

AN APPROACH TO ACTIVE DAMPING OF DIESEL ENGINE EXHAUST GAS PRESSURE PULSATIIONS BY MEANS OF CONTROLLED INJECTION OF AN AIR STREAM

Krzysztof Snopkiewicz

Andrzej Irzycki

Wiesław Wróblewski

Andrzej Cichocki

Instytut Lotnictwa

Al. Krakowska 110/114

02-256 Warszawa

tel.: +48 22 846-00-11 w 683

e-mail: ksnopkiewicz@ILot.edu.pl

Abstract

In this paper, the experimental method of active damping of piston engine exhaust gas pulsation is presented. The investigation was carried out on running 3-cylinder DI Diesel engine (Perkins AD3.152 UR Type 3250) on test bench fitted with specially designed exhaust piping. The damping method consists in an active control of flowing agent mass stream by means of injection of compressed air in synchronization to phenomenon in duct, i.e. in counter-phase to the pulsation to be compensated. The method is in assumption destined for damping of low-frequency pulsations in exhaust noise spectrum, whereas applying of classic resonance and absorptive silencers is less effective.

WSTĘPNA OCENA MOŻLIWOŚCI AKTYWNEGO TŁUMIENIA PULSACJI CIŚNIENIA SPALIN W KOLEKTORZE WYDECHOWYM SILNIKA WYSOKOPRĘŻNEGO METODĄ KONTROLOWANEGO WTRYSKU POWIETRZA

Streszczenie

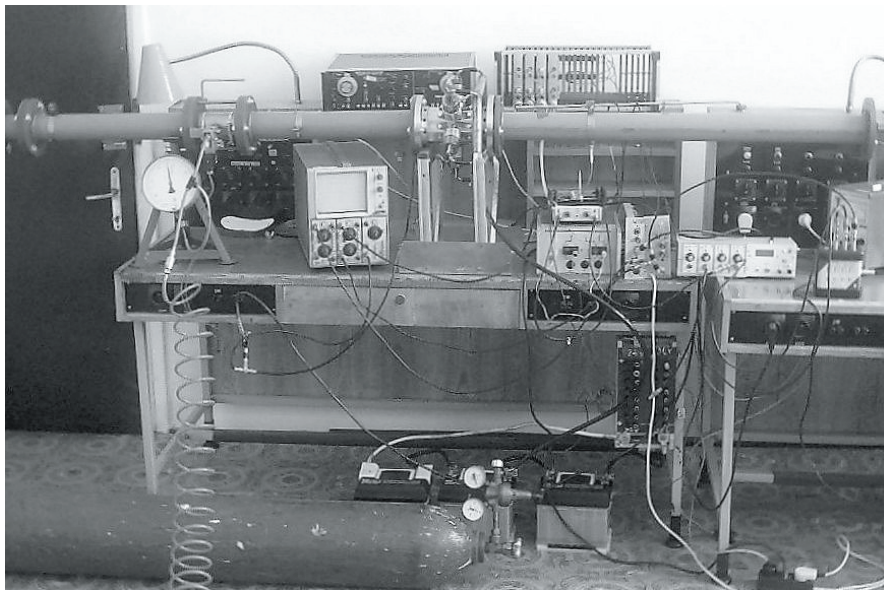
W artykule opisano eksperymentalną metodę aktywnego tłumienia pulsacji spalin w układzie wydechowym silnika tłokowego. Badania prowadzono na 3-cylindrowym silniku wysokoprężnym Perkins AD3.152 UR typ 3250 na stoisku ze zmodernizowanym układem odprowadzania spalin. Metoda aktywnego tłumienia pulsacji polegała na kontrolowanym wtrysku sprężonego powietrza do strumienia spalin, zsynchronizowanym ze zjawiskami zachodzącymi w przewodzie wydechowym badanego silnika.

1. Wprowadzenie

Celem pracy była eksperymentalna ocena możliwości tłumienia (bądź celowej deformacji) fali ciśnieniowej biegnącej w kanale metodą kontrolowanego wtrysku powietrza do przepływającego czynnika. Badania rozpoczęto na stoisku modelowym (Rys. 1), charakteryzującym się geometrią odpowiadającą układowi wydechowemu wybranego silnika badawczego na stanowisku hamownianym. Po stwierdzeniu skuteczności zaproponowanej metody na stoisku modelowym rozpoczęto badania na obiekcie rzeczywistym. Do badań wybrano 3-cylindrowy silnik wysokoprężny AD3.152 UR Typ 3250 firmy Perkins, którego podstawowe parametry techniczne i eksploatacyjne zamieszczono w Tablicy 1.

