

Artur GODULA, Mirosław WENDEKER, Ksenia SIADKOWSKA
Zdzisław KAMIŃSKI, Arkadiusz MAŁEK

OGRANICZANIE EMISJI POJAZDÓW SAMOCHODOWYCH POPRZEZ WYKRYWANIE NIESZCZELNOŚCI KOMORY SPALANIA

Streszczenie

W artykule przedstawiono sposób identyfikacji zmiennej obecnej w transmisji diagnostycznej z gniazda OBD, która najlepiej charakteryzuje zużycie silnika wynikające z nieszczelności komory spalania. Udowodniono tym wpływ przebiegu pojazdu na wartość ciśnienia w kolektorze dolotowym podczas pracy na biegu jałowym. Wykazano ponadto istnienie zależności pomiędzy niesprawnością silnika a zwiększoną emisją regulowanych toksycznych składników spalin. Wprowadzenie w systemie diagnostyki pokładowej rozbudowanych algorytmów diagnozowania szczelności komory spalania może przyczynić się do wcześniejszej identyfikacji niesprawności silnika, a przez to do zmniejszenia emisji spalin.

WSTĘP

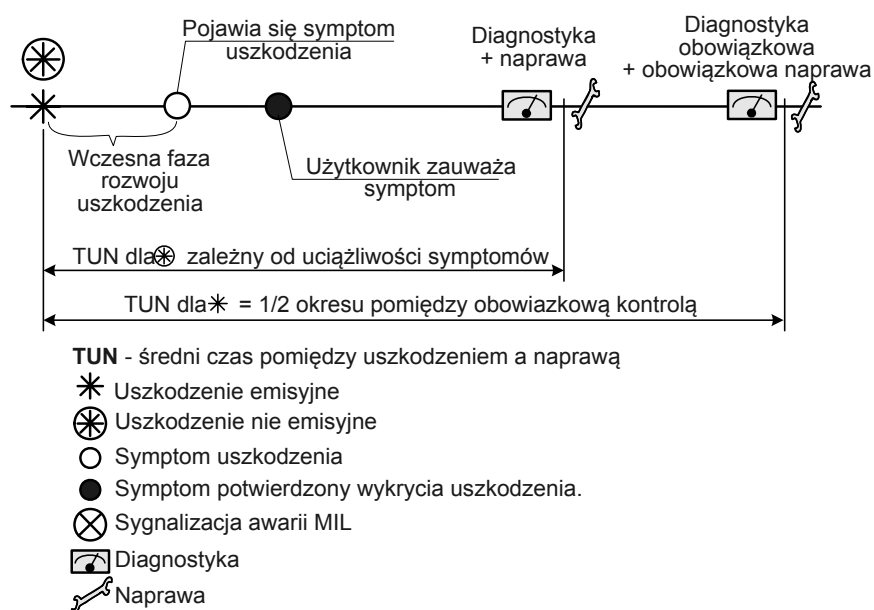
Przez diagnostykę pojazdów zazwyczaj rozumie się proces lokalizacji elementów lub podsystemu, który na skutek naturalnego zużycia lub uszkodzenia nie może dalej pełnić swojej funkcji określonej specyfikacją producenta. Diagnostyka odbywa się w stacjach diagnostyczno-naprawczych lub stacjach kontroli pojazdów i jest efektem decyzji kierowcy, lub obowiązkiem okresowej kontroli pojazdów przewidzianym prawem. Decyzja o wykonaniu diagnostyki określonego podsystemu pojazdu jest podejmowana przez użytkownika na podstawie zauważonych podczas eksploatacji symptomów uszkodzeń.

