

Maciej Andrzejewski, Mateusz Nowak

Wpływ stylu jazdy według zasad eco-drivingu na emisję substancji toksycznych z lekkiego samochodu użytkowego

JEL: Q01 DOI: 10.24136/atest.2019.121
Data zgłoszenia: 05.04.2019 Data akceptacji: 26.06.2019

W artykule zaprezentowano wyniki pomiarów toksyczności spalin samochodu dostawczego w rzeczywistych warunkach ruchu. Celem badań było zweryfikowanie wpływu stylu jazdy kierowcy na emisję substancji szkodliwych w spalinach. Do realizacji celu wykonano pomiary emisji drogowej podstawowych gazowych związków toksycznych w spalinach emitowanych do atmosfery przez jednostkę napędową pojazdu. Do pomiarów zawartości poszczególnych zanieczyszczeń gazowych wykorzystano mobilną aparaturę do badań toksyczności spalin typu PEMS.

Słowa kluczowe: styl jazdy, eco-driving, badania drogowe, emisja spalin.

Wstęp

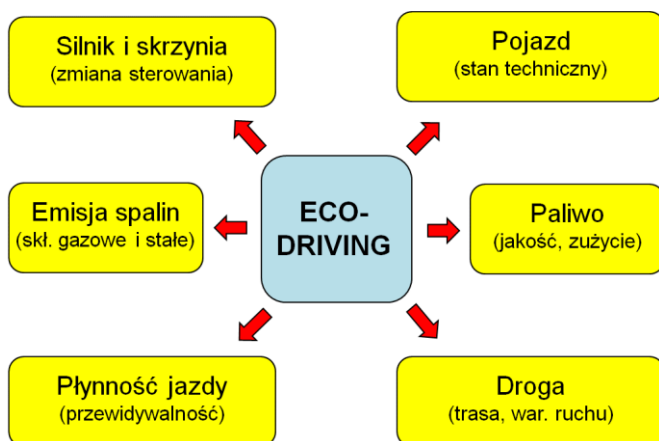
Wytwórcy pojazdów silnikowych na całym świecie stale doskonalą różne sposoby ograniczania uciążliwości eksploatacyjnej swoich produktów w aspekcie oddziaływania na środowisko naturalne. Sposoby te dotyczą m.in. poprawy procesu spalania paliwa w silniku – zwiększenie sprawności konwersji energii – oraz rozwijania zaawansowanych technik oczyszczania spalin [10]. Nie tylko doskonale jednostki napędowe pod kątem ekologicznym są w stanie zmniejszyć negatywne oddziaływanie pojazdów samochodowych na środowisko naturalne. Ważny w tym względzie jest także sam sposób ich późniejszej eksploatacji – stosowany styl jazdy przez kierowcę. Niewystarczająca świadomość społeczna o dużym wpływie samych kierowców na emisję związków szkodliwych spalin powoduje podejmowanie tego zagadnienia przez różne organizacje.

Okres rozpędzania pojazdu, a ściślej jego dynamika, odpowiada w głównej mierze za wielkość zużycia paliwa oraz masę wyemitowanych związków szkodliwych [1, 2]. Główne zasady eco-drivingu opierają się na płynnej jeździe, ograniczaniu niepotrzebnych przyspieszeń i hamowań. Należy jeździć na możliwie najwyższym biegu, przy możliwie najniższej prędkości obrotowej silnika. Ważne jest także stosowanie hamowania silnikiem przez redukcję biegów – np. w trakcie dojazdu do sygnalizatora świetlnego – w miejsce jazdy wybiegiem (bieg luzem i jałowy silnika).

