

BADANIA EMISJI ZANIECZYSZCZEŃ I ZUŻYCIA PALIWA W TESTACH SYMULUJĄCYCH RZECZYWISTE WARUNKI UŻYTKOWANIA SAMOCHODU OSOBOWEGO

ZDZISŁAW CHŁOPEK¹, JACEK BIEDRZYCKI², JAKUB LASOCKI³, PIOTR WÓJCIK⁴

Politechnika Warszawska, Przemysłowy Instytut Motoryzacji

Streszczenie

W artykule przedstawiono wyniki badań emisji zanieczyszczeń i zużycia paliwa w testach symulujących rzeczywiste warunki użytkowania samochodu osobowego. Do badań wykorzystano testy jezdne PIMOT, opracowane w Przemysłowym Instytucie Motoryzacji. Testy te opracowano na podstawie badań empirycznych procesów prędkości samochodu osobowego w warunkach: zatorów ulicznych, w miastach, poza miastami oraz na autostradach i trasach ekspresowych. Badania emisji zanieczyszczeń i zużycia paliwa przeprowadzono na hamowni podwoziowej na samochodzie Honda Civic z silnikiem o zapłonie iskrowym. Badano emisję tlenku węgla, węglowodorów, tlenków azotu i dwutlenku węgla. Do oceny niepewtarzalności wyznaczonych wartości emisji drogowej zanieczyszczeń oraz eksploatacyjnego zużycia paliwa wykorzystano współczynnik zmienności wyników pomiarów poszczególnych wielkości. Stwierdzono znaczną niepewtarzalność wyników pomiarów emisji drogowej tlenku węgla, węglowodorów i tlenków azotu, natomiast stosunkowo małą emisji drogowej dwutlenku węgla i eksploatacyjnego zużycia paliwa. Wyznaczono również charakterystyki emisji drogowej zanieczyszczeń i eksploatacyjnego zużycia paliwa w testach PIMOT w zależności od prędkości średniej. Stwierdzono, że wyznaczone charakterystyki są zgodne z zależnościami wyznaczanymi na podstawie baz danych, zawartych w specjalistycznych oprogramowaniach, takich jak INFRAS, czy COPERT.

Słowa kluczowe: samochody, silniki spalinowe, testy jezdne, emisja zanieczyszczeń, zużycie paliwa

¹ Politechnika Warszawska, Wydział Samochodów i Maszyn Roboczych, Instytut Pojazdów, ul. Narbutta 84, 02-524 Warszawa, Polska, e-mail: zchlopek@simr.pw.edu.pl, tel. 22 234 85 59.

² Przemysłowy Instytut Motoryzacji, ul. Jagiellońska 55, 03-301 Warszawa, Polska, e-mail: j.biedrzycki@pimot.eu, tel. +48 22 777 71 91.

³ Politechnika Warszawska, Wydział Samochodów i Maszyn Roboczych, Instytut Pojazdów, ul. Narbutta 84, 02-524 Warszawa, Polska, e-mail: j.lasocki@simr.pw.edu.pl, tel. 22 849 03 03.

⁴ Przemysłowy Instytut Motoryzacji, ul. Jagiellońska 55, 03-301 Warszawa, Polska, e-mail: p.wojcik@pimot.eu, tel. 22 777 71 92.

1. Wstęp

Właściwości użytkowe silników spalinowych są zdeterminowane stanem pracy silników [14]. Stan pracy silnika spalinowego może być opisany jego stanem cieplnym oraz wielkościami dotyczącymi właściwości energetycznych silnika, charakteryzujących intensywność wykonywanej pracy [14]. Do opisu tych wielkości wykorzystuje się zazwyczaj moment obrotowy, opisujący obciążenie silnika, i prędkość obrotową [14]. W warunkach ustabilizowanego stanu cieplnego silnika spalinowego, procesem determinującym stan silnika samochodowego w warunkach użytkowania trakcyjnego jest proces prędkości pojazdu [14]. Z tego powodu do badania właściwości użytkowych samochodowych silników spalinowych wykorzystuje się badania pojazdów w testach jezdnych. Najczęściej spotyka się wyniki badań emisji zanieczyszczeń i zużycia paliwa w testach jezdnych stosowanych w procedurach homologacyjnych. Są to przede wszystkim testy [24]:

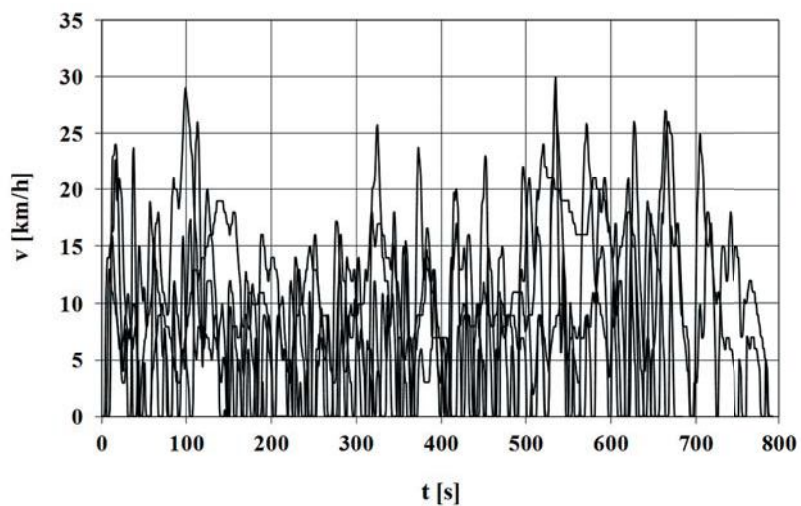
- w Europie – NEDC (New European Driving Cycle),
- w Stanach Zjednoczonych Ameryki – FTP-75 (Federal Test Procedure) oraz – do oceny zużycia paliwa – HWFET (Highway Fuel Economy Test),
- w Japonii – Japan 10-15 Mode.

Rzeczywiste warunki użytkowania samochodów mogą znacznie odbiegać od warunków homologacyjnych. W niektórych warunkach właściwości silników spalinowych, przede wszystkim emisja zanieczyszczeń, mogą znacznie odbiegać od właściwości w testach homologacyjnych, szczególnie w wypadku dużych utrudnień w ruchu, co często ma miejsce w centrach wielkich aglomeracji miejskich [2, 4, 6-8, 14, 17, 19, 23]. W związku z tym są podejmowane badania właściwości silników spalinowych w warunkach innych niż w procedurach homologacyjnych [2-4, 6-9, 11, 12, 14, 15, 17, 19-23]. W niektórych z prac są podejmowane próby potraktowania właściwości samochodowych silników spalinowych jako procesów stochastycznych [1, 5, 6-10, 13, 14, 16, 18].

