



**Władysław Mierzwa, Antoni Rzonca**

**SKANOWANIE POWIERZCHNI JAKO NOWA METODA  
REJESTRACJI I INTERPRETACJI SZCZEGÓŁÓW  
ARCHITEKTONICZNYCH**

**SURFACE SCANNING AS A NEW METHOD OF RECORDING  
AND INTERPRETATION OF ARCHITECTURE DETAILS**

*Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, Wydział Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska, Zakład Fotogrametrii i Informatyki Teledetekcyjnej  
30-059 Kraków, al. Mickiewicza 30  
AGH University of Science and Technology, Faculty of Mining Geodesy and Environmental Engineering, Department of Photogrammetry and Remote Sensing Informatics  
30-059 Kraków, al. Mickiewicza 30*

**STRESZCZENIE:** W artykule przedstawiono metodę dokumentowania szczegółów architektonicznych opartą o wykonane automatycznie pomiary przestrzeni 3D tachimetrami zmotoryzowanymi lub skanerami laserowymi. Omówiono zalety i wady metody w porównaniu z dokumentacją wykonywaną metodą fotogrametryczną. Na dwóch przykładach pokazano możliwości interpretacji i prezentacji wyników.

**SŁOWA KLUCZOWE:** skanowanie 3D, inwentaryzacja architektoniczna, obraz cyfrowy

## **1. WSTĘP**

Tradycyjne opracowanie dokumentacji architektonicznej, ze względu na złożoność i bogactwo szczegółów wykonywane jest na ogół metodami fotogrametrycznymi. Wynik opracowania jest przedstawiany w postaci kreskowej jako obrys istotnych konturów lub w postaci fotomapy lub ortofotomapy. Opracowanie oparte jest na wykonanych stereogramach zdjęć metrycznych lub niemetrycznych i dalszym ich przetworzeniu na autografie lub fotogrametrycznej stacji cyfrowej.

W ostatnich kilku latach pojawiły się nowe możliwości technologiczne, które mogą być z powodzeniem wykorzystane w architektonicznych pracach inwentaryzacyjnych. Wiąże się to z wprowadzeniem do seryjnej produkcji instrumentów, które automatycznie rejestrują geometrię obiektów i w wyniku podają ich kształt zapisany w postaci numerycznego modelu powierzchni. Dzieli się one na dwie zasadnicze grupy. Pierwsza to tachimetry zmotoryzowane wyposażone w odpowiednie programy, druga – to skanery 3D. Technologia opisana poniżej może znaleźć zastosowanie w szerokiej gamie

prac. W artykule przedstawiono wykorzystanie metody do dokumentowania płasko-rzeźb oraz kamieniarki o jednorodnej barwie. Obiekt taki nie wymaga na ogół tworzenia dokumentacji w postaci barwnej fotomapy lub ortofotomapy.

## 2. INSTRUMENTY DO SKANOWANIA POWIERZCHNI

Instrumenty pozwalające na skanowanie powierzchni można podzielić na zasadnicze dwie grupy. Do pierwszej zaliczać się będą wszystkie tachimetry, które są zmotoryzowane, posiadają możliwość pomiaru bez reflektora i zaopatrzone są w odpowiedni program sterujący [1].

Przykładowymi instrumentami należącymi do tej grupy są tachimetry klasy TPS1100 produkowane przez firmę Leica Geosystem A.G wyposażone w motory i tryb pomiaru bez reflektora oznaczone TCRA/TCRM. Inne firmy również produkują przyrządy, które można zaliczyć do tej grupy np. Topcon seria GPT.

