

Bogusław ŁAZARZ, Grzegorz WOJNAR, Zbigniew STANIK

WYKRYWANIE ZUŻYCIA I USZKODZENIA ŁOŻYSK KÓŁ JEZDNYCH POJAZDU SAMOCHODOWEGO

Streszczenie. W pracy przedstawiono metodę wykrywania zużycia oraz lokalnego uszkodzenia bieżni zewnętrznej łożysk nie napędzanych kół jezdnych pojazdu samochodowego. Analizom poddawano uzyskane na podstawie eksperymentów czynnych sygnały przyspieszeń drgań wzdłużnych czopa łożyskowego.

DETECTION OF FAILURE AND WEAR OF BEARINGS CARRIAGEABLE WHEELS OF VEHICLE

Summary. The paper presents the application of spectrum analysis and envelope in diagnostics of bearings failure and wear. Two types local faults of bearing were examined faults of outer race and wear of surface. Axial vibrations have been recorded on bearing pivot at a different speed of carriageable wheels.

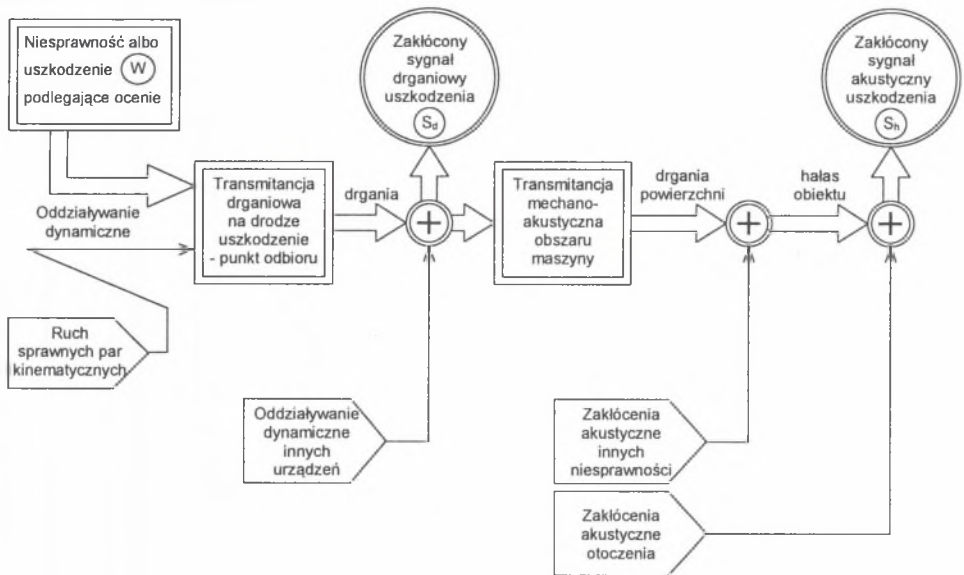
1. WSTĘP

Podczas eksploatacji pojazdu samochodowego jego elementy ulegają zużyciu. Do bardziej istotnych ze względów bezpieczeństwa należą węzły łożyskowe kół jezdnych pojazdu. Jednak pomimo dynamicznego, szczególnie w ostatnich latach, rozwoju metod rejestracji i przetwarzania sygnałów drganiowych, w chwili obecnej stacje kontroli pojazdów nie są wyposażone w urządzenie służące do diagnozowania stanu technicznego łożysk kół jezdnych pojazdów samochodowych. Dlatego w ramach niniejszej pracy podjęto próbę zastosowania metod analizy sygnałów drganiowych do diagnozowania uszkodzeń tych elementów pojazdu samochodowego.

2. WYBÓR PROCESU JAKO ŹRÓDŁA INFORMACJI O STANIE DYNAMICZNYM

W różnych procesach zachodzących w maszynie lub jej otoczeniu, takich jak drgania, zmiany ciśnienia akustycznego, momentu napędowego i innych, znajdują się informacje o stanie dynamicznym interesującego nas elementu obiektu. Jest rzeczą oczywistą, że każdy z tych procesów niesie również informacje zbędne z punktu widzenia celu diagnozowania. Istotną rzeczą staje się, zatem właściwe odtworzenie modelu informacyjnego danego procesu, na podstawie którego będzie można podjąć decyzję o przyjęciu procesu jako sygnału diagnostycznego. W pracy [1] przedstawiono tok postępowania w odtwarzaniu modelu

informacyjnego maszyny z niesprawnością typu mechanicznego. Model ten, przedstawiony na rys. 1 można również przyjąć w przypadku badania węzłów łożyskowych kół jezdnych pojazdu samochodowego.



