

**Marek Klimowski**  
Politechnika Opolska, Opole

## **DIAGNOSTYKA WIBROAKUSTYCZNA W OPARCIU O UREGULOWANIA NORMATYWNE PN I ISO**

### **VIBROACOUSTIC DIAGNOSTICS IN COMPLIANCE WITH PN (POLISH STANDARD) AND ISO APPLICABLE REGULATIONS**

**Streszczenie:** W artykule przedstawiono polskie i międzynarodowe regulacje normatywne PN i ISO wykorzystywane w diagnostyce wibroakustycznej maszyn wirujących, takich jak: turbiny parowe, pompy wirowe, wentylatory, wirnikowe napędy elektryczne, generatory o mocy przekraczającej 50MW. Najważniejsze normy zajmujące się tematyką analizy stanów dynamicznych maszyn wirnikowych ujęto w podziale na cztery grupy, przyjmując jako kryterium stopień powiązania z zagadnieniem: polskie normy podstawowe, pomocnicze i luźno związane oraz standardy międzynarodowe. Opisano zawartość dwóch wybranych norm: PN-ISO 10816-1:1998 i PN-ISO 7919-1:2001 traktujących o pomiarach sygnału drganiowego maszyn wirnikowych prowadzonych na częściach nie wirujących oraz na wałach wirujących. Wskazano istotne zmiany i korzyści płynące z wykorzystania norm zajmujących się drganiami i wstrząsami mechanicznymi maszyn wirujących w procesie bieżącej eksploatacji, konserwacji, diagnostyki oraz ochrony zdrowia człowieka i środowiska.

**Abstract:** Polish and international applicable regulations PN (Polish Standard) and ISO have been presented in the article, which are used in vibroacoustic diagnostics of rotary machines such as: steam turbines, rotary pumps, fans, rotary electrical drives, power generators with the capacity over 50MW. The most important standards dealing with the issues of dynamic states of rotary machines have been presented in four groups assuming the level of connection with the problem as a criterion: basic, auxiliary and loosely connected Polish standards, as well as international standards. The texts of two selected standards have been discussed: PN-ISO 10816-1:1998 and PN-ISO 7919-1:2001, dealing with measurements of vibration signal of rotary machines operating on non-rotating parts, as well as on rotary shafts. Significant changes and benefits of applying the standards dealing with vibrations and mechanical shocks of rotary machines in the process of current use, maintenance, diagnostics and protection of human health and the environment, have been indicated.

**Słowa kluczowe:** *normy polskie i międzynarodowe, maszyny elektryczne wirnikowe, wymagania diagnostyczne wibroakustycznej*

**Keywords:** *Polish and international standards, electrical rotary machines, requirements of vibroacoustic diagnostics*

### **1. Wstęp**

W celu analizy bieżącego stanu technicznego maszyn realizuje się diagnostykę opartą o pomiar intensywności sygnału drganiowego. W ten sposób można zaobserwować pojawienie się symptomów powstających niesprawności napędu, które w konsekwencji mogą prowadzić do jego uszkodzenia. Służby utrzymania ruchu dokładają starań, by jak najwcześniej wykryć i w dogodnym czasie usunąć zarejestrowane usterki, bądź przeprowadzić wymianę zużytych części maszyny. Takie podejście do zagadnienia w znaczący sposób minimalizuje koszt eksploatacji monitorowanych maszyn [5,8]. Diagnostyka wibroakustyczna maszyn może być realizowana na częściach niewirujących, jak również poprzez pomiar drgań wałów wirujących. Ogólne wymagania dotyczące pomiaru drgań mechanicznych maszyny, metod pomiarowych,

kryteriów oceny zawarte są w normach krajowych PN i międzynarodowych ISO i IEC. W praktyce inżynierskiej najczęściej można spotkać się z wykorzystaniem polskich norm: PN-ISO 10816-1:1998 [1], PN-ISO 7919-1:2001 [2], PN-EN 60034-14:2004 [3] i PN-EN 60034-14:2004/A1:2007 [4]. Normy bardzo korzystnie wpływają na standaryzację i jednolitość stosowanej terminologii, określeń technicznych, oznaczeń i jednostek wykorzystywanych przez obsługę techniczną. Pozwalają na płynną i zrozumiałą wymianę informacji w środowisku fachowców zajmujących się problematyką drganiową maszyn. Systematyzują i opisują sprawdzone, aktualne metody dokonywania pomiaru, stosowanych czujników, przetworników, sposób i miejsce ich umie-

szczenia, zasady pomiaru, wartości odniesienia oraz kryteria oceny jakościowej.

