

**POLITECHNIKA GDAŃSKA
WYDZIAŁ MECHANICZNY
KATEDRA KONSTRUKCJI MASZYN I POJAZDÓW**



**WIBROAKUSTYCZNA METODA DIAGNOZOWANIA ŁOŻYSK
TOCZNYCH NA PRZYKŁADZIE ROLKI TAŚMOCIĄGU**

**ĆWICZENIE LABORATORYJNE NR 1
Z PODSTAW EKSPLOATACJI URZĄDZEŃ MEDYCZNYCH**

Opracował: dr inż. Paweł ROMANOWSKI, doc. PG

GDAŃSK 2011

1. CEL ĆWICZENIA.

Celem ćwiczenia jest:

- zapoznanie się studentów z wibroakustyczną metodą diagnozowania podstawowych elementów maszyn;
- ocena różnych stanów łożyska tocznego na podstawie symptomów wibroakustycznych.

2. ZAKRES ĆWICZENIA.

- a/ zapoznanie się z instrukcją do ćwiczenia,
- b/ ocena zdatności łożysk.

3. OPIS ĆWICZENIA.

3.1. Wprowadzenie do ćwiczenia.

Wśród zjawisk wibroakustycznych towarzyszących pracy każdej maszyny można wyróżnić drgania elementów i podzespołów oraz hałas.

Najszerzej wykorzystywane w diagnostyce są drgania elementów maszynowych i tutaj mamy trzy możliwe wielkości do wykorzystania: przemieszczenie (x), prędkość (v) i przyspieszenie (a). Powstaje tu od razu pytanie, jakie niesprawności można oceniać za pomocą wymienionych wielkości drganiowych. Z mechaniki wiadomo, że energia drgań proporcjonalna jest do kwadratu prędkości a ponieważ jest to energia stracona można uznać, że prędkość drgań jest miarą ogólnego zaawansowania procesów zużyciowych w maszynie.

Rozumowanie prowadzące do tego wniosku to: maszyna zużyta \Rightarrow mało sprawna \Rightarrow traci dużo energii \Rightarrow cechuje się dużą prędkością drgań.

Inna przesłanka predestynująca daną wielkość drganiową do wykrycia niesprawności, to jej skład widmowy.

I tak przemieszczenie drgań charakteryzuje się niskoczęstotliwościowym składem widmowym i w związku z tym nadaje się do oceny niesprawności ujawniających się w okolicy częstotliwości obrotów podstawowych f_0 . Prędkość drgań ujmuje wszystkie składowe widmowe z jednakową wagą lecz jej widmo nie sięga wyżej niż kilka tysięcy Hz (do $100 f_0$). Z tego też powodu prędkość drgań wykorzystywana jest do oceny ogólnego zaawansowania procesów zużyciowych łożysk, przekładni niskoobrotowych itp. Przyspieszenie drgań w swym składzie widmowym faworyzuje wysokie częstotliwości aż do $1000 f_0$. Z tego też powodu pomiar przyspieszenia stosuje się do oceny łożysk i przekładni wysokoobrotowych, w których o poziomie drgań decyduje stan i zaawansowanie zużycia współpracujących powierzchni.

Przetworniki do odbioru drgań wymagają na ogół zamocowania do badanego elementu, z wyjątkiem pojemnościowych i laserowych do pomiaru przemieszczenia i indukcyjnych do pomiaru prędkości. Rodzaj mocowania przetworników jest bardzo istotny, gdyż determinuje zakres częstotliwości, w którym wnioskowanie diagnostyczne może być niezawodne.

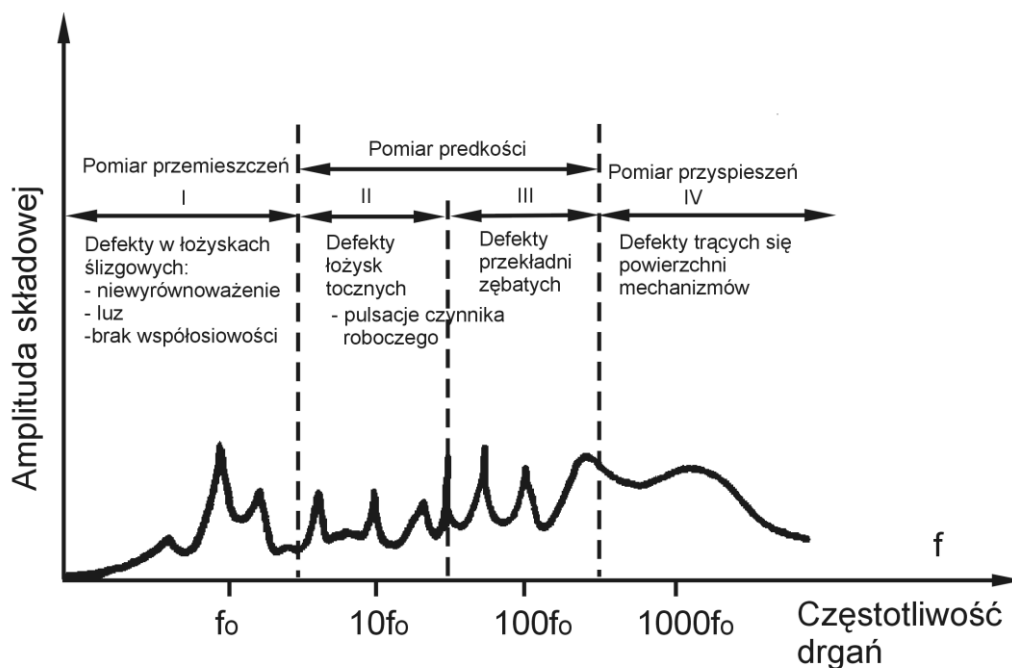
W tablicy 1 podano wytyczne do wyboru sposobu mocowania stosownie do pożądanego zakresu częstotliwości drgań.

