

BADANIA RUCHU POJAZDÓW SAMOCHODOWYCH W WARUNKACH POLSKICH

ZDZISŁAW CHŁOPEK¹, JACEK BIEDRZYCKI², JAKUB LASOCKI³, PIOTR WÓJCIK⁴

Politechnika Warszawska, Przemysłowy Instytut Motoryzacji (PIMOT)

Streszczenie

Właściwości użytkowe silników spalinowych zależą w warunkach dynamicznych w ustabilizowanych stanie cieplnym silnika od przebiegów wielkości charakteryzujących intensywność pracy silnika. W silniku samochodowym najważniejszym procesem determinującym jego pracę jest prędkość pojazdu. W celu oceny wpływu warunków użytkowania pojazdów samochodowych na właściwości silników spalinowych zajęto się badaniem procesów prędkości samochodów osobowych w warunkach ich typowego użytkowania. Zarejestrowane przebiegi prędkości potraktowano jako realizacje procesów stochastycznych i wyznaczono dla nich podstawowe charakterystyki. Ruch pojazdów modelowano jako ruch w zatorach ulicznych (kongestie), w miastach, poza miastami i na trasach szybkiego ruchu. Na podstawie przeprowadzonych badań empirycznych i analiz zaproponowano zbiory przebiegów prędkości samochodu osobowego, stanowiące realizacje procesów modelujących ruch pojazdów w rozpatrywanych warunkach.

Słowa kluczowe: samochody, testy jezdne

1. Wprowadzenie

Właściwości użytkowe silników spalinowych zależą w warunkach dynamicznych od stanu pracy silnika, scharakteryzowanego wielkościami opisującymi intensywność pracy silnika oraz od jego stanu cieplnego [4]. Stan cieplny silnika spalinowego jest określony zbiorem temperatur części silnika oraz jego płynów eksploatacyjnych (najczęściej oleju silnikowego i cieczy chłodzącej) [4]. Miarą intensywności pracy silnika spalinowego jest prędkość obrotowa jego wału korbowego oraz wielkość charakteryzująca obciążenie, najczęściej moment obrotowy lub średnie ciśnienie użyteczne [4]. Można zatem przyjąć, że w ustabilizowanych stanie cieplnym silnika spalinowego jego właściwości użytkowe są

¹ Politechnika Warszawska, 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, Zakład Ochrony Środowiska i Wykorzystania Energii Naturalnej, ul. Jagiellońska 55, 03-301 Warszawa, Polska, e-mail: j.biedrzycki@pimot.org.pl, tel. 22 777 71 91

³ Przemysłowy Instytut Motoryzacji, Zakład Ochrony Środowiska i Wykorzystania Energii Naturalnej, ul. Jagiellońska 55, 03-301 Warszawa, Polska, e-mail: j.lasocki@pimot.org.pl, tel. 22 777 71 92

⁴ Przemysłowy Instytut Motoryzacji, Zakład Ochrony Środowiska i Wykorzystania Energii Naturalnej, ul. Jagiellońska 55, 03-301 Warszawa, Polska, e-mail: p.wojcik@pimot.org.pl, tel. 22 777 71 92

zdeteminowane momentem obrotowym i prędkością obrotową. W warunkach dynamicznych zależności te mają oczywiście charakter operatorowy, a nie funkcji o wartościach liczbowych [3–5].

Procesem determinującym stan pracy silnika samochodowego jest prędkość pojazdu [4]. W związku z tym w celu oceny wpływu warunków pracy silnika samochodowego na jego właściwości bada się procesy prędkości pojazdów, występujące w czasie jego rzeczywistego użytkowania. W taki sposób powstają m.in. testy jezdne do oceniania emisji zanieczyszczeń i zużycia paliwa, m.in. testy homologacyjne [2, 10]. Wiadome jest jednak, że warunki użytkowania samochodów często znacznie się różnią od tych, które są podstawą badań homologacyjnych. Tym bardziej właściwości użytkowe silników samochodowych są wrażliwe na warunki ich pracy, traktowane jako przypadkowe [4, 6, 8]. W związku z tym jest celowe badanie wrażliwości właściwości użytkowych silników samochodowych na warunki ich pracy określone przebiegami prędkości pojazdów.

W niniejszej pracy przedstawiono wyniki badań empirycznych ruchu pojazdów samochodowych w warunkach polskich. Celem badań było wyznaczenie testów jezdnych, charakteryzujących typowe użytkowanie samochodów osobowych w warunkach polskich na terenach równinnych: w zatorach ulicznych, w miastach, poza miastami oraz na trasach szybkiego ruchu. Badania przeprowadzano w ramach realizacji w Pracowni Silników i Podwozi w Przemysłowym Instytucie Motoryzacji w Warszawie pracy N N509 556440 „Wrażliwość emisji zanieczyszczeń i zużycia paliwa na warunki użytkowania trakcyjnego silnika o zapłonie iskrowym”, finansowanej ze środków Narodowego Centrum Nauki.

W wyniku przeprowadzonych analiz było możliwe zaproponowanie testów jezdnych samochodu osobowego, stanowiących realizację procesów stochastycznych modelujących ruch pojazdów w rozpatrywanych warunkach. Testy te są wykorzystywane na hamowni podwozowej do badań emisji zanieczyszczeń i zużycia paliwa dla samochodów osobowych.

