

**Jacek KŁOSIŃSKI, Ludwik MAJEWSKI, Jarosław JANUSZ**AKADEMIA TECHNICZNO - HUMANISTYCZNA, WYDZIAŁ BUDOWY MASZYN I INFORMATYKI,  
KATEDRA PODSTAW BUDOWY MASZYN**Pomiary drgań małej sprężarki tłokowej****Dr hab inż. Jacek KŁOSIŃSKI**

Ukończył studia na Wydziale Maszyn Górniczych i Hutniczych Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie. Obronił pracę doktorską na tym samym wydziale a kolokwium habilitacyjne złożył przed Radą Wydziału Budowy Maszyn Politechniki Łódzkiej Filii w Bielsku Białej. Zajmuje się zagadnieniami dynamiki i sterowaniem maszyn oraz automatyką procesów przemysłowych.



e-mail: jklosinski@ath.bielsko.pl

**Dr inż. Ludwik MAJEWSKI**

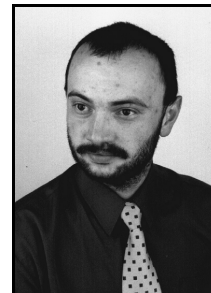
Ukończył studia na Wydziale Mechanicznym-Technologicznym Politechniki Warszawskiej. Obronił pracę doktorską na Wydziale Mechanicznym Politechniki Łódzkiej. Zajmuje się zagadnieniami dynamiki maszyn wraz z napędami oraz modelowaniem i symulacją mechanizmów i maszyn z luzami w parach kinematycznych.



e-mail: lmajewski@ath.bielsko.pl

**Dr inż. Jarosław JANUSZ**

Ukończył studia na Wydziale Budowy Maszyn Politechniki Łódzkiej Filii w Bielsku-Białej. Obronił pracę doktorską na Wydziale Budowy Maszyn i Informatyki Akademii Techniczno-Humanistycznej w Bielsku Białej. Zajmuje się zagadnieniami związanymi z dynamiką i sterowaniem maszyn roboczych.



e-mail: jjanusz@ath.bielsko.pl

W celu zmniejszenia drgań i hałasu jednocylindrowej sprężarki wyporowej pracującej dla potrzeb dydaktycznych, przeprowadzono próby eksperymentalne.

**2. Przygotowanie pomiarów**

Mała sprężarka tłokowa jednocylindrowa (rys. 1) tłoczy sprężone powietrze do zbiornika wyrównawczego. Następnie jest ono tłoczone przewodami do elementów układów sterowania stanowiskami laboratoryjnymi. Drgania i hałas sprężarki tłokowej pochodzą od pulsacji powietrza na wlocie i wylocie oraz od drgań korpusu i poszczególnych członów ruchomych sprężarki. Pomiary drgań sprężarki przeprowadzono przy następujących założeniach: na korpusie silnika sprężarki w punkcie pokrywającym się z osią działania tłoka zamocowany będzie jeden czujnik, na podłożu w punkcie pokrywającym się z tą samą osią zamocowany będzie drugi czujnik. Do pomiarów drgań przez oba czujniki (firmy HBM) będzie wykorzystywany system pomiarowy Spider 8 (szczegółowe dane techniczne systemu pomiarowego wraz z niezbędnym wyposażeniem podano w [1, 2]). Miernik poziomu dźwięku będzie położony poziomo a jego mikrofon ustawiony w odległości 1 m od cylindra silnika i skierowany na cylinder. Sprężarka od podłoża odizolowana będzie podkładkami wibroizolacyjnymi o jednakowej grubości ( $g = 0,01$  m) wykonanymi z gumy, filcu lub korka sprasowanego.

Poniżej podano charakterystyczne dane techniczne sprężarki i opis przenośnego miernika poziomu dźwięku. Dane techniczne sprężarki (rys. 1): moc znamionowa 1,2 kW, znamionowe obroty silnika 2850 obr/min, wydajność znamionowa 210 l/min, max ciśnienie powietrza 8 bar.



Rys. 1. Ilustracja sprężarki  
Fig. 1. The photo of the air compressor

**Streszczenie**

W pracy podjęto próbę poprzez wykonanie badań doświadczalnych zmniejszenia drgań i hałasu, małej sprężarki tłokowej jednocylindrowej pracującej w pobliżu pomieszczenia laboratoryjnego. Praca zawiera wyniki badań eksperymentalnych drgań sprężarki w miejscu jej instalacji z izolacją od podłoża i bez izolacji oraz analizę otrzymanych wyników. Do pomiarów drgań wykorzystano aparaturę pomiarową wraz z wyposażeniem opisaną w [1, 2]. Pomiary poziomu dźwięku zostały przeprowadzone za pomocą przenośnego miernika [3].

