



Zastosowanie technologii druku 3D oraz modelowania komputerowego w projektowaniu spersonalizowanych wypełnień płyt komórkowych

The use of 3D printing technology and computer modeling in the design of sandwich board personalized fillings

Radosław Auriga^{a,*}, *ORCID: 0000-0001-5627-2425*
Piotr Borysiuk^b, *ORCID: 0000-0002-7508-9359*
Radosław Baran^a,

^a*Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, Instytut Nauki Drzewnych i Meblarstwa, Katedra Mechanicznej Obróbki Drewna, ul. Nowoursynowska 159, 02-787 Warszawa, Polska*

^b*Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, Instytut Nauki Drzewnych i Meblarstwa, Katedra Technologii i Przedsiębiorczości w Przemysle Drzewnym, ul. Nowoursynowska 159, 02-787 Warszawa, Polska*

*Osoba do korespondencji: radoslaw_auriga@sggw.edu.pl

Streszczenie

Zastosowanie modelowania komputerowego oraz technologii druku 3D w procesach projektowania wypełnień do płyt komórkowych o spersonalizowanym przeznaczeniu stwarza nowe możliwości rozwoju tych tworzyw, poprzez szybką i tanią ocenę projektowanych wypełnień. W ramach badań podjęto próbę oceny przydatności modelowania komputerowego do oceny wzorów wypełnień do płyt komórkowych wytworzonych w technologii druku 3D. Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że w przypadku prostych wzorów wypełnień wytwarzanych w technologii druku 3D, symulacja komputerowa oparta o metodę analizy elementów skończonych pozwala na uzyskanie wyników zbliżonych do wartości otrzymanych empirycznie. Jednak wraz ze wzrostem stopnia skomplikowania badanych wzorów wypełnień zaobserwowano wzrost rozbieżności między wynikami symulacji komputerowej a wartościami empirycznymi.

Abstract

Application of computer modeling and 3D printing technology in the process of designing personalized fillings for sandwich boards offers new possibilities for the development of these materials through a fast and cheap evaluation of the fillings. As part of the research,

an attempt was made to evaluate the usefulness of computer modeling to evaluate the patterns of fillings for sandwich boards produced in the 3D printing technology. Based on the conducted research, it was found that in the case of simple filling patterns produced in the 3D printing technology, computer simulation based on finite element analysis enable to obtain results similar to the values obtained empirically. However, along with the complexity of the tested filling patterns, an increase in discrepancy between the results of the computer simulation and the empirical values was observed.