Poszukiwanie potrzebnych regulacji technicznych można realizować korzystając z międzynarodowej klasyfikacji norm ICS (International Classification for Standards). Dla drgań, wstrząsów i pomiarów drgań ICS: 17.160. W przypadku norm międzynarodowych ISO dostępna jest dodatkowo możliwość wyszukiwania poprzez wybór Komitetu Technicznego ISO/TC 108: Drgania i wstrząsy mechaniczne, Podkomitet S.C. 2: Pomiar i ocena drgań i wstrząsów mechanicznych w odniesieniu do maszyn, pojazdów i konstrukcji. Polskie normy dostępne są do nabycia w Polskim Komitecie Normalizacyjnym (założonym w 1924 r.), natomiast oryginalne normy ISO w Międzynarodowej Organizacji Normalizacyjnej (założonej w 1947 r.), a normy IEC w Międzynarodowym Komitecie Normalizacyjnym ds. Elektrotechniki (założonym w 1906 r.).

## 2. Normy PN i ISO

Poniżej zamieszczono wykaz wybranych norm, które podzielono na trzy grupy według kryteriów w związku z zagadnieniami dynamiki dużych maszyn wirnikowych [6, 7]: polskie normy PN podstawowe, pomocnicze, luźno powiązane oraz normy międzynarodowe ISO.

Grupa I norm zawiera 16 Polskich Norm, które traktowane są jako podstawowe przy realizacji diagnostyki wibroakustycznej maszyn wirujących. Opisano w nich terminologię drgań i pomiarów drgań w maszynach wirnikowych, jak np.: turbin parowych, pomp zasobnikowych, turbin odwracalnych, wentylatorów, wirnikowych maszyn elektrycznych. Znajdziemy w tej grupie również regulacje dotyczące wyważania wirników giętkich i sztywnych łącznie z kryteriami oceny oraz wyznaczania dopuszczalnego nie wyważenia resztkowego. Do tego zestawu załączono normatyw dotyczący drgań mechanicznych określonych maszyn o wzniosach osi wału ponad 56 mm, w tym wartości graniczne intensywności drgań. Dopełnieniem całości są wytyczne dotyczące stosowanej wibroizolacji (izolacji źródła), służące ograniczeniu zagrożeń, spowodowanych drganiami mechanicznymi generowanymi przez produkowane maszyny.

Grupa II norm obejmuje 20 norm międzynarodowych ISO nie posiadających według stanu na marzec 2013 r. swoich polskich odpowiedników. Regulacje dotyczące pomiarów sygnału drganiowego w układzie względnym i bez-

względny wraz z kryteriami oceny różnego rodzaju maszyn wirnikowych, jak: turbin parowych i generatorów o mocy przekraczającej 50MW (również drgania skrotne), pomp wirnikowych, maszyn wyposażonych w aktywne łożyska magnetyczne. W tej grupie znajdują się również normatywy dotyczące przetwarzania sygnału z pomiarów drgań metodami analizy widma czy transformaty Fouriera.

Grupa III norm mieści 8 Polskich Norm, traktowanych jako pomocnicze przy zajmowaniu się tematyką dynamiki maszyn wirujących. Dotyczą one głównie zagadnień cieplnych badań odbiorczych turbin parowych, drgań fundamentów, oddziaływania drań mechanicznych na organizm człowieka dla potrzeb ochrony zdrowia na stanowisku pracy.

Grupa IV norm posiadająca w swoim składzie 7 norm niosących wiedzę, która jest luźno powiązana z tematyką diagnostyki wibroakustycznej maszyn wirnikowych. Stąd znajdziemy w niej normy odnoszące się do wymagań i badań pomocniczych urządzeń w elektrowniach, elektrociepłowniach i ciepłowniach, jak: kolektory, pompy czy odgazowywacze sieci ciepłowniczej. Otrzymamy z nich również wytyczne dotyczące wymagań stawianych środkom smarowym i olejom przemysłowym.

