

NIENISZCZĄCA METODA BADANIA UKŁADÓW WTRYSKOWYCH SILNIKÓW SPALINOWYCH

Zbigniew RANACHOWSKI
IPPT PAN, Warszawa
zranach@ippt.gov.pl

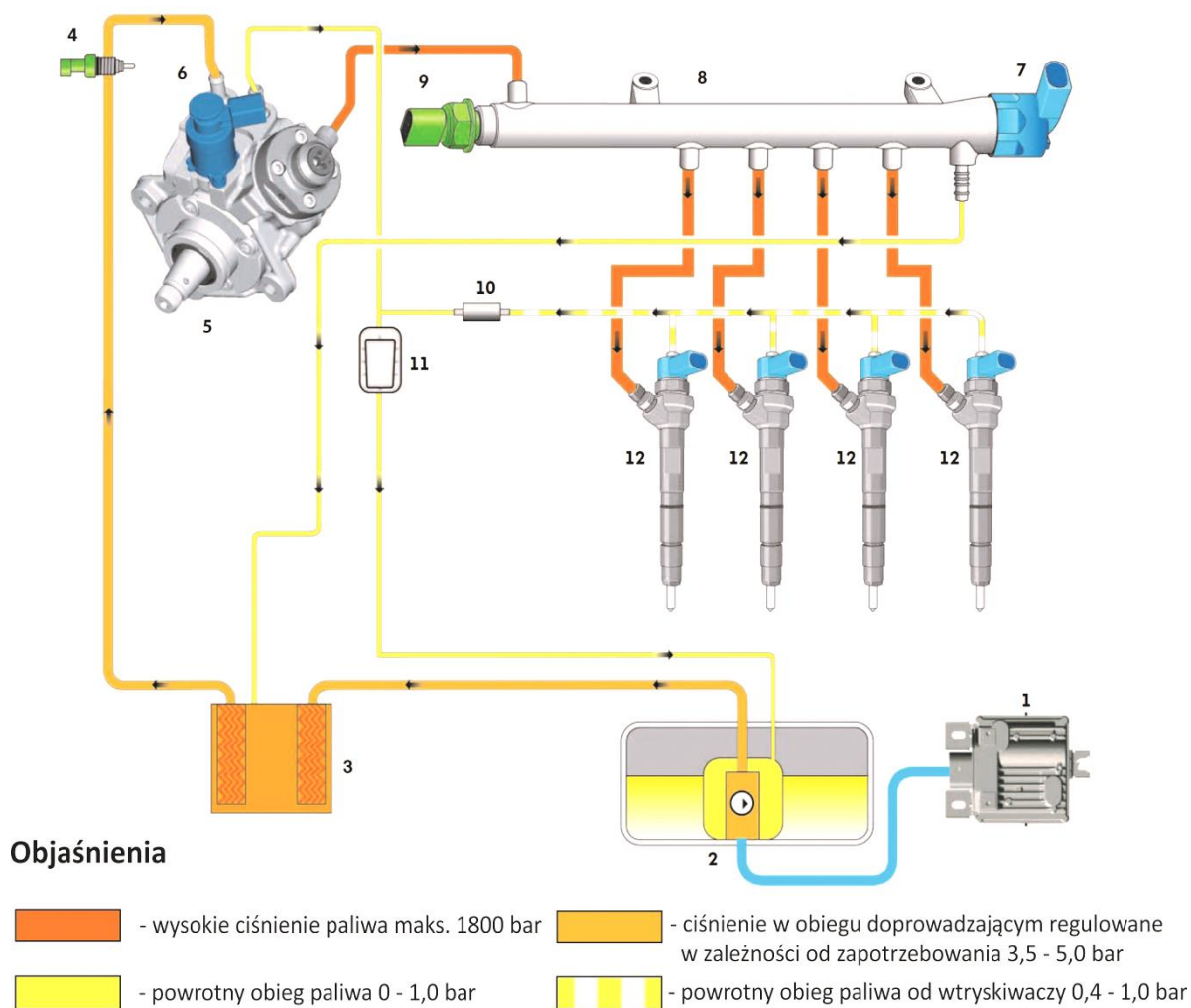
1. WSTĘP

W wyniku doświadczeń zebranych w trakcie serwisowania silników wysokoprężnych diagności dokonali zestawienia procentowego udziału najczęstszych przyczyn awarii tych maszyn. Należą do nich awarie: układu paliwowego, sterowania, układu tłokowo-korbowego [1]. Przewaga awarii układu paliwowego wynika z faktu, że poprawne działanie tego układu zależy od stanu bardzo precyzyjnych elementów działających w warunkach występowania wysokiego ciśnienia i znacznych przyspieszeń typu impulsowego, przy czym niewielkie uszkodzenia mechaniczne tych elementów, wpływ wysokiej temperatury i osadzanie się cząstek niespalonego węgla (nagaru) wywołują niekorzystny wzrost lub zmniejszenie się dawki wtryskiwanego paliwa. Najczęstszym uszkodzeniem układu wtryskowego zasobnikowego, to jest pracującego w układzie *Common Rail* (C-R), jest awaria zaworu sterującego dawką paliwa we wtryskiwaczu, powodująca jego nadmierny wypływ do kanału przelewowego i spadek ciśnienia w zasobniku. Nie stwierdzono, aby przyczyną tego uszkodzenia było naturalne zużycie elementu, ponieważ wykrywano awarie zarówno po kilkudziesięciu jak po kilkuset godzinach eksploatacji silnika. W związku z tym opracowano procedury diagnostyczne mającą na celu identyfikację niesprawnego wtryskiwacza. Niektóre z procedur wymagają umieszczenia wtryskiwacza w zewnętrznym urządzeniu diagnostycznym, a inne można stosować w trakcie jego pracy na działającym silniku.

2. BUDOWA, SPOSÓB DZIAŁANIA I USZKODZENIA WTRYSKIWACZY C-R

Zasobnikowy układ wtryskowy, który po raz pierwszy zastosowano w silniku samochodowym w roku 1994, oprócz wielu zalet, które wydatnie wpływają na pracę silnika, ma także swoje wady. W przypadku nieodpowiedniej jakości paliwa, przy jednoczesnej dużej precyzji wykonania elementów układu, jest bardzo podatny na uszkodzenia. Z danych literaturowych wynika, że procentowy udział uszkodzeń układu paliwowego w stosunku do innych układów funkcjonalnych silnika Diesla typu przemysłowego stanowi on około 70% wszystkich awarii głównych układów funkcjonalnych silnika. Wykrycie zbliżającej się niesprawności układu wtryskowego stanowi dość duże wyzwanie dla serwisantów, gdyż obecnie istniejące metody diagnostyczne, które stosowane są w praktyce, bazują najczęściej na analizie symptomów zewnętrznych niewłaściwej pracy silnika (zmniejszenie mocy, zadymienie spalin, wzrost temperatury spalin itp.). Z kolei około 80% niesprawności układu wtryskowego spowodowanych jest uszkodzeniem wtryskiwaczy. Wtryskiwacze zasobnikowego układu wtryskowego można precyzyjnie kontrolować i testować na stole probierczym w warunkach laboratoryjnych, natomiast w „warunkach polowych” ich diagnoza ogranicza się w praktyce do pomiaru objętości paliwa wypływającego z komory sterującej

poszczególnych wtryskiwaczy lub ze wszystkich wtryskiwaczy zbiorczo. Najczęściej prowadzi to do podjęcia decyzji o wymianie wszystkich wtryskiwaczy bez szczegółowej znajomości ich stopnia uszkodzenia. Między innymi z uwagi na brak niezawodnych narzędzi diagnostycznych, jest to również zalecenie producentów silników pracujących z układem C-R. Automatycznie wzrasta koszt naprawy, który w przypadku wymiany wszystkich wtryskiwaczy może dochodzić nawet do 25% ceny całego silnika [2]. Na rysunku 1. przedstawiono schemat układu zasilania paliwem C-R firmy Bosch z zastosowaniem wtryskiwaczy elektromagnetycznych bezkulkowych [3].



- | | |
|---|---|
| 1 - sterownik pompy paliwa J538 | 7 - zawór regulacji ciśnienia paliwa N276 |
| 2 - pompa wstępnego tłoczenia paliwa G6 | 8 - zasobnik wysokiego ciśnienia (Rail) |
| 3 - filtr paliwa | 9 - czujnik ciśnienia paliwa G247 |
| 4 - czujnik temperatury paliwa G81 | 10 - zawór utrzymujący ciśnienie |
| 5 - pompa wysokiego ciśnienia CP 4.1 | 11 - tłumik pulsacji paliwa |
| 6 - zawór dozowania paliwa N290 | 12 - wtryskiwacze CRI 2-18 |

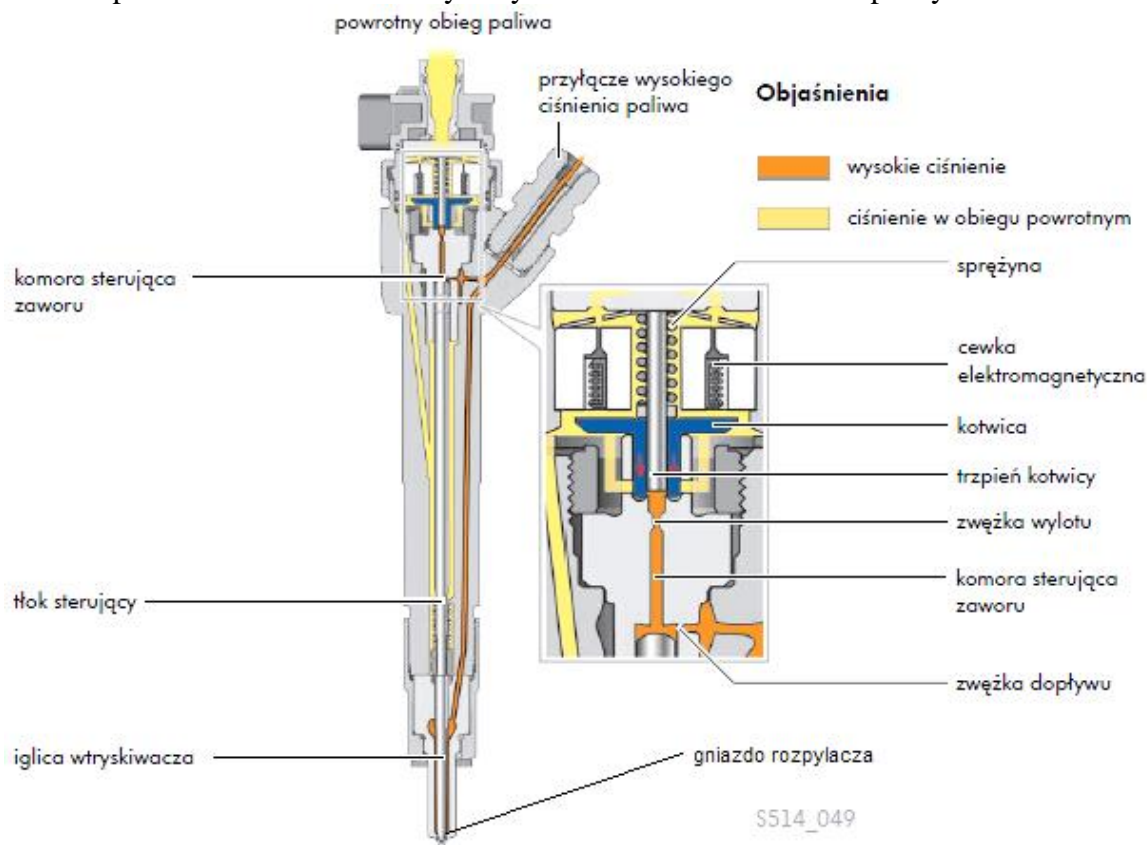
Rys 1. Schemat układu zasilania paliwem C-R firmy Bosch z zastosowaniem wtryskiwaczy elektromagnetycznych bezkulkowych

Wtryskiwacze składają się z kilku podstawowych podzespołów (modułów):

1. Rozpylacza.
2. Hydraulicznego układu wspomagającego.
3. Iglicy.
4. Elementu napędowego (elektrozaworu lub zaworu z membraną piezoelektryczną).

Z praktycznego punktu widzenia obsługa techniczna nie ma możliwości ingerencji w ten układ, specjalista może jedynie wymienić moduł zaworu sterującego. Możliwe jest natomiast monitorowanie przebieg prądu i napięcia sterowania wtryskiwacza.

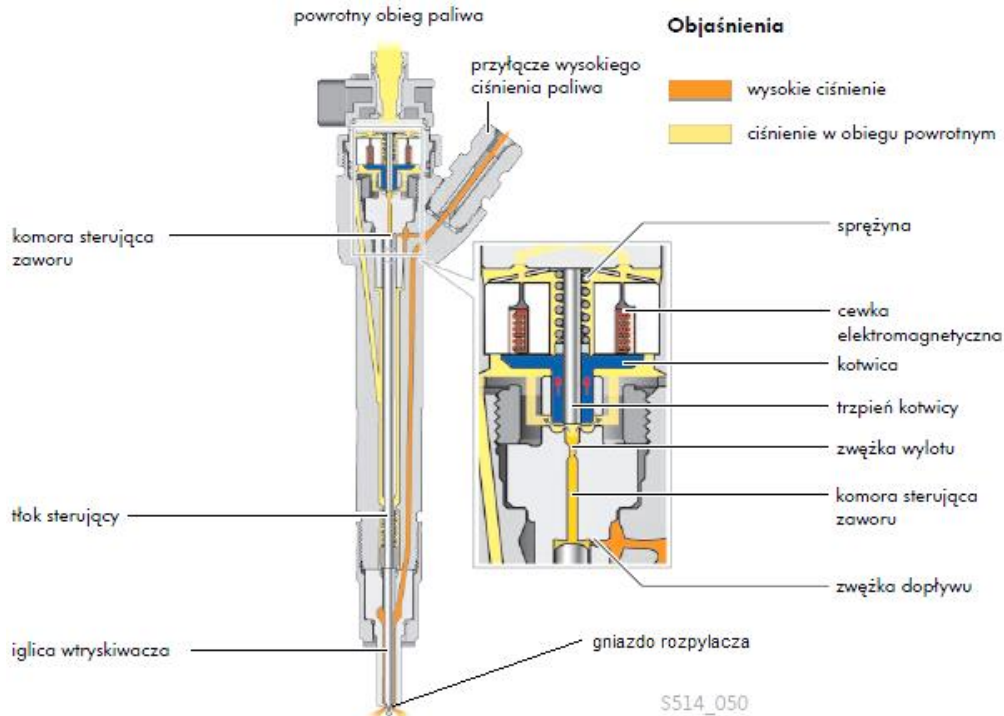
Proces dozowania paliwa wtryskiwacza C-R jest dosyć złożony [4-8]. Wtryskiwacz w położeniu spoczynkowym jest zamknięty. Sterownik cewki zaworu nie podaje napięcia zasilania na cewkę elektrozaworu. Sprężyna, dociskając kotwicę wraz z trzpieniem elektromagnesu do gniazda zaworu, odcina możliwość przepływu paliwa między komorą sterującą, a powrotnym obiegiem. Umożliwia to napełnienie komory sterującej paliwem pod wysokim ciśnieniem. Ciśnienie panujące w komorze sterującej jest takie same jak to przy iglicy wtryskiwacza, ale powierzchnia tłoka sterującego jest większa niż iglicy, co powoduje działanie większej siły dociskającej iglicę do gniazda i w efekcie szczelne zamknięcie wtryskiwacza. Na rysunku2. pokazano schemat budowy wtryskiwacza w C-R w stanie spoczynku.



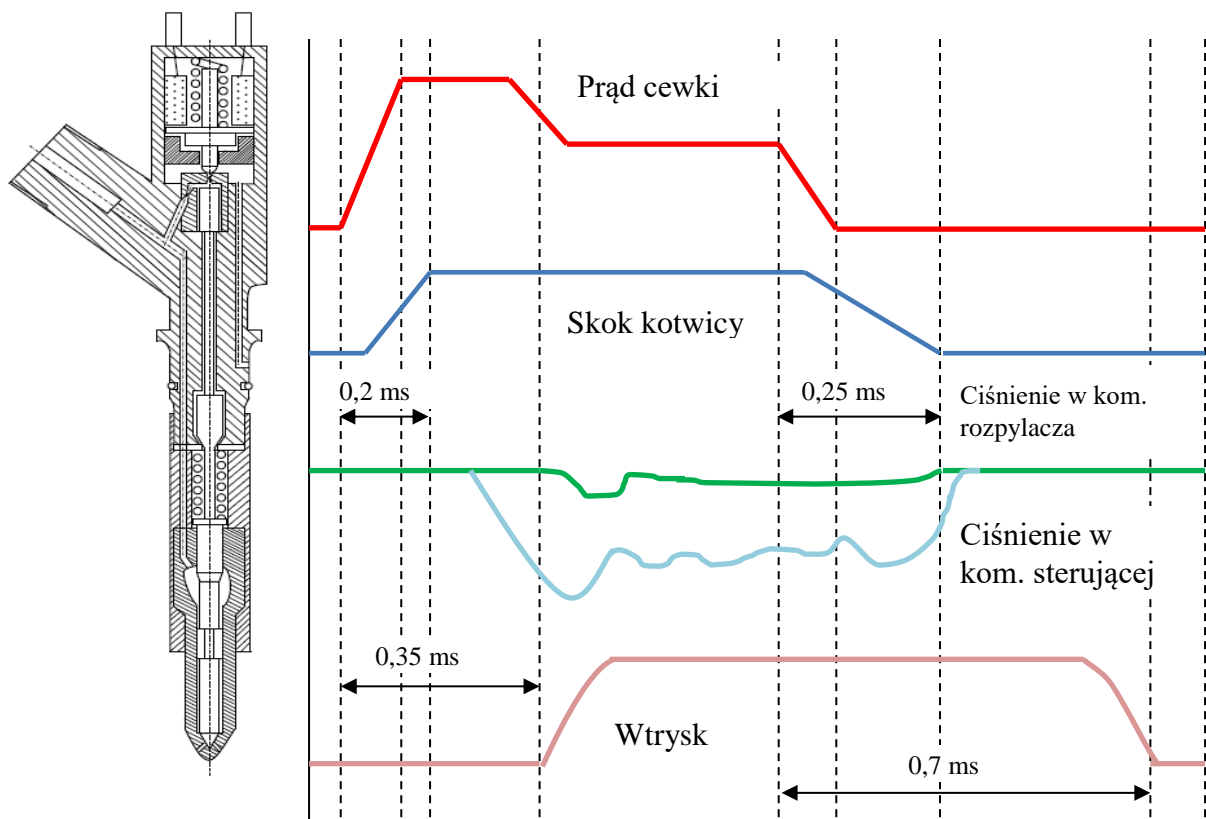
Rys. 2. Schemat budowy wtryskiwacza elektromagnetycznego C-R w stanie spoczynku.

Wtrysk paliwa rozpoczyna się w momencie wysterowania przez sterownik cewki zaworu. Napięcie zasilania cewki w momencie wysterowania może wynosić do 50 V. Gdy pole magnetyczne wytworzone przez cewkę staje się wystarczająco duże, aby pokonać siłę sprężyny zaworu, kotwica uniesie się otwierając zwężkę wylotu. W tym momencie paliwo z komory sterującej przedostaje się do obiegu powrotnego. W komorze sterującej obniża się ciśnienie, gdyż zwężka dopływu blokuje możliwość wpłynięcia paliwa pod wysokim ciśnieniem. Z powodu dużej różnicy ciśnienia pomiędzy komorą sterującą, a gniazdem rozpylacza, następuje

uniesienie iglicy i wtrysk paliwa do komory spalania silnika. Wtrysk kończy się w momencie odłączenia przez sterownik silnika napięcia zasilania od cewki. Sprężyna dociska kotwicę z trzpieniem do gniazda zaworu, powodując zwiększenie ciśnienia w komorze sterującej i dociśnięciu iglicy do gniazda rozpylacza. Na rysunku 3 pokazano schemat budowy wtryskiwacza C-R w momencie wtrysku paliwa, natomiast na rysunku 4 przedstawiono schematycznie czasy trwania poszczególnych faz pracy wtryskiwacza, co jest istotnym aspektem w przypadku diagnostyki jego funkcji.



Rys. 3. Schemat budowy wtryskiwacza CRI 2-18 w momencie wtrysku paliwa



Rys. 4. Czasy trwania poszczególnych faz pracy wtryskiwacza

W tabeli 1. przedstawiono warianty stosowanych czasów trwania wtrysku w zależności od ciśnienia roboczego dla wtryskiwacza CRI 2-18 podane w dokumentacji stołu probierczego EPS 200 firmy Bosch. Czasy trwania wtrysku można uznać za równe w przybliżeniu czasowi trwania impulsu sterującego cewką elektrozaworu.

Ciśnienie robocze [bar]	1200 - 250	1200 - 250	1800 - 300	1800 - 600	1800 - 300	1800 - 300	1800 - 300	1800 - 300
Czas trwania impulsu sterującego	1200	1000	800	600	500	300	250	200

Tab. 1. Warianty czasów trwania wtrysku w zależności od ciśnienia roboczego dla wtryskiwacza CRI 2-18.

Układy wtryskowe wysokiego ciśnienia C-R są bardzo wrażliwe na złą jakość paliwa. Jako przyczyny uszkodzeń wtryskiwaczy można wymienić:

- ✓ wymianę filtra paliwa w okresach dłuższych niż przewiduje to producent,
- ✓ tankowanie złej jakości oleju napędowego, niezgodnego z normą europejską EN 590, nie zapewniającego odpowiedniej smarności podzespołom układu,
- ✓ jazdę pojazdem z bardzo małą ilością paliw,
- ✓ stosowanie czystych biopaliw lub domieszek biopaliwa powyżej 5% do oleju napędowego, ze względu na starzenie się biopaliw,
- ✓ niewłaściwe odpowietrzenie układu po wykonanej naprawie.

Rodzaje uszkodzeń w układach wysokiego ciśnienia możemy podzielić na:

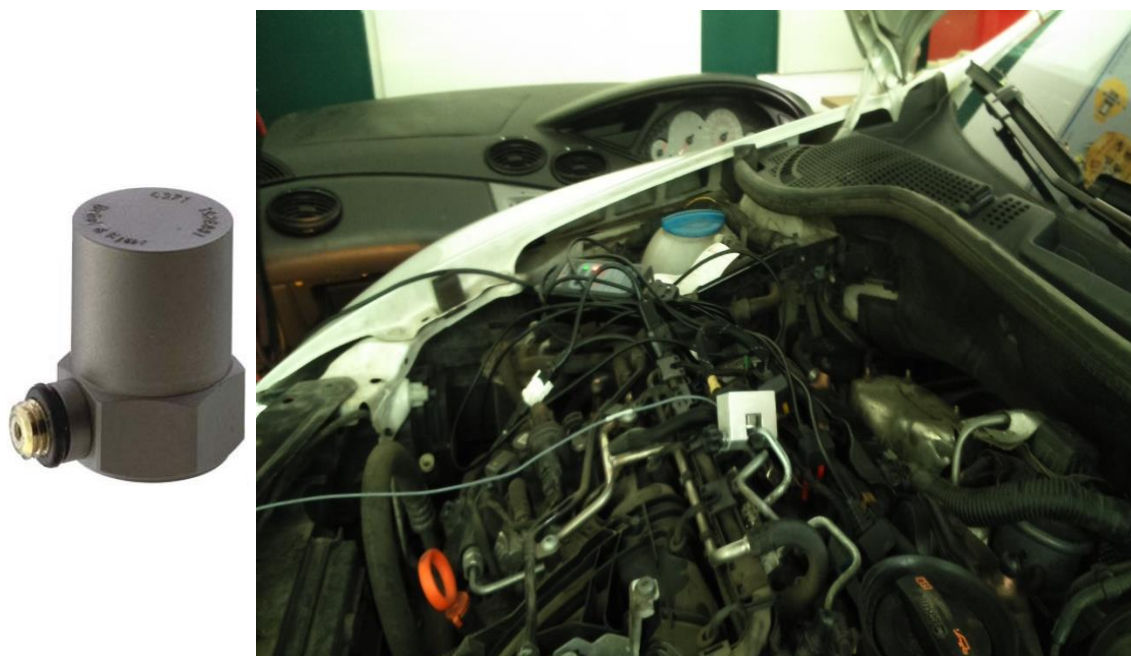
- uszkodzenia mechaniczne.
- uszkodzenia elektryczne,
- uszkodzenia związane z nieprawidłową eksploatacją lub naprawami układu niezgodnie z technologią zalecaną przez producenta.

Uszkodzenia elektryczne mogą być diagnozowane przy zastosowaniu oprogramowania diagnostycznego wykonującego test cewek elektromagnetycznych wtryskiwaczy, analizę przebiegów napięć, prądów i czasu trwania sygnałów sterujących. Do w/w celów stosuje się zestawy serwisowe typu: EPS815, EPS708, EPS200A, analizator EDIA – 5. Urządzenia te rejestrują w czasie rzeczywistym sygnały sterujące pracą wszystkich wtryskiwaczy oraz sygnał z czujnika wysokiego ciśnienia umieszczonego na szynie C-R.

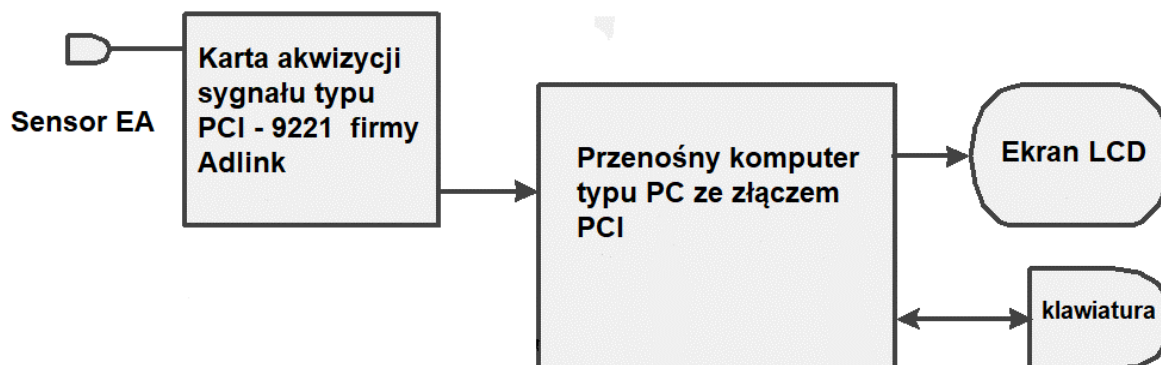
Uszkodzenia mechaniczne są zwykle indykowane poprzez badanie ilości paliwa z przepływu powrotnego z wtryskiwaczy. Ilość paliwa z przepływu jest ściśle określona przez producenta dla konkretnego czasu i obrotów silnika zarówno podczas jego pracy czy też w trakcie rozruchu. Objętość paliwa przekraczająca normy podane przez producenta wskazuje na uszkodzenia mechaniczne któregoś lub wszystkich wtryskiwaczy.

3. DIAGNOSTYKA WTRYSKIWACZY Z ZASTOSOWANIEM ANALIZATORA EMISJI AKUSTYCZNEJ

Autor artykułu zaprojektował urządzenie do bezinwazyjnego badania wtryskiwaczy podczas ich pracy w silnikach o zapłonie samoczynnym z zastosowaniem metody Emisji Akustycznej [9-11]. Emisja akustyczna (EA) określana jest jako zjawisko tworzenia się i propagacji fal sprężystych w ciałach stałych oraz cieczech. Źródłem tych fal może być od pracujący wtryskiwacz (zamykanie zaworu lub uderzenie iglicy o jej gniazdo, proces wtrysku). Urządzenie diagnostyczne współpracuje z profesjonalnym akcelerometrem ładunkowym Brüel & Kjaer typu 4371 [12]. Jest to szerokopasmowy sensor drgań pracujący w zakresie częstotliwości 0.01 – 30 kHz. Czułość sensora wynosi 8 mV/g, przy czym maksymalne przyspieszenia rejestrowane w trakcie pracy wtryskiwacza wynoszą do 50 g. Na rysunku 5 przedstawiono sensor EA oraz sposób jego umieszczenia na przewodzie ciśnieniowym instalacji wtryskowej z zastosowaniem specjalistycznego uchwytu mocującego, natomiast na rysunku 6 – schemat blokowy systemu rejestracji sygnału pomiarowego.



Rys. 5. Akcelerometr ładunkowy firmy Brüel & Kjaer typu 4371 (z lewej) oraz sposób jego umieszczenia na przewodzie ciśnieniowym instalacji wtryskowej (z prawej).

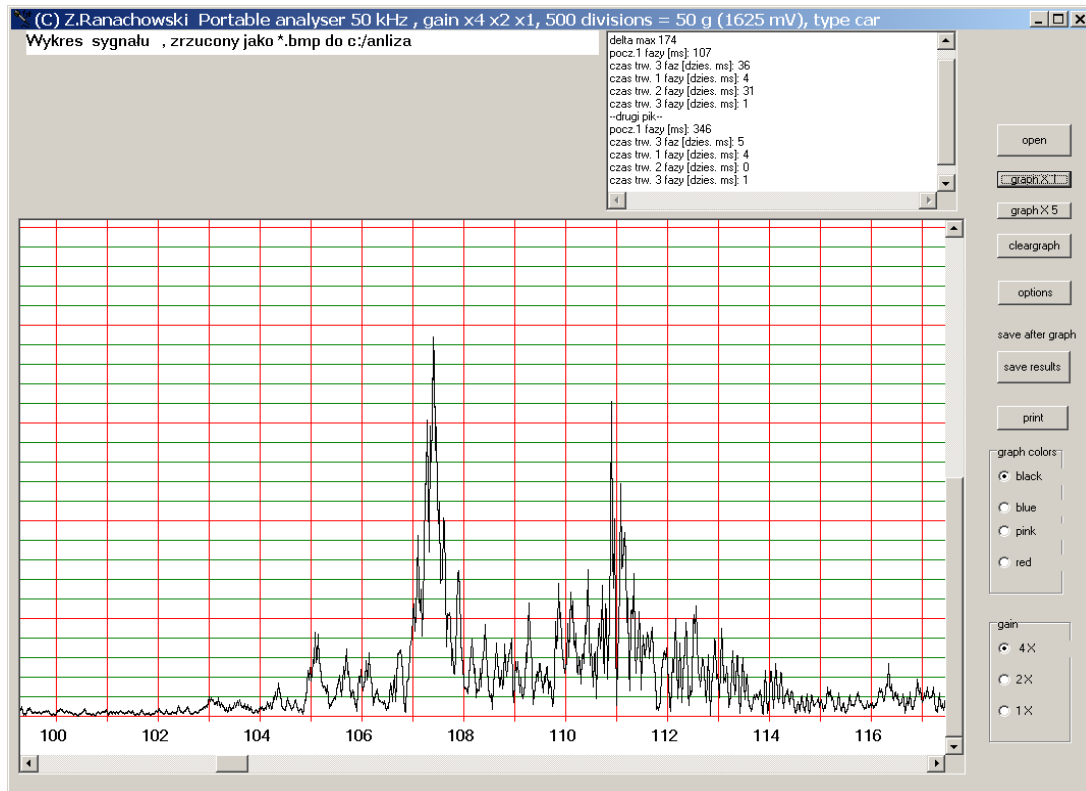


Rys. 6. Schemat blokowy systemu rejestracji sygnału pomiarowego.

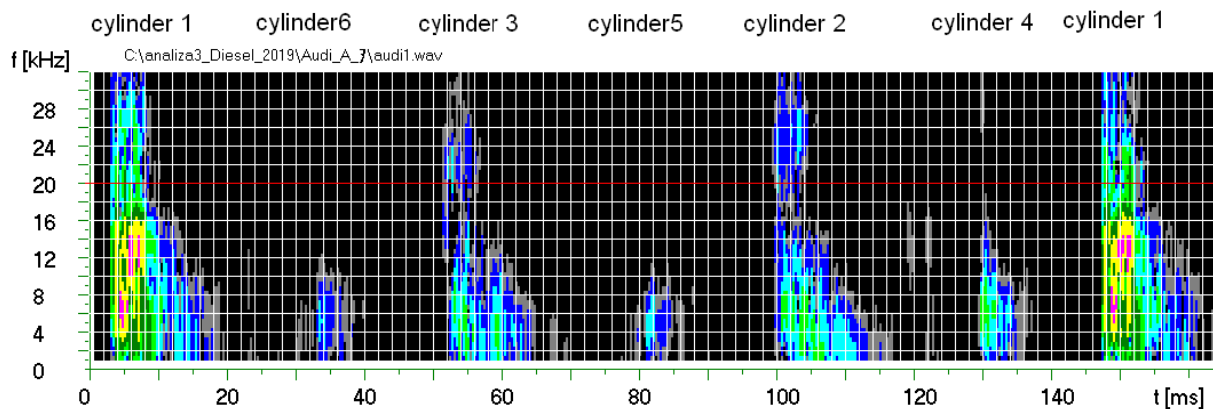
W opisanym analizatorze akustycznym sygnał EA generowany w trakcie pracy badanych wtryskiwaczy jest zapisywany w pamięci komputera PC przy pomocy karty akwizycji sygnału w postaci cyfrowej, tj. w postaci zbioru dyskretnych próbek – skwantowanych w dziedzinie wartości oraz w dziedzinie czasu. Próbkowanie sygnału jest dokonywane w rozdzielczości 16 bitowej z prędkością maksymalnie 240 kilosampli/s. Tak wysoka częstotliwość próbkowania wynika ze złożonej postaci sygnału EA generowanego przez elementy pracującego wtryskiwacza. Na rysunku 7. pokazano przykładowy przebieg czasowy sygnału generowanego we wtryskiwaczu. Na rysunku 8. pokazano aplikację przeznaczoną do wizualizacji zarejestrowanego sygnału w funkcji czasu. W pewnych prostych przypadkach diagnostycznych sygnał generowany w uszkodzonym wtryskiwaczu ma znacząco niższą amplitudę w porównaniu do sygnału wtryskiwacza sprawnego i wtedy w/w aplikacja umożliwi identyfikację stanu awaryjnego. Jeśli taka sytuacja nie zachodzi możliwe jest użycie zobrazowania zarejestrowanego sygnału w postaci spektrogramu wykreślonego we współrzędnych czas – częstotliwość. Przy zapisie sygnału z częstotliwością 240 kilosampli/s można w praktyce uzyskać rozdzielczość na osi czasu 0.3 ms oraz rozdzielczość na osi częstotliwości 2 kHz. Spektrogram pracy układu wtryskowego silnika C-R pojazdu Audi Q7 3.0 TDI pokazano na rysunku 9.



Rys. 7. Przykładowy przebieg czasowy sygnału generowanego we wtryskiwaczu.

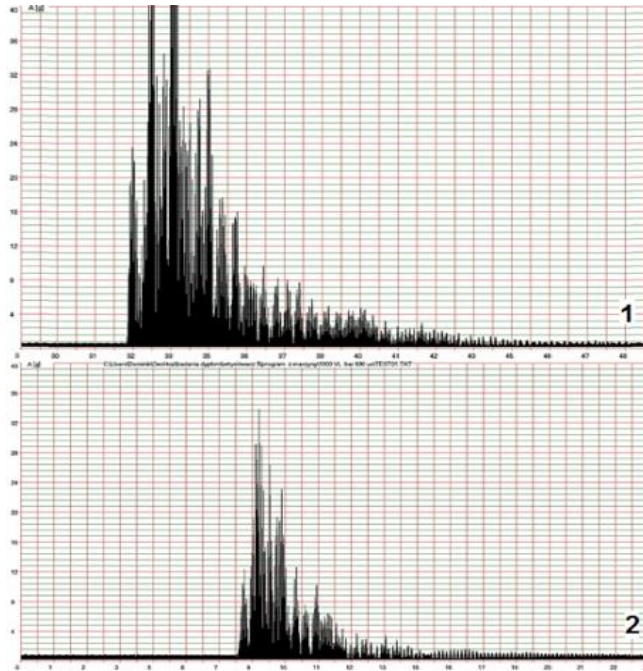


Rys. 8. Formularz aplikacji przeznaczoną do wizualizacji zarejestrowanego sygnału w funkcji czasu

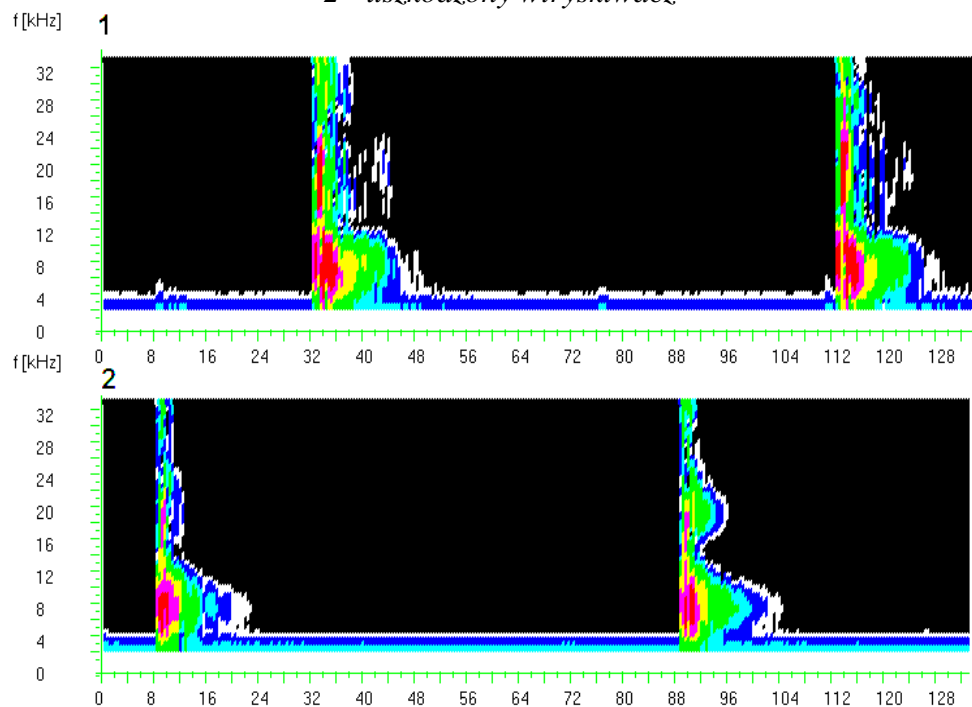


Rys. 8. Spektrogram pracy układu wtryskowego silnika C-R 155 kW pojazdu Audi A7 3.0 TDI (830 obrotów na min.)

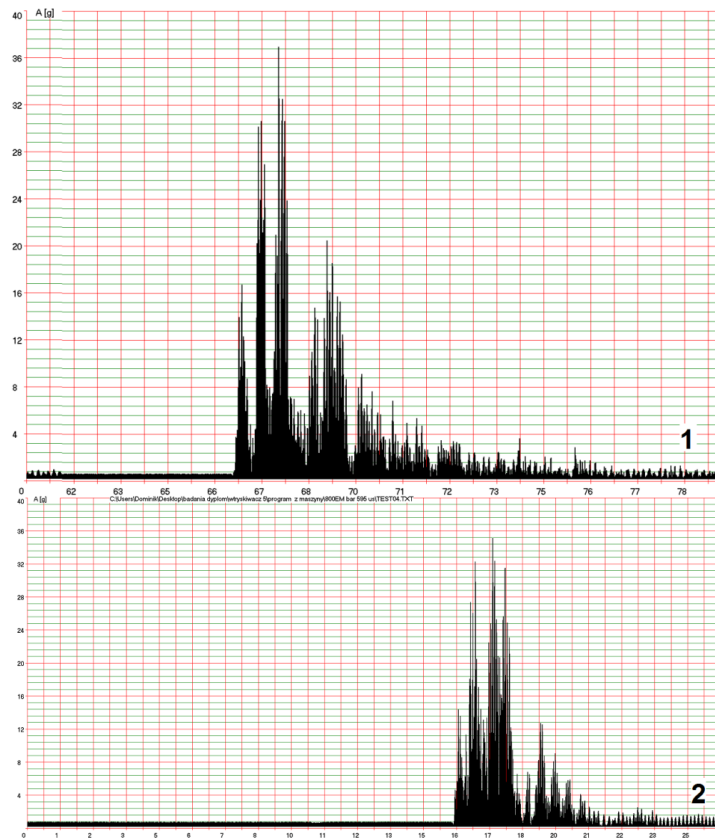
Na Uniwersytecie Technologiczno -Humanistycznym w Radomiu (Katedra Eksploatacji Środków Transportu) wykonano testy praktycznej walidacji metody pod kierunkiem dr. inż. Sławomira Olszowskiego. Badaniu podlegały wtryskiwacze typu CRI 2-18 [13-14]. Parametry zestawu wtryskiwaczy zostały przebadane przy użyciu stołu probierczego EPS 200 firmy Bosch. Wyselekcjonowano wtryskiwacze niesprawne, w których objętość paliwa przekazywanego do przepływu powrotnego przekraczała 100 % wartości dopuszczalnej w danych warunkach pracy. Na dwóch kolejnych Rysunkach przedstawiono wyniki pomiarów sygnału generowanego przez sprawne i niesprawne wtryskiwacze CRI 2-18 przy zasilaniu przy pomocy urządzenia EPS 200, w kontrolowanych warunkach. Podano czas trwania wtrysku i podane ciśnienie robocze.



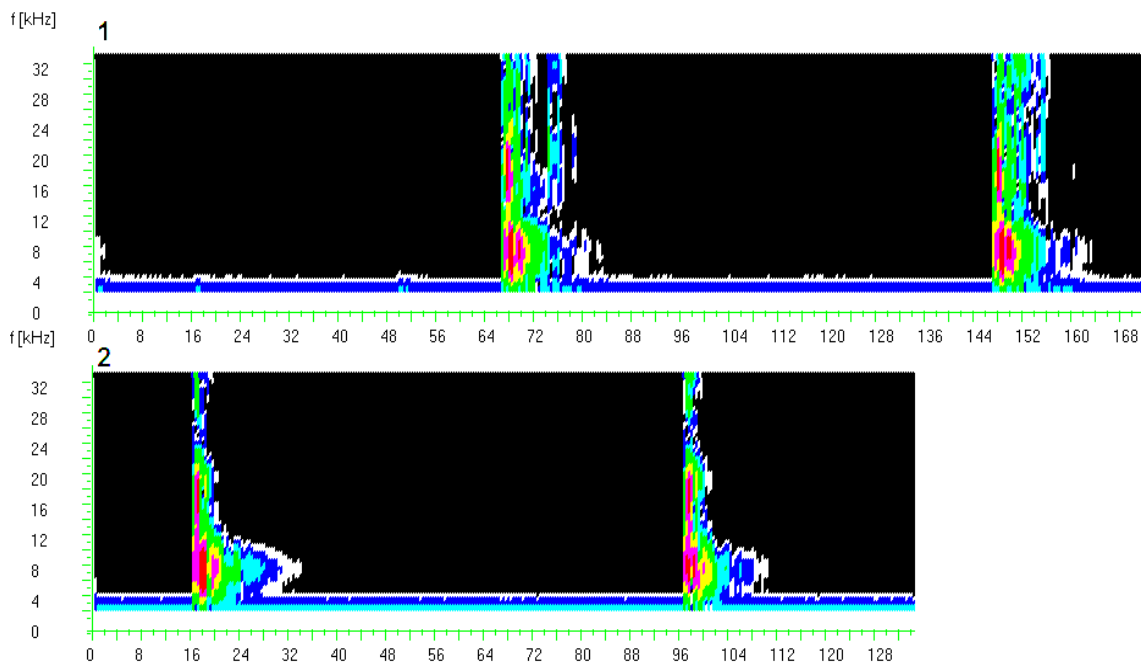
Rys. 9. Zależność od czasu sygnału EA uzyskana w warunkach (czas trwania wtrysku / ciśnienie robocze): 1800 bar oraz 690 μ s – przebieg czasowy; 1 – sprawny wtryskiwacz, 2 - uszkodzony wtryskiwacz



Rys. 10. Spektrogram sygnału EA pokazanego na rys. 9: 1 – sprawny wtryskiwacz, 2 - uszkodzony wtryskiwacz

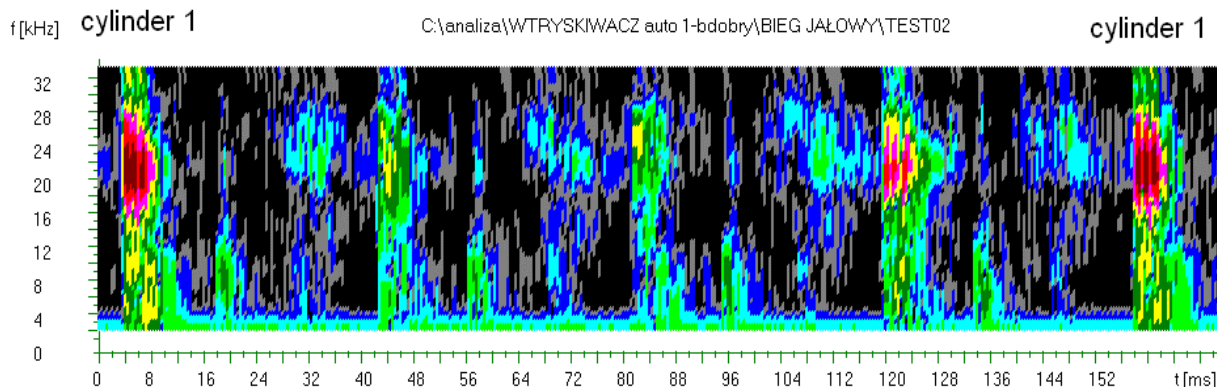


Rys. 11. Zależność od czasu sygnału EA uzyskana w warunkach (czas trwania wtrysku / ciśnienie robocze): 800 bar oraz 595 μ s – przebieg czasowy; 1 – sprawny wtryskiwacz, 2 - uszkodzony wtryskiwacz

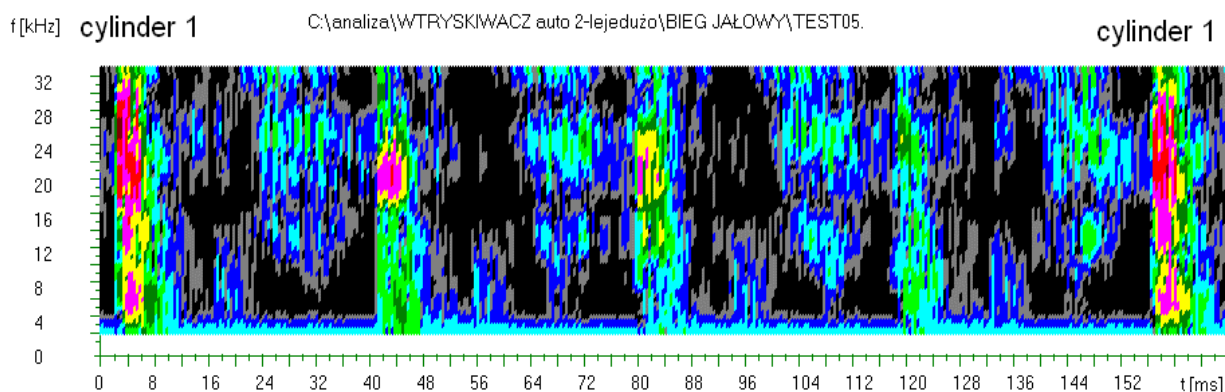


Rys. 12. Spektrogram sygnału EA pokazanego na rys. 11: 1 – sprawny wtryskiwacz, 2 - uszkodzony wtryskiwacz

W warunkach rzeczywistych spektrogramy odwzorowujące sygnały EA generowane we wtryskiwaczu znacząco różnią się od pokazanych na rysunkach 89 i 87. Na spektrogramach można zauważyć sygnały pochodzące od pracującego korbowodu i zaworów. W laboratorium dr. inż. Sławomira Olszowskiego, gdzie zarejestrowano sygnały pokazane na rysunkach 9. – 12. zamontowano prezentowane wyżej wtryskiwacze (sprawny i niesprawny) do silnika pojazdu Volkswagen 2.0 TDI i wykonano pomiary sygnału EA przy wybranych różnych wartościach obrotów silnika. W rezultacie wykazano, że użyta rozdzielczość czasowa spektrogramów umożliwia indykację funkcji wtryskiwacza jedynie przy ustawieniu obrotów poniżej 1200 na minutę. Wyniki testów wykonanych w opisanych warunkach przedstawiono na rysunku 13 (praca wtryskiwacza sprawnego) oraz na rysunku 14 (praca wtryskiwacza niesprawnego).



Rys. 13. Spektrogram sygnału EA generowany przez sprawny wtryskiwacz typu CRI 2-18, pracujący w warunkach rzeczywistych (900 obr./min.).



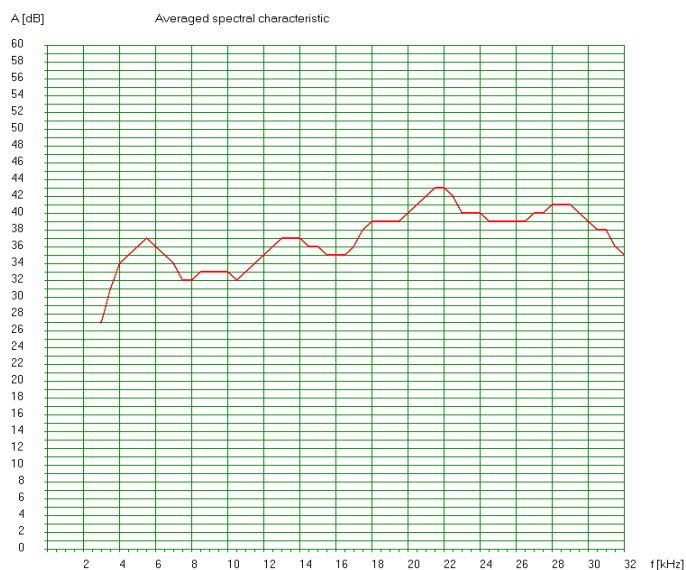
Rys. 14. Spektrogram sygnału EA generowany przez niesprawny wtryskiwacz typu CRI 2-18, pracujący w warunkach rzeczywistych (900 obr./min.).

Na rysunku 13, obrazującym funkcjonowanie wtryskiwacza sprawnego widoczne są trzy cykle wtrysku w każdej z aktywnych faz wtryskiwacza. Cykle są krótsze od 1 milisekundy i następują po sobie w odstępach krótszych od 1 milisekundy. W przypadku wtryskiwacza niesprawnego widoczny jest jeden, znacząco dłuższy cykl pracy wtryskiwacza. Istotne jest, że wtryskiwacz niesprawny generuje sygnał EA o niższej amplitudzie i odmiennej charakterystyce widmowej w porównaniu z egzemplarzem sprawnym. Efekt ten został wykorzystany w zaprojektowanej procedurze komputerowej generującej charakterystykę widmową rejestrowanego sygnału EA. Procedura wykrywa maksymalny przyrost intensywności sygnału EA, rejestrowany w trakcie pracy wtryskiwacza. Ma ona możliwość wykonać tę operację w zbiorze kilkunastu zapisów sygnału EA. W ten sposób powstaje uśredniona charakterystyka aktywności wtryskiwacza. Na rysunku 15. przedstawiono wynik działania opisanej procedury w przypadku przeanalizowania 10 zapisów pracy wtryskiwacza sprawnego, przedstawianego na rysunku 13. Na rysunku 16 przedstawiono analogiczny wynik wygenerowany po

przeanalizowaniu 10 zapisów pracy wtryskiwacza niesprawnego, przedstawianego na rysunku 14.



Rysunek 15. Wynik działania procedury uśredniającej charakterystykę aktywności wtryskiwacza. Przeanalizowano 10 jednosekundowych zapisów pracy wtryskiwacza sprawnego, przedstawianego na rysunku 13.



Rysunek 16. Wynik działania procedury uśredniającej 10 zapisów sygnału EA generowanego przez wtryskiwacz niesprawny, przedstawiony na rysunku 14

Porównując charakterystyki widmowe przedstawione na rysunkach 15 i 16. Można zauważyć, że charakterystyka wtryskiwacza sprawnego przedstawia sygnał o maksymalnej amplitudzie wyższej o ok. 10 dB od sygnału wtryskiwacza niesprawnego oraz, że ta druga charakterystyka nie posiada charakterystycznej rezonansowej formy, to jest nie posiada wyraźnego maksimum w zakresie wysokich częstotliwości.

5. PODSUMOWANIE

W materiale zaprezentowano badania wtryskiwaczy silników wysokoprężnych z układami bezpośredniego wtrysku Common Rail wykonane z zastosowaniem akustycznego urządzenia rejestrującego sygnał EA. Przedstawiono badania wtryskiwaczy typu CRI 2-18, zbliżonych do podzespołów stosowanych w wielu samochodach osobowych i dostawczych różnych marek. Uzyskane wyniki pozwalają stwierdzić, że proponowane rozwiązanie diagnostyczne może skutkować zmniejszeniem czasochłonności i kosztów związanych z obecną diagnostyką inwazyjną, zmuszającą do demontażu komponentu z pojazdu.

Analiza zarejestrowanych sygnałów w dziedzinie czasu i częstotliwości pozwala stwierdzić, że sygnał pochodzący od procesu wtrysku, a przede wszystkim od zamknięcia iglicy jest silny i wyraźny przy wtryskiwaczu sprawnym. W przypadku monitorowania wtryskiwacza niesprawnego sygnały generowane przez zawór sterujący i iglicę są znacząco słabsze. Po zakończeniu wtrysku mogą się pojawić dodatkowe komponenty w sygnale związane z niedomknięciem iglicy. Fakt odmiennej postaci sygnału generowanego przez sprawny i niesprawny wtryskiwacz został potwierdzony w trakcie badania na stole probierczym.

LITERATURA

- [1] P. Mazuruk, Diagnostyka zasobnikowych układów paliwowych na podstawie fazowości procesu wtrysku, rozprawa doktorska, Akademia Morska w Szczecinie, Szczecin 2013
- [2] D. Kołodziejki, S. Olszowski, Badanie modelu przedprodukcyjnego RMOG 04 w układach wysokiego ciśnienia bezpośredniego wtrysku oleju napędowego, praca dyplomowa inżynierska, Uniwersytet Technologiczno -Humanistyczny w Radomiu, Katedra Eksploatacji Środków Transportu, Radom 2016.
- [3] VOLKSWAGEN AG: Nowy typoszereg silników wysokoprężnych EA288, Zeszyt do samodzielnego kształcenia, nr 514, Wolfsburg, 05.2013 s. 32-41
- [4] VOLKSWAGEN AG: Silnik V8 4,2 l TDI z układem wtryskowym Common Rail, Zeszyt do samodzielnego kształcenia, nr 467, Wolfsburg, 07.2010 s. 26
- [5] VOLKSWAGEN AG: Układ wtrysku Common Rail silnika 3,0 l V6 TDI, Zeszyt do samodzielnego kształcenia, nr 351, Wolfsburg 07.2005 s. 17-21
- [6] VOLKSWAGEN AG: Silnik 2,0 l TDI z systemem Common-Rail, Zeszyt do samodzielnego kształcenia, nr 403, Wolfsburg, 10.2007 s. 30-39
- [7] AUDI AG: Silnik Audi 2,0 l TDI z układem wtrysku Common-Rail, Zeszyt do samodzielnego kształcenia, nr 420, Ingolstadt, 12/07 s. 40
- [8] Robert Bosch GmbH: Zasobnikowe układy wtryskowe Common Rail, Warszawa, Wydawnictwo Komunikacji i Łączności sp. z o. o., 2005
- [9] A. Bejger, J. Guzik, M. Marczak, S. Olszowski, Z. Ranachowski, Diagnostic of the fuel injectors of medium speed Diesel Engines with application of acoustic signal, Prace Naukowe Transport, 3 (23), Politechnika Radomska, Radom 2005, s.23-28.
- [10] Z.Ranachowski, A. Bejger, Application of Wavelet Transform for monitoring of operation of high-power Diesel engine, Molecular and Quantum Acoustic, 27, 2006, s. 227-229.
- [11] A. Bejger, Zastosowanie fal sprężystych Emisji Akustycznej do diagnozowania układów wtryskowych okrętowych silników spalinowych, wyd. Fotobit, Kraków, 2012.
- [12] Accelerometers & conditioning, Product Catalogue, Brüel& Kjaer, www.bksv.com/en/products
- [13] Robert Bosch GmbH: Sensors, 1 987 721 021, Karlsruhe, 2012, s. 64
- [14] Artykuł sponsorowany Bosch: Nowe elektromagnetyczne wtryskiwacze Common Rail Bosch do ciśnień 2200 barów, <http://www.motofaktor.pl/47,2/WARSZTAT-24-7/Nowe-elektromagnetyczne-wtryskiwacze-Common-Rail-Bosch-do-cisnien-2200-barow,4392.html>

