

**WIOLETA BŁASZCZAK-BAK^{*}, ANNA SOBIERAJ-ŻŁOBIŃSKA,
JAKUB SZULWIC^{**}, EWA MINKOWSKA^{***}**

**SKANING LASEROWY JAKO TECHNOLOGIA
WIELU ZASTOSOWAŃ - POMIARY GEODEZYJNE
NA POTRZEBY ARCHITEKTÓW**

Streszczenie

Skaning laserowy umożliwia pozyskanie chmury punktów, która może być opracowana i wykorzystana w różnych etapach inwestycji, od wykonywania prostych pomiarów na uzyskanym dzięki chmurze modelu lub na samej chmurze, po opracowywanie modeli cyfrowych zeskanowanych obiektów, ich wizualizacje i aranżacje wnętrz. W pracy przedstawiono możliwości zastosowania wyników naziemnego skanowania laserowego do opracowania projektu aranżacji wnętrza budynku o charakterze biurowym. Wymiarowanie obiektu zostało poprzedzone procesem wykrywania krawędzi i płaszczyzn w pozyskanych chmurach punktów. W ramach współpracy z architektem wykonany został projekt wnętrza.

Słowa kluczowe: skaning laserowy, chmura punktów, wymiarowanie, wizualizacja

WPROWADZENIE

Jednym z kierunków współczesnej geodezji jest coraz większa automatyzacja pomiarów. Wprowadzane i popularyzowane są geodezyjne techniki pomiarowe, które dostarczają w krótkim czasie wiarygodnych wyników pomiarów przy minimalnym udziale geodety. Jedną z takich technik jest skaning laserowy. Skaning laserowy to technologia bazująca na zdalnym pomiarze obiektów z wykorzystaniem wiązki lasera. Skaner może być umieszczony na pokładzie samolotu (lotniczy skaning laserowy Airborne Laser Scanning ALS), na statywie geodezyjnym

* Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie, Wydział Geodezji, Inżynierii Przestrzennej i Budownictwa, Instytut Geodezji

** Politechnika Gdańska, Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska, Katedra Geodezji

*** Minkowscy Architekci, Białystok

(naziemny skaning laserowy Terrestrial Laser Scanning TLS), na urządzeniu mobilnym, np. na samochodzie (Mobile Laser Scanning MLS).

W wyniku skanowania otrzymuje się chmurę punktów - zbiór współrzędnych (w układzie terenowym lub lokalnym) pomierzonych punktów. Gęstość pomierzonych punktów warunkuje możliwości wykorzystania uzyskanej chmury punktów. W ramach projektu ISOK wykonany lotniczy skaning laserowy charakteryzował się gęstością 6-12punktów/m² w zależności od charakteru skanowanego obszaru. Taka gęstość pozwoliła na opracowanie map zagrożenia powodziowego i map ryzyka powodziowego [Bruniecki et al. 2015, Kurczyński 2012]. Skaning naziemny i mobilny, w którym gęstość punktów ustalana jest przez operatora, oraz uzależniona jest także od odległości skanera od skanowanego obiektu może mieścić się w zakresie od kilkudziesięciu centymetrów do milimetrów. W przypadku bardzo dużej gęstości punktów taka chmura punktów może być bardzo dokładną i wiarygodną podstawą do stworzenia cyfrowego modelu zeskanowanego obiektu. Jest to szczególnie wykorzystywane w inwentaryzacji obiektów przemysłowych [Gawałkiewicz 2015] jak i zabytkowych [Bernat M. et al. 2014, Boroń 2009] czy biurowych [Kraszewski 2012]. W tym artykule przedstawiono możliwości wykorzystania skaningu laserowego jako narzędzia pomiaru dostarczającego danych także dla architektów i projektantów. We współpracy z firmą *Minkowscy Architekci* wykonano projekt nowej aranżacji zeskanowanego wcześniej pomieszczenia.

