

Nowoczesne technologie materiałowe stosowane w przemyśle lotniczym

Modern material technologies in aerospace industry



KONFERENCJA
RADY PARTNERÓW CZT AERONET
i PANELE EKSPERTÓW
25-26 Maja 2015

ZB 3

Opracowanie technologii efektywnego projektowania i produkcji przekładni stożkowych z wykorzystaniem systemu Phoenix firmy Gleason

Development of the technology of effective design and production of spiral bevel gears using Gleason Phoenix system

Politechnika Rzeszowska, Politechnika Warszawska

Wyniki badań Results

Testowanie systemu KONTEPS do obliczeń konstrukcyjno-technologicznych przekładni stożkowych

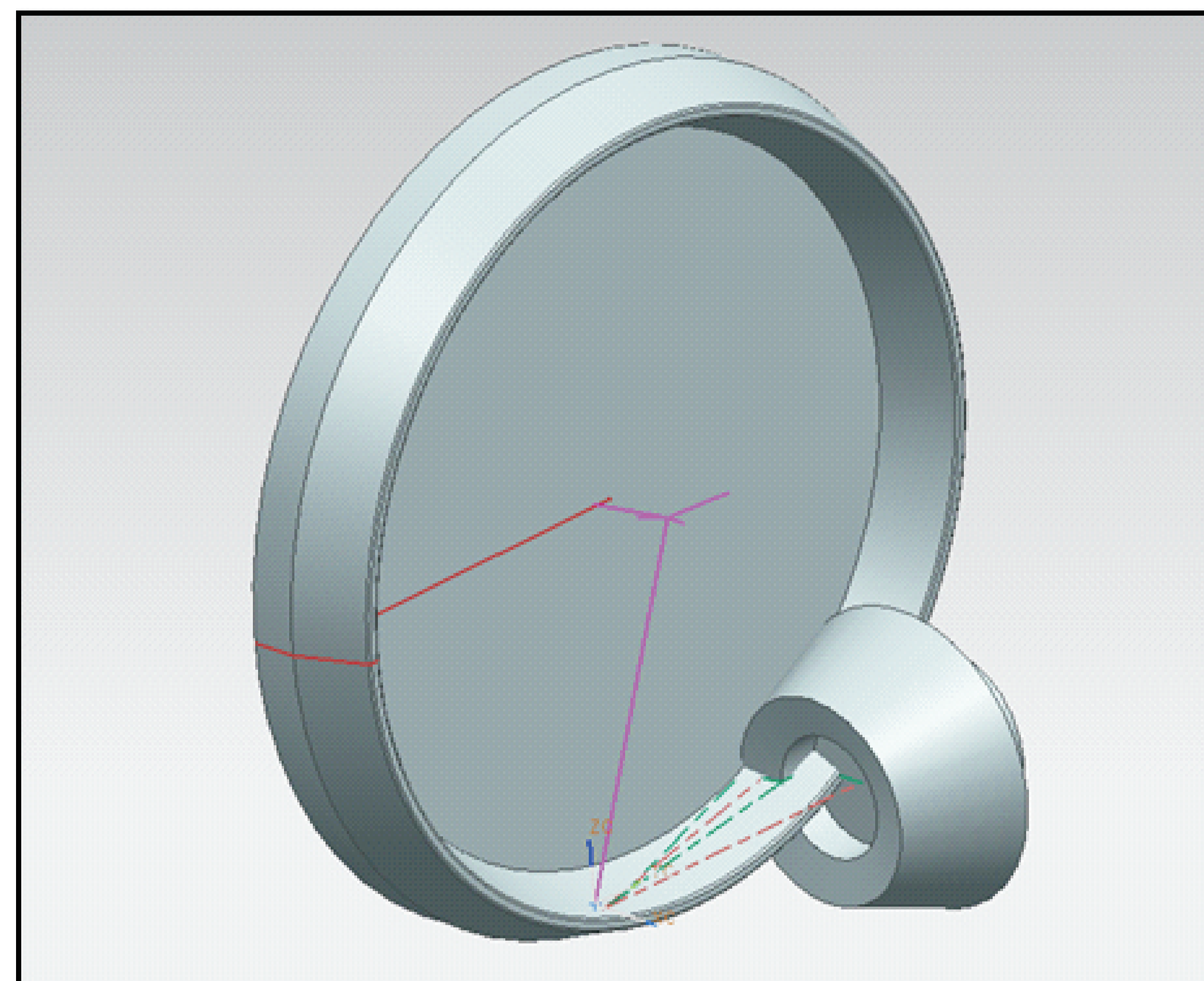
Testing of KONTEPS system for design and technological calculations for spiral bevel gears

System KONTEPS wzbogaca o kolejną aplikację ułatwiającą projektowanie przekładni stożkowych. Przeprowadzono badania automatycznego generowania powierzchni typu NURBS przy pomocy opracowanej, specjalnej aplikacji napisanej w języku C#. Aplikacja ta zastępuje ręczną aproksymację powierzchni bocznej zęba otrzymaną w wyniku symulacji obróbki. Kolejnym krokiem będzie zbadanie dokładności aproksymacji powierzchni. KONTEPS system enhanced with another application which support designing of spiral bevel gears. Research carried out automatically generate NURBS surfaces such as using developed, special application written in C#. This application is replaced manual approximation of the tooth flank obtained by machining simulation. The next step will be to investigate the accuracy of the approximation surface.

