

Nowoczesne technologie materiałowe stosowane w przemyśle lotniczym

Modern material technologies in aerospace industry

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

Politechnika Rzeszowska, Politechnika Łódzka

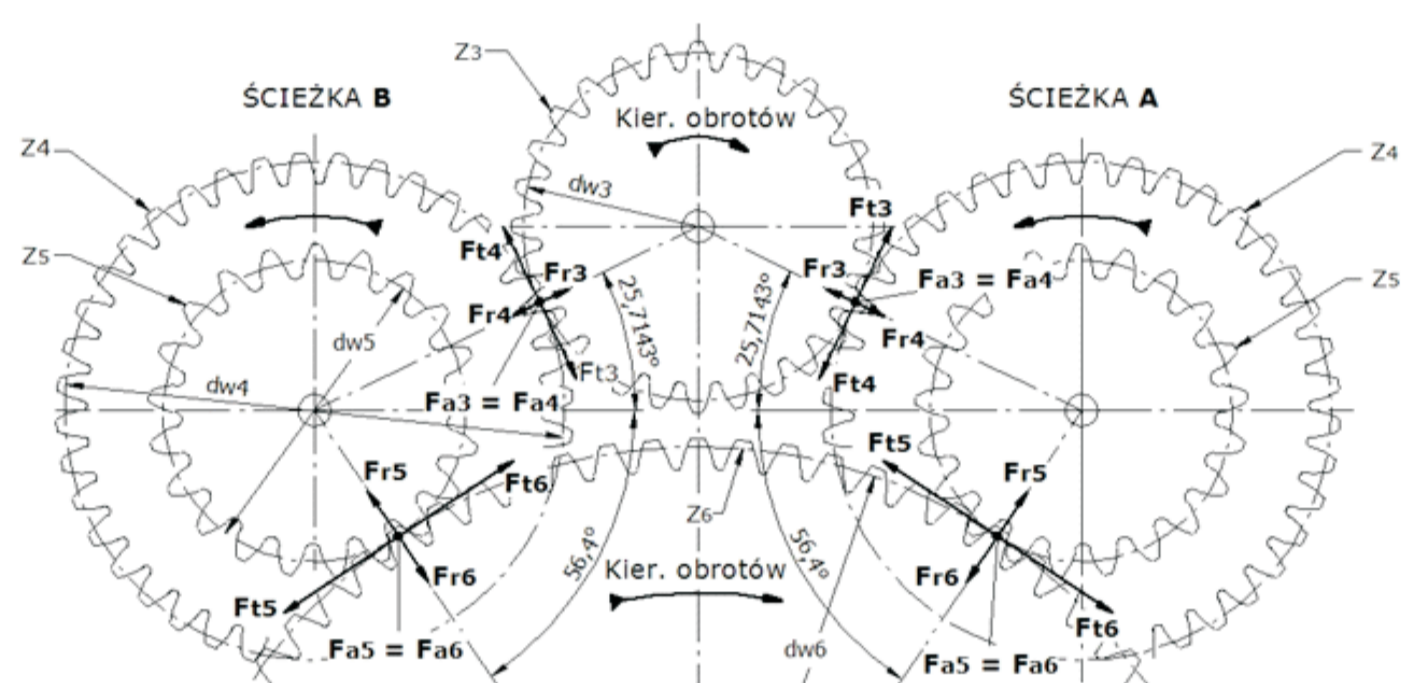
Wyniki badań
Results

- Określenie zapasu wytrzymałości statycznej i zmęczeniowej wałów przekładni dwudrożnej
- Determining margin of static and fatigue strength of shafts in dual-path gear train

