

Szymon Filipowski (sfilipowski@pk.edu.pl)

Zakład Geometrii Wykreślnej Rysunku Technicznego i Grafiki Inżynierskiej, Instytut Projektowania Budowlanego, Wydział Architektury, Politechnika Krakowska

Skaning laserowy w inwentaryzacji architektonicznej

– stosowane rozwiązania i propozycja udoskonalenia

Laser scanning in architectural surveying

– popular solutions and proposal for improvement

Streszczenie

Artykuł przedstawia zagadnienie skaningu laserowego jako narzędzia do inwentaryzacji architektonicznej. Obecne rozwiązania o wysokich osiągnięciach pod względem ilości pozyskiwanych danych, dokładności i szybkości działania, kierowane są przede wszystkim do użytku geodezyjnego. W pracy zaprezentowano nową metodę automatycznego, bieżącego inwentaryzowania obiektów architektonicznych dzięki wykorzystaniu ich charakterystycznych cech geometrycznych.

Słowa kluczowe: skaning laserowy, fotogrametria, inwentaryzacja architektoniczna

Abstract

The paper presents a usage of civil laser scanning systems in architecture. Nowadays high performance equipment in terms of data acquisition, accuracy and speed is primary dedicated for surveyors. A new method of automated, current inventories of architectural objects is presented by using their characteristic geometrical features.

Keywords: laser scanning, photogrammetry, architectural surveying

1. O INWENTARYZACJI ARCHITEKTONICZNEJ

Inwentaryzacja architektoniczna dotyczy obiektów zabytkowych i współczesnych w ujęciu całościowym oraz detali. Wykonuje się ją zarówno w celach badawczych, jak i do dalszego praktycznego wykorzystania w projekcie. Pojęcie inwentaryzacji w ochronie zabytków określane jest jako sporządzanie inwentarza (fr. *Inventarisation*). Polega ono na przedstawieniu wyglądu zabytku w formie obrazowej lub opisowej. Wyodrębnia się inwentaryzacje:

1) pomiarową — rysunki w skali sporządzone na podstawie pomiaru bezpośredniego; 2) geodezyjną — rysunki zabytku (np. grodziska, parku), zespołu zabytkowego lub zabytku z otoczeniem, sporządzone w skali na podstawie pomiaru wykonanego instrumentami mierniczymi; 3) fotogrametryczną — (– fotogrametria: technika sporządzania map oraz inwentaryzacji pomiarowych obiektów i przedmiotów na podstawie zdjęć płaskich lub przestrzennych (stereogramów), wykonywanych kamerą fotogrametryczną...¹

W powyższej definicji są określone niemal wszelkie typy inwentaryzacji stosowane w architekturze, jednak ze względu na czas wydania publikacji (1989 rok) nie uwzględniono w niej jeszcze skaningu laserowego i działań towarzyszących skaningowi. W inwentaryzacji ważne jest nie tylko wykonanie pomiarów, ale również interpretacja wyników, wymagająca wiedzy na temat prawdopodobnego powstania i metamorfozy obiektu.

Ze względu na sposób wykonywania pomiarów, inwentaryzację architektoniczną dzieli się na wykonaną bezpośrednio lub pośrednio. „Inwentaryzację architektoniczną przeprowadza się metodami pomiaru bezpośredniego lub pośredniego (fotogrametrycznie)”². Mowa tu o otrzymywaniu wyników bezpośrednio w trakcie pomiaru bądź przez pośrednie metody wiążące się z pewnym opóźnieniem w uzyskaniu końcowych rezultatów. Obecnie w inwentaryzacji architektonicznej stosuje się:

1. Metody tradycyjne – popularne wśród architektów i pracowników biur projektowych, z użyciem taśmy mierniczej i dalmierza laserowego. Można tu wymienić program Inwentaryzator, pracujący w środowisku ArCADia³ czy też niezależny program Ortograph⁴.
2. Tachimetrię – stosowaną przez biura projektowe w postaci narzędzi typu Leica 3D Disto⁵ czy uproszczone Leica s910⁶. Architekci do inwentaryzacji stosują również tachimetry takie jak FlexiJet z dodatkowym oprogramowaniem przyspieszającym pracę i umożliwiającym odtwarzanie obiektu w systemie BIM (Building Information Modelling)⁷. Ze względu na wysoką cenę takich produktów jak i konieczność posiadania wykwalifikowanej kadry pomiaru tachimetryczne przeważnie zlecane są geodetom.
3. Fotogrametrię – realizowaną przez architektów w uproszczonej wersji, dającej tylko orientacyjne wyniki. Stosowane jest różnego rodzaju oprogramowanie wspomagające ten proces. Można tu wymienić program 123DCatch⁸ automatycznie interpretujący serię obrazów czy też Sketchup⁹, gdzie model uzyskuje się przez „ręczne” przestrzenne obrysowanie zdjęcia prostokątnego obiektu. Zaawansowane techniki fotogrametryczne, prowadzą do bardzo precyzyjnych rezultatów. Dokładność opracowań stereometrycznych

dla 20 m i przy średnim nakładzie pracy wynosi $\pm 4 \text{ mm}^{10}$. Urządzenia tego typu stosowane są przez firmy o profilu geodezyjnym oraz wyspecjalizowane w miernictwie pracownie konserwacji zabytków.

- 4) Skaniny laserowe – mimo że, dają chmurę punktów, do uzyskania której oprócz świadomości relokacji nie jest potrzebna głębsza wiedza, to ze względu na kosztowne urządzenia nie jest standardem biur projektowych, tylko firm geodezyjnych. Oferuje natomiast precyzyjne wyniki i ilość danych z których można odczytać wiele informacji w trakcie interpretacji chmury punktów. Stosując w skanowaniu wysoką gęstość punktów pomiarowych uzyskuje się model z dokładnością 1–2 mm¹¹.

2. SKANING LASEROWY

Coraz większą popularność we współczesnej inwentaryzacji architektonicznej zdobywa skaniny laserowe.

Skaniny laserowe jest nowoczesną technologią pomiarową, która znajduje obecnie szerokie zastosowanie w wielu pracach inwentaryzacyjnych. Oprócz wykorzystania w archeologii, architekturze czy geografii, skanery laserowe są używane w pracach inżynierskich, np. do inwentaryzacji urządzeń w zakładach przemysłowych czy wyznaczania deformacji budowli inżynierskich, np. chłodni kominowych lub wież stalowych. Możliwości pomiarowe, jakie daje technologia skanowania laserowego, czynią ją bardzo uniwersalną. Dzięki nim stanowi ona aktualnie jeden z podstawowych sposobów pozyskiwania danych przestrzennych w celu opisu kształtu obiektów sztucznych i naturalnych o urozmaiconej geometrii. Zalety technologii skanowania laserowego są widoczne przede wszystkim w dużej prędkości pozyskiwania danych oraz wysokim stopniu zagęszczenia chmury punktów reprezentujących mierzoną powierzchnię. Ponadto dzięki pomiarowi bezreflektorowemu nie jest konieczny bezpośredni dostęp do obiektu ani jego oświetlenie. Szczególnie etap prac kameralnych ma znaczenie w tej technologii, gdyż wymaga pracy ze zbiorami danych o bardzo dużej liczności, sięgającej zwykle od kilkuset tysięcy do kilkuset milionów punktów¹².

Powyższe powoduje, że skaniny laserowe w architekturze kwalifikuje się do pośrednich metod inwentaryzacji, natomiast tam, gdzie chmura punktów jest wystarczająca na przykład do prezentacji, to skaniny można uznać za metodę bezpośrednią. W większości zastosowań inżynierskich docelowo jest model siatkowy, na którym można wykonać pomiary i analizy. Analiza danych obserwacyjnych z pomiaru kształtu powierzchni terenu wymaga utworzenia obiektu typu mesh (siatki) na podstawie danych dyskretnych i opisujących powierzchnię trójwymiarową. Zbiory danych tego typu mają tę przewagę nad chmurą punktów, że dają informację o dowolnym punkcie powierzchni na podstawie interpolacji w oparciu o dane obserwacyjne¹³.

Jak wskazano w przykładzie, sama chmura punktów na niewiele się zdaje do użytku inżyniera. Dla architektów zostało przygotowane specjalne oprogramowanie do ręcznego tworzenia obiektów w programie Revit na bazie punktów będących efektem skanowania na

skanerach FARO. Jest to program PointSense, który posiada również opcję automatycznego przypisywania do skojarzonych punktów z chmury obiektów BIM, takich jak ściany, a następnie tworzenia rzutów, przekrojów¹⁴.

