

**MERKISZ Jerzy, JACYNA Marianna, MERKISZ-GURANOWSKA Agnieszka,  
PIELECHA Jacek, STOJECKI Arkadiusz**

## **EMISJA ZANIECZYSZCZEŃ ZE ŹRÓDEŁ TRANSPORTOWYCH W RZECZYWISTYCH WARUNKACH RUCHU**

### *Streszczenie*

*W artykule przedstawiono wyniki badań emisji zanieczyszczeń z pojazdów w rzeczywistych warunkach ruchu drogowego. Scharakteryzowano pojazdy pod względem zastosowań oraz zamieszczono wyniki badań emisji związków gazowych i cząstek stałych w aspekcie badań homologacyjnych. Na tej podstawie zdefiniowano wskaźnik emisji pojazdu, który wskazuje na krotność zwiększenia (lub zmniejszenia) emisji zanieczyszczeń w rzeczywistych warunkach ruchu drogowego w stosunku do limitu homologacyjnego. Wskaźnik taki osobno dla każdego zanieczyszczenia wyznaczono dla pojazdów lekkich (samochodów osobowych) oraz dla pojazdów ciężkich: samochodów ciężarowych i autobusów.*

### **WSTĘP**

Podstawowym czynnikiem prowadzącym do rozwoju techniki i technologii we wszystkich dziedzinach przemysłu jest konieczność ograniczania jego negatywnego wpływu na środowisko naturalne. Stosowanie zaawansowanych technologii i ich rozwój zmusza do ciągłej weryfikacji istniejących warunków pracy maszyn i urządzeń oraz jej skutków dla środowiska naturalnego człowieka. Transport jest zaliczany do bardzo dynamicznie zmieniającej się dziedziny gospodarki, przede wszystkim ze względu na ograniczanie emisji szkodliwych składników spalin. W dalszym ciągu poważnym zagrożeniem jest jednak emisja związków toksycznych (gazowych) i dwutlenku węgla oraz emisja cząstek stałych – stanowiąca barierę rozwoju współczesnych silników spalinowych w szczególności silników o zapłonie samoczynnym i iskrowym z bezpośrednim wtryskiem benzyny. Poważnym wyzwaniem dla producentów samochodów jest projekt kolejnej normy Euro (wprowadzanej w roku 2014), w której poziomy emisji związków gazowych i cząstek stałych są wielokrotnie mniejsze od dotychczasowych.

Kraje Unii Europejskiej szczególną troskę poświęcają od wielu lat ochronie środowiska naturalnego, zagrożonego rozwojem cywilizacyjnym naszego globu. Niska szkodliwość oddziaływania na środowisko coraz częściej decyduje o rynkowym sukcesie danego obiektu technicznego czy też produktu. Transport jako system oraz środki transportu należą do tej branży gospodarki, która generuje do otoczenia wiele zanieczyszczeń, degradując w ten sposób środowisko naturalne. Wynika to przede wszystkim z faktu powszechnego stosowania silników spalinowych jako źródeł napędu w pojazdach.

# 1. CEL BADAŃ EMISYJNYCH

Analiza literatury w odniesieniu do badań emisyjnych pozwala na wyodrębnienie dwóch ich rodzajów, lokujących się w zakresie analizy, biorąc pod uwagę jej cele. Są to:

- **badania porównawcze** emisji zanieczyszczeń z samochodów osobowych i ciężarowych, lub silników spalinowych. Mogą to być np. badania prowadzone bezpośrednio na hamowniach podwoziowej bądź silnikowej z wykorzystaniem aparatury pomiarowej stanowiącej wyposażenie hamowni i wykorzystaniu przyrządów stosowanych przy pomiarach metodą on-board. Tego typu badania umożliwiają m.in. ocenę emisji zanieczyszczeń gazowych spalin z wykorzystaniem metody on-board. Mogą to też być np. badania porównawcze emisji zanieczyszczeń spalin pojazdów samochodowych zasilanych różnymi paliwami, w tym alternatywnymi;
- **badania mające na celu oszacowanie wskaźników emisyjności** przez określenie wartości emisji gazowych spalin z kategorii pojazdów samochodowych w rzeczywistych warunkach ruchu drogowego metodą on-board i odniesienie ich do wartości dopuszczalnych emisji zanieczyszczeń (Euro). Tak określone wskaźniki, umożliwiają z pewnym przybliżeniem ocenę wartości emisji zanieczyszczeń gazowych spalin z omawianych pojazdów w rzeczywistych warunkach ruchu drogowego.