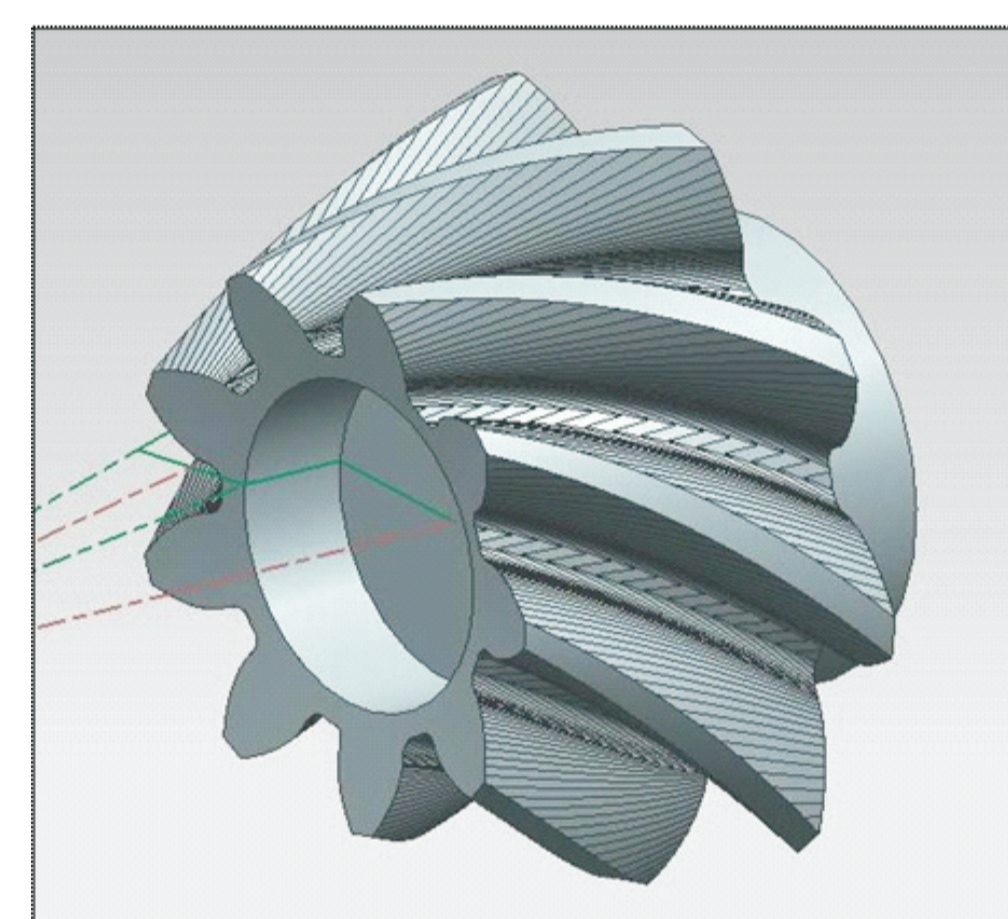
Tabela 1. Przykłady analizowanych przekładni stożkowych
Table 1. Samples of the analyzed spiral bevel gears

