

Jerzy MERKISZ
Jarosław MARKOWSKI
Marek WALIGÓRSKI
Ireneusz PIELECHA

PTNSS-2013-SC-207

The evaluation of the influence of the fuel pressure in the injector on the parameters of vibration of the reaction sleeve triggered by the atomized fuel spray

Abstract: Diesel engine ecological parameters greatly depend on the course of the combustion process. An appropriate course of this process is conditional upon a proper mixture formation in the combustion chamber i.e. charge swirl and fuel atomization. The swirl of the charge results from the adopted design of the intake manifold, geometrical parameters of the combustion chamber and engine speed. The fuel atomization depends on the injection parameter and the conditions of the injector itself, particularly its nozzle. To date, the issue of a clear evaluation of the injector ability of obtaining appropriate atomization parameters remains unresolved. The paper presents the concept and the results of its validation based on the preliminary tests of fuel atomization in open space with the use of vibroacoustic processes. The authors are currently working on applying a concept enabling an evaluation of the injector applicability based on the vibroacoustic parameters resulting from the injection of fuel. The paper presents a fragment of the works related to the verification of the vibrations of the reaction sleeve triggered by the impinging atomized fuel spray at various fuel pressures in the fuel system. The actions aim at evaluating the process relations necessary for the future algorithm of fuel injector verification.

Keywords: diesel engine, injection, fuel atomization, vibroacoustic methods

Ocena wpływu ciśnienia paliwa zasilającego wtryskiwacz na parametry drgań tulei reakcyjnej wywołane rozpyloną strugą paliwa

Streszczenie: Parametry ekologiczne silników o zapłonie samoczynnym w największym stopniu zależą do przebiegu procesu spalania. Właściwy przebieg tego procesu uwarunkowany jest odpowiednim przygotowaniem ładunku w komorze spalania, na które składa się zawirowanie czynnika oraz rozpylenie paliwa. Zawirowanie czynnika wynika z przyjętej konstrukcji układu dolotowego, parametrów geometrycznych komory spalania oraz prędkości obrotowej wału korbowego silnika. Rozpylenie paliwa zależy od parametrów wtrysku oraz stanu tecznego wtryskiwacza, a w szczególności jego rozpylacza. Autorzy obecnie pracują nad aplikacją koncepcji umożliwiającej ocenę zdatności wtryskiwacza na podstawie parametrów wibroakustycznych wywołanych wtryskiem paliwa. W artykule przedstawiono fragment dokonanych prac w zakresie weryfikacji wartości drgań tulei reakcyjnej wywołanych uderzającą strugą rozpylonego paliwa uzyskiwaną przy różnych wartościach nastaw ciśnienia w układzie zasilania. Działania te zmierzają do oszacowania zależności procesowych koniecznych do ujęcia w przyszłym algorytmie weryfikacji wtryskiwaczy.

Słowa kluczowe: silnik o zapłonie samoczynnym, wtrysk, rozpylenie paliwa, metody wibroakustyczne

1. Wprowadzenie

Części składowe układów zasilania silnika o zapłonie samoczynnym należą do jednych z jego najwrażliwszych elementów. Szczególnie na uszkodzenie są narażone pary precyzyjne, czyli sekcja tłocząca pompy i rozpylacz. Z racji pełnionych funkcji w układzie zasilania szczególnie ważnym jest rozpylacz. Od jego sprawności zależy przebieg procesu spalania paliwa dostarczanego do cylindra. Pogorszenie właściwości rozpylacza pogarsza proces spalania, a przez to powoduje pogorszenie parametrów eksploatacyjnych i ekologicz-

nych silnika. Jednocześnie zmniejsza sprawność ogólną silnika oraz powoduje wzrost emisji szkodliwych składników spalin [2, 3, 4, 5, 6, 7]. Problemy eksploatacyjne i ekologiczne silników spalinywych wynikać mogą z wielu przyczyn. Dlatego duże znaczenie ma precyzyjna diagnostyka silnika. Rozwój elektroniki przyczynił się do elektronizacji silnika, a przede wszystkim układów zasilania. Wprowadzono wtryskiwacze, których pracą steruje się wykorzystując sygnały elektryczne. Pomimo to mechanizm otwarcia wtryskiwacza pozostał niezmienny i związany jest z energią hydrauliczną. Iglica rozpylacza podnosi się w wyniku różnicy sił