Słowa kluczowe: druk 3D, MES, płyty komórkowe

Keywords: 3D printing, EFA, sandwich boards

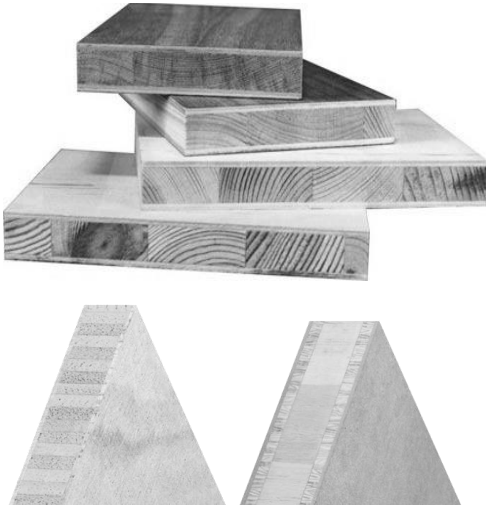
Wprowadzenie

Płyty komórkowe, pomimo dynamicznego rozwoju innych rodzajów tworzyw drewnopochodnych, nadal stanowią cenny materiał konstrukcyjny. Wykorzystywane są one zarówno w elementach konstrukcji budowlanych, stolarce drzewiowej jak i meblarstwie (Ratajczak i in. 2006). Płyty komórkowe są na ogół złożone z grubej warstwy środkowej (zwanej środkiem) oklejonej z obu stron warstwami forniru lub cienkich tworzyw drzewnych (płyta pilśniowa twarda, HDF, sklejka, cienka płyta wiórowa). Wyróżnia się płyty stolarskie pełne (Rys. 1), gdzie w warstwie środkowej nie występują puste przestrzenie, oraz pustakowe (komórkowe) (Rys. 2) - z warstwą środkową utworzoną z elementów rozmieszczonych w odstępach, z pozostawieniem wolnych przestrzeni. Najczęściej wykorzystywane jest w tym zakresie wypełnienie papierowe o charakterystycznej strukturze, tzw. „plastra miodu” (Rys. 3). Ze względu na materiał zastosowany w warstwie środkowej, do płyt komórkowych zalicza się również płyty stolarskie z wypełnieniem z korka, balsy, płyty pilśniowej porowatej lub innych materiałów o niskiej gęstości (Starecki 1994, Borysiuk i in. 2005, Borysiuk i in. 2006).

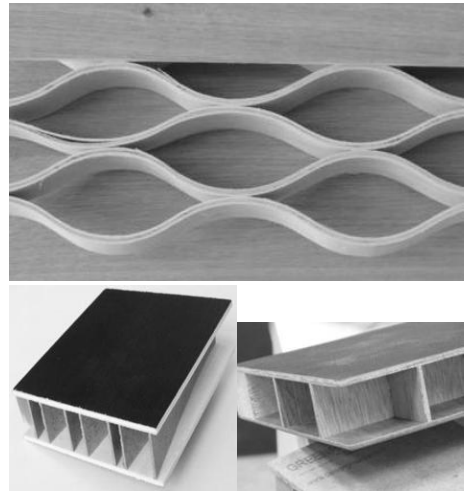
Obecnie na rynku dostępne jest szereg różnych wypełnień, które pozwalają uzyskać płyty komórkowe o specyficznie ukierunkowanych właściwościach:

- DendroLight® (Rys. 4) - płyta o warstwie środkowej wykonanej ze specjalnie prefabrykowanych i klejonych listew sosnowych, świerkowych lub osikowych. Proces przygotowania warstwy środkowej pozwala ograniczyć jej ciężar o 40% przy jednoczesnej minimalizacji naprężeń wewnętrznych (<http://dendrolight.lv/en/>);
- Aerowood® (Rys. 5) - płyta o warstwie środkowej ze specjalnie skrawanego obwodowo fornir w postaci falistej. Z 1 m³ forniru powstaje ok. 1,4 m³ rdzenia Aerowood (<https://schweitzer-austria.com/de/produkte/aerowood>);
- Lisocore® (Rys. 6) - płyta o warstwie środkowej złożonej z prasowanej, podwójnie zakrzywionej trójwymiarowej struktury wklejanej w specjalnie wyfrezowane warstwy okładzinowe (<https://www.lightweight-solutions.de/en/lisocore/>);

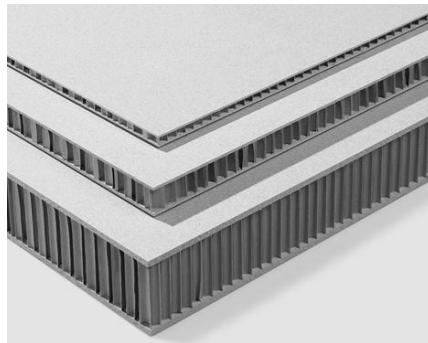
- CONBOU (Rys. 7) - ConBou Produkt Design und Entwicklung Wasilij Grod - płyta o warstwie środkowej wytworzonej z fragmentów zdrewniałych pędów bambusowych (<http://www.conbou.de/>).



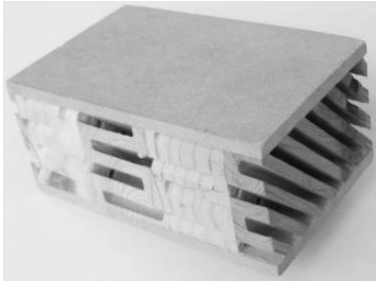
Rys. 1. Płyty stolarskie pełne
Fig. 1. Solid carpentry boards