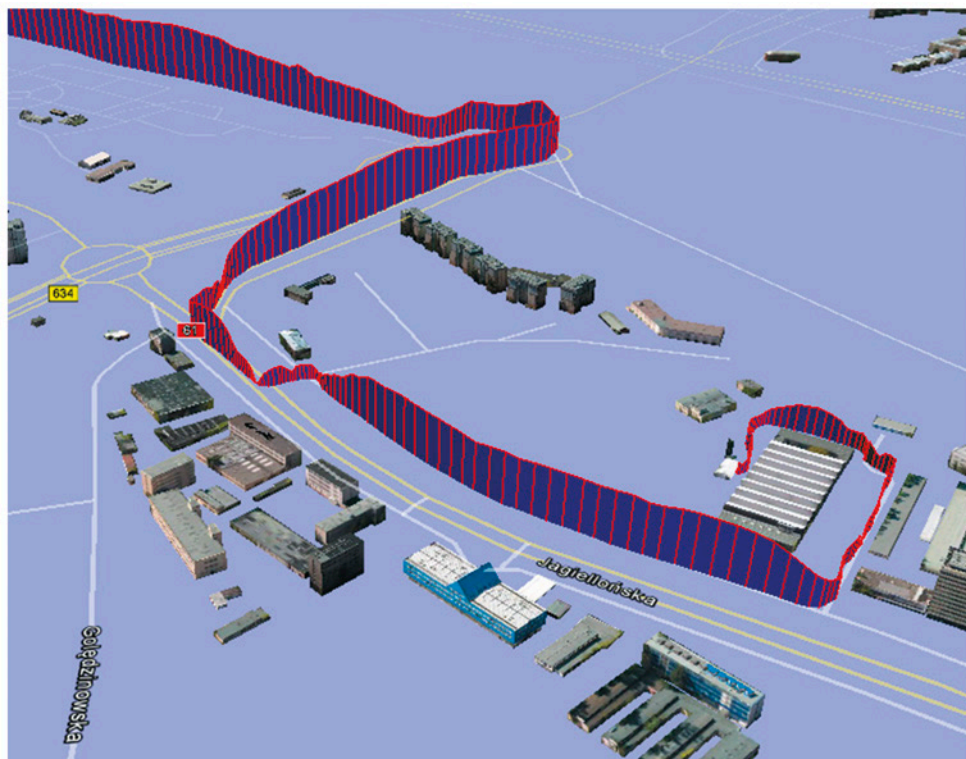
2. Wyniki badań empirycznych ruchu pojazdów samochodowych

Obiektem badań był samochód Honda Civic wyprodukowany w 2000 r. z czterocylindrowym, rzędowym silnikiem o zapłonie iskrowym o objętości skokowej 1400 cm³. Silnik ten spełnia wymagania emisji zanieczyszczeń na poziomie Euro 3.

W czasie rzeczywistego ruchu pojazdu dokonywano pomiarów: prędkości obrotowej silnika, sterowania silnika, prędkości pojazdu i jego położenia. Przebiegi tych wielkości były rejestrowane z częstotliwością 10 Hz. Zarejestrowane przebiegi zostały przetworzone przy użyciu filtra Golaya-Savitzky'ego [9] stopnia drugiego dla dziewięciu punktów pomiarowych.

Badania wykonywano na terenie województw mazowieckiego i łódzkiego. Badania ruchu w zatorach ulicznych i jeździe miejskiej wykonywano w Warszawie. Na rysunku 1

przedstawiono schematycznie przykładowy fragment trasy przejazdu wraz z graficzną interpretacją prędkości samochodu.



Rys. 1. Fragment trasy przejazdu samochodu do Przemysłowego Instytutu Motoryzacji wraz z graficzną interpretacją jego prędkości

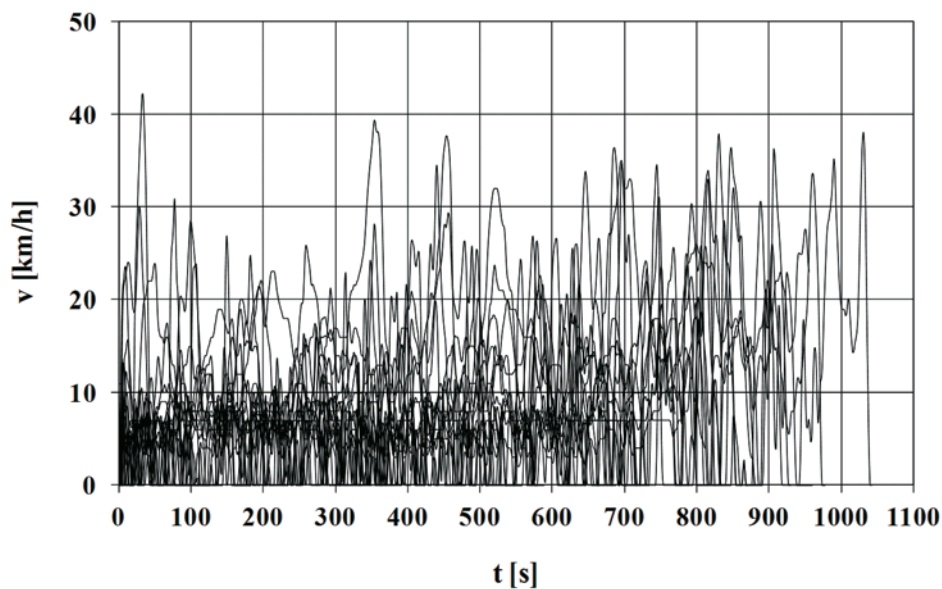
Warunki ruchu samochodu modelowano w postaci jazdy:

- w zatorach ulicznych w miastach,
- w miastach bez zatorów ulicznych,
- poza miastami,
- na trasach szybkiego ruchu.

