



**INNOWACYJNA
GOSPODARKA**
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

ITE INSTYTUT
PIB TECHNOLOGII
EKSPLOATACJI
PAŃSTWOWY INSTYTUT BADAWCZY RADOM

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI FUNDUSZ
ROZWOJU REGIONALNEGO



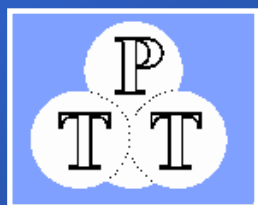
Projekt współfinansowany przez Unię Europejską ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego



PROGRAM Innowacyjne systemy wspomaganie technicznego
STRATEGICZNY zrównoważonego rozwoju gospodarki

OPRACOWANIE I WERYFIKACJA SYSTEMU OCENY POWŁOK PRZECIWZUŻYCIOWYCH NA ELEMENTY WYSOKOBCIĄŻONYCH WĘZŁÓW TARCIA

Marian Szczerek, Remigiusz Michalczewski



Warsztaty Tribologiczne PTT – ITeE-PIB
„TRIBOTESTING”
Radom, 28.06.2011

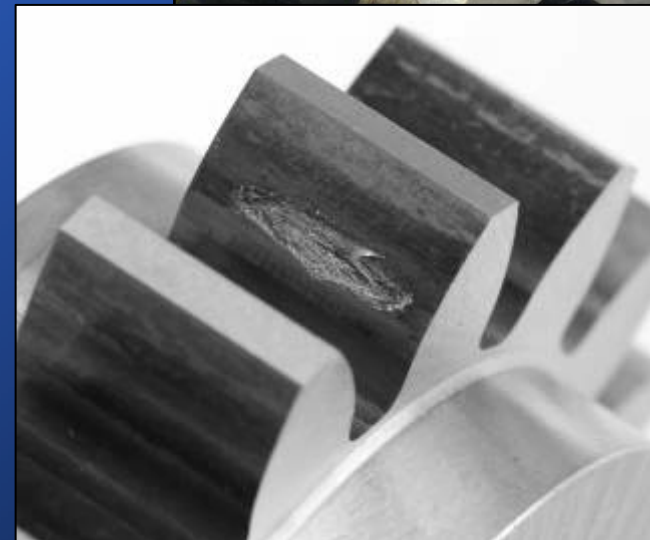
Formy zużycia kół zębatach



Ślady
zatarcia



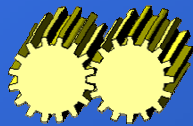
Zacieranie (zatarcie)
scuffing (seizure)



PITTING
(powierzchniowe zużycie
zmęczeniowe)

OPRACOWANIE I WERYFIKACJA SYSTEMU OCENY POWŁOK PRZECIWZUŻYCIOWYCH NA ELEMENTY WYSOKOBCIĄŻONYCH WĘZŁÓW TARCIA

CIENKIE POWŁOKI PRZECIWZUŻYCIOWE OTRZYMYWANE METODAMI PVD/CVD



Narzędzia skrawające

80%



Elementy maszyn
2% !!!



OPRACOWANIE I WERYFIKACJA SYSTEMU OCENY POWŁOK PRZECIWZUŻYCIOWYCH NA ELEMENTY WYSOKOBCIĄŻONYCH WĘZŁÓW TARCIA

Perspektywy rozwoju: powłoki na kołach zębatych [źródło: materiały konferencji COST 532 w Ghent (Belgia), 2004]

Aplikacja	Problem	Pokryty element	Rezultat
Maszyna budowlana	Zużycie	Koło słoneczne	😊
Automatyczna skrzynia biegów autobusu	Pitting	Koło słoneczne	😊
Skrzynia biegów ciężarówki	Fretting	Koło słoneczne	😞
Automatyczna skrzynia biegów samochodu osobowego	Pitting	Koło słoneczne i satelity	😞
Mechaniczna skrzynia biegów samochodu osobowego	Pitting	Koło napędowe na wałku sprzęgłowym	😞
Przekładnie ciągnika rolniczego	Mikropitting	Koło napędowe	😊
Mechanizm poruszania kłap	Zużycie	Koło o uzębieniu wewnętrznym	😊

