



**INNOWACYJNA  
GOSPODARKA**  
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



**UNIA EUROPEJSKA**  
EUROPEJSKI FUNDUSZ  
ROZWOJU REGIONALNEGO



# **Projekt: „Nowoczesne technologie materiałowe stosowane w przemyśle lotniczym”**

**ZB3. Opracowanie technologii efektywnego projektowania i produkcji przekładni stożkowych z wykorzystaniem systemu Phoenix firmy Gleason**

**Liderzy:** dr hab. inż. Adam Marciniak - PRz  
dr inż. Piotr Skawiński - PW

---

---



# Partnerzy w Zadaniu Badawczym 3

## 1. Politechnika Rzeszowska,

### 1. Katedra Konstrukcji Maszyn

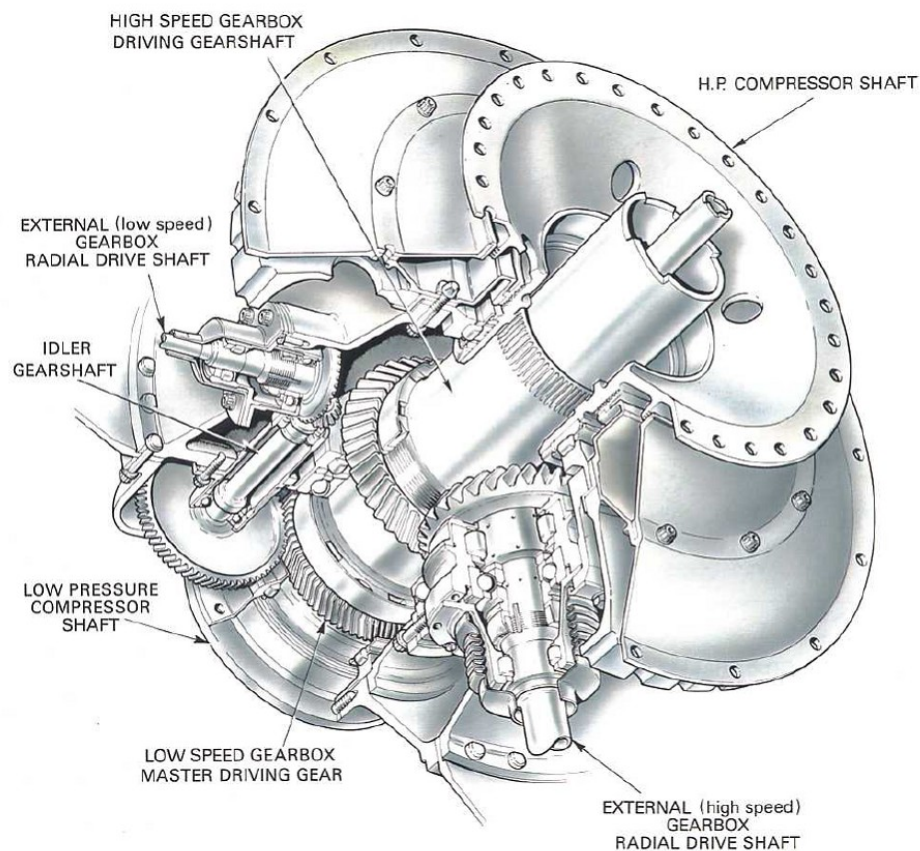
1. dr hab. inż. Adam Marciniak
2. prof. dr hab. inż. Tadeusz Markowski
3. dr hab. inż. Mariusz Sobolak
4. dr inż. Jadwiga Pisula
5. dr inż. Jacek Pacana
6. dr inż. Mieczysław Płocica
7. mgr inż. Małgorzata Zaborniak.
8. mgr inż. Tomasz Dziubek,

### • Politechnika Warszawska,

- dr inż. Piotr Skawiński
- dr hab. inż. Tadeusz Sałaciński
- dr inż. Przemysław Siemiński
- dr inż. Paweł Gruszczyński
- dr inż. Ryszard Kuryjański
- dr inż. Jarosław Misiak



# Przekładnie stożkowe w przemyśle lotniczym





# Kierunki rozwoju konstrukcji przekładni stożkowych i technologii ich produkcji

## Cele:

1. Podwyższanie własności wytrzymałościowych i eksploatacyjnych przekładni.
2. Skrócenie czasu wdrożenia do produkcji.
3. Zwiększanie elastyczności produkcji
4. Obniżenie kosztów



# Kierunki rozwoju konstrukcji przekładni stożkowych i technologii ich produkcji

## Środki do realizacji celów:

1. Zastosowanie nowych materiałów i metod obróbki cieplno-chemicznej oraz pokryć.
  2. Rozwój komputerowych metod projektowania przekładni, opracowania technologii wytwarzania i procedur pomiarowych:
    - Dobór podstawowej geometrii przekładni, narzędzi i parametrów ustawczych obrabiarek.
    - Symulacja obróbki.
    - Modyfikacja powierzchni bocznej zęba dla uzyskania optymalnego śladu współpracy i wykresów ruchowych przekładni (TCA, LTCA)
    - Program sterowania obrabiarką CNC.
    - Pomiary wykonanego uzębienia na CMM.
    - Korekta parametrów i sterowania procesem obróbki.
- Zastosowanie nowych środków produkcji – obrabiarki CNC
  - Właściwa organizacja i zarządzanie



## Aktualny stan wiedzy

- Monopolistyczna pozycja producentów obrabiarek (Gleason, grupa Sigma Pool : Klingelnberg, Oerlikon) w zakresie software'u: G-AGE , KIMOS, KOMET.
- Brak informacji na temat teoretycznych podstaw funkcjonowania oprogramowania.
- Istnieje szereg publikacji podających cząstkowe rozwiązania problemów związanych z konstrukcją i wytwarzaniem kół przekładni stożkowych. Oprogramowanie generujące modele bryłowe kół stożkowych: HyGEARS, GearWizard , MITCalc, KISSsoft, Gear Design Program
- Potrzeba opracowania podstaw teoretycznych i zintegrowanego oprogramowania do projektowania konstrukcji i procesu wytwarzania kół przekładni stożkowych, dający możliwość ich dalszego rozwoju w oparciu o polskie ośrodki badawcze.

