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
23-24 Czerwca 2014

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

Dobór danych wejściowych w systemie KONTEPS obliczeń komputerowych konstrukcji i technologii przekładni stożkowych

Selection of input data into the KONTEPS computer calculation system of spiral bevel gears

Przeprowadzono badania poszukiwania optymalnego doboru danych wejściowych do technologii bazowej, a w szczególności sumarycznego współczynnika beczkowatości Kp przy założeniu zadanego stałego rozstawienia noży głowicy frezowej i zakładanego współczynnika długości śladu współpracy. Celem badań jest ułatwienie projektantowi doboru danych wejściowych w systemie KONTEPS obliczeń komputerowych konstrukcji i technologii przekładni stożkowych.
The research work was to search for the optimal selction of the basic technology input data, in particular, total factor crowning Kp assuming a given wide of blades of cutter head and defined lenght of the tooth contact. The aim of the research is to facilitate the designer selection of input data into the KONTEPS computer calculation system of spiral bevel gears.

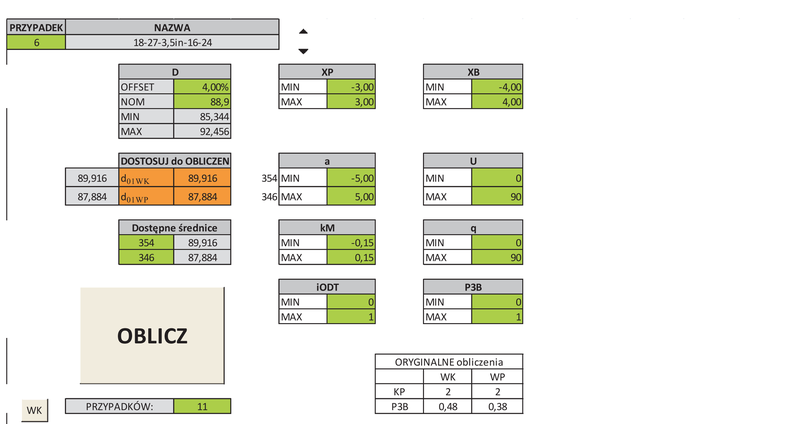
GEOMETRIA		1	2	3	4	5	6	7
Kąt stopy zeba zębnika	TETF 1, Θf1	2,926	2,926	1,562	6,263	2,820833333	3,145555556	4,324444444
Kąt stopy zeba koła	TETF 2, Θf2	3,763	3,763	2,638	7,737	3,679166667	4,954444444	5,675555556
Liczba zębów zebnika	Z1, NZ1	18	18	18	16	16	18	16
Liczba zębów koła	Z2, ZN2	43	43	27	21	25	27	35
Długość tworzącej stozka podziałowego	Rm, R	59,824	59,824	59,106	43,802	72,474	40,514	32,484
Kąt stozka podziałowego zębnika	DEL 1, δ1	18,988	18,988	33,690	37,30388889	32,61916667	33,69	24,56722222
Kąt stozka podziałowego koła	DEL 2, δ2	51,012	51,012	56,310	52,69611111	57,38083333	56,31	65,43277778
Kąt pochylenia linii zęba	BET, βm	35	35	35	6	37,5	40	1
Kąt stozka głów zębnika	DELA 1, δa1	22,752	22,752	36,329	45,04083333	36,29861111	38,64444444	30,24277778
Kąt stozka głów koła	DELA 2, δa2	53,937	53,937	57,871	58,95916667	60,20138889	59,45555556	69,75722222
Kąt stozka stóp zębnika	DELF 1, δf1	16,017	16,017	32,129	31,04083333	29,79861111	30,54444444	20,24277778
Kąt stozka stóp koła	DELF 2, δf2	47,212	47,212	53,671	44,95916667	53,70138889	51,35555556	59,75722222
Szerokość wieńca zębatego	B	16	16	20	18	24	15	12
Średnica głowicy nozowej	D0	50,8	50,8	88,9	152,4	152,4	88,9	88,9
SZER.ROZSTAWIENIA NOZY DO OBR.WYK.KOLA	W 2 RZECZYW	0,762	0,762	2,032	2,286	2,032	1,016	1,397
WYSOKOSC STOPY ZEBA kola	WHF2, hf2	2,49	2,49	4,9	4,2	6	3,15	2,1
WYSOKOSC STOPY ZEBA zebnika	WHF1, hf1m	1,45	1,45	2,9	3,4	4,6	2	1,6
KIERUNEK POCHYLENIA LINII ZEBA ZEBNIKA	LZZ	PRAWY	PRAWY	LEWY	LEWY	LEWY	LEWY	LEWY
TECHNOLOGIA								
Kąty zarysu noży do obróbki koła	α2WK	20	20	20	20	20	16	20
Kąty zarysu noży do obróbki zębnika	α1WK	20	18	16	20	20	16	20
Współczynnik długości śladu współpracy	BWK (P3B)			0,225	0,393	1,88	0,48	0,53
Sumaryczny współczynnik beczkowatości	KpWK			3	5	5	2	1,25
Poprawka kąta stożka podziałowego	ΔδWK	0	0	0	0	0	0	0
Poprawka przesunięcia hipoidalnego	ΔaWK	0	0	0	0	0	0	0
Kąty zarysu noży do obróbki koła	α2WP	20	20	20	20	20	24	20
Kąty zarysu noży do obróbki zębnika	α1WP	20	22	24	20	20	24	20
Współczynnik długości śladu współpracy	BWP (P3B)			0,195	0,36	0,167	0,38	0,51
Sumaryczny współczynnik beczkowatości	KpWP			1,5	3	3	2	1,25
Poprawka kąta stożka podziałowego	ΔδWP	0	0	0	0	0	0	0
Poprawka przesunięcia hipoidalnego	ΔaWP	0	0	0	0	0	0	0
		18-43-2in-20_20	18-43-2in-18_22	18-27-3,5in-16_24	16-21-6in-20_20	16-25-6in-20_20	18-27-3,5in-16-24	16-35-3,5in-20-20
	d_{01WK}			89,916	154,178	153,924	89,916	89,662
	d_{01WP}			87,884	150,622	150,876	87,884	88,138

