

Badania i symulacje dotyczące zastosowania metod wibroakustycznych do diagnozowania wypadania zapłonów w silnikach o zapłonie samoczynnym lokomotyw spalinowych

Niniejszy artykuł dotyczy możliwości zastosowania metody oceny procesu spalania i jego braku w silnikach spalinowych pojazdów szynowych, bazującej na wykorzystaniu parametrów sygnału drganiowego. Zamieszczono w nim wyniki badań silnika spalinowego lokomotywy w warunkach jej eksploatacji. Wykazano możliwość zastosowania estymat sygnału drganiowego do oceny braku spalania w silniku spalinowym oraz dużą wiarygodność diagnostyki procesu spalania za pomocą powyższej metody.

1. Wstęp

Silnik spalinowy stanowi jak dotąd podstawowe źródło napędu pojazdów. Mimo, iż różni się on znacznie od swojego pierwowzoru, podstawowym jego zadaniem jest zamiana energii zawartej w paliwie na pracę mechaniczną. Jego początkowy rozwój był ukierunkowany w głównej mierze na to, aby powyższa konwersja była jak największa, co przekładało się na postulat uzyskania przez silnik możliwie jak największych wartości parametrów eksploatacyjnych w jak najszerszym polu jego pracy przy zachowaniu jak najmniejszego zużycia paliwa i masy silnika. W procesie projektowania uwzględniano wytrzymałość silnika i jego niezawodność. Od chwili jego powstania dostrzega się konieczność kontroli poprawności przebiegu procesów w nim zachodzących i jego stanu technicznego. W chwili obecnej do szeregu wymagań jakim musi sprostać silnik spalinowy dochodzi również wymaganie dotyczące jak najmniejszej uciążliwości silnika dla środowiska naturalnego, zarówno w odniesieniu do emisji składników szkodliwych spalin, jak i hałasu.

W całym okresie eksploatacji następują zmiany wszystkich charakterystyk funkcjonalnych silnika spalinowego, powodujące stopniowe pogorszenie charakterystyk eksploatacyjnych. Ciągły proces zużycia silnika, który intensyfikuje się jeszcze bardziej podczas jego niewłaściwej eksploatacji, prowadzi do pogorszenia się uzyskiwanych przez niego parametrów pracy, zakłócenia prawidłowości tworzenia mieszanki palnej i przebiegu procesu spalania, zmniejszenia trwałości a w dalszej konsekwencji do jego uszkodzenia. Każdy z powyższych czynników oddziałuje niekorzystnie na emisję składników szkodliwych spalin z silnika, która wpływa na stan środowiska naturalnego i zdrowie człowieka. Dlatego celowe stało się ciągle diagnozowanie poprawności funkcjonowania danych zespołów, podzespołów i elementów silnika spalinowego tak, aby pojazd spełniał aktualne normy

emisji podczas całego okresu jego eksploatacji. W następstwie tego zastosowano w silnikach wymagania diagnostyki pokładowej, początkowo w silnikach o zapłonie iskrowym (ZI), a następnie w samoczynnym (ZS) samochodów osobowych i pojazdów typu LDV (ang. *Light Duty Vehicles*). Wysoki poziom wymagań w odniesieniu do silników spalinowych i uzyskane korzyści z wprowadzenia wymagań diagnostyki pokładowej spowodowały, iż rozszerza się obszar zastosowania systemów OBD (ang. *On-Board Diagnostics*) również do silników innych pojazdów. Rozpatrując zmiany norm emisji (w USA i Europie), dostrzec można tendencje do coraz szerszego wprowadzania wymagań diagnostyki OBD i takich systemów do pojazdów o zastosowaniach pozadrogowych [4, 5]. Należy spodziewać się, iż w niedalekiej przyszłości diagnostyka pokładowa będzie stosowana w spalinowych pojazdach szynowych, co potwierdza słuszność podjęcia się oceny możliwości zastosowania systemów OBD w tej grupie pojazdów.

Spalinowe pojazdy trakcyjne są eksploatowane przez poszczególne spółki PKP (lokomotywy spalinowe liniowe i manewrowe, autobusy szynowe, pojazdy pomocnicze, pojazdy szynowo-drogowe, wózki motorowe, żurawie itp.) oraz w dużych zakładach przemysłowych, jak huty, stocznie, kopalnie, suche porty przeładunkowe. Powyższe pojazdy realizują, poza pracami liniowymi, również prace manewrowe i przetokowe. Rozważane pojazdy, mimo nacisków na zastąpienie ich trakcją elektryczną, z uwagi na swoje zalety nadal są stosowane przez zarządy kolejowe poszczególnych krajów europejskich a ich udział w niektórych krajach jest dominujący (np. USA i Kanada – ponad 90% pojazdów trakcji to trakcja spalinowa).

Jako główny cel pracy przyjęto ocenę możliwości użycia metod wibroakustycznych do wykrywania zjawisk wypadania zapłonów w silniku.

Uwzględniono weryfikację nowej metody w zakresie jej zastosowania w procedurach diagnostycznych realizowanych w systemach OBD, które wykorzystywałyby parametry sygnału drganiowego do diagnostycznej oceny stanu technicznego silnika i poprawności przebiegu procesów w nim zachodzących. Uzyskana przez autorów pracy i opisana szerzej w [6] metodyka diagnozowania wypadania zapłonów oparta na powyższej metodzie (badania podstawowe zrealizowane na hamowni silnikowej na jednocylindrowym badawczym silniku ZS o bezpośrednim wtrysku paliwa do komory spalania) umożliwiła wyznaczenie kierunku rejestracji sygnału pomiarowego, miejsca mocowania przetworników drgań na silniku, parametru diagnostycznego i warunków pomiarowych. Powyższe dane stały się podstawą do dalszych badań autorów, które wykorzystano w pomiarach eksploatacyjnych zrealizowanych na wybranej lokomotywie spalinowej, a których celem było sprawdzenie poprawności uzyskanych wyników dla tego rodzaju obiektu pomiarowego i uzyskanie podstaw do aplikacji systemu OBD w tej grupie silników i pojazdów.

