

Damian LONCIERZ¹, Wojciech KAJZER²

¹SKN Inżynierii Biomateriałów „Synergia”, Katedra Biomateriałów i Inżynierii Wyrobów Medycznych, Politechnika Śląska, Zabrze

²Katedra Biomateriałów i Inżynierii Wyrobów Medycznych, Politechnika Śląska, Zabrze

WPLYW PARAMETRÓW DRUKU 3D W TECHNOLOGII FDM NA WŁASNOŚCI MECHANICZNE I UŻYTKOWE OBIEKTÓW WYKONANYCH Z PLA

Streszczenie: W artykule przedstawiono problematykę związaną z procesem szybkiego prototypowania, skupiając się na technologii FDM druku 3D. W toku prowadzonych badań wyznaczono parametr mający decydujący wpływ na zwiększenie własności wytrzymałościowych wytwarzanych obiektów. Wykazano również jak zmiana parametrów druku wpływa na dokładność odwzorowania próbek, ich jakość powierzchni bocznych, a także ilość zużytego do produkcji modeli materiału. Wyniki przeprowadzonych badań oceniono i przedstawiono w postaci wykresów, porównując je z wartościami referencyjnymi dla badanego materiału.

Słowa kluczowe: FDM, Rapid Prototyping, PLA

1. WSTĘP

Inżynieria Biomedyczna jako interdyscyplinarna dziedzina wiedzy skupia swoje działania przede wszystkim na człowieku. Dzięki wykorzystaniu zdobytej wiedzy z zakresu medycyny, biologii i nauk technicznych już teraz możliwe jest zdalne diagnozowanie, odtwarzanie uszkodzonych lub brakujących komórek, czy tworzenie zaawansowanych systemów wspomagających rehabilitację. Ogromny wpływ na tak dynamiczny rozwój medycyny i kierunków pokrewnych miała i w dalszym ciągu ma komputeryzacja procesów jeszcze niedawno niemożliwych do zautomatyzowania.

W pracy podjęto problematykę związaną z procesem szybkiego prototypowania, jako szeroko rozumiany zbiór metod, których celem jest wytworzenie elementu w sposób szybki, precyzyjny i powtarzalny za pomocą technologii addytywnej najczęściej wspieranej komputerowo.

Metody szybkiego prototypowania zyskują na popularności w branży medycznej i biomedycznej głównie ze względu na mnogość ich wykorzystania. Zależnie od przeznaczenia modeli dokładność ich wykonania i własności wytrzymałościowe mogą się różnić. W przypadku prototypów stosowanych przy planowaniu zabiegów i szkoleniu specjalistów własności te nie są brane pod uwagę, a parametrem najważniejszym jest np. dokładność odwzorowania.

Poruszone aspekty parametryzacji druku mają na celu wspomóc proces wytwarzania modeli uwzględniając optymalizację czasu i jakości wpływającej na własności użytkowe gotowych elementów.

Fused Deposition Modeling to najogólniej rzecz biorąc metoda warstwowego osadzania topionego materiału, najczęściej termoplastycznego tworzywa sztucznego. Metoda wykorzystuje poruszającą się w dwóch osiach (X i Y) głowicę, która w sposób samoczynny za pomocą tzw. ekstrudera jest w stanie pobierać materiał zwany filamentem, topić go i nanosić na określone przez program miejsca.

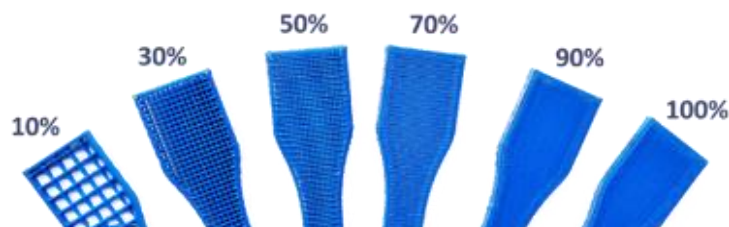
Mimo iż metoda posiada liczne ograniczenia jest najpopularniejszą wśród istniejących na rynku. Metoda jest najtańsza zarówno pod względem cen urządzeń, jak i materiałów, których szeroki wachlarz sprzyja popularności metody. Na popularność wpływa także możliwość modyfikacji licznych parametrów (wysokość warstwy, stopień wypełnienia, szybkość druku).

