

Wojciech GIS  
Jerzy MERKISZ  
Jacek PIELECHA  
Maciej GIS  
Remigiusz JASIŃSKI

PTNSS–2015–3353

## Ecological assessment of city buses powered by natural gas

*The article concerns the analysis of the environmental performance of public buses equipped with combustion engines powered by alternative fuel. The paper presents selected results of the emission measurement of buses carried out in two stages: normal driving and consistent with the principles of eco-driving. Analysis of the results is a comparison of two different styles of driving. The characteristics of the operating time share have been shown in the coordinates of: speed and acceleration referenced to the vehicle and the rotational speed of the crankshaft and the load referenced to the engine. In the same ranges also the characteristics of measured exhaust compounds are shown. The conclusions are mainly referenced to ecological aspects of different driving styles of city buses.*

Key words: ecology, exhaust emissions, natural gas, real drive emission test, city buses

### Ocena ekologiczna autobusów komunikacji miejskiej zasilanych gazem ziemnym

*Tematyka artykułu dotyczy analizy parametrów ekologicznych autobusów komunikacji miejskiej wyposażonych w silniki spalinowe zasilane paliwem alternatywnym. W artykule przedstawiono wybrane wyniki pomiarów emisji zanieczyszczeń autobusów miejskich przeprowadzonych w dwóch etapach: jazdy standardowej oraz zgodnej z zasadami ecodrivingu. Analiza wyników ma charakter porównawczy dla różnych stylów jazdy autobusów. Podano także charakterystyki udziału czasu pracy w przedziałach: prędkości i przyspieszenia odniesionych do pojazdu oraz prędkość obrotowa wału korbowego i obciążenia odniesionych do silnika. W tych samych przedziałach przedstawiono również charakterystyki emisji mierzonych związków spalin. Wnioski odniesiono głównie do aspektów ekologicznych uzyskanych dla różnych stylów jazdy autobusem miejskim.*

Słowa kluczowe: ekologia, emisja spalin, gaz ziemny, badania w rzeczywistych warunkach ruchu, autobusy komunikacji miejskiej

## 1. Wprowadzenie

Badania dotyczące emisji związków szkodliwych z pojazdów napędzanych silnikami spalinowymi są ukierunkowane głównie na rozwój klasycznych [2, 11, 18] i nowych układów napędowych (np. hybrydowe układy napędowe [8]) lub układów wykorzystujących alternatywne paliwa (np. biopaliwa [10, 13, 16, 17, 25] i coraz częściej gaz ziemny [4, 5, 9, 14, 15, 24]). W tym zakresie w ostatnich latach obserwowany jest duży postęp, należy jednak zwrócić uwagę, że są to rozwiązania przyszłościowe i zapewne znajdą one szerokie zastosowanie w perspektywie kilkunastu lat, natomiast do tego czasu nadal będą dominować klasyczne układy napędowe [1, 3]. Problem zmniejszenia emisji związków szkodliwych spalin przez obecnie eksploatowane pojazdy nie jest rozwiązany i powinien być rozwijany jednocześnie z badaniami nad przyszłościowymi układami napędowymi [8, 12, 26, 27, 29, 30]. W tym zakresie brak wiedzy dotyczy szczególnie warunków rzeczywistej eksploatacji pojazdów oraz wpływu różnych czynników na poziom emisji, np. organizacja ruchu, rozwiązania konstrukcyjne węzłów komunikacyjnych infrastruktury drogowej itp. Dotychczasowe prace

nie w pełni odzwierciedlają istniejące uwarunkowania rzeczywistego ruchu drogowego i ich wpływ na poziom emisji związków szkodliwych spalin. Pomiary emisji zanieczyszczeń ze źródeł silnikowych w rzeczywistych warunkach ruchu drogowego uwzględniają zmienność warunków otoczenia, jakość nawierzchni drogi, stan ruchu oraz styl jazdy kierowcy [7, 28]. Coraz częściej są one uwzględniane w aktach prawnych dotyczących pomiarów emisji zanieczyszczeń z pojazdów [19–23].

## 2. Cel i zakres badań

Celem badań była ocena właściwości ekologicznych pojazdów komunikacji miejskiej zasilanych gazem ziemnym dla różnych warunków pracy: standardowej i wykorzystującej eco-driving.

Badania emisji spalin i zużycia paliwa przeprowadzono w dwóch etapach:

– etap I – standardowy – obejmował badania zużycia paliwa i emisji spalin bez urządzeń wspomagających oszczędności zużycia paliwa; badania wykonano wykorzystując autobus komunikacji miejskiej marki wyposażony w silnik spalinowy spełniający normę emisji spalin Euro IV (wraz z

układem oczyszczania spalin, w którym zainstalowano trójfunkcyjny reaktor katalityczny),

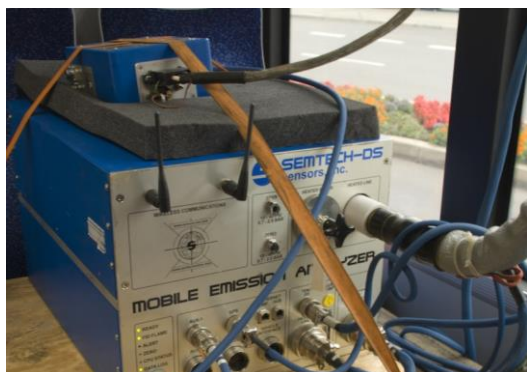
– etap II – eco – obejmował wykonanie tożsamyh badań z urządzeniem wspomagającym zmniejszenie zużycia paliwa; badania takie wykonano na tej samej trasie przejazdu i podobnych warunkach drogowych.

### 3. Obiekty badań

Trasę badawczą wybrano na podstawie obciążenia linii autobusowej, która w tym przypadku była linią średnio obciążoną. Szczegółowe dane techniczne pojazdu przedstawiono w tabelicy 1, a na rys. 1 przedstawiono autobus z zamontowaną aparaturą badawczą.

