

# Porównanie błędów optycznych metod pomiarowych

## Comparison of errors of the optical measurement methods

SŁAWOMIR JURKOWSKI  
EDMUND KULAWIK \*

DOI: 10.17814/mechanik.2016.11.487

Artykuł przedstawia porównanie błędów pomiarowych wybranych optycznych metod pomiarów. W badaniach wykorzystano skaner optyczny, mikroskop pomiarowy oraz metody fotogrametryczne. Dużo uwagi poświęcono narzędziu 123D, dostarczanemu przez firmę Autodesk, oraz jego przydatności przy realizowaniu zadań pomiarowych.

**SŁOWA KLUCZOWE:** dokładność pomiaru, fotogrametria, skaner optyczny, mikroskop pomiarowy

*The article shows the comparison of errors of the optical measurement methods. In research one used the optical scanner, the measuring-microscope and photogrammetric methods. The large part of the article is about „123D” software developed by Autodesk. A main objective the elaboration is the proof of the usefulness of the software 123d to measuring- challenges.*

**KEYWORDS:** measuring accuracy, photogrammetry, optical scanner, measuring-microscope

### Wstęp

W niniejszym artykule porównane zostały optyczne metody pomiarowe. Obiektem badań był ślizgacz grafitowy. Jako odniesienie do określenia błędów pomiaru wykorzystane zostały wyniki uzyskane przy pomocy współrzędnościowego ramienia pomiarowego Romer Omega 2025, przy wykorzystaniu stykowej końcówki pomiarowej o średnicy 6 mm. Podstawowym celem przeprowadzonych pomiarów była odpowiedź na pytanie, czy darmowe oprogramowanie 123D Catch, dostarczane przez firmę Autodesk, może stanowić alternatywę dla komercyjnych optycznych systemów pomiarowych.

### Wykorzystane metody pomiarowe

Pomiary przedstawione w artykule zostały wykonane przy pomocy: mikroskopu pomiarowego, optycznego skanera 3D oraz wykorzystano dwa narzędzia fotogrametryczne (123D Catch i Photoscan). W przypadku obu metod fotogrametrycznych wykorzystano tę samą serię 64 zdjęć wykonywanych co 10° na dwóch wysokościach zamocowania aparatu fotograficznego nad obrotnicą. Po obliczeniach uzyskano modele trójwymiarowe w formacie „.obj”, po czym przy pomocy oprogramowania Blender 3D wyeksportowano je do formatu „.stl”.

Skaner wykorzystany do pomiarów działał na zasadzie oświetlania obiektu światłem strukturalnym i analizy obrazu rejestrowanego przez kamerę. Otrzymane chmury punktów pomiarowych złożono w całość za pomocą oprogramowania DAVID i wyeksportowano jako model „.stl”.

Parametry wyposażenia wykorzystanego podczas przeprowadzania pomiarów:

- mikroskop pomiarowy Carl Zeiss, wyposażony w układ odczytowy Heidenhain,

$$MPE_E = 2,5 + 0,02 \cdot L \text{ [mm]} \quad (1)$$

gdzie:  $MPE_E$  – maksymalny dopuszczalny błąd pomiaru [1];  $L$  – mierzona długość.

- współrzędnościowe ramię pomiarowe Romer Omega 2025,

$$MPE_E = 16 + \frac{L}{2,8} \leq 0,068 \text{ [mm]} \quad (2)$$

- skaner 3D światła strukturalnego David SLS-2, rozdzielczość pomiaru – 0,06 mm [5],
- aparat fotograficzny Nikon Coolpix p520, matryca 18,1 Mpx, rozdzielczość zdjęć 4896 × 3672 pixeli,
- sterowana numerycznie obrotnica ze statywem na aparat fotograficzny.

### Wyniki badań

W tablicy zestawiono błędy pomiarowe obliczone zgodnie ze wzorem (3), przy czym jako wartości prawdziwe wymiarów przyjęto wyniki uzyskane przy pomocy mikroskopu pomiarowego. Głębokość otworów nieprzelotowych zmierzono ramieniem pomiarowym.

$$\Delta x = x - x_0 \quad (3)$$

gdzie:  $\Delta x$  – błąd bezwzględny;  $x_0$  – wartość rzeczywista;  $x$  – wartość zmierzona.

