

Investigations into CNG fuel vehicle emissions in real road condition

In the study the results of vehicle emission tests in road conditions were presented as only then information on real vehicle emissions could be obtained. The tests were carried out on sections of tens to hundreds kilometers in different road conditions. They include information on emissivity of vehicles in exploitation and deal with real conditions of vehicle movement. In order to measure concentration of toxic compounds a mobile analyzer for toxic tests SEMTECH DS by SENSORS Inc. was used. It is possible to add data sent directly from the vehicle diagnostic system to the central unit of the analyzer and make use of localization signal GPS. In the study the results of vehicle emission tests in road conditions were presented as only then information on real vehicle emissions could be obtained. They include information on emissivity of vehicles in exploitation and deal with real conditions of vehicle movement.

Key words: road emission, gasoline engine, CNG-fueled, real road conditions

Badanie emisji spalin pojazdu zasilanego gazem ziemnym w rzeczywistych warunkach ruchu

W artykule przedstawiono rezultaty z badań emisyjnych pojazdów w warunkach drogowych. Testy dla różnych typów pojazdów wykonywano na odcinkach kilkunastu do kilkudziesięciu kilometrów w różnych warunkach drogowych; dane te zawierają one informację o eksploatacyjnej emisyjności pojazdów i dotyczą rzeczywistych warunków ruchu pojazdu. Do pomiarów stężenia związków toksycznych wykorzystano mobilny analizator do badań toksyczności SEMTECH DS firmy SENSORS. Dodatkowo wykorzystano dane przesyłane z systemu diagnostycznego pojazdu oraz sygnału lokalizacji GPS. Wyniki posłużyły do zdefiniowania wskaźnika emisyjności pojazdu, który można wykorzystać do ekologicznej oceny pojazdów pod względem emisji związków toksycznych, różniących się m.in. przeznaczeniem, spełnianymi limitami toksyczności spalin, przebiegiem lub warunkami eksploatacji pojazdu.

Słowa kluczowe: emisja drogowa, silniki ZI, zasilanie CNG, rzeczywiste warunki ruchu

1. Introduction

Recently, a trend has been seen to treat the automotive environmental perils globally. Regulations admitting vehicles for use (homologation tests and conformity tests), periodical inspections and legal acts directly or indirectly related to the production, use and disposal of used-up products treat the environmental issues in a comprehensive way. In previous years, in individual countries the systems of emission control from vehicles were different, yet for some time now a far-reaching unification has been taking place [2, 3]. A growing number of vehicles worldwide and the pollution of the environment results in growing emission requirements. The current level of technological advancement in all branches of the industry including all kinds of transport results in more stringent requirements for the exhaust emissions testing equipment. In order for these requirements to be fulfilled in light of the ever-changing legislation sufficient concentration of the industry on this area became necessary. The testing of the exhaust emissions is a complex process. Currently used exhaust emission analyzers need special laboratory conditions and the homologation procedures include tests on chassis and engine dynamometers that do not entirely reflect the emissions under real traffic conditions. The latest results of the investigations under real traffic conditions indicate much higher exhaust emissions [1, 5, 8–10]. Hence, we can see a trend to make vehicle on-road emission testing a legal requirement.

1. Wprowadzenie

Obecnie zauważalna jest wyraźna tendencja do globalnego traktowania zagrożeń środowiska ze strony motoryzacji. Przepisy zezwalające na dopuszczenie pojazdów do użytkowania (badania homologacyjne i zgodności produkcji), okresowe badania kontroli stanu technicznego oraz pozostałe akty prawne, związane bezpośrednio i pośrednio z produkcją, użytkowaniem i zagospodarowaniem zużytych wytworów cywilizacji, traktują zagadnienia ochrony środowiska w sposób kompleksowy. Na przestrzeni minionych lat, w poszczególnych państwach istniały różne systemy badań i kontroli emisji spalin z silników samochodowych, jednak od pewnego czasu następuje w tym zakresie daleko posunięta unifikacja [2, 3]. Rosnąca liczba pojazdów na świecie oraz zanieczyszczenie środowiska naturalnego powoduje wzrost wymagań w zakresie emisji szkodliwych składników spalin. Obecny stopień zaawansowania techniki i technologii we wszystkich dziedzinach przemysłu, w tym również we wszelkich rodzajach transportu, powoduje wzrost wymagań w zakresie produkcji urządzeń do pomiarów emisji spalin. Aby te wymagania mogły być spełniane w stopniu koniecznym do zmieniających się okresowo przepisów konieczna stała się koncentracja przemysłu w tej dziedzinie. Badania emisji toksycznych składników spalin są procesem skomplikowanym. Obecne analizatory do pomiaru emisji wymagają szczególnych warunków laboratoryjnych, a procedury homologacyjne obejmują testy

The purpose of the investigations was to measure the emission level of a vehicle fueled with different fuels (CNG/gasoline, Euro 4 compliant) under real traffic conditions and at the same time the tests were an attempt to form an on-board emission measuring system.

2. Testing methodology

The emission tests were performed in the vicinity of Poznan in its suburban areas (Fig. 1). The tests were performed in two variants: for a vehicle fueled with gasoline and the same vehicle fueled with CNG. The characteristic of the route and the test parameters has been shown in Table 1. The measurements were carried out three times – the values presented herein are averaged.



Fig. 1. The route marked used to test the vehicle emission level (Poznan, Poland)

Rys. 1. Zaznaczona droga pojazdu podczas badań emisyjności (okolice Poznania)

Table 1. Characteristics of the test (Gasoline, CNG)

Tabela 1. Charakterystyka testu badawczego (zasilanie benzyną lub CNG)

Test parameter/parametr testu	Gasoline/ benzyna	CNG
Test time/czas testu [s]	3903	4139
Maximum speed/prędkość maksymalna [km/h]	107	108
Average speed/prędkość średnia [km/h]	57.8	54.8
Route length/długość drogi [km]	62.539	63.048
Fuel consumption/zużycie paliwa [dm ³ /100 km]	10.49	7930
[MJ/100 km]	333	278

3. Object of the test

The object of the test was a dual fuel vehicle (fueled with gasoline and compressed natural gas – CNG), fitted with a manual transmission. Mileage reading at the test start was 20,000 km (other parameters: a 4-cylinder, 2.0 dm³ engine fitted with a three way catalytic converter, EOBD – ISO 14230, Euro 4 compliant). The vehicle was originally factory designed for the CNG fueling which is the engine primary fuel; the cold engine start is done with gasoline (this type of fuel is also used as reserve).

