

# Nowoczesne technologie materiałowe stosowane w przemyśle lotniczym

## Modern material technologies in aerospace industry

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

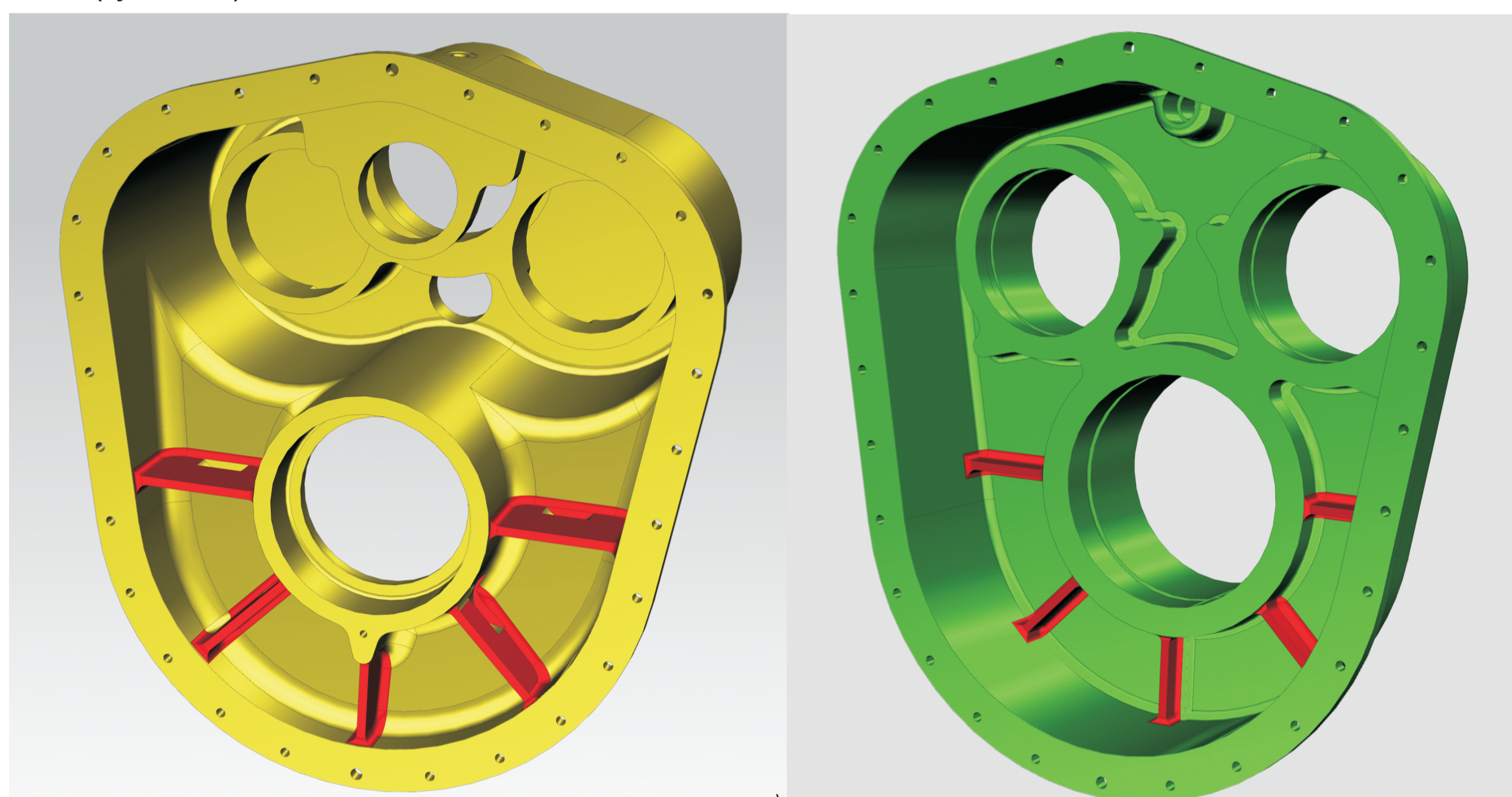
### Development of a new, simpler and cheaper toothed gear in place of complicated and expensive planetary gears