działających na nią na obu jej końcach. Siły te są iloczynem ciśnienia i powierzchni, na którą to ciśnienie działa. Wartość ciśnienia oddziałującego na iglicę zależy od dokładności jej pasowania z korpusem rozpylacza oraz od stanu otworków rozpylających. Zachodzące zmiany zużycia w rozpylaczu mają wpływ na uzyskiwane rozpylenie strugi paliwa [2, 5, 6]. Do dnia dzisiejszego nierozwiązany jest problem dokładnej i jednoznacznej diagnostyki rozpylacza. Istnieją natomiast metody oceny jego działania polegające na optycznej obserwacji strugi paliwa. Są to metody subiektywne i uzależnione od osoby dokonującej obserwacji.

Autorzy artykułu podjęli próbę rozwiązania tego problemu przez opracowanie metody diagnozowania rozpylacza na podstawie rozpylenia strugi paliwa z wykorzystaniem efektów wibroakustycznych towarzyszących procesowi wtrysku. Istotą postawionego problemu jest wykorzystanie wartości parametrów wibroakustycznych, mających źródło w procesie wtrysku, do opisu i diagnozowania rozpylenia strugi paliwa [1, 4]. Efektami towarzyszącymi procesowi wtrysku paliwa, a tym samym rozpyleniu paliwa w przestrzeni otwartej, są dźwięk oraz impuls drganiowy. Przeprowadzono badania i analizy sygnałów wibroakustycznych uzyskiwanych z tych źródeł i stwierdzono, że istotną wartość diagnostyczną ma sygnał drganiowy mierzony na powierzchni tulei reakcyjnej, na którą pada rozpylona struga paliwa. Przeprowadzono szereg prób i analiz ukierunkowanych na identyfikację zależności procesowych uzyskiwanych drgań tulei w skutek wtrysku paliwa. Jednym z nich było oszacowanie wpływu wartości ciśnienia paliwa zasilającego wtryskiwacz na zmianę wartości drgań tulei.

2. Metodyka badań

2.1. Stanowisko badawcze

Badania przeprowadzono na zbudowanym stanowisku (rys. 1), którego schemat ideowy przedstawia rysunek 2. Stanowisko składa się z kilku podstawowych członów. Pierwszy z nich to człon wykonawczo-reakcyjny. W jego skład wchodzi wtryskiwacz elektromagnetyczny 0 445 110 131 (tab. 1.) firmy BOSCH umieszczony w tulei reakcyjnej.

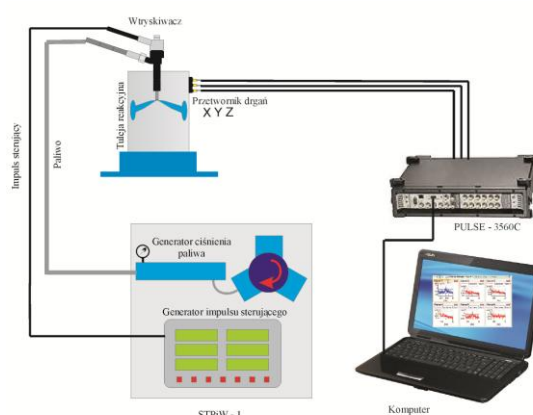
Tablica 1

Podstawowe dane wtryskiwacza

Nazwa wtryskiwacza	Wtryskiwacz elektromagnetyczny typu <i>Common Rail</i> firmy Bosch
Symbol wtryskiwacza	BOSCH 0445 110 131
Liczba otworków	6
Średnica otworka D	0,19 [mm]
Kąt między strugami	60°
Min. ciśnienie paliwa zasilającego umożliwiające otwarcie	20 MPa