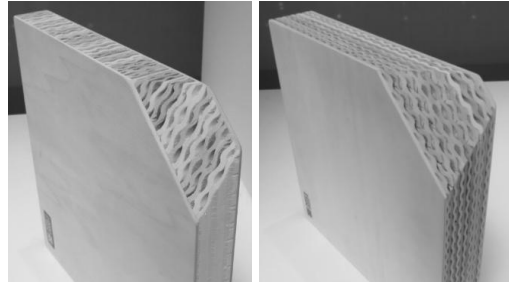
Rys. 2. Płyty stolarskie komórkowe - przykłady wypełnień
Fig. 2. Sandwich woodworking boards - examples of filling



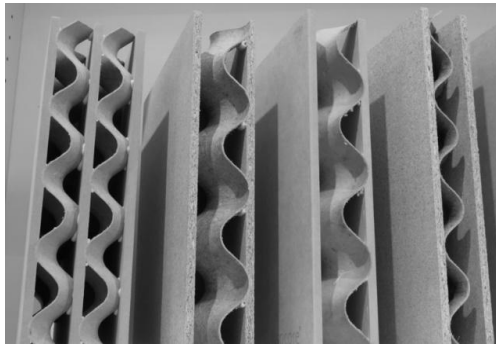
Rys. 3. Płyty komórkowe z wypełnieniem papierowym o strukturze „plastra miodu” (<https://www.egger.com>)
Fig. 3. Sandwich boards with paper filling with a "honeycomb" structure (<https://www.egger.com>)



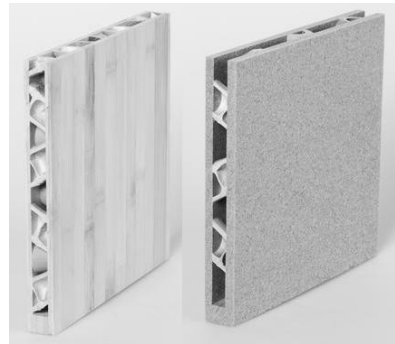
Rys. 4. Płyta DendroLight®
Fig. 4. DendroLight®



Rys. 5. Płyta Aerowood®
Fig. 5. Aerowood®



Rys. 6. Płyta Lisocore®
Fig. 6. Lisocore®



Rys. 7. Płyta CONBOU
Fig. 7. CONBOU

Główną zaletą płyt komórkowych jest redukcja ich ciężaru bez istotnego pogorszenia właściwości wytrzymałościowych, sztywności, stabilności oraz innych funkcji konstrukcyjnych. Gęstość płyt może być niższa niż 150 kg/m^3 . Związane to jest z faktem, że środek - zasadnicza część płyty, która może osiągać 70-80% jej objętości (w zależności od grubości płyty) - wykonany jest ze struktury przestrzennej. W przypadku papieru o strukturze „plastra miodu” wytrzymałość elementu środkowego może być zwiększana poprzez zastosowanie papieru o wyższej gramaturze lub zmniejszeniu celi (oczko papieru). Istotnym ograniczeniem w wykorzystaniu płyt komórkowych jest konieczność stosowania specjalnych, dedykowanych do tych celów okuć meblowych (Modzelewska 2006). W przeciwnym przypadku płyty należy wzmacniać wewnętrznymi ramami lub wstawkami by móc zastosować do nich tradycyjne okucia i obrzeża. Dogodnym rozwiązaniem w tym zakresie może być wytwarzanie dedykowanych wypełnień o ściśle określonym kształcie i co za tym idzie właściwościach. Przy tworzeniu takich propozycji wypełnień można wykorzystać symulacje komputerowe oraz druk 3D.

Technologia druku 3D polega na ekstruzji materiału w postaci filamentu (druku wykonanego z termoplastu) przez dyszę. Materiał rozprowadzany jest na stole roboczym drukarki w postaci nakładanych kolejno na siebie warstw (<https://manufactur3dmag.com>). Podstawową zaletą tej technologii jest możliwość wytwarzania elementów o bardzo

skomplikowanych wzorach, których wytworzenie tradycyjnymi metodami o ile byłoby możliwe, wiązałoby się z wysokim nakładem finansowym (Pollard i in. 2017).

Druk 3D pod względem badań związanych z innowacyjnymi wzorami wypełnień płyt komórkowych pozwala na wytwarzanie modeli wypełnień dotąd nieuwzględnianych w tego typu zastosowaniach. W związku z niemal nieograniczonymi możliwościami w aspekcie projektowania modeli wzorów wypełnień zasadnym staje się wykorzystanie do ich oceny symulacji komputerowych.

