

# Zastosowanie skanowania 3D w inżynierii odwrotnej

## The use of 3D scanning in reverse engineering

JERZY BOCHNIA \*

DOI: <https://doi.org/10.17814/mechanik.2019.3.27>

Omówiono procedurę budowania modelu powierzchniowego i inspekcji jego wymiarów z wykorzystaniem skanowania przedmiotu rzeczywistego. Zeskanowano korpus dwusekcyjnej pompy hamulcowej. Dokonano inspekcji wymiarów geometrycznych otrzymanego modelu powierzchniowego. Na podstawie uzyskanych danych opracowano model bryłowy CAD 3D zeskanowanego przedmiotu.

**SŁOWA KLUCZOWE:** inżynieria odwrotna, skaner 3D, model powierzchniowy, inspekcja wymiarów

*The procedure of building a surface model and inspecting its dimensions by scanning a real object is discussed. The body of a two-part master cylinder was scanned. Geometrical dimensions of the obtained surface model were inspected. Based on obtained data, a 3D CAD model of the scanned object was developed.*

**KEYWORDS:** reverse engineering, 3D scanner, surface model, dimensional inspection

Inżynieria odwrotna narodziła się jeszcze przed wprowadzeniem współczesnych technik wspomaganie komputerowego. Za pomocą konwencjonalnych metod pomiarowych otrzymywano dane, które pozwalały przygotować dokumentację wykonawczą obiektu. Dopiero pojawienie się współrzędnościowych maszyn pomiarowych pozwoliło na zbieranie dużej liczby punktów 3D umożliwiających odtworzenie z określoną dokładnością kształtu obiektu.

Krokiem milowym w rozwoju technik skanowania było skonstruowanie skanerów laserowych i optycznych, zbierających chmurę punktów, oraz oprogramowania 3D do obróbki danych pomiarowych, niezbędnych do utworzenia wirtualnego modelu obiektu [1, 2].

Współczesne skanery optyczne rejestrują do 2 mln punktów w trakcie pojedynczego pomiaru trwającego ok. sekundy. Odpowiednia obróbka pozwala na pełną analizę pomiaru – tj. zwymiarowanie obiektu, porównanie z danymi CAD, sporządzenie mapy odchyłek i dokonanie inspekcji przekrojów. Wyniki testów porównawczych różnych skanerów przedstawiono w pracy [2].

Rośnie zastosowanie skanerów optycznych w różnych dziedzinach gospodarki, zwłaszcza w przemyśle, np. w branży samochodowej [3] czy inżynierii odwrotnej, do projektowania przedmiotu na podstawie uzyskanej chmury punktów, oraz w pomiarach [4, 5], do oceny jakości wyrobów poprzez porównanie z dokumentacją CAD i oceny zużycia elementów po różnych okresach eksploatacji, np. zużycia narzędzi [6–9]. Prowadzone są również badania porównawcze różnych metod tworzenia chmury punktów, np. metod stykowych z zastosowaniem współrzędnościowych maszyn pomiarowych, skanerów i tomografów komputerowych [10].

### Metodyka skanowania

Jako obiekt skanowania wybrano korpus dwusekcyjnej pompy hamulcowej. Jest to przykładowy element z branży samochodowej.

Często trzeba wytwarzać części zamienne przy braku dokumentacji wykonawczej. Taką dokumentację można odtworzyć drogą inżynierii odwrotnej.

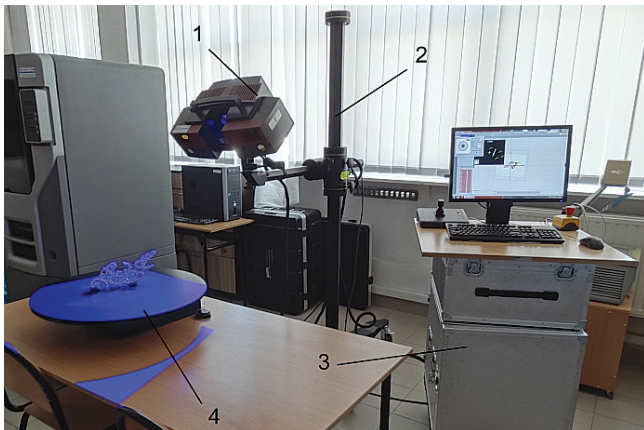
Na rys. 1 przedstawiono procedurę skanowania i budowania modelu powierzchniowego pompy oraz inspekcji geometrii, której znajomość jest niezbędna do zbudowania modelu bryłowego CAD.