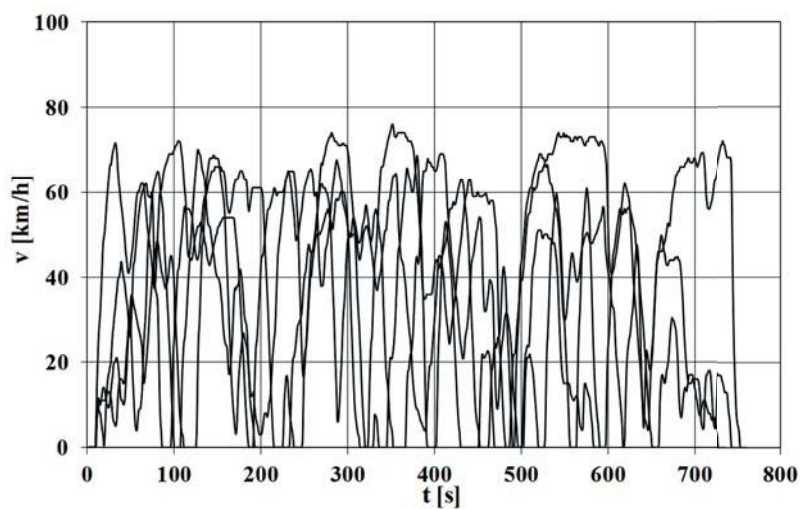
W pracy [8] podjęto się zadania opracowania testów jezdnych, charakteryzujących sposób użytkowania samochodów w warunkach polskich. Do opracowania testów wykorzystano zasadę wiernej symulacji w dziedzinie czasu. Samochód osobowy Honda Civic z silnikiem o zapłonie iskrowym eksploatowano na drogach województw mazowieckiego i łódzkiego. Badania procesów prędkości wykonywano z zastosowaniem skanera OBDII/EOBD firmy Automex Sp. z o.o. AMX530 i urządzenia Performance Box firmy Racelogic.

W wyniku przeprowadzonych badań opracowano cztery testy PIMOT, stanowiące realizację procesów stochastycznych prędkości samochodu, charakteryzujących jego użytkowanie w warunkach (rysunki 1-4):

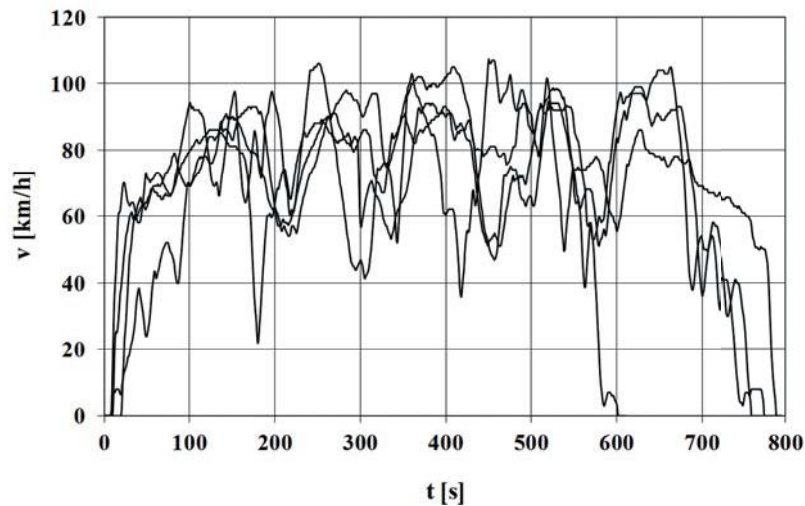
- zatorów ulicznych,
- w miastach,
- poza miastami,
- na autostradach i drogach ekspresowych.



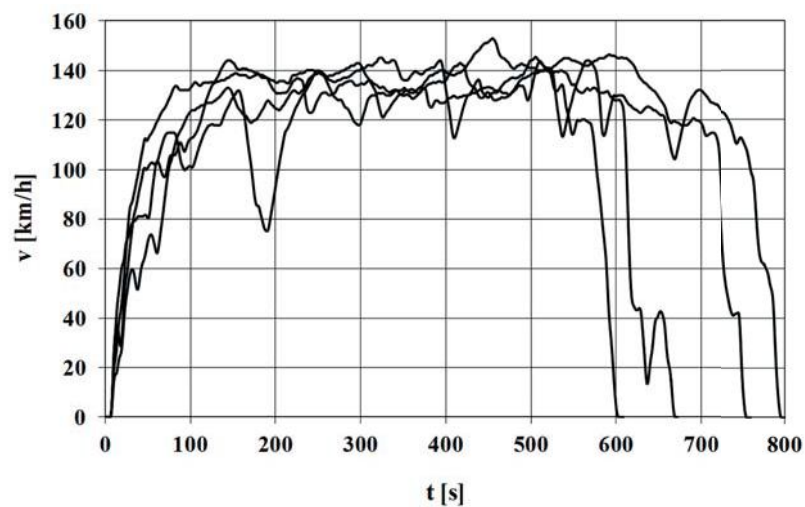
Rys. 1. Przebiegi prędkości - v w testach jazdy w zatorach ulicznych - testy CT



Rys. 2. Przebiegi prędkości - v w testach jazdy w mieście - testy UT



Rys. 3. Przebiegi prędkości - v w testach jazdy poza miastami - testy RT



Rys. 4. Przebiegi prędkości - v w testach jazdy na autostradach i drogach ekspresowych - testy HT

Opracowane testy wykorzystano do badania właściwości użytkowych samochodu ze względu na emisję zanieczyszczeń i zużycie paliwa na hamowni podwoziowej. Badania w serii powtórzeń opracowanych testów PIMOT przeprowadzono nie tylko w celu poznania właściwości użytkowych samochodu w warunkach symulujących rzeczywiste użytkowanie, ale i niepowtarzalności wyników tych badań.

2. Badania empiryczne emisji zanieczyszczeń i zużycia paliwa dla samochodu osobowego w warunkach testów PIMOT

Obiektem badań był samochód osobowy Honda Civic z silnikiem o zapłonie iskrowym o objętości skokowej 1396 cm³, spełniający wymagania emisji zanieczyszczeń na poziomie Euro 3.

