

Maciej BAJERLEIN
Paweł FUCI
Piotr LIJEWSKI
Łukasz RYMANIAK
Andrzej ZIÓŁKOWSKI
Michał DOBRZYŃSKI

PTNSS–2013–SC–124

Simulation of vehicle work in real conditions at engine test bed

Abstract: The article's main objective is to evaluate the reliability of a procedure for simulating vehicle work in real conditions at a dynamometer by comparing the results of emission tests carried out during vehicle work in real conditions with results of emission tests at a dynamometer. The dynamometer tests were conducted in compliance with a specially designed procedure which simulates a vehicle motion in real conditions. The paper describes the following steps of the procedure, the route simulation process as well as modeling of the vehicle's and driver's work. Two CI engines (1,3 dm³ displacement and 66 kW maximum power) were employed to carry out the tests. Emissions of particular compounds were measured with a portable analyzer SEMTECH DS produced by Sensors Inc. The contrastive analysis of emission test results includes the following toxic compounds: CO, HC, NO_x i CO₂. Moreover, the paper compares fuel consumption estimated with Carbon Balance as well as velocity rates occurring during the tests. Study was done to determine the effectiveness of simulation of vehicle work in real conditions at engine test bed.

Keywords: exhaust emission, dynamometer, road tests, simulation

Odwzorowanie rzeczywistych warunków eksploatacji pojazdu na silnikowym stanowisku hamulcowym

Streszczenie: W artykule przedstawiono porównanie wyników badań emisji przeprowadzonych w rzeczywistych warunkach eksploatacji z pomiarami zrealizowanymi na hamowni silnikowej. Badania na dynamicznym stanowisku hamulcowym przeprowadzono zgodnie z wcześniej przygotowaną procedurą odzwierciedlającą warunki rzeczywistego ruchu pojazdu. W pracy zaprezentowano sposób tworzenia procedury przygotowania symulacji trasy, a także modelowanie właściwości pojazdu oraz pracy kierowcy. Badaniom poddane zostały dwa silniki ZS o pojemności 1,3 dm³ i mocy maksymalnej 66 kW. Pomiary emisji poszczególnych związków zrealizowano za pomocą mobilnego analizatora SEMTECH DS firmy Sensors Inc. Podczas porównywania wyników uwzględniono emisję następujących związków szkodliwych: CO, HC, NO_x i CO₂. Ponadto przedstawiono porównanie zużycia paliwa obliczonego metodą carbon balance, a także przebiegi prędkości zarejestrowane podczas testów. Wykonane badania miały na celu wyznaczenie skuteczności odzwierciedlenia warunków rzeczywistej eksploatacji na dynamicznym stanowisku hamulcowym.

Słowa kluczowe: emisja spalin, hamownia dynamiczna, badania drogowe, symulacja

1. Wprowadzenie

Problematyka badań silników spalinowych jest podejmowana od powstania pierwszej jednostki spalinowej, a więc już od ponad stu lat. Przez dziesięciolecia techniki badawcze były rozwijane przez wprowadzanie nowych technologii. Szczególny rozwój omawianej dziedziny nauki nastąpił w ostatnich latach, dzięki wykorzystaniu nowoczesnych systemów informatycznych.

Producenci silników spalinowych są zobligowani do budowania jednostek charakteryzujących się jak najlepszymi wskaźnikami ekologicznymi, małą masą, trwałością itd. Konieczne jest więc rozwijanie i udoskalanie technik pomiarowych, które pozwolą uzyskiwać jak największą ilość informacji niezbędnych do prowadzenia prac rozwojowych i koncepcyjnych w sposób szybki i tani. Badania silników spalinowych prowadzone są rów-

nież w celach dydaktycznych, kontrolnych i innych [6].

W celu określenia cech użytkowych zarówno samego silnika spalinowego, jak i elementów układu napędowego oraz rozwiązań wpływających na ekologiczność danego pojazdu, coraz większą popularnością cieszą się badania w rzeczywistych warunkach eksploatacji [3, 4]. Jest to nowoczesna koncepcja pomiarów, która wymaga zastosowania wysoce specjalistycznej aparatury spełniającej rygorystyczne wymagania w zakresie dokładności, mobilności (związanej z masą, wymiarami oraz poborem mocy), częstotliwości próbkowania itp. Przewiduje się, że w najbliższym czasie tego rodzaju pomiary będą głównym elementem badań homologacyjnych pojazdów.