Politechnika Rzeszowska, Politechnika Łódzka

#### Wyniki badań Results

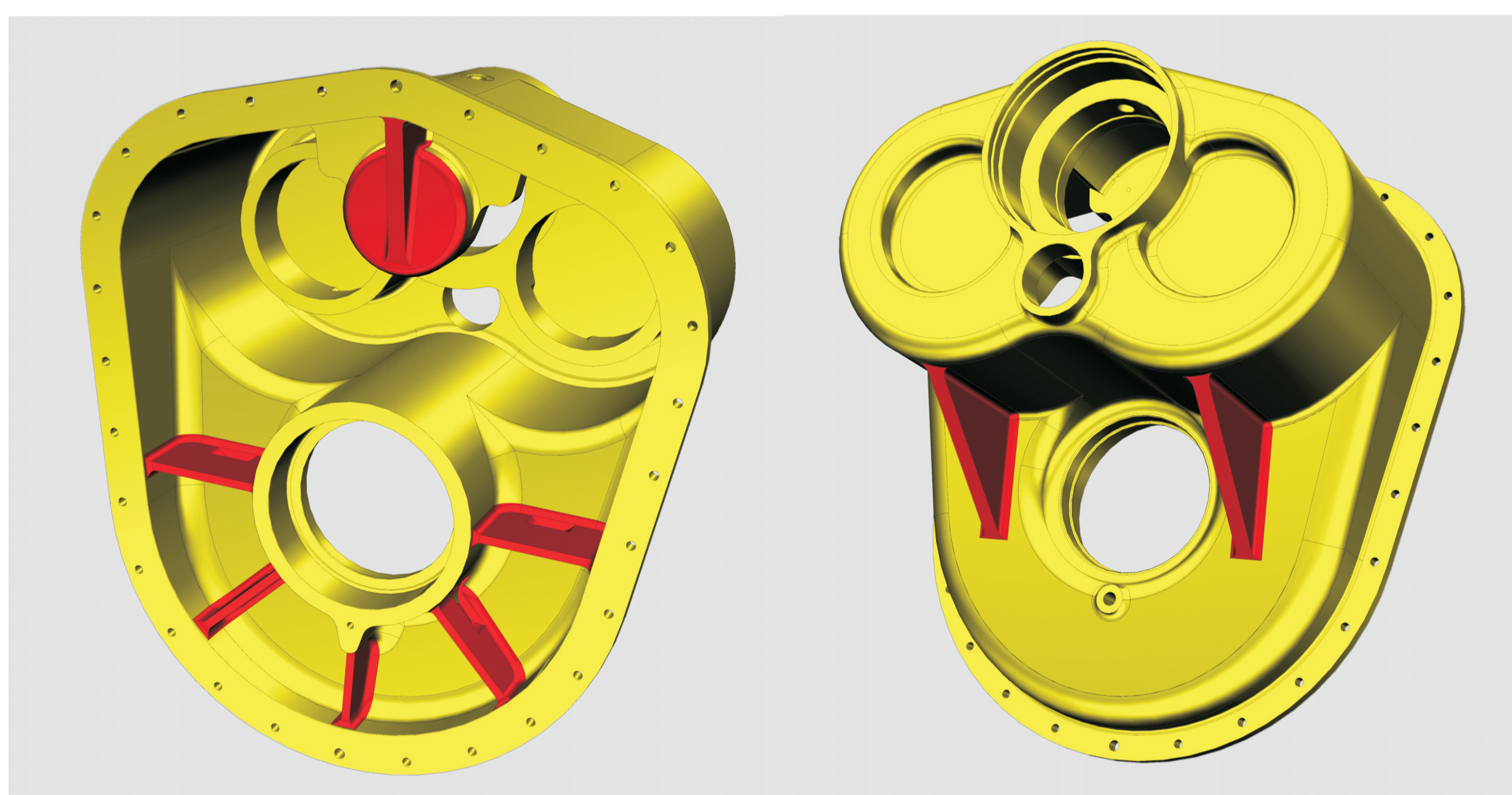
#### Optimalizacja kształtu kadłuba przekładni dwudrożnej Optimization of the shape of split path transmission housing

Jednym z głównych zadań kadłubów przekładni jest zapewnienie podparcia łożysk wałów kół zębatych. Dlatego dla prawidłowej pracy kół zębatych istotne jest zapewnienie odpowiedniej sztywności miejsc zabudowy łożysk w kadłubie. Celem procesu optymalizacyjnego było zwiększenie sztywności miejsc osadzenia łożysk, a także zmniejszenie maksymalnych naprężeń zredukowanych na kadłubie przekładni. Dla celów badawczych opracowano dodatkowo do wersji wyjściowej A, cztery modele kadłubów (B, C, D i E). Wersje geometryczne kadłubów przedstawiono na rys. 1-5. Zmiany do kolejnych modeli wprowadzono sekwencyjnie przez dodawanie kolejnych elementów wzmacniających i usztywniających kadłuby. Dla celów analizy stworzono modele CAD i FEM kolejnych wersji. Sprawdzono parametry sztywnościowe miejsc osadzenia łożysk badanych wersji, zmiany wartości maksymalnych naprężeń zredukowanych oraz zmianę częstotliwości drgań własnych spowodowaną zmianą geometrii kadłubów. Modyfikowane wersje cechują się zmniejszeniem o 50% poziomu maksymalnego naprężenia. Wprowadzenie żeber usztywniających na kadłubie górnym spowodowało spadek maksymalnych naprężeń na tym kadłubie o 63% (rys. 6, 8), natomiast na kadłubie dolnym o 40% (rys. 7, 9).



Rys. 1. Kadłub dolny - wersja geometryczna B - żebra wzmacniające miejsce osadzenia łożyska E  
Fig. 1. Lower housing - geometrical version B - the ribs reinforcing bearing E support area

Rys. 2. Kadłub górny - wersja geometryczna B - żebra wzmacniające miejsce osadzenia łożyska F  
Fig. 2. Upper housing - geometrical version B - the ribs reinforcing bearing F support area

