

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

Politechnika Rzeszowska, Politechnika Łódzka

#### Wyniki badań

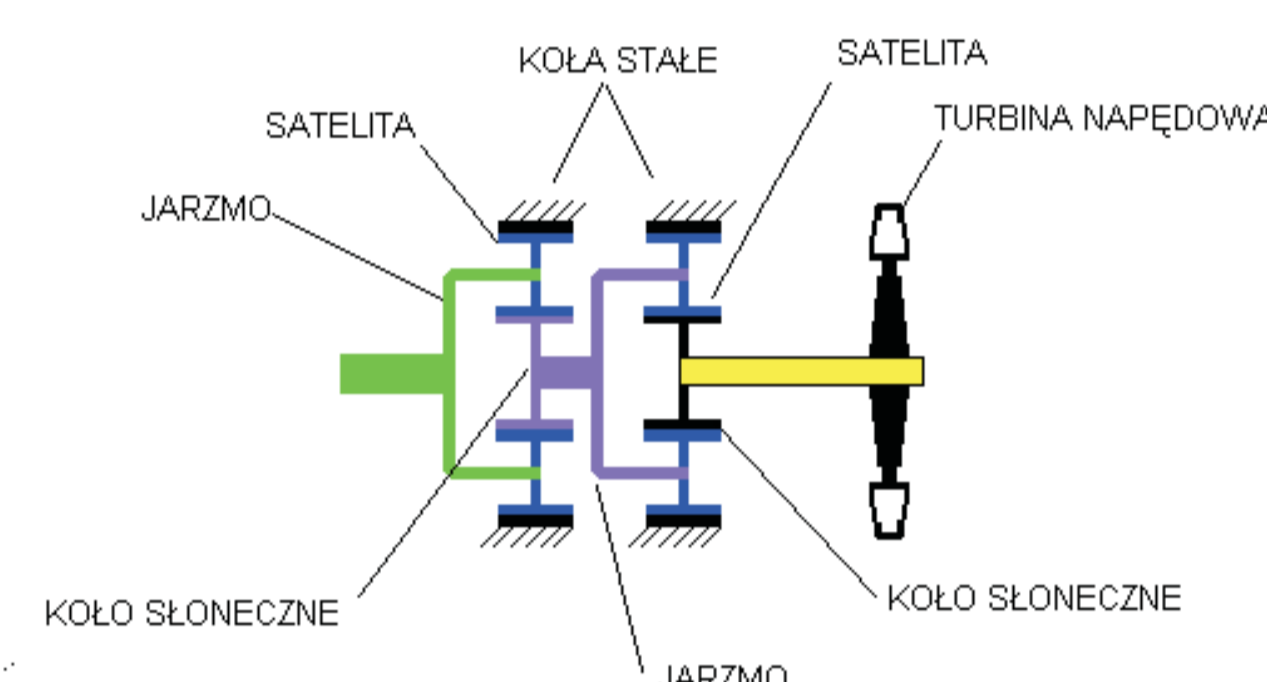
##### Wybrane rozwiązania konstrukcyjne układów napędowych (z przekładniami planetarnymi) stosowanych w przemyśle lotniczym

Na podstawie analizy rozwiązań konstrukcyjnych przekładni planetarnych stosowanych w lotnictwie, a głównie rozwiązań konstrukcyjnych grup przekładni planetarnych stosowanych w nowoczesnych reduktorach śmigłowych oraz silnikach turbośmigłowych wybrano trzy przekładnie, jako propozycje do porównania z nową przekładnią. Są to przekładnie planetarne:

- silnikowe małej mocy (P&WC PT6A) w zakresie 400-1500kW,
- silnikowe dużej mocy 1500-3500kW (Allison T56),
- śmigłowe dużej mocy powyżej 1500kW (przekładnia WR-3 do śmigłowca SOKÓŁ).