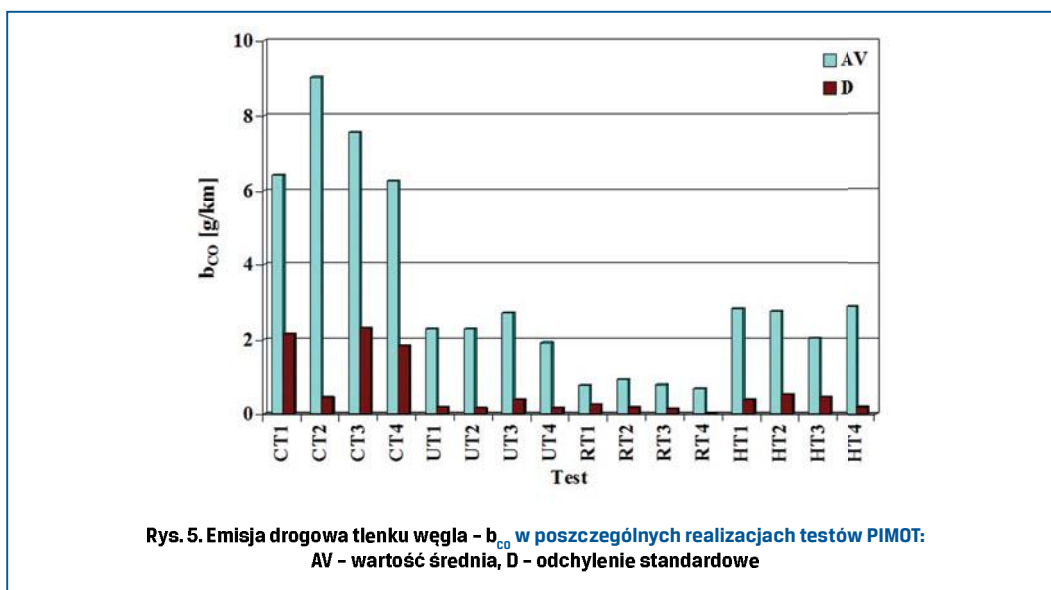
Badania samochodu Honda Civic zostały przeprowadzone na stanowisku hamowni podwoziowej Schenk Komeg EMDY 48.

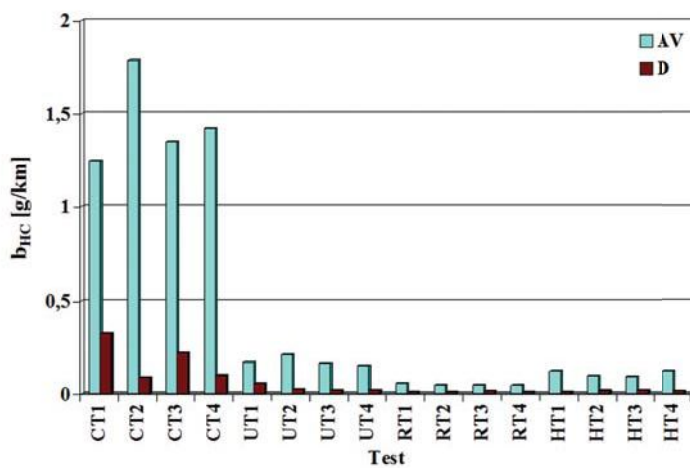
Do badań emisji wykorzystano stanowisko do analizy spalin, w którego skład wchodzi system Horiba Mexa 7200 wyposażony w analizatory Horiba do pomiarów stężenia: tlenu węgla (AIA-721A), dwutlenku węgla (AIA-722), węglowodorów (FIA-725A), tlenków azotu (CLA-755A) i tlenu (MPA-720).

Badania samochodu prowadzono w stanie silnika spalinowego nagrzanego do ustabilizowanej temperatury.

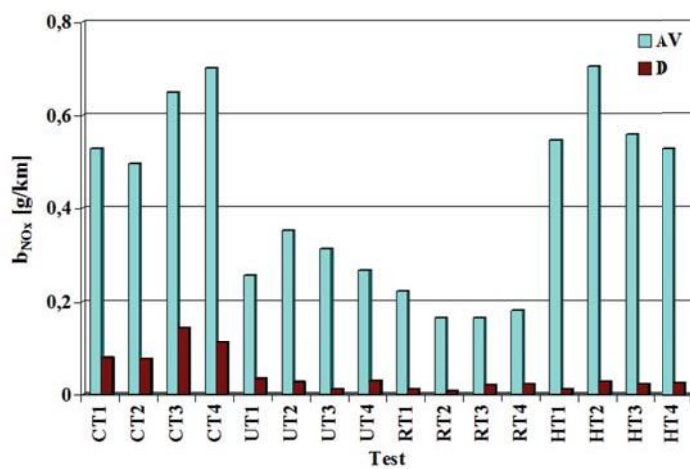
Na rysunkach 5-9 przedstawiono wartość średnią i odchylenie standardowe emisji drogowej zanieczyszczeń (tlenku węgla, węglowodorów, tlenków azotu i dwutlenku węgla) oraz eksploatacyjnego zużycia paliwa w zbiorach pięciu realizacji testów PIMOT:

- jazdy w zatorach ulicznych: CT1, CT2, CT3 i CT4,
- jazdy w miastach: UT1, UT2, UT3 i UT4,
- jazdy poza miastami: RT1, RT2, RT3 i RT4,
- jazdy na autostradach i drogach ekspresowych: HT1, HT2, HT3 i HT4.

