

OCENA WYBRANYCH SPOSOBÓW DIAGNOZOWANIA STANU TECHNICZNEGO WENTYLATORÓW

Marek POTRZEBSKI
Katedra Inżynierii Produkcji - studia doktoranckie

Wydział Mechaniczny
Akademia Techniczno - Rolnicza w Bydgoszczy
e-mail: marekp@mail.atr.bydgoszcz.pl
ma66@poczta.fm

Streszczenie

W referacie podjęto próbę porównania metod pomiarowych i oceny drgań łożysk w wentylatorach systemu wyciągowego, opartych na algorytmach ujętych w PN-90/N-01358 i metodzie SPM® Instruments Co, wykorzystywanych w celu diagnozowania stanu technicznego wentylatorów w rzeczywistych zakładach produkcyjnych. W wyniku analizy (wg autora artykułu) metoda diagnozowania stanu technicznego wentylatorów, oparta na systemie diagnostycznym i aparaturze firmy SPM® Instrument Co. w warunkach przemysłowo-produkcyjnych lepiej spełnia zakładane cele diagnostyczne.

Słowa kluczowe: wentylatory, metody pomiarowe, diagnostyka

Summary

In report test of comparison of measure methods and opinions of tremblings of bearings was cut in ventilators of winding system Leanings' on captured algorithms In PN-90/N-01358 and SPM® Instruments Co. Method. Used in aim of diagnosing of technical state of ventilators In Industrial Plant. In result of analysis SPM® Instruments Co. Method is better In comparison from other method.

Key word : centrifugal fan, method of measurement, diagnostic

1. WPROWADZENIE

Wentylatory, niezależnie od ich rodzaju, na pierwszy rzut oka, robią wrażenie maszyn bardzo prostych, łatwych do zaprojektowania i diagnozowania. W rzeczywistości drobne, subtelne zmiany kształtów i proporcji kanałów przepływowych i ich montażu wpływają, w znacznym stopniu na przebieg charakterystyk pracy wentylatora. Zwłaszcza, że wymagania stawiane dzisiaj wentylatorom są coraz bardziej wyszukane. Żąda się od nich wysokiej niezawodności, dobrej sprawności, pracy z umiarkowanym stopniem hałasu, uzyskiwania głównych parametrów nie tylko w znamionowych warunkach pracy, ale niekiedy i wymaganego z góry przebiegu charakterystyk spiętrzenia, sprawności lub mocy. Spełnienie tych warunków wymaga coraz lepszego poznania zjawisk zachodzących podczas cyklu pracy urządzenia i możliwości przeanalizowania jak największej ilości istotnych sygnałów wpływających na prawidłowe działanie. Nie mniej ważne jest, by zebrane sygnały zostały prawidłowo zinterpretowane i wykorzystane w dalszym cyklu eksploatacji urządzenia.

Diagnozowanie wentylatorów oparto o diagnozowanie stanu ich łożysk.

2. WYBRANE POJĘCIA DOTYCZĄCE DIAGNOSTYKI

Technologia diagnozowania [5] i obsługiwanego jest to zbiór technicznie i ekonomicznie uzasadnionych sposobów realizacji ich procesu technologicznego.

Proces technologiczny diagnozowania i obsługiwanego obiektów technicznych obejmuje zbiór operacji technologicznych wykonywanych w ściśle określonej kolejności, przez diagnostów i pracowników obsługiwać, na odpowiednio wyposażonych stanowiskach roboczych, w celu przywrócenia im stanu zdadności. Monitorowanie [8] to wykrywanie, pomiar, rejestrowanie i ocena wybranych informacji i danych dotyczących stanu określonego systemu. Tak pozyskana informacja służy do oceny funkcjonowania systemu organizacji, zarządzania i jakości (wytworu, bezpieczeństwa, środowiska, maszyn) w ujęciu klasyfikacji dwustanowej – zdadny, niezadny.

