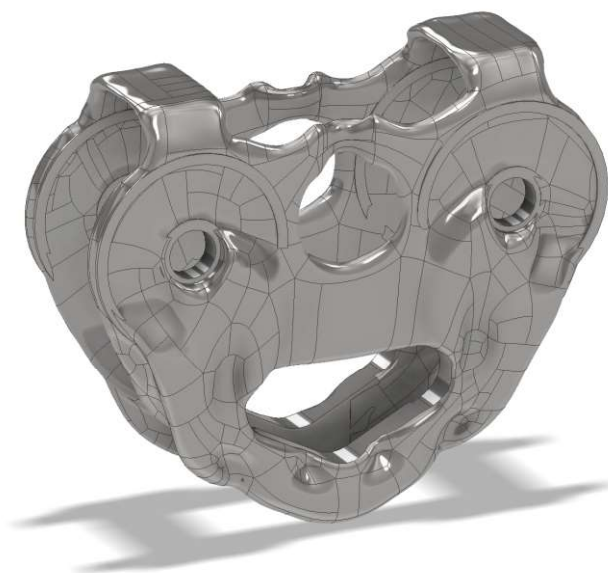




**KATEDRA MECHANIKI
I INŻYNIERII OBLICZENIOWEJ**
WYDZIAŁ MECHANICZNY TECHNOLOGICZNY POLITECHNIKA ŚLĄSKA

Studencka Konferencja Naukowa

**METODY
KOMPUTEROWE
2021**



Gliwice 2021

Katedra Mechaniki i Inżynierii Obliczeniowej
Wydział Mechaniczny Technologiczny
Politechnika Śląska

Studencka Konferencja Naukowa
„METODY KOMPUTEROWE – 2021”

Gliwice, wrzesień 2021 r.

Katedra Mechaniki i Inżynierii Obliczeniowej

Wydział Mechaniczny Technologiczny

Politechnika Śląska

ul. Konarskiego 18A, 44-100 Gliwice

tel.: 32 237 12 04, fax: 32 237 12 82

Komitety Naukowy:

Prof. dr hab. inż. Ewa Majchrzak

Prof. dr hab. inż. Antoni John

Prof. dr hab. inż. Piotr Fedeliński

Dr hab. inż. Witold Beluch, Prof. PŚ

Dr hab. inż. Adam Długosz, Prof. PŚ

Dr hab. inż. Grzegorz Działkiewicz, Prof. PŚ

Dr hab. inż. Marek Jasiński, Prof. PŚ

Dr hab. inż. Grzegorz Kokot, Prof. PŚ

Dr hab. inż. Wacław Kuś, Prof. PŚ

Dr hab. inż. Jerzy Mendakiewicz, Prof. PŚ

Dr hab. inż. Marek Paruch, Prof. PŚ

Dr hab. inż. Alicja Piasecka-Belkhat, Prof. PŚ

Dr hab. inż. Arkadiusz Poteralski, Prof. PŚ

Dr hab. inż. Jacek Ptaszny, Prof. PŚ

Dr hab. inż. Mirosław Szczepanik, Prof. PŚ

Komitet Organizacyjny:

Prof. dr hab. inż. Piotr Fedeliński

Dr hab. inż. Adam Długosz, Prof. PŚ

Dr hab. inż. Grzegorz Działkiewicz, Prof. PŚ

Dr hab. inż. Jacek Ptaszny, Prof. PŚ

Dr inż. Waldemar Mucha

Dr inż. Witold Ogierman

Mgr inż. Natalia Mołęda

Mgr inż. Olaf Popczyk

Mgr inż. Tomasz Schlieter

Mgr inż. Anna Skorupa

Mgr inż. Mikołaj Stryczyński

Mgr inż. Barbara Cisińska

Inż. Katarzyna Tomiczek

Mgr inż. Maria Zadoń

Komitet Redakcyjny:

Dr hab. inż. Grzegorz Działkiewicz, Prof. PŚ

Dr hab. inż. Jacek Ptaszny, Prof. PŚ

Wydanie zeszytów naukowych zostało sfinansowane przez MESco Sp. z o. o. w Bytomiu.

Rysunek na okładce wykonał inż. Wojciech Kokot, Autor artykułu na stronie 65.

