

ESTIMATION OF FUEL CONSUMPTION BY CITY BUSES

Zdzisław Chłopek

Warsaw University of Technology
ul. Narbutta 84, 02-524 Warszawa, Poland
tel./fax: +48 22 8490314
e-mail: zchlopek@simr.pw.edu.pl

Abstract

In the paper the procedure of fuel consumption by city buses is presented. The examples of estimation of diesel fuel and natural gas consumption by city buses are presented. The results in the test MZA are compatible with fuel consumption in real operation in city. The prepared procedure is an effective method of the estimation of the fuel consumption by city buses.

In paper there are presented the analysis of the influence of operated factors on the fuel consumption by buses city- communication, SORT driving tests and dependence of the operated fuel consumption by the bus from the average speed in SORT different tests, MZA driving test, the operated natural gas consumption, the comparison of the fuel consumption by buses of the type X in different conditions of research tests and operating on communication lines at the dependence from charge of the bus, runs of the speed of the bus and the intensity of the flow of the natural gas in the MZA test, the operated natural gas consumption in the MZA tests. Worked out procedure makes the efficient method estimation of the fuel consumption by buses of the municipal communication. The most important conclusion is small sensibility of the fuel consumption on deviations runs of the speed, thanks what as the criterion of realization correctness test is deviation of the average speed.

Keywords: vehicles, city buses, driving test, fuel consumption,

OCENA ZUŻYCIA PALIWA PRZEZ AUTOBUSY KOMUNIKACJI MIEJSKIEJ

Streszczenie

W referacie jest przedstawiona procedura zużycia paliwa przez autobusy miejskie. Są przedstawione przykłady oszacowania zużycia paliwa oleju napędowego i gazu ziemnego przez autobusy miejskie. Wyniki w testach MZA są zgodne z zużyciem paliwa w rzeczywistych warunkach w mieście. Przygotowana procedura jest efektywną metodą obliczenia zużycia paliwa przez autobusy miejskie.

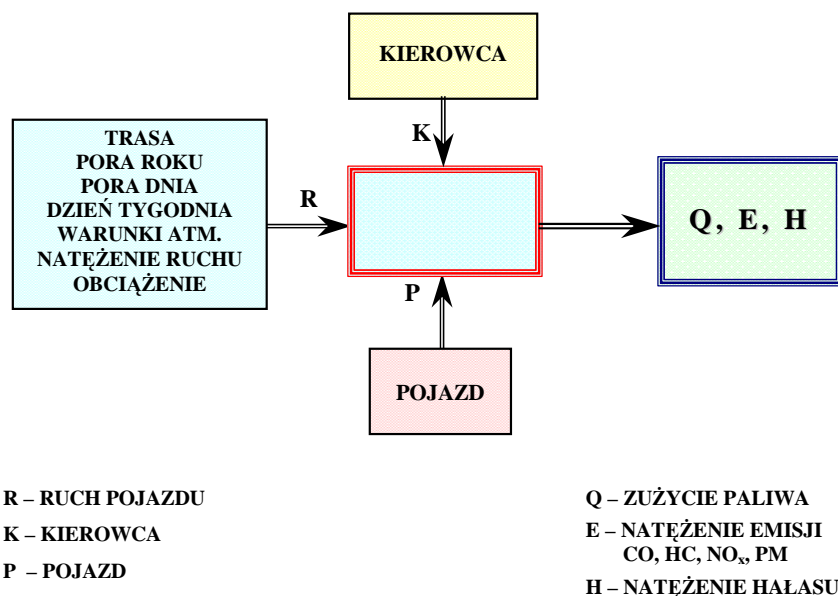
W artykule przedstawiono analizę wpływu czynników eksploatacyjnych na zużycie paliwa przez autobusy komunikacji miejskiej, testy jezdne SORT oraz zależność eksploatacyjnego zużycia paliwa przez autobus od prędkości średniej w różnych testach SORT, test jezdny MZA, eksploatacyjne zużycie gazu ziemnego, porównanie zużycia paliwa przez autobusy typu X w różnych warunkach: testów badawczych i eksploatacji na liniach komunikacyjnych w zależności od obciążenia autobusu, przebiegi prędkości autobusu i natężenia przepływu gazu ziemnego w teście MZA, eksploatacyjne zużycie gazu ziemnego w próbach testu MZA.