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

1.	Kąt stopy zeba zębnika	TETF 1, Θf1	3,146
2.	Kąt stopy zeba koła	TETF 2, Θf2	4,954
3.	Liczba zębów zebnika	Z1, NZ1	18,000
4.	Liczba zębów koła	Z2, ZN2	27,000
5.	Długość tworzącej stozka podziałowego	Rm, R	40,514
6.	Kąt stozka podziałowego zębnika	DEL 1, δ1	33,690
7.	Kąt stozka podziałowego koła	DEL 2, δ2	56,310
8.	Kąt pochylenia linii zęba	BET, βm	40,000
9.	Kąt stozka głów zębnika	DELA 1, δa1	38,644
10.	Kąt stozka głów koła	DELA 2, δa2	59,456
11.	Kąt stozka stóp zębnika	DELF 1, δf1	30,544
12.	Kąt stozka stóp koła	DELF 2, δf2	51,356
13.	Szerokość wieńca zębatego	B	15,000
14.	Średnica głowicy nozowej	D0	88,900
15.	SZER.ROZSTAWIENIA NOZY DO OBR.WYK.KOLA	W2 RZECZYW	1,016
16.	WYSOKOSC STOPY ZEBA kola	WHF2, hf2	3,150
17.	WYSOKOSC STOPY ZEBA zebnika	WHF1, hf1m	2,000
18.	KIERUNEK POCHYLENIA LINII ZEBA ZEBNIKA	LZZ	LEWY

