

Tadeusz MARKOWSKI<sup>1</sup>, Grzegorz BUDZIK<sup>1</sup>, Bogdan KOZIK<sup>1</sup>, Tomasz DZIUBEK<sup>1</sup>,  
Bartłomiej SOBOLEWSKI<sup>1</sup>

## MODELOWANIE 3D-CAD I SZYBKIE PROTOTYPOWANIE PREZENTERA PRZEKŁADNI PLANETARNEJ

**Streszczenie.** Artykuł przedstawia metodykę modelowania i prototypowania prezentacyjnej przekładni planetarnej. Pokazano sposób modelowania hybrydowego uzębienia kół zębatach przekładni. Pierwszym etapem modelowania hybrydowego jest opracowanie geometrii zarysów uzębienia. W drugim etapie modelowania bryłowego zostały wykonane pozostałe elementy geometrii koła zębatego. W kolejnym, przy wykorzystaniu modelowania w zespole, wykonano pozostałe elementy przekładni planetarnej. Następnie otrzymany zespół przed przystąpieniem do wykonywania modelu fizycznego poddano weryfikacji w środowisku numerycznym. Modele bryłowe posłużyły do utworzenia prototypu fizycznego. Prototyp wytworzono z zastosowaniem metody szybkiego prototypowania FDM.

**Słowa kluczowe:** symulacja obróbki, modelowanie 3D, szybkie prototypowanie

## MODELING 3D CAD AND RAPID PROTOTYPING THE PRESENTER PLANETARY GEAR

**Summary.** This paper presents a methodology for modeling and prototyping presentation of the planetary gear. Shown is the way of modeling hybrid transmission gear teeth. The first step is to develop a hybrid modeling the geometry of the teeth profiles. In the second stage, solid modeling has been done other elements of the geometry of the gear. In the following, using modeling as a team made the other elements of the planetary gear. The resulting band before performing a physical model has been verified in CAD software. Solid models were used to perform a physical prototype. The prototype was prepared using FDM rapid prototyping methods.

**Keywords:** machining simulation, 3D modeling, rapid prototyping

### 1. WPROWADZENIE

Ciągły rozwój systemów wspomagania projektowania oraz metod szybkiego prototypowania pozwala na ich wykorzystanie do wytwarzania prototypów badawczych. Proces ten można podzielić na trzy etapy: opracowanie modeli 3D-CAD, obróbkę danych dla potrzeb urządzeń RP oraz wykonanie modeli fizycznych metodami RP.

---

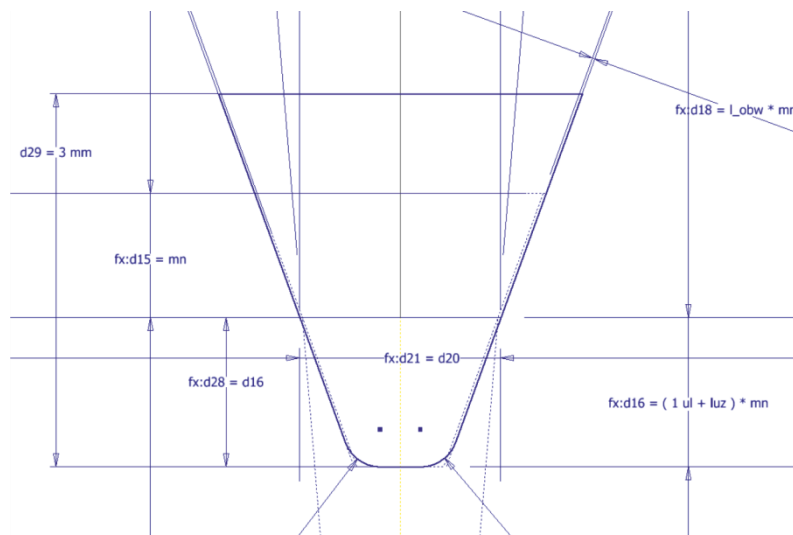
<sup>1</sup> Faculty of Mechanical Engineering and Aeronautics, Rzeszów University of Technology, Rzeszów, Poland

## 2. WYKONANIE MODELI 3D-CAD

Modele badawcze 3D-CAD kół zębatach o zarysie wykonano w procesie trójwymiarowej symulacji obróbki w programie Autodesk Inventor. Ze względu na fakt występowania w przedstawionej w artykule przekładni planetarnej trzech kół zębatach o różnych parametrach opracowano parametryczny model wieńca zębatego.