Uszczegółowienie [2] takich decyzji (zdatości zadaniowej) są metody, procedury i środki diagnostyki technicznej, umożliwiające uszczegółowioną (strukturalną) ocenę stanu systemu, generując podstawy dalszych decyzji diagnostyczno-eksploatacyjnych.

Przyrządy monitorujące i techniki monitorowania można podzielić na [2,9]:

- Monitoring zjawisk dynamicznych; szerokopasmowa analiza drgań, wąskopasmowa analiza drgań, analiza w czasie rzeczywistym, emisja akustyczna, ultradźwiękowa detekcja nieszczelności;
- Monitoring zanieczyszczeń stałych: ferrografia, magnetyczna detekcja wirów, fluorescencja rentgenowska ;
- Monitoring procesów chemicznych ; analiza spektrometryczna, chromatografia gazowa, chromatografia cieczowa, spektroskopia podczerwona, cienkie warstwy radioaktywne ;
- Monitoring procesów fizycznych; ciekłe penetratory barwnikowe, inspekcja proszkami magnetycznymi, defektoskopia ultradźwiękowa, rentgenografia, termografia ;
- Inne; endoskopia, tensometria, lakiery tensometryczne. itd.

3. DIAGNOSTYKA KONTROLNA ŁOŻYSK TOCZNYCH – POJĘCIA PODSTAWOWE

Kontrolna diagnostyka łożysk tocznych oparta jest przede wszystkim na pomiarach drgań wytwarzanych wzbudzanych przez same układy łożysk. Poziom drgań ma istotny związek z pozostałymi parametrami działania układu łożysk.

Najczęściej jest definiowane niżej wyszczególnionym zestawem cech [1,11]:

- Trwałość; tzn. czas pracy w danych warunkach – oznaczany T;
- Dokładności : rozumianej jako chwilowego odchylenia środka łożyska od pozycji roboczej- oznaczanej D ;
- Oporów ruchu ; rozumianych jako wielkość momentu napędowego wymaganego do utrzymania zadanych obrotów - oznaczanych R;
- Poziomu drgań ; oznaczanych V;
- Poziomu hałasu; generowanego przez łożysko – oznaczanych H

Według [1,7] występuje ścisły związek pomiędzy wyszczególnionymi cechami i prowadzi to do stwierdzenia – hałas generowany przez łożyska i moment oporowy są wprost proporcjonalne do poziomu drgań generowanych przez łożysko, a trwałość i dokładność pozycjonowania do nich odwrotnie proporcjonalne.

Ogólne kryterium [4,11] jakości łożyska Q obrazuje równość :

$$Q = aT + bD + cR^{-1} + dH^{-1} + eV^{-1} \quad (1)$$

gdzie:

a,b,c,d,e, - współczynniki wagowe.

4. DIAGNOSTYKA EKSPLOATACYJNA ŁOŻYSK TOCZNYCH

4.1. Pojęcia podstawowe i ogólne

W pracach [8,11] wskazuje się, że na skrócenie okresu użytkowania łożyska mają wpływ następujące czynniki wyrażone w procentach. Mianowicie :

- niewystarczające smarowanie (36%)
- zanieczyszczenia (14%)
- błędy montażowe i eksploatacyjne (16%), natomiast pozycje [1,3] podają (25-45%).

Należy jednak zwrócić uwagę, że często wymiana łożysk (wg [11] to aż 34% przypadków), spowodowana jest mylną interpretacją sygnałów wibroakustycznych.

4.2. Pojęcia ogólne

Za pracą [2;7] wyróżniono trzy fazy procesu eksploatacji łożysk tocznych

- 1) faza szumowa
- 2) faza drganiowa
- 3) faza termiczna

Wnioskować można, że w zależności od fazy (rodzaju) uszkodzenia należy stosować różne (odmienne) sposoby mierzenia sygnału diagnostycznego.