Opracowana procedura stanowi skuteczną metodę oceny zużycia paliwa przez autobusy komunikacji miejskiej. Najważniejszym wnioskiem jest niewielka wrażliwość zużycia paliwa na odchyłki przebiegów prędkości, dzięki czemu jako kryterium prawidłowości przeprowadzenia próby w teście można przyjąć odchyłkę prędkości średniej.

Słowa kluczowe: pojazdy samochodowe, autobusy miejskie, testy jezdne, zużycie paliwa

1. Wstęp

Koszty paliwa zużywanego przez autobusy stanowią znaczącą część w bilansie ekonomicznym przedsiębiorstw komunikacji miejskiej [1]. Zużycie paliwa przez autobusy miejskie jest zależne od wielu czynników, charakteryzujących właściwości techniczne autobusu i cechy kierowcy, a także warunki ruchu – rysunek 1 [1, 2 – 6].



Rys. 1. Analiza wpływu czynników eksploatacyjnych na zużycie paliwa przez autobusy komunikacji miejskiej
 Fig. 1. The analyses of influence of operation factors on fuel consumption by city buses

W celu obiektywnej oceny zużycia paliwa, charakteryzującej właściwości techniczne autobusu, konieczne jest ustalenie wszystkich zmiennych czynników. W związku z tym opracowuje się testy jezdne, charakteryzujące rzeczywiste użytkowanie autobusów, oraz ustala się rygorystyczne procedury realizacji testów i wykonywania pomiarów [2 – 11].

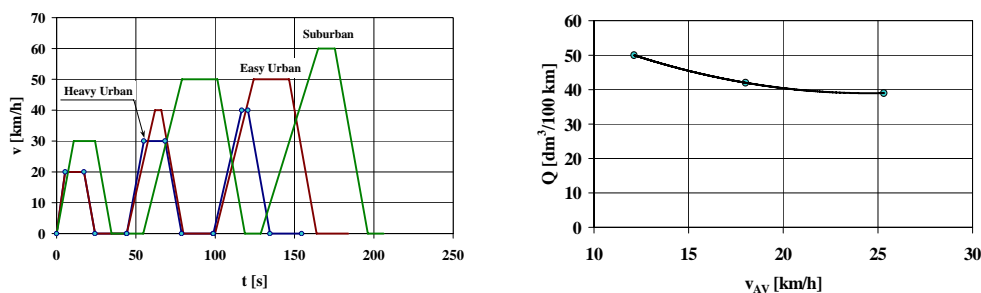
W celach oceny zużycia paliwa przez autobusy oraz emisji z ich silników zanieczyszczeń opracowano wiele testów jezdnych [2 – 11]. Testy te są tworzone zgodnie z kryteriami podobieństwa charakterystyk ruchu na trasach komunikacyjnych, m.in. [2 – 6]:

- prędkości średniej,
- prędkości maksymalnej,
- udziału czasu pracy silnika na biegu jałowym w czasie trwania całego testu,
- maksymalnego przyspieszenia dodatniego,
- maksymalnego przyspieszenia ujemnego,
- średniego przyspieszenia dodatniego,
- średniego przyspieszenia ujemnego,
- rozkładu prędkości,
- rozkładu przyspieszeń.

Przykładowe testy do badania zużycia przez autobusy komunikacji miejskiej SORT (Standardised On-Road Tests Cycles) zostały opracowane przez UITP (International Association of Public Transport) [11]:

- w miastach – Easy Urban,
- w centrach miast – Heavy Urban,
- na trasach podmiejskich – Suburban.

Na rysunku 2 przedstawiono przebiegi prędkości autobusów w tych testach oraz przykładową zależność eksploatacyjnego zużycia paliwa przez autobus od prędkości średniej w różnych testach. Zależność ta jest bardzo charakterystyczna – w warunkach znacznego podobieństwa przebiegów prędkości autobusów miejskich prędkość średnia jest jedną z najważniejszych charakterystyk, stanowiących kryterium podobieństwa warunków ruchu autobusów: w testach badawczych i w rzeczywistej eksploatacji [2 – 6, 9, 11].



