

## WPŁYW ZAKŁÓCEŃ RESAMPLINGU NA JAKOŚĆ PROCESU OPTIMALIZACJI WIDMOWEJ ROZDZIELCZOŚCI SYGNAŁÓW W AKUSTYCZNEJ DIAGNOSTYCE SAMOCHODOWYCH SILNIKÓW SPALINOWYCH

*W artykule omówiony został wpływ błędów wprowadzanych do sygnałów akustycznych w diagnostyce silników samochodowych podczas zmiany częstotliwości próbkowania, w procesie optymalizacji widma. Proces ten ma na celu uzyskanie dokładnego obrazu spektrum sygnału, który w dalszej kolejności może służyć do oceny przebiegu spalania mieszanki paliwowej, zużycia elementów silnika, wykrywania uszkodzeń itp. Klasyczna metoda analizy częstotliwościowej stosowana w diagnostyce, ze względu na naturalne rozmycie widma występujące dla sygnałów o skończonej długości, może prowadzić do nieprawidłowych wniosków odnośnie jakości badanych podzespołów. Jednak, dla niektórych sygnałów, odpowiednie dopasowanie rozdzielczości spektralnej do zawartych w sygnale częstotliwości, pozwala na uzyskanie praktycznie niezakłóconego widma. W takich warunkach obecne częstotliwości, z dużym prawdopodobieństwem, można interpretować jako efekt nieprawidłowości występującej w badanym obiekcie.*

### WSTĘP

Akustyczna metoda oceny jakości w diagnostyce silników samochodowych, najczęściej oparta jest na analizie widma zarejestrowanego cyfrowo dźwięku emitowanego przez badany element [1, s. 686]. W stanie ustalonym, w przypadku prawidłowego działania badanego obiektu, sygnał taki może zawierać tylko częstotliwość podstawową oraz harmoniczne. Występowanie dodatkowych częstotliwości oznacza wtedy wykrycie nieprawidłowości. Jednak spektrum, wyznaczone z użyciem dyskretnej transformaty Fouriera (DFT) z sygnału o skończonej długości, zawiera zniekształcenia [2, s. 99], które mogą uniemożliwić prawidłową interpretację wyniku. Klasyycznym rozwiązaniem tego problemu jest stosowanie odpowiednich okien czasowych, które redukują wspomniany efekt. Jednak wykorzystując szczególną strukturę widma (dominująca częstotliwość główna oraz jej harmoniczne), można dopasować rozdzielczość spektralną sygnału, wyrażoną wzorem [3, s. 72]:

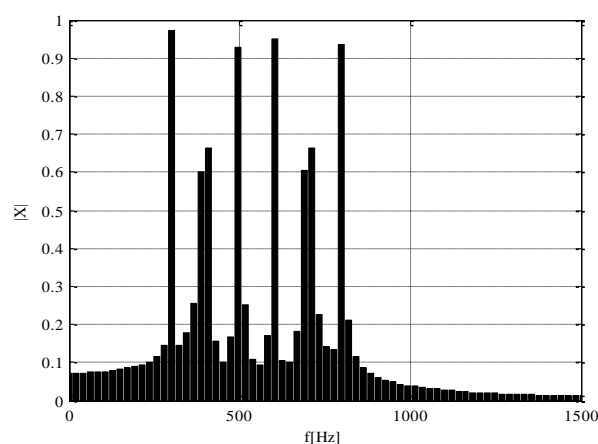
$$\Delta f = \frac{f_s}{N} \quad (1)$$

gdzie  $f_s$  - częstotliwość próbkowania,  $N$  - liczba próbek sygnału, niezbędna do uzyskania prawidłowego obrazu widma.

Ponieważ większość algorytmów oceny jakości bazuje na metodzie FFT (szybka transformata Fouriera), stąd analizowane sygnały muszą mieć długość  $2M$  próbek, gdzie  $M$  jest liczbą naturalną. Dopasowanie rozdzielczości widmowej może być, w takich wypadkach, realizowane tylko za pomocą przepróbkowania sygnału.

W celach testowych został zdefiniowany sygnał cyfrowy o długości 2048 próbek,  $f_s = 44.1\text{kHz}$ , będący superpozycją sinusoid o

amplitudzie 1 i zerowym przesunięciu fazowym, oraz częstotliwościach 300Hz, 400Hz... 800Hz. Rysunek 1 przedstawia widmo tego sygnału, wyznaczone bezpośrednio za pomocą FFT.

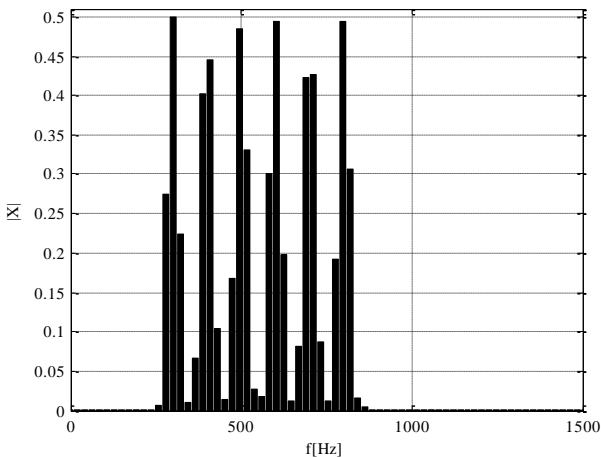


**Rys. 1.** Widmo sygnału testowego wyznaczone bez optymalizacji

Jak można zaobserwować na rysunku 1, spektrum testowe zawiera dużą liczbę obcych częstotliwości, a te które faktycznie istnieją, mają zaburzoną amplitudę zarówno w ujęciu bezwzględnym, jak i w relacji do siebie.