OPRACOWANIE I WERYFIKACJA SYSTEMU OCENY POWŁOK PRZECIWZUŻYCIOWYCH NA ELEMENTY WYSOKOOBCIĄŻONYCH WĘZŁÓW TARCIA

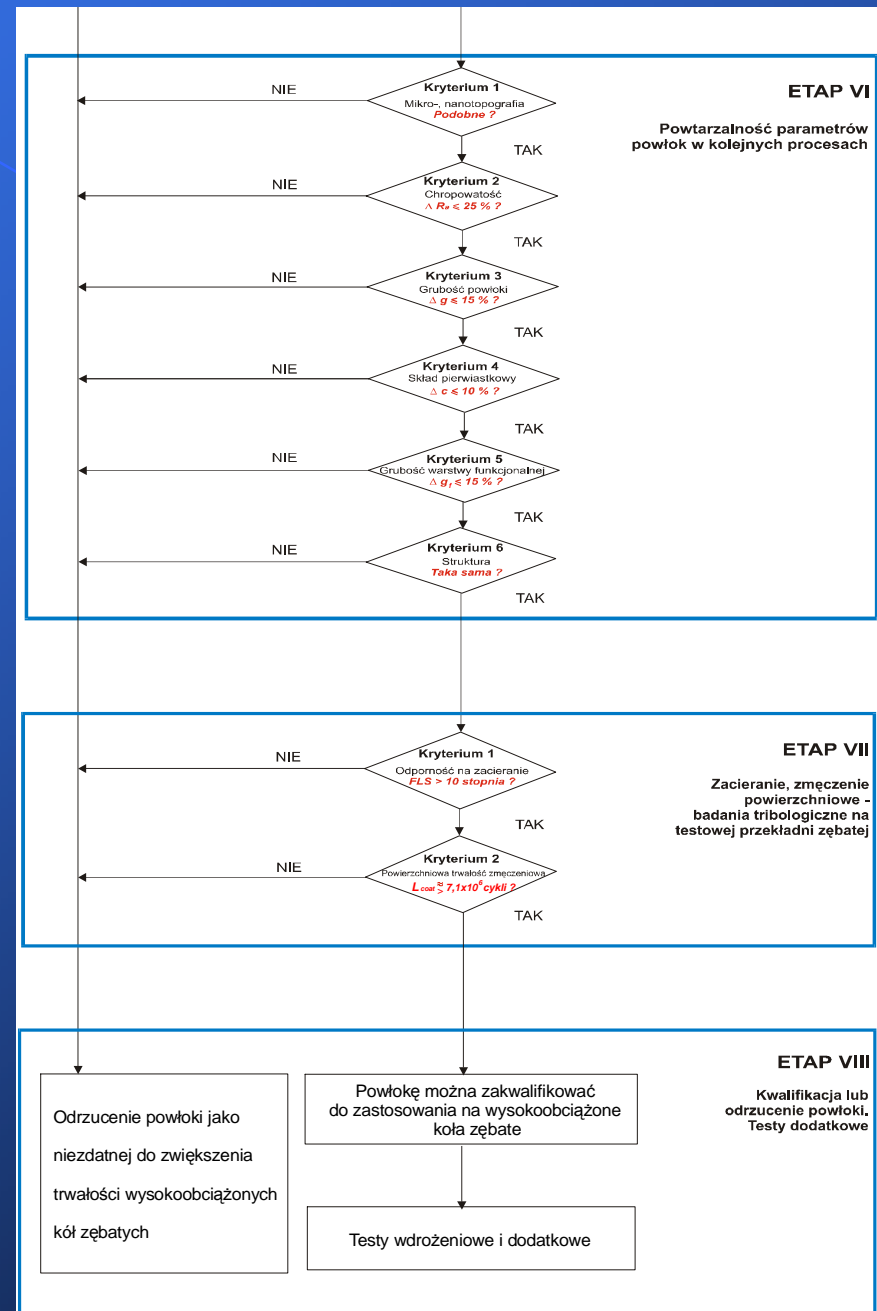
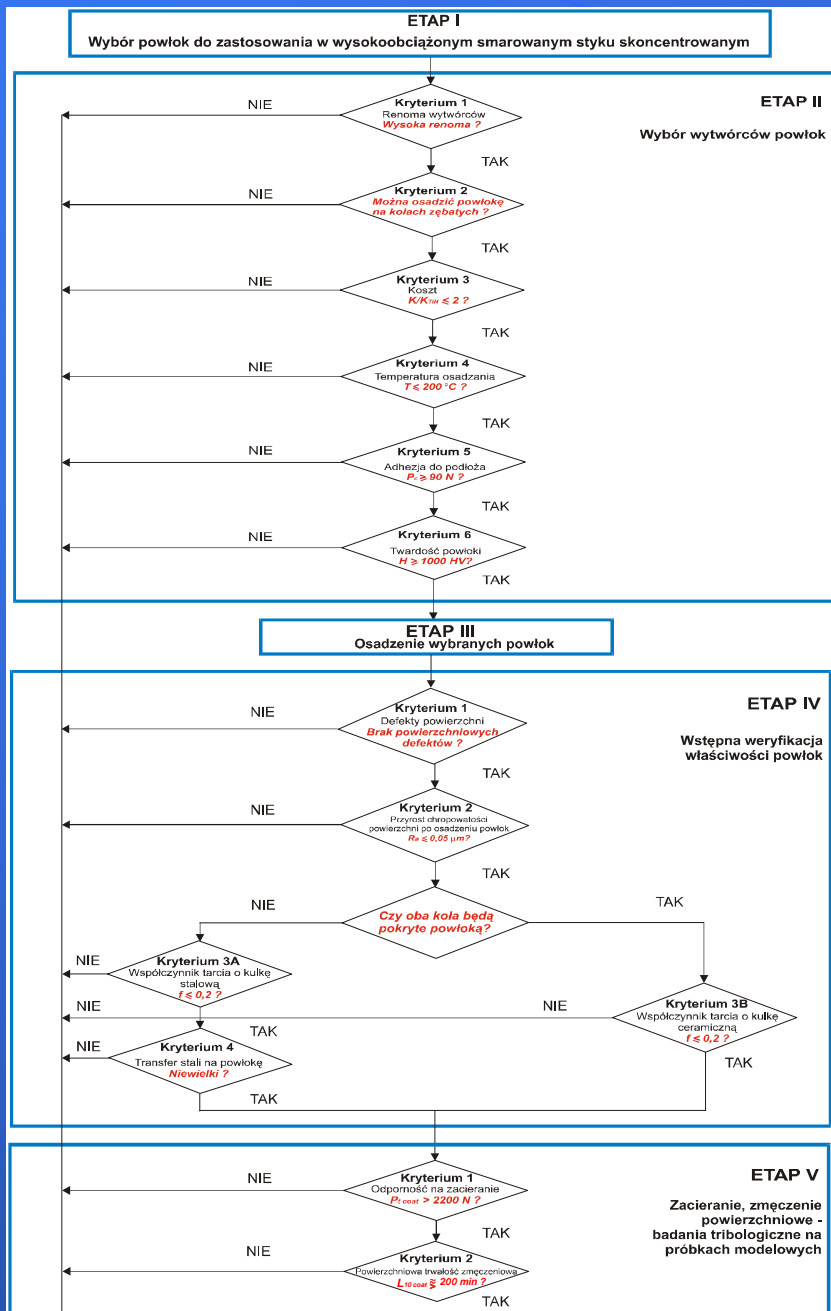
Cel

Opracowanie systemu oceny twardych cienkich powłok przeciwzużyciowych i przeciwтарыowych przeznaczonych na smarowane, wysokoobciążone elementy węzłów tarcia

Planowany rezultat

Metodyka badania cienkich powłok przeciwzużyciowych i przeciwтарыowych przeznaczonych na smarowane wysokoobciążone elementy węzłów tarcia

Algorytm doboru powłoki przeciwzużyciowej na koła zębate



Algorytm doboru powłoki przeciwzużyciowej na koła zębate

ETAP I. Wybór powłok do zastosowania w wysokoobciążonym styku skoncentrowanym
(studium aktualnej literatury)



ETAP II. Wybór wytwórców powłok (analiza pełnych ofert handlowych)



ETAP III. Osadzenie wybranych powłok



ETAP IV. Wstępna weryfikacja właściwości powłok



ETAP V. Badania zużyciowe – zacierania i zmęczenia powierzchniowego
– na próbkach prostych



ETAP VI. Ocena powtarzalności parametrów powłok uzyskiwanych
w kolejnych procesach osadzania

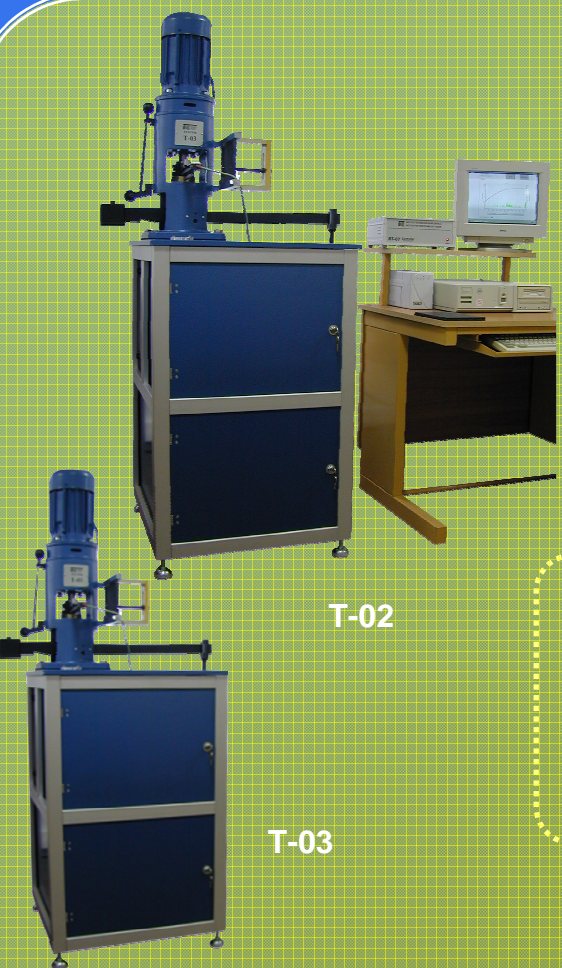


ETAP VII. Badania zużyciowe – zacierania i zmęczenia powierzchniowego
– na testowych kołach zębatych



ETAP VIII. Kwalifikacja lub odrzucenie powłoki; testy wdrożeniowe i dodatkowe

OPRACOWANIE I WERYFIKACJA SYSTEMU OCENY POWŁOK PRZECIWZUŻYCIOWYCH NA ELEMENTY WYSOKOBCIAŻONYCH WĘZŁÓW TARCIA



T-02

T-03

ETAP V. Badania zużyciowe –
zacierania i zmęczenia
powierzchniowego
– na próbkach prostych

PITTING

The image shows two tribology testing machines, T-02 and T-03, which are used for surface wear and fatigue tests on simple samples. Machine T-02 is a larger unit with a computer workstation, while T-03 is a smaller, more compact version. A cluster of four steel balls is shown next to T-02, and a cylindrical sample with a central hole and a ball inside is shown next to T-03, illustrating the 'PITTING' test.

