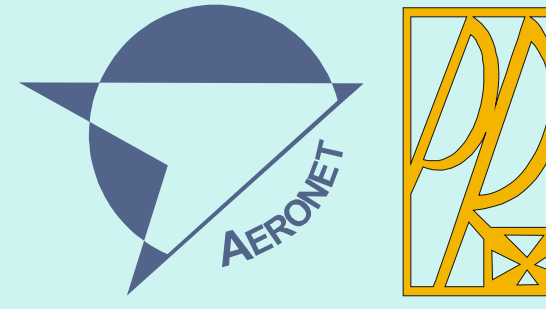


# Nowoczesne technologie materiałowe stosowane w przemyśle lotniczym

## Modern material technologies in aerospace industry



KONFERENCJA  
RADY PARTNERÓW CZT AERONET  
i PANELE EKSPERTÓW  
24-25 Czerwca 2013

# ZB3

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

#### Development of the technology of effective design and production of cone gear using Gleason Phoenix system

Politechnika Rzeszowska, Politechnika Warszawska

#### Wyniki badań Results

Kontynuacja prac nad zintegrowanym programem komputerowym wspomagającym projektowanie przekładni stożkowych  
The continuation of the integrated software that supports design of bevel gears

Komputerowy zintegrowany system obliczeń konstrukcyjno-technologicznych przekładni stożkowych i hipoidalnych o kołowo-lukowej linii zębów KONTEPS. Pakiet programów zawiera:

- Obliczenia konstrukcyjne: geometria uzębienia, dobór noży i głowicy frezowej, wytrzymałość (zmęczeniuwa, pitting, zatarcie)
- Obliczenia technologii bazowej dla metod obwiedniowych i kształtowo-obwiedniowych,
- Obliczenia ustawcze konwencjonalnych frezarek do uzębień f-my Gleason,
- Obliczenia ustawcze frezarki (szlifierki) systemu Phoenix f-my Gleason,
- Symulację obróbki w środowisku systemu 3D CAD,
- Generowanie modeli brylowych kół i zębniaków,
- Generowanie numerycznych modeli dyskretnych,
- Analiza śladu współpracy zębów,
- Generowanie topografii boków zęba dla maszyn pomiarowych CMM,
- Raport końcowy (dane i wyniki obliczeń),
- Emisja płaskiej dokumentacji konstrukcyjnej.

System umożliwia prowadzenie obliczeń technologicznych dla metod jednostronnych i dwustronnych. Integracja systemu i interfejs użytkownika wykonano w środowisku programu Visual Basic.

Przeprowadzono obliczenia konstrukcyjno-technologiczne dla trzech wybranych przez PWK Kalisz przekładni lotniczych: 18:43  $\Sigma=70^\circ$ , 18:43  $\Sigma=72^\circ$  i 33:34  $\Sigma=90^\circ$ . Wykorzystując symulację obróbki i numeryczne modele dyskretne wygenerowano modele brylowe i powierzchniowe uzębienia. Przeprowadzono analizę śladu współpracy, uzyskując topografię boku zęba dla maszyn CMM. Wykonano dokumentację konstrukcyjną przekładni stożkowych oraz dokumentację otoczek.