**Słowa kluczowe:** sprężarka tłokowa, badania drgań, pomiar hałasu.

**Measurements of Vibrations of Small-Size Piston Air-Compressor****Abstract**

In the paper, an attempt was made to reduce vibrations and emitted noise by a small one-piston air compressor working in the neighborhood of a laboratory room. The relevant measurements in service conditions were performed. The results of the experimental investigations – performed in service condition - are presented. The versions without and with the isolation pads from the ground were taken into account. The analysis of the outcomes is also presented. The measurements of vibrations were made by means of the equipment described in [1, 2]. The sound measurements were performed by means of portable equipment described in [3].

**Keywords:** piston air compressor, investigation of vibrations, noise measurement.

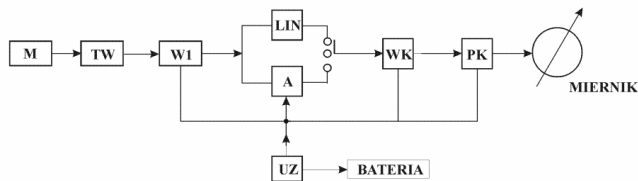
**1. Wstęp**

Małe sprężarki jednocylindrowe wyporowe są często stosowane w praktyce i stanowią ważną grupę urządzeń technicznych. Są one złożone z różnych podzespołów, które podczas pracy dynamicznie na siebie wzajemnie działają. Podstawową zaletą sprężarek tłokowych jest ich prosta budowa, wadą jest konieczność częstej obsługi i serwisu [4].

Drgania i hałas sprężarek tłokowych można zmniejszyć poprzez instalowanie ich na specjalnych, indywidualnych podkładkach wibroizolacyjnych. Ogólnie wibroizolacja jest tym skuteczniejsza im mniejsza jest częstotliwość drgań własnych układu drgającego.

Na rysunku 2 przedstawiono ogólny schemat blokowy miernika poziomu dźwięku typu T-01[3] składający z bloków funkcyjnych (rys. 2). Sygnał akustyczny przetwarzany jest na sygnał elektryczny w mikrofonie elektrostatycznym i przesyłany do tłumika TW, który umożliwia skokowe co 10 dB wybieranie odpowiedniego zakresu pomiarowego w zakresie od 60 do 120 dB. Dalej sygnał

jest wzmacniany we wzmacniaczu wstępnym, którego wzmocnienie jest dobierane odpowiednio do typu mikrofonu. W zależności od potrzeb sygnał przechodzi przez filtr korekcyjny lub obwód liniowy wzmacniacza końcowego o wzmocnieniu 40 dB. Wynik pomiaru jest równy sumie algebraicznej zakresu pomiarowego i wskazań miernika o zakresie od -10 do +10 dB.



M - mikrofon  
TW - tłumik  
W1 - wzmacniacz wstępny  
A - filtr korekcyjny  
LIN - obwód liniowy wzmacniacza końcowego  
WK - wzmacniacz końcowy  
PK - prostownik kwadratowy  
UZ - układ zasilania

Rys. 2. Schemat blokowy miernika poziomu dźwięku  
Fig. 2. Block-scheme of the measurement system

Dane techniczne przyrządu:

- zakres pomiaru dźwięku od 60 do 130 dB,
- charakterystyki dynamiczne - wolna 500 ms, szybka 200 ms,
- charakterystyka prostowania - kwadratowa ze współczynnikiem szczytu  $f_s = 5$ ,
- zakres temperatury pracy od -10 do +40 °C,
- zakres wilgotności względnej do 75%,
- zasilanie baterią o napięciu 9V.

### 3. Przeprowadzenie pomiarów

Pomiary drgań i hałasu sprężarki przeprowadzono w wydzielonym pomieszczeniu przeznaczonym do pracy sprężarki, w warunkach rzeczywistych przy zachowaniu wymagań stawianych przez producentów aparatury pomiarowej. Pomiary drgań wykonano z częstotliwością próbkowania wynoszącą 2,4 kHz. Błąd pomiaru przyspieszeń  $\delta$  określony jest klasą dokładności 0,1 systemu pomiarowego Spider 8.

Pod sprężarkę podkładano podkładki wibroizolacyjne i po jej uruchomieniu przeprowadzano pomiary drgań korpusu silnika i podłoża łącznie z pomiarami hałasu. Na końcu przeprowadzono pomiary drgań bez podkładek.

