

# Wykorzystanie pomiarów współrzędnościowych w ocenie dokładności procesu inżynierii odwrotnej obiektu przestrzennego

## Use of coordinate measurements in the accuracy evaluation of the reverse engineering process of the spatial object

ANDRZEJ WERNER \*

DOI: 10.17814/mechanik.2016.11.489

W artykule zaprezentowana została metodyka rekonstrukcji obiektu przestrzennego. Przedstawione zostały kolejne etapy procesu obejmujące: digitalizację kształtów obiektu, budowę jego modelu geometrycznego, ocenę dokładności utworzonego modelu geometrycznego. Dokładność modelu CAD rekonstruowanego obiektu oszacowana została na podstawie pomiarów współrzędnościowych.

**SŁOWA KLUCZOWE:** digitalizacja, skaner optyczny, model CAD, pomiary współrzędnościowe

*The article presents the method of reconstruction of the spatial object. The next stages of the process were described: digitalization of the object, the construction of its geometric model, an assessment of the accuracy of the created CAD model. The accuracy of the CAD model of the reconstructed object was estimated on the basis of the coordinate measurements.*

**KEYWORDS:** digitalization, optical scanner, CAD model, coordinate measurements

Inżynieria odwrotna jest obecnie szeroko stosowana w projektowaniu nowych wyrobów [1] lub wytwarzaniu części zapasowych zużytych elementów [2]. W takich branżach, jak przemysł lotniczy, motoryzacyjny, stoczniowy i medyczny, często buduje się modele geometryczne projektowanych elementów z wykorzystaniem wcześniej wytworzonych modeli fizycznych [3]. Kluczowymi elementami procesu inżynierii odwrotnej jest digitalizacja obiektu i budowa jego modelu geometrycznego. Proces digitalizacji realizowany jest obecnie najczęściej z wykorzystaniem współrzędnościowych maszyn pomiarowych [4], skanerów optycznych [5] lub laserowych [6]. Budowa modelu geometrycznego obiektu koncentruje się w głównej mierze na przetwarzaniu chmur punktów pomiarowych i przekształcaniu ich w powierzchniowe modele geometryczne odtwarzanych obiektów [7]. W przypadku wykorzystania w procesie inżynierii odwrotnej technik szybkiego prototypowania można na podstawie utworzonego modelu geometrycznego wykonać materialną kopię odtwarzanego obiektu [8]. W artykule zaprezentowana została rekonstrukcja obiektu przestrzennego z wykorzystaniem skanera optycznego.

### Opis metodyki

Prezentowana w artykule metodyka odtwarzania obiektów przestrzennych realizowana jest w następujących etapach. Etap pierwszy – digitalizacja, w którym przeprowadza się skanowanie obiektu z wykorzystaniem skanera

optycznego. W efekcie uzyskiwana jest chmura punktów, która umożliwia odwzorowanie kształtu i wymiarów rekonstruowanego obiektu. Odpowiednia realizacja tego etapu wymaga zaplanowania następujących czynności:

- przygotowanie odpowiednich warunków umożliwiających właściwe złożenie wielu chmur punktów pomiarowych (właściwe naniesienie markerów na skanowany obiekt),
- odpowiednie usytuowanie obiektu w przestrzeni pomiarowej skanera,
- liczba ekspozycji oraz właściwe ustawienie skanera w trakcie realizacji.

Etap drugi – tworzenie modelu geometrycznego odtwarzanego obiektu. Uzyskanie modelu powierzchniowego wymaga przekształcania danych pomiarowych w trzech kolejnych fazach: punktów, wieloboków, powierzchni. W pierwszej kolejności obróbce poddawana jest chmura punktów uzyskanych w trakcie pomiaru skanerem optycznym. Dalsze przetwarzanie chmury punktów obejmuje: filtrowanie szumów, wygładzanie, wypełnianie ubytków, uniformizację. Odpowiednio przetworzoną chmurę punktów pomiarowych przekształca się w obiekt przestrzenny składający się z siatki trójkątów. Tej klasy obiekt można poddać dalszej obróbce polegającej głównie na: naprawie siatki wieloboków, wygładzaniu, wypełnianiu ubytków, łączeniu różnych grup wieloboków, obróbce krawędzi, wyostrzaniu naroży. Przetwarzanie to ma na celu przygotowanie właściwych danych umożliwiających realizację ostatniej fazy tworzenia modelu geometrycznego odtwarzanego obiektu. W fazie tej z wieloboków przestrzennych tworzone są płyty powierzchni.

