

The research of exhaust emissions and fuel consumption from HHD engines under actual traffic conditions

The paper presents a comparative analysis of the emission of CO, NO_x, CO₂ and gas mileage for two heavy-duty long haulage vehicles. The tests were performed on the same test road. The test route reflected typical daily operation of heavy-duty vehicles – a drive to the loading/unloading zone and cruise on national roads. In the investigations, the authors used a portable exhaust emissions analyzer (SEMTECH DS, PEMS – Portable Emissions Measurement System). Based on the performed analysis, optimum engine was selected for long haulage vehicles under conditions of Polish transport and logistic infrastructure in terms of fuel consumption.

Key words: heavy-duty vehicle, exhaust emissions, road tests

Badania emisji związków toksycznych spalin i zużycia paliwa z silników HDD w warunkach ruchu drogowego

W artykule przedstawiono porównanie emisji CO, NO_x, CO₂ oraz przebiegowego zużycia paliwa dla dwóch pojazdów ciężkich przeznaczonych do długodystansowego przewozu towarów. Badania wykonano na tym samym odcinku pomiarowym. Odzwierciedlał on codzienną eksploatację pojazdów ciężkich – dojazd do miejsca załadunku/rozładunku i ruch po drogach krajowych. Do badań wykorzystano mobilny przyrząd SEMTECH DS z grupy PEMS (Portable Emissions Measurement System). Na podstawie przeprowadzonej analizy określono właściwy wybór silnika spalinowego pojazdu ciężkiego w aspekcie zużycia paliwa dla długodystansowego przewozu towarów w warunkach reprezentujących krajową infrastrukturę transportowo-logistyczną.

Słowa kluczowe: pojazd ciężki, emisja gazów wylotowych, badania drogowe

1. Introduction

The fundamental indicator describing the dynamics of utility vehicles (heavy duty trucks and buses) is their unit power. It is the quotient of the maximum usable power of the engine and its gross vehicles weight [4–5]. In the 1950s and 1960s of the last century, heavy-duty trucks were characterized by low unit power. Due to a growth in the number of vehicles minimum values of the above-mentioned unit power were introduced for heavy-duty trucks, so that their operation did not reduce the throughput of the main roads. In the mid 1970s in Germany, a regulation was adopted that long-haulage trucks had to have a unit power of not less than 6 kW/t. This meant that a vehicle of the GVW of 38 tons had to have an engine of the power output of 228 kW (310 KM). A currently applicable unit power index is on the level of 7.5 kW/t – introduced in 2000. Today long-haulage vehicles are characterized by good dynamics (capability of high accelerations) [9].

European manufacturers, in their portfolios, also have vehicles fitted with engines of power output greater than 300 kW (this is the power output needed to obtain the unit power index of 7.5 kW/t and Gross Vehicle Weight of 40 t). This is caused by a variety of economical, social, marketing-related and other aspects. Currently one of the criteria of the quality of transport services is the time of their realization. Vehicles of high unit power indexes have higher average cruising

1. Wprowadzenie

Podstawowym wskaźnikiem opisującym dynamikę pojazdów użytkowych (pojazdy ciężkie i autobusy) jest tzw. moc jednostkowa samochodu. Jest to iloraz maksymalnej mocy użytecznej silnika do dopuszczalnej masy całkowitej pojazdu [4–5]. W latach 50. i 60. ubiegłego wieku pojazdy ciężkie charakteryzowały się niskim wskaźnikiem mocy jednostkowej. W związku z sukcesywnym wzrostem liczby samochodów zdecydowano się wprowadzić minimalne wartości powyższego wskaźnika dla pojazdów ciężkich, aby ich eksploatacja nie powodowała spadku przepustowości głównych arterii komunikacyjnych. W połowie lat 70. XX wieku w Niemczech wprowadzono wymóg, aby pojazdy ciężkie przeznaczone do przewozów długodystansowych charakteryzowały się wskaźnikiem nie niższym niż 6 kW/t. To oznaczało, że pojazd o dmc 38 t musiał posiadać silnik spalinowy o mocy 228 kW (310 KM). Obowiązującym obecnie standardem jest wskaźnik na poziomie 7,5 kW/t – wprowadzony w 2000 roku. Dzięki temu pojazdy ciężkie przeznaczone do długodystansowego przewozu towarów charakteryzują się dobrymi właściwościami dynamicznymi (zdolność do uzyskiwania dużych przyspieszeń) [8].

Europejscy producenci w swojej ofercie posiadają również pojazdy wyposażone w jednostki napędowe o mocach większych niż 300 kW (taką moc silnika mają pojazdy o wskaźniku 7,5 kW/t i dmc 40 t). Jest to

speeds than vehicles of lower unit power indexes. This translates into shorter task realization times, hence, a greater number of transport tasks can be completed. Additionally, it is important that the vehicles of higher unit power have comparable or only slightly lower gas mileage [3]. This allows transport companies to compensate the cost of purchase of this type of vehicle. The cost of truck of higher unit power index is higher than that of trucks of a lower index.