2. Badania podstawowe na hamowni silnikowej

Badania wykrywania wypadania zapłonu w silniku spalinowym za pomocą metod reszkowych zrealizowano w oparciu o eksperyment czynny, który polega na celowej zmianie parametrów wejściowych i obserwacji wpływu tych zmian na wielkości wyjściowe. Parametrami wejściowymi były prędkość obrotowa i obciążenie silnika, natomiast parametry wyjściowe stanowiły: przyspieszenia i prędkości drgań oraz ciśnienie w komorze spalania. Powyższe badania zrealizowano na hamowni silnikowej, a obiektem badań był jednocylindrowy silnik badawczy typu SB 3.1 zbudowany na bazie konstrukcji silnika typu SW 680.

Wyboru warunków pracy silnika dokonano w oparciu o użyteczny zakres wartości prędkości obrotowej i momentu obrotowego, jakie można było uzyskać z obiektu badań. Warunki te odzwierciedlały pracę silnika w ramach charakterystyk obciążeniowych.

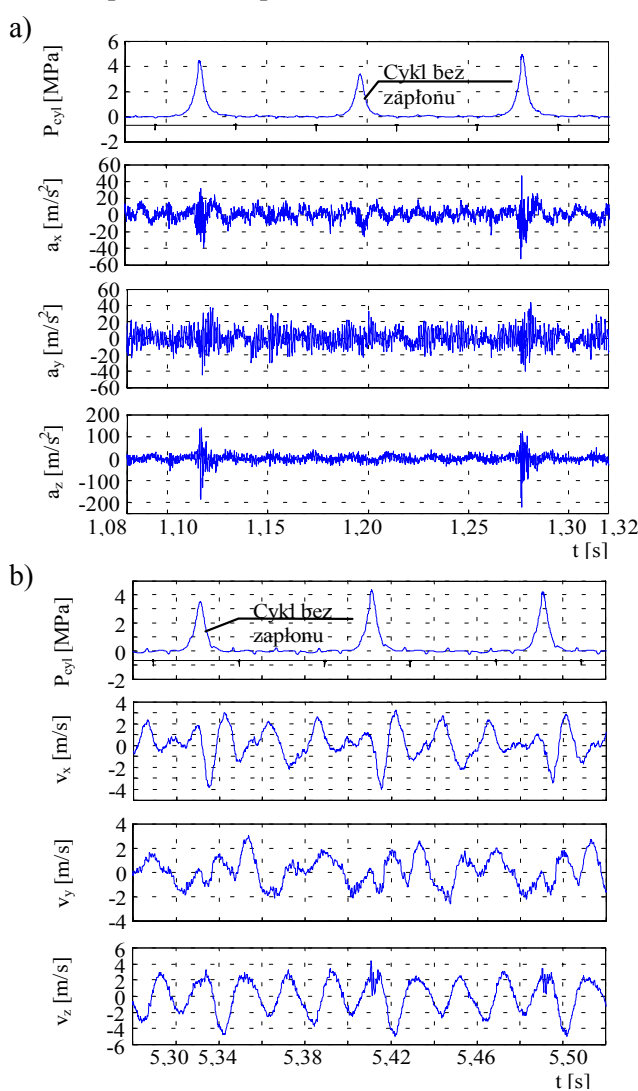
W cyklu badań uwzględniono dodatkowo punkt pracy silnika, który odpowiadał pracy silnika w warunkach biegu jałowego. Zmiany obciążenia silnika dokonywano w taki sposób, aby objąć cyklem badawczym możliwie jak największy zbiór wartości obciążenia. Dla tak dobranych punktów pracy silnika rejestrowano parametry wyjściowe. Parametry te były rejestrowane w sposób równoczesny. W trakcie realizacji eksperymentu utrzymywano stałą wartość temperatury cieczy chłodzącej za pomocą zewnętrznego układu do stabilizacji temperatury.

W badaniach wybrano punkty pomiarowe zlokalizowane na głowicy silnika. Punkty wybrano zgodnie z zasadą, że przetwornik pomiarowy powinien znajdować się jak najbliżej miejsca generowania

sygnału drgań związanego z rozpatrywanym procesem.

W ramach badań rejestrowano sygnały drgań w trzech wzajemnie prostopadłych kierunkach: równoległym do osi wzdłużnej wału korbowego (kierunek X), prostopadłym do osi wzdłużnej wału korbowego i cylindra (kierunek Y), równoległym do osi wzdłużnej cylindra i jednocześnie prostopadłym do kierunków X i Y (kierunek Z).

Sygnały pomiarowe uzyskane z przetworników kierowano do wzmacniaczy, w których były poddawane wzmocnieniu i normalizowaniu. Sygnały powyższe były następnie kierowane na wejścia analogowe karty do dynamicznej akwizycji danych. Wewnątrz niej były poddane procesowi filtracji za pomocą filtrów analogowych i cyfrowych, po czym przekształcono je z postaci analogowej w cyfrową. Uzyskane sygnały po wyjściu z karty pomiarowej zapisywano w pamięci komputera.



