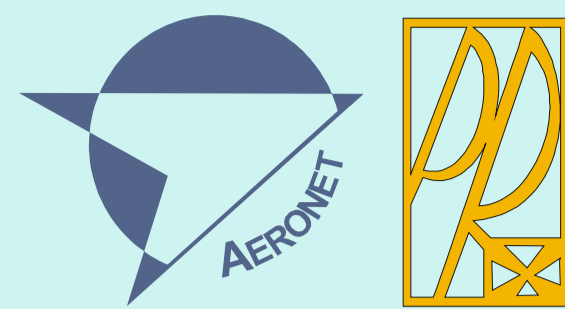


# Projekt kluczowy

## Nowoczesne technologie materiałowe stosowane w przemyśle lotniczym

### Modern material technologies in aerospace industry



KONFERENCJA  
RADY PARTNERÓW CZT AERONET  
i PANELE EKSPERTÓW  
25-26 Czerwca 2012

# ZB 4

## Opracowanie nowej, prostszej i tańszej przekładni zębatej w miejsce skomplikowanych i drogich przekładni planetarnych

### Development of a new, simpler and cheaper toothed gear in place of complicated and expensive planetary gears

#### Wyniki badań Results

#### Analiza równomierności przekazywania ruchu w przekładni dwudrożnej

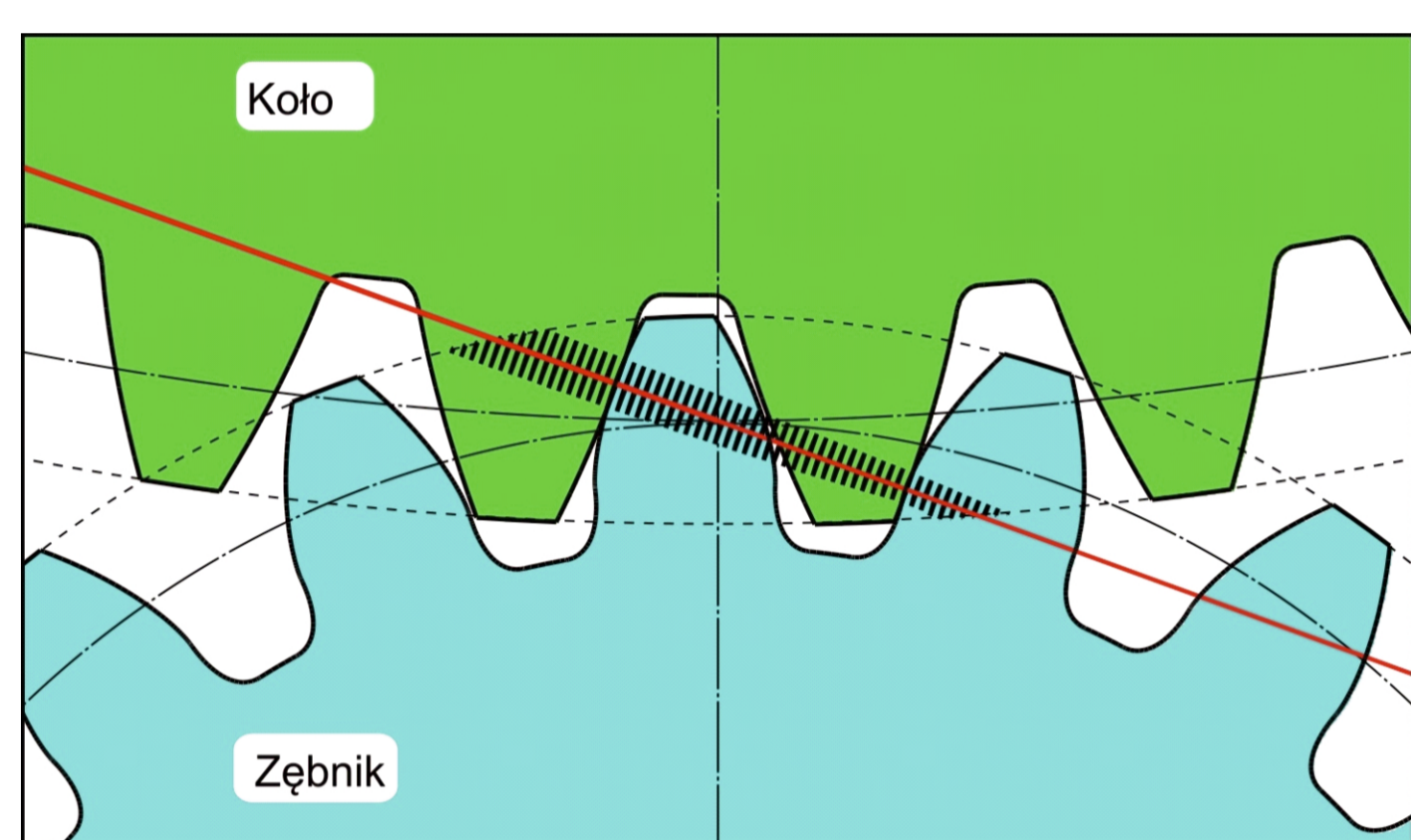
##### Analysis of steadiness of movement transmission in dual-power path gear units

Istnieje potencjalna możliwość ograniczenia nierównomierności przekazywania mocy przez obydwie „drogi” przeniesienia napędu w przekładni dwudrożnej, związana z wzajemnym umieszczeniem kół na wałach przekładni.

Rozważane są koła o prostej linii zęba. Dwuwymiarowe modele przygotowano w środowisku CAD w wyniku symulacji obróbki kół. Koła zestawiono w przekładni doprowadzając do styku powierzchni bocznych na średnicy podziałowej kół. Następnie zębnik obrócono względem koła w taki sposób, aby otrzymać przenikanie się zębów na zadaną głębokość wzdłuż linii przyporu. Odpowiada to w przybliżeniu grubości warstwy tuszu używanego w określaniu śladu styku w praktyce przemysłowej.

Tak utworzoną przekładnię poddano następnie dyskretnej symulacji współpracy. Przyjęto krok dyskretyzacji równy 1/30 podziałki kątowej zębnika. Symulację prowadzono w zakresie obrotu zębnika o jedną podziałkę (z uwagi na powtarzalność wyników co podziałkę).

Na rys. 1. Przedstawiono wycinek pierwszego stopnia przekładni z obszarem współpracy zębnika i koła. Ślad styku występujący między bokami zębów przemieszcza się wzdłuż linii przyporu (oznaczona kolorem czerwonym).