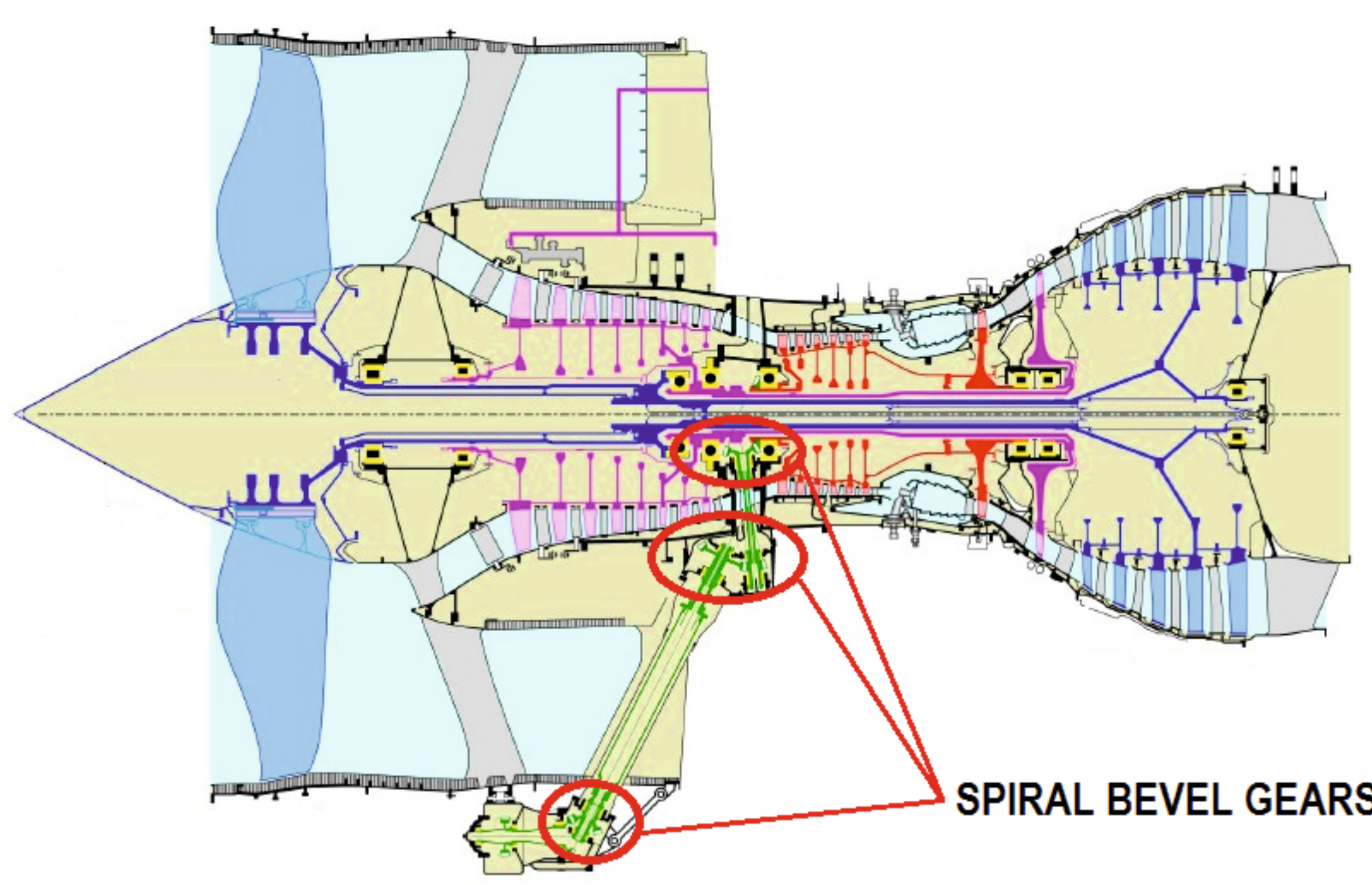
Wykonano stanowisko do kontroli jedno- i dwustronnej przekładni stożkowych. Stanowisko jest na etapie testowania oprogramowania.

Computer integrated geometrical and technological calculations for spiral and hypoid bevel gears KONTEPS. The package of programs includes:

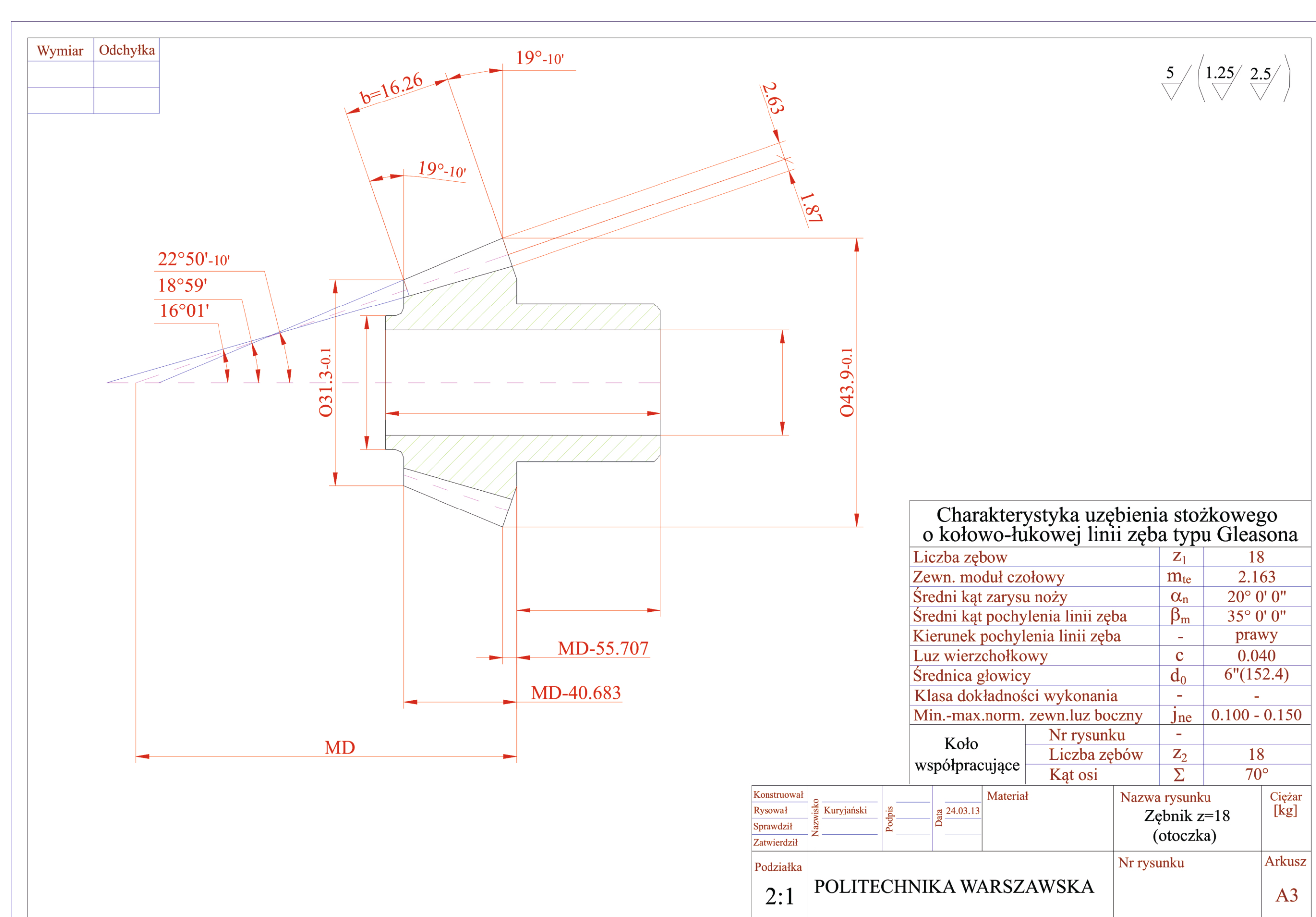
- Structural Calculations: teeth geometry, selection of blades and milling cutter, strength calculations (fatigue, pitting, scoring)
- Calculation of the base technology for the generate and non generated methods
- Set up calculation of conventional milling Gleason machines
- Set up calculation of milling (grinding) CNC machines of the Phoenix Gleason system
- Simulation of machining in 3D CAD system environment
- Generation of solid models of gears and pinions
- Generation of discrete numerical models
- Tooth contact analysis
- Generating of the tooth sides topography for the CMM machines
- Final report (data and calculation results)
- Issue of 2D design documentation.

The system allows calculates the technology for single sides and two sides methods. System integration and user interface made in Visual Basic environment. Geometrical and technological calculations were carried out for three selected by PWK Kalisz gears: 18:43  $\Sigma=70^\circ$ , 18:43  $\Sigma=72^\circ$  i 33:34  $\Sigma=90^\circ$ . Using cutting simulation and numerical discrete models, solid and surface models of teeth were generated. The tooth contact analysis was performed to yield the result of the topography of the tooth side for CMM machines. Technical documentation has been made for all spiral bevel gears and blanks.