Skanowanie przeprowadzono skanerem optycznym 3D GOM Atos II Triple Scan [10] (rys. 2). Dwie kamery urządzenia rejestrują przebieg prążków przemieszczających się po powierzchni skanowanego przedmiotu; dla każdego piksela kamery oprogramowanie skanera oblicza współrzędne punktu. Skaner pozwala na rejestrację do 1,4 mln punktów podczas pojedynczego pomiaru. Zaletą dyskretyzacji za pomocą skanera jest możliwość



Rys. 1. Procedura budowania modelu powierzchniowego i inspekcji jego wymiarów na bazie skanowania przedmiotu rzeczywistego

\* Dr inż. Jerzy Bochnia (jbochnia@tu.kielce.pl) – Politechnika Świętokrzyska



Rys. 2. Stanowisko badawcze w Laboratorium Inżynierii Odwrótej Katedry Technologii Mechanicznej i Metrologii Politechniki Świętokrzyskiej; 1 – skaner Atos II, 2 – statyw, 3 – jednostka komputerowa do akwizycji danych oraz sterowania skanerem i stołem obrotowym, 4 – obrotowy stół pomiarowy

dowolnego ustawienia przedmiotu w polu widzenia urządzenia; pomaga w tym stół obrotowy sterowany komputerowo.

Głowica skanera jest pozycjonowana manualnie lub automatycznie. Po dokonaniu pomiaru głowica lub skanowany element są przemieszczane, tak aby zmierzyć obszary, których nie zeskanowano w poprzednim ustawieniu. Całość pomiarów jest automatycznie transformowana do wspólnego układu współrzędnych i generuje chmurę punktów 3D.

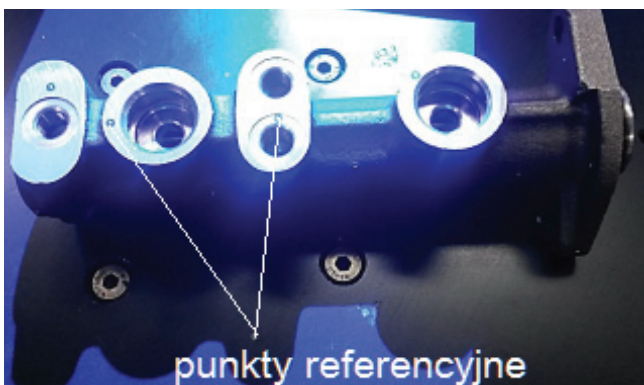
Dane techniczne skanera GOM Atos II Triple Scan:

- rozdzielczość kamer:  $2 \times 5\,000\,000$  pikseli,
- obszar pomiarowy: od  $28 \times 29$  do  $2000 \times 1500$  mm<sup>2</sup>,
- gęstość mierzonych punktów:  $0,02 \div 0,79$  mm,
- rejestracja mierzonych punktów: do 1 400 000,
- dystans roboczy:  $490 \div 2000$  mm,
- temperatura pracy:  $5 \div 40^\circ\text{C}$  (bez kondensacji),
- stół obrotowy,
- błąd graniczny dopuszczalny pomiaru  $\pm 0,01$  mm,  $\pm 0,03$  mm dla różnych zakresów skanowania.

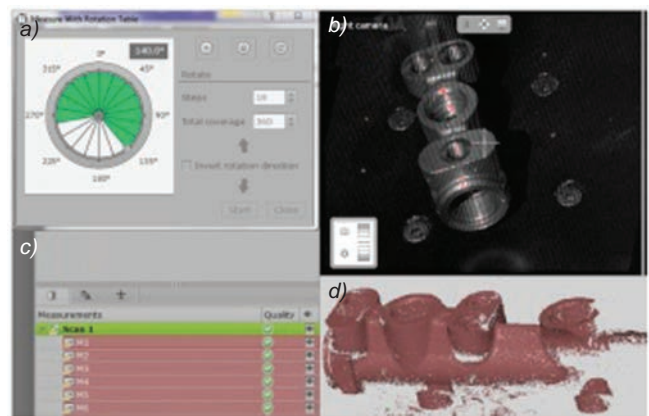
## Wyniki skanowania

Skanowanie pompy przeprowadzono w sześciu pozycjach (rys. 3 – pozycja nr 1).