Tablica 1

Rodzaj mocowania przetwornika do badanego elementu		Górna częstotliwość graniczna w Hz
Przetwornik prędkości	Końcówka ślizgowa przetwornika do wałków	ok. 120
	Przytrzymywanie przetwornika ręką i dociskanie 9-cio calową jego końcówką	300
	Magnes	600
	Przytrzymywanie przetwornika ręką bez jego końcówki	1000
	Mocowanie na śrubę	1500
Przetwornik przyspieszeń	Magnes	2000
	Przytrzymywanie przetworników ręką bez jego końcówki	7000
	Mocowanie śrubowe z podkładką izolacyjną lub na wosk	7000
	Mocowanie śrubowe bez podkładki	10000

Na zakończenie dyskusji zastosowań poszczególnych wielkości drganiowych (a , v , x) do wykrywania niesprawności bądź uszkodzeń, na rys. 1 przedstawione jest widmo hipotetycznej maszyny z zaznaczeniem pasm charakterystycznych dla różnych grup uszkodzeń.

Istotnym zagadnieniem jest określenie czasokresu przeglądów diagnostycznych elementów maszyn diagnozowanych z wykorzystaniem parametrów drgań. Przy zbyt częstym diagnozowaniu rosną koszty inspekcji, natomiast przy zbyt rzadkim można nie w porę wykryć awarii.



Rysunek 1

Generalnie znając średni czas bezawaryjny pracy maszyny, dzielimy ten okres na około 20 odcinków i w tych odstępach czasu mierzymy drgania w wybranych punktach.

Kolejnym ważnym zagadnieniem jest porównanie zmierzonych wielkości drganiowych z wartościami granicznymi. Na podstawie takiego porównania można ocenić zdatność elementu maszynowego lub prognozować kolejne stany w czasie. W tabelicy 2 przedstawiona jest klasyfikacja stanu drganiowego czterech grup maszyn wg ISO.

Tablica 2

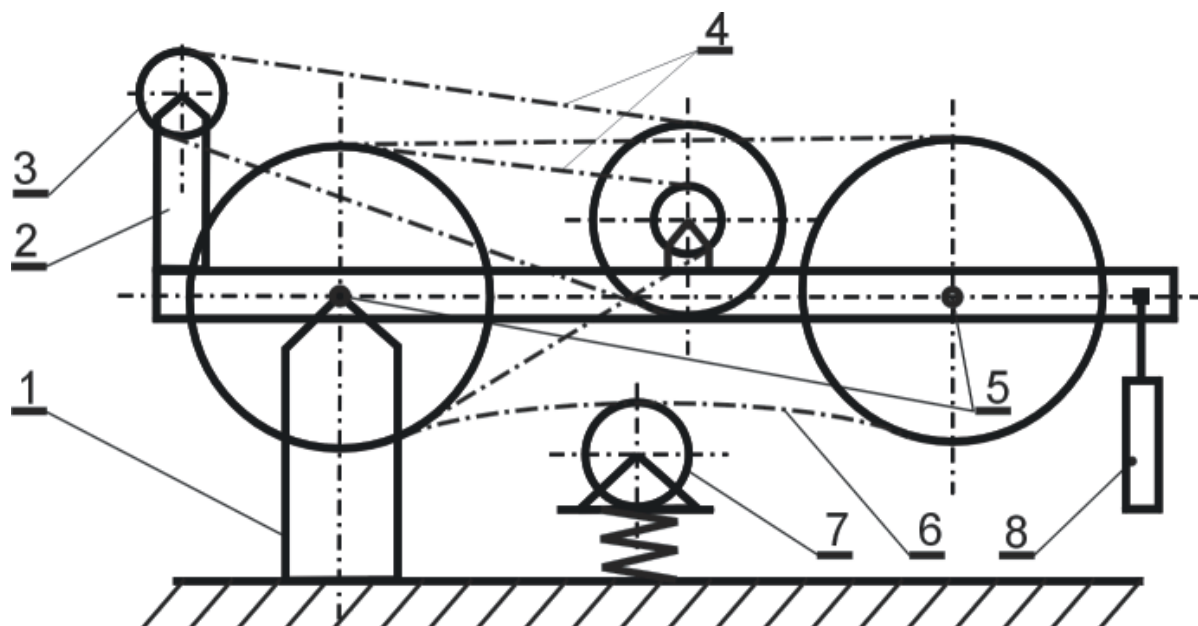
Amplituda skuteczna prędkości drgań mm/s.	45	A Niedopuszczalny	A Niedopuszczalny	A Niedopuszczalny	A Niedopuszczalny	
	20			B Dopuszczalny		
	18 11,2			B Dopuszczalny		C Zadawalający
	7,1					
	4,5	B Dopuszczalny	C Zadawalający	D Dobry - duże, ciężkie maszyny pracujące przy prędkościach obrotowych przewyższających częstość drgań fundamentu (np. turbonapędy)		
	2,8	C Zadawalający	D Dobry - duże maszyny na sztywnym i ciężkim fundamencie, którego częstość własna przewyższa prędkość obr. maszyny			
	1,8 1,12 0,71		D Dobry - małe maszyny do 15 kW			
	0,45 0,18	Grupa I	Grupa II	Grupa III	Grupa IV	