Obecnie coraz większy nacisk jest położony na pomiary emisji zanieczyszczeń, szczególnie w przypadku silników spalinowych, w rzeczywistych warunkach eksploatacji różnych środków transportu i maszyn (rys. 1). Pomiary te, pomimo że realizowane na pewnej próbie środków transportu, znacznie lepiej odzwierciedlają rzeczywistą sytuację niż stosowane do tej pory procedury testów symulujących rzeczywiste warunki eksploatacji, czy testy stacjonarne. Stały się one możliwe dzięki znacznemu rozwojowi technik pomiarowych, który nastąpił w ostatnich latach. Rozwój tych technik był także ukierunkowany na pomiar bardzo małych stężeń zanieczyszczeń w spalinach.



Rys. 1. Cel badań emisji zanieczyszczeń z pojazdów



Rys. 2. Aparatura do badań emisji spalin

Zasadnicze różnice w badaniach według testów toksyczności i w rzeczywistych warunkach są następujące

- hamownia podwoziowa: badania całych pojazdów i powtarzalnych parametrów,
- hamownia silnikowa: badania samych silników, brak związku z rzeczywistym ruchem pojazdów ciężarowych.

W rzeczywistych warunkach ruchu występuje zmienność następujących warunków, które mają wpływ na poziom emisji zanieczyszczeń:

- otoczenia (temperatura, ciśnienie, wilgotność, wiatr, deszcz, śnieg itp.),
- jakości nawierzchni drogi,
- stanu ruchu, zwłaszcza utrudnienia,
- stylu jazdy kierowcy: agresywny, normalny, preferowany: eco-driving.

Autorzy artykułu proponują wprowadzenie wskaźników emisji oznaczających krotność zwiększenia (lub zmniejszenia) emisji zanieczyszczeń w rzeczywistych warunkach ruchu w stosunku do testu homologacyjnego. Wskaźnik taki, dla danego związku szkodliwego, zdefiniowano następująco:

$$k_j = \frac{E_{rzecz,j}}{E_{test,j}} \quad (1)$$

gdzie:

- $j$  – związek szkodliwy, dla którego określono wskaźnik emisji,
- $E_{rzecz,j}$  – natężenie emisji uzyskane w warunkach rzeczywistych ([g/s]),
- $E_{test,j}$  – natężenie emisji uzyskane w teście homologacyjnym (lub ([g/s])).

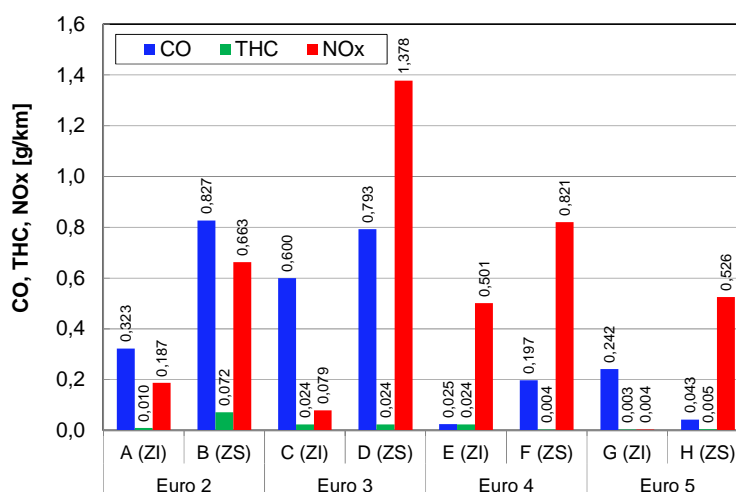
Natężenie emisji w warunkach rzeczywistych można obliczyć wykorzystując charakterystykę udziału czasu pracy pojazdu  $u(a,V)$  oraz charakterystykę natężenia emisji dla  $j$ -tego związku szkodliwego  $e_j(a,V)$  wyrażonego w gramach na sekundę:

$$E_{rzecz,j} = \sum_a \sum_V u(a,V) \cdot e_j(a,V) \quad (2)$$

Jeżeli brak jest informacji na temat emisji związków szkodliwych z pojazdu w teście homologacyjnym, można przyjąć wartości dopuszczalne według normy toksyczności spalin Euro, która obowiązuje dla danego pojazdu. Wartości emisji dopuszczalnej dla danego związku podawane w g/km (lub w g/kWh) można przeliczyć na wartości natężenia emisji (w g/s), znając czas trwania (np.  $t_{NEDC} = 1180$  s) i pokonywany dystans (np.  $S_{NEDC} = 11\ 007$  m) w teście homologacyjnym. Zależności takie posłużyły do wyznaczenia wskaźników emisji zanieczyszczeń prezentowanych w dalszej części artykułu.