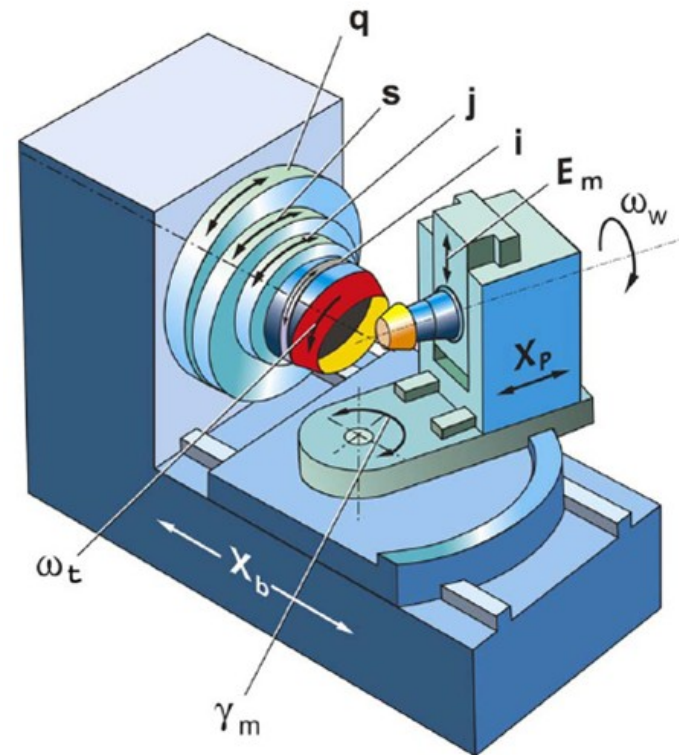
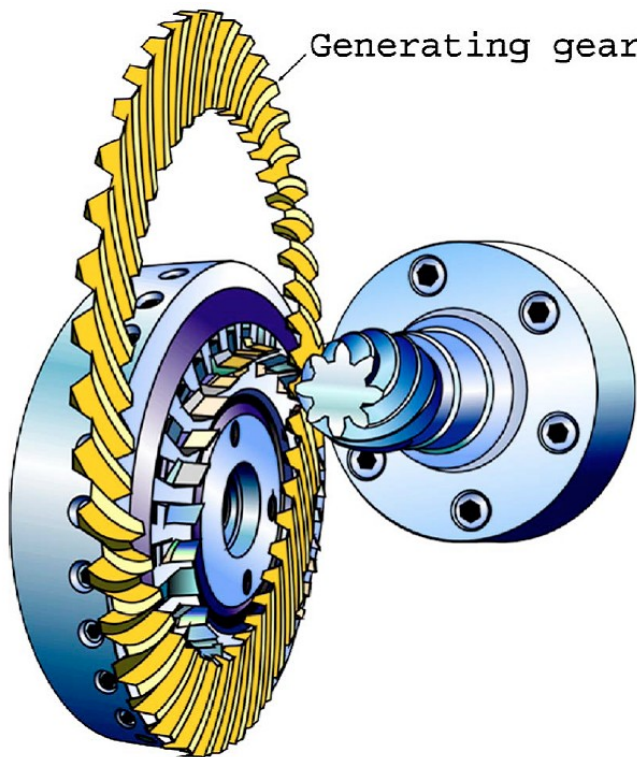


## Główne cele zdania badawczego nr 3

- CZ 3.1 - opracowanie systemu komputerowego wspomagającego projektowanie konstrukcji przekładni stożkowych;
- CZ 3.2 - opracowanie systemu komputerowego procesu obróbki uzębienia na maszynie Phoenix;
- CZ 3.3 - stworzenie spójnego komputerowego systemu ukierunkowanego na nową generację maszyn CNC Phoenix.



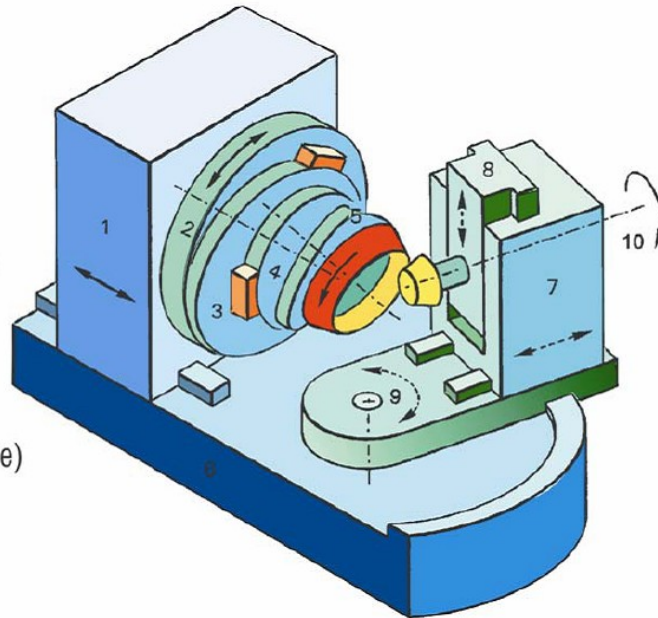
# Zasada obróbki obwiedniowej kół zębatach stożkowych