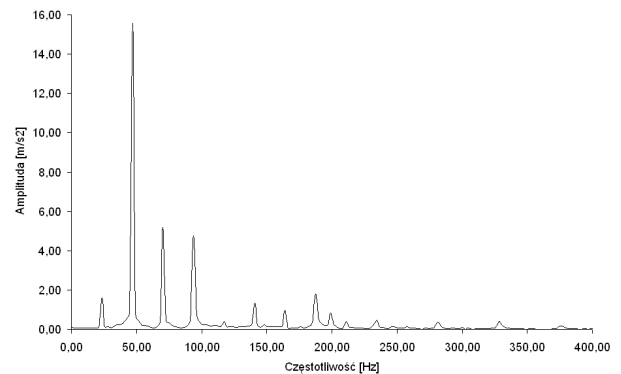
### 4. Wyniki pomiarów

Wyniki pomiarów uzyskane z przeprowadzonych pomiarów testujących przedstawiono na rysunkach 3-10. Na rysunku 3 przedstawiono widmo przyspieszeń drgań korpusu silnika sprężarki. Z przedstawionego widma wynika, że dla podstawowej zmierzonej częstotliwości wynoszącej 49 Hz maksymalna wartość amplitudy przyspieszenia skutecznego wyniosła około 15  $m/s^2$ . Dla następnych częstotliwości określonych z szeregu trygonometrycznego (ruch tłoka sprężarki jest ruchem okresowym, który można przedstawić jako ruch poliharmoniczny) wartości amplitudy przyspieszenia skutecznego są mniejsze. Pojawiająca się na rysunkach 3 i 4 stosunkowo mała wartość amplitudy przyspieszenia skutecznego przy częstotliwości drgań wynoszącej 37 Hz wynika z drgań otoczenia, bowiem sprężarka pracowała na betonowej podłodze położonej na drugim piętrze budynku dydaktycznego. Po podłożeniu podkładek pod sprężarkę amplitudy te uległy znacznemu zmniejszeniu. Na rysunku 4 pokazano widmo przyspieszeń drgań podłoża. Z przedstawionego widma wynika, że wartość maksymalna przyspieszenia nie przekracza 0,19  $m/s^2$  (przy częstotliwości 98 Hz). Pozostałe maksymalne wartości przyspieszeń przy tej samej częstotliwości wykazują duży ich spadek w stosunku do sytuacji przed podłożeniem podkładek. Na rys. 5-10 przedstawiono

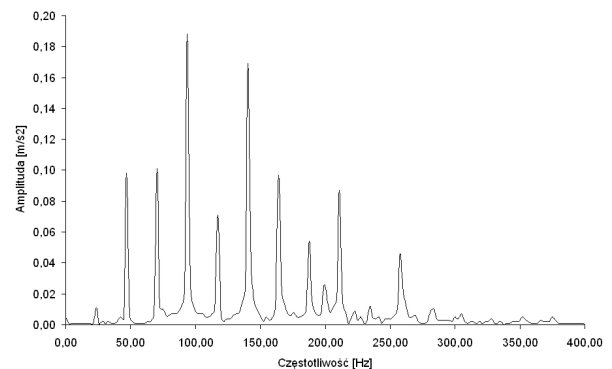
widma przyspieszeń korpusu sprężarki i podłoża w przypadku zastosowania podkładek odpowiednio filcowej, gumowej i z korka.

Na rysunku 11 przedstawiono wykres słupkowy obrazujący stosunek amplitudy drgań podłoża i korpusu bez zastosowania podkładek wibroizolacyjnych do amplitudy drgań podłoża i korpusu z zastosowaniem podkładek wibroizolacyjnych. Z wykresu wynika, że największe zmniejszenie wartości amplitudy przyspieszeń drgań podłoża i korpusu występuje po zastosowaniu podkładek filcowych.