Rys. 1. Przebiegi czasowe sygnałów pomiarowych dla $M_o = 0$ Nm i $n = 1500$ obr/min: a) ciśnienia w cylindrze (P_{cyl}) i przyspieszeń drgań w kierunku X, Y i Z (a_x , a_y , a_z), b) ciśnienia w cylindrze i prędkości drgań w kierunku X, Y i Z (v_x , v_y , v_z)

Ocenę jakościową wpływu zjawiska wypadania zapłonu na przebiegi czasowe przyspieszeń i prędkości drgań oraz ciśnienia w cylindrze zrealizowano dla warunków pracy silnika zdefiniowanych dla badań. Na podstawie tych przebiegów stwierdzono jakościowe zmiany sygnałów przyspieszeń drgań wskutek braku zapłonu dla każdego z punktów pracy silnika. Na rysunku 1 przedstawiono wpływ zjawiska wypadania zapłonu na przebiegi czasowe przyspieszeń (a_x , a_y , a_z) i prędkości drgań (v_x , v_y , v_z) dla każdego z kierunków rejestracji sygnałów w wybranym punkcie pracy silnika.

Wystąpienie zapłonu w cylindrze i dalszy rozwój procesu spalania powoduje gwałtowny wzrost amplitudy przyspieszeń drgań w każdym z kierunków rejestracji sygnałów pomiarowych. Wartości amplitud sygnałów przyspieszeń drgań w poszczególnych cyklach pozostają w ścisłym związku ze zmianami wartości szczytowej ciśnienia w cylindrze w tych cyklach. W przypadku braku spalania nie występuje wzrost amplitudy sygnału przyspieszeń drgań. Spośród trzech kierunków rejestracji sygnałów przyspieszeń drgań, najwyższe wartości amplitud dla sygnałów reprezentujących cykle pracy silnika uzyskiwano dla kierunku Z (równoległego do osi wzdłużnej cylindra). Powyższy kierunek odznaczał się również występowaniem relatywnie niewielkich wartości amplitud między cyklami pracy, co korzystnie wpływało na proces diagnozowania. Zbyt duże wartości amplitud sygnału między cyklami zarejestrowane dla innych kierunków sprawiły, że powyższe sygnały były bezużyteczne dla diagnozowania wypadania zapłonów i ich nie rozważano. Charakter zmian sygnałów na przebiegach czasowych dla rozważanych parametrów w różnych punktach pracy silnika był podobny z zaprezentowanym na rysunku 1. Różnice dotyczyły wartości uzyskiwanych amplitud dla cykli ze spalaniem i brakiem zapłonu i dla odcinków reprezentujących zmiany obciążenia.

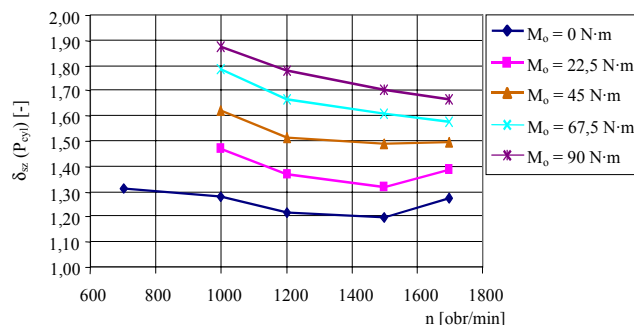
Wszystkie zarejestrowane przebiegi czasowe sygnałów poddano procesowi selekcji czasowej. W powyższej selekcji każdy zarejestrowany sygnał podzielono na odcinki czasowe zawierające pojedyncze cykle pracy silnika. Podzielone sygnały pomiarowe umożliwiły autorom pracy rozważenie wpływu pojedynczego procesu spalania na wybrane parametry sygnału drganiowego i, jako rezultat, obliczenie różnic powyższych parametrów dla prawidłowego procesu spalania i cykli, w których miało miejsce wypadanie zapłonu.

Wybór kierunku pomiarowego i analizowanego parametru procesu wibroakustycznego, które są najbardziej wrażliwe na wystąpienie zjawisk wypadania zapłonu powinno być zrealizowane w sposób ilościowy. Ocenę ilościową sygnału drgań przeprowadzono za pomocą miar punktowych [1, 2, 3]. Powyższe miary wyznaczono na podstawie przebiegów cza-

sowych mierzonych sygnałów. Wyznaczono wymiarowe i bezwymiarowe amplitudowe miary punktowe procesów wibroakustycznych.

Pojedyncze cykle pracy silnika podzielono na cykle ze spalaniem i z brakiem zapłonu. Dla każdego z nich obliczono następnie wybrane miary punktowe dla ciśnienia w cylindrze, przyspieszeń i prędkości drgań. Porównano uzyskane wybrane charakterystyki sygnału ze spalaniem i z jego brakiem, dzięki czemu było możliwe obliczenie względnej zmiany miary punktowej, będącej wynikiem wystąpienia braku zapłonu w cylindrze.

Zjawiska wypadania zapłonu powodują, iż wartości maksymalne ciśnienia w cylindrze zmniejszają się. Dla badanego silnika i rozważanych punktów pracy brak zapłonu powodował względne zmniejszenie wartości szczytowej ciśnienia w cylindrze $\delta_{sz}(P_{cyl})$ od 1,20 do 1,87 (rys. 2).