W przypadku zastosowań inżynierskich w symulacjach komputerowych wykorzystywanych jest kilka metod matematycznych, do których należą między innymi metoda elementów skończonych, metoda elementów brzegowych oraz metoda elementów objętościowych.

Metoda elementów skończonych polega na odwzorowaniu kształtu geometrii poprzez nałożenie siatki obliczeniowej, na podstawie, której przeprowadzana będzie analiza. Na podstawie analizy można otrzymać takie dane jak: naprężenia, odkształcenia, siły i przemieszczenia, a w przypadku obliczeń cieplnych rozkład temperatur. W związku z tym analiza elementów skończonych (ang. *Finite Element Analysis*) znalazła szerokie zastosowanie do obliczeń wytrzymałościowych w różnych gałęziach przemysłu, między innymi w przemyśle maszynowym, samochodowym, lotniczym.

W przemyśle meblarskim metoda elementów skończonych jest słabo rozpowszechniona w porównaniu z innymi gałęziami przemysłu (Tankut i in. 2014). Zastosowanie systemów komputerowych wykorzystujących o metodę analizy elementów skończonych w projektowaniu mebli i innych konstrukcji na bazie materiałów drewnopochodnych stwarza możliwość ograniczenia czasu niezbędnego na wytworzenie i testowanie prototypów w fazie projektowania (Yildirim i in. 2015).

Przydatność wykorzystania modelowania komputerowego została potwierdzona również w aspekcie badań związanych z płytami komórkowymi (Smardzewski i in, 2016; Majewski i Smardzewski 2013; Smardzewski i Prekrat 2012). Wykorzystanie modelowania w przypadku projektowania innowacyjnych wypełnień płyt komórkowych, wraz z zastosowaniem technologii druku 3D stwarza nowe możliwości rozwoju tych tworzyw, poprzez szybką i taną ocenę projektowanych wypełnień.

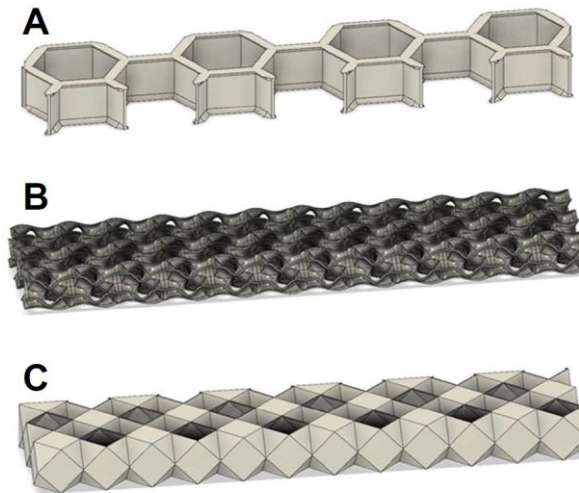
Cel i zakres pracy

Celem pracy była ocena przydatności modelowania komputerowego do projektowania wypełnień płyt komórkowych wytwarzanych z wykorzystaniem technologii druku 3D.

Zakres badań obejmował dwa etapy prac. W pierwszym etapie wytworzono w technologii druku 3D, trzy wzory wypełnień o różnym stopniu skomplikowania i określono średnią siłę niszczącą przy zginaniu statycznym. Drugi etap polegał na przeprowadzeniu symulacji komputerowej opartej o metodę elementów skończonych, modeli wytworzonych wypełnień i porównanie wyników symulacji z wynikami otrzymanymi empirycznie.

Materiały i metodyka badań

W ramach badań wytworzono 3 różne wzory wypełnień (Rys. 8). Wzór plastra miodu (Rys. 8A) składał się z ośmiościanów foremnych, w których długość boku wynosiła 25 mm, a wysokość modelu 20 mm. Grubość ścianek została dobrana w oparciu o możliwości drukarki 3D. Dysza drukarki posiadała średnicę 0,4 mm, co pozwalało na wykonanie elementu o grubości 0,4-0,5 mm. W celu zapewnienia powtarzalności wydruku, oraz aby wydruk składał się ze ścian zewnętrznych w całości wypełnionych materiałem PLA przyjęto grubość ścian 1 mm.



