

Jerzy MERKISZ¹
Jarosław MARKOWSKI²
Jacek PIELECHA³

BADANIA EMISJI ZWIĄZKÓW SZKODLIWYCH SPALIN SILNIKA SAMOLOTU CESSNA-152II W WARUNKACH STACJONARNYCH

Z uwagi na gwałtowny rozwój komunikacji lotniczej istnieje potrzeba oceny realnej emisji związków szkodliwych związanej z eksploatacją statków powietrznych. Głównymi zagrożeniami dla środowiska naturalnego są produkty niecałkowitego i niezupełnego spalania zawarte w spalinach. W artykule przedstawiono rezultaty badań emisji spalin silnika samolotu CESSNA-152II w warunkach testu stacjonarnego.

EMISSION TESTS OF THE CESSNA-152II AEROPLANE ENGINE IN STATIONARY OPERATING CONDITIONS

Due to a rapid development of air transport there is a need for the assessment of a real environmental risk related to the aircraft operation. The main environmental perils are the toxic exhaust emissions. The paper presents the results of the emission tests of a CESSNA-152II aeroplane engine under stationary operating conditions.

1. WPROWADZENIE

Od wielu lat transport jako jedna z podstawowych dziedzin gospodarczych charakteryzuje się ciągłym rozwojem. Jest to szczególnie widoczne na przykładzie krajów rozwijających się. Wraz ze wzrostem zamożności społeczeństwa rozwijają się kolejne jego dziedziny. Na przykładzie Polski można zauważyć pewne powiązania przyczynowo-skutkowe. Z chwilą wstąpienia Polski do struktur Unii Europejskiej otworzono w kilku krajach Europy rynki pracy dla Polaków. Spowodowało to nagłe zapotrzebowanie na długodystansowy i szybki środek transportu. Początkowo dużym powodzeniem cieszyły się połączenia autobusowe z większymi miastami Europy. Jednak wraz ze wzbogaceniem się społeczeństwa zatrudnionego poza granicami Polski, czas podróży zaczął nabierać

¹ Poznań University of Technology, Faculty of Working Machines and Transportation, POLAND, Poznan 60-965, Piotrowo 3. Phone: + 48 61 665-22-07, Fax: + 48 61 665-22-04, E-mail: jerzy.merkisz@put.poznan.pl

² Poznań University of Technology, Faculty of Working Machines and Transportation, POLAND, Poznan 60-965, Piotrowo 3. Phone: + 48 61 665-27-05, Fax: + 48 61 665-22-04, E-mail: jaroslaw.markowski@put.poznan.pl

³ Poznań University of Technology, Faculty of Working Machines and Transportation, POLAND, Poznan 60-965, Piotrowo 3. Phone: + 48 61 665-21-18, Fax: + 48 61 665-22-04, E-mail: jacek.pielecha@put.poznan.pl

istotnego znaczenia. Nastąpił wzrost zapotrzebowania na transport lotniczy. W krótkim czasie w regionalnych portach lotniczych uruchomiono bezpośrednie połączenia kilkoma miastami Europejskimi, nagle kilku nowych przewoźników rozpoczęło swą działalność na terenie Polski. Wzajemna konkurencyjność przyczyniła się do obniżenia cen podróży lotniczych, co z kolei spowodowało jeszcze większe zainteresowanie taką formą transportu. Lotnictwo jako dziedzina transportu ściśle związana jest z sytuacją gospodarczą kraju i świata. Ostatni kryzys wskazał na silną zależność transportu lotniczego od sytuacji gospodarczej kraju. Dynamicznym wzrostem charakteryzuje się również mniej zauważalne na co dzień lotnictwo w skali *general aviation*. Wzrastająca zamożność społeczeństwa, specyfika prowadzonej działalności gospodarczej, przewartościowanie czynników ekonomicznych – istotność czasu, a przy tym jeszcze ciągle zacofana i niewystarczająca infrastruktura transportu lądowego sprzyja rozwojowi tego typu transportu lotniczego. Zapotrzebowanie na transport statkami powietrznymi typu *general aviation* przekłada się niemal bezpośrednio na wzrost ilości samolotów. To z kolei nie jest bez znaczenia dla stanu środowiska naturalnego. W dalszym ciągu poważnym zagrożeniem jest emisja dwutlenku węgla oraz cząstek stałych – stanowiąca barierę rozwoju współczesnych silników spalinowych. Obecne przepisy dotyczące wpływu środków transportu lotniczego na środowisko wprowadzone przez EPA (*Environmental Protection Agency* – Agencja Ochrony Środowiska), ICAO (*International Civil Aviation Organization* – Organizacja Międzynarodowego Lotnictwa Cywilnego) zawarte w JAR 34 (*Joint Aviation Requirements* – przepisy określające normy emisji spalin), FAR 34 (*Fuel Venting and Exhaust Emission Requirements for Turbine Engine Powered Airplanes* – przepisy określające normy emisji spalin), dotyczą głównie emisji hałasu i związków szkodliwych spalin ze szczególnym uwzględnieniem tlenków azotu. Dotyczą one silników przepływowych i zawierają procedury testów stacjonarnych, w zależności od warunków pracy silnika. Przywołane normy nie dotyczą lotniczych silników tłokowych.