Tabela 1. Parametry silnika badawczego
Table 1. Testing engine parameters

Marka	Perkins AD3.152 UR
Typ	3250
Średnica cylindra	91.48 mm
Skok tłoka	127 mm
Liczba cylindrów	3
Pojemność skokowa	2.502 dm ³
Nominalna prędkość obrotowa	2000 1/min
Moc maksymalna	28 kW
Prędkość obrotowa maksymalnego momentu	1400 1/min
Maksymalny moment obrotowy	171 Nm
Prędkość obrotowa biegu jałowego	750 ±25 1/min
Pompa wtryskowa	DPA 3238 F510
Typ pompy wtryskowej	rozdzielaczowa

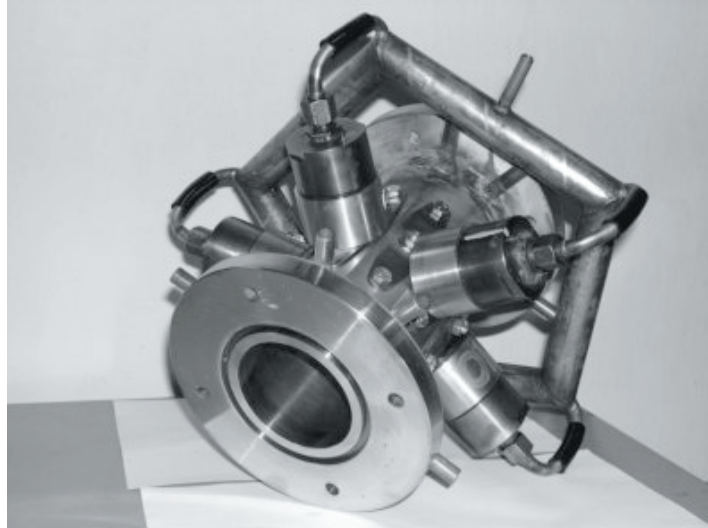


Rys. 1. Stoisko modelowe
Fig. 1. Laboratory stand

1. Stanowisko badawcze

Parametry pulsacji przepływu spalin w rurze wydechowej silnika szacowano na podstawie pomiaru dynamicznego ciśnienia spalin. W tym celu dokonano modyfikacji układu wydechowego silnika, polegającej na odłączeniu kolektora wydechowego silnika od standardowej instalacji odprowadzającej spaliny do komina i wprowadzeniu spalin do prostej rury o średnicy wewnętrznej ϕ 71 mm i długości całkowitej ok. 6,2 m. Gniazdo mocujące

czujnik ciśnienia do rejestracji sygnału bazowego umieszczono w prostym odcinku rury, w odległości ok. 0.5 m od płaszczyzny jej łączenia z elastycznym fragmentem kolektora wydechowego. Pomiarową rurę wydechową podzielono na dwa segmenty i zaopatrzone w kołnierze do mocowania segmentu zaworów binarnych, pokazanego na Rys. 2.



Rys. 2. Segment zaworów binarnych
Fig. 2. Binary valves assembly

Segment zaworów binarnych jest zasadniczym elementem zestawu służącym do realizacji kontrolowanego wtrysku powietrza do strumienia spalin płynącego w kolektorze wydechowym. Z uwagi na usytuowanie segmentu w torze wylotu gorących spalin silnikowych, został on wyposażony w kanały do chłodzenia wodnego. Zaworki binarne, umieszczone w specjalnych komorach ciśnieniowych, zasilane są powietrzem z hamownianej instalacji sprężonego powietrza a sygnały sterujące sekwencją otwarcia/zamknięcia wypracowywane są przez specjalnie opracowany i wykonany moduł sterowania na podstawie rzeczywistego przebiegu ciśnienia pulsacji spalin (sygnału bazowego). Widok kompletnego zaworka, przygotowanego do zainstalowania w gnieździe segmentu zaworów, pokazano na Rys. 3.

