

# Wpływ posadowienia na poziom drgań w czasie wyważania wirnika

MGR INŻ. MAREK RZEPIELA  
P.H.U. Polidiag  
www.wibrodiagnostyka.eu

W artykule przedstawiony jest opis postępowania w przypadku wyważania wirników w łożyskach własnych przy błędnym posadowieniu zespołu maszynowego.



**Marek Rzepiela**

Od 1993 r. związany z diagnostyką wibracyjną. Na co dzień pracuje w jednej z większych elektrowni w Polsce. Bogate doświadczenie i wiedzę ekspercką wykorzystuje w realizacji badań technicznych i prowadzeniu szkoleń firmowanych w zakresie własnej działalności.

**N**ajwcześniejsze rozpoznanie zmian stanu dynamicznego maszyn dają systemy monitorujące ich stan techniczny poprzez pomiar drgań. W trakcie eksploatacji następuje zużycie maszyny, fundamenty osiadają, elementy maszyny ulegają deformacji i z czasem dochodzi do subtelnych zmian właściwości dynamicznych maszyny. Pojawia się nadmierna niewspółosiowość wałów połączonych sprzęgłami, zużycie części, zwiększone niewyważenie elementów wirujących i zwiększenie luzów. Wszystkie te czynniki znajdują swoje odbicie we wzroście energii drgań maszyny. Przyczyna oraz skutek oddziałują na siebie i maszyna nieuchronnie zmierza ku awarii.

## Niewyważenie wirnika.

Niewyważenie wirnika jest jedną z podstawowych przyczyn złego stanu dynamicznego maszyn. Amplituda drgań maszyny jest wprost proporcjonalna do wielkości niewyważenia. Za pomocą prostych obliczeń można wykazać, że już przy prędkości 3000 obr./min przesunięcie środka ciężkości wirnika z osi obrotu tylko o 100  $\mu$ m wywołuje reakcje dynamiczne na łożyskach (siła odśrodkowa) równe w przybliżeniu ciężarowi wirnika.

### Przyczyny niewyważenia

- wady materiałowe,
- błędy konstrukcyjne,
- błędy wykonawstwa,

- błędy montażu,
- deformacje termiczne,
- luzowanie i przemieszczenie elementów wirnika,
- erozja i osady na wirniku,
- korozja,
- kawitacja,
- pękanie,
- przytarcie wirnika,
- hydroaerodynamiczne.

### Charakterystyka składowych drgań

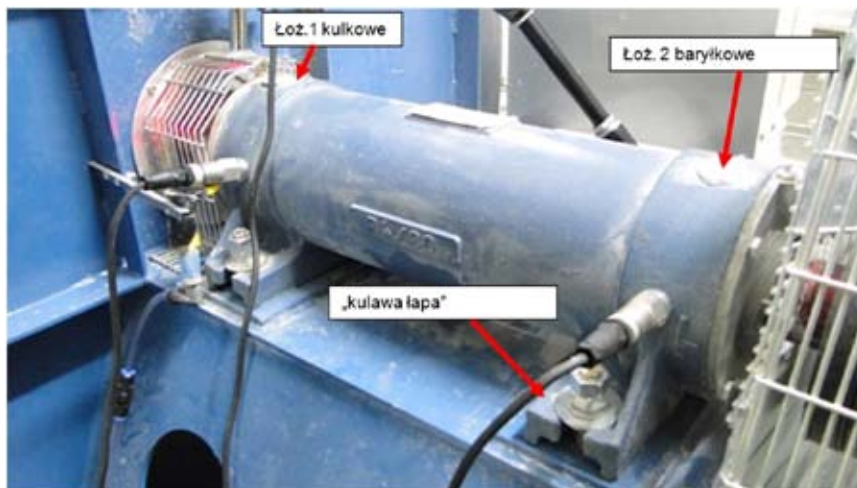
Drgania maszyny spowodowane statycznym niewyważeniem wirnika pojawiają się głównie w płaszczyźnie promieniowej, przy czym drgania obudów łożysk w kierunku poprzecznym są w fazie. W przypadku wirników przewieszonych (wirnik zamocowany na końcu wału poza łożyskowaniem) bardziej znaczące drgania mogą się pojawić w kierunku osiowym. Amplituda drgań jest stacjonarna. W widmie drgań wyraźnie dominuje składowa o częstotliwości obrotów wirnika. W przypadku ugięcia wału występują drgania promieniowe i osiowe, przy czym drgania promieniowe są w fazie, natomiast drgania osiowe są przeciw fazie.