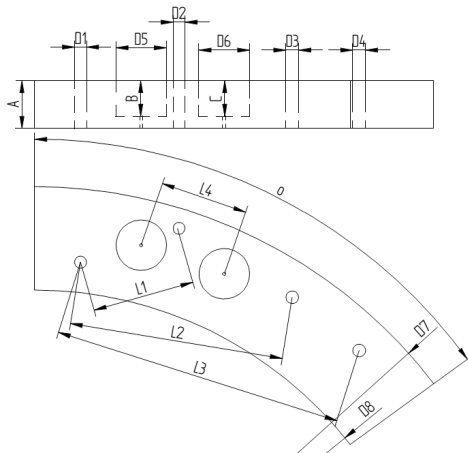
**TABLICA I. Błędy pomiaru w odniesieniu do wymiarów uzyskanych współrzędnościowym ramieniem pomiarowym**

	123D	David	Photoscan
A	0,403	-1,420	0,784
B	x	0,227	x
C	x	0,119	x
D1	x	0,458	x
D2	x	0,112	x
D3	x	-0,173	x
D4	x	0,600	x
D5	-0,249	0,185	-0,858
D6	-0,242	0,304	-0,794
α	0,682	-0,058	0,006
D7	-5,252	7,881	-4,118
D8	-3,821	-1,597	3,383
L1	x	-0,125	x
L2	x	-0,043	x
L3	x	-0,613	x
L4	0,238	0,005	0,176
Średnia	-1,177	0,366	-0,203
Odch. std.	2,355	2,093	2,241

Dodatkowo policzono średnią i odchylenie standardowe dla każdej metody.

\* Mgr inż. Sławomir Jurkowski (slaw-jur@wp.pl), dr inż. Edmund Kulawik (kedmund@wp.pl)

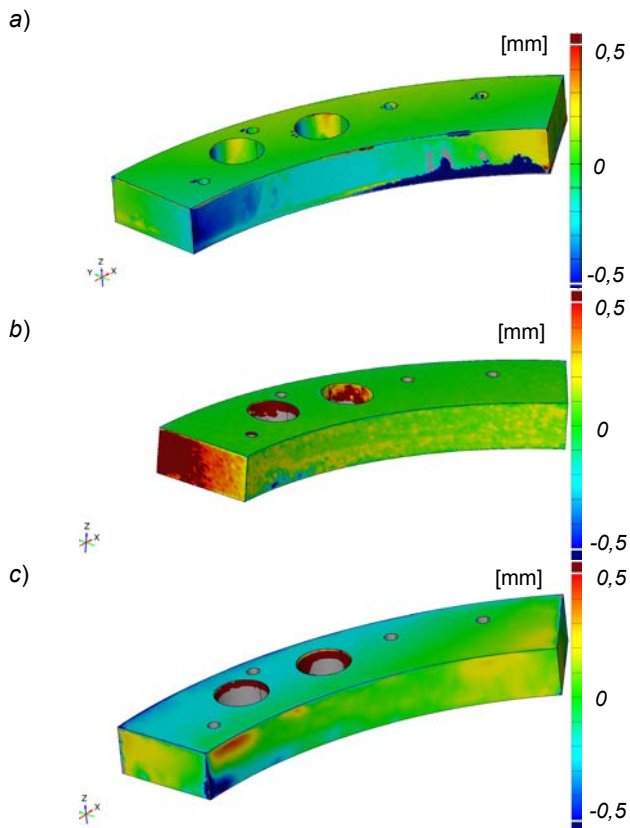
Znakiem „x” oznaczono wymiary, których nie udało się zmierzyć daną metodą. Na rysunku technicznym (rys. 1) zaznaczono wymiary elementu mierzonego.



Rys. 1. Oznaczenia wymiarów

### Analiza graficzna

Korzystając z wyników pomiarowych wykonanych z wykorzystaniem mikroskopu pomiarowego oraz współrzędnościowego ramienia pomiarowego, opracowany został model trójwymiarowy mierzonej części, który posłużył jako odniesienie przy porównaniu metod optycznych. Analizę porównawczą (rys. 2) przeprowadzono przy użyciu oprogramowania GOM Inspect V8 SR1 [3].