## 2. BADANIA SAMOCHODÓW OSOBOWYCH

Przeprowadzone badania weryfikacyjne emisyjności samochodów osobowych z silnikami spalinowymi (ZI, ZS, spełniającymi normy Euro 2–Euro 5 – rys. 3) podczas rzeczywistych warunków ruchu drogowego stanowiły pierwszą weryfikację wartości i przydatności opracowanego narzędzia – uniwersalnego pokładowego systemu pomiarowego związków szkodliwych. Wyznaczenie emisyjności w warunkach drogowych i porównanie jej z wartościami uzyskanymi na hamowni podwoziowej w teście homologacyjnym pozwoliło na określenie wskaźnika emisyjności.

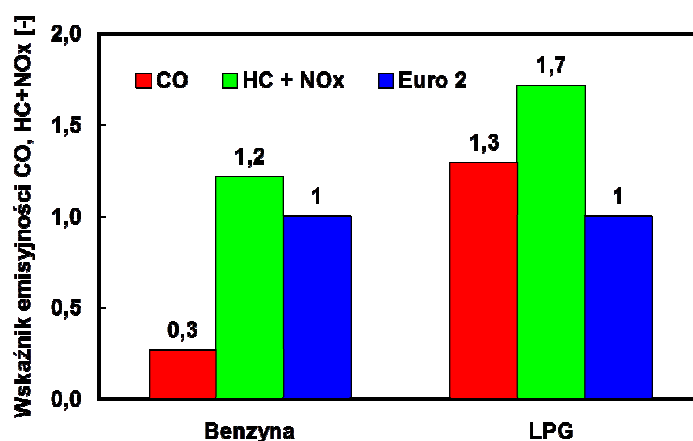


Rys. 3. Porównanie emisji pojazdów z wykorzystaniem różnych klas emisyjnych pojazdów

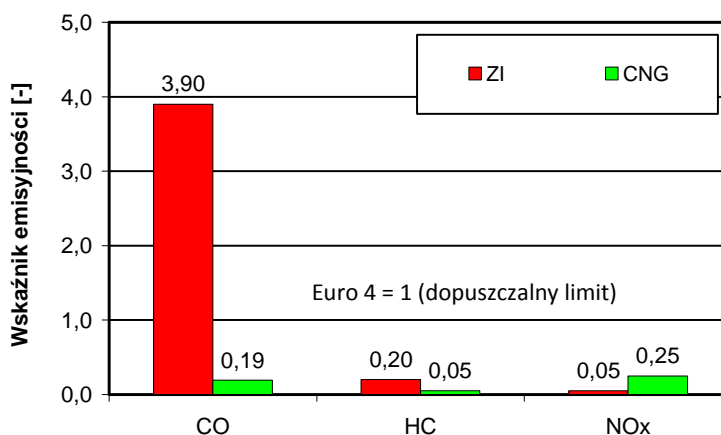
Wyznaczony wskaźnik emisyjności służy do odpowiedzi na pytanie: czy emisja w warunkach drogowych jest porównywalna z emisją uzyskiwaną podczas testu homologacyjnego. Jednocześnie jest to weryfikacja warunków jazdy w teście homologacyjnym (opracowanym wiele lat temu) i warunków rzeczywistych ruchu pojazdów.

Z analizy danych przedstawionych na rys. 4 wynika, że wartości emisji uzyskane w rzeczywistej eksploatacji są przekroczone dla pojazdów z silnikami ZS, natomiast dla silników ZI nie dały jednoznacznej odpowiedzi w porównaniu do wartości przyjętej z odpowiedniej normy. Autorzy podają zmienność wartości pomiarów dla różnych tras: w przypadku tlenku węgla i węglowodorów wynoszą  $\pm 60\%$ , dla tlenków azotu  $\pm 50\%$  (w zależności pomiarów z zimnego i gorącego rozruchu) a dla emisji dwutlenku węgla  $\pm 30\%$  (mniejsze wartości dla tras zamiejskich, a większe dla warunków miejskich).