Założenia eco-drivingu po raz pierwszy sformułowano w Szwajcarii i Finlandii w drugiej połowie lat dziewięćdziesiątych XX wieku. Popularność stosowania zasad tego sposobu jazdy wśród kierowców stale wzrasta. Wzorem wielu krajów europejskich, także i w Polsce obserwuje się ostatnimi czasy wzrost zainteresowania wskaźnikami i wytycznymi, mającymi na celu m.in. zmniejszenie zużycia paliwa przez pojazdy. Jak pokazują badania ankietowe, w 2007 roku 12% pytanym osób zadeklarowało, że jest przekonana o tym, iż eko-jazda może zmniejszyć zużycie paliwa [14]. W listopadzie 2012 r. uważało tak już 26% ankietowanych. Ten 14-procentowy wzrost świadczy o tym, że świadomość o eco-drivingu wciąż jest kwestią otwartą. Gorzej natomiast wygląda stosowanie go w praktycznej jeździe.

Z chwilą pojawienia się specjalistycznej, mobilnej aparatury naukowo-badawczej, skonstruowanej tak, aby móc prowadzić badania drogowe pojazdów, możliwa stała się weryfikacja korzyści wynikających ze stosowania zasad eco-drivingu poza laboratorium – pomiary stanowiskowe. Badania pojazdów samochodowych pod kątem ekologii eksploatacji mają znaczenie zwłaszcza w przypadku badań toksyczności spalin w dynamicznych i nieustalonych warunkach pracy silnika. Mimo, iż podjęto się odzwierciedlenia tych warunków w dynamicznych testach badawczych (np. ETC, WHTC), nie oddają one jednak w pełni rzeczywistych warunków eksploatacji pojazdów różnych kategorii homologacyjnych [4, 5, 12, 13]. Dlatego też w ciągu ostatnich kilku lat największy potencjał badawczy w środowisku motoryzacyjnym skoncentrowano właśnie na badaniach drogowych pojazdów w rzeczywistych warunkach ruchu [3, 11].

W niniejszym artykule przedstawiono wyniki badań toksyczności spalin samochodu dostawczego, wykonane w warunkach drogowych. Wykonane badania dostarczyły informacji na temat emisji gazowych substancji szkodliwych w dynamicznie zmieniających się warunkach ruchu miejskiego. Przeprowadzono je w celu weryfikacji wpływu stylu jazdy kierowcy na emisję wybranych składników spalin: tlenu i dwutlenku węgla, węglowodorów, tlenków azotu oraz zużycia paliwa przez badany pojazd. Wpływ sposobu jazdy na zużycie paliwa jest dość łatwo mierzalny i powszechnie możliwy do określenia, natomiast w celu określenia zawartości gazowych związków chemicznych w spalinach należy posłużyć się już specjalistyczną, mobilną aparaturą badawczą typu PEMS (Portable Emissions Measurement System) [6]. Celem przeprowadzonych badań była odpowiedź na pytanie: w jaki sposób należy prowadzić pojazd silnikowy – w tym przypadku samochód dostawczy – aby minimalizować emisję szkodliwych składników spalin do atmosfery.



Rys. 1. Główne zagadnienia związane z koncepcją eko-jazdy [8, 9]

W ostatnich czasach w środowisku motoryzacyjnym pojawiło się i funkcjonuje pojęcie eco-drivingu, czyli tzw. eko-jazdy (rys. 1). Jak twierdzą twórcy tego stylu jazdy stosowanie w praktyce przez kierowców pewnych reguł (zasad) powinno skutkować najmniejszym zużyciem paliwa, a jednocześnie w najmniejszym stopniu wpływać na zanieczyszczenie środowiska. Jedną z istotniejszych rzeczy, na którą zwracają uwagę instruktorzy eco-drivingu jest sposób rozpę-

1. Metodyka badawcza

1.1. Warunki pomiarów

Wartości emisji drogowej poszczególnych szkodliwych gazowych składników spalin (CO, CO₂, HC i NO_x), a przy tym także przebiegowego zużycia paliwa przez badany pojazd – wyrażanego w dm³/100 km, uzyskano w efekcie wykonania pomiarów stężeń wymienionych związków i natężenia przepływu spalin w rzeczywistych warunkach ruchu podczas przejazdów na terenie Poznania. Przebieg trasy badawczej zaprezentowano na rysunku 2. Jej sumaryczna długość wynosiła około 11 km. Charakterystyka trasy (tab. 1) była dość zróżnicowana pod względem warunków ruchu. Składała się bowiem z odcinków o ruchu typowo miejskim, jak również pozamiejskim, gdy istniała możliwość uzyskania większej prędkości jazdy (70 km/h). Należy tutaj zaznaczyć, iż badania w rzeczywistych warunkach eksploatacji rozpoczynano, gdy jednostka napędowa samochodu badawczego osiągnęła właściwą temperaturę pracy.



