Nowoczesne technologie materiałowe stosowane w przemyśle lotniczym
Modern material technologies in aerospace industry

INNOWACYJNA GOSPODARKA
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI FUNDUSZ
ROZWOJU REGIONALNEGO

KONFERENCJA
RADY PARTNERÓW CZT AERONET
i PANELE EKSPERTÓW
9 - 10 Grudnia 2013

ZB3

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

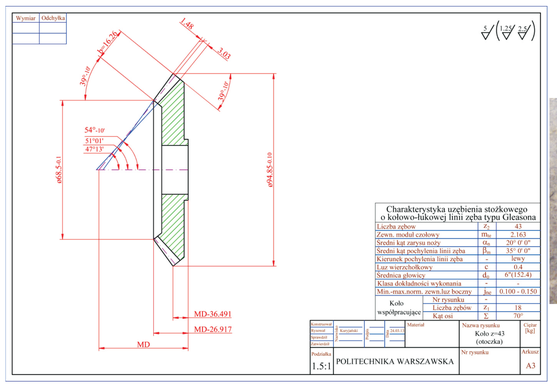
Development of the technology of effective design and production of cone gear using Gleason Phoenix system

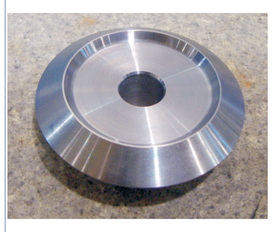
Politechnika Rzeszowska, Politechnika Warszawska

Wyniki badań
Results

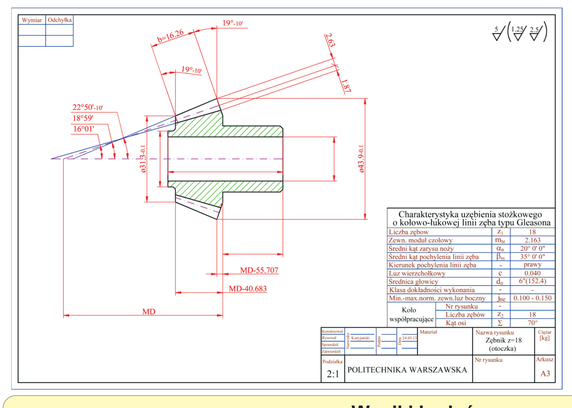
Obliczenia konstrukcyjne / Geometrical calculations

