

Piotr LIJEWSKI, Natalia SZYMLET, Barbara SOKOLNICKA, Maciej SIEDLECKI

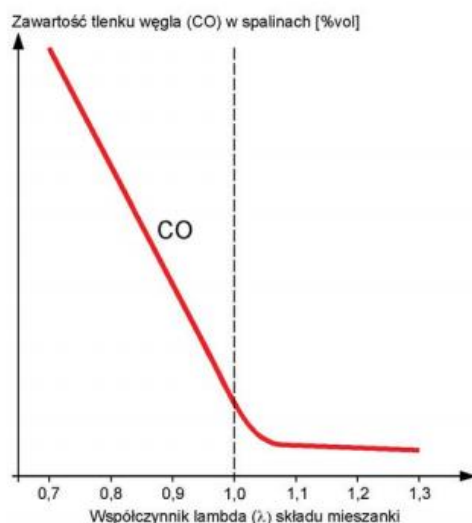
# ANALIZA EMISJI TLENKU WĘGLA Z POJAZDU Z SILNIKIEM O ZAPŁONIE ISKROWYM I BEZPOŚREDNIM WTRYSIEM PALIWA WEDŁUG PROCEDURY RDE

W artykule przedstawiono analizę drogową i sekundową emisji tlenku węgla, z pojazdu z silnikiem o zapłonie iskrowym z bezpośrednim wtryskiem paliwa. Badania przeprowadzono w rzeczywistych warunkach ruchu, przestrzegając procedury RDE (Real Drive Emission). Test wykonano na obszarze aglomeracji poznańskiej, trasa obejmowała drogi o różnych dopuszczalnych prędkościach. Badania przeprowadzono przy zastosowaniu mobilnej aparatury SEMTECH DS, należącej do grupy PEMS (Portable Emission Measurement System).

## WSTĘP

W obecnych czasach władze wszystkich wysokorozwiniętych krajów borykają się z uciążliwością zanieczyszczeń motoryzacyjnych. W związku z tym ustawodawcy wprowadzają coraz to bardziej restrykcyjne normy emisji spalin. Obecnie obowiązujący limit emisji drogowej tlenku węgla (norma EURO 6) wynosi 1.0 g/km, co w odniesieniu do limitu normy EURO 1 stanowi jedną trzecią pierwotnej wartości (2,72 g/km) [6]. W celu spełnienia istniejących norm emisji gazów wylotowych producenci pojazdów stale doskonalą oraz modernizują silniki, wyposażając je w układy oczyszczania spalin czy modyfikując jego konstrukcję. Przykładem modyfikacji konstrukcyjnej, zmniejszającej zużycie paliwa oraz emisyjność jest zastosowanie bezpośredniego wtrysku paliwa zarówno w pojazdach z silnikiem samoczynnym jak i iskrowym.

Tlenek węgla jest produktem spalania niepełnego. Powstaje w wyniku globalnego lub lokalnego niedoboru tlenu oraz współczynnika nadmiaru powietrza (Rys. 1. Warunkiem sprzyjającym jego powstawania jest także niska temperatura spalania [5].



Rys. 1. Zawartość tlenku węgla w gazach wylotowych silnika ZI, w zależności od współczynnika nadmiaru powietrza ( $\lambda$ ) [5]

## 1. OBIEKT BADAWCZY

Obiekt badawczy stanowił Volkswagen Golf VII generacji (tj. spełniający normę EURO 6), należący do grupy pojazdów PC (Passenger Car) z segmentu C. Pojazd ten wyposażony był w silnik o zapłonie iskrowym, z bezpośrednim wtryskiem paliwa, o objętości skokowej 1,2 dm<sup>3</sup>. Pojazd wyprodukowano w 2015 roku. Tabela 1 przedstawia podstawowe parametry techniczne obiektu badawczego.