In order to show similarity of the drives (the characteristics given in the table are insufficient) the operating time

na hamowniach silnikowych i podwoziowych, które jednak nie odzwierciedlają emisji w rzeczywistych warunkach eksploatacji. Najnowsze wyniki badań prowadzonych w warunkach rzeczywistych ukazują, że w przypadku niektórych składników toksycznych spalin emisja ta jest większa o kilkaset procent [1, 5, 8–10]. W związku z powyższym dostrzegalny jest trend usankcjonowania pomiaru emisji w warunkach rzeczywistej eksploatacji pojazdów.

Celem badań była weryfikacja emisyjności pojazdu zasilanego różnymi paliwami (ZI, CNG, spełniającego normę Euro 4) podczas rzeczywistych warunków ruchu drogowego, a jednocześnie badania były próbą stworzenia pokładowego systemu pomiarowego związków szkodliwych.

2. Metodyka badań

Pomiary emisji spalin wykonano w okolicach Poznania głównie na obszarach podmiejskich (rys. 1). Testy wykonano w dwóch wariantach: dla pojazdu zasilanego benzyną i tego samego pojazdu zasilanego CNG. Charakterystykę trasy i parametrów badań przedstawiono w tabeli 1. Pomiary wykonano 3-krotnie – wartości przedstawione w artykule są wartościami uśrednionymi.

3. Obiekt badań

Obiektem badań był pojazd z silnikiem dwupaliwowym (zasilany benzyną lub sprężonym gazem ziemnym – CNG), wyposażonym w manualną skrzynię biegów o przebiegu 20 000 km (pozostałe parametry: silnik 4-cylindrowy o pojemności 2,0 dm³, wyposażony w reaktor trójfunkcyjny, system diagnostyczny EOBD – ISO 14230, spełniający normę Euro 4). Pojazd fabrycznie przystosowano do zasilania gazem ziemnym i jest to podstawowe paliwo w nim stosowane; rozruch w niskich temperaturach odbywa się przy zasilaniu benzyną (ten rodzaj paliwa stosowany jest również jako rezerwa). W celu stwierdzenia podobieństwa przejazdów (charakterystyka podana w tabeli 1 jest niewystarczająca) porównano udziały czasu pracy pojazdu jako zależność prędkości i przyspieszenia pojazdu (rys. 2). Z porównania danych przedstawionych na rys. 3 i 4 wynika, że przejazdy charakteryzowały się dużym podobieństwem warunków dynamicznych ruchu (porównano zakresy występowania przyspieszenia, stałej prędkości jazdy, hamowania pojazdem oraz zatrzymania). Wyniki porównania zamieszczone na rys. 5 wskazują, że w obu wariantach zasilania prędkość stała występowała przez 11% czasu trwania testu, przyspieszanie i hamowanie łącznie zajmowało około 81% czasu trwania testu, natomiast zatrzymanie to 8% czasu trwania testu. W związku z tym możliwe było porównanie emisyjności pojazdu zasilanego dwupaliwowo.

Do pomiarów stężenia związków toksycznych wykorzystano mobilny analizator do badań toksyczności SEMTECH DS firmy SENSORS (rys. 6) [4, 6, 7]. Analizator umożliwiał pomiar stężenia związków szkodliwych (CO, HC, NO_x, CO₂) oraz jednocześnie masowe natężenie przepływu spalin. Gazy spalinowe wprowadzane do analizatora za pomocą sondy pomiarowej utrzymującej temperaturę 191°C są filtrowane z cząstek stałych (w przypadku silników ZS) i następuje pomiar stężenia węglowodorów w analizatorze

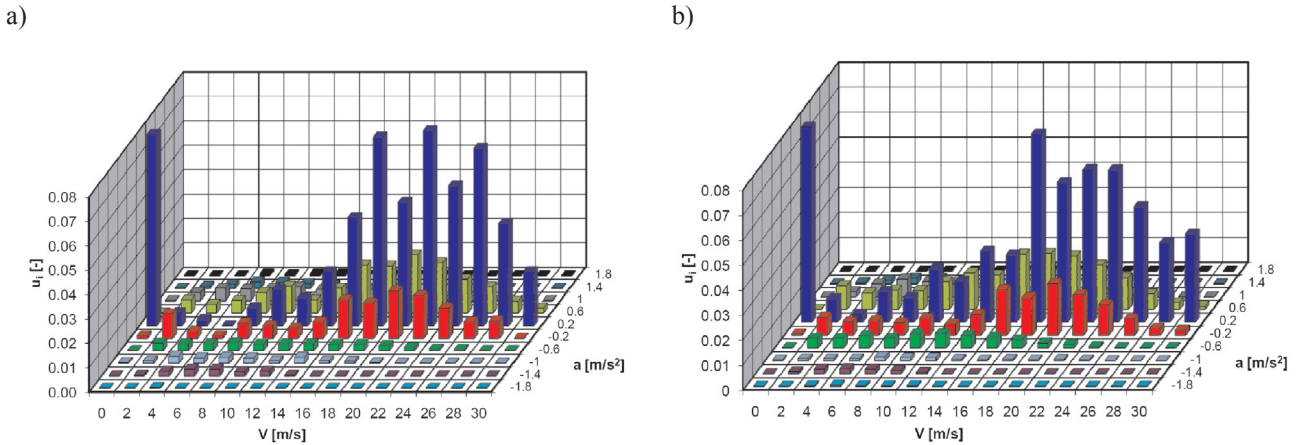


Fig. 2. Characteristics of operating time share in speed and acceleration coordinates during the road tests: a) Gasoline; b) CNG

Rys. 2. Charakterystyka prędkości i przyspieszenia pojazdu zasilanego benzyną (a) oraz CNG (b)

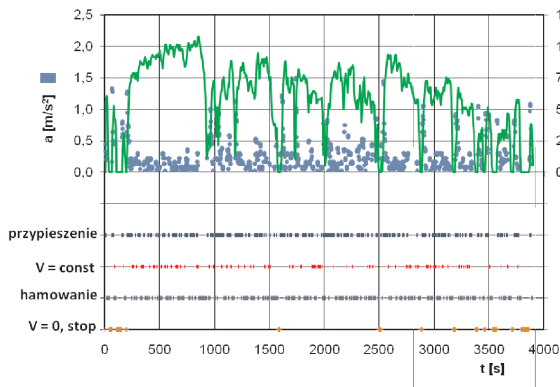


Fig. 3. Vehicle speed during the road tests – gasoline engine

Rys. 3. Prędkość pojazdu podczas badań drogowych zasilanego benzyną wraz ze stanami pracy pojazdu