Przekładnia planetarna dwustopniowa PT6A jest przekładnią w układzie klasycznym z wejściem napędu na pierwszy stopień przekładni poprzez koło słoneczne. Wyjście z pierwszego stopnia realizowane jest poprzez jarzmo stanowiące jednocześnie koło słoneczne drugiego stopnia. Natomiast wyjście napędu na wał śmigła następuje poprzez jarzmo drugiego stopnia. Schemat kinematyczny przekładni reduktora śmigła pokazano na rysunku 1, a dane techniczne to:

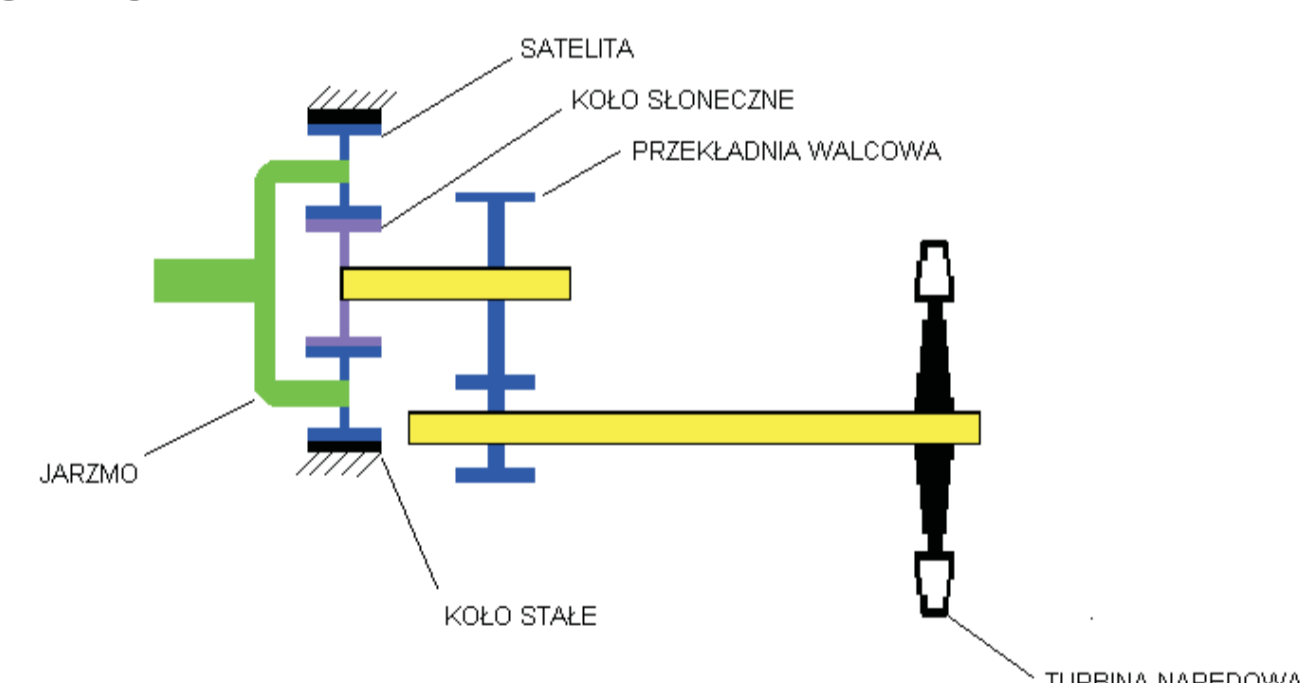
- prędkość wejściowa: 32986 [obr/min],
- przenoszona moc: 505 [kW],
- przełożenie całkowite: 17,36.



Rys. 1. Schemat kinematyczny układu napędowego śmigła w silniku PT6A

Skrzynia przekładniowa silnika RR-Allison T56 składa się z jednostopniowego reduktora walcowego o kołach prostych oraz przekładni planetarnej w układzie klasycznym. Koło zębate napędzane przekładnią walcową połączone jest sprzęgłem zębatym z pływającym kołem słonecznym. Koło słoneczne zazębia się z pięcioma satelitami osadzonymi w łożyskach barykowych podpartych na sworzniach jarzma. Satelity równocześnie współpracują z kołem uzębione wewnętrzne utwierdzone w obudowie przekładni. Jarzmo podparte jest łożyskiem kulkowym i przenosi moc z satelit na wał śmigła. Przekładnia reduktora śmigła pokazana schematycznie na rysunku 2, charakteryzuje się następującymi danymi technicznymi:

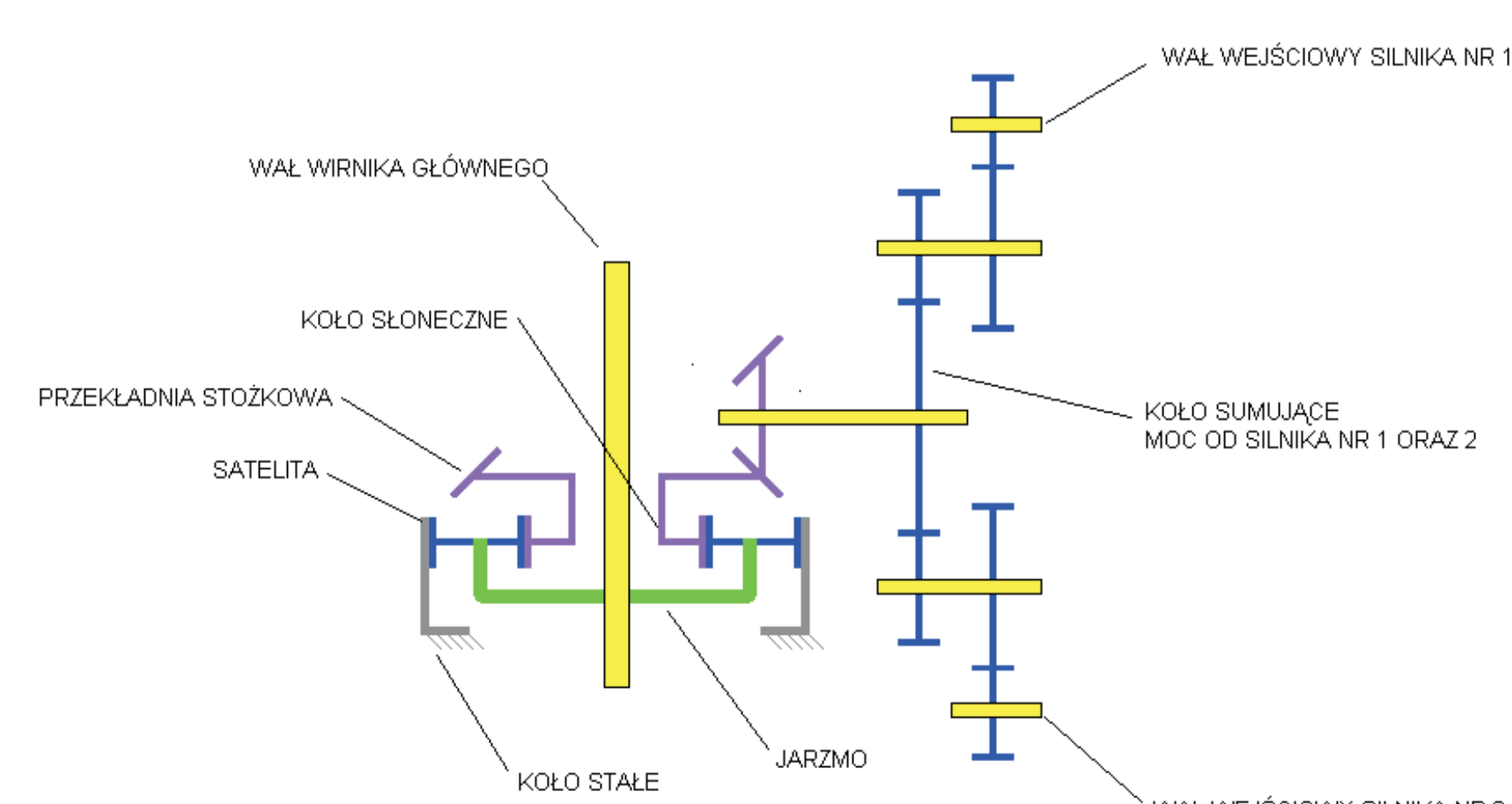
- prędkość wejściowa: 13820 obr/min,
- przenoszona moc: 2980 kW,
- przełożenie całkowite: 13,5416.



Rys. 2. Schemat kinematyczny układu napędowego śmigła silnika RR Allison T56-A-7A.