### Luzy, odkształcenia mechaniczne i wadliwe mocowanie maszyny.

Luzy i odkształcenia mechaniczne możemy podzielić na luzy nie obciążające się elementów maszyny (podpory maszyny, płyty posadowcze itp.) i luzy obracających się elementów maszyny. Luzy są przyczyną wielu problemów drganiowych. Zbyt mały luz może spowodować wysoki poziom drgań maszyny. Nadmierne luzy w obsadzie łożysk towarzyszą często niewyważeniu i niewspółosiowości.



Rys. 1. Wirnik wentylatora z masą korygującą niewyważenie



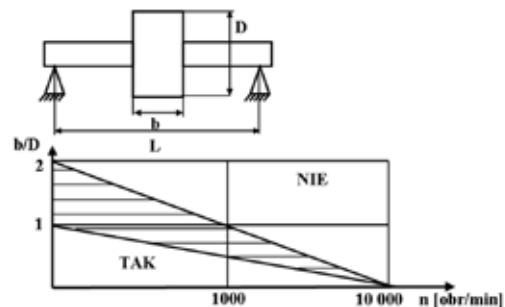
Rys. 2. Błędy posadowienia

ści. Odształcenia powodują drgania, wpływając pośrednio na niewspółosiowość, ocieranie wirnika i nierówne obciążenia łożysk.

Źle osadzona rama posadowcza pod maszyną, miękka łapa pod łapami silnika lub maszyny, źle wyregulowane wibroizolatory mogą być przyczyną występowania luzów posadowienia. Skutkiem tego mogą być podwyższone poziomy drgań.

### Charakterystyka składowych drgań

Luzy i odształcenia mechaniczne powodują drgania w płaszczyźnie promieniowej. Dla wirników przewieszonych luzy mogą spowodować wysoki poziom drgań osiowych. Amplituda drgań spowodowanych luzem elementów nie obracających się jest stała, a dla luzów elementów obracających się jest zmienna przy uruchamianiu i zatrzymywaniu.



Rys. 3. Zakres stosowania wyważania w jednej płaszczyźnie

W pierwszym przypadku w widmie drgań pojawiają się składowe o częstotliwościach  $1x$ ,  $2x$ ,  $3x$  częstotliwość obrotów wirnika, a w drugim wypadku składowa o częstotliwości  $1x$  częstotliwość obrotów i występują zmiany amplitudy i fazy spowodowane przesunięciem środka ciężkości. W obu przypadkach widmo drgań może mieć również małe amplitudy składowych o częstotliwościach do  $10x$  częstotliwość obrotów wirnika.

Przy problemach występujących w luzach posadowienia może dominować w widmie składowa  $1x$  częstotliwość obrotów wirnika, której występowanie często błędnie może być przypisywane w tym przypadku niewyważeniu wirnika.

### Wyważanie wirników.

Wyważanie jest to procedura, podczas której sprawdzany jest rozkład masy wirnika i, jeśli to konieczne, korygowany w sposób zapewniający utrzymanie we właściwych granicach niewyważenia

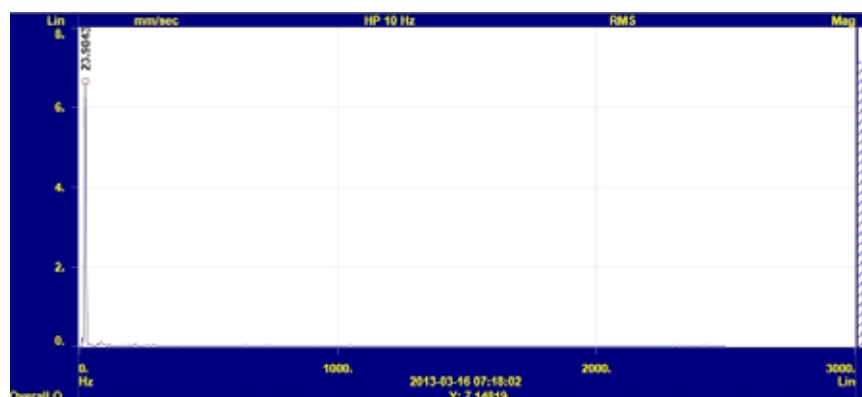
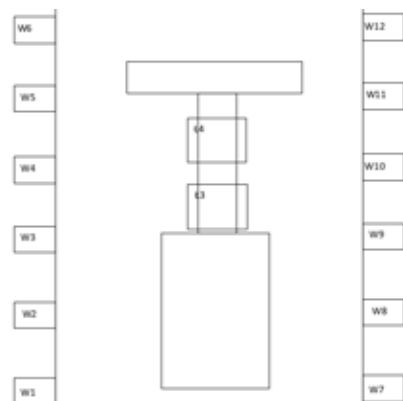
Tabela 1. Sumaryczny pomiar drgań przed korekcją posadowienia i wyważaniem wirnika:

| Pomiar prędkości drgań   | łoż. 3 | łoż. 4 |
|--------------------------|--------|--------|
| $V_{rms}$ Poziomo [mm/s] | 6,2    | 7,4    |
| $V_{rms}$ Pionowo [mm/s] | 8,1    | 7,9    |
| $V_{rms}$ Osiowo [mm/s]  | 1,3    | 3,4    |



Rys. 4. Zespół wentylatora objęty badaniem

Rys. 5. Zespół wentylatora objęty badaniem. Ł3, Ł4 łożyska wentylatora; W1-W12-wibroizolatory



Rys. 6. Widmo prędkości drgań przed korekcją posadowienia

resztkowego lub drgań czopów oraz sił dynamicznych działających na łożyska przy prędkości roboczej. Inaczej mówiąc, wyważanie oznacza takie polepszenie rozkładu mas na wirniku, aby siły działające na wirnik nie przekroczyły dopuszczalnych granic. Obecnie wirniki większości maszyn wyważa się bez ich demontażu w łożyskach własnych za pomocą przenośnych przyrządów pomiarowych.

Jeżeli wirnik ma małą szerokość w stosunku do swojej średnicy (kształt zbliżony do tarczy), to wyważanie można przeprowadzić w jednej płaszczyźnie. Typowymi wirnikami, dla których wystarczające jest wyważenie jednopłaszczyznowe, są tarcze szlifierskie, dmuchawy, koła tarczowe i zębate itp.

Rysunek 3. przedstawia zakres stosowania wyważania jednopłaszczyznowego.

Szerokie wirniki, typu walcowatego, muszą być wyważane w dwóch płaszczyznach. Do wyrównania niewyważenia w tym wypadku należy, jeśli to możliwe, wybrać obie końcowe płaszczyzny wirnika, a do określenia mas korekcyjnych należy dokonać pomiaru drgań niewyważenia w obu płaszczyznach łożysk. Typowymi wirnikami wymagającymi dwupłaszczyznowego wyważania są walce, wirniki silników elektrycznych i prądnic, wrzeciona maszynowe itp.

## Procedura wyważania jednopłaszczyznowego:

### 1. Bieg w stanie wyjściowym

Rejestracja składowej obrotowej drgań wraz z jej kątem fazowym.

### 2. Bieg testowy

Po zainstalowaniu masy testowej wykonujemy pomiar j.w.

### 3. Wyważenie

Mocowanie masy korekcyjnej na wirniku o wielkości i kącie wskazanym przez przyrząd.

Tabela 2. Sumaryczne poziomy prędkości drgań w kierunku pionowym na łożyskowaniu zespołu oraz na wibroizolatorach przed ich regulacją:

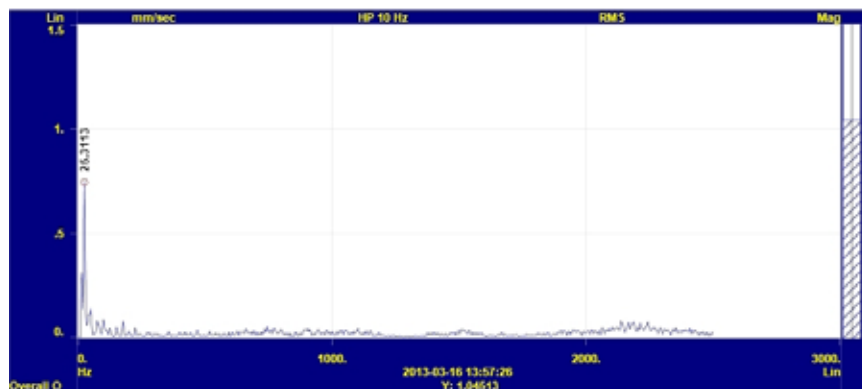
| PUNKT                    | Ł3  | Ł4  | W1  | W2  | W3  | W4  | W5  | W6  | W7  | W8  | W9  | W10 | W11 | W12  |
|--------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| $V_{RMS}$ [mm/s]<br>pion | 8,1 | 7,9 | 8,4 | 7,8 | 6,2 | 5,5 | 4,1 | 4,6 | 9,2 | 9,5 | 8,6 | 9,9 | 9,6 | 10,2 |