Z punktu widzenia wywołanych skutków uszkodzenia pojazdu możemy podzielić na [4]:

- uszkodzenia, które wywołują zwiększoną emisję związków toksycznych (w tym także hałasu) z układu wydechowego lub zasilania paliwem. Uszkodzenia te nazywamy uszkodzeniami emisyjnymi, bowiem dotyczą one elementów i podsystemów układu napędowego odpowiedzialnych za emisję związków toksycznych,
- uszkodzenia mające bezpośredni wpływ na bezpieczeństwo jazdy, występujące głównie w takich podsystemach podwozia i nadwozia jak: hamulce, zawieszenie, układ kierowniczy czy światła,
- uszkodzenia nieemisyjne układu napędowego, które w sposób zauważalny dla kierowcy pogarszają dynamikę pojazdu (dotyczy to zmniejszenia przyspieszenia, opóźnień w reakcji na położenie przepustnicy, nierównomierności w generacji momentu itp.),
- uszkodzenia elementów i podsystemów nadwozia zmniejszające komfort jazdy.

Istnieje pewna zwłoka czasowa (rys. 1) pomiędzy momentem, w którym dany element należy już uznać (stosując metody diagnostyki instrumentalnej) za uszkodzony, a momentem

pojawienia się reakcji pojazdu w postaci degradacji własności eksploatacyjnych zauważonych, jako symptom tego uszkodzenia. Zwłoka czasowa występuje także pomiędzy momentem pojawienia się symptomów a momentem zauważenia ich przez kierowcę. Okres czasu pomiędzy zauważeniem wystąpienia symptomu, a diagnostyką i ewentualną naprawą zależy od wielu czynników, głównie od stopnia jego uciążliwości. Ogólnie można powiedzieć, że najszybciej zauważane i najprędzej usuwane są uszkodzenia związane z pogorszeniem dynamiki wzdłużnej pojazdu. Natomiast uszkodzenia emisyjne oraz niektóre uszkodzenia związane z bezpieczeństwem ruchu w ogóle nie generują zauważalnych dla kierowcy symptomów lub symptomy te występują w sytuacjach krytycznych.



Rys. 1. Czas pomiędzy wystąpieniem uszkodzenia a jego naprawą w tradycyjnych systemach diagnostyki samochodowej

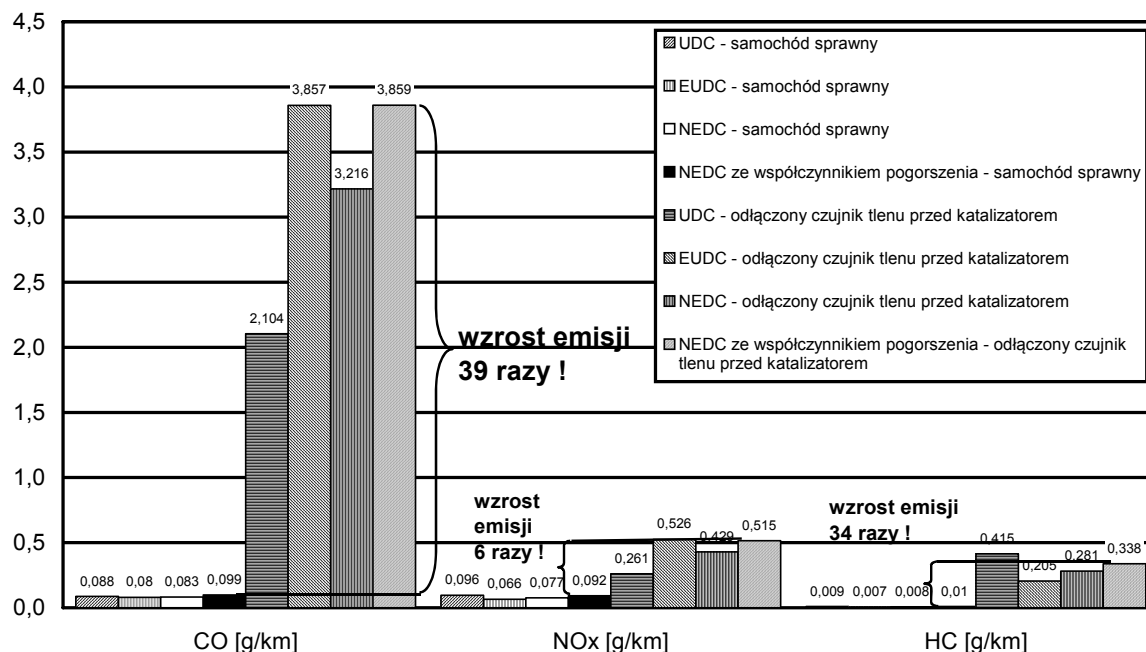
Źródło: [4].