Badania przekładniowe

standardowe zaostrzone szokowe

ZACIERANIE

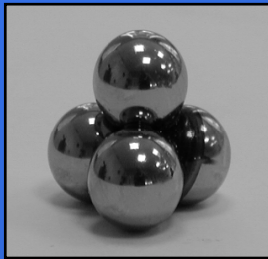
T-12U

ETAP VII. Badania zużyciowe –
zacierania i zmęczenia
powierzchniowego
– na testowych kołach zębatych

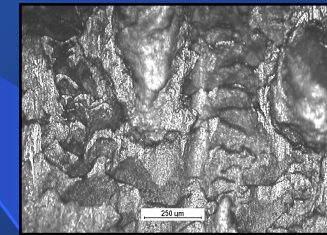
The image illustrates gear testing. It shows three sets of gears: 'standardowe' (standard), 'zaostrzone' (sharpened), and 'szokowe' (shock). A central section labeled 'ZACIERANIE' (grinding) shows two gears in contact. Below this, a machine labeled 'T-12U' is shown, which is used for testing gear wear and surface fatigue on test gears.

OPRACOWANIE I WERYFIKACJA SYSTEMU OCENY POWŁOK PRZECIWZUŻYCIOWYCH NA ELEMENTY WYSOKOBCIĄŻONYCH WĘZŁÓW TARCIA

ETAP V. Badania zużyciowe – zacierania i zmęczenia powierzchniowego – na próbkach prostych



**Aparat czterokulowy
(ruch ślizgowy - zacieranie)**

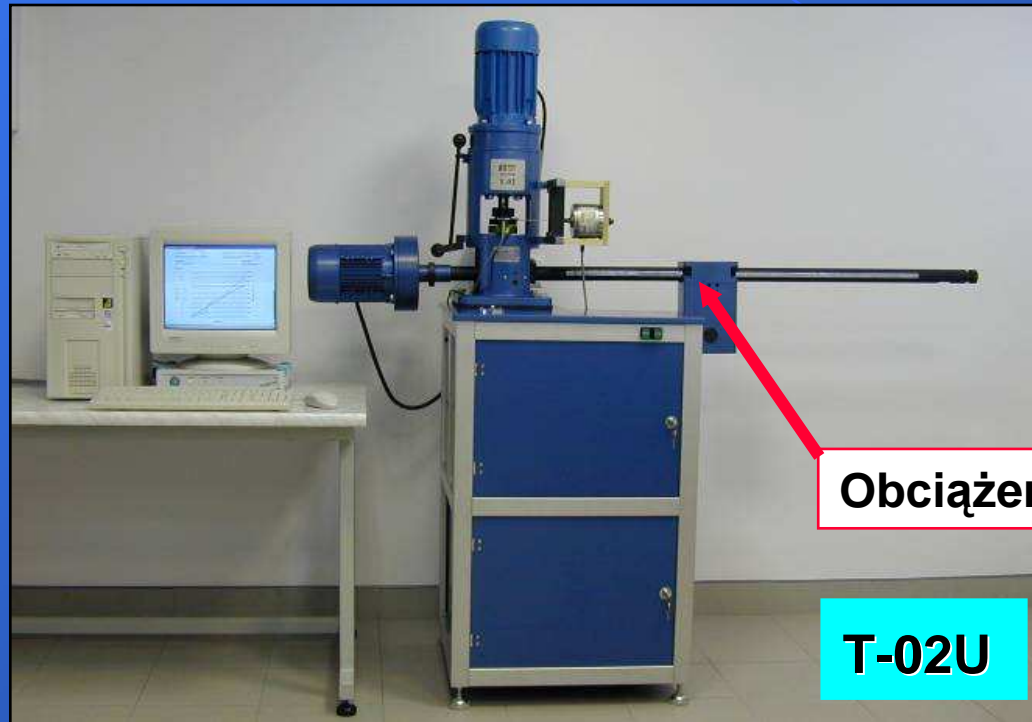


**Aparat do badania pittingu
(ruch toczny - pitting)**



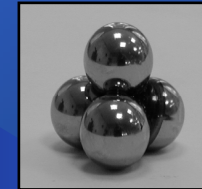
OPRACOWANIE I WERYFIKACJA SYSTEMU OCENY POWŁOK PRZECIWZUŻYCIOWYCH NA ELEMENTY WYSOKOBCIĄŻONYCH WĘZŁÓW TARCIA

Aparat czterokulowy



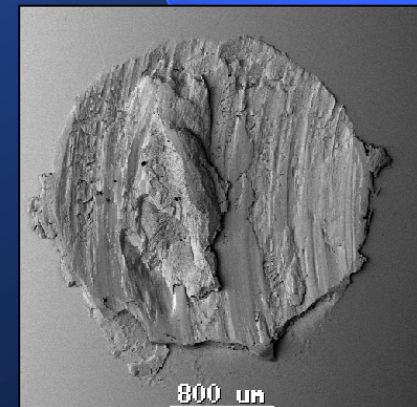
Obciążenie

T-02U



Warunki testu

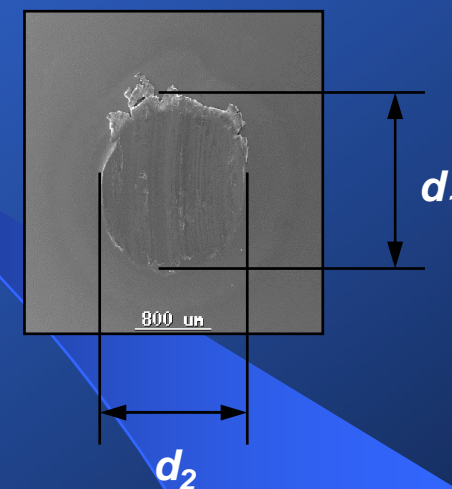
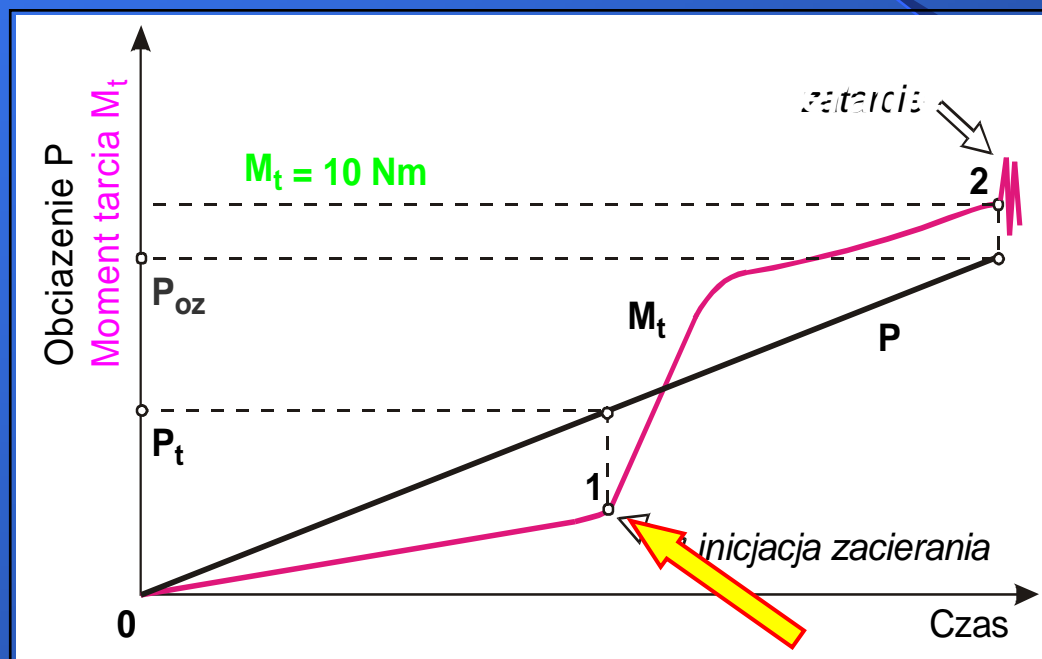
- ✓ prędkość obrotowa: 409 N s⁻¹
- ✓ obciążenie początkowe: 0 N
- ✓ obciążenie maksymalne: 7200 N
- ✓ prędkość obrotowa: 500 obr/min