2. Research methodology

2.1. The route

For the tests the authors selected a road portion of the length of 27 km (Fig. 1). The road portion well characterizes the operation of vehicles of the GVW exceeding 16 000 kg (long haulage) in the area where the measurements were carried out. The test route started and ended in the industrial zone (point A) where a production facility is located at which approximately 50 heavy-duty vehicles are handled daily. The test road portion can be divided into two parts: a drive on the municipal roads (portion A–B) and national and regional roads. The drive on the national regional/roads depends on the driving direction from/to the entrance to the A2 expressway (Koło) (point D). In the case of driving to the 'Koło' expressway entrance the route went through points B–C and C–D. In the reverse situation i.e. exiting the expressway and driving to the production facility via bypasses: points D–C and C–B (on the D–C road portion heavy duty trucks exceeding GVW of 7 000 kg are not allowed.) The above route can be deemed representative of the national transport and logistic infrastructure – representing the road infrastructure and the distribution of production facilities in small and medium-sized towns.

2.2. Research objects

For the research, the authors used two heavy-duty trucks (road tractors with semi-trailers) loaded with a cargo of 20 000 and 24 800 kg (Fig. 2). The first of the objects was fitted with a 309 kW (420 KM) Euro III engine. The other object had a V8 412 kW (560 KM) Euro V engine. Both vehicles were fitted with an automatic transmission (Tab. 1). Both vehicles were fitted with automatic transmission of the 12 + 1 configuration. The second vehicle was also fitted with a driver monitoring system. The system, by a continuous analysis of signals from a series of sensors, provides real time hints and, upon end of trip, generates a report on the driving style. The hints and the evaluation are presented on a display and have 4 categories: driving uphill, predicting, braking and gear shifts. The idea behind the system is to continuously improve the driving skills in terms of fuel consumption and proper use of modern solutions such as: automatic transmission, retarder or EBS (Electronic Braking System).

spowodowane wieloma aspektami, m.in. ekonomicznym, społecznym, marketingowym itd. Obecnie jednym z głównych kryteriów świadczącym o jakości oferowanych usług transportowych jest czas ich wykonania. Pojazdy o wyższych wskaźnikach mocy jednostkowej osiągają większe średnie prędkości przejazdu niż pojazdy o niższych wskaźnikach. Powoduje to skrócenie czasu wykonania usługi, dzięki czemu możliwa jest realizacja większej liczby zleceń transportowych. Ważne jest także, aby pojazdy te charakteryzowały się porównywalnym bądź niewiele większym przebiegowym zużyciem paliwa [3]. To pozwala firmom transportowym zrekompensować koszt zakupu tego typu pojazdów, który jest większy niż w odniesieniu do pojazdów posiadających silniki spalinowe o mniejszej mocy użytkowej.

2. Metodyka badawcza

2.1. Trasa

Do badań wykorzystano odcinek drogowy, którego długość wynosiła 27 km (rys. 1). Odcinek charakteryzuje ruch pojazdów ciężkich o dopuszczalnej masie całkowitej powyżej 16 000 kg (tzw. długodystansowych) w miejscowości, w której przeprowadzono pomiary. Rozpocynał się i kończył w dzielnicy przemysłowej (punkt A), gdzie znajduje się zakład produkcyjny, w którym dziennie przeładowywanych jest około 50 pojazdów ciężkich. Następnie odcinek pomiarowy można podzielić na dwie zasadnicze części: przejazd drogami miejskimi (odcinek A–B) oraz krajowymi i wojewódzkimi. Przejazd drogami

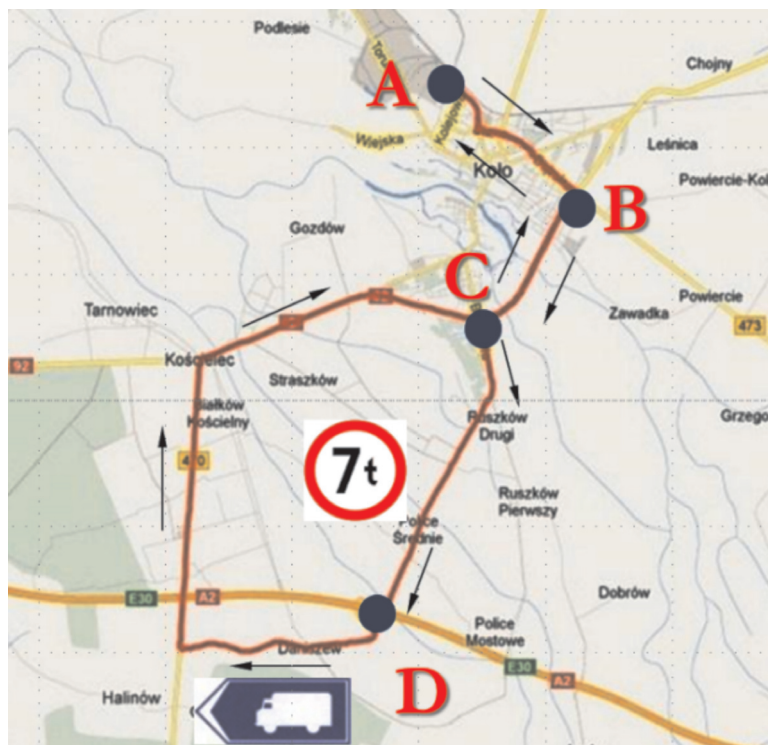


Fig. 1. The measurement road portion used in the on-road emission tests [made based on GPSVisualiser.com]

Rys. 1. Odcinek drogowy wykorzystany do badań emisji [wykonano na podstawie GPSVisualiser.com]

a)



b)



Fig. 2. Research objects during the on-road emission tests: a) vehicle A, b) vehicle B

Rys. 2. Obiekty badawcze podczas drogowych badań emisyjności: a) pojazd A, b) pojazd B