4.3. Wybrane metody i przyrządy diagnostyczne dla diagnostyki łożysk tocznych

Efekt wzrostu temperatury; (jeżeli temperatura łożyska $>120^{\circ} C$),stosuje się specjalistyczne termometry lub urządzenia termowizyjne *Zalety:* szybki odczyt i prosta interpretacja wyników[8]. *Wady:* zmiany temperatury otoczenia lub obciążenia maszyny mogą wpłynąć na wartość odczytanego parametru ; nie każde uszkodzenie łożysk ma wpływ na zwiększenie parametru temperatury ; bardzo krótki czas na reakcje od chwili dokonania pomiaru do momentu nieodwracalnego uszkodzenia [3].

Efekt wzrostu oporów ruchu; przyrządy mierzące ten parametr (momenty tarcia w łożyskach zabudowanych) są licznie reprezentowane przez producentów. *Zalety:* precyzyjne śledzenie interesującej cechy jakości łożyska decydującej o spełnieniu założonej funkcji maszyny. *Wady:* w małym zakresie zostały opracowane normalia dotyczące poziomów granicznych; ograniczenie dotyczące dokładności pomiarów (jest to cały czas badane) i mała dostępność do strefy pomiarowej.

Efekt zanieczyszczenia oleju ; ma istotny wpływ na trwałość węzła łożyskowego (właściwa interpretacja sygnałów diagnostycznych związanych z cząstkami zużyciowymi i czystością oleju może zwiększyć trwałość, aż kilkanaście razy [3] *Zalety:* szybki odczyt i duża czułość metody (prawidłowa interpretacja stanu oleju pozwala wykryć początkowe stadium uszkodzenia). *Wady:* zawężona możliwość

stosowania ; mogą występować problemy z interpretacją wyników

Efekt wzrostu emitowanego hałasu; producenci oferują różnorodne rodzaje urządzeń, opartych na zasadzie pomiaru drgań i hałasu węzłów łożyskowych. *Zalety*: szybki odczyt i prosta budowa (wyposażenie). *Wady*: konieczność posiadania wykwalifikowanej kadry diagnostów trudności w odniesieniu się do wzorców (subiektywna ocena wyników) ; wpływ innych zakłóceń na pomiar.

Efekt wzrostu generowanych drgań; jest to najbardziej rozpowszechniony i używany sposób diagnozowania łożysk tocznych. Do najbardziej znanych producentów można zaliczyć SPM® Instruments, Schenck, Bruel&Kjaer. *Zalety* :szybki odczyt i prosta interpretacja wyników; stosunkowo tanie przy zakupie i eksploatacji *Wady*: znaczna różnica w diagnozie spowodowana zakłóceniami od innych niezmiernych węzłów drgających. Mała czułość na niski poziom amplitud [8].

W pozycji [8] zaproponowano zwrócenie uwagi na pomiary przemieszczeń wału w celu monitorowania łożyska; *Zalety*: precyzyjne śledzenie interesującej cechy jakości łożyska decydującej o spełnieniu założonej funkcji maszyny. *Wady*: konieczność uwzględnienia funkcji diagnostycznych na etapie projektowania urządzenia technicznego.

Pomiar impulsów udarowych *Zalety*: możliwość precyzyjnego śledzenia procesu eksploatacyjnego łożysk. *Wady*: konieczność wyizolowania źródła generującego sygnał drgań impulsu udarowego (praca innych węzłów kinematycznych)

- *metoda SPM (Shock Puls Metod)* ; ocena stanu łożyska polega na porównaniu aktualnie zmierzonego poziomu prędkości uderzeń z poziomem określonym dla łożyska pracującego prawidłowo. *Zalety*: szybki i precyzyjny odczyt możliwość analizy trendu; znaczna skuteczność wykrywania wczesnych uszkodzeń; opracowane normalia (nomogramy) dla oczekiwanych stanów łożysk. *Wady*: konieczność posiadania informacji o średnicy wewnętrznej łożyska i prędkości obrotowej łożyska; duża wrażliwość na zakłócenia z innych źródeł lub niewłaściwy montaż (wybór) miejsc pomiarowych