### 2.1. Grupa I norm. Normy podstawowe PN

PN-N-01350:1982	Drgania. Terminologia
PN-N-01351:1982	Drgania. Podstawowe symbole i jednostki.
PN-N-01359:1993	Drgania mechaniczne. Wyważanie wirników sztywnych. Wyznaczanie dopuszczalnego niewyważenia resztkowego.
PN-N-01360:1993	Drgania mechaniczne. Wyważanie wirników giętkich. Kryteria oceny stanu wyważenia wirnika giętkiego.
PN-N-01361:1993	Drgania mechaniczne. Wyważanie. Terminologia.
PN-N-01362:1993	Drgania mechaniczne. Wyważanie mechaniczne wirników giętkich.
PN-IEC 45-1:1994	Turbiny parowe. Wymagania.
PN-IEC 45-1/Ap.1:1999	

PN-IEC 1063:1996 PN-IEC 1063:1996/Ap.1: 1998	Akustyka. Pomiar hałasu powietrznego emitowanego przez turbiny i maszyny napędzane.	<b>2.2. Grupa II norm. Międzynarodowe normy ISO</b>	
PN-EN 60994:1997	Wytyczne pomiaru obiekto- wego drgań i pulsacji w maszynach hydraulicz- nych (turbiny, pompy za- sobnikowe, turbiny odwrac- alne).	ISO 7919-2:2009	Mechanical vibration -- Evaluation of machine vi- bration by measurements on rotating shafts -- Part 2: Land - based steam turbi- nes and generators in ex- cess of 50 MW with nor- mal opera-ting speeds of 1500 r/min, 1800 r/min, 3000 r/min and 3 600 r/min
PN-ISO 10816- 1:1998	Drgania mechaniczne. Ocena drgań maszyny na podstawie pomiarów na częściach niewirujących. Wytyczne ogólne	ISO 7919-3:2009	Mechanical vibration -- Evaluation of machine vi- bration by measurements on rotating shafts -- Part 3: Coupled industrial machi- nes
PN-EN 61064:1998	Badania odbiorcze ukła- dów regulacji prędkości obrotowej turbin paro- wych.	ISO 7919-4:2009	Mechanical vibration -- Evaluation of machine vi- bration by measurements on rotating shafts -- Part 4: Gas turbine sets with fluid- film bearings
PN-ISO 10816-1:1998	Drgania mechaniczne. Ocena drgań maszyny na podstawie pomiarów na częściach niewirujących. Arkusz 1: Wytyczne ogól- ne.	ISO 10814:1996	Mechanical vibration -- Susceptibility and sensitiv- ity of machines to unbal- ance
PN-ISO 7919- 1:2001	Drgania mechaniczne ma- szyn z wyłączeniem ma- szyn tłokowych. Pomiar drgań wałów wirujących i kryteria oceny. Część 1: Wytyczne ogólne.	ISO 10816- 2:2009	Mechanical vibration -- Evaluation of machine vi- bration by measurements on non-rotating parts -- Part 2: Land-based steam turbines and generators in excess of 50 MW with nor- mal operating speeds of 1500 r/min, 1800 r/min, 3000 r/min and 3600 r/min
PN-EN 60034-14:2004 PN-EN 60034- 14:2004/A1:2007	Maszyny elektryczne wi- rujące. Część 14: Drgania mechaniczne określonych maszyn o wzniosach osi wału 56 mm i większych - Pomiar, ocena i wartości graniczne intensywności drgań.	ISO 10816- 3:2009	Mechanical vibration -- Evaluation of machine vi- bration by measurements on non-rotating parts -- Part 3: Industrial machines with nominal power above 15 kW and nominal speeds between 120 r/min and 15000 r/min when measu- red in situ
PN-ISO 14695:2008	Wentylatory przemysłowe - Metoda pomiaru drgań wentylatorów.		
PN-EN 1299+A1:2010	Drgania mechaniczne i wstrząsy. Wibroizolacja maszyn. Informacje doty- czące stosowania izolacji źródła.	ISO 10816- 4:2009	Mechanical vibration -- Evaluation of machine vi- bration by measurements on non-rotating parts -- Part 4: Gas turbine sets



- PN-EN 14253+A1:2011 zowanych turbin parowych  
Drgania mechaniczne. Pomiar i obliczanie zawodowej ekspozycji na drgania o ogólnym działaniu na organizm człowieka dla potrzeb ochrony zdrowia. Wytyczne praktyczne.
- PN-EN ISO 5349-1:2004 Drgania mechaniczne. Pomiar i wyznaczanie ekspozycji człowieka na drgania przenoszone przez kończyny górne. Część 1: Wymagania ogólne.
- PN-EN ISO 5349-2:2004 Drgania mechaniczne. Pomiar i wyznaczanie ekspozycji człowieka na drgania przenoszone przez kończyny górne. Część 2: Praktyczne wytyczne do wykonywania pomiarów na stanowisku pracy.