Pomiary ciśnienia spalin realizowano przy użyciu piezokwarcowych czujników firmy Kistler Typ 7005, współpracujących ze wzmacniaczami ładunku Typ Kistler 5011. Czułość zestawu pomiaru ciśnienia ustalono eksperymentalnie na wartość $S = 0.05 \text{ bar/V}$. Z uwagi na wysoką temperaturę medium, czujnik do pomiaru sygnału bazowego umieszczono w specjalnym adapterze i zapewniono mu wymuszone chłodzenie wodne.



Rys. 3. Zaworek binarny gotowy do pracy
Fig. 3. Binary valve ready to operation

2. Algorytm aktywnego tłumienia pulsacji

Przebieg ciśnienia pulsacji w kanale wylotowym silnika ma charakter cykliczny, co w naturalny sposób narzuca rozkład sygnału na poszczególne składowe przy zastosowaniu analizy fourierowskiej. Wyznaczenie gęstości widmowej mocy badanego sygnału pozwala na określenie dominującej częstotliwości pod względem przenoszonej mocy. Sygnał o takiej częstotliwości jest wykorzystywany jako przebieg wyjściowy doysterowania sekwencji otwierania zaworków.

Idea sterowania otwarciem/zamykaniem zaworka polega na tym, aby wtrysk powietrza do strumienia spalin płynącego w kolektorze pomiarowym następował w czasie, gdy wartość ciśnienia pulsacji osiąga wielkości mniejsze od średniej (dla uproszczenia, jeśli byłby to sygnał sinusoidalny, wtrysk powietrza następowałby w przedziale kątowym $\langle \pi, 2\pi \rangle$).

3. Wyniki pomiarów

W celu zachowania możliwości kontroli ilości powietrza wtryskiwanego do strumienia spalin zdecydowano, że segment będzie zasilany powietrzem o takim nadciśnieniu, aby zagwarantować krytyczny przepływ przez dyszkę zaworka. Wartość tego nadciśnienia, będącą funkcją ciśnienia atmosferycznego, określa się z zależności [1]

$$\frac{p_*}{p_o} = \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k}{k-1}}, \quad (1)$$

ponieważ dla powietrza $k = 1.4$, stąd $\frac{p_*}{p_o} = 0.528$.

Dla tak wyznaczonego nadciśnienia w komorze ciśnieniowej określono przy pomocy rotametu wydatek powietrza, który w przypadku otwartych pięciu zaworków binarnych, wynosił $4.2 \text{ m}^3/\text{h}$ ($\sim 5.0 \text{ kg/h}$).

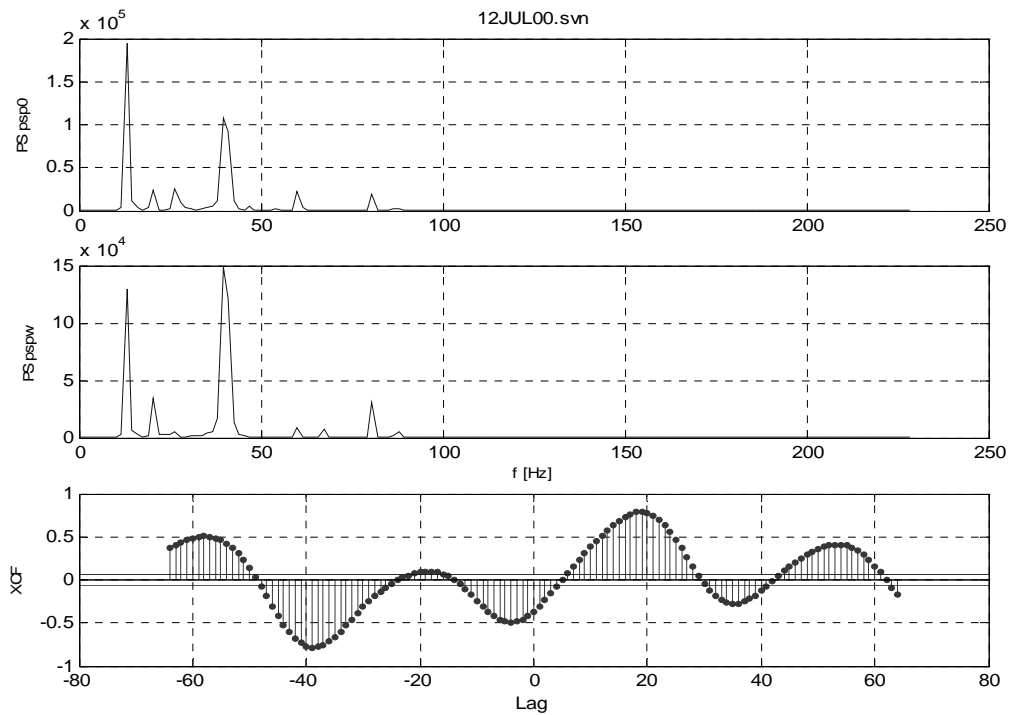
Na podstawie standardowych pomiarów dokonanych na stanowisku badawczym określono wydatek spalin dla badanego silnika. Minimalną wartość wydatku spalin stwierdzono dla biegu luzem, jednak ze względu na niestabilną pracę silnika zdecydowano, że badanie będzie prowadzone dla prędkości obrotowej $n = 900 \text{ 1/min}$, dla której wartość wydatku spalin osiąga wartość 35.6 kg/h .

