

Badanie właściwości mechanicznych materiałów stosowanych w technologii FDM

Testing of mechanical properties of materials used in FDM technology

MARCIN SNOPCZYŃSKI
JAROSŁAW KOTLIŃSKI
IRENEUSZ MUSIAŁEK*

DOI: <https://doi.org/10.17814/mechanik.2019.4.37>

Wraz z postępem technologii druku 3D rozwijane są nowe materiały stosowane do druku. W praktyce zdarza się, że konstruktor nie dysponuje wszystkimi danymi o materiale, którego chce użyć. W artykule przedstawiono wyniki badań wytrzymałości na rozciąganie próbek drukowanych metodą FDM. Drukowanie 3D metodą FDM jest rozpowszechnione, jednak właściwości stosowanych w tej metodzie materiałów nadal nie są w pełni poznane. Celem badań było uzyskanie informacji o parametrach wytrzymałościowych stanowiących podstawę dalszej analizy.

SŁOWA KLUCZOWE: druk 3D, badania wytrzymałościowe, FDM

With the development of 3D printing technology, there is a development in the use of new printing materials. In practice, it often happens that the constructor does not have full data about the material that he wants to use. The article presents the results of tests of tensile strength of samples printed using the FDM method. 3D printing using the FDM method is widespread, however, the properties of the materials used in this method are still not fully understood. The aim of the research was to obtain information on strength parameters that form the basis for further analyses.

KEYWORDS: 3D printing, strength tests, FDM

Wprowadzenie

FDM jest popularną metodą druku 3D (np. w przypadku wytwarzania elementów maszyn) ze względu na szeroki zakres właściwości dostępnych materiałów [1–4] i niskie ceny drukarek stosowanych w tej metodzie.

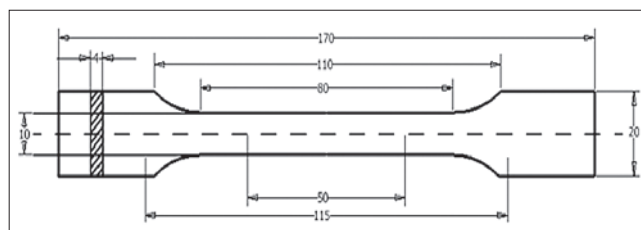
Aby móc w pełni wykorzystać właściwości materiałów, trzeba je najpierw dobrze poznać. Informacje o właściwościach materiałów nie zawierają danych o sposobach przygotowania próbek do badania tych właściwości. Próbki przeznaczone do badań mogą być drukowane z różnymi parametrami, a więc mogą mieć różną budowę wewnętrzną. Z tych powodów zbadano znormalizowane próbki – określone w ten sposób właściwości materiałów będą stanowić punkt odniesienia w dalszej pracy badawczej nad strukturami komórkowymi drukowanymi w 3D.

Do badań wytrzymałościowych wytypowano materiały: PLA, PETG, smart ABS, PLA PRO, HIPS, ASA, poliwęglan (PC-IN), Nylon (PA12) i nanocarbon (PA12+CF).

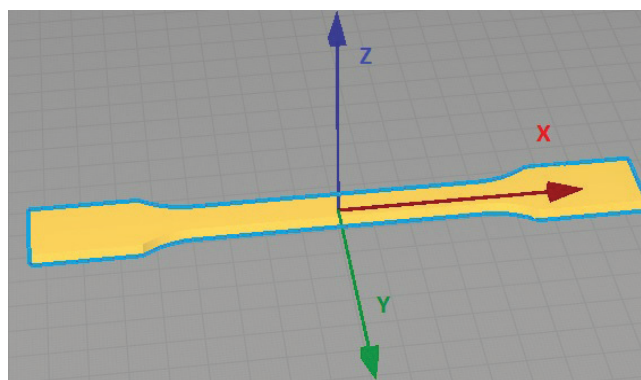
Przygotowanie próbek do badań wytrzymałościowych

Próbki do badań wytrzymałościowych przygotowano zgodnie z normą PN-EN ISO 527-2:2012 [5]. Modele próbek utworzono w programie Autodesk Inventor 2018 i zapisano w formacie .stl. Na rys. 1 przedstawiono kształt próbki z zaznaczeniem jej charakterystycznych wymiarów.

Model każdej wydrukowanej próbki ustawiono w osi X (rys. 2). Dane filamentów, z których wydrukowano próbki (rys. 3), zestawiono w tabl. I.



