

Paweł FUĆ  
Jerzy MERKISZ  
Piotr LIJEWSKI  
Maciej BAJERLEIN  
Andrzej ZIÓLKOWSKI  
Łukasz RYMANIAK  
Michał DOBRZYŃSKI

PTNSS–2013–SC–123

## Exhaust emission in NEDC test simulated at a dynamic engine test bed

*Abstract: The paper presents results of exhaust emission tests carried out in compliance with NEDC (New European Driving Cycle) and simulated at a test bed with AVL DynoRoad 120 dynamometer in the Institute of Combustion Engines and Transportation (Poznan University of Technology). The NEDC homologation test was simulated with the use of ISAC 400 (Inertia Simulation And Control) software. The simulation was based on the velocity in the function of time and on parameters of a car with 1.3 SDE (Small Diesel Engine) – the same engine as at the testbed. For the test a portable exhaust emission analyzers SEMTECH DS i AVL Micro Soot Sensor were used.*

Keywords: *dynamic engine test bed, NEDC test, exhaust emission*

### Badania emisji spalin w teście NEDC wykonane na dynamicznym silnikowym stanowisku hamulcowym

*Streszczenie: W artykule przedstawiono badania emisji gazów wylotowych w teście NEDC (New European Driving Cycle) odwzorowanym na silnikowym stanowisku hamulcowym wyposażonym w hamownię dynamiczną AVL DynoRoad 120 będącym w posiadaniu Instytutu Silników Spalinowych i Transportu Politechniki Poznańskiej. Test homologacyjny NEDC odwzorowano na stanowisku przy pomocy oprogramowania symulacyjnego ISAC 400 (Inertia Simulation And Control). W tym programie wyznaczono przebieg testu jako funkcję prędkości od czasu oraz wprowadzono parametry pojazdu samochodowego, w którym stosowany jest silnik spalinowy 1,3 SDE (Small Diesel Engine) – taki, jaki zainstalowano na stanowisku badawczym. Do pomiarów emisji szkodliwych i toksycznych składników gazów wylotowych wykorzystano mobilne analizatory: SEMTECH DS i AVL Micro Soot Sensor.*

Słowa kluczowe: *hamownia dynamiczna, test NEDC, emisja gazów wylotowych*

### 1. Wprowadzenie

Obowiązuje procedury homologacyjne dotyczące emisji gazów wylotowych – norma Euro 5 – dla pojazdów osobowych zaliczanych do grup M1-2 i N1-2 zakładają przeprowadzenie pomiarów w teście NEDC (*New European Driving Cycle*), który wykonywany jest na specjalnej rolkowej hamowni podwoziowej [1, 3]. Główną ideą wykonywania tego testu na hamowni podwoziowej jest zapewnienie powtarzalnych warunków pomiaru. Powszechnie wiadomo, że najtrudniej uzyskać powtarzalność zachowań kierującego pojazdem podczas wykonywania badań. Obecnie prowadzone są zaawansowane prace naukowo-badawcze mające na celu adaptację silnikowych hamulcowych stanowisk badawczych do przeprowadzania testu NEDC [2, 6–7]. Tę adaptację przeprowadza się przez zmianę budowy zespołu napędowego hamulca – zastąpienie hamulca elektrowirowego asynchronicznym silnikiem prądu zmiennego o małej bezwładności – oraz zaimplementowaniem specjal-

nego oprogramowania umożliwiającego symulację parametrów pracy pojazdu (układ przeniesienia napędu), także zachowania kierującego. Obok wymienionych wyżej prac najtrudniejsza jest również implementacja oprogramowania symulującego rzeczywiste warunki eksploatacji pojazdu. Odzworowanie tych warunków rozumiane jest jako transponowanie rzeczywistych cykli jezdnych pojazdu – zapis ruchu pojazdu jako funkcja  $f = V(t)$ ,  $f = M_o(t)$ ,  $f = n(t)$  etc. – do algorytmu sterowania silnikowym stanowiskiem hamulcowym.