W trakcie badań mierzono i rejestrowano następujące wielkości fizyczne:

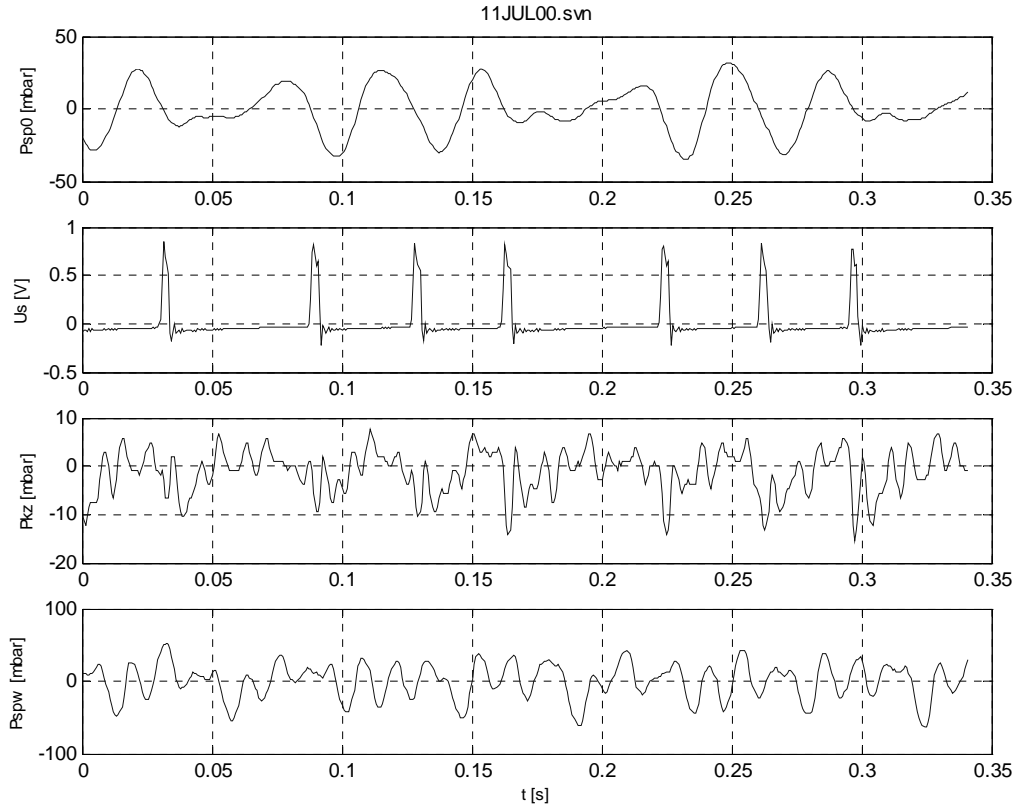
- ciśnienie pulsacji spalin p_{sp0} przed segmentem zaworków (sygnał bazowy doysterowania sekwencji otwarcia/zamknięcia zaworków), przy użyciu czujnika Kistler 5011,
- napięcie sterujące U_s podawane na sterowniki zaworków binarnych,
- ciśnienie w komorze ciśnieniowej p_{kz} zaworka binarnego, przy użyciu przetwornika ciśnienia absolutnego firmy Kulite,
- ciśnienie pulsacji spalin p_{spw} za segmentem zaworków (przebieg wynikowy), przy użyciu czujnika Kistler 5011.