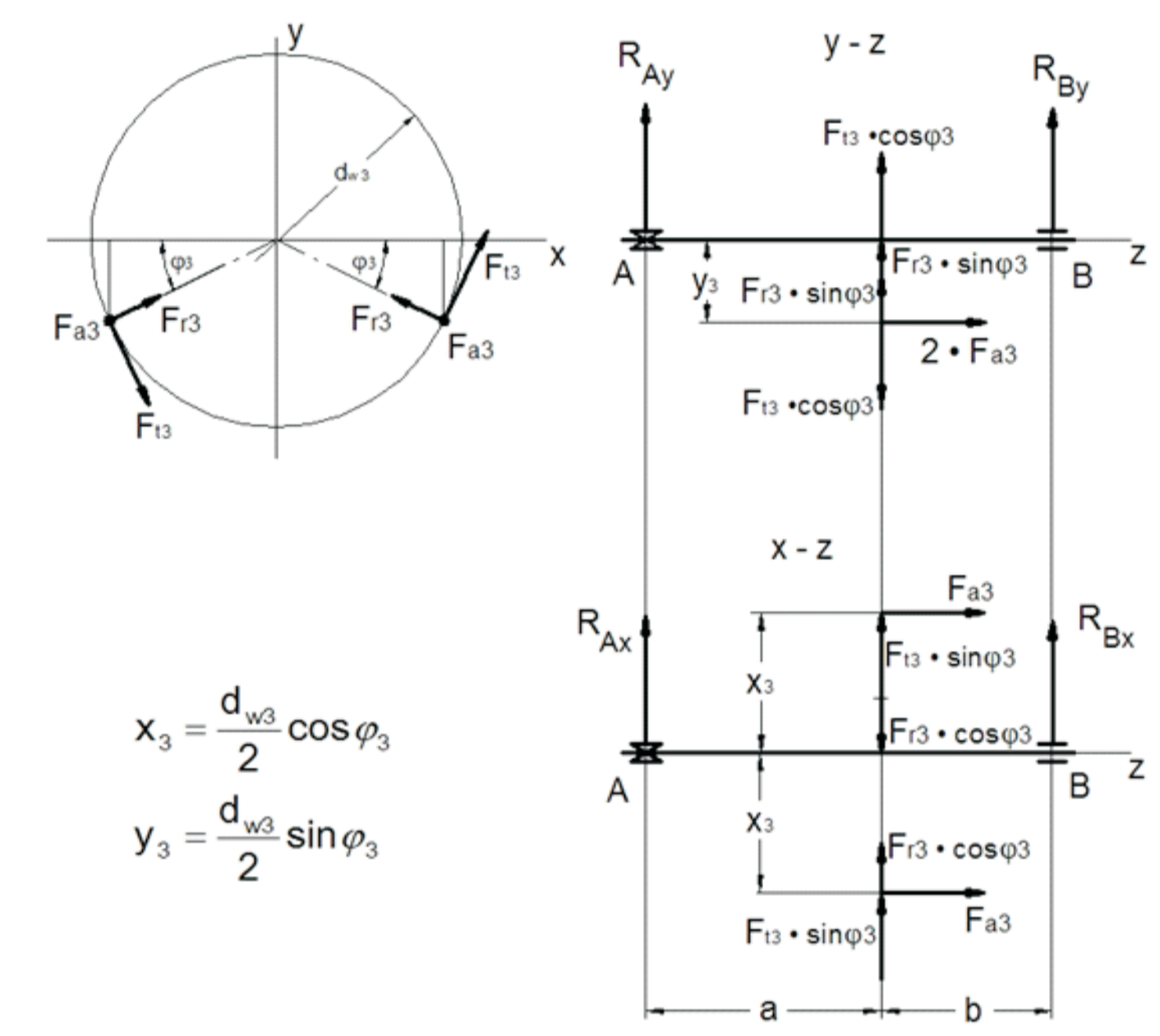
Sprawdzenie zapasów wytrzymałości statycznej i zmęczeniowej wałów przekładni dwudrożnej określa się w celu zapewnienia wymaganej żywotności oraz bezpieczeństwa pracy przekładni podczas eksploatacji.

Wały przekładni dwudrożnej zintegrowane z kołami zębatymi poddane są obciążeniu wynikającemu z zakresów pracy śmigłowca i przeniesionego momentu. Na naprężenia występujące w wałach mają wpływ: siły międzyzębne (rys. 1) i momenty skręcające generowane przenoszonym momentem obrotowym zależnym od eksploatacyjnych zakresów pracy i stanów lotu śmigłowca oraz momenty dokręcenia nakrętek i zacisk łożysk na czopach wałów.

Wytrzymałość statyczna wałów pozwala określić czy i w jakim stopniu występujące w eksploatacji maksymalne obciążenia zagrażają stabilności konstrukcji przez wygenerowanie naprężeń powodujących odkształcenia trwałe. Reakcje podpór (rys. 2) wyznaczono z równowagi sumy momentów wszystkich sił działających na belkę (wał), pomijając siły ciężkości wału.