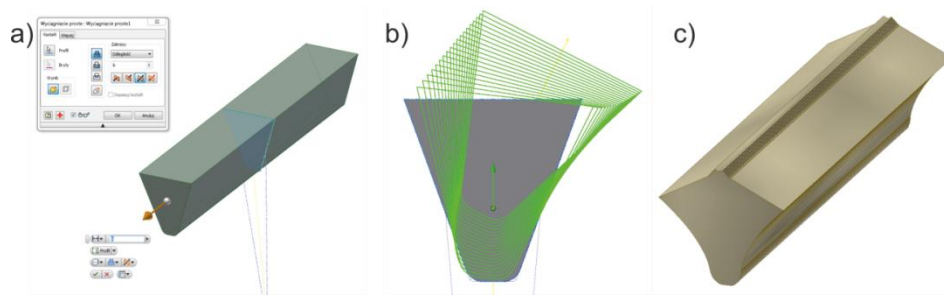
### 2.1 Opracowanie modeli wieńców kół zębatach

Symulacja obróbki metodą Maaga polegała na dyskretnej zmianie wzajemnego położenia narzędzia i koła ruchem wynikającym z kinematyki obróbki [1, 6]. Pierwszym etapem przeprowadzanej symulacji było wykonanie parametrycznego zarysu narzędzia zębatkowego zastosowanego do obróbki koła zębatego (rys. 2.1).



Rys. 2.1. Podstawowe dane przekładni oraz parametryczny szkic narzędzia  
Fig. 2.1. Main data of the gear and parametric sketch of a tool

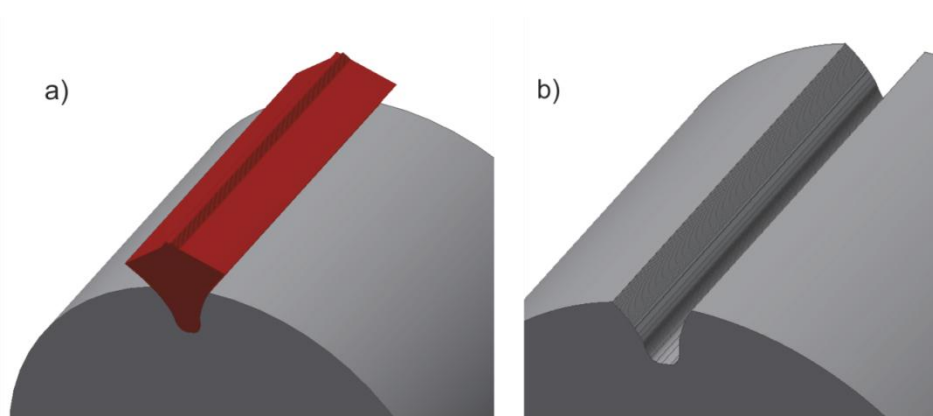
Wygenerowany zarys narzędzia wyciągnięto na długość równą szerokości wieńca koła zębatego (rys. 2.2a), w wyniku czego otrzymano trójwymiarowe narzędzie. Symulacja obróbki polega na dyskretnej zmianie wzajemnego położenia narzędzia i koła ruchem wynikającym z kinematyki rzeczywistej obróbki. W celu wyeliminowania błędów numerycznych oraz uproszczenia modelu obrót obrabianego koła przeniesiono na narzędzie, natomiast koło unieruchomiono. Otrzymany model narzędzia rozmieszczono w kolejnych położeniach dyskretnych (rys. 2.2b i c).