OPRACOWANIE I WERYFIKACJA SYSTEMU OCENY POWŁOK PRZECIWZUŻYCIOWYCH NA ELEMENTY WYSOKOBCIĄŻONYCH WĘZŁÓW TARCIA

Metoda badania zacierania

Moment tarcia



Graniczny nacisk zatarcia

$$p_{oz} = 0.52 \frac{P_{oz}}{d^2}$$

P_t – obciążenie zacierające [N]

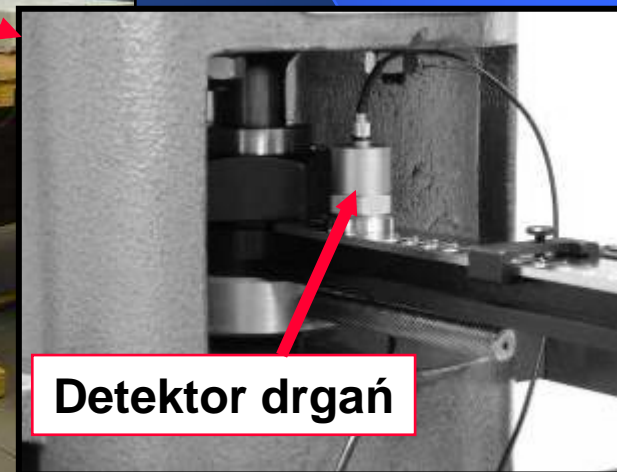
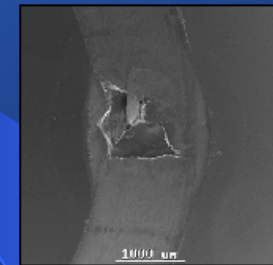
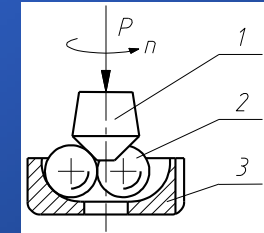
p_{oz} - graniczny nacisk zatarcia [N/mm²]

P_{oz} - obciążenie zacierające [N]

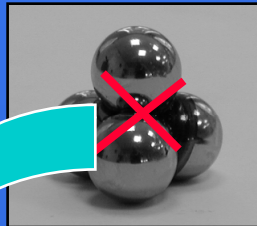
d - średnia średnica śladu zużycia [mm]

OPRACOWANIE I WERYFIKACJA SYSTEMU OCENY POWŁOK PRZECIWZUŻYCIOWYCH NA ELEMENTY WYSOKOBCIĄŻONYCH WĘZŁÓW TARCIA

Aparat do badania pitingu



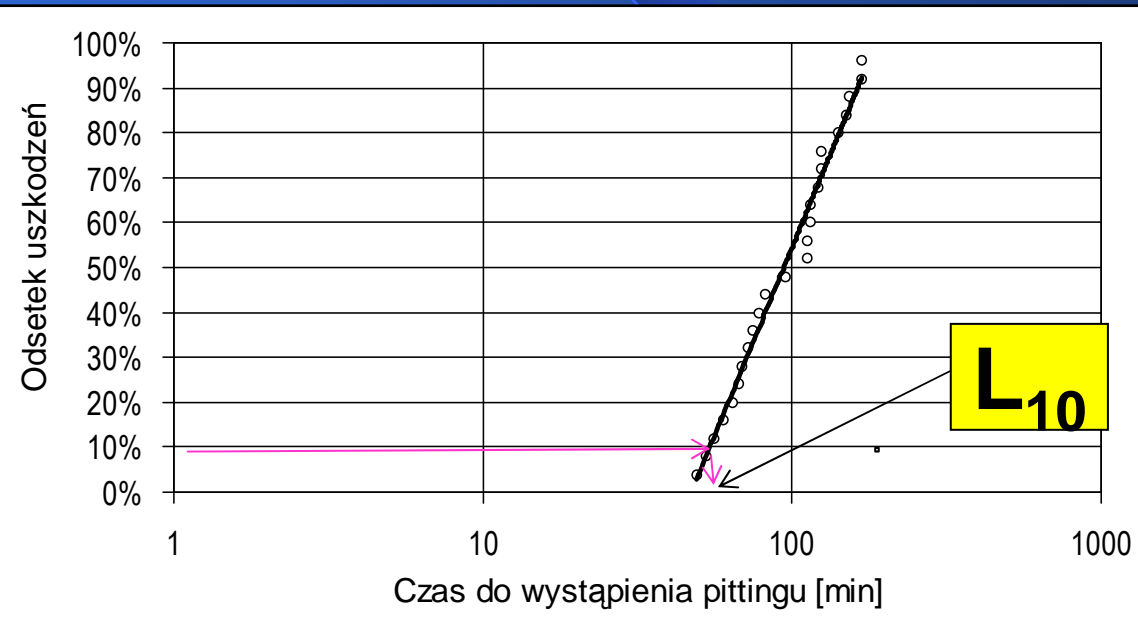
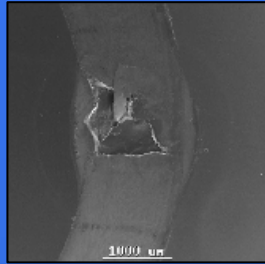
Detektor drgań



OPRACOWANIE I WERYFIKACJA SYSTEMU OCENY POWŁOK PRZECIWZUŻYCIOWYCH NA ELEMENTY WYSOKOBCIĄŻONYCH WĘZŁÓW TARCIA

Aparat do badania pittingu

Obliczanie trwałości L_{10} z wykresu Weibulla



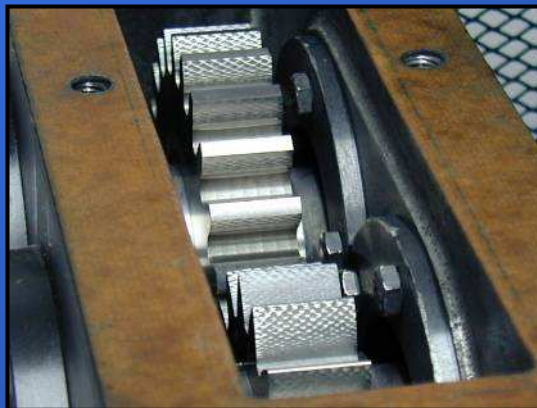
Warunki testu:

- prędkość obrotowa: 1450 obr/min
- obciążenie: 3924 N
- ilość powtórzeń: 24

OPRACOWANIE I WERYFIKACJA SYSTEMU OCENY POWŁOK PRZECIWZUŻYCIOWYCH NA ELEMENTY WYSOKOBCIĄŻONYCH WĘZŁÓW TARCIA

ETAP VII. Badania zużyciowe – zacierania i zmęczenia powierzchniowego – na testowych kołach zębatych

- ✓ Typ kół testowych FZG, typ A, A10, C-PT, C/GF
- ✓ Prędkość obrotowa silnika do 3000 obr/min (prędkość małego koła do 4500 obr/min)
- ✓ Kierunek obrotów silnika normalny” lub „odwrócony”
- ✓ Maks. stopień obciążenia 12 (odpowiada momentowi na zębniku 534,5 Nm)
- ✓ Początk. temp. w komorze. badawczej do 120°C (niekontrolowana lub kontrolowana)
- ✓ Rodzaj smarowania zanurzeniowe (ilość oleju ok. 1,3 - 1,5 l) lub obiegowe (ilość oleju 25 l, przepływ 2 l/min, temperatura kontrolowana do 90°C)
- ✓ Maks. pobór mocy 11 kW (stanowisko T-12U)



Uniwersalne stanowisko przekładniowe T-12U (typu FZG)



OPRACOWANIE I WERYFIKACJA SYSTEMU OCENY POWŁOK PRZECIWZUŻYCIOWYCH NA ELEMENTY WYSOKOBCIĄŻONYCH WĘZŁÓW TARCIA

ETAP VII. Badania zużyciowe – zacierania i zmęczenia powierzchniowego – na testowych kołach zębatych

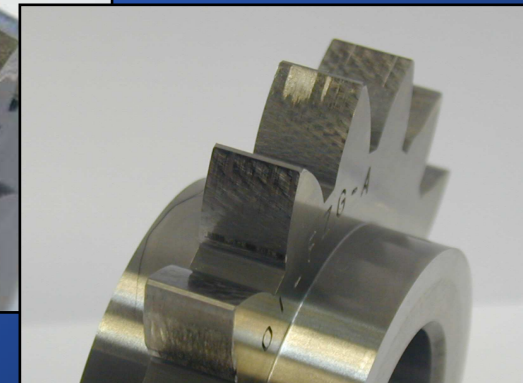
Badanie zacierania



Koła testowe
FZG typ A



Koła testowe
FZG typ A10



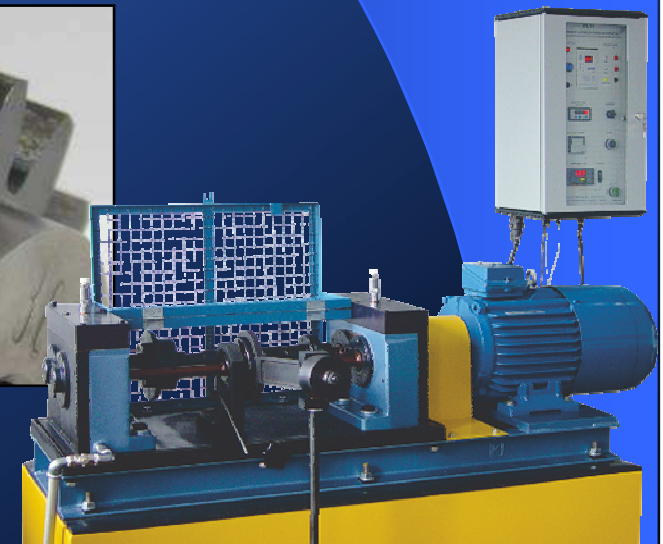
Badanie pittingu i mikropittingu



Koła testowe
FZG typ C/GF

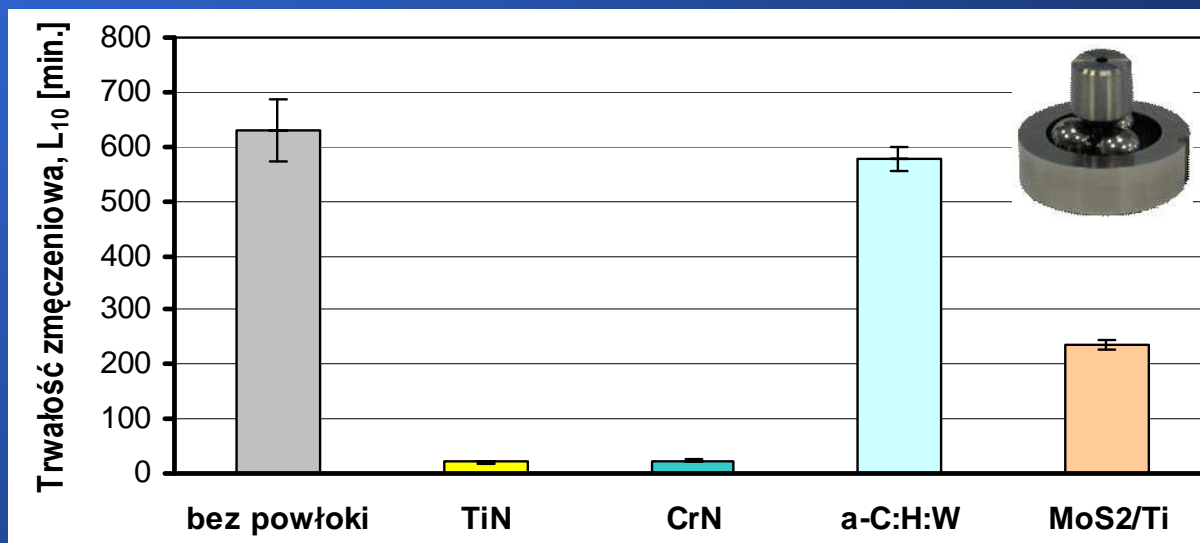
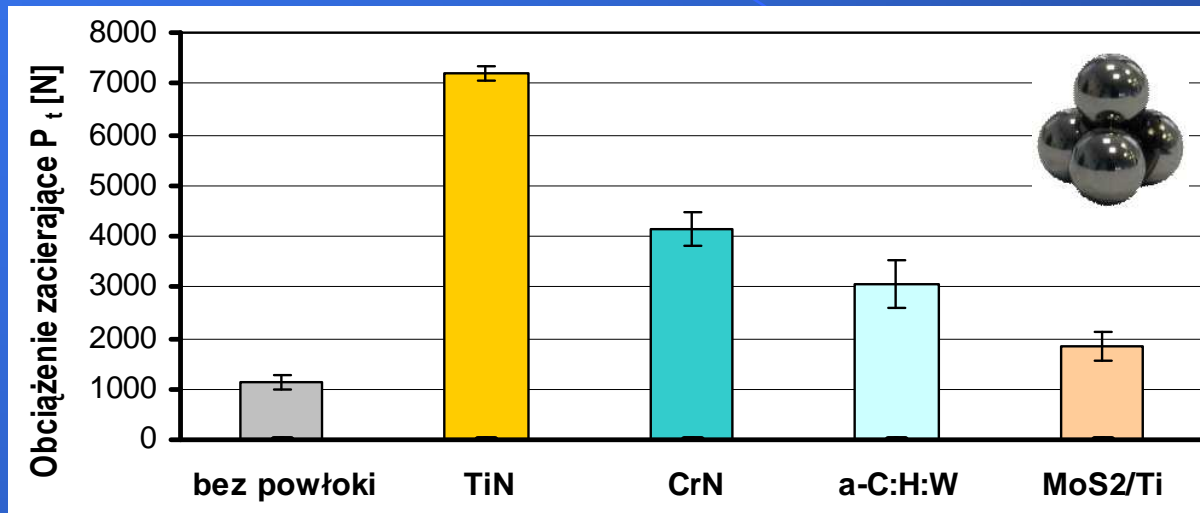