Rys. 2. Testy jezdne SORT oraz zależność eksploatacyjnego zużycia paliwa – Q przez autobus od prędkości średniej – v_{AV} w różnych testach SORT

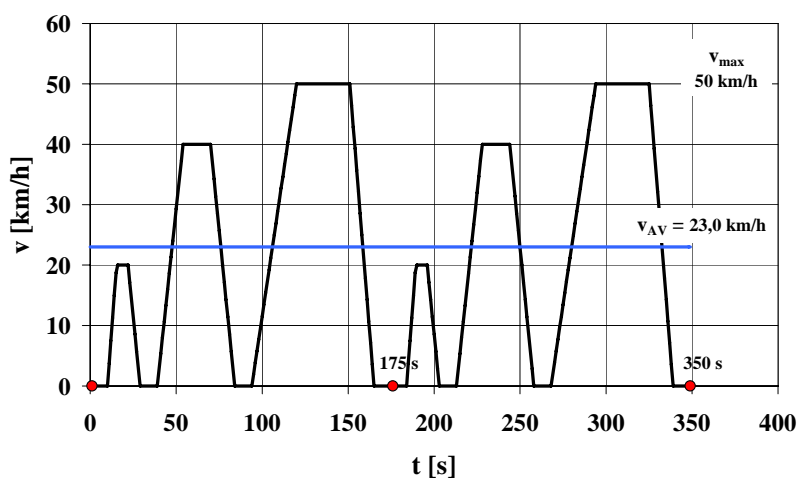
Fig. 2. The SORT driving tests and a dependence of the fuel consumption – Q by the bus on the average speed – v_{AV} in the SORT different tests

2. Test jezdny do badania zużycia paliwa przez autobusy komunikacji miejskiej w Warszawie

W celu badania zużycia paliwa przez autobusy Miejskich Zakładów Autobusowych w Warszawie został opracowany test MZA. Do syntezy testu MZA przyjęto następujące założenia [2 – 8, 11]:

1. Charakter ruchu jest wzorowany na teście homologacyjnym wg PN, odwołującym się do testu miejskiego UDC (Urban Driving Cycle) wg regulaminu ECE R83 (ECE – UDC).
2. Do syntezy testu są wykorzystywane informacje z monitorowania przebiegów prędkości autobusów oraz charakterystyczne cechy testów: Colombia [7, 8] i SORT [11].
3. Przyjęto prędkość maksymalną w teście równą 50 km/h.
4. Przyjęto przyspieszenia dodatnie uzależnione od końcowej prędkości przyspieszania: największe $1,042 \text{ m/s}^2$ dla rozpędzania do 20 km/h, najmniejsze $0,534 \text{ m/s}^2$ dla rozpędzania do 50 km/h.
5. Największe przyspieszenie hamowania (ze względu na wartość bezwzględną) przyjęto równe $-0,992 \text{ m/s}^2$.
6. Udziały stałych prędkości równych 20 km/h, 40 km/h i 50 km/h oraz prędkości równej 0 km/h przyjęto tak, aby prędkość średnia w teście była równa prędkości eksploatacyjnej w dni powszednie, równej około 23 km/h.

Na podstawie przyjętych założeń opracowano test jezdny MZA (rysunek 3).



Rys. 3. Test jezdny MZA

Fig. 3. The MZA driving test

Ogólne warunki wykonywania pomiarów zużycia paliwa przez autobusy w teście MZA są wzorowane na wymaganiach zawartych w normach PN-84/S-04003 „Pojazdy samochodowe. Kontrolne zużycie paliwa samochodów o masie powyżej 3500 kg. Metody pomiarów” oraz PN-93-S-04000 „Pojazdy samochodowe. Kontrolne zużycie paliwa. Metody pomiaru”.

Do realizacji testu MZA została opracowana procedura badawcza, której wybrane formalne wymagania są następujące:

- autobus powinien być odpowiednio przygotowany do badania, m.in. sprawny technicznie i z silnikiem nagrzanym po rozruchu,
- wymagana dokładność pomiaru masowego zużycia paliwa $\pm 1\%$; pomiar zużycia paliwa – z uwzględnieniem temperatury paliwa,
- wymagana dokładność pomiaru prędkości $\pm 0,5\%$,
- wymagana dokładność pomiaru czasu $\pm 0,5$ s,
- obciążenie autobusu masą kontrolną – m_k równą masie własnej pojazdu – m_w powiększonej o połowę różnicy dopuszczalnej masy całkowitej – d_{mc} i masy własnej:

$$m_k = m_w + \frac{d_{mc} - m_w}{2}, \quad (1)$$

- określone warunki atmosferyczne,
- pochylenie nawierzchni mniejsze niż $\pm 2\%$,
- próby przeprowadzane w dwie przeciwne strony drogi,
- minimalna liczba prób – 4 w każdą stronę drogi,
- warunek zaliczenia próby – prędkość średnia $v_{AV} \pm 1$ km/h,
- warunek pozytywnej oceny wyniku badania – współczynnik zmienności nie większy niż 3%,
- wynik badania – średnia arytmetyczna zużycia paliwa w poszczególnych próbach.