Rys. 2.2. a) Wykonywanie modelu bryłowego narzędzia, b) rozmieszczenie narzędzia w położeniach dyskretnych, c) otrzymana bryła narzędzia

Fig. 2.2. a) Preparing of a solid model of tool, b) Arrangement of tool in discrete positions, c) Finished shape of tool

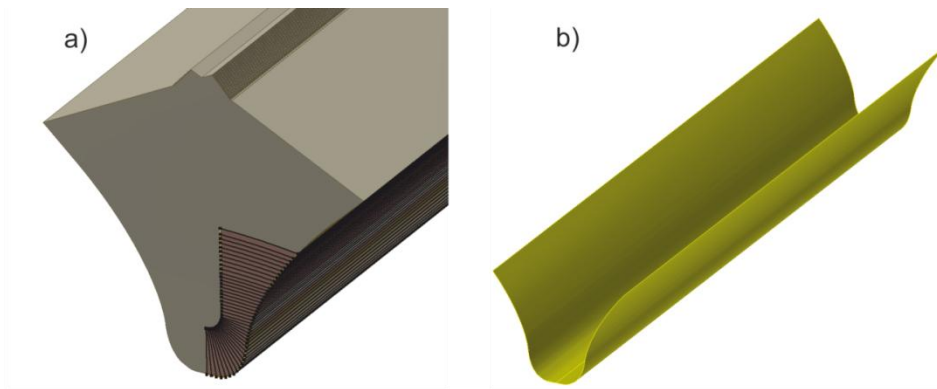
W kolejnym etapie otrzymaną bryłę narzędzia wykorzystano do utworzenia wrębu koła zębatego. Wykonano w tym celu operacje różnicy brył: otoczki obrabianego koła i narzędzia (rys. 2.3a).



Rys. 2.3. Tworzenie modelu bryłowego: a) generowanie wrębu, b) widoczna graniastość otrzymanej powierzchni

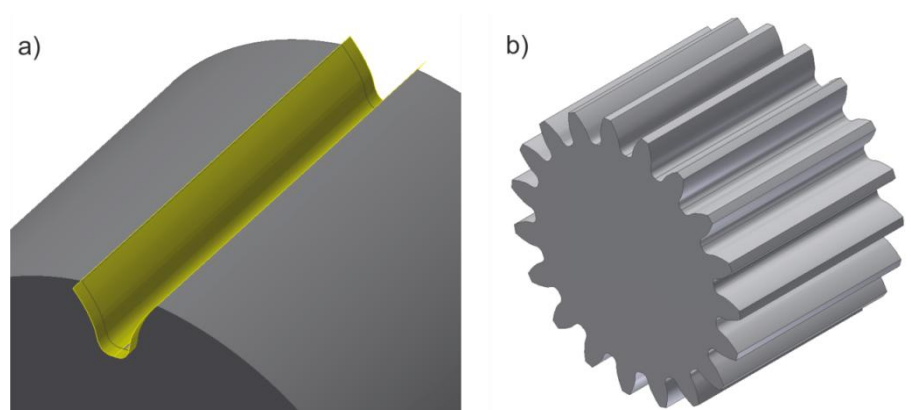
Fig. 2.3. Creating a solid model: a) formation of a notch, b) lobing of the surface visible

Charakterystyczną cechą modeli bryłowych kół zębatych wykonywanych metodą symulacji obróbki jest występowanie zjawiska graniastości powierzchni (rys. 2.3b). Jest to zjawisko niekorzystne ze względu na występowanie dużej liczby mikropowierzchni i związane z tym zwiększone zapotrzebowanie na moc obliczeniową komputera oraz błędy pojawiające się przy wykonywaniu na ich podstawie modeli rzeczywistych metodami RP. W związku z tym konieczne stało się zastąpienie powierzchni graniastej powierzchnią gładką [6]. Etapy tworzenia wygładzonej powierzchni przedstawiono na rys. 2.4.



Rys. 2.4. Etapy tworzenia wygładzonej powierzchni wrębu koła zębatego: a) profile pomocnicze, b) otrzymana powierzchnia  
 Fig. 2.4. The steps of creating a smoothed surface of a gear wheel's notch: a) auxiliary profiles, b) finished surface

Gładką powierzchnię wykorzystano do wygenerowania pojedynczego wrębu (rys. 2.5a), a następnie kompletnego modelu bryłowego wieńca koła zębatego (rys. 2.5b). Otrzymany model jest parametryczny i pozwala na generowanie modeli bryłowych kół zębatych walcowych o zębach prostych dla dowolnych parametrów geometrycznych.



