

## Selected issues related to the reduction of the CO<sub>2</sub> emission from combustion engines fitted in vehicles of the M and N categories

*The paper presents the types of activities aiming at a reduction of the CO<sub>2</sub> emissions from road transport as well as technical means related to the reduction of the CO<sub>2</sub> emissions from diesel engines of heavy-duty vehicles of the M and N categories in the short-, medium- and long terms. In this aspect also the possibility of the use of biomethane to power diesel engines has been analyzed.*

Key words: combustion engines, CO<sub>2</sub> emissions, heavy-duty vehicles, biomethane

### Wybrane zagadnienia dotyczące ograniczania emisji CO<sub>2</sub> z silników spalinowych pojazdów samochodowych kategorii M i N

*W artykule zaprezentowano rodzaje działań prowadzących do ograniczania emisji CO<sub>2</sub> z transportu drogowego oraz działania techniczne odnoszące się do ograniczenia emisji CO<sub>2</sub> z silników spalinowych o zapłonie samoczynnym ciężkich pojazdów samochodowych kategorii M i N w okresie krótko-, średnio- i długoterminowym. W tym aspekcie przeanalizowano również możliwość zastosowania biometanu do zasilania silników o zapłonie samoczynnym.*

Słowa kluczowe: silniki spalinowe, emisja CO<sub>2</sub>, pojazdy HDV, biometan

#### 1. Introduction

It is rather obvious that conventional combustion engines will continue their domination in vehicle powertrain systems in the coming decades. Numerous forecasts related to the development of road transport (such as those contained in works [1 – 4]) seem to confirm that. For example in work [4] the author forecasts that traditional engines fueled with crude oil based fuels will in the future remain competitive against engine fueled with alternative fuels (such as hydrogen) and it is probable that their share in the market will remain significant for as long as 2050.

In order to meet the future requirements in relation to the emission of CO<sub>2</sub> or the growth of competitiveness in vehicle powertrains the vehicles must be continuously improved in terms of fuel consumption and CO<sub>2</sub> emission. The potential of combustion engines in this respect is significant and it is estimated at 30% [3].

As of the end of 2008 The European Union accepted the regulations reducing the emissions of CO<sub>2</sub> by new passenger vehicles to 120 g/km by 2012 and 95 g/km by 2020 [1, 2]. The European legislators have also introduced legal regulations related to the measurement of the CO<sub>2</sub> emission from heavy-duty vehicles [5, 6].

Motor vehicles (vehicles whose design allows them to move with the speed of 25 km/h or higher; this definition does not include farm tractors) [7], including those in the M and N categories [5, 8] emit greenhouse gases to the atmosphere such as: CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O and other pollutants, NO<sub>x</sub> and PM in particular.

The annual emission of CO<sub>2</sub> in the EU member states (from road transport) is the highest of all the greenhouse gases. Table 1 presents the emission of CO<sub>2</sub>(\*) – a percent-

#### 1. Wprowadzenie

Nie ulega wątpliwości, że konwencjonalne silniki spalinowe w kolejnych dekadach będą nadal służyć do napędu pojazdów samochodowych. Świadczą o tym liczne prognozy dotyczące rozwoju transportu drogowego, jak np. zawarte w pracach [1 – 4]. Na przykład w publikacji [4] prognozuje się, że tradycyjne silniki zasilane paliwami ropopochodnymi pozostaną, w dającej się przewidzieć przyszłości, konkurencyjne w stosunku do jednostek napędowych zasilanych paliwami alternatywnymi (np. wodorem) i prawdopodobne jest, iż ich udział w rynku transportowym pozostanie znaczący nawet w 2050 roku.

W celu sprostania nadchodzącym wymaganiom w odniesieniu do emisji dwutlenku węgla (CO<sub>2</sub>) czy wobec wzrostu konkurencji w technikach napędu pojazdów samochodowych, muszą te pojazdy i ich silniki być udoskonalane pod kątem zużycia paliwa i emisji CO<sub>2</sub>. Potencjał silników spalinowych w tym zakresie jest znaczący i ocenia się go na 30% [3].

Z końcem 2008 roku Unia Europejska zaakceptowała przepisy obniżające emisję CO<sub>2</sub> przez nowe samochody osobowe do 120 g/km w 2012 roku oraz 95 g/km do 2020 roku [1, 2]. Ustawodawcy europejscy wprowadzili też uregulowania prawne dotyczące pomiarów emisji CO<sub>2</sub> z samochodów ciężarowych [5, 6].

Pojazdy samochodowe (pojazdy, których konstrukcja umożliwia jazdę z prędkością przekraczającą 25 km/h; określenie to nie obejmuje ciągnika rolniczego) [7], w tym kategorii M i N [5, 8], emitują do atmosfery gazy cieplarniane, takie jak: CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O oraz inne substancje zanieczyszczające, szczególnie tlenki azotu NO<sub>x</sub> i cząstki stałe PM.

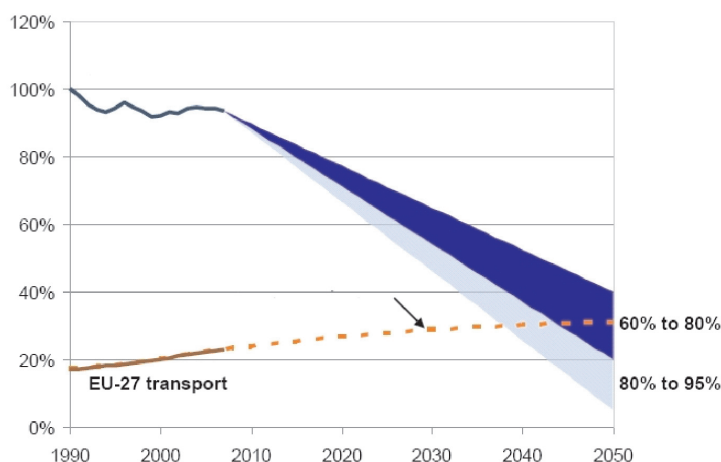
Table 1. Emission of CO<sub>2</sub>(\*) – percentage share from the transport sector of the EU member states according to the type of transport in 2007 [9]Tabela 1. Emisja CO<sub>2</sub>(\*) – procentowy udział z sektora transportu krajów UE według gałęzi transportu w 2007 roku [9]

|       | Total aviation in/<br>Lotnictwo ogółem | Domestic aviation/<br>Lotnictwo krajowe | International aviation/<br>Lotnictwo międzynarodowe | Road transport/<br>Transport drogowy | Rail transport/<br>Transport kolejowy | Total marine transport/<br>Żegluga ogółem | Domestic marine transport/<br>Żegluga krajowa | International marine transport/<br>Żegluga międzynarodowa | Other types/<br>Inne gałęzie | Total transport/<br>Transport ogółem | Total emissions/<br>Emisja całkowita |
|-------|--|---|---|--------------------------------------|---------------------------------------|---|---|---|------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| EU-27 | 12,5                                   | 13,9                                    | 86,1  | 70,9                                 | 0,6                                   | 15,3                                      | 11,2  | 88,8  | 0,7                          | 28,4                                 | 100                                  |
| EU-25 | 12,6                                   | 13,9                                    | 86,1  | 70,6                                 | 0,6                                   | 15,5                                      | 11,2  | 88,8  | 0,6                          | 29,0                                 | 100                                  |