Etap trzeci – oszacowanie dokładności utworzonego modelu CAD rekonstruowanego obiektu. Na tym etapie przeprowadza się pomiary na współrzędnościowej maszynie pomiarowej. Wyniki pomiarów po odpowiednim dopasowaniu są porównywane z utworzonym wcześniej modelem CAD obiektu. Uzyskuje się w ten sposób informacje o różnicach wymiarowych występujących pomiędzy materialnym obiektem odtwarzanym a jego wirtualnym modelem. Informacje te są podstawą do określenia dokładności realizacji procesu inżynierii odwrotnej.

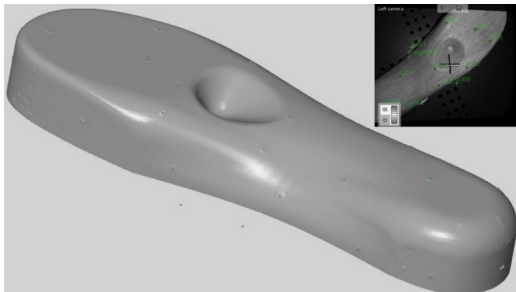
Etap czwarty – wykonanie materialnej kopii odtwarzanego obiektu. Na tym etapie wytwarzana jest materialna kopia części z wykorzystaniem technik szybkiego prototypowania.

Nowym elementem w proponowanej metodyce realizacji procesu inżynierii odwrotnej jest etap trzeci, w którym następuje oszacowanie dokładności utworzonego modelu CAD. W ten sposób weryfikowana jest poprawność dwóch pierwszych etapów procesu, mająca kluczowy wpływ na efekt końcowy procesu rekonstrukcji.

\* Dr inż. Andrzej Werner (a.werner@pb.edu.pl) – Zakład Technologii Maszyn i Materiałów, Wydział Mechaniczny, Politechnika Białostocka

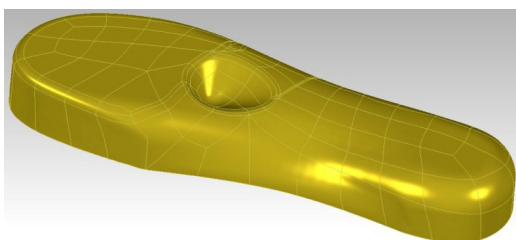
## Badania doświadczalne

Proponowana metodyka inżynierii odwrotnej została zweryfikowana na przykładzie rekonstrukcji matrycy do wytwarzania wkładek ortopedycznych. Skanowanie obiektu wykonane zostało z wykorzystaniem skanera GOM ATOS CORE 200. Na rys. 1 przedstawiony został końcowy efekt skanowania i edycji chmury punktów.



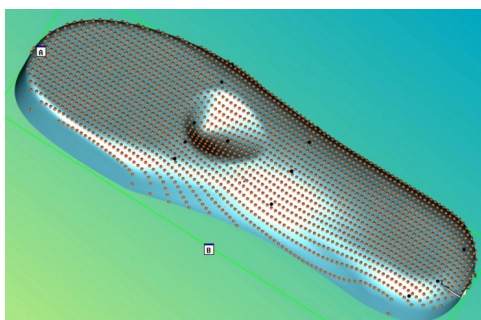
Rys. 1. Końcowy efekt skanowania rekonstruowanego obiektu

W dalszej kolejności dane przetransferowane zostały do programu Geomegic Studio. W programie zrealizowany został etap budowy modelu geometrycznego rekonstruowanej matrycy. W pierwszej kolejności utworzona została siatka wieloboków, która poddana została dalszemu przetwarzaniu. Usunięte zostały nieciągłości siatki, wygładzono nierówności. Przetworzona siatka wieloboków posłużyła do budowy powierzchniowego modelu geometrycznego odtwarzanego obiektu (rys. 2). Model został utworzony poprzez wygenerowanie płatów powierzchni NURBS.