Rys. 1. Próбка do badań wytrzymałościowych



Rys. 2. Ustawienie próbki na stole drukarki 3D – orientacja względem osi X



Rys. 3. Próбка do badań wytrzymałościowych wydrukowana metodą FDM

* Mgr Marcin Snopczyński (m.snopczynski@uthrad.pl), <https://orcid.org/0000-0001-8537-907X> – Wydział Mechaniczny, Uniwersytet Technologiczno-Humanistyczny im. Kazimierza Pułaskiego, Radom, Polska
Dr inż. Jarosław Kotliński (j.kotlinski@uthrad.pl), <https://orcid.org/0000-0001-8545-3348> – Wydział Mechaniczny, Uniwersytet Technologiczno-Humanistyczny im. Kazimierza Pułaskiego, Radom, Polska
Dr inż. Ireneusz Musiałek (ireneusz1981@wp.pl), <https://orcid.org/0000-0002-6069-0803> – Wydział Zamiejscowy w Sandomierzu Uniwersytetu Jana Kochanowskiego w Kielcach, Sandomierz, Polska

TABLICA I. Zestawienie optymalnych parametrów wydruku dla użytych materiałów

Filament	PLA Devil Design	PLA PRO Spectrum	Smart ABS Spectrum	PETG Devil Design	ASA Devil Design	HIPS ArtFlex	PC-IN F3D	NanoCarbon F3D	Nylon Fiberlogy
Temperatura głowicy	190°C	205°C	235°C	230°C	240°C	245°C	260°C	250°C	260°C
Temperatura stołu	50°C	50°C	95°C	75°C	95°C	95°C	110°C	115°C	120°C
Prędkość podawania materiału	35 mm/s	35 mm/s	30 mm/s	35 mm/s	35 mm/s	35 mm/s	25 mm/s	25 mm/s	25 mm/s
Chłodzenie	pierwsza warstwa 20%, kolejne 100%	pierwsza warstwa 20%, kolejne 100%	brak chłodzenia	pierwsza warstwa 0%, kolejne 20%	brak chłodzenia	brak chłodzenia	brak chłodzenia	brak chłodzenia	brak chłodzenia

Próbki wykonano na drukarce 3D Anycubic i3 Mega, dla której znormalizowany kod maszynowy (G-code) został utworzony w programie Cura 3.51. Wypełnienie próbek stanowiło 100% materiału z założeniem, że powłoka każdej próbki miała ścianę zewnętrzną o grubości 1,2 mm, wykonaną poprzez trzy obrysy głowicy drukującej, a środek stanowiły włókna w postaci wydrukowanych linii ułożonych pod kątem 45°.

Z każdego materiału wydrukowano po cztery próbki. W tabl. I przedstawiono optymalne parametry wydruku przyjęte dla każdego materiału zgodnie z zaleceniami producenta. Do wszystkich wydruków użyto: filamentu o średnicy 1,75 mm, dyszy o średnicy 0,4 mm; wysokość warstwy wynosiła 0,2 mm [6].

Badania

Wyznaczenie właściwości wytrzymałościowych przeprowadzono na podstawie próby rozciągania statycznego, z użyciem maszyny wytrzymałościowej Labor Tech Lab Test 6.20. Warunki badania były zgodne z normą PN-EN ISO 527-2:2012.

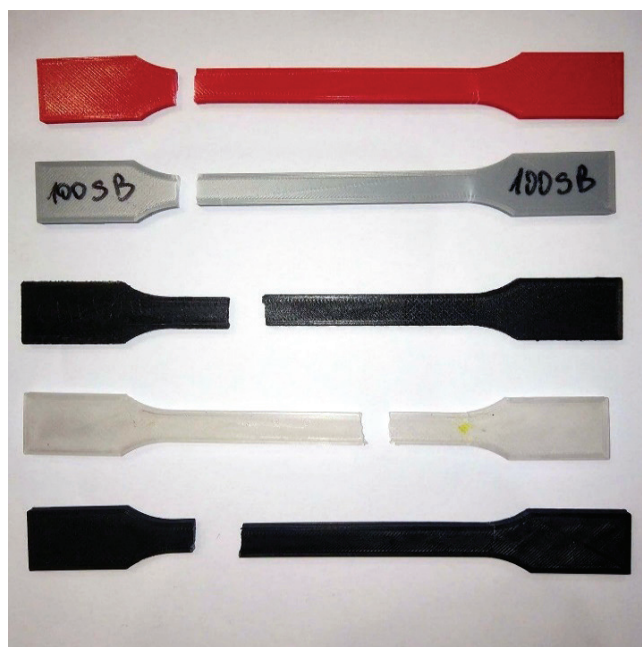
W rezultacie wyznaczono parametry wytrzymałościowe wytypowanych materiałów, takie jak: maksymalne naprężenie rozciągające, granica plastyczności, moduł sprężystości oraz zależności naprężenie–wydłużenie.

