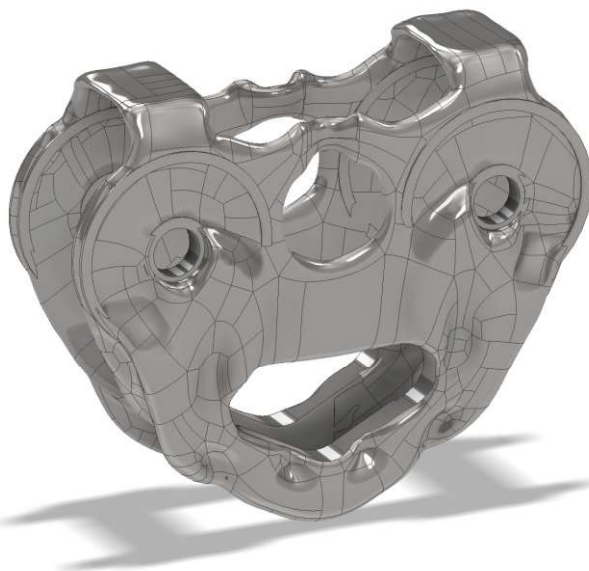




**KATEDRA MECHANIKI
I INŻYNIERII OBLICZENIOWEJ**
WYDZIAŁ MECHANICZNY TECHNOLOGICZNY POLITECHNIKA ŚLĄSKA

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

Komitet 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. Waław 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 Molęda

Mgr inż. Olaf Popczyk

Mgr inż. Tomasz Schlieter

Mgr inż. Anna Skorupa

Mgr inż. Mikołaj Stryczyński

Mgr inż. Barbara Ciszynska

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.

PORÓWNAWCZE BADANIE WYTRZYMAŁOŚCIOWE DWÓCH PROTOTYPOW SERWONAPĘDU CYKLOIDALNEGO

inż. WOJCIECH PYKA

Automatyka i Robotyka, semestr I, 2 stopień

Opiekunowie naukowci: dr hab. inż. Piotr Przystalka, prof. PŚ, dr inż. Wawrzyniec Panfil

Streszczenie. Celem niniejszej pracy jest przedstawienie wyników badań porównawczych analiz wytrzymałościowych dla wybranych elementów dwóch prototypów motoreduktora cykloidalnego, dedykowanego dla robotycznej platformy mobilnej. Przeprowadzono analizę materiałową, technologiczną oraz mechaniczną przy użyciu Metody Elementów Skończonych i finalnie wykazano zasadność korekt wprowadzonych w drugim prototypie.



COMPARATIVE DURABILITY ANALYSIS OF TWO PROTOTYPES OF A CYCLOIDAL SERVO DRIVE

Abstract. The aim of this paper is to put forward the results of comparative durability analyses conducted for specific parts of two prototypes of a cycloidal gear motor dedicated for a robotic mobile platform. Material, technological and mechanical Finite Element Method analyses have been performed and finally the validity of the implemented corrections in the second prototype has been demonstrated.

1. Wprowadzenie

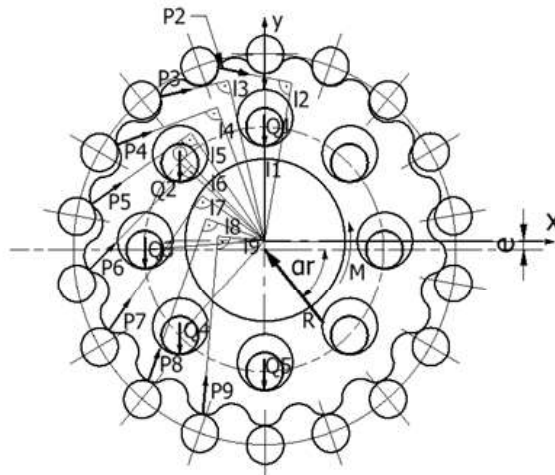
Badania porównawcze omawiane w niniejszej pracy są częścią prac prowadzonych w ramach projektu prototypu łazika marsjańskiego Phoenix [1][5] realizowanego w SKN “Zastosowania Metod Sztucznej Inteligencji AI-METH” działającego w Politechnice Śląskiej. W projekcie robota Phoenix II zastosowano pierwszy prototyp reduktorów cykloidalnych jako element osi skrętnych podwozia robota mobilnego. Podczas eksploatacji robota wystąpiły uszkodzenia wymagające wprowadzenia korekt w kolejnej wersji prototypu. Szczególnie problematycznymi okazały się koła zębate cykloidalne oraz centralny wał mimośrodowy, których uszkodzenia przedstawiono na rysunku 1. W prototypie robota Phoenix III zaproponowano szereg usprawnień mechanizmu cykloidalnego [2], tworząc wersję drugą prototypu. Finalnie, zestawiono ze sobą obie wersje badanego napędu tak, aby dokładnie zidentyfikować źródło występowania spiętrzeń naprężeń, odpowiedzialnych za uszkodzenia najistotniejszych podzespołów reduktora. W tym celu zdecydowano się przeprowadzić szereg testów sprawdzających poprawność zastosowanych korekt. Najpierw badano je w oparciu o symulacje MES, następnie wprowadzono modyfikacje w procesie wydruku przy użyciu technologii FDM [2] tak, by finalnie przetestować rzeczywisty układ zarówno przy uwzględnieniu maksymalnego dopuszczalnego obciążenia, jak i obciążenia znamionowego pochodzącego od silnika.



Rys. 1. Zdjęcie uszkodzonych części reduktora w pierwszej wersji
 Fig. 1. Image of the broken elements in the first version of the reducer

2. Analiza obciążenia w reduktorze cykloidalnym

W oparciu o analizę literaturową [3][4] sporządzono parametryczny model stanu obciążenia dla wału mimośrodowego (R), kół zębatych (P_i) oraz mechanizmu równowodowego (Q_i).



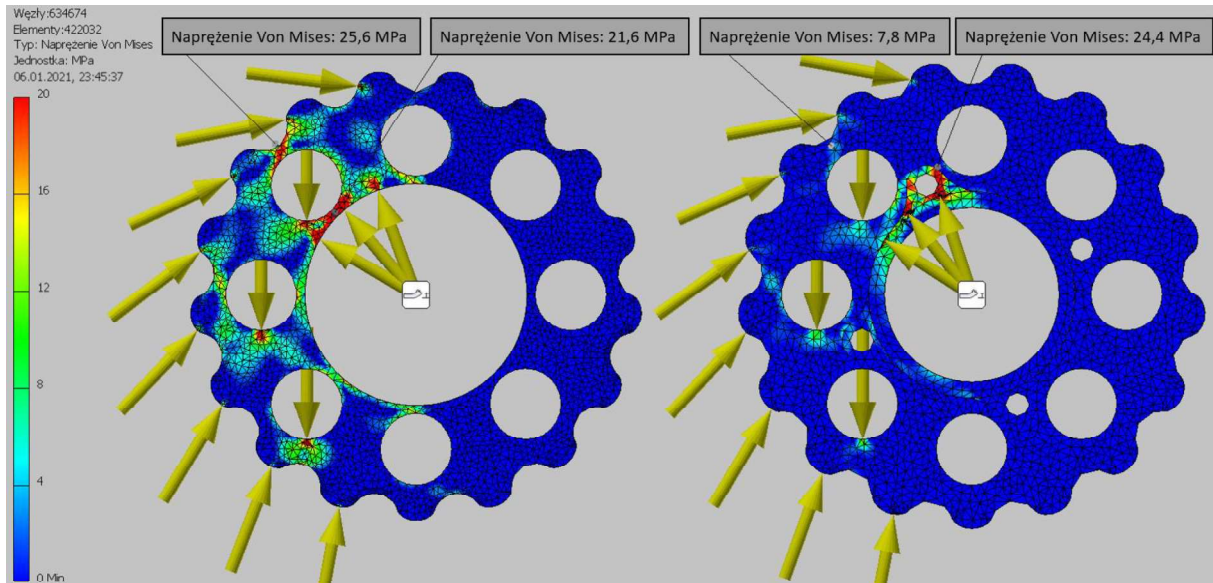
Rys. 2. Schemat obciążenia koła zębatego cykloidalnego, opracowanie własne w oparciu o literaturę [3][4]

Fig. 2. Load scheme for the cycloidal gear, own elaboration based on the literature [3][4]

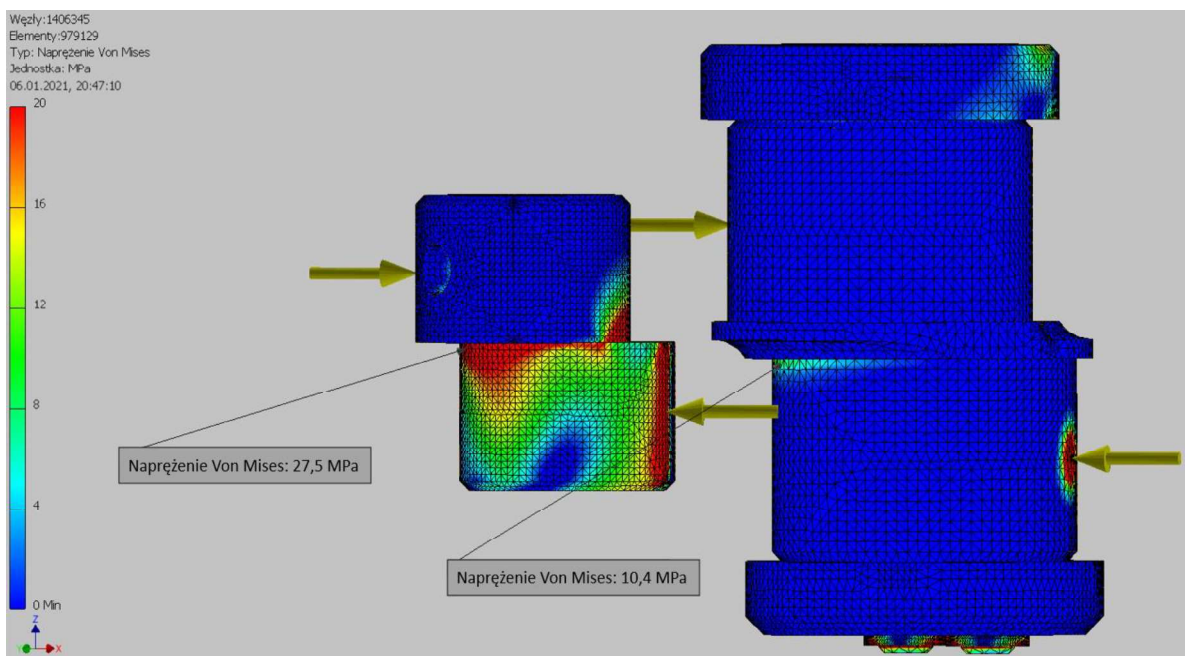
Obliczenia wykazały znaczne obciążenie wału mimośrodowego. W oparciu o wyznaczone wartości obciążeń mechanizmu, przeprowadzono badania wytrzymałościowe podzespołów prototypu pierwszego i na podstawie otrzymanych wyników zaproponowano skorygowany model mechanizmu reduktora. W analizach koła zębatego cykloidalnego unieruchomiono oś pogłębienia na łożyska, zastępując siłę reakcji wału mimośrodowego trzema równomiernymi siłami odpowiadającymi rozkładowi elementów tocznych w łożysku. Siły R_i reakcji mimośrodu wyniosły po 188 [N]. Reakcje Q_i mechanizmu równowodowego na kole zębatym wyniosły od 166 do 235 [N], natomiast reakcje statycznego centralnego koła zębatego P_i od 23 do 79 [N], przy czym największe obciążenia P_i pojawiły się w okolicy pękającego fragmentu koła zębatego.

3. Badania porównawcze

Na rysunkach 3 i 4 zaprezentowano wyniki badań MES dla obu wariantów wałów mimośrodowych i kół zębatach dla analogicznych obciążeń elementów.



Rys. 3. Porównanie naprężeń zredukowanych zgodnie z hipotezą von Misesa dla cykloidalnego koła zębatego prototypu I reduktora (z lewej) oraz prototypu II (z prawej)
Fig. 3. Von Mises stress comparison for prototype I of the reducer's cycloidal gear (on the left) as well as prototype II (on the right)



Rys. 4. Porównanie naprężeń zredukowanych zgodnie z hipotezą von Misesa dla wału mimośrodowego prototypu I reduktora (z lewej) oraz prototypu II (z prawej)
Fig. 4. Von Mises stress comparison for prototype I of the reducer's eccentric shaft (on the left) as well as prototype II (on the right)

Analizy wytrzymałościowe przeprowadzono dla materiału ortotropowego dla dwóch polimerów, otrzymywanych w technologii FDM druku 3D - Prusament PET-G (koło zębate cykloidalne) i ColorFabb XT-CF20 (wał mimośrodowy) o parametrach wytrzymałościowych opisanych w literaturze [2]. Jak wykazało pęknięcie koła zębatego cykloidalnego w prototypie I (rys. 1), spiętrzenia naprężeń występowały pomiędzy luką międzyzębną koła a otworem na mechanizm równowodowy. To spiętrzenie naprężeń wyraźnie widać na rysunku 3.

Zestawienie na rysunku 3 obu wariantów cykloidalnych kół zębatach pokazuje korekcję geometrii cykloidy w prototypie drugim. Nieznacznie spłycono luki międzyzębne w kole zębatym poprzez zastosowanie współczynników korekcyjnych cykloidy. Zmiana ta nie tylko zwiększyła ilość materiału w miejscu istotnych spiętrzeń naprężeń, ale również sprawiła, że zmniejszyły się siły kontaktu cykloidalnego koła zębatego z centralnym kołem zębatym. Mniejsze obciążenia umożliwiły zmniejszenie ilości materiału w centralnym kole zębatym, pozwalając na dodanie ok. 3 mm materiału na kole cykloidalnym przy zachowaniu wymiarów reduktora.

W prototypie drugim wał mimośrodowy (rys. 4) znacznie zwiększono, wzmacniając krytyczny przekrój dodatkowym stopniem. Co więcej, wał ten wzmocniono pasowanymi śrubami stalowymi celem odciążenia przejścia pomiędzy stopniami wału. W analizie MES unieruchomiono wał mimośrodowy w miejscu jego kontaktu z wałem silnika, a przyłożone do wału siły tnące wynoszą $R=564$ [N].

4. Wnioski

Zmiany w geometrii i rozwiązaniach konstrukcyjnych doprowadziły do opracowania mechanizmu reduktora cykloidalnego o odpowiedniej wytrzymałości dla przyjętych obciążeń. Udowodniono, poprzez badania porównawcze, że wprowadzone zmiany były zasadne. Rozważania, poza przeprowadzonymi analizami MES, dotyczyły również szerszego przeglądu rozwiązań oraz dokładnej obserwacji podczas eksploatacji zbudowanego pierwszego prototypu. Przeprowadzone badania eksploatacyjne wykazały, że wyeliminowano wszystkie zaistniałe problemy i drugi prototyp serwonapędu cykloidalnego dedykowanego dla platform mobilnych działa poprawnie i spełnia wymagania stawiane omawianemu mechanizmowi.

Literatura

1. Strona internetowa projektu Silesian Phoenix <https://sknaimeth.polsl.pl/lazik-marsjanski/>.
2. Pyka W., Modernizacja i badania jej wpływu na własności eksploatacyjne prototypu serwonapędu cykloidalnego dla robota eksploracyjnego, Projekt inżynierski, Politechnika Śląska, Gliwice (2021).
3. Chmurawa M., Obiegowe przekładnie cykloidalne z modyfikacją zazębienia, Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Mechanika z.140, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice (2002).
4. Kalita M., Koncepcja przekładni cykloidalnej przeznaczonej dla zakrętarek elektrycznych, Maszyny Górnicze nr 3/2018, s. 57-66 (2018).
5. Pyka W., Bręczewski J. A prototype mobile platform of analog exploration rover, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice, s. 121-125 (2020).