Tab. 1. Parametry techniczne obiektu badawczego [3]

Rodzaj silnika	Z zapłonem iskrowy
Rodzaj układu wtryskowego	Wtrysk bezpośredni
Objętość skokowa [dm <sup>3</sup> ]	1,2
Liczba cylindrów	4
Układ cylindrów	rzędowy
Maksymalna moc [kW]	77
Maksymalny moment obrotowy [Nm]	160
Skrzynia biegów	automatyczna/DSG

Badany pojazd posiadał wyposażenie typu *highline* (zwiększona liczba systemów komfortu), co mogło mieć bezpośredni wpływ na ilość zużywanego paliwa, w wyniku oddziaływania dodatkowych podzespołów, a także zwiększoną masę w porównaniu do wyposażenia podstawowego, wpływającą na opory ruchu pojazdu. Pojazd przed badaniem sprawdzono pod względem ewentualnych usterek technicznych. Podczas testu w pojeździe przebywały 2 osoby wraz z kierowcą. Rysunek 2 przedstawia obiekt techniczny z zamontowaną aparaturą badawczą.



Rys. 2. Badany pojazd z aparaturą badawczą

## 2. METODYKA BADAWCZA

### 2.1. Aparatura wykorzystana do badań

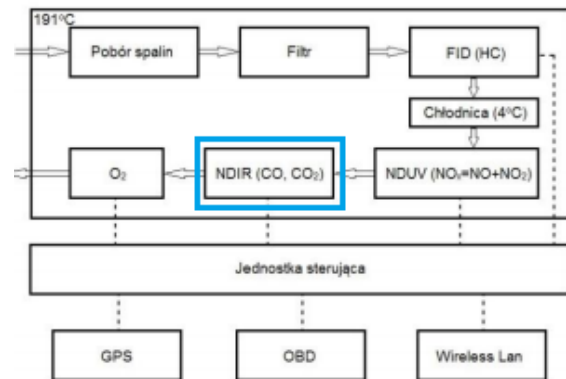
Badania przeprowadzono za pomocą mobilnej aparatury SEMTECH DS, należącej do grupy PEMS. Urządzenie to służy do pomiaru emisji: węglowodorów (HC), tlenku węgla (CO), dwutlenku węgla (CO<sub>2</sub>), tlenków azotu (NO<sub>x</sub>) oraz tlenu (O<sub>2</sub>). Aparatura badawcza przed badaniem została skalibrowana oraz wyzerowana, w celu uniezależnienia wyników od zanieczyszczeń tła. Rysunek 3 przedstawia mobilny analizator SEMTECH DS. Natomiast rysunek 4 ukazuje schemat działania analizatora.



Rys. 3. Mobilny analizator SEMTECH DS [2]

Próbka spalin badanego pojazdu pobierana była z sondy masywnego natężenia przepływu gazów wylotowych, skąd transportowano ją podgrzewanym przewodem do zestawu analizatorów (Rys. 4). Podgrzewanie przewodu do 191°C ma na celu zapobiegnięciu kondensacji węglowodorów w wyniku różnic temperatur. W następnej kolejności próbka spalin poddawana jest filtracji, celem odseparowania cząstek stałych. Przygotowana w ten sposób próbka transportowana jest do poszczególnych analizatorów, pozwalających na zbadanie poszczególnych składników gazów wylotowych. Pierwszym analizatorem, do którego trafia próbka jest FID (*Flame Ionization Detector*), za pomocą którego możliwe jest wyznaczenie emisji węglowodorów. Kolejny etap polega na schłodzeniu spalin do temperatury około 4°C i przetransportowaniu badanej objętości gazu do analizatora NDUV (*Non-dyspersive Detector Ultra Fiolet*), badający tenki azotu. W dalszym etapie określa się zawartość tlenu oraz dwutlenku węgla za pomocą analizatora NDIR (*Non-dyspersive Detector Infrared*). Ostatnim krokiem jest pomiar. Pojazd pozycjonowany jest dzięki zsynchronizowaniu systemu GPS z analizatorem. Aparatura umożliwia także połączenie z siecią WLAN

oraz komunikację z OBD [4]. Charakterystyka aparatury SEMTECH DS. została przedstawiona w tabeli 2.



