

Rafał SROKA

## OKREŚLENIE WPLYWU WYŁĄCZANIA CYLINDRÓW SILNIKA ZI NA ZMIANY SYGNAŁU WIBROAKUSTYCZNEGO SILNIKA

**Streszczenie.** W artykule przedstawiono wyniki badań stanowiskowych silnika ZI samochodu Fiat Panda o pojemności skokowej 1,1 [dm<sup>3</sup>]. Celem tych badań była ocena wpływu wyłączenia cylindra na zmiany sygnału wibroakustycznego silnika.

## INFLUENCE OF CYLINDER CUTOFF ON ENGINE VIBROACOUSTICS SIGNAL

**Summary.** The results of investigations of Fiat Panda SI engine with 1100 [ccm] are presented in this paper. Research goal was estimate of cylinder cutoff influence on engine vibroacoustics signal.

### 1. WPROWADZENIE

Anomalie procesu spalania spowodowane wypadaniem zapłonu lub jego całkowitym brakiem w jednym lub kilku z cylindrów są przyczyną utraty mocy oraz wzrostu emisji szkodliwych produktów spalania. Stosowane obecnie metody wykrywania tych uszkodzeń wykorzystują zmiany takich wielkości, jak:

- prędkość obrotowa silnika,
- moment obrotowy na wale korbowym silnika,
- sygnał wibroakustyczny silnika.

### 2. BADANIA STANOWISKOWE

#### *Cel badań i obiekt badań*

Celem badań było określenie wpływu wyłączenia cylindrów silnika ZI na zmiany sygnału wibroakustycznego silnika.

Obiektem badań był czterocylindrowy silnik pojazdu marki Fiat Panda o pojemności 1,1 [dm<sup>3</sup>] z zapłonem iskrowym, przystosowany do alternatywnego zasilania paliwem gazowym.

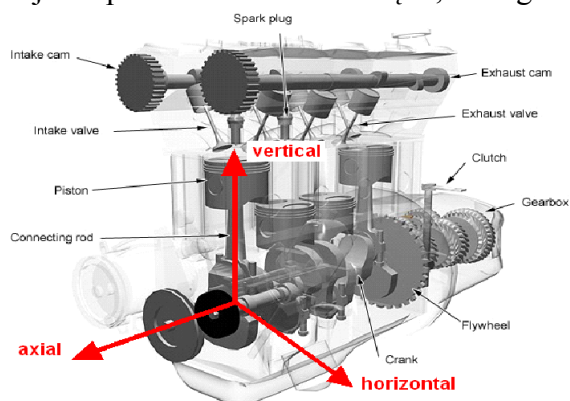
### Metodyka badań

Badaniu poddano silnik zabudowany w pojeździe. W trakcie badań, za pomocą komputera PC wyposażonego w kartę akwizycji danych NI-DAQ PCI 6143, rejestrowano następujące parametry pracy silnika:

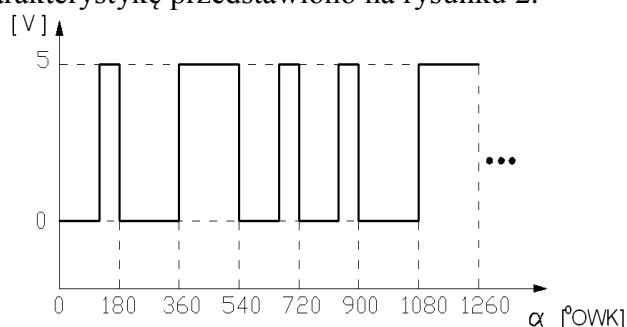
- położenie kątowe wałka rozrządu silnika,
- przyspieszenia drgań korpusu silnika:
  - a) 1. cylinder w kierunku pionowym –  $a_{V1}$ ,
  - b) 4. cylinder w kierunku pionowym –  $a_{V4}$ ,
  - c) 4. cylinder w kierunku poziomym –  $a_{H4}$ .

Przyjęty układ odniesienia kierunków pomiaru w stosunku do konstrukcji silnika przedstawiono na rysunku 1.