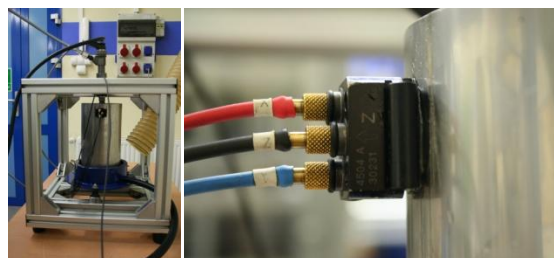


Rys. 1. Widok stanowiska badawczego:
1 – tuleja reakcyjna, 2 – stanowisko testowania pomp i wtryskiwaczy systemów Common Rail (STPiW-1), 3 – komputer z systemem pomiarowym PULSE – 3560C, 4 – wtryskiwacz



Rys. 2. Schemat ideowy stanowiska badawczego

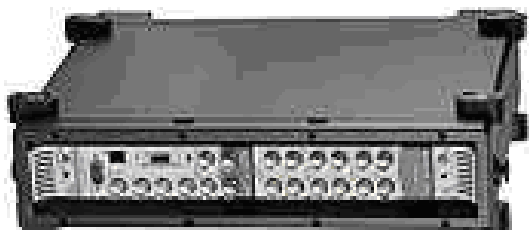
Wtryskiwacz zasilany był paliwem z zasobnika wysokiego ciśnienia układu Common Rail stanowiącego główny zespół stanowiska testowania pomp i wtryskiwaczy systemów Common Rail (STPiW-1). Generowanie impulsu sterującego pracą wtryskiwacza realizowano z wykorzystaniem testera wtryskiwaczy CR – modułu wchodzącego w skład stanowiska STPiW-1. Na tulei umieszczono przetwornik drgań Triaxial Delta Tron® Accelerometer Typ 4504 A firmy Brüel & Kjaer (rys. 3).



Rys. 3. Przetwornik drgań Triaxial Delta Tron® Accelerometer Typ 4504 A firmy Brüel & Kjaer umieszczony na tulei pomiarowej

W badaniach wykorzystano również system wielokanałowej akwizycji i analizy sygnałów wibroaku-

stycznych PULSE. Stanowi go 17-kanałowa kasetka pomiarowa typ 3560-C (rys. 5) z modułami pomiarowymi typ 7538A oraz 3040.



Rys. 5. System pomiarowy wielkości szybkozmiennych PULSE – 3560C

2.2. Zakres badań

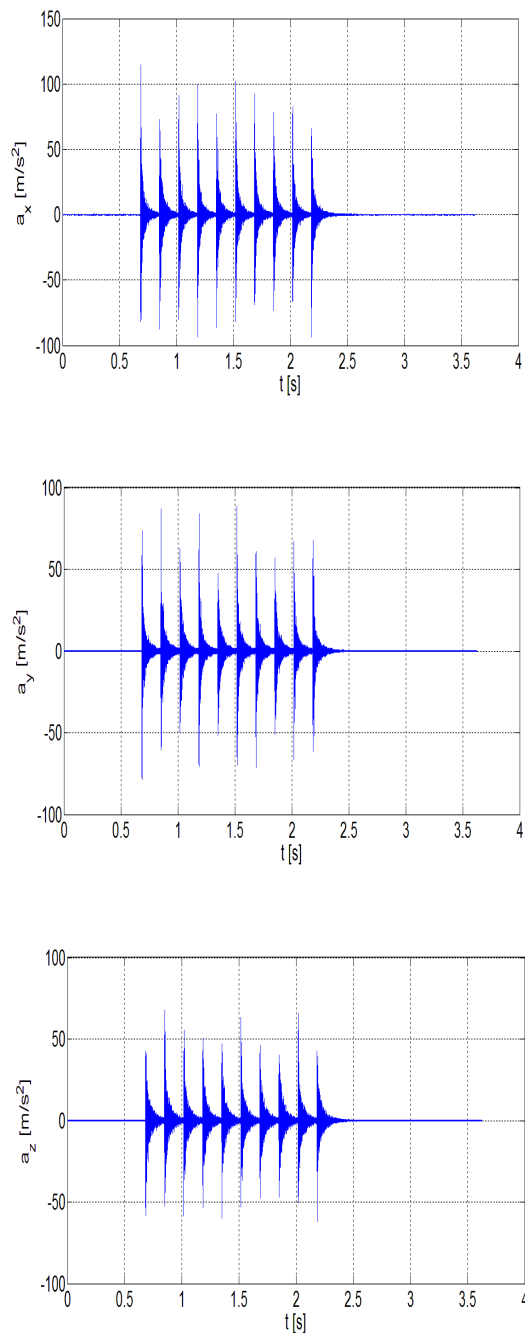
Celem badań jest ocena sygnałów wibroakustycznych towarzyszących procesowi wtrysku paliwa do przestrzeni otwartej w aspekcie wykorzystania ich do oceny rozpylenia paliwa w przestrzeni otwartej. Przeprowadzone badania pozwolą określić przydatność sygnałów wibroakustycznych do weryfikacji poprawności rozpylenia paliwa i stanu eksploatacyjnego rozpylacza. Badania wykonano dla kilku wtryskiwaczy, a na potrzeby artykułu przedstawiono rezultaty fragmentu badań prowadzonych na wtryskiwaczu oznaczonym symbolem II. Przedstawiono wyniki badań uzyskanych dla nastaw wartości ciśnienia paliwa zasilającego wynoszących $p_{wtr} = 60, 80$ i 100 MPa i jednakowym czasie wtrysku $t_{wtr} = 0,8$ ms. Dla każdego punktu wykonano po 3 powtórzenia z ciągłą rejestracją 10 wtrysków.