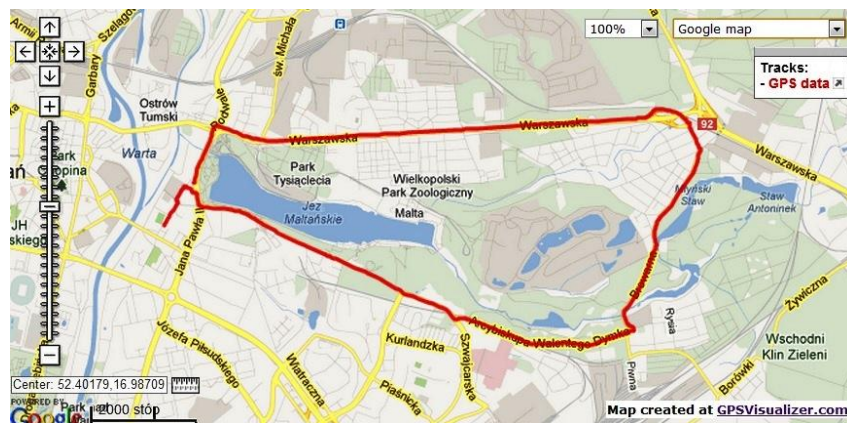
Obecnie w badaniach ekologiczności pojazdów PC i HDV oraz jednostek spalinowych powszech-

nie wykorzystuje się hamownie silnikowe i podwoziowe. Na hamowni silnikowej badana jednostka zaopatrzona jest jedynie w niezbędny do jej działania osprzęt. Pomiar realizowany na takich stanowiskach umożliwia wyznaczenie wskaźników ekologicznych, parametrów znamionowych, trwałości, elastyczności i innych właściwości [6]. W sektorze rynku obejmującym hamowanie silnikowe coraz większą popularnością cieszą się stanowiska pozwalające badać jednostki spalinowe we wszystkich punktach ich pracy (włącznie ze stanami nieustalonymi) oraz tworzyć symulacje odzwierciedlające eksploatację silnika w pojeździe. Takie ujęcie problemu umożliwia wykonywanie badań w szerokim spektrum warunków eksploatacji, które uwzględniają wpływ elementów układu napędowego i konstrukcji pojazdu. Tego typu stanowiska klasyfikowane są jako dynamiczne silnikowe stanowiska hamulcowe.

2. Metodyka badań

Celem przeprowadzonych badań było porównanie wyników pomiarów uzyskanych w rzeczywistych warunkach eksploatacji z wynikami zarejestrowanymi na stacjonarnym stanowisku badawczym wyposażonym w hamulec dynamiczny. Na stanowisku odzwierciedlono trasę wcześniej wykonanego przejazdu. W trakcie badań drogowych rejestrowano znaczną ilość parametrów pracy pojazdu oraz jego rzeczywistą emisyjność. Parametry pracy zostały odzwierciedlane na hamowni silnikowej, a wartości uzyskanej emisji stanowiły kryterium porównawcze.

Drogowe badania emisji pojazdu zrealizowano na trasie miejskiej w aglomeracji poznańskiej (rys. 1). W pewnych fragmentach trasy występowała duża liczba skrzyżowań, dzięki czemu możliwe było odwzorowanie warunków panujących w ścisłym centrum miasta. Ponadto dobrano odcinki, na których pojazd mógł rozpędzić się do większych prędkości, co pozwoliło zasymulować dojazd do granic aglomeracji oraz do głównych arterii komunikacyjnych. Całkowita długość odcinka pomiarowego wyniosła 12,696 km.



Rys. 1. Trasa badawcza wykorzystana podczas badań drogowych (wykonano na podstawie GPSVisualizer.com)

Objektem badawczym w rzeczywistych warunkach eksploatacji był samochód osobowy, spełniający normę EURO 4 wyposażony w silnik ZS o pojemności 1,25 dm³. Typ nadwozia pojazdu jest klasyfikowany jako Minivan. Szczegółowe dane techniczne badanego obiektu przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Dane techniczne pojazdu badanego w rzeczywistych warunkach ruchu

Liczba drzwi	ZS	
Pojemność skokowa	1,248 dm ³	
Liczba cylindrów	4	
Moc	66 kW przy 4000 obr/min	
Moment obrotowy	200 Nm przy 1750 obr/min	
Skrzynie biegów	manualna	
Przełożenia skrzyni biegów	bieg I	3,91:1
	bieg II	2,24:1
	bieg III	1,44:1
	bieg IV	1,03:1
	bieg V	0,77:1
Prędkość maksymalna	173 km/h	
Długość	3930 mm	
Szerokość	1698 mm	
Wysokość	1660 mm	
Współczynnik oporu powietrza	0,31	
Masa własna	1275 kg	
Rozmiar kół przód/tył	195/60 R15	

Zrealizowany przejazd odzwierciedlono na stanowisku badawczym wyposażonym w hamulec dynamiczny firmy AVL GmbH. Hamownia wyposażona jest w infrastrukturę pozwalającą na realizację pomiarów zarówno w warunkach ustalonych, jak i nieustalonych pracy silnika spalinowego [2]. Zaimplementowane w jej oprogramowaniu algorytmy i modele matematyczne umożliwiają odwzorowanie eksploatacji jednostki spalinowej w rzeczywistym pojeździe. Możliwe jest także tworzenie różnego rodzaju programów i testów badawczych, w tym także odzwierciedlających badania realizowane na hamowniach podwoziowych. Hamownia w pełnej komplekacji pozwala na rejestrację znacznej liczby parametrów związanych z pracą silnika, jego osprzętu, a także zamodelowanego pojazdu. Sposób akwizycji danych, zakres oraz częstotliwość próbkowania definiowana jest przez

operatora. Stanowisko może być uzupełniane o dodatkowe osprzęt m.in. czujniki, regulatory i inne urządzenia pomiarowe, przede wszystkim analizatory spalin.