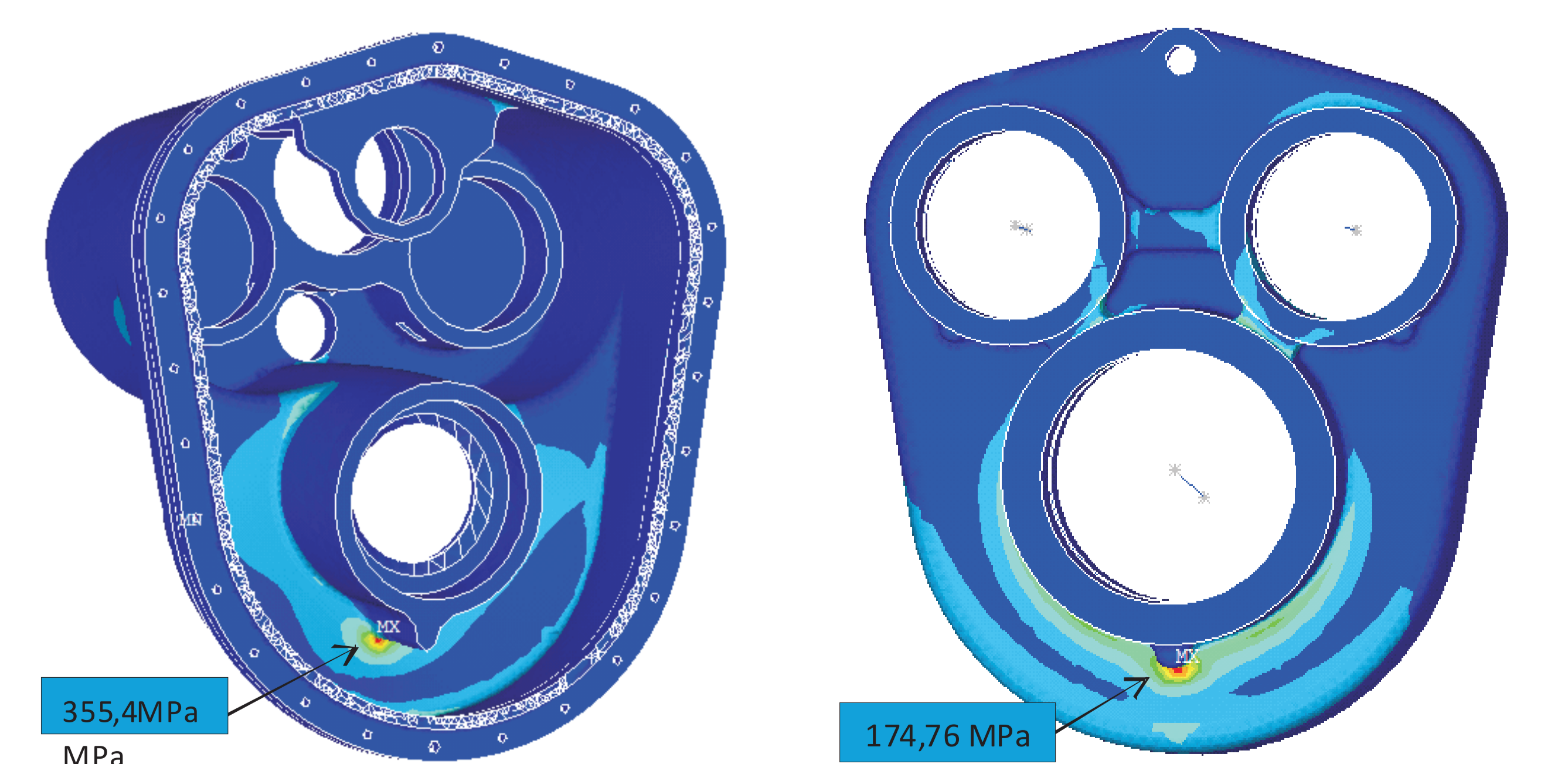


Rys. 3. Kadłub dolny - wersja geometryczna C - wzmacnienie miejsca osadzenia łożyska B  
Fig. 3. Lower housing - geometrical version C - reinforcement of the bearing B support area

Rys. 4. Kadłub dolny - wersja geometryczna D - wzmacnienie kadłuba na zewnątrz  
Fig. 4. Lower housing - geometrical version D - external reinforcement of the housing