Rys. 8. Wzory badanych wypełnień. A - plaster miodu, B - gyroid, C - sześćcio-ośmiościan
Fig. 8. Designs surveyed fillings. A - honeycomb, B - gyroid, C - hexa-octahedron

Wzór gyroidu (Rys. 8B) został wybrany ze względu na skomplikowaną budowę, tak aby w pełni wykorzystać możliwości druku 3D. Wydrukowano próbki o całkowitych wymiarach $50 \times 300 \times 20 \text{ mm}^3$. Wykonanie tego typu wzoru w tradycyjny sposób było by procesem skomplikowanym i kosztownym. Natomiast wykorzystanie technologii druku 3D było w tym przypadku proste i tanie. Ze względu na skomplikowanie, model gyroidu został wykonany w programie do grafiki 3D Blender. Następnie został wyeksportowany w formacie .obj do programu Fusion 360 gdzie został zamieniony na model wykorzystany do symulacji metodą elementów skończonych.

Trzeci wzór to powielony sześćcio-ośmiościan (Rys. 8C). Sześćcio-ośmiościan to wielościan składający się z 12 wierzchołków, 24 krawędzi oraz 14 ścian (8 trójkątów równobocznych oraz 6 kwadratów). Grubość ścian wynosiła 0,4 mm i była równa średnicy dyszy drukarki 3D (0,4 mm). Cienkie ściany zapewniały niskie zużycie materiału oraz niewielką wagę wypełnienia, przy całkowitej grubości wzoru 20 mm. Należy również

zaznaczyć, że wzór tego wypełnienia posiadał puste, zamknięte przestrzenie, co sprawiało, że wykonanie tego wzoru metodami innymi niż druk 3D było by niezmiernie skomplikowane.

Wszystkie przedstawione wzory wypełnień zostały wytworzone w technologii druku 3D, przy użyciu drukarki D9 firmy Wanhao. Pole robocze drukarki wynosiło 300 mm w osi X, 300 mm w osi Y oraz 400 mm w osi Z. Do wykonania wydruku 3D modeli wypełnień zastosowano filament FABLAB PLA firmy Ink3.de na szpuli o wadze netto 1000 g w kolorze beżowym. Filament wyprodukowany został w Polsce w standardowym wymiarze średnicy - 1,75 mm.

Modele wykonane w oprogramowaniu CAD zostały wyeksportowane w formacie STL do programu CURA, w którym dobrano następujące ustawienia wydruku:

- Temperatura dyszy: 205°C
- Temperatura stołu: 58°C
- Liczba parametrów: 2
- Gęstość wypełnienia: 100%
- Chłodzenie wydruku: Tak
- Wysokość warstwy: 0,2 mm
- Liczba warstw górnych: 3
- Liczba warstw dolnych: 3
- Prędkość wydruku 50 mm/s

Dla wytworzonych wypełnień oznaczono średnie wartości siły niszczącej podczas zginania statycznego. Oznaczenie wykonano na uniwersalnym aparacie wytrzymałościowym produkcji Ośrodka Badawczo-Rozwojowego Przemysłu Płyt Drewnopochodnych w Czarnej Wodzie. Wstępnie przyjęty rozstaw podpór wynosił 200 mm, jednak badane próbki wykazały znaczne zdolności do odkształceń, dlatego ostatecznie oznaczenie wykonano przy rozstawie podpór 100 mm. Oznaczenie wytrzymałości na zginanie przeprowadzono w 10 powtórzeniach dla danego wzoru wypełnienia.

Do wykonania komputerowych modeli wybranych wypełnień oraz przeprowadzenia komputerowej symulacji ich wytrzymałości wykorzystano oprogramowanie typu CAD firmy Autodesk-Fusion 360. Komputerowa analiza wytrzymałości wypełnień została wykonana w oparciu o metodę analizy elementów skończonych. W programie Fusin 360 odtworzono warunki przeprowadzonego pomiaru siły niszczącej podczas badania wytrzymałości na zginanie statyczne badanych wzorów wypełnień.