Obecnie producenci oferują silnikowe stanowiska badawcze, w których stosowane są asynchroniczne silniki prądu zmiennego. Jednak na tych stanowiskach możliwe jest jedynie przeprowadzanie pomiarów w stanach statycznych i niustalonych, ponieważ nie posiadają one wspomnianego wcześniej programu symulacyjnego. W tych stanach wykonuje się wyłącznie podstawowe testy homologacyjne, m.in. ESC i ETC. Producenci stanowisk, w przypadku gdy implementują programy

symulacyjne, zdefiniowali dynamiczne stany pracy silnika spalinowego jako stany, w których sterowanie odbywa się przy wykorzystaniu funkcji prędkości pojazdu oraz stopnia położenia pedału przyspieszenia pojazdu. W tych stanach również w algorytmie sterowania zaimplementowane są charakterystyki sprzęgła i skrzyni biegów. W przypadku skrzyni biegów definiuje się maksymalną liczbę biegów i poszczególne przełożenia. Możliwy jest również wybór trybu pracy skrzyni biegów – ręczny lub automatyczny.

## 2. Stanowisko wykorzystane do badań

Hamownia dynamiczna przeznaczona do badań silników spalinowych firmy AVL GmbH jest zaawansowanym stanowiskiem badawczym, wykorzystującym najnowocześniejsze osiągnięcia techniki (rys. 1). Stanowisko wyposażone jest w pełną infrastrukturę niezbędną do prowadzenia badań stacjonarnych w warunkach ustalonych, nieustalonych oraz dynamicznych pracy silnika spalinowego. Pozwala na odwzorowanie warunków eksploatacji silnika w pojeździe oraz tworzenie różnego rodzaju programów i testów badawczych. Stanowisko umożliwia rejestrację znacznej liczby parametrów pracy silnika, których sposób definiowany jest przez operatora. Ponadto hamownia może być uzupełniana o dodatkowe czujniki, regulatory, a także urządzenia pomiarowe np. analizatory spalin, indykatory itp.



Rys. 1. Widok dynamicznego silnikowego stanowiska hamulcowego AVL DynoRoad 120 kW

Budowa prezentowanego stanowiska do badań silników spalinowych jest złożona. W jej strukturze występuje wiele elementów, systemów i układów. Hamulec jest najważniejszym elementem całego stanowiska. Główną jego część stanowi trójfazowa, asynchroniczna maszyna elektryczna o konstrukcji klatkowej, która może odebrać moc maksymalną 120 kW. Praca mechaniczna generowana przez silnik spalinowy zamieniana jest w maszynie na energię elektryczną, która po przekształceniu napięciowo-częstotliwościowym trafia do sieci ze-

wewnętrznej. Najważniejsze dane techniczne hamulca przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Dane techniczne hamulca dynamicznego [10]

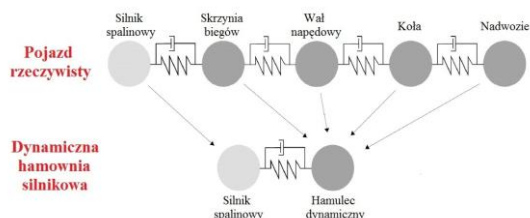
Parametr	Wartość
Napięcie	3 x 500 V
Częstotliwość	267 Hz
Prąd maksymalny	159 A
Moc	120 kW
Liczba biegunów	4
Moment maksymalny	509 N·m
Zakres prędkości obrotowych	0÷8000 obr/min
Pobór mocy	6400 W
Sprawność	94,6 %

Wszystkie komponenty stanowiska zaliczane jako *hardware* i *software* zebrane są w systemie nazwanym PUMA (*Test Bed and Measurement Automatic*). Zaimplementowane oprogramowanie pozwala opracowywać różnego rodzaju testy i symulacje, a także odzwierciedlać warunki eksploatacji jednostki spalinowej w rzeczywistym pojeździe. Ponadto możliwe jest szybkie przetwarzanie otrzymanych wyników badań. Rozbudowane modele matematyczne umożliwiają wprowadzanie parametrów opisujących wszystkie elementy układu napędowego, a także wpływu kształtów, wymiarów i mas pojazdu na pracę silnika spalinowego.