3. Wyniki badań i ich analiza

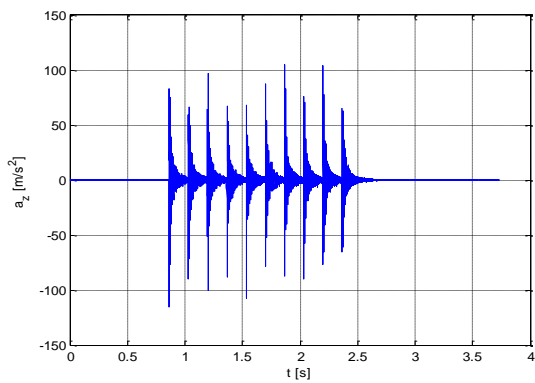
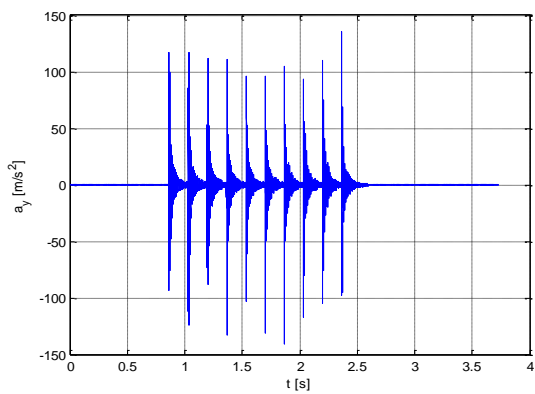
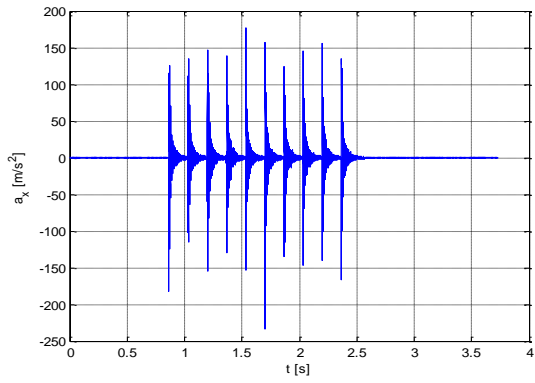
Podczas realizacji badań dokonano rejestracji przebiegu zmian sygnałów przyspieszeń drgań tulei reakcyjnej w kierunkach X (a_x), Y (a_y) i Z (a_z) podczas wtrysku paliwa do komory pomiarowej, jako odpowiedź tulei na wymuszenie procesem wtrysku paliwa. Poniżej przedstawiono przebiegi sygnałów przyspieszeń drgań tulei pomiarowej (rys. 6, 7, 8), na podstawie, których wyznaczono charakterystyki częstotliwościowe widma sygnałów przyspieszeń drgań w poszczególnych kierunkach (rys. 9, 10, 11).