Na potrzeby symulacji niezbędne wartości właściwości materiałowych PLA przyjęto na podstawie informacji zawartych na stronie internetowej optimatter (<https://www.optimatter.com/>), dla wydruku PLA o gęstości wypełnienia 100%, wysokości warstwy 0,2 mm i prędkości wydruku 50 mm/s (Tabela 1).

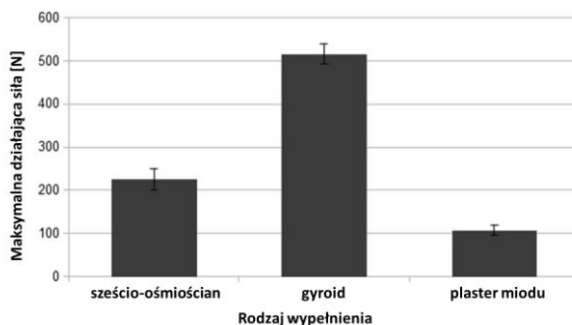
Tabela 1. Właściwości materiałowe wydruku PLA o założonych parametrach
Table 1. Material properties of the PLA printout with the assumed parameters

Właściwość	Wartość
Gęstość	1,24 kg/m ³
Moduł Younga	2500 MPa
Liczba Poissona	0,36
Granica plastyczności	31 MPa
Wytrzymałość na rozciąganie	37 MPa

Do przeprowadzenia symulacji komputerowej zdecydowano się na zastosowanie analizy liniowej jako jednego z wariantów analizy elementów skończonych. W celu zapewnienia odpowiedniej rozdzielczości przeprowadzanej analizy zastosowano siatkę o rozmiarze pojedynczego elementu na poziomie 5% wielkości modelu bazowego.

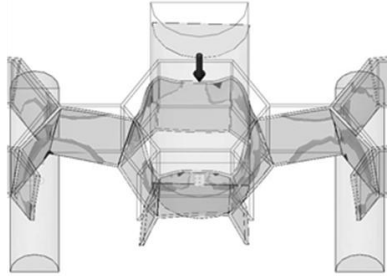
Wyniki badań i analiza

Wyniki oznaczenia średnich wartości siły niszczącej podczas badania wytrzymałości na zginanie statyczne badanych modeli wypełnień zostały przedstawione na Rys. 9. Analiza otrzymanych wartości średnich wartości siły niszczącej wykazała, że wszystkie badane rodzaje wypełnień różnią się względem siebie istotnie statystycznie. Najwyższą siłę niszczącą zaobserwowano dla wzoru wypełnienia typu gyroid (wyniosła ona 516 N). Natomiast najniższą średnią wartość siły niszczącej charakteryzował się wzór wypełnienia typu plaster miodu (107 N).



Rys. 9. Średnia wartość siły niszczącej badanych wypełnień
Fig. 9. Średnia wartość siły niszczącej badanych wypełnień

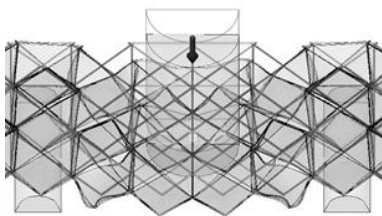
Analiza elementów skończonych wzoru plastra miodu wykazała, że przekroczenie granicy wytrzymałości obserwowane jest już przy działaniu siły 100 N (Rys. 10). Otrzymane wyniki przeprowadzonej analizy korespondują z wynikami empirycznymi uzyskanymi dla tego wariantu wypełnienia. Różnica między wartością empiryczną a wartością uzyskaną w przypadku analizy elementów skończonych wynosiła mniej niż 10%.