Przekładnia główna WR-3 zbudowana jest z dwustopniowego reduktora walcowego szybkoobrotowego mającego za zadanie sumowanie mocy pochodzącej od silnika lewego oraz prawego, oraz właściwe rozstawienie silników w kadłubie śmigłowca. Drugi stopień stanowi przekładnia stożkowa, która zmienia kierunek przepływu mocy z kierunku poziomego na pionowy. Ostatni stopień stanowi reduktor planetarny w układzie klasycznym z unieruchomionym kołem stałym. Napęd wchodzi poprzez koło słoneczne w układzie pływającym (bez podparcia w łożyskach). Koło słoneczne wchodzi w zazębienie z pięcioma satelitami podpartymi w łożyskach barykowych. Koła satelitów równocześnie wchodzi w zazębienie z kołem stałym utwierdzone w kadłubie przekładni. Moc odbierana jest z satelitów poprzez jarzmo połączone wielowypustem z wałem wirnika głównego przekładni. Schemat kinematyczny przekładni głównej przedstawia rysunek 3, a jego dane techniczne zebrane poniżej:

- prędkość wejściowa: 22490 [obr/min],
- przenoszona moc: 1340 [kW],
- całkowite przełożenie: 87,92.



Rys. 3. Schemat kinematyczny przekładni głównej śmigłowca W-3A Sokół

##### Analiza narzędzi programowych umożliwiających teoretyczne zaprojektowanie przekładni wielodrożnej z punktu widzenia możliwości przeprowadzenia niezbędnych obliczeń nowej przekładni

Aplikacja umożliwiająca przeprowadzenie niezbędnych obliczeń nowej przekładni oraz jej