

Badanie wytrzymałości na zginanie próbek wydrukowanych w technologii FDM z różną gęstością wypełnienia

Bending strength test of specimens printed in FDM technology with different filling density

ŁUKASZ MIAZIO *

Materiały z XX SKWPIE, Jurata 2016 r.
DOI: 10.17814/mechanik.2016.7.159

W niniejszym artykule przedstawiono drugi etap prac, który dotyczył zginania próbek wydrukowanych metodą FDM (*fused deposition modeling*), z różną gęstością wypełnienia, z tworzywa PLA. Celem pracy jest zbadanie wpływu parametrów technologicznych podczas drukowania na parametry wytrzymałościowe wytwarzanego obiektu.
SŁOWA KLUCZOWE: szybkie prototypowanie, druk 3D, PLA, FDM

This paper presents the second stage of work, which concerned bending of specimens printed in FDM (fused deposition modeling) technology, with different density of the filling, made of PLA. Examining the influence of technological parameters on the strength parameters of the produced object is the purpose of this work.

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

Badania przedstawione w artykule stanowią drugi etap prac nad wytrzymałością elementów wydrukowanych na drukarkach przestrzennych w technologii FDM (*fused deposition modeling* – modelowanie ciepłym tworzywem) [1, 4]. Pierwszy artykuł [3] dotyczył wytrzymałości na rozciąganie próbek wydrukowanych z materiału PLA (*polylactic acid, polylactide*). W niniejszym artykule zawarto wyniki badań nad wytrzymałością na zginanie.

W przypadku projektowania i wytwarzania modeli funkcjonalnych w budowie maszyn metodami szybkiego prototypowania (*rapid prototyping*) [2] istotne jest, aby oszacować ich wytrzymałość mechaniczną, zupełnie inną niż materiału rodzimego, z którego zostały wydrukowane. Podstawowym parametrem druku 3D, jaki wpływa na wytrzymałość wytworzonych modeli, jest gęstość wypełnienia wnętrza modelu. Jak już autor pisał w poprzednim artykule [3], model wydrukowany w technologii FDM jest bardzo silnie zróżnicowany warstwowo (w kierunku Z), istotny jest również kierunek nakładania materiału (w płaszczyźnie XY). Na wytrzymałość, poza gęstością wypełnienia wnętrza modelu, wpływa rodzaj wypełnienia oraz temperatura materiału podczas drukowania, nakładania materiału.

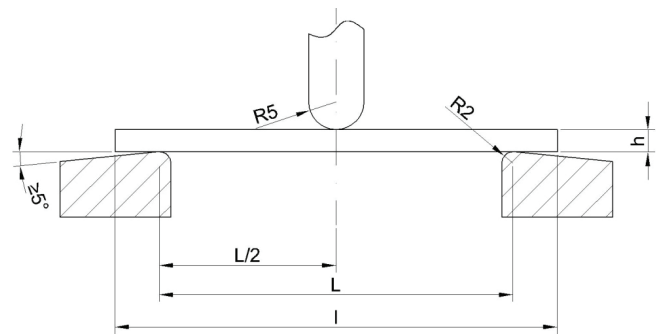
Próba zginania tworzyw sztucznych

Warunki i sposób przeprowadzenia próby zginania tworzyw sztucznych opisane są w normie PN-EN ISO 178, pt.: *Tworzywa sztuczne – Oznaczenie właściwości przy zginaniu*. Jest to tzw. zginanie trójpunktowe, tzn. siła działa w środku symetrycznie rozmieszczonych podpór. 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 został ustalony na $L = 64$ mm, z kolei prędkość posuwu trzpienia przyjęto 2 mm/min.

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



Rys. 1. Położenie kształtki do badań na początku oznaczania

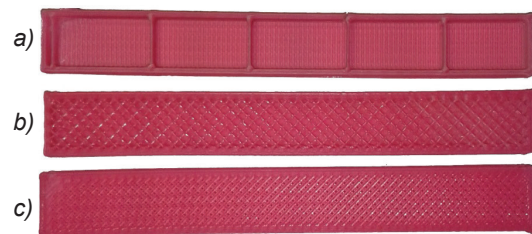
Przygotowanie i wydruk kształtek

W celu utworzenia kodu maszynowego kształtkę zamodelowano w programie SolidWorks, w którym to utworzono plik w formacie STL [7]. Na podstawie pliku STL w programie Cura 15.02.1 [5] utworzono kod maszynowy, tzw. G-code.

