

Wojciech JAROSIŃSKI

POMIAR EMISJI ZANIECZYSZCZEŃ GAZOWYCH POJAZDÓW WYPOSAŻONYCH W SILNIKI O ZAPŁONIE SAMOCZYNNYM SPEŁNIAJĄCYCH WYMAGANIA NORM EURO 5 I EURO 6 NA STACJACH KONTROLI POJAZDÓW

W artykule omówiony został problem pomiaru emisji zanieczyszczeń gazowych pojazdów wyposażonych w silniki o zapłonie samoczynnym na stacjach kontroli pojazdów. Wymagania homologacyjne w zakresie emisji, jakim muszą sprostać nowe pojazdy zostały postawione na niezwykle wysokim poziomie. Metodyka i aparatura pomiarowa na stacjach kontroli pojazdów nie zmieniła się od przeszło dwudziestu lat i obecnie, w dużej mierze, nie jest w stanie sprostać wyzwaniom jakie się jej stawia. W artykule przedstawiono wyniki badań i wnioski dotyczące sformułowania nowych kryteriów oceny emisji, które wyeliminowałyby z ruchu drogowego pojazdy z usuniętym bądź niesprawnym filtrem cząstek stałych.

WSTĘP

Począwszy od lat 80 zeszłego wieku pomiary emisji zanieczyszczeń spalin są elementem składowym okresowego badania technicznego pojazdu. Na poziomie Unii Europejskiej obowiązek ich prowadzenia został po raz pierwszy zapisany w 1992 w dyrektywie 92/55EEC i później w dyrektywie 96/96/EC. Od początku dla emisji z silników o zapłonie samoczynnym przedmiotem oceny jest współczynnik absorpcji mierzony przy wykorzystaniu metody swobodnego przyspieszania. Wymagania techniczne aparatury, którą wykonuje się pomiary (dymomierzy) zawarte są w normie ISO 11614:1999, regulaminie 24 EKG ONZ i dyrektywie 72/306/ECE. Metoda swobodnego przyspieszania od początku pomiarów pojazdów w eksploatacji do dnia dzisiejszego jest domyślną metodą oceny emisji silników o ZS.

Zgodnie z wymaganiami stawianymi stacjom kontroli pojazdów mają one w procedurze okresowego badania technicznego pojazdu sprawdzić poprawność działania urządzeń służących ograniczeniu negatywnego wpływu na środowisko w tym między innymi emisji cząstek stałych z silników o zapłonie samoczynnym.

W silnikach o zapłonie samoczynnym już w pojazdach spełniających wymagania w zakresie emisji na poziomie normy euro 4 zaczęto montować filtr cząstek stałych (w tym przypadku był on opcjonalny), zaś dalej dla silników spełniających wymagania na poziomie euro 5 i euro 6 stał się obligatoryjnie wymagany.



Rys. 1. Filtr cząstek stałych zdemontowany z pojazdu o przebiegu około 3000 km



Rys. 2 Struktura wewnętrzna filtra



Rys. 3 Struktura wewnętrzna filtra

1. FILTRY CZĄSTEK STAŁYCH I PROBLEMY ZWIĄZANE Z ICH EKSPLOATACJĄ

Filtr cząstek stałych (DPF) jest elementem, który bardzo skutecznie ogranicza ich emisję. Wartości zadymienia czy stężenia są na poziomie bliskim zera i w praktyce jeżeli filtr jest sprawny trudno je w ogóle zarejestrować. Filtr cząstek stałych może przysporzyć kłopotów jeżeli pojazd wykorzystywany jest głównie w mieście. Jego specyfika eksploatacji jest taka – rozwiązanie techniczne polega na tym, że co pewien czas, gdy filtr przyjmie i zatrzyma określoną ilość

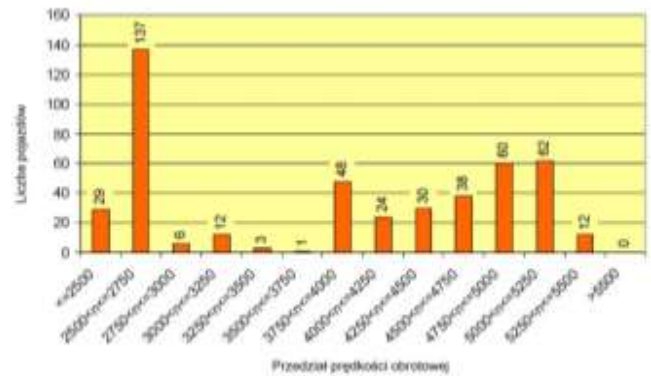
cząstek stałych rośnie ciśnienie przed filtrem i czujnik ciśnienia przekazuje sygnał rozpoczynający procedurę oczyszczania. Procedura ta może być realizowana w różny sposób, najczęściej jednak jest realizowana poprzez zwiększenie temperatury i spalenie cząstek stałych. Aby uzyskać odpowiednią temperaturę spalania, należy poza dodatkowo podawanym paliwem (chwilowy istotny wzrost zużycia paliwa) utrzymać silnik pod obciążeniem (przy określonej prędkości obrotowej silnika). W cyklu jazdy miejskiej może okazać się, że czasowe trwające kilka minut obciążenie silnika nie jest możliwe, a kilkukrotne zaniechanie przeprowadzenia procedury może skutkować uszkodzeniem filtra, w niektórych przypadkach trwałym uszkodzeniem, gdzie jedynym rozwiązaniem będzie jego wymiana. Tu niestety pojawia się problem, gdyż koszt nowego wynosi od kilku nawet do kilkunastu tysięcy złotych. Na rynku działa wiele firm oferujących usunięcie filtra w cenie od około 1000 do 2000 złotych, w ramach tej usługi poza usunięciem lub podziurawieniem wkładu i zamaskowaniu tej operacji jest również modyfikacja oprogramowania. Różnica w cenie jest jak z tego wynika bardzo duża. Wymiana filtra na nowy rozwiązuje problem doraźnie, jeżeli bowiem pojazd będzie eksploatowany w ten sam sposób jak dotychczas można przewidywać, że problem powtórzy się po podwojeniu przebiegu. Wraz z usunięciem filtra spadnie zużycie paliwa oraz wzrośnie moc użyteczna. Zmiany te będą niewielkie ale podnosi to „atrakcyjność” tego rozwiązania w oczach użytkownika pojazdu.