Rys. 10. Model wzoru plaster miodu przy obciążeniu siłą 100 N

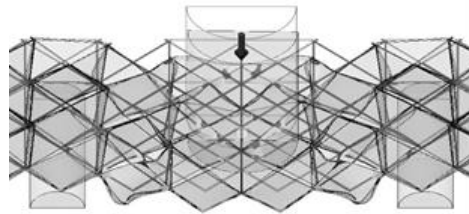
Fig. 10. Honeycomb model with a force of 100 N

Przeprowadzona analiza elementów skończonych dla wypełnienia sześćo-ośmiościanu wykazała pojawianie się pierwszych oznak przekroczenia wytrzymałości na rozciąganie przy działaniu siły na poziomie 200 N (Rys. 11). Jednak dopiero zadziałanie siłą na poziomie 250 N spowodowało pojawienie się znacznej ilości miejscowych przekroczeń wytrzymałości modelu, które świadczą o jego uszkodzeniu (Rys. 12). Na podstawie przeprowadzonej symulacji można przyjąć, że zniszczenie modelu następuje przy wartości 250 N działającej siły. Porównując wyniki analizy elementów skończonych dla wypełnienia sześćo-ośmiościanu z empirycznie ustaloną średnią siłą niszczącą można zauważyć, że wyniki dla analizy komputerowej są, co najmniej o 20% wyższe niż wyniki empiryczne. Badania nad drukowanymi strukturami 3D wykazują, że zgodność wyników eksperymentalnych z wynikami analizy komputerowej jest determinowana przede wszystkim przez poprawność wprowadzanych danych do jej przeprowadzenia (Sarvestani 2018, Akbarzadeh 2018). Ponadto należy zaznaczyć, że nawet niewielkie zmiany składu filamentu mogą przekładać się na jego końcowe właściwości (Wittbrodt i Pearce 2015).



Rys. 11. Model wzoru sześćo-ośmiościanu przy obciążeniu siłą 200 N

Fig. 11. Model of the hexa-octahedron with load of 200 N

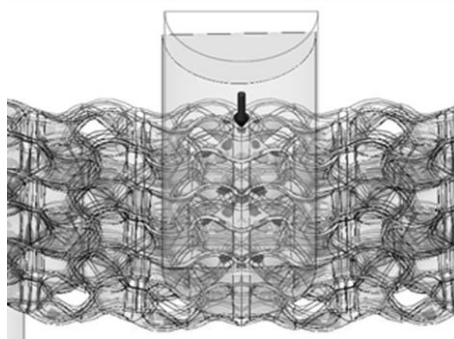


Rys. 12. Model wzoru sześćo-ośmiościanu przy obciążeniu siłą 250 N

Fig. 12. Model of the hexa-octahedron with load of 250 N

W przypadku wypełnienia o wzorze gyroidu analiza elementów skończonych wykazała znaczne rozbieżności względem wyników otrzymanych empirycznie. Według przeprowadzonej analizy komputerowej zniszczenie badanej próbki powinno nastąpić w przedziale wartości sił od 150 N do 200 N. Natomiast na podstawie wyników

empirycznych stwierdzono, że zniszczenie próbki nastąpiło dopiero po przyłożeniu siły wyższej niż 500 N. Rozbieżności między wynikami analizy komputerowej a wynikami empirycznymi mogą wynikać z bardzo skomplikowanej geometrii gyroidu, która mogła generować błędy w czasie symulacji. Ponadto taki stan rzezy może być również wynikiem zbyt ogólnych parametrów symulacji komputerowej.



Rys. 13. Model wzoru gyroid przy obciążeniu siłą 200 N

Fig. 13. Model of the Gyroid with load of 200 N

Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych badań można stwierdzić, że w przypadku stosunkowo prostych wzorów wypełnień wytwarzanych w technologii druku 3D, symulacja komputerowa oparta o metodę analizy elementów skończonych pozwala na otrzymanie wyników zbliżonych do wartości uzyskiwanych empirycznie. Wraz ze wzrostem stopnia skomplikowania badanych wzorów wypełnień zaobserwowano wzrost rozbieżności między wynikami symulacji komputerowej a wartościami empirycznymi. Należy jednak podkreślić, że otrzymane w ramach niniejszej pracy wyniki, mogą być efektem przyjęcia zbyt ogólnych parametrów symulacji komputerowej, oraz wykorzystaniem do jej przeprowadzenia danych materiałowych podanych przez producenta, a nie oznaczonych bezpośrednio. Analiza elementów skończonych może przydatnym narzędziem do oceny drukowanych wzorów wypełnień, należy jednak przeprowadzić badania uwzględniające empiryczne ustalenie właściwości materiału wykorzystanego do wytworzenia konkretnych próbek.