Rys. 2. Trasa badawcza zlokalizowana w obrębie Poznania

Obraną trasę badawczą ze względu na zmienność parametrów ruchu podzielono na cztery części (odcinki pomiarowe):

- ruch miejski o dużym natężeniu – duży udział postoju pojazdu (2,5 km – 24% trasy przejazdu),
- ruch pozamiejski – droga szybkiego ruchu, prędkość dopuszczalna 70 km/h (1 km – 10% trasy przejazdu),
- ruch miejski o małym natężeniu (około 2 km – 17% trasy przejazdu),
- ruch mieszany – część odcinka to droga szybkiego ruchu o prędkości dopuszczalnej wynoszącej 70 km/h (około 5 km – 49% trasy przejazdu).

W związku z tym, że pierwsze trzy odcinki pomiarowe charakteryzują się stosunkowo małą wartością długości i przez to są mało reprezentatywne, do dalszej analizy wybrano odcinek 4–1B oraz całą trasę badawczą.

W trakcie przeprowadzonych badań dokonano pomiarów warunków ruchu/jazdy oraz stężeń składników szkodliwych spalin w trzech przejazdach, określonych odpowiednio: eco-drivingiem, jazdą normalną oraz jazdą agresywną. Definicje poszczególnych sposobów eksploatacji pojazdu przyjęto następująco:

- eco-driving – umiarkowane przyspieszanie, zmiana biegu przy $n = 1600\text{--}2000$ obr/min, jazda w miarę możliwości na 5. biegu,

hamowanie silnikiem – redukcja biegów w trakcie np. dojazdu do sygnalizatora świetlnego,

- jazda normalna – powolne przyspieszanie, zmiana biegu przy $n = 2000\text{--}2400$ obr/min, jazda maksymalnie na 4. biegu, stosowanie jazdy wybiegiem (bieg luzem i jałowy silnika) w trakcie np. dojazdu do sygnalizatora świetlnego,
- jazda agresywna – dynamiczne przyspieszanie, zmiana biegu przy prędkości obrotowej powyżej 2400 obr/min, jazda maksymalnie na 4. biegu, dojazd do sygnalizatora świetlnego – ostre hamowanie ze stosunkowo dużej prędkości w końcowej fazie dojazdu.

1.2. Obiekt badawczy i aparatura pomiarowa

Badania w rzeczywistych warunkach ruchu wykonano przy wykorzystaniu pojazdu – samochodu użytkowego typu LDV (Light Duty Vehicle): samochód dostawczy Citroën Berlingo w wersji osobowej z 4-cylindrowym silnikiem ZS o objętości skokowej 2,0 dm³ (rys. 3). Pozostałe dane techniczne jednostki napędowej zamieszczono w tabeli 2. Obiekt badań wyposażony był w manualną, 5-biegową skrzynię przekładniową. Pojazd ten był ponadto wyposażony w układ oczyszczania spalin typu DOC (Diesel Oxidation Catalyst – utleniający reaktor katalityczny dla silnika ZS). Masa własna wybranego do pomiarów samochodu użytkowego nie przekracza 2610 kg. Należy on zatem do grupy pojazdów podlegających badaniom homologacyjnym na podwoziowym stanowisku dynamometrycznym – hamowni podwozowej – według europejskiego cyklu jezdnego NEDC (New European Driving Cycle).