ISBN 978-83-951185-2-4

Artykuły opublikowano na podstawie oryginałów dostarczonych przez Autorów.

Druk i oprawę wykonano w Wydawnictwie Politechniki Śląskiej.

Nakład 100 egz. Druk ukończono we wrześniu 2021 r.

Wstęp

Zeszyt naukowy zawiera 37 artykułów prezentowanych na piętnastej Studenckiej Konferencji Naukowej „Metody Komputerowe”, odbywającej się 23 września 2021 roku na Wydziale Mechanicznym Technologicznym Politechniki Śląskiej w Gliwicach. Konferencję zorganizowali studenci i pracownicy Katedry Mechaniki i Inżynierii Obliczeniowej Politechniki Śląskiej. Publikacje dotyczą zastosowania metod komputerowych w różnych dziedzinach techniki, takich jak:

- wspomaganie komputerowe prac inżynierskich,
- wytrzymałość materiałów,
- termodynamika,
- robotyka,
- mechatronika,
- aerodynamika,
- informatyka,
- optymalizacja,
- badania doświadczalne.

Dziękuję studentom za przygotowanie artykułów i prezentacji na konferencję, Komitetowi Naukowemu za troskę o poziom naukowy prac, Komitetowi Redakcyjnemu za przygotowanie zeszytu naukowego do druku i wersji elektronicznej materiałów konferencyjnych, a Komitetowi Organizacyjnemu za przygotowanie obrad konferencji.

Szczególne podziękowania za wsparcie finansowe organizacji konferencji składam przedstawicielom firmy MESco Sp. z o. o.

Duża liczba zgłoszonych artykułów świadczy o znacznej aktywności naukowej studentów i potrzebie organizacji tego rodzaju konferencji. Życzę studentom owocnych dyskusji w czasie konferencji. Mam nadzieję, że udział w niej będzie inspiracją do dalszych badań naukowych.

Opiekun Naukowy Studenckiego Koła Naukowego
„Metod Komputerowych”

Prof. dr hab. inż. Piotr Fedeliński

Gliwice, wrzesień 2021 r.

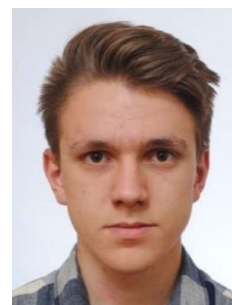
MODEL I ANALIZA KOŁA ROBOTA EKSPŁORACYJNEGO

inż. WOJCIECH NITKA

Mechanika i Budowa Maszyn, SMB2, semestr I, 2 stopień

Opiekun naukowy: dr hab. inż. Grzegorz Kokot, prof. PŚ

Streszczenie. W artykule przedstawiono propozycję rozwiązania konstrukcyjnego koła robota mobilnego wykonanego metodą druku 3D w technologii FDM. W procesie projektowym wykorzystano optymalizację wariantową postaci geometrycznej oraz symulacje numeryczne w celu określenia nośności. Celem projektu było uzyskanie geometrii elementu, która umożliwia wykonanie bez konieczności stosowania podpór oraz dzielenia go na mniejsze fragmenty.

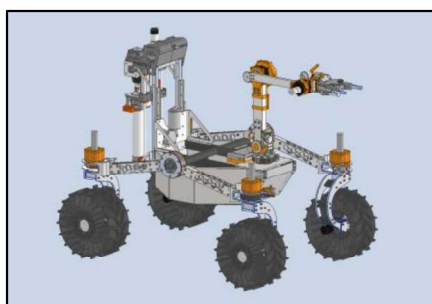


MODEL AND ANALYSIS OF THE WHEEL FOR EXPLORATION ROBOT

Abstract. In the article proposition of design solution of the wheel for mobile robot manufactured using FDM 3D printing method has been proposed. In designing process variant optimization and numerical simulations have been utilized to define load capacity. The goal of the project was to obtain the geometry of the element which allows manufacturing without using support material or dividing the wheel into smaller parts.

1. Wprowadzenie

Konstrukcja stanowiąca obiekt badań jest częścią układu jezdnego robota eksploracyjnego Silesian Phoenix III (rys. 1) będącego prototypem łazika marsjańskiego.