2.3. Measurement equipment

The measurements were carried out using a portable exhaust emissions analyzer SEMTECH DS (PEMS). The device measured the emissions of CO₂, CO and exhaust gas mass flow (Fig. 3a). The measurement of CO₂ and CO was carried out with the use of NDIR (Non-Dispersive Infrared) analyzer. The devices also communicated with the vehicle diagnostic system. This connection was realized through the CAN SAE J1939 data transmission protocol. The connection allowed recording of the basic engine operating parameters such as engine speed or load. The engine load is defined in the system as the ratio of the current engine torque to its maximum torque. The vehicle position and

krajowymi i wojewódzkimi zależy od kierunku jazdy do/z węzła autostrady A2 „Koło” (punkt D). W sytuacji dojazdu do węzła „Koło” trasa przebiega pomiędzy punktami B–C i C–D. W odwrotnej sytuacji, czyli dojazdu z węzła „Koło” do zakładu produkcyjnego, należy poruszać się wyznaczonym tranzytem: odcinek D–C i C–B, ponieważ na odcinku D–C obowiązuje zakaz ruchu pojazdów o dopuszczalnej masie całkowitej powyżej 7 000 kg. Powyższą trasę można uznać za reprezentatywną w aspekcie krajowego systemu transportowo-logistycznego – reprezentującą infrastrukturę drogową oraz usytuowanie zakładów produkcyjnych w małych i średnich miejscowościach.

Table 1. Characteristics of vehicles used for the tests [9]

Tabela 1. Charakterystyka pojazdów wykorzystanych do badań [8]

Parameter/parametr	Vehicle/pojazd A	Vehicle/pojazd B
Displacement/pojemność silnika	11.7 dm ³	15.6 dm ³
Number of cylinders/arrangement/liczba cylindrów/układ	Straight 6/6-rzędowy	8/V8
Maximum power output/moc maks.	309 kW at/przy 1900 rpm/obr/min	412 kW at/przy 1900 rpm/obr/min
Maximum torque/maksymalny moment obrotowy	2100 N·m at/przy 1000–1350 rpm/obr/min	2700 N·m at/przy 1000–1400 rpm/ obr/min
Unit power output index/jednostkowy wskaźnik mocy do masy ładunku	7.7 kW/t	10.3 kW/t
Emission standard/norma emisji	Euro III	Euro V
Exhaust gas aftertreatment/układ oczyszczania gazów	N/A/brak	SCR
Transmission/skrzynia biegów	Automatic/ zautomatyzowana 12+1	Automatic/ zautomatyzowana 12+1
Driver support system/system monitorujący zachowania kierowcy	N/A/brak	SDS
Tractor axle configuration/konfiguracja osi ciągnika siodło- wego	4 x 2	4 x 2
Curb weight including trailer/masa własna pojazdu ciężarowe- go z naczepą	15 000 kg	15 200 kg
Cargo weight/masa ładunku	20 000 kg	24 800 kg
Type of cargo/rodzaj ładunku	Big-Bag	Steel
Type of trailer/typ naczepy	Canopy/kurtynowa	Canopy/kurtynowa



Fig. 3. Measurement equipment installed in the vehicle cab:
A) SEMTECH DS, B) control laptop computer

Rys. 3. Aparatura pomiarowa zainstalowana w kabinie pojazdu ciężarowego: a) SEMTECH DS, b) komputer sterujący pracą przyrządu

its speed were measured through the GPS system (Global Positioning System). The equipment was controlled via a laptop computer (Fig. 3b) [1, 7].

3. The exhaust emission correction coefficient

Because the authors could not perform the measurements on two heavy-duty vehicles of the same exhaust emissions standard, the tests were carried out for Euro III and Euro V compliant vehicles. In order to compare the obtained values of the CO emission the authors decided to define a dimensionless emission correction coefficient C_i [8]:

$$C_i = \frac{e_{\text{EuroV}}}{e_{\text{EuroIII}}} \quad (1)$$

where: C_i – correction coefficient of an i -th component; e_p , Euro V – a limit of unit emission of a given component in the Euro V standard [$\text{g}/(\text{kW} \cdot \text{h})$]; e_p , Euro III – a limit of unit emission of a given component in the Euro III standard [$\text{g}/(\text{kW} \cdot \text{h})$].

Determined values of C_i coefficient shown in Table 2.

4. Results and discussion

4.1. Analysis of the vehicle driving profiles

In the first, urban part, significant differences in the driving profiles of both vehicles were recorded. Vehicle A had a higher speed than vehicle B (Fig. 4, Tab. 3). This was caused by higher traffic congestion during the test run of vehicle B. In the rural part, both driving profiles were similar. Vehicle A, during the entire run had a lower average speed (by 5 %) than vehicle B. From the analysis of the maximum and average acceleration in the acceleration phase it results that vehicle B was more dynamic because in both cases its values were higher by 49 and 19 % respectively.