Rys. 2. Analiza graficzna błędów pomiarów uzyskanych porównywanymi metodami optycznymi: a) DAVID, b) Photoscan, c) 123D

Skalę barwną dla błędów pomiarów liczonych w stosunku do modelu referencyjnego przyjęto w granicach  $\pm 0,5$  mm, przy czym kolor zielony oznacza pokrycie się elementu mierzonego z modelem referencyjnym, kolor czerwony – błąd dodatni, a niebieski – błąd ujemny.

W przypadku metod fotogrametrycznych uwidaczniają się problemy z odwzorowaniem otworów wykonanych w elemencie. Spowodowane jest to niedoświetleniem wewnętrznych powierzchni z uwagi na niewielkie średnice otworów. Obrotownica wykorzystywana we podczas realizacji pomiarów została wyposażona w własne oświetlenie stolika pomiarowego, jednak i tak otworów nie udało się dostatecznie doświetlić. Zdecydowaną przewagę w tym względzie ma system DAVID, ponieważ rzutnik światła strukturalnego zapewnia odpowiednie oświetlenie powierzchni wewnętrznych przedmiotu [6].

### Podsumowanie

Z opracowania danych pomiarowych wynika, że najgorsze rezultaty uzyskuje się przy wykorzystaniu oprogramowania 123D. Zestawienie tego narzędzia z oprogramowaniem Photoscan wskazuje, że wartość bezwzględna średniego błędu pomiaru dla 123D jest o 0,974 mm większa. Użytkownik oprogramowania 123D nie ma możliwości zmiany ustawień związanych z jakością odwzorowania modelu 3D. W celu podniesienia jakości odwzorowania istnieje możliwość oznakowania markerów na sąsiednich zdjęciach [4]. Obliczenia związane z wygenerowaniem modelu trójwymiarowego realizowane są na serwerze dostawcy oprogramowania. W przypadku Photoscan obliczenia wymagały użycia procesora głównego, jak i procesorów karty graficznej komputera. Sam proces generowania modelu trójwymiarowego odbywa się wieloetapowo, a na każdym z nich użytkownik ma możliwość zmiany ustawień w celu osiągnięcia jak najlepszych rezultatów.

Najdokładniejsze wyniki zaobserwowano przy wykorzystaniu systemu pomiarowego z oprogramowaniem Photoscan średni błąd wyniósł w tym przypadku  $-0,203$  mm. W przypadku systemu David uzyskano odwzorowanie największej liczby elementów. Ta metoda pomiarowa jest jednak najbardziej czasochłonna, ponieważ obróbka chmury punktów i zestawienie modelu ze skanów cząstkowych jest niezwykle pracochłonne.

Istotna w tym miejscu jest analiza odchylenia standardowego. W przypadku wszystkich trzech systemów pomiarowych odchylenie standardowe przekracza 2 mm, czyli rozrzut wartości zmierzonych od wartości prawdziwych jest znaczny.

Fakt, że oprogramowanie 123D jest darmowe, a koszt całego systemu pomiarowego nie przekroczył 2000 zł, stanowi największą jego zaletę. Może on znaleźć zastosowanie, gdy nie są wymagane wysokie dokładności odwzorowania.

### LITERATURA

1. Jakubiec W., Zator S., Majda P. „Metrologia”. Warszawa: Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, 2014.
2. Śladek J. „Dokładność pomiarów współrzędnościowych”. Kraków: Wydawnictwo PK, 2011.
3. Szymor P., Kozakiewicz M., Olszewski R. „Accuracy of open-source software segmentation and paper-based printed three-dimensional models”. *Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery*. Vol. 44, No. 2 (2016): pp. 202–209.
4. Mihályi R.G., Pathak K., Vaskevicius N., Fromm T., Birk A. „Robust 3D object modeling with a low-cost RGBD-sensor and AR-markers for applications with untrained end-users”. *Robotics and Autonomous Systems*. Vol. 66, pp. 1–17.
5. <http://www.david-3d.com/en/products/sls-2> (dostęp: 20.05.2016 r.).
6. Straub J. „The Use of a Low-Cost Visible Light 3D Scanner to Create Virtual Reality Environment Models of Actors and Objects”. *Modeling and Simulation for Defense Systems*. Vol. 9478, No. 9478H.