Laserowe skanery naziemne dzielą się na skanery typu LIDAR oraz skanery optyczne (Boehler, Marbs, 2002). Skanery typu LIDAR (zwane też time-of-flight) działają na zasadzie biegunowego pomiaru położenia punktów. Wiązka laserowa jest wysyłana pod zadaniem kątem poziomym i pionowym, a mierzony czas przelotu do obiektu i czas powrotu po odbiciu od obiektu jest przeliczany na odległość. Skanery triangulacyjne wysyłają z projektora promieniowanie pod zmiennym kątem, wiązka odbita od obiektu pada na matrycę CCD umieszczoną w obiektywie, który oddalony jest od projektora o znaną wielkość i bazę. Na podstawie kąta emisji realizowanego przez obrotowy pryzmat, znajomości długości bazy oraz miejsca rejestracji powracającego promienia następuje rozwiązanie trójkąta i wyznaczenie współrzędnych położenia wierzchołka. Natomiast skanery światła strukturalnego oświetlają obiekt poruszającymi się paskami lub punktami. Kamera rejestruje obraz pasków lub punktów, który z racji kształtu obiektu jest zniekształcony i porównuje go z wzorcem. Odształcenie się rzutowanego, ruchoмого obrazu służy do wnioskowania na temat geometrii mierzonego obiektu. Pomiar ciągły geometrii prowadzi często do automatycznego powstania siatki trójkątów TIN¹⁵.

W inwentaryzacji dobrze sprawdzają się metody łączone, tak jak zaproponowana przez zespół toruńskich badaczy

jest metodą pośrednią pomiędzy znanymi metodami geodezji inżynierskiej, a metodami fotogrametrii bliskiego zasięgu. BOWIEM WYNIKEM 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 RASTER¹⁶.

Znaczącym problemem w skaningu laserowym i tachimetrii laserowej są błędy pomiaru w narożnikach – zarówno tych wypukłych jak i wklęsłych.

Należy zachować szczególną ostrożność podczas pomiaru narożników ścian. Koniecznym jest, aby wiązka lasera w całym swym przekroju odbijała się od bliskiego otoczenia mierzonego punktu. Jeżeli część wiązki omija cel i odbija się w innej odległości można spodziewać się dużych błędów. Stwierdzono częste występowanie błędów rzędu kilkudziesięciu milimetrów, a czasami nawet kilkudziesięciu centymetrów¹⁷.

Zarówno oprogramowanie do skanerów Faro, jak i opatentowane przez Leica Geosystems sposoby odszukiwania granic obiektów i krawędzi oraz automatycznego obrysowania widocznej krawędzi działają na gotowej chmurze punktów czyli po zeskanowaniu¹⁸. Skaner równomiernie (pod względem kąta) pokrywa przestrzeń wiązką lasera mierzącą odległość. Leica Geosystems podejmowało też próby odszukiwania krawędzi poprzez gęstsze próbkowanie w miejscu, które na fotografii wskazywało na krawędź – ciemniejsze miejsce ujęcia będące wklęsłym narożnikiem. Jednak warunki świetlne i możliwa kolorystyka mierzonego obiektu nie dają jednoznacznej informacji o występowaniu krawędzi. Rozwiązanie wymagałoby fotogrametrii jednoobrazkowej, która w czasach swojej świetności była stosowana do odtwarzania obiektów z perspektywy – z obrazu płaskiego, którego dokonywał człowiek poprzez kojarzenie treści na obrazie z zastosowaniem zaawansowanych konstrukcji geometrycznych.

We wszystkich przytoczonych przykładach laserowych skanerów proces odczytywania współrzędnych punktów nie odbywa się jednorazowo lecz punktami w ciągu zawierającym często wiele milionów punktów (Il. 1, 2). Urządzenia dysponują jedną parą – lasera i czujnika bądź niewielką liczbą takich par, więc skanowanie polega na pomiarach w trakcie obrotu takich par, bądź wirującego lustra kierującego wiązkę pod różnymi kątami. Mobilne skanery takich jak Velodyne HDL-64¹⁹ (montowane na samochodach) w trakcie wirowania głowicy w osi pionowej wysyłają wiele wiązek biegnących pod różnymi kątami na obracającej się płaszczyźnie pionowej, co skutkuje wiązkami pomiarowymi będącymi tworzącymi stożków o osiach zgodnych z osią obrotu głowicy (Il. 1). Jedyna płaszczyzna na której znajdują się wiązki to płaszczyzna pozioma.