2. OGRANICZENIA I WADY METODY SWOBODNEGO PRZYSPIESZANIA W OCENIE SILNIKÓW O ZAPŁONIE SAMOCZYNNYM NA

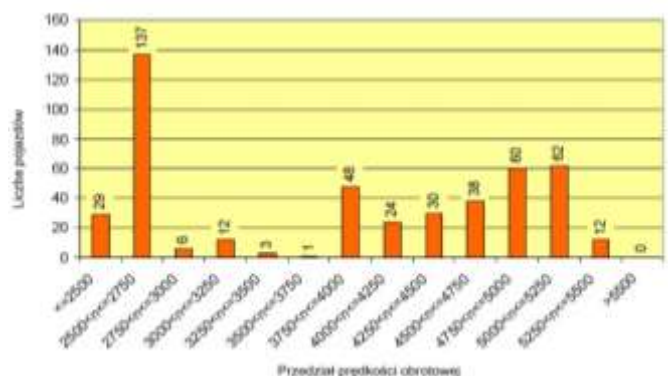
Metoda swobodnego przyspieszania jest metodą posiadającą szereg istotnych wad do których można zaliczyć możliwość uszkodzenia silnika podczas wykonywania badania. Intensywne rozpędzanie silnika od prędkości obrotowej biegu jałowego do prędkości regulatorowej dla mocniej wyeksploatowanych silników może być groźne i skutkować ich zniszczeniem. Statystyki wskazują na to, że tylko pewien niewielki odsetek silników ulega zniszczeniu. Jednocześnie zapis rozporządzenia [2] wskazujący w jaki sposób realizowany ma być pomiar brzmiący: podczas pracy silnika na biegu jałowym należy **szybko, lecz niegwałtownie**, nacisnąć pedał przyspieszenia, tak aby uzyskać pełny wydatek pompy wtryskowej – pokazuje niepewność i wątpliwości ustawodawcy, coż to bowiem znaczy szybko lecz niegwałtownie? Wiadomo, że na poziom zadymienia, dla wyniku pomiaru kluczowy jest czas przyspieszania, właśnie jak szybko silnik otrzyma dawkę maksymalną, bo to z kolei wpływa na poziom obciążenia silnika, które jest ściśle związane z zadymieniem. Druga poważna wada metody, to rozrzut wyników, ponieważ pomiar odbywa się w warunkach niestabilnych i jest silnie uzależniony od tego w jaki sposób diagnosta przyspiesza silnik, to za każdym razem wyniki różnią się od siebie. W celu obiektywizacji wyniku pomiaru, to średnia arytmetyczna z trzech pomiarów daje wiążący wynik.

Powyższe niedoskonałości są na tyle istotne, że począwszy od początku lat 90 zeszłego wieku poszukuje się innej metody oceny silników o zaplonie samoczynnym.

Bardzo istotnym ograniczeniem w stosowaniu metody swobodnego przyspieszania jest ponadto coraz częściej występujące ograniczenie prędkości obrotowej silnika zdecydowanie poniżej prędkości obrotowej maksymalnej, w takim przypadku o ile silnik nie jest pod obciążeniem nie można go przyspieszyć do prędkości maksymalnej. Dla takiego przypadku nie da się zrealizować w sposób poprawny metody swobodnego przyspieszania. Ilustracje przedstawiające rozkład prędkości maksymalnych pokazują rysunki poniżej pierwsza dla całej populacji badanych pojazdów w ramach projektu SET (rys. 4.), druga dla pojazdów wyposażonych w silniki klasy Euro 5 (rys. 5.) [4].