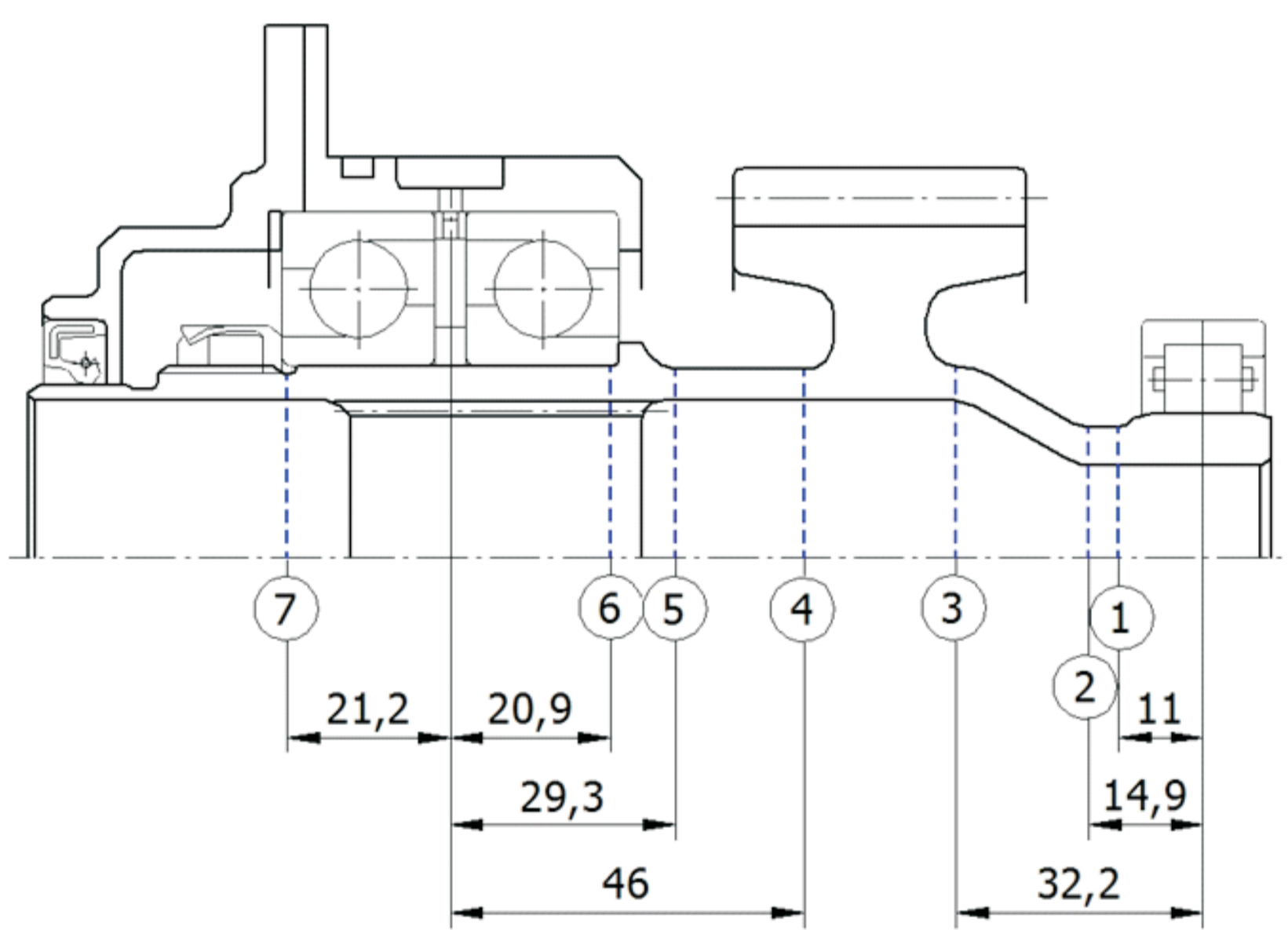


Rys. 1. Schemat sił w ząbieniu kół zębatych przekładni dwudrożnej
Fig. 1. The diagram of forces in gears of toothed wheels in dual-path gear train



Rys. 2. Schemat sił działających na podpory (łożyska) wału zębatego
Fig. 2. The diagram of forces effecting the supports (bearings) of pinion's shaft

- Obliczenie rzeczywistych współczynników bezpieczeństwa dla wytrzymałości statycznej przeprowadzono w charakterystycznych przekrojach wału (rys. 3), w których mogą wystąpić maksymalne naprężenia.



