

Propozycja wykorzystania elementów belkowych (MES) w analizie wytrzymałości konstrukcji drukowanych metodą FDM/FFF

The proposal of using beam elements (FEM) in strength analysis of structures printed with FDM/FFF method

JAROSŁAW MAŃKOWSKI
DAMIAN JURKIEWICZ *

DOI: 10.17814/mechanik.2016.12.547

Celem pracy było sprawdzenie możliwości wykorzystania elementów belkowych w analizach struktur drukowanych metodą FDM/FFF. Przedstawiono wyniki symulacji numerycznych dla trzech przypadków połączenia pojedynczych nitok polimeru poddanych różnym rodzajom obciążenia. Uzyskano satysfakcjonujące wyniki, które potwierdziły słuszność koncepcji.
SŁOWA KLUCZOWE: druk 3D, FDM, MES, wytrzymałość struktury drukowanej, elementy belkowe

The goal of work was to test possibility of using the beam elements in analysis of structures printed by FDM/FFF. We present the results of numerical simulations of the three connection cases of a single polymer filament treated with various types of loads. In these tests were achieved very satisfactory results that confirmed the validity of the concept.

KEYWORDS: 3D printing, FDM, FEM, strength of printing structures, beam elements

Jedną z bardzo popularnych i dynamicznie rozwijanych technologii druku 3D jest metoda FDM (*Fused Deposition Modeling*), w której gotowy wyrób powstaje poprzez nakładanie kolejnych warstw z nitok wytapianego polimeru. Uzyskana w ten sposób struktura charakteryzuje się anizotropią właściwości wytrzymałościowych, co jest główną przyczyną problemów związanych z projektowaniem i oceną wytrzymałości konstrukcji wykonanej w tej technologii, zwłaszcza w przypadku druku struktur ażurowych wykorzystywanych w medycynie. Dodatkowy problem stanowią charakterystyki materiałowe, które różnią się od charakterystyk materiałów bazowych, ponieważ zależą m.in. od: temperatury głowicy, prędkości wypływu oraz wilgotności [1, 2].

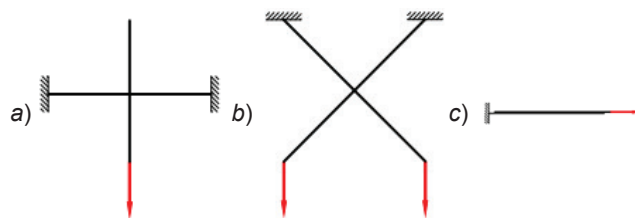
Problem analiz wytrzymałości konstrukcji próbuje się rozwiązać z wykorzystaniem MES na dwa sposoby: po pierwsze przez modelowanie struktury drukowanej, jako kompozyt [3, 4]; po drugie – wykorzystując modele bryłowe [5–7]. W pierwszym przypadku duży problem stanowią różne kierunki ułożenia nitok polimeru w pojedynczej warstwie, zmieniające się liczby warstw, różne wymiary kolejnych warstw itd. Powoduje to, że modelowanie tych struktur jako kompozytowych sprawdza się tylko w stosunkowo dużych i prostych geometrycznie przypadkach. W drugim przypadku uzyskiwane są bardzo dobre wyniki, ale ze względu na

wielkość modeli numerycznych (liczbę elementów) czasy obliczeń są zbyt długie, żeby można wykorzystać tę metodę w normalnej praktyce projektowej.

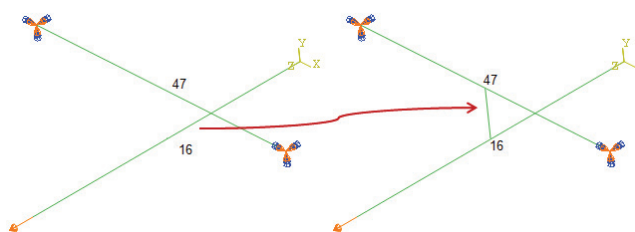
W związku z tym autorzy postanowili przeprowadzić studium możliwości wykorzystania elementów belkowych do analiz sztywnościowo-wytrzymałościowych konstrukcji wykonanych metodą FDM. Potencjalne zalety takiego podejścia: możliwość budowania modelu MES na podstawie G-Code'u, bardzo krótki czas analiz w porównaniu z innymi metodami, możliwość określenia warunków brzegowych dla submodeli bryłowych tworzonych dla fragmentów konstrukcji, w których występują spiętrzenia naprężeń. Podstawowym problemem przy takim podejściu jest sposób modelowania połączeń.