#### 2.4. Grupa IV norm. Normy PN luźno związane

- PN-M-34011:1964 Elektrownie ciepłe -- Schematy i bilanse ciepłe. Nazwy, symbole i określenia.
- PN-M-34801-04:1988 Pomocnicze urządzenia ciepłe w elektrowniach, elektrociepłowniach i ciepłowniach. Odgazowywacze termiczne układów ciepłowniczych. Wymagania i badania.
- PN-M-34801-05:1988 Pomocnicze urządzenia ciepłe w elektrowniach, elektrociepłowniach i ciepłowniach. Pompy układów ciepłowniczych. Wymagania i badania.
- PN-M-34801-06:1988 Pomocnicze urządzenia ciepłe w elektrowniach, elektrociepłowniach i ciepłowniach. Kolektory sieci ciepłowniczej. Wymagania i badania.
- PN-ISO 3448:2009 Przemysłowe ciekłe środki smarowe. Klasyfikacja lepkościowa ISO.
- PN-ISO 6743-5:2009 Środki smarowe, oleje przemysłowe i produkty podobne (klasa L). Klasy-

- PN-EN 13480-1:2012 Rurociągi przemysłowe metalowe. Część 1: Postanowienia ogólne.

Wskazane powyżej normy PN i ISO dotyczą rozpatrywania zagadnienia stanów dynamicznych maszyn wirujących.

Katalog polskich i międzynarodowych norm równie szeroko obejmuje zagadnienia związane z analizą drgań mechanicznych i wstrząsów w obszarze lotnictwa i kosmonautyki, statków, metod pomiarowych pojazdów i narzędzi użytkowanych przez człowieka.

### 3. Zawartość wybranych norm PN

#### 3.1. PN-ISO 10816-1:1998

Norma dotyczy drgań mechanicznych i oceny drgań maszyny na podstawie pomiarów na częściach niewirujących. Arkusz 1: Wytyczne ogólne, zawiera następujący spis treści:

Przedmowa krajowa.

Przedmowa.

Wprowadzenie.

1. Zakres.
2. Normy powołane.
3. Pomiary.
4. Oprzyrządowanie pomiarowe.
5. Kryteria oceny.

Załącznik A (informacyjny): Zależności dotyczące kształtu sygnału drganiowego.

Załącznik B (informacyjny): Tymczasowe kryteria drgań szerokopasmowych dla określonych grup maszyn.

Załącznik C (informacyjny): Ogólne wskazania dotyczące formułowania kryteriów.

Załącznik D (informacyjny): Analiza wektorowa zmiany drgań.

Załącznik E (informacyjny): Specjalistyczne metody pomiaru i analizy stosowane celem wykrycia przyczyn niewłaściwej pracy łożysk.

Załącznik F (informacyjny): Bibliografia.

Streszczenie:

Norma zawiera ustalone, ogólne warunki oraz procedury pomiarów i oceny drgań niewirujących części maszyn, których ogólne kryteria oceny dotyczą zarówno prób w warunkach eksploatacyjnych i prób odbiorczych. Opracowano je w celu zapewnienia niezawodnej, długotrwałej eksploatacji maszyn.

### 3.2. PN-ISO 7919-1:2001

Norma dotyczy drgań mechanicznych maszyn z wyłączeniem maszyn tłokowych oraz pomiarów drgań wałów wirujących i kryteriów oceny. Arkusze 1: Wytyczne ogólne, zawiera następujący spis treści:

Przedmowa krajowa.

Przedmowa.

Wprowadzenie.

1. Zakres normy.

2. Normy powołane.

3. Pomiary

4. Oprzyrządowanie pomiarowe.

5. Kryteria oceny.

Załącznik A (normatywny): Ogólne zasady przyjmowania kryteriów oceny dla różnych typów maszyn.