Jak widać z tablicy, jako miernik stanu technicznego każdej grupy maszyn przyjęto skuteczną wartość amplitudy prędkości drgań. W zależności od amplitudy drgań, stan eksploatacyjny może być zakwalifikowany jako: dobry, zadawalający, dopuszczalny i niedopuszczalny. Z tablicy wynika również bardzo istotna przesłanka, że zmiana stanu eksploatacyjnego maszyny z dobrego na niedopuszczalny jest związana ze zmianą amplitudy w stosunku 6 : 1. Dotyczy to jednak nowych maszyn, zaś dla maszyn już remontowanych zmiana w stosunku 3 : 1 może już świadczyć o nadchodzącej awarii.

3.2. Stanowisko badawcze.

Na rys. 2 przedstawiony jest schemat stanowiska do wibroakustycznego diagnozowania stanu łożysk tocznych w kraźnikach przenośników taśmowych.

W stanowisku tym podzespół krążnika napędzany jest i poddany obciążeniu w sposób odpowiadający sytuacji w rzeczywistym przenośniku taśmowym.



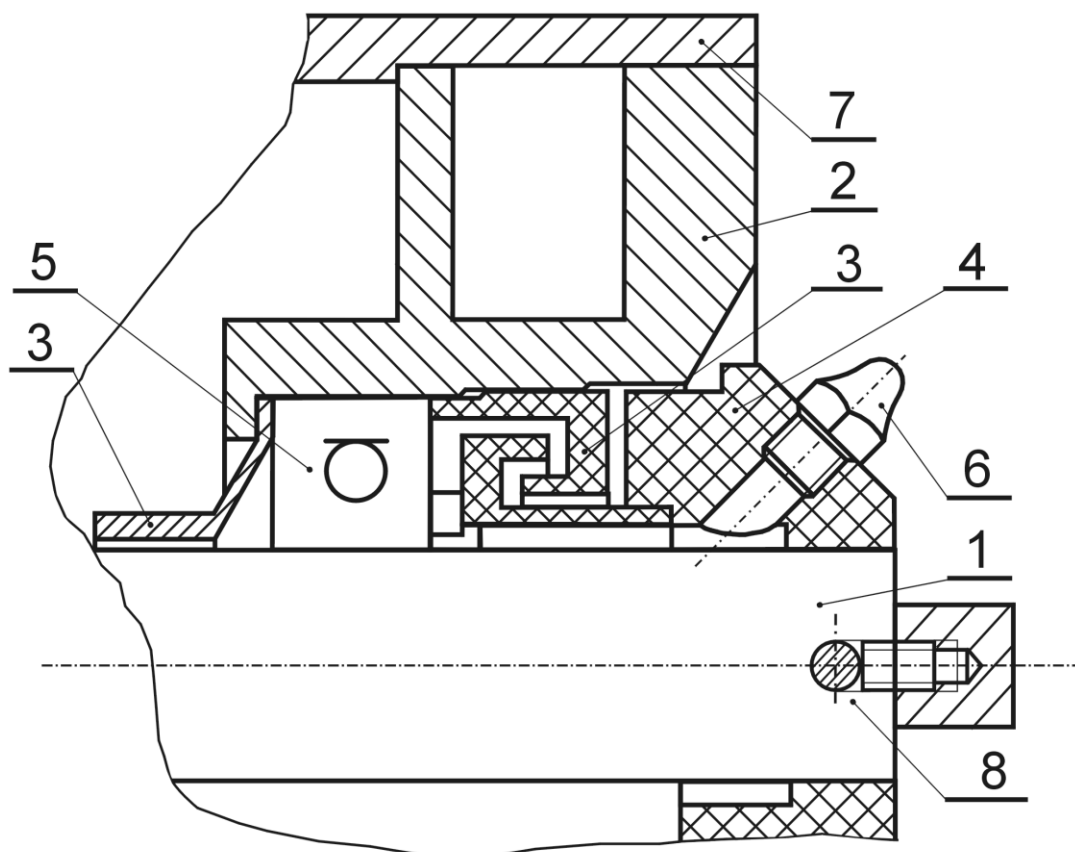
Rysunek 2

Krążnik (7) napędzany jest i obciążany za pośrednictwem dwóch pasów klinowych (6), dociskanych do krążnika zewnętrzną stroną ich obwodów. Stanowisko składa się ze stojaka (1), w którego górnej części ułożyskowana jest dźwignia (2), na której osadzony jest układ napędowy, składający się z silnika elektrycznego (3) i przekładni pasowych prowadzących pasy (6), obciążające i napędzające badany krążnik (7). Na końcu dźwigni znajduje się szalka obciążników (8) umożliwiających wywarcie odpowiedniego obciążenia na krążnik. Krążnik można przesuwająco w celu zmiany rozkładu obciążenia na oba jego łożyska. Podstawa wspornika krążnika połączona jest ze stanowiskiem poprzez łączniki metalowo-gumowe, izolujące krążnik od drgań przenoszonych z układu napędowego na stojak stanowiska.

3.3. Krążnik

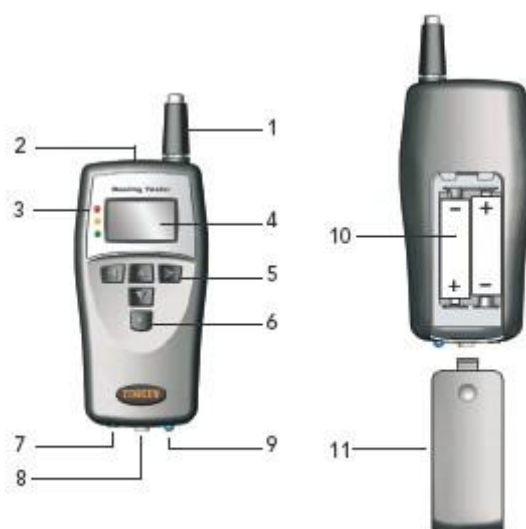
Na rysunku 3 przedstawiony jest węzeł łożyskowy krążnika. Na nieruchomej osi (1) osadzone jest łożysko toczne (5) o numerze 6204 oraz obsada (4) i część uszczelnienia labiryntowego (3). W obracającej się piaście (2), ciasno ustalony jest zewnętrzny pierścień łożyska i część uszczelnienia labiryntowego. Na piastę nałożona jest pobocznica (7) krążnika.