Warunki atmosferyczne są określone jako dopuszczalne zgodnie z ww. normami. Eksploatacyjne zużycie paliwa Q [$\text{dm}^3/100$ km] w poszczególnych próbach jest wyznaczane zgodnie z wzorem, z przeliczeniem do temperatury odniesienia 20°C , z dokładnością do dwóch miejsc po przecinku

$$Q = \frac{V [1 + (T_o - T_F)\alpha]}{L} \cdot 100, \quad (2)$$

gdzie: V – objętość zużytego paliwa [dm^3],

T_F – średnia temperatura paliwa, obliczona jako średnia arytmetyczna temperatury w każdej z prób na początku i końcu badania [$^\circ\text{C}$],

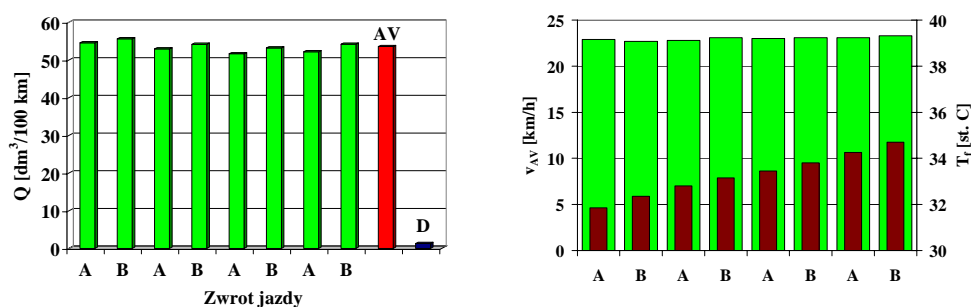
α – współczynnik cieplnych zmian objętości paliwa użytego do badań [$1/^\circ\text{C}$]; dla oleju napędowego City Diesel $\alpha = 0,000748$ [$1/^\circ\text{C}$],

T_o – temperatura odniesienia 20 [$^\circ\text{C}$],

L – długość odcinka pomiarowego [km].

3. Wyniki badań zużycia paliwa w teście MZA

W celu zilustrowania opracowanej metody badań zużycia paliwa przez autobusy komunikacji miejskiej wybrano wyniki dla autobusów typu X, różniących się zastosowaną skrzynią biegów. Wyniki dla jednego z dwóch badanych autobusów, obciążonych obciążeniem odpowiadającym masie kontrolnej, przedstawiono na rysunku 4.



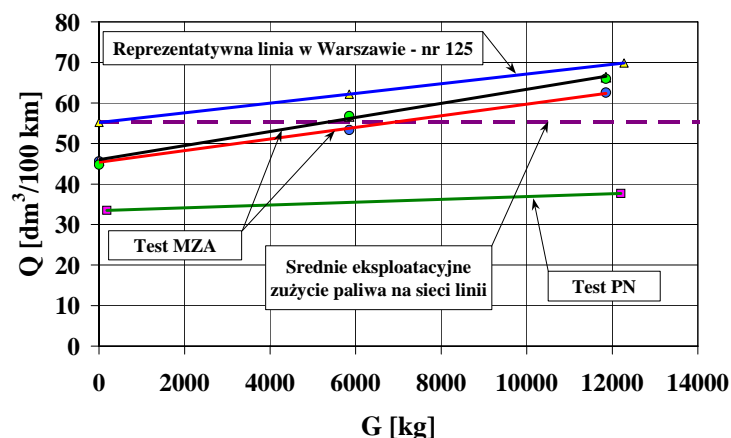
Rys. 4. Eksploatacyjne zużycie gazu ziemnego – Q oraz prędkość średnia – v_{AV} i temperatura paliwa – T_f w poszczególnych próbach testu MZA, odbywanych w strony A i B;

AV – wartość średnia, D – odchylenie standardowe

Fig. 4. The fuel consumption of CNG – Q and the average speed – v_{AV} and the fuel temperature – T_f in the individual series of test MZA in the sides A and B;

AV – the average value, D – the standard deviation

Przeprowadzono również badania dla innych obciążeń autobusu niż odpowiadającego masie kontrolnej, mianowicie dla obciążeń odpowiadających masie minimalnej (masie własnej powiększonej o 250 kg) oraz dopuszczalnej masie całkowitej. Na rysunku 5 przedstawiono porównanie zużycia paliwa przez dwa autobusy typu X w różnych warunkach: testów badawczych MZA i PN-84/S-04003 oraz eksploatacji na wszystkich liniach komunikacyjnych w Warszawie.