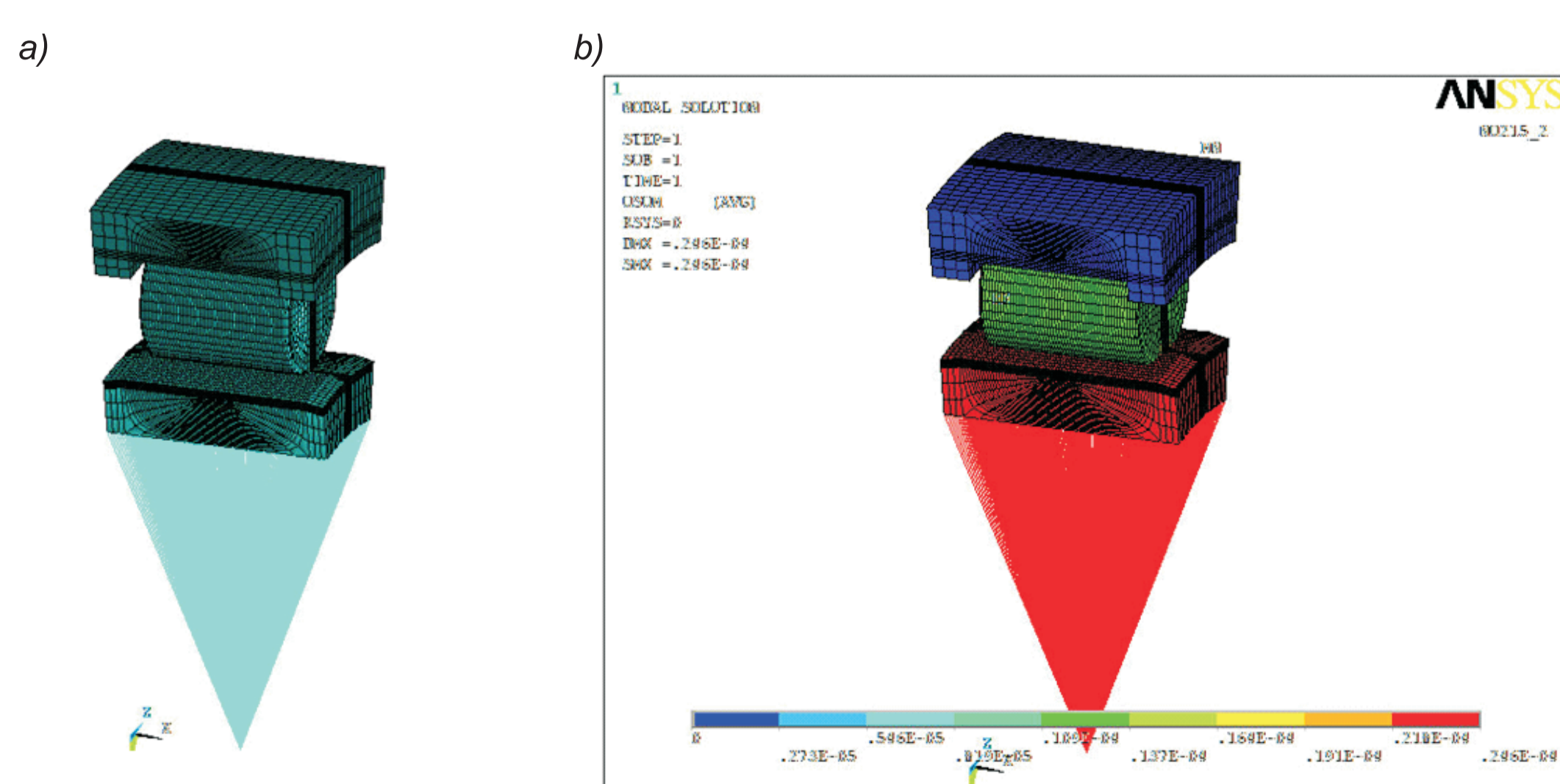
Rys. 3. Wał zębatego z charakterystycznymi przekrojami 1÷7
Fig. 3. Pinion's shaft with characteristic cross sections 1÷7

- Wykonanie analizy i określenie parametrów sztywnościowych łożysk przekładni dwudrożnej
- Performing analysis and determining rigidity parameters of bearings in dual-path gear train

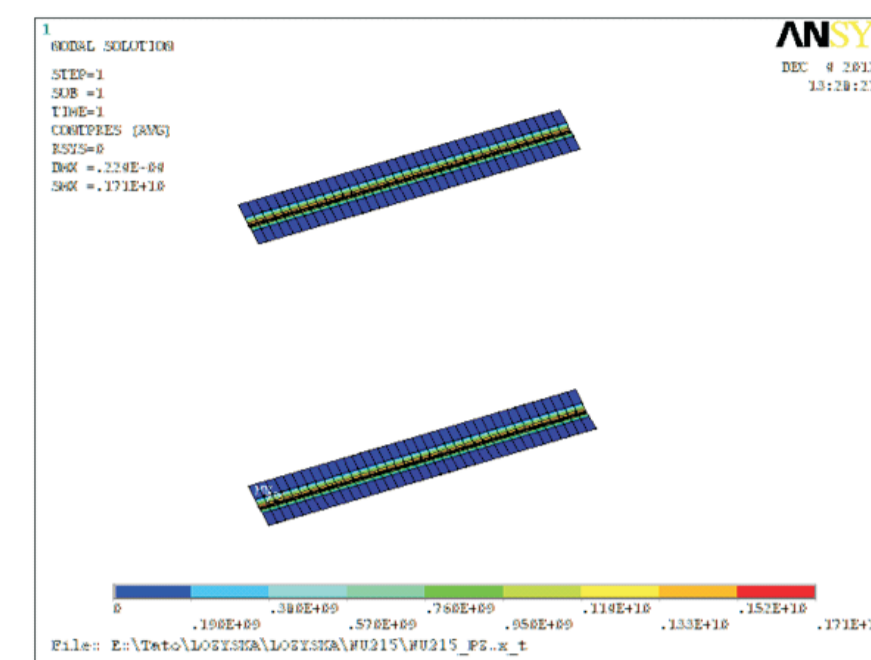
W celu analitycznego określenia rozkładu obciążenia kół przekładni dwudrożnej metodą MES należy opracować model zawierający nie tylko koła zębate ale także elementy łożyskowania kół a także kadłub przekładni. Ponieważ model szczegółowy MES takiego zespołu jest bardzo złożony należy uwzględnić zagadnienia kontaktowe pomiędzy kołami a także pomiędzy współpracującymi elementami kół czy łożysk. W związku z tym w modelu należy dokonać odpowiednich uproszczeń w taki sposób, aby zapewnić identyczny charakter odkształceń.