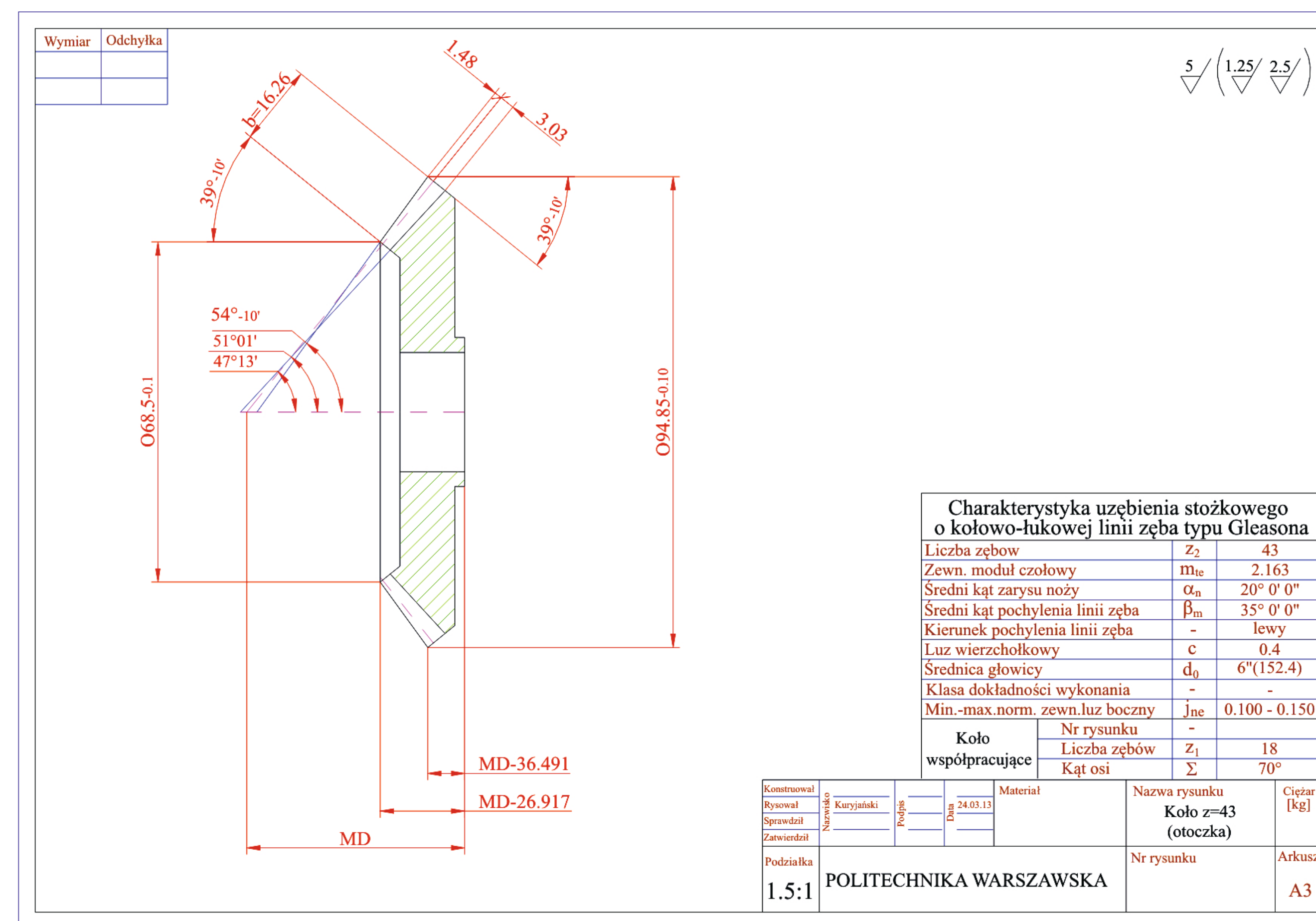
The stand to single- and double-sided testing of spiral bevel gears was made. The stand is in the process of software testing.



Rys. 1 Przekładnie stożkowe w silniku lotniczym  
Fig. 1 Spiral bevel gears in aircraft engine



Rys. 2 Rysunek zębniaka przekładni 18:70  
Fig. 2 Drawing of pinion 18:70 gear set



Rys. 3 Rysunek koła przekładni 18:70  
Fig. 3 Drawing of gear 18:70 gear set

Dla wytypowanych przez PWK Kalisz przekładni stożkowych o kołowo-lukowej linii zębów:  
- 18:43 o kącie między osiami 70 st. – przekładnia typu generated; metoda SGM  
- 18:43 o kącie między osiami 72 st. – przekładnia typu generated; metoda SGM  
- 33:34 o kącie między osiami 90 st. – przekładnia typu generated; metoda SGM  
wykonano obliczenia konstrukcyjno-technologiczne wg metody SGM łącznie z ustawieniem obrabiarki Gleason 116 i Phoenix 175 oraz wygenerowano modele powierzchniowe i brylowe. Po analizie śladu współpracy i wyznaczeniu topografii boków zęba przekładnie zostaną wykonane w PWK Kalisz w III kwartale 2013.