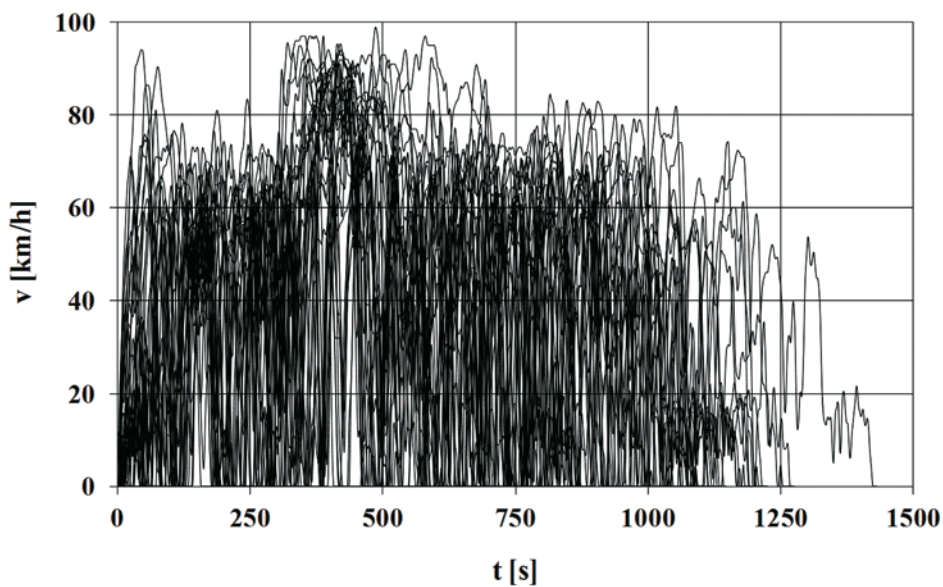
W poszczególnych warunkach uzyskano próby prędkości pojazdu o licznosciach:

- 19 w zatorach ulicznych w miastach,
- 34 w miastach bez zatorów ulicznych,
- 16 poza miastami,
- 8 na trasach szybkiego ruchu.

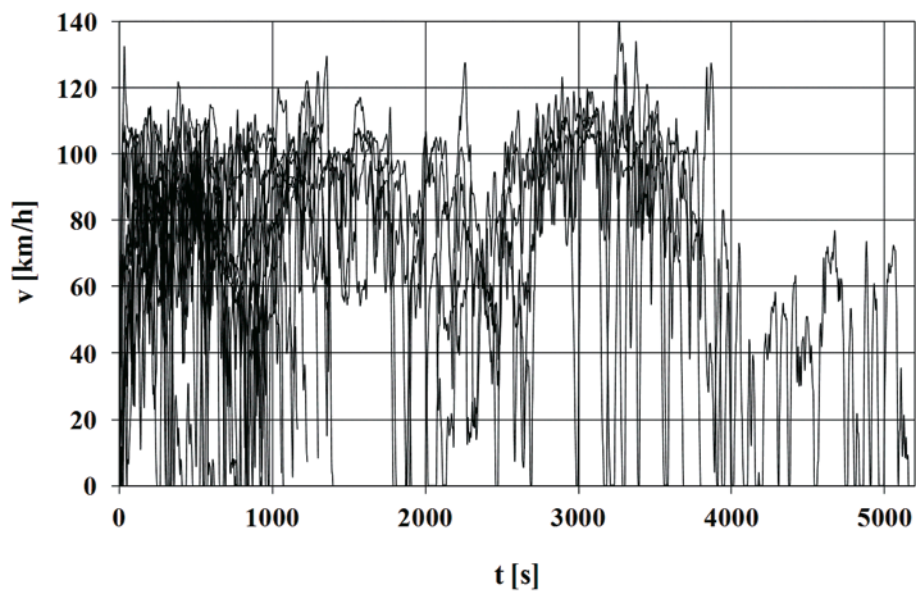
Zarejestrowane realizacje procesów prędkości pojazdu w poszczególnych modelach jego ruchu przedstawiono na rysunkach 2–5.



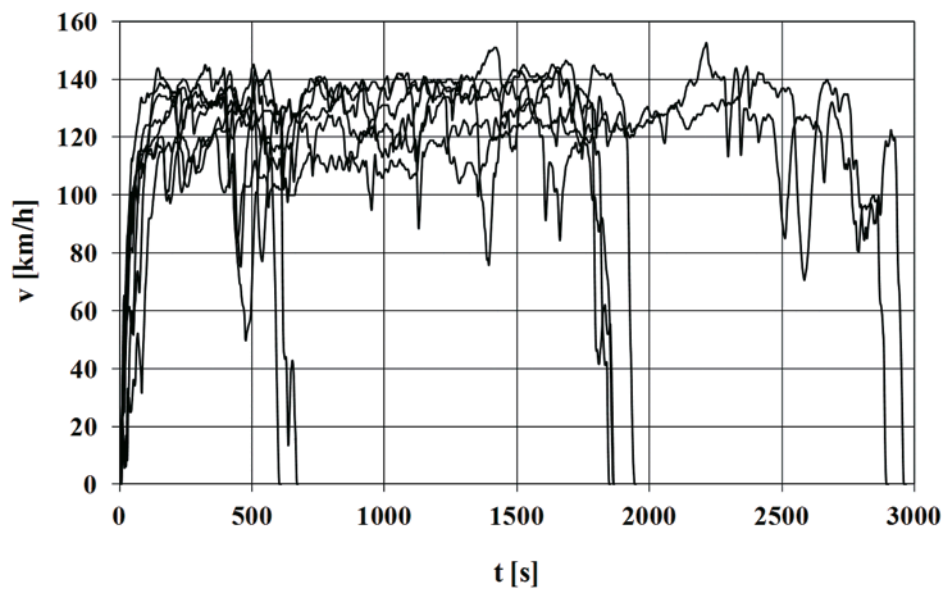
Rys. 2. Przebiegi prędkości jazdy w zatorach ulicznych