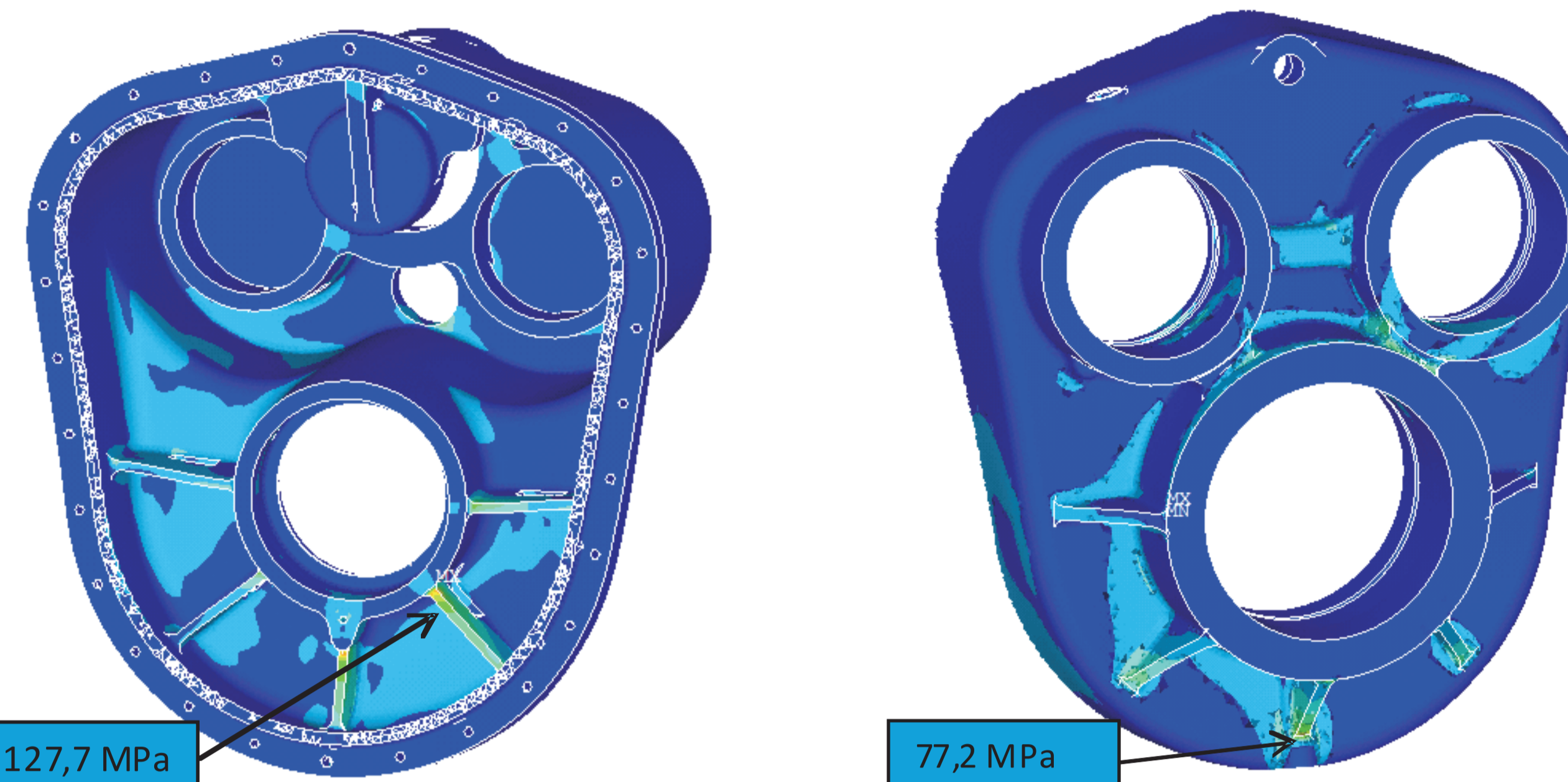


Rys. 5. Kadłub górny - wersja geometryczna E - wzmacnienie kadłuba na zewnątrz - łożysko F  
Fig. 5. Upper housing - geometrical version E - external reinforcement of the housing - bearing F



Rys. 6. Lokalizacja maksymalnych naprężeń zredukowanych przekładni, kadłub dolny - widok od strony wewnętrznej, wersja A  
Fig. 6. Location of the maximum equivalent stress, lower housing - inside view, version A

Rys. 7. Lokalizacja maksymalnych naprężeń zredukowanych przekładni, kadłub górny - widok od strony zewnętrznej, wersja A  
Fig. 7. Location of the maximum equivalent stress, upper housing - outside view, version A



Rys. 8. Lokalizacja maksymalnych naprężeń zredukowanych przekładni, kadłub dolny - widok od strony wewnętrznej, wersja E  
Fig. 8. Location of the maximum equivalent stress, upper housing, - inside view, version E

Rys. 9. Lokalizacja maksymalnych naprężeń zredukowanych przekładni, kadłub górny - widok od strony zewnętrznej, wersja E  
Fig. 9. Location of the maximum equivalent stress, upper housing, - outside view, version E

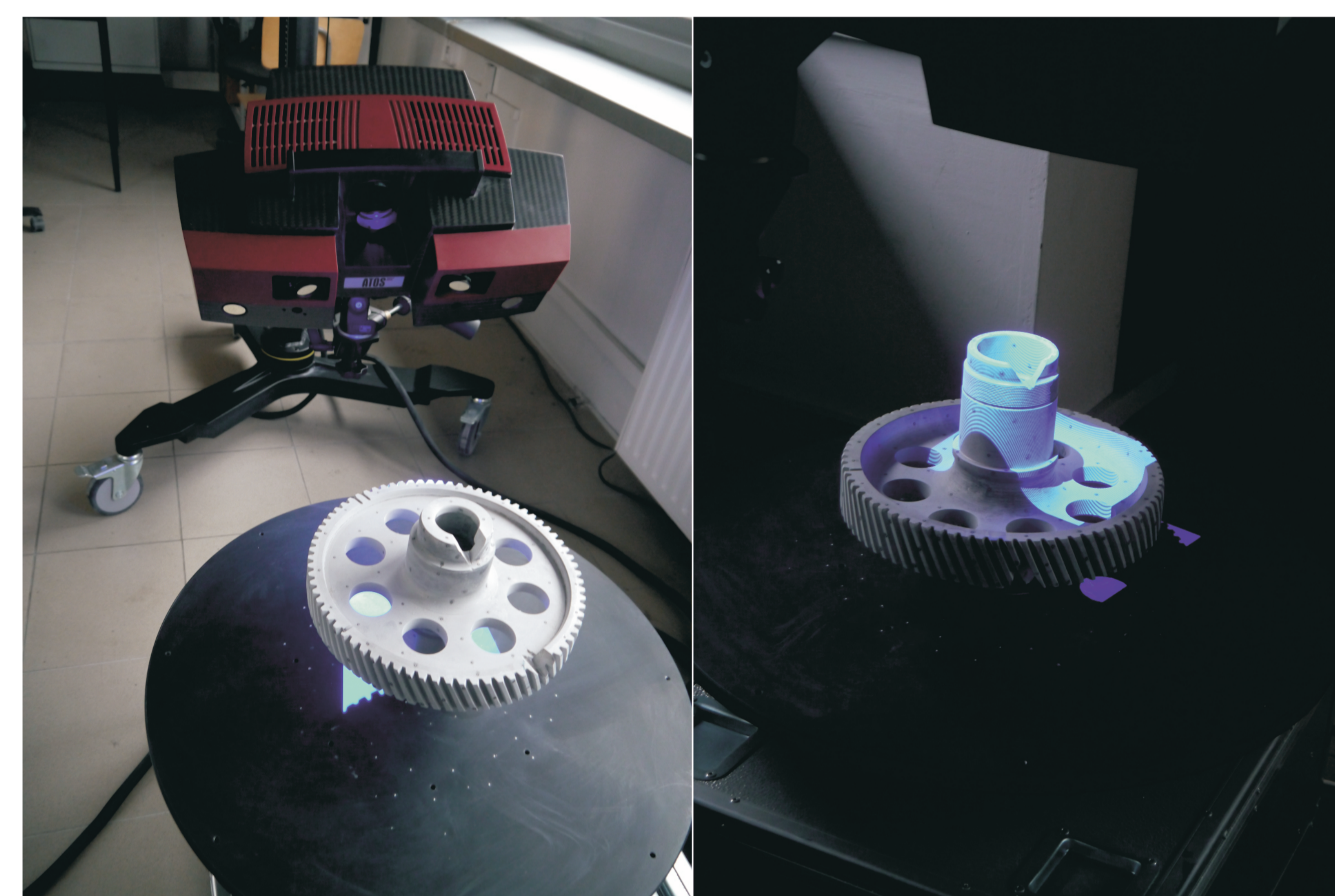
#### Opracowanie metodyki bezstykowych pomiarów walcowych kół zębatych przekładni z zastosowaniem skanera optycznego 3D Development of methodology of contactless gears measurement using 3D optical scanner