(\*) including refueling of transport means leaving EU

age share from the transport sector of the EU member states according to the type of transport in 2007 [9]. Transport generates approximately 25% emission of the greenhouse gases and is a sector whose share in the emissions grows continuously [1, 2]. The dynamics of the CO<sub>2</sub> emission from the EU transport sector against the global CO<sub>2</sub> emission in the years 1990-2050 has been shown in Fig. 1 [1]. From the analysis of the figure it results that the emissions generated by transport may, by 2050, reach approximately 30% of the level of greenhouse gases emitted by the whole economy in 1990 [4]. This confirms the purposefulness of the present and future limitations on the CO<sub>2</sub> emission from road transport.

Roczna emisja CO<sub>2</sub> w państwach Unii (z transportu drogowego) jest największa z wymienionych gazów cieplarnianych. Tabela 1 przedstawia emisję CO<sub>2</sub>(\*) – procentowy udział z sektora transportu krajów UE według gałęzi transportu w 2007 roku [9]. Transport powoduje około 25% emisji gazów cieplarnianych i jest sektorem, którego udział w emisji stale wzrasta [1, 2]. Dynamikę emisji CO<sub>2</sub> z unijnego sektora transportu na tle globalnej emisji CO<sub>2</sub> w latach 1990-2050 przedstawiono na rys. 1 [1]. Z analizy rysunku wynika, że emisje spowodowane transportem mogą wynieść w 2050 roku około 30% poziomu emisji gazów cieplarnianych generowanych przez całą gospodarkę w 1990 roku [4]. Potwierdza to zasadność obecnego i przyszłościowego ograniczenia emisji CO<sub>2</sub> z transportu drogowego.

Fig. 1. Dynamics of the CO<sub>2</sub> emission from the EU transport sector against global CO<sub>2</sub> emission in the years 1990-2050 [4]Rys. 1. Dynamika emisji CO<sub>2</sub> z unijnego sektora transportu na tle globalnej emisji CO<sub>2</sub> w latach 1990-2050 [4]

## 2. Actions aiming at the reduction of the emission of CO<sub>2</sub> from road transport

The actions leading to the reduction of the emission of CO<sub>2</sub> from road transport are convergent with the actions aiming at the reduction of the emission of greenhouse gases from this sector of economy. The tasks set by the European Union related to the reduction of the greenhouse gases from road transport by approximately 89% as compared to the

## 2. Działania prowadzące do ograniczenia emisji CO<sub>2</sub> z transportu drogowego

Działania prowadzące do ograniczenia emisji CO<sub>2</sub> z transportu drogowego są spójne z działaniami dotyczącymi zmniejszenia emisji gazów cieplarnianych z tego sektora gospodarki. Postawione przez Unię Europejską zadanie ograniczenia z transportu drogowego emisji gazów cieplarnianych o około 89% w porównaniu do roku 1990 z pewnością wymaga podjęcia działań zarówno o charakterze technicznym, jak i poza-technicznym [4].

W odniesieniu do samochodów osobowych wiele aktualnie zakładanych udoskonaleń dotyczących konwencjonalnych silników spalinowych, używanych do ich napędu, pod kątem zmniejszenia emisji CO<sub>2</sub> zostanie wprowadzonych w ciągu kolejnych 10. lat. W stosunku do małych samochodów ciężarowych (dystrybucyjnych) wyposażonych w tradycyjne silniki spalinowe ulepszenia pod kątem ograniczenia emisji CO<sub>2</sub> obejmują, obok ulepszenia silnika i układu napędowego, również ulepszenia pojazdu jako takiego [4].

W odniesieniu do dużych samochodów ciężarowych (w szczególności przeznaczonych do transportu długodystansowego) w pracy [4] zwraca się uwagę, że działania dotyczące oszczędzania paliwa muszą być dostosowane do specyficznych potrzeb transportu i muszą być kompleksowe. Na przykład optymalizacja zużycia paliwa w nowoczesnym

year 1990 will surely require actions of technical and non-technical nature [4].

As far as passenger vehicles are concerned, many currently developed improvements of conventional engines aiming at the reduction of the CO<sub>2</sub> emission will be implemented in the next 10 years. In relation to light duty truck (delivery vans) fitted with traditional combustion engines the improvements aiming at the reduction of the CO<sub>2</sub> emission include not only the engine and powertrain but also the vehicle as such [4].

In relation to large heavy-duty trucks (long distance transport in particular) in work [4] the author draws attention to the fact that the actions aiming at the reduction of the fuel consumption must be complex and must be adapted to the specific transport needs. For example the optimization of fuel consumption in a modern engine fitted in a truck can be entirely ineffective by failing to optimize the aerodynamic trailer-truck combination [4].

It is obvious though that in order to obtain the forecasted CO<sub>2</sub> emission reduction in 2050 from road transport it will be necessary to use alternative powertrains (e.g. hybrid, electric) and alternative fuels [1 – 4].

The non-technical actions that reduce the emission of greenhouse gases from transport – the emission of CO<sub>2</sub> – that may be applied in all types of transport are [4]:

- improvement of the efficiency of a vehicle (optimization of speeds and routes, optimization of vehicle use– eco-driving, adaptation of vehicles for specific applications),
- selecting the most appropriate means of transport for each trip or even its part,
- boosting the transport system efficiency as a whole (e.g. securing the closest possible location of points between which trips are realized).

In order to realize the said technical and non-technical actions it will be necessary to introduce a wide range of instruments: legal regulations, economic instruments (e.g. taxes on CO<sub>2</sub> emissions), infrastructure, traffic management, and know-how dissemination policies. [4].