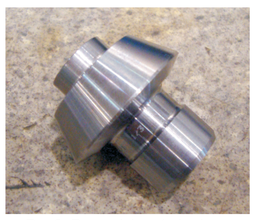
```
PRZEKLADNIA  18:43  PWK KALISZ (SIGMA=70)
RODZAJ ZBIEZNOSCI ZEBA                    TILTED ROOT LINE
KAT OSI                          SIGMA          70. 0' 0
SUMA KATOW STOP OBLICZANEJ PRZEKLADNI STET        6.46'12
SUMA KATOW STOP-ZBIEZNOSC STANDARD  STETFS        4.21'54
SUMA KATOW STOP-ZBIEZNOSC DUPLEX    STETFD        6.38'14
PRZELOZENIE PRZEKLADNI                 U          2.389
SREDNI KAT ZARYSU NOZY                ALFA        20. 0' 0
SREDNICA GLOWICY NOZOWEJ              D0         152.400
SZEROKOSC WIENCA ZEBATEGO              B          16.260
LUZ WIERZCHOLKOWY                      C            .400
                                            ZEBNIK        KOLO
LICZBA ZEBOW                           Z        18           43
KIERUNEK POCHYLENIA LINII ZEBA       LZZ      PRAWY        LEWY
KAT STOZKA PODZIALOWEGO              DEL     18.59'17     51. 0'43
KAT STOZKA GLOW                     DELA     22.47'17     53.58'55
KAT STOZKA STOP                     DELF     16. 1' 5     47.12'43
KAT GLOWY ZEBA                      TETA      3.48' 0      2.58'12
KAT STOPY ZEBA                      TETF      2.58'12      3.48' 0
ODL.WIERZCH.STOZKA GLOW OD PL.OSIOWEJ  LWA   -3.475       -2.020
ODL.WIERZCH.STOZKA PODZ. OD PL.OSIOWEJ  LW     .000         .000
ODL.WIERZCH.STOZKA STOP OD PL.OSIOWEJ  LWF    4.470        1.288
            NA ZEWNETRZNEJ STRONIE WIENCA ZEBATEGO
MODUL CZOLOWY                        MTE          2.163
MODUL NORMALNY                       MNE          1.738
DLUGOSC TWORZACEJ STOZKA PODZIALOWEGO   RE       59.818
KAT POCHYLENIA LINII ZEBA            BETE        36.31' 2
WYSOKOSC GLOWY ZEBA                   HAE      2.630        1.472
WYSOKOSC STOPY ZEBA                   HFE      1.872        3.030
SREDNICA OKREGU PODZIALOWEGO           DE     38.926       92.990
SREDNICA OKREGU GLOW                  DAE     43.900       94.842
ODL.OKREGU GLOW OD WIERZCHOLKA STOZKA  LAE    55.707       36.491
            W SRODKU SZEROKOSCI WIENCA ZEBATEGO
MODUL CZOLOWY                         MT          1.869
MODUL NORMALNY                        MN          1.531
DLUGOSC TWORZACEJ STOZKA PODZIALOWEGO   R        51.688
KAT POCHYLENIA LINII ZEBA             BET         35. 0' 0
WYSOKOSC GLOWY ZEBA                   HA       2.090        1.050
WYSOKOSC STOPY ZEBA                   HF       1.450        2.490
SREDNICA OKREGU PODZIALOWEGO           D      33.636       80.351
            NA WEWNETRZNEJ STRONIE WIENCA ZEBATEGO
MODUL CZOLOWY                         MTI         1.575
MODUL NORMALNY                        MNI         1.300
DLUGOSC TWORZACEJ STOZKA PODZIALOWEGO   RI       43.558
KAT POCHYLENIA LINII ZEBA            BETI        34.19'54
WYSOKOSC GLOWY ZEBA                   HAI      1.550         .628
WYSOKOSC STOPY ZEBA                   HFI      1.028        1.950
SREDNICA OKREGU PODZIALOWEGO           DI     28.345       67.713
SREDNICA OKREGU GLOW                  DAI     31.276       68.503
ODL.OKREGU GLOW OD WIERZCHOLKA STOZKA  LAI    40.683       26.917
```





Rys.1. Rysunek konstrukcyjny koła i otoczka koła
Fig.1. Gear drawing and gear blank



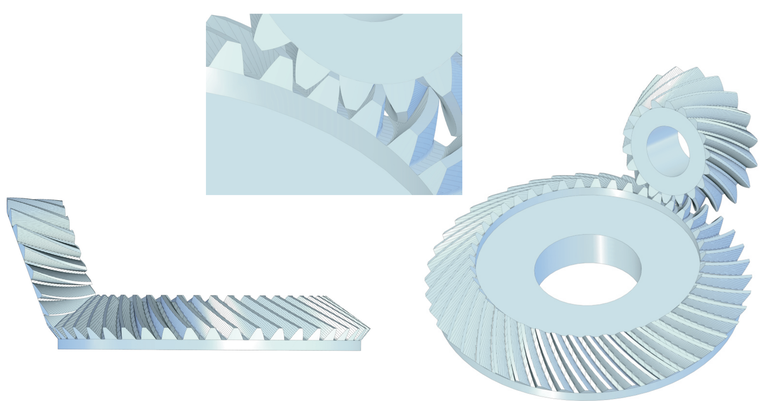


Rys.2. Rysunek konstrukcyjny zębnika i otoczka zębnika
Fig.2. Pinion drawing and pinion blank