Specjalny interfejs *software* ISAC 400 pozwala tworzyć programy badawcze obejmujące testy typowo silnikowe np. ETC, podwoziowe np. NEDC, a przede wszystkim indywidualne – dostosowane do postawionego problemu badawczego lub odzwierciedlające rzeczywistą eksploatację pojazdu. Użytkownik ma prawo dowolnie dobrać i zadawać wartości szerokiej gamie parametrów, jednak pod warunkiem, że nie spowoduje to zagrożenia uszkodzenia hamulca lub silnika. W tym celu do systemu wprowadzone są wartości graniczne pewnych parametrów, które nie mogą zostać przekroczone np. prędkość obrotowa wału korbowego i obciążenie silnika. Programy służące do rejestracji i obróbki wyników wyposażone są w bardzo wiele użytecznych funkcji pozwalających generować prawie natychmiastowo żądane wykresy, porównania itp.

Zasada działania hamowni dynamicznej została zaprezentowana na rys. 2. W pojeździe na pracę jednostki spalinowej wpływają takie czynniki jak: skrzynia przekładniowa, sprzęgło, wał napędowy, most, masy i kształt pojazdu związany z oporami ruchu, średnica kół itd. Jednak najważniejsze znaczenie mają warunki zadane przez kierowcę. Dynamiczne stanowisko hamulcowe pozwala na odzwierciedlenie tych wszystkich parametrów z jak największą dokładnością. W procesie modelowania

uwzględnia się także bezwładności mas poszczególnych elementów. W ten sposób upraszcza się badania nie tylko samych silników spalinowych, ale także elementów układu napędowego, które mogą być w dowolny sposób modelowane i optymalizowane. Dodatkową korzyścią stosowania hamowni dynamicznej jest zmniejszenie kosztów badań, a także skrócenie czasu realizacji pomiarów.



Rys. 2. Schemat ideowy działania hamowni dynamicznej [10]

Na stanowisku badawczym zainstalowano jednostkę napędową 1,3 SDE. Jest to silnik o zapłonie samoczynnym, mocy maksymalnej 66 kW generującej maksymalny moment obrotowy 200 N·m oraz spełniający normę emisji Euro 4 (tab. 2).

Tabela 2. Charakterystyka jednostki napędowej 1,3 SDE

Typ silnika	ZS
Liczba cylindrów/zaworów na cylinder	4/4
Rodzaj zasilania	common rail
Objętość skokowa	1 248 cm <sup>3</sup>
Moc maksymalna	66 kW (90 KM) przy 4000 obr/min
Maksymalny moment obrotowy	200 N·m przy 1750 obr/min
Norma emisji	Euro 4

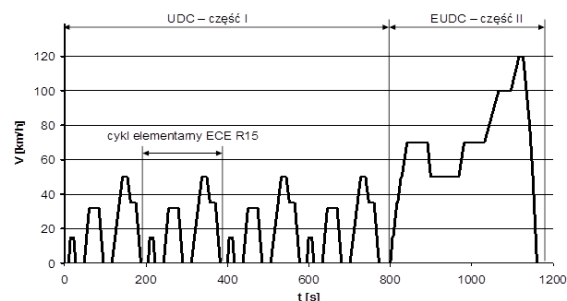
### 3. Charakterystyka testu NEDC

Test NEDC jest głównym testem homologacyjnym dla pojazdów osobowych (*PC – Passenger Cars*) o masie poniżej 2610 kg i wykonywany jest na specjalnych stanowiskach – hamowniach podwoziowych (rys. 3). Ten test złożony jest z dwóch zasadniczych części UDC (*Urban Driving Cycle*) i EUDC (*Extra Urban Driving Cycle*). Część UDC składa się z 4 elementarnych bloków ECE R15, w których maksymalna prędkość pojazdu wynosi 50 km/h. W drugiej części testu (tryb jazdy autostradowej) maksymalna prędkość pojazdu wynosi 120 km/h. Całkowity czas trwania testu NEDC wynosi 1180 sekund (tab. 3). Całkowity dystans jaki pojazd pokonuje w teście wynosi 11 km [9].