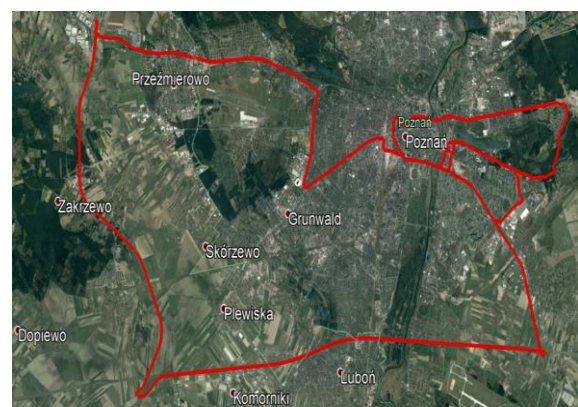
Rys. 4. Schemat działania mobilnego przyrządu SEMTECH DS [4]

Tab. 2 Charakterystyka aparatury SEMTECH DS [1]

Parametr	Metoda pomiaru	Dokładność
Stężenie związków:		
HC	niedyspersyjna, zakres 0-10%	±3%
CO	plomieniowo-jonizacyjna, zakres 0-10000 ppm	±2,5%
NO <sub>x</sub> = (NO + NO <sub>2</sub> )	niedyspersyjna, zakres 0-3000 ppm	±3%
CO <sub>2</sub>	niedyspersyjna, zakres 0-20%	±3%
O <sub>2</sub>	Elektrochemiczna, zakres 0-20%	±1%
Próbkowanie	1-4 Hz	
Przepływ spalin	Masowe natężenia przepływu	±2,5%
Czas nagrzewania	900 s	
Obsługiwane systemy diagnostyczne	SAE J1850/SAE J1979 (LDV); SAE J1708/SAE J1587 (HDV); CAN SAE J1939/J2284 (HDV)	

### 2.1. Trasa przejazdu

Trasę dobrano w taki sposób, aby spełniała wymagania procedury RDE (*Real Driving Emission*). Trasa powinna składać się z trzech cykli jazdy: cykl miejski, cykl pozamiejski, cykl autostradowy. Udział przebytej drogi dla każdego cyklu powinien wynosić około 33%. Przejazd odbywał się w godzinach południowych, celem uniknięcia kongestii. Przebieg trasy przedstawiono na rysunku 5.



Rys. 5. Przebieg trasy przejazdu badanego pojazdu

## 3. WYNIKI BADAŃ

### 3.1. Cykl miejski

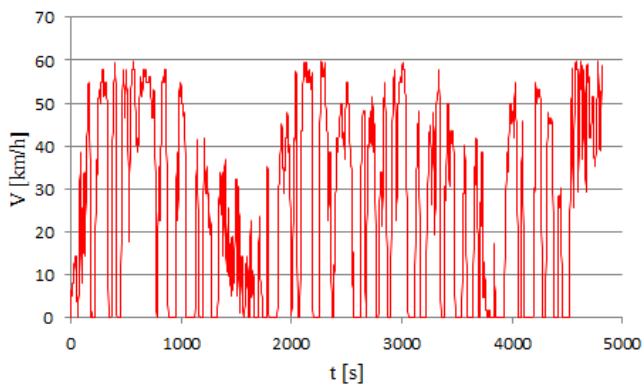
Otrzymane z przeprowadzonych badań dane przeanalizowane zostały indywidualnie dla każdego cyklu. Cykl miejski charakteryzuje się prędkością poruszania się z zakresu 0-60 km/h. W odniesieniu do czasu trwania całego przejazdu, cykl miejski zajął jego znaczną część (73%), co wynika z lokalnych warunków drogowych, charak-

terystycznych dla jazdy miejskiej tj. sygnalizacja świetlna czy ruch pieszych. Średnia prędkość zarejestrowana dla przejazdu miejskiego wyniosła 26 km/h. W tabeli 3 przedstawiono podstawowe dane dotyczące przejazdu miejskiego.