Na rysunkach 4 i 5 przedstawiono model, przemieszczenie oraz naprężenia stykowe w strefie kontaktu na przykładzie łożyska walczkowego Nu215.

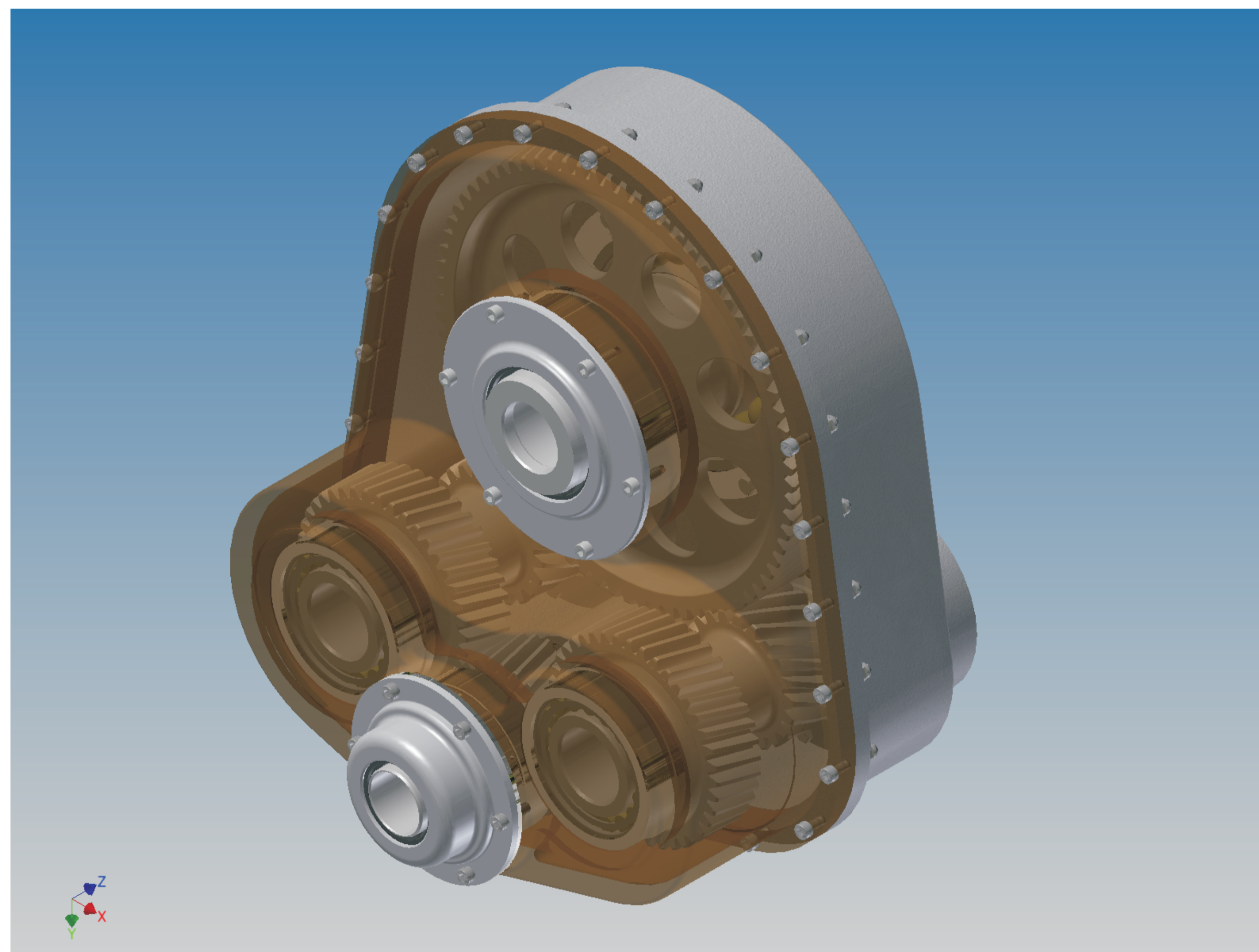
- Po obliczeniach części przekładni zamodelowano wstępnie korpus, który wraz z głównymi elementami przekładni po zmianach konstrukcyjnych przedstawiono na rys. 6.