Położenie kątowe wału korbowego silnika  $\alpha$  było wyznaczane na podstawie sygnału czujnika położenia wałka rozrządu, którego charakterystykę przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 1. Kierunki pomiaru  
Fig. 1. Measurement directions

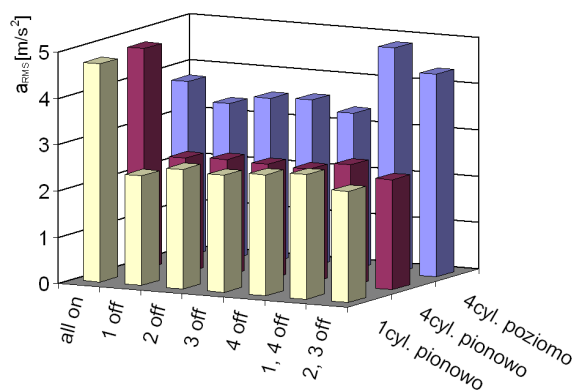


Rys. 2. Sygnał elektryczny znacznika położenia wałka rozrządu – Fiat Panda 1,1 [dm<sup>3</sup>]  
Fig. 2. Signal of camshaft sensor – Fiat Panda 1,1 [dm<sup>3</sup>]

Badania wykonano przy prędkości biegu jałowego ( $n \cong 750$  [min<sup>-1</sup>]) zgodnie z planem badań zamieszczonym w tablicy 1 i przy zasilaniu paliwem gazowym. Częstotliwość próbkowania podczas badań była równa  $f_p = 50$  [kHz].

Tablica 1

Test	Numer cylindra				n [min <sup>-1</sup> ]
	1	2	3	4	
1	ON	ON	ON	ON	~750 bieg jałowy
2	OFF	ON	ON	ON	
3	ON	OFF	ON	ON	
4	ON	ON	OFF	ON	
5	ON	ON	ON	OFF	
6	OFF	ON	ON	OFF	
7	ON	OFF	OFF	ON	