Naziemne geodezyjne systemy skaningu laserowego służące również do pomiarów architektury posiadają lustro wirujące wokół osi poziomej a całość obraca się powoli w stosunku do wirowania lustra. Wielu wiodących producentów skanerów stosuje rozwiązanie polegające na obrocie płaszczyzn szybkiego skanowania wokół jednej osi pionowej. Daje to zbiory wiązek znajdujących się na pionowych płaszczyznach. Skanery Riegla zaopatrzone w specjalną głowicę mogą być obrócone tak aby oś obrotu płaszczyzn szybkiego skanowania przyjęła kierunek poziomy (Il. 2)²⁰.

Kolejną grupę urządzeń pomiarowych producenci nazywają skanerami ręcznymi. Działają one w oparciu o zasady fotogrametrii. Działają one w oparciu o interpretację obrazu siatki wyświetlanej na mierzonym obiekcie. Przykładem tego typu systemu jest Creaform Go!SCAN 3D²¹. Ta grupa produktów znalazła szerokie zastosowanie w inżynierii odwrotnej, reklamie, digitalizacji obiektów do gier komputerowych, jednak ze względu na charakterystykę działania (ograniczona wielkość skanowanych obiektów i ograniczona do kilku metrów odległość skanowania) urządzenia tego typu nie mają zastosowania do kompleksowej inwentaryzacji architektonicznej, mogą natomiast służyć jako narzędzie uzupełniające inwentaryzacje o dokładne modele detali.

Odwołując się do dwóch zasadniczych typów inwentaryzacji²², skaningu laserowego, który można by kompletnie zastosować w architekturze, klasyfikuje się do metody pośredniej, gdyż uzyskiwana chmura punktów nie jest ostatecznym wynikiem pomiarów.

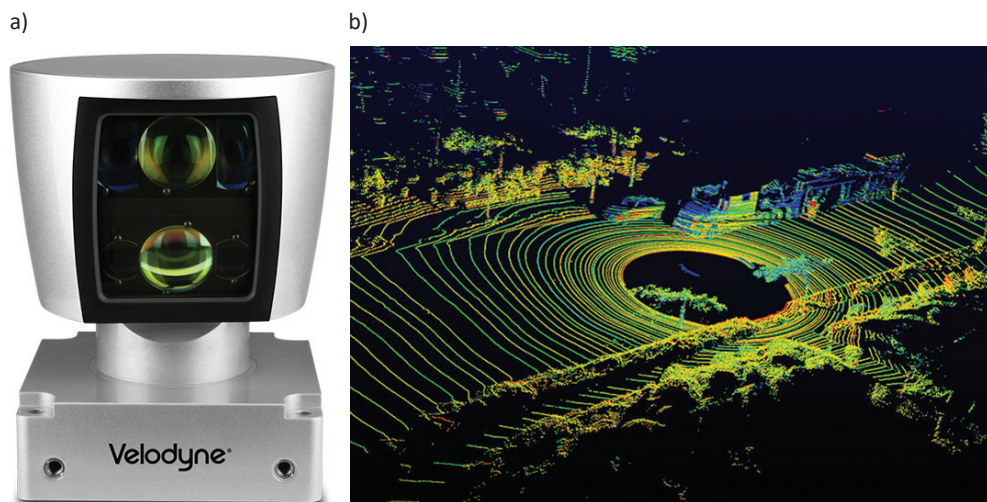
3. PROPONOWANE ROZWIĄZANIE

Formy antropogeniczne, jakimi są obiekty architektoniczne i ich elementy, składają się z brył zamkniętych przez powierzchnie gładkie, które z kolei są zakończone i połączone ze sobą krawędziami więc w inwentaryzacji istotny jest nie tylko przebieg powierzchni ale też ich zakończenia. Warto zaobserwować, że tradycyjny sposób przeprowadzania inwentaryzacji polega na pomiarze odległości pomiędzy narożnikami i za pomocą wzajemnych zależności liniowych w przestrzeni określenie położenia obiektów.