Rys. 1. Schemat tworzenia sygnałów drganiowego i akustycznego związanych z niesprawnością mechaniczną maszyny [1]

Fig. 1. Diagram of creating of vibration and acoustics signal connected with mechanical defectiveness of machine [1]

Sygnał drganiowy pochodzący od uszkodzenia mechanicznego podlegającego ocenie może być zakłócony jedynie przez ruch bliskich par kinematycznych oraz przez sygnały innych uszkodzeń w tym obszarze (rys. 1). Natomiast sygnał akustyczny dodatkowo może być zakłócony przez efekty akustyczne: pochodzące od innych niesprawności w maszynie oraz związane z własnościami otoczenia pomiarowego. Jeżeli sytuacja pomiarowa będzie zgodna z przedstawioną na rysunku 1, to sygnał drganiowy będzie zawierał mniej informacji zbędnych z punktu widzenia celu diagnozy. Jeśli zatem oceniany stan maszyny oznaczymy przez w , a sygnał drganiowy i akustyczny odpowiednio przez s_d i s_h , to w tym przypadku można napisać z dużym prawdopodobieństwem nierówność:

$$\frac{\partial s_d}{\partial w} > \frac{\partial s_h}{\partial w} \quad (1)$$

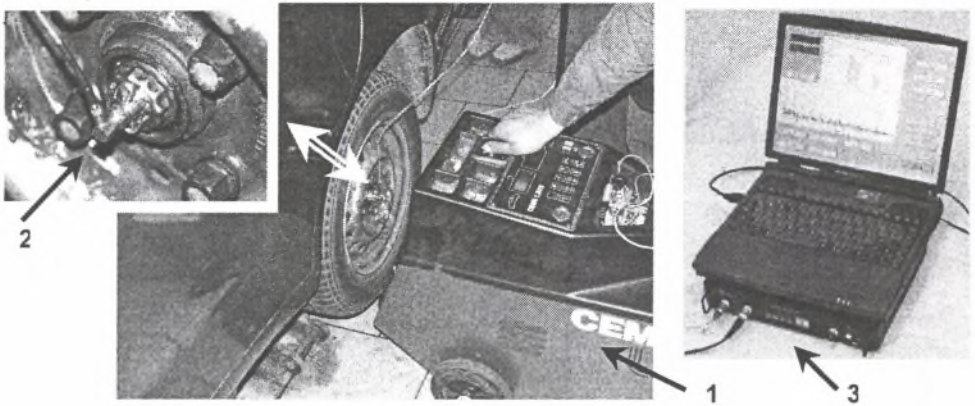
co oznacza, że wrażliwość sygnału drganiowego na zmiany stanu będzie większa od wrażliwości sygnału akustycznego [1].

Dlatego w niniejszej pracy do wykrywania zużycia oraz lokalnego uszkodzenia bieżni zewnętrznej łożyska tocznego wykorzystano tylko sygnały przyspieszeń drgań wzdłużnych czopa łożyskowego (rys. 2), które mierzono piezoelektrycznym przetwornikiem przyspieszeń.

3. BADANIA DOŚWIADCZALNE I ANALIZA WYNIKÓW

Objektem badań były stożkowe łożyska toczne tylnych nie napędzanych kół jezdnych samochodu osobowego Seat Ibiza – rok produkcji 1993. Przeprowadzono badania

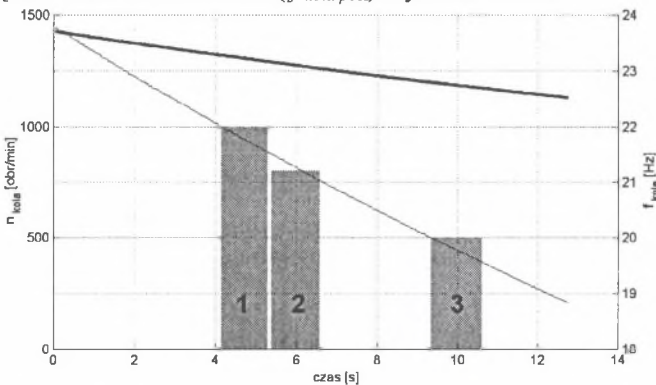
stanowiskowe, podczas których samochód był uniesiony na podnośniku warsztatowym. Do rozpędzania koła jezdnego wykorzystano doważarkę dynamiczną (rys. 2), która umożliwia rozpędzenie koła jezdnego do prędkości obrotowej odpowiadającej prędkości samochodu maksymalnie około 150 km/h.