### **3. Technical actions related to the reduction of the CO<sub>2</sub> emission from diesel engines of heavy-duty vehicles of the M and N categories**

#### **3.1. Types of actions**

The technical actions aiming at the reduction of fuel consumption and CO<sub>2</sub> emission from combustion engines fitted in heavy duty vehicles of the M and N categories are in general similar to the technical actions for engines of light duty vehicles of the M and N categories that, however, have their specificities such as the fact that the actions for light duty vehicles are characterized by a higher effectiveness for engine part loads (part loads are more frequently used in regular operation).

The actions for heavy-duty vehicles have been systematized in [10]. The technical actions in the discussed aspects are short term i.e. until 2015, medium term i.e. from 2015 to 2020 and long term i.e. to 2030 and further. They give a good outlook on the maximum reduction of fuel consump-

silniku spalinowym napędzającym samochód ciężarowy może być zniweczona przez brak zoptymalizowania pod względem aerodynamicznym zestawu ciągnik siodłowy–naczepa [4].

Niewątpliwie jednak jest to, że do osiągnięcia przewidywanych na 2050 rok ograniczeń emisji CO<sub>2</sub> z transportu drogowego konieczne będzie zastosowanie alternatywnych napędów (np. hybrydowych, elektrycznych) oraz alternatywnych paliw [1 – 4].

Do działań pozatechnicznych ograniczających spowodowane transportem emisje gazów cieplarnianych, a więc i emisję CO<sub>2</sub>, które mogą być zastosowane we wszystkich gałęziach transportu, można zaliczyć [4]:

- poprawę efektywności użytkowania pojazdu (np. optymalizacja prędkości oraz tras, optymalizacja użytkowania pojazdu – tzw. ekologiczny styl jazdy, dostosowanie pojazdów do konkretnych zastosowań),
- dopasowanie najbardziej odpowiednich środków transportowych do każdej podróży lub nawet jej części,
- zwiększenie wydajności systemu transportowego jako całości (np. zapewnienie jak najbliższego położenia punktów, między którymi realizowane są podróże).

W celu realizacji wymienionych działań technicznych i pozatechnicznych konieczne będzie wprowadzenie szerokiego wachlarza instrumentów: regulacje prawne, instrumenty ekonomiczne (np. podatki od emisji CO<sub>2</sub>), infrastruktura, zarządzanie ruchem, polityka upowszechniania wiedzy itp. [4].

### **3. Działania techniczne odnoszące się do ograniczenia emisji CO<sub>2</sub> z silników spalinowych o ZS ciężkich pojazdów samochodowych kategorii M i N**

#### **3.1. Rodzaje działań**

Działania techniczne mające na celu zmniejszenie zużycia paliwa i emisji CO<sub>2</sub> w odniesieniu do silników spalinowych ciężkich pojazdów samochodowych kategorii M i N są ogólnie podobne do działań technicznych dla silników spalinowych lekkich pojazdów samochodowych kategorii M i N, które mają jednak swoją specyfikę, np. działania dla lekkich pojazdów charakteryzują się większą efektywnością dla częściowych obciążeń silnika, częściej wykorzystywanych podczas ich eksploatacji.

Działania dla ciężkich pojazdów usystematyzowano w pracy [10]. Działania techniczne w omawianym zakresie odnoszą się do okresu krótkoterminowego, tj. do 2015 r., do okresu średnioterminowego, tj. od 2015 do 2020 r. i do okresu długoterminowego, tj. do 2030 r. i następne lata. Dają one dobry pogląd na temat maksymalnego ograniczenia zużycia paliwa i emisji CO<sub>2</sub> z ciężkich pojazdów samochodowych kategorii M i N.

#### **3.2. Działania w okresie krótkoterminowym**

Środki techniczne stosowane w odniesieniu do silnika spalinowego, które w okresie krótkoterminowym mogą wpłynąć na zmniejszenie zużycia paliwa i emisji dwutlenku węgla przedstawiono na rys. 2. Środki te są znane, spraw-



tion and CO<sub>2</sub> emission from heavy-duty vehicles of the M and N categories.

### 3.2. Short term actions

The technical means used in relation to combustion engines that could influence the reduction of the fuel consumption and carbon dioxide emissions in the short term have been shown in Fig. 2. These means are known and verified and will be implemented based on continually introduced computer programs applied in conventional diesel engines [10]. The *turbo compound* system is an important technical engine solution. It is a system based on the use of the energy of the exhaust gases in order to supply the engine with additional power. It is already in serial production by some of the truck manufacturers (Scania) [10].

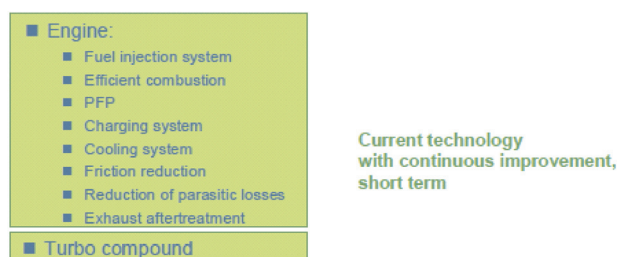


Fig. 2. Short-term ways to reduce the fuel consumption and CO<sub>2</sub> emissions [10]

Rys. 2. Sposoby na zmniejszenie zużycia paliwa i emisji CO<sub>2</sub> w okresie krótkoterminowym [10]

Under real traffic conditions for a 40-ton vehicle driving on a leveled road—with the power output of 100 kW and the speed of 85 km/h—in a short term we may expect a reduction in the fuel consumption on the level of 8–10% (Fig. 3) including 3% by limiting of the friction losses and losses generated by devices and aggregates consuming energy from the engine, 2% by the improvements related to the control of the intake air and optimization of the aftertreatment systems and 2% by the operation of *turbo compound*. At full load these economies may reach approximately 7% with a greater share of *turbo compound* on the level of 4% and a low share of the other said actions [10].

### 3.3. Medium term actions

The medium term denotes the years from 2015 to 2020 [10]. In this period the measures of reduction of the fuel consumption and CO<sub>2</sub> emission are the same as in the short term (Fig. 2) plus: *downsizing* and hybridization (Fig. 4).

Replacing a typical truck engine of the displacement of 12 dm<sup>3</sup> by the engine of the displacement of 8 dm<sup>3</sup> while limiting the engine speed from 1400 to 1200 rpm may lead to a reduction of the fuel consumption by approximately 8% [10]. This cannot be done, however, without getting additional power from an auxiliary electric motor. This means that the combustion engine (the smaller one) must have a mean effective pressure of at least 20–30 bar as compared to the value of the mean effective pressure of 20–22 bar in an engine of high displacement. When we take into account the engine load under real traffic conditions this means a shortage of power on the level of 60–80 kW,

dzone i będą wprowadzane na podstawie ciągle ulepszanych programów komputerowych do zastosowania w konwencjonalnych silnikach o zapłonie samoczynnym [10]. Natomiast układ *turbo compound* jest ważnym rozwiązaniem technicznym w silniku, specjalnym sposobem polegającym na wykorzystaniu energii spalin w celu dostarczania silnikowi dodatkowej mocy, już stosowanym przy produkcji seryjnej przez niektórych producentów samochodów ciężarowych (np. Scania) [10].