- *pomiar współczynnika szczytu*; na rynku oferowane są różne odmiany tego typu urządzenia np. producentów Bruel & Kjaer, NSK. *Zalety*: łatwy i szybki pomiar; łatwa obsługa *Wady*: konieczność dobrania właściwego pasma pomiarowego; duża wrażliwość na zakłócenia; brak możliwości wyselekcjonowania i interpretacji dla istniejącego stanu uszkodzenia.

- *pomiar kurtozy*; analiza kurtozy jest przykładem metody statystycznej, której bada się zmienność rozkładu prawdopodobieństwa

wartości parametru wraz z rozwojem uszkodzenia. Metoda ta wykorzystywana jest w małym zakresie. Firma która opracowała i rozprowadza urządzenia na bazie tej metody British Steel Co. Typ urządzenia CML-4100. *Zalety*: mało skomplikowany i szybki pomiar; nie jest wymagana szczegółowa znajomość danych technicznych łożysk. *Wady*: bardzo mała użyteczność; duża wrażliwość na zakłócenia innymi sygnałami wibroakustycznymi ;konieczność dobrania właściwego pasma pomiarowego dla mierzonego węzła kinematycznego.

- pomiar metodą analizy widmowej; pozwala „rozbić „ sygnał drganiowy na składniki o różnych częstotliwościach. Skutecznymi technikami wspomagającymi [8] są w przypadku badań szerokopasmowych widm drgań łożysk: funkcja lupy (ang.zoom), cepstrum, *analiza obwiedni (ang.envelope)*. *Zalety*: odseparowanie użytecznych informacji diagnostycznych od wpływu zakłóceń zewnętrznych ; precyzyjne śledzenie rozwoju uszkodzenia łożyska ; możliwość prowadzenia różnorodnych pomiarów diagnostycznych *Wady*: konieczna znajomość obszarów rezonansowych i odpowiedni dobór kryteriów stanu; szczegółowe dane techniczne badanych łożysk; trudność z identyfikacją modulacji w przypadku zaawansowanego stanu uszkodzenia; wysoka cena analizatora widmowego.

5. OPIS METOD POMIAROWYCH STOSOWANYCH W BADANIACH

5.1. Metoda I

Według [11,12] metoda opierająca się na Polskiej Normie zaleca pomiar wartości szerokopasmowej średniokwadratowej prędkości drgań mierzonej na nie wirujących częściach urządzenia technicznego, które podlega kontroli technicznej. Metoda I, jest stosowana do oceny drgań po wykonaniu urządzenia, jak również do ‘zgrubnego ‘ śledzenia stanu technicznego maszyny. Analiza pomiaru przeprowadza się kwalifikując intensywność drgań do określonej strefy klasyfikacyjnej, założono strefy od A do D. Gradacja stref to:

- A – stan dobry ;
- B – stan zadawalający;
- C – stan przejściowo dopuszczalny;
- D – stan niedopuszczalny.

W załączniku ‘C’ do pozycji [6] zaproponowano wzór na dopuszczalną wartość średniokwadratowej prędkości kryterialnej.

$$V_{r.m.s.} = V_A * G * (f_z / f_x)^k * (f_y / f_w)^m \quad (2)$$

gdzie:

$V_{r.m.s.}$ - [mm /s];

V_A – wartość średniokwadratowa prędkości drgań, dla strefy A w przedziale pomiędzy f_x, f_y [mm/s];

G – współczynnik strefy G (A) =1; G(B)=2,56; G(C) = 6.4 - zależny od prędkości obrotowej maszyny lub innej wielkości eksploatacyjnej (np. obciążenia, ciśnienia, przepływu);

f_i :gdzie $i=x,y,z,w$ - częstotliwości [Hz] określające granice pasma, w którym zakłada się stałą prędkość kryterialną (z pewnymi założeniami);

k,m - stałe charakterystyczne dla określonego typu maszyny.