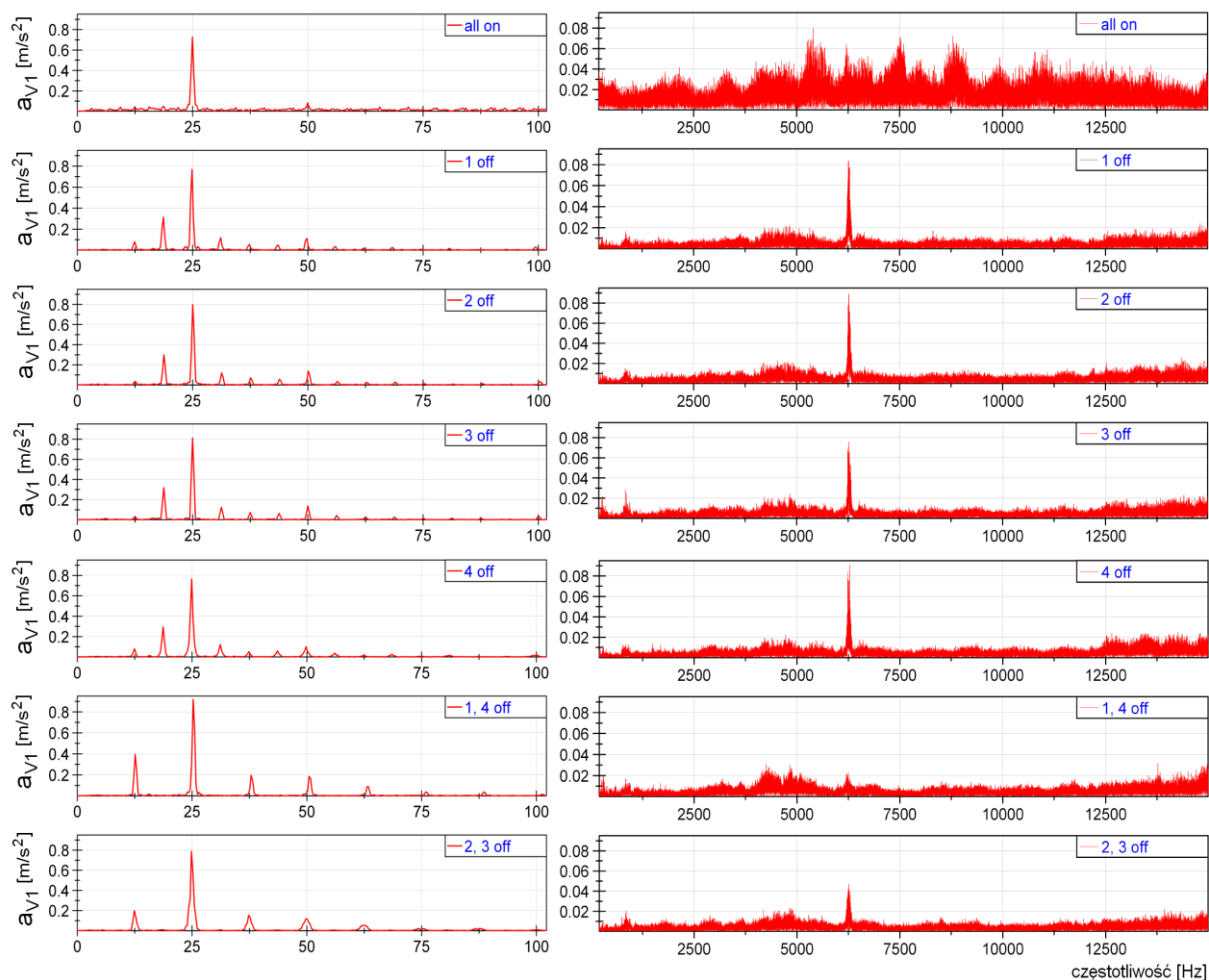


Rys. 3. Wartość skuteczna przyspieszeń drgań – 20 cykli roboczych  
Fig. 3. RMS for twenty engine cycles

### Wyniki badań

Dla kolejno zarejestrowanych 20 cykli roboczych silnika wyznaczono wartość skuteczną przyspieszeń drgań (rys. 3) oraz ich widma częstotliwościowe (rys. 4, 5, 7). Uzyskane wartości amplitud wybranych częstotliwości widma, które odpowiadają harmonicznym prędkości obrotowej silnika  $f_0$  zestawiono w tablicach 2, 3, 4.

Wybrane przebiegi zmian chwilowej wartości skutecznej przyspieszeń drgań uzyskane przy zastosowaniu okna czasowego o szerokości odpowiadającej przedziałowi kątowemu około  $60^\circ$  przedstawiono na rysunkach 6,8,9,10.