W odniesieniu do druku 3D metodą FDM wysokość warstwy rozumiana jest jako odległość jaką pokonuje stół roboczy w płaszczyźnie Z po nałożeniu jednego piętra modelu. (Rys.1). Wartość ta może być zdefiniowana w programie służącym do podziału modelu na pojedyncze warstwy. Dla dostępnych na rynku drukarek waha się ona od 0,05 mm do 0,4 mm [1].



Rys. 1. Wysokość warstwy jako parametr w druku 3D

Stopień wypełnienia to parametr silnie i bezpośrednio wpływający na czas druku, który odpowiada za ilość materiału znajdującego się wewnątrz modelu (rys.2). Wartość 100% stosowana jest w przypadku tworzenia modeli litych, 0% dla pustych. Domyślnie i optymalnie stosuje się 20% wypełnienie, które pozwala na zaoszczędzenie i materiału i czasu [2].



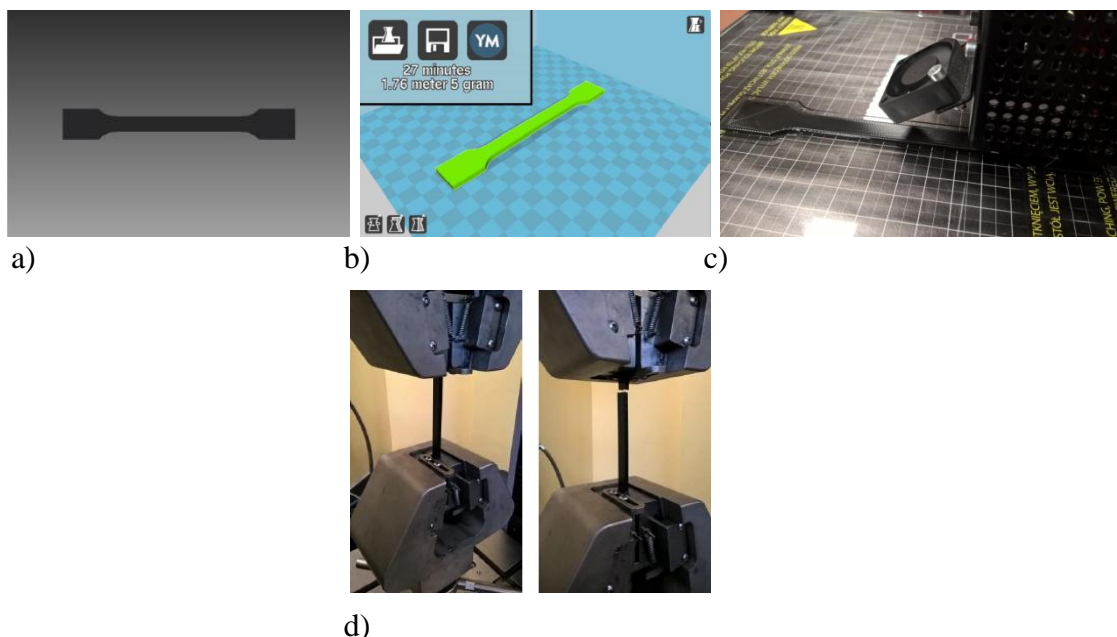
Rys. 2. Porównanie wypełnienia [3]

