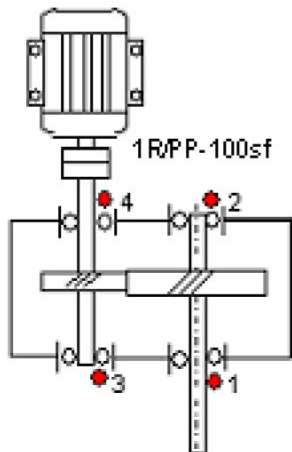


DIAGNOZOWANIE PRZEKŁADNI

- zastosowania przemysłowe

Definicja przekładni

- ◆ Przekładnie zębate są podzespołem układów napędowych składających się najczęściej z : silnika napędowego, sprzęgła elastycznego, przekładni zębatej



Przyczyny uszkodzeń przekładni ogólnego przeznaczenia

1. Nieszczelności spowodowane uszkodzeniami pierścieni uszczelniających
2. Uszkodzenia łożysk tocznych
3. Uszkodzenie sprzęgła
4. Wyłamanie zębów
5. Zużycie zębów (pitting, spalling, scuffing,)
6. Pęknięcia i zużycia wałów
7. Inne (pęknięcia korpusu, uszkodzenia silnika)



Koincydencja pomiędzy uszkodzeniami

- ◆ Największe oddziaływanie destruktywne na pozostałe elementy przekładni ma awaria łożysk i wyciek oleju
- ◆ Każda awaria jednego elementu przekładni, pociąga za sobą możliwość wystąpienia awarii innych elementów (efekt domino)
- ◆ Istnieje związek przyczynowo-skutkowy pomiędzy uszkodzeniem łożysk a uszkodzeniem zębów

Obrazy typowych uszkodzeń przekładni

Wykruszenie



Wyłamanie zmęczeniowe



Pitting



Zacieranie (scuffing)





Zadania diagnozowania



Zadaniem diagnostyki jest wykrycie uszkodzeń i nieprawidłowości pracy przekładni zębatej. Wykrywanie uszkodzeń i innych nieprawidłowości pracy przekładni odbywa się poprzez monitorowanie i analizę sygnałów drganiowych, temperaturę, analizę produktów powstałych w wyniku uszkodzeń.

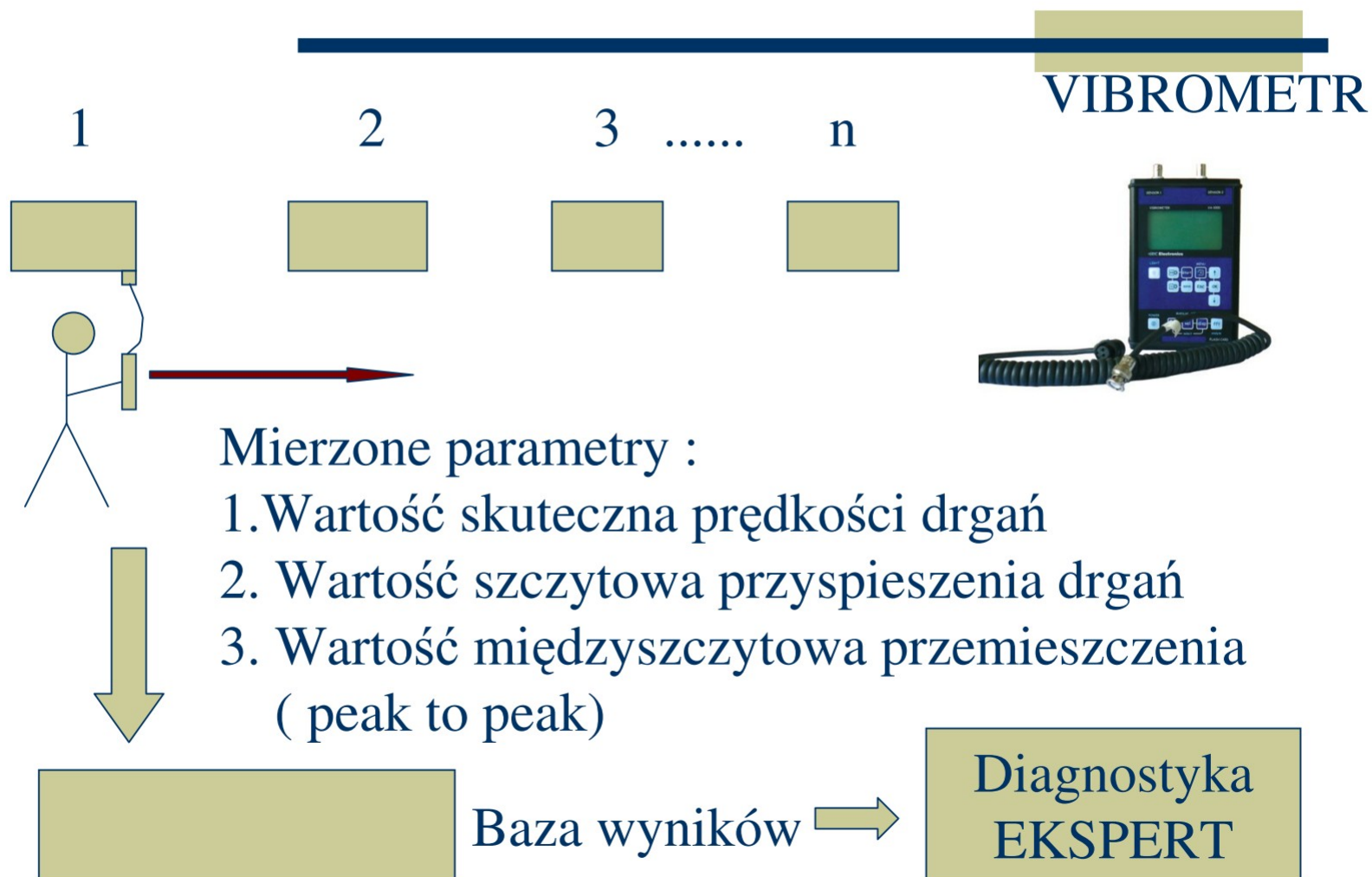


Stosowane systemy diagnozowania przekładni



1. Obchodowy system monitorowania przekładni
2. Ciągłe systemy diagnozowania przekładni
3. Diagnozowanie przyczyn pogarszania się stanu technicznego przekładni

Obchodowy system monitorowania



Ciągłe monitorowanie



- Zasilanie 24 V DC lub 220 AC
- Mierzone parametry : RMS lub szczyt v,a temperatura
- Sygnalizacja stanu diagnozowania (3 diody – zielona, żółta, czerwona)
- Alarm za pomocą GSM, M20
- Rejestracja parametrów przez okres 4 lata tj. 2 x co 10 minut

System VIBCOM firmy „ENERGOCONTROL” Kraków

Kryteria oceny

Mierzony parametr : $v_{\text{skuteczne}}$ pasmo 45-1590 Hz

(załącznik D do PN-ISO 8579-2)

Zatrzymaj i dokonaj przeglądu – powyżej 8 do 12 mm/s

Groźny stan – powyżej 12 do 18 mm/s

Zatrzymaj natychmiast – powyżej 18 mm/s

Mierzony parametr : a_{szczyt} pasmo 1-4 kHz(wg. Blake M.P.)

Do planowanej wymiany w 21 dniach – do 31,6 mm/s

Groźny, napraw w ciągu 2 dni - do 178 mm/s

Katastrofalny, wyłącz natychmiast – powyżej 1000 mm/s

Mierzony parametr : v_{szczyt} wg. Jacksona

Bez działania – do 7,62 mm/s

Zaplanuj remont – do 10,16 mm/s

Wykonaj remont – do 15,24

Natychmiast zatrzymaj – powyżej 15,24



Kryteria oceny

Mierzony parametr – przemieszczenia μm pasmo do 200Hz
(dotyczy tylko posadowienia, fundamentów)

W kierunku poziomym – mniej niż 200

W kierunku pionowym – mniej niż 150

Ocena wg. wg.PN 80/B-03040

Metodyka pomiarów

Metodyka pomiaru zgodna z PN-ISO 8579-2

1. Drgania korpusu powinny być mierzone na sztywnym fragmencie korpusu, takim jak obudowa łożysk.
2. Pomiary nie powinny być wykonywane na tych fragmentach korpusu, które nie podpierają łożysk
3. Pomiary powinny być wykonywane w trzech wzajemnie prostopadłych kierunkach, z których dwa leżą w płaszczyźnie , najlepiej prostopadłej do osi obrotu kół zębatach
4. Zaleca się, żeby pomiary były wykonywane we wszystkich dostępnych miejscach łożyskowania przekładni zębatej

Generalna zasada dla przekładni ogólnego przeznaczenia

Przekładnie o $v_{rms} < 8 \text{ mm/s}$: praca bez nagłych awarii

Przekładnie o $v_{rms} > 8 \text{ mm/s}$: nagłe awarie, ciągłe kłopoty eksploatacyjne

Należy dążyć do tego, aby napędy zębate posiadały poziom drgań mniejszy od 8 mm/s

Potrzebne dane do diagnostyki przekładni

1. Schemat kinematyczny napędu z przekładnią
2. Ilość zębów poszczególnych stopni przekładni
3. Typy łożysk ułożyskowania wałów przekładni
4. Typ sprzęgieł połączeniowych (Ilości elementów np. palców sprzęgieł podatnych itp..)
5. Prędkość obrotowa wejściowa lub wyjściowa przekładni

Obliczane teoretyczne parametry

1. Częstotliwość obrotowa wału $f_o = n_w/60$ Hz
2. Częstotliwość zazębienia przekładni $f_z = f_o \times z_1$
gdzie : z_1 – ilość zębów koła zamocowanego na wale
obracającym się z częstotliwością f_o
3. Kinematyczna częstotliwość zazębienia $f_k = f_z / \text{NWW}(z_1, z_2)$
gdzie : NWM – najmniejsza wspólna wielokrotność ilości
zębów koła i zębniaka danego stopnia
4. Częstotliwości charakterystyczne uszkodzeń elementów
łożysk tocznych (odczytywane z bazy producentów łożysk)

Przykład przygotowania danych do obliczeń

[illegible]

Przykład obliczeń

Obliczenia wraz z wynikami

Nazwa pliku: MCL_7A
Pasma : 2500 Hz

Widmo

Wyniki

Wpisz do form.

Harmoniczne

Punkt pomiarowy : I
Kierunek pomiarów : V

Podstawowa	nr. Harm.	Wartość Hz	Częstotliwość szukana
19,23	3	57,70	57,90

Wyszukana wartość: 0,2666
Dla Częstotliw: 56,15
Analiza powyżej wartości: >60

Element

Iharm.

wał 1	16,50
wał 2	4,39
wał 3	1,67
wał 4	0
wał 5	0
zazęb-z1	346,50
zazęb-z2	118,42
zazęb-z3	0,00
zazęb-z4	0
kinemat z1	0,21
kinemat z2	0,06
kinemat z3	0,00
kinemat z4	0,0
Inne	148,5

Lożysko

P.Z.	P.W.	E.T.	Koszyk	B.B.	VDI 2159	
23238A	152,5	194,0	114,3	7,3	0,0	5,92
23238A	152,5	194,0	132,1	7,3	0,0	5,92
23238A	152,5	194,0	132,1	7,3	0,0	5,92
23164A	43,0	53,5	39,1	2,0	0,0	1,63
23164A	43,0	53,5	39,1	2,0	0,0	1,6
23072A	22,9	27,1	19,2	0,8	0,0	0,7

Schemat urządzenia

Numer wiersza zapisu

7

23238A-1
23238A-2
23238A-3
23164A-4
23164A-5
-
23072A-6

Konstrukcja wsporcza 4

Wprowadź dane

Wyczyść

Zapisz do formularza

Kopia formularza

Głęboka analiza

Udział znaczących amplitud w widmie

Pierwszy poziom strategii diagnostyki przekładni

1 Poziom strategii : obchodowy i ciągły system diagnostyki

Celem strategii jest zbieranie odpowiednich wielkości charakterystycznych, które pozwalają określić ogólny stan drganiowy Przekładni. Rozwój krzywych trendu lub przekroczenie charakterystycznych wielkości określonych progów ukazują pogorszenie stanu przekładni a tym samym zwiększają prawdopodobieństwo awarii urządzenia.

Wielkości charakterystyczne :

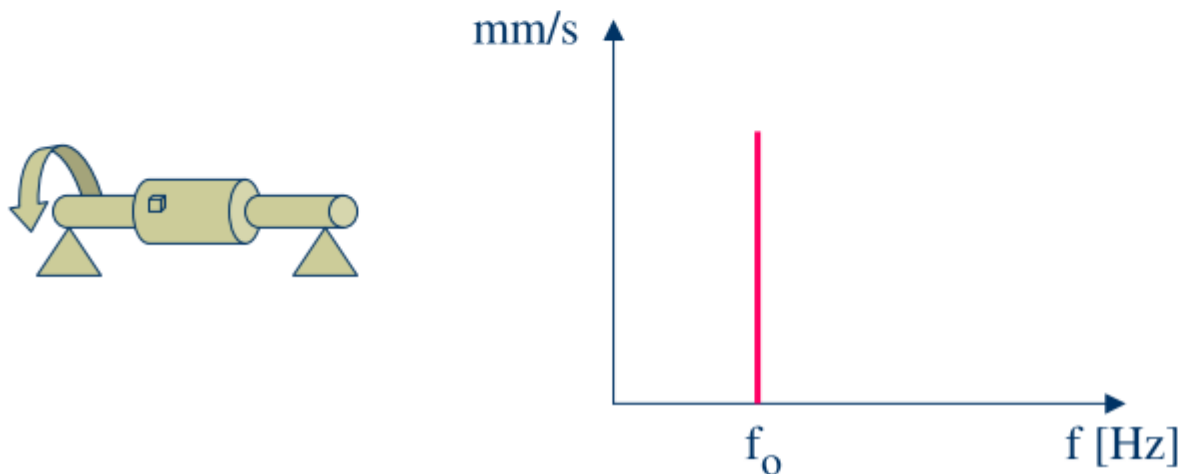
- Amplitudy szczytowe, rms prędkości i przyspieszenia drgań
- Impulsy uderowe do oceny łożysk tocznych
- Temperatura

Drugi poziom strategii diagnostyki przekładni

Dla lokalizacji uszkodzeń, wielkości charakterystyczne są niewystarczające. Aby zlokalizować uszkodzenie, należy przeprowadzić szczegółową analizę drgań, uzupełnioną pomiarami śladu przylegania i struktury bocznej powierzchni współpracujących zębów i analizą rodzajów, ilości i wielkości produktów zużycia. Większość rodzajów uszkodzeń jest rozpoznawalna na widmach w postaci charakterystycznych prążków widmowych o określonych częstotliwościach.

Sposoby diagnozowania : niewyważenie

Niewyważenie nazywamy mimośrodowym rozkładem masy ciała powodującym powstawanie w swych łożyskach nie zrównoważonych sił odśrodkowych. Niezrównoważone siły odśrodkowe wywołują drgania o częstotliwości odpowiadającej prędkości obrotowej wału.



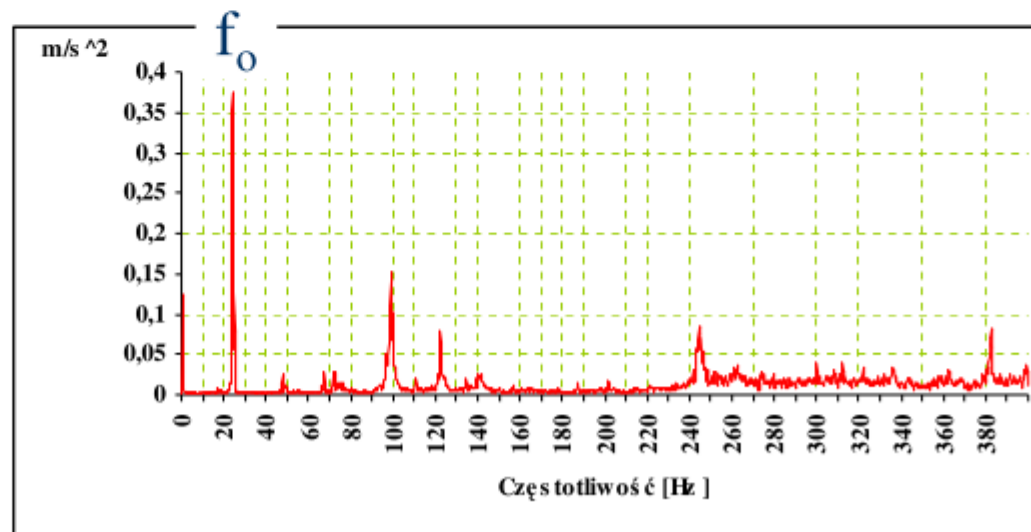
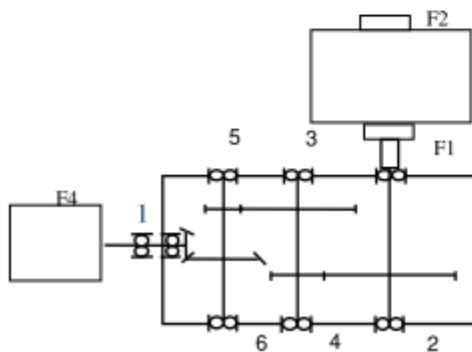
Przykład widma niewyważenia sprzęgła przekładni

Drgania w punkcie 1 $V=10,4$ mm/s

Klasyfikacja wg. PN-ISO 10816-1 pow. 7,1 –nie nadająca się
do długotrwałej eksploatacji.

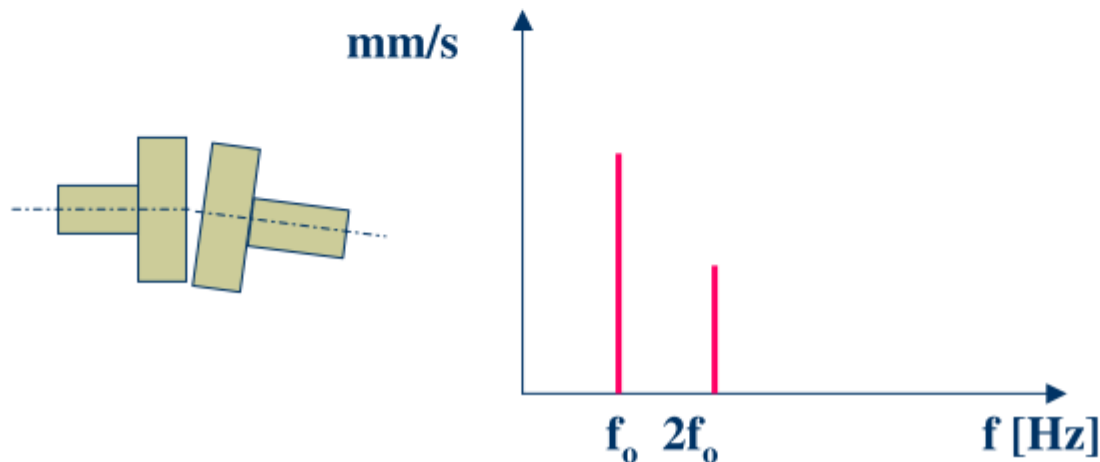
Drgania po wyważeniu $V=2,1$ mm/s

Napęd NTFH-3KA-200-25

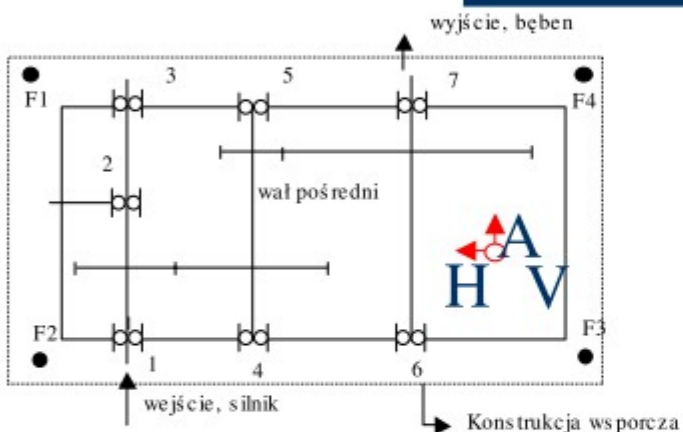


Sposoby diagnozowania : błędy osiowania

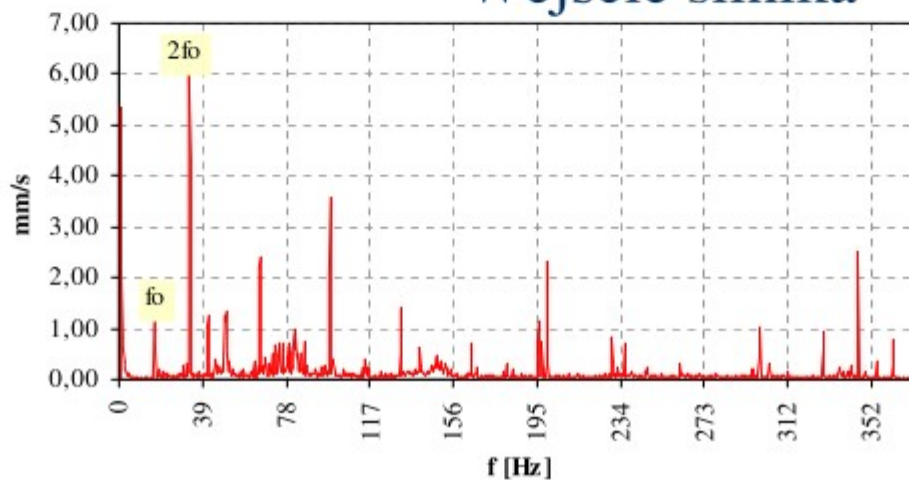
W przypadku maszyn sprzęgniętych bezpośrednio, błędne wyosiowanie powoduje wzrost poziomu drgań o częstotliwości $2 \times f_0$. Błąd równoległego przesunięcia wałów względem siebie jest widoczny na widmach mierzonych w kierunku promieniowym, zaś osiowe rozwarście uwidacznia się na widmach w kierunku osiowym.



Przykład widma błędu osiowania

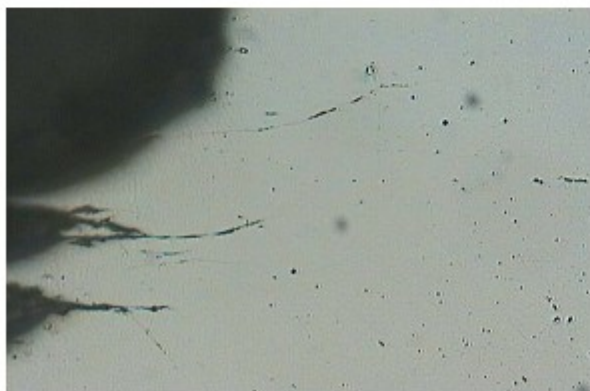


Wejście silnika



Sposoby diagnozowania : Pitting, zacieranie (scuffing)

Na skutek powtarzających się nacisków powierzchniowych lub naprężeń podpowierzchniowych, które przekroczyły dopuszczalną granicę dochodzi do uszkodzenia zębów, zwanego zmęczeniem Powierzchniowym (wg. PN-91/M-88506). Zmęczenie to charakteryzuje się powstawaniem plam lub wgłębień zmęczeniowych (jamek) na pracującym boku zęba.



Diagnozowanie i ocena pittingu I

Diagnozowanie pittingu jest stosunkowo łatwe, wystarczy obejrzeć wzrokowo powierzchnię zębów, aby wykryć pojawienie się pittingu. Trudność pojawia się w ocenie zagrożenia rozwoju pittingu na możliwość wystąpienia awarii spowodowanej choćby zmęczeniowym, lub doraźnym wyłamaniem zębów przekładni.

Metoda oceny rozwoju pittingu polega na wykonaniu zdjęć losowo wybranym co najmniej 5 spittingowanych zębów przekładni, a następnie ocenie powierzchni spittingowanej zęba do jego czynnej powierzchni wg. zależności :

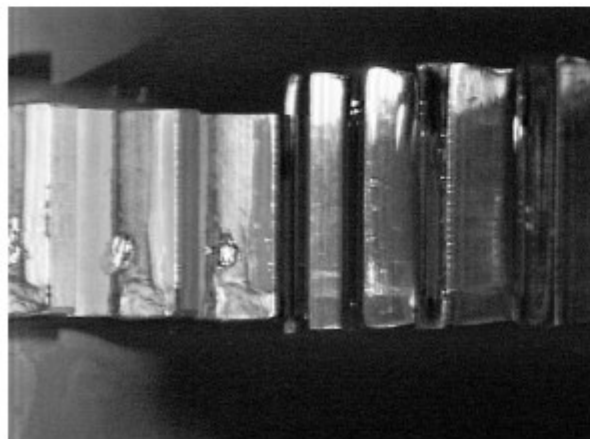
$$W_p = A_{sp}/A_{cz} \times 100 \%$$

Diagnozowanie i ocena pittingu II

Przykład oceny rozwoju pittingu dla kół wykonanych ze stali 40HM

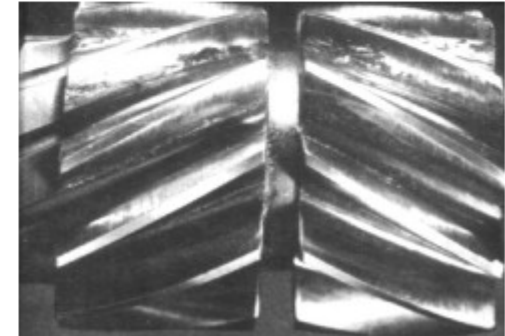
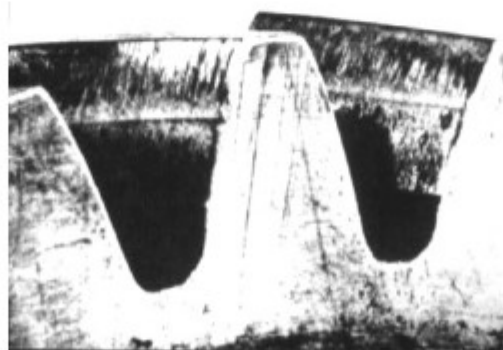
Nr. zęba	1	12	16	20	26
% Pow.	3,9	0,87	4,5	2,7	1,3

Wartość średnia : 2,7 % * Dopuszczalna : 5%



Zacieranie (scuffing)

Definicja procesu zacierania proponowana przez Organizację Współpracy Gospodarczej i Rozwoju (OECD) mówi, że zacieranie jest to miejscowe uszkodzenie wywołane pojawieniem się szczepień w stanie stałym, bez śladów nadtapiania powierzchni.



Diagnozowanie zacierania I

Diagnozowanie zatarcia w przekładniach przeprowadza się w oparciu o kryterium temperaturowe H.Bloka. W metodzie tej Wartością mierzoną jest temperatura powierzchni zęba :

$$T = T_M + T_f$$

Gdzie : T_M – temperatura masowa zęba (temperatura zęba tuż przed wejściem w przypór

T_f – temperatura błyskowa (temperatura chwilowa styku dwóch par zębów).

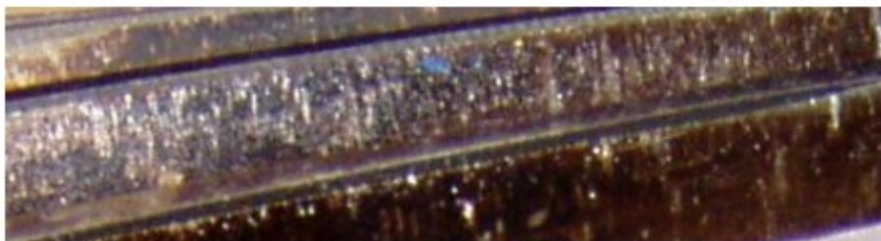
Pomiar temperatury powierzchni zęba w warunkach przemysłowych jest praktycznie niemożliwy. Możliwym do realizacji Jest pomiar temperatury oleju wewnątrz przekładni. Jednakże Ze względu na dużą wartość bezwładności cieplnej, temperatura styku może być kilkakrotnie wyższa niż temper. oleju.

Diagnozowanie zacierania II

Przyjmuje się następującą strategię :

1. Jeżeli nastąpił wzrost temperatury oleju, poza normalny przedział zmienności, należy obserwować trend wzrostu temperatury oleju.
2. Równolegle należy mierzyć temperaturę obudowy łożysk. Jeśli zaobserwuje się lokalny gradient temperatury obudowy łożysk lub pierścieni uszczelniających, świadczyć to będzie o uszkodzeniu tych elementów
2. Jeżeli temperatura oleju przekroczy wartość 70-80 °C, należy zatrzymać przekładnię i sprawdzić powierzchnię zębów.
3. Należy szukać na powierzchni zębów śladów spalonego oleju
4. Spalony olej świadczy, że temperatura powierzchni zęba $> T_{\text{sam}}$

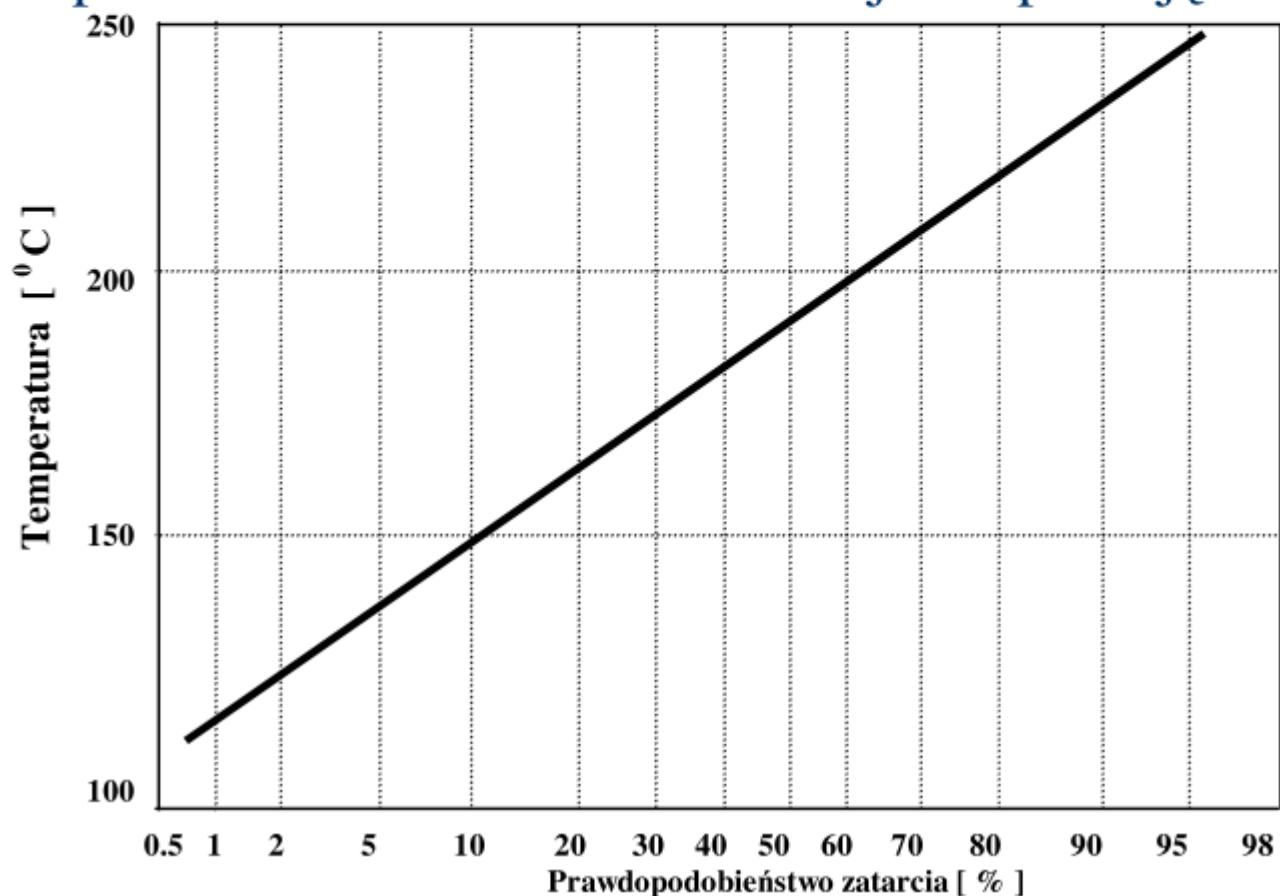
Diagnozowanie zacierania III



Typ TRANSOL	Temp. zapłonu
SP 68	200°C
SP 100	220°C
SP 150	220°C
SP 220	220°C
SP 320	220°C
SP 460	230°C

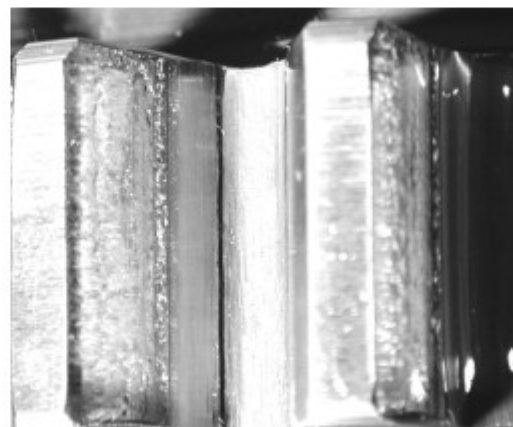
Diagnozowanie zacierania IV

Prawdopodobieństwo zatarcia w funkcji temp. Objętościowej zęba



Sposoby diagnozowania zmęczeniowych pęknięć zębów

W wyniku powtarzających się naprężeń, które przekraczają dopuszczalną granicę dochodzi do zmęczeniowego złamania zęba. Objawami tego zjawiska jest powstawanie pęknięć zmęczeniowych w podstawie zęba, które propaguje się wraz ze wzrostem liczby cykli pracy koła.



Diagnozowanie pęknięć zęba I

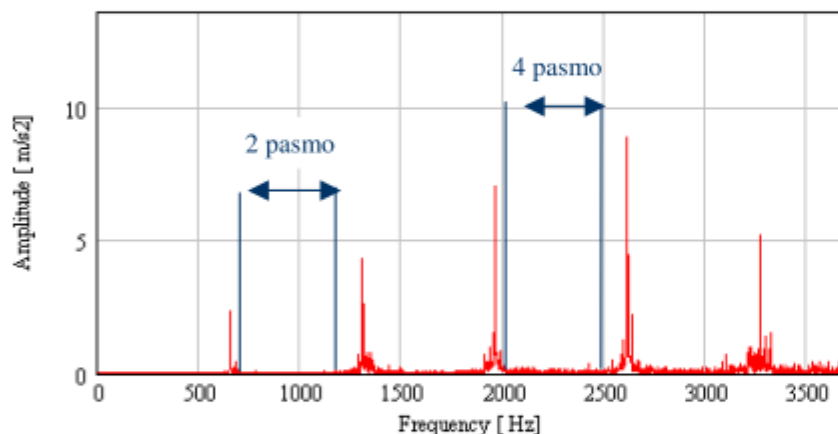
Do diagnozowania pęknięć zmęczeniowych zęba stosuje się Metodę obróbki widma drgań przekładni.

Sposób obróbki widma jest następujący :

1. Należy wybrać fragment widma pomiędzy harmonicznymi zazębienia przekładni.
2. Fragment widma nie powinien zawierać znaczących prążków widma.
3. Estymatą punktową diagnozującą pęknięcie jest wartość średnia tak wybranego widma.

Diagnozowanie pęknięć zębów II

Widmo przekładni 1 stopniowej

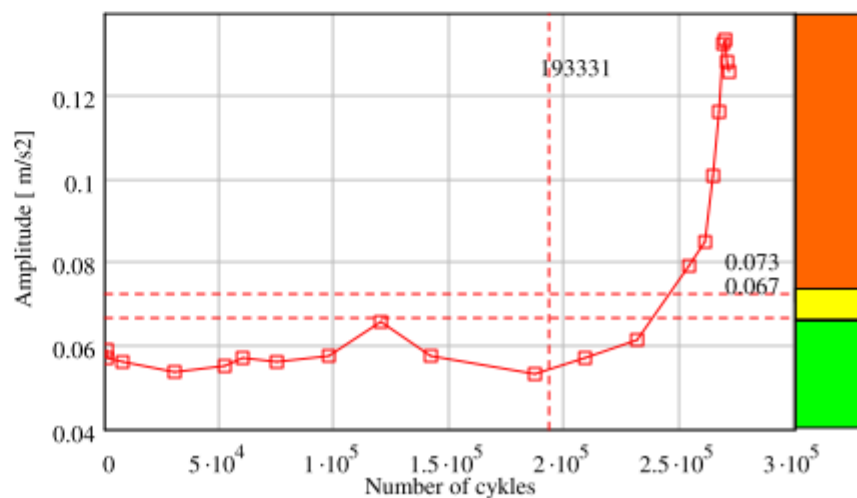


Progi ustala się metodą EVANS

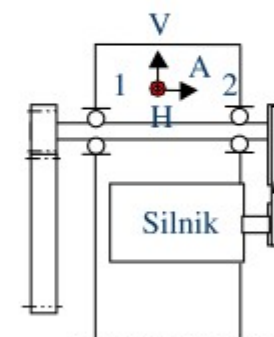
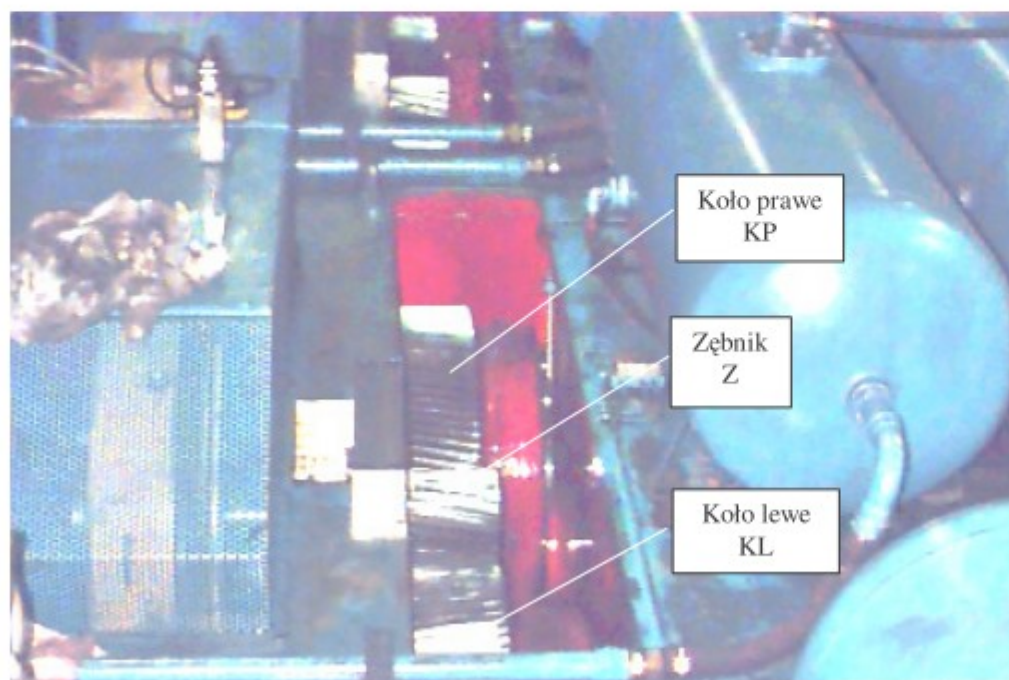
Evaluated vibration analysis method firmy SPM
Instrument

Zmiana wartości wskaźnika w funkcji długości pęknięcia

średnia z sumy widma w pasmach 2 i 4



Przykład I obniżania wibracji



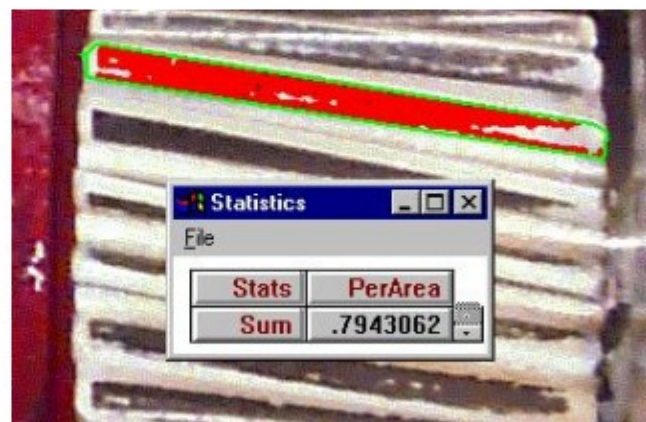
Punkt 2 H - 12,9 mm/s

Badanie śladu przylegania

Ślad wyjściowy



Po korekcie ustawienia



Maksymalny poziom drgań :
0,68 mm/s

Przykład II. Warstwa ceramiczna

Przekładnia typ WD 850 produkcji BEFARED

Poziom hałasu – 107 dB

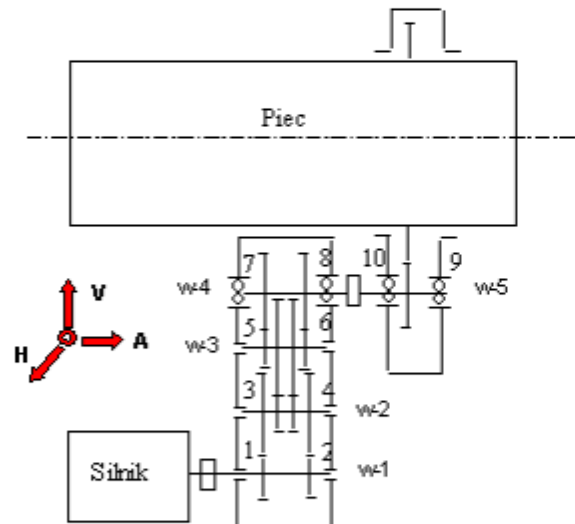
Po zastosowaniu środka TES-17 zmniejszenia hałasu do 97m dB

Środek TES-17 w przekładni powoduje :

1. Wytworzenie na współpracującej powierzchni zębów powłoki ceramiczno-metalowej, podlegającej w procesie tworzenia samodogładzaniu. Powstająca ceramiczno-metalowa powłoka wyrównuje na powierzchni zębów mikropełknięcia, rysy i wyłuszczenia oraz deformacje powierzchni zęba.
2. Obniża głośność pracy przekładni, poziomu drgań, temperatury pracy, wstrzymuje pitting

Przykład III diagnostyki przekładni

Napęd pieca obrotowego w cementowni



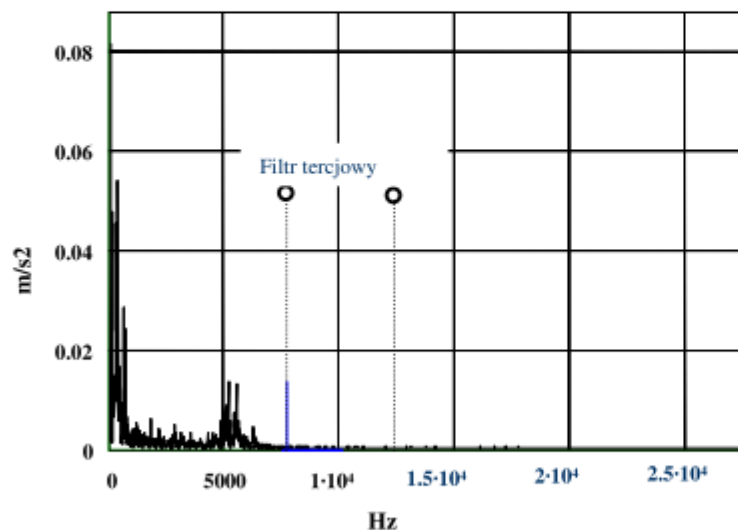
Wystąpienie w punkcie 9V
Drgań o poziomie 12,4 mm/s

stopnie			wały			Zazębienie	
Nr stopnia	zębnik	koło	Nr wału	obr/min	[Hz]	Nr pary	[Hz]
z-1	30	151	w-1	867,000	14,450	z-1	433,5
z-2	34	139	w-2	172,252	2,871	z-2	97,6
z-3	39	139	w-3	42,133	0,702	z-3	27,4
z-4	25	146	w-4	11,822	0,197	z-4	4,9
			w-5	2,024	0,034		

Parametry oceny

Nr. punktu	Kierunek	v rms	współcz. szczytu	a rms	Współ. szczytu	Kurtoza	wsółcz. pittingu	współcz. wylamania
		mm/s		m/s2				
1	V	3,10	1,96	4,87	1,78	4,14	0,89	0,76
2	V	5,49	1,55	5,92	1,82	3,99	0,96	0,92
3	V	1,61	1,83	4,91	1,83	3,38	1,42	0,92
4	V	2,35	2,12	4,50	1,88	3,17	1,04	1,1
5	V	1,97	2,01	4,89	1,89	3,82	1,19	1,22
6	V	0,02	1,79	0,05	1,89	7,84	0,08	0,82
7	V	3,95	1,64	5,47	1,94	3,54	1,00	0,86
8	V	2,03	1,84	3,76	2,06	3,55	1,08	0,75
9	V	12,39	1,46	3,61	1,79	9,32	0,04	0,93
10	V	4,94	1,65	2,88	1,78	33,68	0,09	0,87

Wybór pasma analizy



Filtr tercjowy o paśmie
12 kHz

Częstotliwości uszkodzenia
Elementów łożyska 23080

PZ – 2,71 Hz

PW – 3,20 Hz

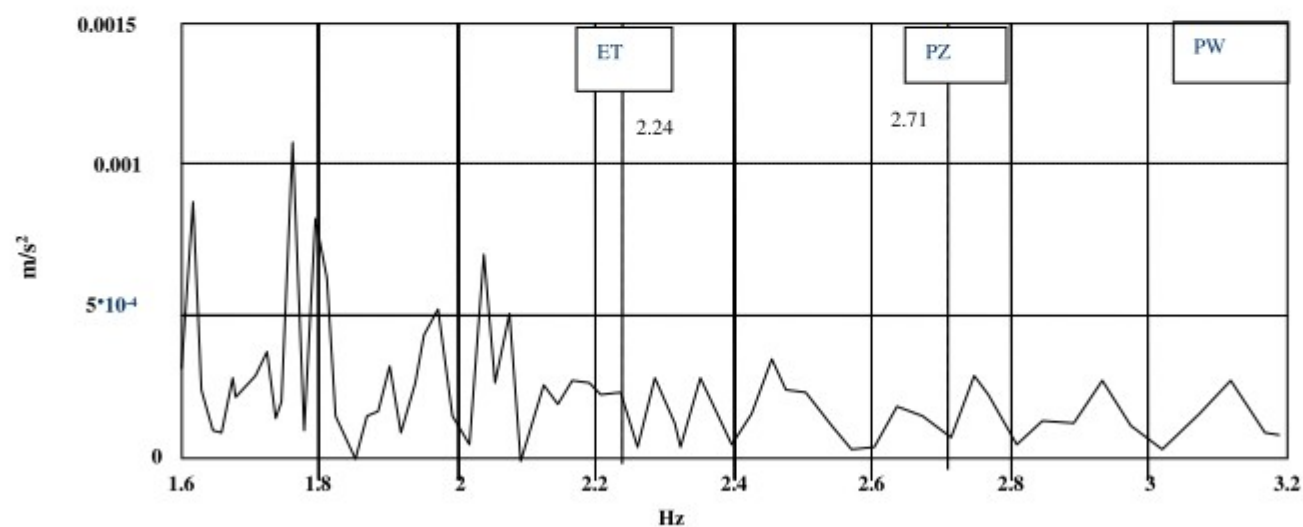
ET – 2,24 Hz

KO – 0,20 Hz

Pasmo analizy : 500-1000 obr. wału

Czas pomiaru : 10-50 okresu obrotu wału

Widmo obwiedni



Wniosek : brak oznak uszkodzenia łożyska

Diagnoza :

Silny pitting na stopniu drugim przekładni

Pitting na stopniach : 3 i 4

Przyczyna wzrostu poziomu drgań :

Przenoszenie się drgań ze stopnia drugiego na łożyska stopnia 5, spowodowane dużym stopniem zużycia zębów pittingiem.

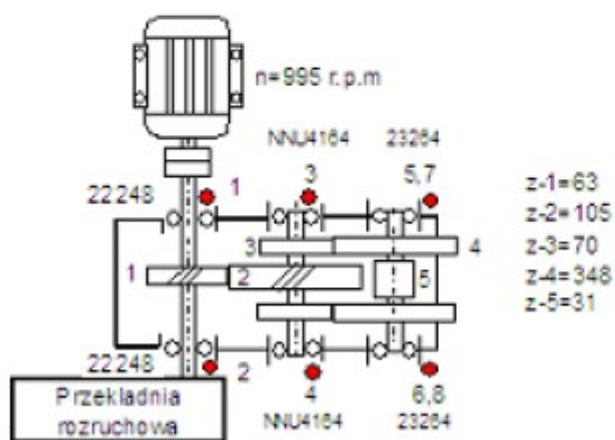
Zalecenia :

Zmniejszyć obciążenie przekładni do nastawy 60 %

Skutek : zmniejszenie poziomu drgań do wielkości 6-7 mm/s

Przykład IV diagnostyki przekładni uszkodzenie łożyska

System VIBCOM wskazał na okresowe przekroczenie wartości Progowej ostrzeżenia przekładni napędu młyna cementu

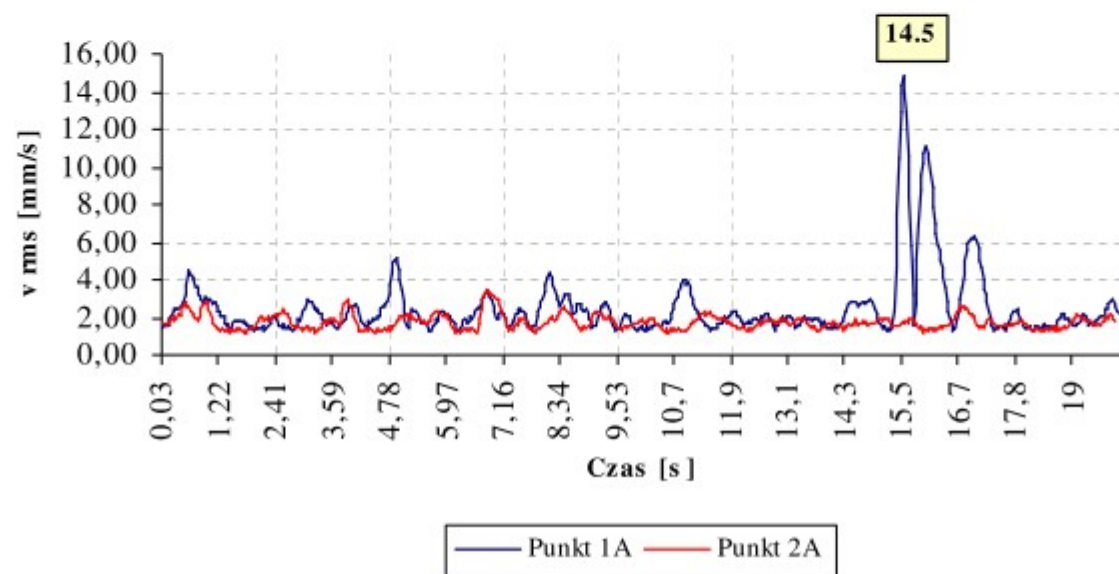


Ocena I

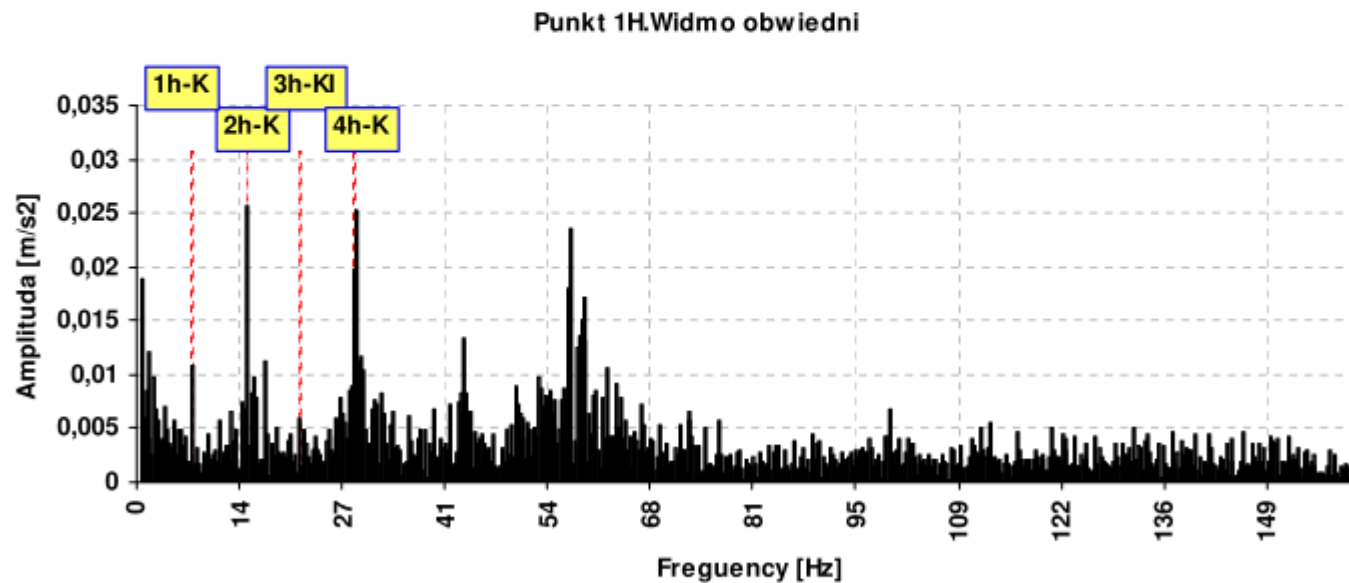
Stan maszyny			Maksymalna wartość		Podstawa oceny			
stan dopuszczalny			V _{max} = 0,0		wg.PN-ISO 8579-2 VR 5: do 5 mm/s Przemysł klasa C			
Obliczone parametry RMS prędkości : v [mm/s]								
P-kt pom	Wartość Średnia	Wartość Max	Wsp. Szczytu	P-kt pom.	Wartość Średnia	Wartość Max	Wsp. Szczytu	
1H	3,60	17,40	4,83	5H	2,42	4,95	2,04	
1V	2,76	11,40	4,14	5V	2,19	2,88	1,32	
1A	2,51	14,80	5,90	5A	1,99	2,72	1,37	
2H	2,07	3,24	1,56	6H	2,98	3,9	1,3	
2V	1,65	2,57	1,56	6V	1,84	2,54	1,38	
2A	1,75	3,43	1,96	6A	2,15	2,79	1,30	
3H	3,05	14,60	4,79	7H	2,48	4,07	1,64	
3V	1,92	2,60	1,36	7V	2,27	3,35	1,48	
3A	2,60	25,70	9,87	7A	2,26	3,39	1,50	
4H	2,42	3,16	1,30	8H				
4V	1,61	2,32	1,45	8V				
4A	1,84	2,48	1,35	8A				

Ocena II

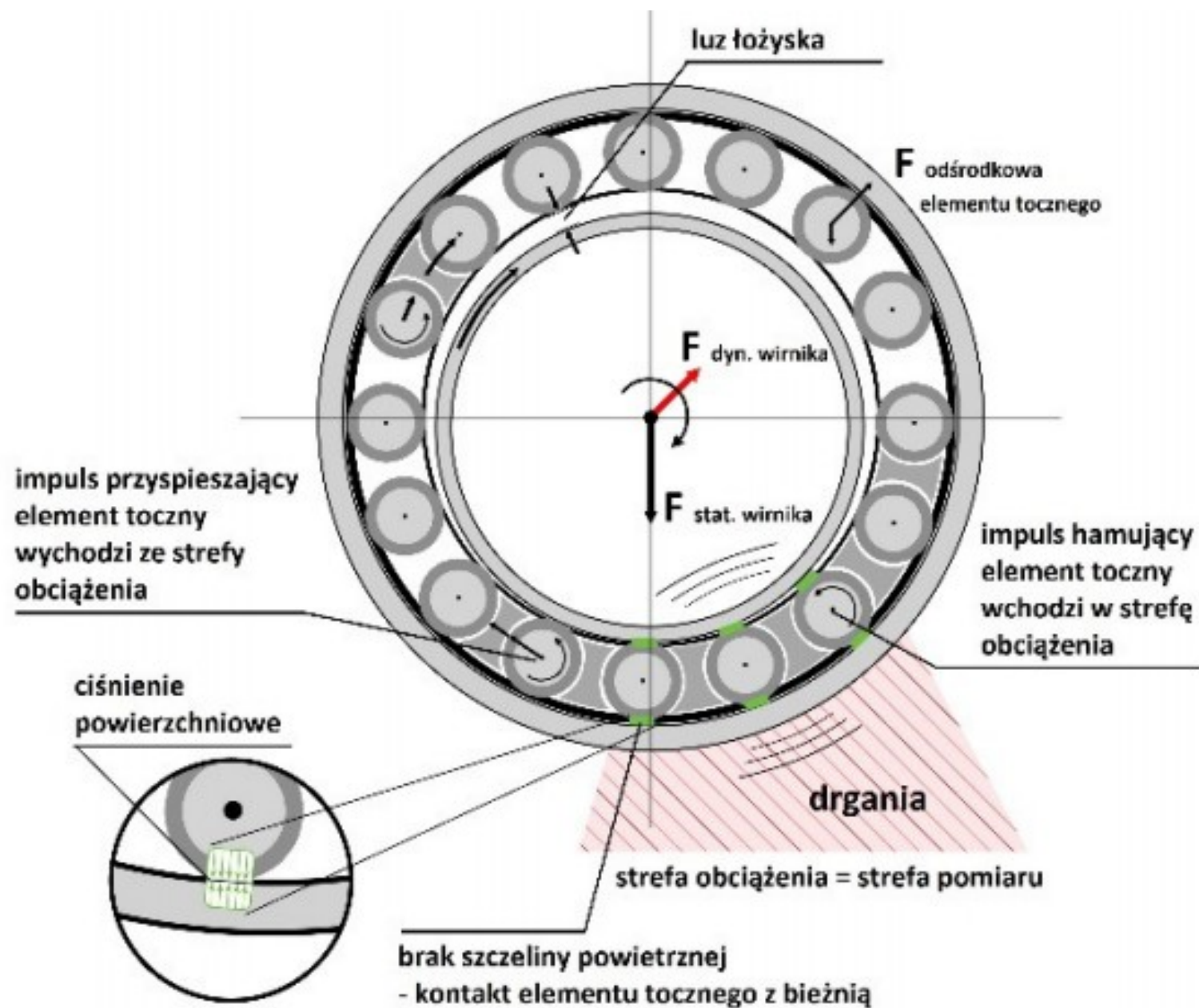
Punkt 1A i 2A



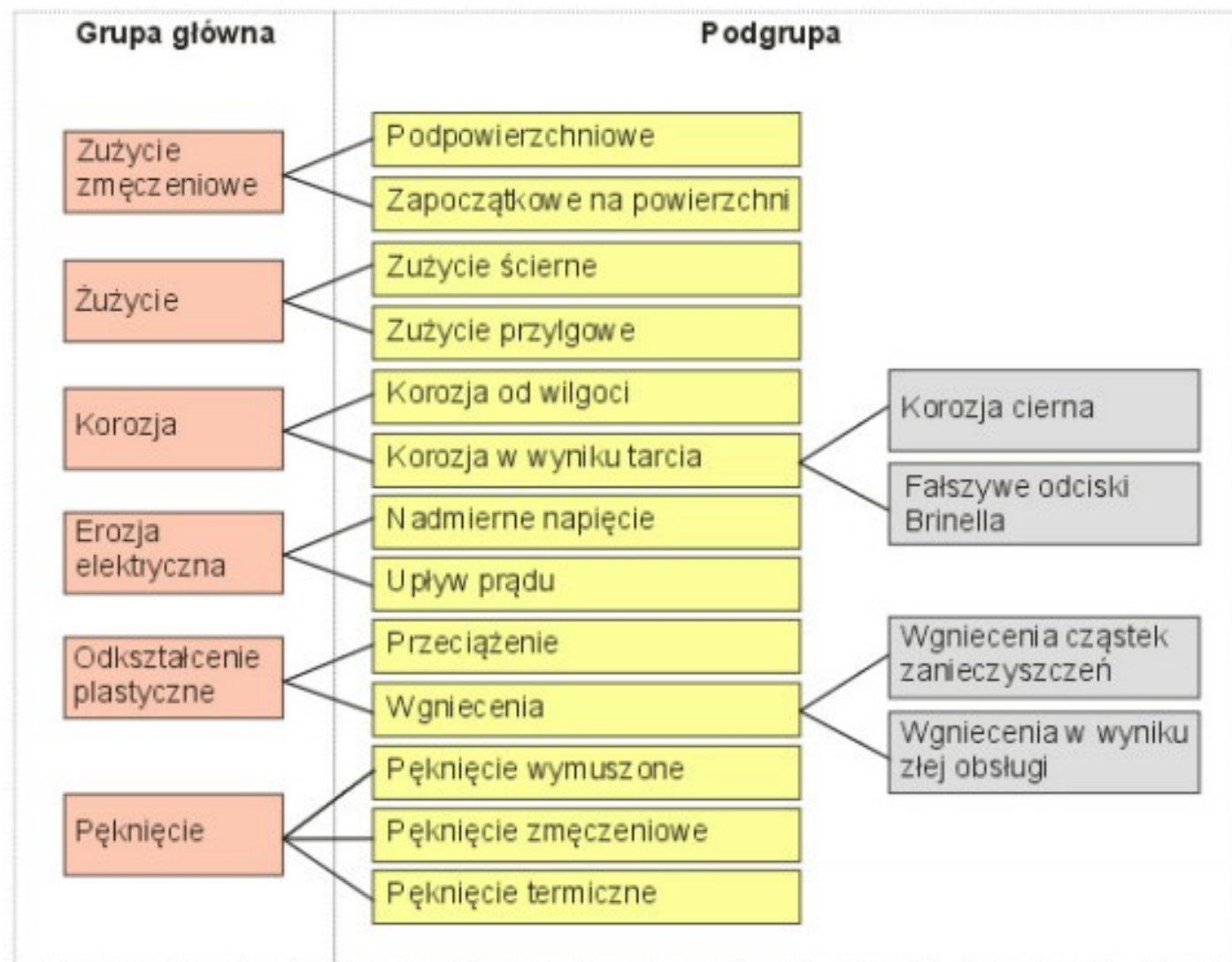
Ocena III



Wynik oceny : Uszkodzony koszyk łożyska nr.1 (22248)



Na rysunku przedstawiono konstrukcję typowego łożyska tocznego oraz podstawowe procesy w nim zachodzące.



Rysunek prezentuje zestawienie możliwych przyczyn uszkodzeń łożysk tocznych mogących wystąpić podczas eksploatacji.

Jako najważniejsze metody diagnostyki łożysk tocznych, eksploatowanych w silnikach elektrycznych można wskazać [7]:

- wykorzystanie amplitudowych dykryminant bezwymiarowych procesów wibroakustycznych,
- metodę SPM (Shock Pulse Method),
- wykorzystanie wytycznych SKF,
- metodę SPA (Shock Profile Area),
- metodę energii impulsowej SE (Spike Energy) firmy IRD,
- metodę firmy Schenck,
- metodę analizy częstotliwościowej, w tym CPB (Constant Percentage Bandwidth),
- metodę Głównego Instytutu Górnictwa w Katowicach,
- metodę SEE (Spectral Emitted Energy) firmy SKF,
- metodę HFD (High Frequency Detection),
- metodę REBAM (Rolling Element Bearing Activity Monitor) firmy Bently Nevada,
- metodę emisji akustycznej,
- metodę detekcji obwiedni,
- zespół metod wykorzystujących analizę falkową i sieci neuronowe,
- metodę wykorzystania sygnału prądowego,
- zespół metod oceny stanu smarowania.

KONIEC