Dla pojazdów zasilanych napędami alternatywnymi zaobserwowano zwiększoną emisję zanieczyszczeń podczas zasilania LPG przez pojazdy przystosowane do niego poza fabryką (rys. 5). Uzyskane wskaźniki emisyjności dla pojazdu zasilanego benzyną i CNG charakteryzują emisyjność pojazdu w warunkach drogowych w odniesieniu do normy emisji spalin, którą pojazd powinien spełniać. W związku z przyjęciem podstawowego paliwa CNG – wskaźniki emisji pojazdu zasilanego benzyną są znacznie gorsze: wartość wskaźnika emisji tlenku węgla dla zasilania benzyną ( $k_{CO} = 3,9$ ) dowodzi znacznego (czterokrotnego) przekraczania normy Euro 4 dla tego pojazdu. Pozostałe wartości wskaźnika emisji (dla węglowodorów i tlenków azotu) nie przekracza wartości ustalonych w przepisach toksyczności spalin.

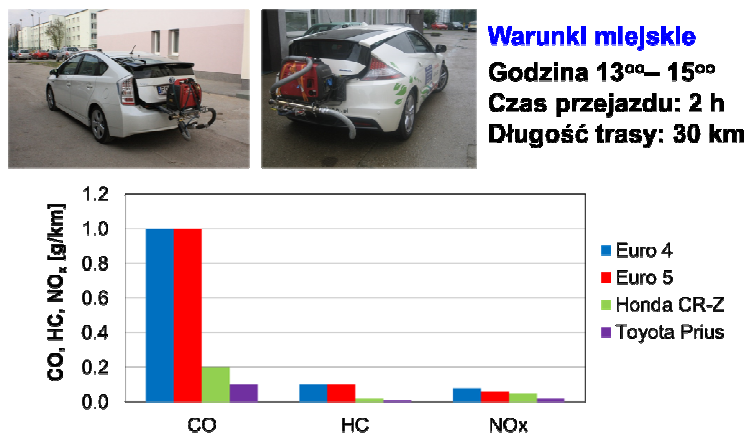


Rys. 4. Porównanie emisji pojazdów zasilanych benzyną i LPG (silniki ZI)

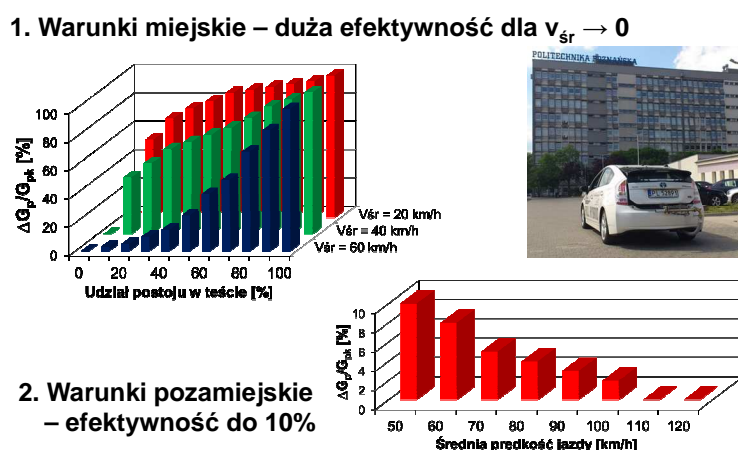


Rys. 5. Porównanie emisji pojazdów zasilanych benzyną i CNG (silniki ZI)

Znaczne walory ekologiczne pojazdów obserwuje się dla pojazdów hybrydowych tylko w warunkach miejskich, w których emisja zanieczyszczeń jest 5-krotnie mniejsza niż wymagania w normie (rys. 6). W warunkach pozamiejskich efektywność wykorzystania napędu hybrydowego maleje wraz ze wzrostem prędkości średniej i zmniejszeniem czasu postoju pojazdu (rys. 7).



Rys. 6. Porównanie emisji pojazdów hybrydowych zasilanych silnikami ZI



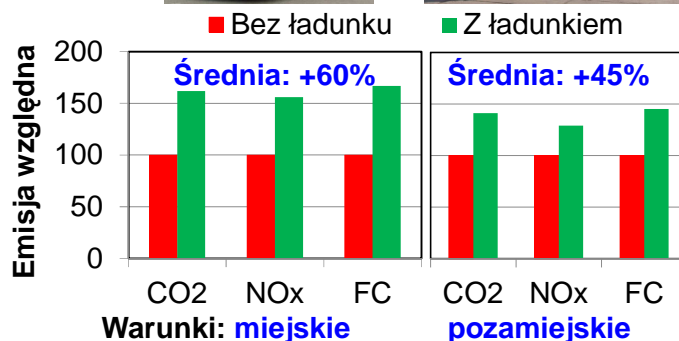
Rys. 7. Wskaźnik efektywności (względne zmniejszenie zużycia paliwa)