*****	INSTYTUT PODSTAW BUDOWY MASZYN
* Z T P S *	POLITECHNIKA WARSZAWSKA
*****	02-524 WARSZAWA UL. NARBUTTA 84
OBLICZENIA PRZEKŁADNI STOŻKOWEJ O KOŁOWO-LUKOWEJ LINII ZĘBA	STR. 1
PRZEKŁADNIA: 9/40	
DANE DO OBLICZEN GEOMETRYCZNYCH:	
LICZBA ZĘBOW ZĘBNIKA	Z1 9
LICZBA ZĘBOW KOŁA DUŻEGO	Z2 40
ZEWNETRZNA ŚREDNICA PODZIAŁOWA KOŁA	D2E 102.200
ŚREDNICA GŁOWICY NOZOWEJ	D0 88.900
KĄT OSI	SIGMA 90.0' 0"
KIERUNEK POCHYLENIA LINII ZĘBA ZĘBNIKA	LZZ PRAWY
KIERUNEK OBRÓTOW ZĘBNIKA	LOZ LEWY
KĄT POCHYLENIA LINII ZĘBA	BET 35.0' 0"
ŚREDNI KĄT ZARYSU NOZY GŁOWICY	ALFA 20.0' 0"
SZEROKOŚĆ WIENCA ZEBATEGO	B 16.000
ZEWNETRZNY NORMALNY LUZ OBWODOWY	JN 0.080 - 0.130
RODZAJ ZBIĘŻNOŚCI ZĘBA	TRL
ŚREDNIA CZYNNA WYSOKOŚĆ ZĘBA	HW 3.360
ŚREDNIA WYSOKOŚĆ GŁOWY ZĘBA KOŁA	HA2 0.950
LUZ WIERZCHOŁKOWY	C 0.520
SUMA KĄTÓW STOP ZĘBNIKA I KOŁA	STETA 6.30' 0"
DANE DO OBL. NOZY:	*PRZYJĘTE PRZEZ PROGRAM*
ZEWNETRZNA CZOŁOWA GRUBOŚĆ ZĘBA KOŁA	STZE 3.224
SZER. ROZSTAWIENIA NOZY DO OBR. WYK. KOŁA	W2 1.067
MINIMALNY NADDATEK-OBRÓBKA WYK. ZĘBN.	SMIN1 0.381
MINIMALNY NADDATEK-OBRÓBKA WYK. KOŁA	SMIN2 0.381
WYMIARY NOZY	STANDARDOWE
DANE DO OBLICZEN WYTRZYMAŁOŚCIOWYCH:	
MATERIAŁ ZĘBNIKA	STAL NAWĘGLANA UTW. POWIERZCHN.
MATERIAŁ KOŁA	STAL NAWĘGLANA UTW. POWIERZCHN.
MAKSYMALNY MOMENT OBRÓTOWY NA ZĘBNIKU MMY1	100.000
ZASTĘPCZY MOMENT UŻYTECZNY NA ZĘBNIKU	MZ1 100.000
PREDKOŚĆ OBRÓTOWA ZĘBNIKA	N1 1000.000
ZAST. PREDKOŚĆ OBR. ZĘBNIKA - ZŁAMANIE	NZ1 1000.000
ZAST. PREDKOŚĆ OBR. ZĘBNIKA - NACISKI	NP1 1000.000
WSPÓŁCZYNNIK BEZPIECZEŃSTWA NA ZŁAMANIE	SF 1.000
WSPÓŁCZYNNIK BEZPIECZEŃSTWA NA NACISKI	SH 1.000
WSPÓŁCZYNNIK PRZECIĄŻENIA	KO 1.000
GRANICA ZMECZENIA NA ZGINANIE ZĘBNIKA	ZG11 207.000
GRANICA ZMECZENIA NA ZGINANIE KOŁA	ZG12 207.000
DOPUSZCZALNE NACISKI NA POW. ZĘBA	PODOP 1726.600
DOPUSZCZALNA TEMPERATURA NA ZATARCIE	TZD 649.000
KLASA DOKŁADNOŚCI WYKONANIA KÓŁ WG PN	KD 7
CHROPOWATOŚĆ POWIERZCHNI ZĘBA	RA 1.000
TEMPERATURA OLEJU W ZBIORNIKU	TOL 70.000
MAKSYMALNA ODCHYLKA OD USTAWIENIA BAZOWYCH	X 0.010
WSKAZNIK POŁOŻ. PUNKTU PRZYŁOŻENIA SIŁY F	ZADAWANY PRZEZ PROGRAM
DANE DO OBL. TECHNOLOGICZNYCH (BAZOWYCH):	*METODA SFM*
STRONA ZĘBA	WKLESŁA WYPUKŁA
KĄT ZARYSU NOZY-OBRZGR.+WYK. KOŁA	ALF2 20.0' 20.0'
KĄT ZARYSU NOZY-OBRZGR.ZĘBNIKA	AF1Z 20.0' 20.0'
KĄT ZARYSU NOZY-OBR.WYK.ZĘBNIKA	ALF1 20.0' 20.0'
WSPÓŁCZYNNIK DŁUGOŚCI ŚLADU WSPÓLPR.	P3B 0.36 0.36
SUMARYCZNY WSP. BECZKOWATOŚCI	KP 8.00 5.00
POPR. KĄT STOZKA PODZIAŁOWEGO	P3DEL2 0.0' 0.0'
POPR. PRZESUNIĘCIA HIPOIDALNEGO	P3A 0.00 0.00
*****	INSTYTUT PODSTAW BUDOWY MASZYN
* Z T P S *	POLITECHNIKA WARSZAWSKA
*****	02-524 WARSZAWA UL. NARBUTTA 84
PRZEKŁADNIA: 9/40	
RODZAJ ZBIĘŻNOŚCI ZĘBA	TILTED ROOT LINE
KĄT OSI	SIGMA 90.0' 0"
SUMA KĄTÓW STOP OBLICZANEJ PRZEKŁADNI	STET 6.30' 0"
SUMA KĄTÓW STOP ZBIĘŻNOŚĆ STANDARD	STETFS 5.40' 29"
SUMA KĄTÓW STOP ZBIĘŻNOŚĆ DUPLEX	STETFD 6.16' 4"
WYNIKI OBLICZEN GEOMETRYCZNYCH:	
PRZEŁOŻENIE PRZEKŁADNI	U 4.444
ŚREDNI KĄT ZARYSU NOZY	ALFA 20.0' 0"
ŚREDNICA GŁOWICY NOZOWEJ	D0 88.900
SZEROKOŚĆ WIENCA ZEBATEGO	B 16.000
LUZ WIERZCHOŁKOWY	C 0.520
ZĘBNIK KOŁO	
LICZBA ZĘBOW	Z 9 40
KIERUNEK POCHYLENIA LINII ZĘBA	LZZ LEWY PRAWY
KĄT STOZKA PODZIAŁOWEGO	DEL 12.40' 49"
KĄT STOZKA GŁÓW	DELA 17.03' 21"
KĄT STOZKA STOP	DEL2 10.30' 32"
KĄT GŁOWY ZĘBA	TETA 4.19' 42"
KĄT STOPY ZĘBA	TETF 2.10' 18"
ODL. WIERZCH. STOZKA GŁÓW OD PŁOSIOWEJ	LWA -3.248 -0.746
ODL. WIERZCH. STOZKA PODZ. OD PŁOSIOWEJ	LW 0.000 0.000
ODL. WIERZCH. STOZKA STOP OD PŁOSIOWEJ	LWF 1.170 0.450
NA ZEWNETRZNEJ STRONIE WIENCA ZEBATEGO	
MODUŁ CZOŁOWY	MTE 2.555
MODUŁ NORMALNY	MNE 1.937
DŁUGOŚĆ TWORZĄCEJ STOZKA PODZIAŁOWEGO	RE 52.377
KĄT POCHYLENIA LINII ZĘBA	BETE 40.42' 28"
WYSOKOŚĆ GŁOWY ZĘBA	HAE 3.016 1.253
WYSOKOŚĆ STOPY ZĘBA	HFE 1.773 3.536
ŚREDNICA OKREGU PODZIAŁOWEGO	DE 22.995 102.200
ŚREDNICA OKREGU GŁÓW	DAE 28.879 102.750
ODŁOKREGU GŁÓW OD WIERZCHOŁKA STOZKA	LAE 50.438 10.275
W ŚRODKU SZEROKOŚCI WIENCA ZEBATEGO	
MODUŁ CZOŁOWY	MT 2.165
MODUŁ NORMALNY	MN 1.773
DŁUGOŚĆ TWORZĄCEJ STOZKA PODZIAŁOWEGO	R 44.377
KĄT POCHYLENIA LINII ZĘBA	BET 35.0' 0"
WYSOKOŚĆ GŁOWY ZĘBA	HA 2.410 0.950
WYSOKOŚĆ STOPY ZĘBA	HF 1.470 2.930
ŚREDNICA OKREGU PODZIAŁOWEGO	D 19.483 86.590
NA WEWNĘTRZNEJ STRONIE WIENCA ZEBATEGO	
MODUŁ CZOŁOWY	MTI 1.775
MODUŁ NORMALNY	MNI 1.537
DŁUGOŚĆ TWORZĄCEJ STOZKA PODZIAŁOWEGO	RI 36.377
KĄT POCHYLENIA LINII ZĘBA	BETI 29.59' 48"
WYSOKOŚĆ GŁOWY ZĘBA	HAI 1.804 0.647
WYSOKOŚĆ STOPY ZĘBA	HFI 1.167 2.324
ŚREDNICA OKREGU PODZIAŁOWEGO	DI 15.971 70.980
ŚREDNICA OKREGU GŁÓW	DAI 19.492 71.264
ODŁOKREGU GŁÓW OD WIERZCHOŁKA STOZKA	LAI 35.094 7.354