Tabela. 1. Charakterystyka badanych pojazdów

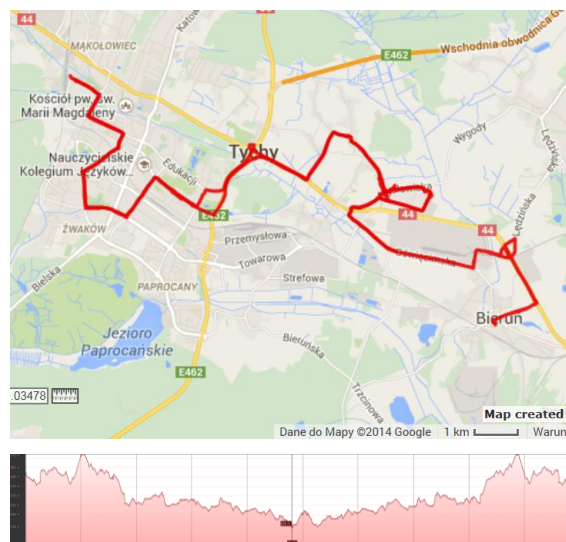
Parametr	Pojazd zasilany CNG
Typ silnika	ZI
Pojemność skokowa	7,8 dm <sup>3</sup>
Liczba cylindrów	6
Moc maksymalna	200 kW/2000 obr/min
Maksymalny moment obrotowy	1100 N·m 1100–1650 obr/min
Norma emisji spalin	Euro IV
Układ oczyszczania spalin	TWC
Dopuszczalna masa całkowita	18 000 kg
Długość	12 m



Rys. 1. Widok aparatury badawczej typu PEMS zamontowanej w pojeździe podczas badań

### 4. Metodyka badań

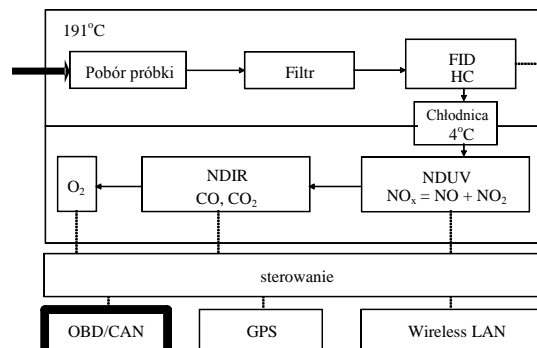
Pomiarów toksyczności spalin dokonano w różnych warunkach jazdy. Na podstawie [1, 5, 6] odcinek testowy zaplanowano jako połączenie elementów jazdy miejskiej – centrum miasta – z elementami jazdy pozamiejskiej (rys. 2). Charakterystyka trasy była następująca: długość trasy – 49,4 km, zmiana wysokości: minimalna 234 m, maksymalna 272 m, maksymalne nachylenie 6,0%, minimalne nachylenie: –6%, średnie nachylenie dodatnie: 0,8% oraz średnie nachylenie ujemne: –0,7%.



Rys. 2. Trasa przejazdu podczas badań

Podczas przejazdu standardowego i wykorzystującego zasady eco-drivingu, wykonywano pracę przejazdową ze wszystkimi konsekwencjami ruchu drogowego (zatrzymywanie się na przystankach, wsiadanie i wysiadanie pasażerów itp.).

Do pomiarów stężenia związków szkodliwych w spalinach wykorzystano mobilny analizator Semtech DS [2, 4]. Umożliwiał on pomiar związków szkodliwych dwutlenku węgla, tlenku węgla, węglowodorów oraz tlenków azotu (rys. 3).



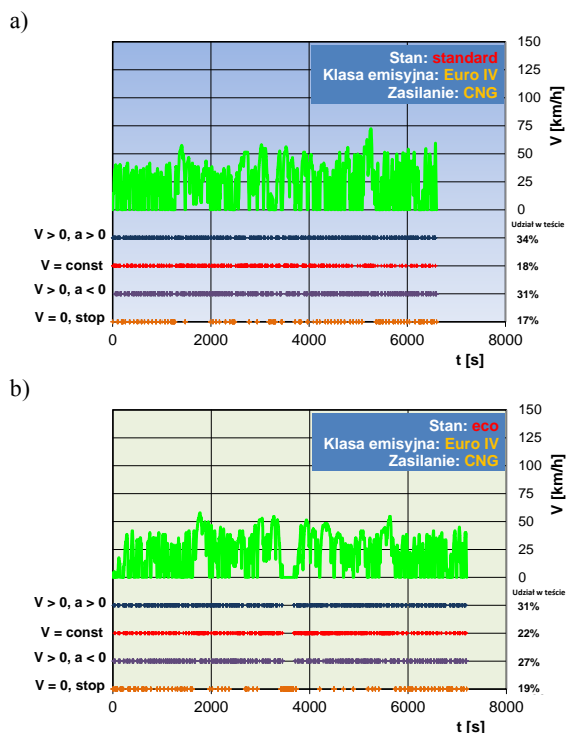
Rys. 3. Schemat mobilnego analizatora Semtech DS z zaznaczonymi układami dodatkowymi

Informacje zawarte w publikacjach z zakresu wykorzystania mobilnych analizatorów spalin w powiązaniu z danymi rejestrowanymi z pokładowych systemów diagnostycznych [14, 20], potwierdzają celowość podjęcia oceny emisji zanieczyszczeń w rzeczywistych warunkach ruchu z wykorzystaniem takiej aparatury pomiarowej.