Aby poprawić jakość widma, zastosowano okno czasowe Hanninga (rysunek 2), dane wzorem [4, s. 81]:

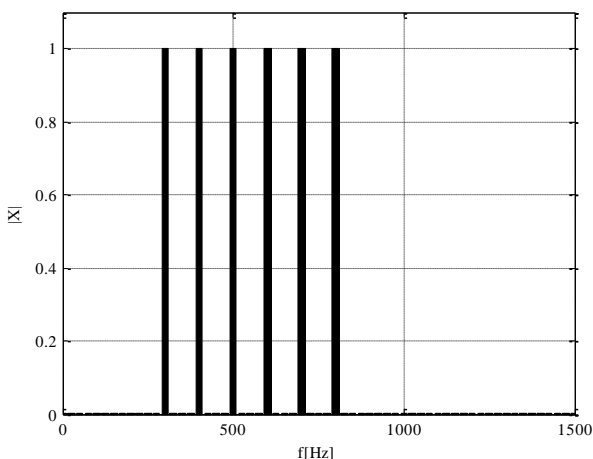
$$w(n) = \frac{1}{2} \left( 1 - \cos \left( \frac{2\pi n}{N-1} \right) \right) \quad (2)$$



**Rys. 2.** Widmo sygnału testowego z zastosowaniem okna Hanna

Po zastosowaniu okna, można zaobserwować eliminację dużej części obcych częstotliwości, jednak amplitudy tych istniejących, pozostają silnie zdegenerowane.

Aby dostosować rozdzielczość spektralną do harmonicznych zawartych w sygnale, jej wartość powinna być wielokrotnością 100Hz. Rysunek 3 przedstawia widmo ze zoptymalizowaną rozdzielczością częstotliwościową o wartości 25Hz, uzyskaną poprzez upsampling do  $f_s = 51.2\text{KHz}$ .



**Rys. 3.** Widmo sygnału testowego ze zoptymalizowaną rozdzielczością spektralną sygnału

Uzyskane widmo idealnie odzwierciedla realną strukturę spektrum. Gdyby w sygnale znalazły się inne częstotliwości, które w kontekście zastosowań diagnostycznych należałoby traktować jako efekt zaburzenia pracy badanego elementu, byłyby one obarczone błędem takim samym, jaki występuje dla niezoptymalizowanego FFT. Nie wpływa to jednak ujemnie na zdolność detekcji nieprawidłowości.

W zastosowaniach praktycznych ważne jest, aby rozdzielczość spektralna miała kilkakrotnie mniejszą wartość niż różnica częstotliwości poszczególnych prążków. Pozwala to na łatwe i jednoznaczne wykrycie zaburzeń widma.

## 1. ALGORYTMY RESAMPLINGU

### 1.1. Błędy resamplingu

W warunkach testowych, w opisanej powyżej metodzie optymalizacji widma, nie występują błędy resamplingu. Dzieje się tak

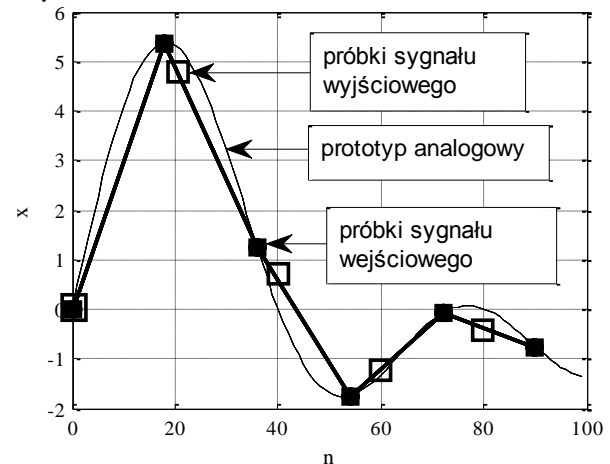
dlatego, że znany jest prototyp analogowy sygnału wejściowego, co pozwala na dokładne wyznaczenie pochodzących od niego sygnałów cyfrowych dla każdej częstotliwości próbkowania. W praktyce błędy resamplingu ujemnie wpływają na jakość widma. Ich wartość zależy nie tylko od samego algorytmu realizującego przepróbkowanie, ale także od struktury sygnału.

### 1.2. Rodzaje algorytmów resamplingu

Zmiana częstotliwości próbkowania może być realizowana w różny sposób; najbardziej popularne algorytmy działają w dziedzinie czasu, ale istnieją też metody operujące w dziedzinie częstotliwości.

#### Aproksymacja liniowa

Metoda polega na poszukiwaniu próbek sygnału wyjściowego na linii łączącej próbki wejściowe [5, s. 657] (rysunek 4). Jest to podejście bardzo proste w implementacji, szybkie, pozwalające na przetwarzanie sygnału w czasie rzeczywistym lecz jednocześnie niezbyt dokładne.



**Rys. 4.** Resampling sygnału metodą aproksymacji liniowej

#### Kaskada przetworników CA i AC

Metoda opiera się na zastosowaniu kaskadowego połączenia przetwornika analogowo-cyfrowego i cyfrowo-analogowego, pracującego z docelową częstotliwością próbkowania. Jest szczególnie łatwa w sprzętowej implementacji, jednocześnie bardzo niedokładna.

#### Resampling przez interpolację i decymację sygnału

Jest to obecnie najbardziej popularne podejście, cechujące się dużą dokładnością. Polega ono na zastosowaniu interpolacji ( $n$ -krotne zwiększenie liczby próbek), filtracji dolnoprzepustowej, decymacji ( $m$ -krotnym zmniejszeniu liczby próbek) i ponownej filtracji dolnoprzepustowej [6, s. 2]. Algorytm posiada dużą złożoność obliczeniową, zależną od stosunku częstotliwości próbkowania wejściowej i docelowej.