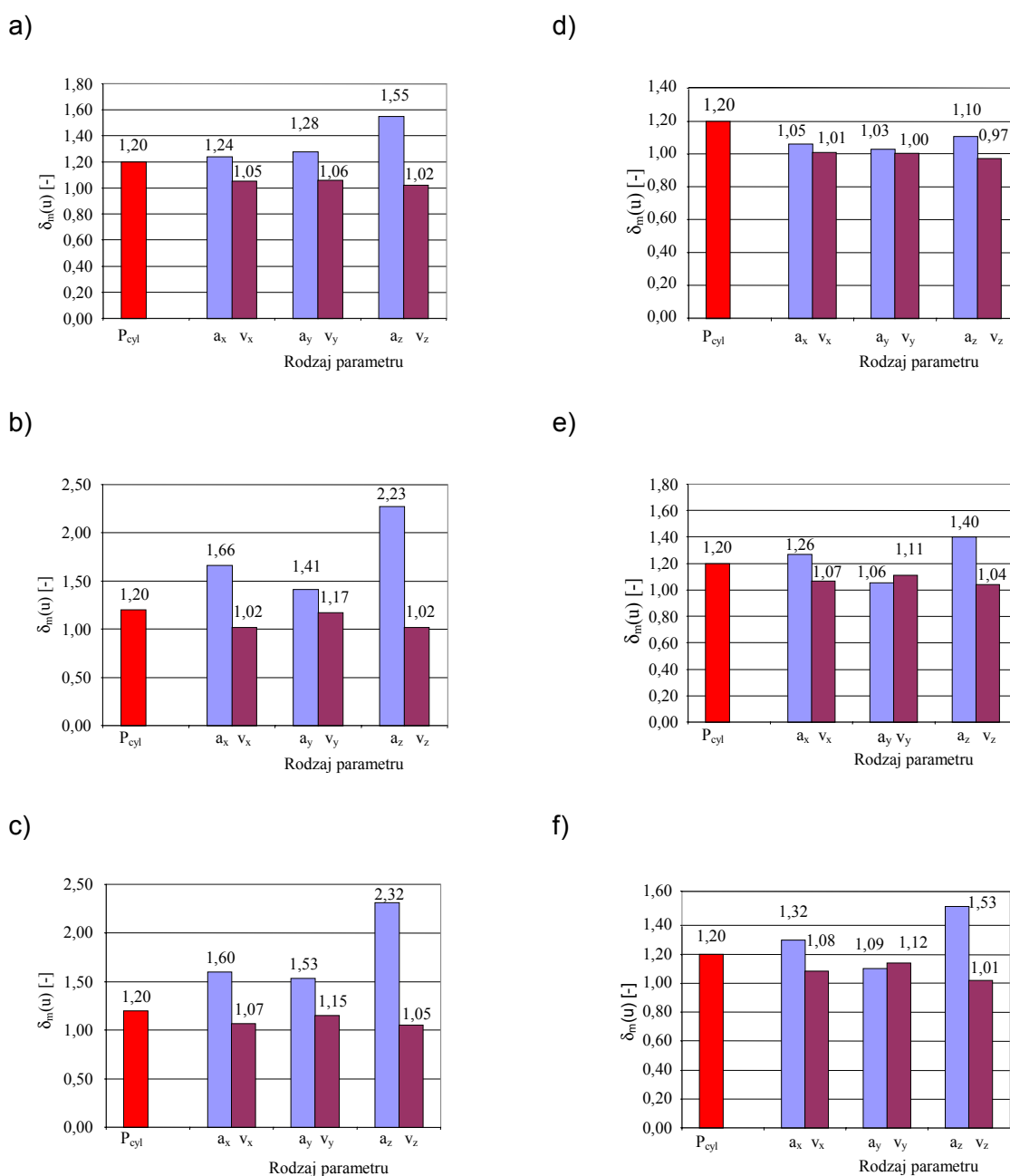
Rys. 2. Względna zmiana wartości szczytowej ciśnienia w cylindrze (P_{cyl}) wskutek braku zapłonu dla różnych wartości prędkości obrotowej i momentu obrotowego

W celu wyboru właściwego kierunku pomiarowego, parametrów i miar punktowych sygnału wibroakustycznego, wyznaczono względne zmiany sygnałów wibroakustycznych dla wszystkich rozważanych w pomiarach punktów pracy silnika i każdego cyklu pracy. Na rysunku 3 przedstawiono wrażliwość miar sygnałów drganiowych na wystąpienie braku zapłonu dla trzech kierunków rejestracji sygnałów pomiarowych. Punkt pracy silnika, gdzie $M_0 = 0$ N·m reprezentuje najmniej korzystne warunki dla diagnozowania wypadania zapłonów.

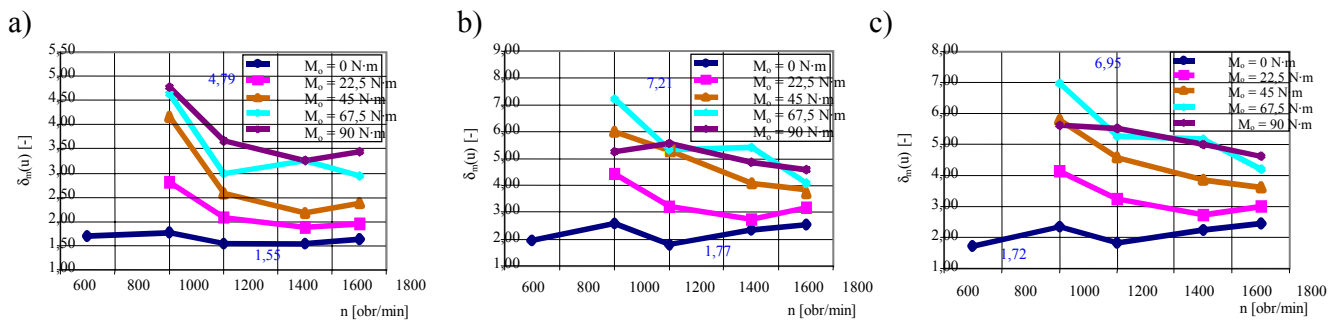
Kierunek Z był najbardziej wrażliwy i wiarygodny dla diagnostyki wypadania zapłonu. Analiza prędkości drgań dla rozważanych warunków pracy silnika potwierdziła niewielką zmianę każdej miary wibroakustycznej w wyniku wystąpienia braku zapłonu. Zaobserwowano różne zachowanie sygnałów prędkości drgań dla każdego z rejestrowanych kierunków pomiarowych. Jedynie przyspieszenia drgań zapewniały prawidłową diagnozę braku zapłonu. Porównując charakterystyki wibroakustyczne z uzyskaną wrażliwością sygnału ciśnienia w cylindrze na brak zapłonu dostrzec można, że przyspieszenie drgań w kierunku Z jest znacznie lepsze dla diagnostyki