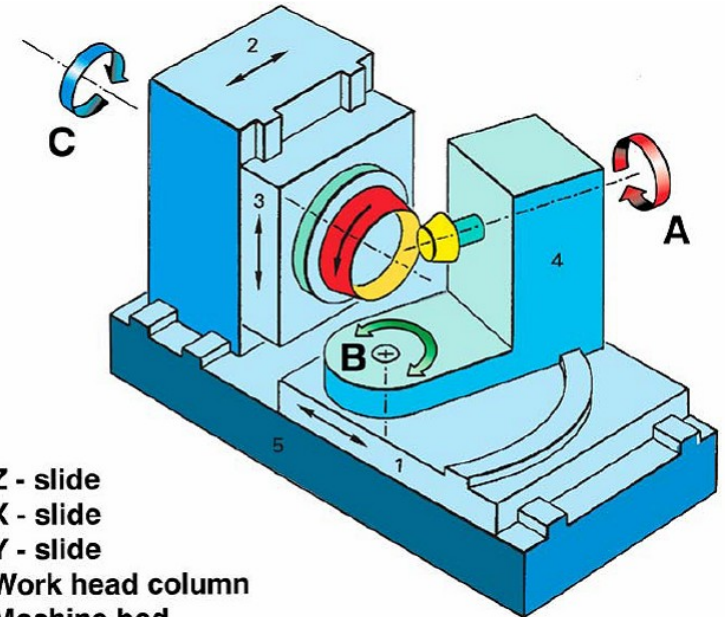


# Obrabiarki do nacinania uzębienia kół stożkowych



1. Cutter Head Column
2. Cradle
3. Eccentric
4. Swivel Drum
5. Tilt Mechanism
6. Machine Base (Frame)
7. Work Head Column
8. Hypoid Offset Side
9. Swinging Base
10. Work Axis

Rys. 1 a. koncepcja konwencjonalnej obrabiarki sterowanej mechanicznie (G116)



1. Z - slide
2. X - slide
3. Y - slide
4. Work head column
5. Machine bed

Rys. 1 a. koncepcja obrabiarki CNC 6-osiowej (Phoenix)

