

Mirosław KARCZEWSKI*
Krzysztof KOLIŃSKI

DIAGNOSTYKA WTRYSKIWACZY UKŁADU COMMON RAIL NA PODSTAWIE POMIARÓW CIŚNIENIA W ZASOBNIKU

Coraz większa ilość silników o zapłonie samoczynnym wyposażona jest w układy zasilania typu common-rail. W układach tych wtryskiwacze są zasilane paliwem pod wysokim ciśnieniem ze wspólnego zasobnika. Dynamiczne zmiany ciśnienia w szynie spowodowane są zjawiskami zachodzącymi podczas wtrysku i zasilania tegoż zasobnika. Pomiar tych zmian umożliwia czujnik ciśnienia, standardowo zamocowany na zasobniku przez producenta. Przebieg zmian tego ciśnienia jest zależny od zjawisk zachodzących podczas tłoczenia paliwa przez pompę wysokiego ciśnienia oraz procesów podczas wtryskiwania paliwa przez wtryskiwacze. Każda zmiana w tym procesie powoduje zmianę przebiegu ciśnienia w zasobniku. Celem pracy było opracowanie metodyki diagnozowania wtryskiwaczy układu wtryskowego typu C-R na podstawie analizy dynamicznych zmian ciśnienia w zasobniku.

Słowa kluczowe: silnik spalinowy, ciśnienie paliwa, FFT, common-rail, diagnostyka

WPROWADZENIE

Współczesne silniki o zapłonie samoczynnym wyposażone w układ common-rail montowane są w samochodach osobowych, dostawczych i ciężarowych. Obecnie stosowana jest trzecia generacja tych układów, których ciśnienie w zasobniku dochodzi do 150MPa, a sterowanie i konstrukcja wtryskiwaczy umożliwia realizację do pięciu wtrysków na jeden cykl pracy. Pierwszy wtrysk zwany pilotażowym ma na celu ogrzanie komory spalania i zawirowanie ładunku. Kolejne wtryski służą podniesieniu efektywności tworzenia quasi-homogenicznej mieszanki i ograniczeniu tworzenia się szkodliwych składników spalin. Ostatni wtrysk jest realizowany podczas suwu wydechu w celu redukcji cząstek stałych zawartych w spalinach. Konsekwencją niewystąpienia któregoś z wtrysków jest pogorszenie osiągnięć silnika oraz przekroczenie

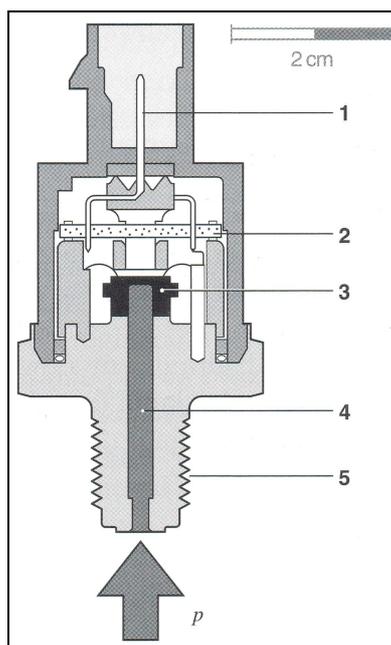
* dr inż. Mirosław KARCZEWSKI, mgr inż. Krzysztof KOLIŃSKI - Instytut Pojazdów Mechanicznych i Transportu Wojskowej Akademii Technicznej

dopuszczalnych norm emisji spalin. Dlatego tak ważna jest szybka identyfikacja usterek elementów układu zasilania uniemożliwiających sprawną pracę silnika [1].

Ilekość do cylindra zostaje wtrysnięta dawka paliwa, objawia się to natychmiastowym spadkiem ciśnienia na szynie, które jest niwelowane przez pompę wysokiego ciśnienia. W pracy przedstawiono metodę analizy sygnału z czujnika ciśnienia. Analiza umożliwiła określenie zależności spadku ciśnienia od wielkości dawki, zarówno małych – pilotażowych, kiedy czas otwarcia wtryskiwacza wynosi od 200 μ s do 400 μ s, jak i zasadniczych, kiedy czas otwarcia wtryskiwacza wynosi powyżej 450 μ s [3].

1. OBIEKT BADAŃ

Obiektem badań był układ zasilania silnika Renault G9T-720. Układ zbudowany jest z obwodu niskiego ciśnienia: zbiornik paliwa, pompa zasilająca, chłodnica paliwa, filtr paliwa, podgrzewacz paliwa i obwodu wysokiego ciśnienia: pompa wysokiego ciśnienia, zasobnik, wtryskiwacze elektromagnetyczne. Sterowanie ciśnieniem w szynie realizowane jest za pomocą regulatora ciśnienia umieszczonego na pompie. Paliwo tłoczone jest do zasobnika, z którego jedyny odpływ stanowią przewody do wtryskiwaczy. Ciśnienie w zasobniku mierzone jest przez czujnik ciśnienia, który znajduje się w pętli sprzężenia zwrotnego układu sterowania.



Rys. 1. Czujnik ciśnienia układu C-R

1 – złącze elektryczne, 2 – układ przetwarzający, 3 – stalowa przepona z tensometrami pomiarowymi, 4 – kanał wysokiego ciśnienia, 5 – złącze gwintowane

Źródło: Opracowano na podstawie [2]

Do wtryskiwaczy doprowadzone jest paliwo pod takim samym ciśnieniem, jakie panuje w zasobniku. Wtryskiwacz jest zaworem elektrohydraulicznym, otwieranym sygnałem prądowym ze sterownika. Wartość ciśnienia i czas otwarcia wtryskiwacza decydują o dawce wtrysniętego paliwa, a to się przekłada na chwilowe zmiany ciśnienia w szynie.