Widma mocy ciśnienia pulsacji przed i za segmentem zaworków oraz ich korelację czasową dla jednego z pomiarów pokazano na Rys. 4.

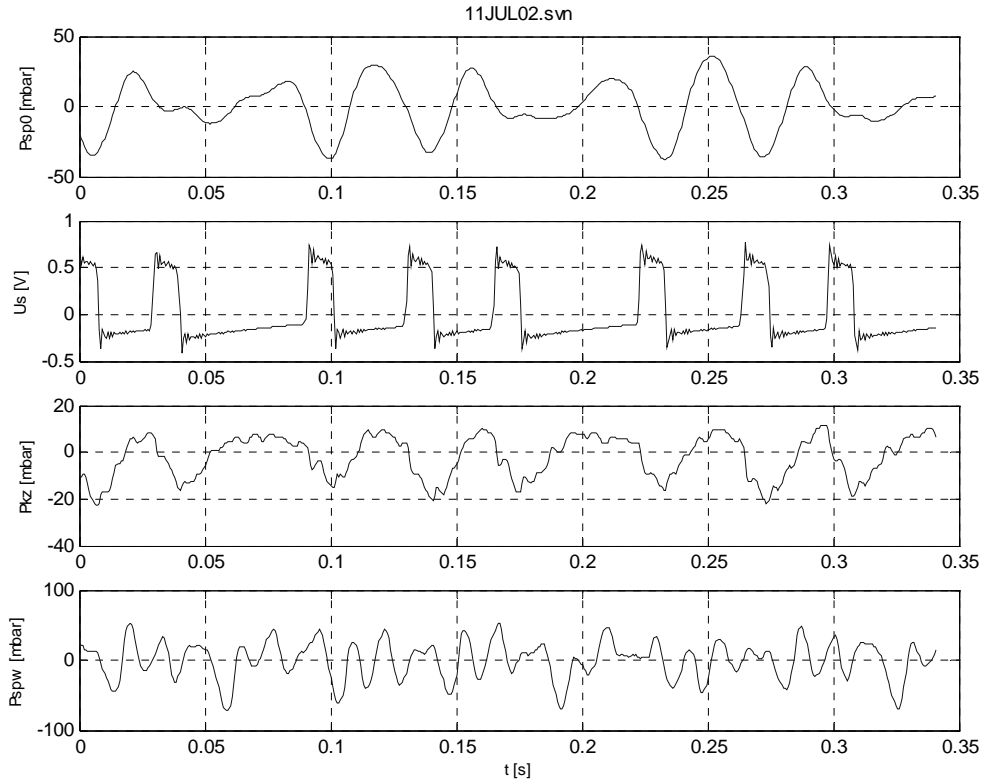
Na Rys. 5, 6, i 7 pokazano sygnały zarejestrowane dla czasów otwarcia zaworków binarnych t_o wynoszących odpowiednio: 3 ms, 10 ms i 20 ms.