#### Resampling widmowy

Metoda polega na przetwarzaniu sygnału w dziedzinie częstotliwości i obejmuje następujące kroki:

1. Wydłużenie (poprzez dopisanie na końcu wektora sygnału próbek o wartościach zerowych [7, s. 98]) sygnału wejściowego tak, aby dla naturalnej liczby próbek sygnału wynikowego uzyskać równą rozdzielczość częstotliwościową dla wejścia i wyjścia.
2. Wyznaczenie DFT dla sygnału uzyskanego w punkcie 1.
3. Zmiana długości widma.
4. Wyznaczenie odwrotnej, dyskretnej transformaty Fouriera (IDFT) dla sygnału uzyskanego w punkcie 3.

5. Usunięcie części urojonej z wektora wyjściowego punktu 4. Jest ona obecna, ponieważ IDFT operowała na zmodyfikowanym spektrum.
6. Usunięcie nadmiarowych próbek z końca wektora wynikowego.

Uzyskanie liczb rzeczywistych w kroku 5. poprzez wyzerowanie części urojonej, jest dokonywane na wzór IDFT operującej na natywnym widmie. Jeżeli sygnał cyfrowy  $y_n$ , zostanie zapisany jako wynik działania IDFT na jego widmo:

$$y_n = \sum_{k=0}^{N-1} \left[ \left( \frac{1}{N} \cdot \sum_{m=0}^{N-1} y_m \cdot e^{-i \cdot 2\pi \cdot k \cdot m / N} \right) \cdot e^{i \cdot 2\pi \cdot k \cdot n / N} \right] \quad (3)$$

gdzie  $N$  - ilość próbek sygnału, wtedy definiując:

$$A(n, m) = \sum_{k=0}^{N-1} \cos \frac{2\pi \cdot k(n-m)}{N} \quad (4)$$

oraz:

$$B(n, m) = \sum_{k=0}^{N-1} \sin \frac{2\pi \cdot k(n-m)}{N} \quad (5)$$

można po przekształceniu uzyskać nową postać wzoru 3:

$$y_n = \frac{1}{N} \cdot \sum_{m=0}^{N-1} [y_m \cdot (A(n, m) + i \cdot B(n, m))] \quad (6)$$

Zakładając, że wektor  $y$  jest rzeczywisty, równość zachodzi pod warunkiem wyzerowania  $B$  (części urojonej sygnału).

### 1.3. Porównanie jakości działania algorytmów w resamplingu sygnałów szerokopasmowych

W celu porównania wartości błędów generowanych przez algorytmy wyszczególnione w rozdziale 1.2, zdefiniowane zostały dwa sygnały testowe o długości 512 próbek, wypełniające całe pasmo.

Sygnał A składa się z sumy sinusoid o fazie zerowej, amplitudzie 1 i częstotliwościach w wersji dla upsamplingu 500Hz, 1000Hz.. 22kHz, oraz dla downsamplingu 500Hz, 1000Hz.. 16kHz.

Sygnał B ma parametry identyczne jak poprzedni, z tą różnicą, że amplitudy dla częstotliwości od 10kHz mają wartość 2. Pozwoli to na obserwację wpływu zwiększenia udziału wysokich częstotliwości w sygnale na wartość błędów resamplingu.

Oryginalne częstotliwości próbkowania obu sygnałów to 44.1kHz a docelowe to 52kHz i 32.1kHz.

W tabeli 1 podane zostały, wyznaczone dla poszczególnych algorytmów względne błędy widma obliczone zgodnie z wzorem 7:

$$\delta_Y = \frac{\sum_{n=0}^{N-1} \left| |Y_n| - |X_n| \right|}{\sum_{n=0}^{N-1} |X_n|} \cdot 100 \% \quad (7)$$

gdzie  $Y$  - wektor widma sygnału przepróbkowanego,  $X$  - wektor widma sygnału wejściowego.

**Tab. 1.** Względne błędy widma sygnałów testowych poddanych resampligowi

Rodzaj algorytmu	Sygnał A		Sygnał B	
	upsampling	downsampling	upsampling	downsampling
aproxymacja liniowa	23,6%	16,6%	29,0%	22,2%
kaskada CA-AC	39,7%	25,8%	46,0%	34,7%
interpolacja, decymacja	7,9%	7,9%	9,7%	10,6%
resampling widmowy	5,1%	6,7%	6,1%	8,7%

Dwa pierwsze algorytmy, zoptymalizowane pod względem szybkości generują o wiele większe błędy od pozostałych. Dodatkowo można zaobserwować, że wszystkie algorytmy wraz ze wzrostem udziału wysokich częstotliwości tracą dokładność. Najmniejsze odchylenia wprowadza algorytm resamplingu widmowego.