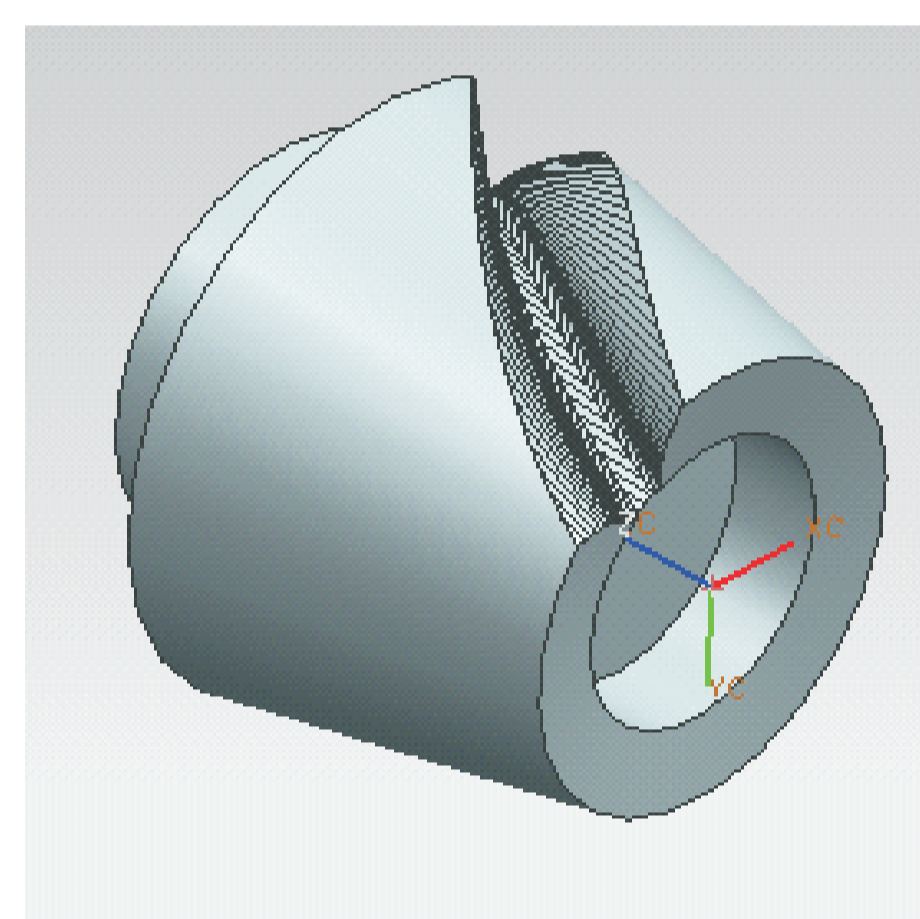
Wyniki badań Results



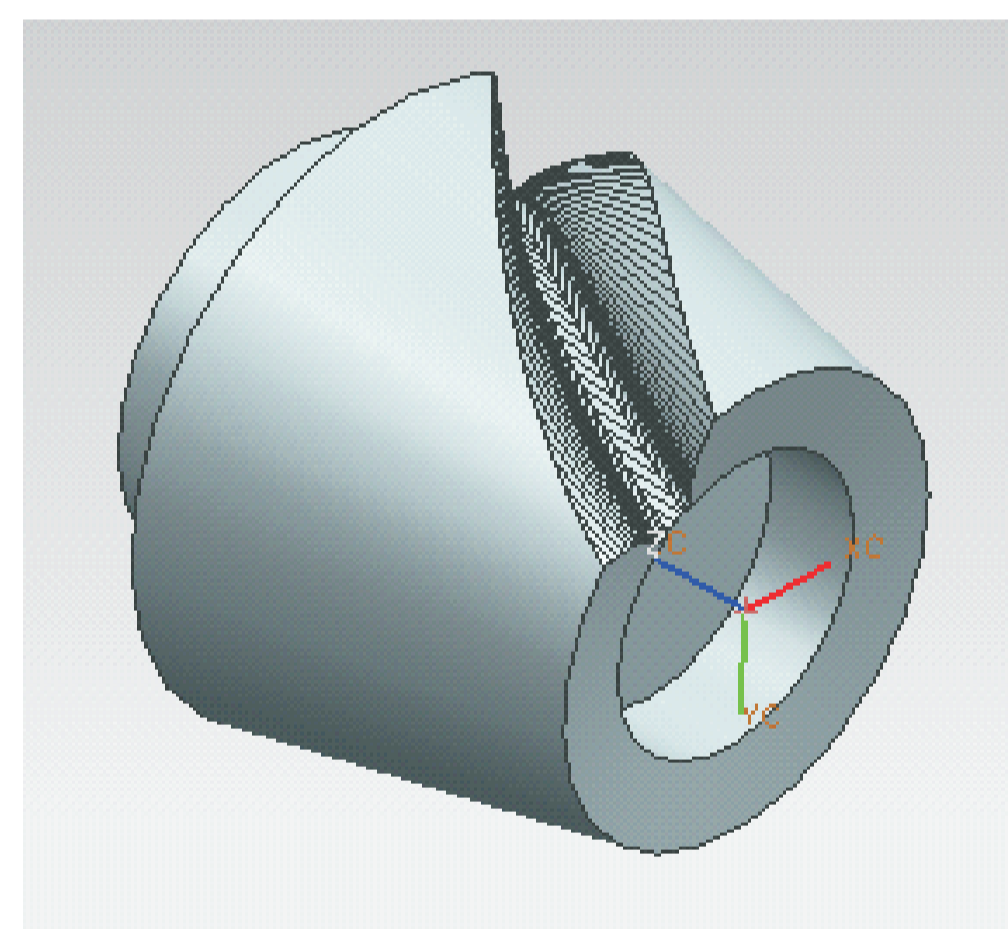
Rys.1. Wygenerowana w systemie NX czółowa głowica frezowa i otoczka zębnika. Symulacja obróbki.
Fig.1. Generated in NX system milling cutter head and pinion blank. Cutting simulation.