Założenia do analiz

W niniejszej pracy przedstawiono wyniki symulacji numerycznych dla trzech przypadków połączenia pojedynczych nitok polimeru poddanych różnym rodzajom obciążenia, oznaczonych w dalszej części tekstu: A jak na rys. 1a, B jak na rys. 1b, C jak na rys. 1c. Do zamodelowania połączenia użyto również elementu belkowego (rys. 2), dla którego testowano wpływ różnych parametrów, takich jak: średnica, moduł Younga, blokowanie stopni swobody. Porównania wyników dokonano z wynikami symulacji wykonanymi dla modeli bryłowych (rys. 3a).

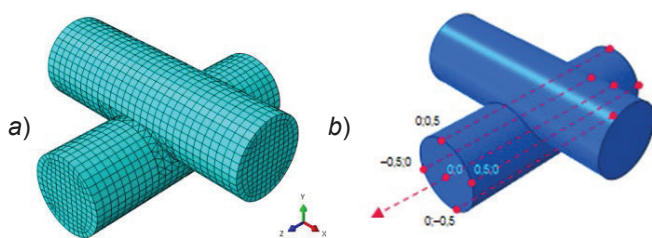


Rys. 1. Schemat warunków brzegowych i obciążeń dla badanych przypadków połączeń włókien



Rys. 2. Sposób połączenia włókien w modelu MES

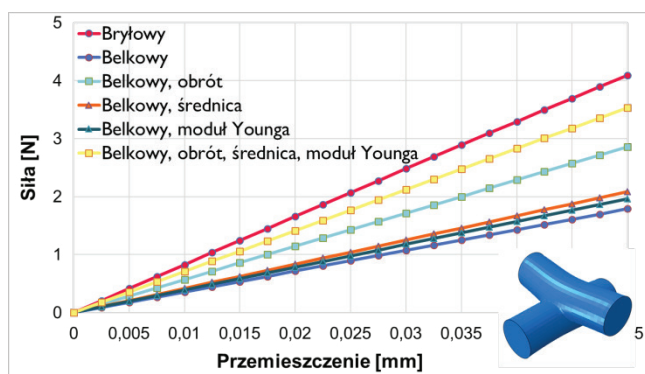
* Dr inż. Jarosław Mańkowski (jaroslaw.mankowski@simr.pw.edu.pl) – Politechnika Warszawska, Instytut Podstaw Budowy Maszyn; inż. Damian Jurkiewicz (damianjrk@wp.pl)



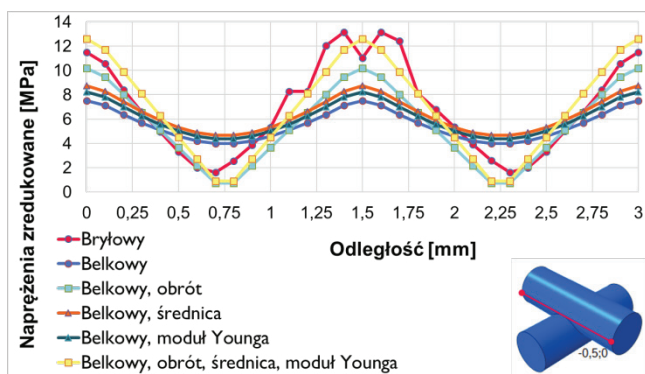
Rys. 3. Przykładowy model brylowy połączenia dwóch włókien: a) model dla przypadku obciążenia A i B, b) punkty charakterystyczne przekroju brane pod uwagę w porównaniach wyników

Wyniki

Jako główne kryterium oceny sposobu połączenia włókien w modelu belkowym przyjęto sztywność połączenia – najłatwiejszy do weryfikacji parametr w późniejszych badaniach laboratoryjnych rzeczywistych obiektów drukowanych. Analizie poddano wyniki uzyskane dla wybranych, charakterystycznych punktów, kołowych przekroji elementów belkowych (rys. 3b). Przykładowe wyniki uzyskanych charakterystyk sztywności połączenia dla przypadku A przedstawiono na rys. 4. Jak widać, najlepszą zbieżność uzyskano dla elementu łączącego (oznaczonego: „Belkowy, obrót, średnica, moduł Younga”), którego średnicę i moduł Younga zwiększono dwukrotnie, a także zablokowano możliwość obrotów w węzłach. Na rys. 5 przedstawiono porównanie przebiegu naprężeń zredukowanych dla przypadku A, dla wybranego punktu charakterystycznego przekroju o współrzędnych $-0,5, 0,0$.