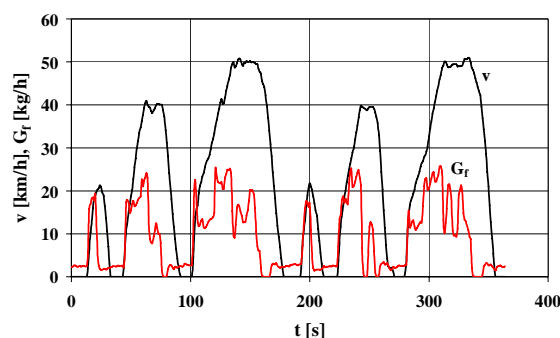


Rys. 5. Porównanie zużycia paliwa – Q przez autobusy typu X w różnych warunkach: testów badawczych i eksploatacji na liniach komunikacyjnych w zależności od obciążenia autobusu – G

Rys. 5. A comparison between the fuel consumption – Q by buses X in different conditions of the research tests and operation in city in dependence on a load of a bus – G

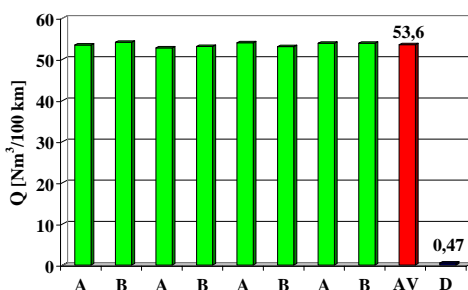
Jest wyraźnie widoczna dobra zgodność zużycia paliwa przez autobusy w teście MZA ze zużyciem paliwa przez autobusy tego samego typu na wszystkich liniach komunikacyjnych w Warszawie przy obciążeniu autobusu odpowiadającym masie kontrolnej, równiej 5800 kg.

Przeprowadzono również badania zużycia sprężonego gazu ziemnego przez autobus w teście MZA. Badaniom poddano autobus typu Y. Na rysunku 6 przedstawiono przykładowe przebiegi prędkości autobusu i natężenia przepływu gazu ziemnego zużywanego przez silnik w teście MZA przy obciążeniu autobusu odpowiadającym masie kontrolnej.



Rys. 6. Przebiegi prędkości autobusu – v i natężenia przepływu gazu ziemnego – G_f w teście MZA
 Fig. 6. The processes of bus speed – v and CNG flow intensity – G_f in the test MZA

Na rysunku 7 przedstawiono wyniki badań przy obciążeniu autobusu odpowiadającym masie kontrolnej.



Rys. 7. Eksploatacyjne zużycie gazu ziemnego – Q w poszczególnych próbach testu MZA, odbywanych w strony A i B; AV – wartość średnia, D – odchylenie standardowe
 Fig. 7. The fuel consumption of CNG – Q in the individual series of test MZA in the sides A and B; AV – the average value, D – the standard deviation

Uzyskane wyniki eksploatacyjnego zużycia gazu ziemnego w teście MZA wykazują dobrą zgodność z wynikami pomiarów eksploatacyjnego zużycia oleju napędowego autobusów o najbardziej zbliżonym typie kompletacji w rzeczywistej eksploatacji na liniach komunikacyjnych w Warszawie. Średnie eksploatacyjne zużycie oleju napędowego przez te autobusy na sieci linii MZA w 2004 r. wynosi $35,08 \text{ dm}^3/100 \text{ km}$. Średnie eksploatacyjne zużycie gazu ziemnego przez autobus Y z obciążeniem odpowiadającym masie kontrolnej w teście jeżdżym MZA wyniosło $53,6 \text{ Nm}^3/100 \text{ km}$. Stosunek zużycia paliwa dla porównywalnych autobusów zasilanych gazem ziemnym i olejem napędowym wynosi zatem $1,53 \text{ Nm}^3/\text{dm}^3$, co jest zgodne z informacjami nt. bilansów zużycia gazu ziemnego przez silniki spalinowe: zazwyczaj przyjmuje się, że ten wskaźnik zawiera się w granicach $(1,4 - 1,6) \text{ Nm}^3/\text{dm}^3$.