Zasada działania stanowiska wyposażonego w hamulec dynamiczny została przedstawiona na rys. 2. Największy wpływ na parametry pracy jednostki spalinowej zamontowanej w pojeździe ma kierowca. Jednak podczas wykonywania symulacji należy także uwzględnić inne czynniki oddziałujące na jednostkę spalinową, wśród których należy wyróżnić: skrzynie przekładniową, wał napędowy, układ przeniesienia napędu, masy i wymiary pojazdu związane ze współczynnikiem oporów powietrza, średnica kół, charakterystyki pracy sprzęgła oraz układu zasilania. Opisywane stanowisko badawcze umożliwia odzwierciedlenie wymienionych parametrów z dużą dokładnością. Podczas modelowania poszczególnych elementów uwzględnia się również ich bezwładność.



Rys. 2. Schemat ideowy działania hamowni dynamicznej [2]

Trójfazowa, asynchroniczna maszyna elektryczna o konstrukcji klatkowej stanowi najważniejszy element całego stanowiska (tab. 2). Odbiera ona moc maksymalną o wartości 120 kW. Podczas pracy silnik spalinowy generuje pracę mechaniczną zamienianą w hamulcu na energię elektryczną, która po przekształceniu napięciowo-częstotliwościowym przekazywana jest do sieci zewnętrznej.

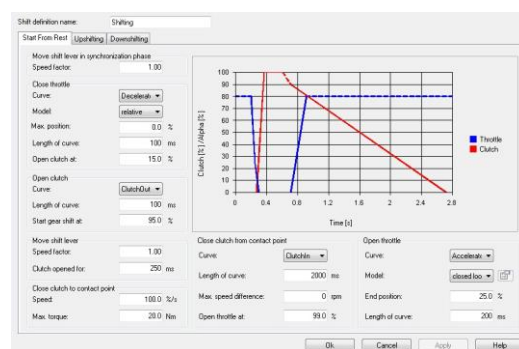
Tabela 2. Dane techniczne hamulca dynamicznego [2]

Napięcie	3 x 500 V
Częstotliwość	267 Hz
Prąd maksymalny	159 A
Moc	120 kW
Liczba biegunów	4
Moment maksymalny	509 N·m
Zakres prędkości obrotowych	0÷8000 obr/min
Pobór mocy	6400 W
Sprawność	94,6 %

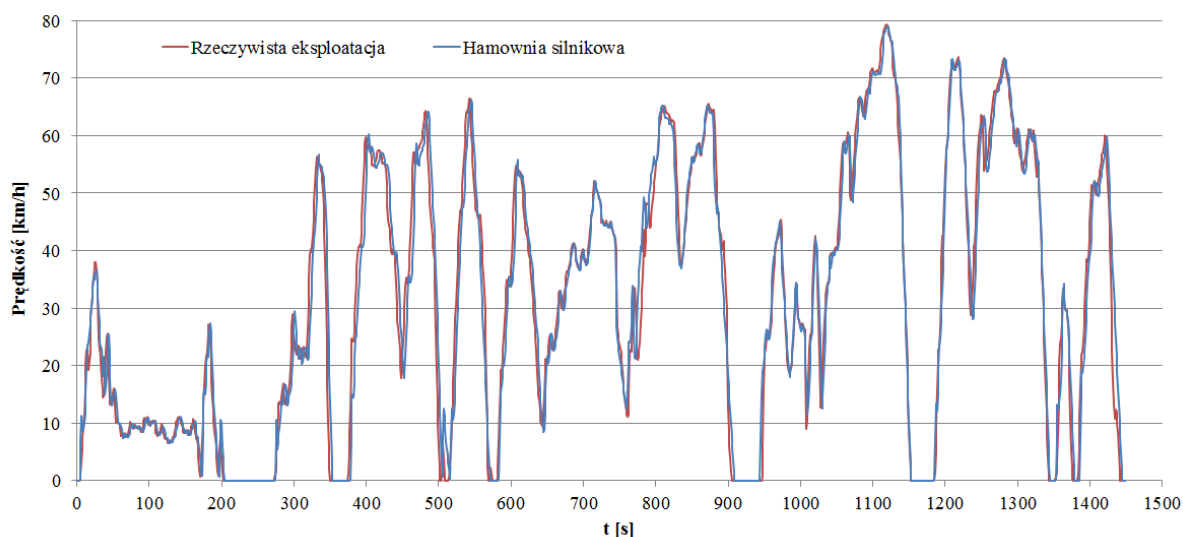
Zainstalowany interfejs software na stanowisku wykorzystywany jest do tworzenia symulacji pojazdów oraz kreowania programów badawczych obejmujących testy silnikowe np. ESC, podwozowe np. NEDC, a przede wszystkim indywidualne – dostosowane do postawionego problemu lub odzwierciedlające rzeczywistą eksploatację pojazdu. Podczas budowania programu badawczego można dowolnie dobierać wartości szerokiego spektrum parametrów, uwzględniając przy tym zagrożenia związane z uszkodzeniem hamulca lub silnika. Z tego powodu do systemu wprowadza się dane dotyczące wartości granicznych, które nie mogą zostać przekroczone podczas badań, np. ciśnienie oleju, prędkość obrotowa wału korbowego, moment itd. Programy przeznaczone do rejestracji i przetwarzania wyników wyposażone są w wiele użytecznych funkcji, które umożliwiają generowanie prawie natychmiastowo żądane wykresy i analizy.