Do drugiej grupy natomiast należą przyrządy, które skonstruowane są do skanowania przestrzeni. Przykładowym tego typu instrumentem jest Cyrax 2500 firmy Cyra należącej do Leica Geosystems AG [2]. Pełny zestaw stanowi skaner oraz oprogramowanie. Podstawowe dane skanera Cyrax 2500 to: zakres kątowy  $40^{\circ} \times 40^{\circ}$ , wydajność 1000 pikiet na sekundę, dokładność pomiaru odległości przy 50-cio metrowej celowej  $\pm 2-3$  mm. Do sterowania pracą skanera służy program Cyclone. Służy on również do zarządzania danymi oraz automatycznego modelowania 3D. Dane wejściowe w postaci tzw. chmury punktów mogą być szybko konwertowane do rysunku wektorowego 3D i poddane zaawansowanej obróbce w programach AutoCAD lub MicroStation. Dane dotyczące każdego punktu nie tylko zawierają informacje na temat jego położenia, ale również na temat rodzaju powierzchni, odległości itd., gdyż w momencie pomiaru nie tylko rejestrowane są typowe obserwacje tachimetryczne, ale również intensywność światła odbitego. Pozwala to na wstępne, automatyczne wprowadzenie barw umownych, co znacznie zwiększa czytelność surowego modelu. Wynikiem pracy urządzenia jest model, a zarazem obraz obiektu (bez interpolacji, sztucznego wprowadzania cieni itp.).

Drugim skanerem o nieco odmiennej konstrukcji jest Callidus, produkowany przez firmę należącą do amerykańskiego Trimble'a [3]. Jest to skaner o sferycznym zakresie pomiaru do  $30^{\circ}$  poniżej horyzontu. Charakteryzuje się większą plamką pomiarową niż Cyrax oraz dokładnością pomiaru ok. 5 mm. Firma dostarcza także program 3D Extractor służący do orientacji wzajemnej – składania w jeden, spójny model – zeskanowanych scen.

Podsumowując ten skrócony opis dwóch skanerów należy podkreślić ich przewagę nad tachimetrem. Podstawowe zalety to nieporównywalnie wyższa wydajność, pomiar intensywności światła odbitego (automatyczne tworzenie quasifotografii), możliwość łatwego modelowania dzięki specjalnie do tego stworzonemu programowi. Aktualnie zauważa się wzrost zainteresowania tego typu urządzeniami. Powstają nowe konstrukcje, jak chociażby ostatnie modele Cyrax'ów, skanery kolejnej marki Riegl, Mensi czy Zf.

## 3. CHARAKTERYSTYKA METODY

Metoda demonstrowana przez autorów jest metodą pośrednią pomiędzy znanymi metodami geodezji inżynierskiej, a metodami fotogrametrii bliskiego zasięgu. Bowiem

wynikiem pracy tachimetru zmotoryzowanego, bądź skanera 3D jest numeryczny model powierzchni (NMP), który stanowi z jednej strony wynik pomiaru biegunowego, a z drugiej zaś strony jest pewnym rodzajem zobrazowania. Pomiar realizowany jest w regularnej siatce (lub na taką może być przetworzony) i może być traktowany jako raster. Wizualizacja może być przeprowadzana w różny sposób, jasności pikseli mogą odpowiadać na przykład głębokości punktów (ich odległości od płaszczyzny głównej obiektu) lub kątowi padania promieni od ustalonego źródła światła. Zatem dzięki pomiarowi geodezyjnemu otrzymujemy obraz cyfrowy płaskorzeźby w umownej skali barw lub szarości i co ważne, w rzucie ortogonalnym. Instrument pomiarowy zastosowany w ten sposób faktycznie jest systemem obrazującym.

Zastosowana metoda posiada dwie zalety. Pierwszą jest wykonanie pomiaru w sposób automatyczny. Rejestracja następuje samoczynnie według parametrów wprowadzonych przez operatora. Po wykonaniu czynności pomiarowych otrzymujemy gotowy model 3D. Drugą poważną zaletą jest wysoka dokładność produktu. Taki pomiar bezpośredni nie wymaga skomplikowanych prac przygotowawczych (osnowa), obliczeń ani innych czynności pomiarowo-obliczeniowych, które są źródłem błędów przypadkowych oraz systematycznych, a mogą być również okazją do omyłki. W stosunku do tradycyjnych metod bezpośrednich znaczącą zaletą jest wielka ilość regularnie pomierzonych, ze zbliżoną dokładnością punktów. W praktyce taka ilość pomiarów jest nieosiągalna dla operatora dysponującego zwykłym tachimetrem. Szczególnie, gdy zarysy i powierzchnia mierzona są nieregularne. Metoda skanowania powierzchni wymaga jedynie podstawowej wiedzy geodezyjnej: jak scentrować, spoziomować i zorientować instrument na punkcie. Podsumowując – metoda posiada podstawowe zalety technologii geodezyjnej oraz fotogrametrycznej. Posiada precyzję pomiaru bezpośredniego instrumentem dobrej klasy, oraz jednorodność dokładnościową i ilościową charakterystyczną dla pomiaru fotogrametrycznego.