Wyniki uzyskane z powyższego wzoru przyporządkowuje się do zaproponowanych w Normie klas maszyn: *klasa I* - dla silników o mocy do 15 kW; *klasa II* - dla silników o mocy od 15kW do 75 kW (nie zafundamentowane) lub do 300kW jako zafundamentowane; *klasa III* - wielkie silniki napędowe i inne wielkie maszyny o małej podatności w kierunku pomiaru drgań; *klasa IV* - wielkie silniki napędowe i inne maszyny z masami wirującymi o mocach do 10 MW.

5.2. Metoda II

SPM®Instrument -System 43 dla pomiaru impulsów udarowych Metoda SPM dla pomiarów impulsów udarowych jest przewidziana głównie jako pomoc do zapobiegawczej obsługi kulkowych i wałeczkowych łożysk tocznych. Montaż łożysk, warunki pracy (smarowanie, obciążenie itp.) i przebieg zużywania się łożysk są sprawdzane przez regularny odczyt wartości impulsów. Celem jest wykorzystanie w możliwie dużym stopniu całego okresu trwałości łożyska, unikając konieczności wymiany i otrzymanie możliwie wczesnego ostrzeżenia o groźbie uszkodzenia łożyska. Metoda impulsów udarowych może być używana w normalnej pracy obsługowej. Odczyt dla podejrzanego łożyska może potwierdzić, czy jest ono zdadne do obsługi czy też nie. Jednakże takie okazjonalne i niesystematyczne użycie przyrządu nie może prowadzić do racjonalnego planowania obsługi, które jest jedną z głównych korzyści regularnych pomiarów impulsów wszystkich ważnych łożysk. Trzeba również zauważyć, że pojedynczy odczyt nie poparty historią łożyska może być przyczyną błędnej interpretacji. Pomiary impulsów udarowych jako część systemu obsługi zapobiegawczej powinny być stosowane regularnie i zgodnie ze starannie zaplanowaną procedurą. Skuteczne procedury mierzenia mają różne znaczenie i powinny być one przystosowane w każdym przypadku do istniejącego systemu obsługi.

6. CEL I ZAKRES

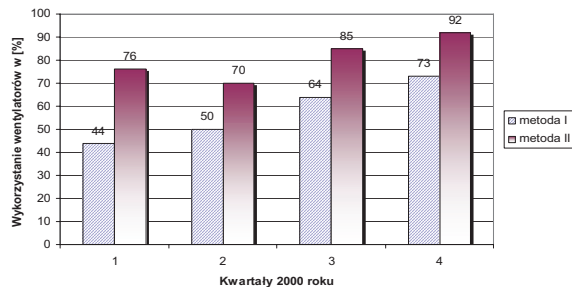
Celem badań porównawczych była ocena metod diagnostycznych na podstawie stosowania ich w warunkach przemysłowych.

Zakres ograniczony został do dwóch wytypowanych zakładów produkcyjnych

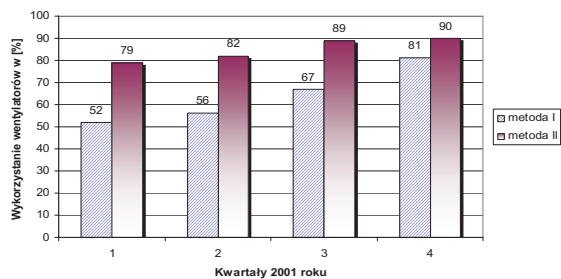
reprezentujących różne gałęzie produkcji (branża chemiczna – wytwórcza; branża przetwórstwa drewna). Obie metody badań diagnostycznych były przeprowadzane według kanonów przewidzianych w normatywach tych metod. Pracownicy wykonujący pomiary diagnostyczne byli przeszkoleni i posiadali wymaganą praktykę zawodową.