Przed przeprowadzeniem pomiarów w teście NEDC pojazd samochodowy jest kondycjonowany. Ma to na celu osiągnięcie przez pojazd temperatury panujące w hamowni. Temperatura w hamowni jest określona w regulaminie testu – 20÷30°C. Zach-

wana musi być również odpowiednia wilgotność oraz ciśnienie powietrza. W celu odwzorowania rzeczywistych warunków eksploatacji na stanowisku zainstalowana jest dmuchawa symulująca opory pojazdy, które są wyznaczane empirycznie dla każdego obiektu badawczego. Wykorzystywane są tutaj zamiennie dwie metody: metoda wybiegu i metoda piątego koła.

Test NEDC rozpoczyna się od zimnego rozruchu silnika – od tego okresu dokonywany jest pomiar emisji szkodliwych i toksycznych składników gazów wylotowych. Spaliny z układu wylotowego pojazdu izolowanym termicznie przewodem doprowadzane są do worków pomiarowych, z których następnie kierowane są do poszczególnych analizatorów (jest to uproszczony zapis procedury pomiaru emisji).



Rys. 3. Schemat testu NEDC jako funkcja  $f = V(t)$  [9]

Tabela 3. Charakterystyka testu NEDC [9]

Parametr	Jednostka	NEDC	
		UDC	EUDC
Czas	s	780	400
Dystans	m	4067	6956
Prędkość maksymalna	km/h	50	120
Prędkość średnia	km/h	18,8	62,6

### 4. Aparatura badawcza

Do pomiaru szkodliwych i toksycznych składników gazów wylotowych wykorzystano mobilne analizatory gazów wylotowych z grupy PEMS: SEMTECH DS oraz AVL Micro Soot Sensor (rys. 4). Pierwszy analizator umożliwiał pomiar CO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>x</sub> i THC oraz masowego natężenia przepływu gazów wylotowych. Drugi z analizatorów wykorzystywał fotoakustyczną metodę pomiaru PM. W publikacjach [4, 5] przedstawiono dokładniejszy opis powyższych analizatorów.

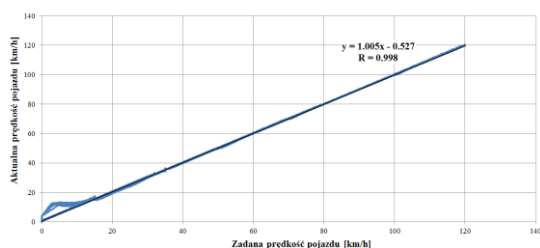




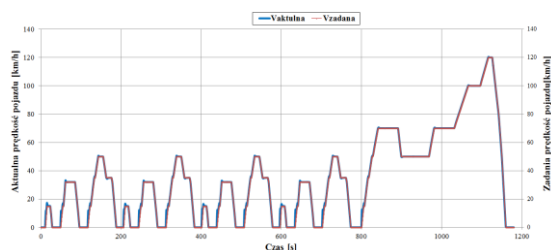
Rys. 4. Mobilne analizatory gazów wylotowych zainstalowane na stanowisku badawczym: od lewej AVL MSS i SEMTECH DS

## 5. Analiza prędkości uzyskanych na stanowisku

W celu oceny dokładności odwzorowania profilu prędkości testu NEDC na dynamicznym silnikowym stanowisku hamulcowym dokonano korelacji pomiędzy prędkością zadaną w oprogramowaniu ISAC, a prędkością uzyskaną podczas pomiarów (rys. 5). Z analizy przedstawionego zestawienia wynika, że na silnikowym stanowisku hamulcowym uzyskano profil prędkości zgodny z profilem zadanym. Świadczy o tym wysoka wartość współczynnika determinacji modelu opisanego regresją liniową ( $R = 0,998$ ). W celu lepszego zobrazowania powyższych zależności przedstawiono na rysunku 6 profile prędkości testu NEDC zadane i uzyskane w pomiarach. Zaobserwowano dużą zgodność przedstawianych profili – jedynie przy przejściu z fazy przyspieszenia na fazę jazdy ze stałą prędkością zaobserwowano niewielkie różnice, które wynikały z czasu odpowiedzi regulatorów stanowiska.



