

# Model parametryczny wzorca do sprawdzania drukarek 3D metodą badania pracą

Parametric model of a standard for the „test by work” method adopted for 3D printers

WIKTOR HARMATYS  
MACIEJ GRUZA  
PIOTR GAŚKA  
ADAM GAŚKA  
JERZY SŁADEK \*

DOI: 10.17814/mechanik.2016.5-6.93

Artykuł z XIII Forum Inżynierskiego ProCAX 2015

Prezentowana propozycja wzorca, którego wydruk – po przeanalizowaniu jego jakości – stanowi podstawę do oceny dokładności wytwarzania z zastosowaniem drukarek 3D. Ze względu na dużą różnorodność rozmiarów drukarek 3D wymiary wzorca zostały sparametryzowane w zależności od długości podstawowych osi przestrzeni roboczej drukarki. **SŁOWA KLUCZOWE:** szybkie prototypowanie, drukarki 3D, dokładność wydruku

*This article presents the concept of a standard which could be used for assessment of 3D printers output accuracy. Due to large diversity of working ranges of different 3D printers, dimensions of the standard were related exclusively to the length dimensions of the main axes of machines.*

**KEYWORDS:** rapid prototyping, 3D printers, printing accuracy

Techniki addytywne znajdują coraz szersze zastosowanie w różnych obszarach, np. w przemyśle lotniczym [1], gdzie z powodzeniem wykorzystuje się je do wytwarzania działających prototypów silników lotniczych. Wśród metod generatywnych największą popularnością cieszą się techniki szybkiego prototypowania, a wśród nich tzw. drukowanie 3D. Umożliwiają one wytwarzanie – w bardzo krótkim czasie – zarówno obiektów o prostych, jak i skomplikowanych kształtach, dlatego doskonale nadają się do przygotowywania prototypów lub modeli. Obecnie na rynku działa wiele firm oferujących gotowe drukarki 3D bądź dziesiątki, z których można zbudować własne urządzenie – nawet w warunkach domowych. Niezależnie od wybranego rozwiązania problemem pozostaje ocena dokładności drukarek 3D. Źródłem błędów skutkujących wadami otrzymanego wyrobu należy szukać przede wszystkim w kinematyce urządzenia oraz zastosowanej metodzie druku 3D. Laboratorium Metrologii Współrzędnościowej Politechniki Krakowskiej prowadzi badania mające na celu opracowanie uniwersalnej metody oceny jakości wydruku [2].

W niniejszym artykule opisano badania nad parametrycznym modelem wzorca, który po wydrukowaniu, a następnie po pomiarze tego wydruku mógłby służyć do oceny wynikowej dokładności urządzenia. Autorzy uważają, że wymiary wzorca należy powiązać z zakresem przestrzeni roboczej drukarki. Takie podejście jest zalecane, ponieważ wzorce mające stałe wymiary mogą się okazać niewystarczające. Gdy będą zbyt małe w stosunku do przestrzeni roboczej drukarki, nie odwzorują w odpowiednim stopniu błędów zależnych od długości

przemieszczenia głowicy drukującej, natomiast gdy będą zbyt duże, wtedy wydruk wzorca stanie się zbyt kosztowny i czasochłonny.

## Metoda badania przez pracę

Jedną z metod sprawdzania dokładności maszyn skrawających jest badanie przez pracę [3]. W odniesieniu do obrabiarek procedura takiego badania została krótko scharakteryzowana w normie PN-ISO 230-1 [4]. Metoda ta zakłada kontrolę obrabiarki nie bezpośrednio, lecz przez badania wytworzonego na niej elementu o określonej geometrii. Polegają one na sprawdzeniu założonych odległości oraz odchyłek, m.in. prostopadłości, płaskości i walcowości. Wynik pomiaru dostarcza informacji o rzeczywistej dokładności obrabiarki. W metodzie tej pomija się zatem szczegółowe badania samej maszyny i jej poszczególnych elementów na rzecz efektu pracy urządzenia. Głównymi zaletami takiego podejścia są szybkość i prostota procedury. Wadą jest natomiast brak lub ograniczona możliwość określenia przyczyn nieprawidłowej pracy maszyny, co objawia się powstawaniem odchyłek od akceptowalnych wartości.