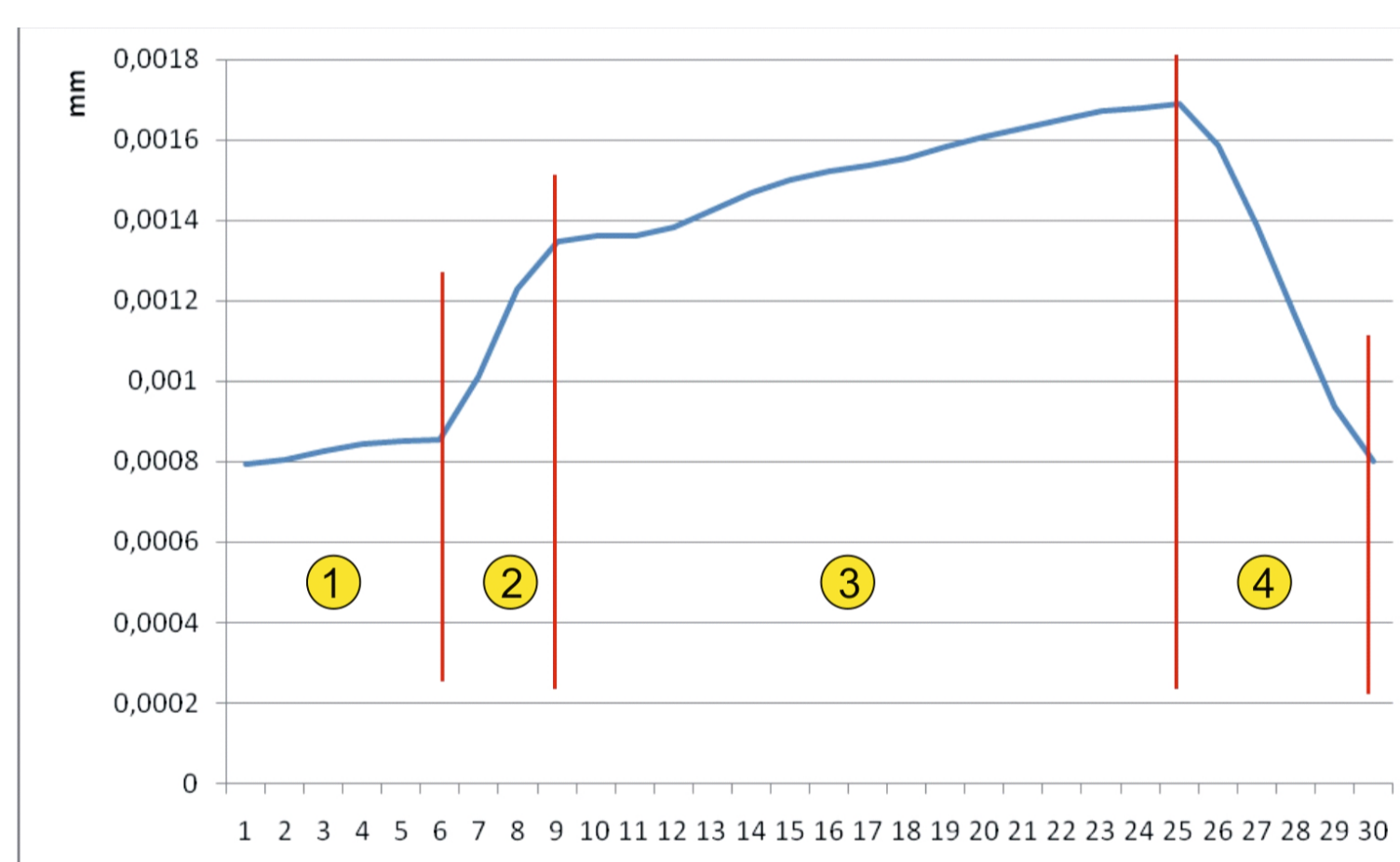


Rys. 1. Obszar współpracy zębnika i koła z odcinkami styku wzdłuż linii przyporu  
Fig. 1. Cooperation area of pinion and wheel with contact lines along line of action

Wyznaczenie zmian wielkości śladu styku sprowadza się w zagadnieniu dwuwymiarowym do wyznaczenia długości odcinka styku.

Z otrzymanych obszarów przenikania wynika, iż w pewnym zakresie na stopniu o przełożeniu 68/19 dla zębów o zrysie ewolwentowym, kącie zarysu 20° i prostej linii zęba w pewnym zakresie występuje przypór jednoparowy, następnie w kontakt wchodzi druga para zębów, długość odcinka współpracy rośnie dwuetapowo, po czym gwałtownie spada do przyporu jednoparowego.

Na rys. 2 przedstawiono poszczególne etapy zmian przyporu. Strefa 1 to przypór jednoparowy. Niewielkie zmiany długości odcinka w tym zakresie związane są ze zmianami promieni krzywizn zarysów zębów w otoczeniu odcinka styku. Obszar 2 to obszar wchodzenia w przypór dwuparowy. Obszar 3 - praca w przyporze dwuparowym. Zmiany wielkości odcinka styku związane są tu podobnie jak w przyporze jednoparowym ze zmianami promieni współpracujących krzywizn. Obszar 4 to wyjście z przyporu dwuparowego.