wypadania zapłonu niż sygnał ciśnienia w cylindrze nawet w przypadku najmniej korzystnych warunków pomiarowych. Przyspieszenia drgań dla pozostałych kierunków rejestracji sygnałów były również bardziej wiarygodne dla procesu diagnostyki niż sygnał ciśnienia w cylindrze. Współczynniki kształtu, szczytu i impulsowości, nie mogą być zastosowane do diagnostyki braku zapłonu z uwagi na niewielką dynamikę zmian sygnału w przypadku zaistnienia zjawiska wypadania zapłonu. Powyższe zmiany odnotowano dla różnych kierunków rejestracji i punktów pracy silnika.

Biorąc pod uwagę wszystkie rozważane punkty pracy silnika, względne zmniejszenie powyższych miar punktowych (dla przyspieszeń drgań w kierunku Z) w wyniku braku spalania zwiększa się wraz ze wzrostem wartości momentu obrotowego (rys. 4). Rozpoznanie zjawisk wypadania zapłonu wśród cykli ze spalaniem jest znacznie lepsze w powyższych warunkach niż dla wartości szczytowej ciśnienia w cylindrze.



Rys. 3. Względna zmiana wartości szczytowej ciśnienia w cylindrze (P_{cyl}), wartości skutecznej (a), szczytowej (b), międzyszczytowej (c), współczynnika kształtu (d), szczytu (e) i impulsowości (f) przyspieszeń drgań (a_x, a_y, a_z) oraz prędkości drgań (v_x, v_y, v_z) w kierunku X, Y i Z dla $n = 1500$ obr/min i $M_0 = 0$ N·m



Rys. 4. Względne zmniejszenie wartości skutecznej (a), szczytowej (b) i międzyszczytowej (c) przyspieszeń drgań w kierunku Z w wyniku braku zapłonu dla różnych wartości prędkości obrotowej i momentu obrotowego

3. Badania lokomotywy spalinowej

3.1. Metodyka badań i stanowisko pomiarowe

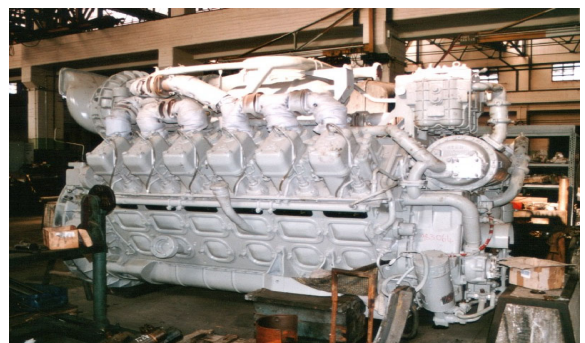
Badania przeprowadzono na dwunastocylindrowym silniku ZS z bezpośrednim dostarczaniem paliwa do cylindra lokomotywy spalinowej typu SU45 (rys. 5). Dane techniczne silnika zamieszczono poniżej:

- rodzaj silnika.....2112 SSF, 4-suwowy
- średnica cylindra × skok tłoka $D \times S = 0,210 \times 0,230$ [m]
- stopień sprężania..... $\varepsilon = 11,3$
- objętość skokowa silnika $V_{ss} = 96,6 \cdot 10^{-3}$ [m³]
- znamionowa moc użyteczna1655 [kW] przy 1500 obr/min
- układ cylindrówV12
- średnie ciśnienie użyteczne $p_e = 1,37$ MPa
- ilość zaworów/1 cylinder.....4
- otwarcie zaworu dolotowego.....35° przed GMP (górnym martwym punktem położenia tłoka)
- zamknięcie zaworu dolotowego.....23° po DMP (dolnym martwym punktem położenia tłoka)
- otwarcie zaworu wylotowego25° przed DMP
- zamknięcie zaworu wylotowego.....53° po GMP
- ciśnienie otwarcia wtryskiwacza $p_{wtr} = 26$ MPa
- geometryczny początek tłoczenia paliwa $\alpha_{ptl} = 32^\circ$ przed GMP

a)



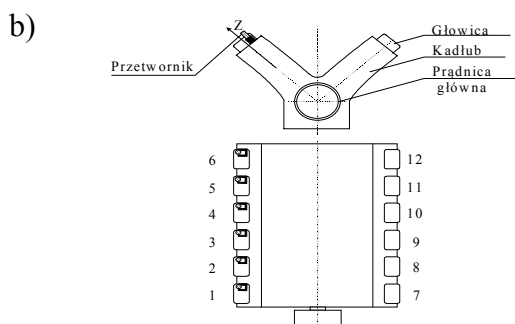
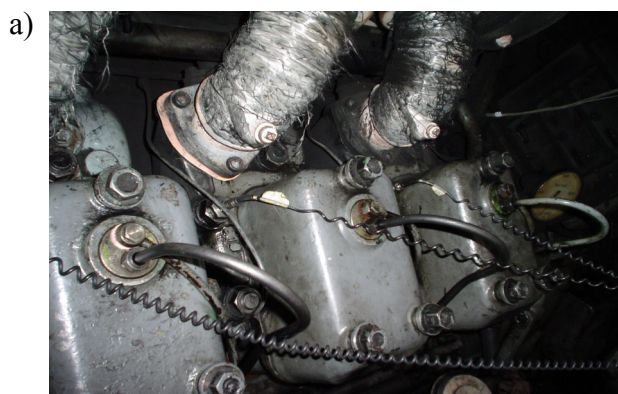
b)