### 3. BADANIA SAMOCHODÓW CIĘŻAROWYCH

Przez wiele lat system kontroli pojazdów pod względem emisji zanieczyszczeń obejmował homologację typu i kontrolę zgodności produkcji. Obecnie coraz większy nacisk jest położony na pomiary emisji zanieczyszczeń, szczególnie w przypadku silników pojazdów ciężkich, w nieustalonych warunkach pracy, znacznie lepiej symulujących rzeczywiste warunki ruchu drogowego niż testy stacjonarne. W nowych przepisach został zwiększony znacznie tzw. okres życia pojazdów wyrażony w formie przebiegu, w którym muszą one spełniać ustalone wymagania w zakresie emisji. Pojazdy ciężarowe o masie maksymalnej przekraczającej 16 000 kg będą musiały spełniać wymagania do przebiegu 700 000 km. Spowoduje to znaczne zwiększenie wymagań w stosunku do jakości elementów wpływających na emisję, w szczególności reaktorów katalitycznych i filtrów cząstek stałych. Badania wpływu obciążenia na emisję związków toksycznych dla pojazdów ciężarowych wskazują niemal na dwukrotne zwiększenie emisji (rys. 8).



**Klasa emisyjna Euro III**



**Rys. 8.** Wyniki badań emisji zanieczyszczeń dla samochodów ciężarowych

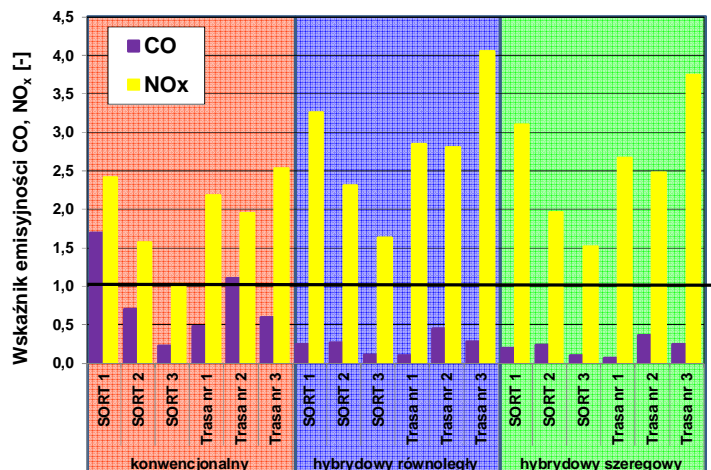
Emisyjność autobusów miejskich ze względu na specyficzne warunki ich użytkowania można ocenić jedynie podczas rzeczywistego ich wykorzystania. Najbardziej odpowiednimi badaniami dla nich są badania na liniach miejskich. Wykorzystując mobilny system pomiarów związków szkodliwych, dokonano pomiarów emisyjności autobusu hybrydowego i konwencjonalnego w warunkach ruchu miejskiego w Poznaniu. Warunki tak dobrano, aby istniała możliwość jak najwierniejszego odwzorowania rzeczywistych warunków ruchu: obciążenie wybranej linii autobusowej było zgodne ze średnim obciążeniem linii poznańskich. Obiektami badań były autobusy Solaris: konwencjonalny i hybrydowe (rys. 9). Autobusy dobrano na zasadzie podobieństwa, a jednocześnie tak, aby istniała możliwość porównania funkcjonalności i ekologiczności w warunkach rzeczywistych (silniki autobusów spełniały normę toksyczności spalin Euro 5).

Typ napędu	Napęd konwencjonalny	Napęd hybrydowy równoległy	Napęd hybrydowy szeregowy
Producent napędu	DAF PR265	Cummins ISB 6.7 250B + Allison Ep50	Cummins ISB 6.7 285H + Vossloh Kiepe
Vss	9,2 dm <sup>3</sup>	6,7 dm <sup>3</sup>	6,7 dm <sup>3</sup>
Mo ssp n-ssp	1450 N·m 1100–1710 obr/min	1008 N·m 1200 obr/min	1008 N·m 1200 obr/min
Normy emisji	Euro V–EEV SCR/DPF	Euro V–EEV SCR/DPF	Euro V–EEV SCR/DPF