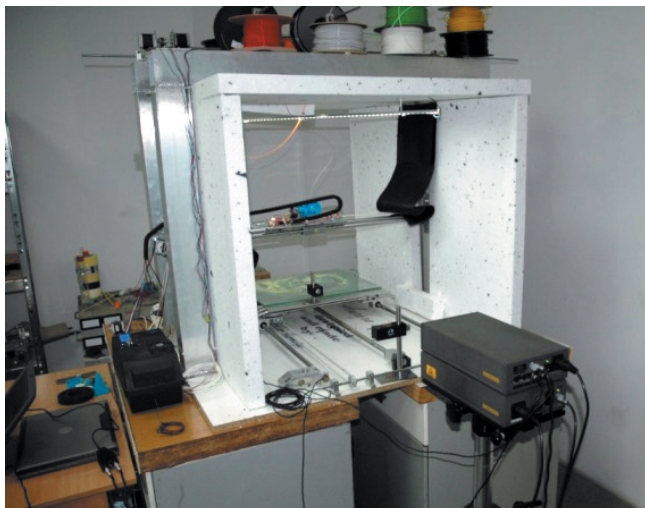
## Przeprowadzone badania

Autorzy założyli, że model wzorca powinien być zaprojektowany w taki sposób, aby dało się go wydrukować na każdej drukarce oraz by pozwalał na uwidocznienie niedoskonałości maszyny i porównanie różnego typu drukarek. Postanowiono, że model będzie bazował na podstawowych kształtach geometrycznych. Ze względu na fakt, że w przypadku drukarek duże znaczenie ma oś Z, odpowiedzialna za wysokość modelu, ten wymiar projektowanego obiektu musiał być o wiele większy w porównaniu z wysokością odpowiednika stosowanego do testowania obrabiarek. W modelu przyjęto prostokątną podstawę – pomiary jej ścian bocznych mogą dostarczyć informacji o prostopadłości i równoległości osi X i Y drukarki. Kolejne elementy tworzą tzw. schody w kierunku osi Z – dzięki nim można uzyskać informację na temat równoległości kolejnych warstw. Ostatnim, najwyższym elementem jest walec, który wraz z płaszczyznami bazowymi stanowi podstawę do oceny odchyłek kształtu.

Problemem projektowym, który należało rozwiązać, było dopasowanie wielkości modelu do przestrzeni roboczej drukarki (jak wiadomo, maszyny nakładające materiał mają rozmaite konfiguracje i przestrzenie robocze). Aby określić optymalne wymiary modelu kontrolnego w stosunku do przestrzeni roboczej drukarki, przeprowadzono odpowiednie badania. Zaprojektowany obiekt

\* Mgr inż. Wiktor Harmatys (wiktorharmatys@gmail.com), mgr inż. Maciej Gruza (gruzam@interia.pl), mgr inż. Piotr Gaśka (pjpgaska@gmail.com), dr inż. Adam Gaśka (agaska@mech.pk.edu.pl), prof. dr hab. inż. Jerzy Sładek (sladek@mech.pk.edu.pl) – Laboratorium Metrologii Współrzędnościowej Politechniki Krakowskiej

kontrolny został wydrukowany w czterech różnych rozmiarach, stanowiących 10%, 40%, 60% i 80% wielkości przestrzeni roboczej drukarki. Główne wymiary są bezpośrednio powiązane z długościami poszczególnych osi maszyny, natomiast wielkości pozostałych elementów geometrycznych dobrano proporcjonalnie do wielkości modelu. Do wydrukowania modeli użyto drukarki Aurora 3D (rys. 1), bazującej na metodzie osadzania topionego materiału FDM (*fused deposition modeling*) i zbudowanej w Laboratorium Metrologii Współrzędnościowej Politechniki Krakowskiej. Przestrzeń robocza drukarki ma wymiary 500 × 500 × 350 mm. Urządzenie wykorzystuje do druku materiały ABS lub PLA.



Rys. 1. Drukarka Aurora 3D

Wszystkie cztery modele wydrukowano z ABS przy tych samych ustawieniach urządzenia i w zbliżonych warunkach otoczenia. Wykorzystany materiał jest trudny w wydruku, ponieważ charakteryzuje się dużym skurczem i wymaga mocnego podgrzania stołu roboczego. W przypadku wytwarzania elementów z ABS na dużych drukarkach najlepsze rezultaty daje zastosowanie zamkniętej przestrzeni pomiarowej. Wydrukowane modele zmierzono na współrzędnościowej maszynie pomiarowej Zeiss WMM 850.