### 3. Wyniki badań i ich analiza

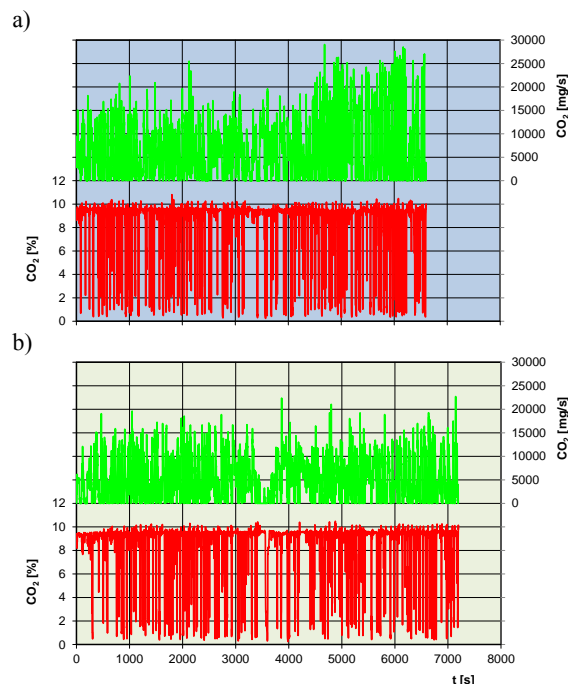
#### 3.1. Charakterystyka rejestrowanych danych

Z porównania danych przedstawionych na rys. 4 wynika, że przejazdy nie charakteryzowały się dużym podobieństwem warunków dynamicznych ruchu (porównano zakresy występowania przyspieszenia, stałej prędkości jazdy, hamowania pojazdem oraz zatrzymania). Udziały procentowe poszczególnych warunków ruchu (zamieszczone na rysunkach w prawym dolnym rogu) wskazują, że dla przejazdu **standardowego**, prędkość stała występowała przez 18% czasu trwania testu, przyspieszanie przez 34%, hamowanie łącznie zajmowało około 31% czasu trwania testu, natomiast zatrzymanie to 17% czasu trwania testu, a czas trwania testu wynosił 6600 s; dla przejazdu **eco** wartości były następujące: prędkość stała występowała przez 31% czasu trwania testu, przyspieszanie przez 22%, hamowanie łącznie zajmowało około 27% czasu trwania testu, natomiast zatrzymanie to 19% czasu trwania testu, skutkowało to wydłużeniem testu do 7194 s.

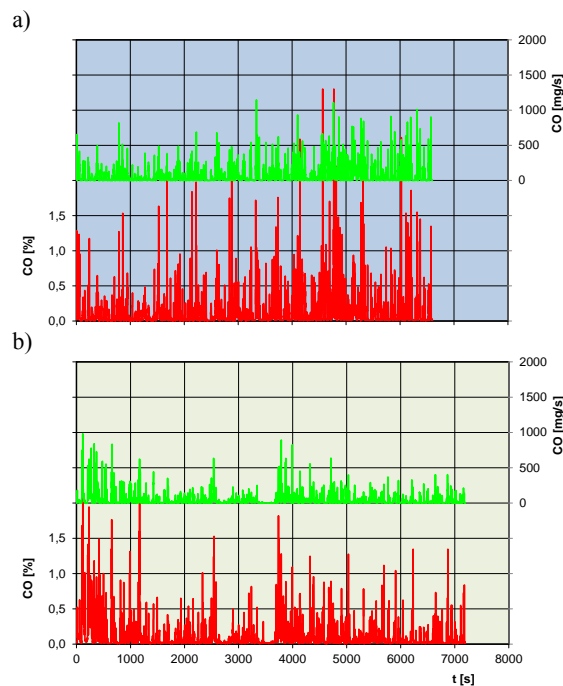


Rys. 4. Charakterystyka tras badawczych podczas badań autobusów miejskich odniesionych do czasu: a) etap I (standard), b) etap II (eco)

Podczas badań rejestrowano stężenie związków szkodliwych (rys. 5–8) oraz natężenie przepływu spalin. Stężenie dwutlenku węgla mierzone było w granicach około 9,5%, natomiast różnice odnotowano w wyznaczaniu natężenia emisji tego związku dla różnych przejazdów. Stężenie tlenku węgla osiągało poziom maksymalny wynoszący 1,5% (z pojedynczymi pikami wynoszącym ponad 3%).

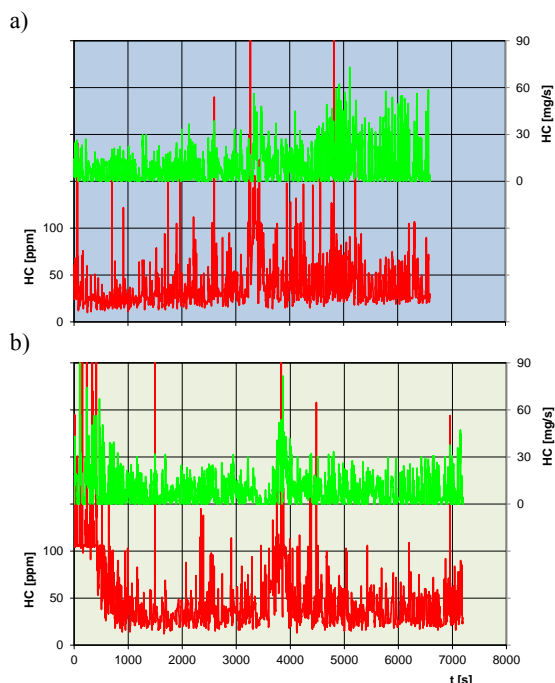


Rys. 5. Charakterystyka stężenia i natężenia emisji dwutlenku węgla; odniesione do czasu: a) etap I (standard), b) etap II (eco)

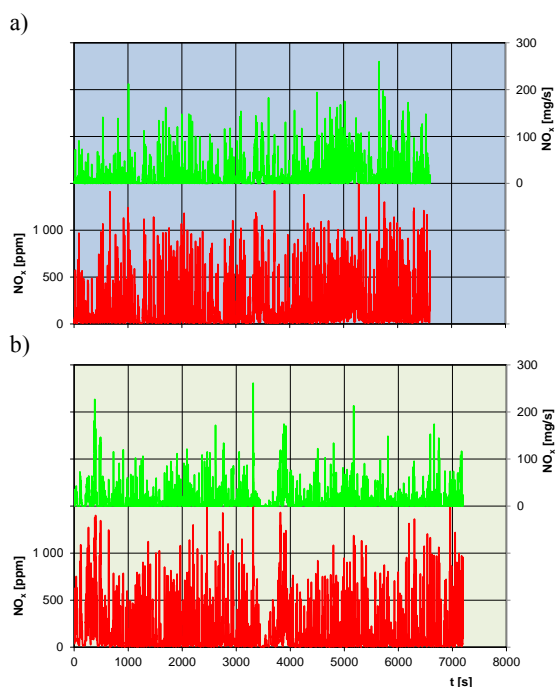


Rys. 6. Charakterystyka stężenia i natężenia emisji tlenku węgla; odniesione do czasu: a) etap I (standard), b) etap II (eco)

Stężenie węglowodorów zawierało się w granicach do 100 ppm (przejazd standard), natomiast w głównej mierze nie przekraczało 50 ppm (dla obu przejazdów). Stężenie tlenków azotu zawierało się w granicach do 1000 ppm, natomiast w głównej mierze nie przekraczało 300 ppm.