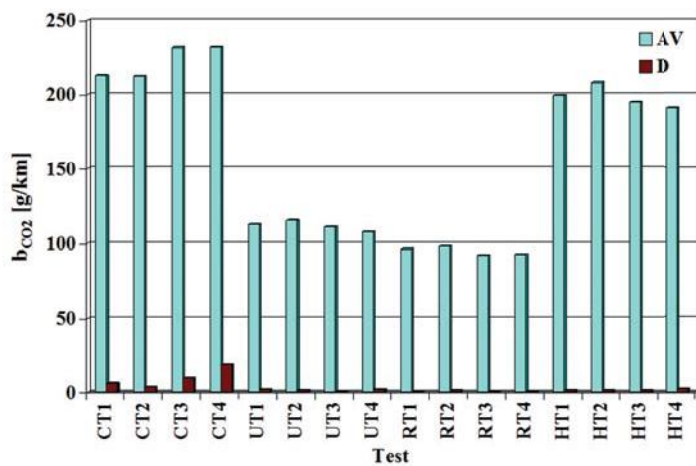




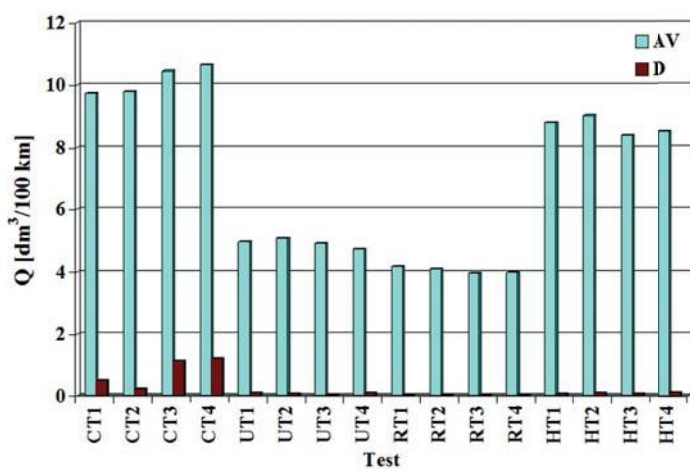
Rys. 6. Emisja drogowa węglowodorów - b_{HC} w poszczególnych realizacjach testów PIMOT:
AV - wartość średnia, D - odchylenie standardowe



Rys. 7. Emisja drogowa tlenków azotu - b_{NOx} w poszczególnych realizacjach testów PIMOT:
AV - wartość średnia, D - odchylenie standardowe

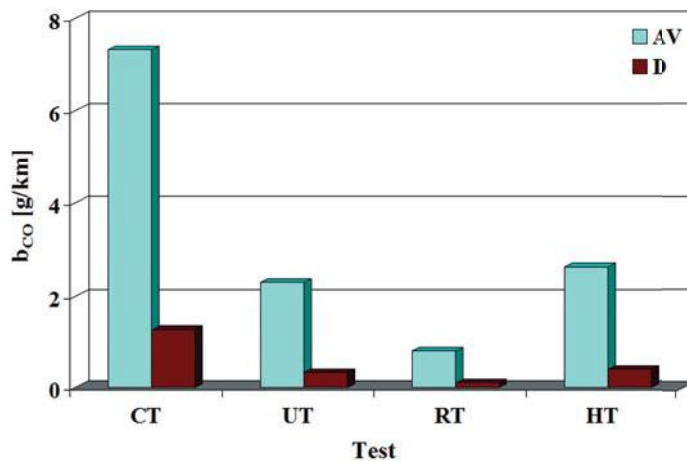


Rys. 8. Emisja drogowa dwutlenku węgla - b_{CO_2} w poszczególnych realizacjach testów PIMOT: AV - wartość średnia, D - odchylenie standardowe

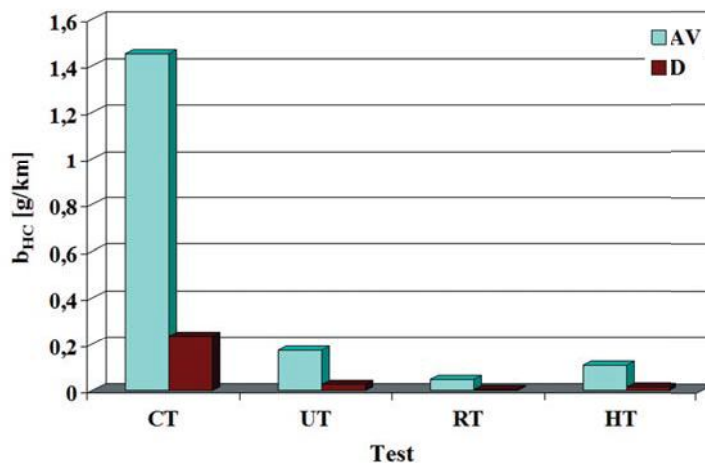


Rys. 9. Eksploatacyjne zużycie paliwa - Q w poszczególnych realizacjach testów PIMOT: AV - wartość średnia, D - odchylenie standardowe

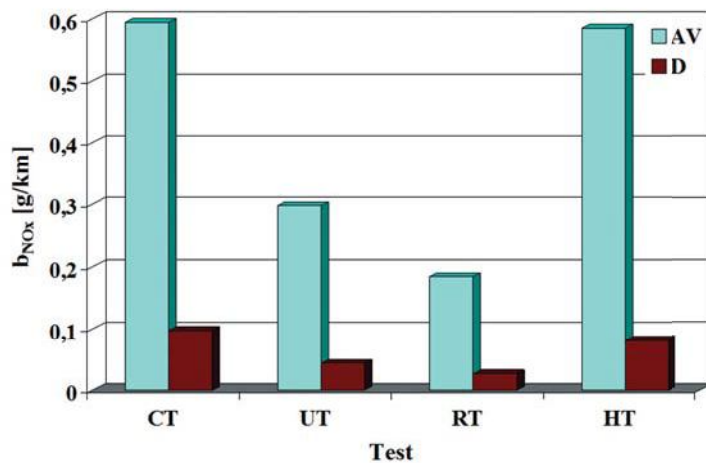
Na rysunkach 10–14 przedstawiono wartość średnią i odchylenie standardowe emisji drogowej zanieczyszczeń oraz eksploatacyjnego zużycia paliwa w zbiorach testów PIMOT.



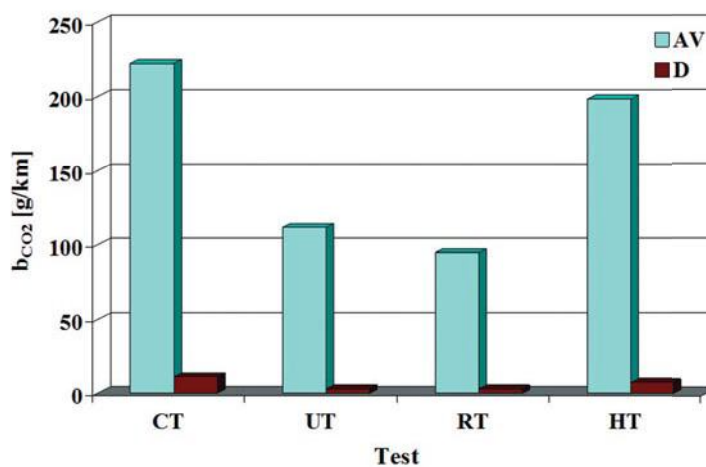
Rys. 10. Emisja drogowa tlenku węgla - b_{CO} w testach PIMOT:
AV - wartość średnia, D - odchylenie standardowe