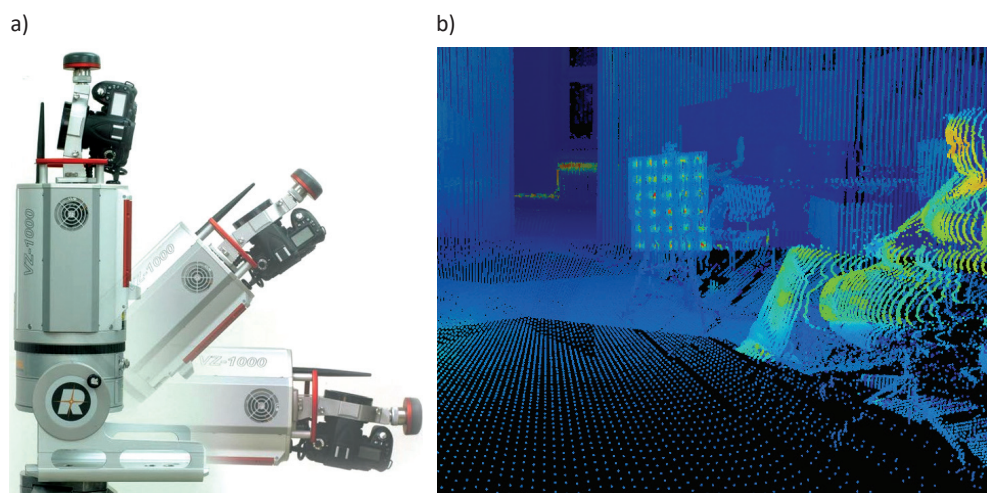
Przedstawione nowe rozwiązanie oparto na głównych zasadach dotyczących kształtów obiektów architektonicznych. Można wyodrębnić trzy podstawowe grupy: wielościany, bryły obrotowe, powierzchnie²³. Cechą wspólną wskazanych obiektów jest występowanie powierzchni gładkich zakończonych krawędziami występującymi zawsze w wielościanach, powierzchniach i wielu przypadkach brył obrotowych (zależnie od obracanego przekroju). Planowany system oparty na patencie nr 224847, uzyskanym w 2016 roku, według zastrzeżeń polega „odszukaniu granic i przebiegu nierozpoznanego kształtu poprzez zwiększenie liczby pomiarów”²⁴, w zakresie kąta pomiaru na który przypada zmiana kształtu (Il. 3). System składający się z urządzenia skanującego i komputera ma służyć automatycznemu odszukiwaniu istotnych w inwentaryzacji krawędzi i kątów. Tutaj wykonywany byłby pomiar liniowy i jednocześnie kątowy a na tej podstawie odszukiwany przebieg kształtów. Przez opisywane zagęszczenie będą precyzyjnie określone zakończenia kształtów już na etapie pomiarów. Wynalazek określa tylko zagęszczenie punktów, ale to pozwala odszukać najistotniejsze miejsca w sposób niewymagający specjalnie wydajnej aparatury pomiarowej i zapisu dużych danych gdyż nie trzeba będzie pokrywać przestrzeni równomiernie gęstą wiązką pomiarów. Współczesne instrumenty pomiarowe kierowane do użytku przede wszystkim geodezyjnego bądź odczytu poglądowych kształtów, mimo że cechuje je duża szybkość działania i precyzja, to przystosowane są do odczytywania trójwymiarowych kształtów bez zmiennej liczby pomiarów przypadającej na kąt. W trakcie realizacji zamierzenia analiza geometrii będzie uzupełniana o informatyczne narzędzia statystyczne i dopasowywanie szablonów kształtów. Zinterpretowane kształty będą zapisane w plikach komputerowych jako krzywe i powierzchnie na przykład NURBS (ang. Non Uniform Rational B-Spline)²⁵, które w odróżnieniu od chmury punktów umożliwiają wydajne projektowanie bez konieczności obróbki danych. W odróżnieniu od obecnego skaningu laserowego proponowany sposób skanowania kwalifikuje się do pomiarów bezpośrednich.

4. WNIOSKI

Zaproponowano proste rozwiązanie, realizowane poprzez oprogramowanie i stosunkowo mało wymagający instrument, które wykorzystuje podstawowe cechy geometryczne kształtów antropogenicznych w celu zaimplementowania tych zasad do algorytmu inwentaryzującego kształty. Zakładany jest sposób pomiaru, który dzięki bieżącemu dostosowywaniu próbek w zależności od wyników wykonywanych pomiarów da nowatorski system automatycznie interpretujący kształty w architekturze, udostępniając bezpośrednio po pomiarach wynik nadający się do dalszej pracy projektowej lub naukowo-badawczej.