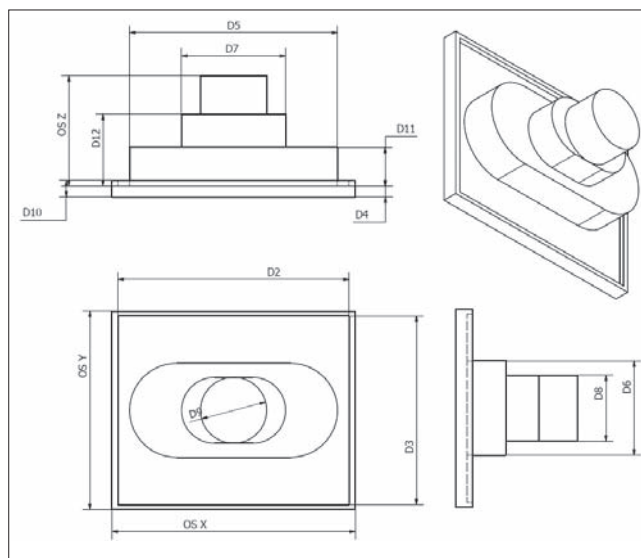
Na podstawie analizy uzyskanych wyników (patrz tablica) można stwierdzić, że w najmniejszym z modeli wystąpił większy błąd okrągłości, co prawdopodobnie było spowodowane tym, że kolejne warstwy filamentu nakładano na nieutwardzoną jeszcze poprzednią warstwę.

**TABLICA. Wyniki pomiarów elementów wzorcowych na maszynie współrzędnościowej Zeiss WMM 850**

Wielkość modelu**, %	Okrągłość, mm	Prostopadłość, mm	Płaskość, mm
10	0,438	0,340	0,114
40	0,308	0,337	0,132
60	0,294	0,344	0,118
80	0,289	0,349	0,127

\*\* Wyrażona jako % wielkości przestrzeni roboczej drukarki

Model o wielkości odpowiadającej 40% przestrzeni roboczej (o wymiarach nie mniejszych niż 70 mm) stanowi najlepszy kompromis pomiędzy zużyciem materiału i czasem drukowania a jakością informacji o rzeczywistym stanie drukarki. Po ustaleniu optymalnej wielkości modelu dokonano parametryzacji jego wszystkich wymia-



Rys. 2. Parametryzacja modelu kontrolnego (np.:  $D2 = 0,95 \times OS X$ ,  $D4 = 0,1 \times OS Z$ ,  $D6 = 0,475 \times OS Y$ )

rów (rys. 2) – w taki sposób, aby model kontrolny o odpowiedniej wielkości można było otrzymać, podając jedynie zakresy trzech głównych osi maszyny.

## Podsumowanie

Ze względu na coraz szersze zastosowanie drukarek 3D nasuwa się pytanie o ich dokładność. Jej jednoznaczna ocenę utrudnia jednak brak norm i jednolitych procedur dotyczących testowania tych urządzeń. Autorzy postanowili więc opracować model kontrolny o sparametryzowanych wymiarach, który mógłby zostać wydrukowany na każdej drukarce (niezależnie od wielkości jej pola roboczego), a następnie zmierzony na maszynie współrzędnościowej. Wydrukowanie kilku modeli różniących się wielkością pozwoliło na dobranie modelu o optymalnych wymiarach zależnych od przestrzeni roboczej drukarki. Gabaryty tego modelu wynoszą 40% długości poszczególnych osi.

Dzięki modelowi parametrycznemu opracowanemu w systemie modelowania 3D podanie wymiarów obszaru roboczego powoduje wygenerowanie odpowiedniego modelu dopasowanego do danej drukarki. Na podstawie wyników pomiarów wytworzonych elementów można określić rzeczywisty zakres błędów drukarki. Wydrukowany model może natomiast posłużyć jako obiekt do porównań dokładności różnych drukarek.

Kolejnym planowanym przez autorów etapem badań będzie analiza obszaru błędów innych drukarek o różnym zakresie roboczym, a także sprawdzenie, czy przedstawiona w artykule metodyka nadaje się do porównywania modeli drukowanych odmiennymi technikami.

## LITERATURA

- Adamski W. „Wykorzystanie technologii Additive Manufacturing w przemyśle lotniczym”. *Mechanik*. Nr 2 (2013): CD.
- Styp-Rekowski M. “Standard accuracy tests of machine-tools prognosis in their state”. *Scientific Problems of Machines Operation and Maintenance*. No. 1 (2009).
- Gąska A., Harmatys W., Śladek J., Gąska P., Gruza M., Jurkowski S. “Checking the accuracy of Fused Deposition Modeling 3D printers using «Test by Work» method”. *XIth International Scientific Conference on Coordinate Measuring Technique CMT 2014* (2015): pp. 34+38.
- PN-ISO 230-1. Przepisy badania obrabiarek. Dokładność geometryczna obrabiarek pracujących bez obciążenia lub w warunkach obróbki wykańczającej. ■