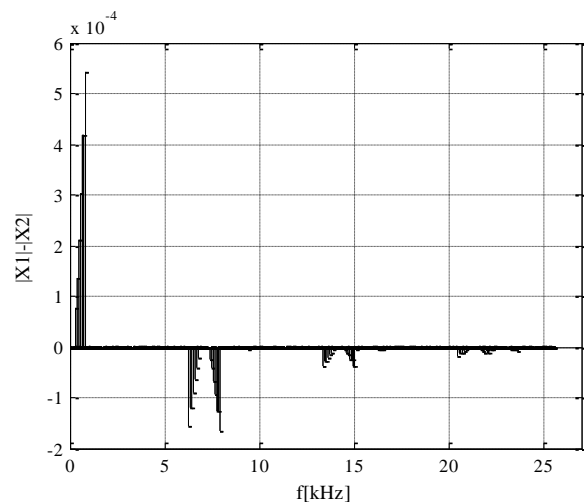
## 2. ZMIANA CZĘSTOTLIWOŚCI PRÓBKOWANIA W PROCESIE OPTIMALIZACJI WIDMA

### 2.1. Zastosowanie testowanych algorytmów resamplingu w procesie optymalizacji widma

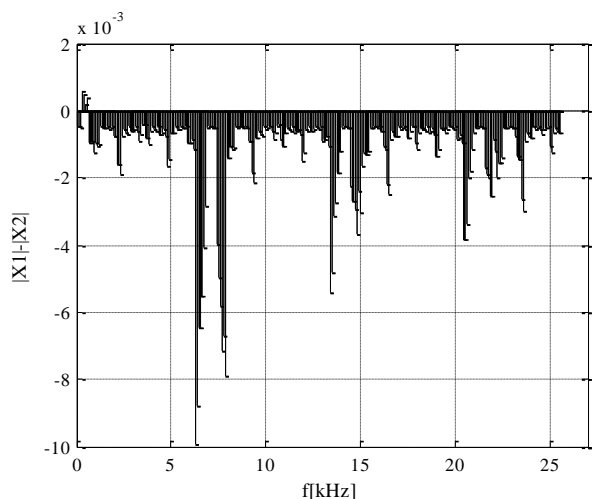
Przydatność algorytmu resamplingu w procesie optymalizacji widma może być oceniona na podstawie wielkości zniekształceń wprowadzanych do spektrum w czasie przepróbkowywania. Istotne jest, aby zyski wynikające z odpowiedniego dopasowania rozdzielczości spektralnej sygnału przewyższały straty jakości wynikające ze zmiany częstotliwości próbkowania.

Ponieważ sygnały diagnostyczne silnika mieszczą się w przedziale niskich i średnich częstotliwości akustycznych [8, s. 1165], na ich wzór, zdefiniowane zostały dwa sygnały testowe o długości 2048 próbek,  $f_s = 44.1\text{kHz}$ , będące superpozycją sinusoid o amplitudzie 1 i przesunięciu fazowym 0. Sygnał A zawiera częstotliwości 300Hz, 400Hz... 800Hz, sygnał B 300Hz, 400Hz... 10kHz.

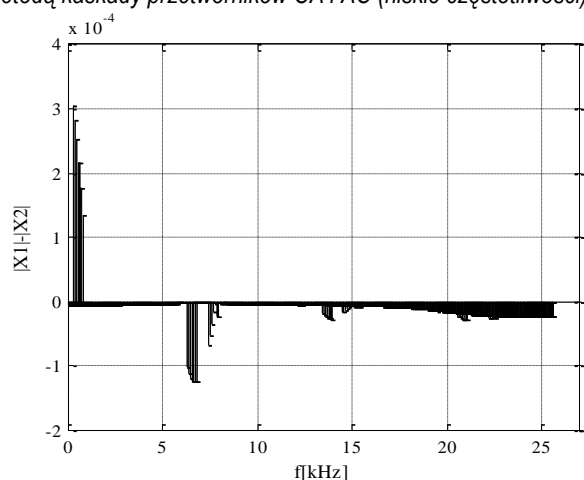
Na rysunkach 5-8 przedstawiono różnice zoptymalizowanych wektorów widma sygnału testowego A:  $|X_1| - |X_2|$ , gdzie  $X_1$  - wektor DFT wyznaczony z sygnału przepróbkowanego bezstratnie,  $X_2$  - wektor DFT wyznaczony z sygnału przetworzonego testowym algorytmem resamplingu.



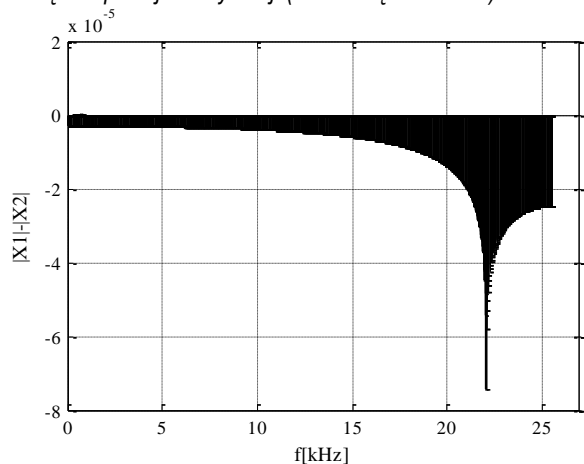
**Rys. 5.** Błędy widma zoptymalizowanego za pomocą resamplingu metoda aproxymacji liniowej (niskie częstotliwości)



**Rys. 6.** Błędy widma zoptymalizowanego za pomocą resamplingu metodą kaskady przetworników CA i AC (niskie częstotliwości)



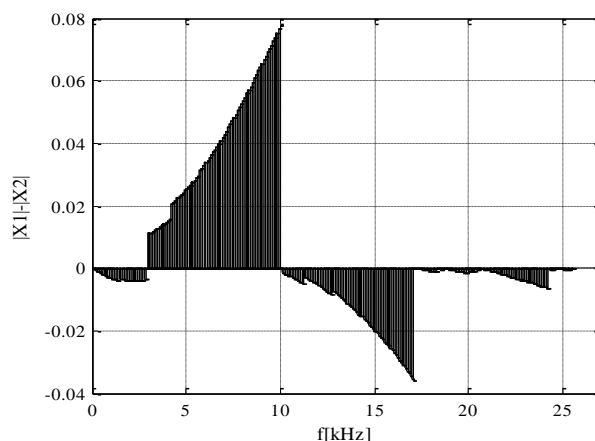
**Rys. 7.** Błędy widma zoptymalizowanego za pomocą resamplingu metodą interpolacji i decymacji (niskie częstotliwości)



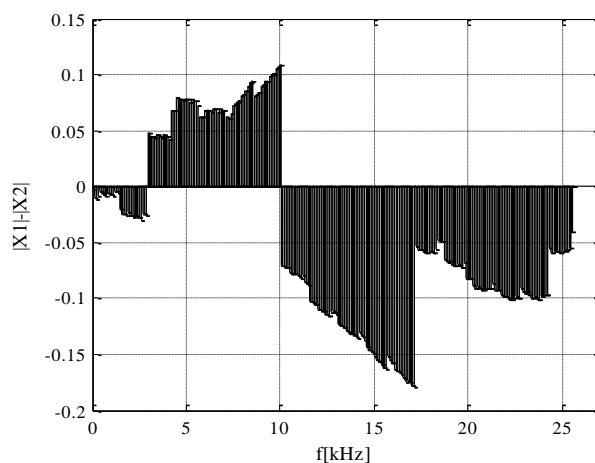
**Rys. 8.** Błędy widma zoptymalizowanego za pomocą resamplingu widmowego (niskie częstotliwości)

Podobnie jak wcześniej (tabela 1), najdokładniejsze przetwarzanie cechuje algorytm resamplingu widmowego, jednak, pomimo dużych różnic w wartościach odchyżeń, wszystkie testowane algorytmy niskich częstotliwości mają dobrą dokładność.