Rys. 3. Przebiegi prędkości jazdy w mieście



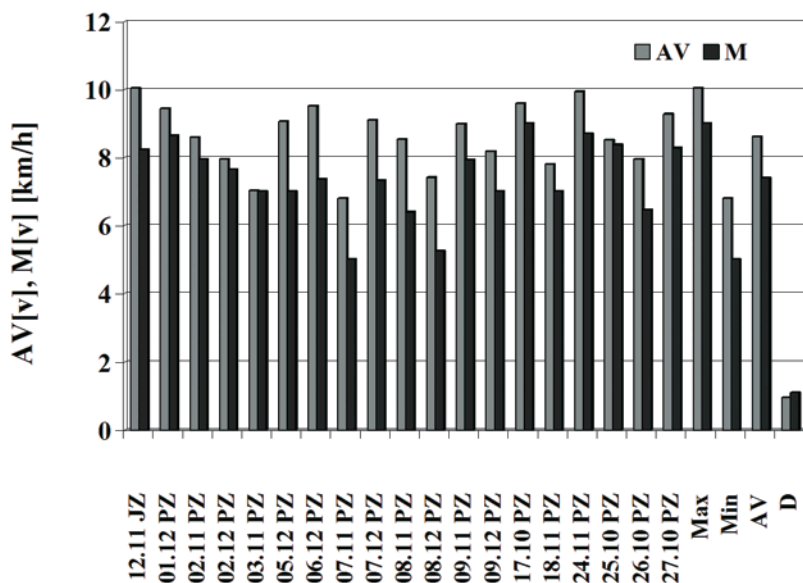
Rys. 4. Przebiegi prędkości jazdy poza miastami



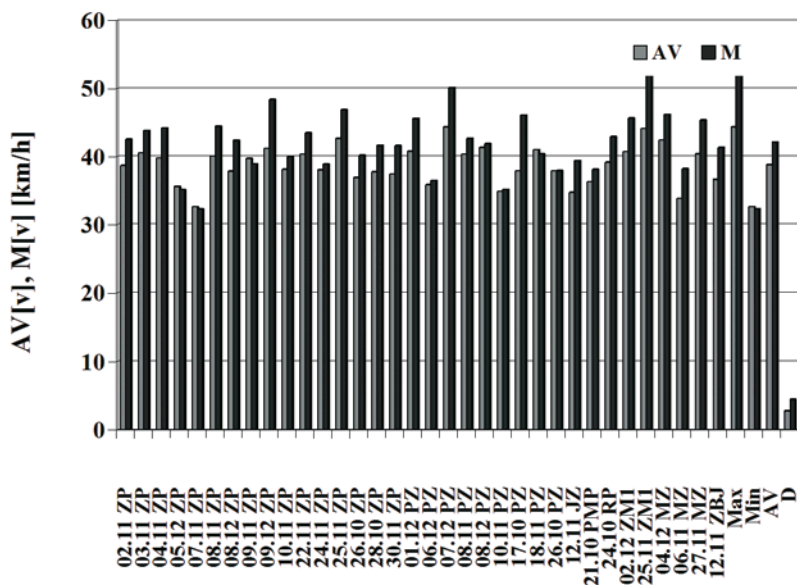
Rys. 5. Przebiegi prędkości jazdy na trasach szybkiego ruchu

Badane procesy charakteryzują się zróżnicowaną gęstością prawdopodobieństwa. Rozkłady są w większości przypadków niesymetryczne. Znacznie różnią się: współczynnik skośności (od -3,2 do 1,9) i kurtოza (od -1,5 do 13,1).

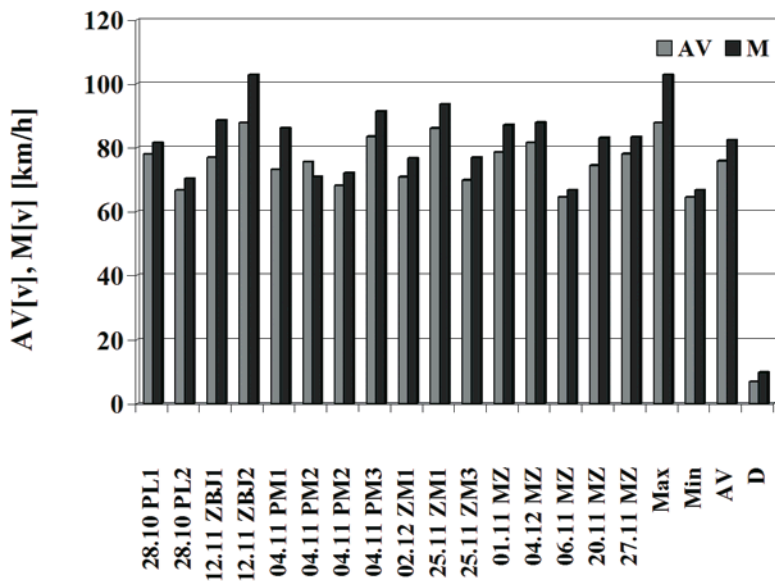
Na rysunkach 6–13 przedstawiono wybrane charakterystyki procesów prędkości samochodu: na rysunkach 6–9 wartość średnią – AV i medianę – M, a na rysunkach 10–13 odchylenie standardowe – D i odchylenie ćwiartkowe (połowa rozstępu ćwiartkowego) – DQ. Na wykresach tych naniesiono również dla przedstawionych charakterystyk: wartość maksymalną – Max, wartość minimalną – Min, wartość średnią – AV i odchylenie standardowe – D.



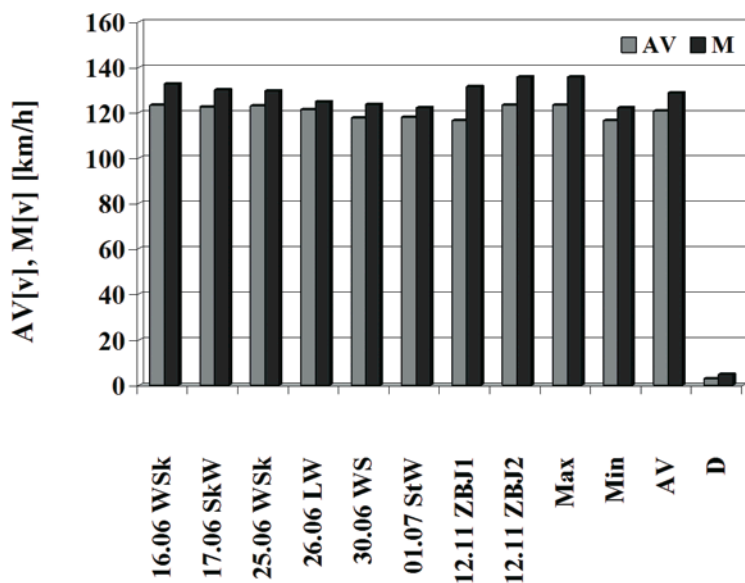
Rys. 6. Wartość średnia i mediana prędkości jazdy w zatorach ulicznych