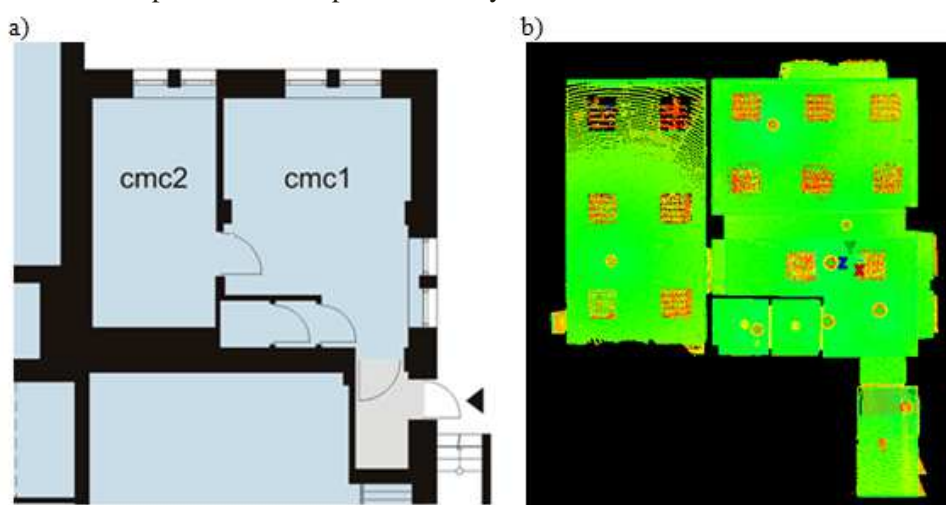
POMIARY GEODEZYJNE NA POTRZEBY ARCHITEKTÓW

Osoby, korzystające z usług geodety oczekują kompleksowej obsługi, nie tylko w zakresie typowych pomiarów geodezyjnych, ale także innych zadań związanych z realizacją inwestycji (np. budowa domu). Raz wykonany pomiar, mógłby być wykorzystywany nie tylko przez geodetę, ale także przez osoby innych profesji (architekci, planiści, urbaniści, projektant sieci itp.). Skaning laserowy to technologia, która może być wykorzystana właśnie w różnych etapach inwestycji, od wykonywania prostych pomiarów na uzyskanej chmurze punktów, po opracowywanie modeli cyfrowych zeskanowanych obiektów, ich wizualizacje. W pracy architekta znajomość tej technologii oraz umiejętność opracowania i/lub korzystania z modeli opracowanych na podstawie chmur punktów może ułatwić i przyspieszyć wykonywanie zleconych zadań (np. aranżacji istniejącego wnętrza). Skaning jest wykonywany raz i można do niego w razie potrzeby wielokrotnie powracać i ewentualnie uzupełniać wykonywanie pomiarów. Dostarcza też wiarygodnych danych do wizualizacji wykonywanego zadania. W przypadku wykonywania projektu aranżacji wybranego pomieszczenia istotna jest dokładna informacja m.in. o geometrii tego obiektu. Jej źródłem może być chmura punk-

tów, odpowiednio przetworzona i przygotowana. Ważnym aspektem jest też wykrywanie krawędzi oraz płaszczyzn w takim zbiorze danych. Umożliwiają to narzędzia dostępne w ramach specjalistycznego oprogramowania do obróbki chmury punktów dostarczane przez producenta skanera lub wybrane algorytmy np. RANSAC [Fischler, Bolles 1981, Janicka, Rapiński 2014].

POMIAR OBIEKTU - SKANOWANIE

Skanowaniu poddano pomieszczenie biurowe znajdujące się w budynku Hydrotechniki (Politechnika Gdańska). Fragment projektu budynku zawierający skanowane pomieszczenia przedstawia rys. 1