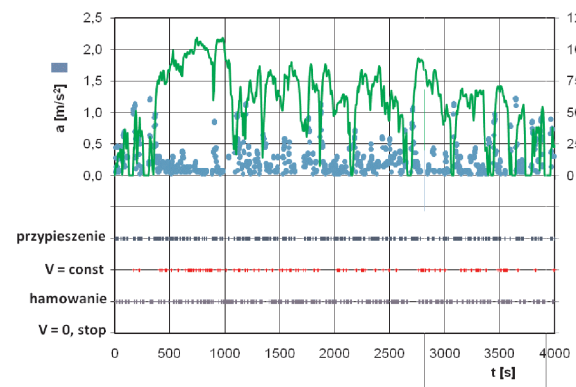


Fig. 4. Vehicle speed during the road tests – CNG engine

Rys. 4. Prędkość pojazdu podczas badań drogowych zasilanego CNG wraz ze stanami pracy pojazdu

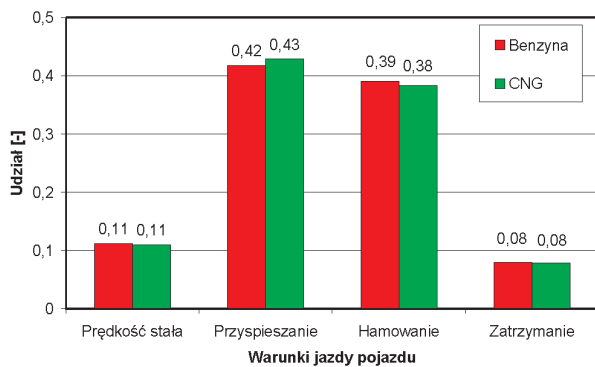


Fig. 5. Comparison of the vehicle during road tests

Rys. 5. Porównanie warunków jazdy pojazdu podczas badań drogowych

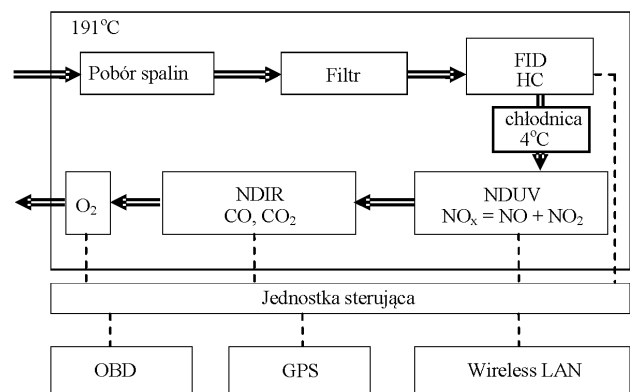


Fig. 6. A diagram of a portable analyzer SEMTECH, exhaust gas flow channels (==) and electrical connections circled (---)

Rys. 6. Schemat mobilnego analizatora SEMTECH z zaznaczonym przepływem spalin (==) i połączeniami elektrycznymi (---)

shares have been compared as correlations of the vehicle speed and acceleration (Fig. 2). From the comparison of data shown in Fig. 3 and 4 it results that the drives were characterized by a high similarity of the dynamic traffic conditions (the ranges of accelerations, steady cruising speed, vehicle braking and stops have been compared). The results of the comparison

plamieniowo-jonizacyjnym. Następnie spaliny są schładzane do temperatury 4°C i następuje kolejno pomiar stężenia tlenków azotu (metodą niedispersyjną z wykorzystaniem promieniowania ultrafioletowego umożliwiającej jednocze-

presented in Fig. 5 indicate that in both fueling variants that the steady speed continued for 11% of the test duration, the acceleration and braking took approximately 81% of the test duration and the stops 8% of the test duration. Hence, the comparison of the dual fuel vehicle emission level was possible.

For the measurement of the exhaust emissions a portable analyzer SEMTECH DS by SENSORS (Fig. 6) was used [4, 6, 7]. It measured the concentration of the exhaust components (CO, HC, NO_x, CO₂) in the exhaust gases. The exhaust mass flow was measured at the same time. The exhaust gases uptaken into the analyzer through a measuring probe maintaining the temperature of 191°C were filtered out of the particulate matter (diesel engines) and then the measurement of hydrocarbons took place in the FID analyzer (flame ionization detector). Then the exhaust gases were cooled down to the temperature of 4°C and the



Fig. 7. The view of SEMTECH DS analyzer mounted in the vehicle during the tests

Rys.. 7. Widok analizatora SEMTECH DS zamontowanego w pojeździe podczas badań

measurement of nitrogen oxides took place (non-dispersive ultraviolet method) enabling a simultaneous measurement of nitrogen monoxide, nitrogen dioxide, carbon monoxide, carbon dioxide (non-dispersive infrared method) and oxygen (electrochemical analyzer). In the tests the results of the measurements of the emissions were used along with the signals from the OBD and GPS systems for comparison (the analyzer central control unit received data directly from the vehicle OBD system and GPS – engine speed, engine load, intake air temperature). Some of these signals served to determine the time density characteristics under real operating conditions. The GPS signal was later used for the visualization of the obtained data. The view of the vehicle has been shown in Fig. 7.

4. Test results

The recorded values of the concentration of the individual emissions (CO, HC, NO_x) have been comparatively presented for a vehicle fueled with gasoline and compressed natural gas (Fig. 8–10). The vehicle speeds have been presented as well (Fig. 11) – such an interpretation better reflects the differences in the concentrations of individual components, as it also gives reference to the traffic conditions under which such

sny pomiar tlenku azotu i dwutlenku azotu), tlenku węgla i dwutlenku węgla (metodą niedispersyjną z wykorzystaniem promieniowania podczerwonego) oraz tlenu (analizatorem elektrochemicznym). Do jednostki centralnej analizatora można doprowadzić dane bezpośrednio przesyłane z systemu diagnostycznego pojazdu oraz wykorzystać sygnał lokalizacji GPS. W badaniach wykorzystano pomiary emisji związków toksycznych, a także w celach porównawczych rejestrowano sygnały z pokładowego systemu diagnostycznego, m.in. prędkość obrotową silnika, obciążenie, prędkość pojazdu, temperaturę powietrza dolotowego. Niektóre z tych sygnałów posłużyły do określenia map gęstości czasowych udziału czasu pracy pojazdu w warunkach eksploatacji rzeczywistej. Sygnał lokalizacji GPS wykorzystano do późniejszej wizualizacji uzyskanych danych. Widok pojazdu z aparaturą badawczą przedstawiono na rys. 7.