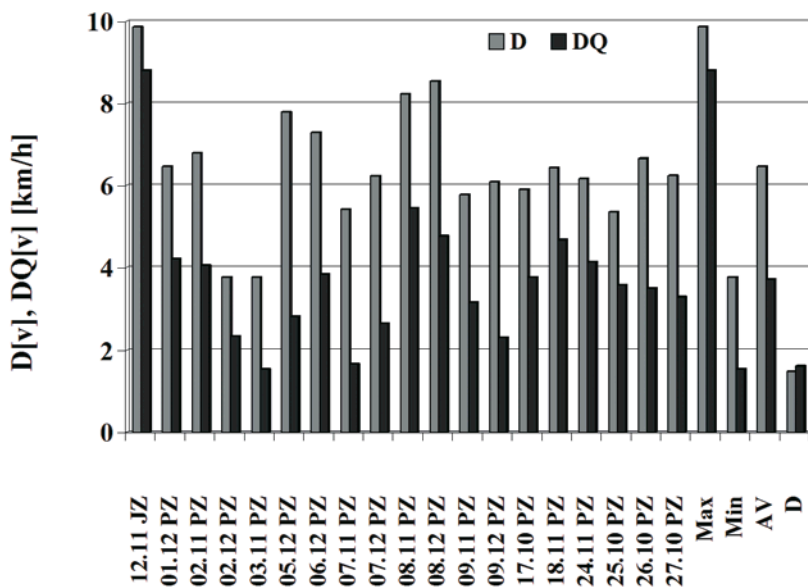
Rys. 7. Wartość średnia i mediana prędkości jazdy w mieście



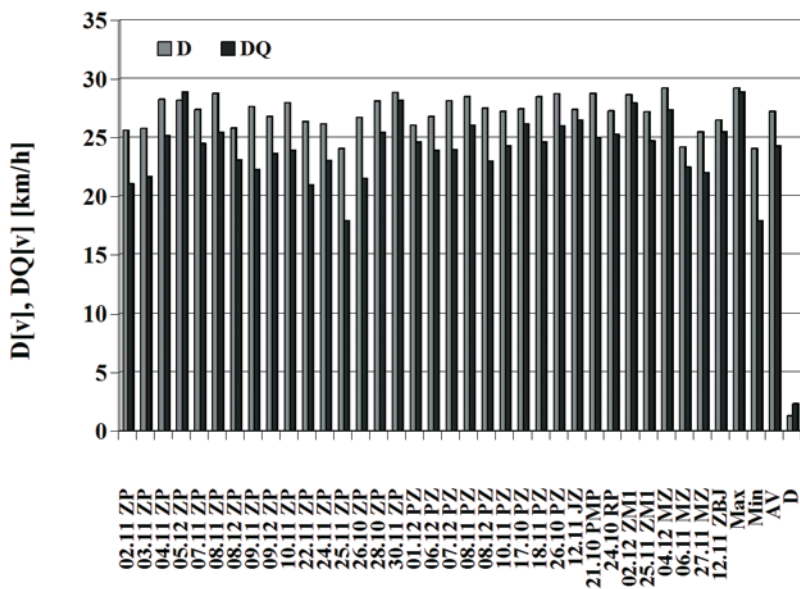
Rys. 8. Wartość średnia i mediana prędkości jazdy poza miastami



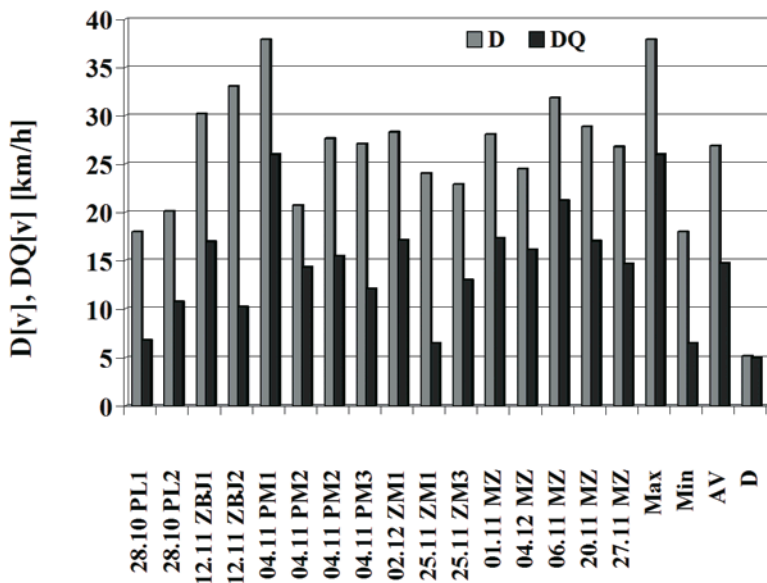
Rys. 9. Wartość średnia i mediana prędkości jazdy na trasach szybkiego ruchu