Zarejestrowane przebiegi czasowe wartości przyspieszeń drgań potwierdziły różnice w ilości informacji, jakie można uzyskać z procesów towarzyszących w przypadku wtrysku paliwa realizowanego w tulei cienkościennej. Zmiany wartości przyspieszeń drgań tulei należy w bezpośredni sposób wiązać z energią, jaką struga paliwa niesie ze sobą i przekazuje na ściankę tulei. W związku z tym, w zależności od wielkości kropeł paliwa i ich prędkości uzyskuje się różnice w zmianie przyspieszeń tulei w poszczególnych kierunkach. W procesie tym szczególne znaczenie ma wartość ciśnienia paliwa zasilającego wtryskiwacz.

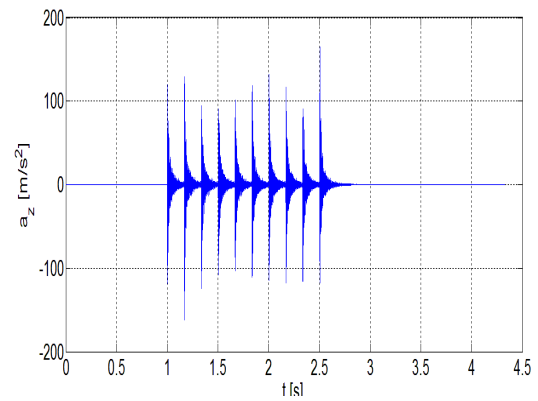
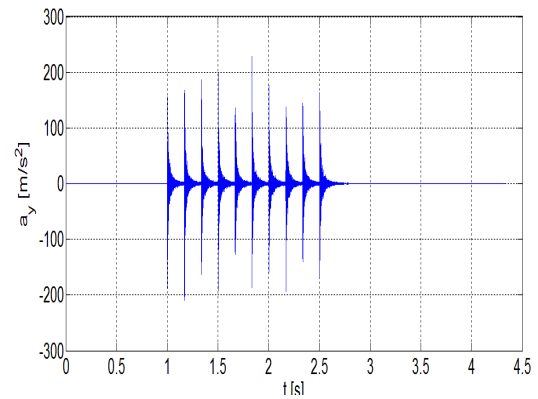
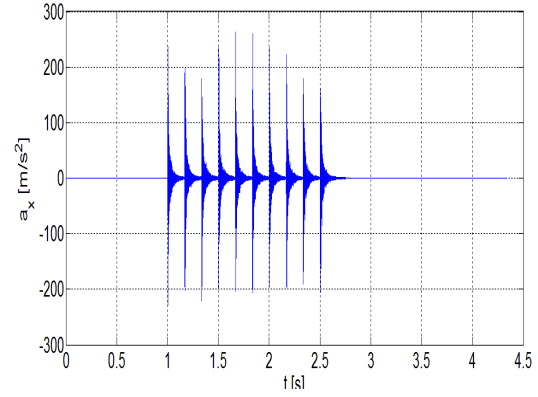
Zmiany parametrów wymuszające zmienność sygnałów wibroakustycznych nie wskazują, iż istnieje między nimi ściśle określona relacja, w związku z czym, potwierdzają słuszność podjęcia analizy charakterystyk częstotliwościowych uzyskanych sygnałów.