Wyniki badań
Results

Obliczenia technologii bazowe /Technological basic data calculations

```
KOLO-OBROBKA ZGRUBNA                          KOLO-OBROBKA WYKANCZAJACA

SREDNICA GLOWICY NOZOWEJ      D0   152.400    SREDNICA GLOWICY NOZOWEJ      D0   152.400
USTAWIENIE PIONOWE GLOWICY     V    62.419    USTAWIENIE PIONOWE GLOWICY     V    62.419
USTAWIENIE POZIOME GLOWICY     H     7.981    USTAWIENIE POZIOME GLOWICY     H     7.981
USTAWIENIE PROMIENIOWE GLOWICY U    62.928    USTAWIENIE PROMIENIOWE GLOWICY U    62.928
USTAWIENIE KATOWE GLOWICY(MALE)Q    82.42'    USTAWIENIE KATOWE GLOWICY(MALE)Q    82.42'
KAT SKRECENIA WRZEC.P.O.     DEL    47.12'    KAT SKRECENIA WRZEC.P.O.     DEL    47.12'
USTAWIENIE OSIOWE WRZEC.P.O.  XP     .000    USTAWIENIE OSIOWE WRZEC.P.O.  XP     .000
USTAWIENIE STOLU WRZEC.P.O.   XB   -2.490    USTAWIENIE STOLU WRZEC.P.O.   XB   -2.490
PRZESUNIECIE HIPOIDALNE        A     .000    PRZESUNIECIE HIPOIDALNE        A     .000
PRZELOZENIE ODTACZANIA       IODT    .778989 PRZELOZENIE ODTACZANIA       IODT    .778989

                    ZEBNIK-OBROBKA ZGRUBNA

                    SREDNICA GLOWICY NOZOWEJ      D0   152.400
                    USTAWIENIE PIONOWE GLOWICY     V    62.419
                    USTAWIENIE POZIOME GLOWICY     H     7.981
                    USTAWIENIE PROMIENIOWE GLOWICY U    62.928
                    USTAWIENIE KATOWE GLOWICY(MALE)Q    82.42'
                    KAT SKRECENIA WRZEC.P.O.     DEL1   16. 1'
                    USTAWIENIE OSIOWE WRZEC.P.O.  XP     .000
                    USTAWIENIE STOLU WRZEC.P.O.   XB   -1.450
                    PRZESUNIECIE HIPOIDALNE        A     .000
                    PRZELOZENIE ODTACZANIA ZZC IODT     .325809

ZEBNIK-OBROBKA WYKANCZAJACA-STRONA WKLESLA    ZEBNIK-OBROBKA WYKANCZAJACA-STRONA WYPUKLA
                 PRZEKLADNIA OBWIEDNIOWA GENERATED

SREDNICA GLOWICY NOZOWEJ      D0   152.908    SREDNICA GLOWICY NOZOWEJ      D0   151.892
USTAWIENIE PROMIENIOWE GLOWICY U    64.438    USTAWIENIE PROMIENIOWE GLOWICY U    61.462
USTAWIENIE KATOWE GLOWICY(MALE)Q    87. 0'    USTAWIENIE KATOWE GLOWICY(MALE)Q    74.37'
KAT SKRECENIA WRZEC.P.O.     DEL    16. 1'    KAT SKRECENIA WRZEC.P.O.     DEL    16. 1'
USTAWIENIE OSIOWE WRZEC.P.O.  XP   -1.986    USTAWIENIE OSIOWE WRZEC.P.O.  XP    2.219
USTAWIENIE STOLU WRZEC.P.O.   XB    1.776    USTAWIENIE STOLU WRZEC.P.O.   XB     .616
PRZESUNIECIE HIPOIDALNE        A    2.667    PRZESUNIECIE HIPOIDALNE        A   -3.089
PRZELOZENIE ODTACZANIA       IODT   .338166  PRZELOZENIE ODTACZANIA       IODT   .312764
WLK. MODYFIKACJI ODTACZANIA   KM     .000    WLK. MODYFIKACJI ODTACZANIA   KM     .000
```



Rys. 3. Symulacyjne modele bryłowe przekładni 18/43 sigma 70 st.
Fig. 3. Solid models of 18/43 gears, sigma 70 deg.

Wyniki badań
Results

Ustawienie frezarki Phoenix 175/Phoenix 175 setup

USTAWIENIE DLA KOŁA:
GŁOWICA 6", ROZSTAWIENIE NOŻY W_1=0.045"

USTAWIENIE	OZNACZENIE	OBIE FLANKI	UNIT
TILT ANGLE	I	0	DMS
SWIVEL ANGLE	J	0	DMS
MACHINE CENTER CROSSING POINT	$MD+X_P$	0	MM
START ROLL POSITION	Q1	68.5722	DMS
CENTER ROLL POSITION	Q	82.4200	DMS
STOP ROLL POSITION	Q2	95.4247	DMS
CONSTANT WORK ROTATION	Z	0	DMS
RATIO OF ROLL	RA	1.283715	
SLIDING BASE	SLI	-2.490	MM
HELICAL MOTION 1.ORDER	H1	0	MM/RAD
MACHINE ROOT ANGLE	Γ	47.1200	DMS
RADIAL DISTANCE	S	62.928	MM
WORK OFFSET	A	0	MM

