

Analiza jakości wypełnienia druku FFF za pomocą mikrotomografii komputerowej

Quality analysis of filling material printing FFF using x-ray microtomography

PIOTR DUDA
MARIUSZ PEREK
SZYMON SIKORSKI
ZYGMUNT WRÓBEL *

DOI: 10.17814/mechanik.2016.12.555

Niniejsza praca jest przykładem wykorzystania mikrotomografii w inżynierii odwrotnej oraz w diagnostyce i kontroli jakości. W artykule autorzy przedstawili analizy jakości wykonania modeli 3D wydrukowanych na dwóch urządzeniach. Modele wykonano z jakością wypełnienia 100%. Badania wykonane na mikrotomografii komputerowej uwidaczniają niedoskonałości wykonania, kształtu i porowatość wewnętrzną druku. Do analiz wykorzystano skrypt napisany w programie Matlab.

SŁOWA KLUCZOWE: druk 3D, jakość wypełnienia, mikrotomografia, analiza obrazu

This paper is an example of using microtomography in reverse engineering as well as diagnosis and quality control. In this article the authors present the analysis of quality of 3D models printed using two devices. The models have been made with 100% fill factor. The study performed using computed microtomography highlight the imperfections of execution, shape and internal porosity of the print. The analysis has been performed using a script written in Matlab.

KEYWORDS: 3D printing, quality infill, X-ray microtomography, image analysis

Odpowiednio projektując części maszyn pod technologię FFF, można wykonać odpowiedzialne podzespoły oraz elementy do zastosowań medycznych [1]. Na wytrzymałość i szczelność wydruków w znaczący sposób wpływają typ oraz gęstość wypełnienia. Znaczenie niebagatelne ma także orientacja warstw i wypełnienia [2]. Sterując tymi parametrami, możemy znacząco poprawić jakość produktów uzyskiwanych tą metodą szybkiego prototypowania. Mimo że wiadomo, jak istotna jest jakość wypełnienia, oprócz druku otwartego nie ma wielu metod badawczych do analizy w sposób nieniszczący produktów z drukarek 3D.

Mikrotomografia komputerowa (*computed microtomography*) jest nieinwazyjną metodą badawczą, pozwalającą odwzorować strukturę wewnętrzną badanego obiektu na podstawie dwuwymiarowych projekcji pozyskanych z obracającego się obiektu [3, 4]. Dzięki tym cechom możliwa była analiza dokładności wykonania oraz jakości wypełnienia zaprojektowanych wzorników. Do badań zaprojektowano dwa rodzaje modeli, z otworem i bez. Przelotowy otwór w próbce miał pozwolić określić jakość i dokładność wykonania detali wewnętrznych. Stopniowanie modeli za pomocą ściegów bocznych miało ułatwić określenie dokładności wymiarowej w pionowej osi drukarki.

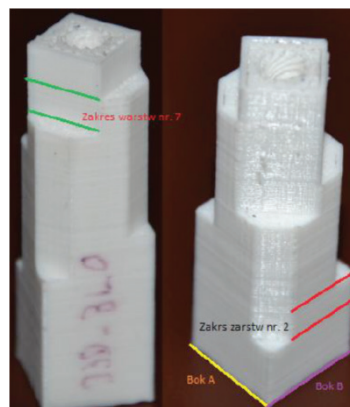
Do wydruku obiektów wytypowano dwie drukarki Prusa i3 jako przedstawiciela drukarek RepRap oraz Maker Bota Z18 jako urządzenie profesjonalne. Próbkę w obu przypad-

kach wydrukowano ze 100% wypełnieniem z materiału PLA. Ze względu na znaczne różnice w możliwościach obu urządzeń wydruki wykonano przy największej dostępnej dokładności. Najbardziej różniącym się parametrem była wysokość warstwy, która dla Prusy i3 wynosiła 0,2 mm, a dla Maker Bota 0,1 mm.

Wydrukowane modele w dalszej kolejności poddano badaniom na wysokorozdzielczym skanerze rentgenowskim GE PHOENIX v|tome|s przy parametrach: napięciu przyspieszającym 130 kV, natężeniu prądu anodowego 160 μ A i wielkości woksela 33,333 μ m. Z pozyskanych projekcji po procesie rekonstrukcji uzyskano obrazy warstwowe, które w dalszej kolejności poddano analizie w napisanym do tego celu skrypcie w programie Matlab.

Analiza wyników

Ze względu na dużą ilość wyników i niedoskonałości opracowanego algorytmu dla niezarysowanych wyraźnie warstw (obrazy warstwy początkowych i końcowych) dokonano porównania wartości parametrów dla pewnych grup obrazów (wycinków modelu). Analizowanymi wycinkami są przedziały warstw między stopniami modelu o numerach 2 i 7 (tabl. I, rys. 1). Na podstawie wyników z zaznaczonych przedziałów w dalszej części pracy przedstawiono charakterystyki wydrukowanych obiektów. W tabl. I w ostatniej kolumnie zawarto wyniki pomiaru wysokości modeli.



Rys. 1. Przykładowy wydruk 3D z zaznaczonymi przedziałami analizowanych warstw

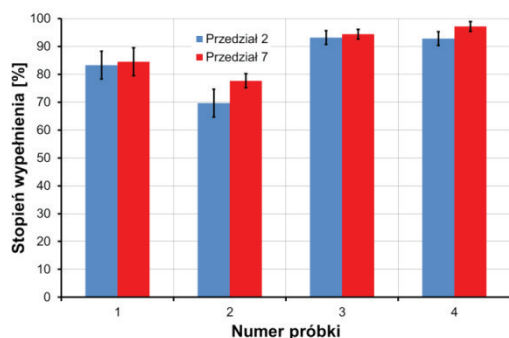
Analizując wydruki otrzymane z drukarki Maker Bot Replicator Z18, można powiedzieć, że wartość średniego procentowego stopnia wypełnienia warstwy próbek bez otworów jest większa niż tych z otworami. W przypadku obu próbek z otworami i bez warstwy z przedziału nr 7 są lepiej wypełnione niż te dla próbek z przedziału nr 2 (rys. 2). Analizując wydruki otrzymane drukarką typu RepRap, różnice w średnim stopniu wypełnienia dla próbek z otworami i bez nich dla obu przedziałów nie przekraczają 4 %. Porównując różnice w wartości wypełnienia między

* Dr inż. Piotr Duda (piotr.duda@us.edu.pl), Mariusz Perek, dr inż. Szymon Sikorski (szymon.sikorski@us.edu.pl), prof. zw. dr hab. inż. Zygmunt Wróbel (zygmunt.wrobel@us.edu.pl) – Zakład Komputerowych Systemów Biomedycznych, Instytut Informatyki Wydział Informatyki i Nauki o Materiałach Uniwersytetu Śląskiego

przedziałami warstw nr 2 i 7 próbki z otworem, są one większe niż dla próbki bez otworu. Podobnie jak w przypadku wydruków otrzymanych drukarką Maker Bota dla przedziału nr 7 warstwy są lepiej wypełnione.

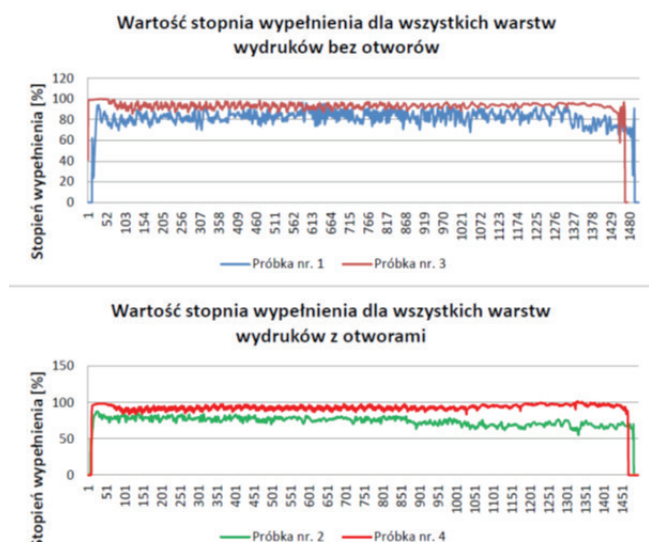
TABLICA I. Zakres warstw obrazów reprezentujących analizowane przedziały próbek oraz otrzymane wysokości modeli

Numer próbki	Analizowane wycinki modeli		Wysokość modeli
	Zakres warstw, przedział 7	Zakres warstw, przedział 2	
1	331-459	1194-1339	49,665
2	305-450	1187-1331	49,335
3	289-433	1166-1310	48,675
4	300-446	1178-1326	49,335



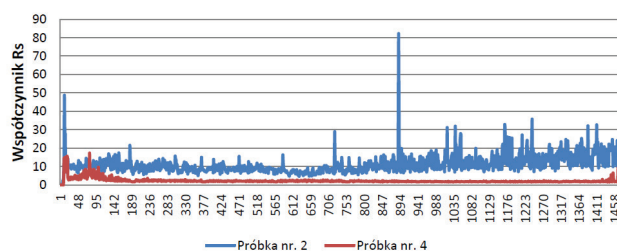
Rys. 2. Średnie wartości stopnia wypełnienia dla wszystkich próbek

Porównując efekty pracy obu drukarek, wydruki z drukarki Prusa i3 są pełniejsze niż uzyskane z Maker Bota. Dla próbek bez otworów różnice nieznacznie przekraczają 10% (bez względu na to, jaki przedział warstw analizowaliśmy). Próbki z otworami charakteryzują większe różnice, wynoszące około 20%. Potwierdza to wykres (rys. 3) przedstawiający zmianę procentowego stopnia wypełnienia warstwy w obrębie całego detalu, dla wszystkich próbek.



Rys. 3. Średnie wartości stopnia wypełnienia dla wszystkich próbek w kolejnych warstwach, począwszy od podstawy

Współczynnik kształtu ilościowo charakteryzuje okągłość obiektu, który określa podobieństwo kształtu obiektu do idealnego koła. Dla koła wynosi on 1. W naszym przypadku drukarka Replicator Z18 gorzej odzwierciedla geometrię otworu (rys. 4). Uzyskane dzięki niej wydruki charakteryzują się poszarpanymi, nieregularnymi krawędziami otworu z pozostałościami ciągniętych nitów w jego wnętrzu.



Rys. 4. Wykres zależności współczynnika kształtu Rs od warstwy dla próbek z otworem

Współczynnik procentowego wypełnienia modelu tworzywem ujmuję w sposób ilościowy zależności między udziałem fazy materiału w całej objętości zajmowanej przez detal. Tablica II zawiera otrzymane wyniki wielkości charakteryzujących całą objętość modelu. Drukarka Replicator Z18 wydrukowała modele z stopniem udziału materiału w objętości modelu na poziomie oscylującym wokół 80%. W przypadku drukarki typu RepRap udział był większy o około 10 punktów procentowych, co przekłada się jednocześnie na stopień wypełnienia warstw. Próbki bez otworów posiadają większy udział fazy materiału (o około 2 punkty procentowe) w całej objętości niż dla próbek z otworami.

TABLICA II. Wartości otrzymane w wyniku analizy ilościowej udziału faz materiału i powietrza w objętości modelu

Nr próbki	Całkowita objętość przestrzeni zajmowanej przez detal [mm ³]	Objętość defektów [mm ³]	Objętość zajmowana przez materiał [mm ³]	Współczynnik porowatości [%]
1	8398,7	1493,8	6898,3	82,1
2	6822,1	1315,5	5506,8	80,7
3	8615,6	556,3	8055,5	93,5
4	7663,2	648,6	7014,5	91,5

Wnioski

Analizując zaprezentowane wyniki pomiarów i obserwacji wizualnych, można stwierdzić, że modele wykonane na obu urządzeniach cechują się różną jakością wykonania w zależności od parametru, który jest istotny dla użytkownika. Drukarka Maker Bot lepiej odtwarza wymiary zewnętrzne i ich kształt, a w przypadku drukarki Prusa i3 zaobserwowano niekorzystny efekt zaokrąglania ostrych krawędzi, który jest niepożądany w przypadku gotowych wyrobów.

Na podstawie wyników z przeprowadzonej analizy można wnioskować, iż niekomercyjnie rozwiązanie w porównaniu z drukarką komercyjną lepiej realizuje jakość wypełnienia, zarówno w poszczególnych przedziałach, jak i w całym modelu dla wszystkich wariantów próbek.

Przedstawione wyniki badań i uzyskane rezultaty świadczą o dużym potencjale mikrotomografii komputerowej jako metodzie diagnostycznej i kontroli jakości druku przestrzennego stosowanego na odpowiedzialne części maszyn i implanty.

LITERATURA

- Siemiński P., Budzik G. *Techniki przyrostowe : druk drukarki 3D*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 2015.
- Yarwindran M., Azwani Sa'aban N., Ibrahim M., Periyasamy R. Thermoplastic elastomer infill pattern impact on mechanical properties 3D printed customized orthotic insole. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*. Vol. 11, No. 10 (may 2016): pp. 6519–6524.
- Perfetti G., Van de Castele E., Rieger B., Wildeboer W.J., Meesters G.M.H. X-ray micro tomography and image analysis as complementary methods for morphological characterization and coating thickness measurement of coated particles. *Advanced Powder Technology*. Vol. 21 (2010): pp. 663–675.
- Stock S.R. *Microcomputed tomography. Methodology and Applications*. New York 2009, Taylor & Francis Group, LLC.