Koła testowe
FZG typ C-PT

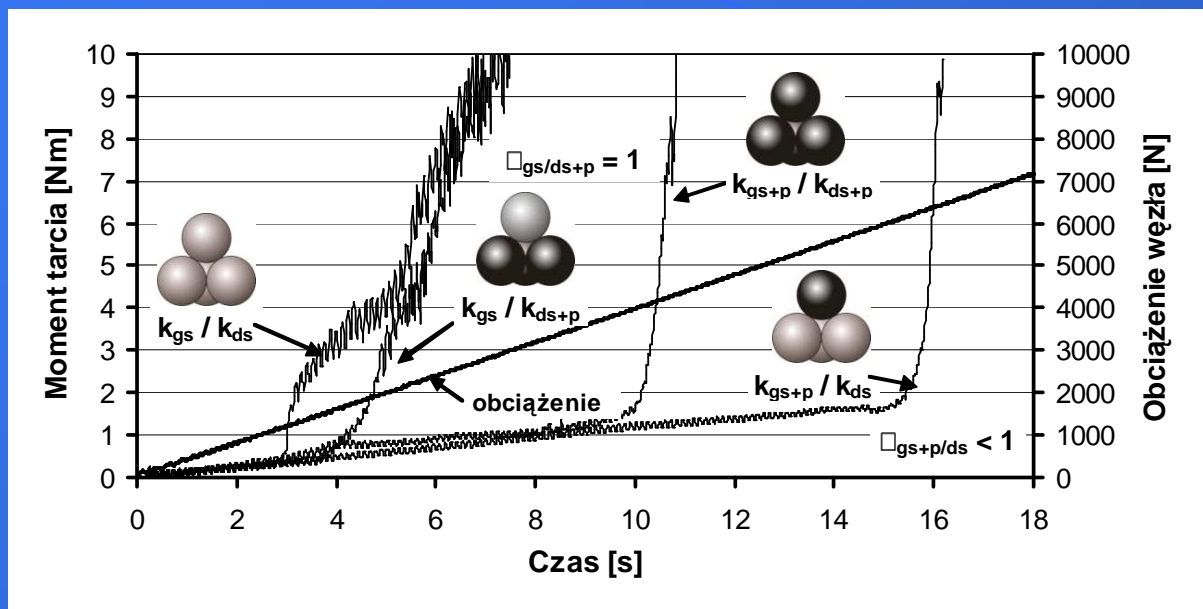


OPRACOWANIE I WERYFIKACJA SYSTEMU OCENY POWŁOK PRZECIWZUŻYCIOWYCH NA ELEMENTY WYSOKOBCIĄŻONYCH WĘZŁÓW TARCIA

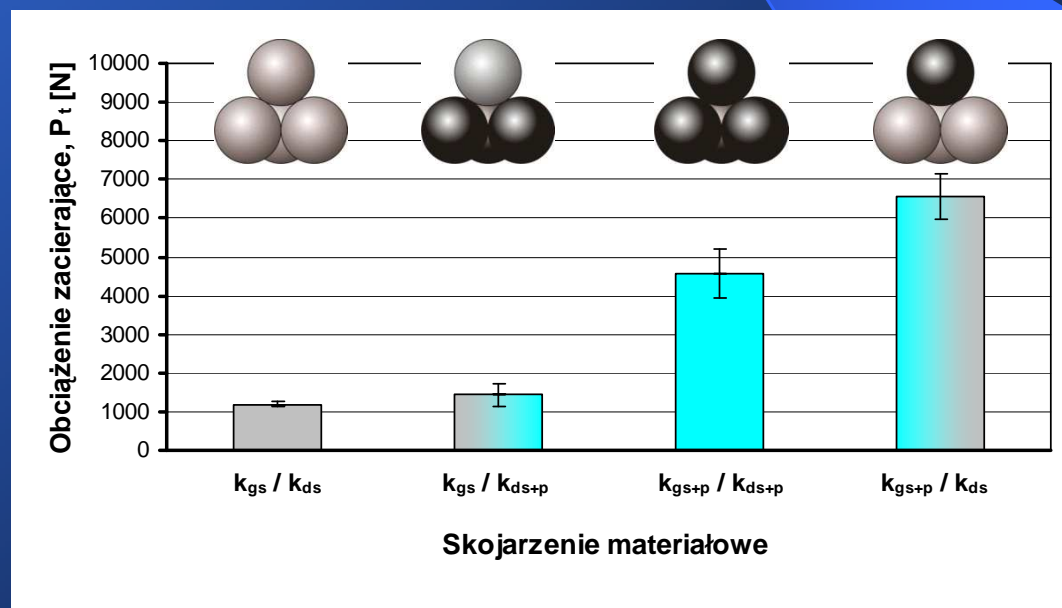
ETAP V. Badania zużyciowe – zacierania i zmęczenia powierzchniowego – na próbkach prostych