Rys. 3. Obiekt badawczy (Citroen Berlingo) przygotowany do przeprowadzenia testów drogowych

W celu dokonania pomiarów stężenia substancji szkodliwych w spalinach posłużono się mobilną aparaturą typu PEMS przeznaczoną do określania zawartości gazowych składników spalin (rys. 4). Aparatura ta – Semtech-DS firmy Sensors Inc. – składa się w głównej mierze z zestawu odpowiednich dla danych związków chemicznych analizatorów, z przepływomierza spalin (o różnej średnicy, w zależności od wydatku spalin z układu wylotowego pojazdu), z modułu pozwalającego na rejestrację danych z systemu diagnostyki pokładowej OBD pojazdu (On-Board Diagnostics) oraz z modułu umożliwiającego komunikację z systemem lokalizacji GPS, dzięki czemu można nanieść wyniki pomiarów na trasę przejazdu [7].

Tab. 1. Charakterystyka trasy badawczej

Odcinek	Start	Stop	Dystans [km] (udział w teście)
1A–2	Politechnika Poznańska	Rondo Staroleka	2,5 (24%)
2–3	Rondo Staroleka	Rondo Żegrze	1,0 (10%)
3–4	Rondo Żegrze	Wiadukt	1,9 (17%)
4–1B	Wiadukt	Politechnika Poznańska	5,3 (49%)
Cała trasa 1A–1B	Politechnika Poznańska	Politechnika Poznańska	10,7 (100%)

Tab. 2. Oznaczenia pociągów pasażerskich [5]

Parameter	Citroën Berlingo
Rodzaj zaplonu	zaplon samoczynny
Układ i liczba cylindrów	R4
Objętość skokowa [cm ³]	1997
Rodzaj układu wtryskowego	common rail
Moc maksymalna [kW/KM] przy [obr/min]	66/90 4000
Maksymalny moment obrotowy [N·m] przy [obr/min]	205 1900
Doładowanie	tak/turbodoładowanie
Układ oczyszczania spalin	reaktor utleniający (DOC)
Norma emisji spalin	Euro 3

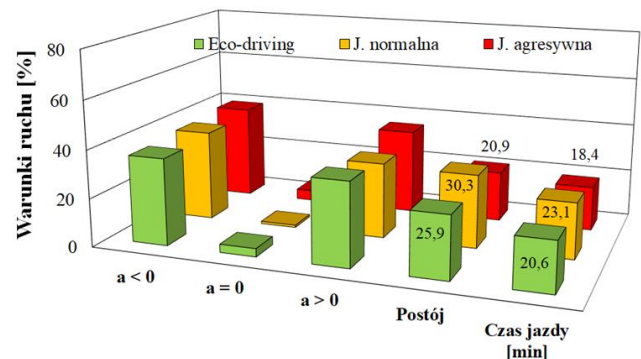


Rys. 4. Aparatura pomiarowa typu PEMS zamontowana w pojeździe badawczym

Jednym z analizatorów wchodzących w skład urządzenia Semtech-DS jest analizator niedispersyjny na podczerwień NDIR (Non-Dispersive Infrared). Ta niedispersyjna metoda pomiaru z wykorzystaniem promieniowania podczerwonego pozwala wyznaczyć, konieczne dla dokonywanej w artykule analizy, stężenie dwutlenku węgla w spalinach (NDIR mierzy również stężenie tlenu węgla). Kolejnymi z analizatorów, będących elementami budowy opisywanej aparatury badawczej, są NDUV (Non-Dispersive Ultraviolet) oraz FID (Flame Ionization Detector). Pierwszy z nich umożliwia pomiar stężenia tlenków azotu, natomiast drugi służy do określenia zawartości węglowodorów w spalinach. Opisywana aparatura – oprócz pomiaru stężenia poszczególnych gazowych substancji szkodliwych – umożliwia także pomiar masowego natężenia przepływu spalin (przeplwomierz). Jest to niezbędne do obliczania emisji tych związków (np. drogowej). Ponadto urządzenie Semtech-DS pozwala wyznaczyć m.in. przebiegowe zużycie paliwa przez badany pojazd, wykorzystując tzw. metodę bilansu węgla (carbon balance).