Przygotowanie próbki do badań zgodnej z normą PN EN ISO 527:1998 należy rozpocząć od zaprojektowania modelu przy pomocy programu typu CAD i zapisania go w formacie *.stl by możliwe było podzielenie projektu na warstwy. W tym celu można skorzystać z dowolnego oprogramowania typu Slicer, dzięki któremu możliwe jest również wygenerowanie formatu *.gcode „rozumianego” przez drukarkę. Drukowanie to proces trwający najdłużej. Jest to zależne od złożoności projektu, ilości elementów podporowych i dobranych parametrów. Ukończony model należy ostrożnie odkleić od blatu roboczego starannie pozbywając się konstrukcji podporowych jeśli takowe istnieją. Zdarza się również, że konieczna jest obróbka wykańczająca, aczkolwiek stosuje się ją bardzo rzadko [4].

2. MATERIAŁ I METODY

Materiał do badań stanowiły kształtki „wiosłkowe” wykonane zgodnie z zaleceniami normy PN-EN ISO 527:1998 wykonane z PLA (poliaktyd - kwas mlekowy-polimer z grupy poliestrów alifatycznych) [5,6].

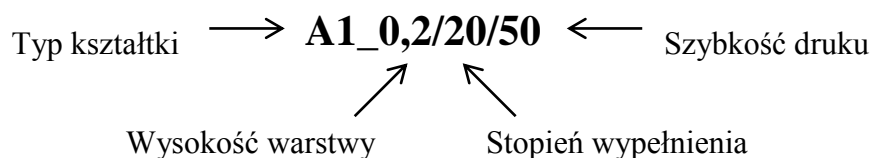
Model znormalizowanej próbki wykonano za pomocą programu Autodesk Inventor (rys. 3a). W programie Cura „pocięto” stworzony wcześniej model na warstwy zapisując plik do formatu *.gcode (rys. 3b). Druk modeli wykonano dzięki drukarce Rapcraft firmy Omni3D (rys. 3c). Statyczną próbę rozciągania wykonano przy użyciu maszyny MTS Criterion 45 (rys. 3e) zgodnie z zaleceniami normy PN-EN ISO 527:1998.



Rys. 3. Proces przygotowania próbek i prowadzenia badań

Przeprowadzone badania oraz analiza ich wyników miała na celu wskazanie optymalnych parametrów druku, dostosowanych do aktualnych potrzeb. Wybrano trzy główne parametry zmienne, których wartości wyjściowe ustalono na podstawie domyślnych ustawień drukarki Rapcraft firmy Omni3D (wysokość warstwy: 0,2mm; stopień wypełnienia: 20%; szybkość druku: 50mm/s) - opracowano 7 modeli oznaczonych wg schematu przedstawionego na rys. 4. Parametry te analizowano pod względem ich wpływu na własności mechaniczne drukowanych próbek. Na podstawie dokładności odwzorowania próbek (pomiar suwmiarką elektroniczną), ilości materiału zużytego do ich produkcji (na podstawie wskazań programu Cura) i walorów estetycznych (subiektywna ocena metodą porównawczą) dokonano klasyfikacji w skali 7-mio punktowej wybierając optymalne rozwiązanie.

Proces druku prowadzono w zamkniętym pomieszczeniu w temperaturze 22°C. Drukarka nie posiadała komory termicznej, a wszystkie próbki wytworzono z jednej szpuli filamentu. Każdy model próbki wykonano trzykrotnie.