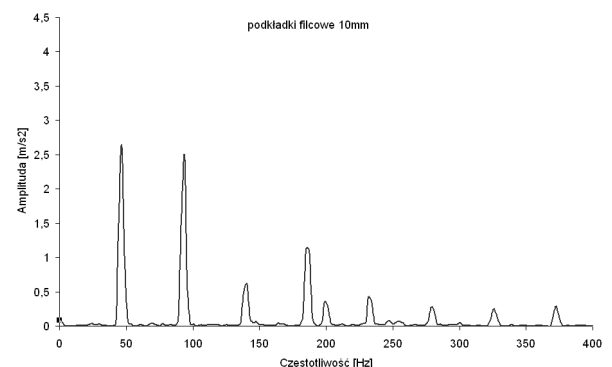
Pomiary poziomu dźwięku wykazały, że dla pracującej sprężarki bez podkładek wibroizolacyjnych wartość średniego poziomu dźwięku wyniosła 94 dB. Po zastosowaniu podkładek wibroizolacyjnych gumowych wartość średnia poziomu dźwięku wyniosła 91 dB. Po zastosowaniu pozostałych podkładek wibroizolacyjnych (korkowych, filcowych) wartość średnia poziomu dźwięku wyniosła 93 dB.



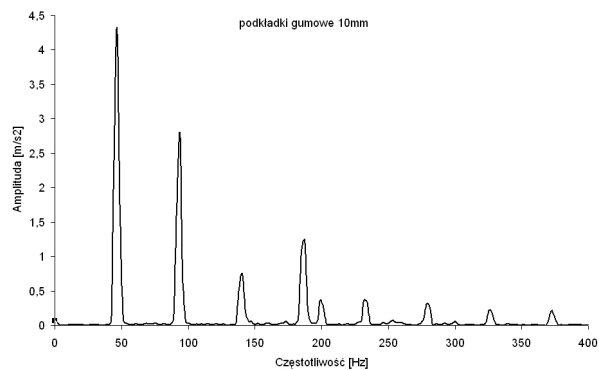
Rys. 3. Widmo przyspieszeń korpusu sprężarki (układ bez elementów tłumiących)  
Fig. 3. Spectrum of accelerations of the compressor (without isolation)



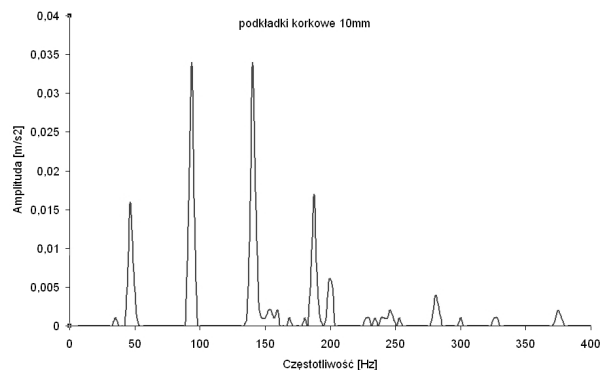
Rys. 4. Widmo przyspieszeń podłoża (układ bez elementów tłumiących)  
Fig. 4. Spectrum of accelerations of the ground (without isolation)



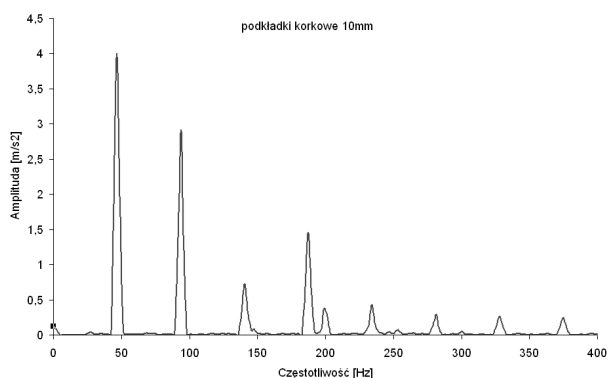
Rys. 5. Widmo przyspieszeń korpusu sprężarki ustawionej na podkładce filcowej  
Fig. 5. Spectrum of accelerations of the compressor (with isolation)



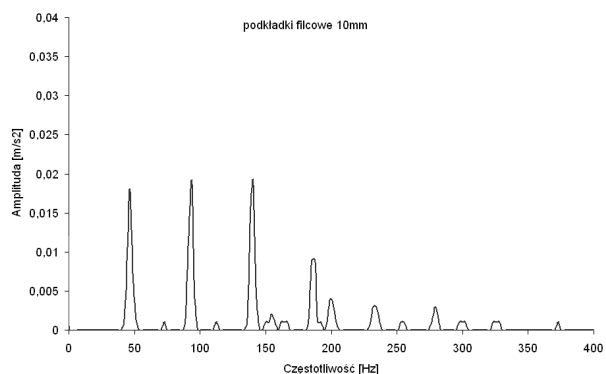
Rys. 6. Widmo przyspieszeń korpusu sprężarki ustawionej na podkładce gumowej  
Fig. 6. Spectrum of accelerations of the compressor (with isolation)