Dane wejściowe do obliczeń technologii bazowej SGM			
1.	Kąty zarysu noży do obróbki koła	α2WK	16,000
2.	Kąty zarysu noży do obróbki zębnika	α1WK	16,000
3.	Współczynnik długości śladu współpracy	BWK (P3B)	0,995
4.	Sumaryczny współczynnik beczkowatości	KpWK	8,000
5.	Poprawka kąta stożka podziałowego	ΔδWK	0,000
6.	Poprawka przesunięcia hipoidalnego	ΔaWK	0,000
		α2WP	24,000
		α1WP	24,000
		BWP (P3B)	1,000
		KpWP	8,000
		ΔδWP	0,000
		ΔaWP	0,000

Tabela 2. Poszukiwanie optymalnych danych wejściowych do technologii bazowej
Table 2. The searching of the optimum input data into the base technology

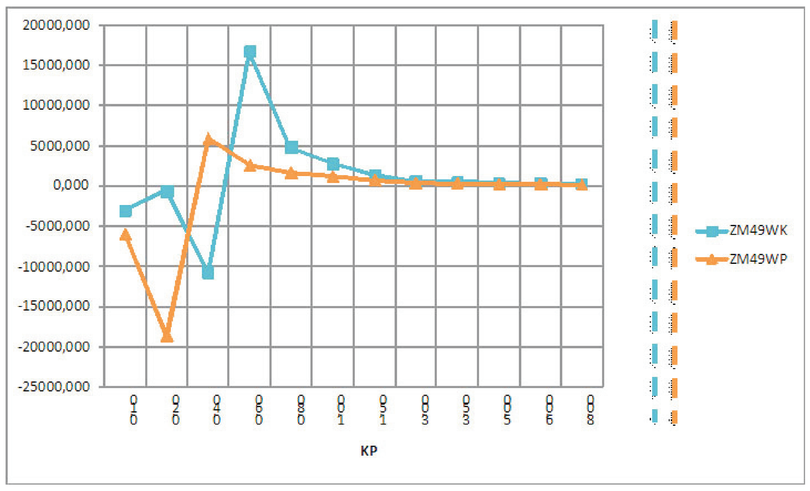


PRZYPADEK	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
BWK (P3B)	0,33800	0,03800	0,35300	0,36300	0,37500	0,38800	0,42800	0,67300	0,91500	1,00000	1,00000	1,00000
BWP (P3B)	0,31800	0,32000	0,32500	0,33000	0,33800	0,34300	0,36000	0,42500	0,45300	0,56800	0,70000	1,00000
KP	0,10000	0,20000	0,40000	0,60000	0,80000	1,00000	1,50000	3,00000	3,50000	5,00000	6,00000	8,00000