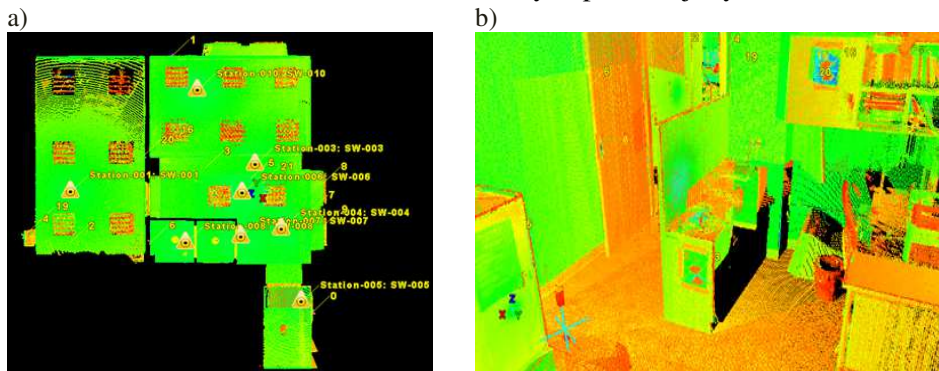


Rys. 1. Fragment projektu budynku Hydrotechniki (źródło: <http://campus.pg.gda.pl/>) (a) oraz wynik skanowania wybranego pomieszczenia, widok z góry (b).

Fig. 1. Fragment of Hydrotechnika's building design (source: <http://campus.pg.gda.pl/>) (a) and result of scanning these rooms, top view (b).

Skaning laserowy wykonano skanerem C10 (Leica Geosystems) w ramach testowania urządzenia. Jest to urządzenie charakteryzujące się znacznym zasięgiem pomiaru (do 300 metrów) oraz dużą dokładnością (dokładność pojedynczego pomiaru: położenie - 6mm, odległość - 4 mm, przy zasięgu 1 - 50 m; dokładność modelowanej powierzchni - 2 mm). Urządzenie działa bardzo szybko, mierzy do 50 000 punktów/sekundę. Pole widzenia wynosi 360° w poziomie i 270° w pionie. Szczegółowa techniczna specyfikacja jest dostępna na stronie producenta (www.leica-geosystems.pl).

Pomiar przeprowadzono z 8 stanowisk, uzyskując tym samym 8 chmur punktów. W pomieszczeniach rozmieszczono czternaście tarcz w postaci szachownicy, w taki sposób aby z co najmniej z dwóch stanowisk pomiarowych były widoczne co najmniej trzy tarcze (niewspółliniowe). Rozmieszczenie stanowisk skanera oraz rozmieszczenie tarcz celowniczych prezentuje rys. 2.



Rys. 2. (a) Rozmieszczenie stanowisk skanera. (b) Rozmieszczenie tarcz celowniczych w skanowanym pomieszczeniu

Fig. 2. (a) Location of scanner stations. (b) Location of targets in scanned room

OPRACOWANIE DANYCH

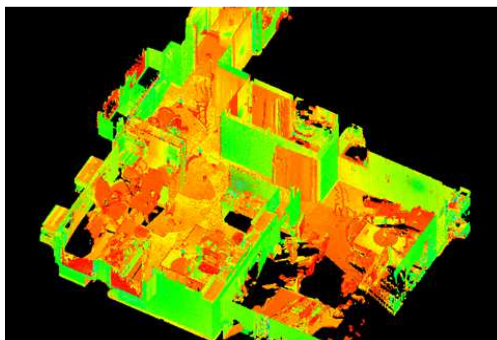
Chmurę punktów poddano procesowi rejestracji w celu uzyskania zbioru punktów w jednym układzie współrzędnych. Wykorzystano do tego celu oprogramowanie Leica Cyclone 9.1. Do łączenia chmur punktów wybrano metodę rejestracji na elementy sygnalizowane. Punkty dostosowania rozmieszczono w taki sposób, aby były widoczne z jak największej liczby stanowisk. Schemat rozmieszczenia stanowisk skanera i tarcz przedstawiono na rys. 2. Z każdego ze stanowisk były widoczne co najmniej trzy nieliniowo ułożone tarcze.

Dokładność połączenia chmur punktów na wszystkich stanowiskach mieściła się w zakresie 0 - 2mm. Osiągnięte błędy połączenia poszczególnych chmur punktów w jeden zbiór punktów miały wartości poniżej błędu systematycznego wyznaczenia odległości skanera C10.

Połączone chmury punktów są podstawą do dalszego wykorzystania wyników skaningu. Na tym etapie dalsza procedura przetwarzania chmury punktów uzależniona jest od sposobu jej wykorzystania i ustaleń z projektantem/architektem.