Rys. 2. Sposób rozpędzania koła jezdnego w celu pomiaru drgań: 1 - doważarka dynamiczna, 2 - przetwornik przyspieszeń drgań, 3 - urządzenie diagnostyczne

Fig. 2. Speeding up of carriageable wheel in aim of measurement vibration: 1 – on the car wheel balancer, 2 - accelerometer, 3 - diagnostics apparatus

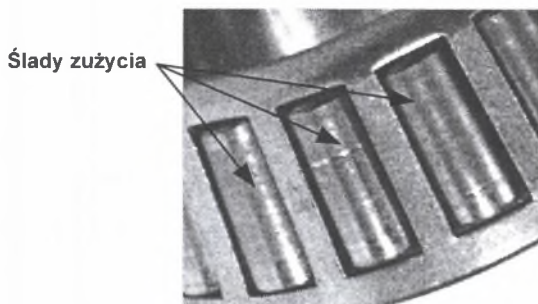
Mierzono przyspieszenia drgań wzdłużnych czopa łożyskowego. Rejestrowano również synchronicznie sygnały odniesienia zgodne z obrotami koła jezdnego. Sygnał drganiowy oraz sygnał z układu synchronizacji uśredniano próbkowo z częstotliwością 25600 Hz i zapisywano na dysku twardym komputera. Koło jezdne, łożyska toczne, którego diagnozowano, było wyważone na standardowej wyważarce. Niewyważenie koła 10-15 g powodowało blisko 10-krotny wzrost pierwszej harmonicznej częstotliwości obrotowej koła (f_{kola}). Zarejestrowany sygnał drganiowy analizowano w trzech przedziałach zaznaczonych na rys. 3 słupkami, których szerokość odpowiada długości analizowanego sygnału. W niniejszym opracowaniu przedstawiono wyniki jedynie dla przypadku, w którym początkowa częstotliwość obrotowa koła ($f_{kola\ pocz}$) wynosiła 22 Hz.



Rys. 3. Zmiany prędkości obrotowej i częstotliwości obrotowej koła podczas jego wybiegu - łożyska zużyte: 1- $f_{kola\ pocz} = 22$ Hz, 1- $f_{kola\ pocz} = 21,5$ Hz, 1- $f_{kola\ pocz} = 20$ Hz

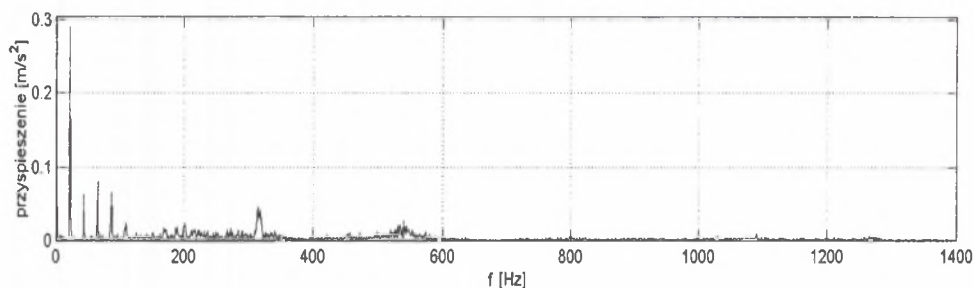
Fig. 3. Change of rotation velocity and rotation frequency of wheel during his coasting - worn out bearings 1- $f_{kola\ pocz} = 22$ Hz, 1- $f_{kola\ pocz} = 21,5$ Hz, 1- $f_{kola\ pocz} = 20$ Hz

W eksperymencie czynnym symulowano uszkodzenie uszczelniacza łożyska, w wyniku którego do węzła łożyskowego dostał się piasek oraz inne zanieczyszczenia. Łożyska były uszkodzane poprzez dodanie do środka smarnego piasku i proszku korundowego. Spowodowały one przyspieszone zużycie bieżni oraz elementów tocznych (rys. 4), które nie było możliwe do wykrycia metodami organoleptycznymi. Łożysko również nie wykazywało luzu. Ślady zużycia widoczne było dopiero po jego demontażu.

