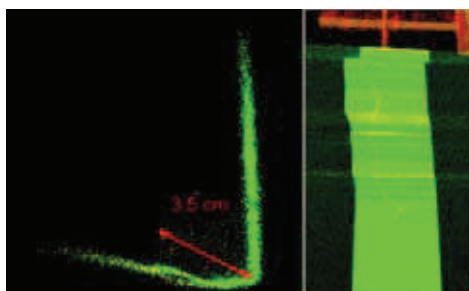


Rys. 5. Widok uszkodzenia kolumny (skan i zdjęcie)



Rys. 6. Model 3D uszkodzonej kolumny

W przypadku drugiego ubytku (rys. 7) jego kształt i głębokość można było wyznaczyć (z poziomem ufności 0,95) jedynie do momentu, gdy jego szerokość osiągnęła 2 mm. Poniżej tej wartości, z uwagi na właściwości lasera, możliwości określenia i pomiaru struktury wewnętrznej pęknięcia są ograniczone.



Rys.7. Fragment przekroju szczeliny. Wizualizacja przebiegu pęknięcia (maksymalna rozdzielczość skanowania)



## 5.2. Generowanie tekstury

Wszystkie materiały z jakich zbudowane są zabytki mogą być odzwierciedlona na modelach i chmurach punktów w postaci tekstur. Teksturę można stworzyć na podstawie zdjęć cyfrowych z wewnętrznej kamery skanera bądź z dowolnego aparatu cyfrowego. Takie połączenie aktywnych i pasywnych metod pozyskiwania danych (chmur punktów oraz obrazów) pozwala na stworzenie precyzyjnego i metrycznego modelu obiektów zabytkowych o szczególnie skomplikowanej i złożonej geometrii (sufity, łuki lub rzeźby – rys. 8). W literaturze można znaleźć różne podejścia do integracji danych obrazowych i chmury: transformacja odpowiadających sobie punktów obrazu do chmury i odwrotnie (Bornik et al., 2001; Karabork, 2007). Możemy wówczas uzyskać albo chmury punktów z przypisanymi do nich kolorami pikseli ze zdjęcia, albo ortoobrazy (Baumberg, 2002, Zhang, et al., 2006).



Rys. 8: Widok sklepienia kościoła z naniesioną teksturą

## 6. PODSUMOWANIE

W artykule przedstawione zostały wybrane aspekty dokumentacji architektonicznej obiektów zabytkowych oraz problemy pojawiające się podczas jej tworzenia. Zaproponowane rozwiązania takie jak: odpowiedni dobór metod rejestracji oraz parametrów skanowania w zależności od materiału czy stopnia uszkodzenia obiektu (szczelina nie węższa niż 2 mm), czy ograniczony użyteczny zasięg skanowania dla niektórych materiałów ( np. cegła czy szkło witrażowe) powinny być brane pod uwagę w pracach bazujących na danych pozyskanych impulsowym skanerem laserowym.

## 7. LITERATURA

Baumberg A., 2002. Blending images for texturing 3D models. *British Machine Vision Conference*, s. 404-413.

Bornik A., Kamer K., Bauer J., Leberl F., Mayer H., 2001. High quality texture reconstruction from multiple views. *Journal of Visualisation & Computer Animation*, 12(5), s. 263-276.

Brenner C., Dold C., 2007, Automatic relative orientation of terrestrial laser scans using planar structures and angle constraints. *ISPRS Workshop on Laser Scanning 2007 and SilviLaser 2007*, Espoo, Finland

Karabork H., Yildiz F. Yakar M., Altuntas, Karasaka L., 2007, Modeling and visualization using laser scanner in documentation of cultural heritage. *XXI international CIPA symposium*, Ateny

Kędzierski M. Walczykowski P., Fryškowska A., 2008, Skanowanie zabytków. *Skanery laserowe-dodatek do magazynu geoinformacyjnego GEODETA*, Warszawa

Zhang Y., Yana L., Lu X., 2006. Precise texture modeling with 3D laser scanning., *Geoinformatics 2006: Remotely Sensed Data and Information*, Proc. SPIE, vol. 6419.

### SOME ASPECTS OF ARCHITECTURAL DOCUMENTATION OF CULTURAL HERITAGE OBJECTS

KEY WORDS: terrestrial laser scanning, close range photogrammetry, architectural documentation, texturing, 3D models, cultural heritage

#### Summary

Façade models and vectorial sketches are used by architects and conservators in architectural documentation of cultural heritage objects of sacred and lay art. In most cases, the information thus obtained is very important information, particularly when it is desired to visualise the real and accurate condition of the object before it is renovated, or if it is necessary to generate orthophotos or very precise cross-sections. Furthermore, such data can be used also for examining damage to the shape or structure of cultural heritage objects. Very often, polychrome or ornamental elements of paintings or sculptures are damaged. Therefore, an attempt was made to assess the potential of a scanner not only for 3D model generation and visualisation, but also for determining the utility of such measurements in renovation or architectural works. We focused at investigating scanner precision and utility of <1 mm resolution where the objects were damaged or fractured. This approach turned out useful for measuring very small, singular architectural defects or bursts in places hard to reach.

The experiments performed made it possible to determine the width of crevices or scratches that were as small as 2 mm. In addition, a model of damage to a column was generated and the surface and volume of the column was calculated. The *Scan World* recording was used with the HDS target method, which provided a 5 mm accuracy of the vectorial model (the relative error was 1:6000). Another important aspect of architectural documentation is texture. It is particularly crucial when it is desired to take an orthophoto of a façade, of sculptures, frescoes, or paintings. The most modern scanners have an internal digital camera. However, for texturing an external KODAK DCS 14n Pro digital camera, with 4500 x 3000 pixels matrix and with 24 mm focal length lens was used. Based on the 7 homological points in both of the scan and he image, the error of fitting and texturing process was found to amount to 0.84 pixel.

dr inż. Michał Kędzierski  
e-mail: mkedzierski@wat.edu.pl  
tel./fax: +4822 6837718

dr inż. Piotr Walczykowski  
e-mail: pwalczykowski@wat.edu.pl  
tel./fax: +4822 6839021

mgr inż. Anna Fryškowska  
e-mail: afryskowska@wat.edu.pl  
tel./fax: +4822 6837148