Literatura

Borysiuk P., Dziurka D., Jabłoński M., Zado A., Zbieć M., 2006: Layered insulation boards. *Annals of Warsaw Agricultural University, Forestry and Wood Technology* 58, 79-82.

Borysiuk P., Dziurka D., Jabłoński M., Zbieć M., 2005: Application of waste corrugated cardboard as an internal layer of blockboard. *Annals of Warsaw Agricultural University, Forestry and Wood Technology* 56, 60-64.

Majewski A., Smardzewski J., 2013: Thin purenit honeycomb panels. Proceedings of the XXVIth International Conference Research for Furniture Industry.

Pollard D., Ward C., Herrmann G., Etches J., 2017: The manufacture of honeycomb cores using Fused Deposition Modeling. *Advanced Manufacturing: Polymer & Composites Science* 3, 21-31. DOI:10.1080/20550340.2017.1306337

Ratajczak E., Szostak A., Bidzińska G., 2006: Zużycie materiałów drzewnych w gospodarce. Poznań, Instytut Technologii Drewna. ISBN 93-915727-7-3

Sarvestani H. Y., Akbarzadeh A.H., Mirbolghasemi A., Hermenean K., 2018: 3D printed meta- sandwich structures: Failure mechanism, energy absorption and multi-hit capability. *Materials and Design* 160, 179-193. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2018.08.061>

Sarvestani H.Y., Akbarzadeh A.H., Niknam H., Hermenean K., 2018: 3D printed Architected Polymeric Sandwich Panels: Energy Absorption and Structural Performance. *Composite Structures* 200, 886-909. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2018.04.002>

Smardzewski J., Jasińska D., 2016: Mathematical models and experimental data for HDF based sandwich panels with dual corrugated lightweight core. *Holzforschung* 71, 265-273. DOI: <https://doi.org/10.1515/hf-2016-0146>

Smardzewski, J., Prekrat, S., 2012: Modelling of thin paper honeycomb panels for furniture, 22th International Scientific Conference, Wood is Good - With Knowledge and Technology to a Competitive Forestry and Wood Technology Sector, Proceedings of the International Conference Ambienta, University of Zagreb, Faculty of Forestry, Zagreb, October 2.

Starecki A., Drouet T., Leśniowski A., Onisko W., 1994: *Technologia tworzyw drzewnych*. Wydawnictwo Szkolne i Pedagogiczne, Warszawa.

Tankut N., Tankut A.N., Zor M., 2014: Finite element analysis of Wood Materials. *Drvna Industrija* 65, 159-171. DOI: <https://doi.org/10.5552/drind.2014.1254>

Wittbrodt B., Pearce J.M., 2015: The Effects of PLA color on material properties of 3-D printed components. *Additive Manufacturing* 8, 110-116. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.addma.2015.09.006>

Yildirim M.N., Uysal B., Ozcifci A., Yorur H., Ozcan S., 2015: Finite element analysis (fatigue) of wooden furniture strength. Proceedings of the 27th International Conference. Research for Furniture Industry, September 2015, Turkey.

Źródła internetowe

https://www.biznesmeblowy.pl/produkcja_mebli/116/wady_i_zalety_plyt_komorkowych,1000829.html (dokument elektroniczny, stan na dzień 24.10.2020)

<http://dendrolight.lv/en/> (dokument elektroniczny, stan na dzień 24.10.2020)

<https://schweitzer-austria.com/de/produkte/aerowood> (dokument elektroniczny, stan na dzień 24.10.2020)

<https://www.lightweight-solutions.de/en/lisocore/> (dokument elektroniczny, stan na dzień 24.10.2020)

<http://www.conbou.de/> (dokument elektroniczny, stan na dzień 24.10.2020)

https://www.egger.com/shop/pl_PL/produkty/meble-i-aranzacja-wnetrz/asortyment
(dokument elektroniczny, stan na dzień 24.10.2020)

<https://manufactur3dmag.com> (dokument elektroniczny, stan na dzień 20.11.2019)

<https://www.optimatter.com> (dokument elektroniczny, stan na dzień 24.10.2020)

Artykuł recenzowany / Reviewed paper

Zgłoszony / Submitted: 05.11.2020

Opublikowany online / Published online: 30.12.2020