OPRACOWANIE I WERYFIKACJA SYSTEMU OCENY POWŁOK PRZECIWZUŻYCIOWYCH NA ELEMENTY WYSOKOBCIĄŻONYCH WĘZŁÓW TARCIA

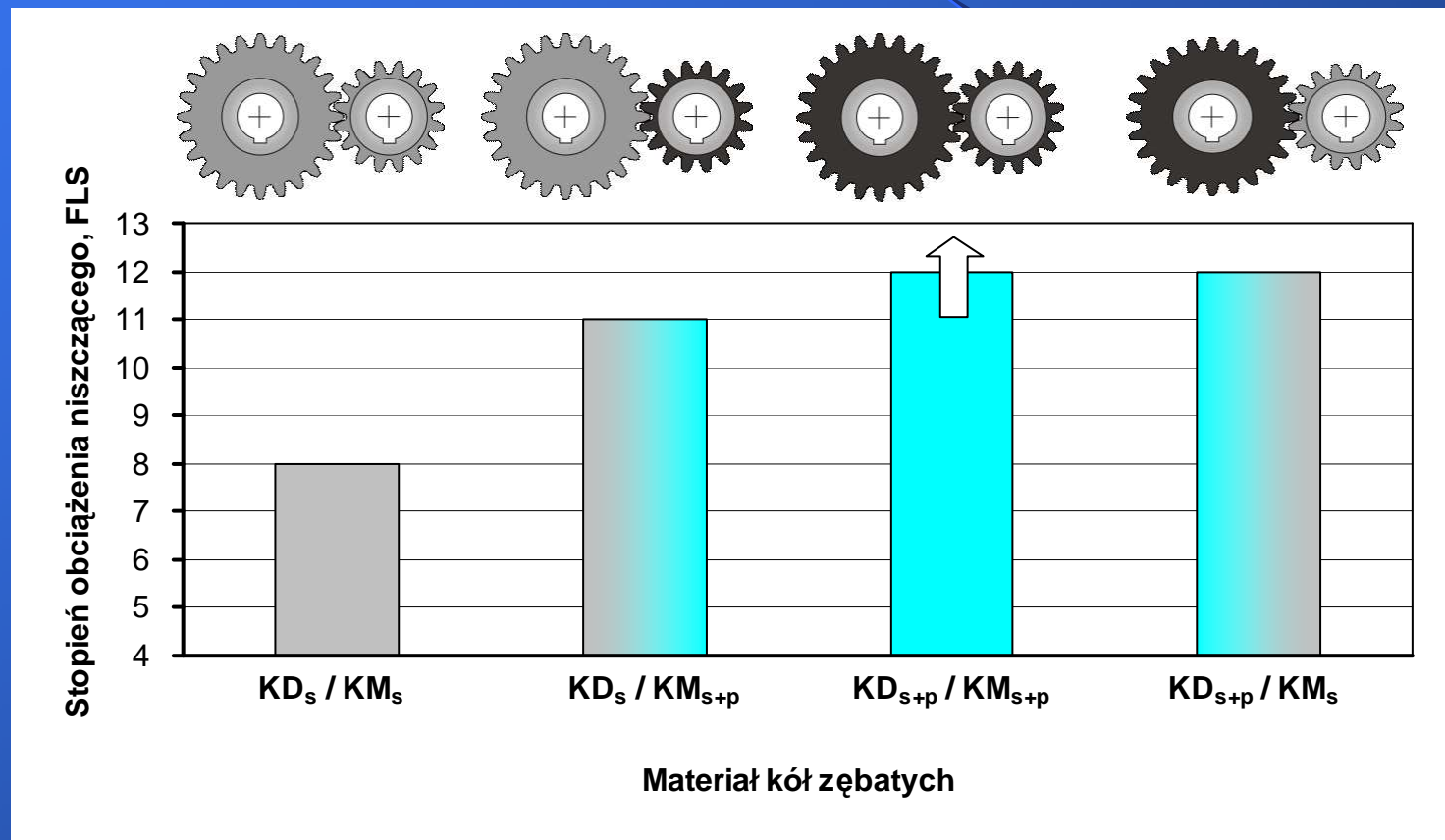


ETAP V. Badania zużyciowe – zacierania i zmęczenia powierzchniowego – na próbkach prostych

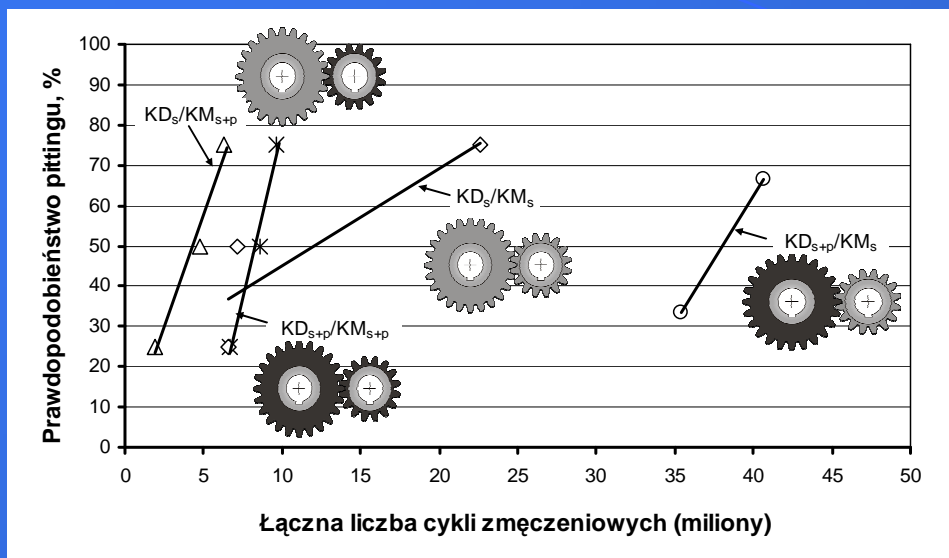


OPRACOWANIE I WERYFIKACJA SYSTEMU OCENY POWŁOK PRZECIWZUŻYCIOWYCH NA ELEMENTY WYSOKOBCIĄŻONYCH WĘZŁÓW TARCIA

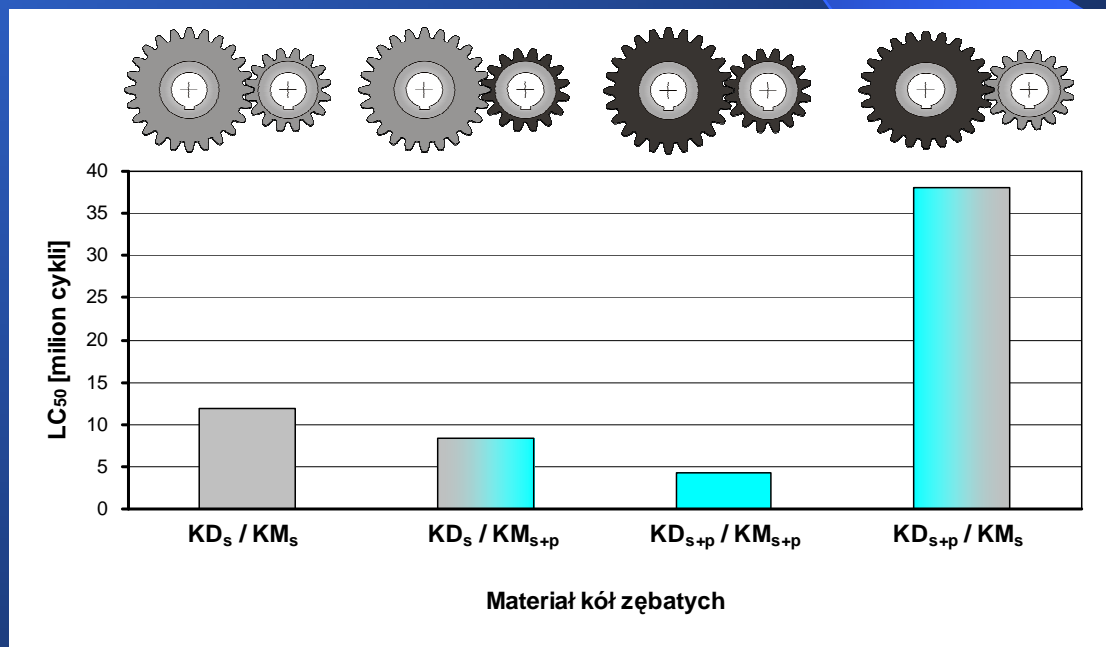
ETAP VII. Badania zużyciowe – zacierania i zmęczenia powierzchniowego – na testowych kołach zębatych