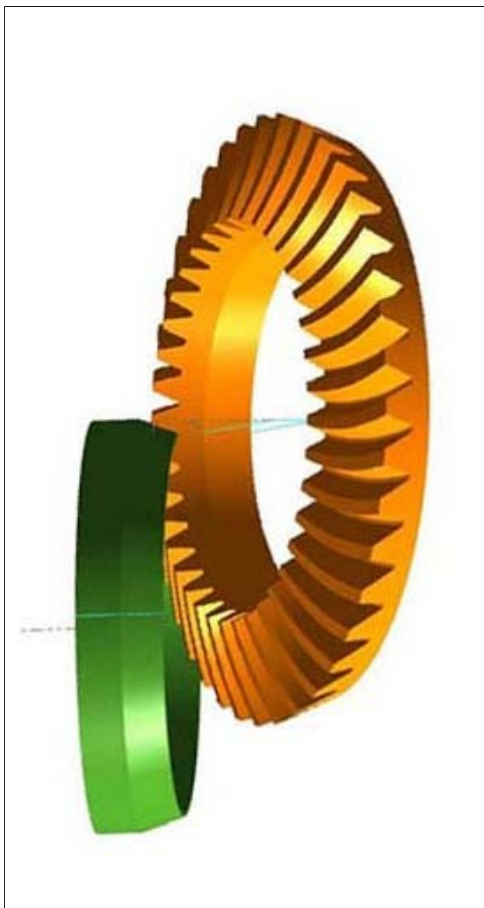


Gleason Phoenix 175HC CNC



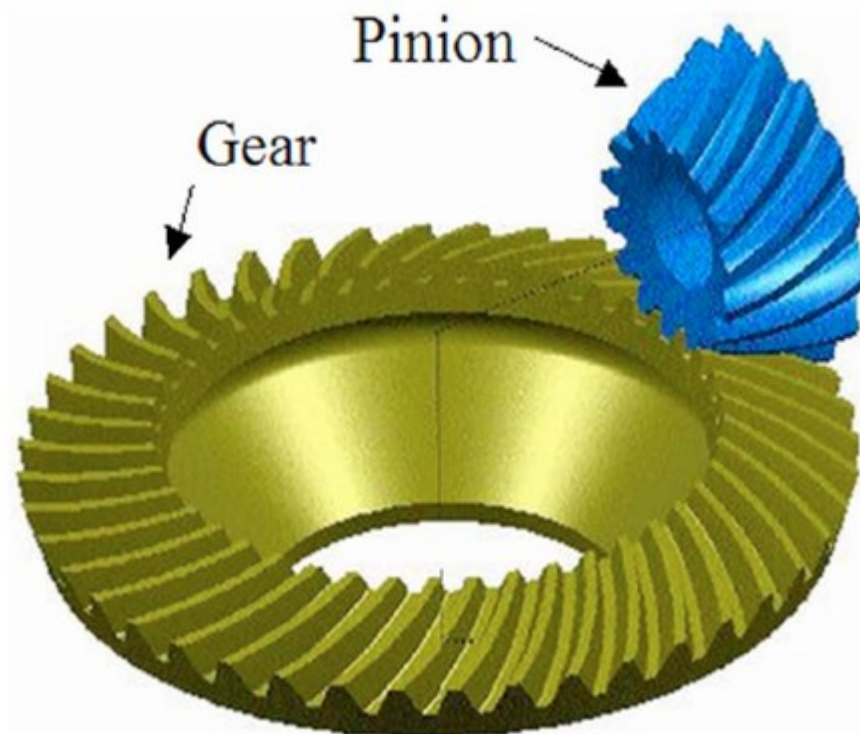


# Symulacja obróbki i obróbka rzeczywista



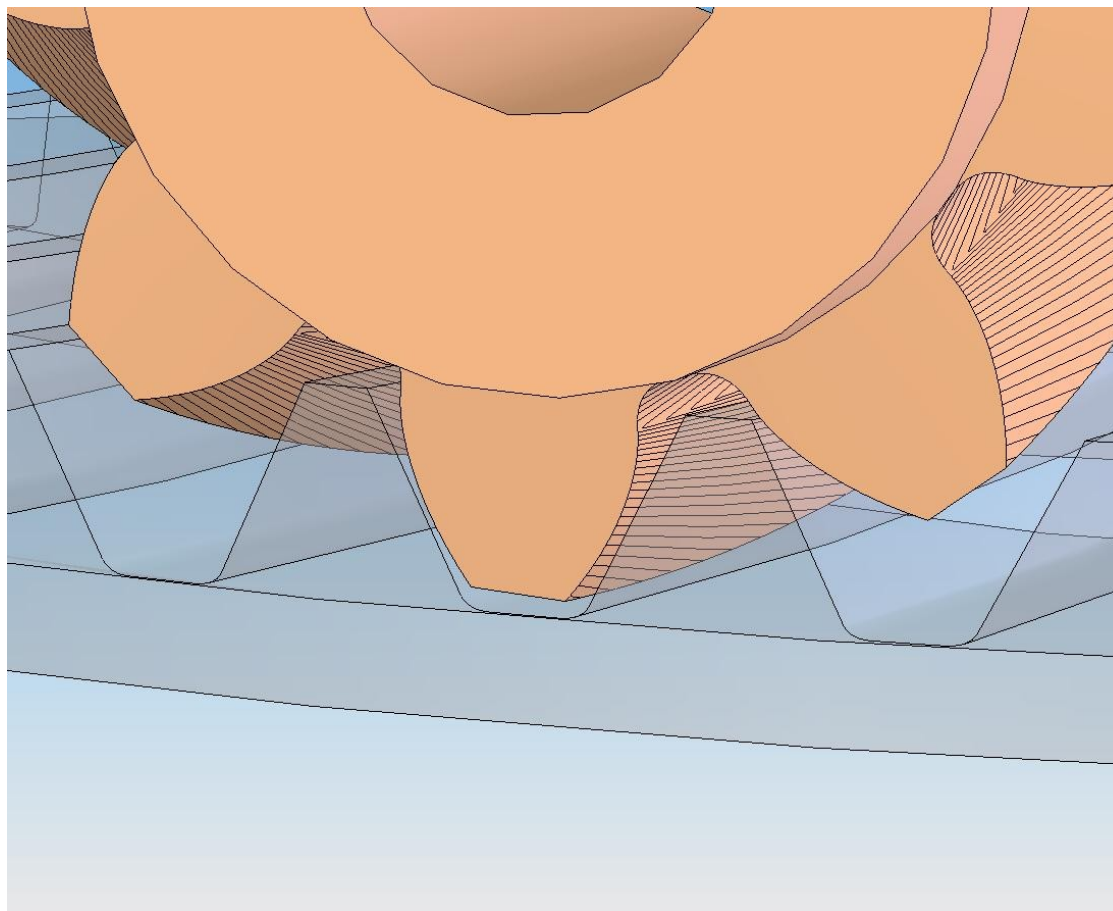


## Model bryłowy przekładni



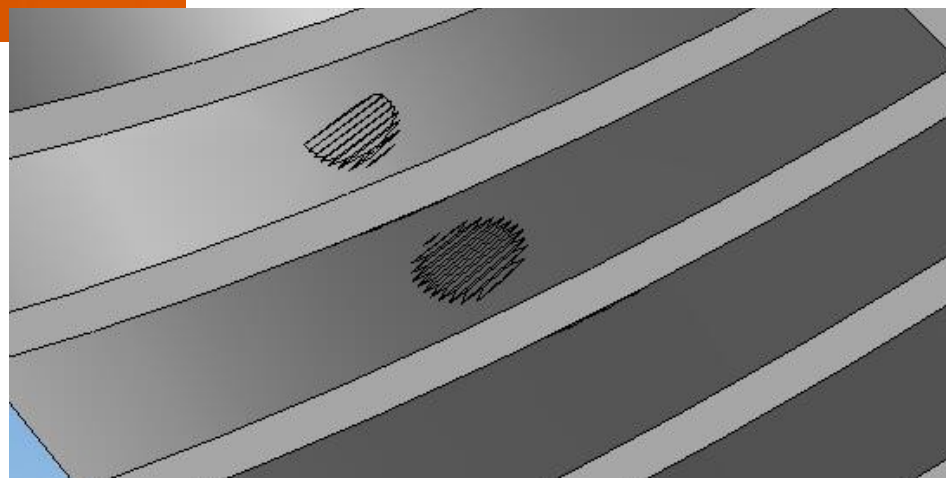
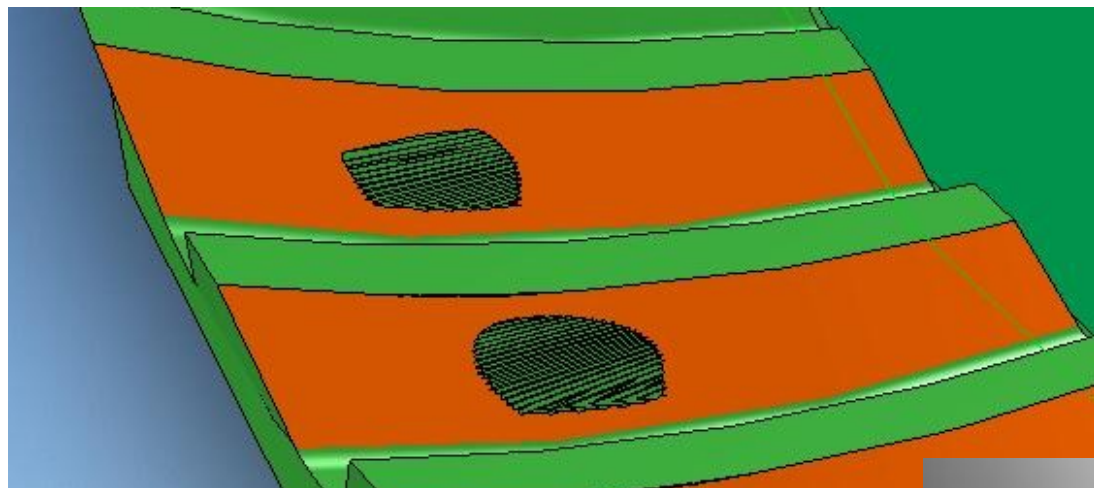