Zdefiniowano 18 kroków skanowania, co zapewniło kąt obrotu  $20^\circ$  przy jednym skanowaniu (rys. 4a). Na powierzchni skanowanego przedmiotu naniesiono punkty referencyjne (markery), które umożliwiają „sklejenie” chmur punktów otrzymanych podczas digitalizacji w poszczególnych pozycjach. Ustawiono taką intensywność światła generowanego przez skaner, aby zapewnić odpo-



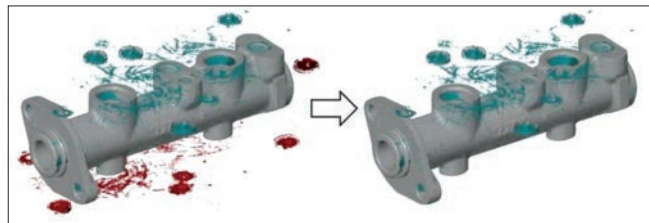
Rys. 3. Pozycja nr 1 przedmiotu umieszczonego na stole obrotowym skanera



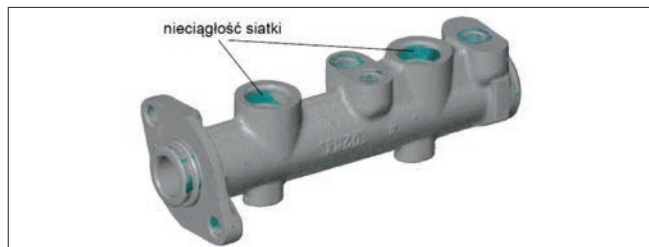
Rys. 4. Przebieg skanowania przedmiotu z zastosowaniem programu GOM Inspect dla pozycji nr 1: a) panel ustawienia kroku skanowania, b) podgląd z kamery (panel ustawienia intensywności oświetlenia), c) kontrola jakości skanowania, d) chmura punktów otrzymana po jednostkowym kroku skanowania

wiednią jakość procesu. Poszczególne fazy skanowania można obserwować na monitorze komputera (rys. 4).

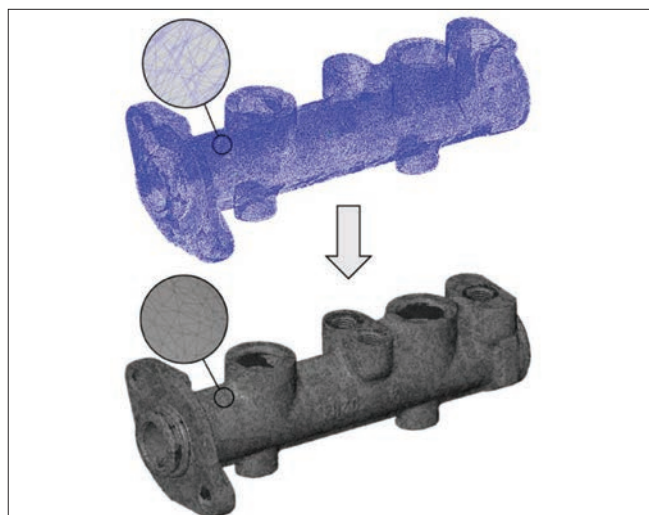
Na rys. 5 widać chmurę punktów otrzymaną po połączeniu chmur ze wszystkich sześciu pozycji w procesie usuwania niepożądanych elementów (tzw. śmieci). Na rys. 6 przedstawiono zeskanowany przedmiot po oczyszczeniu, przygotowany do poligonizacji, a na rys. 7 – poligonizację.