1. ZALEŻNOŚĆ POMIĘDZY STANEM TECHNICZNYM POJAZDU I JEGO EMISYJNOŚCIĄ

We wszystkich rozwiniętych krajach istnieje obowiązek okresowej kontroli pojazdów, podczas której instrumentalnie sprawdza się emisję związków toksycznych i stan techniczny układów decydujących o bezpieczeństwie ruchu. Przypomnijmy, że wszystkie obecnie obowiązujące testy toksyczności gazów spalinowych objęte obowiązkowym programem badań kontrolnych były opracowane w latach 80. i polegają na pomiarze zawartości związków toksycznych na biegu jałowym (w tym stanie pracy silniki gaźnikowe, dla których te testy były opracowane wykazują największą emisję). Testy te nie są zupełnie adekwatne do współczesnych niskoemisyjnych pojazdów z wtryskiem paliwa i układami redukcji emisji. Na podstawie powyższych faktów można wysnuć następujący wniosek: emisja związków toksycznych ze współczesnych niskoemisyjnych pojazdów jest w dużej mierze niekontrolowana [4]. Producent w zasadzie ponosi odpowiedzialność za emisję do bramy fabryki. W czasie eksploatacji emisja może wzrosnąć wskutek naturalnego zużycia elementów lub awarii, a istniejące metody i środki techniczno-prawne jej kontroli nie zapewniają wykrycia tego faktu i jego szybkiego usunięcia. Dzieje się tak, mimo znacznego wysiłku zmierzającego do ograniczenia emisji na etapie projektowania i produkcji. Należy tu także zauważyć, że ograniczenia ogólnej emisji z transportu samochodowego poprzez skrócenie okresu międzykontrolnego i wyposażanie stacji w precyzyjne systemy pomiaru emisji oparte na symulacji rzeczywistej jazdy

(hamownie podwoziowe) pociąga za sobą olbrzymie koszty finansowe i społeczne, których akceptacja nie wydaje się być możliwa. Drugim rozwiązaniem jest stworzenie mechanizmów wykrywania uszkodzeń emisyjnych w ich wczesnej fazie rozwoju, kiedy wywołana nimi emisja nie przekracza dopuszczalnych limitów [1].

Jak wynika z danych przedstawionych na rysunku 2 emisja wszystkich regulowanych składników spalin wzrasta (nawet 40-krotnie) w przypadku braku sygnału z czujnika tlenu w spalinach [5]. Wzrost emisji spalin może występować również w przypadku istnienia nie szczelności komory spalania.



Rys. 2. Emisja samochodu osobowego podczas europejskiego cyklu jezdnego w porównaniu z emisją przy odłączonym czujniku stężenia tlenu przed reaktorem katalitycznym [5].

2. METODOLOGIA BADAŃ

Przedmiotem niniejszego artykułu są badania pozwalające określić przydatność sygnału informującego o wartościach poszczególnych elementów wykonawczych oraz sygnałów czujników pomiarowych uzyskanych w drodze diagnostyki pokładowej silnika jako wiarygodnej informacji o stanie zużycia pary TPC (tłok-pierścienie-cylinder) w silniku spalinowym. Mówiąc o stanie zużycia par TPC w silniku spalinowym, mamy na myśli ich szczelność, tj. wielkość przedmuchów i wpływ tej wielkości na zachowanie się innych elementów wykonawczych silnika spalinowego.