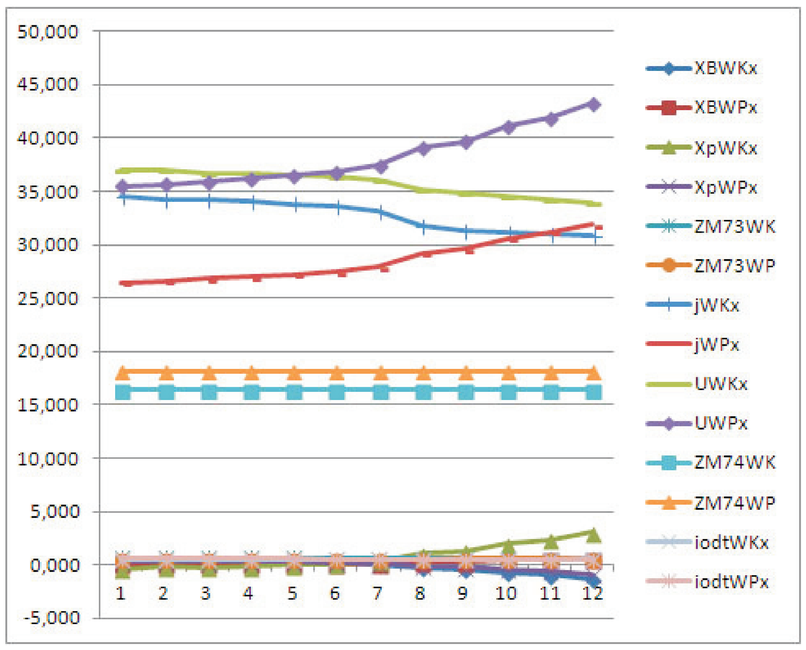
1	$\Sigma\Theta_f$	8,100	8,100	8,100	8,100	8,100	8,100	8,100	8,100	8,100	8,100	8,100	8,100
2	ZM_1	22,557	22,557	22,557	22,557	22,557	22,557	22,557	22,557	22,557	22,557	22,557	22,557
3	ZM_{1WK}	-0,049	-0,049	-0,049	-0,049	-0,049	-0,049	-0,049	-0,049	-0,049	-0,049	-0,049	-0,049
4	ZM_{1WP}	0,601	0,601	0,601	0,601	0,601	0,601	0,601	0,601	0,601	0,601	0,601	0,601
5	ZM_2	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035
6	ZM_{2WK}	0,713	0,713	0,713	0,713	0,713	0,713	0,713	0,713	0,713	0,713	0,713	0,713
7	ZM_{2WP}	0,310	0,310	0,310	0,310	0,310	0,310	0,310	0,310	0,310	0,310	0,310	0,310
8	α_{f1WK}	18,659	18,659	18,659	18,659	18,659	18,659	18,659	18,659	18,659	18,659	18,659	18,659
9	α_{f1WP}	21,097	21,097	21,097	21,097	21,097	21,097	21,097	21,097	21,097	21,097	21,097	21,097
10	ZM_3	0,960	0,960	0,960	0,960	0,960	0,960	0,960	0,960	0,960	0,960	0,960	0,960
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
167	U_{WKx}	36,942	37,016	36,748	36,620	36,493	36,367	36,057	35,171	34,888	34,514	34,298	33,871
168	U_{WPx}	35,519	35,663	35,945	36,222	36,491	36,757	37,395	39,125	39,646	41,073	41,921	43,327
169	ZM_{T4WK}	16,422	16,422	16,422	16,422	16,422	16,422	16,422	16,422	16,422	16,422	16,422	16,422
170	ZM_{T4WP}	18,183	18,183	18,183	18,183	18,183	18,183	18,183	18,183	18,183	18,183	18,183	18,183
171	i_{odtWKx}	0,540	0,537	0,540	0,541	0,542	0,542	0,544	0,549	0,551	0,556	0,559	0,564
172	i_{odtWPx}	0,572	0,570	0,567	0,563	0,560	0,557	0,550	0,532	0,527	0,514	0,507	0,494
173	qWKx	78,276	78,028	77,978	77,781	77,586	77,393	76,918	75,548	75,110	74,889	74,792	74,533
174	qWKx	67,544	67,659	67,883	68,101	68,312	68,517	69,006	70,292	70,669	71,676	72,260	72,951
175	δWKx	30,544	30,544	30,544	30,544	30,544	30,544	30,544	30,544	30,544	30,544	30,544	30,544
176	δWPx	30,544	30,544	30,544	30,544	30,544	30,544	30,544	30,544	30,544	30,544	30,544	30,544
177	**qbWKx**	78,276	78,028	77,978	77,781	77,586	77,393	76,918	75,548	75,110	74,889	74,792	74,533
178	**qbWPx**	67,544	67,659	67,883	68,101	68,312	68,517	69,006	70,292	70,669	71,676	72,260	72,951
179	iWKx	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
180	iWPx	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
181	**P3B WK**	0,338	0,038	0,353	0,363	0,375	0,388	0,428	0,673	0,915	1,000	1,000	1,000
182	**P3B WP**	0,318	0,320	0,325	0,330	0,338	0,343	0,360	0,425	0,453	0,568	0,700	1,000