Przewidziane jest okresowe dosmarowywanie łożysk. Dostarczony do smarowniczk (6) smar stały, dostaje się do łożyska (wyciskając na zewnątrz smar zużyty) i jednocześnie wypełnia przestrzeń uszczelnienia labiryntowego, wydalając smar zabrudzony na zewnątrz.



Rysunek 3.

3.4. Narzędzie diagnostyczne



- 1 Sonda pomiarowa
- 2 Czujnik temperatury na podczerwień
- 3 Wskaźniki stanu
- 4 Ekran graficzny
- 5 Klawisze nawigacyjne
- 6 Klawisz pomiaru i włączania zasilania

- 7 Wyjście słuchawkowe
- 8 Wejście przetwornika
- 9 Pomiarowa dioda LED
- 10 Miejsce na baterie
- 11 Etykieta z numerem seryjnym

Tester stanu łożysk jest przyrządem pomiarowym pracującym w oparciu o sprawdzoną metodę pomiaru impulsów uderzeniowych, przeznaczonym do szybkiej i łatwej identyfikacji uszkodzeń łożyska. Przyrząd posiada wbudowany mikroprocesor zaprogramowany do analizy wzorów impulsów uderzeniowych z różnych typów łożysk kulkowych i wałeczkowych oraz do wyświetlania informacji dotyczących stanu pracy łożyska.

Tester stanu łożysk zasilany jest baterią i przeznaczony do pracy w ciężkich warunkach przemysłowych. Ekran graficzny (4) wyświetla odczyty stanu, a diody pomiarowe LED (3) podają natychmiastową ocenę (w kolorach: zielonym, żółtym i czerwonym) stanu łożyska.

Przetwornik impulsów uderzeniowych (1) jest wbudowany w urządzenie. Wszystkie typy przetworników impulsów uderzeniowych SPM mogą być wykorzystane jako adaptory lub elementy instalowane na stałe, podłączone do wejścia przetwornika (8). Wartość dBi programowana jest w urządzeniu, a jej pomiar zaczyna się po naciśnięciu klawisza (6). Odczyt stanu rzeczywistego wyświetlany jest na ekranie graficznym (4) jako poziom tła „dBc” i poziom maksymalny „dBm”. Wskaźniki stanu (3) wskazują stan (w kolorach: zielonym, żółtym i czerwonym) łożyska. Słuchawki do odsłuchiwania wzoru impulsów uderzeniowych mogą zostać podłączone do wyjścia słuchawkowego (7).