Rys. 5. Korelacja między prędkością zadaną a prędkością uzyskaną w teście NEDC



Rys. 6. Przebiegi uzyskanej i zadanej prędkości pojazdu uzyskane w teście NEDC

## 6. Wyniki badań emisji gazów wylotowych – dyskusja

Zgodnie z procedurą pomiaru emisji gazów wylotowych w teście homologacyjnym NEDC pomiar rozpoczął się od zimnego rozruchu silnika. Do badań wykorzystano mobilne analizatory, które umożliwiały ciągły pomiar. Próbkę gazów wylotowych pobierano w następujący sposób:

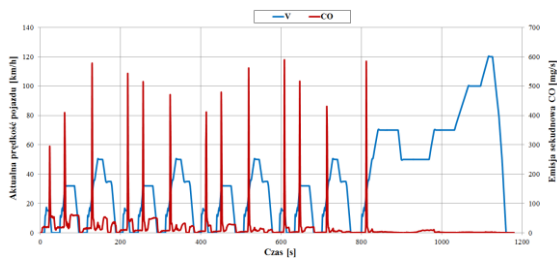
- do przyrządu SEMTECH DS próbkę pobierano z przepływomierza do pomiaru masowego natężenia przepływu gazów wylotowych, za pomocą przewodu grzanego, zaimplementowanego pomiędzy układem wylotowym silnika, a układem odprowadzenia gazów wylotowych ze stanowiska pomiarowego,
- do przyrządu AVL MSS próbkę pobierano bezpośrednio z układu odprowadzenia gazów wylotowych ze stanowiska.

W związku z wykorzystaniem mobilnych analizatorów gazów wylotowych do pomiarów na silnikowym stanowisku hamulcowym nie dokonywano pomiaru tła – tak, jak to się odbywa w przypadku badań na hamowni podwozowej. Pomiar tła nie był w tym przypadku konieczny, ponieważ przed przystąpieniem do badań dokonano procedury „zerowania” analizatorów. W tym przypadku odniesieniem było powietrze atmosferyczne będące tłem w silnikowym stanowisku pomiarowym. Ten proces wyeliminował wpływ tła na pomiary emisji gazów wylotowych.

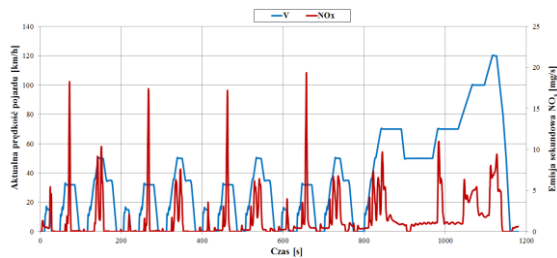
Mobilne analizatory gazów wylotowych mierzy stężenia poszczególnych związków oraz masowego natężenia przepływu gazów wylotowych – jedynie SEMTECH DS umożliwiał ten pomiar. Na tej podstawie wyznaczono zarówno emisję sekundową, jak i drogową CO, NO<sub>x</sub>, THC, CO<sub>2</sub> i PM.

W przypadku emisji sekundowej CO zarejestrowano duże wzrosty emisji tzw. piki, osiągające wartość do 600 mg/s, w fazie symulującej przyspieszanie pojazdu (rys. 7) lecz wyłącznie dla części miejskiej testu NEDC. Jest to charakterystyczne dla emisji CO, ponieważ przy przyspieszaniu następuje zwiększenie dawki paliwa, która skutkuje wystąpieniem lokalnych stref o niedoborze tlenu w komorze spalania silnika ( $\lambda < 1$ ). Nasila to zjawisko niepełnego spalania, które jest główną przyczyną formowania CO. Dodatkowo wpływ na takie ukształtowanie emisji CO mogła mieć niska temperatura spalania, która skutkowałą niską temperaturą gazów wylotowych. W komorze silnika taka temperatura wpływa na nasilenie zjawiska formowania CO, a w układzie wylotowym obniża stopień konwersji utleniającego reaktora katalitycznego, w który wyposażony był silnik. Potwierdzają to wyniki uzyskane w części autostradowej testu NEDC – w tym obszarze emisja CO była znacząco niższa niż w przypadku fazy miejskiej testu. W fazie autostradowej silnik z racji wysokiej prę-

