

Wykorzystanie laserowych pomiarów współrzędnościowych oraz maszyny współrzędnościowej do oceny dokładności geometrycznej wydruków 3D w technologii PolyJet

The use of laser scanner and coordinate measurement machine in evaluation of geometrical precision in 3D PolyJet printing

KATARZYNA FIEDORCZUK
DANIEL RESKA
KRZYSZTOF JURCZUK
MAREK KRĘTOWSKI*

DOI: 10.17814/mechanik.2016.11.456

Zaprezentowano ocenę dokładności geometrycznej wydruków 3D w technologii PolyJet. Pomiary modeli wykonano za pomocą skanera laserowego oraz maszyny współrzędnościowej.
SŁOWA KLUCZOWE: druk 3D, dokładność wydruków, maszyna współrzędnościowa, skaner laserowy

The paper presents assessment of geometrical accuracy in 3D printing in PolyJet technology. The measurements were made on a laser scanner and coordinate measurement machine.

KEYWORDS: 3D printing, printing accuracy, coordinate measurement machine, laser scanner

Nową i bardzo dynamicznie rozwijającą się gałęzią techniki jest szybkie prototypowanie (*rapid prototyping*). Jest to proces obróbki addytywnej (przyrostowej), w którym prototypy lub też właściwe przedmioty wytwarza się, dodając kolejne warstwy materiału modelowego. Osadzanie materiału jest wyprofilowane w dwóch płaszczyznach, trzecią stanowi grubość nakładanej warstwy [5]. Wytwarzanie w ten sposób przedmiotów eliminuje konieczność stosowania specjalnego oprzyrządowania, skraca czas produkcji, co daje tej technice przewagę nad obróbką skrawaniem. Produkty projektowane są w pamięci komputera, za pomocą systemów CAD, a następnie przesyłane bezpośrednio do komputera wewnętrznego drukarki 3D.

W procesie szybkiego prototypowania może się pojawić szereg błędów. Są to niedokładności związane z techniką wydruku, rodzajem materiału, grubością nakładanej warstwy, ustawieniem modelu na platformie roboczej oraz dyskretyzacją numeryczną danych. W wielu publikacjach omawiane są błędy wykonania wydruków, najczęściej anatomiczne. Do sprawdzania dokładności wymiarowej obiektu można wykorzystać maszyny współrzędnościowe (MW) oraz skanery laserowe (SL).

Podczas pomiarów współrzędnościowych lokalizuje się punkty, za pomocą których maszyna wyznacza geometrię mierzonego obiektu [9]. Skaner laserowy opiera swoje bada-

nie na zlokalizowaniu naniesionych na obiekt markerów, rozpoznawalnych dla niego we własnym układzie skanowania. Skaner automatycznie orientuje dane w przestrzeni, dając użytkownikowi w efekcie chmurę punktów obiektu.

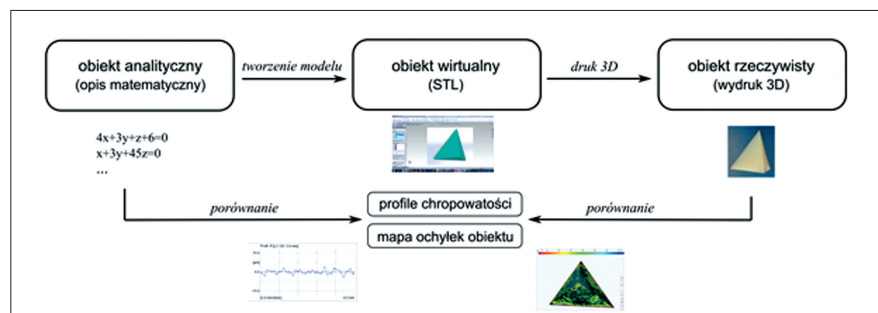
W wielu pozycjach literaturowych do oceny niedokładności odwzorowania powierzchni została użyta suwmiarka cyfrowa. W pracy [6] pięciokrotnie wykonywano pomiary liniowe pomiędzy zaznaczonymi punktami. Podobne doświadczenia przeprowadzili autorzy [2 i 9], którzy porównywali rzeczywisty obiekt z jego wydrukiem 3D.

W publikacjach [1, 4 i 10] omówiono badanie dokładności struktur kostnych za pomocą skanera optycznego. Na początku zostało wykonane obrazowanie metodą CT/MRI. Następnie zeskanowano obiekt rzeczywisty. Wyniki pokazały znaczny wpływ obrazowania oraz samej technologii drukowania na dokładność modelu.