**Tab. 3.** Podstawowe dane dotyczące przejazdu miejskiego

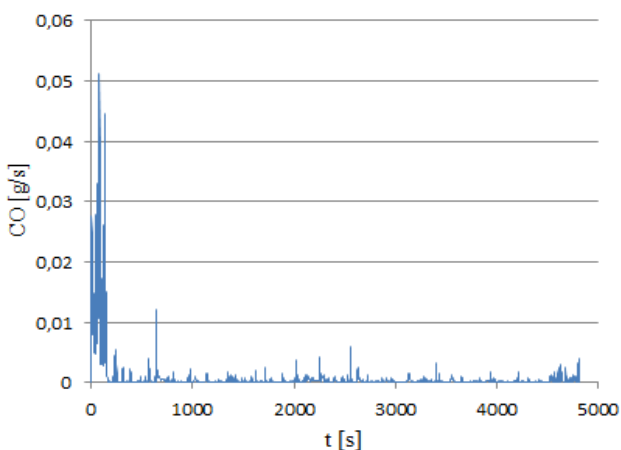
Średnia prędkość [km/h]	26
Czas trwania przejazdu [s]	4812
Dystans [km]	34

Rysunek 6 przedstawia zależność prędkości od czasu zarejestrowanych podczas przejazdu miejskiego, która odzwierciedla wspomniane powyżej warunki drogowe, charakterystyczne dla tego cyklu (ciągły charakter zmienności przyspieszania i hamowania, aż do uzyskania wyższej wartości prędkości pojazdu). Maksymalna prędkość uzyskana podczas cyklu miejskiego wyniosła 60 km/h.



**Rys. 6.** Zależność prędkości od czasu dla przejazdu miejskiego

Sekundowa emisja CO podczas przejazdu miejskiego zarejestrowała znacznie wyższe wartości emisji (tzw. piki) na początku cyklu w porównaniu do jego dalszej części (Rys. 7). Osiągnęły one wartość 0,05 g/s. Rozruch zimnego silnika generuje potrzebę zwiększonej dawki paliwa, a to z kolei prowadzi do lokalnych stref niedoboru tlenu w komorze spalania. Skutkuje to nasileniem się zjawiska niepełnego spalania, które sprzyja formowaniu się tlenku węgla. Znaczący wpływ na wzrost CO mogła mieć również niska temperatura spalania, która jest jedną z przyczyn powstawania tlenku węgla.



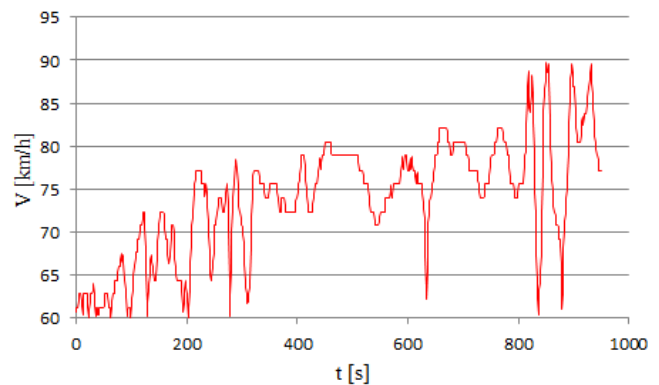
**Rys. 7.** Sekundowa emisja CO podczas przejazdu miejskiego

### 3.2. Cykl pozamiejski

Cykl pozamiejski charakteryzuje się prędkościami z zakresu 60-90 km/h (rys. 8). W odniesieniu do czasu trwania całego przejazdu, cykl pozamiejski stanowił 14% ogólnego czasu badania. Tabela 4 przedstawia podstawowe dane dotyczące przejazdu pozamiejskiego.