2. Wpływ eco-drivingu na emisję substancji szkodliwych

W celu określenia warunków jazdy w każdym z trzech analizowanych przejazdów – eco-driving, jazda normalna i agresywna – badanym samochodem dostawczym, między innymi przy wykorzystaniu danych pochodzących z systemu diagnostyki pokładowej OBD pojazdu, dokonano zestawienia kilku podstawowych parametrów ruchu: przyspieszenie pojazdu, jazda ze stałą prędkością, postój. Porównanie warunków jazdy dla całej trasy badawczej przedstawiono na rysunku 5. Z powodu charakteru badań, przeprowadzanych w warunkach ruchu rzeczywistego, wartości parametrów ruchu dla analizowanych przejazdów nieznacznie się różnią. Świadczy o tym zwłaszcza czas przejazdu danego odcinka pomiarowego.

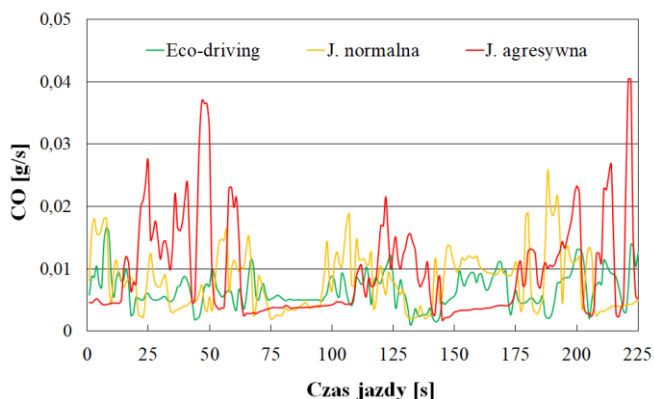


Rys. 5. Udział poszczególnych faz ruchu pojazdu podczas poszczególnych prób badawczych (odcinek 1A–1B)

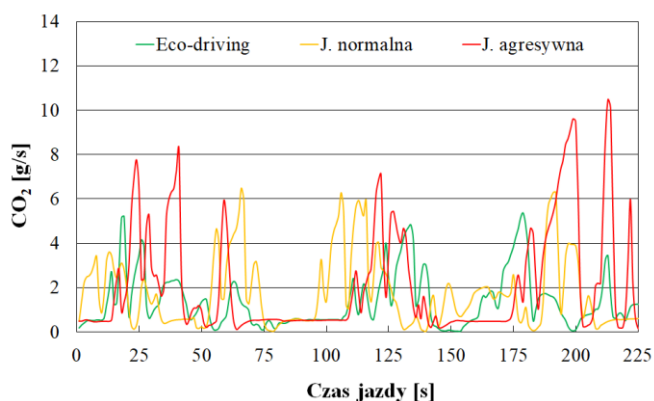
Bazując na zmierzonym stężeniu szkodliwych składników w spalinach obliczono natężenie emisji dla wszystkich czterech odcinków pomiarowych. Przykładowe przebiegi natężenia emisji wybranych związków szkodliwych dla jednego z odcinków pomiarowych przedstawiono na rysunkach 6 i 7. Na podstawie otrzymanej w wyniku obliczeń emisji sekundowej obliczono w dalszej kolejności emisję drogową analizowanych związków gazowych dla każdego odcinka pomiarowego oraz całej trasy badawczej, określaną w g/km (rys. 8-11). Jak można zauważyć przejazdy poszczególnych odcinków pomiarowych w zakresie zmienności stylu jazdy kierowcy cechują się różną specyfiką emisji szkodliwych składników spalin w postaci CO, CO₂, HC i NO_x.

W wyniku przeprowadzonych badań odnotowano dla stylu jazdy określanego mianem eco-drivingu najmniejszą, a dla stylu jazdy agresywnej największą emisję drogową substancji szkodliwych emitowanych z układu wylotowego pojazdu badawczego. Na widoczne większe bądź mniejsze różnice w poziomie emisji składników spalin, określonym dla analizowanych odcinków pomiarowych, mogą w pewnym stopniu mieć wpływ nieco inne warunki panujące na drodze w trakcie wykonywania jazd testowych. Przykładowo jest to większe zjawisko kongestii drogowej, a tym samym większy udział postoju pojazdu.