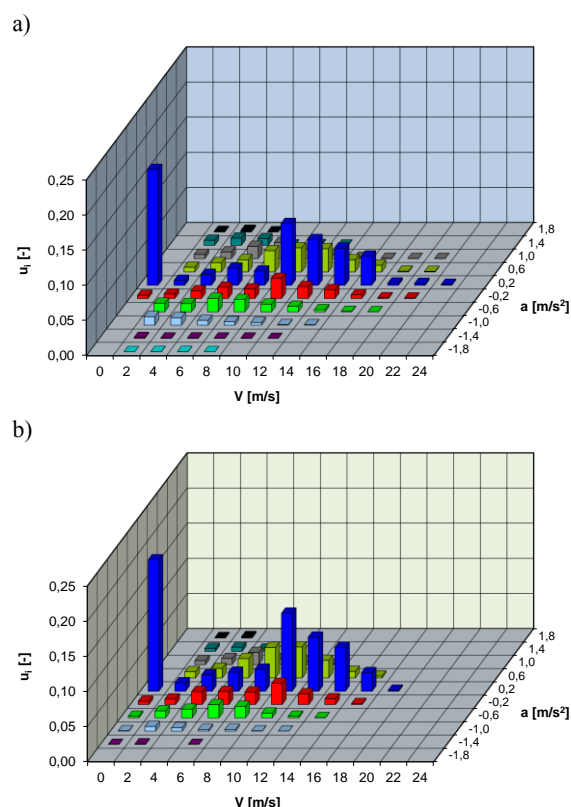
Rys. 7. Charakterystyka stężenia i natężenia emisji węglowodorów; odniesione do czasu: a) etap I (standard), b) etap II (eco)



Rys. 8. Charakterystyka stężenia i natężenia emisji tlenków azotu; odniesione do czasu: a) etap I (standard), b) etap II (eco)

### 3.2. Charakterystyki natężenia emisji związków szkodliwych

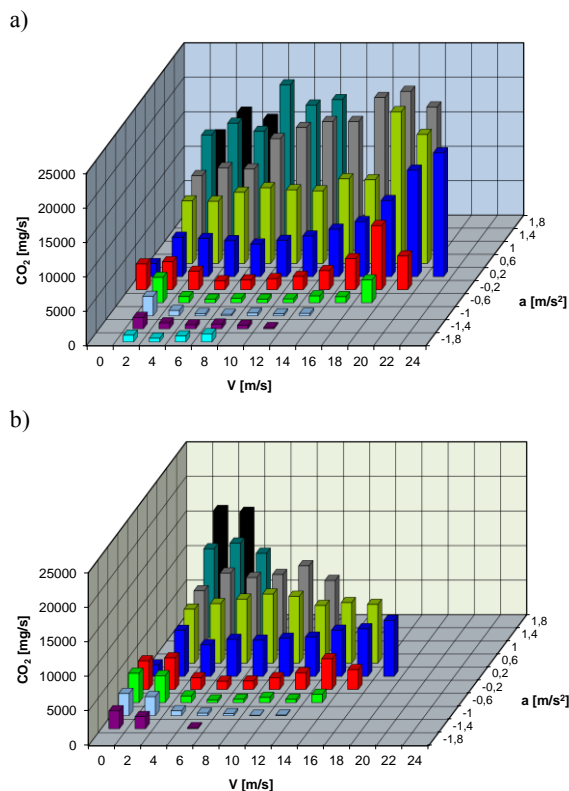
Uzyskane przebiegi czasowe natężenia emisji związków szkodliwych spalin podczas badań dla przejazdu standardowego i z wykorzystaniem zasad eco-drivingu, posłużyły do opracowania zależności charakteryzujących wpływ dynamicznych właściwości autobusu miejskiego na emisję związków szkodliwych. Dynamiczne właściwości pojazdu uwzględniono w sposób pośredni, wykorzystując podział całego zakresu prędkości jazdy oraz zakresu obliczonego przyspieszenia w ruchu miejskim do wykonania macierzy natężenia emisji poszczególnych zanieczyszczeń. Dane uśredniono w ramach poszczególnych przedziałów prędkości i przyspieszenia autobusów, otrzymując charakterystykę jego udziału pracy w poszczególnych przedziałach oraz charakterystyki macierzy emisji poszczególnych związków szkodliwych. Rozpatrując charakterystyki jazdy z rys. 9, należy zauważyć duże podobieństwo udziałów czasu jazdy, oraz to że największy udział pracy pojazdu w badanych warunkach ruchu przypada w obszarze minimalnej prędkości jazdy (postoju) i średnich prędkości (12–20 m/s) oraz zerowego przyspieszenia pojazdu.



Rys. 9. Dwuwymiarowe histogramy udziału czasu pracy pojazdu podczas badań autobusów zasilanych CNG we współrzędnych prędkość-przyspieszenie: a) etap I (standard), b) etap II (eco)