Tester stanu łożysk może być wykorzystany do pomiaru temperatury powierzchni za pomocą czujnika na podczerwień (2) oraz do wykrywania nieprawidłowości dźwięków emitowanych przez maszynę za pomocą słuchawek z wykorzystaniem funkcji stetoskopu.

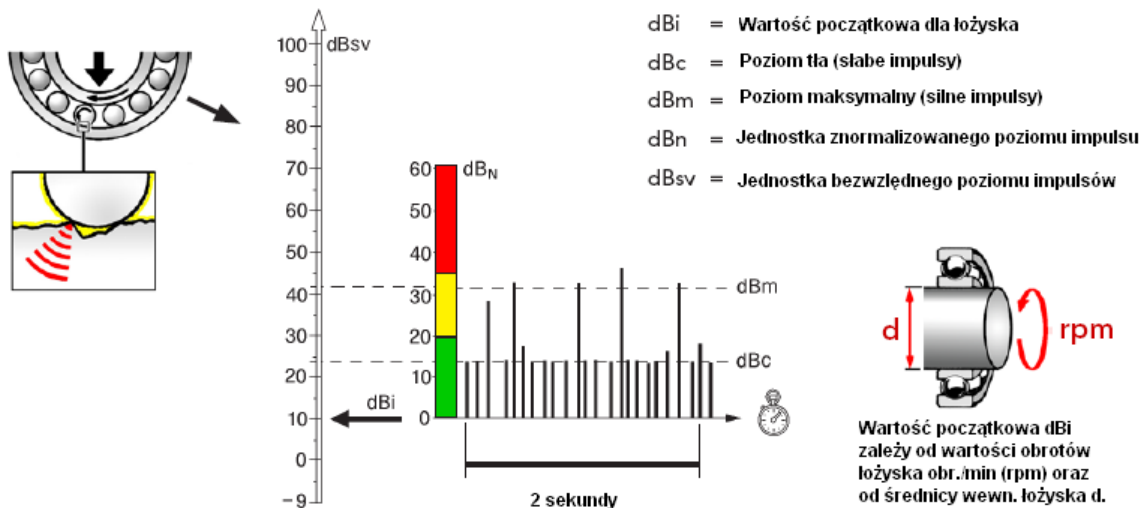
Do odsłuchiwania dźwięków, można wykorzystywać sondy wewnętrzną i zewnętrzną.

Metoda impulsu uderzeniowego

Tester stanu łożysk działa w oparciu o metodę impulsu uderzeniowego. Pomiar metodą impulsów uderzeniowych mierzy pośrednio prędkość uderzenia, tzn. różnicę w prędkości dwóch obiektów w momencie uderzenia. W momencie uderzenia w każdym z obiektów natychmiast powstaje mechaniczna fala uderzeniowa (impuls uderzeniowy). Wartość maksymalna impulsu uderzeniowego określona jest przez prędkość uderzenia i nie wpływa na nią masa czy też kształt zderzających się obiektów. Impuls uderzeniowy występujący w wirujących łożyskach tocznych spowodowany jest zderzeniami pomiędzy bieżniami łożysk, a elementami tocznymi. Impuls przemieszcza się od miejsca uderzenia poprzez łożysko i jego obudowę. Z doświadczenia wiadomo, że istnieje prosty związek pomiędzy warunkami eksploatacji łożyska, a wartością impulsów uderzeniowych.

Przetwornik wykrywa impulsy uderzeniowe w łożysku. Sygnały z przetwornika przetwarzane są w mikroprocesorze detektora łożyska, a zmierzone wartości impulsów uderzeniowych wyświetlane są na ekranie. Do przyrządu możemy podłączyć słuchawki, aby móc odsłuchać wzór impulsu uderzeniowego. Prosimy zauważyć, że przyrządu tego nie można wykorzystywać do diagnostyki łożysk ślizgowych.

Impulsy uderzeniowe są krótkotrwałymi impulsami ciśnieniowymi, generowanymi przez uderzenia mechaniczne. Uderzenia mechaniczne występują we wszystkich łożyskach tocznych i spowodowane są nieregularnością powierzchni bieżni i elementów tocznych. Wielkość impulsów uderzeniowych zależy od prędkości uderzenia.



Poziom tła dBc

Chropowatość powierzchni (małe nieregularności) powodują szybką sekwencję niewielkich impulsów uderzeniowych, które razem tworzą tło łożyska. Poziom tła uderzeniowego wyrażony jest za pomocą wartości dBc (w decybelach). Film olejowy pomiędzy elementami tocznymi, a bieżniami łożyska, ma wpływ na wielkość wartości tła. Przy normalnej grubości filmu poziom tła łożyska jest niski. Niewłaściwe wyosiowanie i niewłaściwy montaż, a także niewystarczające smarowanie, zmniejszają grubość filmu olejowego w całym łożysku lub w jego części. Powoduje to wzrost poziomu tła dBc ponad normę.