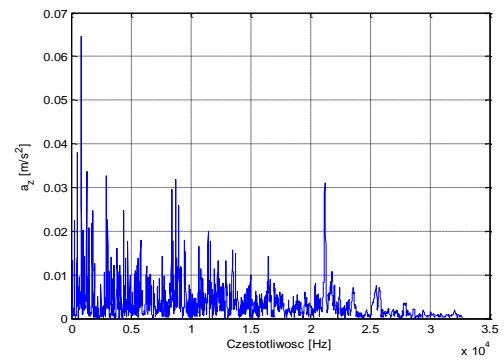
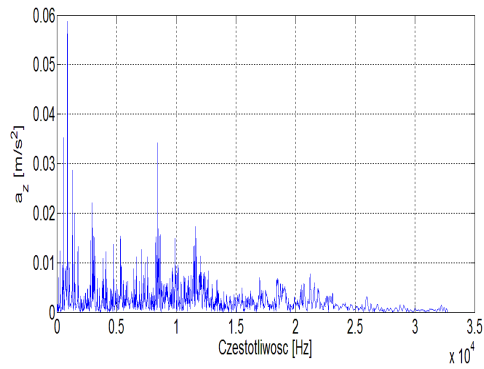
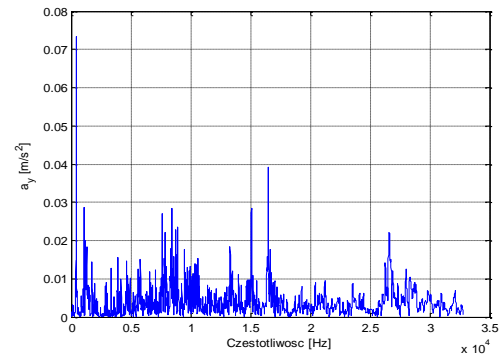
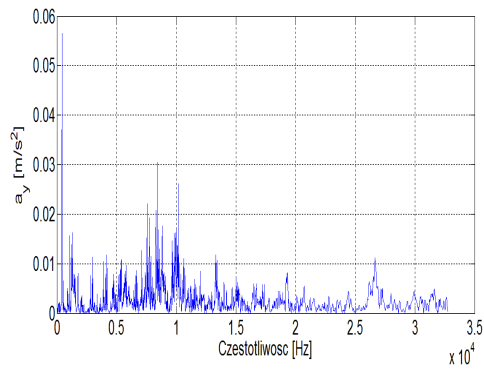
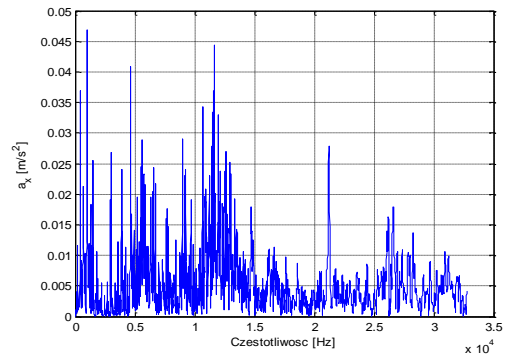
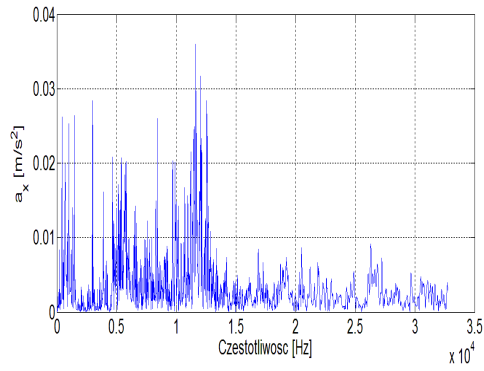
Rys. 6. Przebieg czasowy zmian sygnałów przyspieszeń drgań w kierunku X (a_x), Y (a_y) i Z (a_z) podczas wtrysku paliwa do komory pomiarowej jako odpowiedź tulei na wymuszenie procesem wtrysku dla: $p_{wtr} = 60$ MPa, $t_{wtr} = 0,8$ ms



Rys. 7. Przebieg czasowy zmian sygnałów przyspieszeń drgań w kierunku X (a_x), Y (a_y) i Z (a_z) podczas wtrysku paliwa do komory pomiarowej jako odpowiedź tulei na wymuszenie procesem wtrysku dla: $p_{wtr} = 80$ MPa, $t_{wtr} = 0,8$ ms