4.2. Analysis of the exhaust emissions

According to the previous assumption (chapter 3) the second-by-second emission of CO and NO_x of vehicle A

2.2. Obiekty badawcze

Do badań wykorzystano dwa pojazdy ciężkie (ciągniki siodłowe z naczepami) obciążone odpowiednio ładunkiem 20 000 i 24 800 kg (rys. 2). Pierwszy z obiektów wyposażony był w silnik spalinowy o mocy 309 kW (420 KM) spełniający normę emisji Euro III. Drugi obiekt posiadał silnik V8 o mocy 412 kW (560 KM), który spełniał normę emisji Euro V (tab. 1). Oba pojazdy posiadały zautomatyzowane skrzynie biegów o konfiguracji 12 + 1. Drugi pojazd posiadał również system monitorujący działania kierowcy, który przez ciągłą analizę danych pochodzących z różnych czujników na bieżąco wyświetla wskazówki do zachowania ekonomicznego stylu jazdy, a po zakończeniu przejazdu generuje podsumowanie z oceną stylu. Wskazówki i oceny są prezentowane na wyświetlaczu i obejmują cztery kategorie: jazda na wzniesieniach, przewidywanie, hamowanie oraz zmiana biegów. Zadaniem systemu jest ciągle doskonalenie umiejętności kierowcy w aspekcie ograniczenia zużycia paliwa przez odpowiednie wykorzystywanie stosowanych nowoczesnych rozwiązań w pojazdach ciężarowych, takich jak: zautomatyzowana skrzynia biegów, retarder czy układ EBS (*Electronic Breaking System*).

2.3. Aparatura pomiarowa

Pomiary przeprowadzono przy użyciu mobilnego analizatora gazów wylotowych SEMTECH DS z grupy PEMS, który umożliwił pomiar CO_2 , CO, NO_x ($\text{NO} + \text{NO}_2$) oraz masowego natężenia przepływu gazów wylotowych (rys. 3a). Pomiaru CO_2 i CO dokonano przy użyciu analizatora NDIR (*Non-Dispersive Infrared*), a pomiaru NO_x przy użyciu analizatora NDUV (*Non-Dispersive Ultraviolet*). Przyrząd posiada także funkcję komunikacji z siecią diagnostyczną pojazdu. To połączenie zrealizowano za pomocą protokołu transmisji danych CAN SAE J1939. Dzięki temu dokonano rejestracji podstawowych parametrów pracy silnika spalinowego, takich jak prędkość obrotowa wału korbowego, czy generowane obciążenie, które wyrażone jest stosunkiem bieżącego momentu obrotowego i maksymalnego momentu obrotowego przy danej prędkości obrotowej wału korbowego

Table 2. Values of the emissions limit and C_i coefficient

Tabela 2. Wartości emisji jednostkowej i wskaźnika korygującego C_i

	Euro III [$\text{g}/(\text{kW} \cdot \text{h})$]	Euro V [$\text{g}/(\text{kW} \cdot \text{h})$]	Wskaźnik C_i [–]
CO	2.10	1.50	0.72
NO_x	5.00	2.00	0.40

silnika. Pozycję pojazdu oraz jego prędkość zmierzono za pomocą układu pozycjonowania GPS (*Global Positioning System*). Sterowanie pracą przyrządu odbywało się przy wykorzystaniu komputera osobistego połączonego z aparaturą za pomocą sieci Wi-Fi (rys. 3b) [1, 6].

3. Wskaźnik korygujący emisję toksycznych składników gazów wylotowych

Ze względu na brak możliwości przebadania dwóch pojazdów ciężkich spełniających tę samą normę emisji,

was multiplied by index C_i and then compared with the course recorded for vehicle B. Vehicle A in the first, urban phase had higher maximum values of the emission of CO than vehicle B (Fig. 5). In the further part of the test run this trend was preserved except several points (emission peaks). Despite the correction of the second-by-second emission of CO by the value of C_i , vehicle A had higher average emission of CO than vehicle B – the average emission of CO was 27.07 and 22.83 mg/s respectively. Analyzing the second-by-second emission of NO_x the authors observed that in the first, urban phase vehicle B had higher values of this emission than vehicle A (Fig. 6). In the further part of the test, this trend changed and vehicle A had higher emissions. Such a situation was caused by the SCR (selective catalytic reduction) system responsible for the control of the NO_x emission fitted in the exhaust of vehicle B. In the first phase of the test, the SCR system was probably inhibited, as the tests for both vehicles were initiated from a cold start (a cold start is to be construed in this case as starting the engine at an ambient temperature of over 20 °C) and under these conditions the exhaust gas temperature is too low for the NO_x reduction to occur when a 32.5 % water solution of urea is applied. Upon stabilization of the engine thermal state, a growth of the exhaust gas temperature takes place thus generating proper conditions for the reduction of NO_x . The temperature of the exhaust gas also influences the conversion rate of the SCR catalytic converter where the said reactions take place. In standard SCR converters, the highest conversion rate occurs for 250–400 °C. Under such conditions the SCR control system initiates injection of a 32.5 % solution of urea into the vehicle exhaust system, from which, following a series of reactions, ammonia is

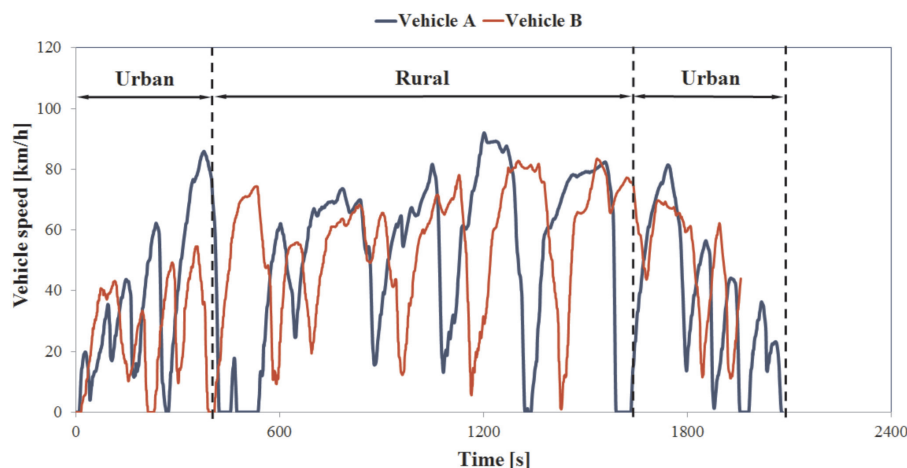


Fig. 4. Speed profiles of the tested vehicles obtained during the on-road tests described with function $f = V(t)$