W rzeczywistych warunkach ruchu drogowego dla 40-tonowego pojazdu poruszającego się po drodze płaskiej – przy rozwijanej mocy 100 kW i prędkości 85 km/h – w okresie krótkoterminowym można oczekiwać ograniczenia zużycia paliwa na poziomie 8–10% (rys. 3), w tym 3%

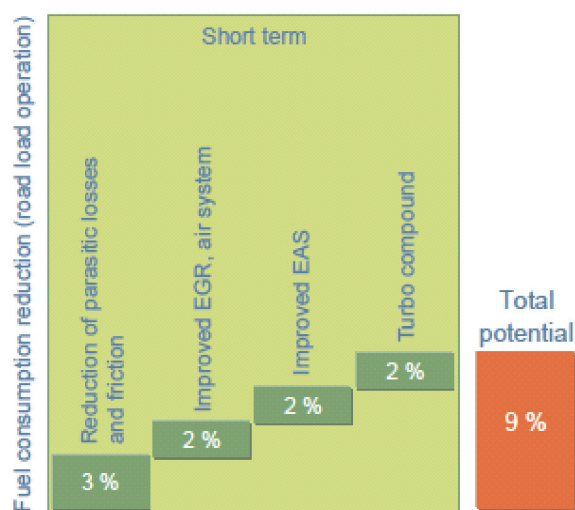


Fig. 3. Short-term potential reduction of fuel consumption by heavy-duty trucks [10]

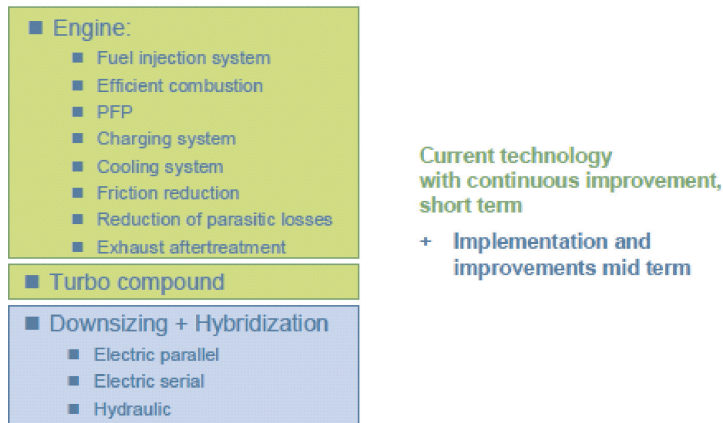
Rys. 3. Potencjalne zmniejszenie zużycia paliwa przez ciężkie samochody ciężarowe w okresie krótkoterminowym [10]

przez ograniczenie strat tarcia i strat powodowanych przez urządzenia i podzespoły pobierające energię z silnika, 2% przez ulepszenia związane ze sterowaniem dopływającego powietrza i optymalizacją układu oczyszczania spalin oraz 2% przez funkcjonowanie układu *turbo compound*. Przy pełnym obciążeniu silnika te oszczędności mogą wynosić ok. 7%, z większym udziałem układu *turbo compound* na poziomie 4% i małym udziałem pozostałych wyżej wymienionych działań [10].

### 3.3. Działania w okresie średnioterminowym

Okres średnioterminowy obejmuje lata od 2015 r. do 2020 r. [10]. W tym okresie środki ograniczania emisji CO<sub>2</sub> i zużycia paliwa są takie same jak w okresie krótkoterminowym (rys. 2) oraz jeszcze: *downsizing* i hybrydyzacja (rys. 4).

Zastąpienie typowego silnika samochodu ciężarowego o objętości skokowej 12 dm<sup>3</sup> przez silnik o objętości skokowej 8 dm<sup>3</sup> przy ograniczeniu prędkości obrotowej z 1400 do 1200 obr/min umożliwia zmniejszenie zużycia paliwa o ok. 8% [10]. Nie może się to jednak odbyć bez pozyskania

Fig. 4. Medium-term ways to reduce fuel consumption and CO<sub>2</sub> emission [10]

Rys. 4. Sposoby na zmniejszenie zużycia paliwa i emisji CO<sub>2</sub> w okresie średnioterminowym [10]

which corresponds to the power of a small auxiliary electric motor. Hence, in order to ensure acceptable accelerations of a *downsized* engine we need a supporting electric motor of the rated power of 80 kW.

The engine power depends on its displacement. From an 8-liter *downsized* engine we can obtain not more than 160 kW of power, which is comparable to approximately 240 kW of power from a conventional 12-liter engine. In order to obtain similar power it is possible, as stated above, to use an additional electric motor that would supplement the 80 kW of power. The energy recovery (possible if this system is used) allows battery charging. From the available hybrid types a heavy parallel hybrid is preferred for heavy-duty trucks that would ensure acceptable driving dynamics and a maximum torque [10].

The here discussed medium-term technical means enable a reduction of the fuel consumption and a potential reduction of the CO<sub>2</sub> emission by approximately 17% under real traffic conditions. The *downsizing* itself and the hybridization at full load allow a reduction of the fuel consumption and a potential reduction of the CO<sub>2</sub> emission by approximately 8% (Fig. 5).

### 3.4. Long-term actions

Long-term actions denote actions in the years after 2020. The technical means reducing the fuel consumption and emission of CO<sub>2</sub> in this period are short and medium-term means as well as recovery of lost heat and its use in subsequent processes i.e. the Rankine process (Fig. 6). The works related to the practical use in combustion engines of such solutions utilizing the heat energy recovery will constitute a challenge in the years of the discussed period i.e. after 2020. Not all sources of heat can supply energy with sufficient effectiveness – particularly low temperature heat sources. Hence, we will have to find a compromise between the increase in the total efficiency of the combustion engine and

dotychczasowej mocy z uzupełniającego silnika elektrycznego. Oznacza to, że silnik spalinowy (mniejszy) musi mieć średnie ciśnienie efektywne przynajmniej 20 – 30 barów, w porównaniu do wartości średniego ciśnienia efektywnego 20 – 22 barów w silniku o dużej objętości skokowej. Gdy weźmie się pod uwagę obciążenie silnika w rzeczywistych warunkach ruchu drogowego, oznacza to brak mocy na poziomie 60 – 80 kW, odpowiadającym mocy małego silnika uzupełniającego (elektrycznego). Zatem dla zapewnienia zadowalających przyspieszeń silnika poddanego *downsizingowi* potrzebne jest wsparcie go silnikiem elektrycznym o mocy znamionowej 80 kW.