Natomiast w pracach [7 i 8] szukano wartości niedokładności modelowania medycznego za pomocą MW. Autor [3] starał się ocenić różnicę w modelach wykonanych dwoma różnymi technikami szybkiego prototypowania: SLS i PolyJet.

Metoda i rezultaty

Badano dokładność wydruków wykonanych w technologii PolyJet. Na podstawie roboczą urządzenia natryskiwany był fotonopolimer (żywica akrylowa), utwardzany światłem pochodzącym z lamp UV.



Rys. 1. Schemat blokowy przeprowadzonych badań

* Mgr inż. Katarzyna Fiedorczyk (katarzyna.fiedorczyk@o2.pl) – Wydział Mechaniczny Politechniki Białostockiej, ChM; mgr inż. Daniel Reska (d.reska@pb.edu.pl), dr inż. Krzysztof Jurczuk (k.jurczuk@pb.edu.pl), dr hab. inż. Marek Krętowski prof. PB (m.kretowski@pb.edu.pl) – Wydział Informatyki Politechniki Białostockiej

Badany obiekt został opisany analitycznie, następnie stworzono model komputerowy (obiekt wirtualny), który został wydrukowany w kilku wersjach (rys. 1). Wydrukowane na potrzeby badania próbki stanowiły identyczne

czworościany z różnym wykończeniem powierzchni, wykonane z różnych materiałów.

Do badań użyto dwa rodzaje żywicy: FullCure720 oraz VeroWhitePlus. Grubość zastosowanej warstwy wynosiła 0,03 mm. Wykończenie powierzchni wykonanych modeli było błyszczące i matowe.

Oprócz błędów powstających przy eksporcie modelu 3D do formatu STL, są również błędy, które generuje drukarka 3D, związane z nierównością powierzchni, rodzajem materiału wykorzystanego do druku i jego skurczami oraz ustawieniem obiektu na podstawie drukującej.

W niniejszej pracy wykorzystano bezdotykowe techniki optyczne, w których zastosowanie znalazła metoda punktowa, bazująca na triangulacji laserowej, oraz technika

dotykowa, w której używa się współrzędnościowej maszyny pomiarowej.

W tablicy oraz na rys. 2 przedstawiono szczegółowe wyniki pomiarów dokładności. Natomiast na rys. 3 pokazano przykładową mapę odchyłek z programu GOM oraz wykres odchyłek wzdłuż prostej na jednej ze ścian. Wyraźnie widać, że wydruki uzyskane z żywicy FullCure720 są dokładniejsze. Analiza odchyłek wykazuje, że wahają się one pomiędzy 0,02–0,06 mm. Jednakże są one znacznie większe w przypadku skanera laserowego. Niewielkie znaczenie ma wykończenie powierzchni. Krzywa regresji na rys. 3 ilustruje, że błąd wydruku narasta systematycznie wzdłuż ściany obiektu.

Wnioski

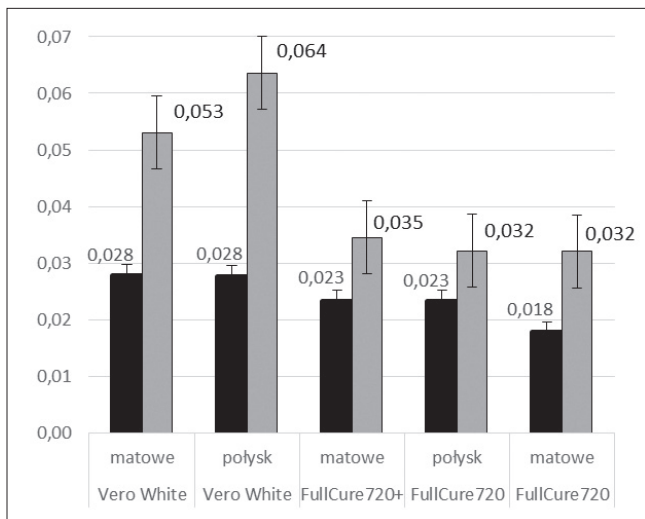
Otrzymane wyniki pokazują, że bez względu na wybór maszyny pomiarowej w wydrukowanym obiekcie zostały zaobserwowane błędy. Na dokładność odwzorowanych brył w większym stopniu wpływa rodzaj materiału niż rodzaj jego wykończenia. Potwierdzono, że maszyna współrzędnościowa dokładniej weryfikuje model niż skaner laserowy. Natomiast skaner laserowy dostarcza pomiarów o większej rozdzielczości przestrzennej. Dlatego obie metody mają cechy pożądane podczas oceny dokładności.