Rys. 4. Łożysko walczkowe Nu215: a) widok modelu, b) przemieszczenie
Fig. 4. Roller bearing Nu215: a) view of model, b) displacement



Rys. 5. Łożysko walczkowe Nu215 - naciski w strefie kontaktu
Fig. 5. Roller bearing Nu215 - the pressure in the contact area

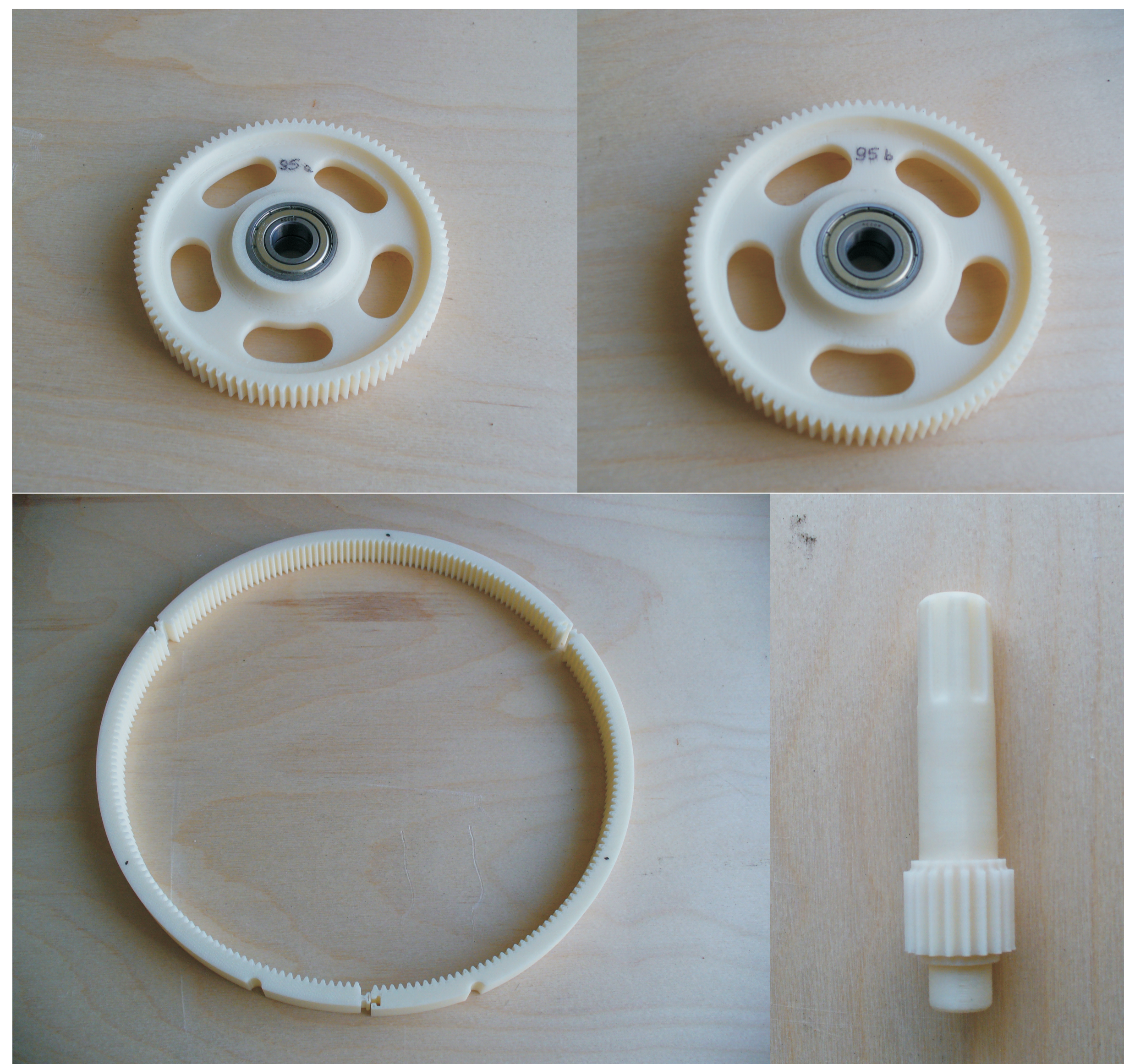


Rys. 6. Model korpusu przekładni dwudrożnej do badań stanowiskowych
Fig. 6. A model of case of dual-path gear train for stand tests