Poziom maksymalny dBm

Uszkodzenie łożyska, tzn. względnie duże nieregularności na jego powierzchni, wywołuje pojedyncze impulsy uderzeniowe o wyższej wartości, pojawiające się w przypadkowych odstępach czasu. Najwyższa wartość impulsu uderzeniowego zmierzona na łożysku, nazywana jest maksymalną wartością dBm i podawana jest w decybelach. Maksymalna wartość dBm wykorzystywana jest do określenia warunków eksploatacji łożyska. Poziom tła dBc pomaga w analizie przyczyn pogorszenia warunków eksploatacji.

Znormalizowane i nieznormalizowane odczyty

Tester stanu łożysk mierzy prędkość uderzenia w dużym zakresie dynamicznym. Dla uproszczenia odczytu i oceny stanu łożyska wykorzystuje się logarytmiczną jednostkę pomiarową wyrażoną w decybelach (dBsv).

dBsv to ogólna jednostka pomiarowa mierząca impulsy uderzeniowe. Mierząc impulsy z łożyska w dBsv uzyskujemy ich wartość, na przykład 42 dBsv. Jednakże wartość ta stanowi jedynie część informacji potrzebnej do oceny stanu pracy łożyska. Potrzebujemy także standardu porównania, tzn. standardowej wartości dla identycznych lub podobnych łożysk.

Takie wartości standardowe uzyskano mierząc empirycznie impulsy uderzeniowe dużej liczby nowych, w pełni sprawnych łożysk kulkowych i wałeczkowych. Nazywamy je

„wartościami początkowymi” dBi (początkowa wartość wyrażona w decybelach). Wartość dBi może być ustawiona ręcznie lub obliczona za pomocą przyrządu po podaniu wejściowej wartości prędkości obrotowej obr/min i średnicy wału/wewnętrznej łożyska (zobacz: rozdział „Dane wejściowe”). Najwyższa wartość dBi, którą można wprowadzić, wynosi +60, a najniższa -9. Każda próba wprowadzenia wartości nie mieszczących się w tym zakresie spowoduje wyświetlenie dBi o wartości „-” oraz pojawienie się nieznormalizowanego odczytu impulsu uderzeniowego (patrz poniżej).

Odejmując dBi od wartości dBsv, otrzymujemy “znormalizowaną” wartość impulsu uderzeniowego lub inaczej dBn łożyska (wartość znormalizowana wyrażona w decybelach), na przykład: 42 dBsv – 10 dBi = 32 dBn. Znormalizowana wartość impulsu uderzeniowego dBn jest jednostką pomiarową dla warunków pracy łożysk. Maksymalna wartość wynosząca 32 dBn oznacza: “32 dB ponad normę”, czyli “pogorszone warunki pracy” dla diagnozowanego łożyska. Wprowadzenie do przyrządu wartości dBi przed dokonaniem odczytu spowoduje wyświetlenie stanu łożyska bezpośrednio na ekranie stanu (w postaci kolorów: zielonego, żółtego lub czerwonego, oznaczających „dobry”, „obniżony” i „zły” stan pracy diagnozowanego łożyska). „Zły stan pracy” jest równoznaczny z “uszkodzeniem łożyska”, ale oznacza on także wiele innych „usterek łożyska”, które mogą zostać wykryte pomiarem metodą impulsu uderzeniowego. Wartość początkowa dBi łożyska jest bezpośrednio związana z jego prędkością obrotową i średnicą wału.

Bezwzględny poziom impulsu uderzeniowego łożyska, mierzony w dBsv (wartość impulsu uderzeniowego wyrażona w decybelach), jest funkcją zarówno prędkości obrotowej (toczenia), jak i stanu łożyska. Aby zneutralizować wpływ prędkości toczenia na zmierzoną wartość, należy wprowadzić do przyrządu wartość dBi.

Tester stanu łożysk rejestruje wzorcową liczbę impulsów uderzeniowych występujących w pewnym okresie czasu i wyświetla:

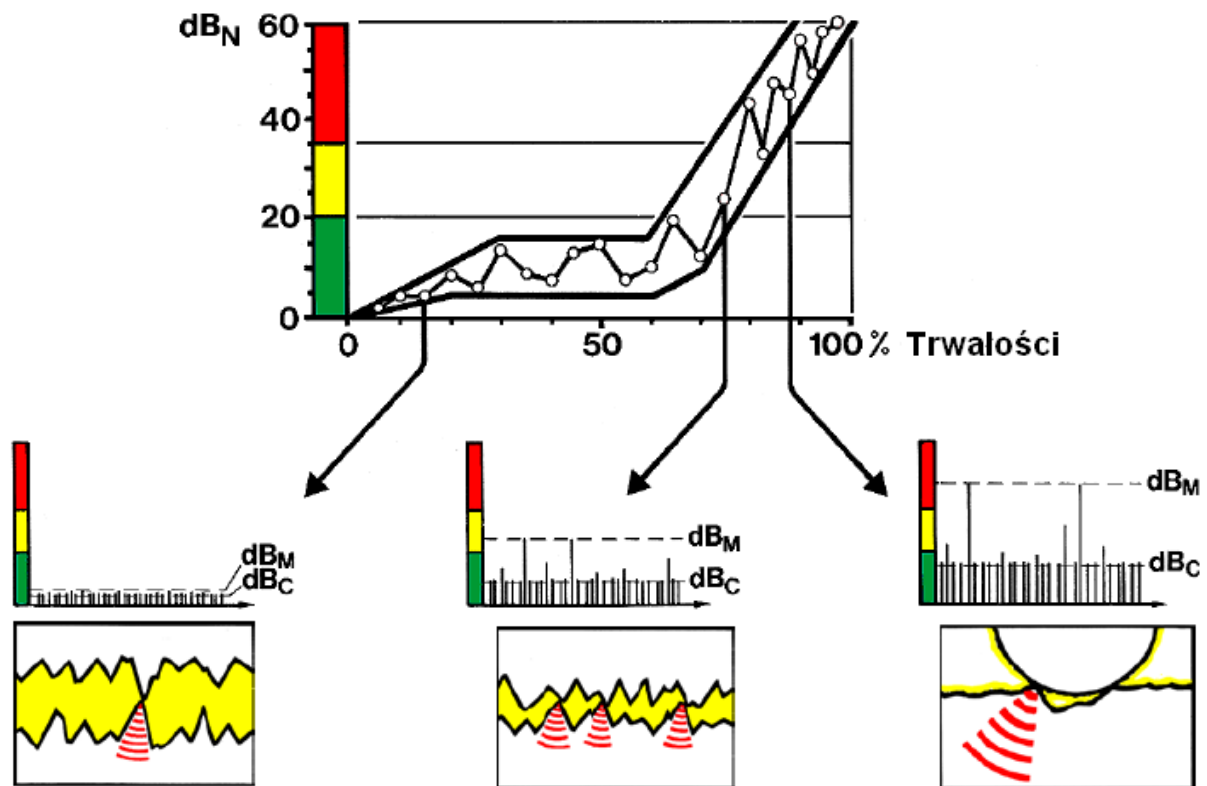
- **maksymalną wartość dBm** dla małej liczby silnych impulsów uderzeniowych.
- **wartość tła dBc** dla dużej liczby słabszych impulsów uderzeniowych.
- zapalone diody LED na skali stanu (tylko dla znormalizowanych odczytów): kolor zielony dla dBn do wartości 20 dBn = stan dobry, kolor żółty dla dBn wynoszącego 21-34 = ostrzeżenie, kolor czerwony dla dBn wynoszącego 35 i więcej = stan awaryjny.

Maksymalna wartość dBm określa pozycje łożyska na skali stanu. Różnica pomiędzy dBm a dBc wykorzystywana jest do bardziej dokładnej analizy przyczyn obniżonego lub złego stanu łożyska.

Nieznormalizowane odczyty

Dla odczytów nieznormalizowanych należy ustawić wartość dBi na „-”. Najwyższa wartość dBi, którą możemy wprowadzić, to +60, a najniższa to -9. Każda próba wprowadzenia wartości nie mieszczących się w tym przedziale spowoduje wyświetlenie wartości dBi „-” oraz pojawienie się nieznormalizowanego odczytu impulsu uderzeniowego. Następnie mierzymy wartość dBsv (bezwzględne wartości impulsu uderzeniowego) i nie uzyskujemy przy tym wskazania stanu, ponieważ skala stanu oceniana jest w znormalizowanych wartościach dBn.

Technika dBm/dBc



Technika dBm/dBc stosowana jest z powodzeniem już od ponad 35 lat i wciąż jest szeroko używana. Doskonale nadaje się do przemysłowego monitorowania stanu urządzeń, ponieważ opiera się na analizie kilku łatwych do zrozumienia danych wejściowych i wyjściowych.

Nawet na skali logarytmicznej istnieje zwykle duża, wyraźna różnica pomiędzy maksymalnymi wartościami dla dobrego i złego stanu łożysk. Tym samym, niewielkie nieściśności w danych wejściowych (rpm oraz średnica wału) mają niewielki wpływ na oceniany wynik pomiaru.

Stan smarowania wskazywany jest poprzez wartość delta, tzn. różnicę pomiędzy dBm a dBc. Wysokie odczyty i niska wartość delta wskazują na niewystarczające smarowanie lub na pracę łożyska bez smarowania.

dBm oraz dBc mierzone są w ustalonym przedziale czasu oraz automatycznie wyświetlane.

Słuchawki wykorzystywane są do odsłuchiwania wzoru impulsu uderzeniowego w przypadku podejrzanych lub wysokich wartości odczytów. To, oraz możliwość poszukiwania źródeł impulsu uderzeniowego za pomocą przetwornika, służy do weryfikacji wyniku pomiaru i przyczyny jego powstania.