teoretyczne zaprojektowanie należy do aplikacji jednopłatformowych, nierozproszonych. Jest to zadanie na tyle uniwersalne, że nie wymaga specjalistycznych języków programowania. W związku z tym do analizy wybrano czterech, najpopularniejszych obecnie, przedstawicieli języków programowania C++, Java, Delphi, C#. Kod napisany w C++ był najszybszy we wszystkich testach, posłużył więc, dla łatwiejszego porównania wyników, za punkt odniesienia. Wyniki zapisane jako procentowa ilość czasu wykonania aplikacji zostały przedstawione w poniższej tabeli.

Nazwa testu	Język programowania			
	C++	Java	Delphi	C#
Test kombinowany	100%	227%	119%	130%
Proste operacje arytm.	100%	137%	108%	116%
Normalizacja wektora	100%	298%	120%	168%
Odchylenie standardowe	100%	192%	140%	173%
Średnio	100%	213,5%	121,8%	146,8%

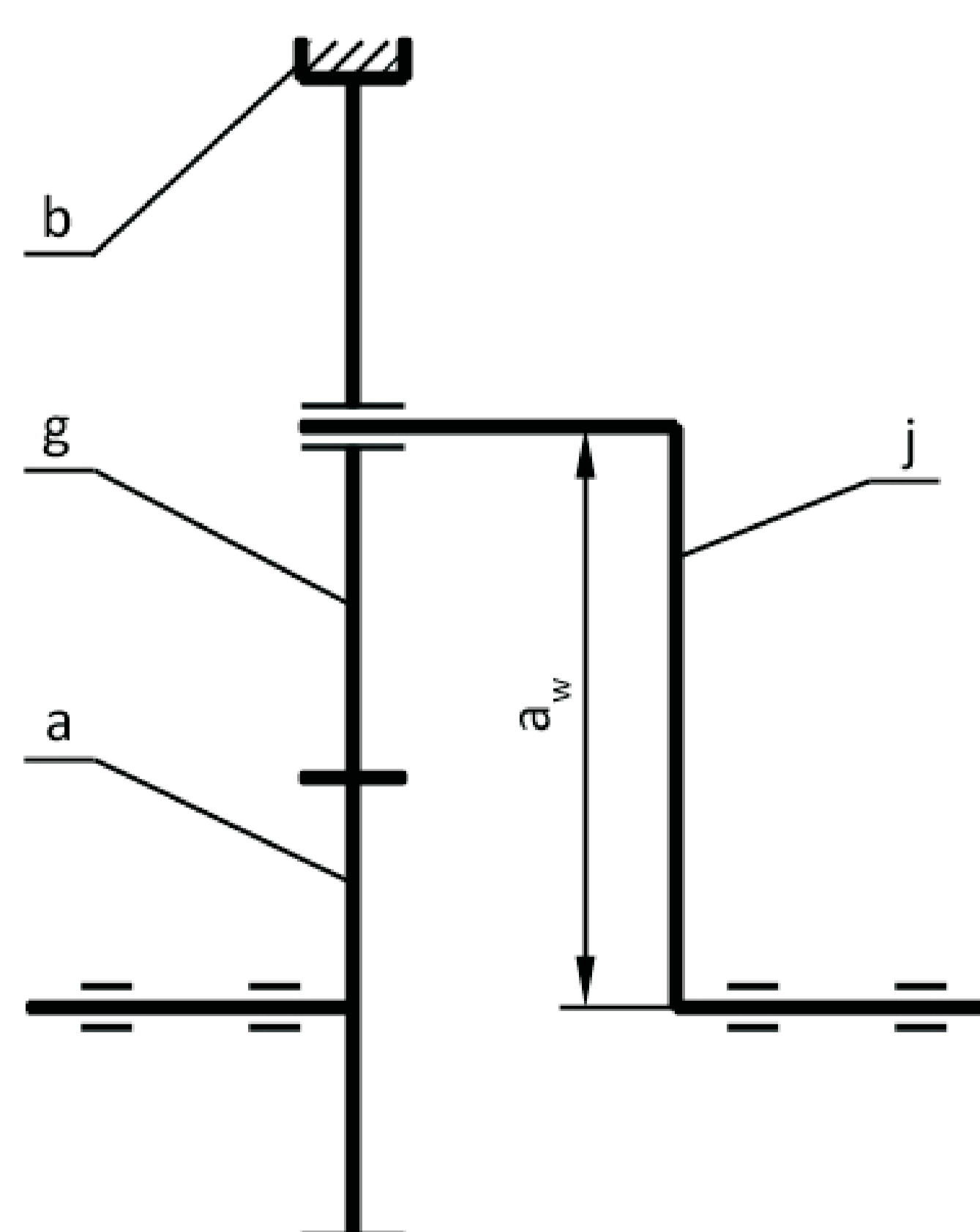
Różnice w uzyskanej wydajności w stosunku do kodu w C++ nie są bardzo znaczące, z wyjątkiem Javy, której czas wykonywania był przeszło dwa razy dłuższy. Mimo tego, w przypadku obliczeń dotyczących przekładni wielodrożnych nawet taka różnica w wydajności nie powinna przełożyć się na negatywne odczucia z korzystania z programu napisanego w tym języku. *Dzisiejsze maszyny, nawet komputery osobiste, uzyskują taką wydajność, że w przypadku zastosowania algorytmów wyciszających parametry przekładni aplikacja i tak powinna działać bardzo szybko.*