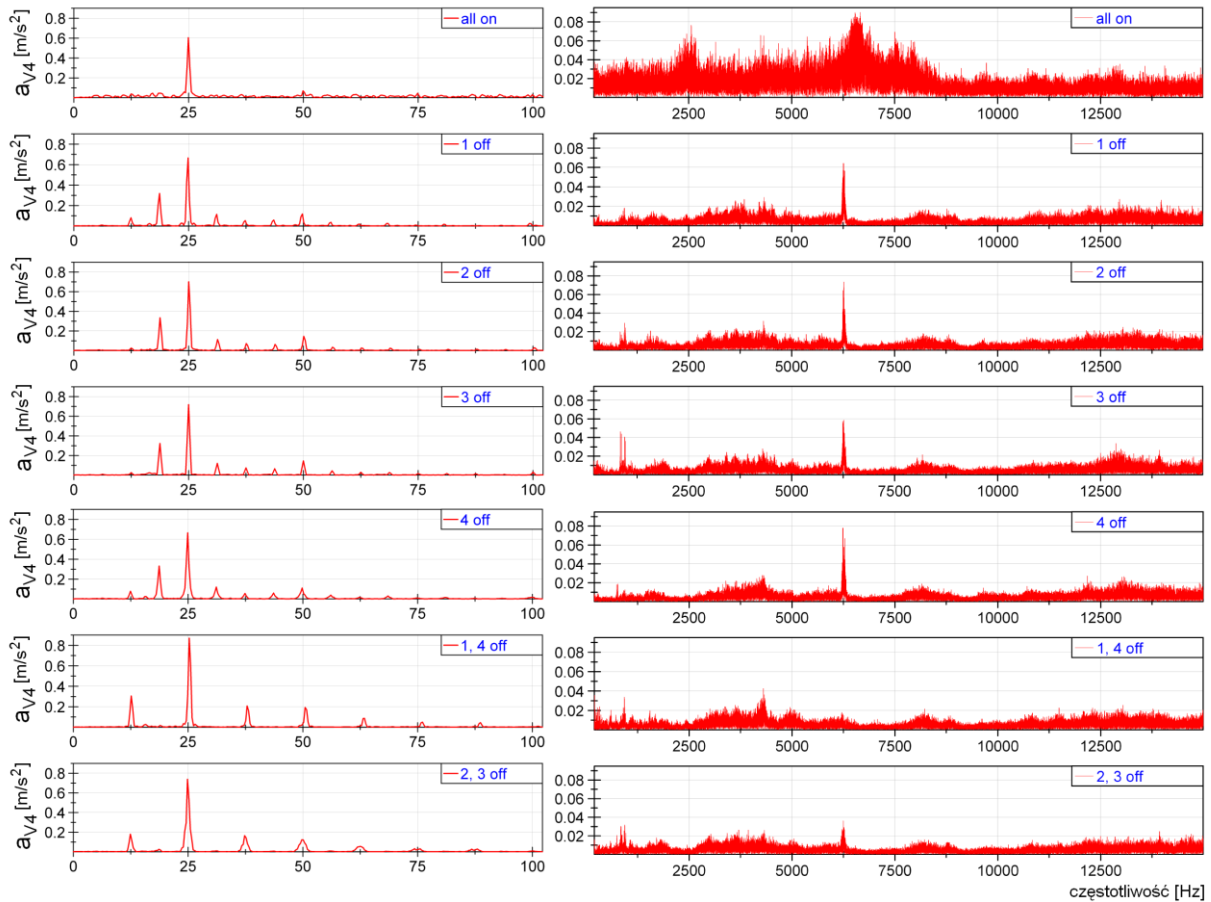
Rys. 4. Widmo częstotliwościowe przyspieszeń drgań – 1cyl. pionowo

Fig. 4. Frequency spectrum of the vibration acceleration – 1cyl. vertical

Tablica 2

Wartości amplitud wybranych częstotliwości – 1 cylinder pionowo

1cyl. pionowo	Częstotliwość [Hz] / Amplituda [ $m/s^2$ ]							
	$0,5f_0$	$f_0$	$1,5f_0$	$2f_0$	$2,5f_0$	$3f_0$	$3,5f_0$	$4f_0$
	$\sim 6,25$	$\sim 12,5$	$\sim 18,75$	$\sim 25$	$\sim 31,25$	$\sim 37,5$	$\sim 43,75$	$\sim 50$
all on	0,003	0,045	0,049	0,726	0,023	0,010	0,016	0,083
1 off	<b>0,006</b>	0,081	<b>0,315</b>	0,769	<b>0,119</b>	0,054	<b>0,049</b>	0,112
2 off	<b>0,008</b>	0,037	<b>0,299</b>	0,798	<b>0,119</b>	0,071	<b>0,056</b>	0,140
3 off	<b>0,014</b>	0,034	<b>0,320</b>	0,812	<b>0,124</b>	0,073	<b>0,064</b>	0,138
4 off	<b>0,006</b>	0,082	<b>0,296</b>	0,764	<b>0,122</b>	0,054	<b>0,060</b>	0,103
1, 4 off	0,004	<b>0,394</b>	0,005	0,916	0,005	<b>0,196</b>	0,003	0,185
2, 3 off	0,001	<b>0,199</b>	0,010	0,789	0,008	<b>0,154</b>	0,005	0,117

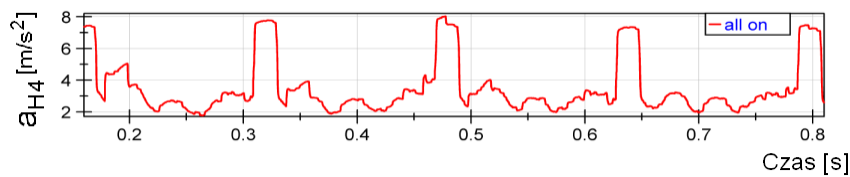


Rys. 5. Widmo częstotliwościowe przyspieszeń drgań – 4cyl. pionowo  
 Fig. 5. Frequency spectrum of the vibration acceleration – 4cyl. Vertical

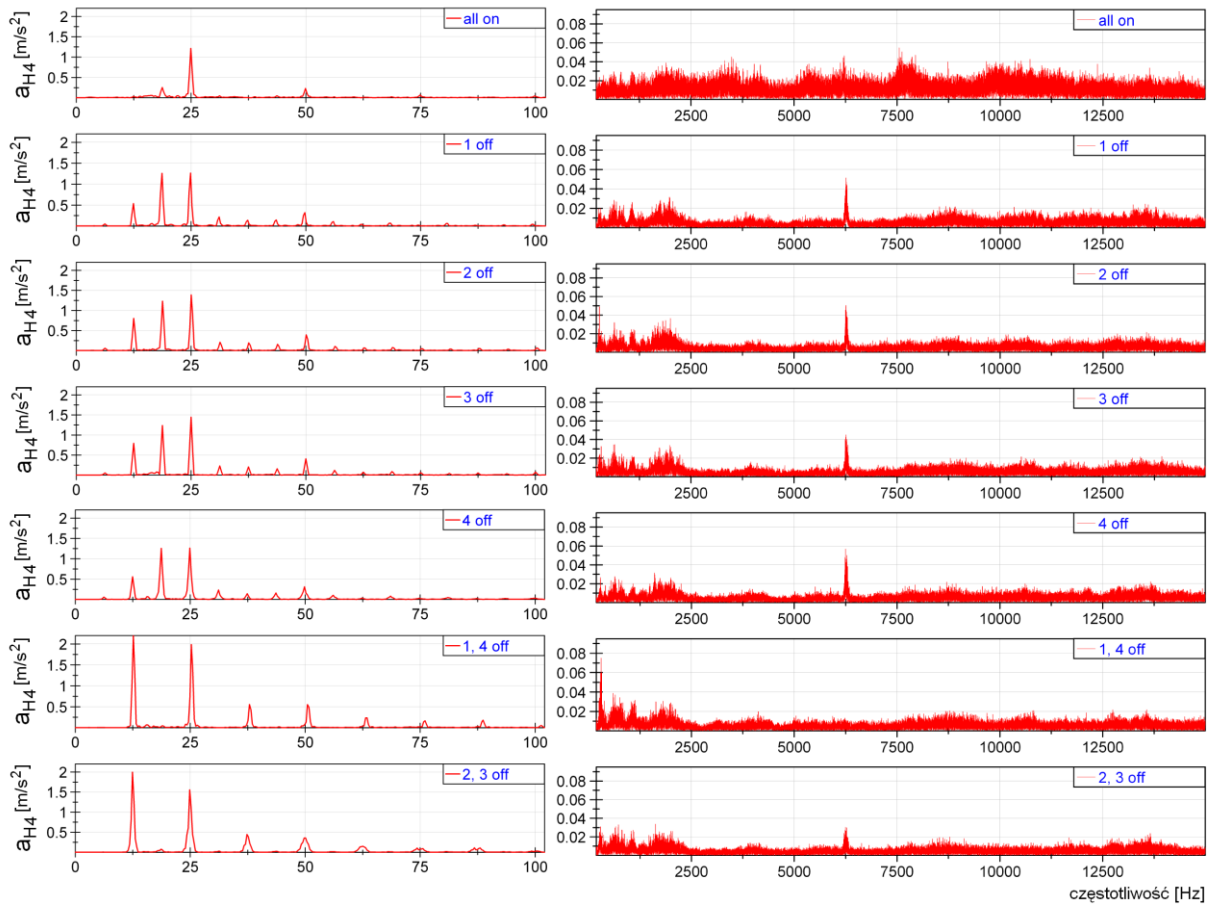
Tablica 3

Wartości amplitud wybranych częstotliwości – 4 cylinder pionowo

4cyl. pionowo	Częstotliwość [Hz] / Amplituda [m/s <sup>2</sup> ]							
	0,5f <sub>0</sub>	f <sub>0</sub>	1,5f <sub>0</sub>	2f <sub>0</sub>	2,5f <sub>0</sub>	3f <sub>0</sub>	3,5f <sub>0</sub>	4f <sub>0</sub>
	~6,25	~12,5	~18,75	~25	~31,25	~37,5	~43,75	~50
all on	0,004	0,039	0,045	0,605	0,024	0,011	0,013	0,071
1 off	<b>0,008</b>	0,081	<b>0,319</b>	0,665	<b>0,115</b>	0,037	<b>0,059</b>	0,118
2 off	<b>0,006</b>	0,026	<b>0,335</b>	0,701	<b>0,113</b>	0,072	<b>0,063</b>	0,147
3 off	<b>0,009</b>	0,014	<b>0,324</b>	0,720	<b>0,121</b>	0,075	<b>0,066</b>	0,146
4 off	<b>0,008</b>	0,079	<b>0,331</b>	0,665	<b>0,120</b>	0,056	<b>0,060</b>	0,111
1, 4 off	0,005	<b>0,305</b>	0,018	0,871	0,004	<b>0,208</b>	0,003	0,193
2, 3 off	0,003	<b>0,179</b>	0,026	0,739	0,009	<b>0,164</b>	0,007	0,122



Rys. 6. Chwilowa wartość skuteczna przyspieszeń drgań – okno ~60°, test 1  
 Fig. 6. Instantaneous RMS of the vibration acceleration for angle window 60°, test 1



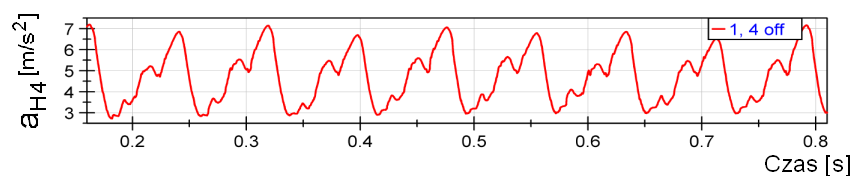
Rys. 7. Widmo częstotliwościowe przyspieszeń drgań – 4cyl. poziomo

Fig. 7. Frequency spectrum of the vibration acceleration – 4cyl. horizontal

Tablica 4

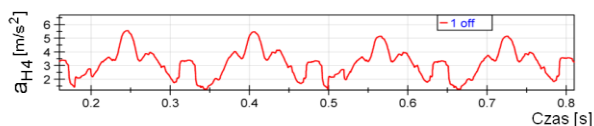
Wartości amplitud wybranych częstotliwości – 4 cylinder poziomo

4cyl. poziomo	Częstotliwość [Hz] / Amplituda [m/s <sup>2</sup> ]							
	0,5f <sub>0</sub>	f <sub>0</sub>	1,5f <sub>0</sub>	2f <sub>0</sub>	2,5f <sub>0</sub>	3f <sub>0</sub>	3,5f <sub>0</sub>	4f <sub>0</sub>
	~6,25	~12,5	~18,75	~25	~31,25	~37,5	~43,75	~50
all on	0,005	0,034	0,254	1,210	0,051	0,008	0,051	0,230
1 off	<b>0,050</b>	0,539	<b>1,260</b>	1,270	<b>0,219</b>	0,140	<b>0,145</b>	0,320
2 off	<b>0,062</b>	0,804	<b>1,230</b>	1,390	<b>0,210</b>	0,195	<b>0,159</b>	0,393
3 off	<b>0,056</b>	0,795	<b>1,240</b>	1,450	<b>0,232</b>	0,205	<b>0,162</b>	0,410
4 off	<b>0,058</b>	0,560	<b>1,260</b>	1,260	<b>0,233</b>	0,145	<b>0,162</b>	0,311
1, 4 off	0,006	<b>2,200</b>	0,049	1,990	0,004	<b>0,556</b>	0,022	0,535
2, 3 off	0,004	<b>2,000</b>	0,080	1,560	0,028	<b>0,446</b>	0,027	0,018

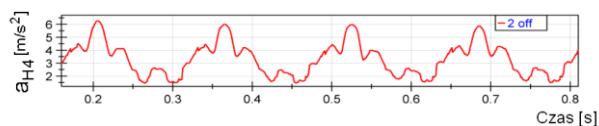


Rys. 8. Chwilowa wartość skuteczna przyspieszeń drgań – okno ~60°, test 6

Fig. 8. Instantaneous RMS of the vibration acceleration for angle window 60°, test 6



Rys. 9. Chwilowa wartość skuteczna przyspieszeń drgań – okno  $\sim 60^\circ$ , test 2  
 Fig. 9. Instantaneous RMS of the vibration acceleration for angle window  $60^\circ$ , test 2



Rys. 10. Chwilowa wartość skuteczna przyspieszeń drgań – okno  $\sim 60^\circ$ , test 3  
 Fig. 10. Instantaneous RMS of the vibration acceleration for angle window  $60^\circ$ , test 3

### 3. WNIOSKI

Przeprowadzone badania wykazały, że wyłączenie z pracy jednego lub pary cylindrów ma istotny wpływ na zmiany sygnału wibroakustycznego silnika.

W przypadku czujników mierzących przyspieszenia drgań w kierunku pionowym wartości skuteczne przyspieszeń drgań wyznaczone dla kolejnych 20 cykli roboczych silnika są do siebie zbliżone we wszystkich badanych przypadkach. Wyłączenie jednego lub pary cylindrów powoduje, że maleją one o około połowę w stosunku do wartości uzyskanej przy prawidłowej pracy silnika. Dla czujnika mierzącego przyspieszenia drgań w kierunku poziomym obserwujemy wartości zbliżone do wartości skutecznej przyspieszeń drgań dla silnika pracującego bez zakłóceń oraz z wyłączonym 1 cylindrem i około 30% wzrost wartości w przypadku wyłączenia 2 cylindrów.

Wyłączenie jednego z cylindrów powoduje zmniejszenie wartości amplitud przyspieszeń drgań w obu kierunkach dla wszystkich częstotliwości z przedziału od 2,5 do 15 [kHz] z wyjątkiem częstotliwości około 6,25 [kHz], co uwidocznione jest charakterystycznym wzrostem amplitudy w widmie badanego sygnału. Wzrost ten pojawia się również w przypadku, gdy wyłączone są równocześnie cylindry 2 i 3, ale jego wartość jest o około połowę niższa od wartości otrzymanej przy wyłączeniu tylko jednego z 4 cylindrów.

W obszarze niskich częstotliwości zaobserwowano, że wyłączenie jednego z 4 cylindrów powoduje wzrost amplitud przyspieszeń drgań dla częstotliwości odpowiadającej 1,5 i 2,5 prędkości obrotowej silnika  $f_0$ , natomiast wyłączenie pary cylindrów powoduje wzrost amplitudy dla częstotliwości odpowiadającej prędkości obrotowej silnika.

Przebiegi chwilowej wartości skutecznej przyspieszeń drgań w przypadku wyłączenia jednego z 4 cylindrów są do siebie bardzo zbliżone i różnią się od siebie jedynie przesunięciem fazowym. Przesunięcie to jest zależne od tego, który z cylindrów został wyłączony. Podobna relacja jest również charakterystyczna dla przypadku wyłączenia pary cylindrów.

Wydaje się konieczne kontynuowanie badań w celu opracowania algorytmu automatycznej detekcji uszkodzenia.

Możliwa jest ocena przebiegu procesu spalania w zakresie wypadania zapłonów oraz wyłączania z pracy kolejnych cylindrów poprzez wykorzystanie sygnałów wytwarzanych przez urządzenia zabudowane fabrycznie przez producenta.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Zbigniew Dąbrowski