Chmura punktów może zostać przekazana do architekta bez żadnych zmian (tzn. może zawierać punkty reprezentujące obiekty, które nie są istotne dla projektanta (np. obiekty zeskanowane przez okno pomieszczenia, znajdujące się na zewnątrz). Jest to zasadne tylko wtedy, gdy projektant ma odpowiednią wiedzę, umiejętności i specjalistyczne oprogramowanie do obróbki chmury punktów.

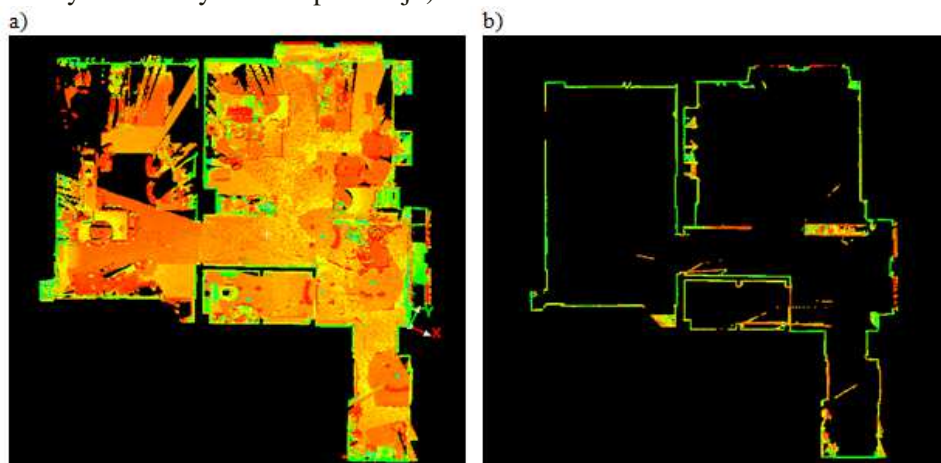
W sytuacji posiadania oprogramowania innego niż zaleca producent, jednakże umożliwiającego pracę z tak dużą ilością danych, niezbędny jest eksport chmury do wymaganego formatu danych, co przy jej liczebności (ok. 113 mln punktów) może być i zazwyczaj jest problematyczne. Ze względu na dużą liczbę punktów, także odczytanie i rozpoznanie zeskanowanych elementów jest utrudnione (Rys. 3).



Rys. 3. Zeskanowane pomieszczenia - widok perspektywiczny

Fig. 3. Scanned rooms - perspective view

Innym wyjściem jest przekazanie tylko fragmentu chmury punktów np. poprzez wykonanie przekrojów na różnych wysokościach pomieszczenia. Takie podejście sprawia, że przekazywany zbiór danych zawiera mniej punktów, co w znacznym stopniu niweluje problemy z przekazywaniem i wizualizacją danych. Zapewnia także lepszą czytelność wyników skanowania i pozwala na szybsze uzyskanie informacji o wymiarze (i ewentualnie wyposażeniu - w zależności od wysokości wykonania przekroju).



Rys. 4. Przekrój zeskanowanego pomieszczenia na wysokości 1,50m (szerokość: 1,50m (a) i 0,10m(b))

Fig. 4. Cross section of scanned rooms at height of 1.50m (width: 1.50m(a); 0.10m (b))

POMIARY NA CHMURZE PUNKTÓW

Chmura punktów, zwłaszcza o dużej rozdzielczości umożliwia wykonanie dość wiernej wizualizacji pomierzonego obiektu. Drugi istotny aspekt wykorzystania chmury punktów to wykonywanie pomiarów. W tym celu można wykorzystać specjalistyczne oprogramowanie albo algorytmy wykrywające krawędzie i płaszczyzny w chmurze. W tym przypadku przetestowano estymację oraz metodę RANSAC (Random Sample Consensus).