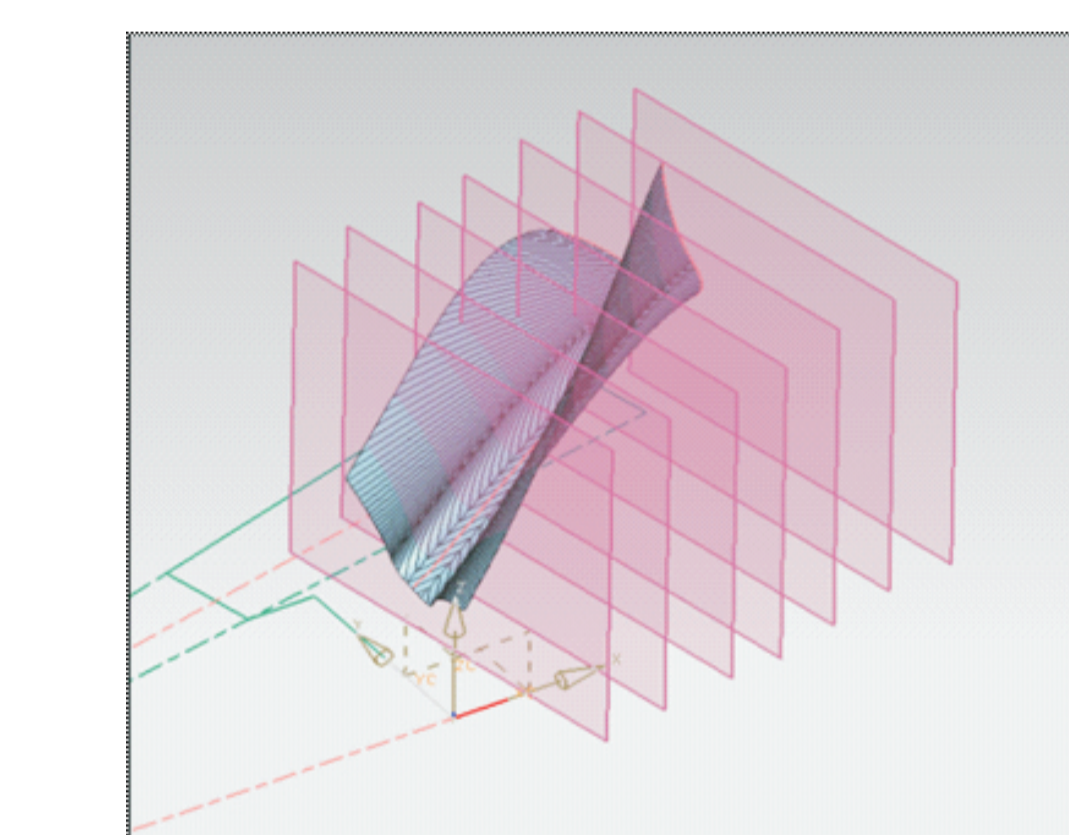
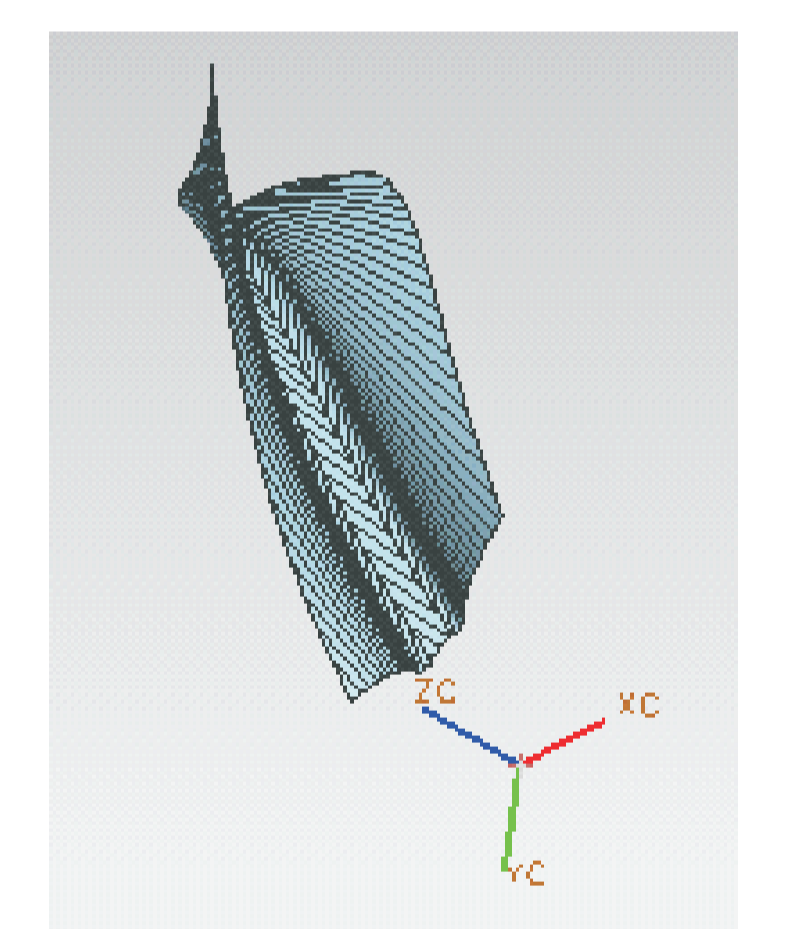
Rys.2. Model brylowy zębnika
Fig.2. Pinion solid model