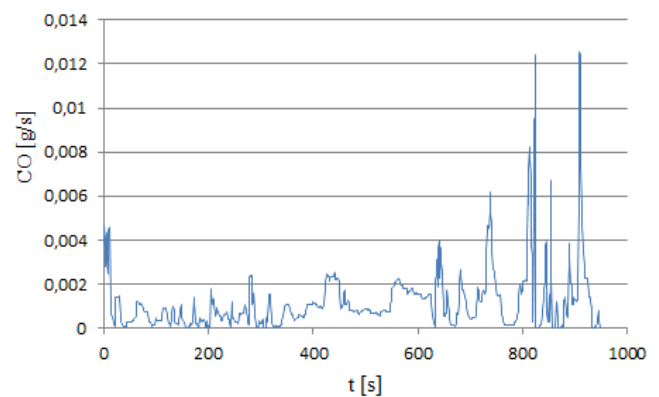
**Tab. 4.** Podstawowe dane dotyczące przejazdu pozamiejskiego

Średnia prędkość [km/h]	74
Czas trwania przejazdu [s]	949
Dystans [km]	19



**Rys. 8.** Zależność prędkości od czasu dla przejazdu pozamiejskiego

W przypadku emisji sekundowej CO podczas przejazdu pozamiejskiego (Rys. 9) również zarejestrowano chwilowe wzrosty, czego powodem było widoczne na rysunku 8 przyspieszenie badanego pojazdu z prędkości wynoszącej 80 km/h do 90 km/h. Przyspieszenia powodują bowiem zwiększenie dawki paliwa, a tym samym wzrost emisji tlenku węgla.



**Rys. 9.** Sekundowa emisja CO podczas przejazdu pozamiejskiego

Analiza wykresów 8 i 9 wskazuje, iż działanie pozasilnikowego układu oczyszczania gazów wylotowych, jakim jest trójfunkcyjny reaktor katalityczny nie zawsze charakteryzuje się tą samą sprawnością. działania W szczególności dotyczy to nieustalonych stanów pracy silnika. Podczas przejść na wyższe wartości prędkości obrotowej i obciążenia, mieszanka ulega wzbogaceniu, generując wyższą emisję tlenku węgla, której reaktor katalityczny nie jest w stanie utlenić (chwilowa sprawność utleniania jest trójfunkcyjnego reaktora katalitycznego jest niższa niż w ustalonych warunkach pracy).

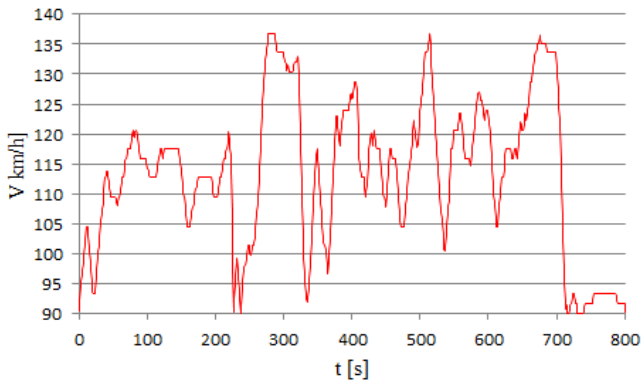
### 3.3. Cykl autostradowy

Ostatnim etapem procedury RDE jest przejazd autostradowy. Cykl ten charakteryzuje się prędkościami powyżej 90 km/h. W tabeli 5 przedstawiono podstawowe dane dotyczące przejazdu autostradowego. Średnia prędkość zarejestrowana przez system GPS wyniosła 113 km/h.

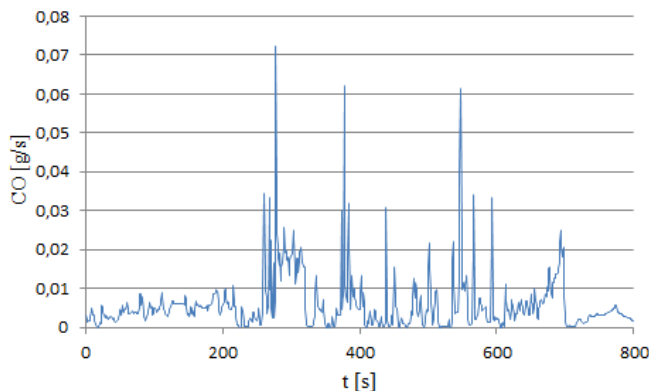
**Tab. 5.** Podstawowe dane dotyczące przejazdu autostradowego

Średnia prędkość [km/h]	113
Czas trwania przejazdu [s]	812
Dystans [km]	26

W przypadku sekundowej emisji tlenku węgla podczas przejazdu autostradowego sytuacja ma się podobnie jak w przypadku przejazdu pozamiejskiego. Następują jej chwilowe zwiększenia podczas przyspieszania badanego pojazdu. Na rysunku 10 przedstawiono prędkość pojazdu w funkcji czasu, z kolei rysunek 11 ukazuje emisję sekundową tlenku węgla dla przejazdu autostradowego.



