

Andrzej KURANC

EXHAUST EMISSION TEST PERFORMANCE WITH THE USE OF THE SIGNAL FROM AIR FLOW METER

EKSPLOATACYJNE BADANIA EMISJI SPALIN Z WYKORZYSTANIEM SYGNAŁU Z PRZEPŁYWOMIERZA POWIETRZA*

The paper presents selected technical solutions in the area of exhaust emissions research conducted in real operational conditions of a vehicle. The author describes his own road emissions research methodology with the use of information about the air flow supplying an engine (OBD II) and the measured volumetric shares of particular fumes components (exhaust gas analyser). Test results confirm the possibility of applying this measurement method, and their analysis shows the inadequacy of the type-approval tests compared to the real operation of the vehicle.

Keywords: exhaust emission test, mobile systems, emissions of CO₂, driving tests.

W pracy omawiane są wybrane rozwiązania techniczne w zakresie badań emisji spalin w warunkach rzeczywistej eksploatacji pojazdu. Autor opisuje własną metodykę drogowych badań emisji spalin z wykorzystaniem informacji o wydatku powietrza zasilającego silnik (OBD II) i zmierzonych udziałów objętościowych poszczególnych składników (analyzer spalin). Wyniki badań potwierdzają możliwość stosowania opisanej metody pomiarowej, a ich analiza wskazuje ponadto na nieadekwatność testów homologacyjnych w odniesieniu do realnej eksploatacji pojazdu.

Słowa kluczowe: badania emisji spalin, mobilne systemy pomiarowe, emisja CO₂, testy jezdne.

1. Introduction

The high pace of the development of motorization, apart from its many advantages, creates ecological organic threats. The literature reports emphasize the significance of the negative impact of motorization on the environment, especially with regard to noise emission, the risk of heavy metals, as well as the ambient air quality which is treated as a priority [5, 22, 23]. In the general European profile ca. 20% of the anthropogenic emission of CO₂ come from transport sources. The adverse effect of internal combustion engines on the environment is determined, among others, by the estimation of harmful pollutants emission levels in relation to the limits set in the applicable legal acts [21]. For example, by 2012 the JRC (Joint Research Centre) had carried out tests in real road traffic conditions for 16 new vehicles from group of LDV (Light Duty Vehicle). The test results confirmed the fulfilment of the Euro 5 and Euro 6 requirements in almost all cases. The exception was the emission of NO_x from vehicles equipped with CI engines, which significantly exceeded the limits [21, 26]. Among others, it is due to the problem of controlling the engine in a vehicle. Indeed, it is difficult to achieve low fuel consumption and high power output with low emissions of NO_x and PM (Particle Matter).

New engines are initially tested at laboratory engine's dynamometer test-stands for exhaust emissions. Then the results are being analysed and then corrective control algorithm changes are introduced. After that further trials and adjustments are conducted, and then the following ones. So far such a procedure was satisfactory but the complexity of modern combustion engines controlling systems makes the optimization of engines more complicated [7, 12]. The examples of such systems with a high reduction potential in the area of NO_x and PM emissions and fuel consumption are engines based on compression ignition of homogeneous mixtures – HCCI (Homogeneous Charge Compression Ignition). They require precise controlling of

the variable valve timing, variable compression ratio, and especially, exhaust gas recirculation and direct fuel injection [7]. The interrelationship between the variable parameters makes it difficult to develop a coherent strategy.

The next step after the tests at an engine dynamometer is testing of the vehicle mounted engine at a chassis dynamometer, and finally testing it in real road traffic conditions. The latter tests provide a lot of information about the true impact of the vehicle on the environment the real emissions and fuel consumption. They, in fact, reflect the real conditions of the vehicles use [15–17, 24–26].

Vehicle manufacturers, ensuring compliance with emission standards, base mainly on the official driving cycles. Necessarily, they apply conditions for the measurements which inherently were to provide the base for vehicles evaluation. Unfortunately they differ from the conditions of the vehicles later real operation. That can lead to a distortion of the market image of the product, particularly from the point of view of its user.

An example of a very problematic research are tests of hybrid propulsion systems, whose parameters can be objectively verified only in traffic conditions [15].

The review of the literature on the subject of emissions testing in natural operation of vehicles [1, 12, 15–17] indicates that there are highly specialized measuring instruments, generally referred to PEMS (Portable Emission Measurement System), although they are very expensive. Road tests with the use of PEMS have shown that in the case of certain fumes ingredients their emissions are about a couple of hundred percent greater than the values encountered in the type-approval tests [13, 17].

The presented thesis led the author to conduct exhaust emissions tests under the conditions of vehicle real operation, but with the use of a simplified measuring method and commonly available equipment instead of the type-approval tests. The methodology of the research

(*) Tekst artykułu w polskiej wersji językowej dostępny w elektronicznym wydaniu kwartalnika na stronie www.ein.org.pl

and the preparation of a set of results is quite laborious but it allows to obtain information on emissions or fuel consumption. Additionally, it points out the possibility of constructing simplified systems or separate measuring devices that can be used in comparative studies.

2. Exploitation exhaust emission tests

Exhaust fumes tests with the use of a diagnostic gas analyser have been for years the basic type of emission tests which are done during the periodic technical inspection of a vehicle at a vehicle inspection station or at a workshop installing gas supplying systems (LPG or CNG). The so called four-compounds gas analysers are used for the measurements. They enable the user to determine the content of the exhaust gases: carbon monoxide (CO), carbon dioxide CO₂, oxygen O₂, hydrocarbons HC (sometimes an additional option is the measurement of nitric oxides NO_x) [10]. The devices of this type are also used in scientific research, examples of which are described in the literature [8, 9, 18, 19].

The homologation approval tests are much more complicated. They are conducted in laboratory chassis dynamometers and are based on special driving cycles, forming the basis for vehicles comparisons, as well as their assessment in relation to the adopted emission limits [1, 3, 13, 20]. In this case, the measuring apparatus is more complicated. Dilution tunnels are used for the exhaust gas sampling system maintaining a constant volume of samples – CVS (Constant Volume Sample), and heated measuring lines are applied to prevent the formation of condensate, while the detectors of gaseous components are adapted to their physical-chemical properties [1, 20].

The tests carried out in conditions of road traffic are the most desirable when we analyse the research for the information about the real fumes emission to the environment.

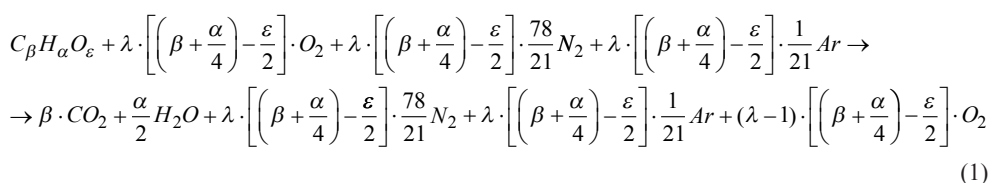
The author's own studies carried out during road trips, as well as presented in the literature [4, 11, 28] have shown that the registration of selected engine operating parameters via interface DLC (Data Link Connector) can be very useful for the evaluation of an engine operating conditions, and, in the case described by the author, also to calculate the quantity of emitted fumes and their harmful ingredients.

3. Research methodology

Due to the fact that the gas analyser measures the volumetric shares of selected exhaust components without the possibility of determining their rates of flow, there is a need to complete the system under construction with an element enabling the definition of the flow. Accordingly, DLC can be used to register the airflow passing through the intake manifold.

To determine the mass flow of a particular exhaust component, one must specify the volumetric shares of the major exhaust components, designate the relationship between volumetric and mass shares of the components, and make an assumption that the mass of the fumes is the sum of the mass of air and the mass of combusted fuel. In fact, the mass of the fumes is reduced by the mass of the (possible) condensate.

The information on volumetric shares of some components has been obtained as a result of the gas analyser measurement. However, the shares of N₂, H₂O and Ar were needed, too. To obtain that purpose the combustion reaction was examined (1).



where:

$C_{\beta}H_{\alpha}O_{\varepsilon}$ – fuel,

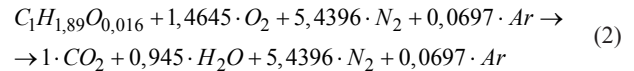
$\beta, \alpha, \varepsilon$ – molar ratio of carbon, hydrogen, oxygen to carbon in the hypothetical fuel molecule $C_{\beta}H_{\alpha}O_{\varepsilon}$,

λ – air excess coefficient,

O₂, N₂, Ar – selected air components,

CO₂, H₂O, O₂, N₂, Ar – selected exhaust components.

Literature data differ in indicating molecular composition of gasoline [7, 10, 20]. The substitute formula C₁H_{1,89}O_{0,016} has been finally accepted for the calculations [20]. It has been initially assumed that the spark-ignition engine combustion is stoichiometric ($\lambda = 1$), overall and total. Basing on the calculated coefficients at the combustion process products (2) their volumetric shares were determined.



This way we obtained: 12,68% – H₂O, 13,42% – CO₂, 72,97% – N₂ and 0,94% – Ar. These are the major components of the fumes of the gasoline engine working on the stoichiometric mixture. Unfortunately, there is no information about the emissions of other gases arising from the defects of the real combustion process. Simplifying, it can be assumed that their shares are relatively small and do not affect the next calculations significantly.

For further analysis calculated values of the volumetric shares of N₂ and Ar (2) were used, (a) and in the case of the other ingredients the measured values were utilized. The share of H₂O was treated as consequential.