Tabela 3. Sumaryczne poziomy prędkości drgań w kierunku pionowym na łożyskowaniu zespołu po regulacji wibroizolatorów:

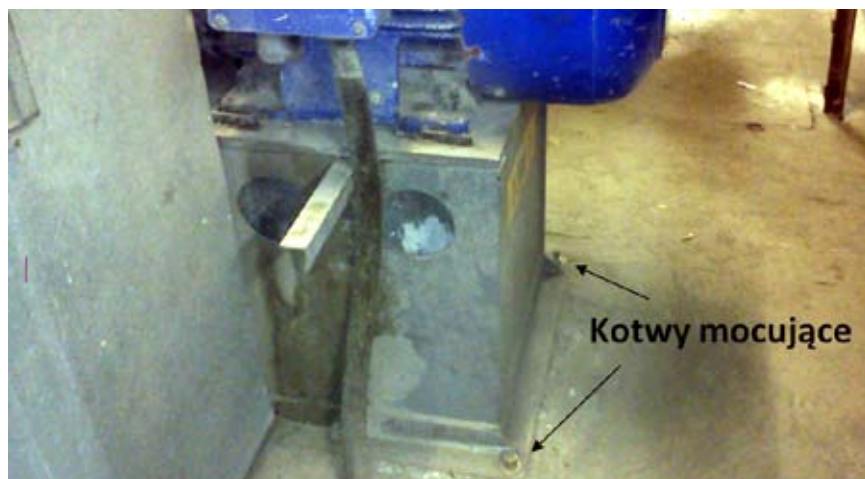
| PUNKT                    | Ł3  | Ł4  | W1  | W2  | W3  | W4  | W5  | W6  | W7  | W8  | W9  | W10 | W11 | W12 |
|--------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| $V_{RMS}$ [mm/s]<br>pion | 2,3 | 1,4 | 2,2 | 1,7 | 1,8 | 1,9 | 1,9 | 1,9 | 1,5 | 1,7 | 1,9 | 2,1 | 2,1 | 1,9 |



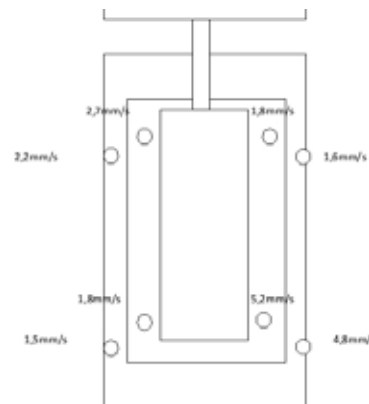
Rys. 7. Wirnik wentylatora z masą korygującą niewyważenie



Rys. 8. Widmo prędkości drgań po korekcji posadowienia i wyważeniu wirnika



Rys. 9. Zespół wentylatora objęty badaniem



Rys. 10. Sumaryczne poziome prędkości drgań w kierunku pionowym przed korekcją posadowienia na łapach silnika oraz kotwach mocujących ramę posadowczą



#### 4. Bieg kontrolny

Rejestracja wyników pomiarowych.

#### Korekcja posadowienia przed wyważeniem wirnika.

Błędy posadowienia mogą być przyczyną podwyższonych poziomów drgań. Częstotliwość generowana z tego powodu może być identyczna jak częstotliwość generowana przez niewyważenie wirnika. Skutkiem tego mogą być nadmierne trudności występujące przy wyważaniu wirnika, takie jak niestabilność amplitudy drgań oraz zmiany kąta fazowego.

Poniżej przedstawiono dwa przykłady poprawy wpływu posadowienia przed wyważeniem wirnika.

Przykład I. Wentylator posadowiony na ramie posadowczej z wibroizolatorami.