## Symulacja współpracy



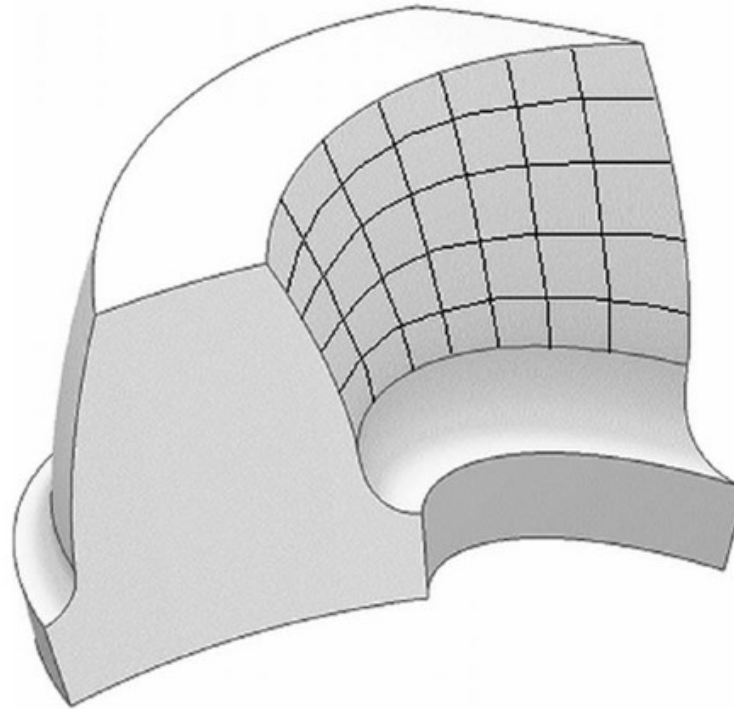


## Badanie śladu współpracy





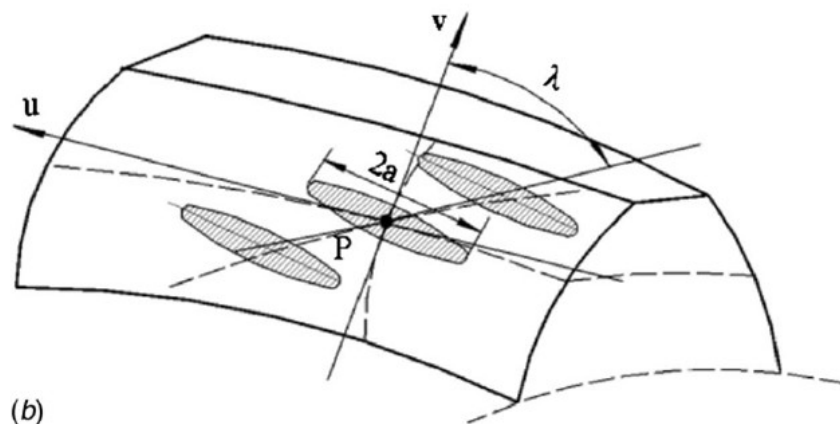
# Definicja powierzchni bocznej zęba







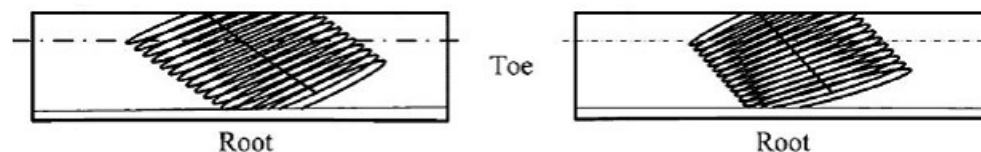
# Modyfikacja powierzchni bocznej zęba



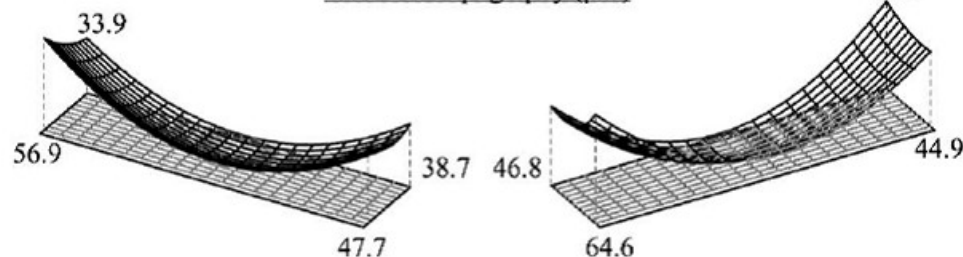
Drive Side - Gear Convex

Coast Side - Gear Concave

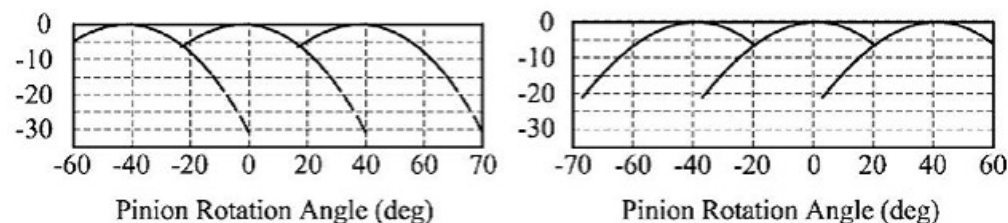
Contact Pattern



Ease Off Topography ( $\mu\text{m}$ )