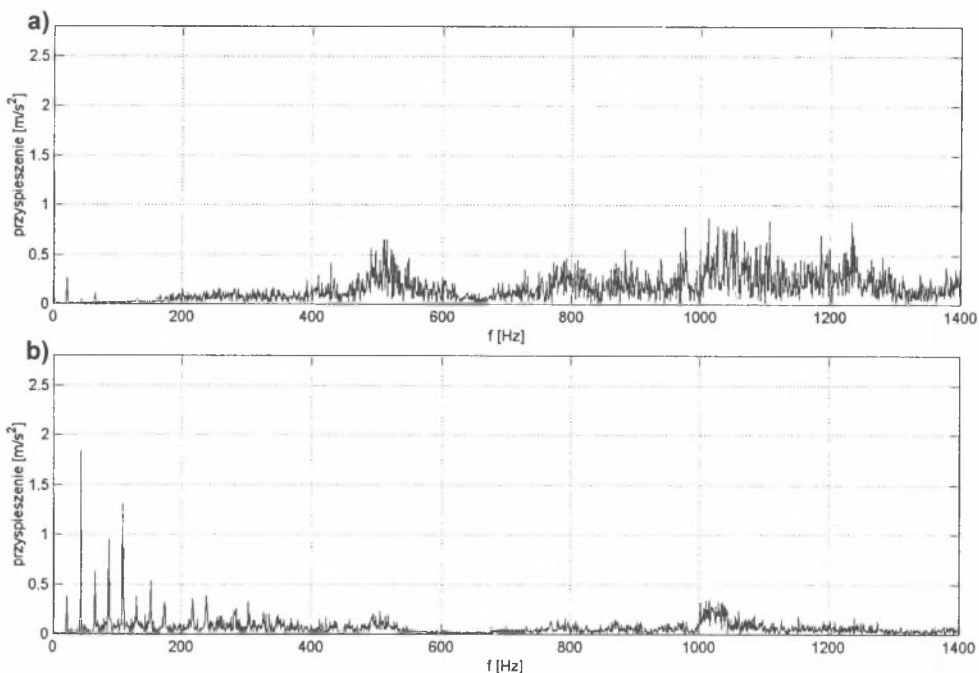


Rys. 4. Ślady zużycia elementów tocznych łożyska
Fig. 4. Traces of wear of rolling elements

Na rysunku 5 przedstawiono zmiany struktury częstotliwościowej fragmentu zarejestrowanego sygnału przyspieszeń drgań, gdy $f_{kola\ pocz} = 22\text{ Hz}$. W widmie sygnału przyspieszeń drgań podczas pracy łożysk nowych występowała praktycznie tylko częstotliwość obrotowa koła (f_{kola}) i jej harmoniczne (rys. 5). Dodanie piasku i korundu do środka smarnego spowodowało wzrost wartości składowych amplitud częstotliwości składowych sygnału w zakresie wyższych częstotliwości powyżej 400 Hz (rys. 6a). Wymiana środka smarnego na nowy miała na celu zasymulowanie pracy łożysk tocznych zużytych eksploatacyjnie bez udziału ciał obcych, np. piasku. W widmie zarejestrowanego sygnału drganiowego widoczny jest wyraźny wzrost (w stosunku do łożysk nowych) wartości częstotliwości obrotowych koła (f_{kola}) i jej harmonicznych (rys. 6b). Na rysunku 7 porównano wartości amplitudy kolejnych harmonicznych częstotliwości obrotowej koła (f_{kola}) w przypadku pracy łożysk nowych oraz zużytych w obecności piasku i w przypadku „czystego” środka smarnego.

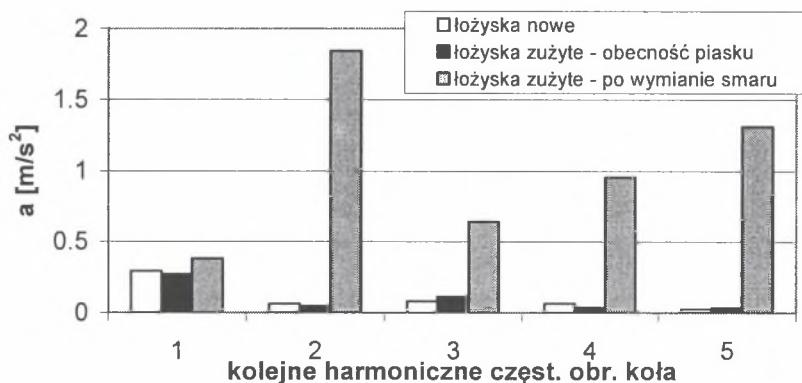


Rys. 5. Analiza częstotliwościowa sygnału - łożyska nowe
Fig. 5. Spectrum - new bearings