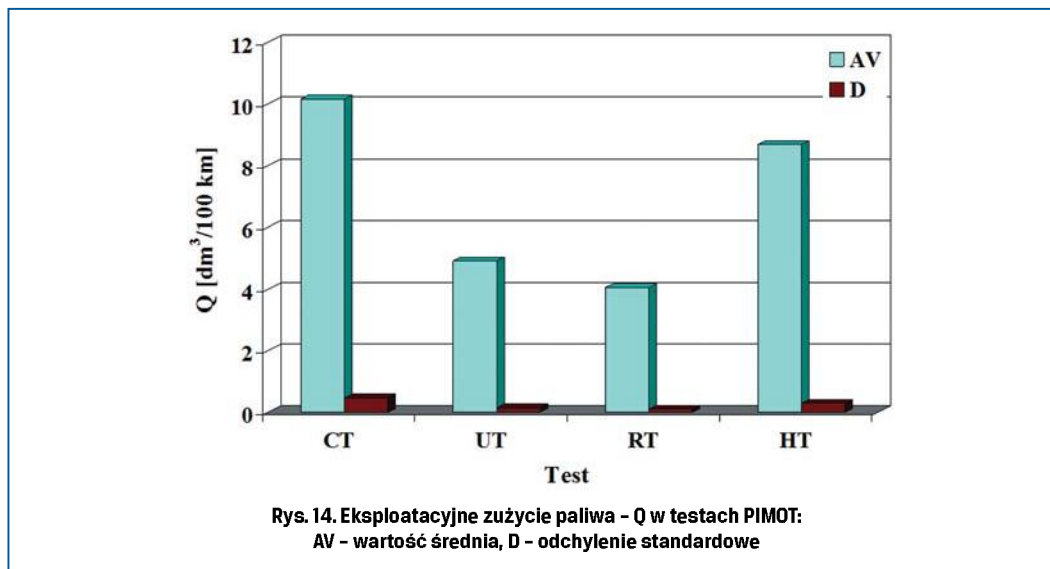
Rys. 11. Emisja drogowa węglowodorów - b_{HC} w testach PIMOT:
AV - wartość średnia, D - odchylenie standardowe



Rys. 12. Emisja drogowa tlenków azotu – b_{NOx} w testach PIMOT:
AV - wartość średnia, D - odchylenie standardowe

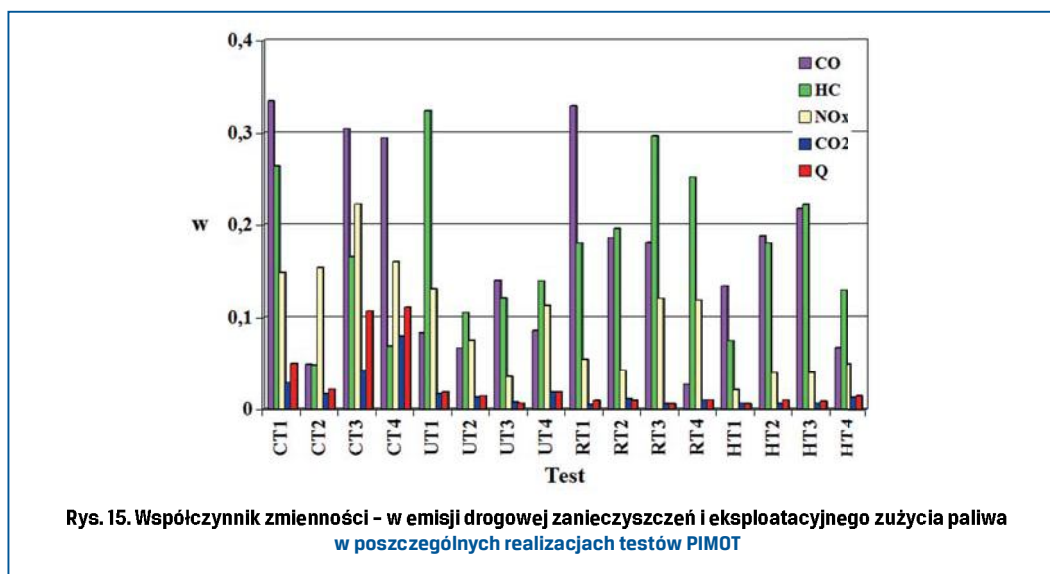


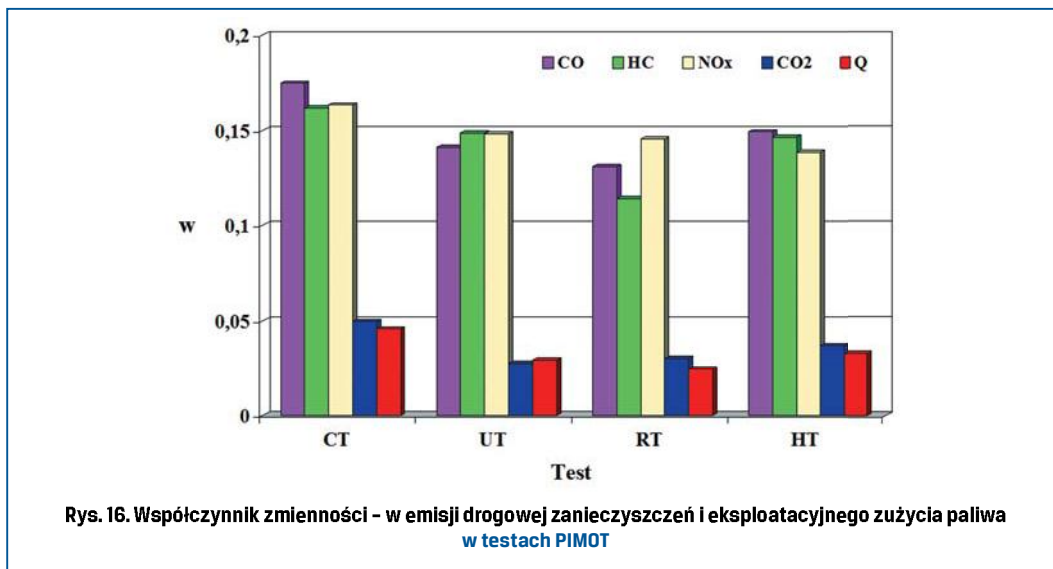
Rys. 13. Emisja drogowa dwutlenku węgla – b_{CO2} w testach PIMOT:
AV - wartość średnia, D - odchylenie standardowe



