

Zdzisław Chłopek¹, Tomasz Szczepański¹

ZASTOSOWANIE PALIWA BIOGAZOWEGO W TRANSPORCIE PUBLICZNYM W CELU ZMNIEJSZENIA ZANIECZYSZCZENIA ŚRODOWISKA W STREFACH CHRONIONYCH EKOLOGICZNIE

Streszczenie. W pracy przedstawiono wyniki badań emisji zanieczyszczeń z silników zasilanych paliwem biogazowym, stosowanych w komunikacji miejskiej. Paliwo biogazowe pochodzi z przetwarzania biogazu, powstającego przede wszystkim z utylizacji odpadów i produktów ubocznych, może być zatem zaliczone do biopaliw drugiej generacji. Wyniki badań w procedurach homologacyjnych porównano z limitami emisji jednostkowej zanieczyszczeń EEV (ang. Enhanced Environmental Friendly Vehicles – pojazdy przyjazne dla środowiska naturalnego). Oceniono korzyści ekologiczne zasilania silników autobusowych paliwem biogazowym. Stwierdzono, że zastosowanie paliwa biogazowego do zasilania autobusów jest jednym z najbardziej ekologicznych rozwiązań w komunikacji miejskiej w centrach wielkich aglomeracji miejskich oraz w strefach chronionych ekologicznie ze względu na walory uzdrowiskowe i kulturowe.

Słowa kluczowe: silniki spalinowe, biogaz, emisja zanieczyszczeń.

WSTĘP

Zagrożenia ze strony motoryzacji w centrach wielkich aglomeracji miejskich oraz w obszarach chronionych ekologicznie należy do najważniejszych problemów cywilizacyjnych. Podmiotem, stanowiącym duże zagrożenie, jest transport publiczny, realizowany w znacznym stopniu z zastosowaniem autobusów miejskich. Do napędu autobusów miejskich wykorzystuje się przede wszystkim silniki o zapłonie samoczynnym zasilane olejem napędowym. Do najważniejszych zagrożeń środowiska, związanych z użytkowaniem pojazdów samochodowych z silnikami o zapłonie samoczynnym, zalicza się emisję tlenków azotu i cząstek stałych oraz emisję hałasu. Mimo znaczącego postępu w ograniczaniu emisji zanieczyszczeń motoryzacyjnych silniki o zapłonie samoczynnym sprawiają liczne problemy eksploatacyjne i należy ocenić, że dalszy rozwój klasycznych silników o zapłonie samoczynnym, zasilanych olejem napędowym, jest znacznie ograniczony. Jednym z rozwiązań proekologicznych w ciężkich silnikach o zapłonie samoczynnym na olej napędowy jest zastępowanie ich silnikami spalinowymi zasilanymi paliwami gazowymi. Są to zazwyczaj w zasto-

¹ Instytut Transportu Samochodowego, e-mail: Zdzisław.Chłopek@its.waw.pl

sowaniu do autobusów miejskich silniki o zapłonie iskrowym, stanowiące modernizację oryginalnych silników o zapłonie samoczynnym. Najczęściej do zasilania tych silników stosuje się gaz ziemny. Istnieje również możliwość zastosowania biogazu.

Biogaz powstaje z biomasy pochodzącej z produktów ubocznych i odpadowych lub z surowców pochodzących z upraw roślinnych. Paliwo biogazowe wytwarzane z produktów ubocznych i odpadowych może być zaliczone do biopaliw drugiej generacji [10], w związku z czym emisja zanieczyszczeń, w tym gazów cieplarnianych, w całym cyklu istnienia pojazdu jest szczególnie mała, nie występuje bowiem emisja przypadająca na fazę uprawy surowców. W fazie użytkowania pojazdu zasilanego paliwem biogazowym emisja dwutlenku węgla kopalnego jest oczywiście zerowa, jako że paliwo biogazowe zalicza się do kategorii paliw odnawialnych.

Najczęściej występującym rozwiązaniem w dużych silnikach jest zastosowanie zasilania biogazem silników o zapłonie iskrowym, będących modyfikacją oryginalnych silników o zapłonie samoczynnym. Najważniejszymi zmianami konstrukcyjnymi silnika o zapłonie samoczynnym na silnik o zapłonie iskrowym, zasilany biogazem, jest: zastosowanie świecy zapłonowej w miejsce wtryskiwacza, wyposażenie silnika w układ zapłonu, konstrukcyjne zmniejszenie stopnia sprężania, zastosowanie przepustnicy w układzie dolotowym, zastosowanie specjalnych sterowników procesów roboczych w silniku, przede wszystkim dawki paliwa i kąta wyprzedzenia zapłonu, oraz zastosowanie w układzie wylotowym specjalnego reaktora katalitycznego.

Istnieją dwie możliwości zastosowania algorytmów sterowania składem mieszanki palnej silników o zapłonie iskrowym na paliwo gazowe: sterowanie na mieszankę stechiometryczną (w podstawowym obszarze pracy) z wykorzystaniem wielofunkcyjnego reaktora katalitycznego utleniająco-redukującego oraz sterowanie na mieszanki ubogie w obszarach pracy silnika na obciążeniach częściowych. Częściej stosowanym rozwiązaniem w silnikach do napędu autobusów miejskich, jest wykorzystania sterowania składem mieszanki palnej na stechiometryczną.

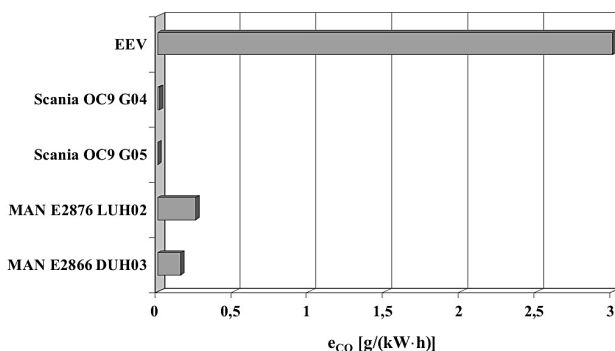
EKOLOGICZNE WŁAŚCIWOŚCI SILNIKÓW AUTOBUSOWYCH ZASILANYCH PALIWEM BIOGAZOWYM

Z dotychczasowych doświadczeń wynikają liczne zalety ekologiczne silników o zapłonie iskrowym, zasilanych gazem ziemnym lub biogazem, w stosunku do silników o zapłonie samoczynnym, przede wszystkim [1, 2, 4, 7–11, 13–18]:

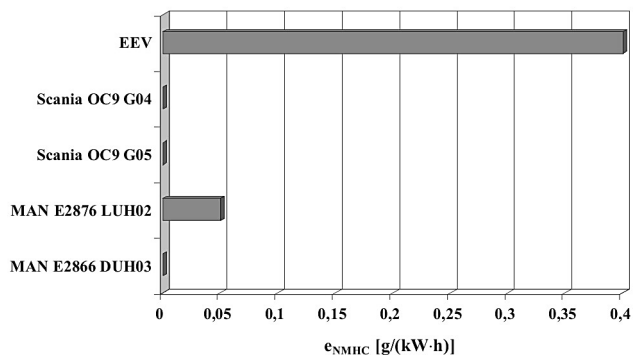
- zmniejszenie emisji tlenu węgla,
- znaczne zmniejszenie emisji węglowodorów,
- znaczne zmniejszenie emisji węglowodorów pierścieniowych i ich pochodnych, w szczególności wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych,
- zmniejszenie emisji tlenków azotu,
- znaczne zmniejszenie emisji cząstek stałych.

Literatura dostarcza licznych informacji na temat wyników badań silników spalinowych zasilanych paliwami gazowymi, w szczególności ekologicznych skutków zastosowania gazu ziemnego i biogazu do zasilania silników [1, 2, 4, 5, 7–11, 13–18]. Informacje te są w znacznym stopniu niejednolite, a bardzo często nawet sprzeczne ze sobą. Dotyczy to szczególnie emisji zanieczyszczeń, bardzo wrażliwej na właściwości konstrukcyjne silników oraz warunki ich pracy. Najbardziej liczny zbiór informacji na temat emisji zanieczyszczeń z silników spalinowych, zasilanych gazem ziemnym i biogazem, dotyczy wyników badań homologacyjnych. Warunki te różnią się jednak bardzo znacznie od warunków pracy silników spalinowych w autobusach miejskich. Warunki pracy silników spalinowych w autobusach miejskich charakteryzują się znacznie mniejszymi wartościami średniej prędkości obrotowej i obciążenia oraz większym udziałem czasu pracy na biegu jałowym niż ma to miejsce w dynamicznych testach homologacyjnych [12]: amerykańskim HDDTT (ang. Heavy Duty Diesel Transient Test), a szczególnie europejskim ETC (ang. European Transient Cycle). Podobne różnice zachodzą w wypadku rozpatrywania statycznych stanów pracy silników w testach homologacyjnych i w warunkach rzeczywistego użytkowania silników w autobusach miejskich. Rozważania na temat warunków pracy silnika spalinowego w autobusie miejskich są zawarte w pracy [6].

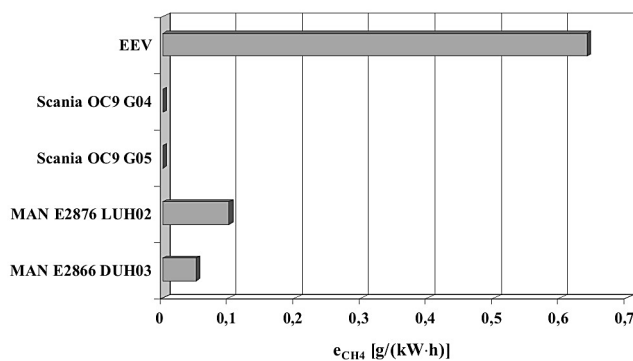
Przykładowe wyniki badań homologacyjnych w teście dynamicznym ETC silników spalinowych zasilanych gazem ziemnym przedstawiono na rysunkach 1–5 (na podstawie wyników badań zawartych m.in. w [11, 13]). Silniki te zostały zastosowane w autobusach miejskich, w których wykorzystuje się do zasilania paliwo biogazowe. Silniki Scania OC9 G04, Scania OC9 G05 oraz MAN E2876 LUH02 mają system spalania mieszanki ubogiej, natomiast silniki MAN E2866 DUH03 i Cummins ISLG 320 CNG są zasilane mieszką stechiometryczną, a w układzie wylotowym zastosowano wielofunkcyjny reaktor katalityczny utleniająco-redukujący. Dla silnika Cummins ISLG 320 CNG przedstawiono tylko wyniki emisji jednostkowej tlenków azotu i cząstek stałych – pozostałe wyniki badań okazały się niedostępne. Ze względu na znaczne podobieństwo składu paliwa biogazowego i gazu ziemnego w pracy są wykorzystywane wyniki badań silników zasilanych gazem ziemnym.



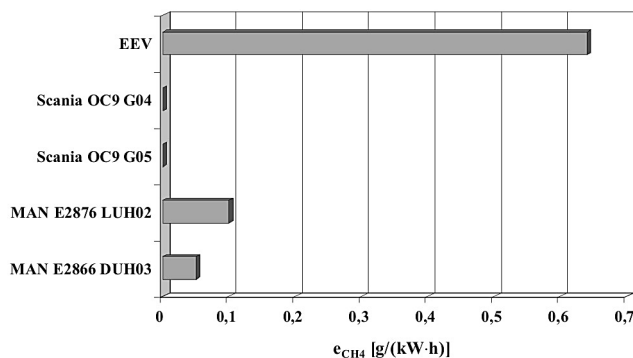
Rys. 1. Emisja jednostkowa tlenku węgla z silników spalinowych zasilanych gazem ziemnym oraz limit EEV



Rys. 2. Emisja jednostkowa niemetanowych węglowodorów z silników spalinowych zasilanych gazem ziemnym oraz limit EEV

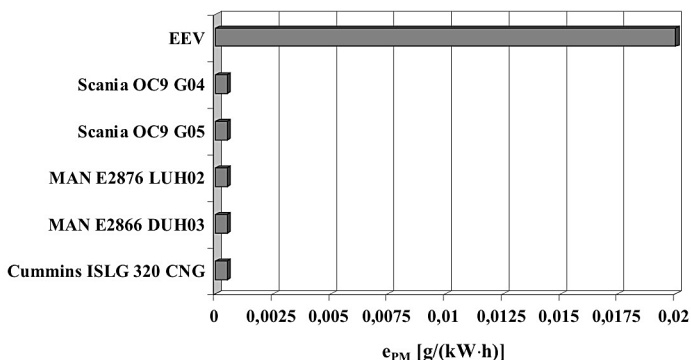


Rys. 3. Emisja jednostkowa metanu z silników spalinowych zasilanych gazem ziemnym oraz limit EEV



Rys. 4. Emisja jednostkowa tlenków azotu z silników spalinowych zasilanych gazem ziemnym oraz limit EEV

Jest znamienne, że w wypadku większości zanieczyszczeń ich emisje jednostkowe są znacznie mniejsze niż limity EEV, szczególnie dla tlenku węgla, związków orga-

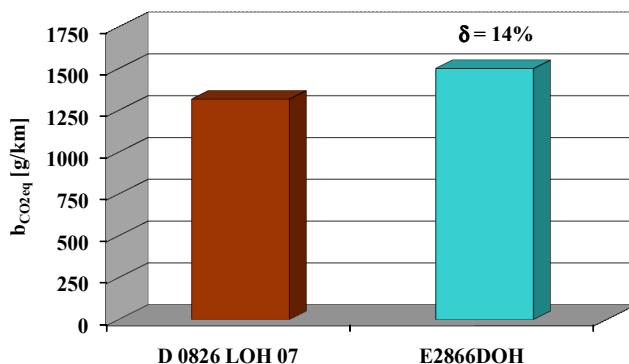


Rys. 5. Emisja jednostkowa cząstek stałych z silników spalinowych zasilanych gazem ziemnym oraz limit EEV

nicznych i cząstek stałych. Jedynie w wypadku tlenków azotu ich emisja jednostkowa z silników zasilanych mieszanką ubogą jest stosunkowo duża, co jest typowe dla takich silników [7, 8]. W zamian za tę niedogodność osiąga się zysk w sprawności ogólnej, która jest większa dla silników zasilanych mieszanką ubogą, co skutkuje mniejszym zużyciem paliwa przez autobusy w ich użytkowaniu [7, 8].

Istnieją również doniesienia literaturowe na temat badań poznawczych emisji zanieczyszczeń z silników zasilanych gazem ziemnym lub biogazem [8, 15–17].

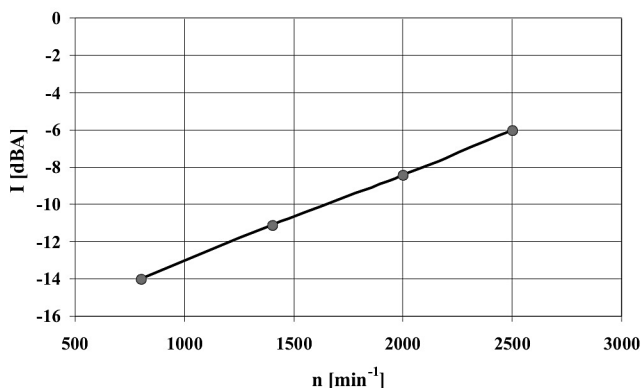
Szczególnie interesujące są badania porównawcze emisji zanieczyszczeń: z silników klasycznych o zapłonie samoczynnym zasilanych olejem napędowym i z silników o zapłonie iskrowym na gaz ziemny, wykonywane w warunkach użytkowania w autobusie miejskim. Oryginalne wyniki badań są przedstawione w pracach [16, 17]. Badania przeprowadzono na hamowni podwoziowej w testach jezdnych, opracowanych do symulacji ruchu autobusu miejskiego: Braunschweig i Orange County Bus [12]. Badania były przeprowadzane na autobusach z silnikami o różnej objętości skokowej i z różnymi układami sterowania składem mieszanki gazowo-powietrznej: stechiometrycznego i na mieszanki ubogie. Ogólnie potwierdziły się powszechnie znane wyniki znacznego zmniejszenia dzięki zastosowaniu gazu ziemnego emisji tlenku węgla, węglowodorów i tlenków azotu oraz prawie całkowitego wyeliminowania emisji cząstek stałych. W wypadku emisji dwutlenku węgla wyniki były niejednoznaczne z tendencją zwiększenia się emisji dla zastosowania zasilania gazem ziemnym. Wyniki te potwierdzają wyniki badań przedstawione w pracy [5]. W pracy tej wyznaczono emisję dwutlenku węgla całkowitego (wynikającą ze składu elementarnego paliwa) z silnika o zapłonie samoczynnym na olej napędowy i z silnika o zapłonie iskrowym na gaz ziemny na podstawie wyników badań emisji w teście dynamicznym ETC oraz wyników zużycia paliwa w teście jezdnym MZA, opracowanym dla warunków ruchu autobusów w Warszawie [5]. Uzyskano wynik względnego zwiększenia emisji drogowej dwutlenku węgla całkowitego w teście MZA w wypadku zastosowania gazu ziemnego o prawie 15% (rysunek 6).



Rys. 6. Emisja drogowa dwutlenku węgla całkowitego w teście MZA z silników: D082LOH07 na olej napędowy i E2866DOH na gaz ziemny

Zwiększenie emisji dwutlenku węgla całkowitego w wypadku zastosowania gazu ziemnego wynika przede wszystkim z mniejszej sprawności ogólnej silnika o zapłonie iskrowym w stosunku do sprawności ogólnej silnika o zapłonie samoczynnym, szczególnie w warunkach niewielkich obciążeń, co występuje w użytkowaniu silników autobusów miejskich. Wniosek o różnicach w emisji dwutlenku węgla dotyczy oczywiście jedynie dwutlenku węgla całkowitego – w wypadku używania biogazu, który jest paliwem odnawialnym, emisja dwutlenku węgla kopalnego jest praktycznie zerowa, a to właśnie emisja dwutlenku węgla kopalnego jest czynnikiem sprzyjającym intensyfikacji zjawiska cieplarnianego w atmosferze.

Innym niż emisja zanieczyszczeń efektem ekologicznym zastosowania paliw gazowych do zasilania silników spalinowych jest zmniejszenie emisji hałasu. Jest to szczególnie zauważalne w wypadku porównania dla silnika o zapłonie samoczynnym na olej napędowy i silnika o zapłonie iskrowym na gaz ziemny lub biogaz.



Rys. 7. Różnica poziomów natężenia hałasu w zależności od prędkości obrotowej silnika (wg [10])

Większość badaczy stwierdza zmniejszenie poziomu natężenia hałasu wylotu spalin o około 3 dB [7, 10, 14, 18], ale są również wyniki na poziomie 5 dB przy pełnym obciążeniu i prawie 10 dB na biegu jałowym [10]. W pracy [10] są wyniki badań różnicy poziomów natężenia hałasu w zależności od prędkości obrotowej silnika, począwszy od prędkości biegu jałowego, wynoszącej 800 min^{-1} do prędkości znamionowej, wynoszącej 2500 min^{-1} (rys. 7). Zwiększającej się prędkości obrotowej towarzyszy wzrastające obciążenie: od jego braku na biegu jałowym aż do obciążenia maksymalnego przy prędkości znamionowej.

PODSUMOWANIE

Podsumowując ekologiczne zalety zastosowania zasilania silników autobusów miejskich paliwem biogazowym zamiast silników o zapłonie samoczynnym na olej napędowy można stwierdzić, co następuje:

1. Biogaz jest paliwem pochodzenia biologicznego, a zatem paliwem odnawialnym. Zastosowanie paliwa biogazowego umożliwia uzyskanie praktycznie zerowej emisji dwutlenku węgla kopalnego.
2. Zastosowanie paliwa biogazowego (podobnie jak gazu ziemnego) umożliwia wyraźne zmniejszenie emisji zanieczyszczeń szkodliwych dla zdrowia ludzi, szczególnie cząstek stałych.
3. Dzięki zastosowaniu paliwa biogazowego jest możliwe – w związku ze zmniejszeniem emisji niemetanowych węglowodorów i tlenków azotu – znaczne zmniejszenie emisji prekursorów ozonu troposferycznego [3].
4. Wykorzystanie biogazu do zasilania silników autobusów miejskich jest elementem racjonalizacji wykorzystania zasobów naturalnych nośników energii. Jest to szczególnie korzystne w wypadku wykorzystywania lokalnych źródeł biogazu, pochodzących z zasobów komunalnych aglomeracji miejskich, w których są użytkowane autobusy.

Dodatkowo zastosowanie paliwa biogazowego (podobnie jak gazu ziemnego) umożliwia zmniejszenie emisji hałasu. Warto zwrócić uwagę również na aspekty ekonomiczne, związane z zastosowaniem paliwa biogazowego do zasilania silników autobusów miejskich, np. zmniejszenie kosztów ponoszonych na paliwo oraz zmniejszenie opłat za gospodarce korzystanie ze środowiska w związku ze zmniejszeniem emisji substancji szkodliwych dla środowiska.

W konkluzji przedstawionych rozważań można stwierdzić, że – zgodnie z obowiązującymi kryteriami ochrony środowiska przed skutkami motoryzacji – zastosowanie paliwa biogazowego do zasilania autobusów jest jednym z najbardziej ekologicznych rozwiązań w komunikacji miejskiej. Ma to szczególnie duże znaczenie w centrach wielkich aglomeracji miejskich oraz w strefach chronionych ekologicznie ze względu na walory uzdrowiskowe i kulturowe.

PIŚMIENNICTWO

1. Alberto A. et al.: CNG and diesel transit bus emissions in review. 9th Diesel Engine Emissions Reduction Conference August 24–28, 2003. Newport, Rhode Island.
2. Ayala A. et al.: Diesel and CNG heavy-duty transit bus emissions over multiple driving schedules: regulated pollutants and project overview. SAE Transactions Journal of Fuels and Lubricants. 2002. 735–747.
3. Carter W. P. L.: Ozone reactivity analysis of emissions from motor vehicles. Air Pollution Research Center. University of California. July 11, 1989.
4. Chłopek Z., Gis W., Waśkiewicz J.: Zastosowanie biogazu do zasilania silników autobusów miejskich. Rozdział w monografii „Energia niekonwencjonalne i zagospodarowanie odpadów”. Lublin 2010. 103–116.
5. Chłopek Z., Magierski M.: The ecological properties evaluation of the use natural gas engines to buses in accordance to the directive on the promotion of clean and energy-efficient road transport vehicles. VIII International Scientific Conference “Gas Engines 2010”. 95–107.
6. Chłopek Z.: Research of internal combustion engine conditions in a real operation in a city bus. The Archives of Automotive Engineering 2/2007. 185–200.
7. Cho H. M., He B.-Q.: Spark ignition natural gas engines – A review, energy conversion and management 48/2007. 608–618.
8. Cho H. M., He B.-Q.: Combustion and emission characteristics of a lean burn natural gas engine. International Journal of Automotive Technology. Volume 9, Number 4/August 2008. 415–422.
9. Duggal V. K.: Heavy duty natural gas engine emissions. ANGVC 2001 Conference. Brisbane 2001.
10. Fravolini D., Proietti S.: Biogas use as fuel in waste collector captive fleet: the experience in the city of Rome, future plans. European Biometane Fuel Conference. Goteborg 2009.
11. <http://www.scribd.com/doc/72083309/MAN-CNG-Bus-Presentation-05-2009>.
12. <http://www.dieselnet.com>.
13. Jarząbkowski S.: Materiały firmy Solaris. International Scientific Technical Conference „Biogas as vehicle fuel”. Rzeszów 19–21.10.2011.
14. Kasampalis Th., Karagiannidis A.: CNG buses in the city of Athens. Sustainable Green Fleets. Ljubljana 2007.
15. Merkisz J., Bajerlein M., Kozak W., Markowski J.: The influence of CNG dissolved in the diesel fuel on the combustion process and concentration of toxic compounds in exhaust gas. 2008 SAE International Powertrains, Fuels and Lubricants Congress. 2008-01-1815.2008.
16. Nylund N.-O., Erkkilä K., Lappi M., Ikonen M.: Transit bus emission study: comparison of emissions from diesel and natural gas buses. Research Report PRO3/P5150/04 15.10.2004.
17. Nylund N.-O., Lawson A.: Exhaust emissions from natural gas vehicles. Issues related to engine performance, exhaust emissions and environmental impacts. IANGV Emission Report 2000.
18. Thorp A.: Gas fuels for heavy vehicles. Bioenergy Assotiation of New Zeland. 2008.

THE USE OF BIOGAS FUEL IN PUBLIC TRANSPORT TO REDUCE POLLUTION IN ENVIRONMENTALLY SENSITIVE AREAS

Abstract

This paper presents the results of pollutant emission tests from engines supplied with biogas fuel used in transportation. Biogas fuel from biogas, resulting primarily from the disposal of waste and by-products can thus be classified as second generation biofuels. The results of the approval procedures compared with the limits for pollutants emission EEV (Enhanced Environmental Friendly Vehicles – vehicles environmentally friendly). Assessed the environmental benefits of bus engines, supplied biogas fuel. It was found that the use of biogas fuel to supply the bus is one of the most sustainable solutions for public transport in major urban centers and areas environmentally protected because of its health and culture.

Keywords: internal combustion engines, biogas, pollutant emission.