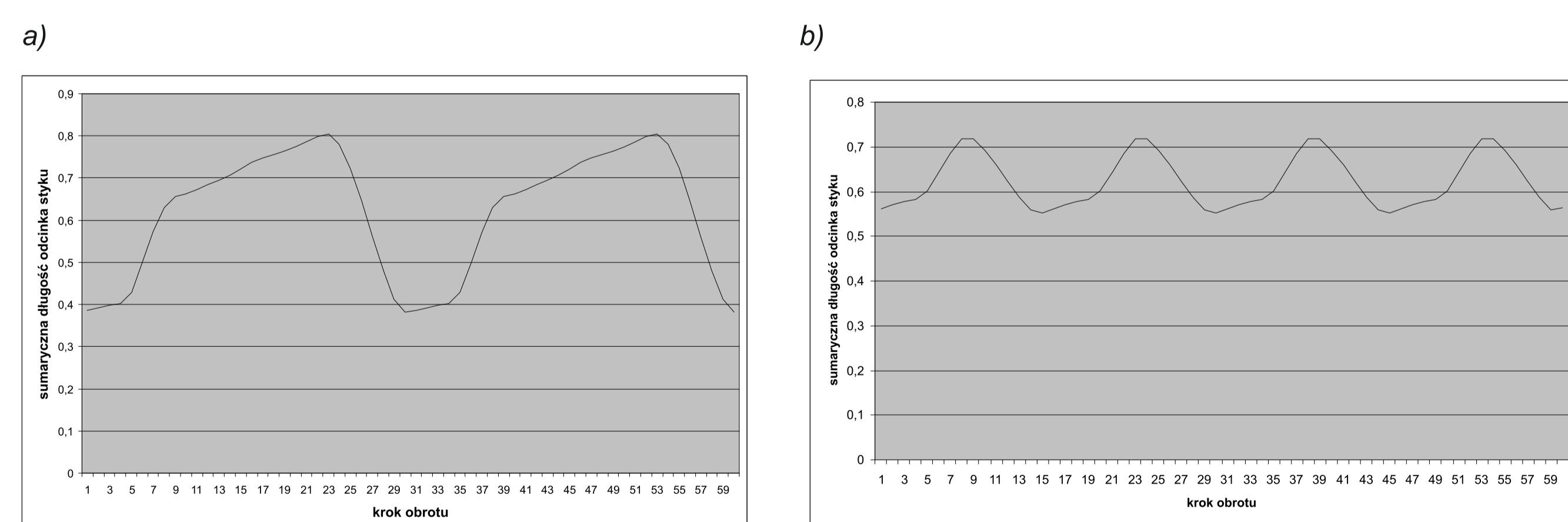


Rys. 2. Etapy zmian przyporu w rozważanym zaszębieniu  
Fig. 2. Stages of tooth contact changes in discussed meshing

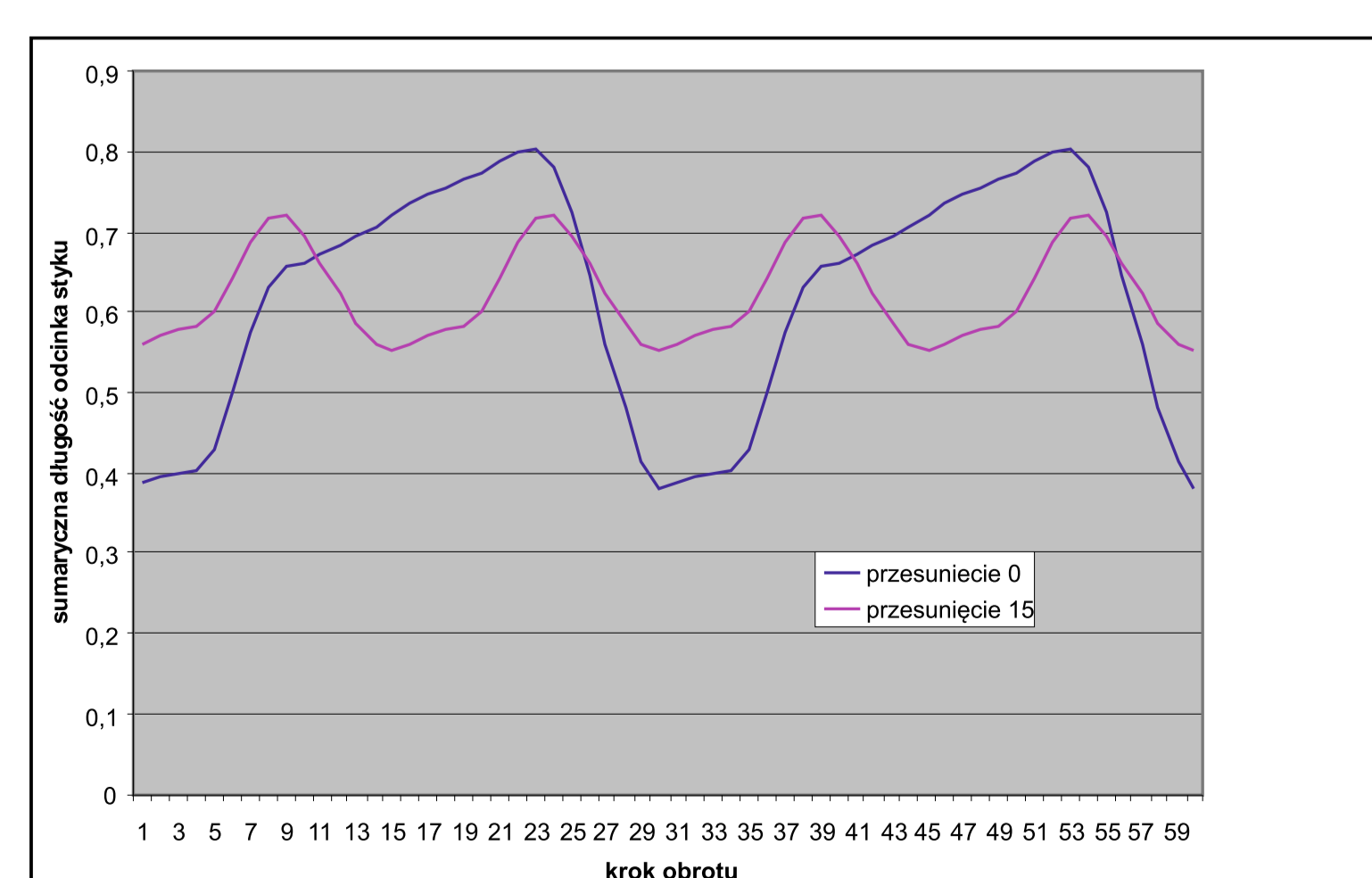
W czasie, gdy występuje przypór jednoparowy przekazywany moment przenoszony jest przez jedną parę zębów. Występują wówczas większe naciski jednostkowe, ząb jest najbardziej obciążony.

Ponieważ w przekładni dwudrożnej na jednym pierwszym stopniu zębnik pracuje z dwoma kołami, możliwe jest takie ustawienie wzajemne kół, aby sumaryczny przypór w obu zaszębeniach był możliwie wysoki i stały. Poniżej przedstawiono rozważania geometryczne pokazujące, w jaki sposób zmienia się sumaryczna długość odcinka styku w zależności od przesunięcia „fazowego” zaszębienia na pierwszym stopniu przekładni.

Na rys. 3 przedstawiono zmiany łącznej długości odcinka styku odpowiednio dla przesunięcia fazowego 0 (rys. 3a) i pół (rys. 3b) podziałki.