Większość producentów kół zębatych w procesie oceny dokładności wykonania, stosuje specjalistyczne stykowe współrzędnościowe maszyny pomiarowe wraz ze specjalistycznym oprogramowaniem dedykowanym do pomiaru geometrii kół. Dlatego przedstawiono inne spojrzenie na pomiary kół zębatych z zastosowaniem uniwersalnego urządzenia pomiarowego, jakim jest optyczny skaner 3D Atos II Triple Scan.

Z uwagi na zastosowanie w procesie pomiaru optycznego skanera Atos II Triple Scan w celu osiągnięcia pożądanego wyniku pomiarów niezbędne było opracowanie metodologii dotyczącej przebiegu procesu pomiaru oraz oceny dokładności. Potrzeba ta wynika z faktu, iż optyczny skaner Atos nie jest dedykowanym, specjalistycznym urządzeniem do pomiarów kół zębatych. Mimo to przy zachowaniu właściwych procedur pomiarowych oraz odpowiedniego przygotowania mierzonego modelu pozwalała na szybką i precyzyjną ocenę dokładności wytwarzania.

Zakres zagadnienia zawiera wytyczne dotyczące przygotowania walcowego koła zębatego do pomiaru, wskazówki odnoszące się do przebiegu samego procesu pomiaru, jak i zasady określające, w jaki sposób wykonać analizę dokładności. Przygotowana metodyka umożliwia szybką i skuteczną ocenę dokładności wykonania lub deformację geometrii walcowych kół zębatych.

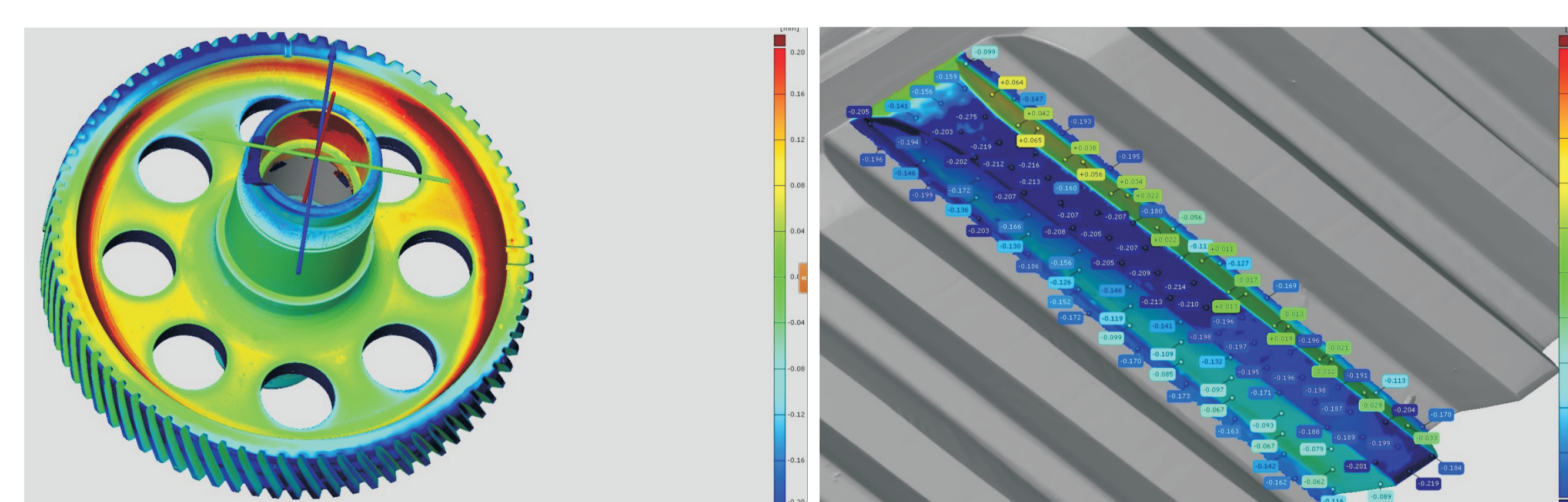
Sposób pomiaru wraz z przykładową analizą przedstawiono na rys. 10-16