Rys. 4. Profile prędkości badanych pojazdów uzyskane podczas badań drogowych opisane funkcją $f = V(t)$

badania przeprowadzono dla pojazdu spełniającego normę Euro III i V. Aby porównać uzyskane wartości, podczas pomiarów drogowych zdefiniowano bezwymiarowy wskaźnik korygujący emisję C_i [7] – wzór (1), gdzie: C_i – wskaźnik korygujący emisję i-tego związku, $e_{\text{Euro V}}$ – limit emisji jednostkowej danego związku w normie Euro V [g/(kW·h)], $e_{\text{Euro III}}$ – limit emisji jednostkowej danego związku w normie Euro III [g/(kW·h)].

Wyznaczone wartości wskaźnika C_i przedstawiono w tabeli 2.

4. Wyniki pomiarów – dyskusja

4.1. Analiza profili ruchu pojazdów

W pierwszej części miejskiej testu badawczego zarejestrowano znaczące różnice pomiędzy profilami ruchu obu pojazdów: pojazd A osiągnął większą prędkość niż pojazd B (rys. 4, tab.3). To było spowodowane przede wszystkim większym natężeniem ruchu pojazdów podczas przejazdu pojazdu B. W części pozamiejskiej oba profile ruchu charakteryzowały się zbliżonym przebiegiem. Pojazd A podczas całego przejazdu uzyskał mniejszą średnią prędkość o 5 %

Table 3. Parameters characterizing the test runs of both vehicles during the on-road tests

Tabela 3. Parametry charakteryzujące przejazdy obu pojazdów podczas badań drogowych

Parameter/parametr	Unit/ jednostka	Vehicle/ pojazd A	Vehicle/ pojazd B	Percentage ratio vehicle A/vehicle B/stosunek procentowy pojazdu A do pojazdu B [%]
Distance s/droga	km	26.57	26.88	98.84
Maximum speed/prędkość maks. V_{max}	km/h	92.00	84.52	108.14
Average speed/ prędkość średnia V_{st}	km/h	45.73	48.56	94.17
Minimum acceleration/ przyspieszenie minimalne a_{min}	m/s ²	-2.93	-2.80	104.64
Maximum acceleration/przyspieszenie maksymalne a_{max}	m/s ²	1.28	2.53	50.60
Average acceleration in phase of the ramp-up/przyspieszenie średnie w fazie rozprędzania a_{st}	m/s ²	0.21	0.26	80.77

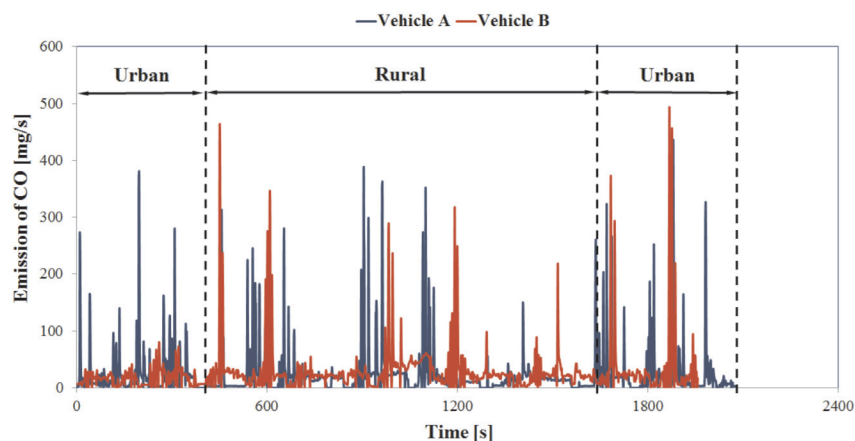


Fig. 5. The tracing of the second-by-second emission of CO for both vehicles obtained during the on-road tests

Rys. 5. Przebiegi natężenia emisji CO dla obu pojazdów uzyskane podczas badań drogowych

generated and used in the selective reduction of NO_x . From the recorded course of the second-by-second emission of NO_x it results that the SCR system had obtained the highest conversion rate after 600 seconds of the test run and then vehicle B obtained much lower values of emission than in the initial phase of the test. In this part of the test vehicle B also had lower emission of NO_x than vehicle A.