**Rys. 10.** Zależność prędkości pojazdu od czasu dla przejazdu autostradowego



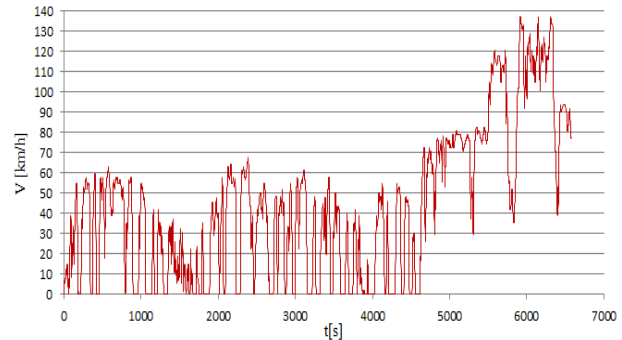
**Rys. 11.** Sekundowa emisja CO w zależności od czasu podczas przejazdu autostradowego

### 3.4. Cały przejazd

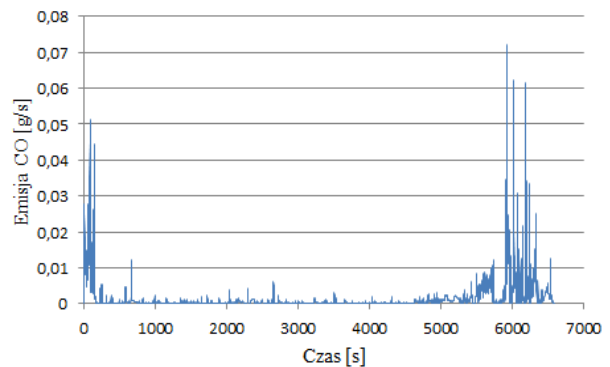
W niniejszym podrozdziale przedstawiono zestawienie wszystkich wcześniej opisanych cykli jezdnych. Otrzymane wyniki przedstawiono w tabeli 6 oraz na rysunkach 12-13. Średnia prędkość zarejestrowana dla całego testu w rzeczywistych warunkach ruchu wyniosła 43 km/h.

**Tab. 6.** Podstawowe dane dotyczące całego przejazdu

Średnia prędkość [km/h]	43
Czas trwania przejazdu [s]	6578
Dystans [km]	79



**Rys. 12.** Zależność prędkości pojazdu od czasu dla całego przejazdu

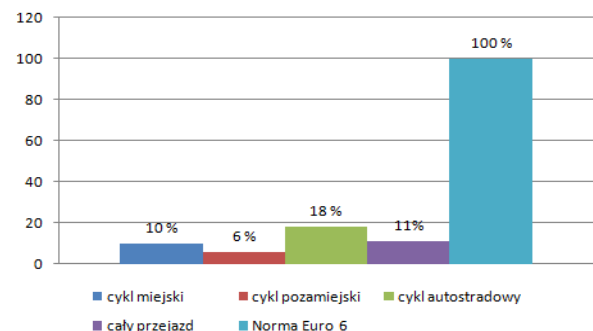


**Rys. 13.** Sekundowa emisja CO podczas całego przejazdu

Poprzez określenie wyemitowanej masy tlenku węgla oraz dystansu jaki pokonał pojazd w danym cyklu wyznaczono emisję drogową CO dla każdego przejazdu. Wyniki przedstawiono w tabeli 7. Otrzymane wartości emisji porównano z limitami tlenku węgla obowiązującymi dla normy EURO 6b, według której homologowany był badany pojazd (Rys.14.).