Rys. 10. Pomiar walcowego koła zębatego lotniczej przekładni dwudrożnej prowadzony w dwóch położeniach na stole pomiarowym z zastosowaniem optycznego skanera 3D ATOS II TripleScan  
Fig. 10. Measuring a gear wheel of aeronautical dual-power path gear at two positions on a turntable using optical 3D scanner ATOS II TripleScan

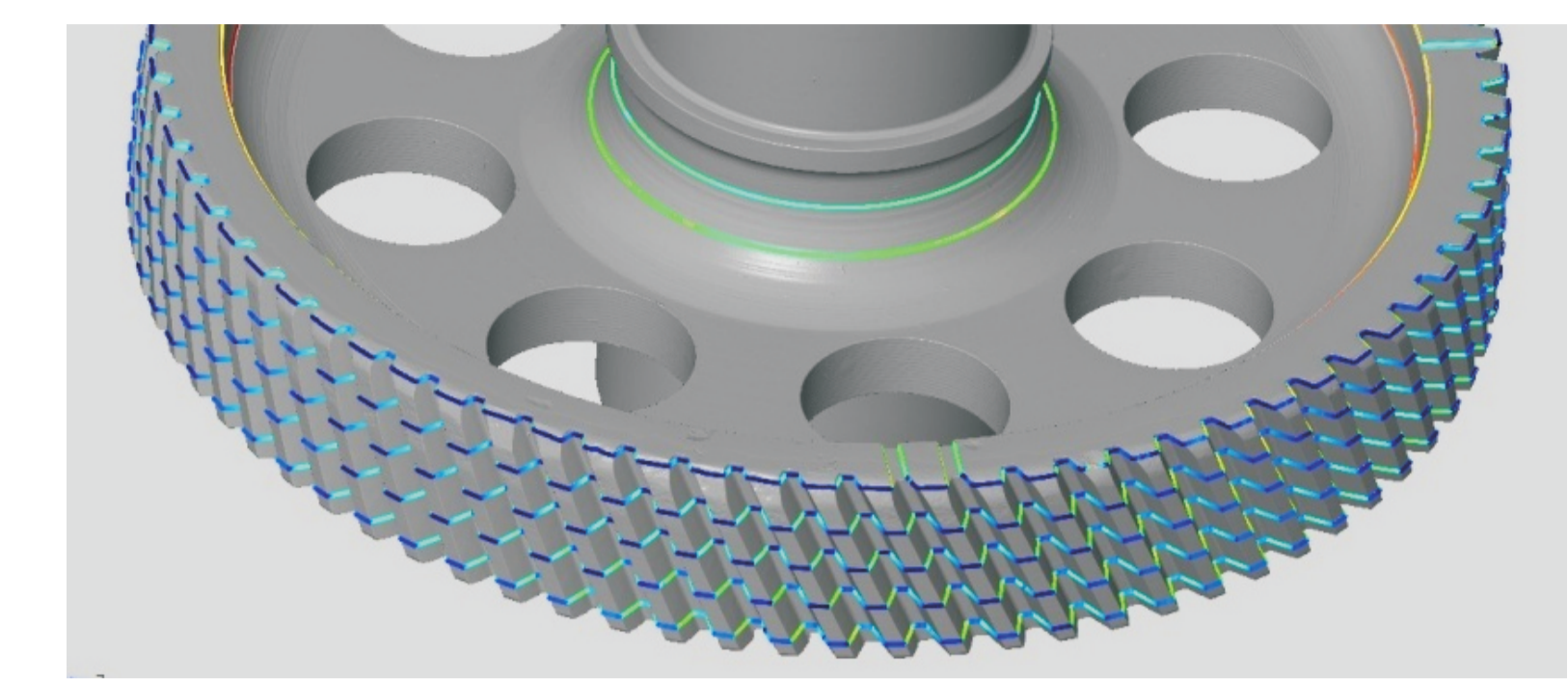


Rys. 11. Koło zębate z punktami referencyjnymi widocznymi w obu seriach pomiarowych  
Fig. 11. The gear reference points visible in both series of measurement