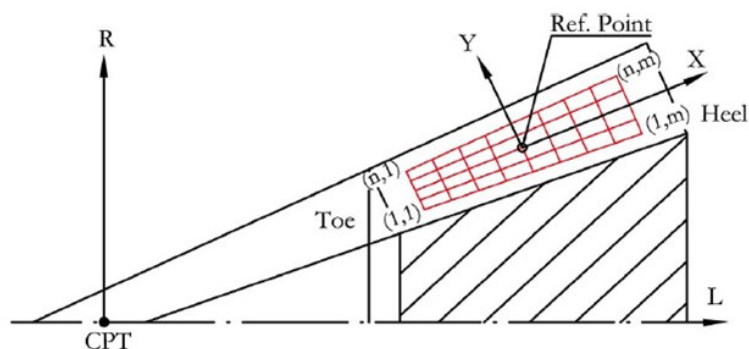
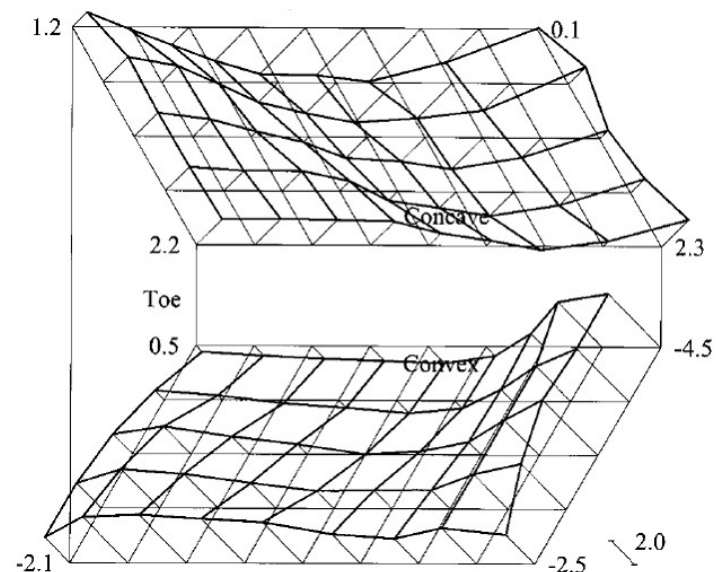
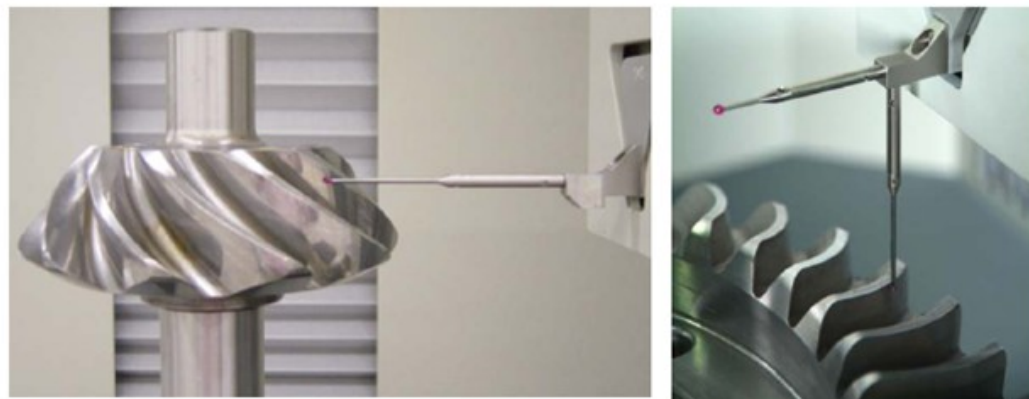


Transmission Error (arc sec)





# Pomiary boku zęba



Rys. Definicja siatki pomiarowej boku zęba

Rys. Odchyłki od powierzchni nominalnej boku zęba



## Harmonogram ZB 3

Nr	Wyk.	Podzadanie	Liczba miesią- cy	Liczba osób	II p	I p	II p	I p	II p	I p	II p	I p	II p	I p	
					2008	2009	2009	2010	2010	2011	2011	2012	2012	2013	
					1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	PW	1. Opracowanie metody i programu komputerowego wyznaczania podstawowej geometrii przekładni stożkowych, doboru narzędzi i ustawień bazowych obrabiarek do obróbki zębów koła i zębniaka wg metod SFM, SGM, Spread Blade Fixed Setting i Duplex Helical firmy Gleason.	12	5	5	5									
2	PW	2. Opracowanie programu do symulacji obróbki zębienia koła realizowanych na obrabiarkach sterowanych mechanicznie.	12	1	1	1									
3	PW	3. Opracowanie programu do symulacji obróbki zębienia zębniaka realizowanych na obrabiarkach sterowanych mechanicznie.	12	2	2	2									
4	PRz,PW	4. Opracowanie modeli matematycznych obróbki zębienia koła metodami SFM, SGM, Spread Blade Fixed Setting i Duplex Helical.	12	3		3	3								
5	PRz, PW	5. Opracowanie modeli matematycznych obróbki zębienia zębniaka metodami SFM, SGM, Spread Blade Fixed Setting i Duplex Helical.	12	3		3	3								
6	PRz	6. Opracowanie metody aproksymacji powierzchni boku zęba rozpiętej na wyznaczonej siatce punktów.	12	3		3	3								
7	PRz,PW	7. Weryfikacja opracowanych metod poprzez porównanie powierzchni zębów uzyskanych metodami numerycznymi i na drodze symulacji obróbki.	6	2			2								
8	PRz,PW	8. Opracowanie matematycznego modelu obróbki koła na obrabiarce typu Phoenix.	24	3		3	3	3	3						
9	PRz,PW	9. Opracowanie matematycznego modelu obróbki zębniaka na obrabiarce typu Phoenix.	24	4		4	4	4	4						