Tabela 3. Wyniki obliczeń technologii bazowej dla zmiennego współczynnika sumarycznej beczkowatości i stałego zadanego rozstawienia noży głowicy frezowej
Table 3. The results of the basic technology for variable factor of total crowning and costant blade width of cutter

Wyniki badań
Results



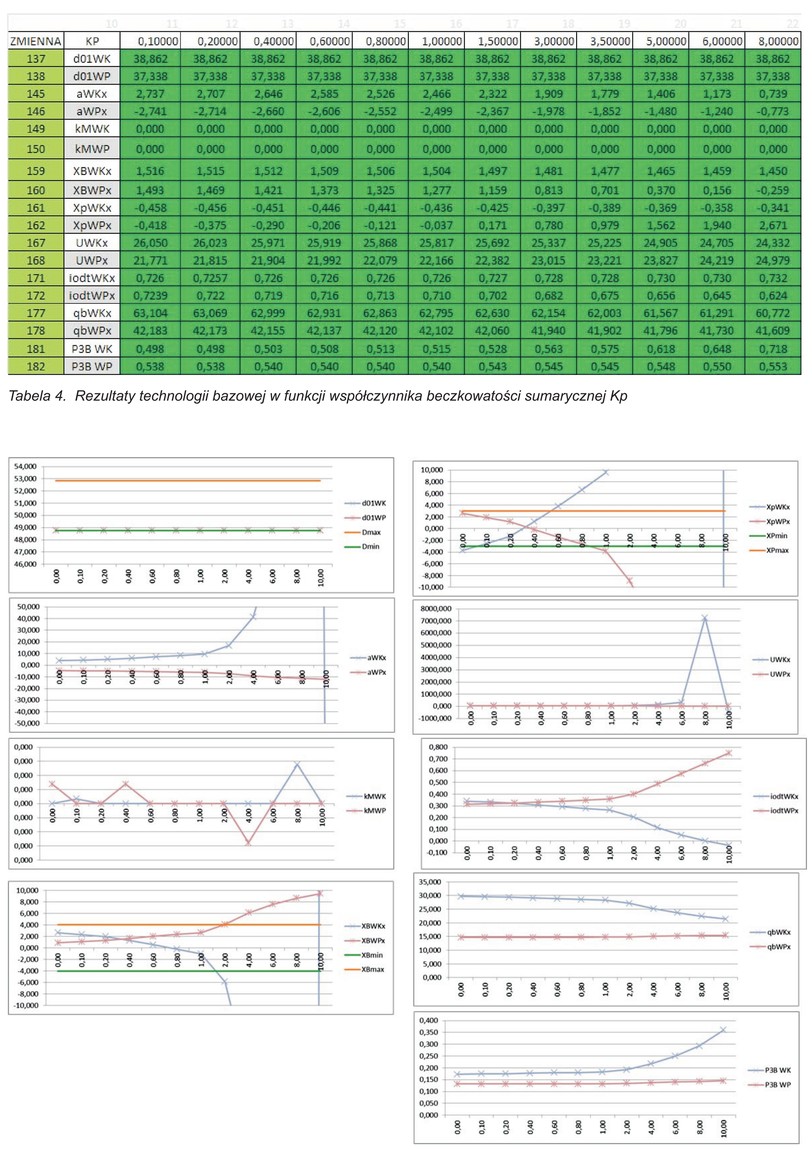
Rys.1. *Przykładowy przebieg jednej ze zmiennych wpływających na wyniki technologii bazowej*
Fig.1. Sample graph of one of the variable that affect the performance of the basic technologyRys.1.