Rys. 4 Rozkład maksymalnej prędkości obrotowej w funkcji liczby pojazdów wykonany na próbie 1632 pojazdów (niezależnie od klasy Euro)

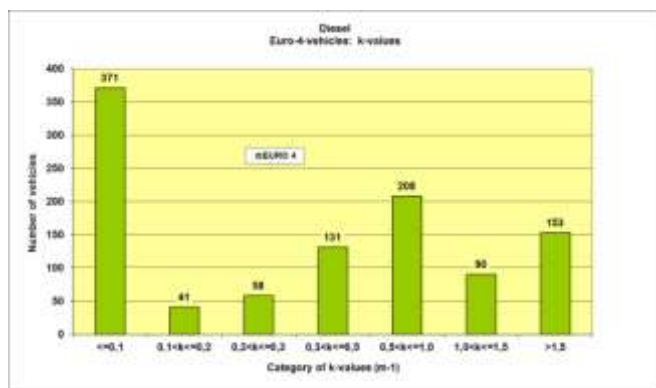


Rys. 5 Rozkład maksymalnej prędkości obrotowej w funkcji liczby pojazdów wykonany na próbie 462 pojazdów wyposażonych w silniki klasy Euro 5

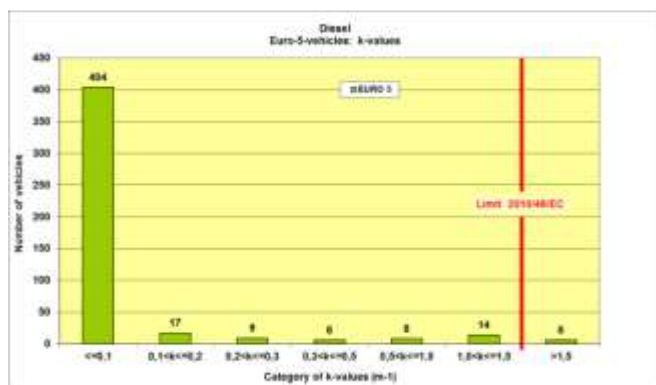
Z analizy rys. 5 wynika, że przeszło 40% pojazdów wyposażonych w silniki klasy Euro 5 ma ograniczenie maksymalnej prędkości obrotowej w stanie stacjonarnym poniżej prędkości regulatorowej pod obciążeniem i w związku z tym możliwość ich badania metodą swobodnego przyspieszania stoi pod znakiem zapytania. Gdyby, mimo to dla tych pojazdów przeprowadzić badanie tą metodą, otrzymane wyniki nie byłyby takie same jak dla przypadku, gdyby takie ograniczenie prędkości obrotowej nie występowało. Siły bezwładności obciążające silnik przyjmują, dla tej grupy pojazdów niższe wartości, a zatem i zadymienie osiąga niższe wartości, niż dla przypadku, gdyby takiego ograniczenia nie było.

Projekt SET [4] zajmujący się poruszaną tu tematyką postuluje dla przypadku, gdy producent pojazdu zmniejsza prędkość do jakiej przyspiesza silnik bez obciążenia, aby podał sposób w jaki można tę funkcję na potrzeby okresowego badania technicznego wyłączyć. Jednak stanowisko producentów pojazdów wyrażone przez ich stowarzyszenie ACEA jest w tej sprawie jednoznaczne. Producenci nie zamierzają ujawniać procedury dezaktywującej ograniczenie prędkości obrotowej, uważając, że mogłoby to być niebezpieczne. Ta dyskusja jest również dowodem na to, że stosowanie procedury swobodnego przyspieszania nie jest zdaniem producentów w pełni bezpieczne.

Poniżej wyniki pomiarów z pracy [4] metodą swobodnego przyspieszania w odniesieniu do pojazdów z silnikami klasy Euro 4 (rys. 6) i na następnym (rys. 7.) Euro 5.



Rys. 6 Rozkład współczynnika absorpcji dla pojazdów wyposażonych w silniki klasy Euro 4 [4]



Rys. 7 Rozkład współczynnika absorpcji dla pojazdów wyposażonych w silniki klasy Euro 5 [4]

Jak widać z powyższych rysunków jest duża jakościowa różnica pomiędzy pojazdami Euro 4 i Euro 5. Euro 4 w zależności od producenta pojazdu wymagań lokalnych, preferencji odbiorcy mogły być wyposażane w filtr cząstek stałych bądź nie i w związku z tym dla Euro 4 mamy dużo większy rozrzut wyników, z czego można wysnuć wniosek, że kryterium oceny powinno być powiązane z wyposażeniem pojazdu lub, że kryterium jest dla tych pojazdów na właściwym poziomie. Inaczej jest dla przypadku pojazdów wyposażonych w silniki klasy Euro 5, gdzie są one standardowo wyposażone w DPF. Dla tych pojazdów występuje duża zgodność wyników przeszło 90% pojazdów miało emisję poniżej wartości $0,2 \text{ m}^{-1}$. Między wartością $0,2 \text{ m}^{-1}$ a $1,5 \text{ m}^{-1}$ jest bardzo duża różnica z czego wynika, że dla tych pojazdów obecnie kryterium jest na zdecydowanie zbyt wysokim poziomie.

Na podstawie pracy [4] poniżej przedstawiono zestawienie stosowanych kryteriów oceny silników Diesla w krajach członkowskich biorących udział w projekcie SET oraz udział negatywnych wyników z powodu usterek związanych z emisją składników toksycznych.

3. OCENA SYSTEMÓW OCZYSZCZANIA SPALIN W OPARCIU O ANALIZĘ EMISJI TLENKÓW AZOTU

W ramach projektu TEDDIE [3] starano się znaleźć zależności emisji NO , NO_2 i NO_x , które pozwoliłyby na odpowiedź, czy elementy odpowiedzialne za oczyszczanie spalin są sprawne i działają poprawnie.