4. Wyniki pomiarów

Zarejestrowane wartości stężenia związków szkodliwych (CO, HC, NO_x) zaprezentowano porównawczo dla samochodu zasilanego benzyną oraz sprężonym gazem ziemnym (rys. 8–10). Porównawczo zaprezentowano również wartości prędkości pojazdów (rys. 11) – taka interpretacja lepiej odzwierciedla różnice w stężeniu odpowiednich związków, gdyż daje pogląd również na warunki ruchu w których takie stężenia zanotowano. Na rysunku 8 porównano stężenie tlenku węgla: podczas zasilania silnika benzyną jest ono znaczące w całym zarejestrowanym przebiegu, a jednocześnie kilkakrotnie większe niż dla zasilania CNG. Stężenie węglowodorów jest podobne do przebiegu CO – większe wartości są rejestrowane dla silnika zasilanego benzyną (rys. 9). Mniejsze stężenia wymienionych związków przy zasilaniu CNG są zgodne z oczekiwaniami, gdyż pojazd jest homologowany z zaznaczeniem głównego paliwa jakim w tym przypadku jest CNG. Odmienne kształtuje się stężenie tlenków azotu (rys. 10) – większe wartości obserwowane są dla silnika zasilanego CNG. Oznacza to wyższą temperaturę w komorze spalania, a jednocześnie może wynikać z optymalizacji silnika (uzyskiwania większej mocy – większej sprawności) pod kątem tego paliwa.

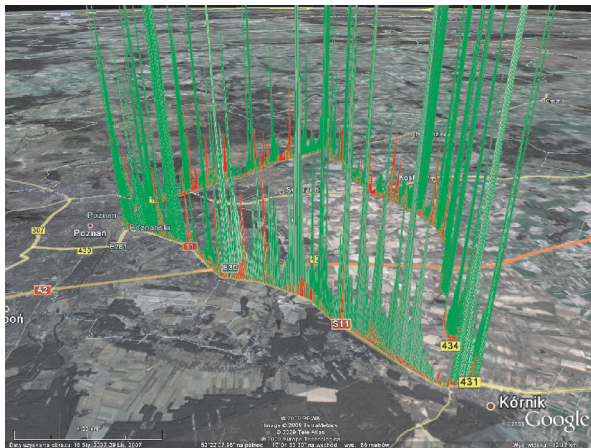


Fig. 8. Concentration of CO measured in the road tests:

■ – gasoline, ■ – CNG

Rys. 8. Stężenie tlenku węgla dla pojazdu zasilanego:

■ – benzyną, ■ – CNG

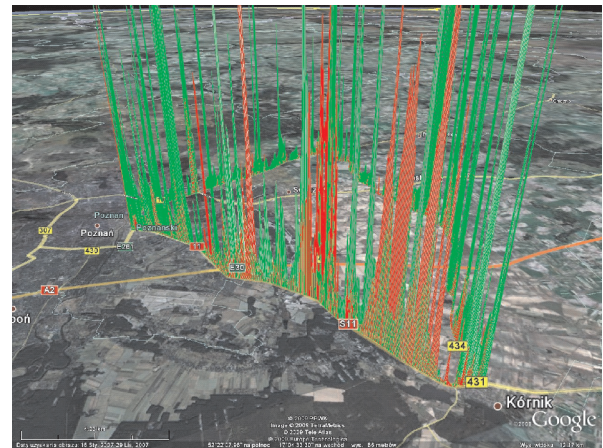
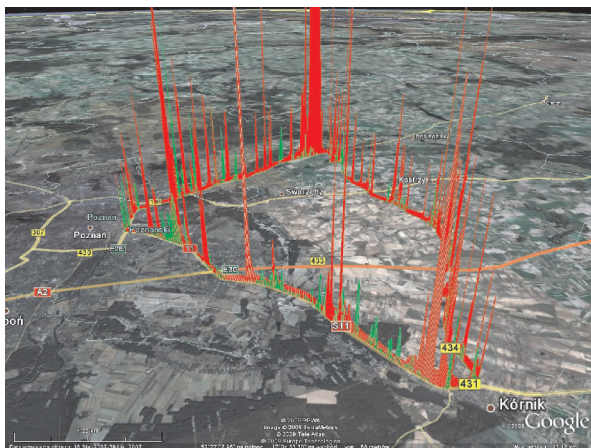


Fig. 9. Concentration of HC measured in the road tests:

■ – gasoline, ■ – CNG

Rys. 9. Stężenie węglowodorów dla pojazdu zasilanego:

■ – benzyną, ■ – CNG

Fig. 10. Concentration of NO_x measured in the road tests:

■ – gasoline, ■ – CNG

Rys. 10. Stężenie tlenków azotu dla pojazdu zasilanego:

■ – benzyną, ■ – CNG

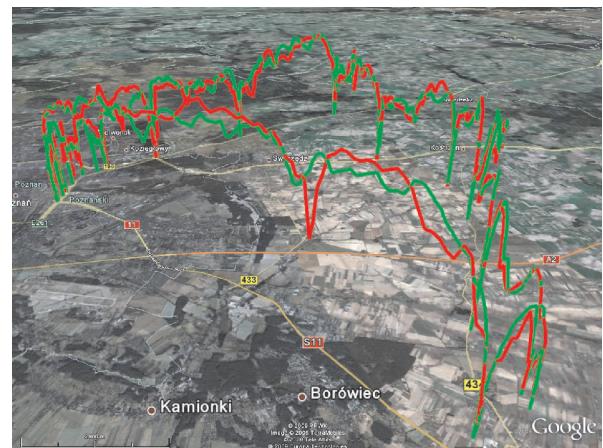


Fig. 11. Vehicle speed in the road tests:

■ – gasoline, ■ – CNG

Rys. 11. Prędkość jazdy pojazdu zasilanego:

■ – benzyną, ■ – CNG

concentrations were recorded. In figure 8 the concentration of CO has been compared: while fueling with gasoline this concentration is significant in the whole recorded course and at the same time several times higher than when the engine was fueled with CNG. The concentration of HC is similar to the course of the CO concentration – higher values were recorded for gasoline (Fig. 9). Lower concentrations of the said components while fueling with CNG are in general as expected, because the vehicle was homologated with the primary fuel being CNG in this case. The concentration of NO_x is different in its nature (Fig. 10) – higher values were observed for CNG fueling. This denotes a higher temperature in the combustion chamber and at the same time this may results from the engine optimization towards that particular fuel (higher power output – higher efficiency).