Dla określenia właściwości fizycznych symulowanego pojazdu, z uwzględnieniem elementów układu napędowego i konstrukcji pojazdu, wykorzystano program ISAC 400. W programie zaprojektowano także symulację pracy kierowcy podczas zmiany biegów (rys. 3). Podczas uzupełniania danych korzystano z materiałów udostępnionych przez producenta pojazdu oraz z badań własnych.

Podczas tworzenia testu można korzystać z wielu funkcji matematycznych, które opisują pracę silnika spalinowego bądź całego pojazdu. Dla odzwierciedlanego przejazdu wykorzystano funkcję zmiany prędkości pojazdu w czasie $f = V(t)$ oraz zmiany kąta nachylenia drogi w czasie $f = \alpha(t)$. Dane wykorzystane do budowy testu pozyskano z układu GPS, który rejestrował bieżące położenie pojazdu w czasie przejazdu drogowego. Na rys. 4 przedstawiono zarejestrowany przebieg prędkości badanego pojazdu oraz prędkość uzyskaną podczas badań na hamowni silnikowej. Czas trwania obu testów wyniósł 1 448 s. W przypadku badań drogowych uzyskano średnią prędkość



Rys. 3. Symulacja pracy sprzęgła oraz pedału przyspieszenia



Rys. 4. Przebiegi prędkości pojazdu w czasie rzeczywistej eksploatacji oraz podczas badań na hamowni silnikowej

31,46 km/h (maksymalna prędkość wyniosła 79,32 km/h), natomiast na stanowisku wyniosła ona 31,42 km/h (maksymalna prędkość wyniosła 78,94 km/h). Na hamowni dokładnie zaprogramowano prędkości symulowanego pojazdu, jednak w wyniku szybkości przesterowania jednostki (szczególnie przy dużych zmianach prędkości) wystąpiły pewne rozbieżności. Różnica całkowita w zrealizowanych badaniach wyniosła 1,3 %.

Badania emisji zrealizowano przy wykorzystaniu mobilnego przyrządu SEMTECH DS (tab. 3) należącego do grupy PEMS, który współpracuje z sondą masowego natężenia przepływu gazów wylotowych. Przyrząd wyposażony jest w szereg analizatorów, które pozwalają na określenie stężeń następujących związków szkodliwych: HC (analizator FID), NO i NO₂ (analizator NDUV), CO i CO₂ (analizator NDIR). Ponadto możliwe jest określenie zawartości tlenu w spalinach za pomocą czujnika elektrochemicznego. Urządzenie wyposażone jest w oprogramowanie oraz złącze umożliwiające odczyt i rejestrację danych z pokładowego systemu diagnostycznego pojazdu, a także współpracuje z

systemem GPS. Dzięki temu można określić dokładne położenie i prędkość pojazdu w czasie testu drogowego [1, 3–5]. Stanowisko wyposażone w hamulec dynamiczny wraz z aparaturą pomiarową podczas badań zostało przedstawione na rys. 5.