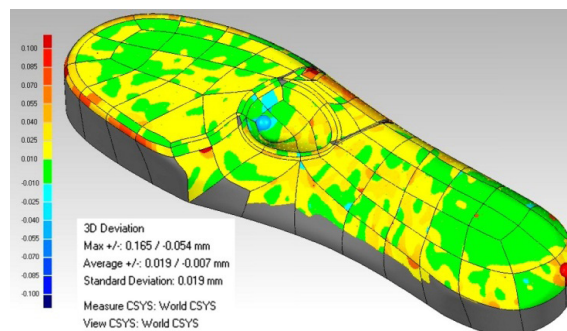
Rys. 2. Utworzony model geometryczny rekonstruowanej matrycy

W trzecim etapie procesu rekonstrukcji przeprowadzone zostały pomiary współrzędnościowe mające na celu oszacowanie dokładności utworzonego modelu geometrycznego. Pomiary przeprowadzono na WMP GLOBAL Performance z głowicą SP25M (oprogramowanie PCDMIS,  $MPE_E = 1,5 + L/333$  mm). Model geometryczny rekonstruowanego obiektu zapisany został w formacie IGES i przesłany do oprogramowania sterującego pracą maszyny pomiarowej. Na jego podstawie zaprogramowano pomiary współrzędnościowe matrycy. Wykorzystana została procedura skanowania automatycznego, w efekcie której uzyskano 1899 punktów pomiarowych (rys. 3).



Rys. 3. Rozkład punktów pomiarowych

Wyznaczenie wartości i rozkładu odchyłek wykonano w programie Geomegic Qualify. Dopasowano model CAD rekonstruowanego obiektu oraz punkty będące wynikiem pomiarów współrzędnościowych. Na rys. 4 przedstawiony został rozkład odchyłek oraz lokalizacje odchyłek maksymalnych – ujemnej ( $-0,054$  mm) i dodatniej ( $0,165$  mm).



Rys. 4. Rozkład odchyłek zaobserwowanych

Z analizy uzyskanych danych wynika, że 1872 (98,58%) odchyłek zawiera się w przedziale ( $-0,055$ ,  $0,055$ ) mm. Reszta tj. 27 (1,42%) występuje w miejscach, gdzie wystąpiły wyraźne ubytki skanowanej powierzchni obiektu (uszkodzenia, ślady po obróbce). Ubytki te na etapie modelowania geometrycznego zostały wygładzone. Poprawiło to końcową jakość utworzonego modelu CAD matrycy.

Na podstawie uzyskanych wyników (przy uwzględnieniu klasy odtwarzanego obiektu) stwierdzono, że utworzony model CAD jest modelem odtwarzającym z zadowalającą dokładnością kształty rekonstruowanej części. Wskazuje to, że etapy digitalizacji i modelowania geometrycznego przeprowadzone zostały prawidłowo. Uzyskany model CAD może być wykorzystany w końcowym etapie procesu rekonstrukcji – wytworzeniu kopii odtwarzanego obiektu.

## Podsumowanie

W artykule wykazano, że włączenie do procesu inżynierii odwrotnej pomiarów współrzędnościowych umożliwia oszacowanie dokładności uzyskanego modelu geometrycznego rekonstruowanej części. Uzyskany rozkład odchyłek wskazuje dodatkowo na miejsca, gdzie nastąpiło największe odstępstwo od materialnego oryginału. Można to potraktować jako wskazówki do dalszej przebudowy modelu CAD mającej na celu zwiększenie dokładności procesu inżynierii odwrotnej.

## LITERATURA

1. Hsiao S.W., Chuang J.C. "A reverse engineering based approach for product form design". *Design Stud.* Vol. 24, No. 2 (2003): pp. 155–171.
2. Bagci E. "Reverse engineering applications for recovery of broken or worn parts and re-manufacturing: Three case studies". *Adv Eng Softw.* Vol. 40 (2009): pp. 407–418.
3. Zhang Y. "Research into the engineering application of reverse engineering technology". *J Mater Process Tech.* Vol. 139 (2003): pp. 472–475.
4. Liang S., Lin A.C. "Probe radius compensation for 3D data points in reverse engineering". *Comput Ind.* Vol. 48 (2002): pp. 241–251.
5. Park S.C., Chang M. "Reverse engineering with a structured light system". *Comput Ind Eng.* Vol. 57 (2009): pp. 1377–1384.
6. Korosec M., Duhovnik J., Vukasinovic N. "Identification and optimization of key process parameters in noncontact laser scanning for reverse engineering". *Comput Aided Design.* Vol. 42 (2010): pp. 744–748.
7. Azariadis P., Sapidis N. "Product design using point-cloud surfaces: A recursive subdivision technique for point parameterization". *Comput Ind.* Vol. 58 (2007): pp. 832–843.
8. Lee K.H., Woo H. "Direct integration of reverse engineering and rapid prototyping". *Comput Ind Eng.* Vol. 38 (2000): pp. 21–38.