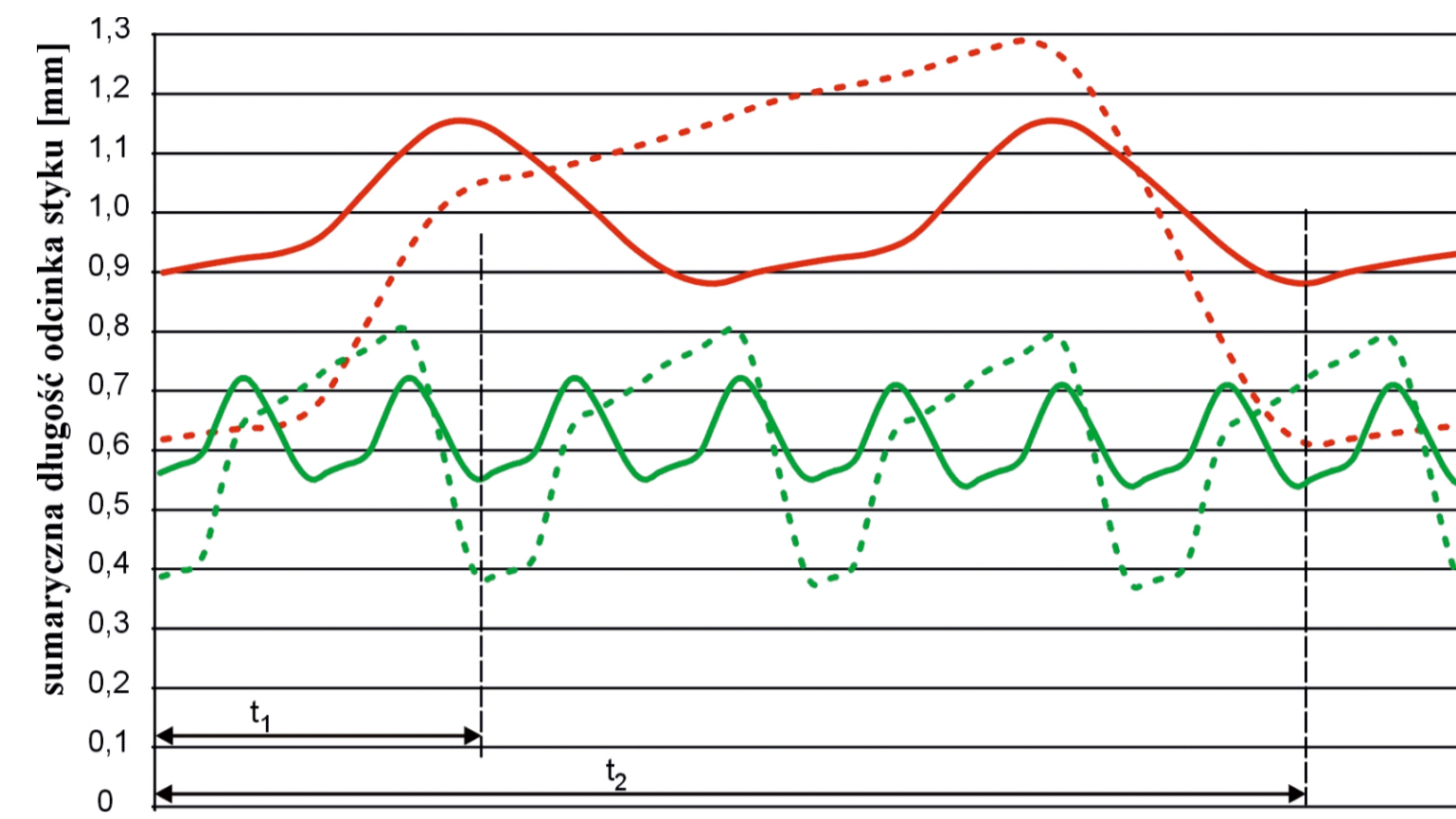
Rys. 3. Sumaryczna długość odcinka styku: a) dla przesunięcia fazowego równego 0, b) dla przesunięcia fazowego równego pół podziałki  
Fig. 3. Total length of contact line: a) when phase displacement equals 0, b) when phase displacement equals half of pitch



Rys. 4. Zmiana częstości drgań spowodowana zmianą łącznej długości odcinka styku  
Fig. 4. Change of vibration frequency caused by change of total length contact line

Na rys. 5 przedstawiono zestawienie łącznych długości odcinków styku na obu stopniach przekładni. Przebieg zmian odcinka styku na drugim stopniu przekładni jest bardzo podobny (przełożenie 64/19) do przebiegu zmian na stopniu pierwszym (68/19).