Moc silnika zależy od jego objętości skokowej. Z silnika 8-litrowego poddanego *downsizingowi* można osiągnąć nie więcej niż 160 kW mocy, co jest porównywalne z ok. 240 kW mocy z konwencjonalnego silnika 12-litrowego. Aby uzyskać podobną moc, możliwe jest, jak podano wyżej, użycie dodatkowego silnika elektrycznego umożliwiającego uzupełnienie brakujących 80 kW mocy. Odzysk energii (możliwy przy zastosowaniu takiego układu) pozwala na ładowanie akumulatorów. Wśród różnych rodzajów hybryd preferowane jest użycie do samochodów ciężarowych ciężkiej hybrydy równoległej, zapewniającej odpowiednią dynamikę jazdy i maksymalny moment obrotowy [10].

Omówione w tym podrozdziale środki techniczne odnoszące się do okresu średnioterminowego umożliwiają zmniejszenie zużycia paliwa i potencjalne ograniczenie emisji CO<sub>2</sub> o ok. 17% w rzeczywistych warunkach ruchu drogowego. Natomiast sam efekt *downsizingu* i hybrydyzacji przy pełnym obciążeniu silnika umożliwia ograniczenie zużycia paliwa i potencjalne ograniczenie emisji CO<sub>2</sub> o ok. 8% (rys. 5).

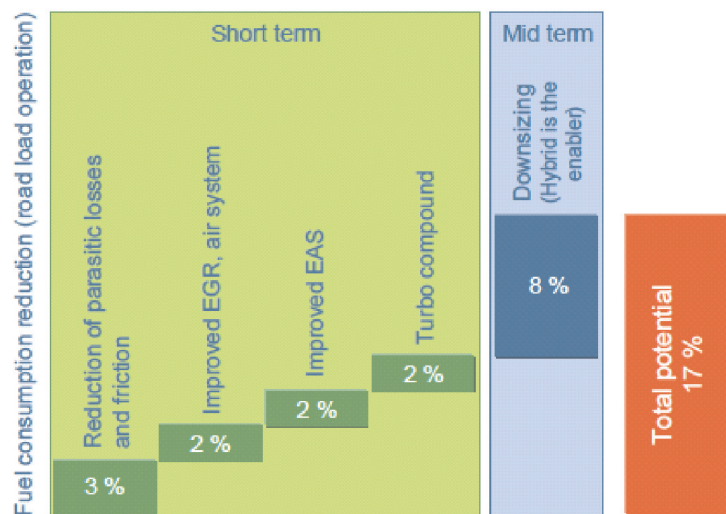


Fig. 5. Medium-term potential reduction of fuel consumption by heavy-duty trucks [10]

Rys. 5. Potencjalne zmniejszenie zużycia paliwa przez ciężkie samochody ciężarowe w okresie średnioterminowym [10]



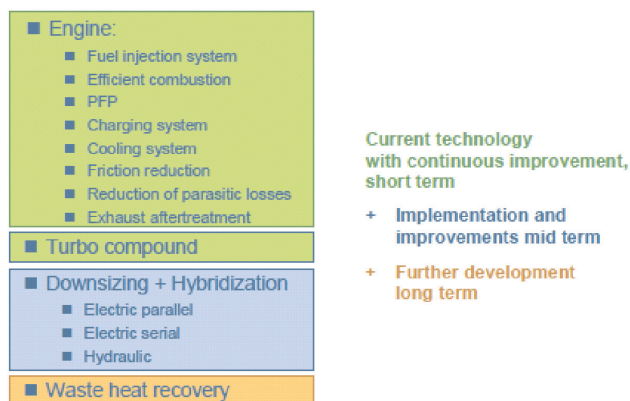


Fig. 6. Long-term ways to reduce the fuel consumption and CO<sub>2</sub> emissions [10]

Rys. 6. Sposoby na zmniejszenie zużycia paliwa i emisji CO<sub>2</sub> w okresie długoterminowym [10]

the additional costs of production and the weight of the energy recovery system.

The mere application of the heat recovery system in the combustion engine will reduce the fuel consumption and CO<sub>2</sub> emission on the level of 6 – 8% under real traffic conditions and all the technical means related to the combustion engines in the discussed period can result in economies in fuel consumption and CO<sub>2</sub> emission on the level of 21 – 23% under load characteristic of real traffic conditions (Fig. 7). At full load they may be minimum but still on the level of 12 – 16% (Fig. 8) [10].

In the long term the fuel consumption in heavy-duty trucks (operating on long distances) can be reduced by approximately 12 – 32% [10]. Approximately 1/3 of the reduction can be obtained through

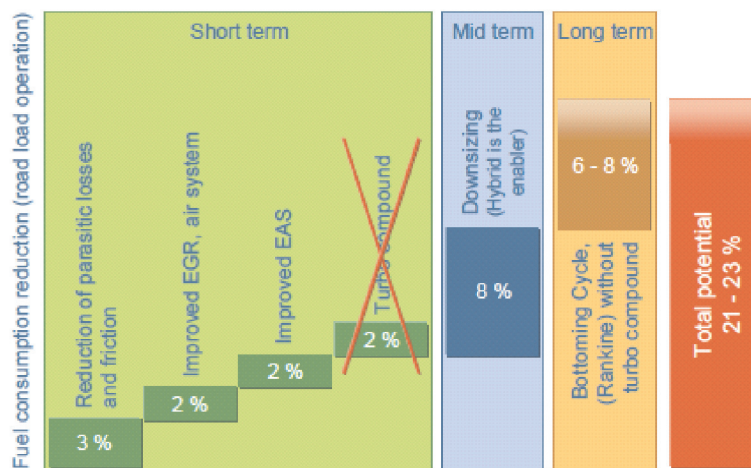


Fig. 7. Potential fuel consumption by heavy-duty trucks in the long term (at load characteristic of real traffic conditions) [10]

Rys. 7. Potencjalne zmniejszenie zużycia paliwa przez ciężkie samochody ciężarowe w okresie długoterminowym (przy obciążeniach silnika występujących w warunkach drogowych) [10]