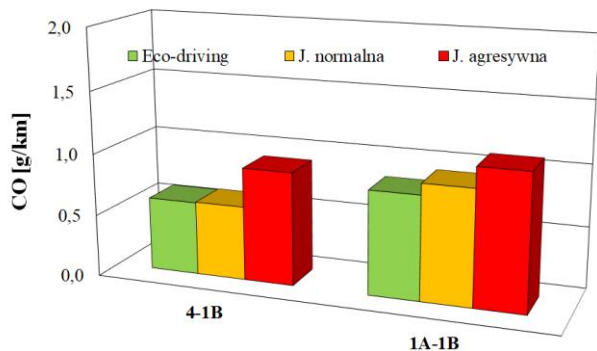
W przypadku emisji drogowej tlenku węgla dla całej trasy badawczej odnotowano w kolejności około: 0,84, 0,93 i 1,1 g/km. Daje to różnice procentowe względem jazdy normalnej na poziomie – 9,9% dla eco-drivingu oraz +17,7% dla jazdy agresywnej. Różnice procentowe w emisji drogowej dwutlenku węgla natomiast wynoszą odpowiednio: –6,9 i +24,6%. W przypadku tlenków azotu należy zwrócić szczególną uwagę na ponad 40-procentowy wzrost ich emisji w wyniku zastosowania przez kierowcę agresywnego stylu jazdy – cała trasa przejazdu.



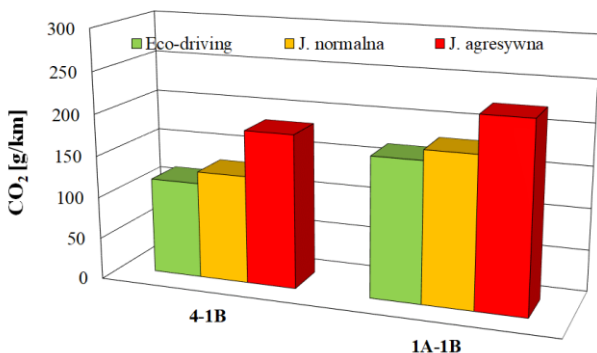
Rys. 6. Natężenie emisji tlenku węgla podczas przejazdu odcinka pomiarowego 4-1B



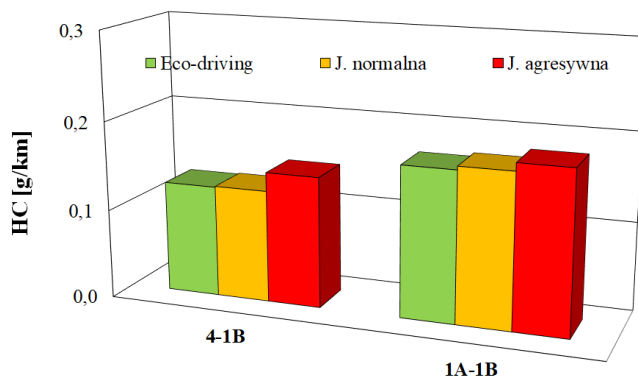
Rys. 7. Natężenie emisji dwutlenku węgla podczas przejazdu odcinka pomiarowego 4-1B



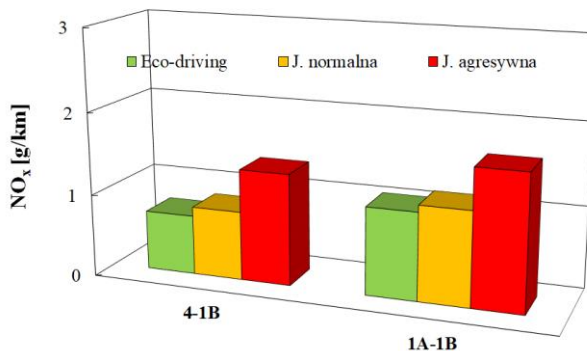
Rys. 8. Emisja drogowa tlenku węgla na analizowanych odcinkach pomiarowych