#### Politechnika Rzeszowska, Politechnika Łódzka

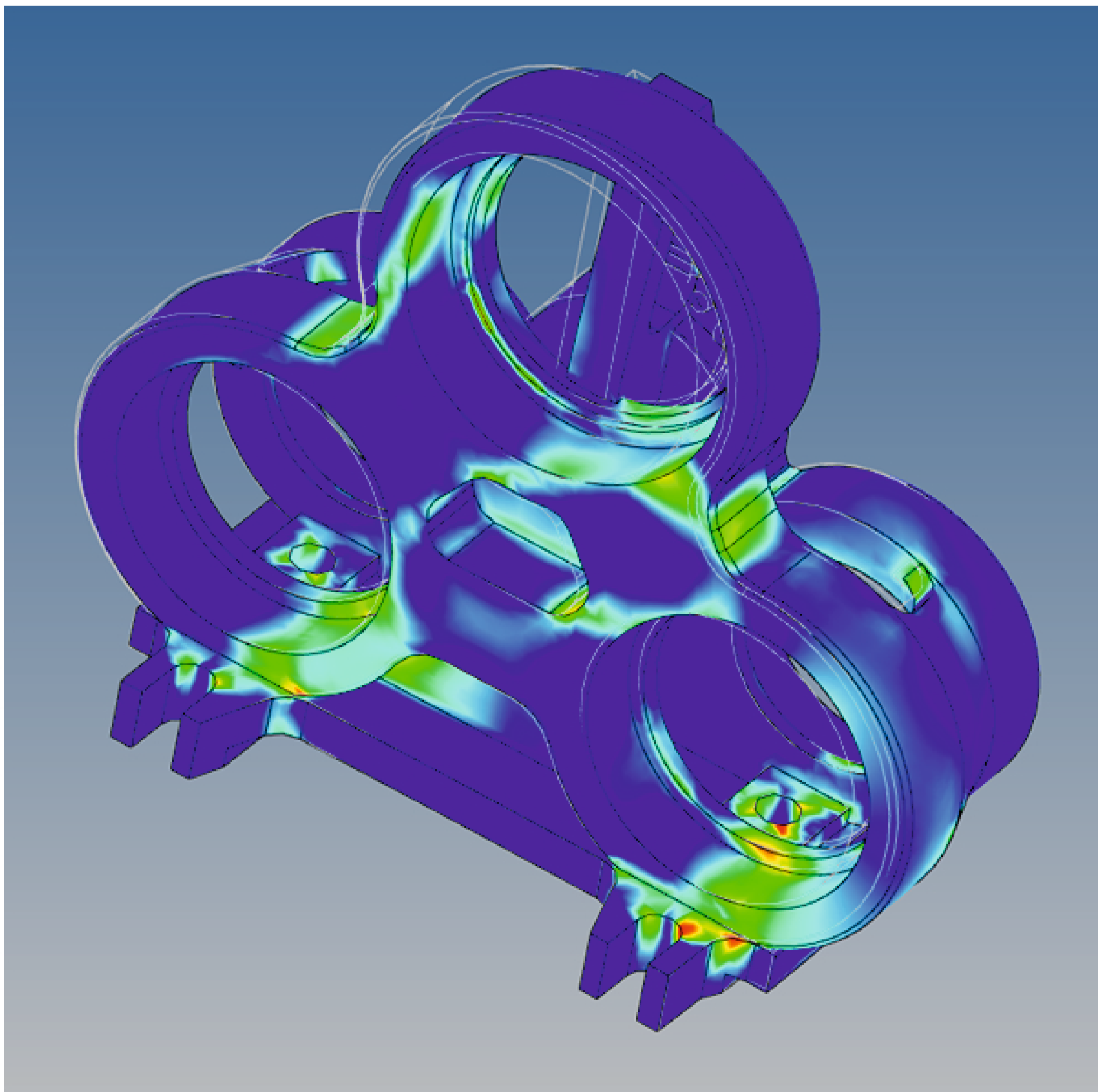


Rys. 5. Zmiany sumarycznej długości odcinka styku na dwu stopniach przekładni (kolor zielony – I stopień, kolor czerwony – II stopień), linia ciągła – koła przesunięte w fazie o pół podziałki, linia przerywana – koła w tej samej fazie, t<sub>1</sub> – obrót o podziałkę na pierwszym stopniu, t<sub>2</sub> – obrót o podziałkę na drugim stopniu  
Fig. 5. Changes of total length of contact line on two stages of gear (green colour – 1st stage, red colour – 2nd stage), continuous line – wheels displaced by half of pitch, dashed line – wheels in the same stage, t<sub>1</sub> – rotation by half of pitch on 1st stage, t<sub>2</sub> – rotation by one pitch on 2nd stage

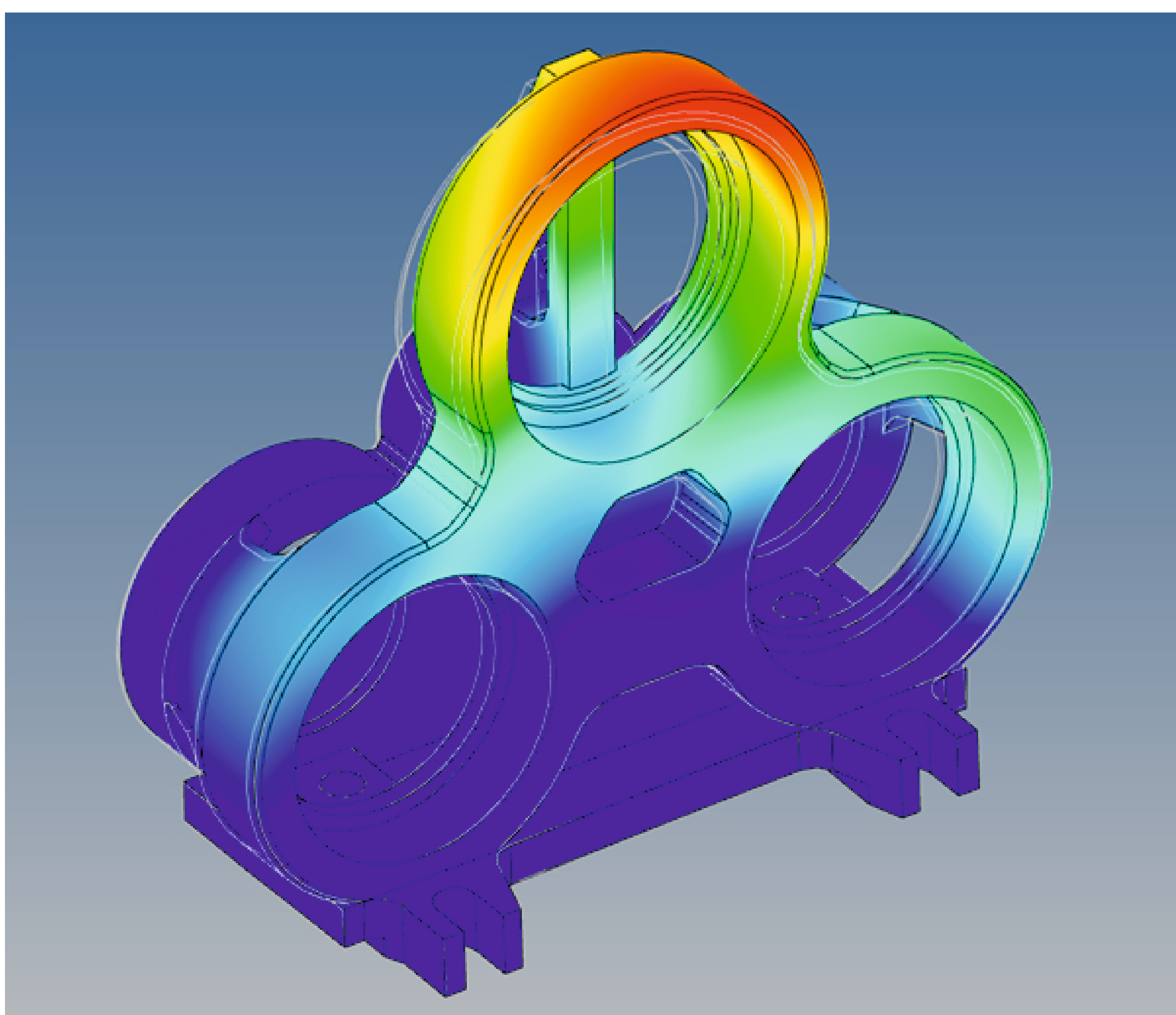
#### Analiza MES konstrukcji korpusu przekładni dwudrożnej do badań stanowiskowych