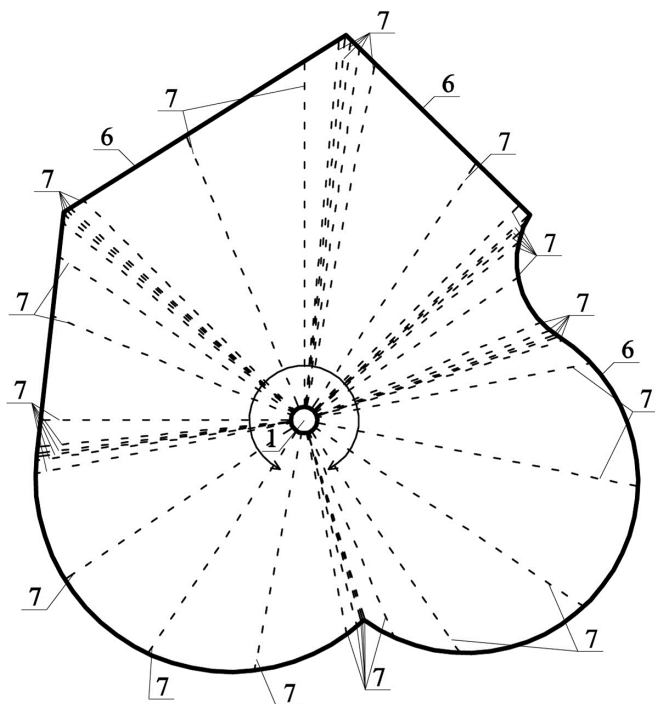


Il. 1. Mobilny skaner a) Velodyne hdl-64e b) chmura punktów uzyskana ze skanera hdl-64e
(źródło: <http://velodynelidar.com/hdl-64e.html>; dostęp: 10.04.2018)

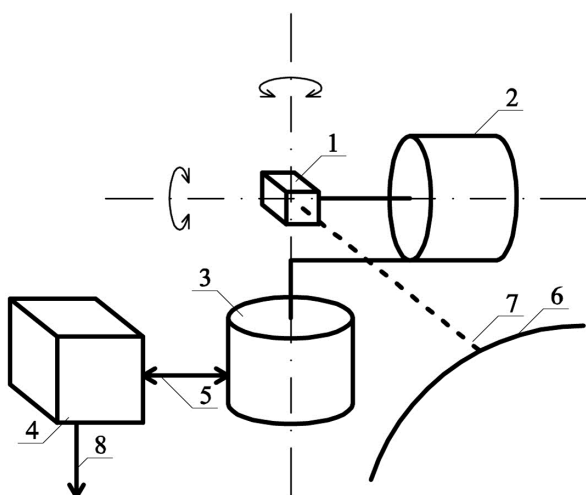


Il. 2. a) Skaner Riegler VZ-1000 b) chmura punktów uzyskana podczas standardowego skanowania architektury – pionowe płaszczyzny z wiązkami pomiarowymi
(źródło: <http://kos.informatik.uni-osnabrueck.de/3Dscans/>; dostęp: 10.04.2018)

a)



b)



Il. 3. Ilustracje a) opatentowanego sposobu pomiaru: zagęszczenie wiązki pomiarów – 7 w miejscu, gdzie na badanym przez instrument – 1 kształcie – 6 występuje zmiana b) standardowe elementy składowe skanera 3d i tachimetru: 1 – dalmierz, 2 – mechanizm obracający dalmierzem w płaszczyźnie pionowej, 3 – mechanizm obracający w poziomie, układ sterujący (oprac. autor)