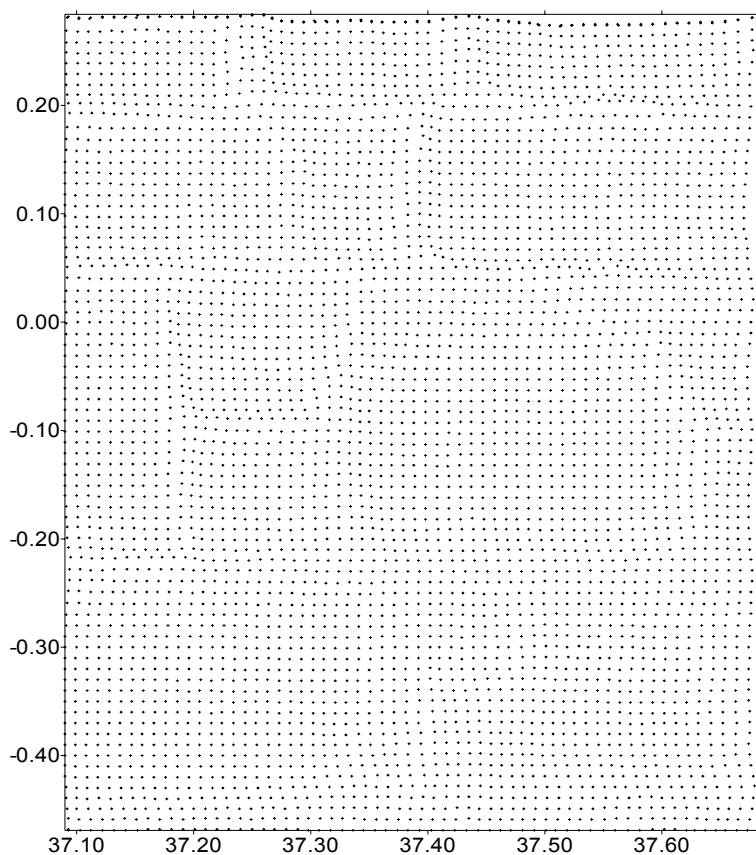
Na podstawie NMP można dokonywać dodatkowych analiz: prowadzić profile, interpolować warstwy, tworzyć rysunki 3D itp.

#### 4. PRACE TESTOWE

W pracach testowych został wykorzystany instrument firmy Leica typu TCRA 1102. Jest to tachimetr mogący pracować w dwóch trybach: z reflektorem (IR) oraz bez reflektora – RL – reflectorless. Z reflektorem osiąga dokładności pomiaru kąta  $\pm 6''$  oraz długości –  $\pm 2\text{mm} + 2\text{ppm}$  (pomiar do reflektora). Bez reflektora w zakresie 1.5 m–80 m producent podaje dokładność  $\pm 3\text{mm} + 2\text{ppm}$ . W praktyce okazuje się, że dokładność zależy od odległości, rodzaju powierzchni odbijającej oraz kierunku padania wiązki pomiarowej. Najlepsze własności posiada drewno lub kamień/beton, najgorsze – blacha. Zatem można zakładać, że pomiar kształtu płaskorzeźby powinien posiadać dokładność zbliżoną do danych fabrycznych. Instrument wyposażony jest w program *face scanning*. Użycie tego programu wymaga uprzedniego zorientowania instrumentu. Danymi wprowadzanymi do programu są wielkość oczka siatki w poziomie i pionie oraz numer punktu początkowego. Następnie należy wykonać dwa pomiary: wskazać górny lewy i dolny prawy narożnik obszaru skanowania. Wówczas instrument przystępuje do pracy. Wraca do górnego lewego narożnika i rozpoczyna pomiar skanując powierzchnię