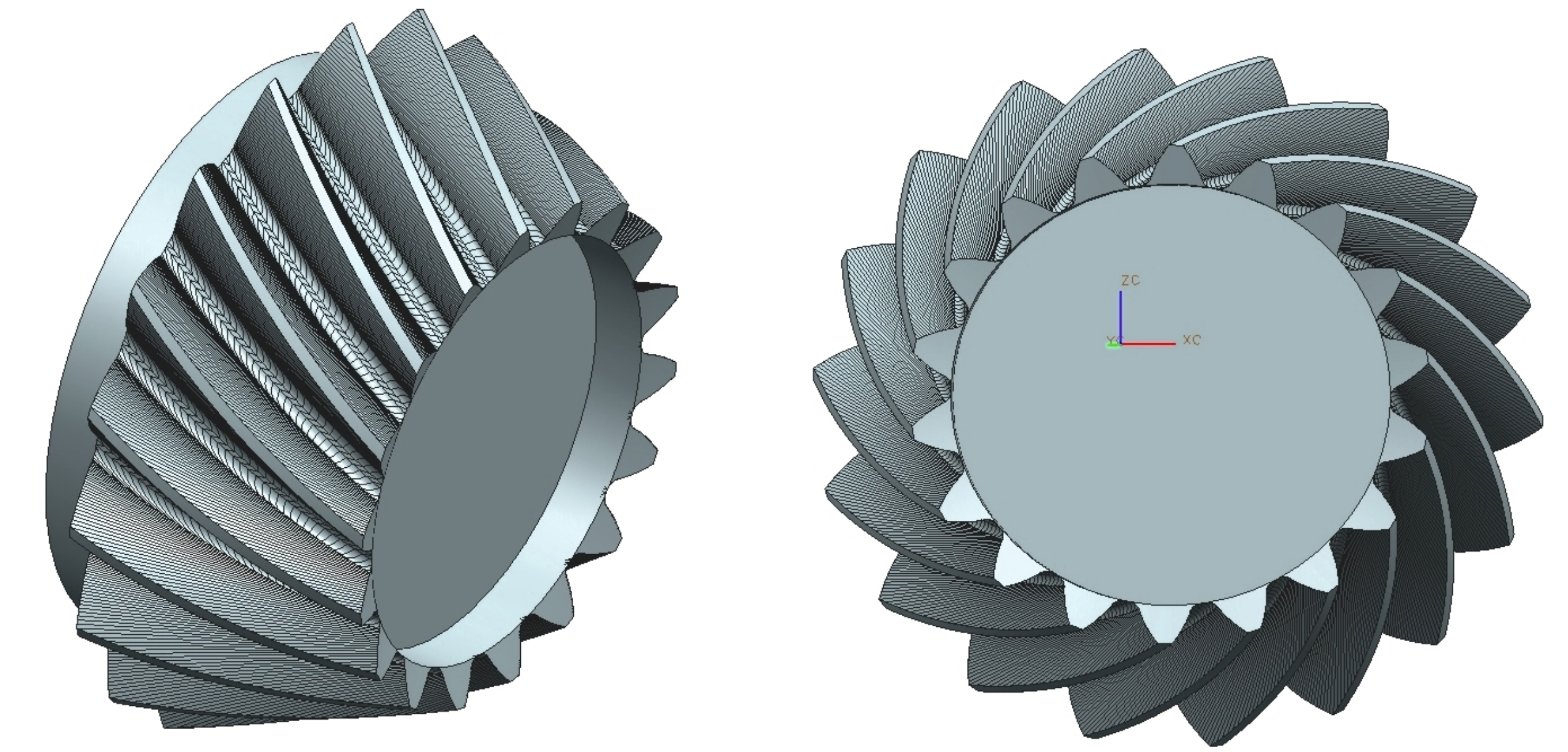
For the selected by PWK spiral bevel gears:  
- 18:43 shaft angle 70 degree – SGM,  
- 18:43 shaft angle 72 degree – SGM,  
- 33:34 shaft angle 90 degree – SGM,  
the technological calculations have been done for Gleason 116 and Phoenix 175 machines. After tooth contact analysis and tooth topography the spiral bevel gears will be made in the third quarter 2013.

Tab. 1 Obliczenia konstrukcyjno-technologiczne przekładni 18:43,  $\Sigma=70^\circ$   
Tab. 1 Calculations of spiral bevel gears ratio 18:43,  $\Sigma=70^\circ$