**Rys. 9.** Charakterystyka obiektów badawczych – autobusów miejskich

Dla badanych autobusów wyznaczono wskaźniki emisji – porównano emisję rzeczywistą z pojazdu o napędzie konwencjonalnym i pojazdów hybrydowych z wartościami emisji podawanymi w normie EEV. Uzyskane dane o emisji jednostkowej porównano z testem dynamicznym (ETC). Z analizy wskaźników emisji obliczonych dla pojazdów z różnymi napędami (rys. 10) w teście ETC, wynika że pojazdy hybrydowe o konfiguracji równoległej i szeregowej posiadają wskaźnik emisji CO mniejszy od jedności. Należy zwrócić uwagę, że

wskaźnik emisji określony dla tlenków azotu przekroczył dopuszczalny limit dla pojazdu o napędzie konwencjonalnym (o wartości maksymalnej) 2,5-krotnie i dla pojazdów hybrydowych nawet 4-krotnie. Świadczy to o niewielkiej konwersji układu selektywnej redukcji katalitycznej. Może być to spowodowane nie dopasowaniem układu SCR do charakterystyki pracy spalinowej jednostki napędowej.



**Rys. 10.** Wskaźnik emisji CO i NO<sub>x</sub> autobusów wyznaczono z wykorzystaniem danych o rzeczywistej emisji drogowej i przyjęciu dopuszczalnych wartości emisji według różnych testów homologacyjnych (norma EEV) w teście ETC

#### 4. BADANIA SAMOCHODÓW POZADROGOWYCH

Kolejnym obszarem badań emisji zanieczyszczeń to pojazdy i maszyny pozadrogowe. Badania wykonano między innymi na ciągnikach rolniczych i samochodach dostawczych. Z badań emisji związków toksycznych spalin w rzeczywistych warunkach pracy maszyn (rys. 11), w czasie wykonywania prac polowych, wynika, że silniki tych maszyn pracują głównie ze stałą prędkością obrotową (co sprzyja ograniczeniu emisji związków toksycznych), a zmienne jest obciążenie – są to zatem warunki odmienne niż w badawczych testach homologacyjnych.

##### 1. Transport ładunku o masie 4 000 kg, ciągnik rolniczy i samochód dostawczy

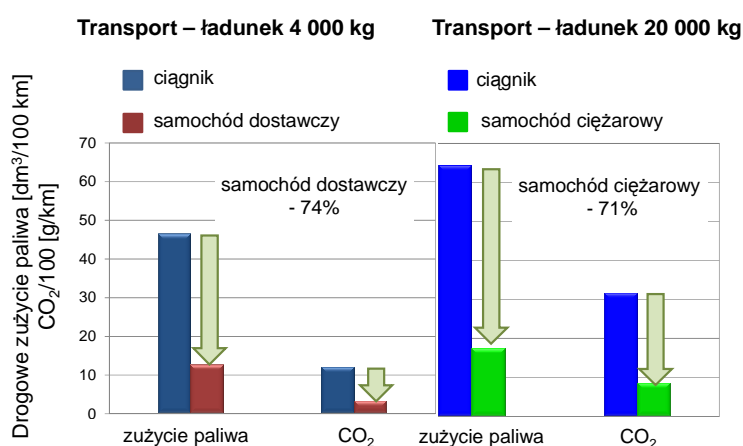


##### 2. Transportu ładunku o masie 20 000 kg, ciągnik rolniczy i samochód ciężarowy



**Rys. 11.** Badania porównawcze emisji drogowych zestawów transportowych

Badania wykonano na ciągniku rolniczym i samochodzie dostawczym typu pick-up. Na podstawie wykonanych badań w rzeczywistych warunkach eksploatacji stwierdzono, że korzystniejsze parametry ekologiczne ma przebadany samochód dostawczy niż ciągnik rolniczy (rys. 12). Analizując emisję drogową z całego przejazdu stwierdzono, że mniejszą emisję drogową zanieczyszczeń miał samochód, emisja z ciągnika rolniczego była wielokrotnie większa. Największą różnicę odnotowano w odniesieniu do emisji drogowej CO, która dla ciągnika rolniczego była ponad 25 razy większa, HC – 11 razy większa, natomiast NO<sub>x</sub> prawie 6 razy większa. Z wyjątkiem emisji drogowej CO samochodu dostawczego emisja wszystkich zanieczyszczeń, zarówno dla samochodu, jak i ciągnika, przekracza limity normy Euro 4. Również zużycie paliwa (emisja CO<sub>2</sub>) miał większe ciągnik rolniczy (rys. 12) – ponad trzykrotnie w porównaniu z samochodem dostawczym.