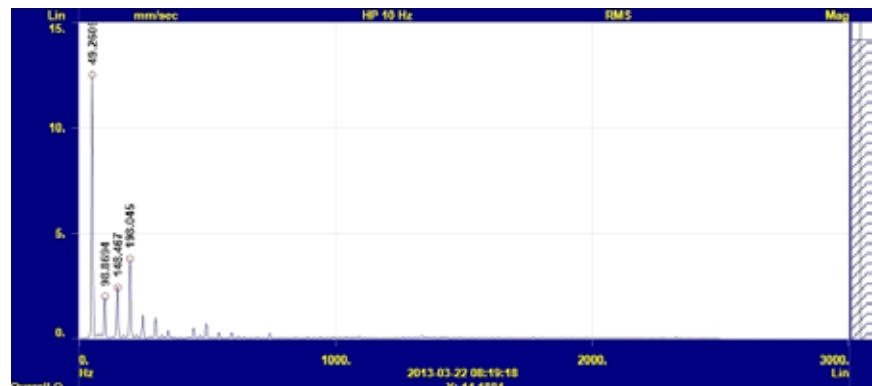
Po analizie drgań stwierdzono, iż przyczyną podwyższonego poziomu prędkości drgań są błędy posadowienia. A składowa prędkości drgań w widmie generowana przez błędy posadowienia pokrywa się ze składową od niewyważenia wirnika (obrotowa wirnika  $f_{obr} = 23,9 \text{ Hz}$ ).

Tabela 4. Sumaryczny pomiar drgań po korekcji posadowienia i po wyważeniu wirnika:

| Pomiar prędkości drgań   | łoż. 3 | łoż. 4 |
|--------------------------|--------|--------|
| $V_{rms}$ Poziomo [mm/s] | 1,3    | 1,0    |
| $V_{rms}$ Pionowo [mm/s] | 1,7    | 1,1    |
| $V_{rms}$ Osiowo [mm/s]  | 0,9    | 1,1    |

Tabela 5. Sumaryczne poziomy prędkości drgań w kierunku pionowym przed korekcją posadowienia:

| Pomiar prędkości drgań   | łoż. wew. sil. | łoż. 4 |
|--------------------------|----------------|--------|
| $V_{rms}$ Poziomo [mm/s] | 14,4           | 1,0    |
| $V_{rms}$ Pionowo [mm/s] | 6,1            | 1,1    |
| $V_{rms}$ Osiowo [mm/s]  | 7,2            | 1,1    |



Rys. 11. Widmo prędkości drgań przed korekcją posadowienia

Przeprowadzono regulację na wibroizolatorach W10, W11, W12.

Porównując wyniki zawarte w tabeli 2. i tabeli 3., można zauważyć, że po regu-

lacji wibroizolatorów poziomy prędkości drgań znacznie obniżyły się. Pozwoliło to na prawidłowe wyważenie wirnika. Wyniki końcowe prędkości drgań zawarto w tabeli 4.

**REKLAMA**



- **POMOC DORAŻNA**
- **WDROŻENIA**
- **SZKOLENIA**
- **APLIKACJE DEDYKOWANE**
- **SPRZĘT**
- **OUTSOURCING**

Diagnostic Solution to kompleksowe podejście do wdrożenia diagnostyki w każdym przedsiębiorstwie - od wyboru sprzętu pomiarowego, wdrożenia, poprzez pomoc doraźną, szkolenia aż po outsourcing usług i tworzenie aplikacji dedykowanych.

**Stworzymy rozwiązania dopasowane do Twoich potrzeb**

*dowiedz się więcej na*  
**diagnosticsolution.com.pl**

**db**® **PRÜFTECHNIK**  
**WIBREM**  
**www.pruftechnik.com.pl**

Tabela 6. Sumaryczny pomiar drgań po korekcyi posadowienia i po wyważeniu wirnika:

| Pomiar prędkości drgań | łoż. wew. sil. |
|------------------------|----------------|
| Vrms Poziomo [mm/s]    | 1,9            |
| Vrms Pionowo [mm/s]    | 1,1            |
| Vrms Osioło [mm/s]     | 1,1            |

## Wyważanie wirnika wentylatora

Pomiary przeprowadzono na utożyskowaniu 4. wentylatora (od strony wirnika) w kierunku poziomym przy 1200 obr./min (80% obciążenia).