PRZYPISY

- ¹ M. Kurzątkowski, *Mały Słownik Ochrony Zabytków*, MKiS Ośrodek Dokumentacji Zabytków, Warszawa 1989.
- ² S. Przewłocki, M. Czochański, *Zbiór ćwiczeń z geodezji, miernictwa budowlanego i metrologii budowlanej, część II, geodezyjna inwentaryzacja zabytków architektury*, Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej, Łódź 1990, s. 18.
- ³ INTERsoft, <http://www.intersoft.pl/cad/index.php?kup-program-cad=arcadia-inwentaryzator-OrthoGraph>, <https://www.orthograph.net/> (dostęp: 10.04.2018).
- ⁴ M. Pudło, *3D Disto – pomaga zdobywać miliony*, mierzymy.pl, 2014, <http://blog.mierzymy.pl/3d-disto-pomaga-zdobyc-miliony/> (dostęp: 10.04.2018).
- ⁵ Leica, http://www.leica-geosystems.pl/pl/Leica-DISTO-S910_106377.htm
- ⁶ A. Kulig, F. Nassery, S. Filipowski, R. Zieliński, *Wykorzystanie technologii BIM w nowoczesnej inwentaryzacji i analizie zabytków architektury*, Wiadomości Konserwatorskie, Nr 42, 2015.
- ⁷ S. Lubow, *Wstępna próba wykorzystania programu 123D Catch do inwentaryzacji wybranych elementów architektury opactwa cysterskiego w Rudach*, Architectus 2016.
- ⁸ J. Leggit, *Creating a Sketchup Model Using Match Photo*, SketchUp Artists, 2010, <http://www.sketchupartists.org/tutorials/sketchup-and-photo-match/creating-a-sketchup-model-using-photo-match/> (dostęp: 10.04.2018).
- ⁹ J. Kościuk, *Skanowanie 3D puka do drzwi*, „Geodeta” 2007, s. 47.
- ¹⁰ M. Kurzątkowski, *op. cit.*, s. 14.
- ¹¹ E. Głowienka, B. Jankowicz, B. Kwoczyńska, P. Kuras, K. Michałowska, S. Mikrut, A. Moskal, I. Piech, M. Strach, J. Sroka, *Fotogrametria i skanowanie laserowe w modelowaniu 3D*, pod redakcją Sławomira Mikruta Ewy Głowienki, Rzeszów 2015, s. 73.
- ¹² E. Głowienka, B. Jankowicz, B. Kwoczyńska, P. Kuras, K. Michałowska, S. Mikrut, A. Moskal, I. Piech, Strach M., Sroka J., *op. cit.*, s. 77.
- ¹³ FARO, http://faro-3d-software.com/CAD/Products/PointSense/3D_Laser_Scanner_Revit.php (dostęp: 10.04.2018).
- ¹⁴ A. Boroń, A. Rzonca, „*Metody fotogrametrii cyfrowej i skanowania laserowego w inwentaryzacji zabytków*” Roczniki Geomatyki, Polskie Towarzystwo Informatyki Przestrzennej Wydawnictwo „Wiś Jutra” Sp. z o.o., 2007, s. 134.
- ¹⁵ W. Mierzwa, A. Rzonca, *skanowanie powierzchni jako nowa metoda rejestracji i interpretacji szczegółów architektonicznych*, Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, Vol. 13B, 2003, s. 428–429.
- ¹⁶ H. Klimkowska, A. Wróbel, *Uwagi o wykorzystaniu tachimetrów bezlustrzonych w inwentaryzacji architektonicznej*, Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, Vol. 16, 2006, s. 301.
- ¹⁷ M. Wheeler, R. Bukowski, J. Kung, Patent US 7843448 B2, *Identification of occluded edge regions from 3D point data*, 2010.

- ¹⁸ M. Wheeler, R. Bukowski, J. Kung, Patent US 7995054 B2, *Identification of edge regions from 3D point data*, 2011.
- ¹⁹ Velodyne LiDAR <http://velodynelidar.com/hdl-64e.html> (dostęp: 10.04.2018).
- ²⁰ D. Borrmann, A. Nuchter, *Robotic 3D Scan Repository*, 2016 <http://kos.informatik.uni-osnabrueck.de/3Dscans/> (dostęp: 10.04.2018).
- ²¹ Creaform, <https://www.creaform3d.com/en/metrology-solutions/handheld-portable-3d-scanner-goscan-3d> (dostęp: 10.04.2018).
- ²² S. Przewłocki, Czocharński M., *op. cit.*
- ²³ F. Nassery, *Formy geometryczne w architekturze współczesnej*, Czasopismo Techniczne, 7-A/2/2010, s. 286.
- ²⁴ S. Filipowski, Patent nr. 224847 na wynalazek pt. *Sposób pomiaru i analizowania kształtów*, 2016.
- ²⁵ P. Kiciak, *Podstawy modelowania krzywych i powierzchni (Basic Curve and Surface Modeling)*, Science and Technology Publishing House, Warszawa 2000.