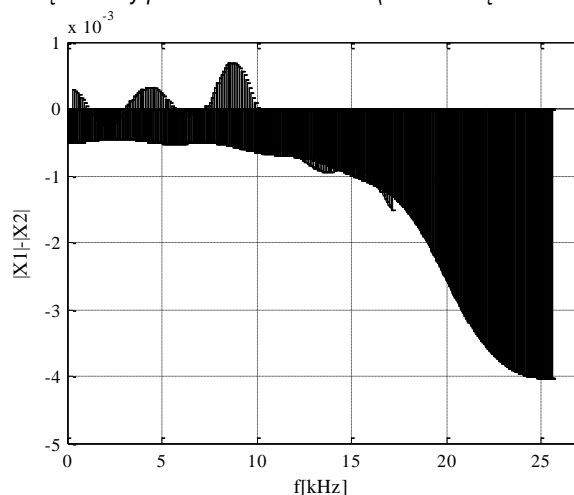
Analogicznie, na rysunkach 9-12 przedstawiono błędy zoptymalizowanych wektorów widma sygnału testowego B.



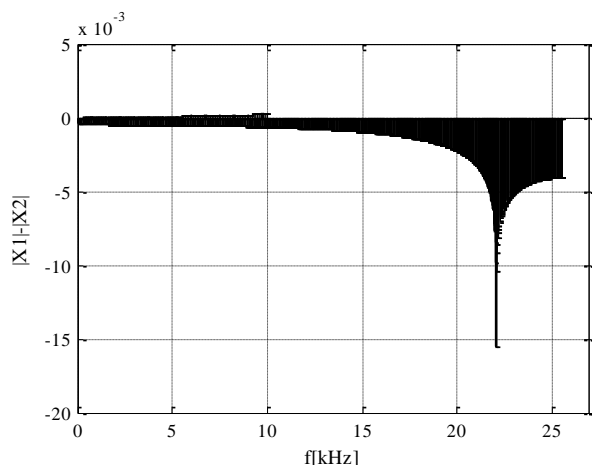
**Rys. 9.** Błędy widma zoptymalizowanego za pomocą resamplingu metodą aproksymacji liniowej (średnie częstotliwości)



**Rys. 10.** Błędy widma zoptymalizowanego za pomocą resamplingu metodą kaskady przetworników CA i AC (średnie częstotliwości)



**Rys. 11.** Błędy widma zoptymalizowanego za pomocą resamplingu metodą interpolacji i decymacji (średnie częstotliwości)



**Rys. 12.** Błędy widma zoptymalizowanego za pomocą resamplingu widmowego (średnie częstotliwości)

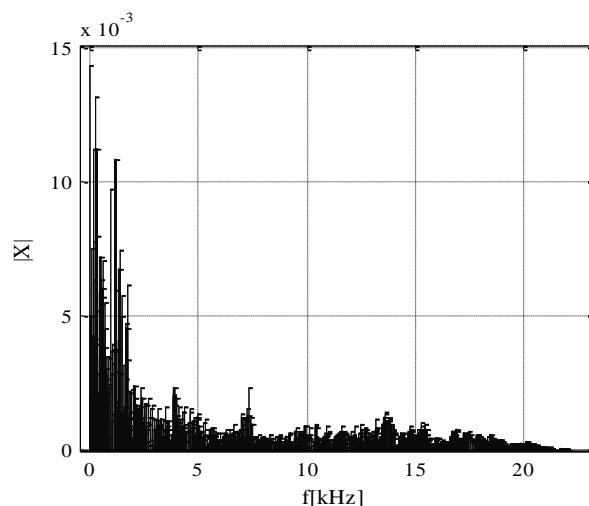
Dla średnich częstotliwości, odchylenia przy użyciu szybkich algorytmów resamplingu są znaczące i w zastosowaniach wymagających dużych dokładności, takie algorytmy nie powinny być stosowane. Istotne jest też, że błędy w dziedzinie częstotliwości wykraczają poza pasmo sygnałów testowych.

### 3. BŁĘDY RESAMPLINGU W OPTYMALIZACJI WIDMA AKUSTYCZNYCH SYGNAŁÓW DIAGNOSTYCZNYCH SAMOCHODOWYCH SILNIKÓW SPALINOWYCH

#### 3.1. Źródła zaburzeń struktury widma w pomiarach akustycznych samochodowych silników spalinowych

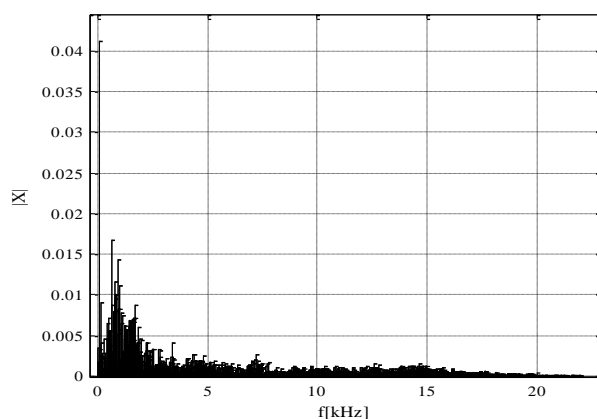
Ze względu na trudności w uzyskaniu stabilnej prędkości obrotowej silnika, struktura widma ulega rozmyciu na skutek przesunięć spowodowanych nawet niewielkim „falowaniem obrotów”. Rozwiązaniem jest dobieranie odcinków czasowych sygnału w przedziałach, gdzie nie występuje wspomniany efekt. W takim przypadku, ze względu na skrócenie sygnału, szczególnie korzystne jest stosowanie metody optymalizacji rozdzielczości spektralnej sygnału.