Celem badań jest wyodrębnienie wielkości mierzonej przez tester OBD, która najbardziej charakteryzuje stan techniczny układu korbowego oraz weryfikacja tego sygnału co do jego poprawności w stawianych założeniach. Wymusiło to zgromadzenie przesyłanych przez sterownik danych pomiarowo-sterujących dla odpowiednio dużej liczby samochodów marki OPEL różniących się stopniem zużycia (przebiegiem).

Badania zostały przeprowadzone na terenie firmy Opel Energozam. Firma udostępniła nowoczesny tester diagnostyczny Tech 2 oraz oprogramowanie do odczytywania i przetwarzania danych TIS 2000 (rys. 3). Profesjonalne wyposażenie serwisu umożliwiło przebadanie ponad pięciuset samochodów marki Opel.



Rys. 3. Transmisja diagnostyczna w samochodach Opel

Źródło: Opracowanie własne.

Dzięki tak nowoczesnej transmisji danych pomiędzy samochodem a urządzeniem diagnostycznym oraz dzięki oprogramowaniu „TIS 2000” otrzymane zostały pliki archiwizacyjne. W pliku zawarte są następujące dane: rodzaj silnika, model samochodu, data i godzina przeprowadzonego testu, ilość zapisanych klatek oraz wielkości zmierzone na silniku podczas testu.

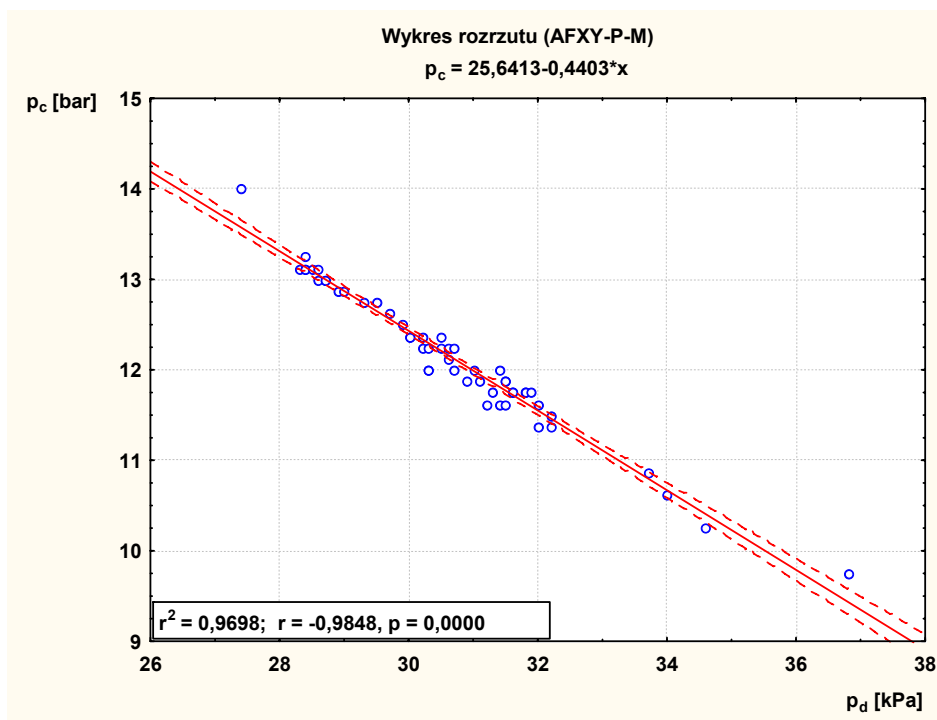
3. BADANIA I ANALIZA STATYSTYCZNA

Do analizy statystycznej wybrano, jako najbardziej reprezentatywną populację 52 pojazdów marki Opel Astra F z silnikiem X14NZ, które po przebadaniu poddano pomiarom i rejestracji wyników. Na wykresie (rys. 4) ujęto charakterystyczne zależności oraz wartości ich korelacji, linie regresji, współczynnik ufności i determinacji.

