

## RESEARCH OF DYNAMIC PROPERTIES OF TURBOCHARGERS C0-45

Grzegorz Budzik, Aleksander Mazurkow

Rzeszów University of Technology  
Al. Powstańców Warszawy 8, 35-959 Rzeszów, Poland  
tel.: +48 17 8651642, fax: +48 17 8651150  
e-mail: gbudzik@prz.edu.pl  
e-mail:

### Abstract

The paper presents results of the bench tests of the turbocharger. C0-45 is a turbocharger for heavy duty Diesel Engine. For turbochargers like this is necessary to measurements level of vibration. In this paper are presents results of test on 115 turbochargers. Rotors speed during the test were varied between 25000 and 42000 RPM. Rotors speed during the test for turbocharger C0-45 were varied in three range: range I -  $n=25000\div 32000$  RPM and  $a=0,5g$ ; range II -  $n=33000\div 38000$  RPM and  $a=1,0g$ ; range III -  $n=39000\div 42000$  RPM and  $a=1,5g$ ; ( $g=9,81m/s^2$ ). Measurement of vibration was realize by sensor located on a body of turbocharger. Bench test include also measurements of key charge parameters such as: mass trapped, mean flow velocities, turbulence level, gases pressure and temperature and oil flow. The results are presented on diagrams of amplitude's accelerate in function of rotor's RPM. Research shows then right parameters of construction and technological process of assembly are very important for correctly work of turbocharger.

**Keywords:** turbocharger, construction parameters, dynamic properties, level of vibration, rotors speed

## BADANIA WŁAŚCIWOŚCI DYNAMICZNYCH TURBOSPŘĘŻAREK C0-45

### Streszczenie

Artykuł przedstawia badania stanowiskowe właściwości dynamicznych turbosprężarek typu C0-45 przeznaczonych dla ciężkich silników Diesla. Dla turbosprężarek tego typu niezbędne są badania przyspieszeń drgań. W artykule przedstawione zostały wyniki badań 115 turbosprężarek w postaci wykresów przyspieszeń drgań w funkcji prędkości obrotowej. Prędkość robocza dla tej turbosprężarki wynosi  $n=25000\div 42000$  obr/min. Pomiaru dokonywane były w zakresie  $n=25000\div 42000$  obr/min co 1000 obr/min w trzech strefach prędkości obrotowych: strefa I -  $n=25000\div 32000$  obr/min gdzie  $a=0,5g$ ; strefa II -  $n=33000\div 38000$  obr/min gdzie  $a=1,0g$ ; strefa III -  $n=39000\div 42000$  obr/min gdzie  $a=1,5g$  ( $g=9,81m/s^2$ ). Pomiaru przyspieszeń drgań realizowane zostały za pomocą czujnika zamocowanego do korpusu turbosprężarki. Podczas badań przeprowadzono pomiary następujących parametrów: prędkość obrotowa, temperatura i ciśnienie spalin na wejściu do turbiny, temperatura spalin za turbiną, ciśnienie powietrza za sprężarką, ciśnienie oleju na wejściu do turbosprężarki oraz poziom przyspieszeń drgań. Badania pokazują wpływ parametrów konstrukcyjnych i technologicznych oraz procesu montażu na prawidłową pracę turbosprężarki.

**Słowa kluczowe:** turbosprężarka, parametry konstrukcyjne, własności dynamiczne, poziom drgań, prędkość wirników

### 1. Wstęp

Zasadniczym zadaniem stawianym turbosprężarkom jest przetwarzanie energii spalin na energię sprężonego powietrza. Po sprężeniu powietrze podawane jest następnie do układu zasilania silnika spalinowego [4, 5, 6].