Podobnie jak w przypadku rozciągania przedstawionego w poprzednim artykule [3], próbki zostały wydrukowane z tworzywa PLA firmy Noviplast na drukarce BIG Builder DUAL FEED holenderskiej firmy Builder 3D Printers HQ. Wszystkie kształtki zostały wydrukowane na płasko, wzdłuż osi Y drukarki. Próbki drukowano po trzy, zachowując następujące parametry drukowania:

- prędkość drukowania pierwszej warstwy: 20 mm/s,
- prędkość drukowania: 60 mm/s,
- temperatura 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 ± 5 °C.



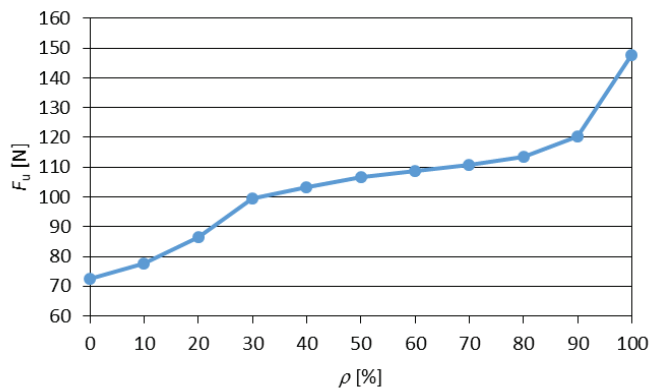
Rys. 2. Przekrój wydrukowanej próbki o gęstości wypełnienia: a) 0%, b) 30%, c) 80%

Kształtki wydrukowano z wypełnieniem krzyżowym pod kątem 45° (rys. 2) względem osi Y. Gęstość wypełnienia próbek zmieniano od 0 do 100%, co 10%. Kształtkę z wypełnieniem 0%, aby było możliwe jej otrzymanie, wydrukowano z wypełnieniem 5% i kątem wypełnienia równym 90° w stosunku do osi wzdłużnej kształtki. W ten sposób uzyskano wypełnienie

prostopadłe do osi próbki, które nie wpływa znacząco na parametry kształtki przy zginaniu, a możliwe jest wydrukowanie takiej próbki.

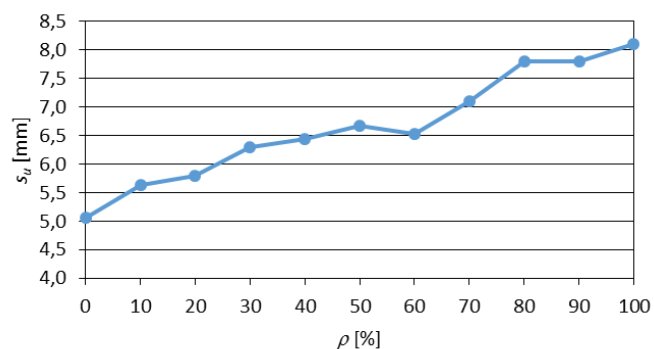
Wyniki

Na rys. 3 wykreślono wykres średniej wartości maksymalnej siły zginającej F_u w funkcji gęstości wypełnienia próbki.



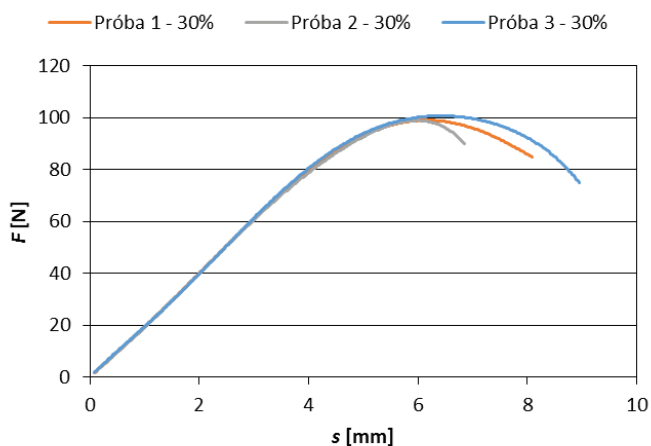
Rys. 3. Zależność średniej wartości maksymalnych sił zginających od gęstości wypełnienia kształtki

Z kolei na rys. 4 zamieszczono średnie wartości strzałki ugięcia s_u o funkcji gęstości wypełnienia ρ kształtki.