MODIFIED ROLL/HELICAL MOTION

USTAWIENIE	OZNACZENIE	OBIE FLANKI	UNIT
MODIFIED ROLL 2.ORDER	P2C	0	1/RAD
MODIFIED ROLL 3.ORDER	P6D	0	$1/RAD^2$
MODIFIED ROLL 4.ORDER	P24E	0	$1/RAD^3$
MODIFIED ROLL 5.ORDER	P120F	0	$1/RAD^4$
MODIFIED ROLL 6.ORDER	P720G	0	$1/RAD^5$
HELICAL MOTION 2.ORDER	H2	0	MM/RAD^2
HELICAL MOTION 3.ORDER	H3	0	MM/RAD^3
HELICAL MOTION 4.ORDER	H4	0	MM/RAD^4

USTAWIENIE DLA ZĘBNIKA:
GŁOWICA 6", ROZSTAWIENIE NOŻY W2=0.020"

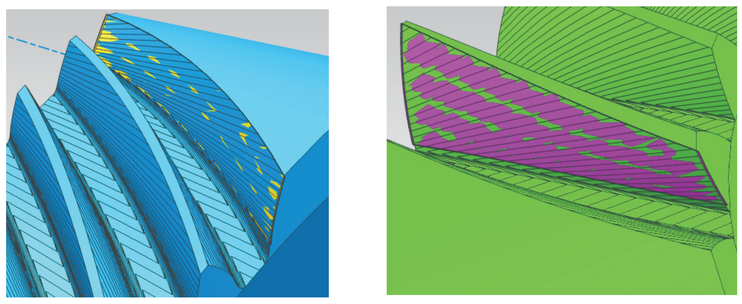
USTAWIENIE	OZNACZENIE	STR. WKLĘSŁA	UNIT	STR. WYPUKŁA
TILT ANGLE	I	0	DMS	0
SWIVEL ANGLE	J	0	DMS	0
MACHINE CENTER CROSSING POINT	$MD+X_P$	-1.986	MM	2.219
START ROLL POSITION	Q1	71.3336	DMS	70.1155
CENTER ROLL POSITION	Q	87.0000	DMS	74.3700
STOP ROLL POSITION	Q2	94.5713	DMS	93.2817
CONSTANT WORK ROTATION	Z	0	DMS	0
RATIO OF ROLL	RA	2.957127		3.197298
SLIDING BASE	SLI	1.776	MM	.616
HELICAL MOTION 1.ORDER	H1	0	MM/RAD	0
MACHINE ROOT ANGLE	Γ	16.0100	DMS	16.0100
RADIAL DISTANCE	S	64.438	MM	61.462
WORK OFFSET	A	2.667	MM	-3.089

MODIFIED ROLL/HELICAL MOTION

USTAWIENIE	OZNACZENIE	STR. WKLĘSŁA	UNIT	STR. WYPUKŁA
MODIFIED ROLL 2.ORDER	P2C	0	1/RAD	0
MODIFIED ROLL 3.ORDER	P6D	0	$1/RAD^2$	0
MODIFIED ROLL 4.ORDER	P24E	0	$1/RAD^3$	0
MODIFIED ROLL 5.ORDER	P120F	0	$1/RAD^4$	0
MODIFIED ROLL 6.ORDER	P720G	0	$1/RAD^5$	0
HELICAL MOTION 2.ORDER	H2	0	MM/RAD^2	0
HELICAL MOTION 3.ORDER	H3	0	MM/RAD^3	0
HELICAL MOTION 4.ORDER	H4	0	MM/RAD^4	0