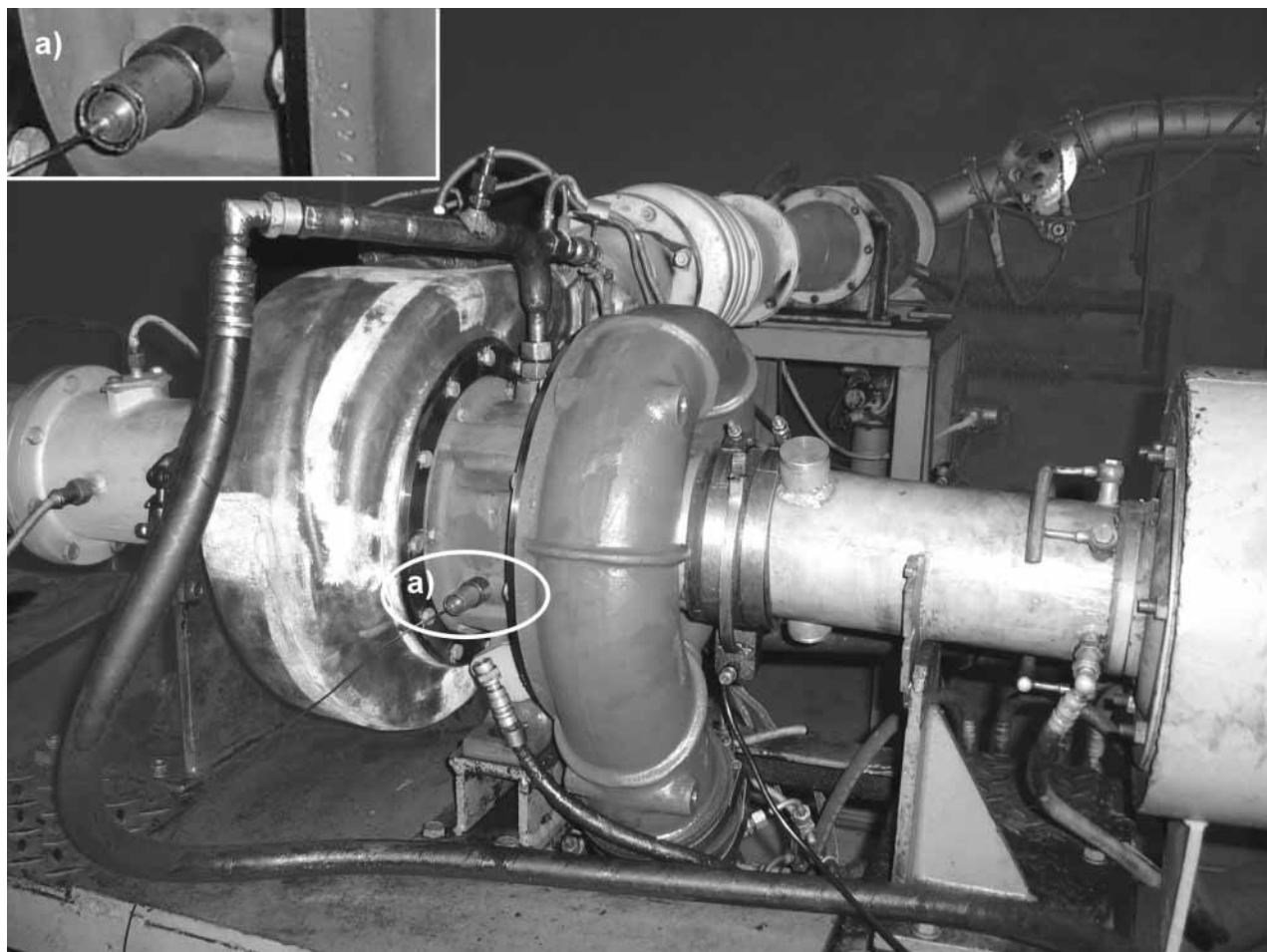
Podstawowymi parametrami pracy turbosprężarki są: stopień sprężania, wydatek powietrza, temperatura spalin na wejściu do turbiny, maksymalna prędkość obrotowa, oraz poziom drgań. Ocena prawidłowości pracy układu wirującego, w tym także łożyskowania dokonywana jest na hamowni podczas prób stanowiskowych.

## 2. Stanowisko do badań turbosprężarek

Każda turbosprężarka typu zanim trafi do użytkownika poddawana jest próbom na hamowni (rys. 1). Podczas prób sprawdzana jest jakość montażu i dotarcie współpracujących części. Wyznaczane są również charakterystyki pracy oraz pomiar przyspieszeń drgań.

W skład głównych elementów stanowiska hamownianego wchodzi:

- uchwyty mocujące turbosprężarkę,
- komora spalania z instalacją paliwową,
- instalacja powietrzna,
- układ smarowania,
- układ kontrolno – pomiarowy,
- układ wydechowy.