Pomiar tlenków azotu w projekcie odbywał się za pomocą metody analizy niedyspersyjnej z wykorzystaniem spektroskopii oraz ogniw elektrochemicznych. Urządzenia wykorzystywane do badań były prototypami opracowanymi specjalnie na potrzeby projektu.

W trakcie badań oceniano procedury badania i przydatność różnych sposobów pomiarów wykorzystując do badań pięć pojazdów Euro 5/6 oraz jeden ciężki z silnikiem Euro V. W trakcie badań uszkodzono filtry cząstek stałych, zawory EGR, a w pojeździe ciężarowym również system SCR i oceniano różne procedury badawcze czy wykażą błędy uszkodzanych systemów. Stwierdzono, że wzrost emisji NO_x powyżej wartości granicznych nie był wykryty podczas badania, łatwiej było wykryć uszkodzenie filtra cząstek stałych, jeżeli prowadził on do wyraźnego wzrostu emisji cząstek stałych. Uszkodzenie systemu SCR również nie było wykrywane podczas badań, ponieważ system ten nie działa efektywnie o ile silnik nie jest obciążony. Wniosek końcowy płynący z przedstawionych tu badań brzmiał, że analiza NO_x nie jest właściwym narzędziem do oceny silnika o zapłonie samoczynnym.

Teza, że współczynnik NO_2/NO_x może być przydatny do oceny nowoczesnych silników o ZS również się nie potwierdziła. Zbyt wiele czynników ma wpływ na wartość powyższego współczynnika, który jest bardzo wrażliwy na obecność pracujących systemów czy stosowanych powłok. Nieefektywną metodą oceny okazała się kontrola za pomocą EOBD, które dla większości przypadków nie wykrywało symulowanych usterek w pojazdach. Końcowe wnioski miały charakter ogólny i wskazywały na konieczność prowadzenia dalszych badań, określając jednak jako podstawową metodę pomiaru metodę swobodnego przyspieszania z wykorzystaniem nowej generacji aparatury mierzącej stężenie cząstek stałych mg/m^3 .

	Wyniki pomiarów			Kryteria oceny	
	Liczba badanych samochodów	Liczba negatywnych Wyników badań	Negatywny Wynik Badania [%]	Kryteria 1	Kryteria 2
Europa	1654	109	6,59	<1/7/2008 3,0	>1/7/2008 1,5
Hiszpania	933	65	6,97	<1/7/2008 3,0	>1/7/2008 1,5
Belgia	412	68	16,50	Euro 3 1,5	Euro 4-6 1,5
Holandia	29	0	0,00	<1/7/2008 3,0	>1/7/2008 1,5
Niemcy	169	10	5,92	Euro 3 1,5	Euro 4-6 0,6
Niemcy*	169	12	7,10	Euro 3 1,5	Euro 4-6 0,4
Szwecja	85	3	3,53	Euro 3 3,0	Euro 4-6 1,5
Francja	26	0	0,00	<1/7/2008 3,0	>1/7/2008 1,5

* Niemcy korzystają z wartości na tabliczce producenta pojazdu

4. BADANIA PRZY WYKORZYSTANIU EOBD

Technologia EOBD została wprowadzona dyrektywą homologacyjną 98/69/EC, która stanowi, że pojazdy wyposażone w silniki o zapłonie samoczynnym muszą być wyposażone w stosowne złącza i spełniać wymagania w niej zawarte począwszy od 2003 roku. System EOBD monitoruje wybrane funkcje sterowania silnikiem i system kontroli emisji składników toksycznych, gromadzi informacje o błędach elementów odpowiedzialnych za właściwą emisję, o ile wartości graniczne zostaną przekroczone. W takim przypadku kod konkretnego błędu jest zapisywany w pamięci modułu odpowiedzialnego za dany element systemu, a użytkownik jest informowany poprzez świecenie się lampki MIL (malfunction indicator lamp).

Bez wątpienia technologia EOBD jest użyteczna i stosowana równolegle do badań klasycznych emisji z układu wydechowego dobrze je uzupełnia, jednak stosowana jako jedyne źródło informacji jest mało skutecznym narzędziem oceny. Po pierwsze system EOBD umożliwia wykrycie wyłącznie usterek pochodzących od sygnałów elektrycznych, ale nie umożliwia pomiarów rzeczywistej emisji i relatywnie łatwo można go „zmanipulować” symulując odpowiednio mierzony sygnał. Ponadto badania podane w [1] dowodzą, że znaczny odsetek pojazdów z wywołanymi usterekami wykazywał podwyższoną emisję powyżej dopuszczalnych wartości granicznych, a lampka MIL nie reagowała.