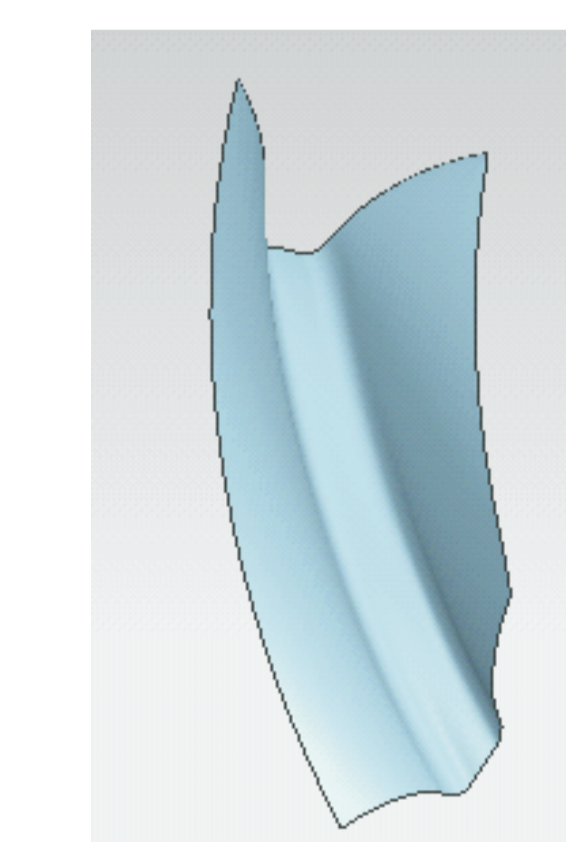
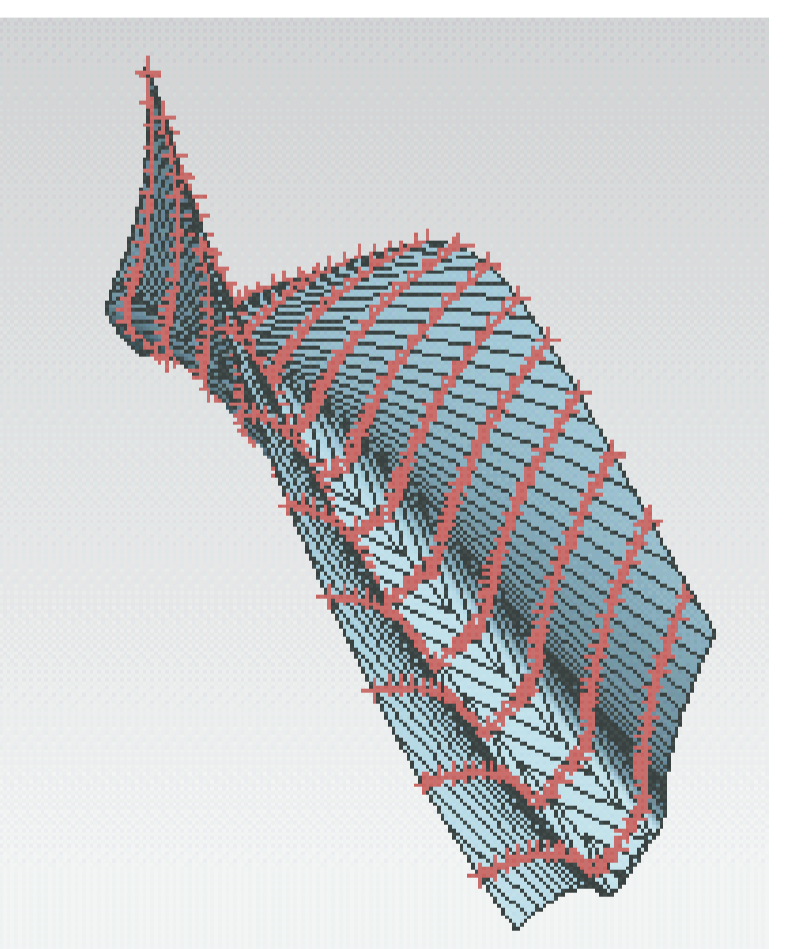
Rys.3. Mikropowierzchnie łuki międzyzębnej
Fig.3. Microsurfaces in tooth space



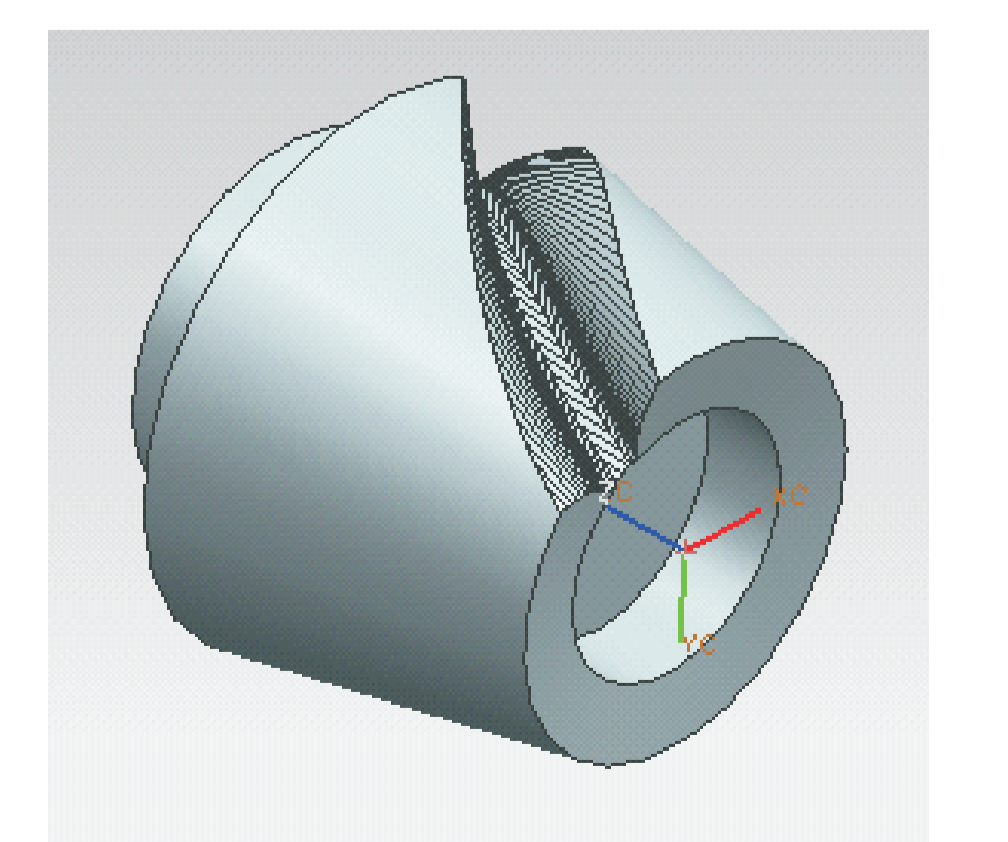
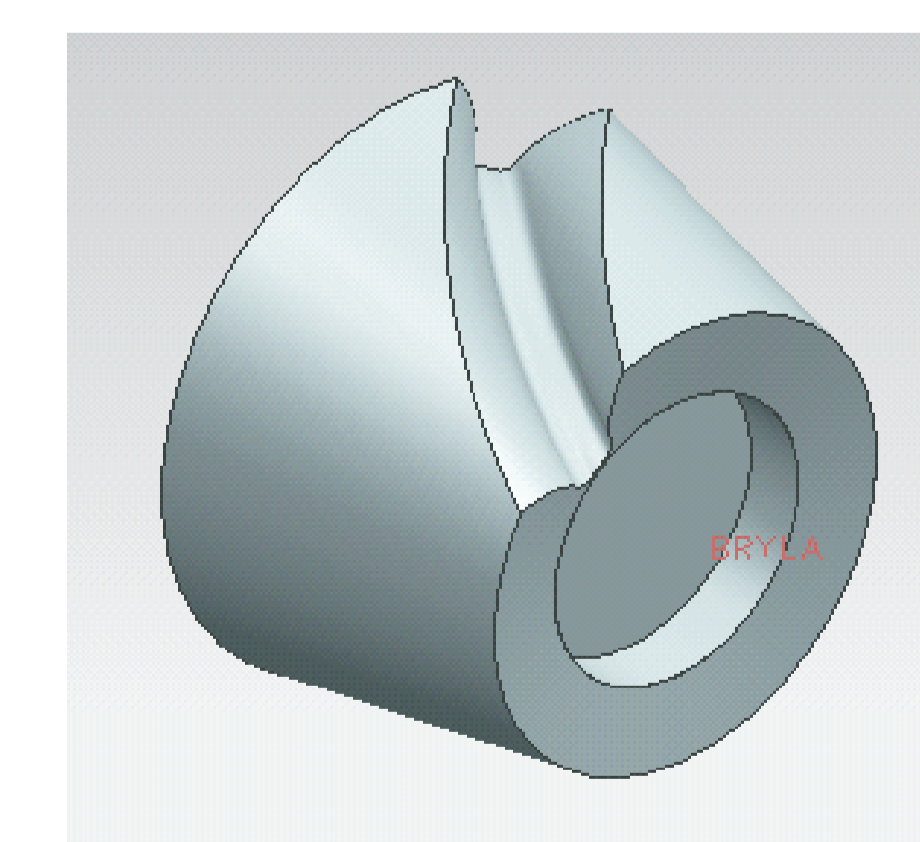
Rys.4. Operacja wydzielenia powierzchni łuki międzyzębnej
Fig.4. Operation of separation of the tooth space