Nr	Wyk.	Podzadanie	Liczba miesiący	Liczba osób	II p	I p	II p	I p	II p	I p	II p	I p	II p	I p
					2008	2009	2009	2010	2010	2011	2011	2012	2012	2013
					1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
10	PRz	10. Opracowanie programu do symulacji obróbki uzębienia koła na obrabiarce typu Phoenix.	6	1					1					
11	PRz	11. Opracowanie programu do symulacji obróbki uzębienia zębniaka na obrabiarce typu Phoenix.	6	1					1					
12	PRz,PW	12. Weryfikacja opracowanych metod poprzez porównanie powierzchni zębów uzyskanych metodami numerycznymi i na drodze symulacji obróbki na obrabiarce typu Phoenix.	6	2						2				
13	PRz	13. Weryfikacja metody wyznaczania funkcji ruchu osi sterowanych.	6	1						1				
14	PRz	14. Opracowanie numerycznej metody wyznaczania powierzchni sprzężonej zęba zębniaka dla danej metody obróbki.	6	1			1							
15	PRz	15. Zbudowanie modelu matematycznego przekładni konstrukcyjnej z uwzględnieniem odchyłek montażowych.	6	1		1								
16	PRz	16. Opracowanie procedury analizy śladu współpracy i nierównomierności ruchu przekładni lekko obciążonej (TCA).	24	2			2	2	2	2				
17	PRz	17. Opracowanie metody topologicznej modyfikacji boku zęba zębniaka i wyznaczania powierzchni wzorcowej zapewniającej pożądany ślad przylegania i wykres nierównomierności ruchu przekładni.	18	2			2	2	2					
18	PRz	18. Opracowanie procedury optymalnej aproksymacji wzorcowej powierzchni zęba zębniaka powierzchnią generowaną na maszynie CNC w celu wyznaczenia skorygowanych funkcji ruchu osi sterowanych.	18	2			2	2	2					
19	PRz	19. Wyznaczenie powierzchni boku zęba zębniaka przy skorygowanych funkcjach ruchu.	6	2					2					
20	PRz	20. Przeprowadzenia analizy TCA przekładni po modyfikacji zębów zębniaka i opracowanie wytycznych dotyczących korekty powierzchni wzorcowej.	6	1						1				



Nr	Wyk.	Podzadanie	Liczba miesięcy	Liczba osób	II p	I p	II p	I p	II p	I p	II p	I p	II p	I p
					2008	2009	2009	2010	2010	2011	2011	2012	2012	2013
					1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
21	PRz	21. Opracowanie procedury analizy śladu współpracy i nierównomierności ruchu przekładni obciążonej (LTCA) z wykorzystaniem MES oraz analiza stanu naprężeń.	36	1			1	1	1	1	1	1		
22	PRz	22. Porównanie wyników analiz TCA i LTCA i opracowanie wniosków określających wpływ odkształceń na ślad przylegania i wytycznych dotyczących topologicznej modyfikacji powierzchni zębów zębniaka.	6	2									2	
23	PRz,PW	23. Opracowanie zintegrowanego programu komputerowego wspomagającego projektowanie przekładni stożkowych.	24	2					2	2	2	2		
24	PW, Kalisz	24. Opracowanie programu sterującego obróbką na maszynie Phoenix.	12	5							5	5		
25	PRz	25. Opracowanie strategii pomiarów uzębienia koła i zębniaka na maszynie pomiarowej CMM.	24	2			2	2	2	2				
26	PRz	26. Opracowanie programu sterującego maszyną pomiarową.	12	2							2	2		
27	PW, Kalisz	27. Realizacja obróbki uzębienia koła i zębniaka zaprojektowanej przekładni na obrabiarce Phoenix i pomiary	12	5							5	5	5	5
28	PRz	28. Realizacja pomiarów uzębienia wg opracowanego programu	12	2									2	2
29	PW	29. Zaprojektowanie i wykonanie stanowiska do badań współpracy jedno- i dwu- stronnej przekładni oraz przeprowadzenie badań wykonanych przekładni	18	2								2	2	2



## Kamienie milowe ZB3

Lp	Nazwa	Miesiąc projektowy
KM 3.1	<i>Opracowanie szczegółowego programu prac badawczych</i>	6
KM 3.2	<i>Zbudowanie modelu matematycznego przekładni konstrukcyjnej z uwzględnieniem odchyłek montażowych</i>	8
KM 3.4	<i>Opracowanie numerycznej metody wyznaczania powierzchni sprzężonej zęba zębniaka dla danej metody obróbki</i>	18
KM 3.5	<i>Opracowanie programu do symulacji obróbki uzębienia koła i zębniaka na obrabiarce typu Phoenix</i>	30
KM 3.7	<i>Opracowanie programu sterującego obróbką na maszynie Phoenix</i>	37
KM 3.8	<i>Opracowanie programu sterującego maszyną pomiarową</i>	37
KM 3.9	<i>Wykonanie stanowiska do badań współpracy jedno- i dwu- stronnej przekładni</i>	58