Rys. 6. Analiza częstotliwościowa sygnału: a) łożyska zużyte – w środku smarnym występował piasek i korund, b) łożyska zużyte – środek smary wymieniono na nowy – symulowano jeden z rodzajów zużycia eksploatacyjnego

Fig. 6. Spectrum a) worn out bearings – in lubricant was sand and corundum, b) worn out bearings – lubricant was new

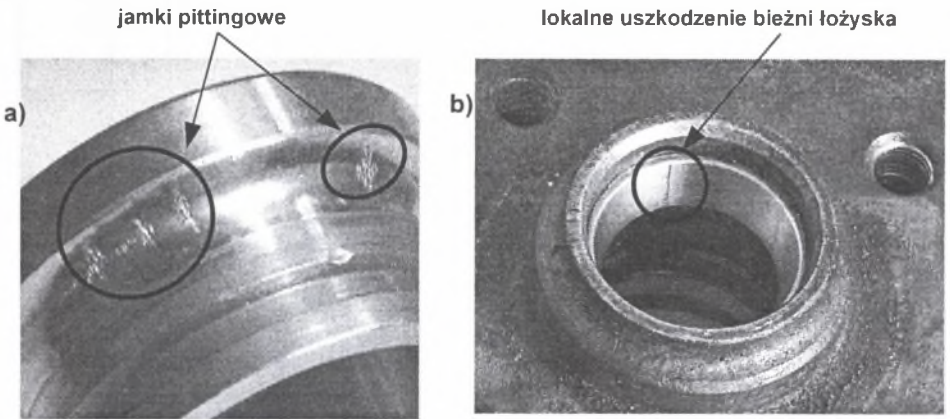


Rys. 7. Wartości amplitudy kolejnych harmonicznych częstotliwości obrotowej koła (f_{kola}) w przypadku pracy łożysk nowych oraz zużytych

Fig. 7. Amplitude of harmonic wheel rotation frequency (f_{kola}) - new bearings and worn out bearings

Podczas eksploatacji łożysk tocznych najczęściej wstępuje zużycie zmęczeniowe powierzchni roboczych bieżni łożyska, w wyniku którego pojawiają się na nich jamki pittingowe. W kolejnym etapie badań, wzorując się na eksploatacyjnym zmęczeniowym

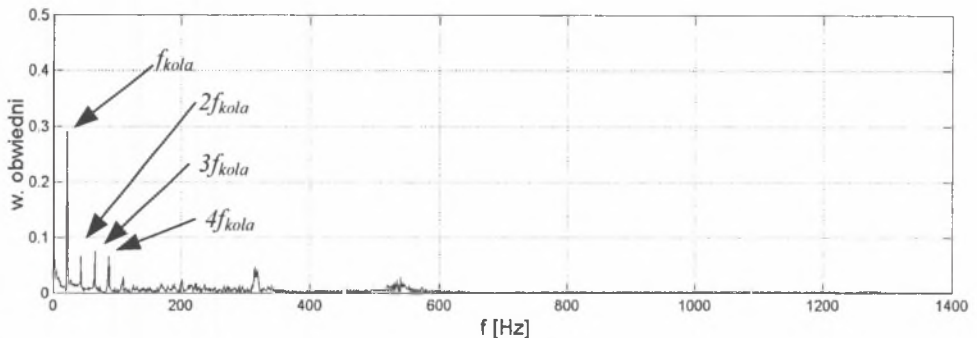
uszkodzeniu bieżni łożyska (rys. 8a), zasymulowano lokalne uszkodzenie bieżni zewnętrznej mniejszego z dwóch łożysk zamontowanych na czopie łożyskowym badanego koła jezdniego pojazdu (rys. 8b).