Rys. 5. Widok lokomotywy spalinowej typu SU45 (a) oraz zastosowanego w niej silnika spalinowego

Wybór warunków pracy silnika zrealizowano w oparciu o użyteczny zakres prędkości obrotowej i momentu obrotowego badanego silnika, odpowiadający warunkom jego eksploatacji. Pomiary podzielono na dwa etapy. W pierwszym z nich uwzględniono wszystkie cylindry jednego rzędu, w celu określenia możliwości zastosowania charakterystyk wibroakustycznych do oceny przebiegu procesu spalania w silniku stosowanym w pojazdach trakcyjnych. Powyższy etap zrealizowano celem określenia różnic we wrażliwości sygnału drganiowego w każdym z cylindrów. Powyższe działania umożliwiły wyznaczenie najbardziej i najmniej korzystnych warunków dla wykrywania braku spalania z zastosowaniem metod drganiowych. Drugi etap badań zastosowano w celu wyznaczenia różnic między sygnałami dla procesu spalania i braku zapłonu dla różnych punktów pracy (zmian mocy użytecznej) i 3 cylindrów wybranych w pierwszym etapie. W pierwszym etapie uwzględniono następujące prędkości obrotowe silnika: 700, 900, 1080, 1300 i 1500 obr/min. Badania przeprowadzono dla następujących wartości mocy użytecznej: ~ 0 (bieg jałowy), 252, 460, 580, 667 kW. W drugim etapie badań uwzględniono wszystkie wartości prędkości obrotowej i momentu obrotowego określone daną pozycją nastawnika jazdy lokomotywy.

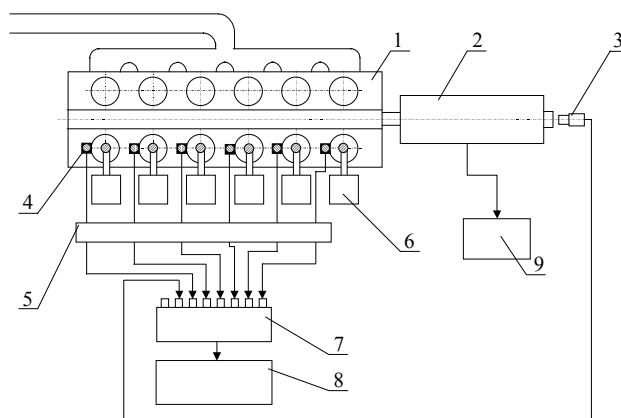
Punkty pomiarowe zlokalizowano na głowicy silnika. Powyższe punkty wybrano zgodnie z zasadą, że przetwornik pomiarowy powinien być umieszczony jak najbliżej miejsca generacji sygnału drganiowego odnoszącego się do danego procesu (rys. 6).



Rys. 6. Rozmieszczenie punktów pomiarowych na silniku: a) widok silnika wraz z przetwornikami, b) schemat rozmieszczenia przetworników

W badaniach zastosowano układ pomiarowy, w skład którego wchodziły (rys. 7):

- przetworniki drgań w kierunku Z firmy Brüel & Kjær, typ 4391,
- kalibrator sygnałów drganiowych firmy Brüel & Kjær 4294,
- znacznik kąta obrotu wału korbowego by Wobit MOK,
- wzmacniacz ładunku NEXUS, typ 2692,
- karta do dynamicznej akwizycji danych firmy National Instruments, typ PCI-4472,
- opornik wodny wraz z układem sterowania,
- układ do pomiaru temperatury cieczy chłodzącej i oleju silnikowego.