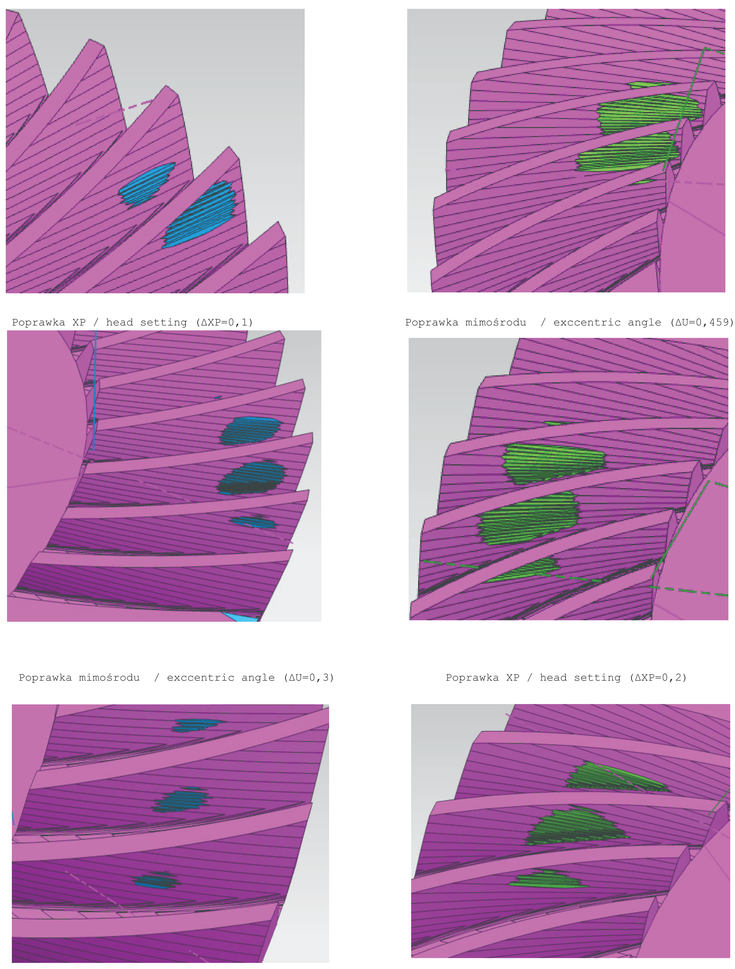
Wyniki badań
Results

Powierzchnie zęba wklęsła i wypukła z symulacji obróbki i z metody dyskretnej
Convex and concave tooth surface from simulation and from discrete metod



Kolejne kroki lokalizacji śladu współpracy / Next steps of the development process

Strona wypukła koła / Concave side | **Strona wklęsła koła / Convex side**



Rys. 4. Lokalizacja śladu współpracy zębów.
Fig. 4. Tooth contact development.

Wyniki badań
Results

3. Machine Settings Gear - Phoenix Settings

3.1 Basic Data

		Both Flanks	
Tilt Angle	τ	0.0000	dms
Swivel Angle	σ	0.0000	dms
Machine Center Cross. Point	MD+	0.0000	mm
Start Roll Position	q1	68.4205	dms
Center Roll Position	q	82.4200	dms
Stop Roll Position	q2	95.5045	dms
Const. Work Rotation	ζ	0.0000	dms
Ratio of Roll	RA	1.283715	
Sliding Base	SLI	1.4598	mm
Helical Motion 1.Order	H1	0.000000	mm/rad.
Machine Root Angle	Γ	47.1242	dms
Radial Distance	S	62.9280	mm
Work Offset	a	0.0000	mm

3.2 Modified Roll/ Helical Motion

		Both Flanks	
Modified Roll 2. Order	P2C	0.000000	1/rad.
Modified Roll 3. Order	P6D	0.000000	1/rad.²
Modified Roll 4. Order	P24E	0.000000	1/rad.³
Modified Roll 5. Order	P120F	0.000000	1/rad.⁴
Modified Roll 6. Order	P720G	0.000000	1/rad.⁵
Helical Motion 2. Order	H2	0.000000	mm/rad.²
Helical Motion 3. Order	H3	0.000000	mm/rad.³
Helical Motion 4. Order	H4	0.000000	mm/rad.⁴

4. General Tool Pinion - Neutral data

4.1 Tool

		Concave Flank	Convex Flank	
General Data				
Nom. Radius	r_w	76.2000	76.2000	mm
Number of Blade Groups	z_0	0	0	
Point Data				
Reference Point Radius	R_{F1}	76.4540	75.9460	mm
Tip Height	t	0.0000	0.0000	mm
Reference Point Offset	vs	0.0000	0.0000	mm
Blade Top Width	w	0.5080	0.5080	mm
Gable Angle	α_G	0.0000	0.0000	dms
Reference Point Angle	ϵ_0	0.0000	0.0000	dms