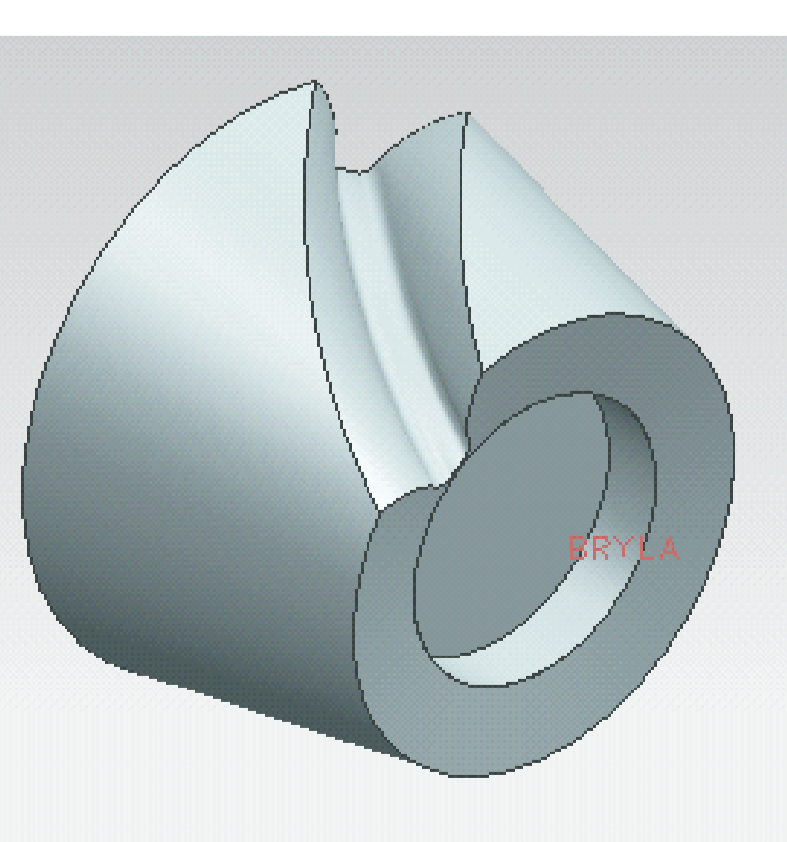
Rys.5. Tworzenie przekrojów wzdłuż linii zęba oraz aproksymacja chmury punktów krzywą typu NURBS
Fig.5. Generation of longitudinal tooth section and approximation of point of clouds



Rys.6. Generowanie powierzchni NURBS na wcześniej wykonanych przekrojach
Fig.6. NURBS generating on the previously performed sections



Rys.7. Porównanie powierzchni łuki międzyzębnej przed i po aproksymacji
Fig.7. Comparison of tooth space before and after approximation