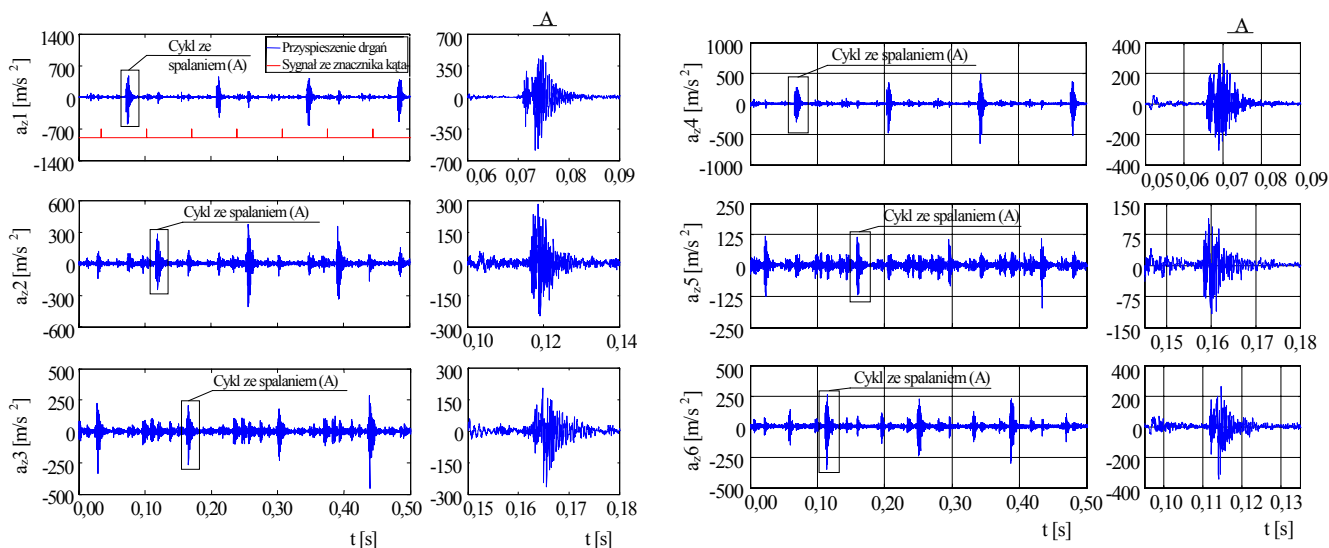


Rys. 7. Schemat stanowiska pomiarowego: 1 – silnik spalinowy, 2 – prądnice, 3 – znacznik kąta obrotu wału korbowego, 4 – przetwornik drgań, 5 – wzmacniacz ładunku, 6 – pompa wtryskowa, 7 – karta pomiarowa, 8 – komputer, 9 – opornik wodny wraz z układem sterowania

Sposób pomiaru sygnałów był podobny do tego, który zastosowano w badaniach podstawowych na hamowni silnikowej. Moment obrotowy i moc użyteczna silnika były wyznaczane i kontrolowane przy użyciu stanowiska z opornikiem wodnym.

3.2. Wyniki badań i analiz

Pierwszy i drugi etap badań na lokomotywie spalinowej dowiodły, iż sygnał drganiowy może być zastosowany do bieżącej oceny zjawisk wypadania zapłonu, które występują podczas pracy silnika. Zapłon powoduje impulsowe zmiany amplitud sygnału drganiowego, proces spalania ma swoje odzwierciedlenie w sygnale drganiowym. Sygnał drganiowy jest jednoznaczny w każdym cyklu pracy niezależnie od numeru cylindra, co potwierdza wiarygodność metody w odniesieniu do procedur detekcji stosowanych dla wielocylindrowych silników ZS (rys. 8).

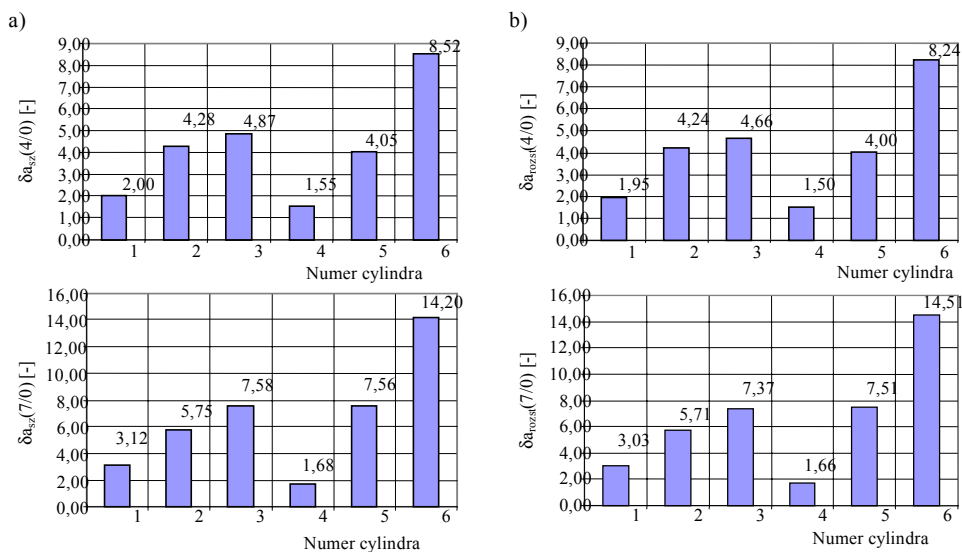


Rys. 8. Przykładowy przebieg przyspieszeń drgań w kierunku Z (a_z) na głowicach cylindrów 1 ÷ 6 silnika spalinowego typu 2112 SSF lokomotywy spalinowej ($n = 900$ obr/min i $M_0 = 2674$ N·m)

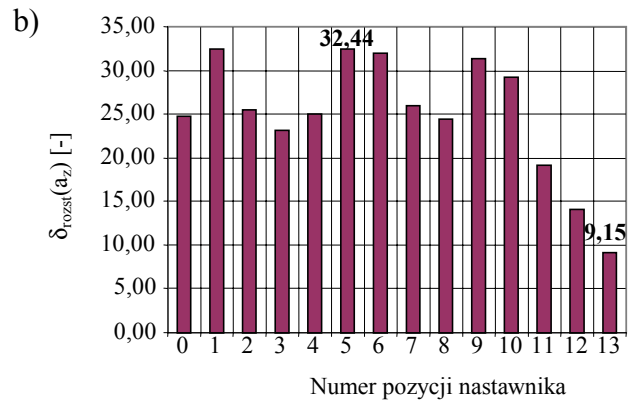
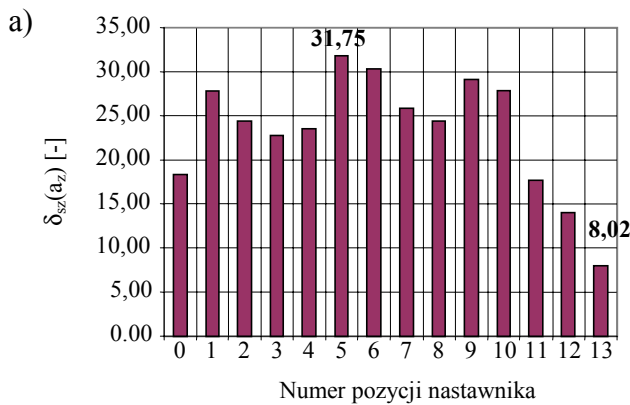
Zmiany mocy użytecznej powodowały zmiany dynamiki estymatorów punktowych sygnału drganiowego. Oznacza to, że parametry sygnału drganiowego podążają za zmianami wartości mocy (momentu obrotowego i prędkości obrotowej). Wzrost mocy użytecznej powodował wzrost wartości szczytowej i międzyszczytowej w każdym z cylindrów. Miarę punktową dla każdego z punktów pracy silnika odniesiono do miary punktowej uzyskanej dla pracy silnika w warunkach biegu jałowego (rys. 9).