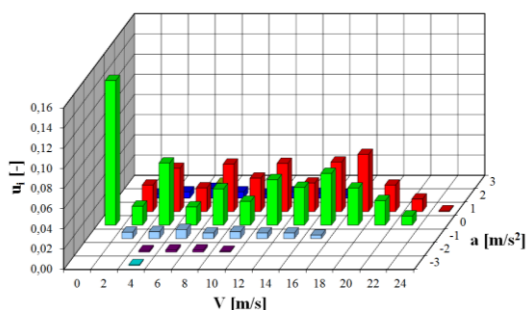
Rys. 5. Widok stanowiska badawczego podczas odzwierciedlania rzeczywistego przejazdu

Tabela 3. Charakterystyka mobilnego przyrządu SEMTECH DS [5]

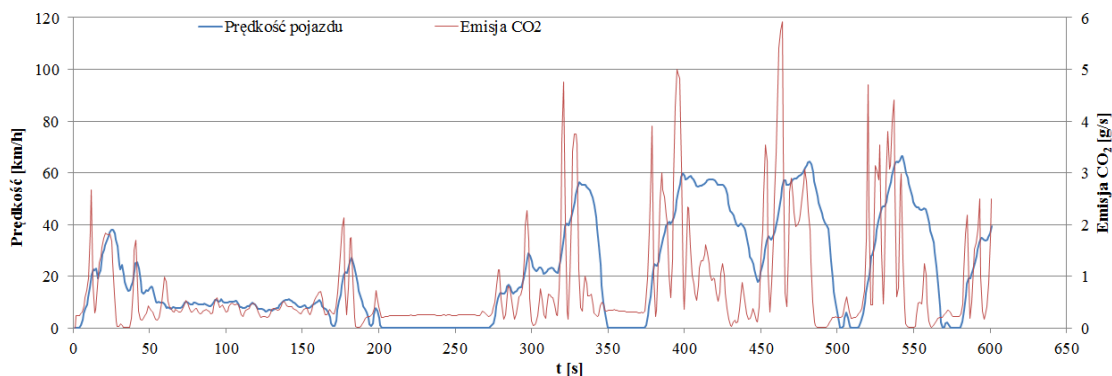
Parametr	Metoda pomiaru	Dokładność
Stężenie związków:		
HC	NDIR – niedyspersyjna, zakres 0-10%	±3%
CO	FID – płomieniowo-jonizacyjna, zakres 0-10 000 ppm	±2,5%
NO _x = (NO + NO ₂)	NDUV – niedyspersyjna, zakres 0-3000 ppm	±3%
CO ₂	NDIR – niedyspersyjna (podczerwień), zakres 0-20 %	±3%
O ₂	elektrochemiczna, zakres 0-20 %	±1%
Próbkowanie	1-4 Hz	
Przepływ spalin	masowe natężenie przepływu T _{max} do 700°C	±2,5% ±1% zak.
Czas nagrzewania	900 s	
Obsługiwane systemy diagnostyczne	SAE J1850/SAE J1979 (LDV); SAE J1708/SAE J1587 (HDV); CAN SAE J1939/J2284 (HDV)	

3. Analiza wyników badań

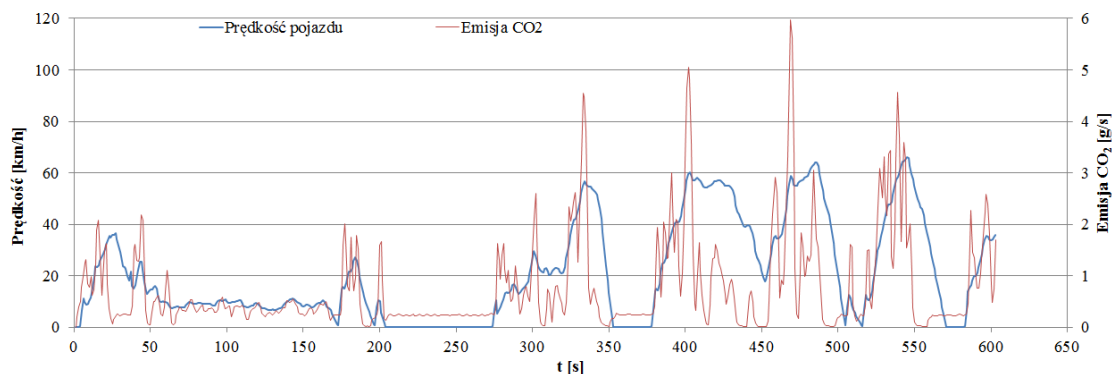
Na podstawie zarejestrowanych danych wyznaczono udział czasu pracy pojazdu w określonych warunkach eksploatacji. Charakterystyka została wykonana dla całego zakresu prędkości i przyspieszeń uzyskanych w badaniach drogowych (rys. 6). Największy udział pracy jednostki spalinowej 14 % przypada dla biegu jałowego, kiedy pojazd był zatrzymany. Jak wynika z przedstawionej charakterystyki, badany obiekt najczęściej poruszał się w zakresie prędkości 4–22 m/s w obszarze przyspieszeń -1 – 1 m/s². Udział czasu pracy dla tego przedziału wyniósł 73 %. Wyznaczone udziały pracy odnoszą się także do testu wykonanego na stanowisku wyposażonym w hamulec dynamiczny ze względu na bardzo podobny przebieg prędkości (rys. 4).