4.2 Active Profile

		Concave Flank	Convex Flank	
Tooth Height	h_{ges}	4.5020	4.5020	mm
Basic Profile				
Flank Angle	α_F	20.0000	20.0000	dms
Profile Height	h	4.5654	4.5654	mm
Inclination of Rakeface	λ	0.0000	0.0000	dms
Spheric Radius	R_{HB}	0.0000	0.0000	mm
Dedendum	h_D	0.0000	0.0000	mm
Edge Radius	ρ	0.3810	0.3810	mm
Modifications				
Root Relief Height	h_R	0.0000	0.0000	mm
Root Relief Radius	Ra_R	0.0000	0.0000	mm
Root Relief Angle	α_R	0.0000	0.0000	dms
Tip Relief Height	h_T	0.0000	0.0000	mm
Tip Relief Radius	Ra_T	0.0000	0.0000	mm
Tip Relief Angle	α_T	0.0000	0.0000	dms

4.3 Clearance Side

		Concave Flank	Convex Flank	
Tooth Height	h_{ges}	4.5020	4.5020	mm
Basic Profile				
Flank Angle	α_{Fb}	18.0000	18.0000	dms
Profile Height	h_b	4.5654	4.5654	mm
Rotation of Regface	γ S	0.0000	0.0000	dms
Spheric Radius	R_{HBb}	0.0000	0.0000	mm
Dedendum	h_{Db}	0.0000	0.0000	mm
Edge Radius	ρ b	0.1270	0.1270	mm
Modifications				
Root Relief Height	h_{Rb}	0.0000	0.0000	mm
Root Relief Radius	Ra_{Rb}	0.0000	0.0000	mm
Root Relief Angle	α_{Rb}	0.0000	0.0000	dms
Tip Relief Height	h_{Tb}	0.0000	0.0000	mm
Tip Relief Radius	Ra_{Tb}	0.0000	0.0000	mm
Tip Relief Angle	α_{Tb}	0.0000	0.0000	dms

5. General Tool Gear - Neutral data

5.1 Tool

		Concave Flank	Convex Flank	
General Data				
Nom. Radius	r_w	76.2000	76.2000	mm
Number of Blade Groups	z_0	0	0	
Point Data				
Reference Point Radius	R_{F1}	76.7715	75.6285	mm
Tip Height	t	0.0000	0.0000	mm
Reference Point Offset	vs	0.0000	0.0000	mm
Blade Top Width	w	1.1430	1.1430	mm
Gable Angle	α_G	0.0000	0.0000	dms
Reference Point Angle	ϵ_0	0.0000	0.0000	dms

5.2 Active Profile

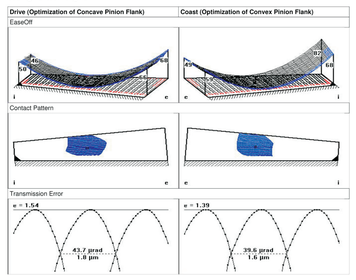
		Concave Flank	Convex Flank	
Tooth Height	h_{ges}	4.5020	4.5020	mm
Basic Profile				
Flank Angle	α_F	20.0000	20.0000	dms
Profile Height	h	4.5654	4.5654	mm
Inclination of Rakeface	λ	0.0000	0.0000	dms
Spheric Radius	R_{HB}	0.0000	0.0000	mm
Dedendum	h_D	0.0000	0.0000	mm
Edge Radius	ρ	0.5080	0.5080	mm
Modifications				
Root Relief Height	h_R	0.0000	0.0000	mm
Root Relief Radius	Ra_R	0.0000	0.0000	mm
Root Relief Angle	α_R	0.0000	0.0000	dms
Tip Relief Height	h_T	0.0000	0.0000	mm
Tip Relief Radius	Ra_T	0.0000	0.0000	mm
Tip Relief Angle	α_T	0.0000	0.0000	dms

