

Sebastian JAGOSZ¹, Piotr DANIELCZYK

Opiekun naukowy: Piotr DANIELCZYK²

POSZUKIWANIE ROZWIĄZAŃ KONSTRUKCYJNYCH PRZYKŁADOWYCH CZĘŚCI Z WYKORZYSTANIEM PROJEKTOWANIA GENERATYWNEGO

Streszczenie: W artykule przedstawiono proces poszukiwania rozwiązań konstrukcyjnych trzech przykładowych części metodami projektowania generatywnego. Pokazano sposób przygotowania modeli obliczeniowych dla pakietu Autodesk Fusion 360, ze szczególnym uwzględnieniem ograniczeń funkcjonalnych i wytrzymałościowych nałożonych na generowane kształty. Otrzymane w wyniku analiz części zostały wykonane w technologii druku FDM oraz SLS.

Słowa kluczowe: Projektowanie generatywne, druk 3D, Autodesk Fusion 360

SEARCH FOR CONSTRUCTION SOLUTIONS OF SAMPLE PARTS USING GENERATIVE DESIGN

Summary: The article presents the process of searching for construction solutions of three sample parts with the use of generative design methods. The method of preparing calculation models for the Autodesk Fusion 360 package was shown, with particular emphasis on the functional and strength constraints imposed on the generated shapes. The parts obtained as a result of the analyses were made in the FDM and SLS printing technology.

Keywords: Generative design, 3D printing, Autodesk Fusion 360

1. Wprowadzenie

Jednym z powszechnie używanych narzędzi wspierających pracę inżyniera jest optymalizacja topologiczna. Wykorzystując jej algorytmy znajduje się jeden, najlepszy ze względu na zdefiniowane kryteria, rozkład materiału w założonej z góry przestrzeni projektowej [1]. Stosowane kryteria najczęściej odnoszą się do masy projektowanej części, jej sztywności czy też częstości drgań własnych. Kształt

¹ mgr inż., Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej, Wydział Budowy Maszyn i Informatyki, specjalność: Komputerowe Wspomaganie Konstruowania i Wytwarzania, sebastian.jagosz@outlook.com

² dr inż., Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej, Wydział Budowy Maszyn i Informatyki, pdanielczyk@ath.bielsko.pl

uzyskany w wyniku rozwiązania takiego zadania należy traktować jako odpowiedź dla konstruktora przy opracowaniu ostatecznej postaci konstrukcyjnej części.

W ostatnich latach obserwuje się coraz większe zainteresowanie metodami projektowania generatywnego. Mimo, że na pozór metoda ta przypomina optymalizację topologiczną (a w szczególności jej wynik), to inaczej podchodzi się tu do problemu poszukiwania rozwiązań konstrukcyjnych części. Wykorzystując algorytmy oparte o sztuczną inteligencję [2-4] uzyskuje się zbiór (często liczny) unikalnych wariantów projektowych, bez konieczności definiowania zamkniętej przestrzeni projektowej. Spośród tych wariantów konstruktor może wybrać ten, który uzna za właściwy. Dużą zaletą projektowania generatywnego jest to, że wynikiem który uzyskujemy jest w pełni edytowalna bryła, a nie jak to ma miejsce w optymalizacji topologicznej, zbiór odpowiednio wytyczonych elementów skończonych. Wygenerowane kształty uwzględniają założoną technologię wykonania (odlewanie, frezowanie wielosiowe, czy też nowoczesne metody wydruku 3D) oraz spełniają przyjęte kryteria funkcjonalne i wytrzymałościowe. Obliczenia z użyciem oprogramowania do projektowania generatywnego odbywają się w chmurze, co pozwala na jednoczesne rozwiązywanie wielu zadań, bez obciążania urządzenia użytkownika.

Przykłady przedstawione w artykule są ilustracją wykorzystania technik projektowania generatywnego do poszukiwania wariantów konstrukcyjnych części których kształt w znacznym stopniu jest ograniczony wymaganiami funkcjonalnymi a także takich, których postać może być właściwie dowolna. Dwa pierwsze dotyczą rekonstrukcji elementów drukarki 3D, a w trzecim pokazano proces poszukiwania nowego kształtu szczęki ścisku stolarskiego. Założono, że projektowane części zostaną przeznaczone do wykonania w druku 3D technologiami FDM (*Fused Deposition Modeling*) oraz SLS (*Selective Laser Sintering*). Na tym etapie prac nie odniesiono się do kosztów wykonania części, skupiając się głównie na możliwościach, które daje projektowanie generatywne.