Algorytm RANSAC sprowadza się do wykonania następującej procedury (Fischler, Bolles 1981):

1. Wybieramy minimalną liczbę punktów wymaganych do określenia parametrów modelu.
2. Wybieramy losowo parametry modelu.
3. Określamy, ile danych z całego analizowanego zbioru pasuje do modelu przy założonej tolerancji tzn. dane inliers.
4. Jeśli okaże się, że liczba danych ze zbioru inliers jest niewystarczająca i przekracza zdefiniowany próg, to znowu wyznaczane są parametry modelu z wykorzystaniem wszystkich zidentyfikowanych inliers.
5. Powtarzanie etapów 1-4 w N iteracjach (maksymalna liczba iteracji jest ustalana przez użytkownika).

Za pomocą algorytmu RANSAC można wykryć proste linie wchodzące w skład przetwarzanego obrazu. Aby tego dokonać stosuje się wersję algorytmu dostosowaną do tego zadania. W tym przypadku model jest tworzony na podstawie dwóch losowo wybranych punktów leżących na krawędziach. Ich kierunki gradientu muszą być zgodne (projektant algorytmu definiuje maksymalną różnicę ich orientacji). Jeśli ich kierunki nie są zgodne, losowanie zostaje powtórzone.

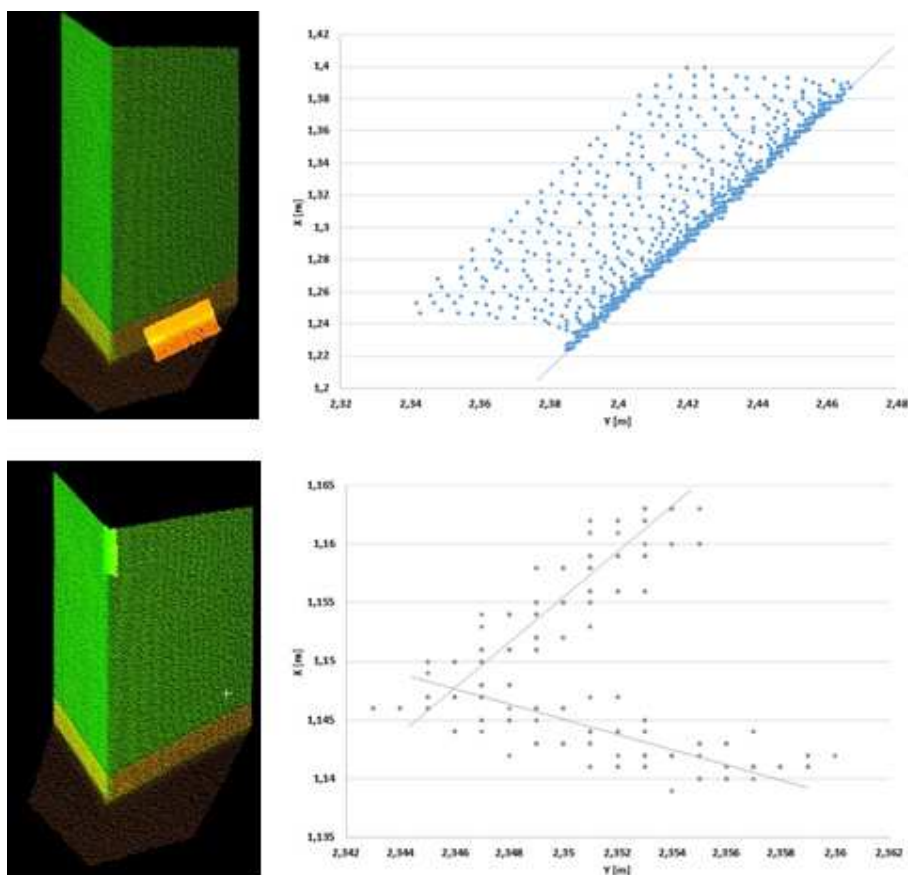
Wpasowanie prostej reprezentującej krawędź między punktami ściany i podłogi pomieszczenia przedstawiono na rys. 5.

Na podstawie całej chmury punktów i/lub przekrojów, po wykryciu płaszczyzn i krawędzi geodeta może przygotować projekt z wymiarami pomieszczenia (rys. 6).

W przypadku braku jakichkolwiek pomiarów niezbędnych do wykonania projektu aranżacji pomieszczenia geodeta może, wg wskazówek architekta, wykonać dodatkowe pomiary.