5. Analysis of the test results

The obtained data regarding the concentrations of individual exhaust components served to form correlations that

5. Analiza wyników pomiarów

Uzyskane dane o wartości stężenia poszczególnych zanieczyszczeń posłużyły do opracowania zależności charakteryzujących wpływ dynamicznych właściwości pojazdu na emisję drogową związków szkodliwych. Dynamiczne właściwości pojazdu uwzględniono w sposób pośredni, wykorzystując podział całego zakresu jego prędkości oraz zakresu obliczonego przyspieszenia w rzeczywistych warunkach ruchu do wykonania macierzy natężenia emisji. Wykorzystane dane uśredniono w ramach poszczególnych przedziałów prędkości i przyspieszeń otrzymując charakterystykę udziału pracy pojazdu w poszczególnych przedziałach oraz charakterystyki macierzy emisji poszczególnych związków szkodliwych. Maksymalne natężenie emisji tlenku węgla (rys. 12a oraz 13a), określone w miligramach na sekundę, rozłożone są w obszarze wszystkich wykorzystywanych prędkości pojazdu oraz przyspieszeń pojazdu.

Wartości te są skorelowane z przyspieszeniem pojazdu: w miarę wzrostu przyspieszenia wzrasta również emisja

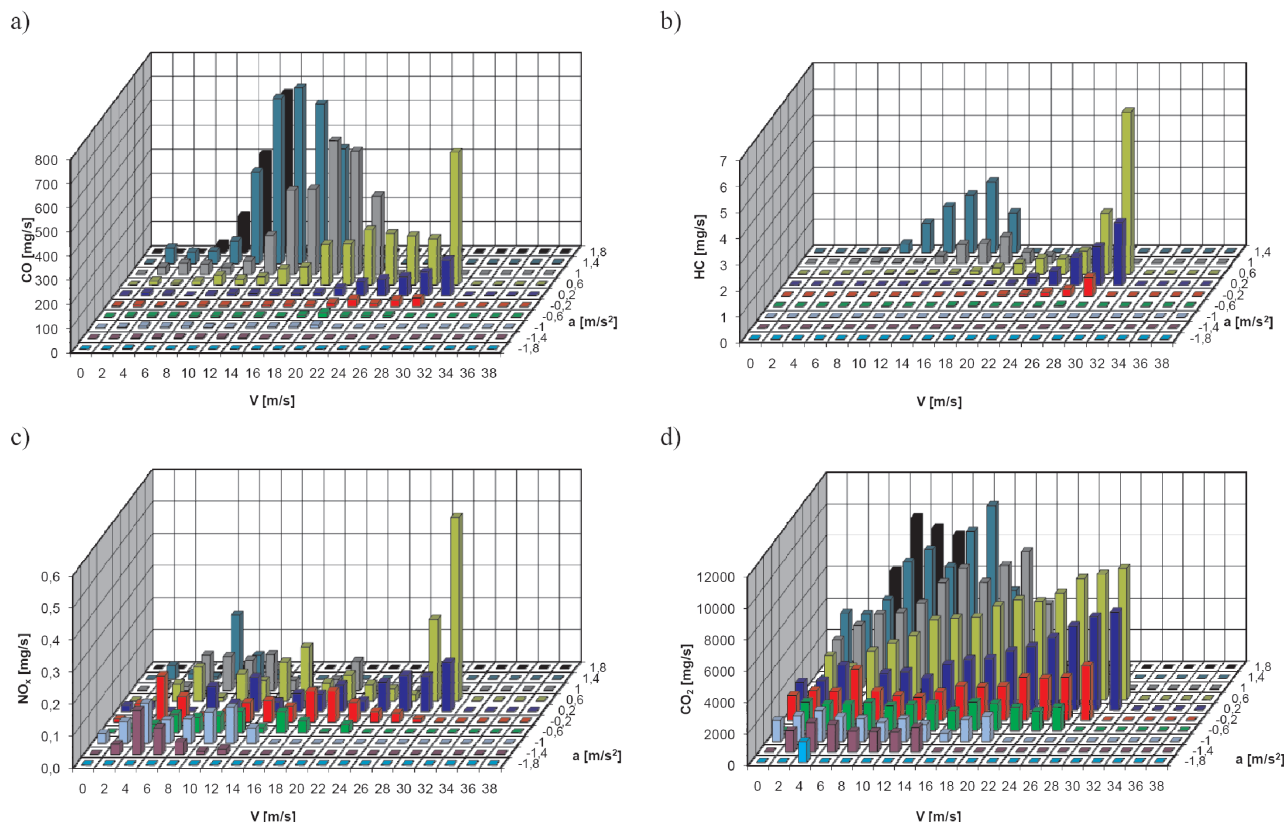


Fig. 12. Characteristics of the exhaust emissions (Gasoline) in the speed and acceleration coordinates during the road tests:

a) CO, b) HC, c) NO_x, d) CO₂

Rys. 12. Charakterystyka emisji zanieczyszczeń w przedziałach prędkości i przyspieszenia podczas badań pojazdu zasilanego benzyną:

a) CO, b) HC, c) NO_x, d) CO₂

characterize the influence of the dynamic vehicle properties in the exhaust emissions. The dynamic vehicle properties have been considered in the analysis in an indirect way by using the whole range of its speed and calculated acceleration under real traffic conditions to develop matrices of the emission intensity. The used data have been averaged within individual ranges of speeds and accelerations thus obtaining the characteristics of the share of the operating time and the characteristics of the matrices of the emissions of the individual exhaust components. The maximum intensity of the CO emission (Fig. 12a and 13a), given in milligrams per second falls in the area of all vehicle speeds and accelerations.

These values are correlated with the vehicle acceleration: the emission of CO grows with the acceleration. The emission of hydrocarbons is different (Fig. 12b and 13b): for the vehicle fueled with gasoline the emission is significant for maximum vehicle speeds and accelerations. In other areas the HC emission is miniscule. For the vehicle fueled with CNG a higher HC emission occurs for high acceleration values at all vehicle speeds. One should note however it is 10 times lower than for engines fueled with gasoline.

The area of increased emission of NO_x (Fig. 12c and 13c) falls in the range of highest vehicle speeds and high vehicle acceleration (high engine load). This is related to the increased fuel metering and engine speed. In the other areas of vehicle operation on gasoline we observe the emission

tlenku węgla. Odmienne jest z emisją węglowodorów (rys. 12b oraz 13b): dla pojazdu zasilanego benzyną znacząca występuje dla maksymalnych prędkości i przyspieszenia pojazdu, w pozostałym obszarze jest znikoma. Dla pojazdu zasilanego CNG zwiększona emisja HC występuje dla dużych wartości przyspieszenia przy każdej prędkości pojazdu. Należy jednak zauważyć, że jest ona 10-krotnie mniejsza niż dla zasilania benzyną.