### Bieg kontrolny przed wyważaniem wirnika:

Składowa od niewyważenia

$$V_{1obr\ rms} = 3,16\text{ mm/s}; 300^\circ$$

Masa korekcyjna

$$MK1 = 15\text{ g}$$

### Bieg kontrolny po wyważeniu wirnika:

Składowa od niewyważenia

$$V_{1obr\ rms} = 0,86\text{ mm/s}; 330^\circ$$

Również i w tym przypadku zauważono, że składowa prędkości drgań w widmie generowana przez błędy posadowienia pokrywa się ze składową od niewyważenia wirnika (obrotowa wirnika).

Stwierdzono, iż kotwa mocująca (wartość drgań 4,8 mm/s) jest luźna. Aby uniknąć mocowania, w pobliżu tego miejsca dopasowano dodatkową stopę mocującą. Po tej operacji poziomy prędkości drgań znacznie obniżyły się. Pozwoliło to na prawidłowe wyważenie wirnika. Wyniki końcowe prędkości drgań zawarto na rysunku 13. oraz w tabeli 6.

## Wyważanie wirnika wentylatora

Pomiary przeprowadzono na utożyskowaniu 4. wentylatora (od strony wirnika) w kierunku poziomym przy 1200 obr./min (80% obciążenia).

### Bieg kontrolny przed wyważaniem wirnika:

Składowa od niewyważenia



Rys. 12. Zespół wentylatora objęty badaniem po wzmocnieniu posadowienia

Składowa od niewyważenia

$$V_{1obr\ rms} = 7,8\text{ mm/s}; 260^\circ$$

Masa korekcyjna

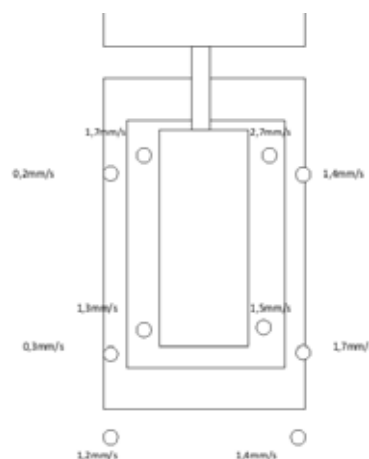
$$MK1 = 32\text{ g}$$

### Bieg kontrolny po wyważeniu wirnika:

Składowa od niewyważenia

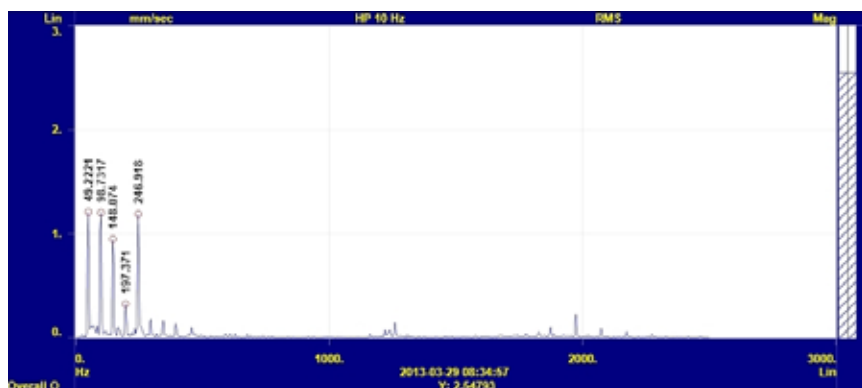
$$V_{1obr\ rms} = 1,3\text{ mm/s}; 167^\circ$$

W powyższych przykładach opisano operacje wyważania wirników po poprawie błędnego posadowienia maszyn. Wpływ błędów posadowienia powodował, iż składowa drgań od niewyważenia była zakłócana składową drgań generowaną przez te błędy. Dopiero poprawa posadowienia zniwelowała „zakłócenia” sygnału drganiowego i umożliwiła prawidłowe wyważenie wirnika. Należy zwrócić uwagę, iż niektóre sposoby poprawy posadowienia mogą być sposobami doraźnymi, umożliwiającymi jedynie poprawne wyważenie wirników. Prawidłowa poprawa posadowienia może wymagać poważnych zmian konstrukcyjnych.



Rys. 13. Sumaryczne poziomy prędkości drgań w kierunku pionowym po korekcyi posadowienia na łapach silnika oraz kotwach mocujących ramę posadowczą

**Poprawa posadowienia zniwelowała „zakłócenia” sygnału drganiowego i umożliwiła prawidłowe wyważenie wirnika.**



Rys. 14. Widmo prędkości drgań po korekcyi posadowienia i wyważeniu wirnika