W poszczególnych 52 przypadkach pojazdów dokonywano pomiaru ciśnienia sprężania w cylindrze (jako miernika poziomu zużycia silnika) a następnie dokonywano rejestracji charakterystycznych parametrów [6]. Do parametrów poddanych analizie zaliczamy:

- stopień otwarcia przepustnicy,
- otwarcie zaworu wejściowego,
- ciśnienie w układzie dolotowym,
- czas wtrysku,
- kąt wyprzedzenia zapłonu.

Na podstawie analizy pomiarów można wnioskować, iż zmienną reagującą na zużycie silnika (wyrażone w ciśnieniu sprężania) jest ciśnienie dolotu (rys. 4). Ciśnienie dolotu jest silnie skorelowane ze stopniem zużycia silnika ($r = -0,9848$), współczynnik determinacji, $r^2 = 0,9698$ świadczy o dobrym dopasowaniu funkcji regresji do danych empirycznych, a poziom istotności na poziomie zerowym wskazuje na brak możliwości popełnienia błędów.

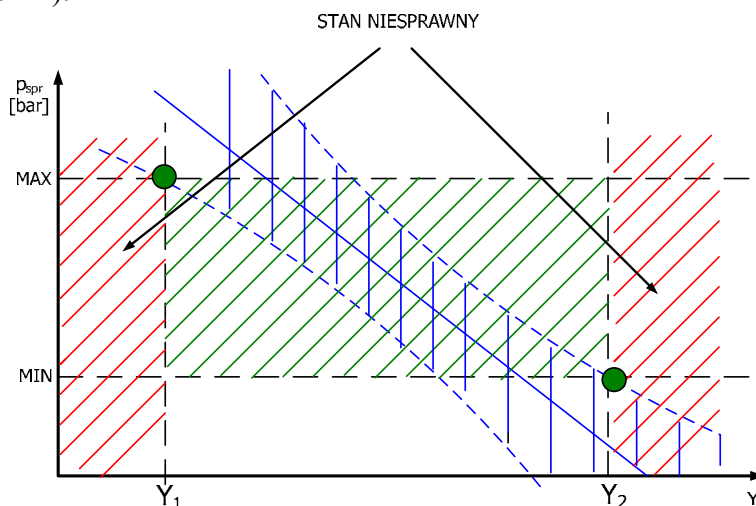


Rys. 4. Zależność ciśnienia dolotu od zużycia silnika wyrażonego w ciśnieniu sprężania
 Źródło: Badania własne.

Wszystkie przedstawione na rysunku 4 przypadki możemy przyporządkować do dwóch grup, rozróżnianych ze względu na stan sprawności:

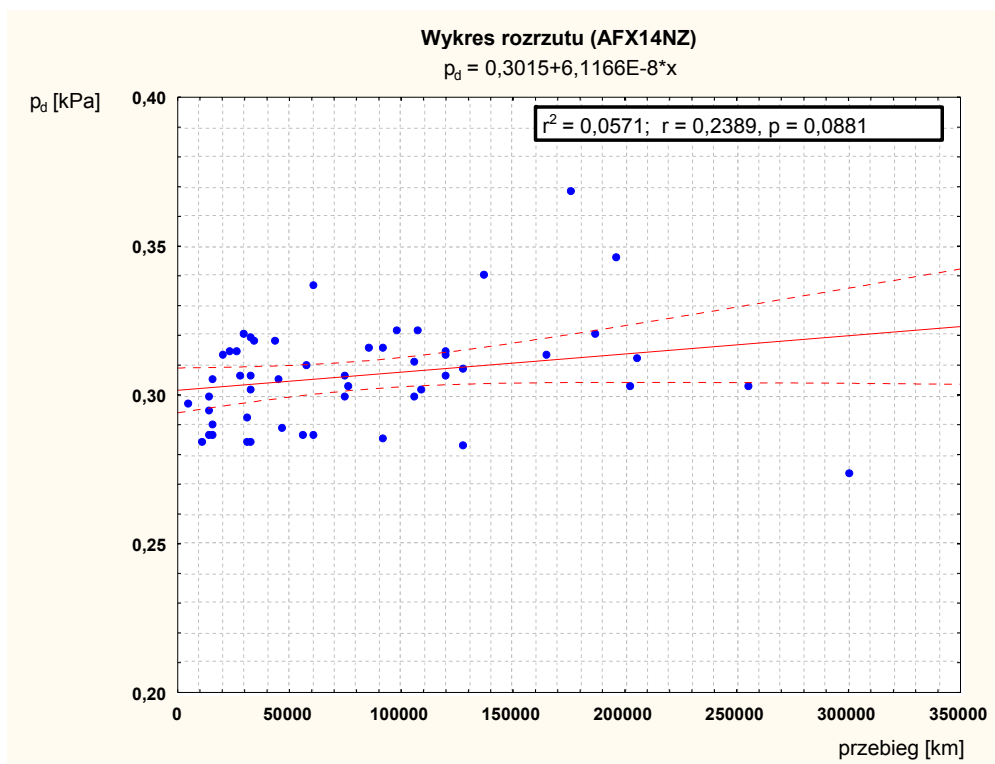
- pojazdy sprawne (przedstawione kolorem zielonym na rysunku 5),
- pojazdy niesprawne (przedstawione kolorem czerwonym).