Blok silnika, poza sygnałem akustycznym wybuchowego spalania mieszanki paliwowej, emituje inne sygnały związane z pracą rozrządu, pompy oleju, łożysk pompy wodnej i alternatora, a także drgań rezonansowych elementów mechanicznie sprzężonych z silnikiem. Efekt ten jest szczególnie mocno odczuwalny dla najniższych prędkości obrotowych. Przykładowe widmo dla silnika 4 cylindrowego, zasilanego poprzez wtrysk wielopunktowy dla 800 obrotów na sekundę ( $f_s = 44.1\text{kHz}$ ) prezentuje rysunek 13 (rejestrator dźwięku: Zoom H5 z dedykowanym stereofonicznym mikrofonem kierunkowym).



**Rys. 13.** Widmo sygnału akustycznego bloku silnika (800 obrotów na sekundę)

Jak widać w paśmie do 2kHz trudno jest wyodrębnić częstotliwość dominującą. W przypadku sygnału tego samego silnika dla 1900 obrotów na sekundę, główna częstotliwość ma już wyraźnie większą amplitudę w stosunku do pozostałych (rysunek 14).



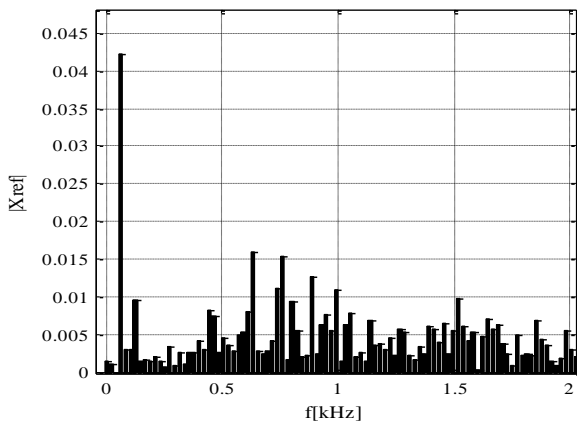
**Rys. 14.** Widmo sygnału akustycznego bloku silnika (1940 obrotów na sekundę)

Prezentowane powyżej widmo ma jednak strukturę nieregularną, stąd optymalizacja rozdzielczości spektralnej dla całego pasma sygnału jest niemożliwa. W takim wypadku można skupić się na częstotliwości głównej, powiązanej z prędkością obrotową silnika, co pozwala na dokładny pomiar jej amplitudy.

#### 3.2. Optymalizacja spektralnej rozdzielczości dźwięku emitowanego przez blok silnika przy stałej prędkości obrotowej

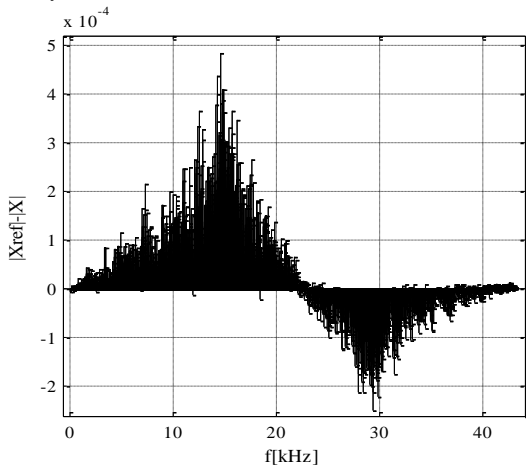
Tak jak to było wspomniane w rozdziale 3.1, optymalizacji podlegać będzie tylko mały wycinek spektrum, związany z obszarem wokół głównej częstotliwości. Analizowany będzie sygnał prezentowany wcześniej na rysunku 14, który po optymalizacji poprzez resamplingu widmowy ( $f_s = 86428\text{Hz}$ ), przy 4096 próbkach uzyskuje rozdzielczość spektralną 21.1Hz. Rysunek 15 prezentuje jego widmo.



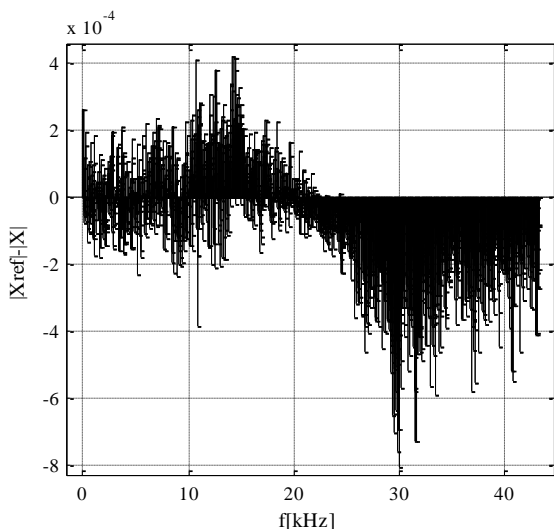


**Rys. 15.** Widmo sygnału akustycznego bloku silnika, zoptymalizowanego za pomocą resamplingu widmowego

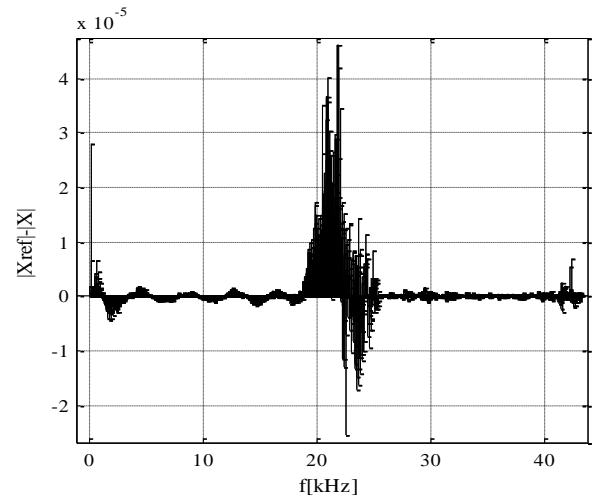
Jak widać, obszar wokół głównej częstotliwości został wyczyszczony z przecieków. Ponieważ wcześniejsze testy wykazały, że resampling widmowy jest najdokładniejszy, widmo tak zoptymalizowane będzie traktowane jako referencyjne. Dla pozostałych metod, odchylenia od widma referencyjnego  $X_{ref}$  zostały zaprezentowane na rysunkach 16-18.