Rys. 5. Zeskanowany przedmiot w procesie usuwania niepożądanych punktów z zastosowaniem programu GOM Inspect

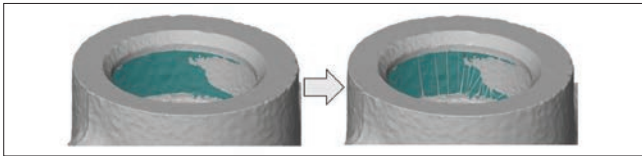


Rys. 6. Zeskanowany przedmiot po oczyszczeniu

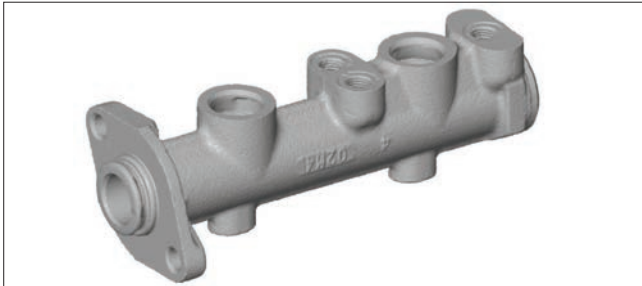


Rys. 7. Zamiana chmury punktów na model powierzchniowy w postaci siatki trójkątów [12]





Rys. 8. Tworzenie „mostów” siatki modelu powierzchniowego w celu zamknięcia nieciągłości (dziur)



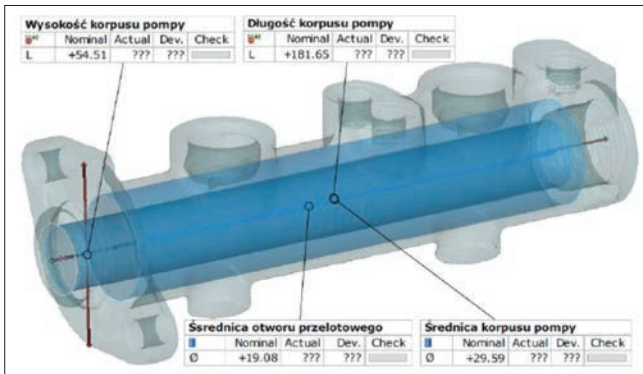
Rys. 9. Gotowy model powierzchniowy po zeskanowaniu, oczyszczeniu i usunięciu nieciągłości siatki trójkątów [12]

Ostatni etap budowania siatki modelu powierzchniowego to usuwanie nieciągłości (tzw. dziur). Na rys. 8 pokazano usuwanie dziur metodą tworzenia „mostów”, stosowaną przy większych nieciągłościach, a na rys. 9 – gotowy model powierzchniowy zeskanowanej pompy.

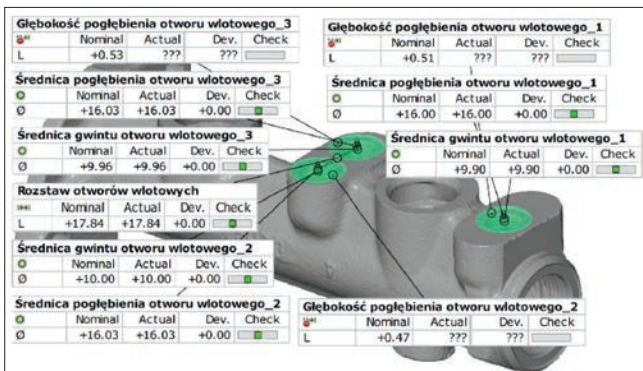
Dopiero gotowy model powierzchniowy można poddać inspekcji wymiarów. Pomiar geometrii otrzymanego skanu polega na dopasowaniu prostych elementów geometrycznych, takich jak: punkt, odcinek, okrąg czy cylinder, do otrzymanego kształtu oraz określeniu ich wymiarów.

Wykonano 10 inspekcji. Przykładowe wyniki pokazano na rys. 10 i 11. Natomiast na rys. 12 przedstawiono przykładowe wyniki pomiarów odchyłek kształtu.

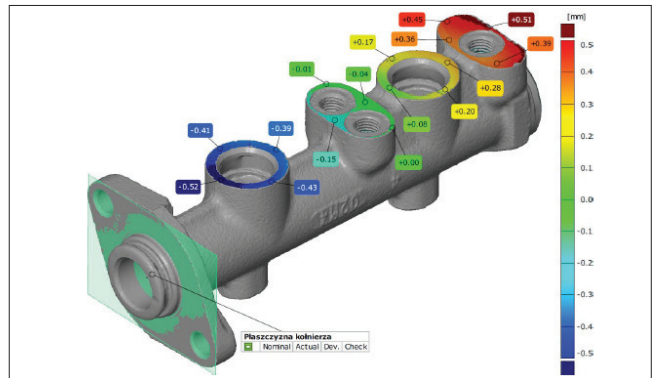
Na podstawie pomiarów i analizy wyników można narysować w programie CAD 3D model bryłowy zeskanowanego