Rys. 1. Stanowisko do badań turbosprężarek C0-45, a) czujnik przyspieszeń drgań  
Fig. 1. Stand test of turbochargers C0-45, a) sensor of vibrations

Pomiaru drgań dokonuje się za pomocą czujnika zamontowanego magnetycznie na korpusie turbosprężarki (rys. 1a). Jakkolwiek pomiar przyspieszeń drgań odbywa się na korpusie

turbosprężarki, to odnosi się on do układu wirującego turbosprężarki i określa w sposób pośredni występujące w układzie drgania.

W wielu przypadkach, drgania a właściwie ich przyspieszenia decydują o zdolności turbosprężarki do eksploatacji. Jednym bowiem z podstawowych wymagań gwarantujących prawidłową pracę jest poziom dopuszczalnych przyspieszeń drgań. Pomiaru dokonuje się w punkcie pomiarowym w czasie ruchu ustalonego, np. dla turbosprężarki C0-45 w zakresie od 25000 obr/min do 42000 obr/min w odstępach równych co 1000 obr/min. Warunki odbioru określają wartości maksymalnych dopuszczalnych przyspieszeń w zależności od prędkości obrotowej wirnika turbosprężarki.

### 3. Wyniki prób hamownianych

Katalogowe wartości parametrów pracy dla badanej turbosprężarki C0-45 są następujące:

- stopień sprężania 2,8:1,
- wydatek powietrza  $31 \div 76$  [m<sup>3</sup>/min],
- temperatura spalin na wejściu do turbiny 700 [°C],
- maksymalna prędkość obrotowa  $n_{wmax} = 42000$  [obr/min].

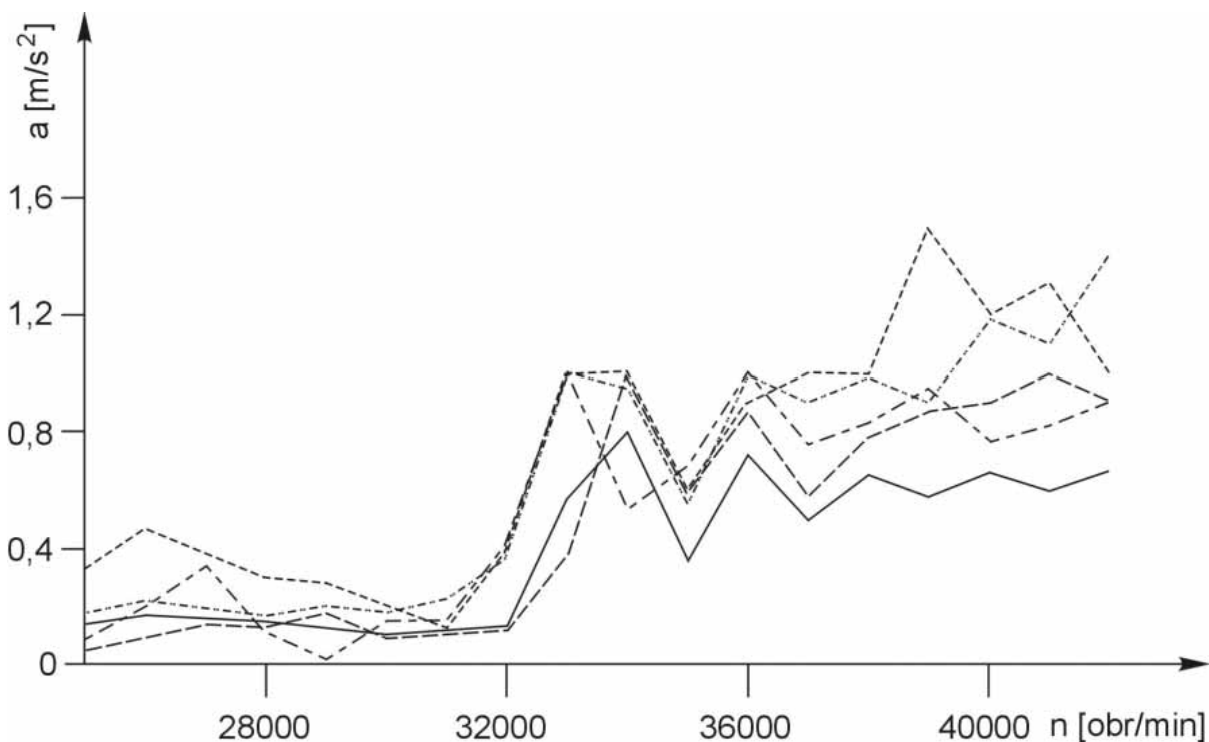
Wartości dopuszczalnych przyspieszeń drgań w zakresach badanych prędkości obrotowych zespołu wirującego kształtują się dla turbosprężarki C0-45 następująco:

- I zakres –  $25000 \leq n_w \leq 32000$  [obr/min],  $a_{dop} \leq 0,5g$ ,
- II zakres –  $33000 \leq n_w \leq 38000$  [obr/min],  $a_{dop} \leq 1,0g$ ,
- III zakres –  $39000 \leq n_w \leq 42000$  [obr/min],  $a_{dop} \leq 1,5g$ ,

gdzie:

$g = 9,81$  m/s<sup>2</sup> jest przyspieszeniem ziemskim.

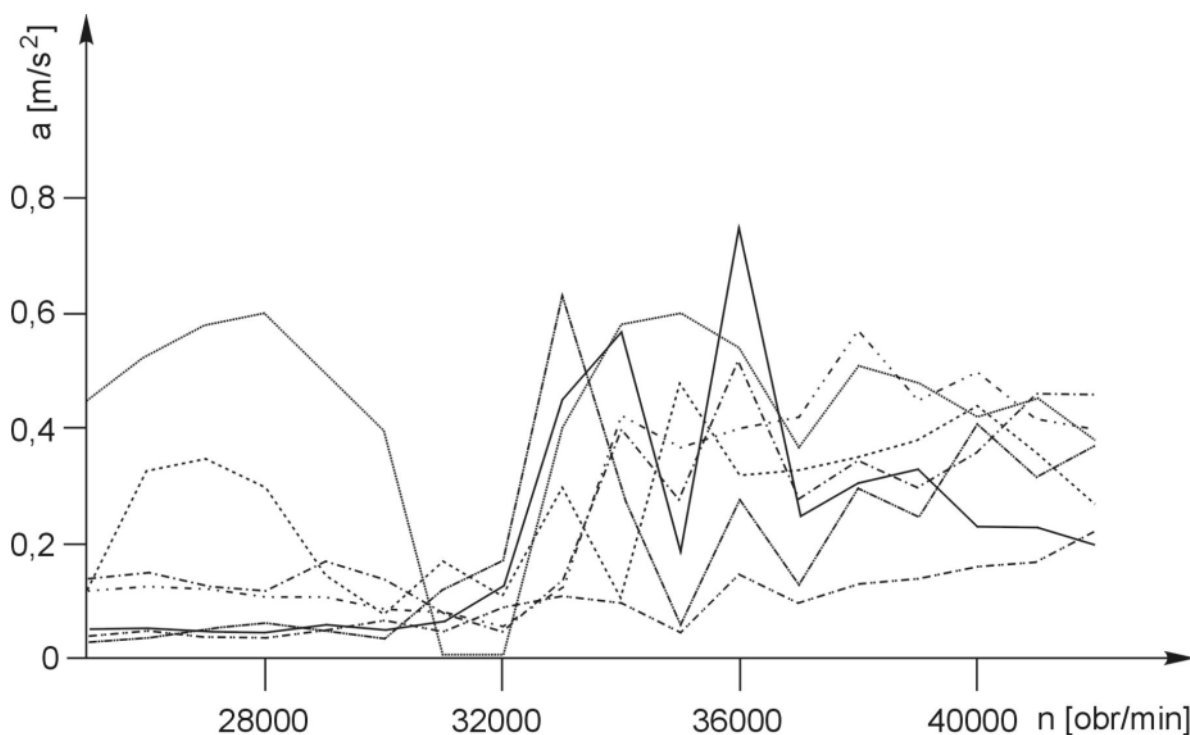
Turbosprężarki spełniające kryteria odbioru technicznego można podzielić na dwie grupy: pierwsza grupa to turbosprężarki pracujące w górnych zakresach drgań ( $a_{dop} \leq 1,5g$ ), druga grupa to pracujące w dolnych zakresach drgań ( $a_{dop} \leq 0,8g$ ). Rysunek 2 przedstawia wykresy grupy pierwszej badanych turbosprężarek.