Wyniki i analiza

Wyniki badań przedstawiono w tabl. II. Dla każdego materiału podano: maksymalną siłę zrywającą, wydłużenie względne przy zerwaniu, granicę plastyczności, wydłużenie względne przy granicy plastyczności oraz mo-

duł sprężystości. Wszystkie próbki miały jednakowe pole przekroju początkowego, w związku z tym dla każdego materiału możliwe było wyznaczenie wytrzymałości na zrywanie. Dodatkowo wyznaczono maksymalne naprężenie zrywające.

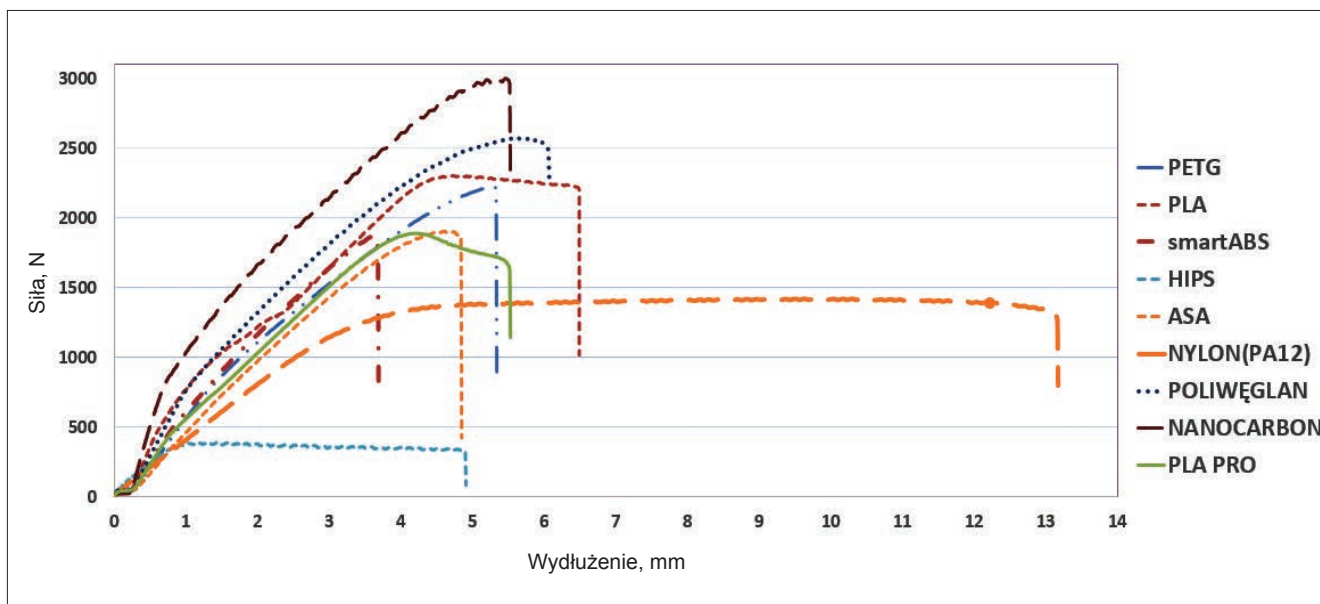
Na rys. 4 zaprezentowano wybrane próbki po zerwaniu. Na rys. 5 pokazano wykres siły rozciągającej w funkcji wydłużenia.



Rys. 4. Wybrane próbki po zerwaniu – od góry: PLA PRO, smart ABS, nanocarbon, poliwęglan PC-IN, ASA

TABLICA II. Zestawienie optymalnych parametrów wydruku dla każdego materiału

Materiał	Wartość siły zrywającej [N]	Wytrzymałość na zrywanie [MPa]	Wydłużenie względne przy zerwaniu [mm]	Granica plastyczności [N]	Wydłużenie względne przy granicy plastyczności [mm]	Moduł sprężystości [GPa]
HIPS	391,58	9,79	4,88	127,16	0,19	31,25
Nylon	1420,66	35,52	13,12	1384,08	4,94	23,31
Smart ABS	1875,64	46,89	3,65	0,00	0,00	8,59
PLA PRO	1889,00	47,23	5,52	43,98	0,15	10,29
ASA	1903,28	47,58	4,80	0,00	0,00	4,97
PETG	2222,54	55,56	5,325	70,10	0,28	18,83
PLA	2303,56	57,59	6,485	42,72	0,19	5,59
Poliwęglan PC-IN	2572,12	64,30	6,04	0,00	0,00	0,52
Nanocarbon	3002,68	75,07	5,49	2970,40	5,04	0,62



Rys. 5. Wykres siły rozciągającej w funkcji wydłużenia

Na podstawie analizy wyników badań można stwierdzić, że największą wytrzymałością na zrywanie charakteryzuje się nanocarbon, będący połączeniem nylonu z włóknem węglowym. Kolejnym bardzo wytrzymałym materiałem jest poliwęglan PC-IN, wytrzymałość tego materiału jest o 14% mniejsza niż nanocarbonu. Ponadto występują dwie grupy materiałów o bardzo podobnej wytrzymałości:

- PLA oraz PETG z wytrzymałością o 23–26% mniejszą niż nanocarbon,
- smart ABS, ASA i PLA PRO z wytrzymałością o 37% mniejszą niż nanocarbon.

Wytrzymałość nylonu PA12 jest o ponad połowę mniejsza w porównaniu z nanocarbonem.

Największemu wydłużeniu przy próbie rozciągania uległ nylon. Wydłużenie tego materiału było ponad dwukrotnie większe niż pozostałych materiałów. Z kolei najmniejszemu wydłużeniu uległ smart ABS. Wydłużenie smart ABS wyniosło tylko 27% wydłużenia nylonu.

Materiały smart ABS, ASA oraz poliwęglan PC-IN są kruche, w związku z tym nie udało się ustalić wartości granicy plastyczności tych materiałów.

Materiał PLA PRO ma dwa razy większą sprężystość oraz o 18% mniejszą wytrzymałość w porównaniu z PLA.

Wnioski

Wszystkie próbki były badane według tej samej metodologii, zgodnie z normą PN-EN ISO 527-2:2012, dlatego wyniki otrzymane dla poszczególnych materiałów są porównywalne.

Zgodnie z przewidywaniami największą wytrzymałością na rozciąganie charakteryzuje się nanocarbon (75 MPa); jednocześnie ma jeden z najmniejszych modułów sprężystości (0,62 GPa). Podobne do nanocarbonu właściwości ma poliwęglan PC-IN z wytrzymałością na rozciąganie rzędu 64 MPa i najmniejszym z badanych materiałów modułem sprężystości 0,52 GPa. Obydwa materiały można wykorzystać do konstrukcji wysoko wytrzymałych części maszyn.

Zbliżone wartości wytrzymałości na rozciąganie mają materiały PLA oraz PETG – odpowiednio: 58 MPa i 56 MPa. Jednak tam, gdzie jest wymagana większa

sprężystość, należy stosować PETG, gdyż materiał ten ma blisko 3,4 razy większy moduł sprężystości niż PLA, wynoszący 19 GPa.

Najmniejszą wytrzymałością na zrywanie (10 MPa) odznacza się HIPS – powszechnie stosowany jako materiał podporowy podczas wydruków z ABS. Ma on największy ze wszystkich badanych materiałów moduł sprężystości – rzędu 31 GPa.

Otrzymane wyniki były zgodne z oczekiwaniami i mogą posłużyć do wyboru materiałów do konstruowania części maszyn (gdzie ważnym parametrem jest wytrzymałość na rozciąganie) oraz jako baza i punkt odniesienia do dalszych badań.

Próbki materiałów drukowanych w najwyższych temperaturach pracy głowicy drukującej i stołu roboczego charakteryzują się lepszymi właściwościami mechanicznymi i mają większą wytrzymałość na rozciąganie niż pozostałe materiały.

LITERATURA

- [1] <http://centrumdruku3d.pl/> (dostęp: 24.02.2019).
- [2] Farhad Mohammad Othman, Tahseen Fadhil, Abbas Hind Basil Ali. "Influence of process parameters on mechanical properties and printing time of FDM PLA printed parts using design of experiment". *Journal of Engineering Research*. ISSN: 2248-9622. 8, 7 (Part II: lipiec 2018): 65–69.
- [3] Tahseen Fadhil Abbas, Farhad Mohammad Othman, Hind Basil Ali. "Effect of infill parameter on compression property in FDM process". *Journal of Engineering Research and Application*. ISSN: 2248-9622. 7, 10, (Part I: listopad 2017): 16–19.
- [4] Kotliński J. „Drukowanie części maszyn”. Radom: Wydawnictwo UTH, 2018.
- [5] <https://www.simplify3d.com/support/materials-guide/properties-table/> (dostęp 24.02.2019).
- [6] PN-EN ISO 527-2:2012. Tworzywa sztuczne – Oznaczanie właściwości mechanicznych przy statycznym rozciąganiu – Część 2: Warunki badań tworzyw sztucznych przeznaczonych do różnych technik formowania.