Rys. 6. Udział czasu pracy w przedziałach prędkości i przyspieszenia podczas rzeczywistej eksploatacji pojazdu



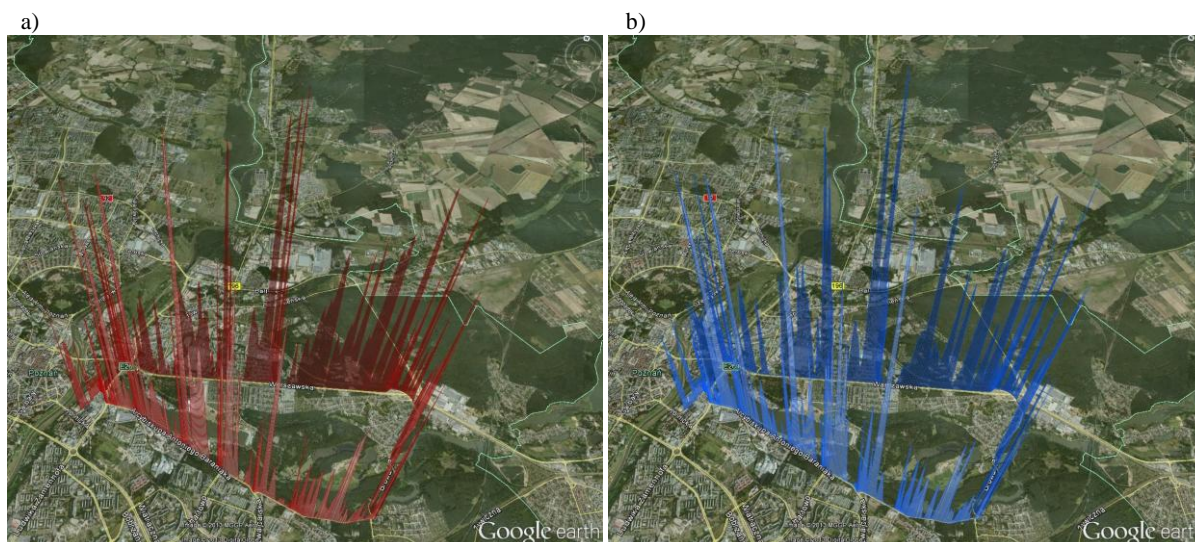
Rys. 7. Przebiegi prędkości pojazdu oraz emisji sekundowej CO₂ w czasie rzeczywistej eksploatacji – pierwsze 600 s testu



Rys. 8. Przebiegi odwziewciedlonej prędkości pojazdu oraz emisji sekundowej CO₂ w czasie badań na hamowni silnikowej – pierwsze 600 s testu

Na rys. 7 i 8 przedstawiono przebiegi emisji sekundowej CO₂ oraz zarejestrowanych prędkości pojazdu rzeczywistego i symulowanego. Charakterystyki wykonano dla pierwszych 600 s w celu pokazania zależności emisji od warunku pracy pojazdu. Uwzględnienie całych testów wpłynęłoby niekorzystnie na czytelność wykresów. Przedstawione dane jednoznacznie wskazują, iż w chwili przyspieszania pojazdu zwiększa się emisja sekundowa CO₂, która jest ściśle związana ze zużyciem paliwa. Podczas postoju pojazdu oraz w czasie jazdy ze stałą prędkością silnik spalinowy pracuje w ustalonych warunkach. Jeżeli jednostka pracuje w ustalonym punkcie to wtryskiwane dawki paliwa w kolejnych cyklach są bardzo zbliżone (współczynnik nadmiaru powietrza utrzymuje stałą wartość). W związku z tym emisja CO₂ w przybliżeniu utrzymuje się na stałym poziomie. Podczas zwalniania pojazdu emisja badanego składnika szkodliwego spalin zmniejszała się do 0. Spowodowane było to procesem tzw. hamowania silnikiem. Podczas hamowania włączany był bieg zależny od prędkości pojazdu, a kąt położenia pedału przyspieszenia wynosił 0. W rzeczywistej eksploatacji często stosuje się tego typu proces, jednak wykonanie symulacji tego zjawiska na tradycyjnej hamowni silnikowej jest niemożliwe. Stanowisko wyposażone w hamulec dynamiczny pozwala na takie sterowanie pracą silnika spalinowego.

