

Badanie wytrzymałości na zginanie próbek wydrukowanych metodą FDM z wypełnieniem heksagonalnym, koncentrycznym i trójkątnym

Bending strength test of specimens printed in FDM technology with hexagonal, concentric and triangle filling

ŁUKASZ MIAZIO*

DOI: <https://doi.org/10.17814/mechanik.2018.7.79>

W artykule przedstawiono czwarty etap prac nad badaniem wpływu parametrów technologicznych drukowania na parametry wytrzymałościowe wytwarzanego obiektu. Na tym etapie badano zginanie próbek z wypełnieniem heksagonalnym, koncentrycznym i trójkątnym. Kształtki wydrukowano metodą FDM (*fused deposition modeling*) z różną gęstością wypełnienia, z tworzywa PLA.

SŁOWA KLUCZOWE: inżynieria materiałowa, szybkie prototypowanie, druk 3D, PLA, FDM

The fourth stage of works on the study of the impact of technological printing parameters on the strength parameters of the manufactured object is presented in this paper. This step concerned the bending of hexagonal, concentric and triangular samples. Profiles were made of PLA material and printed using FDM (Fused Deposition Modeling) method, with different filling density.

KEYWORDS: materials engineering, rapid prototyping, 3D printing, PLA, FDM

W niniejszym artykule, stanowiącym uzupełnienie artykułu [5], omówiono badania elementów drukowanych z wypełnieniem heksagonalnym, koncentrycznym i trójkątnym. Jest to czwarty artykuł przedstawiający badania nad wytrzymałością elementów wydrukowanych na drukarkach przestrzennych w technologii FDM (*fused deposition modeling*), czyli modelowania ciekłym tworzywem [1, 2]. Próbki wydrukowano z tego samego tworzywa co poprzednio – PLA (*polylactic acid, polylactide*) – i z różną gęstością wypełnienia.

Programy do tworzenia kodu maszynowego na drukarki 3D umożliwiają wybór różnego typu wypełnienia drukowanych modeli [3–5]. Typ wypełnienia i kierunek nakładania materiału (w płaszczyźnie XY) mają znaczący wpływ na wytrzymałość wytworzonych modeli, które dodatkowo są bardzo silnie zróżnicowane warstwowo (w kierunku Z). Na wytrzymałość wpływają również gęstość wypełnienia wnętrza modelu i temperatura podczas drukowania. Z tych powodów konieczne jest poznanie zależności pomiędzy parametrami technologicznymi a osiąganą wytrzymałością. Przedstawione badania mają na celu określenie wytrzymałości próbek wydrukowanych z różną gęstością i różnym typem wypełnienia.

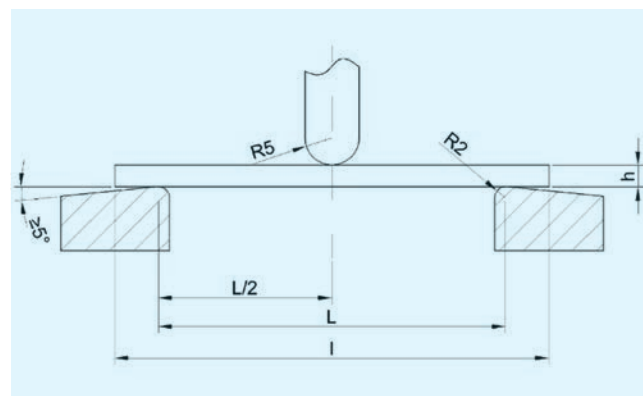
Próba rozciągania tworzyw sztucznych

Należy przypomnieć, że warunki i sposób przeprowadzenia próby zginania tworzyw sztucznych są opisane

w normie: PN-EN ISO 178:2003+A1:2005 Tworzywa sztuczne – Oznaczenie właściwości przy zginaniu. Wymiary zalecanej kształtki są następujące:

- długość $l = 80 \pm 2$ mm,
- szerokość $b = 10 \pm 0,2$ mm,
- grubość $h = 4 \pm 0,2$ mm.

Rozstaw podpór przyjęto jako $L = 64$ mm, a prędkość posuwu trzpienia – 2 mm/min. Schemat zginania próbki siłą skupioną pokazano na rys. 1.