Z racji odmienności procesu spalania realizowanego w silniku tłokowym od procesu spalania w silniku turbinowym, należy się spodziewać, że emisja związków szkodliwych zawartych w spalinach silnika tłokowego będzie większa niż w spalinach silnika turbinowego. Znaczny wzrost liczby użytkowanych samolotów klasy *general aviation* może stanowić poważne zagrożenie dla środowiska naturalnego.

Obecny poziom techniki pomiarowej związanej z badaniem emisji związków szkodliwych spalin, umożliwia realizację badań środków transportu w rzeczywistych warunkach eksploatacji [1–7]. Badania tego typu pozwalają określić poziom wartości emisji poszczególnych związków szkodliwych spalin w rzeczywistych warunkach ruchu. Ponadto umożliwiają ocenę specyfiki eksploatacyjnej środka transportu pod względem gęstości czasowej obciążenia silnika. Informacje te pozwalają na wyznaczenie stanów eksploatacyjnych zespołu napędowego wraz z ich udziałem w całkowitym czasie eksploatacji. Możliwość wykorzystania mobilnej aparatury badawczej nabierają szczególnego znaczenia w badaniach małych samolotów w warunkach rzeczywistej eksploatacji. Niestety nie jest to możliwe we wszystkich typach małych samolotów. Decydujące znaczenie ma tu dopuszczalna masa ładunku, jaki samolot może unieść oraz przestrzeń ładunkowa. Dlatego ważne jest opracowanie takiej procedury badawczej emisyjności małych statków powietrznych która pozwoli ocenić wartości emisji związków szkodliwych podczas badań stacjonarnych prowadzonych na płycie lotniska.

2. METODYKA BADAŃ

2.1 Obiekt badań

Badania emisji związków szkodliwych zawartych w spalinach silnikowych wykonano z wykorzystaniem samolotu CESSNA-152 II (rys. 1) z silnikiem Lycoming 0-235-L2C (rys. 2). Parametry samolotu CESSNA-152 II zestawiono w tab. 2.



Rys. 1. Samolot CESSNA-152 [8]



Rys. 2. Silnik Lycoming 0-235-L2C [9]

Tab. 1. Dane techniczne CESSNA-152 [8]

Wersja	CESSNA-152 II
Rozpiętość	10,11 m
Długość	7,34 m
Wysokość	2,59 m
Powierzchnia nośna	14,80 m ²
Masa własna	515 kg
Masa użyteczna	243 kg
Masa całkowita	758 kg
Silnik	Lycoming 0-235-L2C (86 kW)
Zapasy paliwa	142 dm ³
Prędkość maks.	276 km/h
Prędkość przelotowa	189 km/h
Prędkość minimalna	63 km/h
Pułap	4 481 m
Zasięg	1 009 m

Duże znaczenie podczas pomiarów emisji związków szkodliwych spalin ze statków powietrznych ma konstrukcja silnika, jego poziom technologiczny i standard wykonania, a przede wszystkim stan eksploatacyjny. Wykorzystany do badań samolot CESSNA-152 II był napędzany silnikiem tłokowym o zapłonie iskrowym Lycoming 0-235-L2C, 4-cylindrowym o układzie cylindrów przeciwsobnym, o pojemności skokowej 3,82 dm³, chłodzony powietrzem.

Na potrzeby pomiarów emisji związków szkodliwych spalin dokonano przedłużenia układu wylotowego o wartość 4m. Dzięki temu pomiar emisji związków szkodliwych znajdował się w miejscu pozwalającym na swobodne zamontowanie sondy pomiarowej (rys. 3).



Rys. 3. Sposób zamocowania sondy poboru spalin

2.2 Aparatura pomiarowa

Celem przeprowadzonych badań była ocena emisji związków szkodliwych spalin podczas postoju samolotu na płycie lotniska w warunkach możliwie zbliżonych do rzeczywistych warunków eksploatacyjnych samolotu. Do pomiarów stężenia związków toksycznych wykorzystano mobilny analizator do badań toksyczności SEMTECH DS firmy SENSOR (rys. 4).

a)



b)



Rys. 4. Widok analizatora spalin (a) i sondy do pomiaru masowego natężenia przepływu spalin (b)

Analizator umożliwił pomiar stężenia związków szkodliwych (tabl. 2), mierząc jednocześnie masowe natężenie przepływu spalin. Gazy spalinowe wprowadzane do analizatora za pomocą sondy pomiarowej utrzymującej temperaturę 191°C (rys. 4), następnie są filtrowane z cząstek stałych (w przypadku silników ZS) i następuje pomiar stężenia węglowodorów w analizatorze płomieniowo-jonizacyjnym. Następnie spaliny są

schładzane do temperatury 4°C i następuje kolejno pomiar stężenia tlenków azotu (metodą niedyspersyjną z wykorzystaniem promieniowania ultrafioletowego umożliwiającą jednoczesny pomiar tlenku azotu i dwutlenku azotu), tlenku węgla, dwutlenku węgla (metodą niedyspersyjną z wykorzystaniem promieniowania podczerwonego) oraz tlenu (analogizatorem elektrochemicznym). Do jednostki centralnej analizatora można dołączyć dane bezpośrednio przesyłane z systemu diagnostycznego pojazdu oraz wykorzystać sygnał lokalizacji GPS, co w przypadku realizowanych badań nie było konieczne.

Tab. 2. Charakterystyka mobilnego analizatora spalin SEMTECH DS

Parametr	Metoda pomiaru	Dokładność
1. Stężenie związków w spalinach		
CO	NDIR – niedyspersyjna (podczerwień) zakres 0–10%	±3%
HC	FID – płomieniowo-jonizacyjna zakres 0– 10 000 ppm	±2,5%
NO _x = (NO + NO ₂)	NDUV – niedyspersyjna (ultrafiolet) zakres 0–3000 ppm	±3%
CO ₂	NDIR – niedyspersyjna (podczerwień) zakres 0–20%	±3%
O ₂	Elektrochemiczna - zakres 0–20%	±1%
Częstotliwość próbkowania	1–4 Hz	
2. Przepływ spalin	masowe natężenie przepływu T _{max} do 700°C	±2,5% zakresu ±1% zakresu
3. Czas nagrzewania	15 min	
4. Czas odpowiedzi	T ₉₀ < 1 s	
5. Obsługiwane systemy diagnostyczne	SAEJ1850/SAEJ1979 (LDV) SAEJ1708/SAEJ1587 (HDV) CAN J1939/J2284	

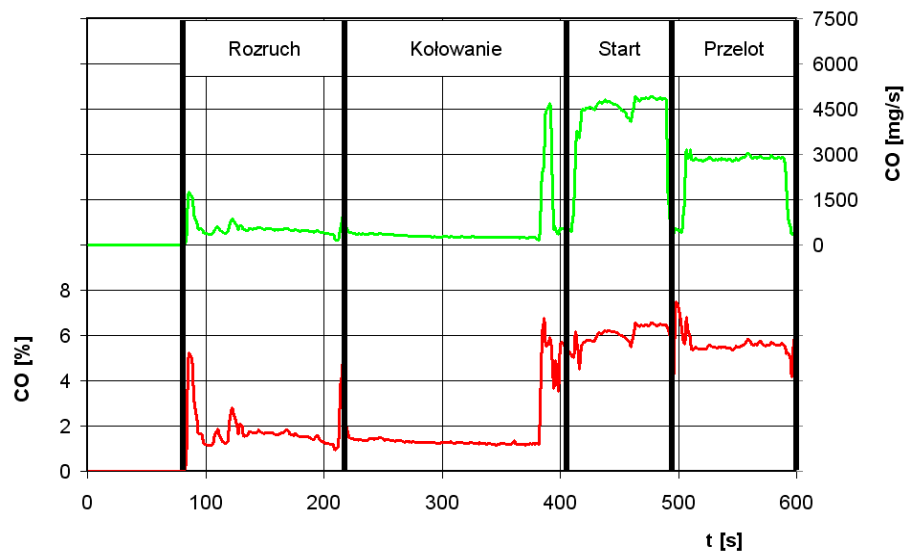
3. WYNIKI POMIARÓW

Pomiaru emisji związków szkodliwych zawartych w spalinach silnika Lycoming 0-235-L2C samolotu CESSNA-152 II dokonano na płycie lotniska w teście stacjonarnym. W standardowym przebiegu lotu statku powietrznego można wyszczególnić kilka faz. Są to: kołowanie na start, start, wznoszenie, ustalona faza lotu, podejście do lądowania, lądowanie oraz kołowanie na miejsce postoju. W zależności od wykonywanego zadania różny jest udział czasu poszczególnych fazy w całkowitym przebiegu lotu. Do realizacji badań w

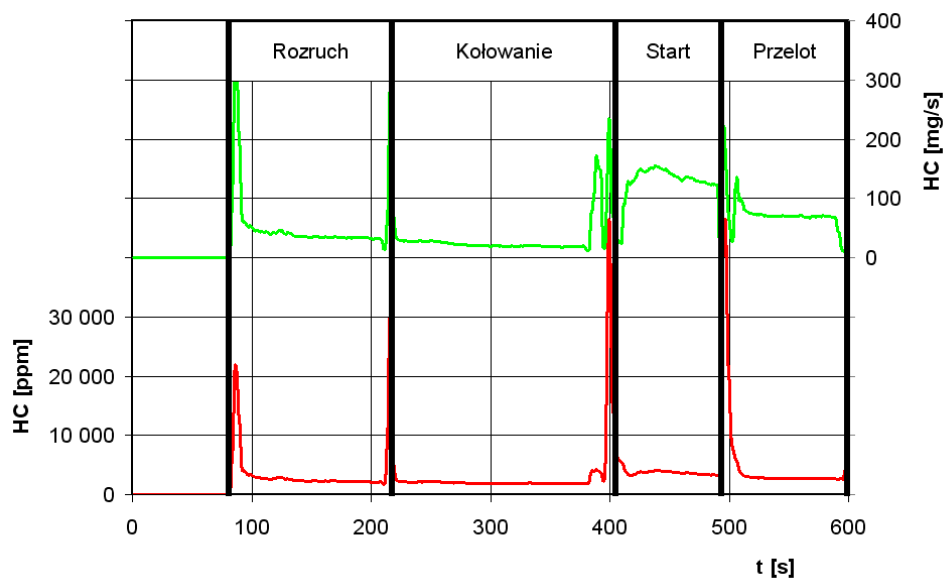
warunkach stacjonarnych ustalono trzy fazy testu: I – kołowanie, II – start, III – lot ustalony, w których zachowywano nastawy urządzeń sterujących pracą silnika oraz skoku śmigła odpowiadającym wartościom nastaw podczas rzeczywistej eksploatacji samolotu. Dodatkowo dokonano pomiaru emisji związków szkodliwych zawartych w spalinach podczas rozruchu silnika. Uzyskane wyniki pomiarów przedstawiono w tabeli 3 i zobrazowano na wykresach (rys. 5-9).

Tab. 3. Wyniki pomiarów emisji związków szkodliwych spalin z Lycoming 0-235-L2C

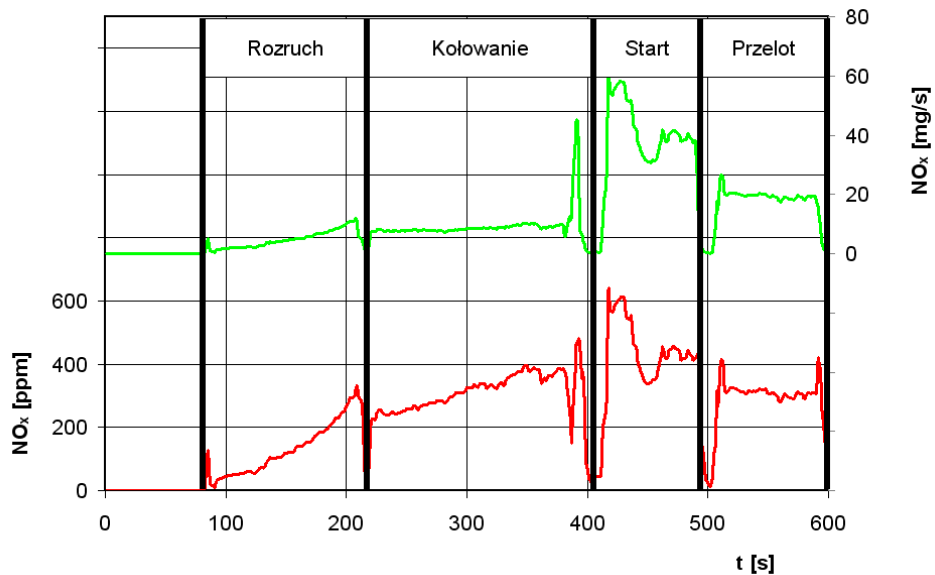
Parametr	Faza lotu			
	Rozruch	Kołowanie	Start	Przelot
Prędkość obrotowa silnika [obr/min]		1200	2400	2000
Czas trwanie [s]	139	169	110	108
Średnie stężenie				
CO [%]	1,8	1,6	6	5,8
HC [ppm]	2500	2200	2700	2500
NO _x [ppm]	180	320	420	350
CO ₂ [%]	9,0	9,1	8,2	8,0
Emisja [g]				
CO	72,5	54,2	410,5	259,3
HC	7,3	4,1	13,4	7,7
NO _x	0,6	1,4	1,7	3,5
CO ₂	538	540	570	865
Emisja godzinowa [g/h]				
CO	1878	1154	13 434	5310
HC	189	87	438	257
NO _x	16	30	56	116
CO ₂	13 933	11 502	18 654	28 833



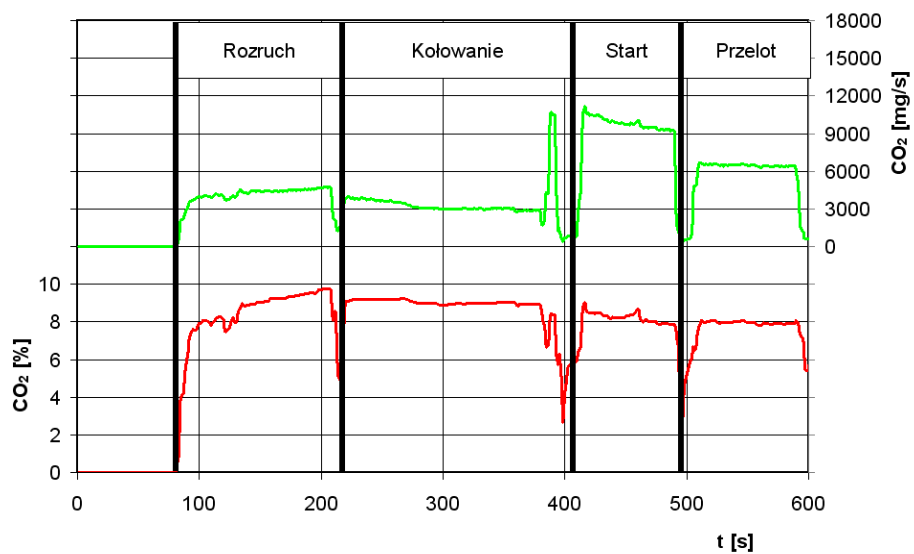
Rys. 5. Pomiar stężenia tlenku węgla w trakcie próby



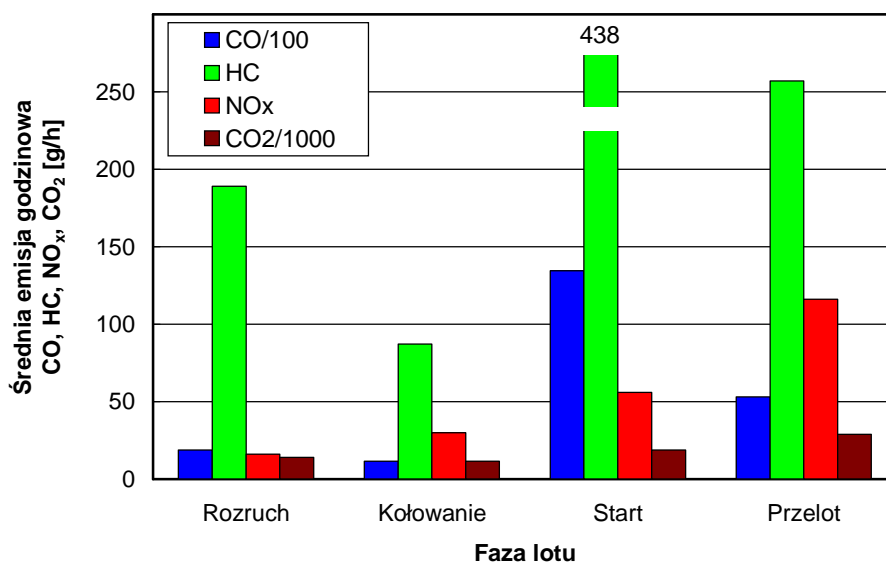
Rys. 6. Pomiar stężenia węglowodorów w trakcie próby



Rys. 7. Pomiar stężenia tlenków azotu w trakcie próby



Rys. 8. Pomiar stężenia dwutlenku węgla w trakcie próby



Rys. 9. Wyniki średniej emisji godzinowej mierzonych związków szkodliwych spalin

4. PODSUMOWANIE

Przeprowadzone badania i analiza uzyskanych wyników potwierdzają znaczący wpływ wielu parametrów związanych z indywidualną specyfiką idei zasilania tłokowych silników lotniczych. W artykule wykazano dużą zależność stężenia związków szkodliwych od warunków eksploatacyjnych silnika ściśle związanych z warunkami eksploatacji samolotu, które znacznie zależą od realizowanego toru lotu, predyspozycji pilota i jego umiejętności. W szczególności umiejętne doboru składu mieszanki paliwowo-powietrznej. Skład mieszaniny paliwowo-powietrznej ma istotny wpływ na emisję związków szkodliwych spalin ponieważ wpływa on w sposób bezpośredni na przebieg procesu spalania w cylindrze silnika generując tym przede wszystkim wzajemne relacje pomiędzy emisją węglowodorów a tlenków azotu. Zależności te są szczególnie widoczne na przykładzie emisji tych związków szkodliwych w fazach startu i przelotu.

Przeprowadzone badania należy traktować jako wstępne o charakterze poznawczym. Analiza uzyskanych wyników wskazała na istotny problem zwiększonego stężenia tlenu węgla oraz węglowodorów w całym zakresie pracy silnika. Wyniki te należałoby skorelować z wynikami uzyskanymi dla tego samolotu tego samego typu, ale napędzanego silnikiem nowszej generacji.

Uzyskane informacje mogą być wykorzystane do weryfikacji i opracowania procedur badawczych dla małych samolotów, które nie mają dostatecznej ładowności do zamontowania specjalistycznej pełnowymiarowej aparatury badawczej. Ostatecznie realizacja tego typu badań może przyczynić się do określenia uniwersalnych procedur

badawczych określających emisyjność małych samolotów i ich oddziaływanie na środowisko.

5. LITERATURA

- [1] Gao Y., Checkel M.D., *Emission Factors Analysis for Multiple Vehicles Using an On-Board, In-Use Emissions Measurement System*, SAE Paper 2007-01-1327.
- [2] Khair M., Khalek I., Guy J., *Portable Emissions Measurement for Retrofit Applications – The Beijing Bus Retrofit Experience*, SAE Technical Paper Series 2008-01-1825.
- [3] 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, 2007.
- [4] Merkisz J., Pielecha J., Gis. W., *Gasoline and LPG Vehicle Emission Factors in a Road Test*, SAE Technical Paper Series 2009-01-0937.
- [5] Processing CITA Conference „Global Perspective on Road-worthiness Enforcement”, organized by International Motor Vehicle Inspection Committee. Chicago 24-28.05.2005.
- [6] Quan H., *ARB's Stockton Heavy-Duty Vehicle Laboratory and Portable Emission Monitoring System (PEMS) Activities*, Sensors 5th Annual SUN (SEMTECH User Network) Conference, 25-26.09.2008.
- [7] 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.
- [8] www.wikipedia.org/wiki/Cessna_152
- [9] www.sigmaaerospace.com.au/?part_id=2