Rys. 4. Zestawienie charakterystyk sztywności uzyskanych dla przypadku A



Rys. 5. Zestawienie przebiegów maksymalnych naprężeń zredukowanych uzyskanych dla przypadku A, dla wybranego punktu charakterystycznego przekroju

Najlepsze rezultaty dla przypadku A i B uzyskano w modelach, w których uwzględniono wszystkie testowane modyfikacje elementu łączącego. Dla przypadku C najlepsze rezultaty uzyskano dla elementu łączącego zamodelowanego jako belka o przekroju kołowym, o średnicy równej średnicy włókna i niezmiennych danych materiałowych. Zestawienie wyników zamieszczono w tabeli.

TABLICA. Punkty charakterystyczne przekroji, dla których przeprowadzono analizę uzyskanych wyników

| Przypadek połączenia | Uzyskane wyniki z modeli belkowych w stosunku do odpowiedniego modelu brylowego | | | | |
|----------------------|---|--|-----------------------------|---------------------------------|-----------------------|
| | Bez modyfikacji | Zablokowany obrót w miejscu połączenia | Podwojona średnica łącznika | Podwojony moduł Younga łącznika | Wszystkie modyfikacje |
| A | 56,68% | 30,76% | 49,54% | 52,5% | 14,39% |
| B | 13,29% | 13,39% | 12,59% | 12,97% | 12,76% |
| C | 15,57% | 21,42% | 22,92% | 19,37% | 24,61% |

Podsumowanie i wnioski

Uzyskane wyniki analiz są bardzo satysfakcjonujące, ponieważ potwierdzają słuszność przyjętej koncepcji, co oczywiście skłania do dalszych prac. Stwierdzono, że we wszystkich przedstawionych przypadkach sposobów analiz wytrzymałości struktur drukowanych metodą FDM pojawia się wspomniany już problem danych materiałowych oraz problem właściwości (charakterystyk) połączeń między warstwami. Autorzy skupiają się obecnie na opracowaniu i weryfikacji miarodajnej metody pozwalającej na ocenę wytrzymałości połączeń warstw, a także na ocenę oddziaływania pojedynczych nitek polimeru na siebie dla różnych przypadków współpracy, co pozwoli stworzyć odpowiednie charakterystyki elementów łączących.

LITERATURA

- Siemiński P., Tomczuk M. „Badanie wytrzymałości na rozciąganie próbek wykonywanych wybranymi metodami szybkiego prototypowania”. *Mechanik*. R. 86, nr 2 (2013): s. 1–20.
- Siemiński P., Rajch A. „Wpływ orientacji warstw i wypełnienia wnętrza na sztywność części wykonywanych techniką FDM z tworzywa ABS oraz wpływ wymiarów geometrii STL na występowanie szczelin wewnątrz modelu”. *Mechanik*. R. 87, nr 2 (2014): s. 1–13.
- Hambali R.H., Celik H.K., Smith P.C., Rennie A.E.W., Ucar M. “Effect of Build Orientation on FDM Parts: A Case Study for Validation of Deformation Behaviour by FEA, 140 Proceedings of iDECONE 2010”. *International Conference on Design and Concurrent Engineering*. Universiti Teknikal Malaysia Melaka, Melaka, Malezja, 2010.
- El-Gizawy A.S. “Process-induced Properties of FDM Products, Proceedings of The ICMET”. *International Conference on Mechanical Engineering and Technology Congress & Exposition*. ICMET, Paryż, 25–29.06.2011.
- Vivek A. “An Investigation into curved layer deposition for Fused Deposition Modelling”. Auckland University of Technology, Nowa Zelandia, 2010.
- Górski F. „Ocena wytrzymałości wyrobów kształtowanych przyrostowo uplastycznionym tworzywem sztucznym”. Politechnika Poznańska, Wydział Budowy Maszyn i Zarządzania, Poznań, 2013.
- Hambali R.H., Celik H.K., Smith P.C., Rennie A.E.W., Ucar M. “Effect of Build Orientation on FDM Parts: A Case Study for Validation of Deformation Behaviour by FEA”. *140 Proceedings of iDECONE 2010 – International Conference on Design and Concurrent Engineering*. Universiti Teknikal Malaysia Melaka, Melaka, Malezja, 2010.