Rys. 12. Zużycie paliwa/emisja CO<sub>2</sub> – badania pojazdów pozadrogowych

## PODSUMOWANIE

Do realizacji badań emisji zanieczyszczeń w warunkach rzeczywistych wykorzystano potencjał badawczy mobilnych analizatorów spalin, mogących mierzyć wszystkie składniki szkodliwe spalin (związki gazowe, ale również masę i rozkład wymiarowy cząstek stałych z silników ZI i ZS, które mogą być zasilane różnymi paliwami). Wykorzystanie danych z pokładowego systemu pomiaru stężenia związków toksycznych w powiązaniu z systemem diagnostycznym indywidualnego środka transportu umożliwia, na podstawie możliwego do zdefiniowania wskaźnika emisyjności, ocenę ekologiczną środka transportu podczas jego eksploatacji. Proponuje się wykorzystanie systemu monitorowania wszystkich środków transportu do ekologicznej oceny grupy środków transportu, różniących się m.in. datą produkcji, a więc spełnianymi limitami toksyczności spalin, ich okresem eksploatacji lub warunkami eksploatacji. Wskaźniki emisyjności środków transportu charakteryzowane są jako krotność zwiększenia/zmniejszenia emisji podczas eksploatacji w stosunku do testu homologacyjnego opracowano dla środków transportu spełniających odpowiednie normy: dla emisji tlenu węgla, dla emisji węglowodorów, dla emisji tlenków azotu oraz dla emisji cząstek stałych (zarówno masowej, jak i wymiarowej). Na podstawie opracowanego wskaźnika dla poszczególnych rodzajów środków transportu można wyznaczyć modele emisji różnych pojazdów (lub maszyn stacjonarnych) w rzeczywistych warunkach ruchu. Pozwoli to na bieżące monitorowanie maszyn napędzanych silnikami spalinowymi w rzeczywistych warunkach eksploatacji.



Jest to unikatowe osiągnięcie poznawcze, gdyż w Stanach Zjednoczonych próby takich badań są dopiero opracowywane dla pojazdów ciężkich, natomiast dla samochodów osobowych opracowana koncepcja i metodyka badań jest pionierska na skalę światową.

Proponowane **współczynniki korekcyjne** będą dostosowywały homologacyjne wartości emisyjne uzyskane w testach badawczych do rzeczywistych warunków ruchu pojazdu. W związku z tym współczynniki, określane jako „*k*”, powinny być bezwymiarowe i określone dla różnych klas emisyjnych pojazdów:

- osobowych i dostawczych (do 3,5 tony) – dla których normy emisyjne określone są w gramach na kilometr [g/km],
- ciężarowych i pozadrogowych – dla których normy emisyjne określone są w gramach na kilowatogodzinę [g/(kWh)].

Autorzy artykułu proponują wprowadzenie wskaźnika emisyjności rzeczywistej *k*, korygującego wartości emisji homologacyjnej do wartości emisji z rzeczywistej eksploatacji:

- dla samochodów osobowych i dostawczych (do 3,5 tony):

$$m = k E N S \quad (3)$$

gdzie:

*m* – masa związku szkodliwego [g],

*k* – współczynnik emisyjności rzeczywistej [–],

*E* – emisja drogowa pojazdu według normy Euro [g/km],

*N* – liczba pojazdów [–],

*S* – przebieg pojazdu [km].

- dla samochodów ciężarowych i pozadrogowych (ponad 3,5 tony):

$$m = k E N W \quad (4)$$

gdzie:

*m* – masa związku szkodliwego [g],

*k* – współczynnik emisyjności rzeczywistej [–],

*E* – emisja jednostkowa pojazdu według normy Euro [g/kWh],

*N* – liczba pojazdów [–],

*W* – praca silnika na odcinku drogi [kWh] (wartość pracy jest możliwa do odczytania z systemu diagnostycznego pojazdu).