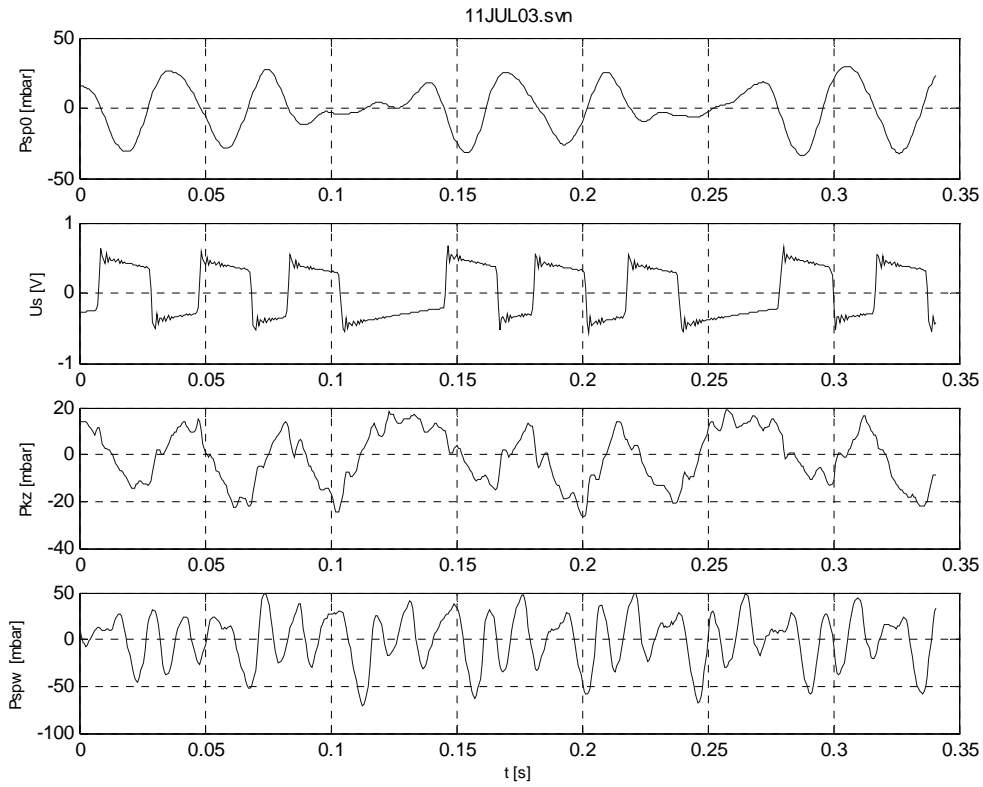
Rys. 4. Przykładowe widma mocy sygnałów pulsacji i ich korelacja wzajemna
 Fig. 4. Power spectra of pulsation signals and their cross-correlation