w kierunku pionowym. Po zakończeniu na dole pierwszej linii pionowej przesuwamy się o jeden pion w prawo i rozpoczyna pomiar z dołu do góry. Taki system pracy zapewnia brak pustych przebiegów. Na wyświetlaczu pokazuje się numer aktualnie mierzonego punktu oraz przybliżony czas do zakończenia pracy. Szacunek ten jednak może wprowadzić w błąd, w praktyce pomiar wymaga dwa do trzech razy więcej czasu. Cykl pomiarowy (pomiar odległości, kąta HZ i V, zapis do pamięci, nacelowanie na punkt następny - obrót lunety i ewentualnie alidady) trwa 2–3 sekundy. Koniec pracy sygnalizowany jest dźwiękiem. Na karcie pamięci PCMCIA dane zapisane są we wcześniej określonym pliku. Każdemu punktowi przyporządkowany jest numer oraz – zgodnie ze zdefiniowaną maską – wyniki pomiarów oraz/lub współrzędne punktów w przyjętym układzie współrzędnych.

W celu wypróbowania tej nowej metody wykonano dwa pomiary powierzchniowe. Wybrano pola testowe: pierwsze to fragment kamiennego muru oporowego, drugie – fragment płaskorzeźby przedstawiającej orła z herbem górniczym na piersi. Oba obiekty są fragmentami Zameczku Prezydenckiego w Wiśle.

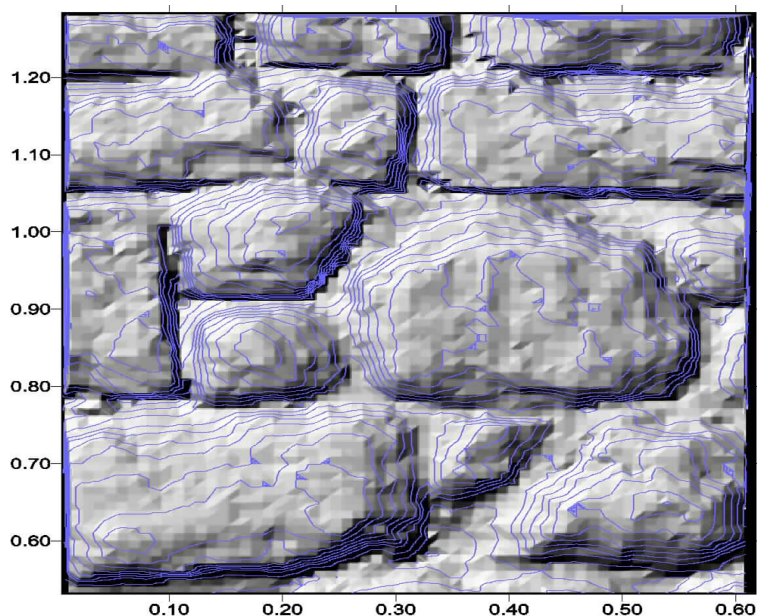


Rys. 1. Rozkład przestrzenny automatycznie pomierzonych punktów  
Fig. 1. Spatial distribution of automatically measured points

Pole „kamieniarka” ma wysokość 70 cm i szerokość 60 cm. Zostało pomierzone z założeniem oczka siatki 2cm na 2 cm. Pomiar trwał około 4 godzin. Wynikiem jest plik tekstowy zawierający współrzędne punktów – numeryczny model powierzchni. Na podstawie tego pliku przyjęto przybliżoną płaszczyznę opisującą powierzchnię muru i zgrubnie obliczono nachylenie tej płaszczyzny do płaszczyzn głównych układu lokalnego. Następnie dokonano transformacji doprowadzając numeryczny model do położenia równoległego do płaszczyzny XZ układu współrzędnych. Rozkład przestrzenny pomierzonych punktów pokazano na rys. 1. Punkty pomierzone w regularnej siatce na płaszczyźnie zrzutowane na nieregularną powierzchnię nie będą już tworzyły siatki regularnej. Uważna analiza nieregularności rozkładu punktów pozwala na odczytanie układu kamieniarki. Przetworzone wstępnie dane stanowiły plik wejściowy do programu *Golden Software Surfer*. Za jego pomocą wyinterpolowano siatkę regularną (*grid*) o większym zagęszczeniu oczek, która została poddana dalszym analizom. Wynikiem pierwszej jest mapa warstwicowa, którą nałożono na mapę reliefu w przyjętej skali (rys. 2). Mapa reliefu jest najbardziej realistyczną prezentacją. Dla porównania pokazano obraz fotograficzny. (rys. 3).

Należy zwrócić uwagę, że obraz ten jest wynikiem wizualizacji współrzędnych punktów. Punkty te leżą w przybliżeniu w jednej z płaszczyzn głównych układu współrzędnych. Wobec tego otrzymany obraz jest odpowiednikiem ortofotomapy – zaawansowanego produktu typowej technologii fotogrametrycznej.

Inną możliwością przedstawienia wyniku jest wygenerowanie obrazu w rzucie aksonometrycznym (rys. 4).

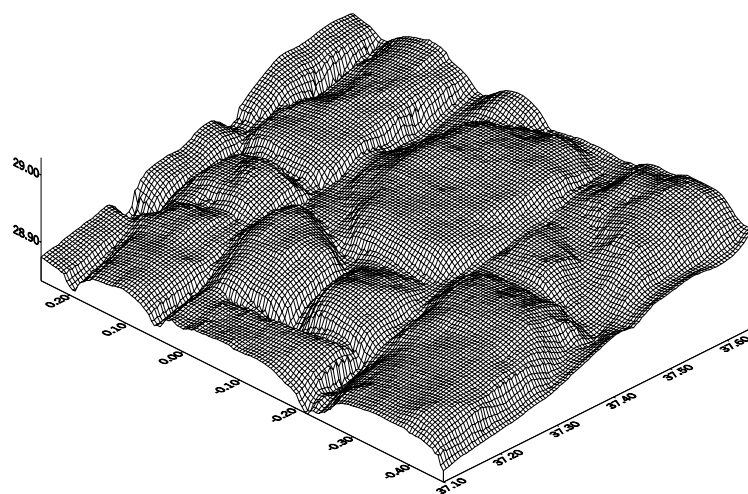


Rys. 2. Mapa reliefu z nałożonymi warstwicami

Fig. 2. Relief map with contour line overlaid

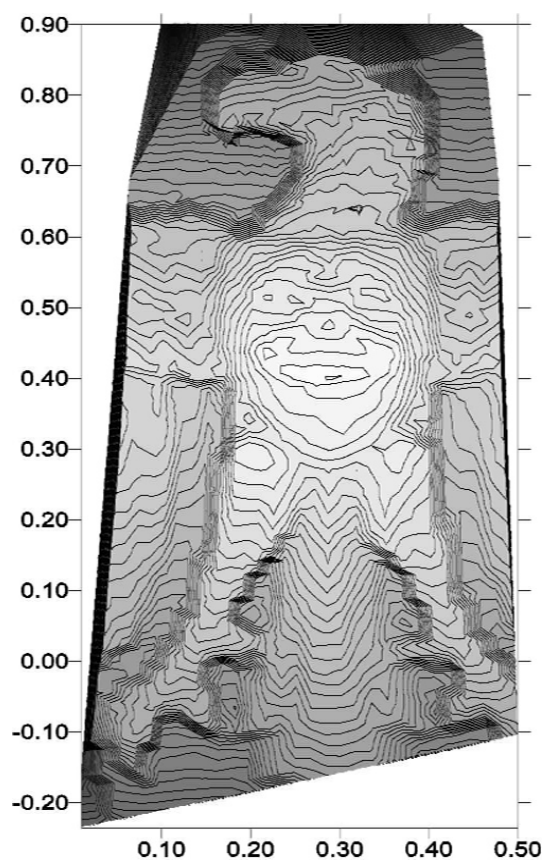


Rys. 3. Zdjęcie oryginalne wykonane techniką fotograficzną  
Fig. 3. The original photo