Należy również zwrócić uwagę na fakt, że w przypadku innych kryteriów, takich jak rozszerzalność aplikacji czy łatwość ich modyfikowania to najwolniejsze języki: Java oraz C# osiągną lepszy rezultat niż C++ czy Delphi. Jest to spowodowane prostszą składnią oraz prawie pełną ich obiektowością. Fakt, że C++ jest najbardziej wydajnym ze wszystkich testowanych języków nie czyni go jednoznacznie językiem najlepszym.

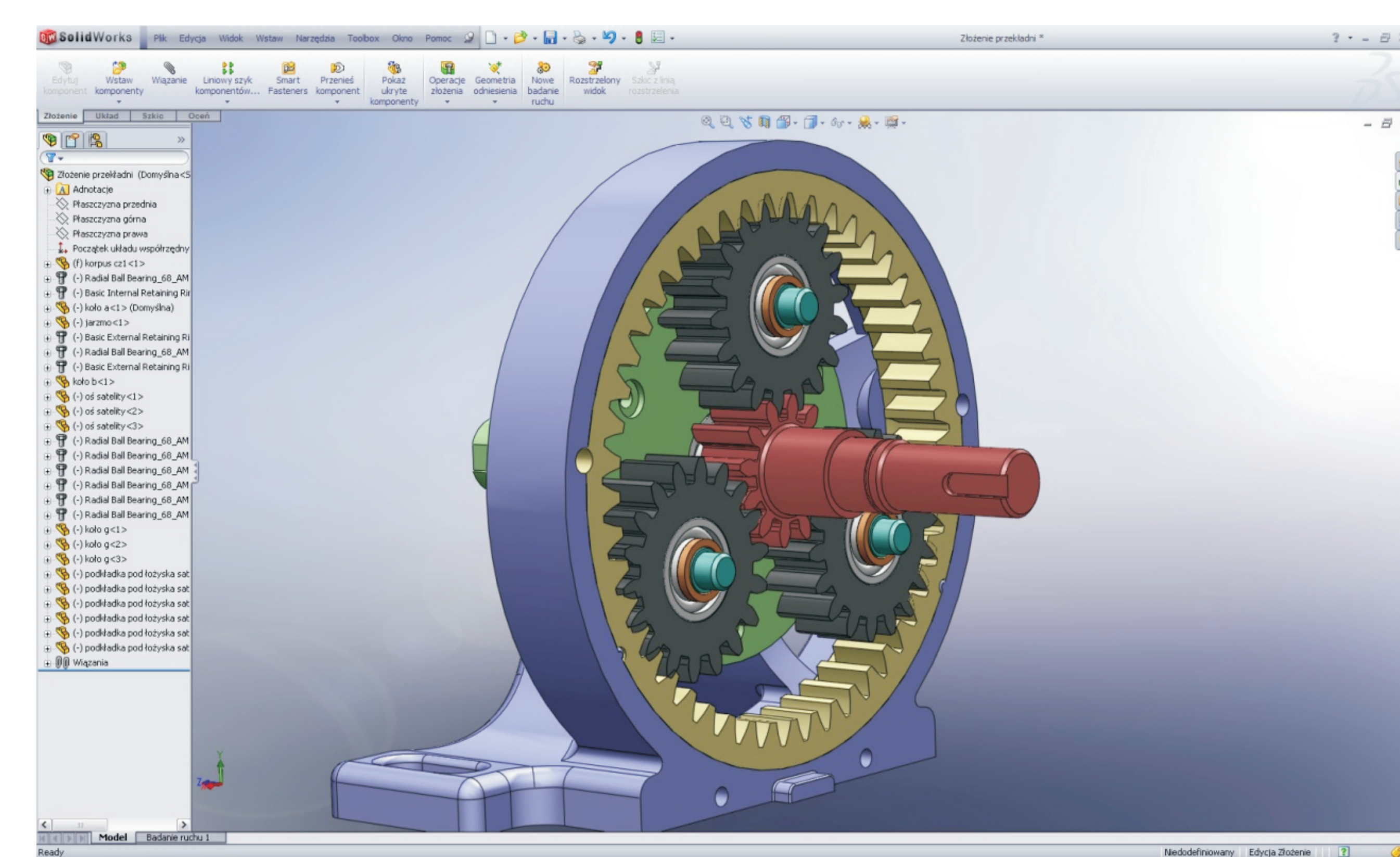
Aby wybrać najkorzystniejszy język programowania spośród wymienionych należy odpowiedzieć na pytanie, które kryteria: wydajnościowe, zmniejszające koszt produkcji, czy zwiększające wygodę użytkownika są najważniejsze dla konkretnego rozwiązania. Z reguły odpowiedzią na to pytanie jest pewien kompromis pomiędzy wszystkimi wymienionymi kryteriami. W przypadku potencjalnego stworzenia aplikacji do przeprowadzania niezbędnych obliczeń przekładni wielodrożnych kryterium wydajnościowe nie jest aż tak kluczowe, dlatego należy skłaniać się ku wyborze nowoczesnych, a zarazem wygodnych zarówno dla twórcy oprogramowania, jak i późniejszego użytkownika rozwiązań. Wobec tego spośród wymienionych wyżej języków najbardziej odpowiednie wydaje się użycie C#, jeśli aplikacja adresowana jest dla platform Windows, bądź Javy, jeśli aplikacja ma być używana na wielu różnych platformach.

Jednak aby obiektywnie i jednoznacznie ocenić, który język jest najbardziej odpowiedni powinny być określone dodatkowe wytyczne. Wyboru obiektywnie najlepszego języka spośród wymienionych można dokonać dopiero po doprecyzowaniu wytycznych, gdyż każdy posiada pewien wachlarz zalet i wad, a w obecnej szerokiej definicji prolemu trudno wskazać te kluczowe.