##### MES analysis of body construction of dual-power path gear unit for stand tests

W trakcie realizacji zadania badawczego przeprowadzono analizę konstrukcji korpusu opracowanej na wcześniejszym etapie badań przekładni dwudrożnej. Przeprowadzenie badań miało na celu weryfikację jego konstrukcji w celu dostosowania przekładni do badań stanowiskowych. Weryfikację konstrukcji wykonano w środowisku Analizy naprężeń programu Inventor. Na korpus nałożono wiązania wynikające z planowanego sposobu mocowania przekładni badawczej na stanowisku. Obciążenia przekładni przyjęto na podstawie obliczeń analitycznych i przeprowadzonej analizy rozkładu sił w przekładni dwudrożnej. Przeprowadzenie analizy pozwoliło na określenie rozkładu oraz wartości naprężeń występujących w korpusie (rys. 6). Określono również wielkość odkształceń korpusu, co przedstawiono na rys. 7. Otrzymane wartości naprężeń maksymalnych zawierały się w dopuszczalnym dla przyjętego materiału zakresie. Mimo to wprowadzono zmiany w konstrukcji mającej na celu podniesienie jego sztywności, która ma bardzo duży wpływ na wyniki badań stanowiskowych. Zbyt mała sztywność powoduje przemieszczenia kół zwiększając nierównomierność przenoszenia obciążenia przez przekładnię dwudrożną. Po wprowadzeniu modyfikacji korpus ponownie poddano analizie MES. Wyniki analizy potwierdziły poprawność i zasadność wprowadzonych modyfikacji: redukcję poziomu naprężeń oraz zmniejszenie wielkości odkształceń korpusu. Analizie poddano również pozostałe elementy przekładni stanowiskowej. W wyniku przeprowadzonych badań opracowano konstrukcję zmodyfikowanej przekładni dwudrożnej przeznaczonej do badań stanowiskowych.



Rys. 6. Wyniki analizy MES – rozkład naprężeń  
Fig. 6. Results of MES analysis – stress distribution



Rys. 7. Wyniki analizy MES – rozkład odkształceń  
Fig. 7. Results of MES analysis – distribution of deformations

#### Uniwersalne stanowisko do badań demonstratorów wielodrożnych przekładni lotniczych

##### Universal test stand for research of aeronautical multi-power path gear demonstrators

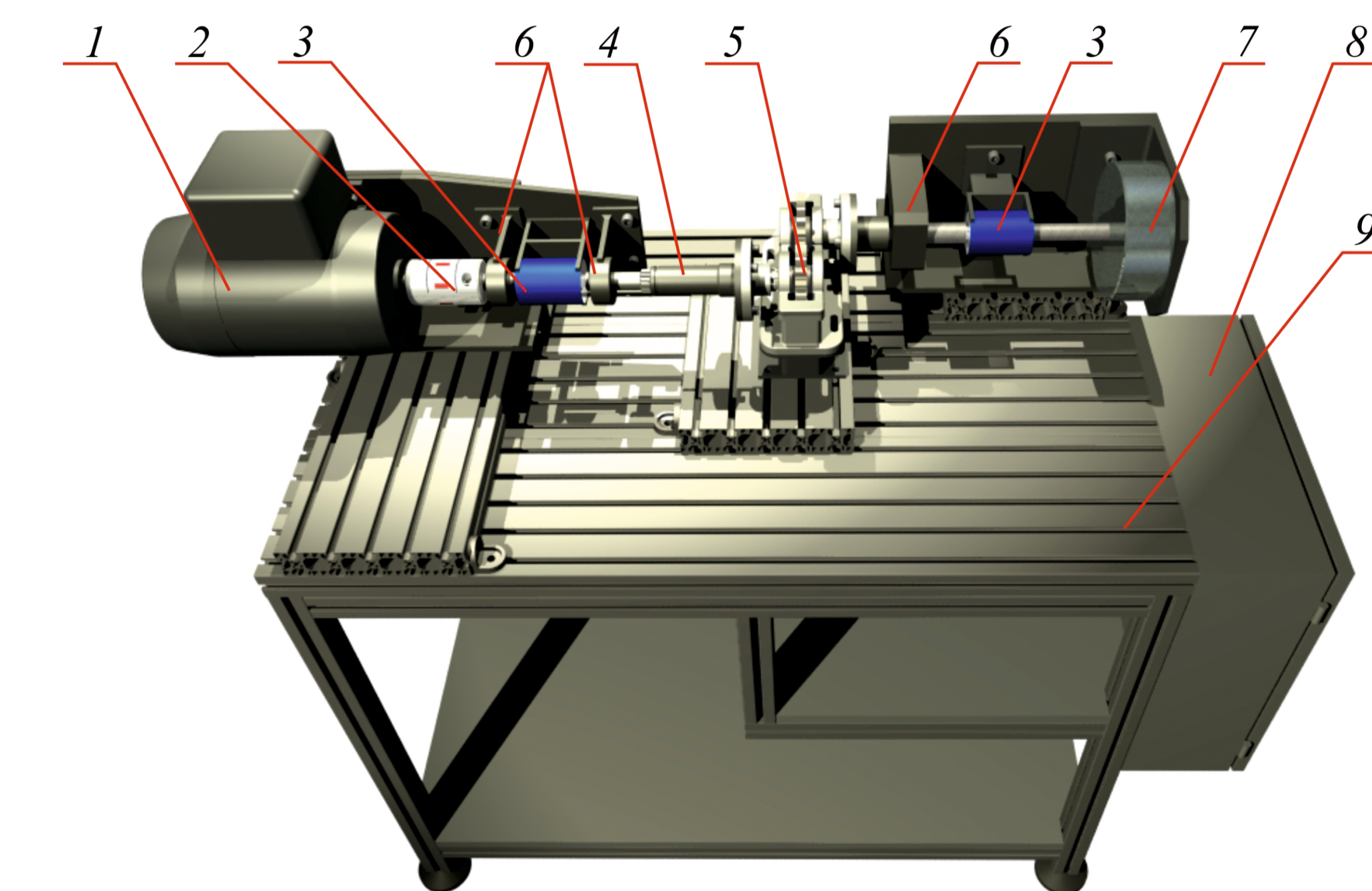
Przekładnie wykorzystane do badań mogą być wykonane z metalu lub tworzywa sztucznego. Stanowisko zaprojektowane w układzie otwartym napędzane jest trójfazowym silnikiem elektrycznym. Sterowanie realizowane jest przez jednofazowy falownik z trzema wyjściami, który zapewnia pełną regulację obrotów.