Rys. 1. Wizualizacja 3D robota Silesian Phoenix III
Fig. 1. 3D visualisation of Silesian Phoenix III robot

Projekt tworzony jest zgodnie z wytycznymi przedstawionymi w regulaminie zawodów European Rover Challenge [1] do których jest przygotowywany. Wymagania projektowe zostały podzielone na cztery grupy:

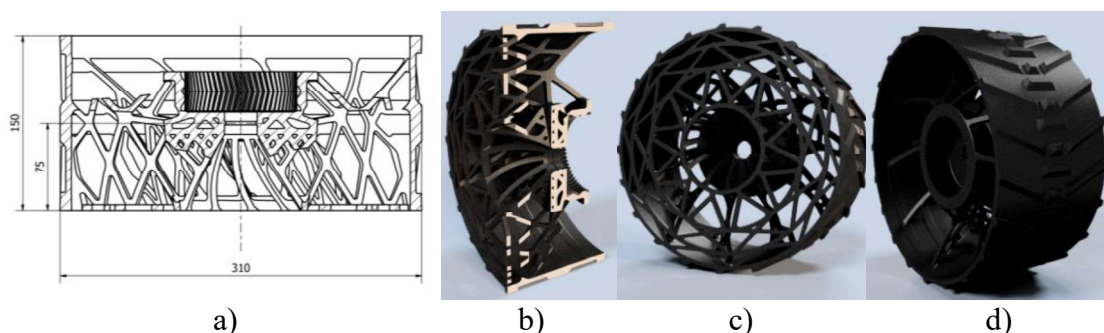
- wymagania dotyczące wymiarów gabarytowych i współpracujących: średnica zewnętrzna koła, szerokość koła, średnica piasty, centralne usytuowanie gniazd łożyskowych pozwalające na równiejszy rozkład obciążeń na całej szerokości koła,
- wymagania dotyczące sposobu wytwarzania konstrukcji: jednolita konstrukcja koła,

- geometria pozwalająca na wykonanie koła w technologii FDM jako jeden wydruk, bez stosowania podpór,
- opracowanie kształtu koła pozwalającego na integrację konstrukcji z zespołem napędowym.

Wybór technologii druku 3D pozwala na wykonywanie działających prototypów w krótkim czasie co przyspiesza iteracyjny proces projektowy. Umożliwia także odtworzenie złożonych struktur geometrycznych, które nie byłyby możliwe do osiągnięcia konwencjonalnymi metodami obróbki takimi obróbka ubytkowa czy nawet odlewanie.

2. Opracowanie koncepcji koła napędowego

Proces projektowy obejmował wykonanie modelu koła zgodnie z przyjętymi wcześniej wymiarami gabarytowymi oraz optymalizację wariantową konstrukcji polegającą na analizie geometrii koła oraz jej modyfikacji w celu ograniczenia zastosowania materiału podporowego (element wykonywany w technologii FDM), oraz dzielenia go na mniejsze fragmenty i zapewnienia odpowiedniej nośności. W procesie optymalizacji wariantowej opracowano kilka rozwiązań postaci geometrycznej, które zostały poddane analizom numerycznym w celu określenia ich nośności. Na rys. 2a przedstawiono wymiary gabarytowe koła zorientowanego w pozycji do druku natomiast na rys. 2b pokazano przekrój koła. Rys. 2c oraz 2d prezentują geometrię elementu od strony zewnętrznej oraz wewnętrznej.



Rys. 2. Wymiary gabarytowe (a), przekrój koła (b), widok od strony zewnętrznej (c), widok od strony wewnętrznej (d)

Fig. 2. Overall dimensions of the wheel (a), section view of the wheel (b), view from the outside (c), view from the inside (d)

Symulacje numeryczne będące podstawą oceny wyboru rozwiązania wykonywano dla dwóch wybranych przypadków obciążeń: Pierwszym z nich był spadek swobodny z wysokości 1m. Miał na celu sprawdzić, jak konstrukcja zachowuje się pod wpływem działania obciążenia dynamicznego. W użytym oprogramowaniu nie było możliwe dokładne zamodelowanie wybranego przypadku. Dlatego też zastosowano analizę statyczną, podczas której statyczne obciążenia zmodyfikowano przez zastosowanie współczynnika obciążenia dynamicznego wyznaczonego ze wzoru (1) i (2) [2].

$$K_d = 1 + \sqrt{1 + \frac{1}{1 + \frac{Q_0}{Q}} \frac{2h}{\lambda_{st}}} \quad (1)$$

$$\lambda_{st} = \frac{Q}{k} \quad (2)$$

gdzie: K_d - współczynnik obciążenia dynamicznego, h - początkowa wysokość ciała spadającego, λ_{st} - ugięcie wywołane statycznym ciężarem, Q_0 - ciężar ciała uderzanego, Q - ciężar ciała uderzającego, k - sztywność sprężyny.

Drugim przypadkiem obliczeniowym było ruszanie z miejsca. Głównym założeniem upraszczającym był brak poślizgu pomiędzy podłożem a kołem napędowym. Odpowiada to sytuacji, w której koło jest całkowicie zablokowane, a układ napędowy wykorzystuje maksymalny dostępny moment obrotowy. W tym przypadku na koło działają dwie siły, ciężar robota oraz moment obrotowy pochodzący od układu napędowego.

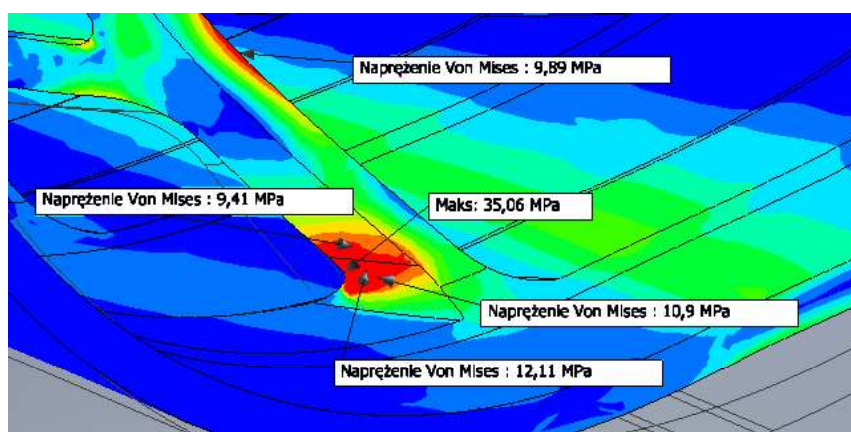
Podczas analizy spadku z wysokości 1m przyjęto, że obciążenie statyczne wynosi 150 N, a równoważne obciążenie odpowiadające obciążeniu dynamicznemu, uwzględniając wyznaczoną wartość współczynnika dynamicznego równą 2, 300 N.

W przypadku modelowania zachowania elementów wykonanych w technologii druku 3D wskazane jest, aby uwzględnić anizotropię własności materiału po wydruku. W przypadku technologii FFF/FDM jest to szczególnie istotne. W tym celu dla przyjętego materiału Fiberlogy Nylon PA12 [4] wprowadzono uproszczony model materiałowy, który uwzględnia jego ortotropowość. Wykorzystano bliźniaczy materiał firmy Stratasys, dla którego wyznaczono współczynnik anizotropii własności, a następnie otrzymano wartość wytrzymałości na rozciąganie w kierunku prostopadłym. Ze względu na to, że w module do analizy statycznej w oprogramowaniu Autodesk Inventor 2020 brak jest ortotropowego modelu materiału w analizie wytrzymałościowej przyjęto ostatecznie średnie wartości własności wytrzymałościowych stosowanego materiału. Przygotowanie modelu numerycznego obejmowało również przeprowadzenie procesu uproszczenia geometrii, dyskretyzację oraz zadanie warunków brzegowych dla obu przypadków obciążenia.

3. Wyniki obliczeń

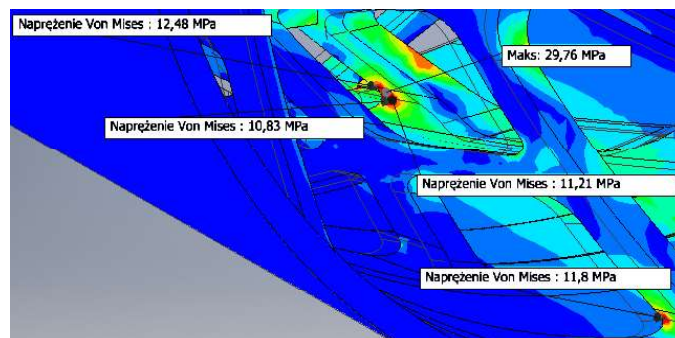
Wyniki obliczeń w środowisku Autodesk Inventor przedstawiono na rys. 3-4. Wartości najwyższych naprężeń zredukowanych wynosiły odpowiednio dla spadku swobodnego i ruszania z miejsca 35,06MPa oraz 29,76MPa. Po dokładniejszej analizie miejsc najbardziej obciążonych można zauważyć, że znajdują się one na ostrych krawędziach uźebrowania co może wskazywać możliwą przyczynę wystąpienia znacznego spiętrzenia naprężeń.

Średnie wartości naprężenia w obszarze najbardziej wyężonym mieszczą się w zakresie: 9,41÷12,11 MPa. Maksymalne przemieszczenia w osi Y prostopadłej do podłoża dla przypadku pierwszego wyniosły 1,88mm.



Rys. 3. Rozkład naprężeń zredukowanych podczas swobodnego spadku
Fig. 3. Distribution of reduced stresses during freefall

W przypadku drugim największe przemieszczenie wystąpiło na obręczy koła i wyniosło 3,92mm. Uzyskane wyniki mieszczą się w zakresie naprężeń dopuszczalnych (jako naprężenia dopuszczalne przyjęto 46,92 MPa).



Rys. 4. Rozkład naprężeń redukowanych podczas ruszania z miejsca
Fig. 4. Distribution of reduced stresses during moving from standstill

Warto zwrócić uwagę na zagadnienie stopnia dyskretyzacji analizowanego elementu. Ze względu na skomplikowaną geometrię układu zadanie wymagało kilkukrotnej redyskretyzacji w niewralgicznych obszarach w celu uzyskania powtarzalności otrzymywanych wyników.

4. Podsumowanie i wnioski

W artykule przedstawiono główne założenia procesu projektowego, którego celem było uzyskanie geometrii koła będącego częścią układu jezdnego robota eksploracyjnego Silesian Phoenix III. Zaproponowane podejście pozwala poszukiwać konstrukcji koła spełniającego przyjęte wymagania wytrzymałościowe, wymagania dotyczące kompatybilności z innymi elementami robota oraz dostosowania geometrii do sposobu wytwarzania. Przedstawiono opracowaną propozycję rozwiązania konstrukcyjnego spełniającą przyjęte założenia. Wykonane analizy wytrzymałościowe wskazują, iż w przyjętych przypadkach obciążenia koło nie powinno zostać uszkodzone. Należy jednak zwrócić uwagę na fakt, iż przeprowadzonych symulacjach wystąpiły miejsca silnej koncentracji naprężeń co może wskazywać na konieczność dopracowania modelu numerycznego lub korektę postaci geometrycznej oraz potrzebę dalszej analizy konstrukcji koła.

Literatura

1. ERC Student Rules; ERC Space & Robotics; Dostęp Online: <https://drive.google.com/file/d/1QK-eHO4zAySQ9jRCbzsc9qRgN-F9gWtm/view> (pobrano 07.06.2021).
2. Jakubowicz, A.; Orłoś, Z.; Dyląg, Z., Wytrzymałość materiałów tom II; Warszawa 2000; Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, s. 306.
3. John, M.; Tyczka, M.; Kokot, G.; Skarka, Wpływ kąta ułożenia warstw włókien elementu wykonanego metodą FDM na wytrzymałość na zginanie, MECHANIK NR 12/2015, 107-110; Dostęp online: <http://www.mechanik.media.pl/artykuly/wpływ-kąta-ulożenia-warstw-włókien-elementu-wykonanego-metoda-fdm-na-wytrzymałość-na-zginanie.html> (pobrano 07.06.2021).
4. Fiberlogy® Nylon PA12 3D Printing Filament; Fiberlogy; Dostęp online: https://fiberlogy.com/wp-content/uploads/2018/05/TDS_NYLON.pdf (pobrano 07.06.2021).
5. Stratasys® FDM Nylon 12™ 3D Printing Polymer; Dry; MatWeb MATERIAL PROPERTY DATA; Dostęp Online: <http://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=bb241e7d15fd46eca8b1ff8c171a1ea9&ckck=1> (pobrano 07.06.2021).