## BIBLIOGRAFIA

1. Commission Regulation (EC) No 692/2008 of 18 July 2008 implementing and amending Regulation (EC) No 715/2007 of the European Parliament and of the Council on type approval of motor vehicles with respect to emissions from light passenger and commercial vehicles (Euro 5 and Euro 6) and on access to vehicle repair and maintenance information. OJ L 199/1, 28.7.2008.
2. Johnson K., Durbin T., Cocker D., Miller J., Agama R., Moynahan N., Nayak G., *On-road evaluation of a PEMS for measuring gaseous in-use emissions from a heavy-duty diesel vehicle*. SAE Technical Paper Series 2008-01-1300.
3. Johnson T.V., *Review of diesel emissions and control*. SAE Technical Paper Series 2010-01-0301.
4. Khalek I., *Status update on the PM-PEMS measurement allowance project*. Sensors 5th Annual SUN (SEMTECH User Network) Conference, Ann Arbor 2008.
5. Merkisz J., Merkisz-Guranowska A., Pielecha J., Fuć P., Jacyna M., *On-road exhaust emissions of passenger cars using portable emission measurement system (PEMS)*. 1st Annual International Conference on Architecture and Civil Engineering (ACE 2013).

Published and organized by Global Science & Technology Forum (GSTF); Singapore 18-19.03.2013.

6. Merkisz J., Lijewski P., Fuć P., Pielecha J., *Exhaust emission tests from agricultural machinery under real operating conditions*. SAE Technical Paper Series 2010-01-1949.
7. Pielecha J., Merkisz J., Łabędź K., *The effect of mileage of the vehicle fueled with natural gas on the vehicle's ecological indices*. PTNSS–2013–SC–150. Combustion Engines, 2013, nr 3.
8. Quan H., *ARB's Stockton heavy-duty vehicle laboratory and portable emission monitoring system (PEMS) activities*. Sensors 5th Annual SUN (SEMTECH User Network) Conference Ann Arbor 2008.
9. Seger J.P., *Vehicle integration for US EPA 2010 emissions and lowest cost of ownership*. SAE Technical Paper Series 2010-01-1956.

## **EXHAUST EMISSIONS FROM TRANSPORT IN REAL TRAFFIC CONDITIONS**

### *Abstract*

*The article characterizes state-of-the-art PEMS (Portable Emission Measurement System) equipment for exhaust emissions measurement under actual operating conditions. This equipment allows measurement of the exhaust emissions from all modes of transport. Besides the article contains the results of exhaust emission research for engines of a variety of transport applications such as light duty vehicles, heavy-duty vehicles or non-road vehicles (farm tractors, groundwork and forest machinery). Own exhaust emission research results performed under different traffic conditions of new motor vehicles fuelled with different fuels (gasoline, diesel fuel and natural gas) have been compared with the type approval values that define the vehicle emission indexes. The analysis has been performed in relation to a vehicle but the proposed measurement methodology is also knit to the engine operating conditions. The testing of heavy-duty vehicles described in the book was divided into several stages for which the results obtained for these vehicles were compared for loaded and unloaded vehicles. Ecological advantages of the city buses of different powertrain configurations have been determined (diesel, hybrid) on selected regular bus lines in city centers.*

### **Autorzy:**

prof. dr hab. inż. **Jerzy Merkisz** – Politechnika Poznańska, Instytut Silników Spalinowych i Transportu, ul. Piotrowo 3, 60-965 Poznań, tel. 61 665 22 07,

e-mail: [jerzy.merkisz@put.poznan.pl](mailto:jerzy.merkisz@put.poznan.pl)

prof. dr hab. inż. **Marianna Jacyna** – Politechnika Warszawska, Instytut Silników Spalinowych i Transportu, ul. Koszykowa 72, 00-662 Warszawa, tel. 22 234 60 17,

e-mail: [maja@wt.pw.edu.pl](mailto:maja@wt.pw.edu.pl)

dr hab. **Agnieszka Merkisz-Guranowska**, prof. PP – Politechnika Poznańska, Instytut Maszyn Roboczych i Pojazdów Samochodowych, ul. Piotrowo 3, tel. 61 647 59 58,

e-mail: [agnieszka.merkisz-guranowska@put.poznan.pl](mailto:agnieszka.merkisz-guranowska@put.poznan.pl)

dr hab. inż. **Jacek Pielecha** – Politechnika Poznańska, Instytut Silników Spalinowych i Transportu, ul. Piotrowo 3, 60-965 Poznań, tel. 61 665 21 18,

e-mail: [jacek.pielecha@put.poznan.pl](mailto:jacek.pielecha@put.poznan.pl)

mgr inż. Arkadiusz **Stojecki** – Instytut Badań i Rozwoju Motoryzacji BOSMAL Sp. z o.o., ul. Sarni Stok 93, 43-300 Bielsko-Biała, tel. 33 813 05 00, e-mail:

[arkadiusz.stojecki@bosmal.com.pl](mailto:arkadiusz.stojecki@bosmal.com.pl)