Rys. 9. Emisja drogowa dwutlenku węgla na analizowanych odcinkach pomiarowych

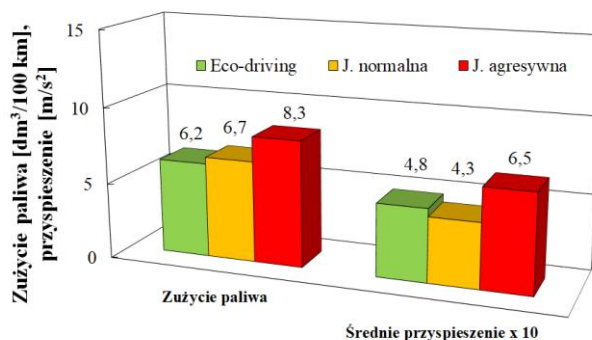


Rys. 10. Emisja drogowa węglowodorów na analizowanych odcinkach pomiarowych



Rys. 11. Emisja drogowa tlenków azotu na analizowanych odcinkach pomiarowych

Oprócz określenia wpływu zastosowanego sposobu jazdy na emisję substancji szkodliwych w spalinach badanego pojazdu użytkowego określono również wpływ tego sposobu na wielkość zużywanego przez pojazd paliwa. Wartość przebiegowego zużycia paliwa dla całej pokonanej trasy, na tle średniego przyspieszenia, zobrazowano na rysunku 12. Różnice względem jazdy normalnej wynoszą około: $-0,44$ i $+1,64$ $\text{dm}^3/100$ km. Daje to zmniejszenie zużycia paliwa o 6,6% (eco-driving) oraz zwiększenie o 24,6% (jazda agresywna).



Rys. 12. Przebiegowe zużycie paliwa oraz średnie przyspieszenie pojazdu podczas prób badawczych

Podsumowanie

Wykonane badania drogowe samochodu dostawczego w rzeczywistych warunkach jego eksploatacji uwidoczniły znaczący wpływ stosowanego przez kierowcę stylu jazdy na emisję gazowych

substancji w spalinach oraz zużycie paliwa. Należy wskazać na znaczny wzrost wartości emisji drogowej tych związków w wyniku zastosowania jazdy agresywnej oraz zauważalny spadek wartości emisji przy zastosowaniu ekologicznego i ekonomicznego stylu jazdy – eco-drivingu. Na drogach dość często można zaobserwować stosowanie przez kierowców dynamicznego, a nawet bardzo agresywnego sposobu poruszania się pojazdem. Mając na uwadze wnioski wyciągnięte z przeprowadzonych badań warto podkreślić, że może to nie tylko wpływać negatywnie na ekonomię eksploatacji pojazdów silnikowych – wielkość zużycia paliwa, ale również – i to w dużym stopniu – na środowisko naturalne i człowieka oraz bezpieczeństwo jazdy. Warto więc racjonalnie podchodzić do kwestii sposobu eksploatacji (stylu jazdy) wszelkich pojazdów. Słuszne zatem wydaje się być istnienie różnego rodzaju szkół doskonalenia techniki jazdy, w tym szkół jazdy ekologicznej i ekonomicznej.

Należy zasygnalizować, iż wykonane badania były jedynie badaniami wstępnymi. W celu pełniejszego określenia wpływu sposobu eksploatacji pojazdów na ich właściwości ekologiczne i energochłonność ruchu należy rozszerzyć prace badawcze o większą liczbę przejazdów oraz wykonać pomiary toksyczności spalin na trasach o innej charakterystyce, w tym w ruchu autostradowym. Kierunkiem dalszych prac będzie również przeprowadzenie badań pojazdów innych kategorii i z różnym rodzajem napędu – wyposażonych w napęd konwencjonalny (jako jednostka napędowa wyłącznie silnik ZI lub ZS) bądź alternatywny (np. hybrydowy, LPG, CNG). Ponadto przewiduje się dokonanie analizy wpływu eco-drivingu na emisję masową, w tym rozkład wymiarowy, cząstek stałych oraz na liczbę tych cząstek (PN – Particulate Number).