2. STANOWISKO POMIAROWE I METODYKA BADAŃ

Zasobnik wyposażony jest w standardowy czujnik ciśnienia Bosch (rys. 1) zasilany napięciem 5V. Sygnał z czujnika odbierany jest przewodami wpiętymi w piny 2 i 3. W celu pomiarów chwilowych wartości ciśnienia w szynie zasilającej równolegle z przewodami do sterownika podłączono złącze przyłączeniowe ADPT-25-S modułu akwizycji danych microDAQ USB-26 firmy Eagle. Sygnał przesyłany był poprzez port USB do komputera z zainstalowanym oprogramowaniem Labview 7.1.

W pierwszym etapie badań pomiary zostały przeprowadzone na stole probierczym STPiW-2 (rys. 2), przeznaczonym do badania elementów układu C-R. Na stole zamontowano elementy układu common-rail z silnika Renault G9T. Pomiary miały na celu wyznaczenie charakterystyk pracy układu zasilania i konfiguracji programów „VI” (*virtual instrument*) opracowanych w Labview 7.1, które służyły do diagnozowania elementów układów zasilania Common-Rail.



Rys. 2. Stół probierczy STPiW-2

1–tester wtryskiwaczy paliwa, 2–tester pomp wysokiego ciśnienia, 3–moduł sterujący pracą stanowiska, 4–wtryskiwacze, 5–menzurki pomiaru dawki paliwa, 6–pompa wysokiego ciśnienia, 7–menzurki do pomiaru przelewów

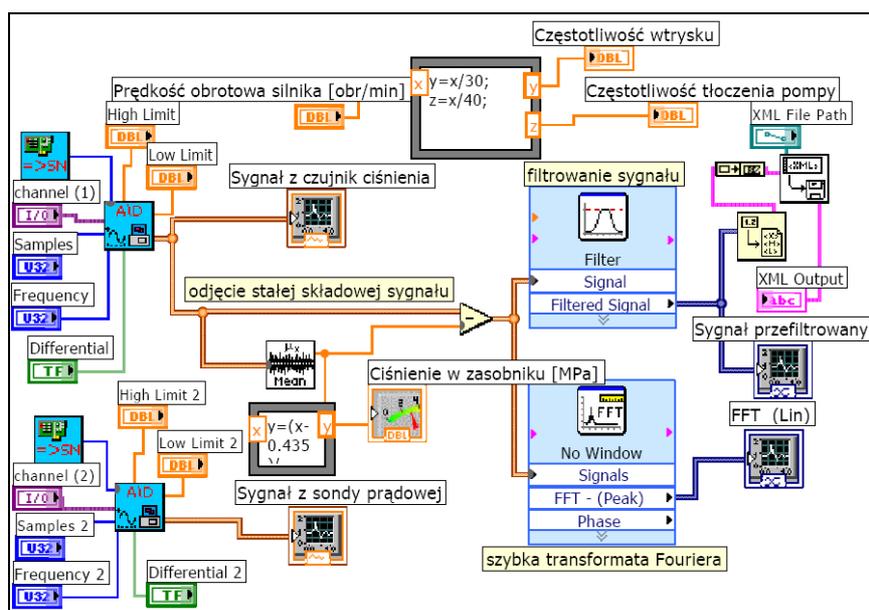
Źródło: Opracowanie własne

W badaniach wykorzystano dwie metody pomiarowe, różniące się sposobami analizy i prezentacji sygnału z czujnika ciśnienia. Dla obydwu metod powstały programy napisane w środowisku Labview 7.1. [5, 6].

Pierwsza metoda bazuje na szybkim transformacie Fouriera (FFT) i dolnoprzepustowej filtracji sygnału. Schemat blokowy programu „FFT” prezentuje rysunek 3. Program umożliwia konfigurację ustawień modułu akwizycji danych (tj. częstotliwość próbkowania, liczba próbek, wybór kanału pomiarowego, limit górny i dolny). W pierwszej kolejności od sygnału odejmowana była jego stała składowa, która jest wartością średnią sygnału. Tak zmodyfikowany sygnał poddawano dyskretnej transformacji Fouriera, która umożliwia obserwację sygnału we współrzędnych

amplituda – częstotliwość [4]. Wykres taki obrazuje, z jakich stałych harmoniczných składa się badany sygnał i jaka jest wartość ich amplitud. W celu uchwycenia wyraźnego obrazu sygnału bez szumów poddano go filtracji dolnoprzepustowej, efekt widoczny na rysunku 5.

Druga metoda bazuje na krótkotrwałym transformacie Fouriera (STFT). Schemat blokowy programu „STFT” przedstawiono na rysunku 4. Tak jak w poprzednim programie także i w tym przypadku istnieje możliwość konfiguracji ustawień modułu akwizycji danych. Od sygnału została odjęta jego wartość średnia (stała składowa). Następnie sygnał został przefiltrowany filtrem dolnoprzepustowym i poddany krótkotrwałej transformacji Fouriera.