4. Wnioski

W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono, że opracowana procedura stanowi skuteczną metodę oceny zużycia paliwa przez autobusy komunikacji miejskiej. W odróżnieniu od testu homologacyjnego wg PN-84/S-04003 wyniki uzyskiwane w teście MZA wykazują dobrą zgodność ze zużyciem paliwa na liniach komunikacyjnych. Stwierdzono możliwość realizacji testu MZA w najbardziej ekstremalnych warunkach, tzn. dla dopuszczalnego maksymalnego obciążenia autobusu oraz niewielką wrażliwość zużycia paliwa na odchyłki realizacji przebiegów prędkości. Wyniki uzyskane w poszczególnych próbach testu charakteryzują się bardzo dobrą powtarzalnością: wypadku badań zużycia

sprężonego gazu ziemnego osiągnięto współczynniki zmienności eksploatacyjnego zużycia paliwa nie przekroczyły w żadnym z przeprowadzonych testów wartości 1,3% [3].

Doświadczenie z syntezą testu do oceny zużycia paliwa przez autobusy komunikacji miejskiej wskazują, że istnieje możliwość realizacji badań w warunkach trakcyjnych. Najważniejszym praktycznym wnioskiem okazała się niewielka wrażliwość zużycia paliwa na odchyłki realizacji przebiegów prędkości, dzięki czemu można jako kryterium prawidłowości przeprowadzenia próby w teście przyjąć odchyłkę prędkości średniej. Umożliwia to przeprowadzanie badań w warunkach trakcyjnych, konieczność bowiem utrzymania odchyłek prędkości chwilowej wymagałaby realizacji badań na hamowni podwoziowej, co wobec braku takich laboratoriów w Polsce stawiałoby pod znakiem zapytania skuteczność zaproponowanej metody oceny zużycia paliwa przez autobusy w warunkach symulujących rzeczywiste użytkowanie w komunikacji miejskiej.

Literatura

- [1] Chłopek, Z., Adamczyk, E., Tułodziecki, M., *Problems of standard fuel consumption estimation in city buses*. TRANS-BALTICA. Vilnius 2003.
- [2] Chłopek, Z., Gis, W., Menes, E., *Wstęp do tematyki oceny zużycia paliwa przez autobusy komunikacji miejskiej*. Transport Samochodowy 3–2004.
- [3] Chłopek, Z., *Badania zużycia sprężonego gazu ziemnego przez autobus*. Transport Samochodowy 4 – 2005.
- [4] Chłopek, Z., *Metodyka szacowania zużycia paliwa przez autobusy na liniach komunikacji miejskiej*. Seminarium „Technika w Lokalnym Transporcie Zbiorowym”. Kielce 2004.
- [5] Chłopek, Z., *Pojazdy samochodowe – Ochrona środowiska naturalnego*. WKŁ. Warszawa 2002.
- [6] Chłopek, Z., *Weryfikacja metod oceny zużycia paliwa przez autobusy komunikacji miejskiej*. Biuletyn Komunikacji Miejskiej. Nr 84 (sierpień 2005).
- [7] Chłopek, Z., Rostkowski, J., *Analiza emisji zanieczyszczeń z silników autobusowych w warunkach rzeczywistego użytkowania*. Journal of KONES 2003.
- [8] Rostkowski, J., Brady, J., Torres J., *Exhaust emissions testing of fifteen buses in Santafe de Bogotá, D.C. Operating with 1000 and 3000 ppm sulphur diesel*. Technical report. Environment Canada, Environmental Technology Centre, Emissions Research Measurement Division and Empresa Colombiana de Petróleos and Instituto Colombiano del Petróleo ECOPETROL. Ottawa 2000.
- [9] Testing Cycles. <http://www.dieselnet.com>.
- [10] Turner, J. E., *Ontario's experience with natural gas powered buses*. Conferenza Europea Sul Metano Nei Transporti. Bologna 1992.
- [11] UITP – International Association of Public Transport: *SORT – Standardised On-Road Tests Cycles*. Brussels – Belgium 2003.