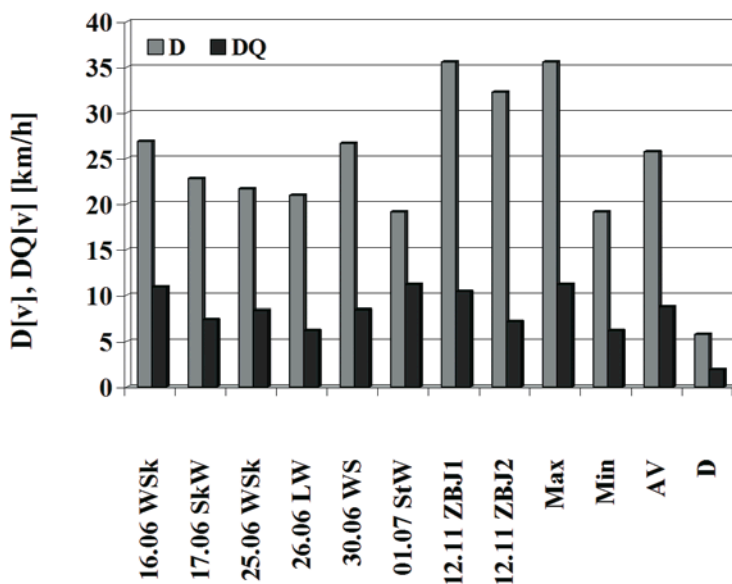
Rys. 10. Odchylenie standardowe i odchylenie ćwiartkowe prędkości jazdy w zatorach ulicznych



Rys. 11. Odchylenie standardowe i odchylenie ćwiartkowe prędkości jazdy w mieście



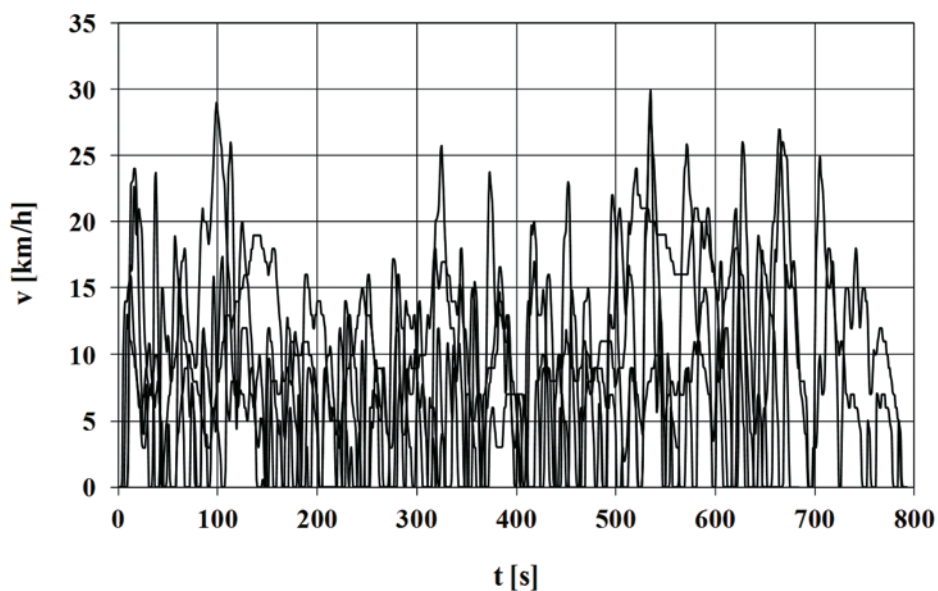
Rys. 12. Odchylenie standardowe i odchylenie ćwiartkowe prędkości jazdy poza miastami



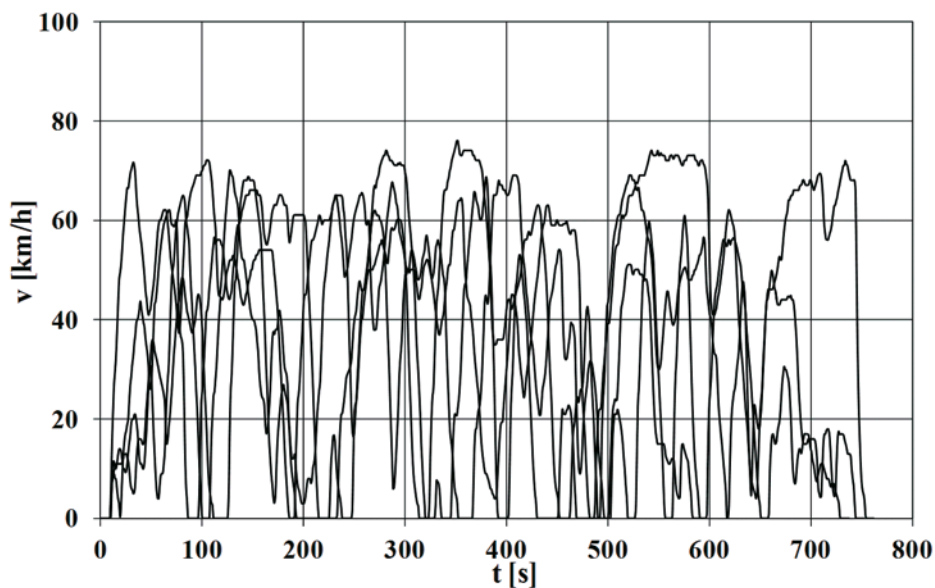
Rys. 13. Odchylenie standardowe i odchylenie ćwiartkowe prędkości jazdy na trasach szybkiego ruchu