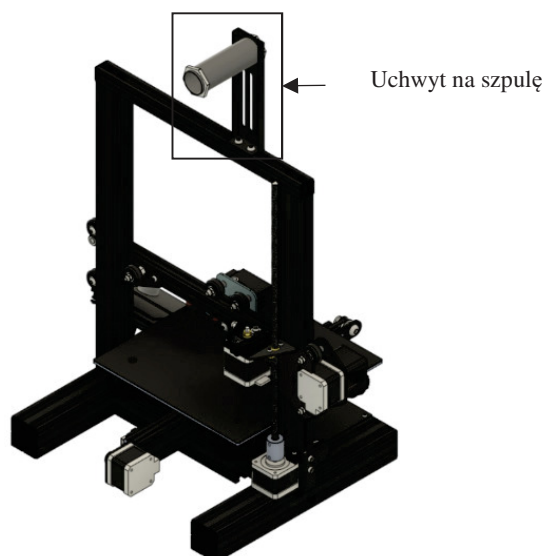
Do obliczeń wykorzystano moduł zaimplementowany w pakiecie oprogramowania Fusion 360 firmy Autodesk [5,6]. Z uwagi na nowatorski charakter opisywanej metodyki omówiono proces przygotowania modelu obliczeniowego, jak i pokazano przykładowe wyniki uzyskane po rozwiązaniu zadania.

2. Rekonstrukcja części drukarki 3D

Tak jak wspomniano wcześniej dwa pierwsze zadania dotyczą rekonstrukcji części drukarki 3D. W zadaniu pierwszym poszukiwano kształtu uchwytu na szpulę do drukarki 3D, w drugim natomiast pokazano projekt wspornika rolki prowadzącej filament, zintegrowanego z listwą do oświetlenia pola roboczego.

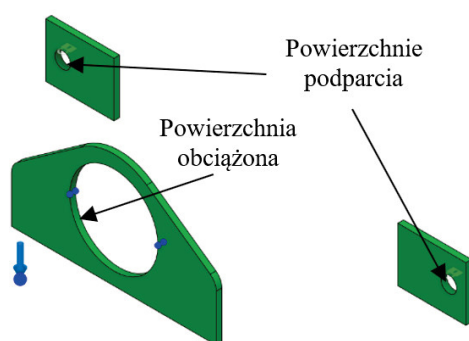
2.1 Projekt uchwytu na szpulę

W zadaniu tym podjęto próbę zastąpienia stalowego wspornika na szpulę przedstawionego na rysunku 1 elementem wykonanym w technologii druku 3D o kształcie uzyskanym z wykorzystaniem metod projektowania generatywnego.

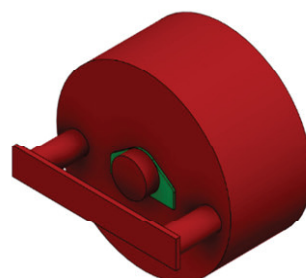


Rysunek 1. Drukarka FFF – Ender 3

Budowę takiego zadania rozpoczyna się od zdefiniowania geometrii. Jak zaznaczono wcześniej nie określa się zamkniętej przestrzeni projektowej, a jedynie wskazuje miejsca istotne dla funkcjonalności projektowanej części. W pakiecie Autodesk Fusion 360 są to dwa rodzaje obiektów. Pierwszy typ to *Preserve geometry*. Za ich pomocą definiujemy obszary, które mają stanowić integralną część tworzonego detalu. Są to miejsca podparcia, przyłożenia siły oraz inne obszary ważne z punktu widzenia zachowania funkcjonalności projektu. W tym przypadku są to mniejsze bryły umożliwiające montaż wspornika do szyny (podparcie) oraz większa bryła umożliwiająca montaż tulei podtrzymującej szpulę (Rysunek 2). Do tej ostatniej zostanie przyłożone obciążenie o wartości 14N, wynikające z ciężaru największej dostępnej na rynku szpuli. Drugi typ geometrii to *Obstacle geometry*. Reprezentuje on obszary w których nie może się znajdować materiał. W tym zadaniu będą to uproszczone bryły przedstawiające szpulę, fragment szyny oraz miejsce niezbędne na śruby i ich montaż (Rysunek 3).