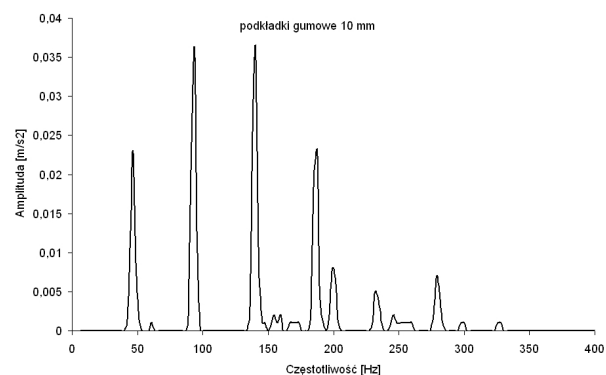
Rys. 10. Widmo przyspieszeń podłoża przy pracy kompresora na podkładce z korka  
Fig. 10. Spectrum of accelerations of the ground (with isolation)



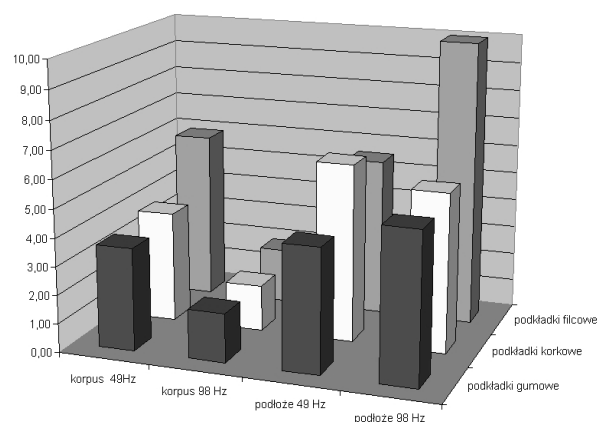
Rys. 7. Widmo przyspieszeń korpusu sprężarki ustawionej na podkładce z korka  
Fig. 7. Spectrum of accelerations of the compressor (with isolation)



Rys. 8. Widmo przyspieszeń podłoża przy pracy kompresora na podkładce filcowej  
Fig. 8. Spectrum of accelerations of the ground (with isolation)



Rys. 9. Widmo przyspieszeń podłoża przy pracy kompresora na podkładce gumowej  
Fig. 9. Spectrum of accelerations of the ground (with isolation)



Rys. 11. Stosunek amplitudy drgań układu bez elementów tłumiących do amplitudy drgań układu z zastosowaniem podkładek tłumiących.  
Fig. 11. Bar chart of the amplitudes of vibration

## 5. Podsumowanie

Przeprowadzone pomiary dowodzą, że w widmie drgań korpusu sprężarki (rys. 3) dominują kolejne częstotliwości harmoniczne wynikające z podstawowej częstotliwości  $f = n/60$  [Hz], gdzie  $n$  rzeczywista zmierzona prędkość obrotowa silnika sprężarki w obr/min ( $f=49$  Hz,  $n=2940$  obr/min). Kolejne zmierzone wartości amplitudy przyspieszeń zarówno korpusu jak i podłogi występują przy następnych harmonicznych częstotliwościach drgań wynoszących 74 Hz oraz 98 Hz. Zastosowanie badanych podkładek eliminuje amplitudy przy częstotliwości 74 Hz i znacząco zmniejsza amplitudę przy częstotliwości 98 Hz. Analizując widma przyspieszeń korpusu sprężarki (rys.3) i podłogi układu bez elementów tłumiących (rys. 4) oraz tego samego układu z elementami tłumiącymi (rys. 5 – rys. 10) można stwierdzić, że najlepsze własności tłumiące drgania korpusu przy częstotliwościach 49 Hz i 98 Hz mają podkładki filcowe. Stosunek amplitudy drgań układu bez elementów tłumiących do amplitudy drgań układu z zastosowaniem podkładek tłumiących przedstawiono na rys. 11. Hałas znacząco zmniejszają tylko podkładki gumowe.

## 6. Literatura

- [1] Majewski L., Janusz. J.: Analiza drgań podłogi w miejscu posiadawienia maszyny pomiarowej. PAK nr 10, 2005
- [2] Hottinger Baldwin Messtechnik, Bedienungsleitung PC Meßelektronik Spider 8
- [3] Instrukcja obsługi miernika poziomu dźwięku typu T-01
- [4] Szenajch W.: Napęd i sterowanie pneumatyczne. WNT Warszawa, 1992