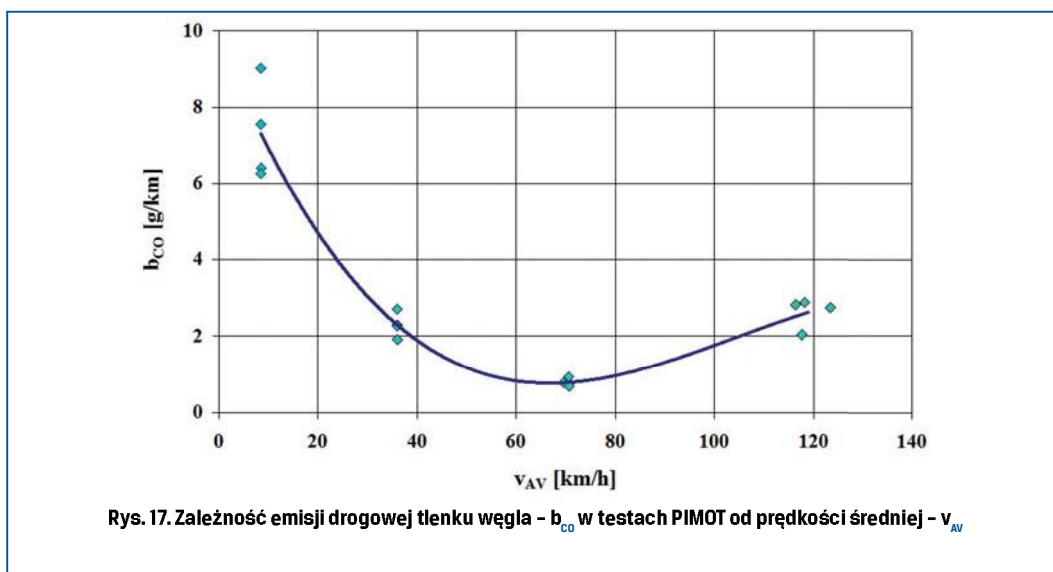
W celu oceny niepowtarzalności [11, 12, 15] właściwości silnika spalinowego w stanach dynamicznych przeanalizowano zbiory wartości emisji drogowej zanieczyszczeń i eksploatacyjnego zużycia paliwa w rozpatrywanych testach homologacyjnych i specjalnych.

Na rysunku 15 jest przedstawiony współczynnik zmienności emisji drogowej zanieczyszczeń i eksploatacyjnego zużycia paliwa w poszczególnych realizacjach testów PIMOT, a na rysunku 16 – współczynnik zmienności emisji drogowej zanieczyszczeń i eksploatacyjnego zużycia paliwa w testach PIMOT.



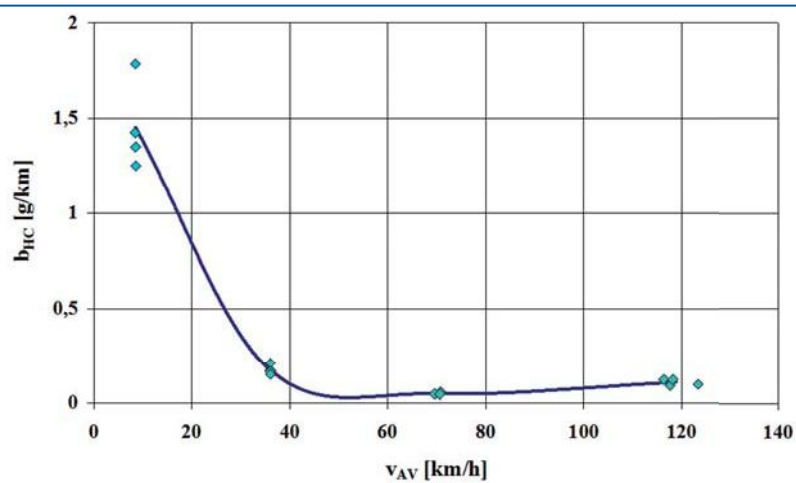


Ocena niepowtarzalności wyników pomiarów emisji drogowej zanieczyszczeń i eksploatacyjnego zużycia paliwa jest niejednoznaczna i trudna do interpretacji. W niektórych wypadkach wyznaczoną niepowtarzalność wyników pomiarów należy ocenić jako szczególnie dużą, np. dla tlenku węgla, węglowodorów i tlenków azotu. Niepowtarzalność wyników badań emisji drogowej dwutlenku węgla i eksploatacyjnego zużycia paliwa jest bardzo mała, w wielu wypadkach mniejsza niż 1%. Duża niepowtarzalność wyników badań emisji drogowej tlenku węgla, węglowodorów i tlenków azotu potwierdza fakt znacznej wrażliwości procesów emisji zanieczyszczeń na procesy stanów pracy silnika spalinowego

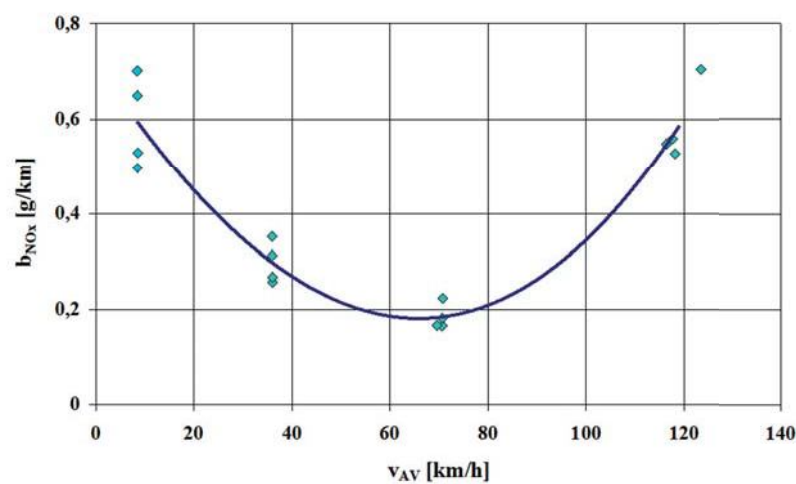


i – w konsekwencji – procesów prędkości samochodu [4, 10, 13, 14, 16, 19], mimo że prędkość średnia może mieć zbliżone wartości dla rozpatrywanych wypadków.