**Tab.7.** Emisja drogową CO

Cykl jezdny	Emisja drogową CO [g/km]	Norma Euro 6b [g/km]
miejski	0,099	1
pozamiejski	0,057	
autostradowy	0,18	
cały przejazd	0,11	



**Rys. 14.** Graficzne przedstawienie wyników emisji tlenku węgla w porównaniu do normy EURO 6b dla poszczególnych cykli jezdnych

## PODSUMOWANIE

Emisję drogową tlenku węgla dla każdego cyklu jeźdnego odniesiono do limitu określonego w normie EURO 6b, porównanie ukazało brak przekroczeń dopuszczalnych limitów. Fakt ten mógł wynikać z prawidłowego działania trójfunkcyjnego reaktora katalitycznego TWC, którego zadaniem jest utlenianie tlenku węgla i węglowodorów, przy jednoczesnej redukcji tlenków azotu. Na końcowy wynik emisji tlenku węgla największy wpływ miała emisja uzyskana podczas przejazdu w warunkach miejskich.

W dzisiejszych czasach test RDE jest jedynym sposobem na określenie realnych emisji, uzyskanych w rzeczywistych warunkach ruchu, uwzględniających specyficzne warunki drogowe czy atmosferyczne. Obecnie istniejące układy oczyszczania gazów wylotowych są wystarczające do spełnienia obowiązujących limitów tlenku węgla dla silnika z bezpośrednim wtryskiem paliwa.

## BIBLIOGRAFIA

1. Bajerlein M., Fuć P., Lijewski P., Rymaniak Ł., Ziółkowski A., Dobrzyński M., *Odwzorowanie rzeczywistych warunków eksploatacji pojazdu na silnikowym stanowisku hamulcowym*, „Combustion Engines” 2013, nr 3.
2. Materiały firmy SEMTECH DS., 2017
3. Materiały firmy Volkswagen, 2017
4. Merkisz J., Bajerlein M., Rymaniak Ł., Siedlecki M., *Opracowanie testu jeźdnego do oceny zużycia paliwa w cyklu miejskim dla autobusów wyposażonych w napędy hybrydowe*, „Combustion Engines” 2015, nr 3.
5. Myszkowski S., *Analiza składu spalin silników ZI*, „Dodatek techniczny do WIADOMOŚCI Inter Cars” 2008, nr 28
6. www.dieselnet.com

Prace sfinansowano przez Regionalny Program Operacyjny – Lubuskie 2020 (Nr projektu. RPLB.01.01.00-08-0055/16-00).



### Analysis of carbon oxide emission from vehicle with spark ignition engine and direct fuel injection

*The paper presents an analysis of the carbon monoxide emissions from a vehicle with spark-ignition engine and direct fuel injection. The study was conducted under real traffic conditions, following the RDE (Real Drive Emission) procedure. The test was carried out in the area of Poznań agglomeration, the route covered roads with different permissible speeds. The tests were carried out using the SEMTECH DS mobile device, belonging to the PEMS (Portable Emission Measurement System) group.*

Autorzy:

dr hab. inż. **Piotr Lijewski**, prof. PP – Politechnika Poznańska, Wydział Maszyn Roboczych i Transportu, Instytut Silników Spalinowych i Transportu

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

mgr inż. **Natalia Szymlet** – Politechnika Poznańska, Wydział Maszyn Roboczych i Transportu, Instytut Silników Spalinowych i Transportu

e-mail: natalia.r.szymlet@doctorate.put.poznan.pl

mgr inż. **Barbara Sokolnicka** – Politechnika Poznańska, Wydział Maszyn Roboczych i Transportu, Instytut Silników Spalinowych i Transportu

e-mail: barbara.d.sokolnicka@doctorate.put.poznan.pl

mgr inż. **Maciej Siedlecki** – Politechnika Poznańska, Wydział Maszyn Roboczych i Transportu, Instytut Silników Spalinowych i Transportu

e-mail: maciej.s.siedlecki@doctorate.put.poznan.pl