Rys.2. Graficzny obraz zmian wybranych zmiennych i parametrów ustawczych technologii bazowej
Fig.2. Graphic representation of the selected variables and set up parameters of the basic technology

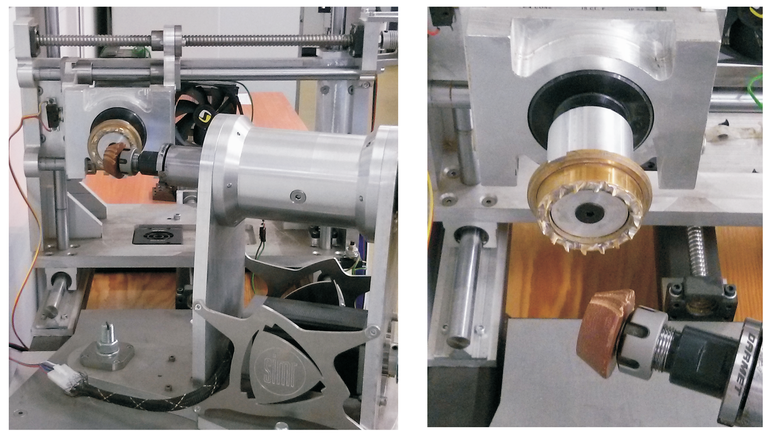
		10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
ZMIENNA	KP	0,10000	0,20000	0,40000	0,60000	0,80000	1,00000	1,50000	3,00000	3,50000	5,00000	6,00000	8,00000	
137	d01WK	38,862	38,862	38,862	38,862	38,862	38,862	38,862	38,862	38,862	38,862	38,862	38,862	
138	d01WP	37,338	37,338	37,338	37,338	37,338	37,338	37,338	37,338	37,338	37,338	37,338	37,338	
145	aWKx	2,737	2,707	2,646	2,585	2,526	2,466	2,322	1,909	1,779	1,406	1,173	0,739	
146	aWPx	-2,741	-2,714	-2,660	-2,606	-2,552	-2,499	-2,367	-1,978	-1,852	-1,480	-1,240	-0,773	
149	kMWK	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
150	kMWP	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
159	XBWKx	1,516	1,515	1,512	1,509	1,506	1,504	1,497	1,481	1,477	1,465	1,459	1,450	
160	XBWPx	1,493	1,469	1,421	1,373	1,325	1,277	1,159	0,813	0,701	0,370	0,156	-0,259	
161	XpWKx	-0,458	-0,456	-0,451	-0,446	-0,441	-0,436	-0,425	-0,397	-0,389	-0,369	-0,358	-0,341	
162	XpWPx	-0,418	-0,375	-0,290	-0,206	-0,121	-0,037	0,171	0,780	0,979	1,562	1,940	2,671	
167	UWKx	26,050	26,023	25,971	25,919	25,868	25,817	25,692	25,337	25,225	24,905	24,705	24,332	
168	UWPx	21,771	21,815	21,904	21,992	22,079	22,166	22,382	23,015	23,221	23,827	24,219	24,979	
171	iodtWKx	0,726	0,7257	0,726	0,726	0,726	0,726	0,727	0,728	0,728	0,730	0,730	0,732	
172	iodtWPx	0,7239	0,722	0,719	0,716	0,713	0,710	0,702	0,682	0,675	0,656	0,645	0,624	
177	qbWKx	63,104	63,069	62,999	62,931	62,863	62,795	62,630	62,154	62,003	61,567	61,291	60,772	
178	qbWPx	42,183	42,173	42,155	42,137	42,120	42,102	42,060	41,940	41,902	41,796	41,730	41,609	
181	P3B WK	0,498	0,498	0,503	0,508	0,513	0,515	0,528	0,563	0,575	0,618	0,648	0,718	
182	P3B WP	0,538	0,538	0,540	0,540	0,540	0,540	0,543	0,545	0,545	0,548	0,550	0,553	

Tabela 4. Rezultaty technologii bazowej w funkcji współczynnika beczkowatości sumarycznej Kp



Rys.3. Graficzna ilustracja zależności parametrów technologii bazowej od współczynnika beczkowatości sumarycznej Kp
Fig.3. Graphic illustration of basic technology parameters depending on profile crowning factor Kp

Wyniki badań
Results



Rys. 4. Laboratoryjna 4-osiowa frezarka CNC przygotowana do prób frezowania

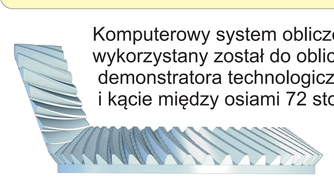
Rys.5. Kształt zęba/luki miedzyzębnej w zależności od współczynnika sumarycznej beczkowatości Kp. Fotografie kolejno od lewej: Kp=0, Kp=1, Kp=2, Kp=4.