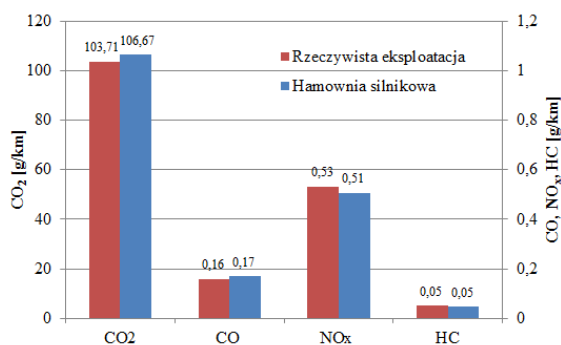
W celu oceny skuteczności odzwierciedlania badań zrealizowanych w warunkach drogowych



Rys. 9. Emisja sekundowa CO₂: a) przejazd rzeczywisty b) przejazd odzwierciedlony na hamowni silnikowej (wykonano na podstawie GPSVisualizer.com oraz Google Earth)

naniesiono przebieg emisji sekundowej CO₂ na mapę z zaznaczoną trasą przejazdu, dzięki czemu uzyskano obraz trójwymiarowy emisyjności pojazdu (rys. 9). Przedstawione charakterystyki są bardzo zbliżone do siebie, co świadczy o prawidłowo wykonanej symulacji trasy. Największa emisja wystąpiła w okolicy skrzyżowań, podczas ruszania i gwałtownego przyspieszania.

Wyniki obliczonej emisji drogowej w poszczególnych testach przedstawiono na rysunku 10. Emisja CO₂ podczas realizacji badań na hamowni silnikowej była większa o 2,8 %, natomiast CO o 6,9 %. W przypadku NO_x emisja zmniejszyła się o 4,9 % i HC o 5,4 %. Badania w warunkach drogowych oraz na hamowni silnikowej rozpoczęto po wcześniejszym rozgrzaniu silnika – temperatura cieczy chłodzącej ≥ 80°C. W związku z tym pozasilnikowe układy oczyszczania spalin posiadały odpowiednią temperaturę pracy, która zapewniała utlenianie CO oraz HC. Ponadto rozpoczęcie pomiarów przy ustalonych stanach cieplnych jednostek spalinowych korzystnie wpłynęło na możliwość porównania otrzymanych wyników. Kierowca w czasie realizacji badań drogowych unikał gwałtownych przyspieszeń, a także dużych prędkości obrotowych wału



Rys. 10. Porównanie emisji drogowej CO₂, CO, NO_x i HC

korbowego. Miało to znaczący wpływ na małą emisję CO₂.

Na podstawie emisji drogowej obliczono zużycie paliwa metodą carbon balance, która wykorzystuje wzór:

$$FC_w = \frac{1155}{\rho_{fuel}} \cdot [(0,866 \cdot HC) + (0,429 \cdot CO) + (0,273 \cdot CO_2)]$$

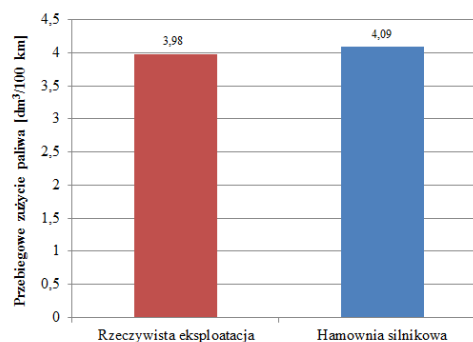
gdzie:

FC – zużycie paliwa [dm³/100 km];

HC, CO, CO₂ – emisja składników szkodliwych [g/km];

ρ_{fuel} – gęstość paliwa w temperaturze 15°C [g/cm³].

Jak wynika z obliczeń większe zużycie paliwa wystąpiło w przypadku badań na stanowisku badawczym wyposażonym w hamulec dynamiczny (rys. 11). Różnica pomiędzy testami wyniosła 2,8 % i była taka sama jak w przypadku emisji CO₂. Emisja CO₂ ma znaczący wpływ na zużycie paliwa, ponieważ spośród wszystkich składników gazów wylotowych uwzględnianych w bilansie węgla największe wartości osiąga właśnie ten związek. Małe wartości zużycia paliwa są związane ze stylem jazdy kierowcy, tak jak uzasadniono to w przypadku emisji CO₂.



Rys. 11. Porównanie przebiegowego zużycia paliwa

4. Podsumowanie

W niniejszej pracy przedstawiono porównanie testu zrealizowanego w rzeczywistych warunkach eksploatacji z badaniami wykonanymi na stanowisku badawczym wyposażonym w hamulec dynamiczny. Na podstawie otrzymanych wartości emisji oraz zarejestrowanych przebiegów prędkości można stwierdzić, że w znaczącym stopniu udało się odzwierciedlić badania drogowe na hamowni silnikowej. W pomiarach wykorzystano tą samą aparaturę, a cykle badawcze rozpoczęto od ustalenia stanów cieplnych badanych silników. Wpłynęło to korzystnie na analizę porównawczą wyników, ponieważ wykluczone zostały ewentualne błędy związane z zastosowanymi urządzeniami pomiarowymi, a także uzyskano takie same warunki początkowe.