5.3 Clearance Side

		Concave Flank	Convex Flank	
Tooth Height	h_{ges}	4.5020	4.5020	mm
Basic Profile				
Flank Angle	α_{Fb}	20.0000	20.0000	dms
Profile Height	h_b	4.5654	4.5654	mm
Rotation of Regface	γ S	0.0000	0.0000	dms
Spheric Radius	R_{HBb}	0.0000	0.0000	mm
Dedendum	h_{Db}	0.0000	0.0000	mm
Edge Radius	ρ b	0.5080	0.5080	mm
Modifications				
Root Relief Height	h_{Rb}	0.0000	0.0000	mm
Root Relief Radius	Ra_{Rb}	0.0000	0.0000	mm
Root Relief Angle	α_{Rb}	0.0000	0.0000	dms
Tip Relief Height	h_{Tb}	0.0000	0.0000	mm
Tip Relief Radius	Ra_{Tb}	0.0000	0.0000	mm
Tip Relief Angle	α_{Tb}	0.0000	0.0000	dms

EaseOff Design

Bearing Variation: Original

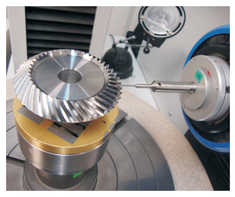


		Drive	Coast	
Spiral Angle Difference	d_β	-0.0213	-0.0438	dms
Pressure Angle Difference	d_α	0.0049	-0.0235	dms
Lengthwise Crowning	LB	53.1	61.4	µm
Profile Crowning	HB	3.9	2.5	µm
Longitudinal Twist	dv	-0.0823	0.2715	dms

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 bryłowych 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.



Rys. 5. Pomiar topografii boku zęba na maszynie współrzędnościowej.

Fig. 5. Measurement of the tooth topography on CMM.

Wskaźniki realizacji celów projektu
Indicators of the project

Publikacje

1. Skawiński P., Kret M.: **Wpływ modyfikacji odtaczania na kształt zarysu zęba zębnika przekładni stożkowej o kołowo-łukowej linii zęba.** Influence of modified roll ratio on tooth surface of pinion of spiral bevel gears. MECHANIK NR 5-6/2013

2. Skawiński P., Kret M.: **Mathematical model of the modified roll for spiral bevel gears milling machines; Matematyczny model modyfikacji odtaczania frezarek do kół stożkowych o kołowo-łukowej linii zęba.** ADVANCES IN MANUFACTURING SCIENCE AND TECHNOLOGY, Vol. 37, No. 2, 2013

3. Błazucki P., Skawiński P.: **Budowa i programowanie 4-osiowej sterowanej numerycznie laboratoryjnej frezarki do kół stożkowych kołowo-łukowych.** Design and programming of a 4-axis CNC laboratory milling machine for production of spiral bevel gears. MECHANIK NR 12/2013

Prace mgr, dr, hab.

Prace magisterskie

Apel K.: Projekt obróbki uzębienia stożkowego o kołowo-łukowej linii zęba na uniwersalnej frezarce CNC. Promotor dr inż. P. Siemiński. Praca dyplomowa magisterska. Obrona w 2013.

Trzewik P.: Rekonstrukcja i wykonanie przekładni głównej 8/54 zabytkowego motocykla BMW. Promotor dr hab. inż. P. Skawiński. Praca dyplomowa magisterska. Obrona planowana na czerwiec 2014.

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: dr hab. inż. Piotr Skawiński
Status: Przewód doktorski otwarty dn. 26.06.2013. Przewidywana obrona grudzień 2014

*Tytuł (roboczy): **Obróbka uzębień kół stożkowych o zębach kołowo-łukowych na wieloosiowych frezarkach CNC.***
Autor: Piotr Błazucki
Promotor: dr hab. inż. Piotr Skawiński
Status: Praca doktorska we wstępnym przygotowaniu. Przewidywane otwarcie przewodu doktorskiego czerwiec 2014.

*Tytuł: **Zastosowanie syntezy i analizy zazębień do wyznaczania topografii bocznej powierzchni zęba przekładni stożkowych kołowo-łukowych.***
Autor: Wojciech Jędrzejczyk
Promotor: dr hab. P. Skawiński, Status: w realizacji.

PROJEKT WSPÓŁFINANSOWANY PRZEZ UNIĘ EUROPEJSKĄ ZE ŚRODKÓW EUROPEJSKIEGO FUNDUSZU ROZWOJU REGIONALNEGO