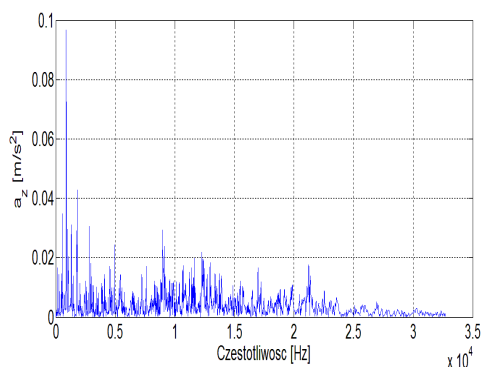
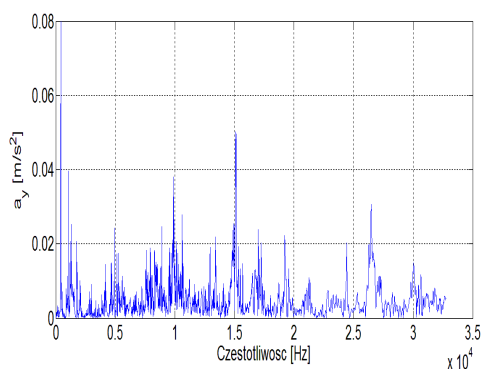
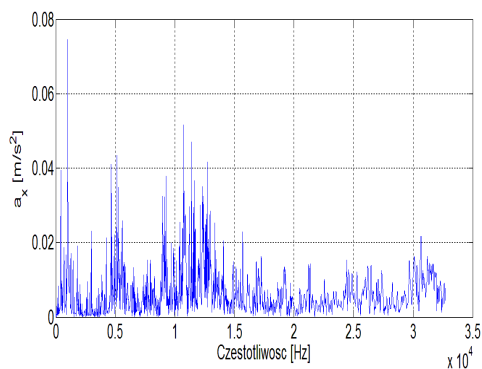


Rys. 8. Przebieg czasowy zmian sygnałów przyspieszeń drgań w kierunku X (a_x), Y (a_y) i Z (a_z) podczas wtrysku paliwa do komory pomiarowej jako odpowiedź tulei na wymuszenie procesem wtrysku dla: $p_{wtr} = 100$ MPa, $t_{wtr} = 0,8$ ms



Rys. 9. Przebieg częstotliwościowy widma sygnałów przyspieszeń drgań w kierunku X (a_x), Y (a_y) i Z (a_z) podczas wtrysku paliwa do komory pomiarowej jako odpowiedź tulei na wymuszenie procesem wtrysku dla: $p_{wtr} = 60$ MPa, $t_{wtr} = 0,8$ ms

Rys. 10. Przebieg częstotliwościowy widma sygnałów przyspieszeń drgań w kierunku X (a_x), Y (a_y) i Z (a_z) podczas wtrysku paliwa do komory pomiarowej jako odpowiedź tulei na wymuszenie procesem wtrysku dla: $p_{wtr} = 80$ MPa, $t_{wtr} = 0,8$ ms



Rys. 11. Przebieg częstotliwościowy widma sygnałów przyspieszeń drgań w kierunku X (a_x), Y (a_y) i Z (a_z) podczas wtrysku paliwa do komory pomiarowej jako odpowiedź tulei na wymuszenie procesem wtrysku dla: $p_{wtr} = 100$ MPa, $t_{wtr} = 0,8$ ms

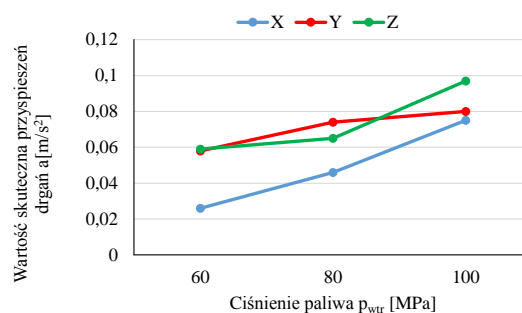
Dokonując analizy charakterystyk częstotliwościowych przeprowadzono porównanie wartości maksymalnych przyspieszeń drgań na sporządzonych charakterystykach dla zarejestrowanych sygnałów w poszczególnych kierunkach. Wyniki zestawiono w tablicy 2.

Tablica 2

Wartości maksymalne przyspieszeń drgań tulei reakcyjnej na charakterystyce częstotliwościowej sygnału

Ciśnienie paliwa p_{wtr} [MPa]	Wartość przyspieszenia a [m/s ²]		
	X	Y	Z
60	0,026	0,058	0,059
80	0,046	0,074	0,065
100	0,075	0,080	0,097

Prowadząc analizę porównawczą dokonano zestawienia wartości przyspieszeń drgań w kierunkach X, Y, Z, w zakresie częstotliwości $0-0,2 \cdot 10^4$ Hz wyznaczonych dla wybranych wartości ciśnienia paliwa zasilającego wtryskiwacz (rys. 12).