BIBLIOGRAFIA

- Kurzątkowski M., *Mały Słownik Ochrony Zabytków*, MKiS Ośrodek Dokumentacji Zabytków, Warszawa 1989.
- Przewłocki S., Czocharński M., *Zbiór ćwiczeń z geodezji, miernictwa budowlanego i metrologii budowlanej. Część II. Geodezyjna inwentaryzacja zabytków architektury*, Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej, Łódź 1990.
- INTERsoft <http://www.intersoft.pl/cad/index.php?kup-program-cad=arcadia-inwentaryzator> (dostęp: 10.04.2017).
- OrthoGraph <https://www.orthograph.net> (dostęp: 10.04.2017).
- Pudło M., *3D Disto – pomaga zdobywać miliony*, mierzymy.pl, <http://blog.mierzymy.pl/3d-disto-pomaga-zdobyc-miliony/2014> (dostęp: 10.04.2017).
- LEICA Geosystems, http://www.leica-geosystems.pl/pl/Leica-DISTO-S910_106377.htm (dostęp: 10.04.2017),
- Kulig A., Nassery F., Filipowski S., Zieliński R., *Wykorzystanie technologii BIM w nowoczesnej inwentaryzacji i analizie zabytków architektury*, Wiadomości Konserwatorskie, Nr 42, 2015.
- Lubow S., *Wstępna próba wykorzystania programu 123D Catch do inwentaryzacji wybranych elementów architektury opactwa cysterskiego w Rudach*, Architectus 2016.
- Leggit J., *Creating a Sketchup Model Using Match Photo*, SketchUp Artists, 2010. <http://www.sketchupartists.org/tutorials/sketchup-and-photo-match/creating-a-sketchup-model-using-photo-match> (dostęp: 10.04.2017).
- Kościuk J., *Skanowanie 3D puka do drzwi*, „Geodeta” 2007.

- Głowienka E., Jankowicz B., Kwoczyńska B., Kuras P., Michałowska K., Mikrut S., Moskal A., Piech I., Strach M., Sroka J., *Fotogrametria i skaning laserowy w modelowaniu 3D*, pod red. Sławomira Mikruta, Ewy Głowienki, Rzeszów 2015.
- FARO, 2016 http://faro-3d-software.com/CAD/Products/PointSense/3D_Laser_Scanner_Revit.php (dostęp: 10.04.2017).
- Boroń A., Rzonca A., *Metody fotogrametrii cyfrowej i skanowania laserowego w inwentaryzacji zabytków*, Roczniki Geomatyki, 2007.
- Mierzwa W., Rzonca A., *Skanywanie powierzchni jako nowa metoda rejestracji i interpretacji szczegółów architektonicznych*, Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, Vol. 13B, 2003.
- Klimkowska H., Wróbel A., *Uwagi o wykorzystaniu tachimetrów bezlustrowych w inwentaryzacji architektonicznej*, Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, Vol. 16, 2006.
- Wheeler M., Bukowski R., Kung J., Patent US 7843448 B2, *Identification of occluded edge regions from 3D point data*, 2010.
- Wheeler M., Bukowski R., Kung J., Patent US 7995054 B2, *Identification of edge regions from 3D point data*, 2011.
- Velodyne LiDAR, <http://velodynelidar.com/hdl-64e.html> (dostęp: 10.04.2017).
- Borrmann D., Nuchter A., *Robotic 3D Scan Repository*, 2016, <http://kos.informatik.uni-osnabrueck.de/3Dscans> (dostęp: 10.04.2017).
- Creaform, <https://www.creaform3d.com/en/metrology-solutions/handheld-portable-3d-scanner-goscan-3d> (dostęp: 10.04.2017).
- Nassery F., *Formy geometryczne w architekturze współczesnej*, Czasopismo Techniczne 7-A/2/2010.
- Filipowski S., Patent nr. 224847 na wynalazek pt. *Sposób pomiaru i analizowania kształtów*, 2016.
- Kiciak P., *Podstawy modelowania krzywych i powierzchni (Basic Curve and Surface Modeling)*, Science and Technology Publishing House, Warszawa 2000.