3. Opracowanie testów jezdnych do symulacji modelowych warunków ruchu

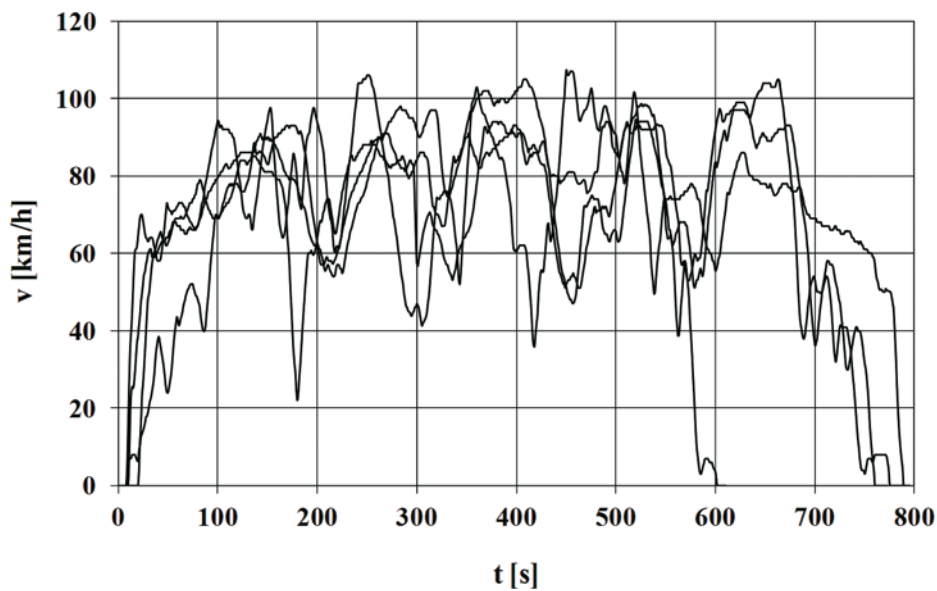
Na podstawie analiz wyników badań empirycznych prędkości samochodu zaproponowano testy jezdne do symulacji jazdy w zatorach ulicznych, w miastach, poza miastami i na trasach szybkiego ruchu. Testy opracowano zgodnie z kryterium wiernej symulacji w dziedzinie czasu [4]. W tym celu wybrano z zarejestrowanych przebiegów prędkości samochodu fragmenty, dla których wartość średnia i odchylenie standardowe mają wartości zbliżone dla wartości wyznaczonych dla wszystkich zbiorów. Wyznaczono po cztery testy dla poszczególnych modeli ruchu, traktując te testy jako realizacje procesów stochastycznych prędkości dla tych modeli. Na rysunkach 14–17 przedstawiono wybrane przebiegi prędkości jazdy w poszczególnych modelach ruchu.



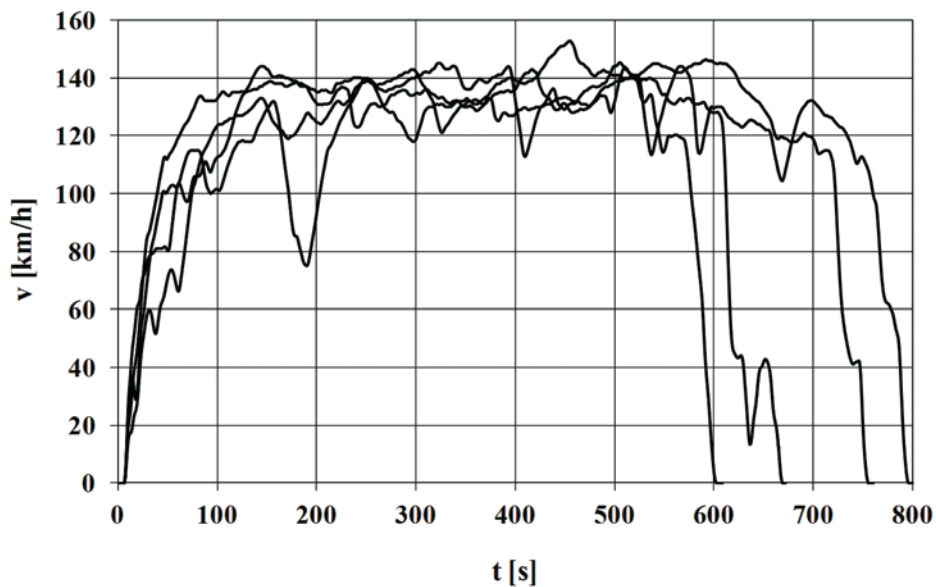
Rys. 14. Wybrane przebiegi prędkości jazdy w zatorach ulicznych