OPRACOWANIE I WERYFIKACJA SYSTEMU OCENY POWŁOK PRZECIWZUŻYCIOWYCH NA ELEMENTY WYSOKOOBciążONYCH WĘZŁÓW TARCIA

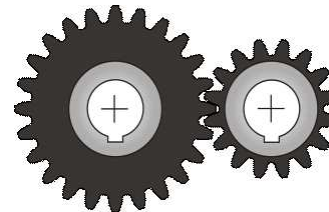
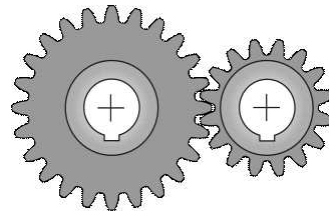
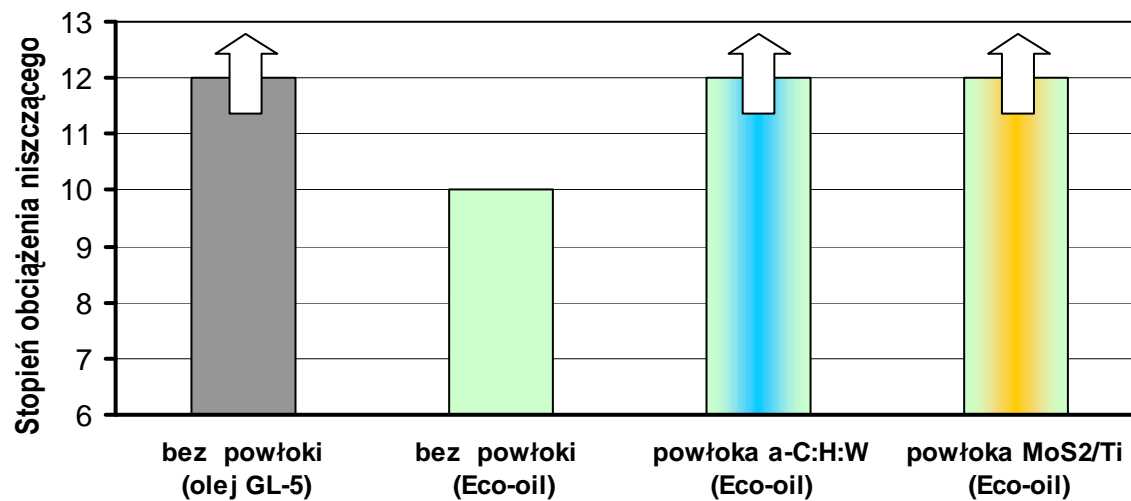


**ETAP VII. Badania zużyciowe –
zacierania i zmęczenia
powierzchniowego
– na testowych kołach zębatych**

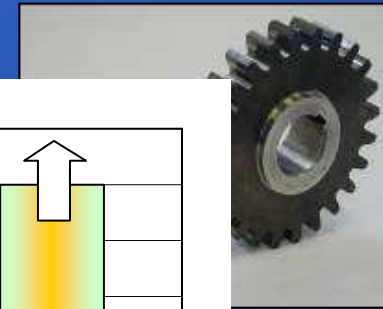


OPRACOWANIE I WERYFIKACJA SYSTEMU OCENY POWŁOK PRZECIWZUŻYCIOWYCH NA ELEMENTY WYSOKOBCIĄŻONYCH WĘZŁÓW TARCIA

PORÓWNANIE



Olej zawierający pakiet dodatków AW i EP

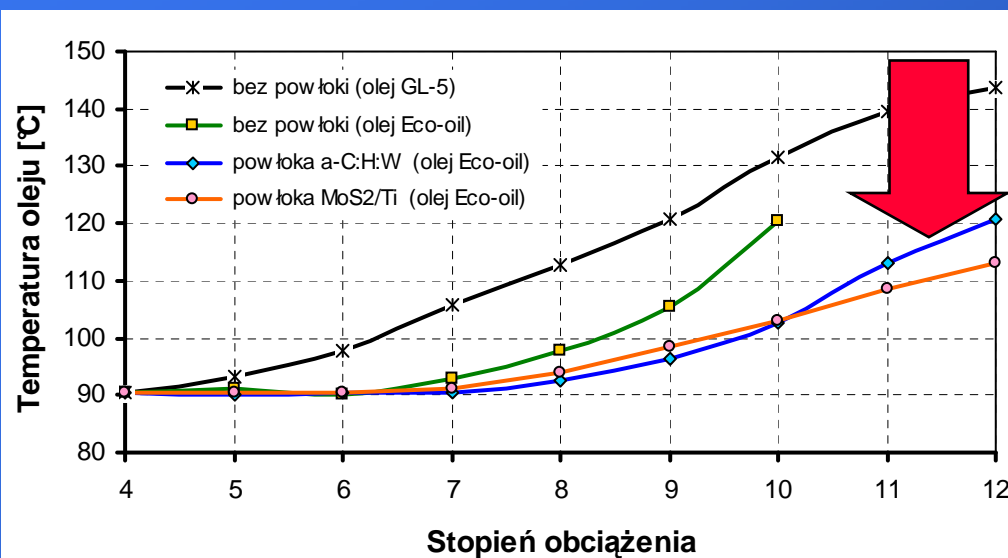


Olej
ogiczny

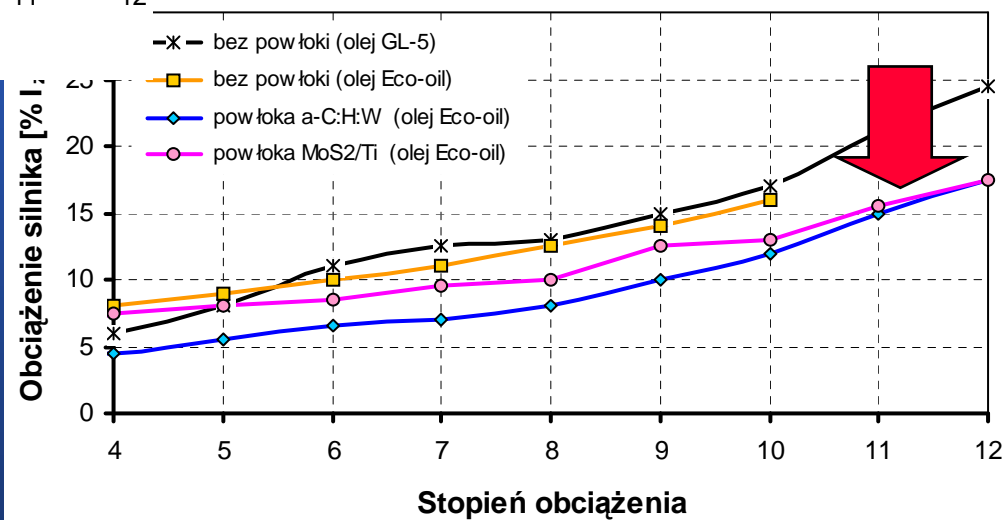


OPRACOWANIE I WERYFIKACJA SYSTEMU OCENY POWŁOK PRZECIWZUŻYCIOWYCH NA ELEMENTY WYSOKOBCIĄŻONYCH WĘZŁÓW TARCIA

Spadek temperatury oleju (20°C)



Spadek obciążenia silnika
– wzrost sprawności (10%)



*Progres w przewyżnianiu barier w zastosowaniu powłok
na wysokoobciążone elementy maszyn*

Zakres (1 ... 10)

Pitting, micropitting

8

Smarowanie

4

Temperatura osadzania

8

Koszt

3

**Wybór elementu do
nanoszenia**

8

Drgania

5

Przygotowanie podłoża

8

Efekt realizacji zadania

**System ekspercki doboru
cienkich, twardych powłok
na wysokoobciążone koła zębate**



**Algorytm doboru
powłoki przeciwzużyciowej
na koła zębate**

OPRACOWANIE I WERYFIKACJA SYSTEMU OCENY POWŁOK PRZECIWZUŻYCIOWYCH NA ELEMENTY WYSOKOOBciążONYCH WĘZŁÓW TARCIA

*Praca naukowa finansowana ze środków Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego,
wykonana w ramach realizacji Programu Strategicznego pn.
„**Innowacyjne systemy wspomaganie technicznego
zrównoważonego rozwoju gospodarki**”
w Programie Operacyjnym Innowacyjna Gospodarka*