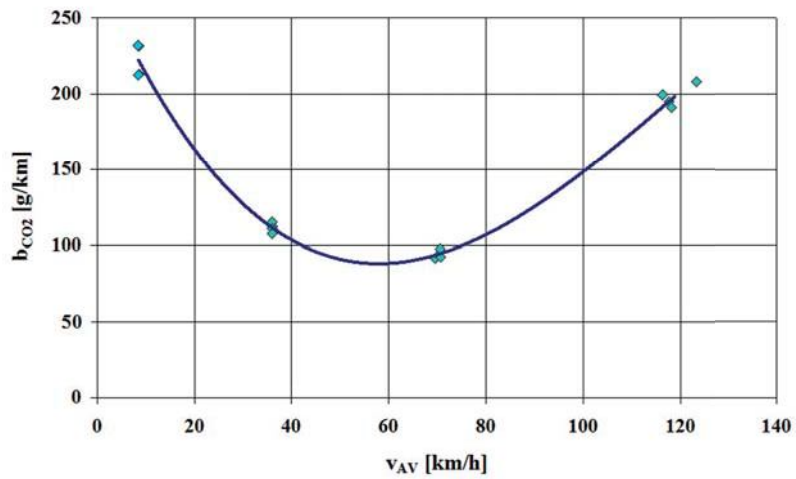
Na rysunkach 17–21 przedstawiono zależności emisji drogowej zanieczyszczeń i eksploatacyjnego zużycia paliwa w testach PIMOT od prędkości średniej [8].



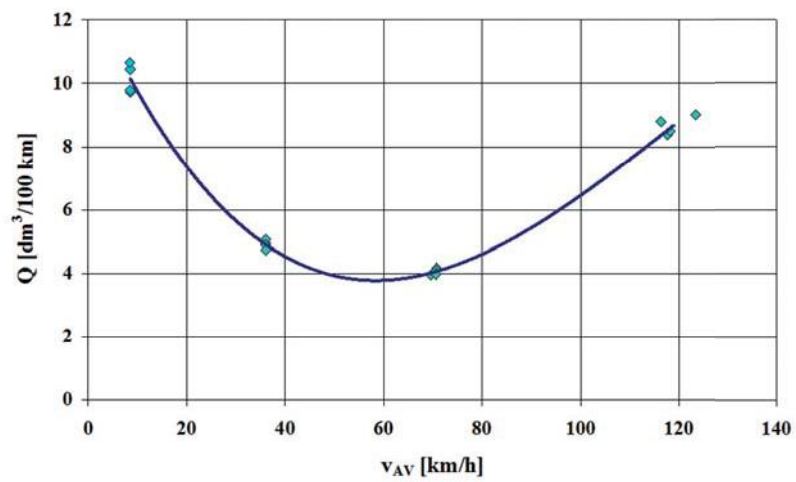
Rys. 18. Zależność emisji drogowej węglowodorów - b_{HC} w testach PIMOT od prędkości średniej - v_{AV}



Rys. 19. Zależność emisji drogowej tlenków azotu - b_{NOx} w testach PIMOT od prędkości średniej - v_{AV}



Rys. 20. Zależność emisji drogowej dwutlenku węgla - b_{CO_2} w testach PIMOT od prędkości średniej - v_{AV}



Rys. 21. Zależność eksploatacyjnego zużycia paliwa - Q w testach PIMOT od prędkości średniej - v_{AV}

Wyznaczone charakterystyki emisji zanieczyszczeń i zużycia paliwa wykazują regularność zgodną z zależnościami wyznaczanymi na podstawie baz danych, zawartych w specjalistycznych oprogramowaniach, takich jak INFRAS [19], czy COPERT [17]. Charakterystyki wykazują również podobieństwo do charakterystyk wyznaczanych na podstawie wyników badań empirycznych [10]. W warunkach małej prędkości średniej samochodu, odpowiadających dużym utrudnieniom ruchu, są największe wartości zużycia paliwa i emisji drogowej zanieczyszczeń, szczególnie węglowodorów i tlenku węgla. Mniej wyraźna zależność występuje w wypadku emisji drogowej tlenków azotu i dwutlenku węgla oraz eksploatacyjnego zużycia paliwa. Jest znamienne, że – mimo wyraźnych rozrzutów wyników pomiarów dla różnych realizacji testów – uśrednione charakterystyki wykazują regularność i zgodność ze stanem wiedzy, zatem jest uzasadnione potraktowanie prędkości samochodu w badaniach jako procesu stochastycznego.

3. Podsumowanie

Właściwości użytkowe silników spalinowych są uzależnione od ich stanów pracy. W wypadku zużycia paliwa oraz – przede wszystkim – emisji zanieczyszczeń zależność ta może być bardzo wyraźna. Stan pracy samochodowych silników spalinowych jest zdeteminowany przede wszystkim procesem prędkości samochodu. Znaczne zróżnicowanie warunków pracy silników samochodowych uzasadnia badanie ich właściwości w warunkach odbiegających od typowych testów stosowanych w procedurach homologacyjnych. W artykule przedstawiono testy PIMOT wyznaczone do celów symulacji ruchu samochodów osobowych w warunkach: zatorów ulicznych, w miastach, poza miastami oraz na autostradach i drogach ekspresowych. Testy te są w postaci zbioru realizacji procesów stochastycznych, charakteryzujących rozpatrywane wypadki ruchu samochodów osobowych. Testy wyznaczono na podstawie wyników badań empirycznych stosując zasadę wiernej symulacji w dziedzinie czasu.

W pracy przedstawiono wyniki badań emisji zanieczyszczeń i zużycia paliwa w opracowanych testach jezdnych, przeprowadzone na hamowni podwoziowej na samochodzie Honda Civic. Stwierdzono niekiedy znaczną niepowtarzalność wyników pomiarów emisji drogowej zanieczyszczeń i eksploatacyjnego zużycia paliwa, szczególnie tlenku węgla i węglowodorów. Niepowtarzalność wyników badań emisji drogowej dwutlenku węgla i eksploatacyjnego zużycia paliwa jest bardzo mała, w wielu wypadkach mniejsza niż 1%.

Przedstawiono również charakterystyki emisji drogowej zanieczyszczeń i eksploatacyjnego zużycia paliwa w testach PIMOT w zależności od prędkości średniej. Wyznaczone charakterystyki wykazują regularność zgodną z zależnościami spotykanymi w literaturze oraz wyznaczanymi na podstawie baz danych, zawartych w specjalistycznych oprogramowaniach.