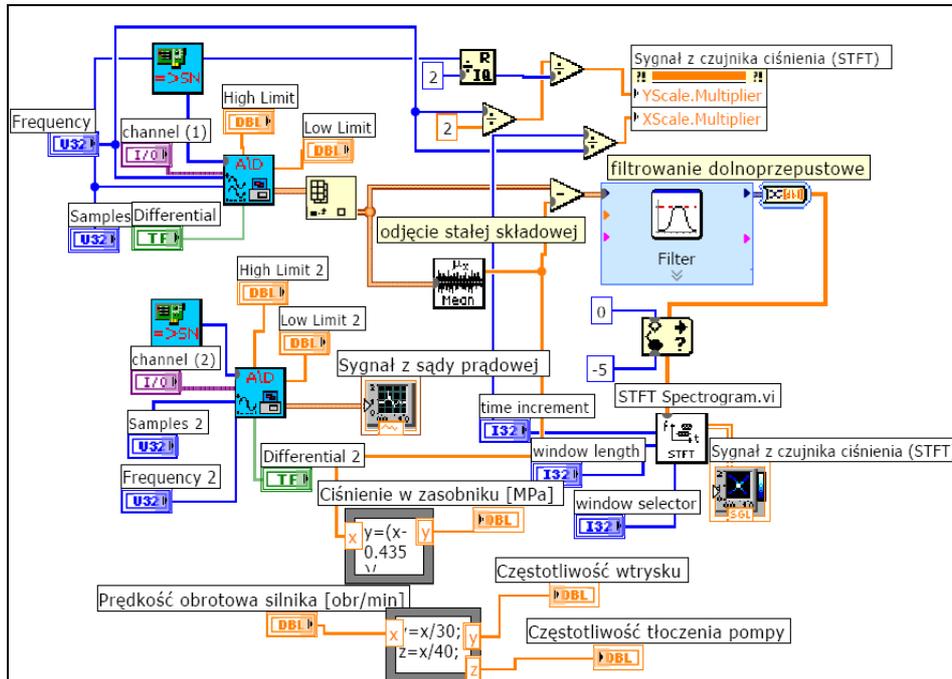
Rys. 3. Schemat blokowy programu „FFT”

Źródło: Opracowanie własne

Obraz sygnału był rejestrowany we współrzędnych częstotliwość – czas. Jasność poszczególnych prążków ilustruje wartość amplitudy składowych sygnału. Program umożliwia także ustawienie parametrów okienkowania podczas transformacji, co ma znaczący wpływ na rodzaj informacji prezentowanych na wykresie. W zależności od ustawień można dokładnie określić czas, w którym wartości sygnału ulegają zmianie albo dokładnie określić częstotliwość składowych harmoniczných sygnału. Dokładne określenie tych dwóch współrzędnych jednocześnie za pomocą zastosowanej metody jest niemożliwe.

W pierwszym etapie badania weryfikacyjne przeprowadzono na stole probierczym (rys. 2), który w pewien sposób zastępował sterownik silnika, dawał możliwość sterownia takimi parametrami układu zasilania, jak: prędkość obrotowa pompy wysokiego ciśnienia, ciśnienie na szynie zasilającej, czas otwarcia wtryskiwacza, częstotliwość otwarcia wtryskiwacza. Weryfikacja metodyki polegała na porównaniu parametrów zadanych na wejściu układu (ustawienia z panelu sterowania stołu probierczego) z wynikami analizy zmian sygnału ciśnienia na szynie. Obydwie

metody zostały przetestowane zarówno dla małych dawek (pilotażowych), jak i dla dawek zasadniczych.



Rys. 4. Schemat blokowy programu „STFT”

Źródło: Opracowanie własne

3. BADANIA WERYFIKACYJNE

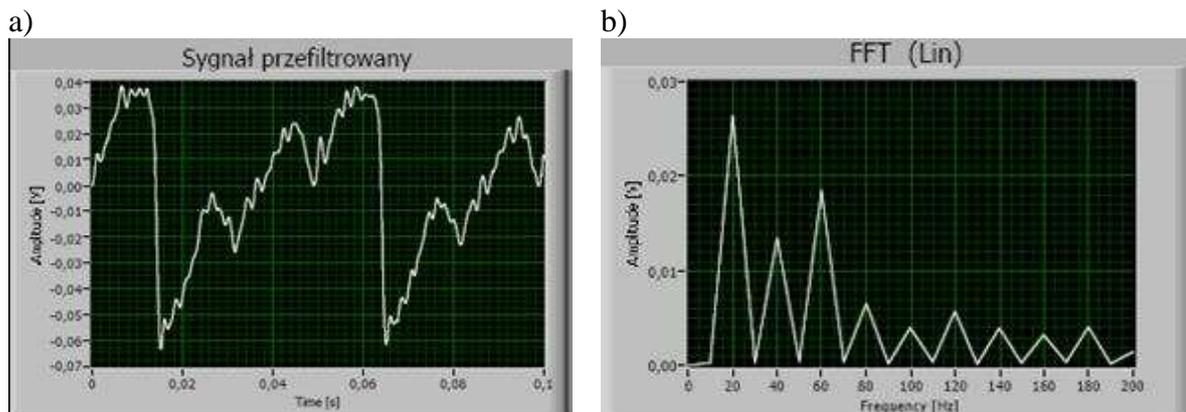
W pierwszym etapie przeprowadzono badania weryfikacyjne dla dawek zasadniczych na stole probierczym.

3.1. Ustawienia parametrów układu zasilania dla dawek zasadniczych

W celu weryfikacji metody na stole zaprogramowano następujące parametry pracy:

- prędkość obrotowa pompy wysokiego ciśnienia - 1200 obr/min
- częstotliwość otwarcia wtryskiwacza - 20Hz
- czas otwarcia wtryskiwacza - 1000μs
- ciśnienie w zasobniku - 80MPa

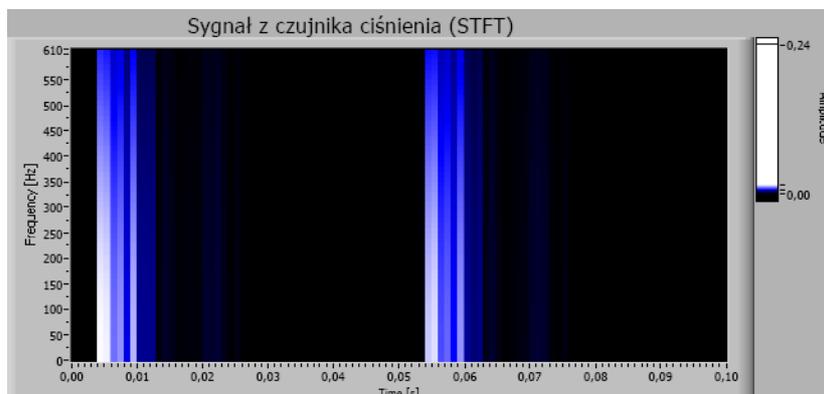
Parametry próbkowania sygnału zostały dobrane w taki sposób, by jego długość wynosiła 0,1s. W ciągu tego czasu powinny wystąpić dwa wtryski. Na wykresie sygnału przefiltrowanego (rys. 5) wyraźnie widać dwa strome spadki wartości ciśnienia, które zdradzają wystąpienie wtrysków. Na wykresie FFT (Lin) można zinterpretować składowe częstotliwości sygnału. Oprócz częstotliwości otwarcia wtryskiwacza występuje składowa związana z częstotliwością tłoczenia paliwa przez sekcje pompy wysokiego ciśnienia, co pozwala na sprawdzenie prawidłowej pracy pompy. Ponieważ wyniki pomiarów potwierdziły ustawienia parametrów na stole probierczym, stwierdzono, że pierwsza metoda nadaje się do detekcji dawek zasadniczych.



Rys. 5. Metoda „FFT”. Przebieg sygnału w dziedzinie:
a) czasu, b) częstotliwości dla dawek zasadniczych

Źródło: Opracowanie własne

Dla metody STFT parametry próbkowania były takie same, jak w metodzie pierwszej. W momencie pojawienia się wtrysku na wykresie pojawiają się prążki w różnych odcieniach koloru niebieskiego w zależności od wielkości amplitudy danej fali rysunku 6. Na skali czasu wyraźnie widać, że wtryski występują w równych odstępach czasu, co odpowiada częstotliwości 20 Hz. Zaletą tej metody jest to, że z sygnału została wyizolowana informacja o wystąpieniu bądź niewystąpieniu wtrysku. Metoda ta również nadaje się do detekcji dawek zasadniczych.



Rys. 6. Metoda „STFT”. Wykres STFT sygnału z czujnika ciśnienia dla dawek zasadniczych

Źródło: Opracowanie własne

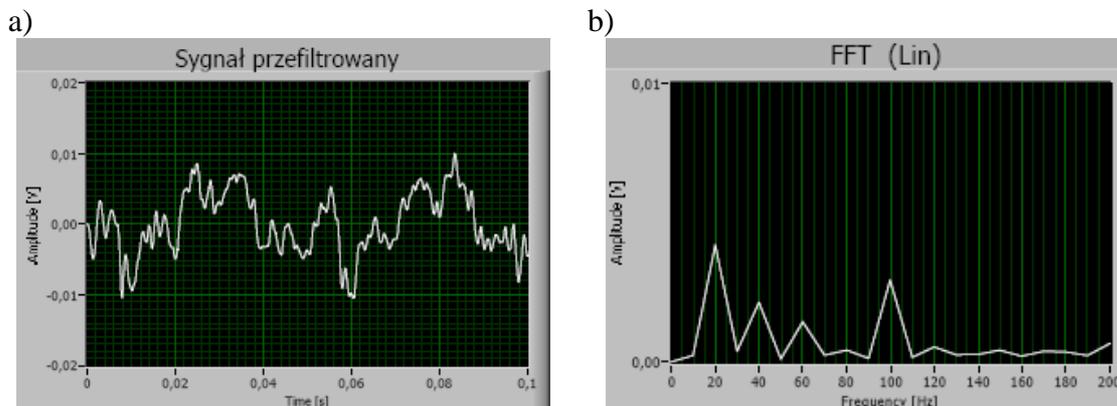
3.2. Ustawienia parametrów układu zasilania dla małych dawek

W celu weryfikacji metody na stole zaprogramowano następujące parametry pracy:

- prędkość obrotowa pompy wysokiego ciśnienia - 400 obr/min
- częstotliwość otwarcia wtryskiwacza - 20Hz
- czas otwarcia wtryskiwacza - 300 μ s
- ciśnienie w zasobniku - 40MPa

W przypadku małych dawek spadki ciśnienia są nieznaczne, a pompa wysokiego ciśnienia szybko je niweluje. Na wykresie FFT (Lin) widoczna jest składowa

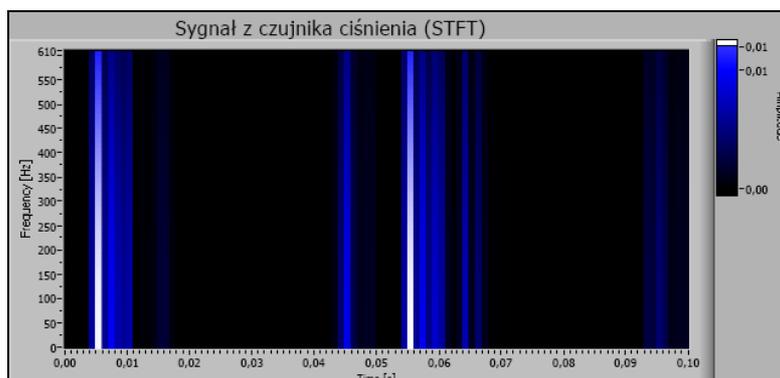
częstotliwość wywołana wtryskiem, jednak przefiltrowany sygnał jest niewyraźny, co może sprawiać trudności przy identyfikacji wadliwego wtryskiwacza.



Rys. 7. Metoda „FFT”. Przebieg sygnału w dziedzinie a) czasu, b) częstotliwości dla małych dawek

Źródło: Opracowanie własne

Przy zastosowaniu metody STFT (rys. 8) zostały zarejestrowane dwa wtryski w odstępach co 0,05 sekundy. Wskazania te nie są aż tak wyraźne jak dla dawek zasadniczych, ale pozwalają stwierdzić, iż wystąpiły kolejno dwa wtryski. Jest to informacja wystarczająca, by uznać tę metodę jako zdatną do detekcji małych dawek.



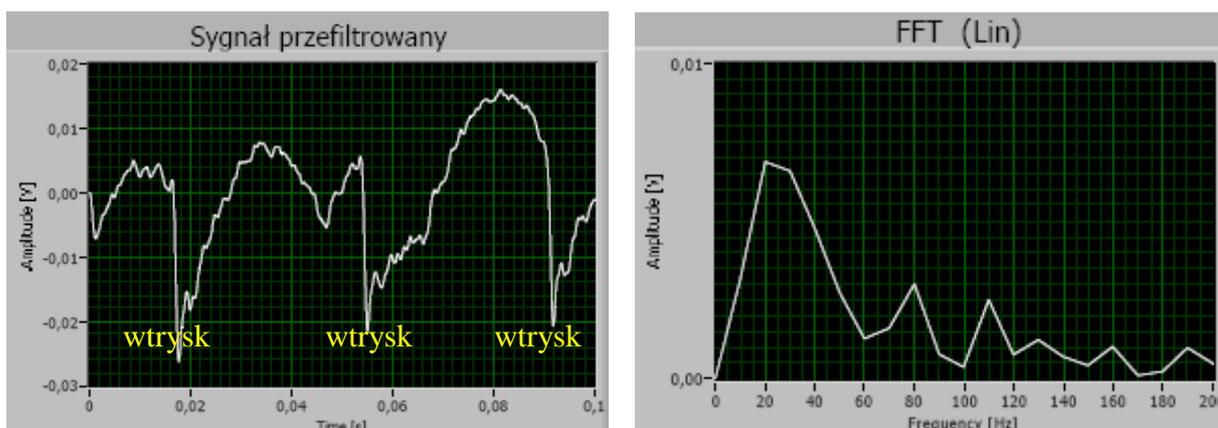
Rys. 8. Metoda „STFT”. Wykres STFT sygnału z czujnika ciśnienia dla małych dawek

Źródło: Opracowanie własne

3.3. Diagnostowanie wtryskiwaczy na silniku

Diagnostykę wtryskiwaczy przeprowadzono na silniku Renault G9T na hamowni silnikowej. W pierwszym teście układu wtryskowego wszystkie wtryskiwacze były sprawne. Silnik uruchomił się bez problemów za pierwszym razem i pracował na biegu jałowym z prędkością obrotową 800 obr/min.

Sygnał i jego spektrum zarejestrowane w programie „FFT” przedstawiono na rysunku 9. Przebieg sygnału jest prawidłowy. Wstępują niewielkie wahania amplitudy przerywane cyklicznymi stromymi pikami, występującymi w chwili wtrysku. Częstotliwość pracy pompy i wtryskiwaczy przy zadanej prędkości obrotowej powinny wynieść odpowiednio: 20 Hz i 27 Hz.

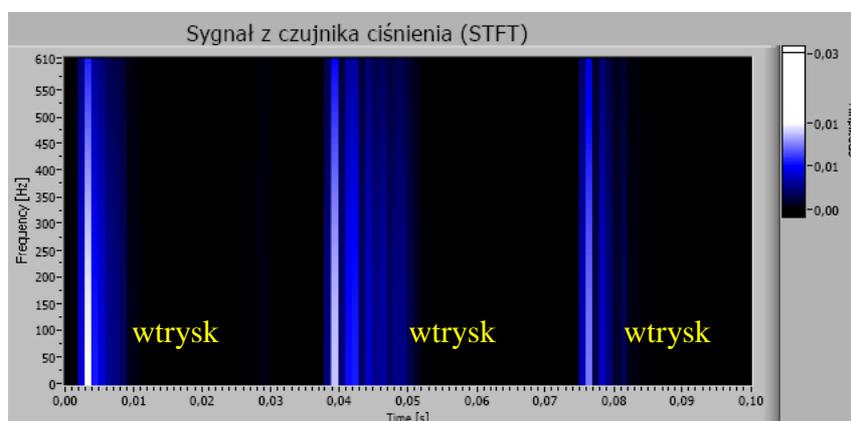


Rys. 9. Pomiar sygnału wykonany programem „FFT” (wszystkie wtryskiwacze sprawne)

Źródło: Opracowanie własne

Ciśnienie paliwa w zasobniku wynosiło ok. 35 MPa. Na spektrum sygnału widać, że główne częstotliwości składowe sygnału to 20 Hz i 26,7 Hz.

Zarejestrowany sygnał w programie „STFT” widoczny jest na rysunku 10. Jasne prążki na obrazie spektrum w sposób wyraźny pokazują, w którym momencie wystąpiły wtryski. Cykliczność występowania prążków odpowiada częstotliwości pracy wtryskiwaczy. Informacja o wystąpieniu wtrysku prezentowana na wykresie „STFT”, w sposób jednoznaczny (jak w metodzie zerowej) określa, czy wtrysk wystąpił, czy nie.



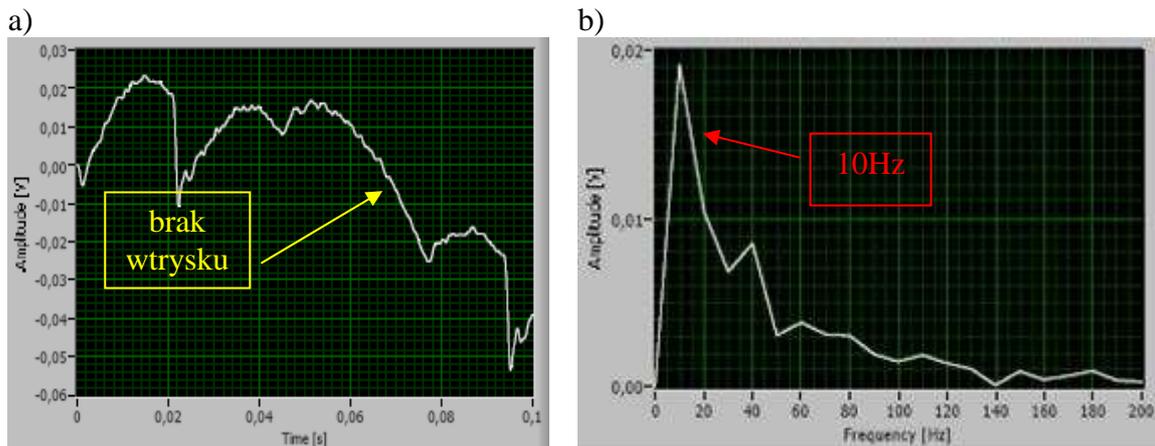
Rys. 10. Pomiar sygnału wykonany programem „STFT” (wszystkie wtryskiwacze sprawne)

Źródło: Opracowanie własne

W następnej kolejności na silniku została zasymulowana awaria wtryskiwacza w pierwszym cylindrze w następujący sposób. Od sprawnego wtryskiwacza odłączono przewód ze sterownika i podłączono go do osobnego wtryskiwacza. Przewodu nie można było pozostawić rozłączonego, ponieważ sygnał ze sterownika musi docierać do wtryskiwacza, inaczej silnik nie uruchomi się. Zasymulowana awaria odzwierciedla sytuację, w której wtryskiwacz uległ zatarciu. Sterownik wysyła sygnał do wtryskiwacza, ale nie następuje wtrysk paliwa do cylindra.

Silnik uruchamiał się bez problemów i pracował na biegu luzem z prędkością obrotową 800 obr/min. Wyraźnie spadła kultura pracy silnika. Silnik pracował głośniejszy i zauważalne były zwiększone wibracje kadłuba. Ustawienia aparatury pomiarowej były takie same, jak w punkcie poprzednim.

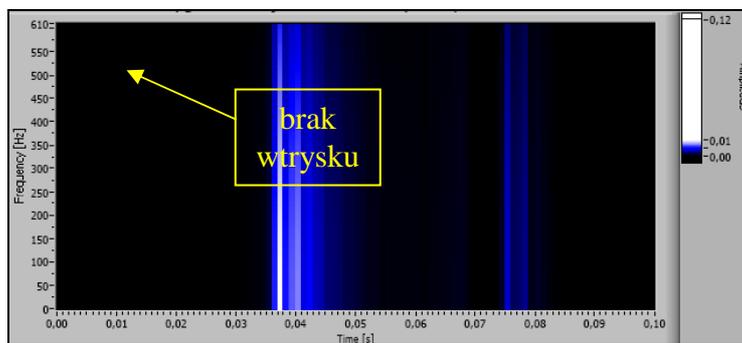
W pierwszej kolejności sygnał z czujnika ciśnienia został poddany analizie w programie „FFT”. Na przebiegu czasowym sygnału (rys. 11) widać, że brakuje jednego pików, co jest spowodowane brakiem wtrysku. Zamiast pików w dół występuje łagodny spadek wartości amplitudy. Spektrum sygnału wyraźnie różni się od spektrum z rysunku 9. Najwyższy pik występuje dla częstotliwości 10Hz, czyli dla częstotliwości sygnału spowodowanego brakiem wtrysku.



Rys. 11. Metoda „FFT” (jeden wtryskiwacz niesprawny),
a) przebieg ciśnienia w zasobniku, b) spektrum sygnału

Źródło: Opracowanie własne

Dla ułatwienia diagnozowania wtryskiwaczy sygnał z czujnika ciśnienia został poddany analizie w programie „STFT”. Na spektrum sygnału jasne prążki pokazują, w którym momencie wystąpił wtrysk. Na rysunku 12 widać, że pojawiały się tylko dwa prążki zamiast trzech. Dodatkowo między niektórymi prążkami występowała dłuższa przerwa czasowa powodująca nierównomierność w pojawianiu się prążków. Są to ewidentne symptomy uszkodzenia jednego z wtryskiwaczy.

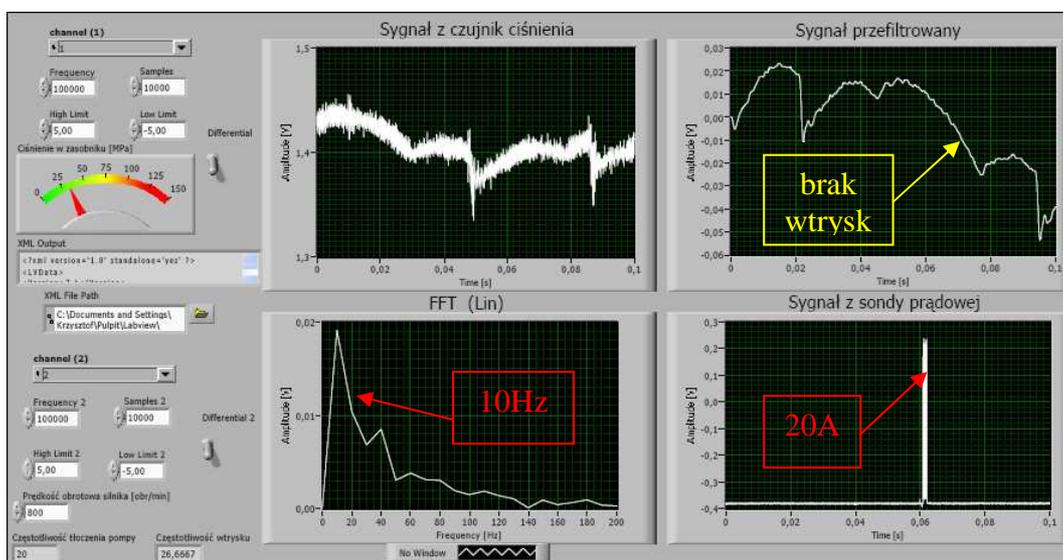


Rys. 12. Wykres STFT sygnału ciśnienia w przypadku awarii jednego wtryskiwacza

Źródło: Opracowanie własne

Po zdiagnozowaniu usterki jednego z wtryskiwaczy, w dalszej kolejności należy zlokalizować wadliwy wtryskiwacz bez demontowania wszystkich wtryskiwaczy z silnika. Do tego celu posłużył pomiar dodatkowego parametru diagnostycznego – prądu sterującego wtryskiwaczem. Sonda prądowa została podłączona do kanału nr 2 modułu microDAQ.

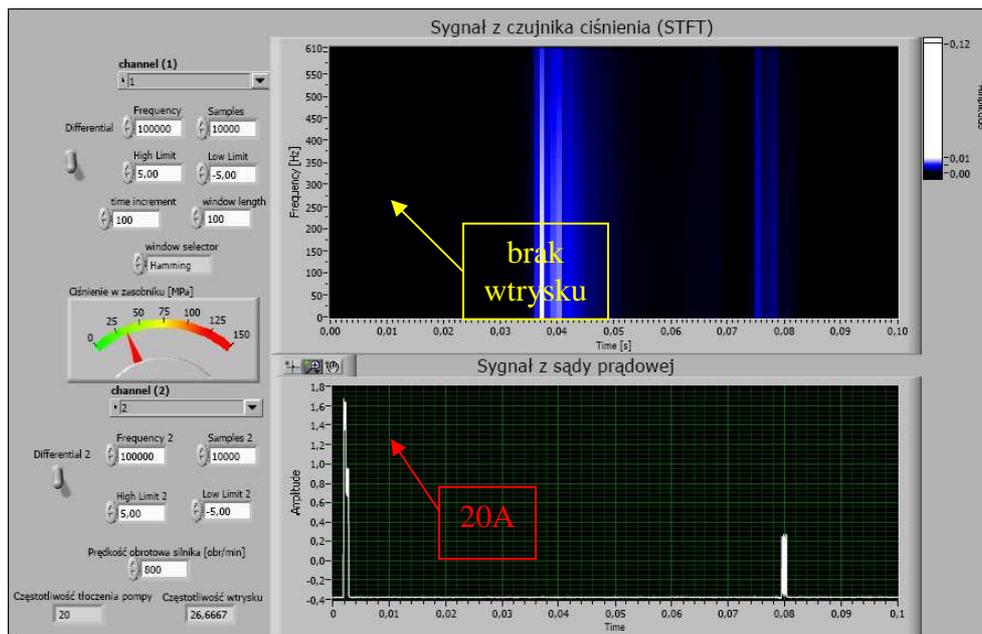
Oba sygnały są rejestrowane na wykresach w tym samym przedziale czasowym, jeden pod drugim, by w łatwy sposób można było odnieść pojawienie się prądu w cewce wtryskiwacza z wtryskiem. Wtryskiwacze diagnozuje się po kolei, sprawdzając, czy pojawiający się w nich sygnał prądowy wywołuje wtrysk, który jest widoczny, jako spadek ciśnienia. Jeśli sygnał prądowy pojawia się, a mimo to na przebiegu czasowym sygnału z czujnika ciśnienia nie pojawia się stromy spadek wartości ciśnienia, oznacza to, że badany wtryskiwacz jest uszkodzony. Należy zwrócić uwagę na istnienie opóźnienia między sygnałem prądowym, a ciśnieniowym. Bezwładność elementów wtryskiwacza powoduje, że powstaje zwłoka czasowa w momencie włączania i wyłączenia wtryskiwacza. Jednoczesna rejestracja dwóch parametrów w programie „FFT” przedstawiona jest na rysunku 13.



Rys. 13. Jednoczesna rejestracja przebiegu ciśnienia w zasobniku i prądu sterowania wtryskiwaczem

Źródło: Opracowanie własne

W celu uproszczenia metody lokalizacji wadliwego wtryskiwacza zastosowano program „STFT”, w którym obserwuje się jednocześnie sygnał wymuszenia w postaci impulsu prądowego i odpowiedź układu w postaci jasnego prążka, spowodowanego wtryskiem (rys. 14). Sonda prądowa została założona na przewód wadliwego wtryskiwacza. Przebieg sygnału z sondy widoczny na dolnym ekranie wskazuje, że wtryskiwacz jest sprawny elektrycznie. Nie jest natomiast sprawny hydraulicznie, ponieważ w chwili pojawienia się impulsu prądowego na górnym ekranie nie pojawia się jasny prążek, co jest jednoznaczne z brakiem wtrysku.



Rys. 14. Wykrywanie wadliwego wtryskiwacza za pomocą programu „STFT”

Źródło: Opracowanie własne

Do potwierdzenia skuteczności tej metody przeprowadzono dodatkowy test dla prędkości obrotowej silnika 1200obr/min, jednak tym razem wymieniono sprawny wtryskiwacz na wadliwy (zatarty). Częstotliwość pracy wtryskiwaczy dla zadanej prędkości powinna wynieść 40Hz, czyli w ciągu 0,1s powinny wystąpić cztery wtryski. Jednakże na ekranie pojawiają się tylko trzy prążki, co oznacza, że jeden wtryskiwacz nie wtryskuje paliwa.

Lokalizacja wadliwego wtryskiwacza, została dokonana poprzez pomiar prądu sterowania kolejnych wtryskiwaczy. Sonda prądowa została podłączona do pierwszego wtryskiwacza. Na obydwu ekranach widoczna jest zbieżność sygnałów polegająca na niemal jednoczesnym wystąpieniu piku sygnału prądowego i prążka spadku ciśnienia. Świadczy to o tym, że pierwszy wtryskiwacz jest sprawny hydraulicznie i elektrycznie. Po wykluczeniu pierwszego wtryskiwacza sonda prądowa zostaje podłączona do drugiego wtryskiwacza. W chwili wystąpienia impulsu prądowego na górnym ekranie nie pojawia się żaden prążek, co oznacza, że nie nastąpiło wtrysnięcie paliwa do cylindra. Wtryskiwacz jest niesprawny hydraulicznie. Zastosowana metoda pozwoliła na zlokalizowanie wadliwego wtryskiwacza.

W czasie między dwoma impulsami w prawidłowo pracującym układzie wtryskowym powinny wystąpić cztery wtryski, które numeruje się w kolejności pracy cylindrów. W metodzie „FFT” brak piku spadku ciśnienia, a w metodzie „STFT” brak prążka, może być odniesiony bezpośrednio do wadliwego wtryskiwacza.

WNIOSKI

Układy wtryskowe common-rail, produkowane seryjnie od 1997 r., stały się najbardziej popularnymi systemami wtrysku paliwa w silnikach o ZS. Umożliwiają one spełnienie obecnych i przyszłych norm ekologicznych oraz współczesnych wymagań dotyczących warunków eksploatacji samochodów.

Układ common-rail jest podatny na badania diagnostyczne, ze względu na występowanie w nim rozbudowanego podukładu elektronicznego sterowania. Diagnostyka może być realizowana w oparciu o wbudowane w układ czujniki, które pozwalają na kontrolę parametrów nieelektrycznych takich, jak: ciśnienie paliwa, temperaturę paliwa, częstotliwość tłoczenia paliwa przez pompę.

W przeprowadzonych badaniach posłużono się oprogramowaniem komputerowym Labview 7.1, dającym szerokie możliwości pomiaru i analizy sygnałów elektrycznych. Oprogramowanie to umożliwia w prosty sposób tworzenie wirtualnych urządzeń służących do konkretnych celów diagnostycznych, co zostało udowodnione w niniejszej pracy. Za ich pomocą zmierzono: ciśnienie paliwa w zasobniku, prąd sterujący wtryskiwaczem, sygnał z czujnika fazy. Stworzono programy „FFT” i „STFT” do wykrywania niesprawnych wtryskiwaczy na podstawie przebiegu ciśnienia w zasobniku. Dodatkowym atutem programu „FFT” jest możliwość kontroli pracy pompy wysokiego ciśnienia. Programy te przewyższają możliwościami oscyloskopy, gdyż mogą być stale rozbudowywane poprzez dodawanie kolejnych funkcji, w celu poprawienia precyzji procesu diagnostycznego. Rozwój programów powinien iść w kierunku ulepszenia ich możliwości analizowania zgromadzonych danych i samodzielnego generowania wyników diagnozy. Pozwoliłoby to na oszczędność czasu oraz redukcję kosztów związanych z wyposażeniem serwisu w narzędzia diagnostyczne.

Podsumowując wyniki prac, należy stwierdzić, że obydwie metody nadają się do zastosowania w diagnostyce układu wtryskowego. Metoda „FFT” dostarcza więcej informacji odnośnie pracy samego układu i pokazuje dokładnie strukturę sygnału. Metoda „STFT” prezentuje za to sygnał w sposób, który jednoznacznie pokazuje wystąpienie wtrysku. Niewątpliwą zaletą zastosowania zaprezentowanych metod jest dostępność parametrów diagnostycznych. Do pomiaru ciśnienia wykorzystany został czujnik tensometryczny seryjnie montowany na zasobniku.

Celowe jest prowadzenie dalszych prac badawczych mających na celu potwierdzenie przydatności opracowanej metody dla innych typów układu zasilania typu Common-Rail.

LITERATURA

- [1] Gunther H., *Diagnozowanie silników wysokoprężnych*, WKiŁ.
- [2] *Zasobnikowe układy wtryskowe Common Rail*, WKiŁ, Warszawa 2005.
- [3] *Poradnik Serwisowy: Zasilanie silników HDI*, Wydawnictwo INSTALATOR POLSKI.
- [4] *Injection daignosis through common-rail pressure measurement*, Proc. IMechE Vol. 220 Part D: J. Automobile Engineering.
- [5] Tłaczała W., *Środowisko LabVIEW w eksperymencie wspomaganym komputerowo*, WNT, Warszawa 2002.
- [6] Koliński K., *Środowisko LabVIEW w eksperymencie wspomaganym komputerowo, Praca dyplomowa WAT*, Warszawa 2009.

DIAGNOSIS OF INJECTORS THROUGH COMMON RAIL PRESSURE MEASUREMENT

Summary

More and more compress engines contain common rail fuel systems. This type of fuel systems injectors are supplied with high pressurised petroleum from the common rail. Dynamic changes of pressure in rail are caused by injection events and fuel supply. The pressure sensor mounted by manufactures in the common rail enables observing and measuring changes in pressure. Pressure changes depend on the phenomena occurring during injection and pumping processes. Every change in each process influences pressure changes in the common rail. The aim of the paper is to elaborate on diagnostic methods of the C-R fuel system based on dynamic changes of pressure in the rail.

Key words: *diesel engine, fuel pressure, FFT, common rail, diagnostics*

Artykuł recenzował: płk dr inż. Kazimierz KOWALSKI