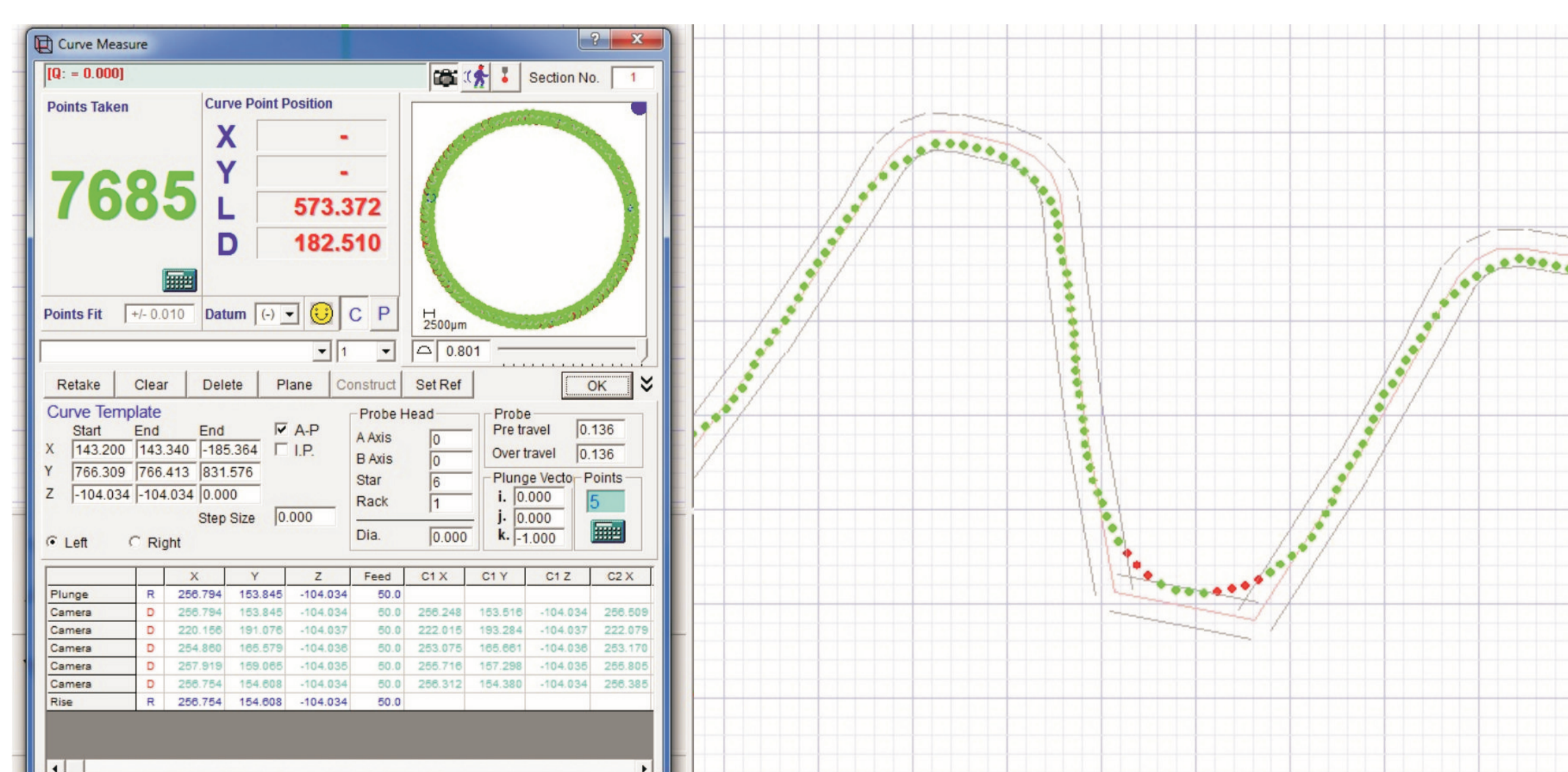
- Analiza dokładności wymiarowo-kształtowej elementów przekładni planetarnej
- The analysis of dimensional-contouring accuracy of planetary gear elements

Badania przeprowadzono w Laboratorium Inżynierii Odwrótnej i Szybkiego Prototypowania Katedry Konstrukcji Maszyn Politechniki Rzeszowskiej z zastosowaniem optycznej współrzędnościowej maszyny pomiarowej Venture.

Weryfikację dokładności wykonania przeprowadzono dla badawczych modeli walcowych kół zębatych wykonanych w technologii FDM, a przyjęta strategia pomiarowa umożliwiła przeprowadzenie pomiarów oraz określenie odchyłek zarysu kół przekładni planetarnej (rys. 7). Otrzymana w trakcie realizacji pomiarów (poprzez wykrycie mierzonych krawędzi detalu) geometria, została porównana z wzorcowymi modelami CAD badanej przekładni na drodze operacji najlepszego dopasowania punktów rzeczywistych do nominalnych. Na tej podstawie określono błędy wykonania dla poszczególnych kół zębatych badanej przekładni, co na przykładzie zarysu koła planetarnego przedstawiono na rys. 8.



Rys. 7. Koła badanej przekładni planetarnej
Fig. 7. Wheels of tested planetary gear



Rys. 8. Reprezentatywna wizualizacja oceny dokładności wykonania zarysu koła planetarnego
Fig. 8. Representative visualization of accuracy assessment of making the outline of planetary gear

Po weryfikacji dokładności elementów przekładni planetarnej została złożona i zamontowana na stanowisku badawczym (rys. 9) celem przeprowadzenia dalszych badań.