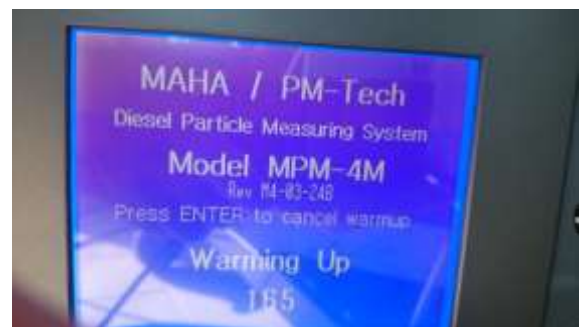
W niektórych krajach członkowskich UE prowadzono wielokierunkowe badania i na ich podstawie wprowadzono do zakresu okresowego badania technicznego badanie za pomocą złącza EOBD. Jako pierwsi w 2006 roku silniki o zapłonie samoczynnym za pomocą EOBD zaczęli badać Niemcy. Jeżeli badanie OBD nie wykazuje żadnych kodów błędów, wówczas badanie zadymienia spalin nie jest wykonywane. Równocześnie w Niemczech zrealizowano projekt „Emisja 2010” w ramach którego zbadano nową generację dymomierzy na próbkę około 800 samochodów. Rozważano wprowadzenie nowych kryteriów oceny – niższe wartości dopuszczalne oraz symulowano różne błędy dla systemu EOBD. Stwierdzono, że EOBD nie określa funkcjonalności całego systemu oczyszczania spalin, a jest w stanie tylko wykryć błędy dotyczące pojedynczego modułu, czy systemu. W przypadkach kiedy na przykład system EGR nie działał poprawnie i wartości NO_x były wyraźnie powyżej dopuszczalnych wartości, EOBD nie zawsze umożliwiało podanie właściwego kodu błędu. Jedną z istotniejszych konkluzji wynikających z badań było stwierdzenie, że na potrzeby okresowych badań technicznych pojazdów dla współczesnych pojazdów należy w sposób zdecydowany obniżyć kryteria oceny, ponieważ stosowane są rażąco zbyt wysokie. Następnie w latach 2012-2013 kontynuowano badania już w ramach projektu „Emission check 2020”, gdzie zbadano 1750 pojazdów w warunkach stacji kontroli pojazdów. Badaniom poddano pojazdy rejestrowane w 2006 i nowsze, a celem projektu było porównanie badania dymomierzem i OBD. Wyniki były następujące: badanie OBD wynik negatywny osiągnęło 1,9% badanych pojazdów, podczas gdy dla wykonywania zarówno badań OBD i dymomierzem wskaźnik ten wzrósł do 7,1% , na podstawie powyższego stwierdzono, że statystycznie przeszło milion pojazdów poruszało się po niemieckich drogach nie spełniając w tym zakresie wymagań i nie przechodząc naprawy. Ponadto zaledwie w 84 przypadkach obie metody równocześnie wskazywały wynik negatywny. Wszystko, to prowadzi do wniosku, że wykonywanie obu pomiarów nie jest wcale dublowaniem badania, a jest właściwą metodą do oceny nowoczesnych pojazdów. Na bazie powyższego projektu zaproponowano ustalenie wartości emisji dla silników o ZS spełniające wymagania Euro 5 na poziomie wartości występującej na tabliczce znamionowej producenta nie większe jednak niż 0,2 m⁻¹

5. BADANIA WŁASNE

5.1. Wykorzystana do badań aparatura badawcza



Rys. 8 Dymomierz AVL 439



Rys. 9 Wyświetlacz dymomierza MPM-4M



Rys. 10 Dymomierz MPM-4M



Rys. 11 Dymomierz AVL Digas 4000



Rys. 12 Czytnik OBD firmy BOSCH KTS

W badaniach wykorzystano klasyczne dymomierze mierzące przy wykorzystaniu metody absorpcji światła (pochłaniania światła w gazach), jak również dymomierz nowej generacji MPM-4M firmy MAHA wykorzystujący zjawisko pochłaniania rozproszonego światła lasera w gazach. W trakcie badań przeprowadzano również sprawdzenie pojazdu czytnikiem EOBD.

5.2. Wyniki pomiarów

Peugeot Partner Tapee

Pierwszy zbadany pojazd to samochód Peugeot Partner Tapee zarejestrowany po raz pierwszy w lutym 2014 wyposażony w silnik 9H06 o objętości 1560 cm³ i mocy nominalnej 92 KM, spełniający wymagania Euro 5, wyposażony w turbosprężarkę. Badany samochód posiadał filtr cząstek stałych zaś drogomierz wskazywał przebieg na poziomie 1000 km.

Pomiary za pomocą dymomierza metodą swobodnego przyspieszania w sposób powtarzalny i niezmienny dawały wynik $k = 0,00 \text{ m}^{-1}$ a silnik rozpędzał się od prędkości 750 obr/min do 4960 obr/min w czasie około 0,75 s.

Następnie przeprowadzono badania stężenia spalin, gdzie również niezależnie od stanu pracy, czy podczas testu metodą swobodnego przyspieszania wynik był niezmienny i wynosił 0 mg/m³.

Analogiczne badania przeprowadzono w warunkach ustalonych dla wybranych prędkości obrotowych, wynik niezmiennie wynosił $k = 0,00 \text{ m}^{-1}$ w zakresie współczynnika absorpcji i 0 mg/m³ w zakresie stężenia cząstek stałych.

Następnym etapem badań było usunięcie filtra cząstek stałych i zmiana oprogramowania, polegająca na takiej modyfikacji, że sterownik silnika działał tak jak gdyby filtr był obecny cały czas w trybie normalnej pracy.



Rys. 13 Sterownik silnika w samochodzie Peugeot Partner Tapee

Po usunięciu filtra cząstek stałych uzyskano następujące wyniki: Metodą swobodnego przyspieszania wykonano dwie serie pomiarów w których uzyskano odpowiednio $k = 1,13 \text{ m}^{-1}$ i $k = 1,11 \text{ m}^{-1}$ przy czym prędkość obrotowa silnika zmieniała się od prędkości 750 obr/min do 4960 obr/min w czasie około 0,8 s.