Rys. 2.5. Tworzenie wieńca zębatego koła z wykorzystaniem użytej powierzchni: a) przycięcie powierzchnią, b) otrzymane koło zębate  
 Fig. 2.5. Creating of gear wheel rim using generated surface: a) cropping with the surface, b) finished gear wheel

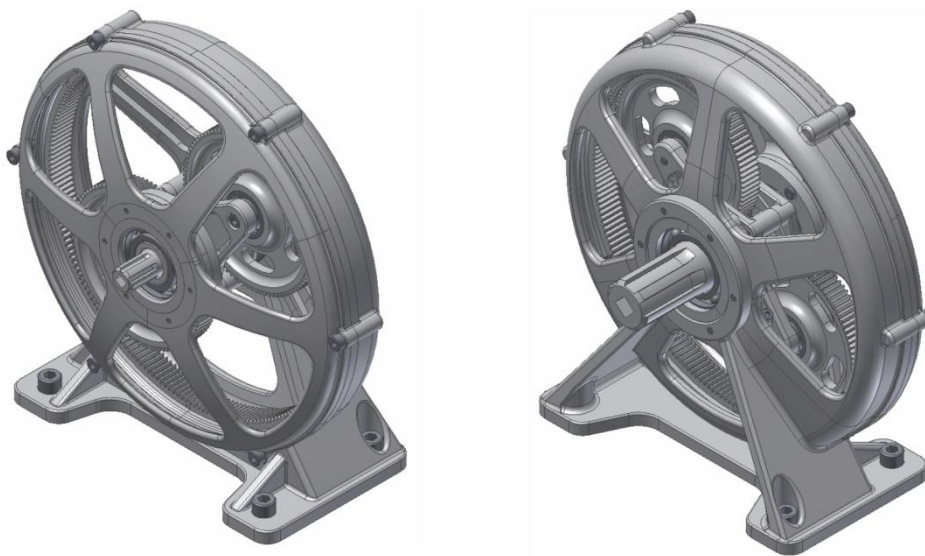
Wykonanie poszczególnych kół zębatych przekładni planetarnej polegało na zmianie parametrów geometrycznych i dodaniu dodatkowych elementów w postaci wałków, czopów łożyskowych itp. W przypadku koła zębatego o uzębieniu wewnętrznym parametryczny model wykorzystano jako narzędzie. Otrzymane modele bryłowe kół zębatych przekładni planetarnej przedstawiono na rys. 2.6.



Rys. 2.6. Otrzymane modele bryłowe kół zębatych przekładni planetarnej  
Fig. 2.6. Finished solid models of gear wheels of the planetary gear

## 2.2. Wykonanie złożenia przekładni planetarnej

Po wykonaniu modeli bryłowych kół zębatych przystąpiono do tworzenia korpusu i jarzma przekładni. Podczas procesu projektowania konieczne było uwzględnienie ograniczeń wynikających z planowanej do zastosowania technologii wykonania modeli rzeczywistych. Wymusiło to podział korpusu na elementy o wymiarach nieprzekraczających obszaru roboczego urządzenia FDM. Korpus oraz jarzmo przekładni planetarnej, podobnie jak koła zębate, wykonano w środowisku programu Inventor. Podczas tworzenia tych elementów wykorzystano możliwość modelowania elementów w zespole. Znaczne ułatwienie stanowiła również bogata biblioteka elementów znormalizowanych. Efekt wykonanych prac przedstawiono na rys. 2.7.



Rys. 2.7. Model 3D-CAD przekładni planetarnej w widokach izometrycznych  
Fig. 2.7. 3D-CAD planetary gear model. Isometric view

Otrzymany model 3D-CAD po przeprowadzeniu wirtualnej analizy poprawności wykonania przekładni mającej na celu wykrycie ewentualnych kolizji wykorzystano do wytworzenia modelu rzeczywistego metodą przyrostową.