Obszar zwiększonego natężenia emisji tlenków azotu (rys. 12c oraz 13c) przypada dla zakresu maksymalnych prędkości pojazdu oraz dla znacznego jego przyspieszenia, a więc znacznego obciążenia silnika. Związane jest to ze zwiększeniem dawki paliwa a jednocześnie wzrostem prędkości obrotowej silnika. W pozostałym obszarze pracy pojazdu dla silnika zasilanego benzyną obserwowany jest poziom emisji 0,1–0,3 mg/s, natomiast dla silnika zasilanego CNG to poziom emisji wynoszący 0,5–1,5 mg/s. Dla średnich wartości prędkości i przyspieszenia emisja tlenków azotu z pojazdu zasilanego CNG jest 5-krotnie większa niż przy zasilaniu benzyną. Emisja dwutlenku węgla (rys. 12d oraz 13d) ma zbliżony charakter dla badanych rodzajów zasilania paliwem: zwiększa się z miarą wzrostu prędkości i przyspieszenia pojazdu. Różny jest natomiast poziom tej emisji, wynikający z różnego paliwa stosowanego do silników. Dla pojazdu zasilanego benzyną obserwuje się liniowy wzrost emisji CO₂ przy wzroście prędkości (dla tej samej

level of 0.1–0.3 mg/s and 0.5–1.5 mg/s for engine fueled with CNG. For the average values of speed and acceleration the emission of NO_x from a CNG fueled vehicle is 5 times higher than in the case of gasoline fueling. The emission of CO₂ (Fig. 12d and 13d) is similar in the nature and course (grows with the vehicle speed and acceleration) for both types of fuels but has different levels depending on the applied fuel.

wartości przyspieszenia), natomiast maksymalne wartości emisji dwutlenku węgla osiągają wartości 10 g/s (silnik o pojemności 2,0 dm³, odpowiada to stężeniu CO₂ w spalinach na poziomie 13,5%). Dla pojazdu z silnikiem zasilanym CNG jest obserwowany również liniowy wzrost emisji CO₂ przy wzroście prędkości (dla tej samej wartości przyspieszenia pojazdu). Maksymalne wartości są mniejsze niż dla

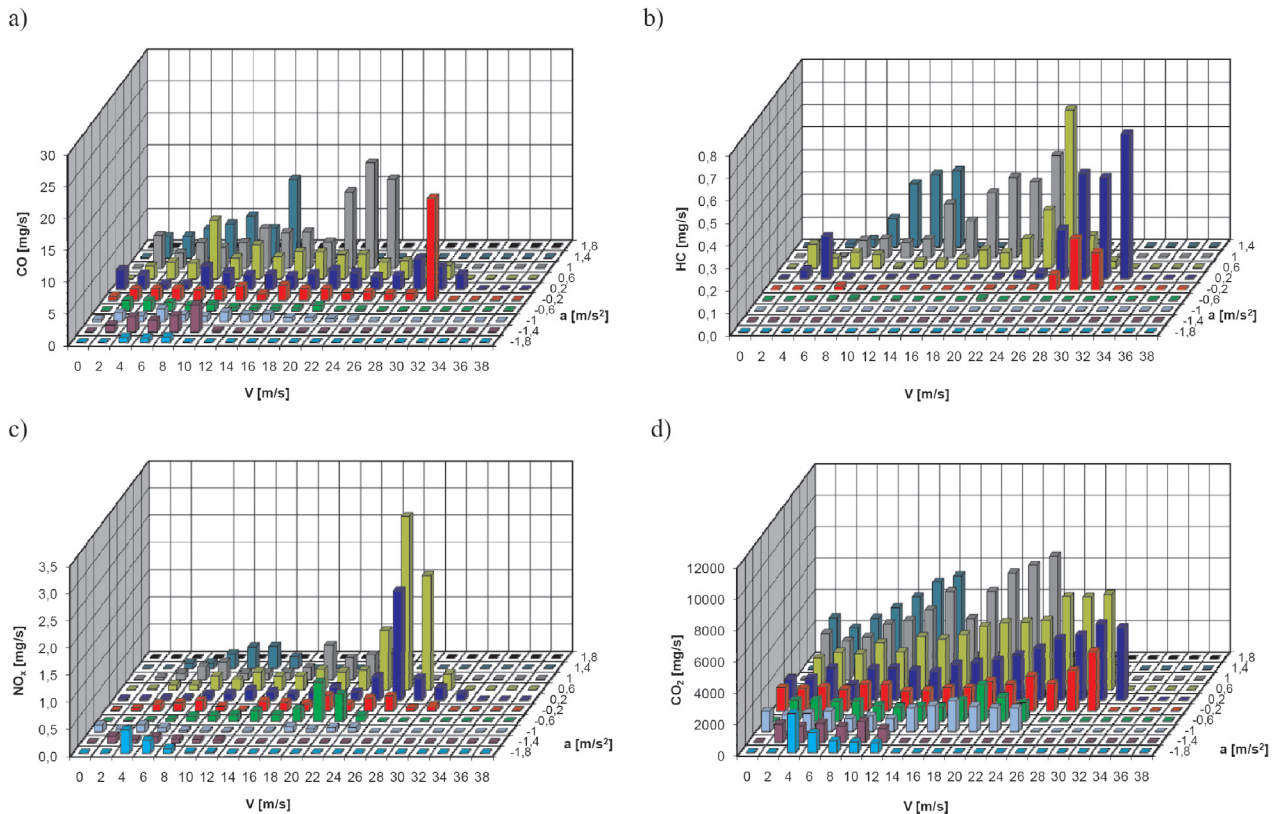


Fig. 13. Characteristics of the exhaust emissions (CNG) in the speed and acceleration coordinates during the road tests:

a) CO, b) HC, c) NO_x, d) CO₂

Rys. 13. Charakterystyka emisji zanieczyszczeń w przedziałach prędkości i przyspieszenia podczas badań pojazdu zasilanego CNG:

a) CO, b) HC, c) NO_x, d) CO₂

For the vehicle fueled with gasoline we can observe a linear growth of the emission of CO₂ at the speed growth (the same value of acceleration) and the maximum values of the CO₂ emission reach 10 g/s (for a 2.0 dm³ engine – this corresponds to a CO₂ concentration in the exhaust on the level of 13.5%). For the vehicle fueled with CNG we also observe a linear growth of the emission of CO₂ as the speed grows (for the same vehicle acceleration). The maximum values are lower than it is for the case of gasoline fueling – the maximum emission is 8 g/s (this corresponds to a CO₂ concentration in the exhaust on the level of approximately 12%).