**Rys. 16.** Odchylenie widma sygnału akustycznego bloku silnika zoptymalizowanego metodą aproksymacji liniowej od wektora referencyjnego



**Rys. 17.** Odchylenie widma sygnału akustycznego bloku silnika zoptymalizowanego metodą kaskady przetworników CA i AC od wektora referencyjnego

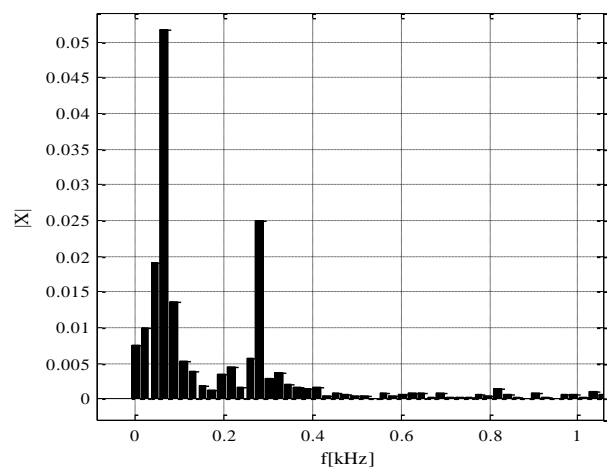


**Rys. 18.** Odchylenie widma sygnału akustycznego bloku silnika zoptymalizowanego metodą interpolacji i decymacji od wektora referencyjnego

Jak można zaobserwować, szybkie algorytmy resamplingu generują zdecydowanie największe błędy.

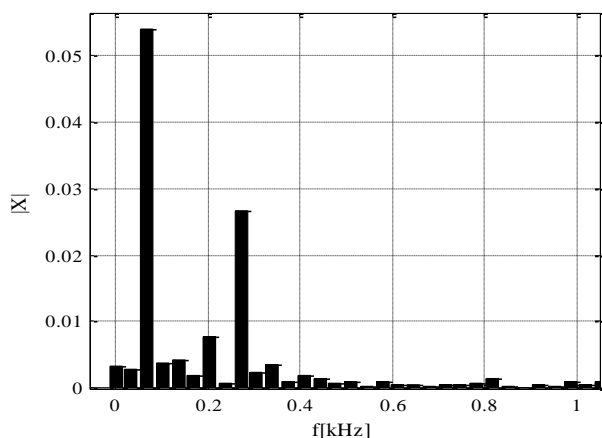
### 3.3. Optymalizacja spektralnej rozdzielczości dźwięku gazów wylotowych dla stałej prędkości obrotowej silnika

Sygnal akustyczny gazów wylotowych silnika dobrze odzwierciedla przebieg procesu spalania [9, s. 1707], a wpływ innych elementów silnika emitujących dźwięk jest minimalny. Struktura widma takich sygnałów pozwala na przeprowadzenie skutecznej optymalizacji. Analizowany poniżej sygnał był rejestrowany dla silnika opisanego w punkcie 3.1, pracującego z szybkością 2050 obrotów na sekundę. Widmo sygnału nieoptymalizowanego ( $f_s = 44.1\text{kHz}$ , ilość próbek 2048) prezentuje rysunek 19.



**Rys. 19.** Widmo sygnału akustycznego gazów wylotowych silnika (brak optymalizacji)

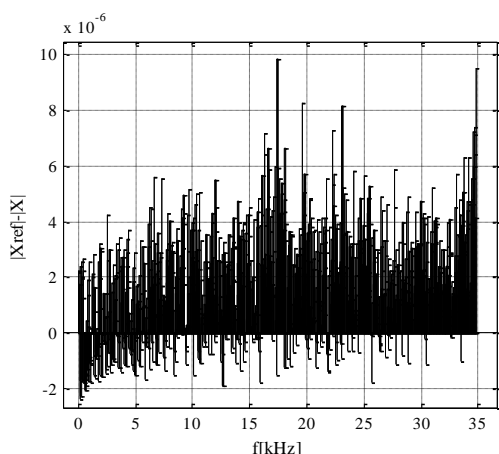
Na rysunku 20 przedstawiono widmo tego samego sygnału poddanego optymalizacji spektralnej z zastosowaniem resamplingu widmowego.



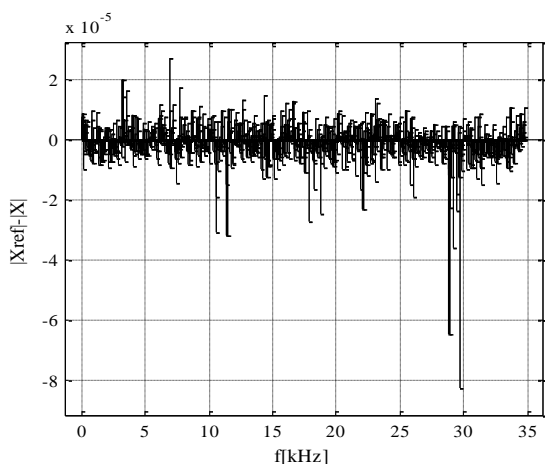
**Rys. 20.** Widmo sygnału akustycznego gazów wylotowych silnika (optymalizacja z użyciem resamplingu widmowego)

W efekcie uzyskano silnie wyodrębnione podstawowe harmoniczne, co ułatwia wykrycie obcych częstotliwości związanych z zaburzeniami pracy silnika.