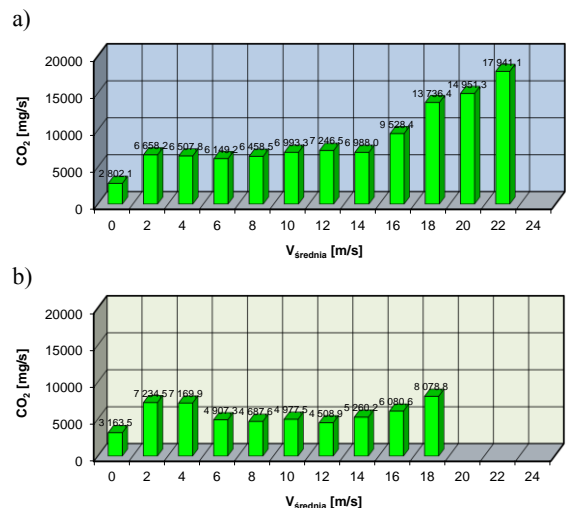
Natężenie emisji dwutlenku węgla (rys. 10), określone w miligramach na sekundę i charaktery-

zujące w sposób pośredni zużycie paliwa w badanych warunkach, jest mniejsze dla jazdy z wykorzystaniem zasad eco-drivingu niż dla przejazdu standardowego. Wartości natężenia dwutlenku węgla dla przejazdu standardowego to przedział 20 000–25 000 mg/s, natomiast dla przejazdu eco wartości te kształtują się w granicach 15 000 mg/s. Zwraca jednak uwagę charakterystyka rozkładu wielkości natężenia emisji dwutlenku węgla dla różnych typów przejazdów: przy przejeździe standardowym obserwuje się znaczny wzrost natężenia emisji dwutlenku węgla dla największych wartości przyspieszenia pojazdu – oznacza to, że w tych warunkach jazdy pojazdu praca silnika charakteryzuje się znacznym obciążeniem. Jednocześnie dla małych prędkości i dużego przyspieszenia różnica między wartościami natężenia emisji dwutlenku węgla dla różnych przejazdów zanika.



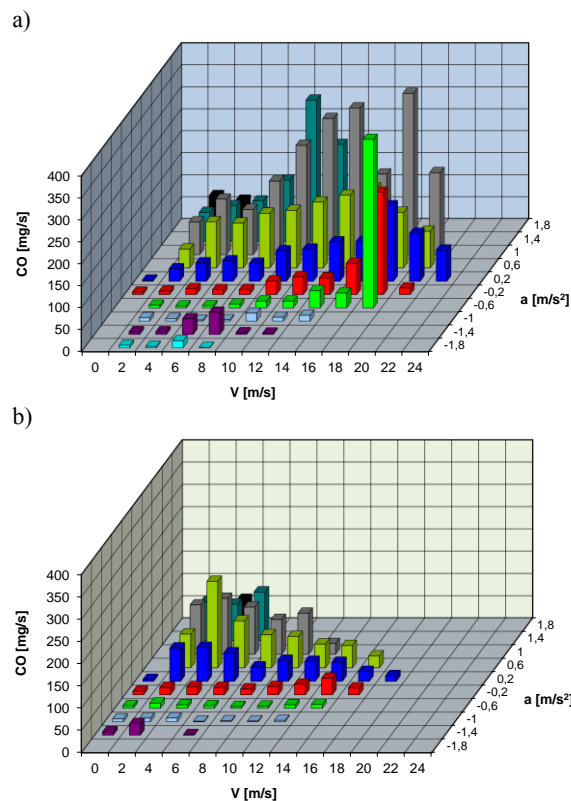
Rys. 10. Dwuwymiarowe histogramy natężenia emisji dwutlenku węgla podczas badań autobusów zasilanych CNG we współrzędnych prędkość–przyspieszenie: a) etap I (standard), b) etap II (eco)

Największe różnice w natężeniu emisji dwutlenku węgla otrzymuje się dla uśrednionych wartości prędkości jazdy autobusów. Dla przejazdu standardowego maksymalne wartości natężenia emisji dwutlenku węgla wynoszą około 18 000 mg/s i dotyczą maksymalnych prędkości jazdy (22 m/s), natomiast dla przejazdu eco odnotowano bardzo równomierne wartości natężenia emisji dwutlenku węgla (ok. 8000 mg/s), co sugeruje że w znacznej mierze wykorzystywano jazdę wybiegiem (rys. 11).



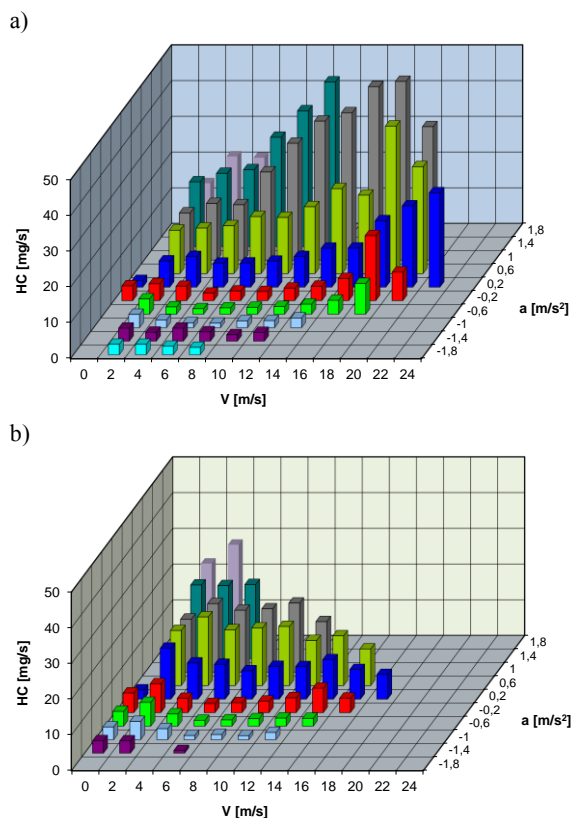
Rys. 11. Wartości natężenia emisji dwutlenku węgla podczas badań dla uśrednionych wartości prędkości: a) etap I (standard), b) etap II (eco)

Wartości natężenia tlenku węgla dla przejazdu standardowego to przedział 250–400 mg/s, natomiast dla przejazdu eco wartości te kształtują się w granicach 100 mg/s. Znaczny wzrost natężenia emisji tlenku węgla dla największych wartości przyspieszenia i prędkości pojazdu – oznacza to, że w tych warunkach pojazd charakteryzuje się znacznym obciążeniem i mniejszą sprawnością reaktora katalitycznego.



Rys. 12. Dwuwymiarowe histogramy natężenia emisji tlenku węgla podczas badań autobusów zasilanych CNG we współrzędnych prędkość–przyspieszenie: a) etap I (standard), b) etap II (eco)

Natężenie emisji węglowodorów uwidacznia podobny charakter rozkładu jak poprzednie dane (rys. 13). Dla przejazdu **standardowego** maksymalne wartości natężenia węglowodorów kształtują się w przedziale 40–50 mg/s, natomiast dla przejazdu **eco** – wyznaczone wartości to około 20–30 mg/s dla małej prędkości jazdy i znacznego przyspieszenia.

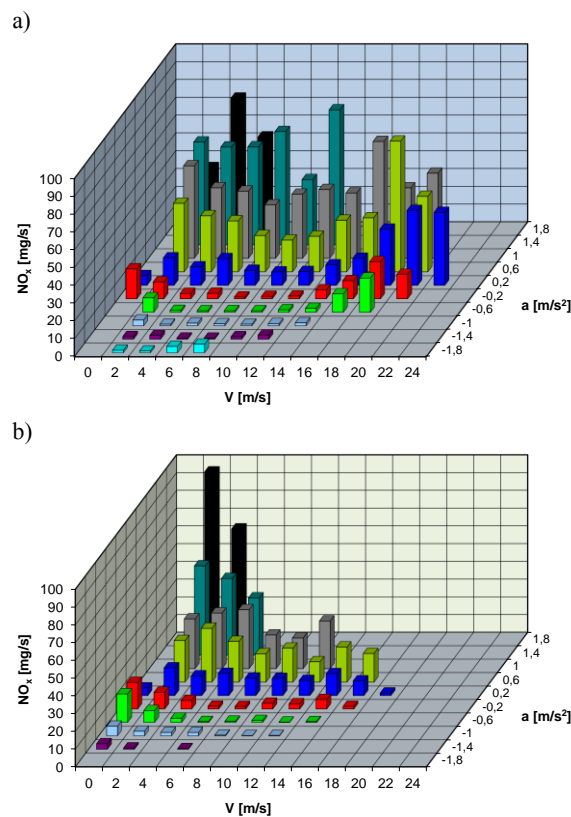


Rys. 13. Dwuwymiarowe histogramy natężenia emisji węglowodorów podczas badań autobusów zasilanych CNG we współrzędnych prędkość–przyspieszenie: a) etap I (standard), b) etap II (eco)

Podobne dwuwymiarowe charakterystyki uzyskano dla natężenia emisji tlenków azotu (rys. 14). Dla przejazdu **standardowego** wartości maksymalne są skupione wokół małych i dużych prędkości jazdy pojazdu oraz znacznej wartości przyspieszenia. Rejestrowane wartości natężenia emisji tego związku to przedział 50–80 mg/s. Dla przejazdu typu **eco** – największe wartości emisji tlenków azotu obserwowano w zakresie bardzo małych prędkości jazdy i znacznej wartości przyspieszenia. Wyznaczone wartości natężenia tlenków azotu dochodziły do 100 mg/s, a wartości średnie nie przekraczały 30 mg/s.

Podobieństwo uzyskiwanych charakterystyk natężenia emisji wszystkich związków szkodliwych wynikało z zastosowania i sprawnego działania reaktora katalitycznego, a obszary w których następowało zwiększenie tych wartości, prawdopodobnie wynikały ze zwiększonego natężenia spalin w

wyniku zwiększania prędkości obrotowej silnika. Jednakże w obszarach o ustalonych parametrach pracy jednostki napędowej w trybie jazdy ekonomicznej (**eco**) natężeni emisji poszczególnych składników spalin było kilkukrotnie mniejsze niż dla warunków jazdy standardowej.

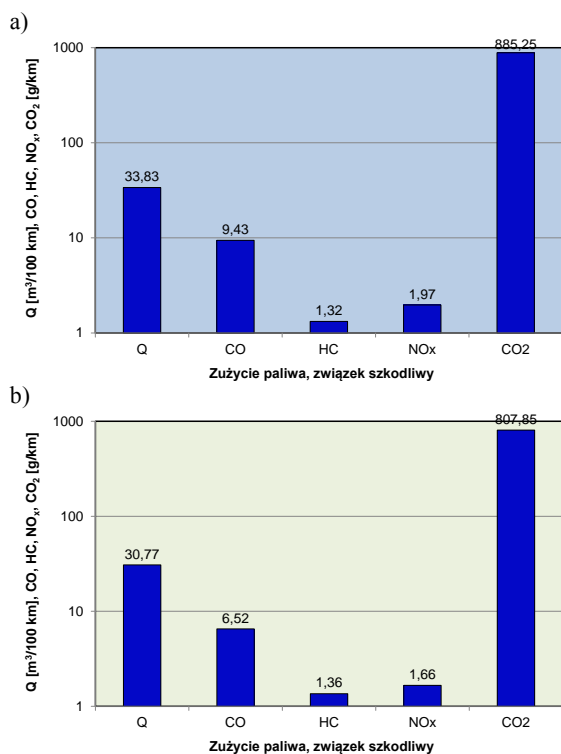


Rys. 14. Dwuwymiarowe histogramy natężenia emisji tlenków azotu podczas badań autobusów zasilanych CNG we współrzędnych prędkość–przyspieszenie: a) etap I (standard), b) etap II (eco)

#### 4. Podsumowanie

Z wykonanych badań wpływu sposobu jazdy autobusów miejskich (z etapu I i II) w rzeczywistych warunkach ruchu drogowego wnioski są następujące (rys. 15 i 16):

- wyznaczona emisja drogowa dwutlenku węgla dla przejazdu standardowego wynosiła 885 g/km (I etap), a dla przejazdu z wykorzystaniem zasad eco-drivingu wynosiła 807 g/km (II etap),
- emisja drogowa tlenku węgla dla przejazdu standardowego wynosiła 9,43 g/km (I etap), a dla przejazdu z wykorzystaniem zasad eco-drivingu wynosiła 6,52 g/km (II etap);
- emisja drogowa węglowodorów dla przejazdu standardowego wynosiła 1,32 g/km (I etap), a dla przejazdu z wykorzystaniem zasad eco-drivingu wynosiła 1,36 g/km (II etap) –
- drogowa emisja tlenków azotu dla przejazdu standardowego wynosiła 1,97 g/km (I etap), a dla przejazdu z wykorzystaniem zasad eco-drivingu wynosiła 1,66 g/km (II etap).



Rys. 15. Wyniki przebiegowego zużycia paliwa i emisji drogowej zanieczyszczeń uzyskane podczas badań autobusów zasilanych CNG: a) etap I (standard), b) etap II (eco)

Obliczając wartości względne wyznaczonych wartości uzyskano dane (rys. 16), które charakteryzują sposób jazdy bazujący na zasadach eco-drivingu (podane wartości oznaczają zmianę w stosunku do sposobu jazdy określonego jako standardowy):

- emisja drogowa dwutlenku węgla zmniejszyła się o 9%,
- emisja drogowa tlenku węgla zmniejszyła się o 31%,
- emisja drogowa węglowodorów zwiększyła się o 3%,
- emisja drogowa tlenków azotu zmniejszyła się o 16%.

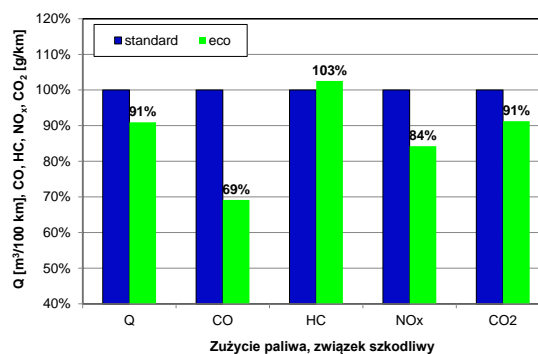
Natomiast w przypadku jednostkowej emisji zanieczyszczeń wnioski są następujące (rys. 17):

– jednostkowa emisja dwutlenku węgla: 635 g/kWh (I etap) oraz 666 g/kWh (II etap) – zwiększenie o 5%,

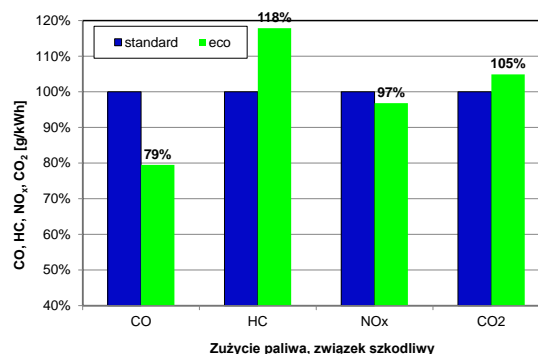
– jednostkowa emisja tlenku węgla: 6,67 g/kWh (I etap) oraz 5,38 g/kWh (II etap) – zmniejszenie o 21%,

– jednostkowa emisja węglowodorów: 0,95 g/kWh (I etap) oraz 1,12 g/kWh (II etap) – zwiększenie o 18%,

– jednostkowa emisja tlenków azotu: 1,41 g/kWh (I etap) oraz 1,38 g/kWh (II etap) – zmniejszenie o 3%.



Rys. 16. Wartości względne przebiegowego zużycia paliwa i emisji drogowej zanieczyszczeń uzyskane podczas badań autobusów zasilanych CNG: a) etap I (standard), b) etap II (eco)



Rys. 17. Wartości względne emisji jednostkowej zanieczyszczeń uzyskane podczas badań autobusów zasilanych CNG: a) etap I (standard), b) etap II (eco)

## Skróty i oznaczenia

<i>a</i>	<i>acceleration/przyspieszenie</i>
CNG	<i>compressed natural gas/sprężony gaz ziemny</i>
<i>e</i>	<i>jednostkowa emisja zanieczyszczeń</i>
Euro	<i>normy emisji spalin w Europie</i>
EU	<i>European Union/Unia Europejska</i>
PEMS	<i>Portable Emissions Measurement System/przenośny system do pomiaru emisji związków toksycznych spalin</i>

<i>t</i>	<i>time/czas</i>
TWC	<i>tree way catalyst/reaktor katalityczny potrójnego działania</i>
<i>u</i>	<i>share/współczynnik udziału</i>
<i>V</i>	<i>vehicle speed/prędkość pojazdu</i>
ZI	<i>silnik o zapłonie iskrowym</i>
ZS	<i>silnik o zapłonie samoczynnym</i>

---

## Literatura

- [1] Amann M., Bertok I., Cabala R., Cofala J., Heyes C., Gyarmas F., Klimont Z., Schöpp W., Wagner F.: A further emission control scenario for the Clean Air for Europe (CAFE) programme. CAFE Scenario Analysis Report Nr 7, IIASA, Laxenburg.
- [2] Bonnel P., Weiss M., Provenza A.: In-use emissions requirements in the new and future European motor vehicle emissions regulations: state of play. In: 8th Annual SUN Conference, Ann Arbor 2011.
- [3] California Air Resources Board, Detailed California Modified GREET Pathway for Compressed Natural Gas (CNG) from North American Natural Gas, Version 2.1, [www.arb.ca.gov/fuels/lcfs/022709lcfs\\_cng.pdf](http://www.arb.ca.gov/fuels/lcfs/022709lcfs_cng.pdf), 2009.
- [4] Deutsche Energie Agentur GmbH: Erdgas und Biomethan im künftigen Kraftstoffmix – Handlungsbedarf und Lösungsansätze für eine beschleunigte Etablierung im Verkehr (The role of natural gas and methane in the fuel mix of the future in Germany), DENA, Berlin 2010.
- [5] Engerer H., Horn M.: Natural gas vehicles: an option for Europe. *Energy Policy*, Elsevier 38 (2), 2010, 1017–1029.
- [6] Gis W., Mazurek S. i in.: Opracowanie metod oceny emisji substancji szkodliwych spalin w rzeczywistych warunkach ruchu. Projekt badawczy rozwojowy Nr R 10 040 02. Warszawa 2009.
- [7] Gis W., Żółtowski A. i in.: Wstępna ocena emisji zanieczyszczeń z maszyn niedrogowych w rzeczywistych warunkach pracy. Praca Instytutu Transportu Samochodowego 6113/COS. Warszawa 2012.
- [8] International Energy Agency, Energy technology perspectives 2010: scenarios and strategies to 2050. OECD/IEA, Paris 2010.
- [9] International Gas Union, Natural gas for vehicles (NGV). Report on Study Group 5.3, IGU 2009.
- [10] Lim O., Iida N., Cho G., Narankhuu J.: The research about engine optimization and emission characteristic of dual fuel engine fueled with natural gas and diesel. SAE Technical Paper Series 2012-32-0008, 2012.
- [11] Merkisz J., Pielecha J., Gis W.: Heavy duty Diesel emission road tests. VI Międzynarodowa konferencja Naukowo-Techniczna Polish Cimac Explo-Diesel, Gas Turbine'09, Gdańsk–Międzyzdroje–Kopenhaga 2009.
- [12] Merkisz J., Pielecha J., Radzimirski S.: New trends in emission control in the European Union. Springer Tracts on Transportation and Traffic, Springer Verlag, Vol. 4, 2014, p. 170.
- [13] Merkisz J., Pielecha J., Łabędź K.: On-road test exhaust emissions vehicle powered by compressed natural gas. FISITA 2014 World Automotive Congress, Paper no. F2014-CET-122, Maastricht 2-6 June 2014.
- [14] Neandross E.: Developments in the U.S. LNGV market. LNG is HOT: Opportunities, Challenges & Strategies as a Vehicle Fuel, Conference, Gladstein, Neandross and Associates (GNA), Brussels 2009.
- [15] Nijboer M.: The contribution of natural gas to sustainable transport. International Energy Agency, 2010.
- [16] Pielecha J., Łabędź K., Stojecki A., Jasiński R.: Badania emisji spalin pojazdów z różnymi systemami zasilania gazem ziemnym. *Logistyka*, 5, 2014.
- [17] Pielecha J., Merkisz J., Łabędź K.: The effect of mileage of the vehicle fueled with natural gas on the vehicle's ecological indices. PTNSS–2013–SC–150. *Combustion Engines* nr 3, 2013.
- [18] 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.
- [19] Regulation (EC) No. 595/2009 of the European Parliament and of the Council of 20 June 2007 on type approval of motor vehicles with respect to emissions from heavy duty vehicles (Euro VI) and on access to vehicle repair and maintenance information and amending Regulation (EC) No 715/2007 and Directive 2007/46/EC and repealing Directives 80/1269/EEC, 2005/55/EC and 2005/78/EC. OJ L 188/1, 18.07.2009.
- [20] Regulation No. 49 Revision 5. Uniform provisions concerning the measures to be taken against the emission of gaseous and particulate pollutants from compression ignitions engines for use in vehicles, and the emission of gaseous pollutants from positive ignition engines fuelled with natural gas or liquefied petroleum gas for use in vehicles. E/ECE/324/Rev.1/Add.48/Rev.5-E/ECE/TRANS/505/Rev.1/Add.48/Rev.5.
- [21] Regulation No. 49 Revision 6. Uniform provisions concerning the measures to be taken against the emission for gaseous and particulate pollutants from compression – ignition engines and positive ignition engines for use in vehicles. E/ECE/324/Rev.1/Add.48/Rev.6-E/ECE/TRANS/505/Rev.1/Add.48/Rev.6.
- [22] Rozporządzenie Komisji (UE) Nr 582/2011 wykonujące i zmieniające rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 595/2009 w odniesieniu do emisji zanieczysz-



- czeń pochodzących z pojazdów ciężarowych o dużej ładowności (Euro VI) oraz mieniające załączniki I i III do dyrektywy 2007/46/WE Parlamentu Europejskiego i Rady. Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej L167/1.
- [23] Rozporządzenie Komisji (UE) Nr 64/2012 zmieniające rozporządzenie (UE) nr 582/2011 Parlamentu Europejskiego w odniesieniu do emisji zanieczyszczeń pochodzących z pojazdów ciężarowych o dużej ładowności (Euro VI).
- [24] Samson-Bręk I.: Środowiskowe aspekty wykorzystania paliw metanowych w transporcie. Przemysłowy Instytut Motoryzacji, Warszawa 2012.
- [25] Simio de L., Gambino M., Iannaccone S.: Use of hydrogen-methane mixtures for heavy-duty engines. NGV 2010 Roma: Creating a Revolution in Transport Conference, Istituto Motori, Rome 2010.
- [26] Smerkowska B.: Rynek biogazu i CNG jako paliwa w Europie. Forum Czystej Energii Poleko, Poznań 2012.
- [27] Taib Iskandar Mohamad: Compressed natural gas direct injection (spark plug fuel injector). [In:] Natural Gas, Primox Potocnik (ed.), Intech 2010.
- [28] 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.
- [29] Westport. Natural gas vehicle technologies for light, medium, heavy and high horsepower applications. II Konferencja „Metan dla motoryzacji”, Warszawa 6.03.2013.
- [30] Zajkowski R., Wieczorek K.: Perspektywy wykorzystania metanu do zasilania pojazdów. II Konferencja „Metan dla motoryzacji”, Warszawa 6.03.2013.

Wojciech Gis, DSc., DEng. – Assistant Professor in Motor Transport Institute in Warsaw.  
*Dr hab. inż. Wojciech Gis – adiunkt w Instytucie Transportu Samochodowego w Warszawie.*



Jacek Pielecha, DSc., DEng. – Professor in the Faculty of Machines and Transport at Poznan University of Technology.  
*Dr hab. inż. Jacek Pielecha, prof. PP – profesor na Wydziale Maszyn Roboczych i Transportu Politechniki Poznańskiej.*



Remigiusz Jasiński, MSc, Eng. – PhD student in the Faculty of Machines and Transport at Poznan University of Technology.  
*Mgr inż. Remigiusz Jasiński – doktorant na Wydziale Maszyn Roboczych i Transportu Politechniki Poznańskiej.*



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



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

Maciej Gis Eng. – student in the Faculty of Automotive and Construction Machinery Engineering at Warsaw University of Technology.



*Inż. Maciej Gis – student Wydziału Samochodów i Maszyn Roboczych Politechniki Warszawskiej.*