Rys. 4. Schemat oznaczenia próbek wykorzystywanych do badań

3. WYNIKI BADAŃ

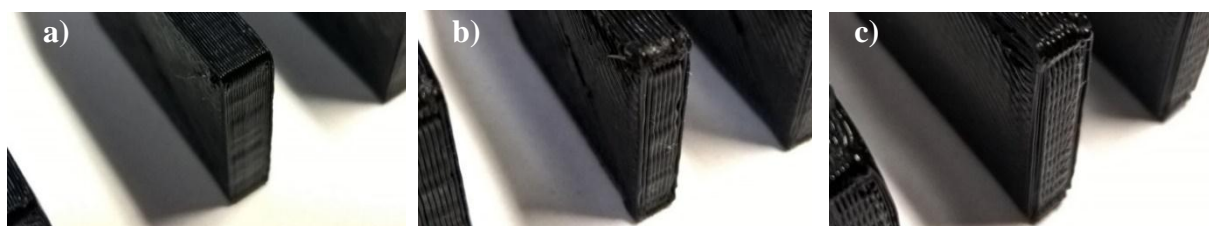
Na podstawie przeprowadzonej statycznej próby rozciągania wyznaczono parametry wytrzymałościowe przygotowanych modeli – tabela 1, zestawiając otrzymane wyniki z wartościami referencyjnymi materiałów najczęściej stosowanych w technologii FDM. W tabeli 2 przedstawiono wyniki oceny jakości powierzchni wykonanych próbek (rys.5.) i ich własności użytkowe.

Tabela 1. Wyniki statycznej próby rozciągania obiektów wykonanych z PLA w porównaniu z wartościami referencyjnymi innych materiałów

Model		Maksymalna siła, F_m [kN]	Moduł Younga, E [MPa]	Wytrzymałość na rozciąganie, R_m [MPa]
A1_0,2/20/50	Średnia (odchylenie)	0,99 (0,01)	1649 (16)	24,8 (0,3)
A1_0,4/20/50	Średnia (odchylenie)	1,04 (0,01)	1685 (18)	26,1 (0,1)
A1_0,3/20/50	Średnia (odchylenie)	0,89 (0,01)	1545 (11)	22,3 (0,2)
A1_0,2/40/50	Średnia (odchylenie)	1,16 (0,04)	1850 (66)	29,0 (1,1)
A1_0,2/80/50	Średnia (odchylenie)	2,02 (0,02)	2808 (28)	50,4 (0,5)
A1_0,2/20/10	Średnia (odchylenie)	0,97 (0,01)	1627 (31)	24,3 (0,3)
A1_0,2/20/90	Średnia (odchylenie)	0,98 (0,01)	1668 (23)	24,6 (0,3)
PLA	Wartość referencyjna [7]		3500	50
ABS	Wartość referencyjna [7]		1700-2800	33-110
ASA	Wartość referencyjna [7]		2600	55

Tabela 2. Ocena jakości wykonania próbek

Model	Ocena dokładności odwzorowania [pkt]	Ocena ilości użytego materiału [pkt]	Ocena wykończenia powierzchni bocznych [pkt]	Suma [pkt]
A1_0,2/20/50	5	6	4	15
A1_0,4/20/50	6	6	1	13
A1_0,3/20/50	7	7	2	16
A1_0,2/40/50	6	5	6	17
A1_0,2/80/50	3	4	7	14
A1_0,2/20/10	4	6	5	15
A1_0,2/20/90	5	6	3	14



Rys. 5. Porównanie jakości wykonania powierzchni bocznych w zależności od przyjętych parametrów druku: a) szybkość druku 10 mm/s, b) wysokość warstwy 0,4 mm, c) wypełnienie 80%

4. OMÓWIENIE WYNIKÓW BADAŃ

Zarówno moduł sprężystości wzdłużnej (moduł Younga) jak i wytrzymałość na rozciąganie wykazują podobną tendencję. Zwiększone wartości dla próbek o stopniu wypełnienia na poziomie 80%-zanotowano wzrost na poziomie 70% w przypadku modułu

Younga i 85% dla wytrzymałość na rozciąganie. Próbka o tak dobranych parametrach uzyskiwała wyniki zbliżone do wartości zmierzonych dla litego materiału. Można przypuszczać, że gdyby stopień wypełnienia wynosił 100% wartości otrzymane odpowiadałyby tym zmierzonym dla litego materiału.

W celu uzyskania najwyższych własności wytrzymałościowych elementów należy dobrać stopień wypełnienia możliwie najbardziej zbliżony do wartości 100%.