Niesprawność może wynikać z dwóch przyczyn: istnienia rzeczywistych nieszczelności w komorze spalania (punkt Y2) lub zbytniego jej doszczelnienia spowodowanej osadzeniem się nagaru (punkt Y1).



Rys. 5. Klasyfikacja stanów sprawności i niesprawności komory silnika
 Źródło: Opracowanie własne

W dalszej części badań stwierdzono istnienie zależności pomiędzy ciśnieniem w kolektorze dolotowym (będącym parametrem określającym jego zużycie) a rzeczywistym przebiegiem pojazdu. Na rysunku 6 widoczna jest eskalacja ciśnienia w kolektorze dolotowym w funkcji przejechanych kilometrów.



Rys. 6. Zależność ciśnienia w kolektorze dolotowym od przebiegu pojazdu z silnikiem AFX14NZ
 Źródło: Badania własne

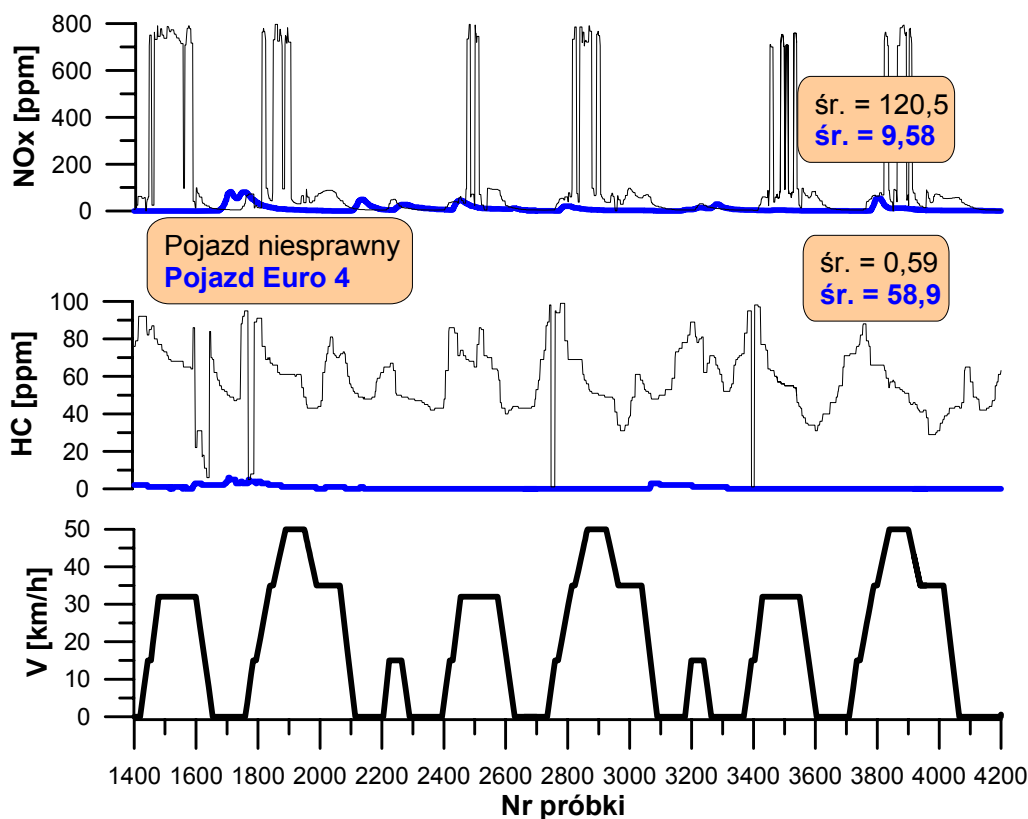
Przeprowadzona analiza wykazała przydatność pomiaru ciśnienia w kolektorze dolotowym do określenia stanu zużycia silnika.