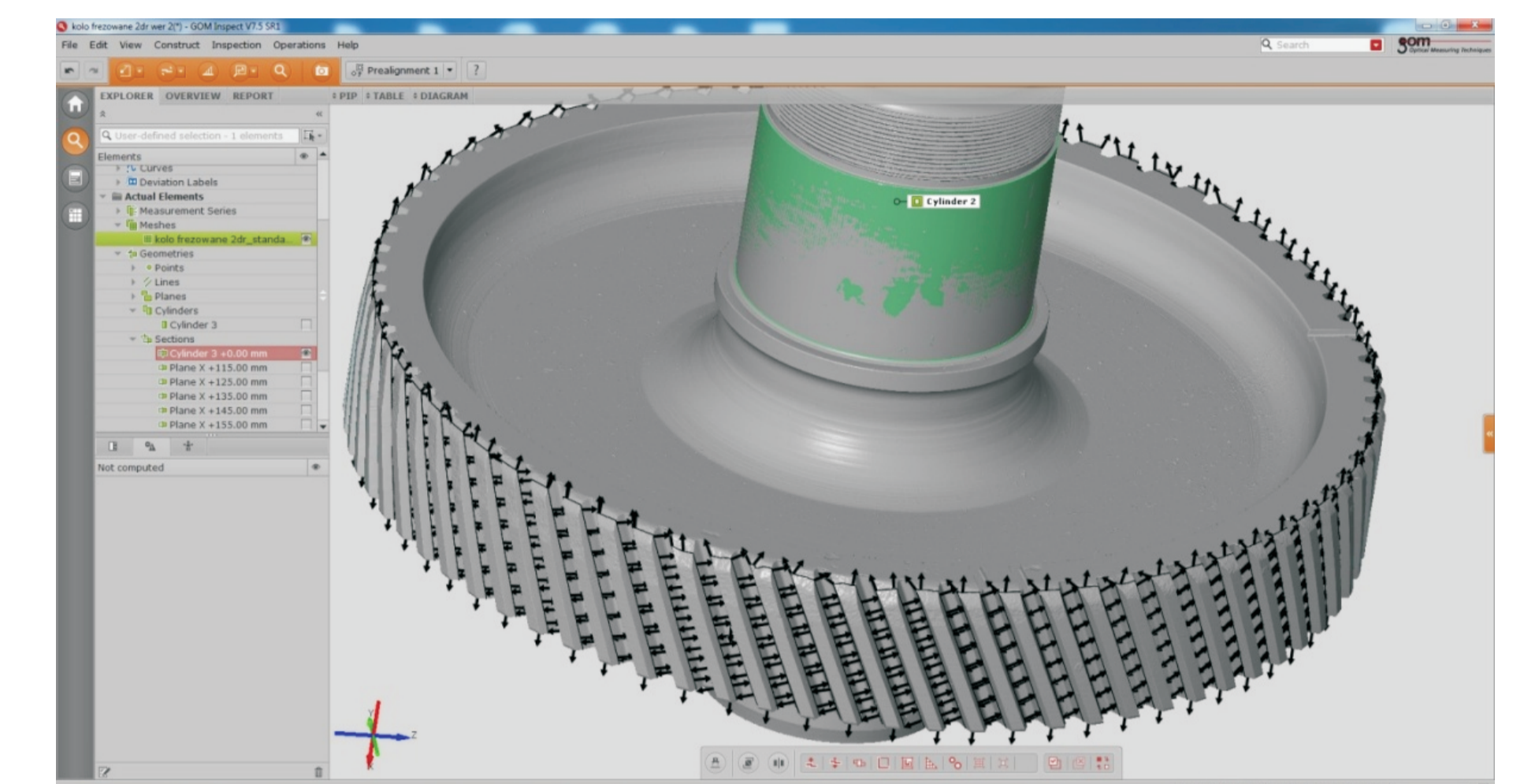


Rys. 12. Przykładowa globalna analiza odchyłek powierzchni koła zębatego w odniesieniu do modelu 3D-CAD  
Fig. 12. An exemplary global analysis of deviations of the gear surface in relation to the 3D-CAD model

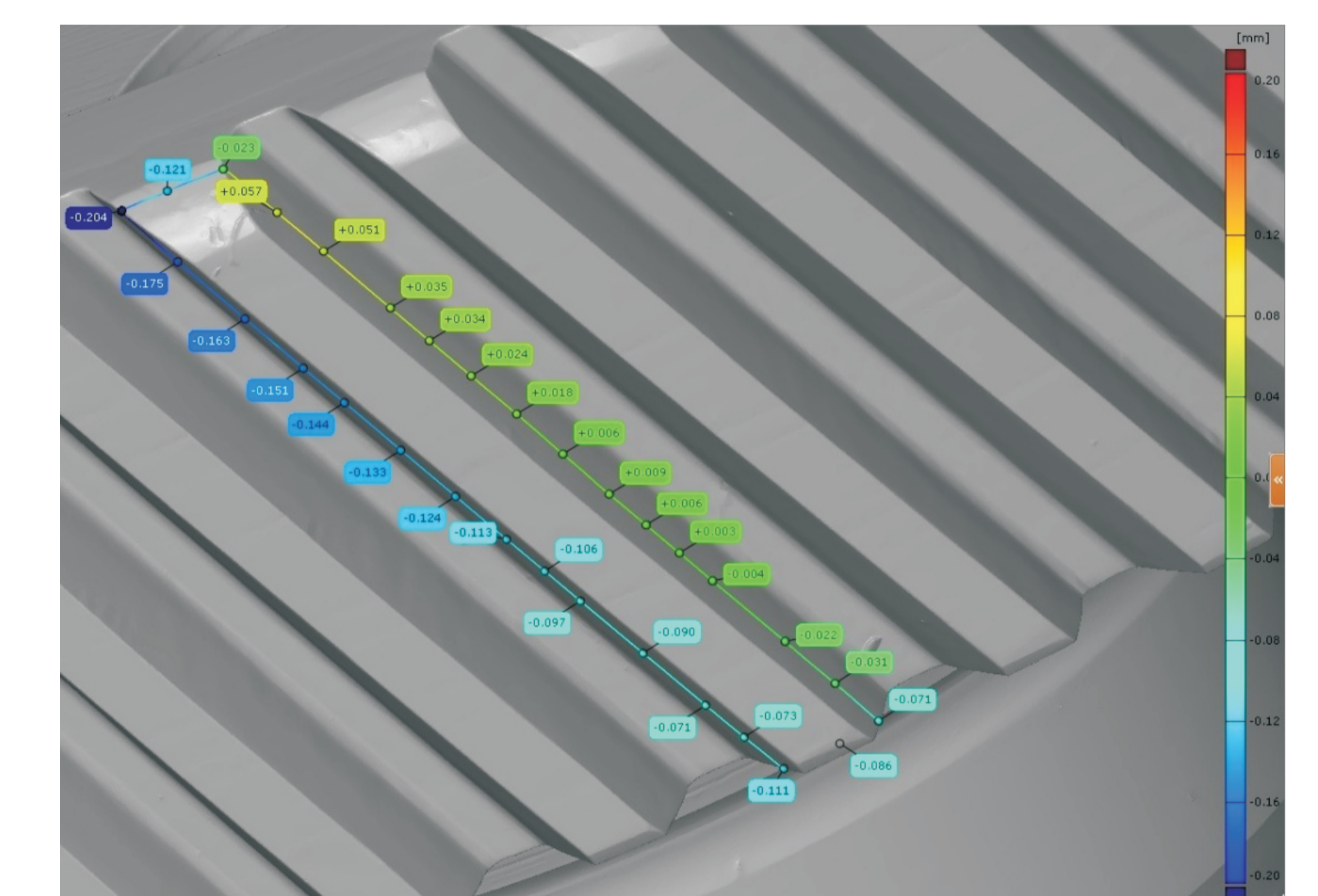
Rys. 13. Przykładowa lokalna analiza odchyłek powierzchni reprezentatywnej boku zęba ze zdefiniowanymi punktami inspekcyjnymi  
Fig. 13. An exemplary local analysis of surface deviations of a representative side of the tooth with defined inspection points