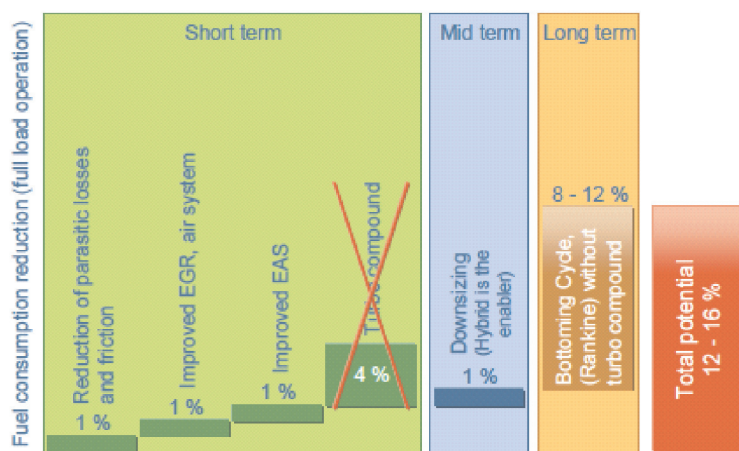


Fig. 8. Potential reduction of the fuel consumption by heavy-duty trucks in the long term (at full engine load) [10]

Rys. 8. Potencjalne zmniejszenie zużycia paliwa przez ciężkie samochody ciężarowe w okresie długoterminowym (przy pełnym obciążeniu silnika) [10]

### 3.4. Działania w okresie długoterminowym

Okres długoterminowy to lata po 2020 roku. Środki techniczne zmniejszające zużycie paliwa i ograniczające emisję CO<sub>2</sub> w tym okresie to środki z okresu krótko- i średnioterminowego oraz odzysk traconego ciepła i wykorzystywanie go w kolejnym procesie, to jest procesie Rankine'a (rys. 6). Prace związane z praktycznym wykorzystaniem w silnikach spalinowych takiego rozwiązania z układem odzysku energii cieplnej będą stanowiły wyzwanie w nadchodzących latach omawianego okresu, tzn. po 2020 roku. Nie wszystkie źródła ciepła mogą bowiem dostarczać energii z wystarczającą efektywnością – szczególnie niskotemperaturowe. Zatem będzie musiał być znaleziony najlepszy kompromis pomiędzy wzrostem całkowitej sprawności silnika spalinowego a dodatkowymi kosztami produkcji i masą układu odzysku energii.

Samo zastosowanie układu odzysku energii cieplnej w konstrukcji silnika spalinowego umożliwi ograniczenie zu-

życia paliwa i emisji CO<sub>2</sub> na poziomie 6 – 8% w rzeczywistych warunkach ruchu pojazdu, natomiast wszystkie środki techniczne stosowane odnośnie do silników spalinowych w omawianym okresie mogą umożliwić oszczędności w zakresie ograniczenia zużycia paliwa i emisji CO<sub>2</sub> rzędu 21 – 23%, przy obciążeniach silnika występujących w warunkach drogowych (rys. 7). Przy pełnym obciążeniu silnika ograniczenia mogą być minimalne, ale na poziomie 12 – 16% (rys. 8) [10].

W okresie długoterminowym zużycie paliwa w odniesieniu do samochodów ciężkich (poruszających się na długich dystansach) może zostać zmniejszone o ok. 12 – 32% [10]. Około 1/3 zmniejszenia można będzie uzyskać przez rozwój doładowania i rozwój układów oczyszczania spalin, ok. 1/3 przez downsizing

improvement of supercharging and aftertreatment systems, another 1/3 through engine *downsizing* and powertrain hybridization and 1/3 through energy recovery for use in other processes.

In the long term a desirable solution will be *downsizing* e.g. an 8-liter 6-cylinder engine into a 4-cylinder one. In relation to hybridization the required power output of the electric motor will be approximately 50 kW. The electric motor will be used with a view to reducing the exhaust emissions under non-stationary operating conditions of the vehicle. The engine families will in this long term be 12-, 8- and 5-liter ones [10].

In the long term (similarly to the previous periods) the necessary actions will require research to confirm the purposefulness of the adopted solutions in terms of economic feasibility.

#### 4. Application of biomethane in diesel engines

An efficient way to reduce the CO<sub>2</sub> emission from vehicles is also the application of alternative fuels (Fig. 9). An alternative fuel for heavy duty trucks could be biomethane. The European Union plans its application in the long term – until 2050 [12, 13]. Biomethane is most frequently obtained through refining of biogas generated in agricultural biogas factories, disposal sites or sewage farms. This process of gas purification allows obtaining of a gaseous fuel (biomethane) of parameters close to compressed natural gas – CNG.

The application of biomethane often requires a conversion of a diesel engine into a spark ignition engine. There are two possibilities of application of the algorithms controlling the mixture compositions for gaseous fuels:

- Mixture control to obtain stoichiometric mixture (in the basic field of work) using multifunction catalytic converter,
- Mixture control to obtain lean mixture in the field of work at part loads.

The more frequently used solution in engines used in city buses is the utilization of the mixture control algorithm to obtain a stoichiometric mixture [14].

The experience to date confirms the numerous ecological advantages of the spark ignition engines fueled with compressed natural gas or biomethane as opposed to diesel engines [13 – 15]:

- significant reduction of the cyclic hydrocarbons emission and their derivatives particularly polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH),
- reduction of the emission of nitric oxides (NO<sub>x</sub>),

silnika spalinowego i hybrydyzację układu napędowego oraz ok. 1/3 przez odzyskiwanie energii i wykorzystywanie jej w innych procesach.

W okresie długoterminowym pożądanym rozwiązaniem będzie *downsizing* np. silnika 8-litrowego 6-cylindrowego na silnik 4-cylindrowy. W odniesieniu do hybrydyzacji żądana moc silnika elektrycznego będzie wynosić ok. 50 kW. Silniki elektryczne będą wykorzystywane w celu ograniczenia emisji w nieustabilizowanych warunkach pracy pojazdu. Rodziny silników będą w tym okresie składać się z silników 12-, 8- i 5-litrowych [10].

W okresie długoterminowym (podobnie jak w poprzednich okresach) działania konieczne do zastosowania wymagać będą badań w celu potwierdzenia zasadności przyjętych rozwiązań w zakresie opłacalności ekonomicznej.