Wnioski
Conclusions

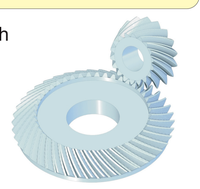
Poprawna konstrukcja przekładni stożkowej to także poprawna technologia o której decydują dane wejściowe do obliczeń technologii bazowej. Poza kątami zarysu noży do obróbki przekładni pozostałe dane to współczynniki jak np.współczynnik beczkowatości wzdłużnej i poprzecznej i inne poprawki trzeciego rzędu z których m.inn. poprawka przesunięcia hipoidalnego jest dość często stosowana. Przeprowadzona analiza wykazała, iż z zalecanego przedziału dla kilku dopuszczalnych wartości współczynnika Kp, niektóre rozwiązania należy odrzucić (rys.5 Kp=2 i Kp=4), co potwierdzają badania symulacyjne i testowe.

Proper design of spiral bevel gears mean correct also technological calculations, which are dependent on the input data. Except pressure angle other input data are coefficients as example crowning factors (longitudinal and profile) and other third order changes as for instance hypoid offset changes. The analysis showed that the recommended range of several limit values Kp, some solution should be rejected (Fig.5 Kp=2 and Kp=4), which are confirmed by simulations and tests.

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.



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
Indicators of the project

Referaty

1. 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-łukowej linii zęba*** Konferencja Supply on the wings 2014, Frankfurt, 28-30 October (w przygotowaniu).

2. Piotr Błazucki, Piotr Skawiński: ***Programowanie obróbki uzębień kół stożkowych systemu Gleasona na 4-osiowej laboratoryjnej frezarce CNC Programming of the milling operation of Gleason spiral bevel gears on the 4 -axis CNC laboratory machine*** Konferencja Supply on the wings 2014, Frankfurt, 28-30 October (w przygotowaniu).

Prace mgr, dr, hab..

Prace inżynierskie obronione:

- Karol Derejczyk : ***Porównanie wybranych technik przestrzennych pomiarów bezdotykowych***
  Promotor: dr. inż. Przemysław Siemiński
- Bartosz Chomacki: ***Komputerowo wspomagane badanie śladu współpracy przekładni stożkowej typu Formate z uwzględnieniem błędów montażu*** Promotor: dr inż.. Przemysław Siemiński.
- Jakub Skłodowski: ***Analiza możliwości wykorzystania modułu „SolidWorks Motion" do generowania wykresów błędów przełożenia dla zębatych przekładni stożkowych o kołowo-łukowej linii zębów*** Promotor: dr inż.. Przemysław Siemiński.

Prace magisterskie w realizacji

- Paweł Trzewik :***Rekonstrukcja i wykonanie przekładni głównej 8/54 zabytkowego motocykla BMW.*** Promotor: dr hab. inż. P. Skawiński. Obrona planowana na grudzień 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 26.06.2013. Przewidywana obrona marzec 2015

Tytuł: ***Obróbka uzębień kół stożkowych o zębach kołowo-łukowych na wieloosiowych frezarkach CNC.***
Autor: Piotr Błazucki
Promotor: dr hab. inż. Piotr Skawiński
Status: w przygotowaniu

PROJEKT WSPÓŁFINANSOWANY PRZEZ UNIĘ EUROPEJSKĄ ZE ŚRODKÓW EUROPEJSKIEGO FUNDUSZU ROZWOJU REGIONALNEGO