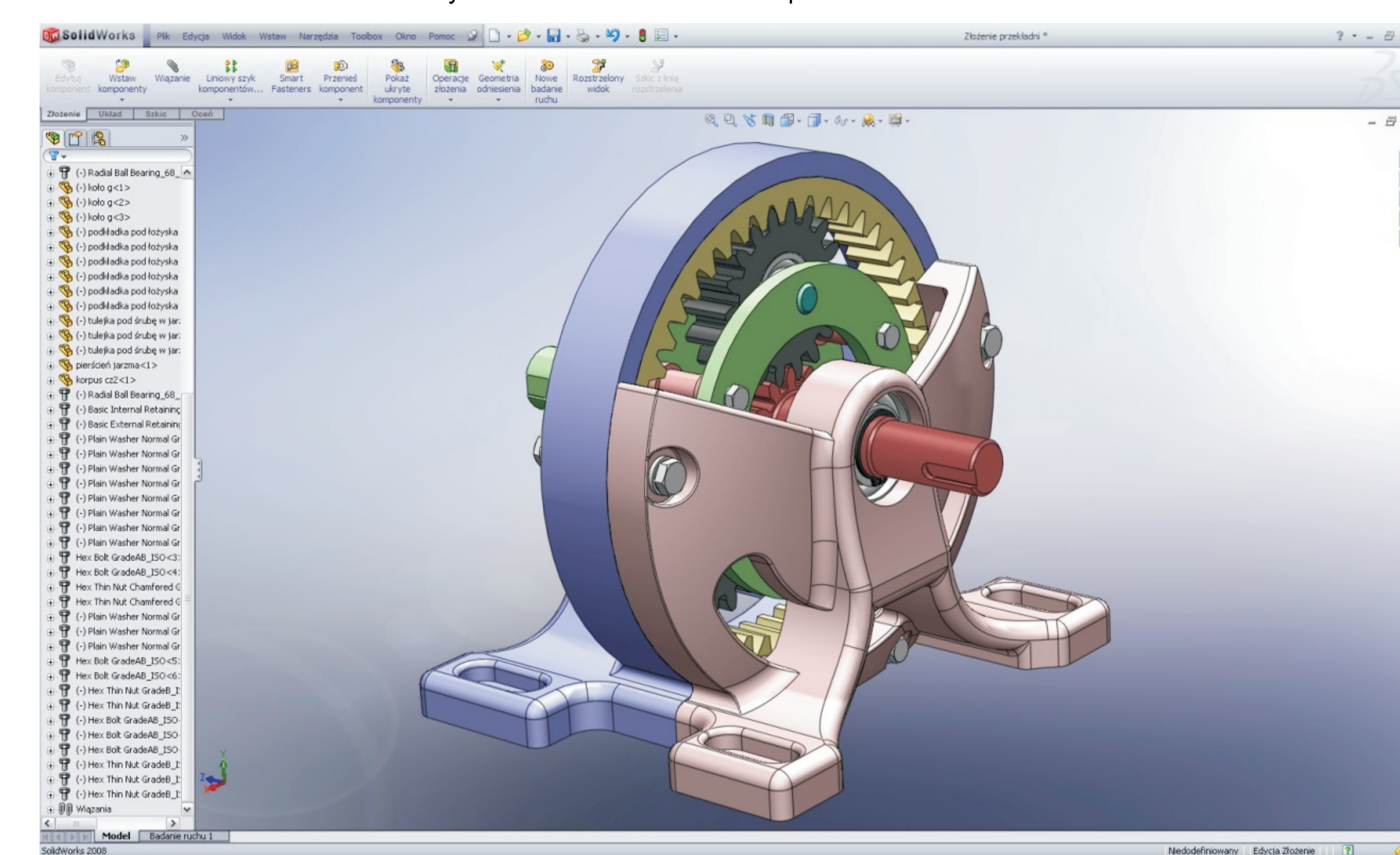
POLITECHNIKA RZESZOWSKA  
Model przekładni planetarnej do badań stanowiskowych  
Atutor: Bartłomiej Żmuda  
Promotor: dr inż. Grzegorz Budzik



Rys. 4. Schemat przekładni:  
a) koło słoneczne, b) koło koronowe,  
g) koło satelitarne, j) jarzmo, aw) odległość osi



Rys. 5. Model 3D-CAD złożenia przekładni



Rys. 6. Model 3D-CAD złożenia przekładni



Rys. 7. Elementy przekładni wykonane metodą 3DP



Rys. 8. Model przekładni wykonany metodą 3DP

#### Przykłady współpracy

- WSK PZL Rzeszów P&WC
- Ultratech Rzeszów

#### Wskaźniki realizacji celów projektu

Prace mgr, dr, hab.

- Praca magisterska (skończona, ale jeszcze nie obroniona)
- Bartłomiej Żmuda: Model przekładni planetarnej do badań stanowiskowych, Promotor: dr inż. Grzegorz Budzik
- Praca doktorska i praca habilitacyjna w przygotowaniu