Rys. 14. Rozmieszczenie płaszczyzn przekrojów do analizy zarysu zęba  
Fig. 14. Positioning of cross sections planes for analysis of tooth profile



Rys. 15. Zasada tworzenia geometrii odniesienia do analizy odchyłek linii zęba  
Fig. 15. Creating a reference geometry to analyze the tooth line deviations



Rys. 16. Szczegółowa analiza odchyłek linii zęba z wizualizacją przykładowych wartości  
Fig. 16. Detailed analysis of deviations of the tooth line and visualization of sample values

#### Wnioski Conclusions

Wprowadzenie żeber od strony wewnętrznej kadłubów (wersja B) spowodowało zwiększenie sztywności miejsc osadzenia łożysk w stosunku do wersji podstawowej A średnio o 31%. Natomiast dla pozostałych wersji C, D i E uzyskano odpowiednio zwiększenie sztywności o 40%, 43% i 63% w stosunku do wersji A.

Modyfikowane wersje cechują się zmniejszeniem o 50% poziomu maksymalnego naprężenia. Wprowadzenie żeber usztywniających na kadłubie górnym spowodowało spadek maksymalnych naprężeń na tym kadłubie o 63%, natomiast na kadłubie dolnym o 40%.

Wprowadzenie modyfikacji wpływa także na zmiany częstotliwości drgań własnych kadłubów przekładni. Największe różnice występują dla pierwszych czterech postaci drgań własnych. Średnie wzrosty wartości częstotliwości pierwszych czterech postaci zawierają się w granicach od 34% dla wersji B, C i D i 47% dla wersji E. Wzrosty częstotliwości drgań własnych dla postaci od 5-10 wynoszą w granicach 4-5%.

Zalecane jest zastosowanie wersji E.

Opracowana na potrzeby realizacji zadania badawczego metodyka bezstykowych pomiarów walcowych kół zębatych przekładni z zastosowaniem skanera optycznego 3D, umożliwia szybką i kompleksową weryfikację dokładności wykonania.

Introduction of the ribs from the internal side of the housings (version B) caused an increase in the stiffness of the bearing support areas of the housings in relation to the original version A on average by 31%. For the other versions C, D, and E an increase in stiffness respectively by 40%, 43% and 63% was obtained in relation to version A.

Modified versions have 50% lower value of the maximum equivalent stress. Introduction of the reinforcing ribs on the upper housing caused a decrease in maximum equivalent stress by 63% in the upper housing and by 40% in the lower housing.

Introduction of the modifications has also influence on the changes in natural frequencies of the housings. The biggest differences occur for the first four natural modes. Average increases in the frequencies values for the first four modes are above 34% for versions B, C and D and above 47% for version E. Increases in the values of natural frequencies for modes 5-14 are in the range of 4-5%.

Application of the version E is recommended.

Methodology of contactless measuring of cylindrical gears transmission using 3D optical scanner, developed for the needs of the research task, allows rapid and comprehensive verification of performance accuracy.

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

#### Referaty

1. T. Markowski, G. Budzik, B. Kozik, T. Dziubek, B. Sobolewski: Modelowanie 3D-CAD i szybkie prototypowanie prezentera przekładni planetarnej. Zeszyty naukowe Politechniki Śląskiej, Gliwice 2014, seria: transport z. 83, s.155-162

#### Publikacje

1. G. Budzika, T. Markowski, B. Kozik, Ł. Przesłowski, A. Ruzdicio, O. Markowska, M. Zaborniak, T. Dziubek, J. Bernaczek, P. Turek, J. Traciak, M. Cader, M. Tutak: The Application of VoxJet Technology to the Rapid Prototyping Gear Cast. Archives of Foundry Engineering, vol. 14, Special Issue 1/2014, s. 87-90

#### 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

#### Zgłoszenia patentowe

Bezluzowa przekładnia obiegowa. Zgłoszenia patentowe nr P.406816  
Bezluzowa przekładnia zębata wielodrożna. Zgłoszenia patentowe nr P.408196