### 3. PRZYGOTOWANIE DANYCH NA POTRZEBY URZĄDZEŃ RP

Po wykonaniu modelu bryłowego przekładni planetarnej przystąpiono do utworzenia modelu fizycznego. Zastosowano w tym celu jedną z metod szybkiego prototypowania FDM. Pierwszym etapem było wyeksportowanie plików do formatu STL odpowiedniego dla wykorzystanego urządzenia. Podczas eksportu do formatu STL bardzo ważną rolę odgrywają przyjęte parametry eksportu [2]. Parametry te (rozdzielczość) odpowiadają bezpośrednio za dokładność odwzorowania modeli. Wpływają również na rozmiar otrzymywanych plików.

Kolejny etap przygotowania danych odbywa się w środowisku programu przeznaczonego do obsługi urządzenia RP. W przedstawionym przykładzie wykorzystano program CatalystEX. Po zaimportowaniu plików (rys. 3.1a) i rozmieszczeniu modeli na platformie roboczej program generuje automatycznie konstrukcje podpierające, których zadaniem jest połączenie budowanego modelu z platformą roboczą (rys. 3.1b) Podpory są umieszczane również przez program w miejscach nachylonych pod kątem do płaszczyzny roboczej, jeżeli istnieje zagrożenie odkształcenia modelu. W zależności od złożoności modelu możliwe jest ustawienie gęstości konstrukcji podpierających. Program CatalystEX ma również możliwość ustawienia parametrów gęstości modelu przez rozłożenie ścieżek materiału w poszczególnych warstwach. Możliwe jest również uzyskanie podglądu na kolejne tworzone warstwy (rys. 3.1c)



Rys. 3.1. Obróbka danych w programie CatalystEX: a) import pliku STL, b) generowanie podpór, c) widok pojedynczej warstwy

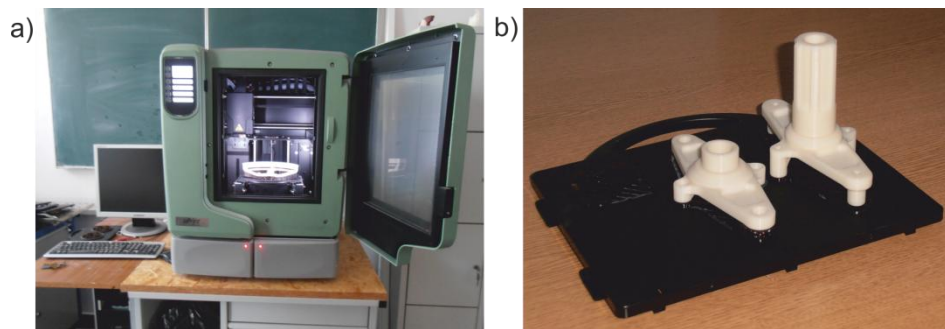
Fig. 3.1. Data processing in CatalystEX program: a) STL file import, b) supports generation, c) single layer view

### 4. WYKONANIE PROTOTYPU METODĄ FDM

Prototyp przekładni planetarnej utworzono z zastosowaniem metody FDM. Fused Deposition Modelling (FDM) jest metodą przyrostową, w której model jest wykonywany przez warstwowe nakładanie termoplastycznego materiału. Prototyp przekładni planetarnej wykonano z zastosowaniem urządzenia U-Print (rys. 4.1a) produkcji Stratasys z materiału ABS.

Stworzone z wykorzystaniem technologii FDM elementy prototypowej przekładni planetarnej na platformie roboczej przedstawiono na rys. 4.1b.