6. Conclusions

Having determined the on-road exhaust emissions for the test vehicle fueled with CNG and gasoline the resulting correlations were that the emission level from the vehicle fueled with gasoline is higher in the case of CO, HC, CO₂, but lower in the case of NO_x (Fig. 14). Converting the values from Fig. 14 into relative emissions (Fig. 15), assuming

zasilania benzyną – maksymalna emisja to 8 g/s (odpowiada to stężeniu CO₂ w spalinach na poziomie ok. 12%).

6. Zakończenie

Wyznaczając wartości emisji drogowej zanieczyszczeń dla pojazdu zasilanego benzyną i CNG otrzymano zależności, że emisyjność pojazdu zasilanego benzyną jest większa dla takich składników jak CO, HC, CO₂, natomiast pojazd zasilany benzyną emituje mniej tlenków azotu (rys. 14). Przeliczając wartości z rys. 14 na emisję względną (rys. 15), przyjmując, że emisyjność bazowa (emisja = 1) to emisja z pojazdu zasilanego benzyną, otrzymano następujące wartości: pojazd zasilany CNG wykazuje większe walory ekologiczne charakteryzując się 20-krotnie mniejszą emisją drogową tlenku węgla, 5-krotnie mniejszą emisją węglowodorów, mniejszą o 27% emisją dwutlenku węgla. Niekorzystna jest natomiast emisja drogowa tlenków azotu, która jest 5-krotnie większa od emisji pojazdu zasilanego benzyną. Należy

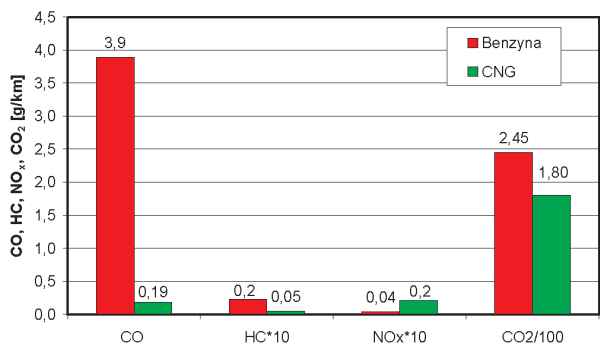


Fig. 14. Comparison of the emission values in the road test for vehicles: fueled with Gasoline and CNG

Rys. 14. Porównanie wartości emisji drogowej dla pojazdu zasilanego benzyną oraz CNG

that the base emission is (emission = 1) the emission from the vehicle fueled with gasoline, the authors obtained the following values: vehicle fueled with CNG indicates better ecological properties characterized by a 20 times lower on-road emissions of CO, 5 times lower emissions of HC and the emission of CO₂ lower by 27%. The on-road emission of NO_x is unfavorable though, which is 5 times higher than in the case of the vehicle fueled with gasoline. It should be noted that the above data refer to an extra urban cycle.

From the presented results (characteristics of the operating time share in given speed and acceleration ranges and characteristics of the emission intensity) we can calculate the multiplication factor of the growth/reduction of the exhaust emissions under real traffic conditions as compared to the homologation test. The emission level factor (for an individual exhaust component) has been defined as follows:

$$k_j = \frac{E_{real,j}}{E_{NEDC,j}} \quad (1)$$

where: j – exhaust component for which the emission level factor has been determined, E_{real,j} – emission intensity obtained under real traffic conditions ([g/s]), E_{NEDC,j} – emission intensity obtained in the NEDC test ([g/s]). The emission intensity obtained under real traffic conditions can be calculated using the characteristics of the operating time share of the vehicle drive u(a,V) and the characteristics of the emission intensity for j exhaust component e_j(a,V) expressed in grams per second:

$$E_{real,j} = \sum_a \sum_V u(a,V) \cdot e_j(a,V) \quad (2)$$

If there is insufficient information on the vehicle exhaust emissions in the NEDC test, the maximum permissible values can be assumed as per the Euro emission standards applicable for a given vehicle. The maximum permissible values for a given exhaust component expressed in g/km can be converted into the values of the emission intensity (in g/s) knowing the duration (1180 s) and covered distance

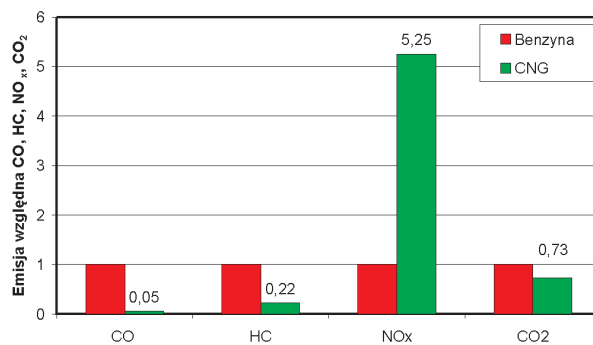


Fig. 15. Relative emission vehicle fueled with gasoline and CNG

Rys. 15. Emisja względna pojazdu zasilanego benzyną i CNG (wartość odniesiona do emisji pojazdu zasilanego benzyną)

zaznaczyć, że powyższe dane odnoszą się do jazdy pozamiejskiej.

Z przedstawionych wyników, m.in. z charakterystyk udziału czasu pracy pojazdu w danych przedziałach prędkości i przyspieszenia oraz charakterystyk natężenia emisji można obliczyć krotność zwiększenia/zmniejszenia emisji w rzeczywistych warunkach ruchu w stosunku do testu homologacyjnego. Wskaźnik emisyjności pojazdu (dla danego związku szkodliwego) zdefiniowano na podstawie (1), gdzie: j – związek szkodliwy, dla którego określono wskaźnik emisyjności, E_{rzecz,j} – natężenie emisji uzyskane w warunkach rzeczywistych ([g/s]), E_{NEDC,j} – natężenie emisji uzyskane w teście NEDC ([g/s]). Natężenie emisji w warunkach rzeczywistych można obliczyć wykorzystując charakterystykę rozkładu czasu jazdy pojazdu u(a,V) oraz charakterystykę natężenia emisji dla j-tego związku szkodliwego e_j(a,V) wyrażonego w gramach na sekundę (2).