Bibliografia

1. Casanova J., Barrios C., Espinosa F.: Capability of on-board emission measurement systems for driver behavior assessment. International Conference on Transport and Environment: A global challenge, Technological and Policy Solutions, Milan, Italy, 19–21 March 2007.
2. Casanova J., Margenat S., Ariztegui J.: Impact of driving style on pollutant emissions and fuel consumption for urban cars. Proceedings of the 1st International Congress of Energy and Environment Engineering and Management, Portalegre, Portugal, 2005.
3. Merkisz J., Pielecha J.: The on-road exhaust emissions characteristics of SUV vehicles fitted with diesel engines. Combustion Engines/Silniki Spalinowe, No. 2/2011 (145), pp. 58–72.
4. Merkisz J., Pielecha J., Radzimirski S.: Emisja zanieczyszczeń motoryzacyjnych w świetle nowych przepisów Unii Europejskiej. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 2012.
5. Regulation (EC) No 510/2011 of the European Parliament and of the Council of 11 May 2011 Setting Emission Performance Standards for New Light Commercial Vehicles as Part of the

Community's Integrated Approach to Reduce CO₂ Emissions from Light-Duty Vehicles. OJ L 145/1.

6. Rubino L., Bonnel P., Carriero M., Krasenbrink A.: Portable emission measurement system (PEMS) for heavy duty diesel vehicle PM measurement: the European PM PEMS program. SAE Technical Paper Series 2009-24-0149.
7. Shahinian V.D.: SENSOR Tech-CT Update Application Software for SEMTECH Mobile Emission Analyzers. Sensors 4th Annual SUN (SEMTECH User Network) Conference, 22.10.2007.
8. Ubysz A.: Poszanowanie energii w pojazdach samochodowych. Część 2: Dynamiczne charakterystyki ogólne ge i ej w pojeździe. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2011.
9. Ubysz A.: Poszanowanie energii w pojazdach samochodowych. Część 3: Optymalizacja zużycia paliwa w samochodzie – akomodacja (a*v). Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2011.
10. Vermeulen R.J.: The effects of a range of measures to reduce the tail pipe emissions and/or the fuel consumption of modern passenger cars on petrol and diesel. TNO report, IS-RPT-033-DTS-2006-01695.
11. Walsh M.: Global trends in motor vehicle pollution control: a 2011 update. Part 2. Combustion Engines/Silniki Spalinowe, No. 3/2011 (146), pp. 53–58.
12. Worldwide Emissions Standards. Passenger Cars and Light Duty Vehicles. Delphi 2012/2013 (www.delphi.com).
13. Worldwide Emissions Standards. Heavy Duty and Off-Highway Vehicles. Delphi 2012/2013 (www.delphi.com).
14. autonews.iogloszenia.com, dostęp z dnia 27.03.2013.

The influence of the driving style according to the principles of eco-driving on the emission of toxic substances from a light utility vehicle

The article presents the results of measurements of exhaust emissions of commercial vehicle in real traffic conditions. The aim of this study was to determine how the driving style affects on the exhaust emissions from vehicle engine. The determinants were the measurements of the concentration of main toxic substances emitted to the atmosphere from the power unit of the tested vehicle. In the measurements a portable exhaust emission analyzer was used (PEMS type).

Keywords: driving style, eco-driving, road tests, exhaust emissions

Autorzy:

dr inż. **Maciej Andrzejewski** – Sieć Badawcza Łukasiewicz – Instytut Pojazdów Szynowych „TABOR”

dr inż. **Mateusz Nowak** – Sieć Badawcza Łukasiewicz – Instytut Pojazdów Szynowych „TABOR”