Rys. 8. Lokalne uszkodzenia bieżni łożyska tocznego: a) eksploatacyjne, b) zastosowane w badaniach doświadczalnych

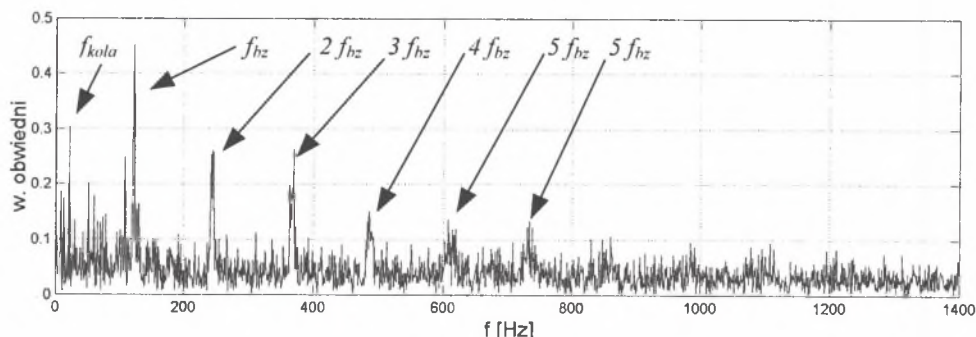
Fig. 8. Local failure of outer race: a) usual wear, b) applied in experimental investigations

Uszkodzenie przedstawione na rysunku 8b powodowało wzrost wartości częstotliwości (f_{bz}) związanej z przetaczaniem się elementów tocznych przez uszkodzony fragment bieżni zewnętrznej. W rozważanym przypadku częstotliwość ta wynosiła 122,2 Hz, a wyznaczono ją na podstawie zależności przedstawionych w [4,5]. Na rysunku 9 przedstawiono widmo obwiedni w przypadku pracy łożysk nowych. W widmie tym występuje praktycznie jedynie częstotliwość obrotowa koła (f_{kola}) i jej harmoniczne. Natomiast na rysunku 10 przedstawiono widmo obwiedni w przypadku lokalnego uszkodzenia bieżni zewnętrznej mniejszego z łożysk tocznych. Widoczna jest częstotliwość związana z przetaczaniem się elementów tocznych przez uszkodzony fragment bieżni łożyska (f_{bz}) oraz jej harmoniczne.



Rys. 9. Widmo obwiedni – łożyska nowe

Fig. 9. Spectrum of envelope – new bearings



Rys. 10. Widmo obwiedni – lokalne uszkodzenie bieżni zewnętrznej łożyska małego
 Fig. 10. Spectrum of envelope – local failure of outer race of smaller bearings

4. WNIOSKI

Na podstawie przeprowadzonych badań i wykonanych analiz można sformułować następujące wnioski:

- niewyważenie koła powodowało wzrost amplitudy pierwszej harmonicznej częstotliwości obrotowej koła,
- zużycie powierzchni roboczych elementów tocznych łożysk kół jezdnych i obecność piasku w łożysku powodował wzrost amplitud składowych częstotliwości powyżej 400 Hz,
- zużycie powierzchni roboczych elementów tocznych łożysk kół jezdnych, w przypadku symulowania zużycia eksploatacyjnego (brak obecności ciał obcych) powodowało znaczący wzrost wartości amplitud kolejnych harmonicznych częstotliwości obrotowej koła,
- lokalne uszkodzenie bieżni zewnętrznej łożyska tocznego powodowało wzrost wartości amplitudy składowej o częstotliwości (f_{hz}) związanej z przetaczaniem się elementów tocznych przez uszkodzony fragment bieżni.

Przeprowadzone badania mają charakter wstępny, a przedstawione wnioski powinny być zweryfikowane na większej liczbie pojazdów, o różnych rozwiązaniach węzłów łożyskowych kół jezdnych.

Literatura

1. Cempel Cz.: Podstawy wibroakustycznej diagnostyki maszyn. WNT, Warszawa 1982.
2. Dąbrowski Z., Dziurdz J., Pakowski R.: The impact of varying in time misalignment errors on dynamic properties of machine, Materiały VIII Polsko-Francuskiego Seminarium Mechaniki, Warszawa 2001.
3. Krzemiński - Freda H.: Łożyska toczne. PWN, Warszawa 1985.
4. Łazarz B., Wojnar G.: Bezkontaktowe pomiary laserowe drgań w diagnostyce wibroakustycznej. XI Sympozjum Naukowe „Nowe technologie i materiały w metalurgii i inżynierii materiałowej”, Katowice, 16.05.2003.
5. SKF.: Poradnik obsługi technicznej łożysk. SKF, 1994.