4. WPŁYW STOPNIA ZUŻYCIA SILNIKA NA JEGO EMISJĘ

W celu wykazania zależności pomiędzy niesprawnością silnika a zwiększoną emisją toksycznych składników spalin przeprowadzono następujący eksperyment: Pojazd marki Opel wyposażony w silnik X16XE umieszczono na hamowni podwoziowej produkcji V-TECH i dokonano pomiaru chwilowego stężenia dwóch głównych składników toksycznych spalin (HC i NO_x) za pomocą analizatora diagnostycznego marki MAHA MGT-5 z funkcją zapisu do pliku mierzonych wartości [2]. Pojazd uszkodzony charakteryzował się niskimi wartościami stopnia sprężania wynoszącymi: cyl. 1 = 7 bar; cyl. 2 = 11,5 bar; cyl. 3 = 7,5 bar; cyl. 4 = 7,5 bar (wartość poprawna, serwisowa >11 bar) oraz znacznym zużyciem oleju (ponad 0,5 l/1000 km). Próba olejowa spowodowała wzrost ciśnienia do wartości ponad 11 bar na wszystkich cylindrach co ewidentnie wskazuje na nieszczelność par TPC. Badany egzemplarz jest typowym reprezentantem pojazdu statystycznego Polaka. Według danych GUS z 2011 r. średni wiek pojazdu w Polsce wynosi 15,5 roku, a 70% pojazdów w naszym kraju ma więcej niż 10 lat.

Uzyskane wyniki odniesiono do pojazdu sprawnego, spełniającego wymogi normy emisji spalin Euro 4 [3]. Badania obejmują fragment cyklu miejskiego z wyłączeniem pierwszych 250 s po zimnym rozruchu silnika. Stwierdzono stokrotnie większą emisję węglowodorów i trzynastokrotnie większą emisję tlenków azotu z pojazdu uszkodzonego (rys. 7). Według polskich regulacji prawnych (DzU 2009, nr 155, poz. 1232.) w pojeździe z 1997 r. ograniczoniom podlega jedynie emisja HC i CO podczas pracy na biegu jałowym. Badany pojazd spełnia ten wymóg. Widoczna na biegu jałowym wartość emisji HC wynosząca 40-60 ppm jest niższa od wartości granicznej wynoszącej 100 ppm (dla pojazdów zarejestrowanych po raz pierwszy po 30 czerwca 1995 r. wyposażonych w sondę lambda). Badany pojazd możemy

zatem uznać za sprawny technicznie wedle obowiązujących przepisów. Jednak przeprowadzone badania wykazują ogromną różnicę pomiędzy emisją spalin z obydwu analizowanych pojazdów. Warto zaznaczyć, że pojazd Euro 4 po osiągnięciu nominalnej temperatury pracy prawie nie emituje HC. Zmierzona emisja tego składnika jest częstokroć mniejsza od tła otoczenia występującego na polskich drogach. Emisja NOx jest również nieznaczna (wartość graniczna na biegu jałowym 100 ppm) i występuje jedynie w stanach nieustalonych pracy silnika.