Rys. 9. Stanowisko badawcze z zamontowanym prototypem przekładni planetarnej
Fig. 9. The test stand with fixed planetary gear prototype

Wnioski
Conclusions

Analiza wytrzymałości statycznej i zmęczeniowej wałów przekładni dwudrożnej wykazała, że obliczeniowy zapas wytrzymałości zapewni poprawną pracę wałów przekładni, w przyjętym okresie żywotności 4000 h.

W wyniku weryfikacji dokładności wykonania kół zębatych wchodzących w skład przekładni planetarnej, stwierdzono że dokładność zastosowanej metody wytwarzania FDM jest wyższa niż zakładana ($\pm 0,1\text{mm}$), a średnia wartość odchyłek jest mniejsza niż zakładana.

Sztywności łożysk kulkowych są związane z ich średnicami i rosną z ich wymiarami. Sztywności łożysk walczkowych są ok. 2 razy większe od łożysk kulkowych.

The analysis of static and fatigue strength of shafts in dual-path gear train proved that analytical strength margin will ensure correct work of gear shafts, during the assumed service life of 4000 h.

As a result of verification of accuracy of making gears included in the planetary gear train, it was ascertained that the accuracy of applied FDM method is higher than assumed ($\pm 0,1\text{mm}$) and an average value of deviations is smaller than assumed.

The stiffness of ball bearings is related to their diameters and increase with their dimensions. The stiffness of roller bearings is about 2 times bigger than ball bearings.

Wskaźniki realizacji celów projektu
Indicators of the project

Referaty

1. 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 2012; 4th International Scientific Conference – Management of Technology – Step to Sustainable Production – MOTSP 2012, 14 – 16 June 2012, Zadar, Croatia; Croatian Association for PLM, Zagreb, Croatia, 2012, str. 303 – 307
2. 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 2012; 4th International Scientific Conference – Management of Technology – Step to Sustainable Production – MOTSP 2012, 14 – 16 June 2012, Zadar, Croatia; Croatian Association for PLM, Zagreb, Croatia, 2012, str. 308 – 313
3. Kula P., Pietrasik R., Dybowski K., Klimek L., Wołowiec E.: The Precipitation and Dissolution of Alloy Iron Carbides In Vacuum Carburization Processes for Automotive and Aircraft Applications-Part I; 2012 International Conference on Nanotechnology and Advanced Materials (ICNTAM 2012) April 12-13 2012 Hong Kong; Advanced Materials Research Vol.486 (2012) str. 297-302
4. Kula P., Pietrasik R., Dybowski K., Klimek L., Wołowiec E.: The Precipitation and Dissolution of Alloy Iron Carbides In Vacuum Carburization Processes for Automotive and Aircraft Applications-Part II; 2012 International Conference on Nanotechnology and Advanced Materials (ICNTAM 2012) April 12-13 2012 Hong Kong; Advanced Materials Research Vol.486 (2012) str. 303-308
5. Pacana J., Kozik B., Budzik G.: Defining influence of load conditions on distribution and value of stresses in dual-power-path gear wheels applying FEM; 7th International Conference Supply on the wings, AIRTEC 2012; 7th International „Conference Supply on the wings”, 6 – 9 November 2012 Frankfurt / Main – Germany

Publikacje

1. Budzik G., Bernaczek J., Dziubek T., Cieplak M., Magniszewski M., Tutak M.: Analiza wybranych bezdotykowych metod pomiarowych wspomaganych komputerowo; ; Stal - Metale & Nowe Technologie 3-4/2012, s.42-44
2. Budzik G., Bernaczek J., Cieplak M., Magniszewski M.: Przygotowywanie danych do procesów szybkiego prototypowania CAD/3D; ; Stal - Metale & Nowe Technologie 3-4/2012, s.57-59
3. 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/3D Process; ; ANNALS OF FACULTY ENGINEERING HUNEDOARA – INTERNATIONAL JOURNAL OF ENGINEERING, Tome X (Year 2012) - Fascicule 1 (ISSN 1584 - 2665), str. 89-92
4. Kozik B., Budzik G., Cieplak M.: Universal test stand for research of aeronautical multi-power path gear demonstrators; EUROPEAN KONES 2011; Journal of KONES Powertrain and Transport, Vol.19, No.3 2012, European Science Society of Powertrain and Transport Publication, Warsaw 2012, str. 233-238
5. Kozik B., Budzik G., Markowski T., Dziubek T., Grzelka M.: The analysis of precision of making elements for aeronautical dual-power path gear demonstrator applying Venture Bathy coordinate measuring machine; EUROPEAN KONES 2012; Journal of KONES Powertrain and Transport, Vol.19, No.2 2012, European Science Society of Powertrain and Transport Publication, Warsaw 2012, str.253-257

Prace mgr, dr, hab.

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 przygotowania do druku”