kości generuje większe obciążenie, które jest tożsame ze wzrostem temperatury w komorze spalania. Opisywany wpływ temperatury na emisję CO może potwierdzić uzyskany przebieg emisji sekundowej  $\text{NO}_x$ , której najwyższy poziom zarejestrowano dla części autostradowej – za wyjątkiem pojedynczych pików przy największym przyspieszeniu w fazie miejskiej (rys. 8). Uzyskanie większej emisji  $\text{NO}_x$  w fazie autostradowej jest spowodowane wspomnianą wyższą temperaturą w komorze spalania – wysoka emisja  $\text{NO}_x$  w silnikach o ZS jest wyjaśniana przede wszystkim zjawiskiem Zeldowicza.



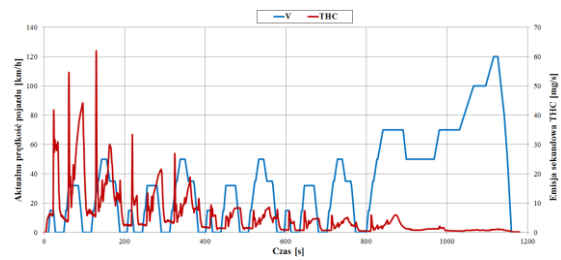
Rys. 7. Przebiegi symulowanej prędkości pojazdu i emisji sekundowej CO uzyskane w teście NEDC



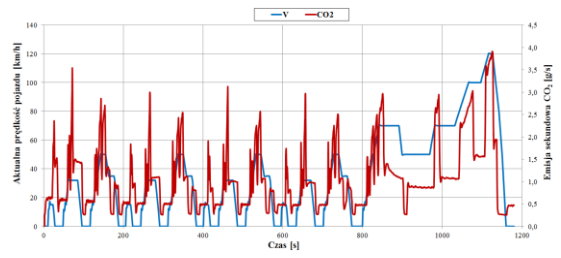
Rys. 8. Przebiegi symulowanej prędkości pojazdu i emisji sekundowej  $\text{NO}_x$  uzyskane w teście NEDC

Największa emisja sekundowa THC wystąpiła w pierwszej fazie testu NEDC i wyniosła 62 mg/s (rys. 9). Następnie wraz z upływem kolejnych faz testu zarejestrowano sukcesywny spadek emisji aż do wartości nie przekraczającej 0,2 mg/s. To zjawisko wytłumaczyć można przede wszystkim stanem cieplnym badanego silnika spalinowego – w pierwszej fazie testu następowało wspomniane wcześniej rozgrzewanie silnika. W fazie rozgrzewania nasila się powstawanie niespalonych węglowodorów wskutek m.in. gaśnięcia frontu płomienia na zimnych ściankach komory spalania. Również proces odparowania i rozpadu kropeł wtryskniętego paliwa przebiega wolniej. Wszystkie te zjawiska wpływają na obniżenie temperatury gazów wylotowych, która z kolei wydłuża czas osiągnięcia temperatury *light off* utleniającego reaktora katalitycznego. Skutkuje to niską sprawnością utleniania THC oraz opisywanego wcześniej CO. Powyższe zjawiska potwierdzają ogólnie przyjętą tezę, że początkowa faza testu NEDC – łącznie z zimnym rozruchem – najbardziej wpływa na wartości uzyskiwanej emisji drogowej CO, THC.

Odmianą sytuację zarejestrowano dla przebiegu emisji sekundowej  $\text{CO}_2$  – jej największe wartości zarejestrowano dla części autostradowej testu (rys. 10). Takie ukształtowanie wyniku przede wszystkim ze zwiększonego zapotrzebowania energetycznego silnika w fazie autostradowej – generowany większy moment obrotowy – niż w fazie miejskiej. Zaobserwowano również charakterystyczne wzrosty emisji sekundowej  $\text{CO}_2$  przy wzroście prędkości (faza przyspieszania), na które wpływ miał przede wszystkim wzrost zużycia paliwa, podobnie jak w przypadku emisji CO, bo zużycie paliwa jest tożsame z emisją  $\text{CO}_2$ .