Rys. 10. Wyniki inspekcji wymiarów gabarytowych skanowanego przedmiotu



Rys. 11. Wyniki inspekcji wymiarów otworów wlotowych skanowanej pompy



Rys. 12. Wyniki pomiarów odchyłek prostokątności płaszczyzny górnej względem płaszczyzny kołnierza

wanego przedmiotu, a następnie wykorzystać ten model w dalszych operacjach, np. do opracowania procesu technologicznego z użyciem programu CAM lub do opracowania szkicu części 2D jako odtworzonej dokumentacji wykonawczej – jak w przypadku pompy zaprezentowanej w pracy [12].

## Podsumowanie

Przeprowadzona procedura wskazuje na dużą przydatność skanowania 3D w inżynierii odwrotnej. W metodzie tej niestety nie ma prostego przejścia z modelu powierzchniowego na model bryłowy CAD, co wyklucza oczywiście zapis w formacie \*.stl. Świadczy to o dużym jeszcze niewykorzystanym potencjale tej metody inżynierii odwrotnej.

**Pracę wykonano z użyciem urządzeń i aparatury zakupionych w ramach Programu Operacyjnego Rozwój Polski Wschodniej 2007–2013, Projekt MOLAB pn. „Rozwój bazy badawczej specjalistycznych laboratoriów uczelni publicznych Regionu Świętokrzyskiego”, Program Operacyjny Innowacyjna Gospodarka, oś priorytetowa 2: Infrastruktura sfery B+R, Działanie 2.2, Wsparcie tworzenia wspólnej infrastruktury badawczej jednostek naukowych, POIG 02.02.00-26-023/08-00 z dnia 19 maja 2009 r.**

## LITERATURA

- Wang J., Gu D., Yu Z., Tan Ch., Zhou L. „A framework for 3D model reconstruction in reverse engineering”. *Computers & Industrial Engineering*. 63 (2012): s. 1189–1200.
- Barbero B.R., Ureta E.S. „Comparative study of different digitization techniques and their accuracy”. *Computer-Aided Design*. 43 (2011): s. 188–206.
- Ameen W., Al-Ahmari A.M., Mian S.H. „Evaluation of handheld scanners for automotive applications”. *Applied Sciences*. 8, 217 (2018); doi:10.3390/app8020217.
- Anwer N., Mathieu L. „From reverse engineering to shape engineering in mechanical design”. *CIRP Annals – Manufacturing Technology*. 65 (2016): s. 165–168.
- Savio E., De Chiffre L., Schmitt R. „Metrology of freeform shaped parts”. *CIRP Annals – Manufacturing Technology*. 56, 2 (2007): s. 810–835.
- Zaborniak M., Tofil-Kozdra I. „Zastosowanie inżynierii odwrotnej w procesie odtwarzania kół zębatach”. *Mechanik*. 12 (2015): s. 193–196.
- Karczewski M. „Zastosowanie skanerów 3D w technice wojskowej”. *Mechanik*. 1 (2017): s. 52–53.
- Dúbravčík M., Kender Š. „Application of reverse engineering techniques in mechanics system services”. *Procedia Engineering*. 48 (2012): s. 96–104.
- Vagovský J., Buranský I., Görög A. „Evaluation of measuring capability of the optical 3D scanner”. *Procedia Engineering*. 100 (2015): s. 1198–1206.
- Gapinski B., Wieczorowski M., Marciniak-Podsadna L., Dybalab B., Ziolkowski G. „Comparison of different methods of measurement geometry using CMM, optical scanner and computed tomography 3D”. *Procedia Engineering*. 69 (2014): s. 255–262.
- GOM Optical Measuring Techniques, Germany (2012). Instrukcja obsługi skanera Atos II.
- Kumor S. „Projekt procesu technologicznego wybranego elementu klasy korpus z zastosowaniem inżynierii odwrotnej”. Praca dyplomowa magisterska, wykonana pod kierunkiem dr. inż. Jerzego Bochni. Politechnika Świętokrzyska, Kielce, 2016.