Zasady ustalania punktów pomiarowych

Zasady wyboru punktów pomiaru impulsu uderzeniowego mają bardzo praktyczny cel. Usiłujemy zarejestrować sygnały o niskiej energii, które ulegają dalszemu osłabieniu w miarę przemieszczania się i odbijania od elementów metalowych. Wiemy, że sygnał słabnie rozchodząc się w metalowym elemencie i przechodząc przez kolejne elementy. Nie wiemy, jaka część sygnału wyemitowanego przez łożysko dotrze do punktu pomiarowego w przypadku wszystkich aplikacji. Jednakże musimy spróbować

zastosować ogólne zasady oceny, tzn. uznać wszystkie zmierzone sygnały za sygnały o tej samej jakości.

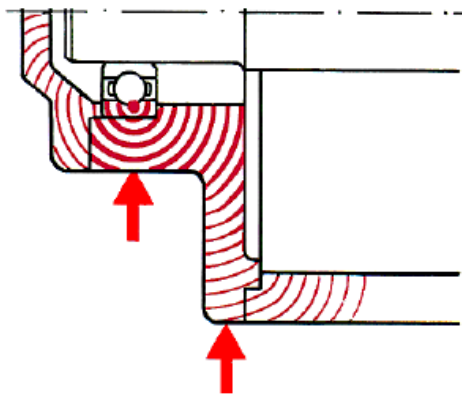
Zasady ustalania punktów pomiarowych zakładają, że większość sygnałów jest „w granicy tolerancji”, oraz, że strefy: zielona, żółta i czerwona są obowiązujące:

1. Ścieżka sygnału pomiędzy łożyskiem a punktem pomiarowym powinna być „najkrótsza” i mieć postać linii prostej.

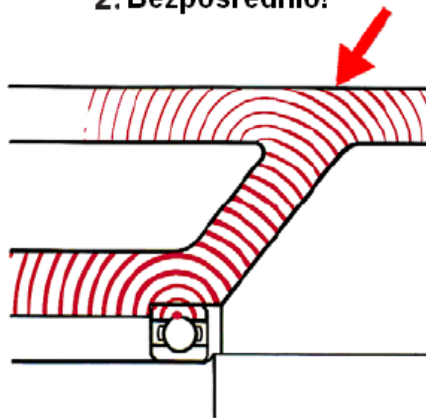
2. Ścieżka sygnału może obejmować tylko jedno mechaniczne połączenie: pomiędzy łożyskiem a obudową łożyska.

3. Punkt pomiarowy powinien znajdować się w strefie obciążenia łożyska.
„Najkrótsza”

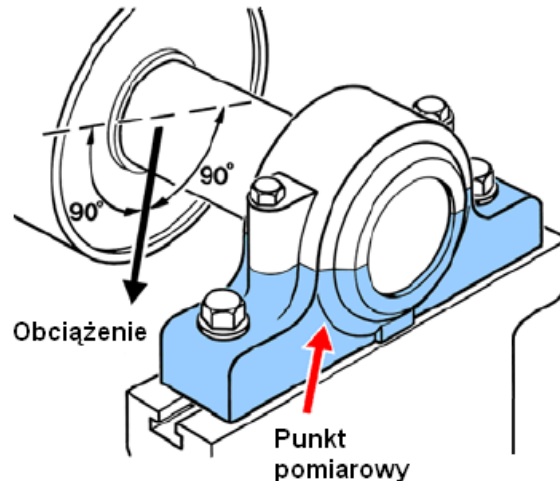
1. Prosta i krótka ścieżka



2. Bezpośrednio!



3. W strefie obciążenia łożyska



3.5. Sposób przeprowadzenia ćwiczenia.

W celu uniknięcia dość czasochłonnej wymiany łożysk w piaście krążnika, do ćwiczenia przygotowane są dwa krążniki (jeden krążnik z łożyskami sprawnymi a drugi – z jednym łożyskiem sprawnym i drugim z wykruszeniem zmęczeniowym bieżni).

3.6. Uwagi dotyczące zaliczenia ćwiczenia.

W celu przygotowania się do ćwiczenia, studenci powinni zapoznać się z niniejszą instrukcją. W trakcie ćwiczenia przeprowadzona będzie pisemna lub ustna ocena. W przypadku otrzymania oceny niedostatecznej – pisemne kolokwium pod koniec semestru.

4. LITERATURA

- Cempel Cz. : ABC drganiowej diagnostyki maszyn. Eksploatacja Maszyn 3/79.
- Cempel Cz. : ABC drganiowej diagnostyki maszyn. Eksploatacja Maszyn 4/79.
- Cempel Cz. : Poradnik diagnostyki drganiowej. Eksploatacja i dozór 4/80.
- Romanowski P. i inni : Badania możliwości podniesienia trwałości i niezawodności rolek przenośników taśmowych. Etap II – 1987. Sprawozdanie z badań. Politechnika Gdańska, Wydział Budowy Maszyn, Katedra Konstrukcji i Eksploatacji Maszyn.
- Tester Stanu Łożysk. Instrukcja Obsługi. TIMKEN Where You Turn.