Rys. 4. Widok aksonometryczny kamieniarki  
Fig. 4. Axonometric view of stonewall

Drugie pole testowe to fragment płaskorzeźby o wymiarach: 90 cm wysokości i 50 cm szerokości skanowane w siatce  $1 \times 1$  cm. W wyniku pomiaru (czas pracy instrumentu – 4h) i pionowania modelu (jak w przypadku pola pierwszego) otrzymano mapę warstwicową z reliefem. (rys. 5).



Rys. 5. Mapa reliefu z warstwicami  
Fig. 5. Relief map with contour line overlaid

Na powyższych przykładach pokazano podstawowe produkty obróbki numerycznego modelu powierzchni. Istnieją naturalnie jeszcze inne możliwości analizowania modelu bądź obrazu cyfrowego. Można tu wymienić różne metody automatycznego filtrowania obrazu i ich wyniki: analiza spadków – mapy spadków, analizy topografii – mapy form topograficznych, wykrywanie obiektów liniowych – mapy kreskowe itd. Znajomość dokładnego i o wysokiej rozdzielczości numerycznego modelu powierzchni (oczko siatki kilku centymetrowe) potrzebna jest przy sporządzaniu metrycznej dokumentacji malowideł usytuowanych na niepłaskich powierzchniach, gdy wynik chcemy przedstawić w postaci rozwinięcia.

## 5. PODSUMOWANIE

Podsumowując te wyniki można powiedzieć, że pomierzony bezpośrednio NMP jest tworem z pogranicza geodezji i fotogrametrii. Kolejność pozyskiwania informacji jest odmienna, niż w przypadku fotogrametrii, gdzie na wstępie posiadamy zdjęcia (obrazy w rzucie środkowym – ze wszystkimi tego konsekwencjami – zniekształceniami), a potem, w rezultacie pomiaru, otrzymujemy model przestrzenny. Inaczej też jest w przypadku stosowania tradycyjnych metod geodezyjnych, które w swoim założeniu nie prowadzą do powstania zobrazowania, tylko mapy kreskowej. Natomiast wynik skanowania to zarazem model powierzchni i jej obraz. Dane po prostej transformacji przestrzennej wizualizuje się jako ortofoto w barwach umownych. W pracach, w których nie istotna jest barwa obiektu (jak w powyższych przykładach), metoda stanowi poważną alternatywę dla technologii cyfrowej fotogrametrii bliskiego zasięgu. Dotychczasowe doświadczenia ujawniły jedną poważną wadę: skanowanie obiektu za pomocą tachimetru zabiera zbyt dużo czasu. Można jedynie liczyć, że w przyszłości tachimetry będą efektywniejsze oraz upowszechni się stosowanie skanerów 3D, których wydajność jest obecnie znacznie wyższa.

## LITERATURA

- [1] Opracowanie redakcyjne. Rewia tachimetrów. Geodeta nr 12 (91), grudzień 2002
- [2] <http://www.cyra.com>
- [3] <http://www.trimble.com/callidus.html>

## SURFACE SCANNING AS A NEW METHOD OF RECORDING AND INTERPRETATION OF ARCHITECTURE DETAILS

### S u m m a r y

In the paper a method of architecture details documentation based on measured of 3d space by motorized tachymeters or laser scanner is described. Advantages and weaknesses of the method are discussed in comparison to close range photogrammetric method. Possibilities of result interpretation and presentation are shown on two samples.

KEY WORDS: 3D scanning, architecture details documentation, digital image

Recenzent: dr inż. Andrzej Wróbel, AGH Kraków