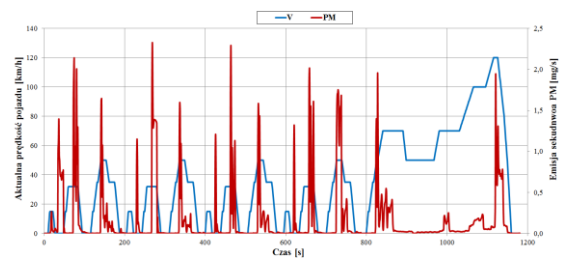


Rys. 9. Przebiegi symulowanej prędkości pojazdu i emisji sekundowej THC uzyskane w teście NEDC



Rys. 10. Przebiegi symulowanej prędkości pojazdu i emisji sekundowej  $\text{CO}_2$  uzyskane w teście NEDC

W przypadku emisji sekundowej PM zaobserwowano bardzo podobny jej przebieg, jak przebieg emisji sekundowej CO i THC (rys. 11). Jediną różnicę stanowił duży wzrost emisji w fazie przyspieszenia przy maksymalnej prędkości testu – w fazie autostradowej testu emisja CO i THC była na najniższym poziomie. Tym samym wpływ na emisję PM miały podobne czynniki jak w przypadku CO i THC – przede wszystkim stan cieplny silnika oraz dawka wtryskiwanego paliwa.



Rys. 11. Przebiegi symulowanej prędkości pojazdu i emisji sekundowej PM uzyskane w teście NEDC

Aby wyznaczyć przebiegowe zużycie paliwa w przeprowadzonym teście NEDC na początku obliczono emisję drogową THC, CO i CO<sub>2</sub>, a następnie otrzymane wartości emisji podstawiono do równania zdefiniowanego metodą *carbon ballance*:

$$Q = \frac{0,1155}{\rho_{pal}} \left[ (0,866 \cdot THC) + (0,426 \cdot CO) + (0,273 \cdot CO_2) \right] \quad (1)$$

gdzie:

Q – wartość przebiegowego zużycia paliwa [dm<sup>3</sup>/100 km],  
 THC, CO, CO<sub>2</sub> – średnie wartości emisji drogowej [g/km],

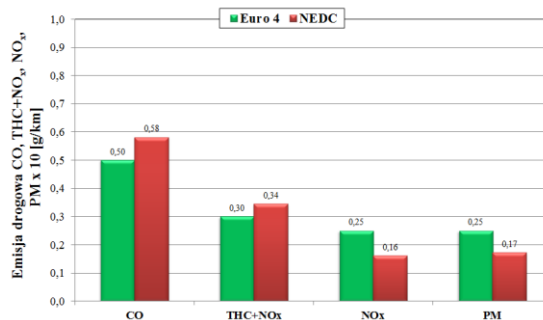
$\rho_{pal}$  – gęstość paliwa w normalnej temperaturze 15°C [g/cm<sup>3</sup>].

W teście NEDC przeprowadzonym na dynamicznym silnikowym stanowisku hamulcowym wartość przebiegowego zużycia paliwa wyniosła 6,06 dm<sup>3</sup>/100 km.

## 7. Podsumowanie

Wyznaczone wartości emisji drogowej poszczególnych związków odniesiono do limitów emisji określonych w normie Euro 4 (rys. 12) [8]. W przypadku emisji CO i sumy emisji THC + NO<sub>x</sub> zaobserwowano przekroczenie dopuszczalnych limitów. Fakt ten wynikał najprawdopodobniej z niewystarczającego stopnia konwersji utleniającego reaktora katalitycznego, w przypadku CO

i THC, który spowodowany był długim okresem jego eksploatacji.