Rys. 2. Poziom drgań turbosprężarek ( $a_{dop} \leq 1,5g$ ) w funkcji prędkości obrotowej  
 Fig. 2. Level of vibration of turbochargers ( $a_{dop} \leq 1,5g$ ) in rpm function

Analizując pomiary przyspieszeń drgań pierwszej grupy dla zakresu  $0 \leq n_w \leq 42000$  obr/min, można wykazać istnienie dwóch stref rezonansowych. Pierwsza strefa rezonansowa istnieje w pobliżu prędkości obrotowej  $n_w = 32000$  obr/min, natomiast druga w pobliżu prędkości równej  $n_w = 38000$  obr/min. Zakresy stref rezonansowych pokrywają się z zakresami pomiarowymi turbosprężarek.

Druga grupa turbosprężarek cechowała się małymi wartościami przyspieszeń drgań ( $a_{dop} \leq 0,8g$ ) w zakresie prędkości obrotowych  $0 \leq n_w \leq 42000$  obr/min. W przypadku tym można było zauważyć, iż występuje tylko jedna prędkość rezonansowa (rys. 3). Przyspieszenia drgań występowały przy wyższych prędkościach obrotowych  $n_w = 32000 \div 37000$  obr/min.



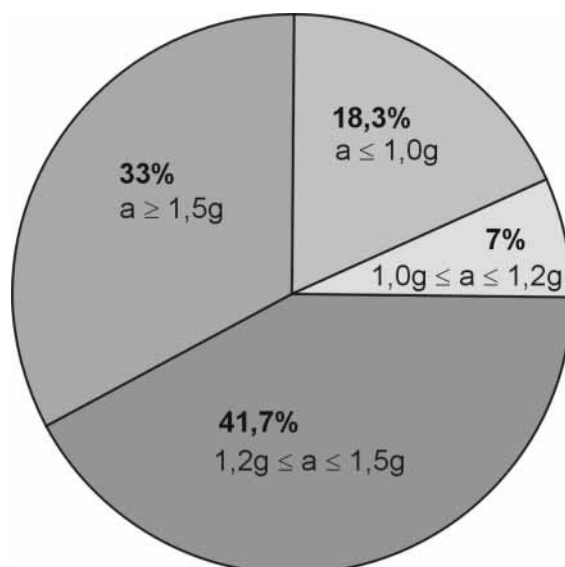
Rys. 3. Poziom drgań ( $a_{dop} \leq 0,8g$ ) wybranych turbosprężarek w funkcji prędkości obrotowej  
Fig. 3. Level of vibration of turbochargers ( $a_{dop} \leq 0,8g$ ) in rpm function

Odbiór techniczny turbosprężarek C0-45 wykonywany jest u producenta przez specjalnie przeszkolonych w tej dziedzinie ekspertów reprezentujących nabywcę. W przypadku tego typu odbioru, ekspert jest obecny podczas prób turbosprężarek w ilości określonej procentowo. Jeżeli ilość turbosprężarek, która nie spełnia kryteriów odbioru jest zbyt duża, wtedy przedstawiciel odbiorcy szczegółowo bada przyczyny takiego stanu rzeczy i monitoruje próby hamowniane wszystkich egzemplarzy.

Na podstawie przeprowadzonych prób odbioru stwierdzono, że znaczna liczba badanych turbosprężarek, chociaż cechuje się odpowiednimi parametrami użytkowymi (wydatek, stopień sprężania) nie nadaje się do eksploatacji.

Na podstawie wyników prób odbioru 115 turbosprężarek stwierdzono, że mierzone przyspieszenia zawierały się w przedziale  $0,01 \div 10,0$  g. Należy tu zwrócić uwagę na fakt, że maksymalne dopuszczalne przyspieszenia wynoszą  $1,5$  g.

Przyczyną, która nie pozwala na dopuszczenie turbosprężarek do eksploatacji było przekroczenie mierzonych wartości dopuszczalnych przyspieszeń. Traktując wszystkie przebadane turbosprężarki jako 100 % okazuje się, że 33% z nich nie spełniało narzuconych wymagań dotyczących granicznych wartości przyspieszeń drgań (rys. 4).



Rys. 4. Udział procentowy badanych turbosprężarek w przedziałach przyspieszeń drgań  
 Fig. 4. Percent of turbochargers in level of vibration range

#### 4. Analiza wyników prób hamownianych

Na podstawie przedstawionych badań hamownianych można stwierdzić, że poprzez właściwy dobór parametrów konstrukcyjnych i technologicznych układu wirującego można zagwarantować prawidłowe parametry pracy turbosprężarek pod względem poziomu drgań.