Wyniki badań Results

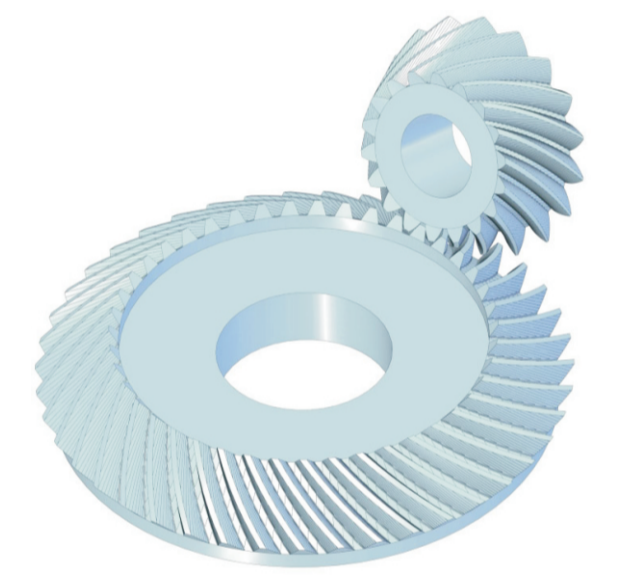
```
using System;
using System.Collections.Generic;
using System.Linq;
using System.Text;
using System.Windows.Forms;
using NXOpen;
using NXOpen.UF;
class Extract
{
    int i;
    private static UI theUI;
    public static Session theSession;
    public int Draw()
    {
        Part workPart = MojaKlasa.theSession.Parts.Work;
        Part displayPart = MojaKlasa.theSession.Parts.Display;
        //-----
        // EXTRACT FACES
        //-----
        foreach (NXOpen.Body body in workPart.Bodies)
        {
            //Pobieranie powierzchni z bryły i zapisywanie ich
            jako "faces"
            Face[] faces = body.GetFaces();
            Face[] faces_copy = new Face[faces.Length];
            // Tworzenie tablicy bool o wymiarze równej ilości
            pobranych powierzchni
            bool[] added = new bool[faces.Length];
            // Tworzenie tablic obiektów środowiska NX
            NXOpen.Features.Feature[] nullFeature_features =
            new NXOpen.Features.Feature[faces.Length];
```

Wnioski Conclusions

Aproksymacja powierzchniami typu NURBS umożliwia generowanie ścieżek narzędzi przy obróbce uzębienia na frezarkach sterowanych numerycznie. Umożliwia też prowadzenie pomiarów na współrzędnościowych maszynach pomiarowych, a także pozwala określić topografię bocznych powierzchni zębów. Uzupełniony zaprezentowaną aplikacją system KONTEPS w sposób automatyczny dokonuje aproksymacji powierzchni zębów (łuki międzyzębnej). Aplikacja napisana w języku C# współpracuje z programami środowiska NX. NURBS surfaces approximation allows to generate toolpaths for machining teeth on CNC milling machines. It also allows carrying out measurements on coordinate measuring machines, and also allows to specify topography of the side surfaces of the teeth. With this application presented system KONTEPS will automatically approximation surfaces of the teeth (teeth gaps). The application written in C# works with the NX environment programs

Przykłady zastosowania w lotnictwie Examples of application in aviation

Komputerowy system obliczeń konstrukcyjno-technologicznych wykorzystany został do obliczeń, a dalej do wykonania demonstratora technologicznego przekładni 18/42 i kącie między osiami 72 stopnie. Wykonano też obliczenia przekładni 21/24 napędu wrzeciona pionowej frezarki CNC i kilku innych przekładni stożkowych o kołowo-lukowej linii zęba na których testowano aplikację jak np. 14/42, 18/35, 14/27, 21/21, 18/18.



Przykłady współpracy z przemysłem lotniczym Collaboration with aviation industry

PWK Kalisz – przemysł lotniczy. Współpraca z PWK na etapie wdrożenia. Możliwość rozszerzenia współpracy z polskim przemysłem maszynowym. PWK Kalisz – aviation industry. Collaboration with PWK at the implementation stage.

Wskaźniki realizacji celów projektu Indicators of the project

Referaty

- Marek Kret, Piotr Skawiński: *The examination of the impact of base technology parameters on the geometry of the teeth of spiral bevel gears* Badanie wpływu parametrów technologii bazowej na geometrię uzębienia przekładni stożkowych o kołowo-lukowej linii zęba (artykuł w przygotowaniu do Journal Aircraft Engineering and Aerospace Technology)
- Piotr Błazucki, Piotr Skawiński: *Programowanie obróbki uzębień kół stożkowych systemu Gleason na 4-osiowej laboratoryjnej frezarce CNC* Programming of the milling operation of Gleason spiral bevel gears on the 4-axis CNC laboratory machine (artykuł w przygotowaniu do Journal Aircraft Engineering and Aerospace Technology)
- Skawiński P., Kuryjański R., Siemiński P., Marciniak A., Pislula J., Płocica M.: *Experimental verification of the simulation of the aircraft bevel gear contact*. Journal Aircraft Engineering and Aerospace (artykuł w przygotowaniu do Journal Aircraft Engineering and Aerospace Technology)
- Skawiński P., Kuryjański R., Siemiński P., Marciniak A., Pislula J., Płocica M.: *Comparative analysis of numerical and experimental methods of determining the contact pattern of aircraft bevel gears*. Journal Aircraft Engineering and Aerospace Technol (prezentacja na konferencji, artykuł w przygotowaniu).
- Skawiński P., Siemiński P., Kuryjański R.: *Przekładnie stożkowe krzywoliniowe. Wskaźniki ząbienia - podstawowy wyznacznik poprawności konstrukcji przekładni*. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej (artykuł w przygotowaniu).
- Piotr Skawiński, Marek Kret, Piotr Błazucki: *Badanie wpływu sumarycznego współczynnika beczkowatości na obliczenia technologii bazowej i kształt łuki międzyzębnej przekładni stożkowych kołowo-lukowych* Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej (artykuł w przygotowaniu).

Prace mgr, dr, hab.

Prace magisterskie planowane

Paweł Trzewik : *Rekonstrukcja i wykonanie przekładni głównej 8/54 zabytkowego motocykla BMW*. Promotor: prof. .nzw. dr hab. inż. P. Skawiński. Obrona planowana na lipiec 2015.

Prace doktorskie

Tytuł: *Ocena wpływu modyfikacji ruchu odtaczania i przesunięcia hipoidalnego na zarys zęba stożkowych kół zębatych o krzywoliniowej linii zęba*.

Autor: Marek Kret

Promotor: prof.nzw. dr hab. inż. Piotr Skawiński

Status: przewód doktorski otwarty 26.06.2013. Przewidywana obrona październik 2015.

Tytuł: *Obróbka uzębienia kół stożkowych o zębach kołowo-lukowych na wieloosiowych frezarkach CNC*.

Autor: Piotr Błazucki

Promotor: prof. .nzw. dr hab. inż. Piotr Skawiński

Status: rozpoczęta procedura otwarcia przewodu.