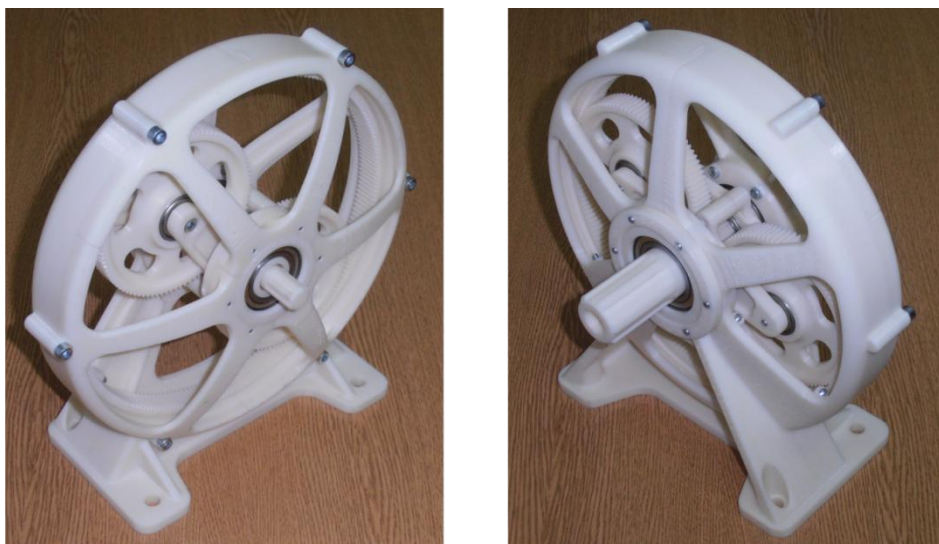




Rys. 4.1. Wykonywanie przekładni planetarnej metodą FDM: a) urządzenie u-Print, b) elementy prototypowej przekładni planetarnej na platformie roboczej

Fig. 4.1. Performing of a planetary gear by the FDM method: a) u-Print device, b) parts of a planetary gear prototype on a work table

W kolejnym etapie oddzielono modele od platform roboczych oraz usunięto podpory. Do usunięcia podpór wykorzystano ultradźwiękowe urządzenie myjące. Następnie niektóre elementy korpusu poddano obróbce mechanicznej polegającej na wykonaniu gwintów w otworach. Po zmontowaniu wszystkich elementów otrzymano prototyp prezentera przekładni planetarnej (rys. 4.2).



Rys. 4.2. Model rzeczywisty przekładni planetarnej

Fig. 4.2. Real model of a planetary gear

## 5. WNIOSKI

Zastosowanie systemów CAD w połączeniu z metodami szybkiego prototypowania stanowi bardzo pożyteczne i efektywne narzędzie pozwalające na wykonywanie prototypów bezpośrednio przeznaczonych do badań. Systemy 3D-CAD dają możliwość modelowania różnych rodzajów kół zębatach. Możliwa jest również modyfikacja zarysów zębów, która nie jest osiągalna tradycyjnymi metodami obróbki skrawaniem.

Wykonywanie prototypów metodami RP pozwala na szybkie tworzenie kół zębatach z różnych materiałów o dowolnie zamodelowanej geometrii.

*Badania realizowane w ramach projektu „Nowoczesne technologie materiałowe stosowane w przemyśle lotniczym”, Nr POIG.01.01.02-00-015/08-00, w Programie Operacyjnym Innowacyjna Gospodarka (PO IG). Projekt współfinansowany przez Unię Europejską ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego.*

## **Bibliografia**

1. Budzik G., Pisula J., Dziubek T., Sobolewski B., Zaborniak M.: Zastosowanie systemów CAD/ RP/ CMM w procesie prototypowania kół zębatych walcowych o zębach prostych, *Mechanik*, nr 12/2011, s. 988.
2. Budzik G., Markowska O., Markowski T.: STL files parameters on the selective objects for rapid prototyping. The 2nd International Conference on Additive Technologies, DAAAM Specialized Conference, iCAT 2008 Ptuj, Slovenia.
3. Markowski T. i inni: Przekładnie zębate o nietypowym zazębieniu – modelowanie, prototypowanie, badania stanowiskowe. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2009.
4. Pisula J.: Matematyczny model geometrii uzębienia i zazębienia kół walcowych kształtowanych obwiedniowo. Rozprawa doktorska, Rzeszów 2006.
5. Sobolak M.: Analiza i synteza współpracy powierzchni kół zębatych metodami dyskretnymi. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2006.
6. Sobolewski B., Zaborniak M.: Modelowanie uzębień kół zębatych walcowych i stożkowych metodą symulacji obróbki. III Międzyuczelniane Seminarium Studentów i Studenckich Kół Naukowych „Inżynieria Wytwarzania”, Kalisz, 1-2.12.2010.