Jeżeli brak jest informacji na temat emisji związków szkodliwych z pojazdu w teście NEDC, można przyjąć wartości dopuszczalne według normy toksyczności spalin Euro, która obowiązuje dla danego pojazdu. Wartości emisji dopuszczalnej dla danego związku podawane w g/km można przeliczyć na wartości natężenia emisji (w g/s), znając czas

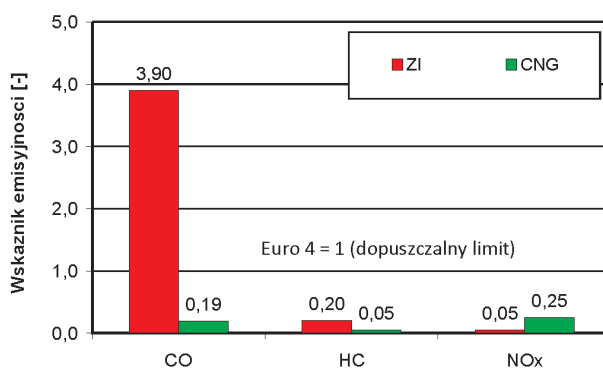


Fig. 16. Porównanie wskaźnika emisyjności pojazdu z wykorzystaniem danych o rzeczywistej emisji w teście NEDC lub przyjęciu wartości odpowiadającym wartościom dopuszczalnym według normy

Fig. 16. The comparison of the vehicle emission factor with the use of data on real on-road emission in the NEDC or assuming values corresponding to the admissible values according to the standard

(11,007 m) in the homologation test. The correlations served to determine the emission level factors of the tested vehicle (Fig. 16).

The obtained emission level factors for the vehicle fueled with gasoline and CNG characterize the exhaust emission level of a vehicle under road conditions as compared to the emission standards that the vehicle should comply with. The values of the CO emission factor for gasoline fueling ($k_{CO} = 3.9$) proves a significant (4 times) excess of the Euro 4 standard for this vehicle. The other values of the emission factor (for hydrocarbons and NO_x) are not in excess of the values set out in the exhaust emission regulations.

Paper reviewed/Artykuł recenzowany

trwania (1180 s) i pokonywany dystans (11 007 m) w teście homologacyjnym. Zależności takie posłużyły do wyznaczenia wskaźników emisyjności związków szkodliwych badanego pojazdu (rys. 16).

Uzyskane wskaźniki emisyjności dla pojazdu zasilanego benzyną i CNG charakteryzują emisyjność pojazdu w warunkach drogowych w odniesieniu do normy emisji spalin, którą pojazd powinien spełniać. Wartość wskaźnika emisji tlenku węgla dla zasilania benzyną ($k_{CO} = 3,9$) dowodzi znacznego (czterokrotnego) przekroczenia normy Euro 4 dla tego pojazdu. Pozostałe wartości wskaźnika emisji (dla węglowodorów i tlenków azotu) nie przekracza wartości ustalonych w przepisach toksyczności spalin.

Nomenclature/Skróty i oznaczenia

a	acceleration/przyspieszenie	NDIR	non-dispersive infrared/niedyspersyjny na podczerwień
CNG	compressed natural gas/sprężony gaz ziemny	NDUV	non-dispersive ultraviolet/niedyspersyjny na ultrafiolet
EOBD	european on board diagnostic/europejski system diagnostyki pokładowej	k	emission factor/wskaźnik emisyjności
Euro 4	European exhaust emission limit/europejskie normy toksyczności spalin	E	emission intensity/emisja sekundowa
FID	flame ionization detector/analizator płomieniowo-jonizacyjny	u	operating time share/udział czasu pracy
		NEDC	New European Driving Cycle/Nowy Europejski Test Jezdny

Bibliography/Literatura

- [1] Gao Y., Checkel M.D.: Emission Factors Analysis for Multiple Vehicles Using an On-Board, In-Use Emissions Measurement System. SAE Technical Paper Series 2007-01-1327.
- [2] Greening P.: European Light-Duty & Heavy Duty OBD – Legislative Update. On-Board Diagnostic Symposium: Light and Heavy Duty, 2007.
- [3] Jehlik H.: Challenge X 2008 – Hybrid Powered Vehicle On-Road Emissions Findings and Optimization Techniques: A 4 Year Summary. Sensors 5th Annual SUN (SEMTECH User Network) Conference, 25-26.09.2008.
- [4] Johnson K., Durbin T., Cocker D., Miller J., Agama R., Moynahan N., Nayak G.: On-Road Evaluation of a PEMS for Measuring Gaseous In-Use Emissions from a Heavy-Duty Diesel Vehicle. SAE Technical Paper Series 2008-01-1300.
- [5] Khair M., Khalek I., Guy J.: Portable Emissions Measurement for Retrofit Applications – The Beijing Bus Retrofit Experience. SAE Technical Paper Series 2008-01-1825.
- [6] Khalek I.: Status Update on the PM-PEMS Measurement Allowance Project. Sensors 5th Annual SUN (SEMTECH User Network) Conference, Ann Arbor 2008.
- [7] Korniski T., Gierczak C., Wallington T.: Laboratory Evaluation of the 2.5 Inch Diameter SEMTECH® Exhaust Flow Meter with Gasoline Fueled Vehicles. Sensors 4th Annual SUN (SEMTECH User Network) Conference, Ann Arbor 2007.
- [8] Merkisz J., Pielecha J., Gis. W.: Gasoline and LPG Vehicle Emission Factors in a Road Test. SAE Technical Paper Series 2009-01-0937.
- [9] Quan H.: ARB's Stockton Heavy-Duty Vehicle Laboratory and Portable Emission Monitoring System (PEMS) Activities. Sensors 5th Annual SUN (SEMTECH User Network) Conference, Ann Arbor 2008.
- [10] Tsinoglou D., Koltsakis G., Samaras Z.: Performance of OBD Systems for Euro 4 Level Vehicles and Implications for the Future OBD Legislation. [In:] Predelli O.: Onboard-Diagnose II, Expert Verlag, 2007.

Prof. Jerzy Merkisz, DSc., DEng. – Professor in the Faculty of Working Machines and Transportation at Poznan University of Technology.

Prof. Jerzy Merkisz – profesor na Wydziale Maszyn Roboczych i Transportu Politechniki Poznańskiej.

e-mail: Jerzy.Merkisz@put.poznan.pl



Mr. Jacek Pielecha, DEng. – doctor in the Faculty of Working Machines and Transportation at Poznan University of Technology.

Dr inż. Jacek Pielecha – adiunkt na Wydziale Maszyn Roboczych i Transportu Politechniki Poznańskiej.

e-mail: Jacek.Pielecha@put.poznan.pl