Następnie mierzono stężenie cząstek stałych, gdzie przeprowadzono cztery serie pomiarów, w których uzyskano wyniki 31,1 mg/m³, 26,8 mg/m³, 31,4 mg/m³ oraz 29,0 mg/m³.

Dalej przeprowadzono badania za pomocą czytnika informacji diagnostycznych do układu EOBD, które nie wykazało żadnych kodów usterek, a lampka MIL była sprawna ale również nie wskazywała błędu. Protokoły z pomiarów zawiera załącznik nr 1.

Również w tym przypadku, mimo że pojazd był pozbawiony DPF, to wszystkie wyniki pomiarów leżały w dopuszczalnym zakresie, DPF był usunięty w taki sposób, że ocena organoleptyczna nie dawała podstaw do wystawienia innej oceny niż wynik pozytywny, ponieważ brak było jakichkolwiek śladów ingerencji.

Następnie zmierzono zadyminienie spalin w warunkach hamowni podwozowej. Badania przeprowadzono dla prędkości obrotowej 4000 obr/min dla której silnik rozwija maksymalną moc 68 kW zgodnie z deklaracją producenta. Podczas pomiarów maksymalne zadyminienie wynosiło $k = 0,44 \text{ m}^{-1}$ przy zmierzonej mocy 65,9 kW.

Porównanie wyników otrzymanych za pomocą metody swobodnego przyspieszania ($k = 1,13 \text{ m}^{-1}$) do tych uzyskanych na hamowni podwozowej ($k = 0,44 \text{ m}^{-1}$) i ich przeszło dwukrotna różnica co do wartości prowadzi do wniosku, że twierdzenie, iż są one porównywalne jest nieprawdziwe. W tych dwóch przypadkach silnik pracuje w zupełnie innych warunkach, przy różnych charakterystykach w związku z czym na podstawie badań na hamowni trudno przewidywać jakie będą wyniki zmierzone metodą swobodnego przyspieszania i na odwrót.

Volkswagen Touareg

Następny badany samochód to VW TOUAREG wyposażony w silnik CCW o pojemności 2967 cm³ i mocy nominalnej 240 KM, wyposażony w turbosprężarkę, silnik klasy Euro 5 pozbawiony filtra cząstek stałych z przeprogramowanym sterownikiem silnika. Modyfikacje obejmowały również kompleksową zmianę map wtrysku w pełnym zakresie pracy silnika owocującą podwyższoną mocą do 300 KM.



Rys. 14 Badanie na stacji kontroli pojazdów

Metodą swobodnego przyspieszania wykonano trzy serie pomiarów w których uzyskano odpowiednio $k = 0,16 \text{ m}^{-1}$, $k = 0,15 \text{ m}^{-1}$ i $k = 0,16 \text{ m}^{-1}$ przy czym silnik rozpędzał się od prędkości 780 obr/min do 3760 obr/min w czasie około 0,8 s. Maksymalny rozrzut wyników wyniósł tu $0,03 \text{ m}^{-1}$.

Następnie mierzono stężenie cząstek stałych, gdzie przeprowadzono trzy serie pomiarów, w których uzyskano wyniki $3,0 \text{ mg/m}^3$, $3,1 \text{ mg/m}^3$ oraz $2,8 \text{ mg/m}^3$.

Dalej przeprowadzono badania za pomocą urządzenia do kontroli OBD, które nie wykazało żadnych kodów usterek, a lampka MIL była sprawna ale również nie wskazywała błędu.

W tym przypadku, mimo że pojazd był pozbawiony filtra cząstek stałych, to zadymienie i stężenie cząstek stałych była na zaskakująco niskim poziomie i spełniała nawet rekomendowane nowe kryterium wynoszące $0,2 \text{ m}^{-1}$ [4]. Również w tym przypadku wszystkie wyniki pomiarów znajdowały się w dopuszczalnym zakresie, filtr był usunięty w taki sposób, że ocena organoleptyczna nie dawała podstaw do wystawienia innej oceny niż wynik pozytywny, ponieważ brak było jakichkolwiek śladów ingerencji i dla tego pojazdu nawet zaostżone kryterium nie daje podstawy do negatywnego wyniku badania technicznego w zakresie ekologii. Przypadek ten jednak można uznać jako wyjątek od reguły.

BMW 520D

Następnie zbadano samochód BMW 520D zarejestrowany po raz pierwszy w lipcu 2006, wyposażony w silnik o pojemności 1995 cm^3 i mocy nominalnej 163 KM, spełniający wymagania Euro 4, wyposażony w turbosprężarkę. Badany samochód miał usunięty filtr cząstek stałych i zmodyfikowaną moc na 205 KM zaś drogomierz wskazywał 220000 km.

Badania za pomocą urządzenia do kontroli OBD nie wykazało żadnych kodów usterek, a lampka MIL była sprawna ale również nie wskazywała błędu.

Następnie przeprowadzono badania za pomocą dymomierza nowej generacji MPM4N, gdzie zmierzono stężenie w trakcie testu swobodnego przyspieszenia $34,5 \text{ mg/m}^3$.