Rysunek 2. *Preserve geometry*



Rysunek 3. *Obstacle geometry*

Jako cel zadania wybrano minimalizację masy oraz, jako metodę wytwarzania, wybrano druk 3D. Poniżej przedstawiono wybrane rozwiązania geometryczne, wygenerowane przez program (Rysunek 4).



Rysunek 4. Wybrane propozycje geometryczne gotowe do wydruku 3D

Dla jednego z uzyskanych kształtów przygotowano wydruk na drukarce FDM z materiału Fiberlogy R PLA, a gotowy wspornik zamontowano w drukarce (Rysunek 5).



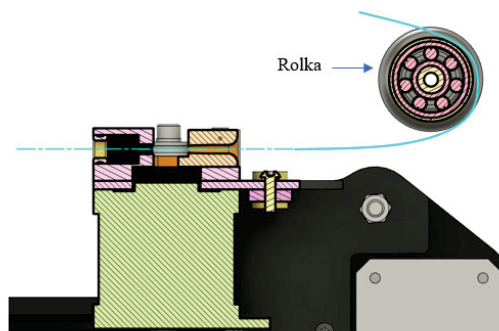
Rysunek 5. Wybrane propozycje geometryczne gotowe do wydruku 3D

Stwierdzono, że sztywność wspornika jest wystarczająca i zapewnia poprawną pracę drukarki. Warto dodać, że wspornik z tworzywa sztucznego waży 16 gram, co w porównaniu z masą elementu wykonanego ze stali (81 gram) daje redukcję masy o około 80%.

2.2 Projekt przewodnicy materiału z oświetleniem

W drugim zadaniu dokonano modyfikacji drukarki polegającej przede wszystkim na dodaniu rolki prowadzącej materiał do druku. Podczas pobierania materiału

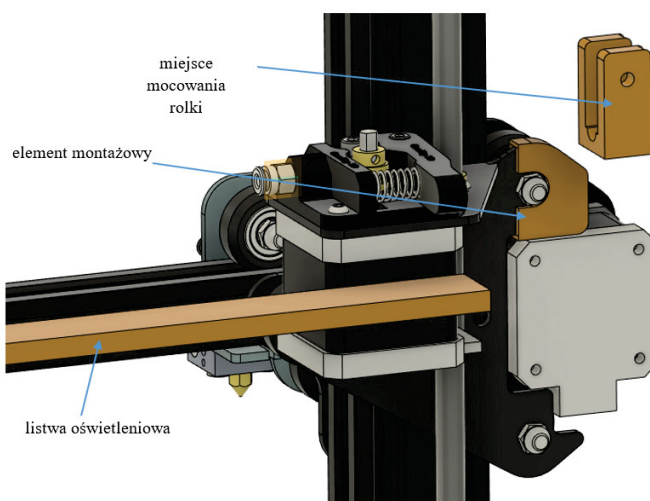
zawieszono na wysokości górnej ramy urządzenia istnieje prawdopodobieństwo zagięcia materiału na wejściu do otworu prowadzącego w dźwigni. Aby temu zapobiec zaproponowano wstawienie rolki prowadzącej materiał, tak jak pokazano to na rysunku 6.



Rysunek 6. Modyfikacja przebiegu filamentu – przekrój przez ekstruder

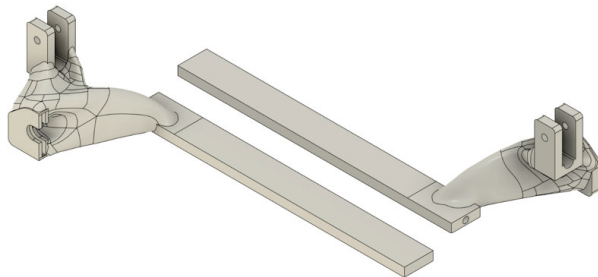
Dodatkowo uchwyt rolki zostanie zintegrowany z listwą, do której zamocowane zostanie oświetlenie w postaci taśmy LED.