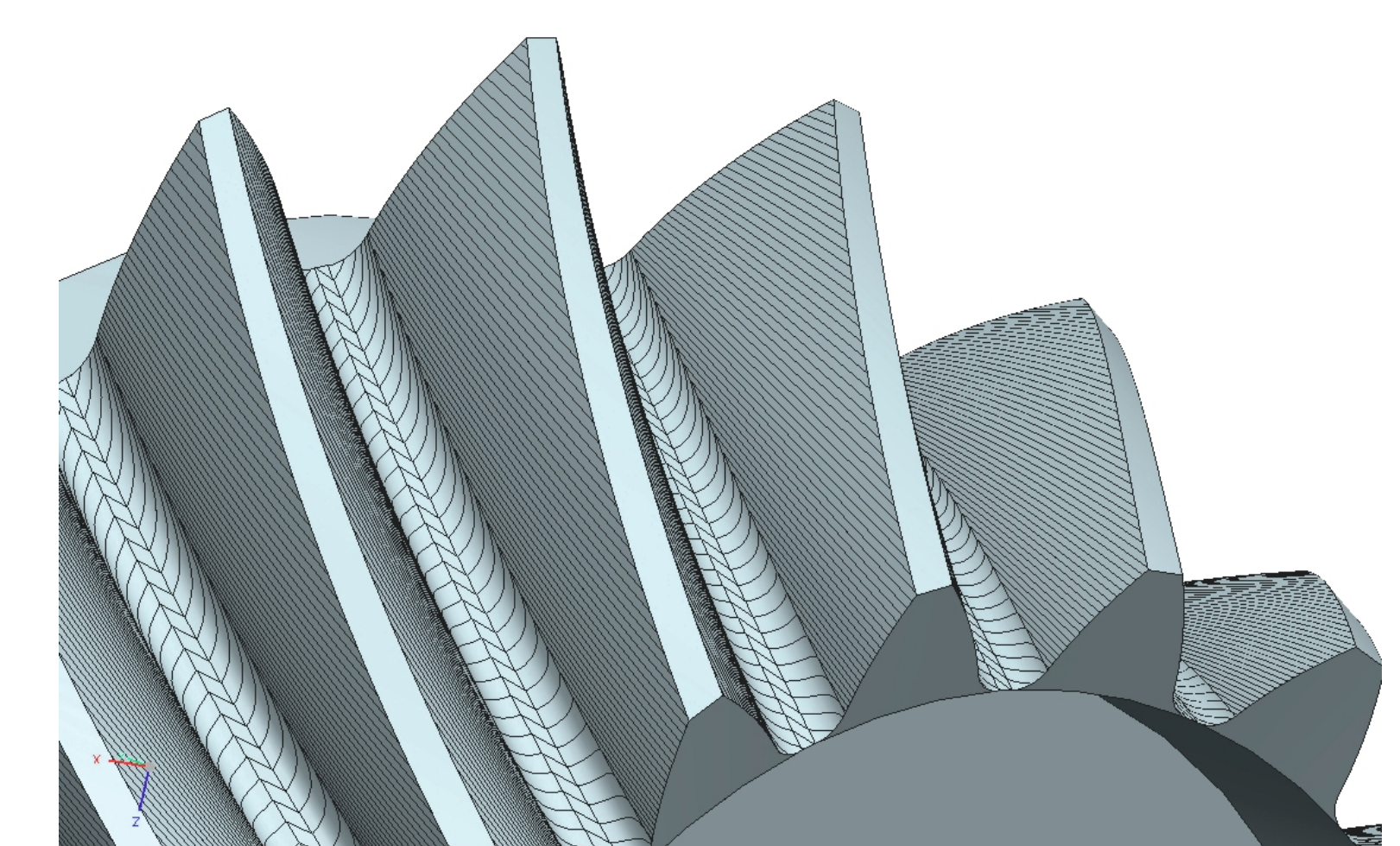
KOŁO-OBRÓBKA ZGRUBNA				KOŁO-OBRÓBKA WYKAŃCZAJĄCA			
ŚREDNICA GŁOWICY NOŻOWEJ	DO	152.400	ŚREDNICA GŁOWICY NOŻOWEJ	DO	152.400		
USTAWIENIE PIONOWE	V	62.419	USTAWIENIE PIONOWE	V	62.419		
USTAWIENIE POZIOME	H	7.981	USTAWIENIE POZIOME	H	7.981		
USTAWIENIE PROMIENIOWE	U	62.928	USTAWIENIE PROMIENIOWE	U	62.928		
USTAWIENIE KĄTOWE	q	82.42'	USTAWIENIE KĄTOWE	q	82.42'		
KĄT SKRĘCENIA WRZEC.P.O.	DEL	47.12'	KĄT SKRĘCENIA WRZEC.P.O.	DEL	47.12'		
USTAWIENIE OSIOWE WRZEC.P.O.	XP	.000	USTAWIENIE OSIOWE WRZEC.P.O.	XP	.000		
USTAWIENIE STOŁU WRZEC.P.O.	XB	-2.490	USTAWIENIE STOŁU WRZEC.P.O.	XB	-2.490		
PRZESUNIĘCIE HIPOIDALNE	A	.000	PRZESUNIĘCIE HIPOIDALNE	A	.000		
PRZEŁOŻENIE ODTACZANIA	IODT	.778989	PRZEŁOŻENIE ODTACZANIA	IODT	.778989		
ZĘBNIK-OBRÓBKA WYKAŃCZAJĄCA-STRONA WKŁĘSŁA, PRZEKŁADNIA OBWIEDNIOWA /GENERATED/			ZĘBNIK-OBRÓBKA WYKAŃCZAJĄCA-STRONA WYPUKŁA				
ŚREDNICA GŁOWICY NOŻOWEJ	DO	152.908	ŚREDNICA GŁOWICY NOŻOWEJ	DO	151.892		
USTAWIENIE PROMIENIOWE	U	64.438	USTAWIENIE PROMIENIOWE	U	61.462		
USTAWIENIE KĄTOWE	q	87.0'	USTAWIENIE KĄTOWE	q	74.37'		
KĄT SKRĘCENIA WRZEC.P.O.	DEL	16.1'	KĄT SKRĘCENIA WRZEC.P.O.	DEL	16.1'		
USTAWIENIE OSIOWE WRZEC.P.O.	XP	-1.986	USTAWIENIE OSIOWE WRZEC.P.O.	XP	2.219		
USTAWIENIE STOŁU WRZEC.P.O.	XB	1.776	USTAWIENIE STOŁU WRZEC.P.O.	XB	.616		
PRZESUNIĘCIE HIPOIDALNE	A	2.667	PRZESUNIĘCIE HIPOIDALNE	A	-3.089		
PRZEŁOŻENIE ODTACZANIA	IODT	.338166	PRZEŁOŻENIE ODTACZANIA	IODT	.312764		
WLK. MODYFIKACJI ODTACZANIA	KM	.000	WLK. MODYFIKACJI ODTACZANIA	KM	.000		

Tab. 2 Obliczenia konstrukcyjno-technologiczne przekładni 33:34,  $\Sigma=90^\circ$   
Tab. 2 Calculations of spiral bevel gears ratio 33:34,  $\Sigma=90^\circ$

KOŁO-OBRÓBKA ZGRUBNA				KOŁO-OBRÓBKA WYKAŃCZAJĄCA			
ŚREDNICA GŁOWICY NOŻOWEJ	DO	114.300	ŚREDNICA GŁOWICY NOŻOWEJ	DO	114.300		
USTAWIENIE PIONOWE	V	49.493	USTAWIENIE PIONOWE	V	49.493		
USTAWIENIE POZIOME	H	.083	USTAWIENIE POZIOME	H	.083		
USTAWIENIE PROMIENIOWE	U	49.493	USTAWIENIE PROMIENIOWE	U	49.493		
USTAWIENIE KĄTOWE	q	89.54'	USTAWIENIE KĄTOWE	q	89.54'		
KĄT SKRĘCENIA WRZEC.P.O.	DEL	41.9'	KĄT SKRĘCENIA WRZEC.P.O.	DEL	41.9'		
USTAWIENIE OSIOWE WRZEC.P.O.	XP	.000	USTAWIENIE OSIOWE WRZEC.P.O.	XP	.000		
USTAWIENIE STOŁU WRZEC.P.O.	XB	-1.180	USTAWIENIE STOŁU WRZEC.P.O.	XB	-1.180		
PRZESUNIĘCIE HIPOIDALNE	A	.000	PRZESUNIĘCIE HIPOIDALNE	A	.000		
PRZEŁOŻENIE ODTACZANIA	IODT	.719996	PRZEŁOŻENIE ODTACZANIA	IODT	.719996		
ZĘBNIK-OBRÓBKA WYKAŃCZAJĄCA-STRONA WKŁĘSŁA, PRZEKŁADNIA OBWIEDNIOWA /GENERATED/			ZĘBNIK-OBRÓBKA WYKAŃCZAJĄCA-STRONA WYPUKŁA				
ŚREDNICA GŁOWICY NOŻOWEJ	DO	119.888	ŚREDNICA GŁOWICY NOŻOWEJ	DO	119.126		
USTAWIENIE PROMIENIOWE	U	53.495	USTAWIENIE PROMIENIOWE	U	49.980		
USTAWIENIE KĄTOWE	q	93.7'	USTAWIENIE KĄTOWE	q	82.13'		
KĄT SKRĘCENIA WRZEC.P.O.	DEL	39.41'	KĄT SKRĘCENIA WRZEC.P.O.	DEL	39.41'		
USTAWIENIE OSIOWE WRZEC.P.O.	XP	-1.512	USTAWIENIE OSIOWE WRZEC.P.O.	XP	1.388		
USTAWIENIE STOŁU WRZEC.P.O.	XB	2.072	USTAWIENIE STOŁU WRZEC.P.O.	XB	.220		
PRZESUNIĘCIE HIPOIDALNE	A	2.232	PRZESUNIĘCIE HIPOIDALNE	A	-2.388		
PRZEŁOŻENIE ODTACZANIA	IODT	.719346	PRZEŁOŻENIE ODTACZANIA	IODT	.678988		
WLK. MODYFIKACJI ODTACZANIA	KM	.000	WLK. MODYFIKACJI ODTACZANIA	KM	.000		



Rys. 4 Model brylowy zębniaka przekładni 18:70  
Fig. 4 Drawing of pinion 18:70 gear set



Rys. 5 Model brylowy zębniaka przekładni 18:70  
Fig. 5 Solid model of pinion 18:70 gear set

#### Wnioski Conclusions

System pozwala przeprowadzić kompletny cykl obliczeń od konstrukcji poprzez technologię w wybranych metodach obróbki uzębienia (w szczególności na maszyny CNC systemu Phoenix) do wygenerowania modeli brylowych i powierzchniowych uzębienia. Modele te posłużą do analizy śladu współpracy oraz do zdefiniowania topografii boków zęba dla współrzędnościowych maszyn pomiarowych.

The system allows you to perform a complete cycle from design through computation basic technology in selected cutting methods (in particular on Phoenix CNC machine system) to generate solid and surface models of teeth. These models will be used for tooth contact development and to define the topography of the sides of the tooth for coordinate measuring machines.

#### Przykłady zastosowania w lotnictwie Examples of application in aviation

Dla wytypowanych przez PWK Kalisz przekładni stożkowych o kołowo-lukowej linii zębów:  
- 18:43 o kącie między osiami 70 st. – przekładnia typu generated; metoda SGM  
- 18:43 o kącie między osiami 72 st. – przekładnia typu generated; metoda SGM  
- 33:34 o kącie między osiami 90 st. – przekładnia typu generated; metoda SGM  
wykonano obliczenia konstrukcyjno-technologiczne wg metody SGM łącznie z ustawieniem obrabiarki Gleason 116 i Phoenix 175 oraz wygenerowano modele powierzchniowe i brylowe. Po analizie śladu współpracy i wyznaczeniu topografii boków zęba przekładnie zostaną wykonane w PWK Kalisz w III kwartale 2013 wg programu KONTEPS po przygotowaniu oprzyrządowania technologicznego i otoczek przekładni.  
For selected by PWK spiral bevel gears:  
- 18:43 shaft angle 70 – SGM method,  
- 18:43 shaft angle 72 – SGM method,  
- 33:34 shaft angle 90; – SGM method,  
geometrical, technological and setup calculation has been done for Gleason 116 and Phoenix 175 machine. Solid and surface models of gears was made. After TCA and determining of the tooth topography, the gears will be made in the third quarter of 2013 in PWK Kalisz based on KONTEPS program after preparing fixtures and blanks.

#### 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. Opportunity to expand cooperation with the Polish industry.

#### Wskaźniki realizacji celów projektu

#### Publikacje

- Skawiński P., Kret M.: Matematyczny model modyfikacji odtaczania frezarek do kół stożkowych o kołowo-lukowej linii zęba; Advances in Manufacturing Science and Technology, złyżony do druku.
- Skawiński P.: Technological setups on the Gleason Phoenix CNC spiral bevel and hypoid milling machines, Advance in Manufacturing Science and Technology, Vol. 36, No. 4, 2012
- Skawiński P., Kret M.: Wpływ modyfikacji odtaczania na kształt zarysu zęba zębniaka przekładni stożkowej o kołowo-lukowej linii zęba; Mechanik nr 5-6/2013

#### Prace mgr, dr, hab..

Prace magisterskie obronione:  
• Warecki S.: Modyfikacja zarysu zęba zębniaków przekładni obwiedniowych i kształtowo-obwiedniowych. Promotor: dr hab. inż. P. Skawiński. Praca dyplomowa magisterska. Obroniona, styczeń 2013.

Prace magisterskie planowane:  
• Trzewik W.: Rekonstrukcja i wykonanie przekładni głównej 8/54 zabytkowego motocykla BMW. Promotor dr hab. inż. P. Skawiński. Praca dyplomowa magisterska. Obrona planowana na grudzień 2013.

Prace doktorskie planowane:  
• Jędrzejczyk W.: Zastosowanie syntezy i analizy ząbów do wyznaczania topografii bocznej powierzchni zęba przekładni stożkowych kołowo-lukowych. Promotor: dr hab. Adam Marciniak, prof. PRZ. Status: w realizacji.  
• Kret M.: Ocena jakościowa i ilościowa wpływu modyfikacji ruchu odtaczania i przesunięcia hipoidalnego na zarys zęba stożkowych kół zębnych o krzywoliniowej linii zęba. dr hab. inż. Piotr Skawiński. Status: przewód doktorski będzie otwarty 26.06.2013  
• Biazucki P.: Obróbka uzębienia kół stożkowych o zębach kołowo-lukowych na wieloosiowych frezarkach CNC (tytuł roboczy). Praca doktorska w wstępnym przygotowaniu. Przewidywane otwarcie przewodu doktorskiego grudzień 2014.