Następnie przeprowadzono badania metodą swobodnego przyspieszania za pomocą dymomierza AVL Digas 4000, gdzie uzyskano wynik $k_{sr} = 0,29 \text{ m}^{-1}$. Zadymienie na tym poziomie oznacza, że pojazd w zakresie zadymienia spełnia wymagania przepisów, gdyż dopuszczalne zadymienie spalin wynosi $1,5 \text{ m}^{-1}$.

Reasumując ocena organoleptyczna daje wynik pozytywny ponieważ, obudowa filtra i układ wydechowy zostały zmodyfikowane w taki sposób, że wyglądają na oryginalne i nie noszą żadnych śladów ingerencji. OBD nie wykazuje żadnych kodów błędów, zaś wynik zadymienia jest również, zakładając obecnie obowiązujące kryterium spełniony. Tabliczki producenta wskazującej (według jego wymagań) dopuszczalny stopień zadymienia – brak. Gdyby nie wiedza, że w pojeździe usunięto filtr nie byłoby podstawy do negatywnego wyniku badania.

Peugeot Boxer

Peugeot Boxer wyposażony w silnik o objętości 2198 cm^3 i mocy 130 KM klasy Euro 5, wyposażony w turbosprężarkę, zarejestrowany w 2014 roku, zgodnie z wymaganiami wyposażony w filtr cząstek stałych. Podczas pomiarów metodą swobodnego przyspieszania silnik przyspieszał od prędkości 980 obr/min do prędkości 4960 obr/min, a wyniki pomiaru wynosiły $0,00 \text{ m}^{-1}$, maksymalny zarejestrowany współczynnik absorpcji wyniósł $0,01 \text{ m}^{-1}$. Pomiar stężenia zawsze wynosił $0,0 \text{ mg/m}^3$ i nigdy nie odchyliły się od tej wartości.

Skoda Yeti

Skoda Yeti wyposażona w silnik EA189 o objętości 1968 cm^3 i mocy 140 KM klasy Euro 5, wyposażony w turbosprężarkę, zarejestrowany w 2014 roku, zgodnie z wymaganiami wyposażony w filtr cząstek stałych. Podczas pomiarów metodą swobodnego przyspieszania silnik przyspieszał od prędkości 980 obr/min do prędkości 2500 obr/min, a wyniki pomiaru wynosiły $0,00 \text{ m}^{-1}$, maksymalny zarejestrowany współczynnik absorpcji wyniósł $0,01 \text{ m}^{-1}$. Pomiar stężenia zawsze wynosił $0,0 \text{ mg/m}^3$ i nigdy nie odchyliły się od tej wartości. Można założyć, że wyłączenie ograniczenia prędkości obrotowej do 2500 obr/min w tym przypadku nie wpłynie na wartość emisji.

Volvo V70

VOLVO V70 zarejestrowane po raz pierwszy w lipcu 2008, wyposażone w silnik D5244T o objętości 2400 cm^3 i mocy nominalnej 185 KM, wyposażone w turbosprężarkę, silnik klasy Euro 4. Badany samochód miał usunięty DPF i zmodyfikowaną moc zaś drogomierz wskazywał 220000 km.

Badania za pomocą urządzenia do kontroli OBD nie wykazało żadnych kodów usterek, a lampka MIL była sprawna ale również nie wskazywała błędu.

Następnie przeprowadzono badania za pomocą dymomierza, gdzie uzyskano wynik $k = 1,18 \text{ m}^{-1}$. Zadymienie na tym poziomie oznacza, że pojazd w zakresie zadymienia spełnia wymagania przepisów, gdyż dopuszczalne zadymienie spalin wynosi $1,5 \text{ m}^{-1}$.

Reasumując ocena organoleptyczna daje wynik pozytywny ponieważ, obudowa filtra i układ wydechowy zostały zmodyfikowane w taki sposób, że wyglądają na oryginalne i nie noszą żadnych śladów ingerencji. OBD nie wykazuje żadnych błędów, zaś wynik zadymienia jest również, zakładając obecnie obowiązujące kryterium spełniony. Tabliczki producenta wskazującej (według jego wymagań) dopuszczalny stopień zadymienia – brak. Gdyby nie wiedza, że w pojeździe usunięto DPF nie ma podstawy do negatywnego wyniku badania.

Ponadto przeprowadzono badania w warunkach ustalonych, które przedstawia tabela poniżej. Już nawet te szacunkowe wyniki badań prowadzą do wniosku, że nie ma prostej jednoznacznej relacji pomiędzy współczynnikiem absorpcji a stężeniem cząstek stałych.

Tab. 1. Współczynnik absorpcji i stężenie cząstek stałych w funkcji prędkości obrotowej

Lp.	Prędkość obrotowa	Współczynnik absorpcji $k \text{ [m}^{-1}\text{]}$	Stężenie cząstek stałych $\text{[mg/m}^3\text{]}$
1	Bieg jałowy	0,02	0,0
2	1500	0,06	0,0
3	2000	0,20	11,5
4	2500	0,18	13,0
5	3000	0,08	0,0
6	3500	0,03	0,0

Volkswagen Transporter

Volkswagen Transporter 2,4D zarejestrowany po raz pierwszy w 1998 r. wyposażony w wolnossący silnik o mocy 75 KM i objętości 2370 cm^3 silnik klasy Euro 2. Wynik pomiaru zadymienia metodą

swobodnego przyspieszania wyniósł $0,32 \text{ m}^{-1}$, zrealizowano dwie serie pomiarów stężenia, gdzie maksymalne zmierzone wartości to $35,6 \text{ mg/m}^3$, a w drugim przypadku $41,9 \text{ mg/m}^3$. Oczywiście samochód nie był wyposażony w filtr cząstek stałych. Uzyskany wynik $0,32 \text{ m}^{-1}$ pokazuje, że nawet samochód blisko dwudziestoletni, jeżeli jest w dobrym stanie technicznym, to spełnia aktualne kryterium oceny z olbrzymim zapasem. Fakt ten jednoznacznie wskazuje na to, że kryterium to jest ustanowione na zbyt wysokim poziomie.