Budowę zadania przeprowadzono w podobny sposób jak w przykładzie poprzednim. Wykorzystano do tego model złożeniowy drukarki, wybierając najbliższe otoczenie ekstrudera. Do złożenia dodano geometrię o przeznaczeniu *Preserve geometry*. Składa się ona z trzech brył przedstawionych na rysunku 7. Ponadto zdefiniowano obszary *Obstacle geometry*, materiał oraz wybrano technologię wytwarzania przyrostowego.

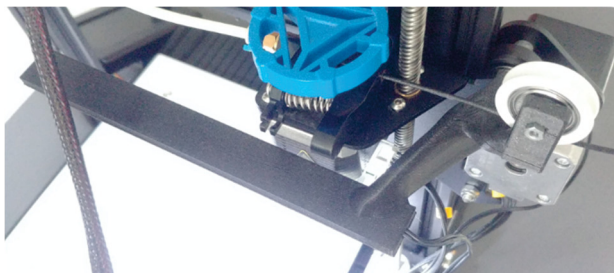


Rysunek 7. Bryły wchodzące w skład projektowanego wspornika

Poniżej zaprezentowano wybraną propozycję projektową. Dla niej wykonano wydruk 3D w technologii FDM (rysunek 8), a następnie gotowy uchwyt wraz z rolką i oświetleniem zamocowano w drukarce (rysunek 9).



Rysunek 8. Wybrana postać konstrukcyjna wspornika



Rysunek 9. Wspornik zamocowany w drukarce

3. Projekt szczęki ścisku stolarskiego

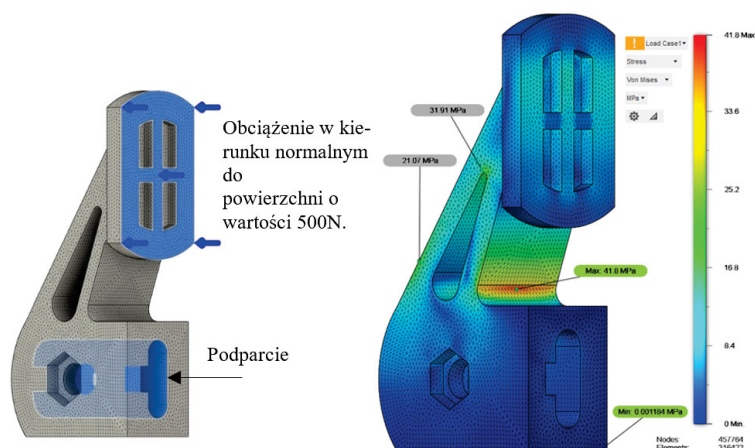
W kolejnym przykładzie podjęto próbę poszukiwania najkorzystniejszego z punktu widzenia wytrzymałości kształtu szczęki ścisku stolarskiego (rysunek 10).



Rysunek 10. Ścisk stolarski

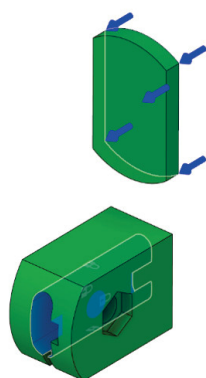
W pierwszym etapie opracowano model 3D dla istniejącego rozwiązania konstrukcyjnego, a następnie przeprowadzono analizę statyczną metodą elementów skończonych, w celu wyznaczenia największych naprężeń w ramieniu. Wynik tej analizy będzie stanowił punkt odniesienia do oceny nowego rozwiązania konstrukcyjnego. Ramię obciążono w kierunku normalnym siłą 500N, natomiast miejsce podparcia zdefiniowano w miejscu połączenia części z prowadnicą. Jako materiał przyjęto Nylon 12 Powder, przeznaczony do wydruku w technologii SLS.

Model dyskretny oraz rozwiązanie zadania przedstawiono na rysunku 11. Jak można zauważyć największe naprężenia osiągają wartość 41.8 MPa.