Załącznik B (informacyjny): Wyprowadzenie wielkości pomiarowych.

Załącznik C (informacyjny): Zalecenia dotyczące oprzyrządowania do pomiaru względnych i bezwzględnych drgań wału.

Załącznik D (informacyjny): Analiza wektorowa zmiany drgań wału.

Załącznik E (informacyjny): Bibliografia.

Streszczenie:

Norma zawiera ogólne wytyczne dotyczące pomiaru i oceny drgań maszyn na podstawie pomiarów wykonanych na wałach wirujących, w celu określenia drgań wału pod względem:

- zmian przebiegu drgań,
- nadmiernych obciążeń,
- nadzoru szczelin pomiarowych.

### 4. Uwagi i wnioski końcowe

Wykorzystanie norm polskich i międzynarodowych przy prowadzeniu badań i pomiarów sygnału drganiowego maszyn wirujących warunkuje poprawność otrzymywanych wyników. Obecne zakresy częstotliwościowe wibroakustycznej diagnostyki z 10 ÷ 1000 Hz zostały zastąpione sformułowaniem „istotne” dla celów pomiarowych. W trakcie realizacji oceny stanów dynamicznych maszyn wirnikowych korzystne jest prowadzenie równocześnie pomiarów na częściach niewirujących oraz na wałach wirujących, w oparciu o zapisy dostępnych norm. Diagnostyka wibroakustyczna, której podstawą są polskie i międzynarodowe normatywy niesie ze sobą:

- poprawę przydatności maszyny, procesów eksploatacyjnych, którym mają służyć,
- ułatwienie współpracy technicznej,

- ograniczenie zbędnej różnorodności maszyn i procedur ich obsługi w życiu człowieka,
- kompatybilność i zamienność,
- bezpieczeństwo, zdrowie oraz ochronę życia i środowiska,
- ochronę interesów użytkowników i społeczeństwa,
- zapobieganie powstawaniu barier w handlu,
- ułatwienie porozumiewania się.

### 5. Literatura

- [1]. Norma *PN-ISO 10816-1:1998 Drgania mechaniczne. Ocena drgań maszyny na podstawie pomiarów na częściach niewirujących. Część 1: Wytyczne ogólne.*
- [2]. Norma *PN-ISO 7919-1:2001 Drgania mechaniczne maszyn z wyłączeniem maszyn tłokowych. Pomiary drgań wałów wirujących i kryteria oceny. Część 1: Wytyczne ogólne.*
- [3]. Norma *PN-EN 60034-14:2004 Maszyny elektryczne wirujące. Część 14: Drgania mechaniczne określonych maszyn o wzniosach osi wału 56 mm i większych. Pomiar, ocena i wartości graniczne intensywności drgań.*
- [4]. Zmiana normy *PN-EN 60034-14:2004/A1:2007 Maszyny elektryczne wirujące. Część 14: Drgania mechaniczne określonych maszyn o wzniosach osi wału 56 mm i większych. Pomiar, ocena i wartości graniczne intensywności drgań.*
- [5]. Dwojak J., Rzepiela M.: *Diagnostyka drganiowa stanu maszyn i urządzeń. Wydanie II.* Biuro Gamma. Warszawa 2005.
- [6]. Kiciński J.: *Dynamika wirników i łożysk ślizgowych.* Wydawnictwo IMP PAN, Gdańsk 2005.
- [7]. Rybczyński J., Łuczak M., Pałzewicz A., Graczyk T., Cegielski A.: *Klasyfikacja i omówienie wybranych norm związanych z maszynami wirnikowymi,* opr. IMP PAN na zlecenie TURBO-SERVICE, nr arch. 1014/2001.
- [8]. Szymaniec S.: *Diagnostyka stanu izolacji uzwojeń i stanu łożysk silników indukcyjnych klatkowych w warunkach przemysłowej eksploatacji.* Studia i Monografie z.193. Oficyna Wydawnicza Politechniki Opolskiej, Opole 2006.

### Autor

mgr inż. Marek Klimowski  
Politechnika Opolska. Wydział Elektrotechniki,  
Automatyki i Informatyki. Instytut Elektrotechniki  
Przemysłowej i Diagnostyki.  
45-758 Opole ul. Prószkowska 76, bud. Nr 1.