Rys. 12. Emisja drogowa CO, THC + NO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub> i PM odniesiona do normy Euro 4

Na podstawie zrealizowanych w artykule prac badawczych stwierdzono, że dynamiczne silnikowe stanowisko hamulcowe umożliwia odwzorowywanie profili testów homologacyjnych realizowanych na hamowniach podwoziowych – NEDC, FTP 75 etc – łącznie z odwzorowaniem parametrów pojazdu. Dzięki temu możliwe będzie prowadzenie dalszych badań, w których analizowane będą dynamiczne stany pracy silnika spalinowego. Stany te zdefiniowane będą na podstawie pomiarów przeprowadzonych dla różnej grupy pojazdów w rzeczywistych warunkach eksploatacji.

## Nomenclature/Skróty i oznaczenia

ISAC Inertia Simulation And Control/*oprogramowanie symulacyjne firmy AVL*  
 ESC European Stationary Cycle/*europejski test statyczny dla silników ZS*  
 ETC European Transient Cycle/*europejski test dynamiczny dla silników ZS*  
 EUDC Extra Urban Driving Cycle/*pozamiejski europejski test jezdny*

NEDC New European Driving Cycle/*nowy europejski cykl jezdny*  
 UDC Urban Driving Cycle/*europejski miejski cykl jezdny*  
 PC Passenger car/*samochód osobowy*  
 PEMS Portable Emissions Measurement System/*mobilny układ do pomiaru emisji gazów wylotowych*  
 SDE Small Diesel Engine/*mały silnik ZS*

## Bibliography/Literatura

- [1] Altenstrasser, H., Kato, Y., Keuth, N., and Winsel, T.: MiL-Based Calibration and Validation of Diesel-ECU Models Using Emission and Fuel Consumption Prediction during Dynamic Warm-Up Tests (NEDC) SAE Technical Paper 2012-01-0432, (2012).
- [2] Y. Gao, M.D. Checkel: Emission Factors Analysis for Multiple Vehicles Using an On-Board, In-Use Emissions Measurement System. SAE Technical Paper Series 2007-01-1327, (2007).
- [3] Merkisz, J., Fuc, P., Lijewski, P., Bielaczyc, P., The Comparison of the Emissions from Light Duty Vehicle in On-road and NEDC Tests, SAE Technical Paper 2010-01-1298, 2010,
- [4] Merkisz J., Bajerlein M., Michalak D., Rymaniak L., Ziolkowski A.: The impact of vehicle heating systems on the energy consumption determined based on the vehicle exhaust emission tests under actual operating conditions. FISITA 2012 World Automotive Congress, Beijing China, 27-30 November 2012.

- [5] Merkisz J., Fuc P.. The Exhaust Emission from Light Duty Vehicles in Road Test in Urban Traffic. International Powertrains, Fuels & Lubricants Meeting, May 2010, Rio De Janeiro, Brazil, 2010. SAE Paper 2010-01-1558.
- [6] Merkisz J., Fuc P., Lijewski P., Bielaczyc P.: The Comparison of the Emissions from Light Duty Vehicle in On-road and NEDC Tests. SAE 2010 World Congress & Exhibition, April 12-14, 2010, Detroit, Michigan, USA, 2010.
- [7] Rubino, L., Bonnel, P., Hummel, R., Krasenbrink, A. et al.: PEMS Light Duty Ve-

hicles Application: Experiences in downtown Milan, SAE Technical Paper 2007-24-0113 (2007)

- [8] Information from Worldwide Emissions Standards. Passenger Cars & Light Duty Vehicles. Delphi brochure 2010/2011. <http://delphi.com/pdf/emissions/Delphi-Passenger-Car-Light-Duty-Truck-Emissions-Brochure-2011-2012.pdf>.
- [9] [www.dieselnet.com](http://www.dieselnet.com)
- [10] Materiały informacyjne firmy AVL Gmbh.

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 Michal Dorzynski, MSc., Eng. – PhD student in the Faculty of Machines and Transport at Poznan University of Technology.

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



Mr Jerzy Merkisz, DSc., DEng. – Professor in the Faculty of Machines and Transport at Poznan University of Technology.

*Prof. dr hab. inż. Jerzy Merkisz – profesor na Wydziale Maszyn Roboczych i Transportu Politechniki Poznańskiej.*



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

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