Rys. 1. Położenie kształtki do badań na początku oznaczania

Do stworzenia kodu maszynowego wykorzystano kształtkę zamodelowaną w programie SolidWorks, której trójwymiarowy model zapisano do pliku w formacie STL. Na jego podstawie w programie MatterControl [6] utworzono kod maszynowy, tzw. G-code. W odróżnieniu od stosowanego poprzednio programu Cura [5] pozwala on na wybór wypełnienia typu heksagonalnego, koncentrycznego i trójkątnego.

Podobnie jak we wcześniejszych badaniach próbki wydrukowano z tworzywa PLA firmy Noviplast na drukarce BIG Builder DUAL FEED holenderskiej firmy Builder 3D Printers HQ. Kształtki drukowano na płasko, wzdłuż osi Y drukarki, po pięć sztuk. Stosowano parametry:

- prędkość drukowania pierwszej warstwy – 20 mm/s,
- prędkość drukowania – 60 mm/s,
- temperaturę głowicy – 215°C,
- wysokość warstwy – 0,2 mm,
- grubość dolnej i górnej warstwy – 0,6 mm,
- grubość ścian bocznych – 0,8 mm.

Dodatkowo wykorzystano podgrzewany stolik, na którym ustawiono temperaturę $60 \pm 5^\circ\text{C}$.

Kształtki wydrukowano z wypełnieniem heksagonalnym (rys. 2a), koncentrycznym (rys. 2b) i trójkątnym (rys. 2c). Gęstość wypełnienia próbek zmieniano od 10 do 100% (co 10%).

* Dr inż. Łukasz Miazio (lukasz.miazio@uwm.edu.pl) – Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie, Wydział Nauk Technicznych



Rys. 2. Przekrój próbki o gęstości wypełnienia 30%. Typ wypełnienia: a) heksagonalne, b) koncentryczne, c) trójkątne

Wyniki

W tabl. I–III zamieszczono wyniki prób zginania kształtek o wypełnieniu heksagonalnym, koncentrycznym i trójkątnym. Podano maksymalną siłę zginającą F_m w zależności od gęstości wypełnienia ρ kształtki. Dodatkowo na rys. 3 wykreślono krzywe średniej wartości maksymalnej siły zginającej F_u w funkcji gęstości wypełnienia próbki – dla każdego typu wypełnienia (w tym dla wypełnienia krzyżowego, które było przedmiotem badań opisanych w artykule [2]). Z kolei na rys. 4 przedstawiono zależność naprężeń maksymalnych przy zginaniu σ_f w funkcji gęstości wypełnienia ρ kształtki (do obliczenia naprężeń przyjęto jednakowy przekrój próbki, bez uwzględnienia rzeczywistego wypełnienia kształtek), a na rys. 5 – średnie wartości strzałki ugięcia s_u w funkcji gęstości wypełnienia ρ kształtki dla czterech różnych typów wypełnienia.

TABLICA I. Zestawienie wartości maksymalnych sił zginających – wypełnienie heksagonalne

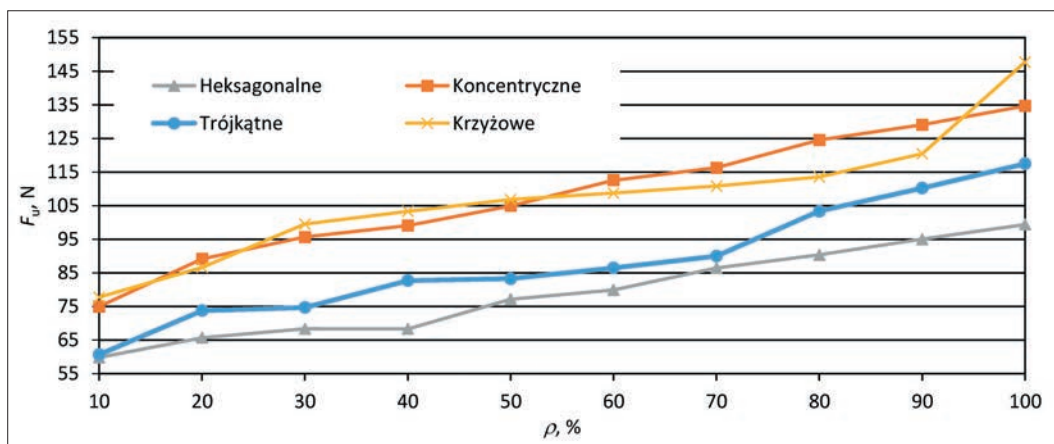
Gęstość wypełnienia ρ , %	Maksymalna siła zginająca F_m , N					Średnia wartość maksymalna sił zginających F_u , N
	Próba 1	Próba 2	Próba 3	Próba 4	Próba 5	
10	60,4	60,1	59,1	59,3	60,2	59,8
20	66,5	66,5	65,7	62,5	67,1	65,7
30	67,8	68,3	68,5	68,1	68,9	68,3
40	69,7	67,3	67,4	70,0	67,1	68,3
50	75,9	76,5	76,9	78,8	77,5	77,1
60	80,3	79,4	80,5	79,2	80,1	79,9
70	86,9	86,1	84,7	87,5	86,8	86,4
80	89,6	90,5	90,1	91,5	89,9	90,3
90	94,1	95,1	96,2	94,2	95,5	95,0
100	99,9	98,9	99,8	98,8	99,5	99,4

TABLICA II. Zestawienie wartości maksymalnych sił zginających – wypełnienie koncentryczne

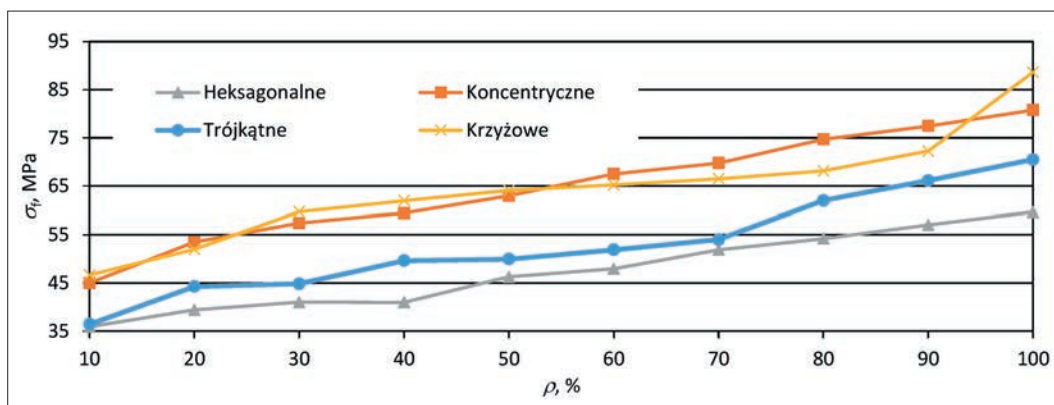
Gęstość wypełnienia ρ , %	Maksymalna siła zginająca F_m , N					Średnia wartość maksymalna sił zginających F_u , N
	Próba 1	Próba 2	Próba 3	Próba 4	Próba 5	
10	74,9	74,9	74,9	74,9	74,9	74,9
20	89,1	89,1	89,1	89,1	89,1	89,1
30	95,6	95,6	95,6	95,6	95,6	95,6
40	99,0	99,0	99,0	99,0	99,0	99,0
50	104,9	104,9	104,9	104,9	104,9	104,9
60	112,5	112,5	112,5	112,5	112,5	112,5
70	116,2	116,2	116,2	116,2	116,2	116,2
80	124,5	124,5	124,5	124,5	124,5	124,5
90	129,0	129,0	129,0	129,0	129,0	129,0
100	134,6	134,6	134,6	134,6	134,6	134,6

TABLICA III. Zestawienie wartości maksymalnych sił zginających – wypełnienie trójkątne

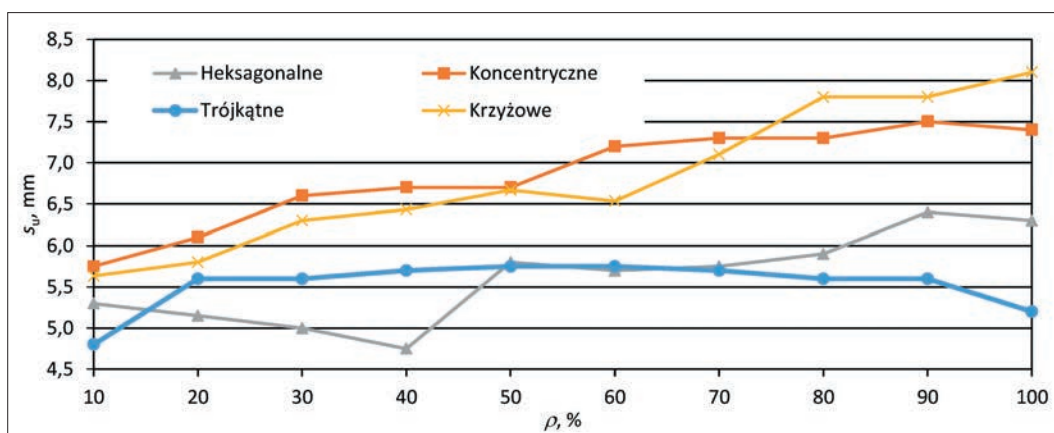
Gęstość wypełnienia ρ , %	Maksymalna siła zginająca F_m , N					Średnia wartość maksymalna sił zginających F_u , N
	Próba 1	Próba 2	Próba 3	Próba 4	Próba 5	
10	60,2	60,1	62,2	61,4	59,5	60,7
20	73,5	73,1	74,5	74,1	73,6	73,8
30	73,8	73,4	75,8	76,2	74,2	74,7
40	82,8	83,4	81,2	83,5	82,5	82,7
50	84,1	82,2	81,8	83,6	84,5	83,2
60	86,2	84,9	87,2	86,5	87,5	86,5
70	90,5	89,4	91,7	89,1	89,2	90,0
80	103,3	103,1	103,5	103,9	102,9	103,3
90	110,1	110,4	109,8	111,2	109,5	110,2
100	117,8	116,5	118,8	117,5	116,7	117,5



Rys. 3. Wykres średniej wartości maksymalnej siły zginającej w funkcji gęstości wypełnienia próbki



Rys. 4. Wykres naprężeń w funkcji gęstości wypełnienia próbki



Rys. 5. Wykres średniej wartości strzałki ugięcia w funkcji gęstości wypełnienia próbki

Wnioski

Z przedstawionych badań wynika, że w przypadku zginania wyższą wytrzymałość na zginanie wykazywały próbki o wypełnieniu koncentrycznym oraz krzyżowym (siatka), opisane we wcześniejszym artykule [2]. Te wyniki są zgodne z badaniami statycznego rozciągania próbek [1, 3]. Ponadto w przypadku wypełnienia koncentrycznego wartość maksymalnej siły zrywającej rośnie proporcjonalnie do gęstości wypełnienia próbki. W przypadku tego rodzaju wypełnień uzyskano również większą wartość strzałki ugięcia.

Najmniejsze wartości maksymalnej siły zginającej zanotowano dla wypełnienia heksagonalnego. Ten typ wypełnienia wypadł również najgorzej w próbie rozciągania [3], co zapewne wynika ze sposobu drukowania (w przypadku tego wypełnienia drukowane są krótkie odcinki, tworzące kształt sześciokątny, a nie długie – jak w przypadku wypełnienia koncentrycznego). Niewiele lepsze wyniki uzyskano dla wypełnienia trójkątnego.

Można wysnuć wniosek, że wystarczającym typem wypełnienia jest wypełnienie krzyżowe (siatka), które występuje we wszystkich programach do tworzenia kodu maszynowego na drukarki 3D. Z kolei wypełnienie $\rho = 30\%$ jest optymalne pod względem wytrzymałości i zużytego materiału, a tym samym czasu drukowania modelu.

LITERATURA

- Miażo Ł. „Badanie wytrzymałości na rozciąganie próbek wydrukowanych w technologii FDM z różną gęstością wypełnienia”. *Mechanik*. 88 (2015) (7CD): s. 533–538.
- Miażo Ł. „Badanie wytrzymałości na zginanie próbek wydrukowanych w technologii FDM z różną gęstością wypełnienia”. *Mechanik*. 89, 7 (2016): s. 758–759.
- Miażo Ł. „Badanie wytrzymałości na rozciąganie próbek wydrukowanych w technologii FDM z różną gęstością wypełnienia – wypełnienie heksagonalne i koncentryczne”. *Przegląd Mechaniczny*. 6 (2017): s. 51–53.
- www.mattercontrol.com.
- https://ultimaker.com/en/products/ultimaker-cura-software.