#### 4. Stosowanie biometanu do zasilania silników o zapłonie samoczynnym

Skutecznym sposobem ograniczania emisji CO<sub>2</sub> z pojazdów jest również stosowanie paliw niekonwencjonalnych (rys. 9). Paliwem niekonwencjonalnym do zasilania silników m.in. pojazdów ciężkich może być biometan. Unia Europejska przewiduje jego stosowanie także w okresie długoterminowym – do 2050 roku [12, 13]. Biometan otrzymywany jest najczęściej na drodze uszlachetniania biogazu pozyskiwanego w biogazowniach rolniczych z wysypisk śmieci czy w oczyszczalniach ścieków. Ten proces oczyszczania biogazu pozwala na uzyskanie paliwa gazowego (biometanu) o parametrach zbliżonych np. do sprężonego gazu ziemnego (CNG – *Compressed Natural Gas*).

Stosowanie biometanu wymaga często konwersji silnika o zapłonie samoczynnym na silnik o zapłonie iskrowym. Ist-

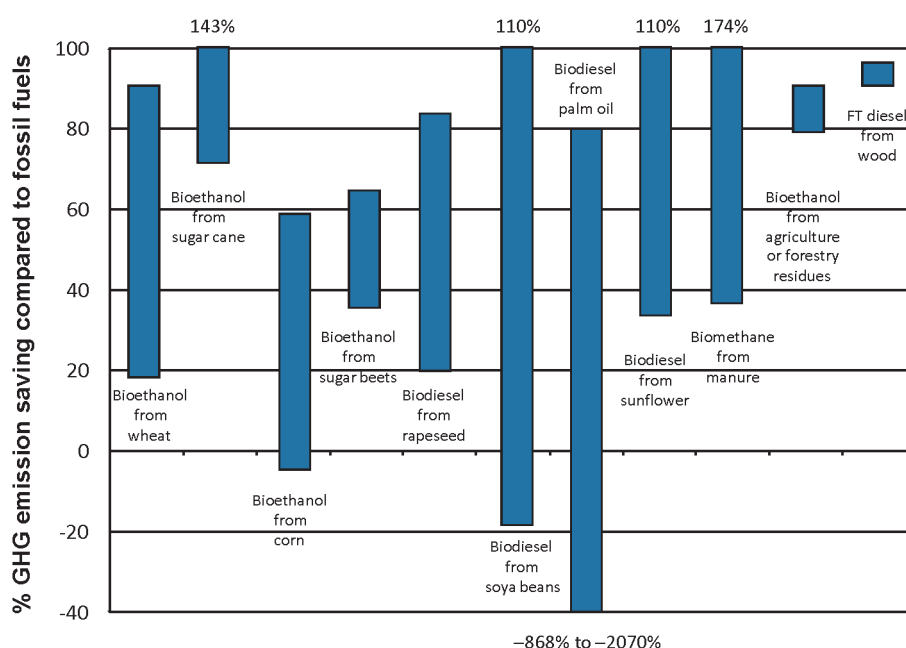


Fig. 9. Reduction of the emission of GHG through application of biofuels as compared to fossil fuels [11]

Rys. 9. Ograniczenie emisji GHG przez stosowanie biopaliw w porównaniu ze stosowaniem paliw kopalnych [11]

– reduction of the emission of particulate matter (PM).

The results of research related to combustion engines fueled with gaseous fuels are known, particularly the results of research related to the ecological consequences of the application of natural gas as engine fuel. These results are not uniform and sometimes even contradictory.

There is information in the literature on the cognitive research related to the exhaust emissions from engines fueled with CNG or biomethane [14, 15]. Also, research is conducted on the exhaust emissions from engines fueled with CNG under a variety of conditions such as the operating conditions of non-road machinery [15].

Particularly interesting is the comparative research into the exhaust emissions from classic diesel engines fueled with diesel oil and spark ignition engines fueled with CNG performed on buses under real traffic conditions [15].

Figure 10 presents the road emissions of carbon dioxide in the MZA test (specially designed test for city buses in Warsaw) from engines fueled with diesel oil and CNG.

The growth in the emission of carbon dioxide with the CNG (biomethane) fueling results from the lower

nią dwie możliwości zastosowania algorytmów sterowania składu mieszanki palnej silników o zapłonie iskrowym na paliwo gazowe:

- na mieszankę stechiometryczną (w podstawowym obszarze pracy) z wykorzystaniem wielofunkcyjnego reaktora katalitycznego,
- na mieszanki ubogie w obszarach pracy silnika na obciążeniach częściowych.

Częściej stosowanym rozwiązaniem w silnikach do napędu autobusów miejskich jest wykorzystanie sterowania składu mieszanki palnej na stechiometryczną [14].

Dotychczasowe doświadczenia potwierdzają liczne zalety ekologiczne silników o zapłonie iskrowym zasilanych sprężonym gazem ziemnym lub biometanem – w stosunku do silników o zapłonie samoczynnym [13 – 15]:

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

Znane są liczne wyniki badań silników spalinowych zasilanych paliwami gazowymi, w szczególności ekologicznych skutków zastosowania gazu ziemnego (do zasilania silników). Wyniki te są często niejednoznaczne, a niekiedy sprzeczne.

Istnieją doniesienia literaturowe na temat badań poznawczych emisji zanieczyszczeń z silników zasilanych gazem ziemnym lub biometanem [14, 15]. Prowadzone są również badania emisji zanieczyszczeń z silników zasilanych gazem ziemnym w warunkach odpowiadających różnym zastosowaniom silników spalinowych, np. dla silników maszyn roboczych [15].

Szczególnie interesujące są badania porównawcze emisji zanieczyszczeń z silników klasycznych o zapłonie samoczynnym zasilanych olejem napędowym i z silników o zapłonie iskrowym zasilanych gazem ziemnym, wykonywane w warunkach użytkowania autobusu w ruchu miejskim [15].

Na rysunku 10 przedstawiono emisję drogową dwutlenku węgla w teście MZA (specjalnie zaprojektowanym teście dla autobusów miejskich dla Warszawy) z silników na olej napędowy i na gaz ziemny.

Zwiększenie emisji drogowej dwutlenku węgla przy zastosowaniu gazu ziemnego (biometanu) 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 powszechnie przy użytkowaniu silników autobusów miejskich. Różnice w emisji dwutlenku węgla dotyczą oczywiście jedynie dwutlenku węgla emitowanego z pojazdu w przypadku używania biometanu, który jest paliwem odnawialnym, natomiast emisja dwutlenku węgla kopalnego jest prawie zerowa, a to właśnie emisja dwutlenku węgla kopalnego jest czynnikiem sprzyjającym intensyfikacji zjawiska cieplarnianego w atmosferze [15].