Wszystkie elementy zainstalowano na stole wyposażonym w rowki teowe w celu optymalnego ustalenia pozycji napędu i badanej przekładni.

Obciążenie stanowiska realizowane jest przez elektromagnetyczny hamulec proszkowy. Moment obciążający przekładnię uzależniony jest od prądu zasilania. Zmiany nastaw, takie jak obroty czy moment obciążający można zmieniać podczas badania przekładni. Momentomierze zainstalowane na wejściu i wyjściu z demonstratora pozwalają kontrolować pracę całej przekładni. Wartości podawane z momentomierzy (moment i obroty) są rejestrowane na komputerze w czasie rzeczywistym (wg zegara RTC komputera) i archiwizowane przez specjalistyczne oprogramowanie.

Oprogramowanie zainstalowane na komputerze umożliwia podgląd wyników pomiarów. Możliwość sterowania czasem pracy, pozwoli precyzyjnie określić przedziały czasowe poszczególnych etapów badań. Zastosowanie timera umożliwi na bieżąco obserwację postępowania zużycia przekładni oraz pozwoli ustalić przebieg procesu badania. Dzięki zapisowi będzie wiadomo, kiedy nastąpi ewentualne zniszczenie przekładni.

Badania na tym stanowisku pozwalają na uzyskanie stabilnych parametrów pracy i tym samym na otrzymanie niezakłóconych, dokładnych wyników z pracy demonstratora. Zmiana przekładni jest wyjątkowo prosta przez zastosowanie przesuwnych połączeń wielowypustowych do sprzęgieł. Rozsuniecie sprzęgieł, pomiędzy którymi znajduje się przekładnia oraz odblokowanie przekładni z zacisku umożliwia jej wymianę.



Rys. 8. Model stanowiska badawczego: 1- silnik elektryczny, 2 – sprzęgło kłowe, 3 – momentomierz, 4 – sprzęgło przesuwne, 5 – badana przekładnia, 6 – podpora łożyska, 7 – hamulec proszkowy, 8 – skrzynka sterownicza, 9 – stół stanowiskowy  
Fig. 8. Model of the test stand: 1 - electric engine, 2 - claw clutch, 3 - torque sensor, 4 - sliding clutch, 5 - tested transmission, 6 - support bearings, 7 - powder brake, 8 - control box, 9 - stand test table

#### Wnioski Conclusions

Analiza równomierności przekazywania ruchu w przekładni dwudrożnej wykazała, że w przypadku niewłaściwego kroku symulacji obróbki dochodzi do zakłóceń wyników (nieciągłość parametryczna zarysu zęba).

Konsekwencją wahań wskaźnika zaszębienia jest nierównomierność rozdziału mocy na dwie drogi w przekładni.

Analiza MES konstrukcji korpusu przekładni dwudrożnej przeznaczonej do badań stanowiskowych wykazała, że konstrukcja była prawidłowa. Niemniej jednak pozwoliła na wprowadzenie modyfikacji zmniejszających wartości naprężeń i odkształceń.

Badania na stanowisku pozwalają na uzyskanie stabilnych parametrów pracy i tym samym na otrzymanie niezakłóconych, dokładnych wyników z pracy demonstratora. Zmiana przekładni na stanowisku odbywa się w krótkim czasie tak jak przystosowanie do innego typu demonstratora.

Analysis of steadiness of movement transmission in dual-power path gear showed that inappropriate step in simulation of processing causes disturbing of results (parametric discontinuity of tooth profile).

The consequence of oscillation of tooth contact ratio is unsteadiness of power division into two paths in the gear.

MES analysis of body construction of dual-power path gear designed for stand tests showed that the construction was correct. However, it also allowed introducing modifications diminishing values of stresses and deformations.

Tests at the stand allow to obtain a stable operating parameters and thus to obtain undistorted, accurate results of work of demonstrator. Changing gears takes place in a short time and so does adapting to a different type of demonstrator.

#### Wskaźniki realizacji celów projektu Indicators of the project

##### Publikacje

Budzik G., Kozik B., Oleksy M., Grzelka M., Dobrowolska A.: *The Application of GOM Measurements for the Determination of Accuracy of Gear Casts Manufactured in The RT/TP Process*. ANNALS OF FACULTY ENGINEERING HUNEDOARA - INTERNATIONAL JOURNAL OF ENGINEERING, Tome X (Year 2012), Romania 2012, str. 89-92.  
Budzik G., Bernaczek J., Dziubek T., Cieplak M., Magniszewski M., Tutak M.: *Analiza wybranych bezdotykowych metod pomiarowych wspomaganym komputerowo*. Stal - Metale & Nowe Technologie, 3-4/2012, str. 42-44.  
Budzik G., Bernaczek J., Cieplak M., Magniszewski M.: *Przygotowywanie danych do procesów szybkiego prototypowania CAD/TP*. Stal - Metale & Nowe Technologie, 3-4/2012, s.57-59.  
Kozik B., Budzik G., Sobolak M., Dziubek T., Sobolewski B., Bernaczek J., Grzelka M.: *Accuracy Analysis of Demonstrative Prototype of FDM Model of Aeronautical Dual-Power Path Gear Unit*. MOTSP Conference Proceedings 2012, str. 308-313.  
Budzik G., Kozik B., Sobolewski B., Sobolak M., Bernaczek J., Oleksy M., Grzelka M., Dobrowolska A.: *Integrations of Cad and RP Systems for Aeronautical Planetary Gear Demonstrator Manufacturing*. MOTSP Conference Proceedings 2012, str. 303-307.

##### Prace mgr, dr, hab.

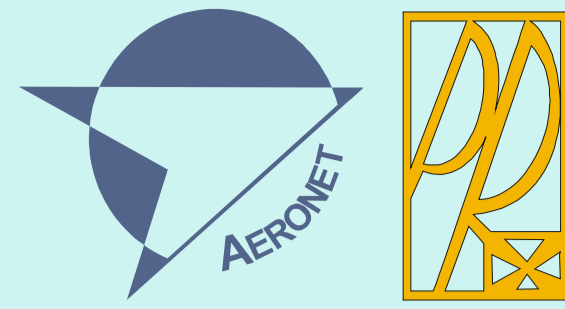
Prace inżynierskie obronione:  
Władysław Radzik: *Analiza wytrzymałościowa przekładni dwudrożnej z zastosowaniem MES*  
Promotor: dr inż. Jacek Pacana

##### Prace doktorskie

Tytuł: *Analiza zastosowania przekładni wielodrożnej jako zamiennika stopnia planetarnego w napędach lotniczych*  
Autor: Robert Busz  
Promotor: prof. dr hab. inż. Tadeusz Markowski  
Status: W trakcie realizacji

# Projekt kluczowy

# Nowoczesne technologie materiałowe stosowane w przemyśle lotniczym



UNIA EUROPEJSKA  
EUROPEJSKI FUNDUSZ  
ROZWOJU REGIONALNEGO



KONFERENCJA  
RADY PARTNERÓW CZT AERONET  
i PANELE EKSPERTÓW  
25-26 Czerwca 2012

# ZB 4

## Opracowanie nowej, prostszej i tańszej przekładni zębatej w miejsce skomplikowanych i drogich przekładni planetarnych

Politechnika Rzeszowska, Politechnika Łódzka

### Wyniki badań

#### Ogólne informacje

Materiały do plakatu powinny być opracowany w ilości, która pozwoli na rozmieszczenie ich w formie trójkolumnowego zestawienia, zgodnie formatem zamieszczonym na stronie PKAERO. Preferowane są materiały w formacie CDR (COREL DRAW), PDF, MS WORD, oraz MS Office Publisher. Plakat służyć ma do prezentacji graficznej wyników badań, wniosków oraz przykładów zastosowania wyników prac a także do prezentacji wskaźników realizacji projektu, powinien zatem zawierać jak najwięcej elementów graficznych w postaci schematów oraz zdjęć objaśniających cel i zakres prowadzonych badań. Komentarz do przytoczonych przykładów powinien być ograniczony do niezbędnego minimum.

We wzorze zamieszczono nagłówki, które są obowiązującym elementem plakatu. Zmiana ich wyglądu nie jest dopuszczalna. Wzorzec stanowi podstawę podczas tworzenia kompozycji plakatu.

Obowiązującym krojem pisma jest czcionka Arial CE

#### Nagłówki w „blokach” - segmentach materiałów do plakatu

Nagłówki w blokach materiałów, dzielących poszczególne prace badawcze w zakresie wyników działań powinny być wykonane czcionką 28 pkt. pogrubioną a tekst nagłówka wyrównany do lewej strony, jak we wzorze.

#### Treść opisów

Czcionką obowiązującą w treści każdego z bloków jest ARIAL o rozmiarze 24 (26) pkt. (jak we wzorcu) Bloki tekstu wyrównane są do lewej strony.

#### Obrazki, rysunki, pliki graficzne

Plik graficzne dostarczone w materiałach do plakatu powinny mieć format JPG i być dostarczone w jakości umożliwiającej ich publikację. Rozdzielczość obrazów min. 200 dpi oraz rozmiar pliku max. 1,5 MB. Należy też zwrócić uwagę by zachować zgodność z prawem autorskim dostarczonych zdjęć. Pliki graficzne większego rozmiaru nie są konieczne. Zwiększają tylko objętość przesyłanych danych

#### Tabele, wzory

Tabele oraz wzory powinny być dostarczone jako pliki graficzne (zdjęcia, zrzuty ekranowe - PrtSc) tak by ich prezentacja i ew. modyfikacja w zakresie rozmieszczenia nie powodowała problemów ze zgodnością znaków specjalnych użytych w ich treści. Chodzi tutaj o symbole wykorzystywane we wzorach jak również indeksy górne i dolne.

#### Podpisy rysunków i tabel

Podpisy pod rysunkami są elementem odrębnym od tekstów. Wykonane powinny być czcionką 18 pkt. z wyśrodkowaniem względem rysunku

Rys.1. Przykładowy rysunek do prezentacji na plakacie konferencyjnym

Tabela 1. Przykładowy opis tabeli użytej do plakatu konferencyjnego

### Wnioski

W tej części należy umieścić główne wnioski z prowadzonych badań w okresie sprawozdawczym.

- Można zaprezentować je w formie treści,
- jak również jako listę wypunktowaną.

### Przykłady zastosowania w lotnictwie

Część „Przykładowa zastosowania” powinna zawierać GRAFICZNE przykłady zastosowań prowadzonych badań oraz, jeśli jest to potrzebne, krótki opis do przykładów.

Jakość plików graficznych - jak wyżej.

### Przykłady współpracy z przemysłem lotniczym

- Część „Przykłady współpracy z przemysłem lotniczym” może być listą wypunktowaną podmiotów przemysłowych, które współpracują w zakresie realizowanych badań ze wskazaniem pól zainteresowań badawczych (przykładowe aplikacje lotnicze).
- Można w tej części zaprezentować również krótki opis do każdego z przykładów współpracy

### Wskaźniki realizacji celów projektu

#### Referaty

Autor Pierwszy. B., Drugi C.: **Tytuł referatu w ramach projektu** . Pełne dane bibliograficzne dot. referatu (gdzie wygłoszony, opublikowany, str.)

#### Publikacje

Auto P., Autor D.: **Tytuł publikacji**. *Gdzie publikowano artykuł* , nr x, str. xx -xx

#### Prace mgr, dr, hab.

##### Prace inżynierskie obronione:

Autor Pracy : **Tytuł pracy** . Promotor: dr hab. inż. Dane Promotora

##### Prace magisterskie obronione:

Autor Pracy: **Tytuł pracy** . Promotor: dr hab. inż. Dane Promotora

##### Prace inżynierskie planowane

Autor Pracy : **Tytuł pracy** . Promotor: dr hab. inż. Dane Promotora, planowany termin obrony prac

##### Prace magisterskie planowane

Autor Pracy : **Tytuł pracy** . Promotor: dr hab. inż. Dane Promotora, planowany termin obrony prac

#### Prace doktorskie

Tytuł: **Tytuł pracy**

Autor: Autor pracy

Promotor: Promotor pracy

Status: (np. „W trakcie realizacji przygotowania do druku”, „W trakcie opracowania wydawniczego”, „Praca po obronie”)

#### Prace habilitacyjne

Tytuł: **Tytuł pracy**

Autor: Autor pracy

Status: (np. „W trakcie realizacji przygotowania do druku”, „W trakcie opracowania wydawniczego”, „Praca po obronie”)

#### Zgłoszenia patentowe

Lista wypunktowana ew. zgłoszeń patentowych wraz z podaniem numeru patentu.