It should be noticed that for the stoichiometric mixture the mass of emitted fumes is greater than the mass of utilized air by the mass of the fuel which is 1/14.28 of the mass of air. Finally, also minor changes of the air excess coefficient λ were included with the use of Bretschneider's formula (3) [10,20] and the measured volumetric shares of CO, CO₂, HC, O₂ and NO_x.

$$\lambda = \frac{c_{CO_2} + \frac{c_{CO}}{2} + c_{O_2} + \frac{c_{NO}}{2} + \left[\frac{\alpha}{4} \cdot \frac{3,5}{3,5 + \frac{c_{CO}}{c_{CO_2}}} - \frac{\varepsilon}{2} \right] \cdot (c_{CO_2} + c_{CO})}{\left[1 + \frac{\alpha}{4} - \frac{\varepsilon}{2} \right] \cdot (c_{CO_2} + c_{CO} + K1 \cdot c_{HC})}$$

(3)

where:

λ – air excess coefficient,

$C_{CO_2}, C_{CO}, C_{HC}, C_{O_2}, C_{NOx}$ – volumetric exhaust components shares [%],

For the calculation it has been assumed:

$\alpha = 1,89$ – molar ratio of hydrogen/carbon for the fuel,

$\varepsilon = 0,016$ – molar ratio of oxygen/carbon for the fuel

$K1 = 6$ – a conversion factor for the HC calculations from FID method (Flame Ionisation Detector) to NDIR (Non-Dispersive Infrared) [20].

Next, the formula determining the relationship between the fumes outlay and the outlays of given components has been set (4).

$$q_i = q_{air} \cdot \left(1 + \frac{1}{\lambda \cdot AFR} \right) \cdot x_{mi}$$

(4)

q_i – mass outlay of the i-th component [g·s⁻¹],

q_{air} – mass outlay of the air [g·s⁻¹],

Table 3. Toxic exhaust gas components emission limits for the tested vehicle [21]

Curb weight kg	Engine type	Fuel	Emission limits mg/km				Validity
			CO	NMHC	HC	NO _x	
below 2620	PI, MPI	petrol, natural gas, liquefied petroleum gas	1000	68	100	60	type approval from 01.09.2009.

x_{mi} – mass share of the i-th component [-].

To complement the formula (5), the relationship between the volumetric and mass shares of particular components was specified with the use of their molar masses:

$$x_{mi} = \frac{c_i \cdot \mu_i}{\sum_{j=1}^{j=n} c_j \cdot \mu_j} \quad (5)$$

where:

c_i – volumetric share of the i-th component [-]
 μ_i – molar mass of the i-th component [g·mol⁻¹]

$$\sum_{j=1}^{j=n} c_j \cdot \mu_j = \mu_{CO} \cdot c_{CO} + \mu_{HC} \cdot c_{HC} + \mu_{CO_2} \cdot c_{CO_2} + \mu_{O_2} \cdot c_{O_2} + \mu_{NO_x} \cdot c_{NO_x} + \mu_{N_2} \cdot c_{N_2} + \mu_{Ar} \cdot c_{Ar} + \mu_{H_2O} \cdot (1 - (c_{CO} + c_{HC} + c_{CO_2} + c_{O_2} + c_{NO_x} + c_{N_2} + c_{Ar})) \quad (6)$$

Table 1. Molar mass of selected fumes components expressed in [g·mol⁻¹]

$\mu_{CO} = 28,01$	$\mu_{CO_2} = 44,009$	$\mu_{O_2} = 31,999$	$\mu_{H_2O} = 18,015$
$\mu_{HC} = 86,202^{(1)}$	$\mu_{NO_x} = 38,006^{(2)}$	$\mu_{N_2} = 28,013$	$\mu_{Ar} = 39,948$

¹ – data for hexane C₆H₁₄, ² – data for NO_x in composition (NO – 50% NO₂ – 50%)

The presented dependences were used for further calculations and, thanks to that, the emissions of selected fumes components were obtained for urban driving conditions.

Table 2. Toyota Verso MPV Facelift 1.8 Valvematic 147 HP [29]

Fuel consumption	EU Directive 80/1268 to 1999/100 EC
- average - combined	6,8 l/100km
- on the road (highway)	5,7 l/100km
- town	8,7 l/100km
CO ₂ emission	158 g/km
emission standard	Euro 5
fuel	petrol fuel 95
curb weight	1430-1525kg (1500kg)
engine	2ZR-FAE
number and cylinders arrangement	4, rzedowy
valves	16 v, DOHC, Valvematic
fuel injection system	MPI
displacement	1798 cm ³
maximum engine power	108 kW (147 HP) by 6400 rpm
maximum torque	180 Nm, by 4000 rpm
year model	2013
drive type, transmission axle	front axle drive, 6 gear, manual
maximum speed	190 km/h
acceleration (0 do 100km/h)	10,4 s

3.1. Object of research

The object used in tests was the new vehicle of Toyota make, model Corolla Verso 2013 with a mileage of 16500 km, equipped with a multipoint fuel injected gasoline engine 2ZR-FAE with a variable valve timing system Valvematic [29] and a system EOBD (European On Board Diagnosis) and DLC enabling the connection of an engine's performance data recorder.

Before the vehicle was introduced to the market it had been subjected to the type-approval tests, as a result of which, the conformity with the requirements of the emission standard Euro 5 had been proven. The limits for this vehicle are presented in table 3.

Tab. 3. Toxic exhaust gas components emission limits for the tested vehicle [21]

3.2. Measurement instruments

The main devices used in the research were: MGT5 exhaust gas analyser of MAHA make classified in class 0 according to OIML (Organisation Internationale de Métrologie Légale), an engine data recorder and a phone with a GPS receiver to record the data of the route travelled.



Fig. 1. View of MGT5 analyser prepared for tests

Table 4. Selected technical data of MGT5 analyser [10]

Measured parameter	Measurement method	Range	Resolution indications
carbon monoxide CO	NDIR	0-15% vol.	0,001%
carbon dioxide CO ₂	NDIR	0-20 % vol.	0,01%
hydrocarbons HC	NDIR	1). 0 - 4000 ppm	0,1 ppm
hydrocarbons HC	NDIR	2). 0 - 20000 ppm	1 ppm
oxygen O ₂	electrochemical	0-15 % vol.	0,01%
	electrochemical	4-25 % vol.	0,01%
nitric oxides NO _x	electrochemical	0-5000 ppm	1 ppm
λ	computing	0,5-9,99	0,01

Table 5. Selected technical parameters of the recorder OBD Log [28]

Vehicle interface	EOBD, 16 pin socket
Supported protocols EOBD	J1850-41.6, J1850-10.4, ISO9141-2 K/L, ISO 11898
Power	DLC connector OBD, USB from PC
Sampling frequency	1 second
Working time	up to 90 hours
Operating temperature	-40°/+85°C

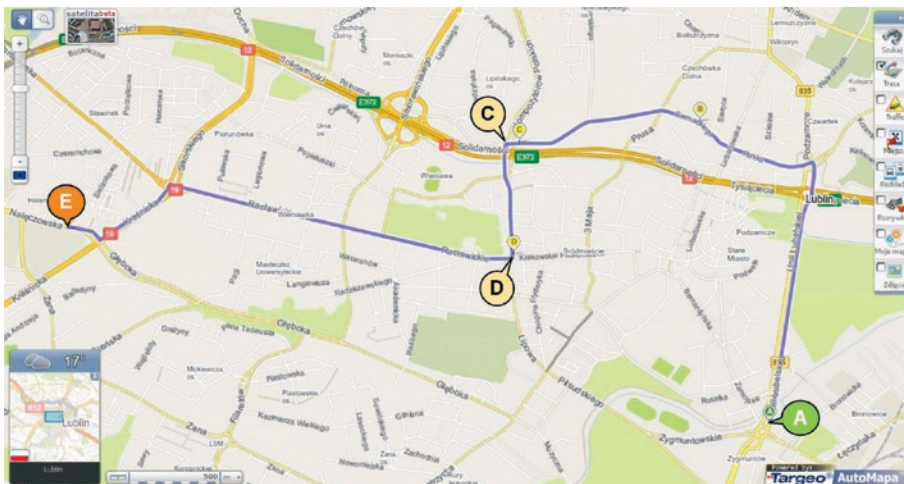


Fig. 2. The route plan for the urban driving measurement [27]

To read and record the selected parameters of the engine the device called OBD Log of Texa make was used whose basic data are listed in Table 5.

3.3. Measurements in road conditions

Driving was carried out in a manner adapted to other road users while driving in Lublin on a route of 6.95 km length with the average speed of $v = 25.8$ km/h. The starting route point (A) (Fig. 2) is located at an altitude of about 168 meters above sea level, and its end point (E) is about 50 meters higher. The greatest gradient of altitude changes is located in the middle part of the route, between points C and D (approx. 30 m). Temperature, atmospheric pressure and relative humidity average levels were 18°C, 981 hPa and 67% respectively. The vehicle was

loaded with its own mass, the mass of the measurement equipment, a driver and a passenger. Before the drive, the test object had been weighed on a car scales and the total mass of 1726 kg had been noted. At the beginning of the drive the engine of the vehicle was warmed up.

Similar tests have been also carried out for suburban driving. However, due to their more stable nature only the urban test has been presented.

4. Results of research

Knowing the changes of the mass expenditure of the individual components of exhaust fumes as functions of time, as well as the route length and the travel time, emissions can be expressed in g/km, just like for the type-approval tests (Table 3). However, to make it possible, it is necessary to measure and record the air flow and volumetric shares of the fumes components.

Due to the length of the gas analyser measuring pipe, its current indications concern the previous status of the engine from a few seconds before. For the accuracy of the emission calculations it is therefore significant to properly adjust the results recorded by the analyser and the air flow data. After the synchronization of the data it can be assumed, due to the accuracy of the measurement equipment and sensors, that the error of this method will not exceed a few percent and its value will be decreasing as the speed of driving will stabilize.

Figure 3 illustrates the values of fumes shares against the running speed and the mass air flow. The relationship of the air flow and the running speed is connected with the engine load and its rotational speed. Changes in volumetric shares also correlate with engine load. However, they are not so strong as air flow changes which have a significant impact on the emissions scale.

The effects of calculations based on the methodology described in chapter 3 are presented in Figure 4. In this case, the increase of exhausted gaseous amounts accompanying the increase of engine load, for example during acceleration, it is clearly visible. It is especially clear in the case of CO emission analysis, which is observed just during acceleration. It is near zero while driving without acceleration, which is represented by the flat nature of the CO emission curve (Fig. 4) observed in those periods.

The mass of the exhaust gases emitted in the test is presented in another bar chart (Fig. 5).

The results of the calculations show that during the test, the car's engine emitted nearly 7,5 kg exhausts, in which 1,48 kg was carbon di-

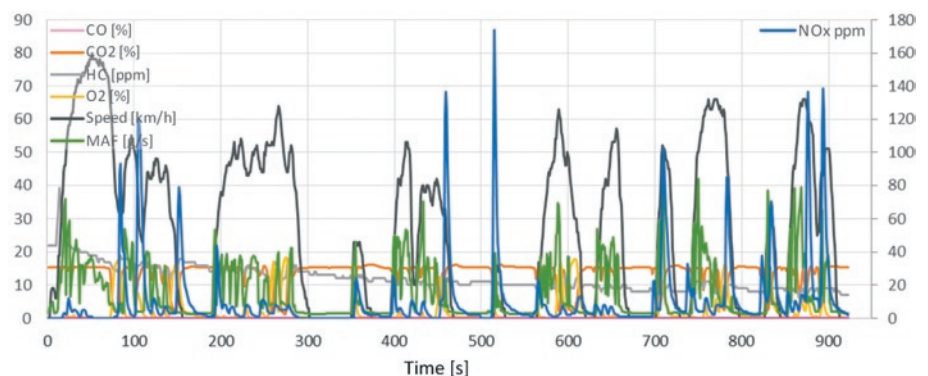


Fig. 3. The volumetric shares of selected fumes components registered during the urban drive against the running speed

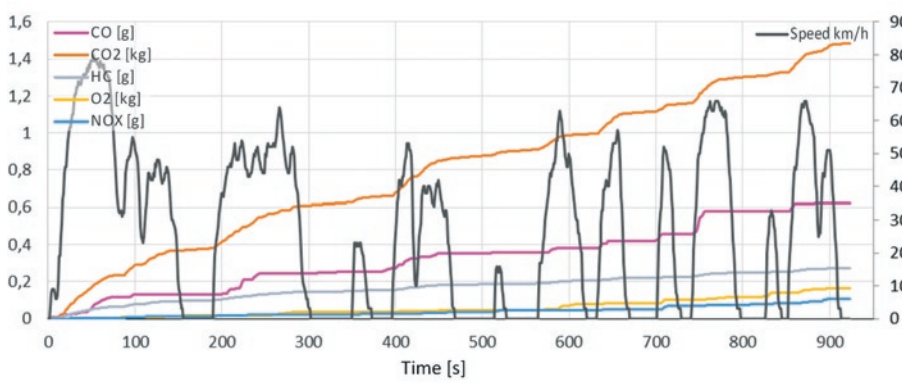


Fig. 4. The chart of cumulative emissions of selected fumes components obtained on the basis of the registered fumes composition

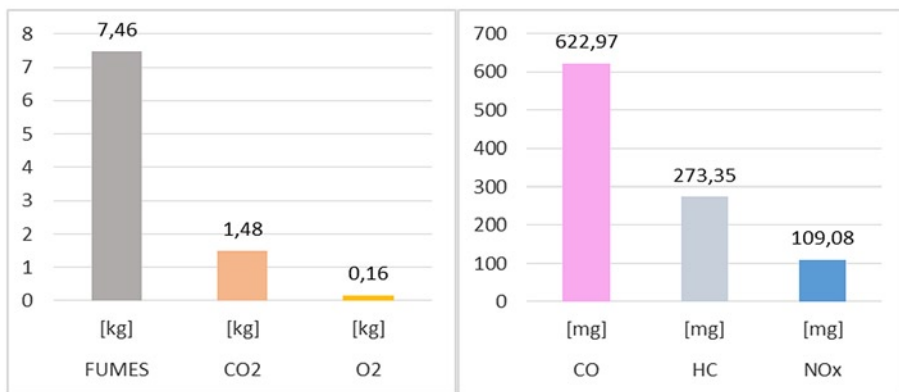


Fig. 5. Mass emissions of selected components of exhaust gases during the test

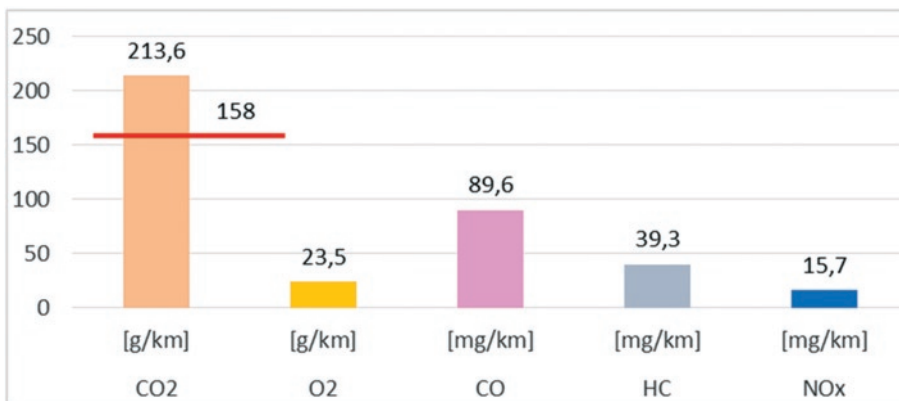


Fig. 6. The emissions of the selected components of exhausts during the test per kilometre

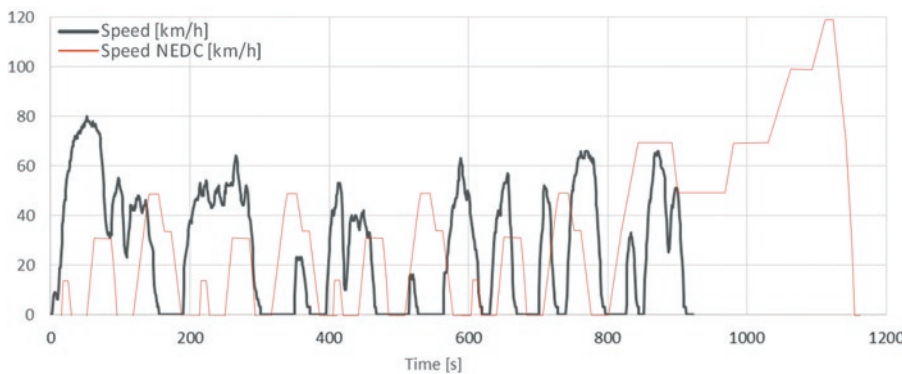


Fig. 7. The speed runs in the performed test and in NEDC

xide. Carbon monoxide emission was 623 mg, hydrocarbons ca 273 mg and nitric oxides ca 109 mg. This information is not clear without the reference to the distance travelled. Figure 6 is the supplement which allows the reader further evaluation. Therefore, it can be concluded that 213.6 g/km of carbon dioxide were issued in the test and the value (Fig. 6) is 35% bigger than the one obtained in the approval-test (Table. 2), while the emissions of toxic exhaust substances do not exceed the allowable standard values [21].

CO₂ emission, higher by more than 35%, is the result of a different than NEDC driving test. The test has been executed in conditions differing from the NEDC conditions due to the character of driving in a given agglomeration.

In the described case there are different vehicle properties and different moving resistances associated with them. Larger values of speed and its local fluctuations (Fig. 7) as well as higher vehicle weight (1726 kg) and hill route (average $w = 0.7\%$) contribute to an increase of the engine's load and CO₂ emission. On the other hand, it should be noted that the test was implemented at the hot engine without the cold phase which would certainly additionally increase the emissions of CO₂ and CO and HC.

5. Summary and conclusions

The research and its results described in the paper confirm the possibility of the use of simplified method to exam the emission in a normal exploitation of a vehicle. However, the obtained data show that the real operation of the vehicle in an urban environment differs significantly from the specific nature of the NEDC test. (Fig. 7).

Comparing vehicles on the basis of such a test also seems to be an imperfect approach because it does not include full loads of an engine. The driver who controls a dynamic engine will surely try to use its power when fighting for a better position at the lights.

Hence there is a need for tests which also include situations where there occurs an acceleration with a maximum intensity, accompanied by random disturbances and operating states of an engine difficult to represent in a laboratory. Therefore, it should be emphasized that the road tests show the most accurately the real nature of the work of an engine work and its impact on the environment. The literature data confirm the need for changes in that area and indicate their tendencies [2, 6, 24].

Based on the analysis of the subject and the presented results of the research, the following conclusions can be made:

- the study described in the paper confirm that the emission measurements are possible with the use of a diagnostic gas analyser and signals available from EOBD via DLC,
- exhaust emissions measured in actual road conditions can significantly vary from the limits specified for the type-approval test performed in a laboratory (213 g/km vs 158 g/km),

- the presented research methodology and the results preparation are quite laborious but they show the possibility of constructing similar measurement systems that enable the user an automatic calculation and results registration for the quantitative exhaust emissions,
- the approval-tests such as NEDC can contribute misunderstandings, because vehicle users will nearly never reach the fuel consumption (CO₂ emission) at such a low level that is stated for the approval-test.

References

1. Bielaczyc P, Szczotka A, Pajdowski P, Woodburn J. Development of automotive emissions testing equipment and test methods in response to legislative, technical and commercial requirements. *Combustion Engines*. 2013; (1):28-41.
2. Bonnel P, Kubelt J. Heavy-duty engines conformity testing based on PEMS – Lessons learned from the European pilot program. EUR Draft report. EC-JRC. Ispra, Italy. 2010.
3. Chłopek Z, Biedrzycki J, Lasocki J, Wójcik P. Emisja zanieczyszczeń z silnika samochodu w testach jezdnych symulujących rzeczywiste użytkowanie trakcyjne. *Zeszyty Naukowe Instytutu Pojazdów* 2013; (92)1:67-76.
4. Cieślakowski B. Monitorowanie układu odprowadzania par paliwa. *AUTOBUSY*. 2011; (10):106-113.
5. Exceedance of air quality limit values in urban areas (CSI 004) - Assessment published Oct 2013. EEA – European Environmental Agency. Source: <http://www.eea.europa.eu>. Accessed: 31 June 2014.
6. Gautam M. In-Use, On-Road Emissions Testing of Heavy-Duty Diesel Vehicles: Challenges and Opportunities. Source: <http://epa.gov/air/caaac/mstrs/gautam.pdf>. Accessed: 11 July 2014.
7. Hunicz J. An experimental study of negative valve overlap injection effects and their impact on combustion in a gasoline HCCI engine. *FUEL* 2014, Part A; (117):236-250.
8. Kuranc A, Tarasińska J. The analysis of significance level of relation between ambient temperature and exhaust emission in the initial term of SI engine work. *Teka Komisji Motoryzacji i Energetyki Rolnictwa*. 2009; (9): 145-154.
9. Kuranc A. A continuous measurement of CO, CO₂, HC and NO_x at the work of a combustion engine fed with petrol in unstable thermal conditions. *Teka Komisji Motoryzacji i Energetyki Rolnictwa*. 2005; (5): 107-115.
10. MAHA Maschinenbau Haldenwang GmbH & Co. KG. Technical Handbook Motor Gas Tester MGT 5 Five-Gas Tester. 1999.
11. Mamala J, Broł S, Jantos J. Parametry pracy silnika spalinowego w teście drogowym. *Silniki Spalinowe*. 2011; (3):45-52.
12. Martini E, Coghlan N. Emissions calibration yesterday, today, tomorrow. 3rd International Exhaust Emission Symposium. Current and Future trends in automotive emissions, fuels, lubricants and test methods – 2012, BOSMAL, 24-25 May 2012, Bielsko-Biała, Poland, ISBN 978-83-931383-2-6.
13. Mazanek A. Badania porównawcze emisji toksycznych składników gazów wylotowych z silnika o zapłonie samoczynnym zasilanego ON i B10. *Nafta - Gaz* 2010; 66 (9): 835-840.
14. Merksiz J, Lijewski P, Fuć P, Weymann S. Exhaust emission tests from non-road vehicles conducted with the use of PEMS analyzers. *Eksplatacja i Niezawodność - Maintenance and Reliability* 2013; 15 (4): 364-368.
15. Merksiz J, Pielecha I, Pielecha J, Brudnicki K. Ekologiczność pojazdów z systemem Start/Stop w rzeczywistych warunkach ruchu miejskiego. *Logistyka* 2010; (6), CD-ROM
16. Merksiz J, Pielecha J, Gis W. Gasoline and LPG Vehicle Emission Factors in a Road Test, SAE Technical Paper Series, 2009-01-10937, 2009.
17. Merksiz J. Real Road Tests – Exhaust Emission Results from Passenger Cars. *Journal of KONES Powertrain and Transport*. 2011;18 (3): 253-260.
18. Niewczas A, Antol M. Automotive environmental pollution - investigation of toxic emissions from the vehicles operated in the city of Lublin. Part 2. *Eksplatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability* 2002; 13 (1): 13-24.
19. Niewczas A, Potapczuk P. Gas fumes environmental contamination - testing the emission of exhaust gas toxic components of the vehicles used in the site of Lublin. Part 1. *Eksplatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability* 1999; 1 (1): 15-24.
20. Regulamin nr 83 EKG ONZ – Jednolite przepisy dotyczące homologacji pojazdów w zakresie emisji zanieczyszczeń w zależności od paliwa zasilającego silnik. *Dz. U. UE L42*, Tom 55, 15 lutego 2012.
21. Regulation (EC) No. 715/2007 of the European Parliament and of the Council of 20 June 2007 on type approval of motor vehicles with respect to emissions from light passenger and commercial vehicles (Euro 5 and Euro 6) and on access to vehicle repair and maintenance information. *Official Journal of the EU L* 171:1-16.
22. Szyszlak-Bargłowicz J, Słowik T, Zajac G, Piekarski W. Inline Plantation of Virginia Mallow (*Sida hermaphrodita* R.) as Biological Acoustic Screen. *Annual Set The Environment Protection*. 2013; (1): 538-550.
23. Szyszlak-Bargłowicz J, Słowik T, Zajac G, Piekarski W. Metale ciężkie w rowach odwadniających ciągów komunikacyjnych. *Annual Set The Environment Protection*. 2013; (3): 2309–2323.
24. Vlachos T, Bonnel P, Perujo A, Weiss M. et al. In-Use Emissions Testing with Portable Emissions Measurement Systems (PEMS) in the Current and Future European Vehicle Emissions Legislation: Overview, Underlying Principles and Expected Benefits. *SAE Int. J. Commer. Veh.*; 2014; 7(1):199-215.
25. Vojtisek-Lom M, Fenkl M, Dufek M, Mareš J. Off-cycle, real-world emissions of modern light duty diesel vehicles. 2009: SAE 2009-24-0148.
26. Weiss M, Bonnel P, Hummel R, Manfredi U, Colombo R, Lanappe G, Le Lijour P, Sculati M. Analyzing on-road emissions of light-duty vehicles with Portable Emission Measurement Systems (PEMS). *JRS scientific and Technical Reports JRC62639, EUR 24697 EN* – 2011.
27. www.targeo.pl
28. www.texapoland.pl
29. www.toyota.pl

Andrzej KURANC

Department of Power Engineering and Vehicles

University of Life Sciences in Lublin

ul. Głęboka 28, 20-612 Lublin, Poland; e-mail: andrzej.kuranc@up.lublin.pl

Dr inż. Andrzej Kuranc

Katedra Energetyki i Pojazdów
Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie
ul. Głęboka 28, 20-612 Lublin
E-mail: andrzej.kuranc@up.lublin.pl

EKSPLLOATACYJNE BADANIA EMISJI SPALIN Z WYKORZYSTANIEM SYGNAŁU Z PRZEPEŁYWOMIERZA POWIETRZA

EXHAUST EMISSION TEST PERFORMANCE WITH THE USE OF THE SIGNAL FROM AIR FLOW METER

Słowa kluczowe: *badania emisji spalin, mobilne systemy pomiarowe, emisja CO₂,
testy jezdne*

Streszczenie: W pracy omawiane są wybrane rozwiązania techniczne w zakresie badań emisji spalin w warunkach rzeczywistej eksploatacji pojazdu. Autor opisuje własną metodykę drogowych badań emisji spalin z wykorzystaniem informacji o wydatku powietrza zasilającego silnik (OBD II) i zmierzonych udziałów objętościowych poszczególnych składników (analyzer spalin). Wyniki badań potwierdzają możliwość stosowania opisanej metody pomiarowej, a ich analiza wskazuje ponadto na nieadekwatność testów homologacyjnych w odniesieniu do realnej eksploatacji pojazdu.

1. Wstęp

Wysokie tempo rozwoju motoryzacji oprócz szeregu zalet pociąga za sobą zagrożenia ekologiczne. Doniesienia literaturowe podkreślają istotność negatywnego oddziaływania motoryzacji na środowisko przyrodnicze szczególnie w zakresie emisji hałasu, zagrożenia metalami ciężkimi, jak również jakości powietrza atmosferycznego, która jest traktowana priorytetowo [5,22,23]. W ogólnym bilansie europejskim ok. 20 % antropogenicznej emisji CO₂ pochodzi ze źródeł transportowych. Szkodliwe działanie silników spalinowych na środowisko naturalne określane jest między innymi poprzez ocenę poziomu emisji szkodliwych zanieczyszczeń w odniesieniu do limitów określonych w obowiązujących aktach prawnych [21]. Dla przykładu, do roku 2012 JRC (Joint Research Centre) przeprowadziło badania emisji w rzeczywistych warunkach ruchu dla 16 nowych pojazdów z grupy LDV (Light Duty Vehicle). Wyniki badań potwierdziły spełnienie wymagań norm Euro 5 i Euro 6 prawie we wszystkich przypadkach, wyjątek stanowiła emisja NO_x z pojazdów z silnikami ZS, która znacząco przekraczała dopuszczalne limity [21,26]. Związane jest to między innymi z problematyką regulacji silnika w pojeździe. Trudno jest bowiem osiągnąć niskie zużycie paliwa i wysoką moc przy jednoczesnej niskiej emisji NO_x, czy PM (Particle Matter).

Ze względu na emisję spalin nowe rozwiązania silników badane są wstępnie na stanowisku hamowni silnikowej. Następnie dokonywana jest analiza ich wyników i wprowadzane są zmiany korygujące w algorytmie sterowania. Następnie przeprowadzane są kolejne próby i korekty, a po nich następne. Do niedawna taka procedura była zadowalająca, jednakże złożoność nowoczesnych systemów sterowania silnikami spalinowymi sprawia, że ich optymalizacja staje się bardziej skomplikowana [7,12]. Przykładem takich systemów o dużym potencjale w zakresie obniżenia emisji NO_x i PM oraz zużycia paliwa są silniki bazujące na samozapłonie mieszanek jednorodnych HCCI (Homogeneous Charge Compression Ignition). Wymagają one precyzyjnego sterowania zmiennymi fazami rozrządu,

stopniem sprężania, a przede wszystkim recyrkulacją spalin i bezpośrednim wtryskiem paliwa [7]. Wzajemne powiązania między zmiennymi parametrami sprawiają, że trudno jest o wypracowanie spójnej strategii.

Kolejnym etapem po badaniach na stanowisku hamowni silnikowej są badania silnika w pojeździe na stanowisku hamowni podwoziowej, a na koniec w warunkach ruchu drogowego. Te ostatnie dają najwięcej informacji na temat rzeczywistego oddziaływania pojazdu na środowisko oraz faktycznej emisji spalin i zużycia paliwa, odzwierciedlają bowiem realne warunki eksploatacji pojazdu [15-17,24-26].

Producenci pojazdów, dbając o spełnienie wymagań emisyjnych, bazują głównie na oficjalnych testach jezdnych. Siłą rzeczy stosują warunki pomiarów, które z założenia miały zapewniać bazę do oceny pojazdów, ale niestety odbiegają od warunków późniejszej rzeczywistej ich eksploatacji. Może to prowadzić do zniekształcenia obrazu oferowanego produktu, szczególnie z punktu widzenia jego użytkownika.

Przykładem wyjątkowo problematycznych badań są badania hybrydowych układów napędowych, których parametry mogą być obiektywnie weryfikowane jedynie w warunkach ruchu drogowego [15].

Przegląd literatury w tematyce badań emisji w warunkach naturalnej eksploatacji pojazdów [1,12,14-17] wskazuje, że dostępna jest wysoce wyspecjalizowana aparatura pomiarowa, określana ogólnie jako PEMS (Portable Emission Measurement System), jednakże jest ona bardzo kosztowna. Badania drogowe z wykorzystaniem PEMS wykazują, że w przypadku niektórych składników spalin ich emisja jest o kilkaset procent większa niż w dla badań homologacyjnych [13,17].

Zaprezentowana teza skłoniła autora do przeprowadzenia badań emisji spalin w warunkach eksploatacji pojazdu, ale z wykorzystaniem uproszczonej w odniesieniu do badań homologacyjnych metody pomiarowej oraz ogólnie dostępnego sprzętu. Metodyka badań oraz opracowanie kompletu wyników jest dosyć pracochłonne, lecz umożliwia uzyskanie informacji nt. emisji lub zużycia paliwa. Ponadto wskazuje na możliwość konstrukcji uproszczonych systemów lub odrębnych urządzeń pomiarowych, które mogą znaleźć zastosowanie w badaniach porównawczych.

2. Eksploatacyjne badania emisji spalin

Badania emisji spalin z wykorzystaniem analizatora diagnostycznego są od lat jednym z podstawowych rodzajów badań emisji, które realizuje się podczas okresowego przeglądu technicznego pojazdu na stacji kontroli lub w warsztacie samochodowym dokonującym instalacji systemu zasilania gazem (LPG lub CNG). Do pomiarów używane są czteroskładnikowe analizatory spalin. Umożliwiają one określenie w spalinach zawartości: tlenku węgla CO, dwutlenku węgla CO₂, tlenu O₂, węglowodorów HC (czasami dodatkową opcją jest pomiar tlenków azotu NO_x) [10]. Urządzenia tego typu są wykorzystywane także w badaniach naukowych, czego przykłady opisano w literaturze [8,9,18,19].

Zdecydowanie bardziej skomplikowane są badania homologacyjne. Są one realizowane w laboratoryjnych hamowniach podwoziowych w oparciu o specjalne cykle jezdne, stanowiące podstawę do porównań pojazdów, jak również ich oceny w odniesieniu do przyjętych limitów emisji spalin [1,3,13,20]. W tym przypadku aparatura pomiarowa jest bardziej skomplikowana. Stosuje się tunele rozcieńczające dla spalin przy zachowaniu systemu próbkowania o stałej objętości CVS (Constant Volume Sample) oraz korzysta się z podgrzewanych torów pomiarowych, zapobiegających powstawaniu skroplin, natomiast detektory obecności badanych składników dostosowane są do ich właściwości fizykochemicznych [1,20].

Ze względu na dane o rzeczywistej emisji spalin do otaczającego nas środowiska najbardziej pożądane są testy realizowane w warunkach ruchu drogowego.

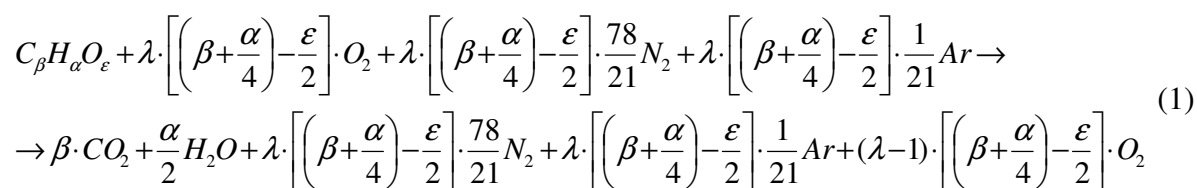
Wcześniejsze badania własne realizowane podczas prób drogowych, a także prezentowane w literaturze [4,11,28] wykazały, że rejestracja poszczególnych parametrów pracy silnika za pośrednictwem złącza DLC (Data Link Connector) może być bardzo przydatna do oceny warunków pracy silnika, a w opisywanym przez autora przypadku również do obliczeń ilościowych emitowanych przez niego spalin i ich szkodliwych składników.

3. Metodyka badań

Z uwagi na fakt, iż analizator spalin mierzy udziały objętościowe wybranych składników spalin bez możliwości określania ich wydatku, należy budowany system uzupełnić o element umożliwiający jego określenie. W związku z tym można poprzez DLC zarejestrować wydatek powietrza przepływającego przez kolektor dolotowy.

Aby wyznaczyć wydatek masowy danego składnika spalin należy określić udziały objętościowe głównych składników spalin, wyznaczyć ich relacje w odniesieniu do udziałów masowych oraz przyjąć, że masa spalin jest sumą masy powietrza i masy paliwa poddanego procesowi spalania. W rzeczywistości masa spalin jest mniejsza o masę (ewentualnie) wykroplonych składników.

Informacje na temat udziałów objętościowych kilku składników uzyskano w wyniku pomiaru analizatorem, jednakże potrzebne były także dane na temat udziałów N_2 , H_2O i Ar. W tym celu przeanalizowano reakcję procesu spalania (1).



gdzie:

$C_{\beta}H_{\alpha}O_{\varepsilon}$ – paliwo,

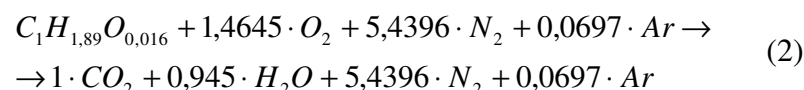
$\beta, \alpha, \varepsilon$ – stosunek molowy węgla, wodoru, tlenu do węgla w zastępczej cząsteczce paliwa $C_{\beta}H_{\alpha}O_{\varepsilon}$,

λ – współczynnik nadmiaru powietrza,

O_2, N_2, Ar – wyodrębnione składniki powietrza,

CO_2, H_2O, O_2, N_2, Ar – wyodrębnione składniki spalin.

Dane literaturowe różnie wskazują skład cząsteczkowy benzyn [7,10,20]. Do obliczeń ostatecznie przyjęto zastępczy wzór $C_1H_{1,89}O_{0,016}$ [20]. Wstępnie przyjęto, że dla silnika o zapłonie iskrowym spalanie przebiega stechiometrycznie ($\lambda = 1$) i jest spalaniem całkowitym i zupełnym. Na podstawie wyznaczonych współczynników przy produktach procesu spalania (2) określono ich udziały objętościowe.



Tym sposobem uzyskano: 12,68% - H_2O , 13,42% - CO_2 , 72,97% - N_2 i 0,94% - Ar. Są to główne składniki spalin silnika zasilanego benzyną i pracującego na mieszance stechiometrycznej. Niestety nie ma tu informacji o emisji innych składników spalin powstających w wyniku niedoskonałości przebiegu rzeczywistego procesu spalania. Upraszczając przyjęto, że ich udział jest stosunkowo niewielki i nie wpływa w znaczący sposób na dalsze kalkulacje.

Do dalszych analiz wykorzystywano obliczane wartości udziałów objętościowych N₂ i Ar (2), a w przypadku pozostałych składników posłużono się danymi pomiarowymi. Udziały H₂O potraktowano jako wynikowe.

Należy zauważyć, że dla mieszanki stechiometrycznej masa emitowanych spalin jest większa od masy powietrza o masę podawanego paliwa, która stanowi 1/14,28 masy powietrza. Ostatecznie uwzględniono również niewielkie zmiany współczynnika nadmiaru powietrza λ wykorzystując wzór Brettschneidera (3) [10,20] oraz zmierzone udziały objętościowe CO, CO₂, HC, O₂ i NO_x.

$$\lambda = \frac{c_{CO_2} + \frac{c_{CO}}{2} + c_{O_2} + \frac{c_{NO}}{2} + \left[\frac{\alpha}{4} \cdot \frac{3,5}{3,5 + \frac{c_{CO}}{c_{CO_2}}} - \frac{\varepsilon}{2} \right] \cdot (c_{CO_2} + c_{CO})}{\left[1 + \frac{\alpha}{4} - \frac{\varepsilon}{2} \right] \cdot (c_{CO_2} + c_{CO} + K1 \cdot c_{HC})} \quad (3)$$

gdzie:

λ - współczynnik nadmiaru powietrza,

$c_{CO}, c_{CO_2}, c_{HC}, c_{O_2}, c_{NO_x}$ – udziały objętościowe składników spalin [%],

Do obliczeń przyjęto:

$\alpha = 1,89$ – stosunek molowy wodoru do węgla w paliwie

$\varepsilon = 0,016$ – stosunek molowy tlenu do węgla w paliwie

$K1 = 6$ – współczynnik przeliczeniowy dla HC z pomiaru wg metody FID (Flame Ionisation Detector) na NDIR (Non-Dispersive Infrared) [20].

Następnie wyznaczono zależność określającą wydatek spalin i wydatki poszczególnych składników (4).

$$q_i = q_{air} \cdot \left(1 + \frac{1}{\lambda \cdot AFR} \right) \cdot x_{mi} \quad (4)$$

q_i – masowy wydatek i-tego składnika [g·s⁻¹],

q_{air} – masowy wydatek powietrza [g·s⁻¹],

x_{mi} – udział masowy i-tego składnika [-].

Uzupełniając zapisy w oparciu o zależność (5) określono relacje pomiędzy udziałami objętościowymi i masowymi poszczególnych składników wykorzystując ich masy molowe.

$$x_{mi} = \frac{c_i \cdot \mu_i}{\sum_{j=n}^{j=1} c_j \cdot \mu_j} \quad (5)$$

gdzie:

c_i – udział objętościowy i-tego składnika [-]

μ_i – masa molowa danego składnika [g·mol⁻¹]

$$\sum_{j=n}^{j=1} c_j \cdot \mu_j = \mu_{CO} \cdot c_{CO} + \mu_{HC} \cdot c_{HC} + \mu_{CO_2} \cdot c_{CO_2} + \mu_{O_2} \cdot c_{O_2} + \mu_{NO_x} \cdot c_{NO_x} + \mu_{N_2} \cdot c_{N_2} + \mu_{Ar} \cdot c_{Ar} + \mu_{H_2O} \cdot (1 - (c_{CO} + c_{HC} + c_{CO_2} + c_{O_2} + c_{NO_x} + c_{N_2} + c_{Ar})) \quad (6)$$

Tab. 1. Masa molowa wybranych składników spalin wyrażona w [g·mol⁻¹]

$\mu_{CO}= 28,01$	$\mu_{CO_2}= 44,009$	$\mu_{O_2}= 31,999$	$\mu_{H_2O}= 18,015$
$\mu_{HC}= 86,202$ ⁽¹⁾	$\mu_{NO_x}= 38,006$ ⁽²⁾	$\mu_{N_2}= 28,013$	$\mu_{Ar}= 39,948$

¹ – dane dla heksanu C₆H₁₄, ² – dane dla NO_x w składzie (NO - 50%, NO₂ - 50%)

Opisane w ten sposób zależności wykorzystano do dalszych obliczeń i dzięki temu wyznaczono emisję poszczególnych składników spalin w warunkach jazdy miejskiej.

3.1. Obiekt badań

Obiektem badań był nowy pojazd marki Toyota Corolla Verso z roku 2013 o przebiegu 16500 km, wyposażony w silnik benzynowy 2ZR-FAE o wtrysku wielopunktowym i zmiennych fazach rozrządu Valvematic [29], wyposażony w system EOBD i złącze DLC umożliwiające podłączenie rejestratora parametrów pracy silnika.

Tab. 2. Toyota Verso Minivan Facelifting 1.8 Valvematic 147KM [29]

zużycie paliwa	(dyrektywa UE 80/1268-1999/100 WE)
Średnie (cykl mieszany)	6,8 l/100km
W trasie (na autostradzie)	5,7 l/100km
W mieście	8,7 l/100km
Emisja CO ₂	158 g/km
Norma emisji spalin	Euro 5
Paliwo	benzyna bezołowiowa 95
masa własna pojazdu	1430-1525kg (1500kg)
silnik	2ZR-FAE
liczba i układ cylindrów	4, rzędowy
mechanizm zaworowy	16 v, DOHC, Valvematic
system wtrysku paliwa	MPI
pojemność skokowa	1798 cm ³
maksymalna moc silnika	108 kW (147 KM) przy 6400 obr/min
maksymalny moment obrotowy	180 Nm przy 4000 obr/min
rok modelowy	2013
rodzaj napędu, skrzynia biegów	oś przednia, 6-biegowa - manualna
prędkość maksymalna	190 km/h
przyspieszenie (0 do 100km/h)	10,4 s

Przed wprowadzeniem na rynek pojazd podlegał badaniom homologacyjnym, w wyniku których stwierdzono zgodność z wymaganiami emisji spalin wg normy Euro 5, której limity dla wspomnianego pojazdu zestawiono w tabeli 3.

Tab. 3. Limity emisji toksycznych składników spalin dla badanego pojazdu [21]

Masa własna kg	Rodzaj silnika	Rodzaj paliwa	Limity emisji mg/km				Obowiązki
			CO	NMHC	HC	NO _x	
poniżej 2620	PI, MPI	benzyna, gaz ziemny, gaz płynny	1000	68	100	60	od 01.09.2009 r. w zakresie homologacji

3.2. Aparatura pomiarowa

Podstawowe urządzenia wykorzystane w badaniach to analizator spalin typu MGT5 (MAHA) klasy 0 wg OIML (Organisation Internationale de Métrologie Légale),

diagnostyczny rejestrator parametrów pracy silnika oraz telefon z systemem GPS i możliwością rejestracji przebytej trasy.



Rys. 1. Widok analizatora MGT5 przygotowanego do badań

Tab. 4. Wybrane dane techniczne analizatora MGT5 [10]

Mierzony parametr	Metoda pomiaru	Zakres	Rozdzielczość wskazań
Tlenek węgla CO	NDIR	0-15% obj.	0,001%
Dwutlenek węgla CO ₂	NDIR	0-20 % obj.	0,01%
Węglowodory HC	NDIR	1). 0 - 4000 ppm	0,1 ppm
Węglowodory HC	NDIR	2). 0 - 20000 ppm	1 ppm
Tlen O ₂	elektrochemiczna	0-15 % obj.	0,01%
	elektrochemiczna	4-25 % obj.	0,01%
NO _x	elektrochemiczna	0-5000 ppm	1 ppm
λ	obliczeniowa	0,5-9,99	0,01

Do odczytania i rejestracji wybranych parametrów pracy silnika wykorzystano urządzenie o nazwie OBD Log firmy Texa, którego podstawowe dane zestawiono w tabeli 5.

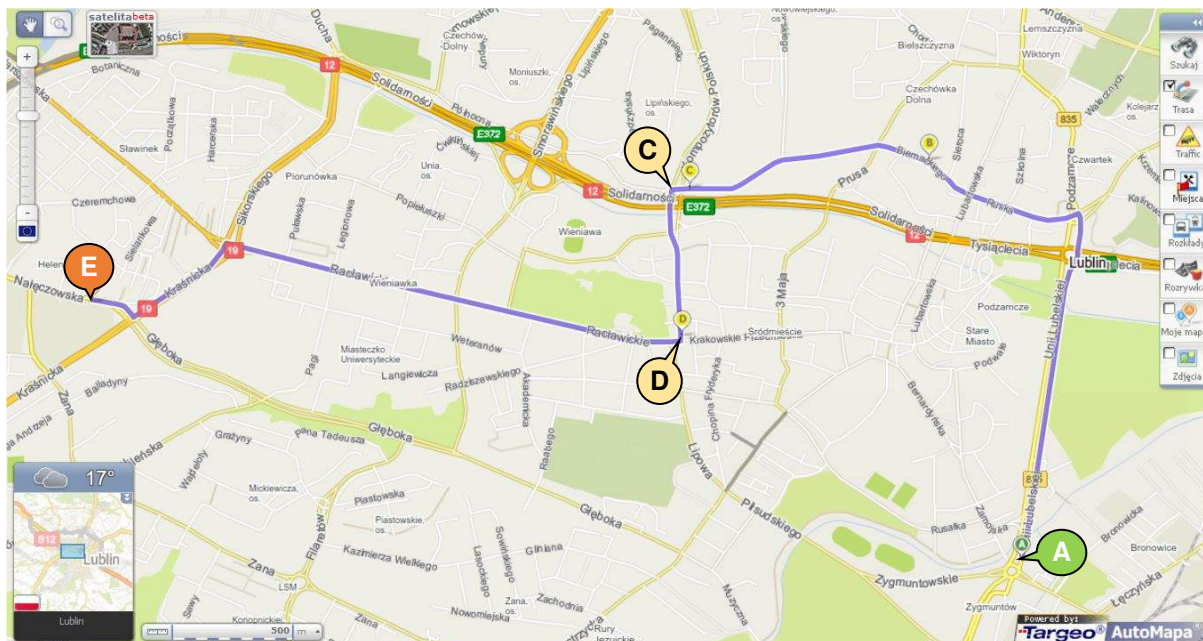
Tab. 5. Wybrane parametry techniczne rejestratora OBD Log [28]

Interfejs pojazdu	Gniazdo EOBD
Obsługiwane protokoły EOBD	J1850-41.6, J1850-10.4, ISO9141-2 K/L, ISO 11898
Zasilanie	złącze OBD, USB z PC
Częstotliwość próbkowania	1 sekunda
Czas pracy	do 90 godz.
Temperatura robocza	-40°/+85°C

3.3. Pomiary drogowe

Badania prowadzono w sposób dostosowany do jazdy innych uczestników ruchu podczas jazdy miejskiej w Lublinie na trasie o dł. 6,95 km, ze średnią prędkością $v = 25,8$ km/h. Początkowy punkt trasy (A) (rys. 2) położony jest na wysokości ok. 168 m n.p.m. natomiast jej koniec (E) o około 50 metrów wyżej. Największy gradient zmian wysokości znajduje się w środkowej części trasy, pomiędzy punktami C i D (ok. 30 m). Temperatura, ciśnienie atmosferyczne oraz wilgotność względna wynosiły średnio 18°C, 981 hPa oraz 67%. Pojazd obciążony był masą własną, masą sprzętu pomiarowego, oraz kierowcy i pasażera. Przed pomiarem obiekt badań zważono wagą samochodową i stwierdzono masę 1726 kg. Silnik pojazdu w chwili rozpoczęcia pomiarów był rozgrzany.

Podobne badania realizowane były również dla jazdy podmiejskiej, jednakże ze względu na ich bardziej ustabilizowany charakter ograniczono się do zaprezentowania badań miejskich.

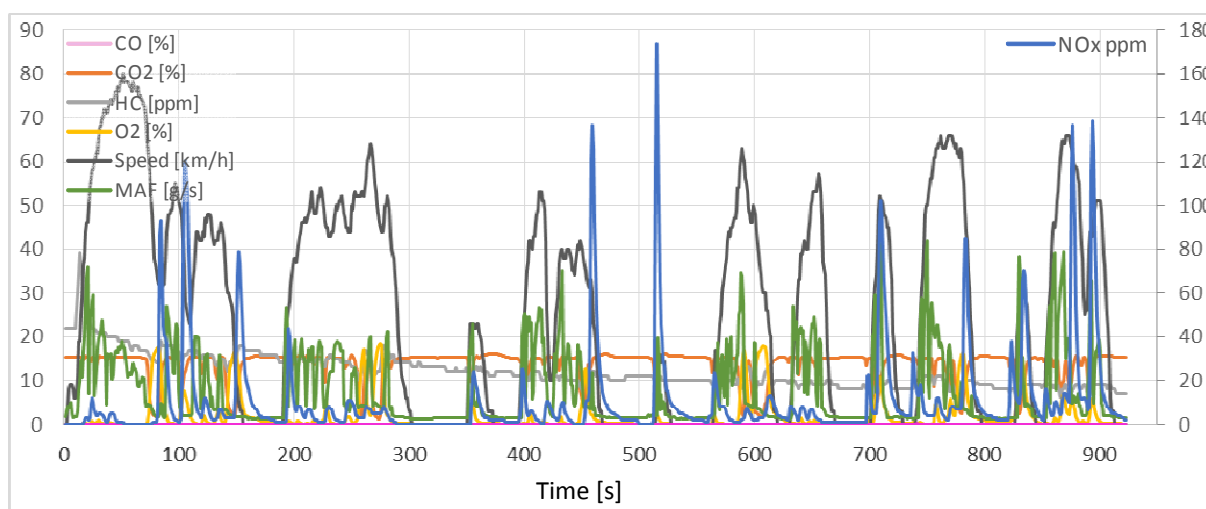


Rys. 2. Plan trasy przejazdu dla pomiaru drogowego [27]

4. Wyniki badań

Znając przebieg zmian masowego wydatku poszczególnych składników spalin w funkcji czasu oraz długość trasy i czas przejazdu można wyrazić emisję w g/km, analogicznie jak dla badań homologacyjnych (tab. 3). Jednakże, aby było to możliwe należy zmierzyć i zarejestrować wydatek powietrza oraz udziały objętościowe składników spalin.

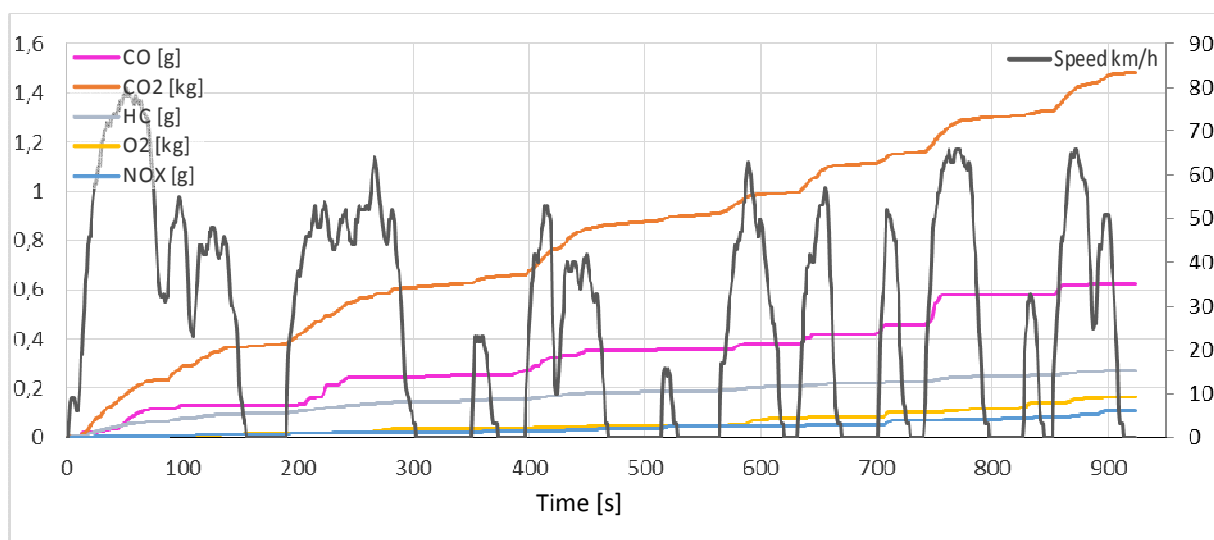
Z uwagi na długość przewodu pomiarowego analizatora spalin, jego bieżące wskazania dotyczą stanu silnika sprzed kilku sekund. Ze względu na dokładność obliczeń emisji spalin istotne jest zatem właściwe zestawienie wyników wskazań analizatora i danych o przepływie powietrza. Po zsynchronizowaniu tych danych można przyjąć, że ze względu na dokładności pomiarowe wykorzystywanych urządzeń i czujników błąd tej metody będzie kilkuprocentowy, a jego wartość będzie malała w miarę stabilizacji prędkości jazdy.



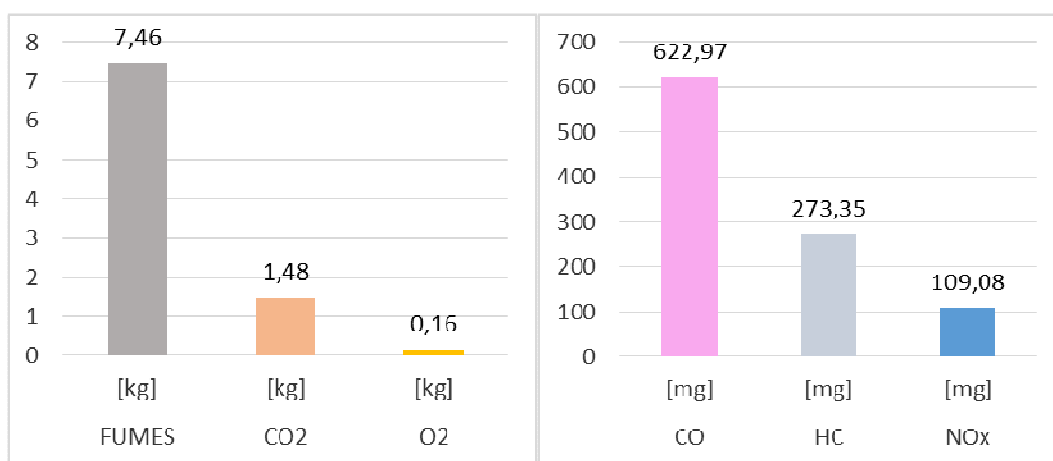
Rys. 3. Udziały objętościowe wybranych składników spalin zarejestrowane podczas próby drogowej na tle prędkość jazdy

Rysunek 3 obrazuje wartości udziałów emisji na tle prędkości jazdy i masowego wydatku powietrza. Zależność wydatku i prędkości jazdy, związana jest z obciążeniem i prędkością obrotową silnika. Zmiany udziałów objętościowych również korelują z obciążeniem silnika. Jednakże nie są one tak silne jak zmiany wydatku powietrza, który ma znaczący wpływ na skalę emisji spalin.

Efekty przeliczeń w oparciu o zaprezentowaną w rozdziale 3 metodykę prezentuje rysunek 4. W tym przypadku widoczne są wyraźnie przyrosty ilości wyemitowanych gazów towarzyszące wzrostowi obciążenia silnika, np. podczas przyspieszania. Szczególnie wyraźne jest to w przypadku analizy emisji CO, która obserwowana jest właśnie podczas przyspieszania, natomiast w czasie jazdy bez przyspieszania jest praktycznie zerowa, o czym świadczy płaski charakter przebiegu krzywej emisji CO (rys. 4) w tych okresach.



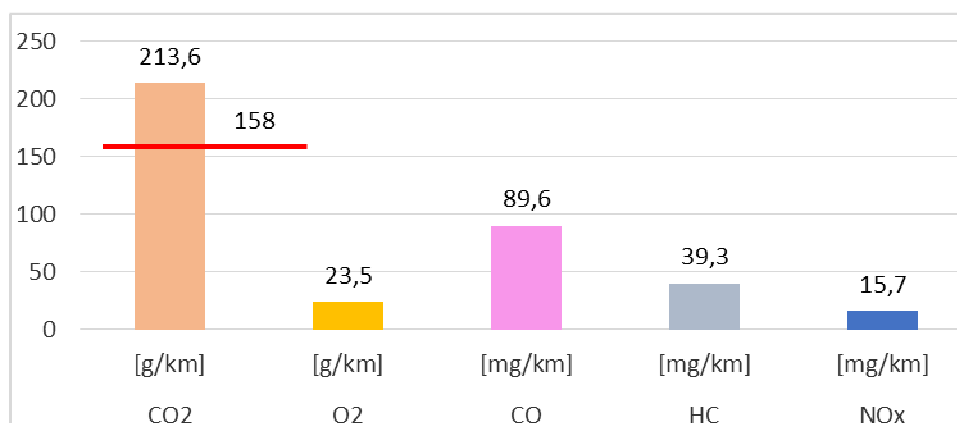
Rys. 4. Skumulowany wykres emisji wybranych składników spalin wyznaczony na podstawie zarejestrowanego składu spalin



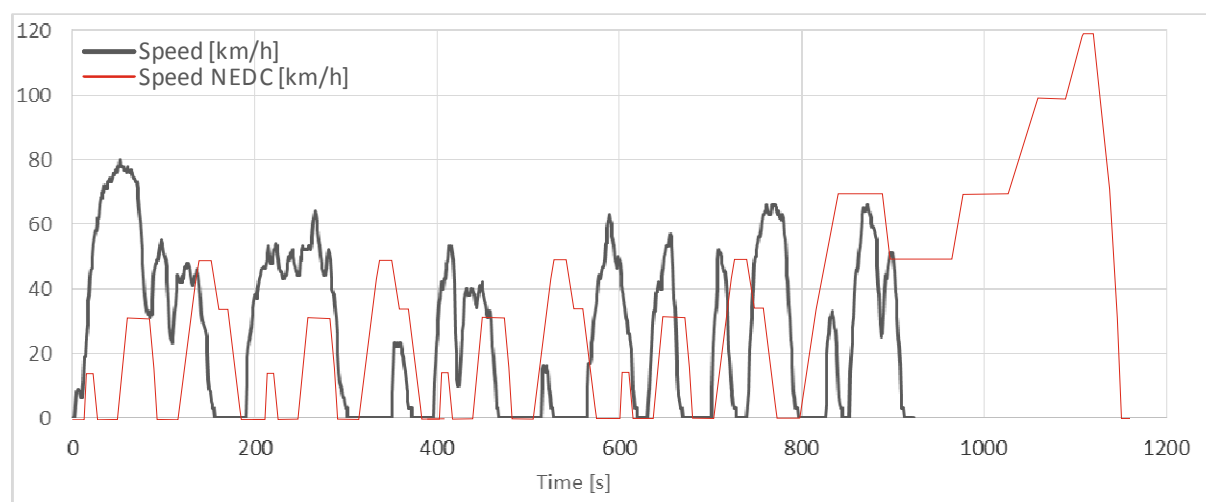
Rys. 5. Masowa emisja wybranych składników spalin podczas testu

Masę spalin wyemitowanych w realizowanym teście prezentuje kolejny wykres kolumnowy (rys. 5). Z obliczeń wynika, że podczas testu silnik samochodu wyemitował blisko 7,5 kg spalin, z czego 1,48 kg to dwutlenek węgla. Emisja tlenku węgla wyniosła 623 mg, węglowodorów ok. 273 mg, a tlenków azotu ok. 109 mg. Informacje te nie są przejrzyste bez odniesienia do jednostki długości przebytej drogi. Uzupełnienie stanowi rysunek nr 6, który pozwala na dalszą ocenę. W związku z tym można stwierdzić, że w teście

wyemitowano 213,6 g/km dwutlenku węgla, a więc jest to wartość o 35% (rys. 6) większa niż uzyskana w teście homologacyjnym (tab. 2), przy czym emisja toksycznych składników spalin nie przekracza dopuszczalnych norm wartości [21].



Rys. 6. Emisja wybranych składników spalin podczas testu w przeliczeniu na kilometr



Rys. 7. Zestawienie przebiegów prędkości w teście realizowanym i w teście NEDC

Wyższa o ponad 35% emisja CO₂ jest efektem realizacji innego niż NEDC testu jezdnego realizowanego przy odmiennych warunkach wynikających ze specyfiki jazdy w danej aglomeracji. W opisanym przypadku występują inne własności pojazdu i związane z nimi opory ruchu. Większe wartości prędkości jazdy i jej lokalne fluktuacje (rys. 7) oraz większa masa pojazdu (1726 kg) i wzniesienie trasy (średnio $w = 0,7\%$) przyczyniają się do wzrostu obciążenia silnika i emisji CO₂. Z drugiej jednak strony należy zauważyć, że była to próba realizowana na rozgrzanym silniku, bez fazy zimnej, która z pewnością dodatkowo zwiększyłaby emisję CO₂ oraz CO i HC.

5. Podsumowanie i wnioski

Opisane w pracy badania i ich wyniki potwierdzają możliwość zastosowania uproszczonej metodyki badań emisji w normalnej eksploatacji pojazdu, przy czym uzyskane dane wykazują, że rzeczywista eksploatacja pojazdu w warunkach miejskich zdecydowanie odbiega od specyfiki testu NEDC (rys. 7). Porównywanie pojazdów w oparciu o taki test także wydaje się podejściem niedoskonałym, choćby ze względu na to, że nie uwzględnia stanów pełnego obciążenia silnika. Kierowca, który ma do dyspozycji dynamiczny silnik może starać się to wykorzystać w „walce” o lepsze miejsce na światłach. Stąd potrzeba badań

uwzględniających także takie sytuacje, w których występuje przyspieszanie z maksymalną intensywnością, i którym towarzyszą losowe zakłócenia oraz trudne do odwzorowania stany pracy silnika. Dlatego należy podkreślić, że drogowe badania najlepiej ukazują naturę rzeczywistej eksploatacji silnika i jego oddziaływania na środowisko. Dane literaturowe potwierdzają potrzebę zmian w tej dziedzinie i wskazują ich tendencje [2,6,24].

W oparciu o analizę tematyki oraz zaprezentowane wyniki badań można sformułować następujące wnioski:

- Opisane w pracy badania potwierdzają, że możliwe są pomiary emisji spalin z wykorzystaniem analizatora diagnostycznego i sygnałów dostępnych przez złącze DLC w systemie OBD II,
- Prezentowana metodyka badań oraz opracowanie ich wyników są dość pracochłonne, jednakże ukazują możliwość konstrukcji podobnych systemów pomiarowych, które pozwolą na automatyczne obliczenia i rejestrację wyników ilościowej emisji spalin i ich składników,
- Emisja spalin mierzona w realnych warunkach drogowych może znacznie różnić się od limitów określonych dla stanowiskowych testów homologacyjnych (213 g/km vs 158 g/km),
- Testy homologacyjne jak np. NEDC mogą sprzyjać nieporozumieniom w związku z tym, że użytkownicy pojazdów rzadko kiedy osiągną zużycie paliwa (emisję CO₂) na niskim poziomie deklarowanym w teście homologacyjnym.

6. Piśmiennictwo

1. Bielaczyc P, Szczotka A, Pajdowski P, Woodburn J. *Development of automotive emissions testing equipment and test methods in response to legislative, technical and commercial requirements*. Silniki Spalinowe. 2013; (1):28-41.
2. Bonnel P, Kubelt J. *Heavy-duty engines conformity testing based on PEMS – Lessons learned from the European pilot program*. EUR Draft report. EC-JRC. Ispra, Italy. 2010.
3. Chłopek Z, Biedrzycki J, Lasocki J, Wójcik P. *Emisja zanieczyszczeń z silnika samochodu w testach jezdnych symulujących rzeczywiste użytkowanie trakcyjne*. Zeszyty Naukowe Instytutu Pojazdów 2013; (92)1:67-76.
4. Cieślukowski B. *Monitorowanie układu odprowadzania par paliwa*. AUTOBUSY. 2011; (10):106-113.
5. *Exceedance of air quality limit values in urban areas (CSI 004) - Assessment published Oct 2013*. EEA – European Environmental Agency. Source: <http://www.eea.europa.eu>. Accessed: 31 June 2014.
6. Gautam M. *In-Use, On-Road Emissions Testing of Heavy-Duty Diesel Vehicles: Challenges and Opportunities*. Source: <http://epa.gov/air/caaac/mstrs/gautam.pdf>. Accessed: 11 July 2014.
7. Hunicz J. *An experimental study of negative valve overlap injection effects and their impact on combustion in a gasoline HCCI engine*. FUEL 2014, Part A; (117):236-250.
8. Kuranc A, Tarasińska J. *The analysis of significance level of relation between ambient temperature and exhaust emission in the initial term of SI engine work*. Teka Komisji Motoryzacji i Energetyki Rolnictwa. 2009; (9): 145-154.
9. Kuranc A. *A continuous measurement of CO, CO₂, HC and NO_x at the work of a combustion engine fed with petrol in unstable thermal conditions*. Teka Komisji Motoryzacji i Energetyki Rolnictwa. 2005; (5): 107-115.
10. MAHA Maschinenbau Haldenwang GmbH & Co. KG. *Technical Handbook Motor Gas Tester MGT 5 Five-Gas Tester*. 1999.

11. Mamala J, Brol S, Jantos J. *Parametry pracy silnika spalinowego w teście drogowym*. Silniki Spalinowe. 2011; (3):45-52.
12. Martini E, Coghlan N. *Emissions calibration yesterday, today, tomorrow*. 3rd International Exhaust Emission Symposium. Current and Future trends in automotive emissions, fuels, lubricants and test methods – 2012, BOSMAL, 24-25 May 2012, Bielsko-Biała, Poland, ISBN 978-83-931383-2-6.
13. Mazanek A. *Badania porównawcze emisji toksycznych składników gazów wylotowych z silnika o zapłonie samoczynnym zasilanego ON i B10*. Nafta - Gaz 2010; 66 (9): 835-840.
14. Merkisz J, Lijewski P, Fuć P, Weymann S. *Exhaust emission tests from non-road vehicles conducted with the use of PEMS analyzers*. Eksploatacja i Niezawodność - Maintenance and Reliability 2013; 15 (4): 364-368.
15. Merkisz J, Pielecha I, Pielecha J, Brudnicki K. *Ekologiczność pojazdów z systemem Start/Stop w rzeczywistych warunkach ruchu miejskiego*. Logistyka 2010; (6), CD-ROM
16. Merkisz J, Pielecha J, Gis W. *Gasoline and LPG Vehicle Emission Factors in a Road Test*, SAE Technical Paper Series, 2009-01-10937, 2009.
17. Merkisz J. *Real Road Tests – Exhaust Emission Results from Passenger Cars*. Journal of KONES Powertrain and Transport. 2011;18 (3): 253-260.
18. Niewczas A, Antol M. *Automotive environmental pollution - investigation of toxic emissions from the vehicles operated in the city of Lublin*. Part 2. Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability 2002; 13 (1): 13-24.
19. Niewczas A, Potapczuk P. *Gas fumes environmental contamination - testing the emission of exhaust gas toxic components of the vehicles used in the site of Lublin*. Part 1. Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability 1999; 1 (1): 15-24.
20. Regulamin nr 83 EKG ONZ – *Jednolite przepisy dotyczące homologacji pojazdów w zakresie emisji zanieczyszczeń w zależności od paliwa zasilającego silnik*. Dz. U. UE L42, Tom 55, 15 lutego 2012.
21. Regulation (EC) No. 715/2007 of the European Parliament and of the Council of 20 June 2007 *on type approval of motor vehicles with respect to emissions from light passenger and commercial vehicles (Euro 5 and Euro 6) and on access to vehicle repair and maintenance information*. Official Journal of the EU L 171:1-16.
22. Szyszlak-Bargłowicz J, Słowik T, Zajac G, Piekarski W. *Inline Plantation of Virginia Mallow (Sida hermaphrodita R.) as Biological Acoustic Screen*. Annual Set The Environment Protection. 2013; (1): 538-550.
23. Szyszlak-Bargłowicz J, Słowik T, Zajac G, Piekarski W. *Metale ciężkie w rowach odwadniających ciągów komunikacyjnych*. Annual Set The Environment Protection. 2013; (3): 2309–2323.
24. Vlachos T, Bonnel P, Perujo A, Weiss M. et al. *In-Use Emissions Testing with Portable Emissions Measurement Systems (PEMS) in the Current and Future European Vehicle Emissions Legislation: Overview, Underlying Principles and Expected Benefits*. SAE Int. J. Commer. Veh.; 2014; 7(1):199-215.
25. Vojtisek-Lom M, Fenkl M, Dufek M, Mareš J. *Off-cycle, real-world emissions of modern light duty diesel vehicles*. 2009: SAE 2009-24-0148.
26. Weiss M, Bonnel P, Hummel R, Manfredi U, Colombo R, Lanappe G, Le Lijour P, Sculati M. *Analyzing on-road emissions of light-duty vehicles with Portable Emission Measurement Systems (PEMS)*. JRS scientific and Technical Reports JRC62639, EUR 24697 EN – 2011.
27. www.targeo.pl
28. www.texapoland.pl
29. www.toyota.pl