W celu promocji biometanu prowadzonych jest wiele prac, m.in. projekt europejski *Baltic Biogas Bus*, obecnie

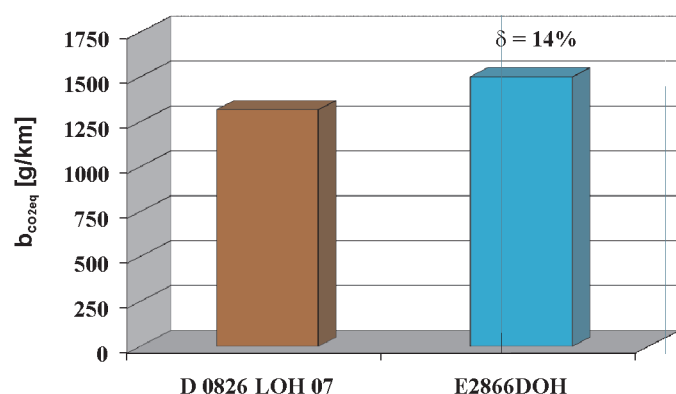


Fig. 10. Road emission of carbon dioxide in the MZA test (Warsaw bus operator) from engines: D082LOH07 diesel fueled and E2866DOH CNG fueled [15]

Rys. 10. Emisja drogowa dwutlenku węgla w teście MZA z silników: D082LOH07 na olej napędowy i E2866DOH na gaz ziemny [15]

overall efficiency of the spark ignition engine in the first place as opposed to the overall efficiency of diesel engines particularly under the conditions of low loads, which is quite common in city buses. The differences in the carbon dioxide emission obviously pertain only to the emissions from the vehicle when biomethane is used (being a renewable fuel) while the fossil fuel derived carbon dioxide is almost zero and it is this particular emission that contributes to the intensification of the greenhouse effect [15].

In order to promote biomethane many works are conducted such as the European project under the name *Baltic Biogas Bus*, currently realized in collaboration with Motor Transport Institute in Warsaw.



## 5. Conclusions

The paper discussed some selected issues related to the reduction of the emission of CO<sub>2</sub> from engines of vehicles of the M and N categories. The paper discusses the reduction of the CO<sub>2</sub> emission from these engines using technical means such as hybridization or the use of biofuels. In relation to biofuels it is advised to use biomethane as an almost fully renewable fuel that can and should be used in the long-term prospect i.e. until 2050.

Technical actions in relation to diesel engines in vehicles of the M and N categories in the aspect of reduction of the fuel consumption and CO<sub>2</sub> emission are also quite important, particularly since the share of the diesel fuel (used for these engines) in the fuel structure in road transport is high. For example in 2006 in the European Union (EU-25) this share amounted to as much as 64% in the total fuel consumption in this EU economic sector [16].

*Paper reviewed/Artykuł recenzowany*

realizowany przy udziale Instytutu Transportu Samochodowego w Warszawie.

## 5. Podsumowanie

W artykule omówiono wybrane zagadnienia dotyczące ograniczenia emisji CO<sub>2</sub> z silników spalinowych pojazdów samochodowych kategorii M i N. Odniesiono się do istotnych możliwości ograniczania emisji CO<sub>2</sub> z tych silników przy wykorzystaniu działań technicznych, np. hybrydyzacji czy stosowania biopaliw. W odniesieniu do biopaliw zasadne jest stosowanie biometanu jako paliwa niemal w pełni odnawialnego, możliwego i zalecanego do stosowania w perspektywie długoterminowej, tj. do 2050 roku.

Działania techniczne w odniesieniu do silników o zapłonie samoczynnym pojazdów kategorii M i N w aspekcie zmniejszenia zużycia paliwa i ograniczenia emisji CO<sub>2</sub> są niewątpliwie istotne, biorąc pod uwagę, że udział oleju napędowego (zasilającego te silniki) w strukturze paliw dotyczącej transportu drogowego jest duży. Na przykład w 2006 r. w Unii Europejskiej (EU-25) udział ten wynosił aż 64% w sumarycznym zużyciu paliw w tym sektorze gospodarki unijnej [16].

## Bibliography/Literatura

- [1] ERTRAC Strategic Research Agenda 2010. Executive Summary.
- [2] ERTRAC Road Transport Scenario 2030+. Wersja 2009 r.
- [3] Bohr B.: Powertrain diversity and electrification: challenges and chances for the automotive industry. Internationales Wiener Motorensymposium 2010.
- [4] Skinner I., van Essen H., Smokers R., Hill N.: EU Transport GHG: Routes to 2050, June 2010.
- [5] Merksiz J., Pielecha J., Radzimirski S.: Pragmatyczne podstawy ochrony powietrza atmosferycznego w transporcie drogowym. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej. Poznań 2009.
- [6] Rozporządzenie Komisji Unii Europejskiej nr 582/2011 z dnia 25 maja 2011 r.
- [7] Ustawa Prawo o ruchu drogowym. Tekst jednolity (Dz. U. z 2005 r. nr 108, poz. 908 z późniejszymi zmianami). Nowe Prawo. Kodeks drogowy. Gazeta Prawna 2010.
- [8] United Nations. Economic and Social Council. Economic Commission for Europe. Trans/WP29/78/Rev.1/Amend 2. 16 April 1999.
- [9] European Commission. Statistical Pocketbook 2010. EU energy and transport in figures.
- [10] Sams T., Moser F., Dreisbach R.: The Commercial Powertrain Beyond 2020. TRA 2010.
- [11] Kruse K.: Nordic Swan Initiative for Fuel Labelling. Nordic Biogas Conference 2010.
- [12] European alternative fuel strategy in the Clean Transport System Interactive. JEG „Transport & Environment”
- [13] Merksiz J., Gis W., Żółtowski A.: Biogas as vehicle fuel. PTNSS Congress 2011.
- [14] Gis W., Menes E., Waśkiewicz J.: Paliwa gazowe w miejskiej komunikacji autobusowej w Polsce. ITS. Transport Samochodowy 2/2011.
- [15] Wojciechowski A., Chłopek Z., Gis W., Krupiński M., Menes E., Merksiz J., Waśkiewicz J., Żółtowski A.: Alternative Powertrains City Buses. 2010 International Conference on Electric Vehicles. Warsaw University of Technology, July 2010.
- [16] Panorama of Transport. Edition 2007.

Wojciech Gis, DEng. – doctor in Motor Transport Institute in Warsaw.

*Dr inż. Wojciech Gis – adiunkt w Instytucie Transportu Samochodowego w Warszawie.*

*e-mail: [wojciech.gis@its.waw.pl](mailto:wojciech.gis@its.waw.pl)*



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

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

*e-mail: [maciek.gis@gmail.com](mailto:maciek.gis@gmail.com)*