Stwierdzone błędy, systematycznie wzrastające wzdłuż ściany obiektu, wymagają dokładniejszych badań, które zostaną przeprowadzone na obiektach o zróżnicowanych kształtach. Dalsze badania obejmą także obrazowanie CT oraz inne technologie i maszyny przeznaczone do druku 3D.

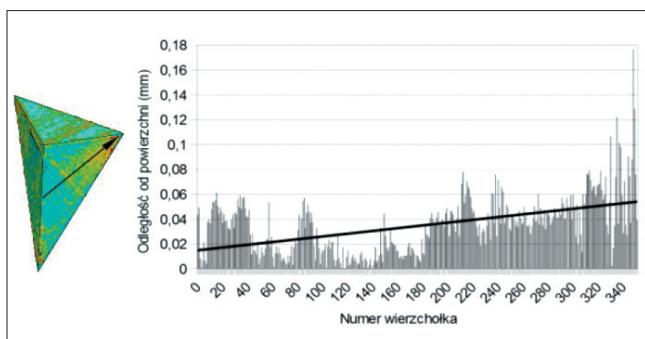
TABLICA. Dokładność wydruku mierzona za pomocą SL i MW dla próbek matowych (M) oraz z połyskiem (P)

Materiał	W	Mas	Min	Maks	Śr	Sd	I. pkt
VW	M	MW	0,000009	0,360	0,014	0,028	2292
		SL	0,000003	0,568	0,052	0,053	28739
	P	MW	0,000013	0,265	0,024	0,028	2297
		SL	0,000005	0,826	0,054	0,064	29645
FC720*	M	MW	0,000008	0,282	0,013	0,023	2301
		SL	0,000003	0,453	0,027	0,035	30397
FC720	P	MW	0,000008	0,282	0,013	0,023	2301
		SL	0,000001	0,433	0,026	0,032	30385
	M	MW	0,000002	0,217	0,017	0,018	2298
		SL	0,000002	0,473	0,029	0,032	32143

VW – VeroWhitePlus, FC720 – FullCure720, W – wykończenie, Mas – maszyna, Min – minimum, Maks – maksimum, Śr – średnia, Sd – odchylenie standardowe, *próbki ułożone pod kątem 45°



Rys. 2. Wykres odchyłek standardowych (czarny – MW, szary – SL)



Rys. 3. Mapa odchyłek i odchylenie wzdłuż ściany wraz z krzywą regresji

LITERATURA

- Budzik G., Dziubek T., Turek P., Traciak J., „Analiza dokładności odwzorowania geometrii odcinka żuchwy wykonanego technologią FDM”. *Mechanik*. Nr 12 (2015): s. 22–26.
- Choi J.-Y. et al. „Analysis of errors in medical rapid prototyping models”. *International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*. Vol. 31, No. 1 (2002): pp. 23–32.
- Ibrahim D. et al. „Dimensional error of selective laser sintering, three-dimensional printing and PolyJet models in the reproduction of mandibular anatomy”. *Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery*. Vol. 37 (2009): pp. 167–173.
- Grzelka M., Jakubowicz M., Gaca M., „Odtworzenie geometrii kręgosłupa z wykorzystaniem tomografii komputerowej i optycznego skanera współrzędnościowego”. *Mechanik*. Nr 12 (2015): s. 91–96.
- Jijotiya D., Lal Verma P. „A survey of performance based advanced rapid prototyping techniques”. *Scholars Journal of Engineering and Technology*. Vol. 1, No. 1 (2013): pp. 4–12.
- Nizam A., Gopal R.N., Naing L., Hakim A.B., Samsudin A.R. „Dimensional accuracy of the skull models produced by rapid prototyping technology using stereolithography apparatus”. *Archives of Orofacial Sciences*. Vol. 1 (2006): pp. 60–66.
- Primo B.T. et al. „Accuracy assessment of prototypes produced using multi-slice and cone-beam computed tomography”. *International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*. Vol. 41 (2012): pp. 1291–1295.
- Ryniewicz A. „Accuracy assessment of shape mapping using computer tomography”. *Metrology and Measurement Systems*. Vol. 3, No. 17 (2010): pp. 481–492.
- Silva D.N., Gerhardt de Oliveira M., Meurer E., Meurer M.I., Lopes da Silva J.V., SantaBarbara A. „Dimensional error in selective laser sintering and 3D-printing of models for craniomaxillary anatomy reconstruction”. *Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery*. Vol. 36 (2008): pp. 443–449.
- Van den Broeck J., Vereecke E., Wirix-Speetjens R., Vander Sloten J. „Segmentation accuracy of long bones”. *Medical Engineering & Physics*. Vol. 36, No. 7 (2014): pp. 949–953.