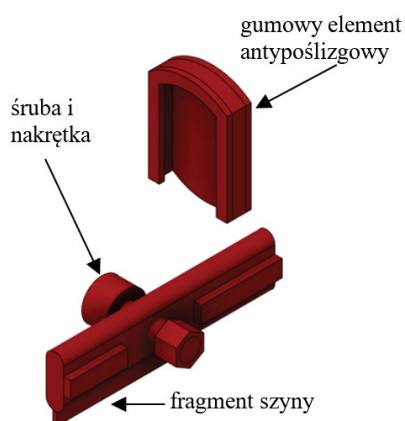


Rysunek 11. Analiza statyczna ramienia ścisku. Rozkład naprężeń w ramieniu

Drugim etapem było przygotowanie geometrii do zadania projektowania generatywnego. W tym celu jako *Preserve geometry* wykorzystano fragmenty wcześniej utworzonego modelu (Rysunek 12). W ramach *Obstacle geometry* zamodelowano fragment współpracującej szyny, śrubę, nakrętkę oraz gumowy element antypoślizgowy (Rysunek 13). Warunki brzegowe zdefiniowano w taki sam sposób, jak w powyżej przedstawionej analizie statycznej.



Rysunek 12. Preserve geometry



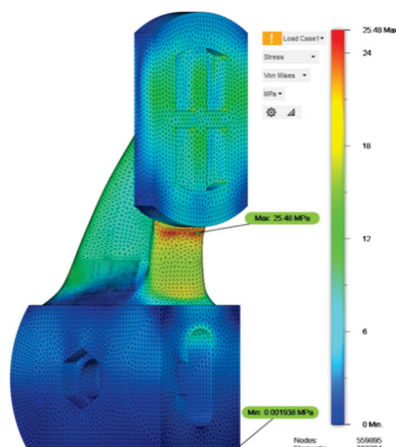
Rysunek 13. Obstacle geometry

Jako cel zadania wybrano maksymalizację sztywności, ograniczając masę do 28g (masa oryginalnej części). Na poniższym rysunku przedstawiono cztery wygenerowane propozycje projektowe.



Rysunek 14. Propozycje geometryczne ramiona ścisku

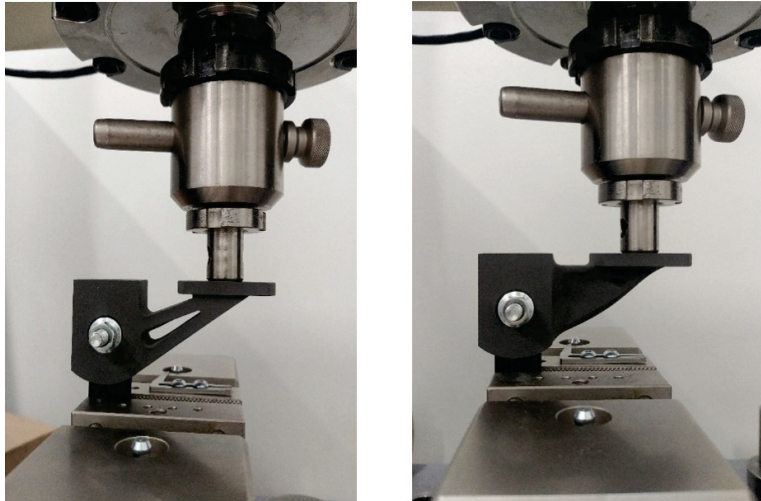
Z przedstawionych powyżej propozycji do dalszej analizy wybrano skrajny prawy projekt. Przeprowadzono dla niego ponownie analizę wytrzymałościową. Zachowano te same warunki brzegowe co poprzednio. Wynik obliczeń pokazano na rysunku 15.