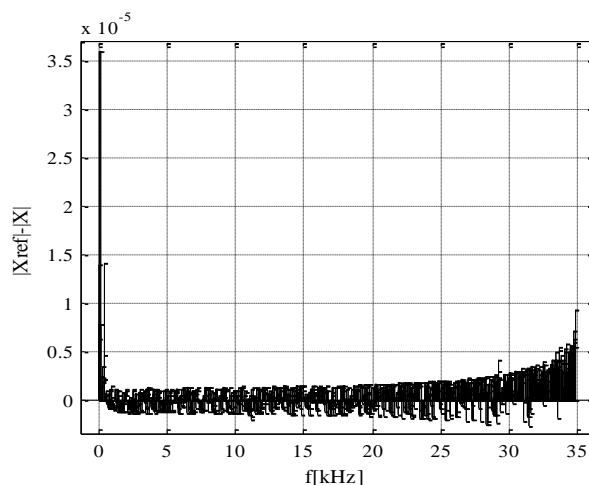
Podobnie jak w przypadku bloku silnika, widmo zoptymalizowane metodą resamplingu widmowego będzie traktowane jako referencyjne. Dla pozostałych metod próbkowania odchylenia od widma referencyjnego zostały zaprezentowane na rysunkach 21-23.



**Rys. 21.** Odchylenie widma sygnału akustycznego gazów wylotowych silnika zoptymalizowanego metodą aproksymacji liniowej od wektora referencyjnego



**Rys. 22.** Odchylenie widma sygnału akustycznego gazów wylotowych silnika zoptymalizowanego metodą kaskadowego połączenia przetworników CA i AC od wektora referencyjnego



**Rys. 23.** Odchylenie widma sygnału akustycznego gazów wylotowych silnika zoptymalizowanego metodą interpolacji i decymacji od wektora referencyjnego

Podobnie jak w przypadku sygnałów testowych, odchylenia w dziedzinie częstotliwości wykraczają daleko poza pasmo sygnału. Jednocześnie, wartości błędów, choć posiadają różny rozkład, są zbliżone dla wszystkich analizowanych metod.

## PODSUMOWANIE

Opisana technika dopasowania rozdzielczości spektralnej sygnału do zawartych w nim częstotliwości jest skuteczna w praktycznym zastosowaniu, o ile użyty na jej potrzeby algorytm resamplingu nie wprowadza zbyt dużych zniekształceń widma. W przypadku przebiegów cyfrowych o szerokim paśmie, konieczne jest stosowanie takich metod zmiany częstotliwości próbkowania, które zapewniają wysokiej jakości przetwarzanie.

Błędy widma sygnału zoptymalizowanego, widoczne są w całym zakresie dostępnego pasma, dlatego wskazane jest, aby docelowa częstotliwość próbkowania była wyższa od wejściowej. Dodatkowo, w ten sposób, uzyskuje się lepsze rozdzielczości spektralne, co korzystnie wpływa na możliwości detekcji nieprawidłowości.

Sygnały akustyczne emitowane przez blok silnika, nagrywane cyfrowo za pomocą standardowych rejestratorów dźwięku, ze względu na występujące w nich średnie częstotliwości, powinny być próbkowane metodami gwarantującymi wysoką jakość przetwarzania. W przypadku gazów wylotowych silnika, gdzie dominują niskie częstotliwości, nawet szybkie algorytmy resamplingu gwarantują akceptowalną dokładność.

## BIBLIOGRAFIA

1. Kaul B., Lawler B., Zahdeh, A., Engine Diagnostics Using Acoustic Emissions Sensors, SAE Int. J. Engines 9(2), 2016
2. Zieliński T., Cyfrowe przetwarzanie sygnałów. Od teorii do zastosowań. WKiŁ, Warszawa 2007
3. N. B. Jones, J. D. McK. Watson, Digital Signal Processing: Principles, Devices and Applications, IEE, London, 1990
4. Lyons R. G., Understanding digital signal processing, Princeton, New York, Pearson Education/Prentice-Hall, 2004
5. Sophocles J. Orfanidis, Introduction to signal processing, Prentice Hal, 2010
6. Borkowski D., Dlugosz R., Szulc M., Skruch P., Multi-Rate Signal Processing Issues in Active Safety Algorithms, SAE Technical Paper, 2016
7. Lyons R. G., Wprowadzenie do cyfrowego przetwarzania sygnałów. WKiŁ, Warszawa 1999

8. W. Li, F. Gu, D.A. Ball, A.Y.T. Leung, C.E. Phipps, A study of the noise from diesel engines using the independent component analysis, *Mechanical Systems and Signal Processing*, vol 15, Issue 6
9. L. Barelli, G. Bidini, C. Buratti, R. Mariani, Diagnosis of internal combustion engine through vibration and acoustic pressure non-intrusive measurements, vol 29, Issues 8–9, 2009

## **Influence of resampling distortions on quality optimization of spectral resolution in acoustic diagnostics of car engines**

*The paper discussed influence of resampling distortions on quality optimization of spectral resolution in acoustic diagnostics of car engines. The purpose of mentioned process is to obtain clear spectrum structure which can then be used to evaluate the fuel mixture combustion, wear of engine components, fault detection, etc. Using signal of finite length for*

*computing its spectrum causes some deviations in spectrum structure. It can be the reason for misinterpretation because of frequencies occurring in DFT array, which in fact do not exist in the signal and existing frequencies, which have incorrect amplitude. To reduce this effect, the window function can be used. Taking into consideration the special spectral structure of diagnostic signals, it is possible to adjust parameters of signals in such a way to eliminate any distortion for regular frequencies. Then, foreign frequencies can be interpreted with high probability as an effect of anomaly in the examined object.*

Autorzy:

mgr inż. Marcin Jarmolowicz – Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie

dr inż. Eugeniusz Kornatowski – Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie