

Article citation info:

Bukrejewski P, Skolniak M, Kowalski Ł. Comparison of the environmental effect of M1 category vehicles fed with traditional and alternative fuels. The Archives of Automotive Engineering- Archiwum Motoryzacji. 2017; 75(1):5-21, 10.14669/AM.VOL75.ART1

Comparison of the environmental effect of M1 category vehicles fed with traditional and alternative fuels

Porównanie efektu środowiskowego pojazdów kategorii M1 zasilanych paliwem tradycyjnym i alternatywnym

Paweł Bukrejewski¹, Marta Skolniak², Łukasz Kowalski³

Przemysłowy Instytut Motoryzacji

Summary

The fuels under comparison and the exhaust gas components have been briefly characterized. The pollutant emissions from vehicles powered with traditional fuels and natural gas have been compared with each other, based on the EURO 5 and EURO 6 exhaust emission standards for M₁ category vehicles. The emissions from vehicles such as Fiat Panda, Volkswagen Up, Volkswagen Passat, Volkswagen Touran, and Volkswagen Caddy, according to results of type-approval tests and the EURO 5 and EURO 6 standard specifications, have been analysed. Data on noise emission levels, fuel consumption, and vehicle operation costs (fuel costs), related to feeding the vehicles with both conventional and alternative fuels and measured for individual vehicles under consideration, have been presented. According to the data, the CNG-fuelled vehicles were characterized by lower specific distance emission of carbon monoxide in comparison with the similar vehicles powered with petrol. Conversely, the vehicles fuelled with petrol showed lower specific distance emissions of hydrocarbons and nitrogen oxides as against the corresponding vehicles powered with CNG. An exception was Volkswagen Passat, for which the test results were different. For all the CNG-fuelled vehicles, the specific

¹ Przemysłowy Instytut Motoryzacji, Laboratorium Analityczne, ul. Jagiellońska 55, 01-301 Warszawa, Polska; e-mail: p.bukrejewski@pimot.eu

² Przemysłowy Instytut Motoryzacji, Laboratorium Analityczne, ul. Jagiellońska 55, 01-301 Warszawa, Polska; e-mail: m.skolniak@pimot.eu

³ Przemysłowy Instytut Motoryzacji, Laboratorium Analityczne, ul. Jagiellońska 55, 01-301 Warszawa, Polska; e-mail: l.kowalski@pimot.eu

distance emission of carbon dioxide was lower than that measured for the similar vehicles powered with conventional fuels.

Streszczenie

W artykule przedstawiono krótką charakterystykę porównywanych paliw oraz składników gazów spalinowych. Porównano emisję zanieczyszczeń pojazdów zasilanych paliwami tradycyjnymi oraz gazem ziemnym, zgodnie ze standardem emisji Euro 5 i Euro 6 w kategorii pojazdów M1. Przeanalizowano emisję pojazdów takich jak: Fiat Panda, Volkswagen UP, Volkswagen Passat, Volkswagen Touran, Volkswagen Caddy zgodnie z badaniami homologacyjnymi oraz z normami Euro 5 i Euro 6. Przedstawiono dane dotyczące poziomu natężenia hałasu w poszczególnych opisywanych pojazdach oraz zużycie paliwa i koszty eksploatacyjne (koszty paliwa) związane z zasilaniem pojazdów, zarówno paliwami konwencjonalnymi, jak i paliwami alternatywnymi. Na podstawie danych przedstawionych w niniejszym artykule wynika, iż pojazdy zasilane CNG charakteryzowały się mniejszą emisją drogową tlenku węgla w porównaniu do analogicznych pojazdów zasilanych benzyną, natomiast mniejszą emisję drogową węglowodorów i tlenków azotu wykazały pojazdy zasilane benzyną w stosunku do analogicznych pojazdów zasilanych CNG za wyjątkiem testów dotyczących pojazdu Volkswagen Passat. We wszystkich analizowanych pojazdach zasilanych CNG emisja drogową ditlenku węgla jest mniejsza niż w analogicznych pojazdach zasilanych paliwami konwencjonalnymi.

Keywords: CNG, M1 category vehicles, EURO 5, EURO 6

Słowa kluczowe: CNG, M1, Euro 5, Euro 6

1. Wprowadzenie

Od pewnego czasu toczy się dyskusja, które z paliw są bardziej przyjazne środowisku: paliwa tradycyjne czy alternatywne, do których zalicza się gaz ziemny (stosowany w formie sprężonej lub skroplonej). Autorzy niniejszego artykułu, oprócz wyjaśnienia specyfiki pracy badanych silników oraz właściwości paliw, próbują opisać składniki paliw gazowych oraz porównać emisję substancji szkodliwych różnych pojazdów kategorii M1. Kategoria pojazdów M1 to pojazdy kategorii M, czyli pojazdy silnikowe zaprojektowane i skonstruowane głównie do przewozu osób i ich bagażu, które mają nie więcej niż osiem miejsc siedzących poza miejscem

siedzącym kierowcy, bez miejsc stojących, oraz takie w których liczba miejsc siedzących jest ograniczona do jednego miejsca (tj. do miejsca siedzącego kierowcy) [1]. W artykule porównano emisję drogową substancji szkodliwych zgodnie z europejskimi standardami emisji spalin (tzw. normami Euro 5 i 6) oraz z wynikami testów homologacyjnych poszczególnych pojazdów. Dodatkowo, oprócz emisji drogowej składników spalin badanej w testach homologacyjnych zgodnych z normami, porównano emisję drogową ditlenku węgla dla poszczególnych pojazdów, poziom natężenia hałasu pojazdów oraz roczny koszt eksploatacji samochodów na podstawie zużycia paliwa.

W niniejszym artykule zestawiono ze sobą następujące pojazdy z fabrycznymi instalacjami gazowymi CNG (compressed natural gas - sprężony gaz ziemny) oraz zasilane paliwatradycyjnymi: w kategorii pojazdów osobowych małych (o objętości skokowej silnika mniejszej niż 1000 cm³) – Fiat Panda i Volkswagen Up, w kategorii pojazdów osobowych większych (o objętości skokowej silnika nie mniejszej niż 1000 cm³) – Volkswagen Passat, Volkswagen Touran oraz Volkswagen Caddy. Specyfikacja wymienionych pojazdów znajduje się w tabeli 1.

Tabela 1. Specyfikacja analizowanych pojazdów

Pojazd	Rodzaj silnika	Rok produkcji	Objętość skokowa silnika [cm ³]	Znamionowa moc użyteczna [kW]	Norma Euro
Fiat Panda					
Benzyna	ZI*	2013	875	63	5
CNG	ZI	2013	875	63	5
Volkswagen UP					
Benzyna	ZI	2013	999	44	5
CNG	ZI	2013	999	50	5
Volkswagen Passat					
Benzyna	ZI	2013	1390	118	5
CNG	ZI	2013	1390	110	5
Volkswagen Touran					
Benzyna	ZI	2013	1390	103	5
CNG	ZI	2013	1390	110	5
Volkswagen Caddy					
Diesel	ZS**	2012	1968	81	5
CNG	ZS	2013	1984	80	5
*ZI – silnik o zapłonie iskrowym					
**ZS – silnik o zapłonie samoczynnym					

2. Charakterystyka porównywanych paliw oraz silników je wykorzystujących

Benzyna jest mieszaniną węglowodorów wrzących w temperaturze $(30 \div 215)^{\circ}\text{C}$, zawierającą składniki o liczbie atomów węgla w cząsteczce od C_4 do C_{10} z grupy węglowodorów nazywanych alkanami, alkenami oraz aromatami. Obecnie benzyna silnikowa zawiera w swoim składzie komponenty niewęglowodorowe, takie jak etery i alkohole, a także dodatki uszlachetniające poprawiające właściwości eksploatacyjne. Paliwo stosowane do silników o zapłonie iskrowym musi być intensywnie parujące w układzie zasilania silnika lub w cylindrze silnika. Paliwo to może występować w formie ciekłej lub gazowej.

Silnik o zapłonie iskrowym może być zasilany paliwem z zastosowaniem: gaźnika, wtrysku paliwa (bezpośredniego lub pośredniego; jedno- lub wielopunktowego) oraz mieszalnika gazu [2].

Oleje napędowe są mieszaninami węglowodorów o liczbie atomów węgla w cząsteczce $\text{C}_{11} - \text{C}_{25}$ i zakresie temperatury wrzenia $(150 \div 360)^{\circ}\text{C}$. Właściwości paliw do silników o zapłonie samoczynnym różnią się znacznie od właściwości paliw benzynowych [3].

CNG to gaz ziemny w postaci sprężonej do ciśnienia $(20,0 \div 25,0)$ MPa [4]. Służy do napędu pojazdów silnikowych zarówno o zapłonie iskrowym, jak i o zapłonie samoczynnym. Wartość energetyczna 1 m^3 gazu w warunkach normalnych jest w przybliżeniu równa 1 dm^3 benzyny. Masa 1 m^3 w warunkach normalnych gazu ziemnego wynosi w przybliżeniu $0,7 \text{ kg}$ i jest uzależniona od składu gazu. Dzięki zastosowaniu gazu ziemnego uzyskuje się mniejszą emisję gazu cieplarnianego – ditlenku węgla – niż w przypadku spalania benzyny [3]. Instalacja CNG ma zastosowanie w silnikach o zapłonie iskrowym o dużej objętości skokowej, jednak na rynkach krajowych, na których dominują silniki o zapłonie samoczynnym, wykorzystanie zasilania CNG jest bardziej skomplikowane [5]. Problemem zastosowania CNG jako paliwa może być konieczność montowania w pojazdach zbiorników ciśnieniowych (około 20 MPa) [4]. W przypadku Polski, sieć stacji CNG stale się rozwija, jednak w sposób niewystarczający. Należy tu wspomnieć, iż lokalizacja stacji jest uwarunkowana infrastrukturą sieci gazowej, gdyż CNG nie jest dostarczany cysternami a wytwarzany jest poprzez sprężanie gazu ziemnego pochodzącego z sieci.

3. Składniki gazów spalinowych

Wykorzystanie pojazdów samochodowych to nie tylko ułatwienie związane z bezproblemowym przemieszczaniem się z jednego punktu do drugiego, lecz także olbrzymi problem w wyniku emisji spalin, powstających podczas spalania mieszanki paliwowo-powietrznej. Spaliny samochodowe stanowią największe źródło skażenia środowiska, obciążając je wieloma związkami chemicznymi. Spaliny samochodowe są dużo bardziej szkodliwe dla ludzi, ze względu na rozprzestrzenianie się w dużym stężeniu na małych wysokościach w bezpośrednim sąsiedztwie człowieka. Z tego właśnie powodu podjęto ogólnoswiatowe przedsięwzięcia mające na celu ustalenie wartości dopuszczalnego stężenia głównych substancji toksycznych. Unia Europejska opracowała dyrektywy, na mocy których sukcesywnie zwiększano restrykcyjność odnośnie do znajdujących się w paliwach substancji toksycznych. Normy dopuszczalnych wartości emisji zanieczyszczeń w nowych pojazdach sprzedawanych na terenie unijnym to europejski standard emisji spalin (patrz punkt 3).

Pojazdy, które nie spełniają wymogów emisji zanieczyszczeń, nie mogą być sprzedawane na terenie Unii Europejskiej. Dotyczy to nowych pojazdów, natomiast samochody już użytkowane na drogach Unii nie podlegają tym restrykcjom. Nowe modele silników muszą spełniać obecnie istniejące lub planowane standardy, natomiast modele o krótkim cyklu istnienia mogą być oferowane w poprawionej wersji silnikowej. Dla każdego typu pojazdu stosowane są inne standardy.

Podział składników spalin przedstawia się następująco: związki toksyczne, tj. tlenek węgla (CO), węglowodory (HC), tlenki azotu (NO_x) i związki nietoksyczne, tj. ditlenek węgla (CO_2), tlen (O_2), azot (N_2), para wodna (H_2O).

Toksyczne produkty spalania paliwa, występujące już w bardzo niewielkim stężeniu, mogą powodować wiele niekorzystnych zjawisk. Jednym ze związków powstającym podczas niecałkowitego spalania jest tlenek węgla wytwarzany w komorze spalania silnika przy ograniczonej ilości powietrza (tlenu). Tlenek węgla jest gazem silnie trującym, bezbarwnym i bezwonny. Duże stężenie tlenu węgla wskazuje na zbyt bogatą mieszanę paliwowo-powietrzną, której użycie prowadzi do niecałkowitego i niezupełnego spalania składników paliwa. W pojazdach mających reaktor katalityczny, tlenek węgla utlenia się do ditlenku węgla, co w konsekwencji prowadzi do zmniejszenia emisji tlenu węgla w spalinach [6, 7].

Kolejnymi związkami powstającymi w wyniku niespalenia lub częściowego spalania paliwa są węglowodory (HC) [8]. Są to związki szczególnie toksyczne o bardzo negatywnym działaniu na organizm człowieka. Najbardziej niebezpieczną grupę stanowią wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne. Węglowodory rozpuszczając się w tłuszczach mogą kumulować się tkankach ludzi i zwierząt. W pojazdach wyposażonych w reaktor katalityczny węglowodory zostają utlenione do ditlenku węgla i pary wodnej.

Wśród związków wprowadzanych do atmosfery wraz z spalinami występują również tlenki azotu. Stężenie tlenków azotu zależy od ciśnienia i maksymalnej temperatury (ponad 1800°C) podczas procesu spalania w komorze silnika. W reakcjach tych azot wchodzi w reakcję z tlenem tworząc tlenek azotu oraz niewielkie ilości ditlenku azotu i tlenku diazotu [6]. Substancje te zaliczane są do najbardziej toksycznych składników gazów spalinowych. Tlenek azotu [9] jest gazem bezbarwnym, który w organizmie ludzkim szybko reaguje z hemoglobina i utlenia się w tkankach do ditlenku azotu [10]. Ditlenek azotu, w kolorze czerwono-brązowym o ostrym zapachu i trujących właściwościach, występuje zawsze w towarzystwie innych związków azotu. W małych stężeniach wywołuje podrażnienie dróg oddechowych a przy stężeniu w powietrzu powyżej $0,38 \text{ mg/dm}^3$ prowadzi do śmiertelnego zatrucia. W pojazdach mających reaktor katalityczny następuje redukcja tlenków azotu zawartych w spalinach do azotu.

W spalinach mogą występować, oprócz powyższych związków, także cząstki stałe (PM) [8]. Są to produkty wydostające się z układu wylotowego silnika o konsystencji ciekłej lub stałej, zawierające między innymi cząstki węgla, związki siarki i azotu, metale oraz wysokocząsteczkowe węglowodory. Cząstki te składają się głównie z sadzy i niespalonych węglowodorów; uważane są za szkodliwe ze względu na osadzanie się na nich substancji rakotwórczych pochodzących z niespalonego paliwa, powodują także tzw. dymienie silnika.

4. Europejskie standardy emisji spalin (normy Euro)

Europejskie standardy emisji spalin to wartości dopuszczalne emisji drogowej zanieczyszczeń nowych pojazdów sprzedawanych na terenie Unii Europejskiej, zwane potocznie normą Euro. Obecnie dopuszczalne emisje substancji szkodliwych są określone dla większości typów środków transportu i innych maszyn: samochodów osobowych, ciężarowych, autobusów, ciągników i maszyn roboczych, statków morskich oraz samolotów. Dla każdego typu maszyny stosuje się inne standardy zawarte w formie dyrektyw europejskich. Przepisy UE wprowadzają ponadto różne limity emisji drogowej zanieczyszczeń dla pojazdów o zapłonie samoczynnym i o zapłonie iskrowym. Pojazdy zasilane olejem napędowym mają bardziej rygorystyczne normy emisji drogowej tlenku węgla, jednak mogą charakteryzować się wyższą emisją drogową tlenków azotu. Obecnie obowiązującą normą dla nowych pojazdów, zarówno o zapłonie samoczynnym jak i iskrowym, jest norma Euro 6.

W niniejszym artykule porównano emisję zanieczyszczeń pojazdów zasilanych paliwami tradycyjnymi oraz gazem ziemnym, zgodne z ze standardem emisji Euro 5 i Euro 6 w kategorii pojazdów M1 (tabela 2):

Tabela 2. Europejski standard emisji drogowej składników spalin dla pojazdów osobowych (kategoria M1) [7]

Wartość [g/km]	Olej napędowy		Benzyna	
	Euro 5	Euro 6	Euro 5	Euro 6
Data wejścia w życie	2011.09	2014.09	2009.09	2014.09
CO	0,5	0,5	1	1
HC	0,05*	0,09*	0,1	0,1
HC+NO _x	0,23	0,17	0,16**	0,16**
NO _x	0,18	0,08	0,06	0,06
PM	0,005	0,005	0,005	0,005
*wartość niepodawana w standardzie emisji, a uzyskana jako różnica między emisją drogową HC i NO _x a NO _x				
** wielkość niepodawana w standardzie emisji, a uzyskana jako suma emisji drogowej HC i NO _x				

Przeanalizowano emisję pojazdów wymienionych w tabeli 1 zgodnie z badaniami homologacyjnymi oraz z normami Euro 5 i Euro 6. Wykorzystano dane z badań homologacyjnych przedstawione na stronie internetowej projektu EcoScore [11]. Projekt ten ma na celu oszacowanie szkodliwości poszczególnych rodzajów i typów pojazdów użytkowanych w Belgii, zarówno nowych, jak i używanych.

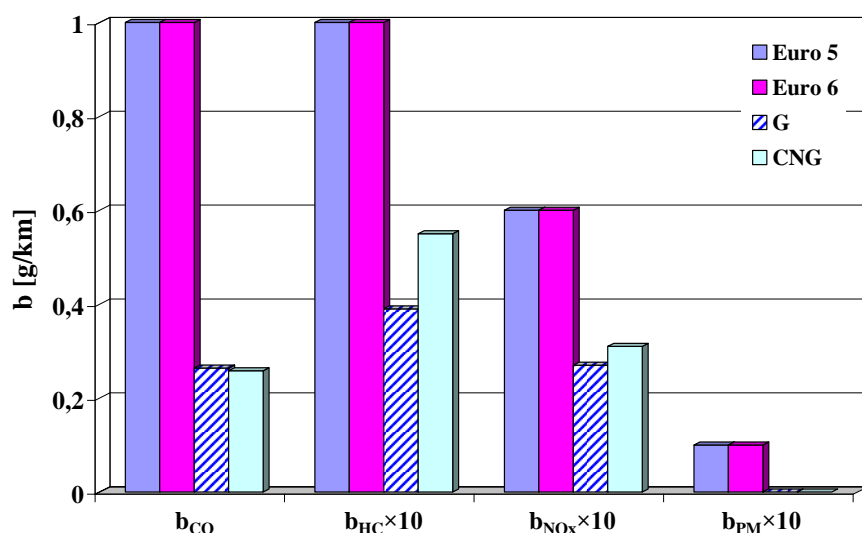
Wykorzystane wyniki badań pojazdów, wymienionych w tabeli 1, dostarczono na potrzeby projektu EcoScore przez holenderski urząd zajmujący się rejestracją pojazdów (Rijksdienst voor Wegverkeer (RDW)).

Poniżej zaprezentowano, w formie graficznej i tabelarycznej wyniki dla omawianych pojazdów. W wariancie pierwszym, dotyczącym pojazdów małych, przeanalizowano wyniki emisji substancji szkodliwych odnoszące się do pojazdu marki Fiat Panda. Porównano emisję drogową tlenku węgla, węglowodorów, tlenków azotu i cząstek stałych pojazdu o objętości

skokowej 875 cm³ i znamionowej mocy użytecznej 63 kW, zasilanego benzyną, z pojazdem zasilanym CNG a następnie zestawiono wyniki ze standardami Euro 5 i Euro 6. Pomimo że modele tego pojazdu spełniają wszystkie limity emisji drogowej substancji szkodliwych zgodnie z normami Euro 5 i Euro 6, to emisja drogowa substancji szkodliwych przy różnych rodzajach paliwa nie jest taka sama. Pojazd zasilany CNG emituje o 0,006 g/km tlenku węgla mniej niż pojazd zasilany benzyną. Natomiast w przypadku emisji drogowej węglowodorów i tlenków azotu, większa emisja jest charakterystyczna dla drugiego z wymienionych pojazdów. Tak więc różnica w emisji drogowej tlenku węgla jest tylko o 3% mniejsza w przypadku pojazdu zasilanego CNG w stosunku do pojazdu benzynowego, co nie jest wartością zadawalającą, szczególnie przy zwiększonej emisji drogowej węglowodorów i tlenków azotu.

Tabela 3. Emisja drogowa substancji szkodliwych z pojazdu Fiat Panda zgodnie z wynikami badań homologacyjnych oraz normami Euro

[g/km]	Euro 5	Euro 6	Benzyna	CNG
CO	1	1	0,264	0,258
HC	0,1	0,1	0,039	0,055
NOx	0,06	0,06	0,027	0,031
PM	0,005	0,005	0	0



G - benzyna

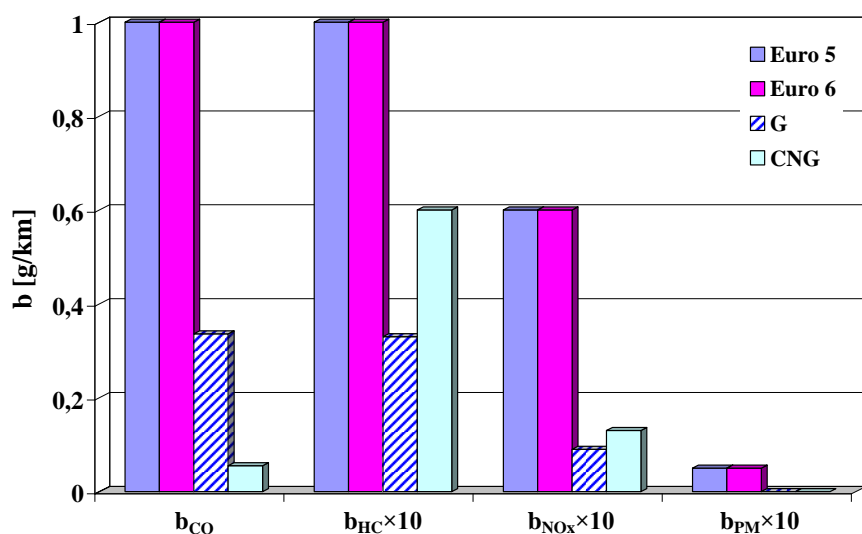
Rys. 1. Emisja drogowa substancji szkodliwych z pojazdu Fiat Panda zgodnie z wynikami badań homologacyjnych oraz normami Euro

W drugim wariancie dla pojazdów małych testom poddano pojazdy marki Volkswagen Up. Porównano dwa pojazdy o objętości skokowej 999 cm³, jednak o różnej znamionowej mocy użytecznej silnika. Moc pojazdu zasilanego benzyną wynosiła 44 kW, a pojazdu zasilanego

CNG – 50 kW. Obydwa testowane pojazdy spełniały obecną normę emisji spalin Euro 6. Pojazd zasilany CNG wyemitował jednak zdecydowanie mniej tlenku węgla w stosunku do pojazdu zasilanego benzyną. Natomiast emisja drogowa węglowodorów oraz tlenków azotu była mniejsza w pojazdach benzynowych. W przypadku Volkswagena trend emisji jest podobny jak w przypadku Fiata Pandy. Za modelem Volkswagena zasilanym CNG przemawia jednak fakt, że emisja drogowa tlenku węgla została znacząco zmniejszona, aż o 6 razy.

Tabela 4. Emisja drogowa substancji szkodliwych z pojazdu Volkswagen Up zgodnie z wynikami badań homologacyjnych oraz normami Euro

[g/km]	Euro 5	Euro 6	Benzyna	CNG
CO	1	1	0,336	0,055
HC	0,1	0,1	0,033	0,06
NOx	0,06	0,06	0,009	0,013
PM	0,005	0,005	0	0



G - benzyna

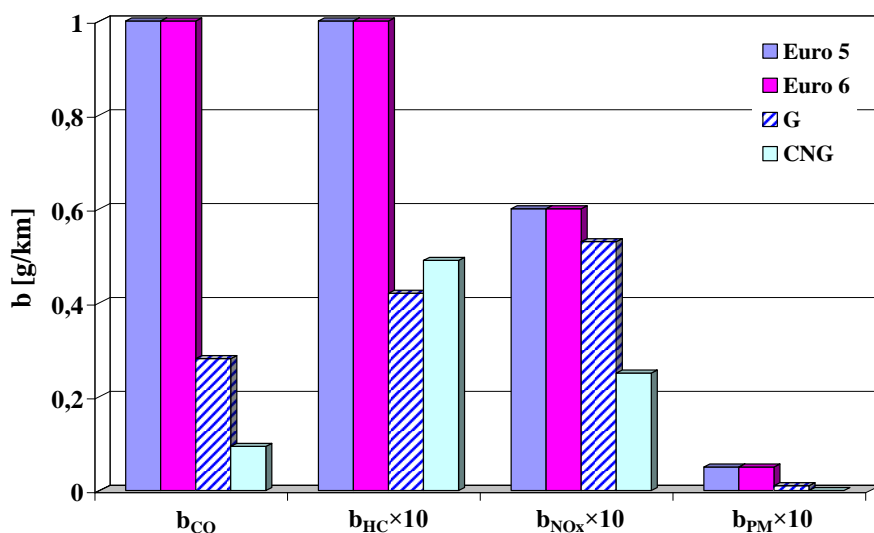
Rys. 2. Emisja drogowa substancji szkodliwych z pojazdu Volkswagen Up zgodnie z wynikami badań homologacyjnych oraz normami Euro

W następnym etapie badań porównano pojazdy większe w kategorii M1. Jako pierwszy został poddany testom pojazd marki Volkswagen Passat o objętości skokowej 1390 cm³, w wariantach o różnej znamionowej mocy użytecznej silnika. Pojazd zasilany benzyną miał 118 kW mocy, natomiast pojazd zasilany CNG – 110 kW. Również i w tym wypadku oba pojazdy spełniały normy emisji Euro 6. Pojazd zasilany CNG, podobnie jak pojazdy Fiat Panda CNG i Volkswagen Up CNG, charakteryzował się mniejszą emisją drogową tlenku węgla (prawie o 3 razy) w stosunku do analogicznego pojazdu zasilanego benzyną. Jednocześnie, odwrotnie niż w przypadku pojazdów Fiat Panda CNG i Volkswagen Up CNG, emisja

drogowa tlenków azotu była mniejsza, i to dwukrotnie, w stosunku do analogicznego pojazdu benzynowego. Podobnie jak w testach pojazdów małych, emisja drogowa węglowodorów w wariantcie pojazdu CNG okazała się większa niż w przypadku pojazdu zasilanego benzyną. Jednocześnie w silniku benzynowym wystąpiła niewielka emisja drogowa cząstek stałych.

Tabela 5. Emisja drogowa substancji szkodliwych z pojazdu Volkswagen Passat zgodnie z wynikami badań homologacyjnych oraz normami Euro

[g/km]	Euro 5	Euro 6	Benzyna	CNG
CO	1	1	0,281	0,094
HC	0,1	0,1	0,042	0,049
NOx	0,06	0,06	0,053	0,025
PM	0,005	0,005	0,001	0



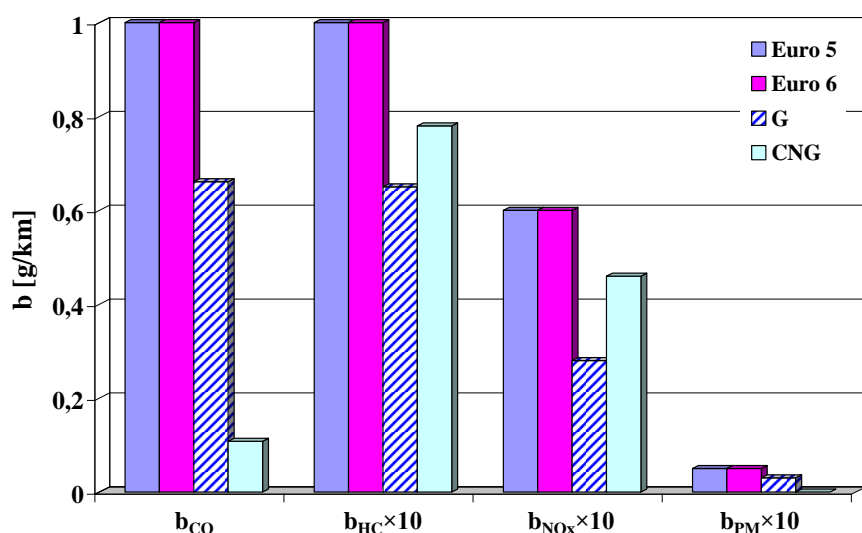
G – benzyna

Rys. 3. Emisja drogowa substancji szkodliwych z pojazdu Volkswagen Passat zgodnie z wynikami badań homologacyjnych oraz normami Euro

Kolejnym przeanalizowanym pojazdem był Volkswagen Touran, w wersji zasilanej benzyną i w wersji CNG, w obu przypadkach o objętości skokowej silnika 1390 cm³. Znamionowa moc użyteczna silnika pojazdu zasilanego benzyną wynosiła 103 kW, natomiast analogicznego pojazdu zasilanego CNG, o tożsamej objętości skokowej, 110 kW. Podobnie jak w przypadku pojazdów małych emisja drogowa tlenku węgla była mniejsza w stosunku do pojazdu zasilanego benzyną (o 6 razy), a emisja drogowa węglowodorów i tlenków azotu była większa w stosunku do pojazdu benzynowego, co wpisuje się w trend emisji pojazdów zasilanych CNG. Jednocześnie w silniku benzynowym wystąpiła niewielka emisja cząstek stałych.

Tabela 6. Emisja drogowa substancji szkodliwych z pojazdu Volkswagen Touran zgodnie z wynikami badań homologacyjnych oraz normami Euro

[g/km]	Euro 5	Euro 6	Benzyna	CNG
CO	1	1	0,661	0,108
HC	0,1	0,1	0,065	0,078
NOx	0,06	0,06	0,028	0,046
PM	0,005	0,005	0,003	0



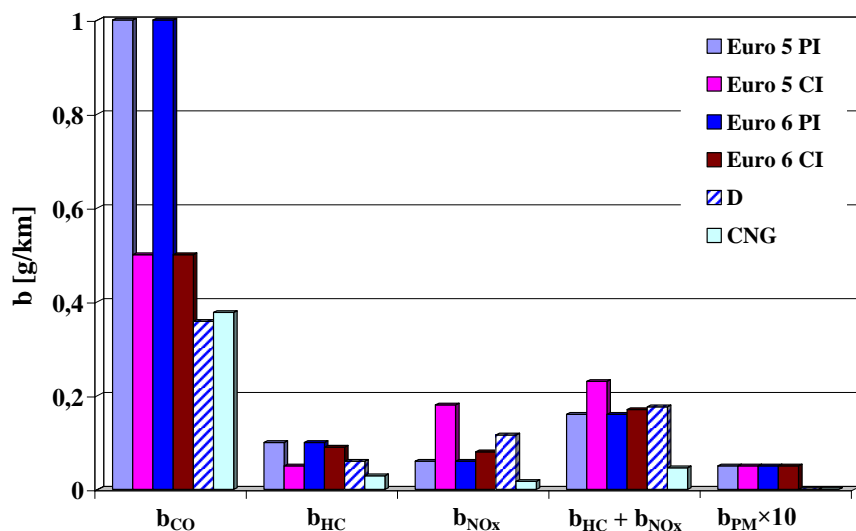
G - benzyna

Rys. 4. Emisja drogowa substancji szkodliwych z pojazdu Volkswagen Touran zgodnie z wynikami badań homologacyjnych oraz normami Euro

W ostatnim etapie porównano pojazdy marki Volkswagen Caddy. W tym przypadku poddano testom pojazd zasilany CNG o znamionowej mocy użytecznej silnika 80 kW i objętości skokowej 1984 cm³ oraz pojazd o zapłonie samoczynnym, napędzany olejem napędowym (pojazd o znamionowej mocy użytecznej 81 kW i objętości skokowej 1968 cm³). Obydwa pojazdy spełniały normę Euro 5, ale tylko parametry pojazdu zasilanego CNG były zgodne z normą Euro 6; pojazd zasilany olejem napędowym nie spełnił jej w przypadku łącznej emisji drogowej węglowodorów i tlenków azotu. Pojazd zasilany olejem napędowym charakteryzował się mniejszą emisją drogową tlenku węgla, jednakże w przypadku pozostałych badanych wartości emisji pojazd zasilany CNG osiągał lepsze wyniki. Stan ten był spowodowany konstrukcją silnika o zapłonie samoczynnym.

Tabela 7. Emisja drogowa substancji szkodliwych z pojazdu Volkswagen Caddy zgodnie z wynikami badań homologacyjnych oraz normami Euro

[g/km]	Euro 5	Euro 6	Diesel	CNG
CO	0,50	0,50	0,358	0,377
HC	0,05	0,09	0,06	0,029
NO _x	0,18	0,08	0,116	0,017
HC+NO _x	0,23	0,17	0,176	0,046
PM	0,005	0,005	0	0



PI – silnik o zapłonie iskrowym, CI – silnik o zapłonie samoczynnym, D – olej napędowy

Rys. 5. Emisja drogowa substancji szkodliwych z pojazdu Volkswagen Caddy zgodnie z wynikami badań homologacyjnych oraz normami Euro

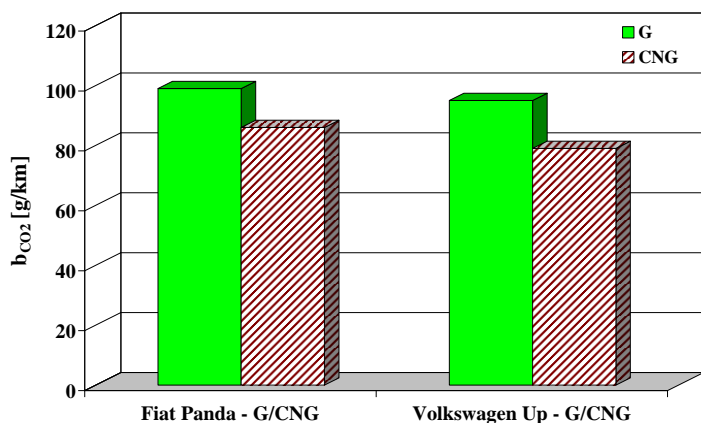
5. Emisja drogowa ditlenku węgla

W tabeli 8 przedstawiono emisję drogową ditlenku węgla dla opisywanych pojazdów, natomiast na rysunkach 6 i 7 pokazano emisję ditlenku węgla z podziałem na kategorie pojazdów (obliczono przy założeniach średniorocznego przebiegu podanego w punkcie 7).

Tabela 8. Emisja drogowa i roczna ditlenku węgla z badanych pojazdów

Pojazd	Emisja drogowa CO ₂ [g/km]	Emisja roczna CO ₂ [kg/rok]
Fiat Panda		
Benzyna	99	1188

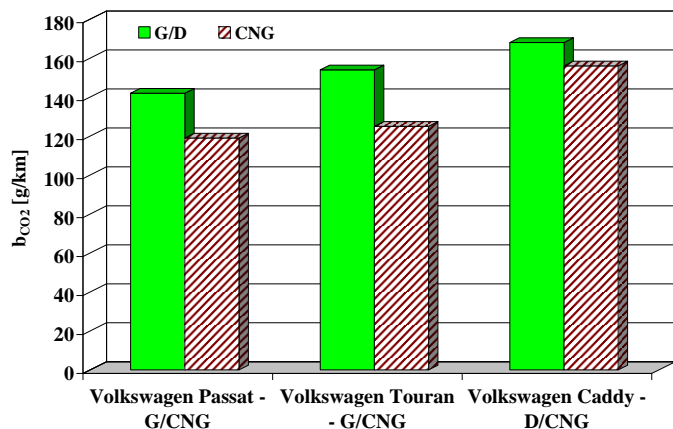
CNG	86	1032
Volkswagen UP		
Benzyna	95	1140
CNG	79	948
Volkswagen Passat		
Benzyna	142	1704
CNG	119	1428
Volkswagen Touran		
Benzyna	154	1848
CNG	125	1500
Volkswagen Caddy		
Diesel	168	2016
CNG	156	1872



G- benzyna

Rys. 6. Emisja drogowa CO₂ z pojazdów małych

W przypadku pojazdów małych zasilanych benzyną, zarówno Fiata Pandę jak i Volkswagena Up, emisja drogowa ditlenku węgla występuje na zbliżonym poziomie (różnica 4 g/km) i wynik ten jest zdecydowanie gorszy od pojazdów zasilanych CNG. Różnica w emisji drogowej ditlenku węgla między pojazdami CNG i benzynowymi w tej kategorii wynosi około $(13 \div 16)$ g/km na korzyść paliwa alternatywnego.



G - benzyna, D - olej napędowy

Rys. 7. Emisja drogowa ditlenku węgla z pojazdów większych

W przypadku pojazdów większych zasilanych benzyną, emisja drogowa ditlenku węgla jest zdecydowanie większa w stosunku do pojazdów zasilanych CNG. Podobna sytuacja ma miejsce w przypadku Volkswagena Caddy zasilanego olejem napędowym w porównaniu do pojazdu zasilanego CNG: pojazd zasilany CNG emituje zdecydowanie mniej substancji szkodliwych niż pojazd zasilany olejem napędowym, ale więcej niż przetestowane pojazdy z silnikami benzynowymi.

6. Poziom natężenia hałasu

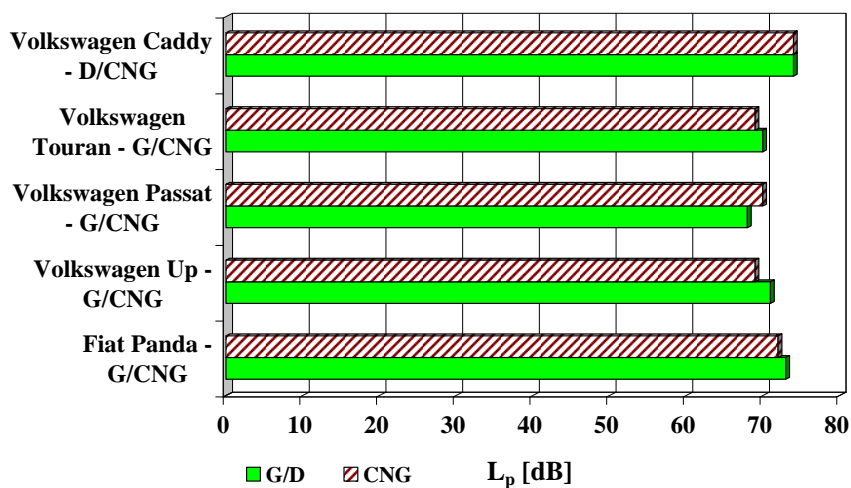
W tabeli 9 oraz na rysunku 8 przedstawiono dane dotyczące poziomu natężenia hałasu w poszczególnych opisywanych pojazdach. Różnice poziomu natężenia hałasu w opisywanych pojazdach wynoszą 6 dB. Przy porównaniu pojazdów zasilanych benzyną i CNG, tylko Volkswagen Passat zasilany benzyną ma mniejszy poziom natężenia hałasu w stosunku do tożsamego pojazdu zasilanego paliwem alternatywnym.

W tej grupie warto zwrócić uwagę na szczególnie niekorzystne parametry Fiata Pandy. Poziom natężenia hałasu tego pojazdu jest największy (zarówno zasilanego benzyną jak i paliwem alternatywnym).

W przypadku opisywanego pojazdu zasilanego olejem napędowym i tożsamego pojazdu zasilanego CNG natężenie hałasu utrzymuje się na tym samym poziomie i są to największe wartości ze wszystkich opisywanych pojazdów.

Tabela 9. Poziom natężenia hałasu w prezentowanych pojazdach

Pojazd	Poziom natężenia hałasu [dB]
Fiat Panda	
Benzyna	73
CNG	72
Volkswagen UP	
Benzyna	71
CNG	69
Volkswagen Passat	
Benzyna	68
CNG	70
Volkswagen Touran	
Benzyna	70
CNG	69
Volkswagen Caddy	
Diesel	74
CNG	74



G – benzyna, D - olej napędowy

Rys. 8. Poziom natężenia hałasu w prezentowanych pojazdach

7. Zużycie i koszty roczne paliwa

Na potrzeby niniejszych wyliczeń przyjęto, że średnioroczny przebieg pojazdów osobowych wynosi około 12000 km. Wielkość tę określono szacunkowo, na podstawie wiedzy eksperckiej w stosunku do przebiegu pojazdów nowych. Zgodnie z danymi literaturowymi średnioroczne przebiegi wynoszą: dla pojazdów benzynowych – 5876 km, dla pojazdów zasilanych olejem napędowym – 12016 km, dla pojazdów zasilanych LPG – 10093 km, dla pojazdów zasilanych CNG – 12000 km [12]. Zużycie paliwa zostało wyznaczone na podstawie wyników testów dotyczących poszczególnych typów pojazdów (patrz tabela 10).

Koszty eksploatacyjne (koszty paliwa) we wszystkich grupach pojazdów są najmniejsze w przypadku pojazdów zasilanych CNG – zmniejszenie kosztów w stosunku do pojazdów zasilanych paliwami konwencjonalnymi sięga nawet powyżej 30%. W przypadku samochodów małych, najniższe koszty eksploatacyjne wykazał Volkswagen Up. Jest to spowodowane mniejszym zużyciem benzyny i CNG niż w przypadku Fiata Pandę. Wśród samochodów średnich zasilanych CNG różnica w kosztach, w stosunku do analogicznych pojazdów zasilanych benzyną, oscyluje w granicach 30%.

Najmniejszą różnicę w kosztach paliwa odnotowano między Volkswagenem Caddy zasilanym olejem napędowym i tożsamym modelem zasilanym CNG: różnica ta wynosi około 15% na korzyść pojazdu zasilanego CNG. Spowodowane jest to relatywnie większym zużyciem CNG w stosunku do zużycia ON.

Tabela 10. Koszty eksploatacyjne (koszty paliwa) opisywanych pojazdów

Pojazd	Eksploatacyjne zużycie paliwa (na 100 km przebiegu)	Zużycie roczne	Cena paliwa [zł brutto]*	Koszt roczny paliwa [zł/rok]
Fiat Panda				
Benzyna [dm ³]	4,2	504	4,37 [2]	2202,48
CNG [Nm ³]	4,8	576	3,29** [13]	1895,04
Volkswagen UP				
Benzyna [dm ³]	4,1	492	4,37	2150,04
CNG [Nm ³]	4,4	528	3,29	1737,12
Volkswagen Passat				
Benzyna [dm ³]	6,1	732	4,37	3198,84
CNG [w Nm ³]	6,7	804	3,29	2645,16
Volkswagen Touran				
Benzyna [dm ³]	6,6	792	4,37	3461,04
CNG [Nm ³]	7,0	840	3,29	2763,60
Volkswagen Caddy				
ON [dm ³]	6,4	768	4,30 [2]	3302,40
CNG [Nm ³]	8,7	1044	3,29	3434,76

*cena na dzień 02.12.2015 r.

** cena w Warszawie

7. Wnioski

Na podstawie danych przedstawionych i przeanalizowanych w niniejszym artykule można wysnuć następujące wnioski:

1. Wszystkie analizowane pojazdy zasilane benzyną bądź CNG spełniają obecny standard emisji spalin Euro 6.
2. We wszystkich analizowanych pojazdach, zarówno zasilanych benzyną, jak i CNG, emisja drogowa tlenku węgla była mniejsza w przypadku pojazdów CNG w porównaniu do analogicznych pojazdów zasilanych benzyną. Wartości te były jednak różne dla poszczególnych pojazdów.
3. Mniejszą emisję drogową węglowodorów i tlenków azotu wykazały pojazdy zasilane benzyną w stosunku do analogicznych pojazdów zasilanych CNG. Wyjątkiem jest tu wynik testów dotyczący pojazdu Volkswagen Passat, według których pojazd zasilany CNG wykazał ponad dwukrotnie mniejszą emisję drogową tlenków azotu w stosunku do analogicznego pojazdu zasilanego benzyną.
4. Badania analogicznych pojazdów zasilanych olejem napędowym i CNG, pozwoliły stwierdzić, że pojazd zasilany CNG spełniał standard emisji spalin zgodny z normą Euro 6, natomiast pojazd zasilany olejem napędowym spełniał tylko normę Euro 5 (zgodnie z normą Euro 6 pojazd przekroczył normę łącznej emisji drogowej węglowodorów i tlenków azotu).
5. We wszystkich analizowanych pojazdach zasilanych CNG emisja drogowa ditlenku węgla jest mniejsza niż w analogicznych pojazdach zasilanych paliwami konwencjonalnymi. Najmniejsza różnica występuje w przypadku pojazdu z silnikiem o zapłonie samoczynnym.
6. Wszystkie badane pojazdy emitują hałas na podobnym poziomie niezależnie od rodzaju zastosowanego paliwa.
7. Koszt zużycia paliwa we wszystkich badanych pojazdach jest niższy dla pojazdów zasilanych CNG w stosunku do analogicznych pojazdów zasilanych paliwami konwencjonalnymi. Oszczędności mogą osiągnąć nawet 30% rocznie.

Na podstawie niniejszej analizy należy stwierdzić, że pojazdy zasilane CNG są bardziej przyjazne środowisku w porównaniu do pojazdów zasilanych paliwami konwencjonalnymi. Co prawda, emisja nie wszystkich analizowanych substancji szkodliwych jest tu mniejsza niż w analogicznych pojazdach zasilanych paliwami tradycyjnymi, lecz występujące różnice są niewielkie, a łączna emisja substancji szkodliwych jest zdecydowanie mniejsza.

Ponadto koszt zakupu paliwa CNG jest zdecydowanie niższy niż w przypadku paliw konwencjonalnych. Należy również pamiętać, że koszt paliwa tradycyjnego jest nieprzewidywalny i prawdopodobnie nie będzie się zmniejszać, a w przypadku sprężonego gazu ziemnego ceny mogą być niższe dzięki dywersyfikacji źródeł dostaw oraz ewentualnemu wykorzystaniu gazu łupkowego.

The full text of the article is available in Polish online on the website
<http://archiwummotoryzacji.pl>.

Tekst artykułu w polskiej wersji językowej dostępny jest na stronie
<http://archiwummotoryzacji.pl>.

Literatura:

- [1] Rozporządzenie Komisji (UE) NR 678/2011 z dnia 14 lipca 2011 r., <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2011:185:0030:0056:pl:PDF>
- [2] Wajand J. A., Wajand J. T. Tłokowe silniki spalinowe średnio- i szybkoobrotowe. Warszawa: WNT; 2005.
- [3] Vademecum Rafinera Ropa naftowa właściwości, przetwarzanie, produkty Praca zbiorowa pod red. J. Surygały, WN-T, Warszawa, 2006
- [4] PN-EN ISO 15403-1. Gaz ziemny. Gaz ziemny stosowany jako sprężone paliwo pojazdów. Część 1: Określanie jakości
- [5] Bernhardt M., Dobrzyński S., Loth E. Silniki samochodowe. Wyd. IV WKiŁ, 1988.
- [6] Tlenek diazotu (pol.). Karta charakterystyki produktu Sigma-Aldrich dla Polski.
- [7] <http://dieselnet.com/standards/>
- [8] Gazy spalinowe, gazy wydechowe. W: "Leksykon naukowo-techniczny z suplementem". T. A-O. Warszawa: WNT, 1989, s. 251
- [9] Tlenek azotu (pol.). Karta charakterystyki produktu Sigma-Aldrich dla Polski.
- [10] Dwutlenek azotu (pol.). Karta charakterystyki produktu Sigma-Aldrich dla Polski
- [11] www.ecoscore.be
- [12] Prognozy eksperckie zmian aktywności sektora transportu drogowego (w kontekście ustawy o systemie zarządzania emisjami gazów cieplarnianych i innych substancji). Warszawa: ITS; październik 2012.
- [13] Werner J. Silniki spalinowe małej i średniej mocy. Warszawa: WNT Wyd. II; 1964.