PODSUMOWANIE

1. Przegląd literatury oraz badania własne prowadzą do wniosku, że kryteria oceny dla pojazdów wyposażonych w silniki o ZS klasy Euro 5 i Euro 6 powinny być równe albo wartości specyfikowanej przez producenta pojazdu, występującej na tabliczce, a w przypadku, kiedy jest brak tabliczki, kryterium oceny powinno wynosić $0,2 \text{ m}^{-1}$ a nie $1,5 \text{ m}^{-1}$ jak to jest w chwili obecnej. Dla takiego kryterium zdecydowana większość pojazdów, w których został usunięty filtr cząstek stałych nie uzyska pozytywnego wyniku badania. Dla pojazdów wyposażonych w silniki o ZS klasy Euro 4 kryterium powinno być ustalane indywidualnie, zgodnie z komplectacją pojazdu i deklaracją jego producenta.
2. Porównanie przydatności aparatury do pomiarów prowadzi do konkluzji, że klasyczny dymomierz działający na zasadzie pochłaniania światła daje powtarzalne wyniki i pozwala na ocenę zadymienia nowoczesnych silników wysokoprężnych. Urządzenia nowej generacji działające w oparciu o pochłanianie rozproszonego światła lasera dają stosunkowo duży rozrzut wyników, jak wykazują badania niniejszej pracy, ponadto są kilkakrotnie droższe od klasycznych dymomierzy stosowanych obecnie w SKP. Powyższe przesłanki skłaniają do poglądu, że na obecnym etapie rekomendowanie wymiany urządzeń, czy postulowanie doposażenia się przez SKP nie jest racjonalne. Ponadto należałoby określić nowe kryteria oceny wyrażone w $[\text{mg/m}^3]$, co dość mocno komplikuje sprawę w świetle tego, że nie ma jednoznacznej relacji pomiędzy współczynnikiem absorpcji a stężeniem cząstek stałych.
3. Dla pojazdów z ograniczoną prędkością regulatorową w warunkach stacjonarnych należy postulować, aby producenci pojazdów udostępnili procedurę, która umożliwi prawidłowy pomiar metodą swobodnego przyspieszania podczas okresowego badania technicznego.
4. Pomiary w warunkach ustalonych dymomierzami nowej generacji nie dają możliwości oceny poprawności pracy urządzeń i systemów ograniczających emisję cząstek stałych.
5. Zależność pomiędzy współczynnikiem absorpcji a stężeniem cząstek stałych w spalinach charakteryzuje się dużym rozrzutem

wyników, który jest uzależniony od wielu czynników. Najważniejsze z nich to wielkość i liczba cząstek. Niemożliwe jest zatem wskazanie krzywej, która jednoznacznie określałaby relacje pomiędzy tymi dwoma wielkościami. Każda taka krzywa będzie niedoskonałym przybliżeniem określającym tę relację.

6. Badania zadymienia na hamowni podwoziowej i pomiar metodą swobodnego przyspieszania są nieporównywalne. W tych dwóch przypadkach silnik pracuje w zupełnie innych warunkach, porusza się po różnych charakterystykach w związku z czym na podstawie badań na hamowni trudno przewidywać jakie będą wyniki zmierzone metodą swobodnego przyspieszania i na odwrót.

BIBLIOGRAFIA

1. *Second CITA Programme on Emission Testing at Periodic and Other Inspections – Summary Report*(November 2002).
2. *Rozporządzenie Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej w sprawie zakresu i sposobu przeprowadzania badań technicznych pojazdów oraz wzorów dokumentów stosowanych przy tych badaniach* Dz. U. z dnia 10 czerwca 2015 r., poz.776 z późniejszymi zmianami.
3. *TEDDIE (Test(D)DIeSel) project Final Report “A new roadworthiness emission test for Diesel vehicles involving NO, NO₂ and PM measurements”* 7th December 2011
4. *SET (Sustainable Emissions Test) Final Report*, 1st September 2015

Emission tests of Euro 5 and Euro 6 diesel engines vehicles during periodic technical inspection

Paper discussed the problem of the measurement of gaseous pollutant emissions of vehicles equipped with compression ignition engines for inspection centers. Approval requirements are set on a very high level. Methodology and measuring devices for vehicle inspection stations has not been changed for over twenty years and now is not able to meet the challenges. The article presents the results of research and proposals for the new criteria for evaluation of emissions to eliminate from traffic vehicles with removed or defective diesel particulate filter

Autorzy:

dr inż. **Wojciech Jarosiński** – Instytut Transportu Samochodowego w Warszawie, Wojciech.jarosinski@its.waw.pl.