Na podstawie uzyskanych przebiegów prędkości oraz emisji naniesionej na rzeczywistą trasę przejazdu można stwierdzić, że na stanowisku badawczym prawidłowo zamodelowano przebieg testu, w którym zdefiniowano prędkość pojazdu,

profil drogi, pracę kierowcy, sposób zmiany biegów oraz cechy fizyczne pojazdu i elementów układu napędowego. Na niewielkie różnice w uzyskanych wartościach emisji mógł mieć wpływ stan techniczny badanych jednostek spalinowych, które charakteryzowały się różnymi przebiegami. Wpływ na uzyskane wyniki mogły mieć także ewentualne uproszczenia zastosowane w modelach matematycznych zaimplementowanych w oprogramowaniu stanowiska badawczego.

Na podstawie przeprowadzonych badań sformułowano wniosek, iż możliwe jest odzwierciedlenie rzeczywistej eksploatacji pojazdu na stanowisku wyposażonym w hamulec dynamiczny. Pozwala to uprościć badania nie tylko samych silników spalinowych, ale także elementów układu napędowego i cech fizycznych pojazdu, które mogą być w dowolny sposób modelowane. Ponadto wykorzystanie stanowisk z hamulcami dynamicznymi może znacząco zmniejszyć koszty badań, a także skrócić czas realizacji pomiarów.

Nomenclature/Skróty i oznaczenia

a	acceleration/ <i>przyspieszenie</i>	NDUV	Non-Dispersive Ultraviolet/ <i>analizator niedispersyjny wykorzystujący promieniowanie ultrafioletowe</i>
HDV	Heavy Duty Vehicles/ <i>ciężki pojazd samochodowy</i>	PC	Passenger Car/ <i>samochód osobowy</i>
FID	Flame Ionization Detector/ <i>analizator płomieniowo-jonizacyjny</i>	PEMS	Portable Emissions Measurement Systems/ <i>mobilna aparatura do pomiaru emisji</i>
NDIR	Non-Dispersive Infrared/ <i>analizator niedispersyjny wykorzystujący promieniowanie podczerwone</i>	V	Velocity/ <i>prędkość</i>

Bibliography/Literatura

- [1] Khair M., Khalek I., Guy J.: Portable Emissions Measurement for Retrofit Applications – The Beijing Bus Retrofit Experience, SAE Technical Paper Series 2008-01-1825.
- [2] Materiały informacyjne i szkoleniowe firmy AVL dotyczące obsługi i wyposażenia stanowiska badawczego wyposażonego w hamulec dynamiczny.
- [3] Merkisz J.: Badania emisji pojazdów w rzeczywistych warunkach ruchu; a 2011 update. Combustion Engines / Silniki Spalinowe nr 3/2011 (146), p. 3-15, (2011).
- [4] Merkisz J., Fuc P.: The Exhaust Emission from Light Duty Vehicles in Road Test in Urban Traffic. SAE Technical Paper Series 2010-01-1558, (2010).
- [5] Sensors Inc., Emissions measurement solutions. SEMTECH®-DS On Board In – Use Emissions Analyzer, Erkrath 2010.
- [6] Serdecki W. red.: Badania silników spalinowych: laboratorium. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 2001.

Mr Maciej Bajerlein, DEng. – doctor in the Faculty of Machines and Transport at Poznan University of Technology.

Dr inż. Maciej Bajerlein – adiunkt na Wydziale Maszyn Roboczych i Transportu Politechniki Poznańskiej.



Mr Pawel Fuc, DEng. – doctor in the Faculty of Machines and Transport at Poznan University of Technology.

Dr inż. Paweł Fuć – adiunkt na Wydziale Maszyn Roboczych i Transportu Politechniki Poznańskiej.



Mr Piotr Lijewski, DEng. – doctor in the Faculty of Machines and Transport at Poznan University of Technology.

Dr inż. Piotr Lijewski – adiunkt na Wydziale Maszyn Roboczych i Transportu Politechniki Poznańskiej.

Mr Andrzej Ziolkowski, MSc, Eng. – PhD student in the Faculty of Machines and Transport at Poznan University of Technology.

Mgr inż. Andrzej Ziolkowski – doktorant na Wydziale Maszyn Roboczych i Transportu Politechniki Poznańskiej.



Mr Lukasz Rymaniak, MSc, Eng. – PhD student in the Faculty of Machines and Transport at Poznan University of Technology.

Mgr inż. Lukasz Rymaniak – doktorant na Wydziale Maszyn Roboczych i Transportu Politechniki Poznańskiej.

Mr Michał Dobrzynski, MSc, Eng. – PhD student in the Faculty of Machines and Transport at Poznan University of Technology.

Mgr inż. Michał Dobrzynski – doktorant na Wydziale Maszyn Roboczych i Transportu Politechniki Poznańskiej.