# Potencjał techniczny

## Politechnika Rzeszowska, Katedra Konstrukcji Maszyn

Wyposażenie:

### 1. Współrzędnościowa maszyna pomiarowa

#### WENZEL LH 87

Oś X: 800 mm

Oś Y: 1000 mm

Oś Z: 700 mm

Granitowa płyta pomiarowa

Standardowa dokładność:

$MPE_E$  ( $\mu\text{m}$ )

(L in mm) 2,7-L/300

$MPE_P$  ( $\mu\text{m}$ ) 2,7

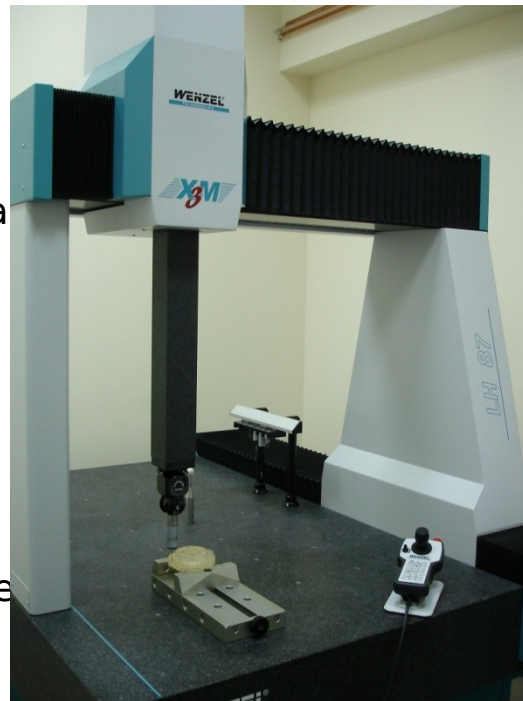
$MPE_{THP}$  ( $\mu\text{m}$ ) 2,6

Maksymalna prędkość 3D

550 mm/s

Maksymalne przyspieszenie

1.200 mm/s<sup>2</sup>



Maszyna wyposażona w skanującą głowicę obrotowo-uchylną PH10M (Renishaw), która pozwala na pomiary w trybie punktowym jak i skaningowym.

Urządzenie posiada standardowe oprogramowanie Metrosoft oraz specjalistyczne oprogramowanie do pomiaru kół zębatych TGEAR XY.

Maszyna daje możliwość pomiarów detali o skomplikowanych kształtach, niezależnie od rodzaju materiału, z którego zostały wykonane.



INNOWACYJNA  
GOSPODARKA  
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



UNIA EUROPEJSKA  
EUROPEJSKI FUNDUSZ  
ROZWOJU REGIONALNEGO



# Potencjał techniczny

## Politechnika Rzeszowska, Katedra Konstrukcji Maszyn

Wyposażenie:

**Modelowanie i analiza przekładni zębatych w systemach CAD.**

**CATIA v5 R 19, Inventor 2009, Unigraphics NX5,  
Solid Edge v20 , Solid Works**

**Obliczenia MES - Adina, Abacus, MSC Patran.**





INNOWACYJNA  
GOSPODARKA  
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



UNIA EUROPEJSKA  
EUROPEJSKI FUNDUSZ  
ROZWOJU REGIONALNEGO



## Potencjał techniczny Politechnika Rzeszowska, Katedra Konstrukcji Maszyn

Niezbędne zakupy:

- W7100000017 Głowica skanująca bezdotykowa  
Wenzel Shape Tracer kompletny system

**46'920.00 Euro**

- Stół obrotowy na łożyskach powietrznych RT400 / H210

**50'020.00 Euro**

- Laptop szt. 3

**15 000.00 zł**

- Oprogramowanie

**20 000.00 zł**



# Potencjał techniczny Politechnika Warszawska

Wyposażenie ;

Niezbędne zakupy:

- Laptop szt. 3 **15 000.00 zł**
- Aparatura niezbędna do zbudowania stanowiska do kontroli jedno- i dwu-stronnej przekładni **20 000.00 zł**
- Oprogramowanie 20 000.00 zł



## Usługi ZB3

### Usługi w Segment 3 Projektu kluczowego

4. Wykonanie 3 par kół stożkowych w stanie miękkim na obrabiarce Phoenix wg dostarczonych ustawień oraz pomiary wykonanych kół na współrzędnościowej maszynie pomiarowej - 300 000 zł.

5. Opracowanie zintegrowanego programu komputerowego wspomagającego projektowanie przekładni stożkowych wg dostarczonego algorytmu - 65 000 zł.



**INNOWACYJNA  
GOSPODARKA**  
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



**UNIA EUROPEJSKA**  
EUROPEJSKI FUNDUSZ  
ROZWOJU REGIONALNEGO



# Rezultaty

Prace magisterskie: 15

Prace doktorskie: 4

Prace habilitacyjne: 1

Publikacje: 20

Udział w konferencjach: 10



**INNOWACYJNA  
GOSPODARKA**  
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



**UNIA EUROPEJSKA**  
EUROPEJSKI FUNDUSZ  
ROZWOJU REGIONALNEGO



Lider merytoryczny:

dr hab. Inż. Adam Marciniak

Adres: 35-959 Rzeszów, al. Powstańców Warszawy 8

tel: (0-17) 865-13-18, tel: (0-17) 865-14-20

fax: (0-17) 865-11-50

e-mail: [amarc@prz.edu.pl](mailto:amarc@prz.edu.pl)

---

---