Na potrzeby tego eksperymentu geodeta przekazał do biura architektonicznego:

- całą chmurę punktów,
- chmurę punktów z wykonanych przekrojów poziomych pomieszczenia na wysokości 0,10m, 1,50 i 2,45 m,
- wyniki pomiarów wybranych elementów wykonanych na chmurze punktów.



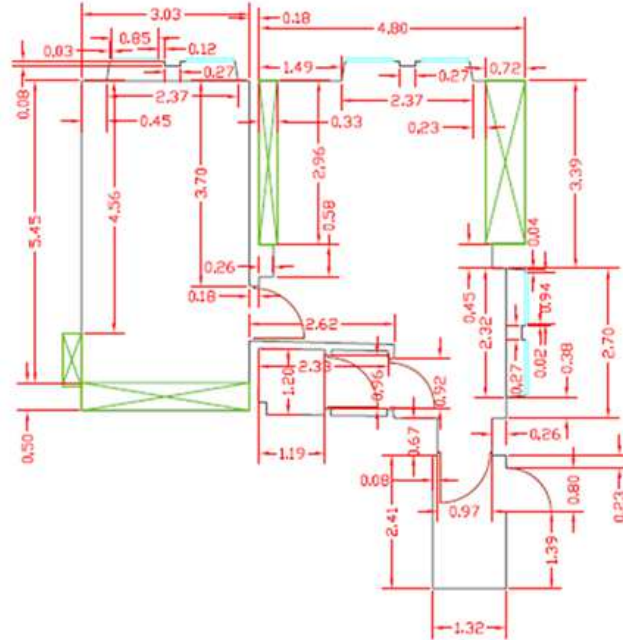
Rys. 5. Wpasowanie prostej/prostych w chmurę punktów

Fig. 5. Fitting of the line/lines into point cloud

PROJEKT I ARANŻACJA WNĘTRZA

Aranżacje zeskanowanych pomieszczeń przygotowano wykorzystując w tym celu program ArchiCAD. Jest on jednym z najbardziej popularnych programów w biurach architektonicznych. Umożliwia przygotowanie jednocześnie zarówno dwuwymiarowych rysunków (rzutów kondygnacji, przekrojów, widoków elewacji), jak i widoków perspektywicznych i aksonometrycznych przy korzystaniu z jednego tylko modelu. Trójwymiarowy model oraz przekroje generowane są automatycznie na podstawie rzutów. Edycje dokonane na modelu i przekrojach przenoszą się też na rzut. Program oparty jest na logice obiektowej, poszczególne rodzaje obiektów odpowiadają różnym elementom budowlanym (ściana, strop, dach, belka). Ponadto istnieją obiekty wstępnie zdefiniowane, takie jak okna,

drzwi, meble, a nawet całe pojazdy i ludzie. Projektowanie polega na ustawianiu zdefiniowanych obiektów oraz nadawaniu im parametrów



Rys. 6. Zwymiarowany rzut pomieszczeń CMC

Fig. 6. Plan view of CMC's rooms with measurement

Wyniki pracy architekta przedstawiono na rys. 7 i 8. W pomieszczeniach CMC zaplanowano stanowiska pracy dla trzech osób, a także miejsce do pracy ze studentami (małe laboratorium komputerowe).



Rys. 7. Aranżacja dla pomieszczenia CMCI - pokój dla pracowników (opracowanie: Minkowscy Architekci)

Fig. 7. Arrangement for room CMCI - room for employers (developed by Minkowscy Architekci)



Rys. 8. Aranżacja dla pomieszczenia CMC2 - laboratorium komputerowe (opracowanie: Minkowscy Architekci)

Fig. 8. Arrangement for room CMC2 - computer laboratory (developed by Minkowscy Architekci)

PODSUMOWANIE I WNIOSKI

W pracy przedstawiono możliwości wykorzystania współczesnej geodezji, a dokładniej technologii skaningu laserowego jako narzędzia pomiaru, dostarczającego danych nie tylko dla geodetów, ale także dla architektów i projektantów. We współpracy z firmą *Minkowscy Architekci* wykonano projekt nowej aranżacji zeskanowanego wcześniej pomieszczenia biurowego. Na tej podstawie można stwierdzić, że:

- wyniki skaningu laserowego to wiarygodne źródło danych nt. zeskanowanego obiektu, możliwości jego wykorzystania są bardzo szerokie,
- dane ze skaningu (zarówno oryginalne jak i przetworzone) można zdalnie przekazać do wybranego wykonawcy,
- zakres przetworzenia chmury punktów zależy od celu opracowania, wymagań dokładnościowych, sprzętu i oprogramowania jakimi dysponuje wykonawca, oraz od jego wiedzy i umiejętności w tym zakresie.

LITERATURA

1. BERNAT M., JANOWSKI A., RZEPA S., SOBIERAJ A., SZULWIC J.: 2014. Studies on the use of terrestrial laser scanning in the maintenance of buildings belonging to the cultural heritage. 14th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2014, www.sgem.org, SGEM2014 Conference Proceedings, ISBN 978-619-7105-12-4 / ISSN 1314-2704, June 19-25, 2014, Book 2, Vol. 3, 307-318 pp., DOI: 10.5593/SGEM2014/B23/S10.039.

2. BRUNIECKI K., CHYBICKI A., DADIĆ V., GRŽETIĆ Z., IVANKOVIĆ D., KULAWIAK M., ŁUBNIEWSKI Z., SOBIERAJ A., STYBLIŃSKA M., VUČIĆ I., WIECZOREK B.: 2015. GIS and Water Resources, Nacionalna knjižnica, Zagreb, ISBN 978-953-6129-50-8, 96 pp.
3. BOROŃ A., BOROWIEC M., WRÓBEL A.: 2009. Rozwój cyfrowej technologii inwentaryzacji obiektów zabytkowych na przykładzie doświadczeń Zakładu Fotogrametrii i Informatyki Teledetekcyjnej AGH, Archiwum Fotogrametrii i Teledetekcji, Vol. 19, s. 11-22, ISBN 978-83-61576-09-9
4. GAWAŁKIEWICZ R.: 2015. The inventory of high objects applying laser scanning, focus on the cataloguing a reinforced concrete industrial chimney, Geoinformatica Polonica. Volume 14, Issue 1, Pages 95-107, ISSN (Online) 1642-2511, DOI:10.1515/gein-2015-0009, December 2015
5. FISCHLER M. A., BOLLES R. C.: 1981. Random sample consensus: A paradigm for model fitting with applications to image analysis and automated cartography. Communications of the ACM, 24(6):381-395
6. JANICKA J., RAPIŃSKI J.: 2014. Outliers Detection by Ransac Algorithm in the Transformation of 2D Coordinate Frames. Boletim de Ciências Geodésicas, vol.20 no.3 Curitiba Oct./Sept. 2014. DOI: 10.1590/S1982-21702014000300035
7. KRASZEWSKI B.: 2012. Wykorzystanie naziemnego skaningu laserowego do inwentaryzacji pomieszczeń biurowych - Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, Vol. 23, 2012, 187-196, ISSN 2083-2214, ISBN 9788-83-61576-19-9
8. KURCZYŃSKI Z.: 2012. Mapy zagrożenia powodziowego i mapy ryzyka powodziowego a dyrektywa powodziowa, Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, Vol. 23, 2012, s. 209-217, ISSN 2083-2214, ISBN 978-83-61576-19-8

LASER SCANNING AS MULTI-USE TECHNOLOGY - GEODETIC MEASUREMENTS FOR THE ARCHITECTURE PURPOSES

S u m m a r y

Laser scanning makes it possible to acquire a point cloud, which can be developed and used in various stages of investment, e.g: by performing simple measurements on point cloud or on the model created on the basis of this point cloud, the development of digital models of scanned objects,

their visualizations and interior design. The paper presents the applicability of the results of terrestrial laser scanning for the development of a project of interior design of the building as office buildings. Dimensioning object was preceded by a process of detecting edges and surfaces in the acquired point clouds. In cooperation with the architect the interior design was made.

Key words: laser scanning, point cloud, dimensioning, visualization