Rysunek 15. Rozkład naprężeń zredukowanych dla rozwiązania poprawionego

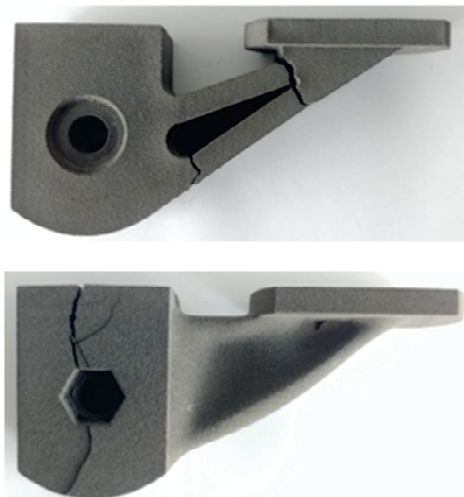
Jak można zauważyć maksymalna wartość naprężeń zredukowanych dla rozwiązania uzyskanego metodami projektowania generatywnego wynosi 25 MPa i jest znacząco niższa od naprężeń dla pierwotnego kształtu części wynoszących blisko 42MPa. Po obliczeniach wytrzymałościowych wykonano wydruki w technologii SLS obu wariantów (wariantu wyjściowego i wariantu poprawionego). Druk przeprowadzono na urządzeniu Formlabs, model Fuse 1, z zastosowaniem materiału Nylon 12 Powder. Po wydrukowaniu obu modeli przeprowadzono testy wytrzymałościowe. Wykorzystano maszynę firmy LLOYD uzbrojoną w przetwornik siły rejestrujący obciążenie do wartości 50kN. Wydruki umieszczono na fragmencie oryginalnej szyny, odwzorowując rzeczywiste warunki montażu, tak jak pokazano to na rysunku 16.

Stwierdzono, że dla wyjściowej geometrii szczęki uszkodzenie nastąpiło przy sile 1463N, a dla szczęki o poprawionym kształcie wartość ta wyniosła 1919N. Jest to o 31% więcej.



Rysunek 16. Schemat stanowiska pomiarowego

Co warto zauważyć, zniszczenie dla szczęki o poprawionym kształcie nastąpiło w innym miejscu. To najsłabszym okazało się miejsce mocowania szczęki do szyny prowadzącej (rysunek 17).



Rysunek 17. Zniszczone szczęki: o wyjściowym kształcie (górna), o kształcie poprawionym (dolna)

4. Wnioski i spostrzeżenia

Metody projektowania generatywnego znacząco zmieniają spojrzenie na projektowanie części o niemal dowolnych kształtach, przeznaczonych przede wszystkim do wykonania technologiami addytywnymi. Połączenie metod sztucznej inteligencji z możliwościami jakie daje wykorzystanie chmury obliczeniowej pozwala na wygenerowanie wielu propozycji projektowych spełniających określone wymagania funkcjonalne i wytrzymałościowe. Daje to konstruktorowi znaczną swobodę w wyborze ostatecznego rozwiązania konstrukcyjnego danej części. Warto podkreślić, że części takie odznaczają się niską masą, dobrymi własnościami wytrzymałościowymi a także, co często jest równie istotne, niepowtarzalnym kształtem. Przykłady przedstawione w artykule ilustrują praktyczne zastosowanie technik projektowania generatywnego. Uzyskane kształty części (elementy drukarki 3D oraz szczeka ścisku stolarskiego) spełniają założenia projektowe i stawiane im wymagania. Zaprojektowane części zostały wydrukowane na drukarkach pracujących w technologiach FDM oraz SLS.

LITERATURA

1. STADNICKI J.: Teoria i praktyka rozwiązywania zadań optymalizacji. WNT, Warszawa 2006.
2. BARBIERI L., MUZZUPAPPA M.: Performance-Driven Engineering Design Approaches Based on Generative Design and Topology Optimization Tools: A Comparative Study. *Appl. Sci.*, **12**(2022)4, 2106.
3. WANG Z., ZHANG Y., BERNARD A.: A constructive solid geometry-based generative design method for additive manufacturing. *Additive Manufacturing*, **41**(2021), 101952.
4. JUNK S., BURKART L.: Comparison of CAD systems for generative design for use with additive manufacturing. *Procedia CIRP*, **100**(2021), 577-582.
5. Generative Design: Redefining What's Possible in the Future of Manufacturing, Redshift, 2020 Autodesk, <https://redshift-downloads.autodesk.com/ebook-generative-design-final.pdf>, 24.10.2022.
6. Autodesk Fusion 360, Product Documentation <https://help.autodesk.com/view/fusion360/ENU/>, 24.10.2022.