Dla cylindra nr 4 odnotowano najmniejszą a dla cylindra nr 6 największą zmianę miar punktowych w przypadku zmiany wartości mocy użytecznej silnika. Powyższe dwa cylindry reprezentują najgorsze i najlepsze warunki dla strategii wykrywania braku zapłonu w silniku. W dalszej części artykułu będzie brany pod uwagę cylinder nr 4.

W przypadku wystąpienia zjawiska wypadania zapłonu (brak zapłonu był realizowany w silniku przez odcinanie dopływu paliwa do cylindra) nastąpiło zmniejszenie wartości amplitudy sygnału drganiowego odpowiednio do numeru cylindra i warunków pracy silnika. Względne zmniejszenie wartości szczytowej i międzyszczytowej, uzyskane dla silnika spalinowego lokomotywy, potwierdziło bardzo dużą precyzję i wiarygodność wykrywania zjawisk wypadania zapłonów przy pomocy metod drganiowych. W przypadku cylindra nr 4, wystąpienie braku zapłonu powodowało zmniejszenie wartości szczytowej od 8 do 31 razy w odniesieniu do wartości uzyskanej dla prawidłowego procesu spalania. W przypadku wartości międzyszczytowej, względne zmniejszenie powyższej miary wyniosło od 9 do 32 (rys. 10).



Rys. 9. Względne zwiększenie wartości szczytowej (a) i międzyszczytowej (b) przyspieszeń drgań na głowicach wybranych cylindrów silnika 2112 SSF dla czwartej ($n = 900$ obr/min, $M_0 = 2674$ N·m) i siódmej ($n = 1080$ obr/min, $M_0 = 4067$ N·m) pozycji nastawnika jazdy odniesione do biegu jałowego silnika



Rys. 10. Względne zmniejszenie wartości szczytowej (a) i międzyszczytowej (b) w wyniku wystąpienia braku zapłonu dla różnych punktów pracy silnika 2112 SSF

4. Podsumowanie

Badania przeprowadzone na hamowni silnikowej umożliwiły określenie możliwości zastosowania sygnału drganiowego do wykrywania braku zapłonu, zdefiniowanie miejsca mocowania przetworników pomiarowych na silniku, kierunku rejestracji sygnałów. Dodatkowo udowodniono, że jako sygnał pomiarowy należy zastosować przyspieszenia drgań oraz iż proste wymiarowe miary punktowe procesu wibroakustycznego mogą bardzo dobrze opisać zmiany zachodzące w wyniku wystąpienia braku zapłonu w silniku. Mogą one być podstawą do realizacji procedury diagnostycznej wykrywania zjawisk wypadania zapłonu w systemach OBD II.

Kontrola procesu spalania oparta na wybranych parametrach sygnału drganiowego umożliwia jednoznaczne wykrywanie zjawisk wypadania zapłonów, co stanowi zaletę w odniesieniu do metod stosowanych obecnie [7, 8]. Badania przeprowadzone na silniku ZS lokomotywy spalinowej w warunkach jej eksploatacji potwierdziły dużą precyzję i jakość wykrycia wypadania zapłonu przy pomocy przyspieszeń drgań. Uzyskane wyniki dowiodły dużą precyzję procesu diagnostycznego dla każdego z cylindrów i niezależność diagnozy od innych czynników zakłócających.

Literatura

- [1] Cempel C.: *Podstawy wibroakustycznej diagnostyki maszyn*. Warszawa, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, 1982.
- [2] Cempel C., Tomaszewski F.: *Diagnostyka maszyn*, Radom, Międzyresortowe Centrum Naukowe Eksploatacji Majątku Trwałego, 1992.
- [3] Korbicz J.: *Diagnostyka procesów. Modele, metody sztucznej inteligencji, zastosowania*, Warszawa, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, 2002.
- [4] Merkisz J.: *System OBD II jako narzędzie umożliwiające spełnienie norm toksyczności spalin podczas eksploatacji*, V Konferencja Naukowo-Techniczna na temat: Diagnostyka Pojazdów Samochodowych 2000, Katowice 2000.
- [5] Merkisz J., Mazurek St.: *Pokładowe systemy diagnostyczne pojazdów samochodowych*. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, 2002.
- [6] Merkisz J., Waligórski M.: *The Use of Vibration Parameters in the Research of Misfire Events in CI Engines in the Point of View of the OBD System Appliance in Diesel Locomotives*. 2007 SAE World Congress&Exhibition, Detroit, 16-19.04.2007.
- [7] Merkisz J., Waligórski M., Boguś P.: *Możliwości i warunki zastosowania systemów podobnych do OBD w silnikach lokomotyw spalinowych*, the 29th International Conference on Internal Combustion Engines, KONES 2003, Wisła 14-17.09.2003.
- [8] Merkisz J., Waligórski M., Boguś P., Grzeszczyk R.: *Diagnostyka pokładowa zjawiska wypadania zapłonów w silnikach lokomotyw spalinowych*. *Kwartalnik naukowo-techniczny pt. Pojazdy Szynowe*, nr 4/2002, Poznań, 2002.