Chcąc zapewnić właściwe funkcjonowanie turbosprężarki ważne jest poznanie źródeł nadmiernych drgań, a następnie je zminimalizowanie. Podstawy teoretyczne przyczyn powstawania drgań w układach wirujących można znaleźć w pracach [3, 7, 9].

Turbosprężarki, w których stwierdzono przekroczenie dopuszczalnych przyspieszeń drgań były demontowane w celu ustalenie prawdopodobnych przyczyn przekroczeń drgań. Następnie zespoły wirujące przeszły ponowne sprawdzenie i ewentualne wyważenie. Zmontowane turbosprężarki poddawane były ponownej próbie hamownianej. Uzyskanie poprawnych parametrów pracy turbosprężarki ze względu na poziom drgań nie zawsze było możliwe podczas pierwszego montażu, dlatego czynności opisane powyżej były powtarzane, aż do uzyskania właściwych parametrów pracy.

#### 5. Wnioski

Najczęstszymi przyczynami przekroczenia drgań badanych turbosprężarek były:

- niewyrównoważenie wirników turbosprężarki,
- luzy promieniowe w poprzecznym łożysku ślizgowym z panewką pływającą,
- błędy kształtu panewki pływającej.

Jak wykazały badania hamowniane jedną z ważniejszych przyczyn zaburzeń ruchu obrotowego układu wirującego turbosprężarki były odśrodkowe siły bezwładności powstające wskutek nie pokrywania się osi wirowania z jedną z głównych centralnych osi układu wirującego. Niejednakowego usytuowania tych osi należy upatrywać przede wszystkim w niewyrównoważeniu mas wirujących.

Wskutek niewyrównoważenia pojawiają się odśrodkowe siły bezwładności. Siły te stanowią zewnętrzne okresowe wymuszenia i mogą wywoływać zjawiska rezonansu. Siły ciężkości działające na wirujące elementy mogą stanowić również źródło powstawania drgań [3, 8].

Kolejną przyczynę drgań należy upatrywać również w oporze ośrodka, w którym wirniki pracują. Istotną rolę w pracy wirnika odgrywa też sposób łożyskowania. Łożyska ślizgowe w jakich osadzony jest wirnik mogą być przyczyną powstania destabilizujących sił hydrodynamicznych, a te z kolei drgań samowzbudnych w warstwie oleju [3].

Z analizy literatury wynika, iż źródeł powstawania drgań jest wiele i w związku z tym ustalenie prawdopodobnej przyczyny ich powstawania jest trudne [1, 2]. Przyczyny te mogą powstać zarówno w fazie konstruowania, wykonywania poszczególnych elementów jak również montażu zespołu turbosprężarki.

## Literatura

- [1] Budzik, G., Marciniak, A., *Computer Aided Design of Turbochargers Rotor*, Journal of KONES, Vol. 12 No. 1-2, pp. Warszawa 2005.
- [2] Cygnar, M., Budzik, G., *Wybrane aspekty projektowania elementów wirujących maszyn przepływowych z wykorzystaniem wspomaganie komputerowego*, Wydawnictwo Państwowej Wyższej Szkoły Zawodowej w Nowym Sączu, Nowy Sącz 2005.
- [3] Kiciński, J., *Dynamika wirników i łożysk ślizgowych*, Wydawnictwo Instytutu Maszyn Przepływowych PAN, Gdańsk 2005.
- [4] Kowalewicz, A., *Doładowanie silników spalinowych*, Wydawnictwo Politechniki Radomskiej, Radom 1998.
- [5] Kordziński, C., Środulski, T., *Silniki spalinowe z turbodoładowaniem*, Wydawnictwa Naukowo – Techniczne, Warszawa 1970.
- [6] Mysłowski, J., *Doładowanie silników*, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 2006.
- [7] Oczko, K., E., (red.), *Roraty Fluid-Flow Machines*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 1998.
- [8] Santos, I. F., Nicoletti, R., Scalabrin, A., *Feasibility of applying active lubrication to reduce vibration In industrial compressors*, Proc. Of ASME Turbo Expo 2003, June 16-19, GT2003-38225, USA, Atlanta 2003.
- [9] Walczyk, Z., Kiciński, J., *Dynamics of Turbochargers*, Technical University of Gdańsk Publisher, Gdańsk 2001.