As for the second-by-second emission of CO_2 , for both vehicles a similar course was recorded (Fig. 7). The highest maximum values of CO_2 for both vehicles were in the rural cycle. This can be attributed to

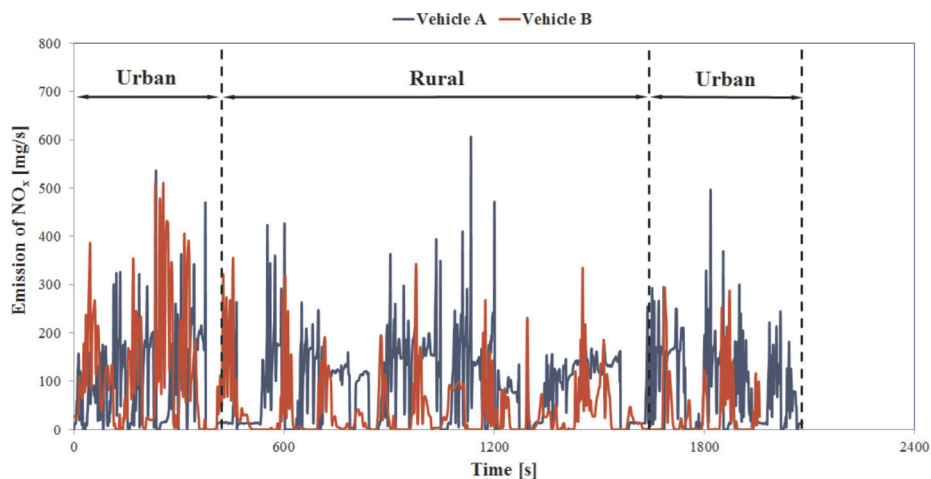


Fig. 6. The tracing of the second-by-second emission of NO_x for both vehicles obtained during the on-road tests

Rys. 6. Przebiegi natężenia emisji NO_x dla obu pojazdów uzyskane podczas badań drogowych

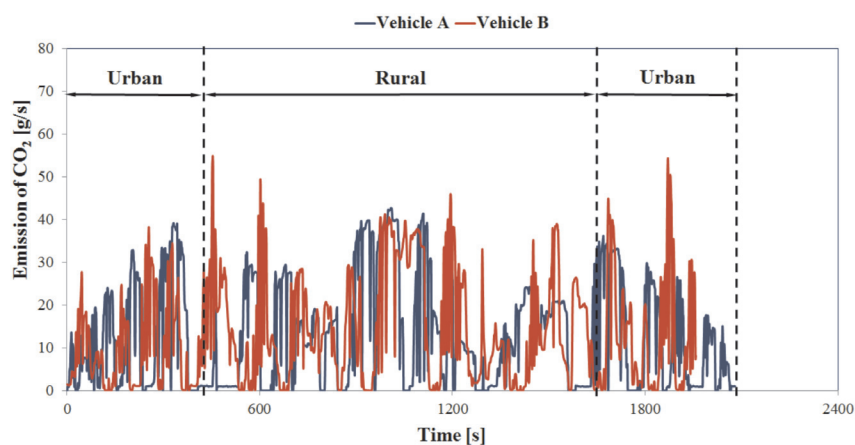


Fig. 7. The tracing of the second-by-second emission of CO_2 for both vehicles obtained during the on-road tests

Rys. 7. Przebiegi natężenia emisji CO_2 dla obu pojazdów uzyskane podczas badań drogowych

niż pojazd B. Z analizy maksymalnego i średniego przyspieszenia w fazie rozpędzania wynika, że przejazd pojazdu B był bardziej dynamiczny, ponieważ w obu przypadkach uzyskano większe jego wartości, odpowiednio o 49 % i 19 %.

4.2. Analiza emisji toksycznych składników gazów wylotowych

Według przyjętego wcześniej założenia (rozdz. 3) wartość natężenia emisji CO i NO_x pojazdu A przemnożono przez wskaźnik C_i i następnie porównano z przebiegiem zarejestrowanym dla pojazdu B. Pojazd A w pierwszej fazie miejskiej uzyskał większe maksymalne wartości emisji CO niż pojazd B (rys. 5). W dalszej części odcinka pomiarowego tendencja ta została

zachowana, z wyjątkiem kilku pojedynczych punktów, tzw. pików emisji. Mimo korekty natężenia emisji CO o wartość wskaźnika C_i pojazd A uzyskał większe średnie natężenie emisji CO niż pojazd B – średnie natężenie emisji CO wyniosło odpowiednio 27,07 i 22,83 mg/s. Analizując natężenie emisji NO_x stwierdzono, że w pierwszej fazie miejskiej pojazd B uzyskał większe jej wartości niż pojazd A (rys. 6). W dalszej części testu tendencja ta uległa zmianie i pojazd A uzyskiwał większe wartości emisji. Taki przebieg spowodowany był działaniem zamontowanego w układzie wylotowym pojazdu B układu SCR (*Selective Catalytic Reduction*) odpowiedzial-