W wytypowanych zakładach wytwórczym w okresie do 2002 roku stosowano metodę opartą na Polskiej Normie. Efekty diagnostyczne jakie osiągano były mało zadawalające. Obrazują to wykresy na rys.1; rys. 2; rys. 3 przedstawiające procentowe wykorzystanie wentylatorów w latach 2000r do 2002roku. W roku 2000 zakupiono pełny zestaw diagnostyczny firmy SPM® Instrument i przeszkolono pracowników obsługi w zakresie analiz i wykonywania pomiarów na analizatorze impulsów uderzeniowych A2010 wraz z wyposażeniem dodatkowym do monitorowania łożysk firmy SPM® Instrument Co. Maszyny poddane badaniom wg. harmonogramu przeglądów technicznych, to wentylatory promieniowe o mocy 75 kW i obrotach 1485 obr / min. Jako narzędzia pomiarowe stosowano miernik typ Vibrometer VIB-10 firmy SPM® Instrument Co. Punktami pomiarowymi były wytypowane miejsca na oprawach łożysk tocznych wirników wentylatorów.

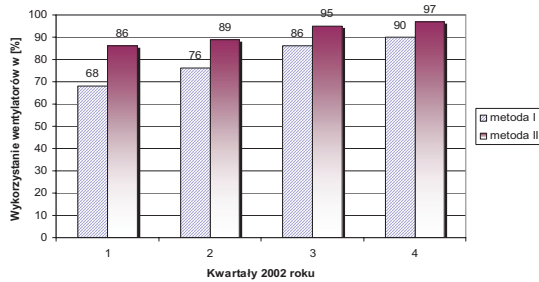
7. WYNIKI - DLA METODY I i II



Rys. 1. Porównanie metod diagnostycznych w roku 2000



Rys. 2. Porównanie metod diagnostycznych w roku 2001



Rys. 3. Porównanie metod diagnostycznych w roku 2002

Jak przedstawiono na wykresach w okresie trzech lat stosowano równolegle metodę opartą na Polskiej Normie – oznaczoną kolorem niebieskim kreskowanym [opisaną wcześniej] i metodę opracowaną przez firmę SPM® -oznaczona kolorem bordowym z cieniowaniem (opisaną wcześniej).

8. ANALIZA WYNIKÓW

Metoda I wykazywała dużą niejednoznaczność w interpretacji wyników. Jednocześnie występowały znaczne różnice (na poziomie operatorów maszyn) w umiejętności prawidłowego przeprowadzenia czynności obsługowo-naprawczych (wyważenie), konieczność zatrudniania (wynajmowania) firm zewnętrznych do serwisowania badanych maszyn. Metoda I [wg. PN] nie pozwalała w jednoznaczny sposób określić przyczyny uszkodzenia i prawdopodobnego czasu awarii. Wiąże się z tym kłopot z jednoznacznym wyznaczeniem czasów okresowych przeglądów technicznych wentylatorów. Wpływało to również na koszty związane z rozruchem (duża czasochłonność procesu uruchamiania). Duże zaangażowanie (w dozór techniczny) pracowników działu Utrzymania Ruchu. Metoda I (wg. PN) uniemożliwia wyciągnięcie prawidłowych wniosków dla bardziej złożonych, niejednoznacznych, objawów uszkodzeń i ich wspólnych powiązań lub zależności. Przykład; występował wpływ jednego wentylatora na drugi (wpływ rezonującego podłoża) wyniki pomiarów dawały mało prawdopodobne odczyty. Długo trwało analizowanie co może być powodem takiego stanu. Metoda I nie dawała żadnej sensownej odpowiedzi. Zlecenie analizy zewnętrznej firmie pomogło rozwiązać ten problem. Firma ta stosowała metodę SPM®. Ten przykład przekonał do sensu stosowania metody II (firmy SPM®Instrument)

9. WNIOSKI

Przeprowadzone badania z uwzględnieniem piśmiennictwa w zakresie tematu upoważniają do wysunięcia niżej podanych wniosków.

Metoda I nie spełnia postawionych wymagań w środowisku przemysłowego stosowania.

Metoda II oparta na systemie diagnostycznym i aparaturze firmy SPM®Instrument Co. w warunkach przemysłowo-produkcyjnych lepiej spełnia zakładany poziom diagnostyki.

Pozwala to w łatwy sposób dokonać prawidłowej oceny stanu technicznego wentylatorów

Wydaje się jednak, że podstawową sprawą jest właściwe dobranie zarówno metody diagnozowania urządzenia, jak również aparatury kontrolnej i wspomagającej.

LITERATURA

- [1] CEMPEL C.: Podstawy wibroakustycznej diagnostyki maszyn, WNT, Warszawa 1982.
- [2] CEMPEL C. TOMASZEWSKI F. : Diagnostyka Maszyn. MCNEMT, Radom 1992.
- [3] DWOJAK J., RZEPIELA M. :Diagnostyka i obsługa techniczna łożysk tocznych. Biuro Gamma. W-wa 2003.
- [4] NIZIŃSKI S., ŻÓŁTOWSKI B.: Zarządzanie Eksploatacją Obiektów Technicznych za Pomocą Rachunku Kosztów - Wyd. Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie, ATR w Bydgoszczy, 2002.
- [5] NIZIŃSKI S. :Inżynieria Diagnostyki Maszyn pod redakcją Żółtowskiego B., Cempel C. :część I ; rozdz.26 str503. wyd. P.T.D.T. Instytut Technologii Eksploatacji PIB Radom, Warszawa, Bydgoszcz, Radom 2004.
- [6] NIZIŃSKI S., ŻÓŁTOWSKI B: Informatyczne Systemy Zarządzania Eksploatacją Obiektów Technicznych, Wyd. Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie, ATR w Bydgoszczy, 2001.
- [7] POTRZEBSKI M. :Diagnozowanie za pomocą algorytmów i metod sytemu STM® Instrument –materiały niepublikowane, 1999.
- [8] RADKOWSKI S.: Inżynieria Diagnostyki Maszyn pod redakcją Żółtowskiego B., Cempel C. : część2 rozdz. I str530. wyd. P.T.D.T. Instytut Technologii Eksploatacji PIB Radom, Warszawa, Bydgoszcz Radom 2004.
- [9] SALOMON Sz., ŻÓŁTOWSKI B. : Monitorowanie Otoczenia i Zarządzanie Systemami Eksploatacji Maszyn – Materiały X konferencji „Diagnostyka Maszyn Roboczych i Urządzeń cz.II DIAGNOSTYKA '99, Borówno 1999.
- [10] ŻÓŁTOWSKI B.,ĆWIK Z. : Leksykon Diagnostyki Technicznej, wyd. Uczelniane ATR Bydgoszcz,1996.

- [11] Norma PN-ISO-10816-1. Drgania mechaniczne. Ocena drgań maszyny na podstawie pomiarów na częściach nie wirujących.wyd.1998.
- [12] Norma PN-90/N-01358. Metody pomiaru i oceny drgań maszyn. wyd. 1990.
- [13] Zakładanie i zdejmowanie łożysk tocznych. FAG Kugelfischer Georg Schafer &Co, Publ. Nr 80100PIA/90/1/81, Weppert KG,Schweinfurt.



Mgr inż. Marek Potrzebski,
słuchacz studiów dokto-
ranckich na Wydziale
Mechanicznym ATR w
Bydgoszczy w Katedrze
Inżynierii Produkcji.
Zainteresowania: żeglarstwo,
wycieczki wysokogórskie.