Rys. 12. Wartości skuteczne przyspieszenia drgań w zależności od ciśnienia wtryskiwanego paliwa

Przedstawione wartości wskazują na niewielkie różnice wartości przyspieszeń drgań występujących na tulei reakcyjnej w kierunku Y. Jest to związane z tym, że kierunek ten jest kierunkiem równoległym do osi tulei reakcyjnej. Natomiast różnice wartości maksymalnych przyspieszeń w kierunku X i Z wskazują, że zmiany wartości skutecznej przyspieszeń zależą od wartości ciśnienia paliwa zasilającego wtryskiwacz w sposób znaczący. Można by założyć tezę, że zmiany wartości skutecznej przyspieszenia zależą wprost proporcjonalnie od ciśnienia wtryskiwanego paliwa. Należy ją jednak poddać weryfikacji w zakresie niższych wartości ciśnienia paliwa zasilającego wtryskiwacz.

4. Podsumowanie

Przeprowadzone badania umożliwiły dokonanie oceny wpływu wartości ciśnienia paliwa zasilającego wtryskiwacz na uzyskiwane wartości sygnałów wibroakustycznych towarzyszących procesowi wtrysku paliwa do przestrzeni otwartej. Uzyskaną zależność należy uwzględnić w algorytmie oceny rozpylenia paliwa metodą wibroakustyczną. Przeprowadzone badania stanowią fragment prac zmierzających do opracowania testera wtryskiwaczy, którego działanie polega na weryfikacji poprawności rozpylenia paliwa.

Nomenclature/Skróty i oznaczenia

a_x, a_y, a_z wartości skuteczne przyspieszeń drgań w kierunkach X, Y, Z

p_{wtr} ciśnienie paliwa zasilającego wtryskiwacz

t czas

t_{wtr} czas wtrysku

X, Y, Z kierunek propagacji drgań

Bibliography/Literatura

- [1] Batko W., Dąbrowski Z., Engel Z., Kiciński J., Weyna S.: Nowoczesne metody badania procesów wibroakustycznych. Wydawnictwo Instytutu Technologii i Eksploatacji PIB, Radom 2005
- [2] Hallgren B.E., Heywood J.B.: Effects of Oxygenated Fuels on DI Diesel Combustion and Emissions. SAE Technical Paper Series 2001-01-0648.
- [3] Heywood J.B.: Internal Combustion Engine Fundamentals. McGraw-Hill Book Company, Boston 1988
- [4] Merkisz J., Markowski J., Bajerlein M., Waligórski M., Mądry J.: Ocena rozpylenia paliwa z wykorzystaniem procesów wibroakustycznych. IV Międzynarodowy Kongres Silników Spalinowych 16-17 czerwca 2011 r. Radom
- [5] Merkisz J.: Ekologiczne problemy silników spalinowych. Tom 1, 2. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 1998..
- [6] Merkisz J.: Emisja cząstek stałych przez silniki spalinowe o zapłonie samoczynnym. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań
- [7] Senda J., Hashimoto K., Ifuku Y., Fujimoto H.: CO2 Mixed Fuel Combustion System for Reduction of NO and Soot Emission in Diesel Engine. SAE Technical Paper Series 970319

Prof. Jerzy Merkisz, DSc., DEng. – Professor in the Faculty of Machines and Transport at Poznań University of Technology.

Prof. dr hab. inż. Jerzy Merkisz – profesor na Wydziale Maszyn Roboczych i Transportu Politechniki Poznańskiej.



Ireneusz Pielecha, DSc., DEng. – Doctor in the Faculty of Machines and Transport at Poznań University of Technology.

Dr hab. inż. Ireneusz Pielecha – adiunkt na Wydziale Maszyn Roboczych i Transportu Politechniki Poznańskiej.



Jarosław Markowski, DEng. – Doctor in the Faculty of Machines and Transport at Poznań University of Technology.

Dr inż. Jarosław Markowski – adiunkt na Wydziale Maszyn Roboczych i Transportu Politechniki Poznańskiej.



Marek Waligórski, DEng. – Doctor in the Faculty of Machines and Transport at Poznań University of Technology.

Dr inż. Marek Waligórski – adiunkt na Wydziale Maszyn Roboczych i Transportu Politechniki Poznańskiej.