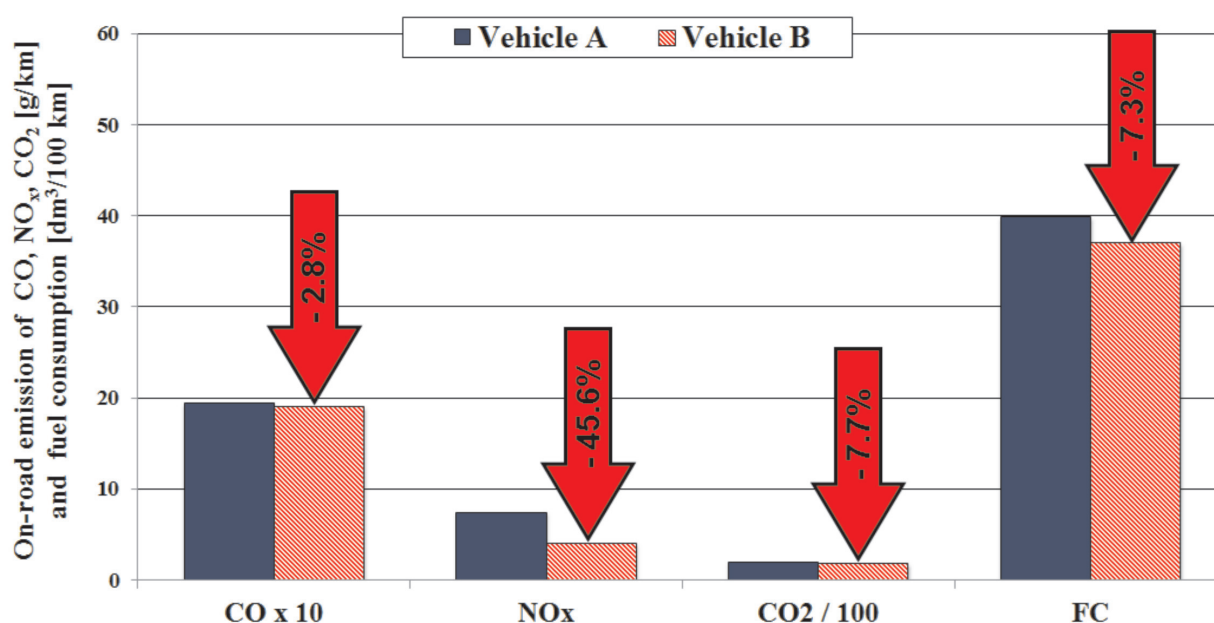


Fig. 8. Comparison of the on-road emission of CO₂, CO and gas mileage of the tested vehicles

Rys. 8. Porównanie emisji drogowej CO, NO_x, CO₂ oraz przebiegowego zużycia paliwa badanych pojazdów

high cruising speeds, thus, greater energy demand of the research objects. In the last part of the test, a series of work points was recorded at which a significant increase in the second-by-second emission of CO₂ occurred for vehicle B. This was attributed to greater average acceleration compared to vehicle A.

As for the second-by-second emission of CO₂ for both vehicles, similar course of this emission was recorded (Fig. 7). The highest maximum values of the emission of CO₂ for both vehicles were in the expressway phase. This was related to the speeds, hence, the energy demands of the tested vehicles. In the last phase, a series of points was recorded where significant growth in the second-by-second emission of CO₂ for vehicle B was observed. This was caused by a greater average acceleration of vehicle B compared to vehicle A.

Next, based on the carbon balance method [2], the gas mileage for both vehicles was determined (in this method, the on-road emission of CO₂, CO and HC is taken into account). Figure 8 presents the comparison of the on-road emissions of CO₂, CO and the gas mileage. In all cases, vehicle B obtained lower values and a higher gas mileage. It is noteworthy that it had a significant increase in the gas mileage (by 2.9 dm³/100 km). The cost of fuel is currently the main cost of operation of long-haulage trucks. The greatest drop was observed for the on-road emission of NO_x, that mainly resulted from the application of the SCR system in vehicle B.

5. Conclusions

From the performed analysis we know that the heavy-duty vehicle characterized by the greatest unit power (B) had better emission performance (CO₂, CO, NO_x) and better gas mileage. Greater values of the average acceleration in

nego za redukcję NO_x. W pierwszej fazie testu układ SCR najprawdopodobniej był nieaktywny, ponieważ testy dla obu pojazdów rozpoczynano od zimnego rozruchu (zimny rozruch w tym przypadku należy rozumieć jako uruchomienie silnika przy temperaturze powietrza atmosferycznego wynoszącej ponad 20 °C) i w tych warunkach temperatura gazów wylotowych jest zbyt niska, aby zachodziły reakcje redukcji NO_x przy wykorzystaniu 32,5 % wodnego roztworu mocznika. Po ustabilizowaniu stanu cieplnego silnika następuje wzrost temperatury gazów wylotowych, stwarzając tym samym atmosferę sprzyjającą zajściu reakcji redukcji NO_x. Temperatura gazów wylotowych wpływa również na stopień konwersji reaktora katalitycznego SCR, w którym zachodzą wspomniane reakcje. W standardowych układach SCR największy stopień konwersji reaktora katalitycznego występuje dla 250–400 °C. W takich warunkach system sterujący pracą układu SCR rozpoczyna wtrysk roztworu mocznika do układu wylotowego silnika, z którego w wyniku reakcji chemicznych powstaje amoniak wykorzystywany w reakcjach selektywnej redukcji NO_x. Z zarejestrowanego przebiegu natężenia emisji NO_x wynika, że układ SCR osiągnął największy stopień konwersji po 600 sekundach testu i wtedy pojazd B uzyskiwał znacznie mniejsze jej wartości niż w początkowej fazie testu. W tej części testu pojazd B uzyskał również mniejszą emisję NO_x niż pojazd A.

W sytuacji natężenia emisji CO₂ dla obu pojazdów zarejestrowano podobny jej przebieg (rys. 7). Największe maksymalne wartości emisji CO₂ dla obu pojazdów wystąpiły w fazie pozamiejskiej. Związane to było z dużymi prędkościami, a tym samym z większym zapotrzebowaniem energetycznym silników spalinowych obiektów badawczych. W ostatniej fazie testu zarejestrowano punkty pracy,

the acceleration phase and the average speed obtained on the test run by vehicle B confirm its better dynamics. This fact clearly has impact on the traveling time, thus reducing the time of realization of a transport task. The increase in the gas mileage in the long run will bring measurable economic results and will contribute to better environmental performance of the road transport sector. The above factors will significantly influence the efficiency of the transport services. The above facts confirm the applicability of vehicle of higher unit power index.