Rys. 5. Nagranie dla $t_0 = 3$ ms
 Fig. 5. Records for $t_0 = 3$ ms

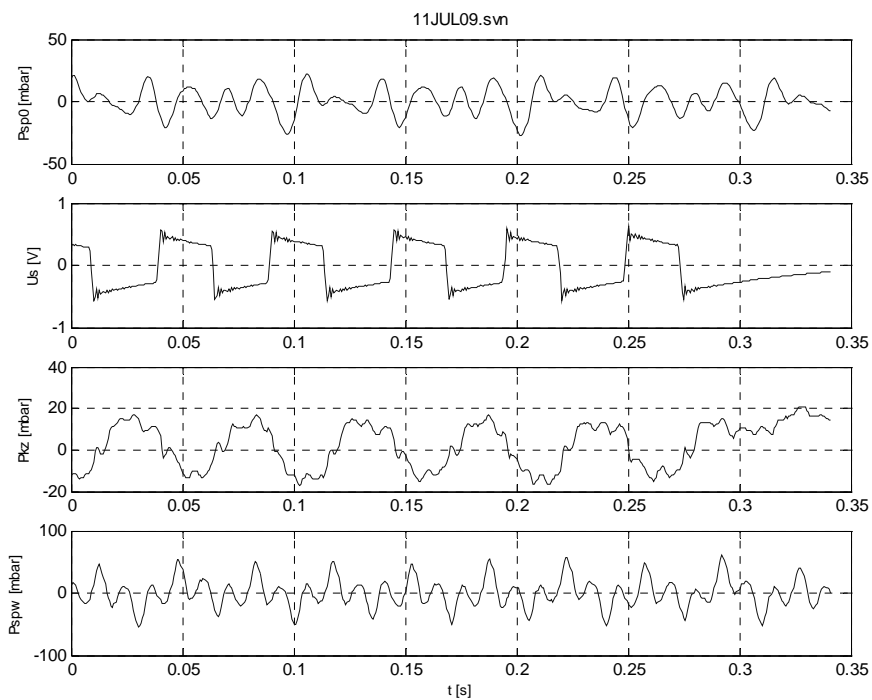


Rys. 6. Nagranie dla $t_0 = 10$ ms
 Fig. 6. Records for $t_0 = 10$ ms

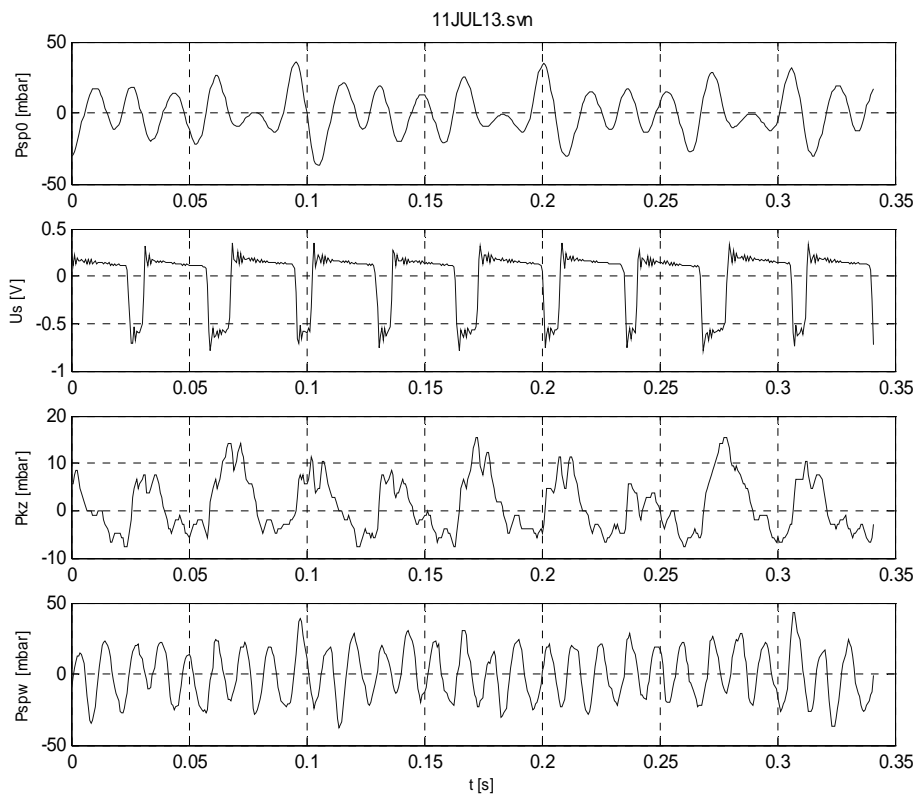


Rys. 7. Nagranie dla $t_0 = 20$ ms
 Fig. 7. Records for $t_0 = 20$ ms

Na Rys. 8 pokazano nagranie dla $n_s = 1140$ 1/min, $M = 0$ Nm i $t_0 = 20$ ms, zaś na Rys. 9 – nagranie dla $M = 50$ Nm i $t_0 = 30$ ms.



Rys. 8. Nagranie dla $n_s = 1140$ 1/min, $M = 0$ Nm i $t_0 = 20$ ms
 Fig. 8. Records for 1140 1/min / 0 Nm and $t_0 = 20$ ms



Rys. 9. Nagranie dla $n_s = 1140$ 1/min, $M = 50$ Nm i $t_0 = 30$ ms
 Fig. 9. Records for 1140 1/min / 50 Nm and $t_0 = 30$ ms

4. Podsumowanie

Analiza przebiegów ciśnienia spalin za segmentem zaworków pokazuje, że zastosowana metoda aktywnego tłumienia pulsacji ciśnienia daje pozytywne efekty w postaci zmiany widma gęstości mocy sygnału. Stosunkowo niewielkie efekty ingerencji w przebieg ciśnienia w kolektorze spowodowane są przede wszystkim niedopasowaniem energetycznym sygnału zakłócającego (wydatek rzędu 3 kg/h) do sygnału zakłócanego (~36 kg/h). Dodatkowym atutem byłoby obciążenie silnika nawet niewielkim momentem obrotowym, co spowoduje stabilizację ciśnień przed i za segmentem zaworków binarnych. Jednak spełnienie powyższych wymagań w opisanej konfiguracji stoiska badawczego nie jest możliwe.

Opisane w artykule prace eksperymentalne obrazują pewną fazę badań realizowanych w ramach projektu badawczego KBN, zatytułowanego „Badanie aktywnych metod tłumienia pulsacji przepływu w kanałach w zastosowaniu do układu wydechowego tłokowego silnika spalinowego”. Zdobyte doświadczenia zaowocują zmianą perspektywy widzenia problemu aktywnego tłumienia pulsacji i dadzą asumpt do zastosowania innego elementu wykonawczego, pozwalającego na uzyskanie odpowiednio większych wydatków wtryskiwanego powietrza.

Literatura

[1] Jungowski W. i in., „Zbiór zadań z dynamiki gazów”.