Rys. 7. Porównanie emisji spalin pojazdu niesprawnego z pojazdem Euro 4

Źródło: Badania własne.

PODSUMOWANIE

W artykule przedstawiono sposób identyfikacji zmiennej obecnej w transmisji diagnostycznej z gniazda OBD, która najlepiej charakteryzuje zużycie silnika wynikające z nieuszczelności komory spalania. Udowodniono tym wpływ przebiegu pojazdu na wartość ciśnienia w kolektorze dolotowym podczas pracy na biegu jałowym. Wykazano ponadto istnienie zależności pomiędzy niesprawnością silnika a zwiększoną emisją regulowanych toksycznych składników spalin. Wprowadzenie w systemie diagnostyki pokładowej rozbudowanych algorytmów diagnozowania szczelności komory spalania może przyczynić się do wcześniejszej identyfikacji niesprawności silnika a przez to do zmniejszenia emisji spalin.

Biorąc pod uwagę przytoczone wcześniej dane statystyczne odnoszące się do średniego wieku pojazdów eksploatowanych w Polsce, prezentowane badania są jak najbardziej aktualne i powinny zostać wykorzystane do kontrolowanego pomiaru emisji z pojazdów.

REDUCING EMISSIONS FROM MOTOR VEHICLES AS A RESULT OF LEAK DETECTION FROM COMBUSTION CHAMBER

Abstract

In the article was presented identification methodology of the parameter (presented in the OBD transmission) which characterizes in the best way leaks resulting from the combustion chamber. It has been proven that exist the impact of vehicle mileage on the pressure value in the intake manifold during idling operations. The results suggest a relationship between motor disability and increased emissions of regulated toxic components of exhaust gases. The introduction of sophisticated on-board diagnostic system testing algorithms of the combustion chamber may lead to earlier identification of engine failure and thereby reduce emissions.

BIBLIOGRAFIA

1. Dąbrowski Z., Zawisza M.: *Diagnostic of mechanical defects not recognized by the OBD system in self ignition engines*. Combustion Engines – Silniki Spalinowe, 2011, nr 3.
2. Małek A., Wendeker M., Czarnigowski J.: *Stanowisko do badań przedhomologacyjnych dla pojazdów wyposażonych w układ sekwencyjnego wtrysku gazu LPG*. PTNSS Kongres – 2007. Combustion Engines – Silniki Spalinowe, 2007–SC3-148.
3. Małek A.: *Wymogi normy emisji spalin Euro 5 w odniesieniu do pojazdów zasilanych LPG*. AUTOBUSY – Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe, 2011, nr 5.
4. Merkisz J., Mazurek St.: *Pokładowe systemy diagnostyczne pojazdów samochodowych OBD*, WKiŁ, Warszawa, 2007.
5. Ślęzak M.: *Badania na hamowni podwoziowej i drogowej systemów diagnostyki pokładowej (OBD) samochodów w warunkach polskich*. Archiwum Motoryzacji – The Archives Of Automotive Engineering, 2004, Vol. 7.
6. Wendeker M., Godula A.: *Badania eksploatacyjnej zmienności parametrów sterowania silników o zapłonie iskrowym*. Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability, 2004, nr 2.

Autorzy:

mgr inż. **Artur Godula** – Politechnika Lubelska

prof. dr hab. inż. **Mirosław Wendeker** – Politechnika Lubelska

mgr inż. **Ksenia Siadkowska** – Politechnika Lubelska

mgr inż. **Zdzisław Kamiński** – Politechnika Lubelska

dr inż. **Arkadiusz Małek** – Wyższa Szkoła Przedsiębiorczości i Administracji w Lublinie