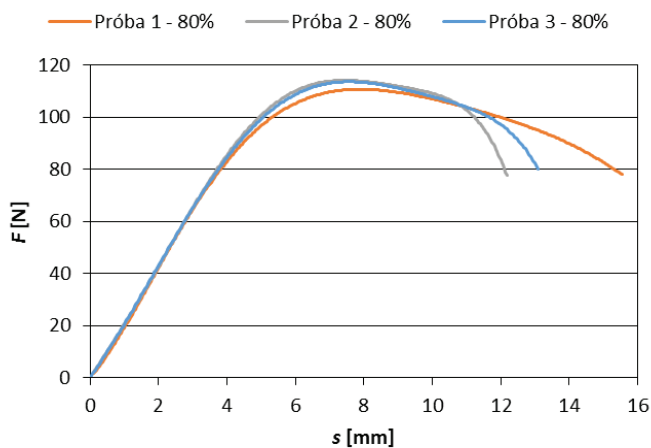


Rys. 4. Zależność średniej wartości strzałki ugięcia od gęstości wypełnienia kształtki

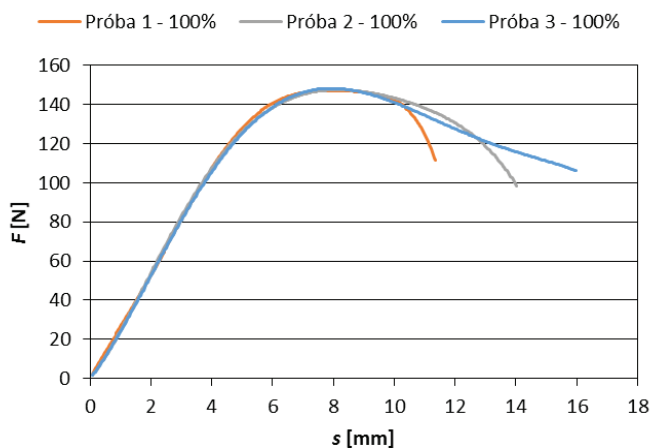
Na rys. 5÷7 przedstawiono wybrane przebiegi siły zginającej F w funkcji ugięcia s próbki dla kształtek o gęstości wypełnienia ρ odpowiednio: 30%, 80% i 100%. Próbka o wypełnieniu 100% jest całkowicie wypełniona, jednak jej wytrzymałość mechaniczna będzie zawsze niższa niż materiału rodzimego.



Rys. 5. Wykres zginania kształtki o gęstości wypełnienia $\rho = 30\%$



Rys. 6. Wykres zginania kształtki o gęstości wypełnienia $\rho = 80\%$



Rys. 7. Wykres zginania kształtki o gęstości wypełnienia $\rho = 100\%$

Wnioski

Z przedstawionych badań wynika, że w zakresie gęstości wypełnienia ρ od 30 do 70% (biorąc pod uwagę maksymalną siłę zginającą i strzałkę ugięcia) wytrzymałość próbek jest porównywalna. Wynik ten jest zgodny z rezultatami uzyskanymi w przypadku próby statycznego rozciągania kształtek [3], gdzie w zakresie od 30 do 70% gęstości wypełnienia wytrzymałość była podobna.

Uwzględniając powyższe, ze względu na znaczne skrócenie czasu wydruku oraz oszczędność materiału, a co za tym idzie obniżenie kosztów produkcji, wystarczające jest drukowanie przedmiotów z gęstością wypełnienia równą 30%.

Chcąc uzyskać element maksymalnie wytrzymały, na ile pozwala materiał rodzimy, należy go wydrukować z gęstością wypełnienia 100%, ponieważ przy mniejszej gęstości wytrzymałość jest wyraźnie mniejsza.

Na koniec należy przypomnieć, że w technologii FDM/FFF domyślną gęstość wypełnienia przyjmuje się na poziomie 20÷30%. Powyższe badania potwierdzają słuszność takiej praktyki.

LITERATURA

- Choi J., Medina F., Kim Ch., Espalin D., Rodriguez D., Stucker B., Wicker R. „Development of a mobile fused deposition modeling system with enhanced manufacturing flexibility”. *Journal of Materials Processing Technology* (2011) 211, pp. 424÷432.
- Gebhardt A. „Rapid Prototyping”. Munich: Carl Hanser Verlag, 2003.
- Miazio Ł. „Badanie wytrzymałości na rozciąganie próbek wydrukowanych w technologii FDM z różną gęstością wypełnienia”. *Mechanik* (2015) 7, pp. 533÷538.
- <http://reprap.org/>
- <http://www.stratosys.com/>
- <http://ultimaker.com/>
- http://www.fabbers.com/tech/STL_Format