Zaobserwowano korelację pomiędzy stopniem wypełnienia a jakością zewnętrznych powierzchni bocznych (wraz ze wzrostem stopnia wypełnienia jakość powierzchni bocznej polepszała się), a także że ilość zużytego do produkcji modelu materiału zależna jest zarówno od wysokości warstwy (im niższa wysokość warstwy tym większa ilość materiału) jak i stopniem wypełnienia (wzrost stopnia wypełnienia wpływa na zwiększenie ilości materiału).

5. PODSUMOWANIE

Celem przeprowadzonych badań była ocena wpływu parametrów druku 3D metodą FDM na własności wytrzymałościowe i użytkowe opracowanych modeli. Przeprowadzono badania dostarczające informacji o własnościach wytrzymałościowych i jakości zaprojektowanych i wydrukowanych próbek umożliwiając dobór optymalnych parametrów druku dostosowanych do zindywidualizowanych potrzeb. Możliwe jest to na podstawie wyznaczonych w statycznej próbie rozciągania własności wytrzymałościowych, a także dzięki subiektywnej ocenie wytworzonych modeli.

Na podstawie przeprowadzonych badań sformułowano następujące wnioski i spostrzeżenia:

- **własności wytrzymałościowe wytwarzanych modeli uwarunkowane są stopniem wypełnienia – im wyższy tym wartości własności wytrzymałościowych zwiększają się, najlepsze własności wytrzymałościowe, zbliżone do wartości referencyjnych materiału stosowanego do druku uzyskała próbka A1_0,2/80/50,**
- wysokość warstwy 0,3 mm i stopień wypełnienia na poziomie 20% zapewnia najlepszą dokładność odwzorowania próbki,
- na jakość wykonania powierzchni bocznej próbki największy wpływ mają zarówno wysokość warstwy jak i stopień wypełnienia,
- najlepsza jakość, a co za tym idzie również własności użytkowe uzyskała próbka A1_0,2/40/50.

LITERATURA

- [1] Directed Sustainable Development, Journal of Sustainable Development, Kingston 2010r. When to Use Different Layer Heights: <http://formlabs.com/support/software/layer-heights/> (dostęp z dnia 07.04.2016r.).
- [2] Cura User Manual, English version 1.0: https://ultimaker.com/download/170/Cura_User-Manual_v1.0.pdf str. 26, (dostęp z dnia 07.04.2016r.).
- [3] Wypełnienie a jakość: <http://swiatdruku3d.pl/wplyw-wypelnienia-i-wysokosci-warstwy-na-jakosc-drukowanego-modelu/> (dostęp z dnia 07.04.2016r.).
- [4] Sydor M.: Wprowadzenie do CAD. Podstawy komputerowo wspomaganego projektowania, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 2009.
- [5] PN-EN ISO 527:1998 Tworzywa sztuczne – Oznaczanie właściwości mechanicznych przy statycznym rozciąganiu – warunki badań folii i płyt.

- [6] Martin O., Avérous L.: Poly(lactic acid): plasticization and properties of biodegradable multiphase systems, *Polymer*, vol. 42. 2001, p. 6209–6219.
- [7] <http://www.makeitfrom.com/> (dostęp z dnia 07.04.2016r.).

INFLUENCE OF 3D PRINTING PARAMETERS IN THE FDM TECHNOLOGY ON MECHANICAL AND UTILITY PROPERTIES OF OBJECTS MADE OF PLA

The article has taken problems related to the process of rapid prototyping, specifically FDM 3D printing technology. The purpose of study was to determine the impact of printing parameters during production and functional properties of models.

A series of research intended to show the differences in mechanical and functional properties according to the adopted parameters.

The results of tests evaluated and presents in clear statements, comparing them with the reference values of the test material.

The article shown how adjustable parameters affect to the accuracy of samples, the quality of the side surfaces, and the amount of material used to produce models.