Uzyskane wyniki badań uzasadniają – w celu oceny właściwości użytkowych samochodowych silników spalinowych w warunkach odpowiadających ich rzeczywistemu użytkowaniu – traktowanie prędkości samochodu w badaniach jako procesu stochastycznego.

Podziękowanie

Artykuł opracowano na podstawie wyników badań realizowanych w pracy N N509 556440 „Wrażliwość emisji zanieczyszczeń i zużycia paliwa na warunki użytkowania trakcyjnego silnika o zapłonie iskrowym”, finansowanej ze środków Narodowego Centrum Nauki.

Literatura

- [1] ABOU ZEID M., CHABINI I., NAM E.K., CAPPIELLO A.: *Probabilistic modeling of acceleration in traffic networks as a function of speed and road type*. Proceedings of the IEEE 5th International Conference on Intelligent Transportation Systems, Singapore 2002, ss. 472-478.
- [2] ARREGLE J., BERMUDEZ V., SERRANO J.R., FUENTES E.: *Procedure for engine transient cycle emissions testing in real time*. Experimental Thermal and Fluid Science, 30, 5, 2006, ss. 485-496.
- [3] BEEVERS S. D., CARSLAW D. C.: *The impact of congestion charging on vehicle emissions in London*. Atmospheric Environment, 39, 1, 2005, ss. 1-5.
- [4] BUWAL, INFRAS AG: *Luftschadstoff-Emissionen des Strassenverkehrs 1950 - 2010*, BUWAL-Bericht Nr. 255, 1995.
- [5] CAPPIELLO A., CHABINI I., NAM E.K., LUE A., ABOU ZEID M.: *A statistical model of vehicle emissions and fuel consumption*. Proceedings of the IEEE 5th International Conference on Intelligent Transportation Systems. Singapore 2002, ss. 801-809.
- [6] CHŁOPEK Z., BIEDRZYCKI J., LASOCKI J., WÓJCIK P.: *Emisja zanieczyszczeń z silnika samochodu w testach jezdnych symulujących rzeczywiste użytkowanie trakcyjne*. Zeszyty Naukowe Instytutu Pojazdów, 92, 1, 2013, ss. 65-74.
- [7] CHŁOPEK Z., BIEDRZYCKI J., LASOCKI J., WÓJCIK P.: *Investigation of pollutant emissions from a motor vehicle engine in tests simulating real vehicle use in road traffic conditions*. Combustion Engines, 154, 3, 2013, ss. 202-207.
- [8] CHŁOPEK Z., BIEDRZYCKI J., LASOCKI J., WÓJCIK P.: *Sprawozdanie z pracy N N509 556440 „Wrażliwość emisji zanieczyszczeń i zużycia paliwa na warunki użytkowania trakcyjnego silnika o zapłonie iskrowym”*. Warszawa 2013. (Praca nie publikowana).
- [9] CHŁOPEK Z., BIEDRZYCKI J., LASOCKI J., WÓJCIK P.: *Investigation of the motion of motor vehicles in Polish conditions*. The Archives of Automotive Engineering - Archiwum Motoryzacji, 60, 2, 2013, ss. 3-20.
- [10] CHŁOPEK Z., LASKOWSKI P.: *Pollutant emission characteristics determined using the Monte Carlo Method*. Eksploatacja i Niezawodność - Maintenance and Reliability, 42, 2, 2009, ss. 42-51.
- [11] CHŁOPEK Z., MAJ M.: *Wyniki badań niepowtarzalności emisji zanieczyszczeń z silnika spalinowego w dynamicznych testach jezdnych*. Transport Samochodowy, 2, 2006, ss. 77-88.
- [12] CHŁOPEK Z., STASIAK P.: *The analysis of an unrepeatability of cylinder pressure signal in internal combustion engines*. Combustion Engines - Silniki Spalinowe, 120, 1, 2005, ss. 31-39.
- [13] CHŁOPEK Z.: *Metody badań właściwości silników spalinowych w warunkach przypadkowych modelujących użytkowanie*. Archiwum Motoryzacji, 4, 2001, ss. 187-210.
- [14] CHŁOPEK Z.: *Modelowanie procesów emisji spalin w warunkach eksploatacji trakcyjnej silników spalinowych*. Prace Naukowe. Seria „Mechanika” z. 173. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1999.
- [15] CHŁOPEK Z.: *Niepowtarzalność emisji zanieczyszczeń z silnika spalinowego o zapłonie iskrowym*. Zeszyty Naukowe Instytutu Pojazdów Politechniki Warszawskiej, 1-2, 2004, ss. 5-14.
- [16] CHŁOPEK Z.: *The research of the probabilistic characteristics of exhaust emissions from vehicle engines*. Combustion Engines - Silniki Spalinowe, 144, 1, 2011, ss. 49-56.
- [17] COPERT IV - *Methodology and Emission Factors*. European Environment Agency. European Topic Center on Air Emission. 2000.
- [18] FREY H.C., ZHENG J.: *Probabilistic analysis of driving cycle-based highway vehicle emission factors*. Environmental Science & Technology, 36, 23, 2002, ss. 5184-5191.

- [19] INFRAS AG: *Handbuch für Emissionsfaktoren des Strassenverkehrs*. Version 3.1. Bern 2010.
- [20] MERKISZ J., GIS W.: *Exhaust emission from vehicles under real conditions*. Proceedings of the Ninth Asia-Pacific International Symposium on Combustion and Energy Utilization. APISCEU. Beijing 2008.
- [21] MERKISZ J., PIELECHA J., GIS W.: *Comparison of vehicle emission factors in NEDC cycle and road test*. Proceedings of the Ninth Asia-Pacific International Symposium on Combustion and Energy Utilization. APISCEU. Beijing 2008.
- [22] ROMANISZYN K., NOWAK A.: *Analiza wpływu parametrów ruchu pojazdu na zużycie paliwa i emisję zanieczyszczeń przy przejeździe przez Bielsko-Białą*. Zeszyty Naukowe OBRSM BOSMAL, 23, 1, 2004, ss. 43-49.
- [23] STURM et al.: *Instantaneous emission data and their use in estimating passenger car emissions. MEET project: Methodologies for estimating air pollutant emissions from transport*. Final report COST 319 A2. Technical University of Graz, Graz, Austria 1998.
- [24] *Worldwide emission standards. Passenger cars and light duty vehicles*. Delphi. Innovation for the real world. 2012/2013.