Bibliography/Literatura

- [1] Merksiz J., Fuć P.: The Exhaust Emission from Light Duty Vehicles in Road Test in Urban Traffic. SAE Technical Paper Series 2010-01-1558, 2010.
- [2] Merksiz J., Fuć P., Ziółkowski A.: Wpływ masy ładunku na emisję CO_2 , NO_x i na zużycie paliwa pojazdu ciężarowego o masie całkowitej powyżej 12 000 kg. Postępy Nauki i Techniki/Advances in Science and Technology nr 15/2012; 2012.
- [3] Merksiz J., Kozak M., Nijak D., Andrzejewski M., Molik P., Nowak M., Rymaniak L., Ziółkowski A.: The analysis of the emission level from heavy-duty truck in a city traffic. Combustion Engines nr 3/2012 (151), pp. 80-88.
- [4] Prochowski L.: Pojazdy samochodowe. Mechanika ruchu. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 2005.
- [5] Prochowski L., Żuchowski A.: Pojazdy samochodowe. Samochody ciężarowe i autobusy. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 2011.
- [6] www.sensors-inc.com
- [7] Information from Worldwide Emissions Standards. Passenger Cars & Light Duty Vehicles. Delphi brochure 2010/2011. delphi.com/pdf/emissions/Delphi-Passenger-Car-Light-Duty-Truck-Emissions-Brochure-2011-2012.pdf.
- [8] Materiały informacyjne otrzymane od producentów pojazdów ciężarowych.

w których nastąpił znaczny wzrost natężenia emisji CO_2 dla pojazdu B. To było uwarunkowane większym średnim przyspieszeniem niż dla pojazdu A.

Następnie na podstawie metody bilansu węgla [2] wyznaczono wartości przebiegowego zużycia paliwa dla obu pojazdów. W tej metodzie uwzględniana jest emisja drogową CO_2 , CO i HC. Na rysunku 8 przedstawiono porównanie emisji drogowej CO_2 , CO oraz przebiegowego zużycia paliwa. We wszystkich przypadkach pojazd B uzyskał mniejsze wartości. Na szczególną uwagę zasługuje znaczący spadek przebiegowego zużycia paliwa (o $2,9 \text{ dm}^3/100 \text{ km}$), ponieważ jest ono obecnie głównym kosztem eksploatacji pojazdów ciężarowych przeznaczonych do długodystansowego transportu towarów. Największy spadek emisji drogowej zarejestrowano dla NO_x , który wynikał głównie z zastosowania układu SCR w układzie wylotowym pojazdu B.

5. Wnioski

Z przeprowadzonej analizy wynika, że pojazd ciężki charakteryzujący się wyższym wskaźnikiem mocy jednostkowej (B) uzyskał zarówno mniejszą emisję drogową CO_2 , CO, NO_x , jak i przebiegowe zużycie paliwa. Większe wartości średniego przyspieszenia w fazie rozpędzania i średniej prędkości otrzymane na trasie pomiarowej przez pojazd B świadczą o jego korzystniejszych właściwościach dynamicznych. Obniżenie przebiegowego zużycia paliwa w dłuższej perspektywie przyniesie wymierne korzyści ekonomiczne oraz przyczyni się do ograniczenia negatywnego wpływu na środowisko naturalne sektora transportu drogowego. Powyższe czynniki znacząco wpłyną na poprawę efektywności usług oferowanych przez przedsiębiorstwa transportowe. Podane fakty potwierdzają słuszność stosowania pojazdów o wyższym jednostkowym wskaźniku mocy.

Prof. Jerzy Merksiz, DSc., DEng. – Professor in the Faculty of Machines and Transport at Poznań University of Technology.

Prof. Jerzy Merksiz – profesor na Wydziale Maszyn Roboczych i Transportu Politechniki Poznańskiej.

e-mail: jerzy.merksiz@put.poznan.pl



Piotr Lijewski, DEng. – doctor, Institute of Combustion Engines and Transport at Poznań University of Technology.

Dr inż. Piotr Lijewski – adiunkt w Instytucie Silników Spalinowych i Transportu Politechniki Poznańskiej.

e-mail: piotr.lijewski@put.poznan.pl



Paweł Fuć, DSc., DEng. – doctor, Institute of Combustion Engines and Transport at Poznań University of Technology.

Dr hab. inż. Paweł Fuć – adiunkt w Instytucie Silników Spalinowych i Transportu Politechniki Poznańskiej.

e-mail: pawel.fuc@put.poznan.pl



Andrzej Ziółkowski, MSc, Eng. – PhD student in the Faculty of Machines and Transportation at Poznań University of Technology.

Mgr inż. Andrzej Ziółkowski – doktorant na Wydziale Maszyn Roboczych i Transportu Politechniki Poznańskiej.

e-mail: andrzej.wo.ziolkowski@doctorate.put.poznan.pl



Łukasz Rymaniak, MSc., Eng. – PhD student in the Faculty of Machines and Transport at Poznań University of Technology.

Mgr inż. Łukasz Rymaniak – doktorant na Wydziale Maszyn Roboczych i Transportu Politechniki Poznańskiej.

e-mail: rymaniak.lukasz@onet.eu