Rys. 15. Wybrane przebiegi prędkości jazdy w mieście

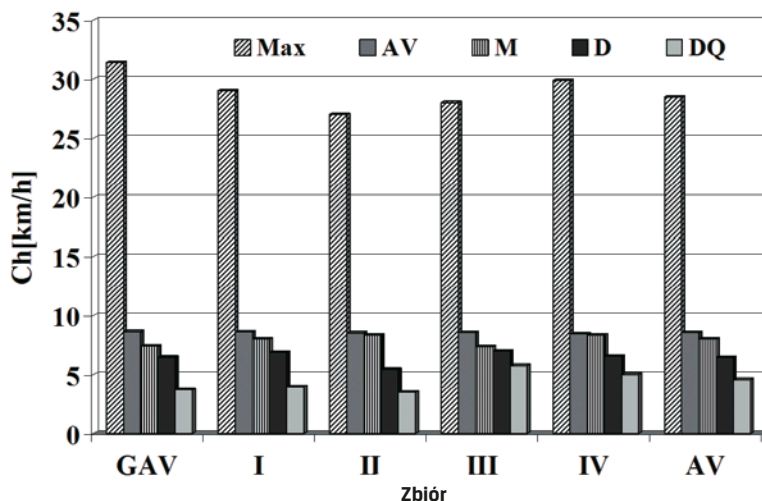


Rys. 16. Wybrane przebiegi prędkości jazdy poza miastami

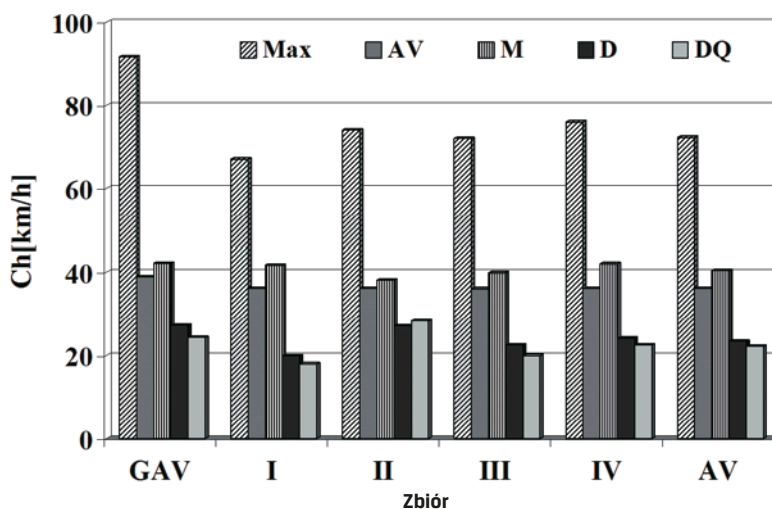


Rys. 17. Wybrane przebiegi prędkości jazdy na trasach szybkiego ruchu

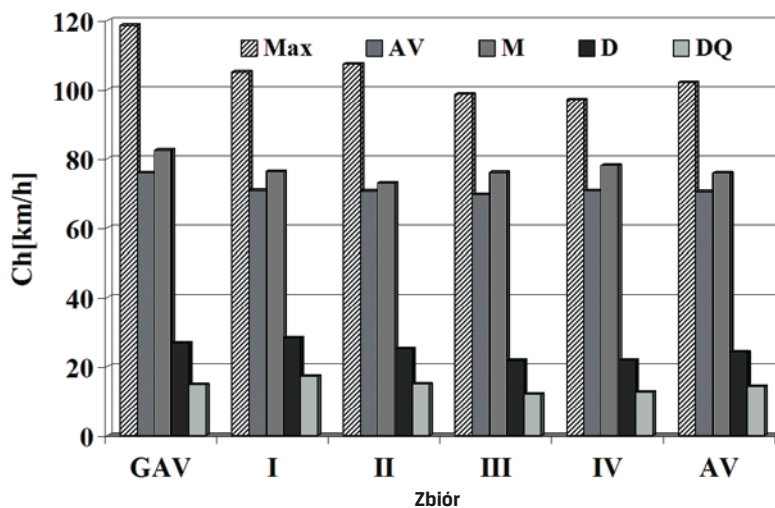
Testy dla poszczególnych modeli ruchu mają zbliżone wartości rozpatrywanych charakterystyk – Ch: wartości maksymalnej – Max, wartości średniej – AV, mediany – M, odchylenia standardowego – D i odchylenia ćwiartkowego – DQ. Na rysunkach 18-21 przedstawiono porównanie charakterystyk dla poszczególnych modeli ruchu dla testów jezdnych I-IV oraz wartości średniej dla testów – AV, a także dla wszystkich zarejestrowanych realizacji badanych procesów – GAV.



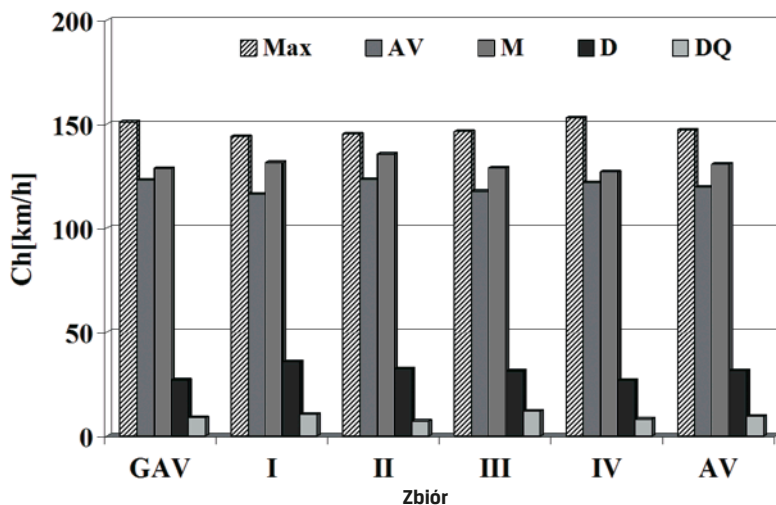
Rys. 18. Charakterystyki wszystkich przebiegów oraz testów dla jazdy w zatorach ulicznych



Rys. 19. Charakterystyki wszystkich przebiegów oraz testów dla jazdy w mieście



Rys. 20. Charakterystyki wszystkich przebiegów oraz testów dla jazdy poza miastami

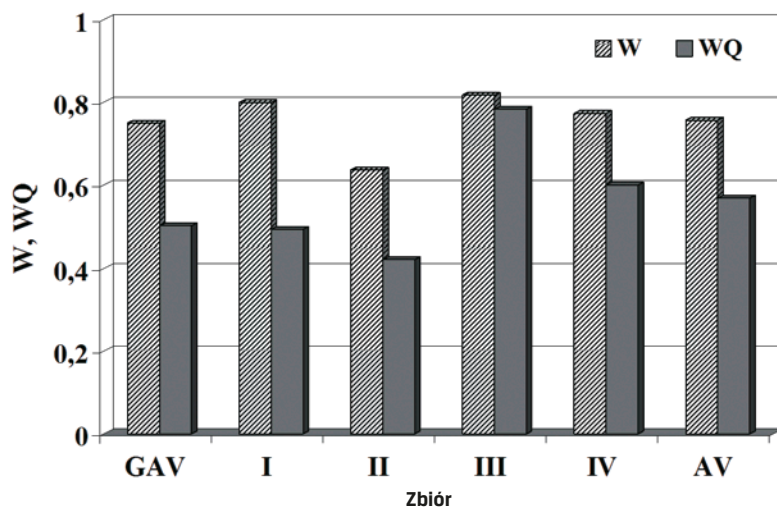


Rys. 21. Charakterystyki wszystkich przebiegów oraz testów dla jazdy na trasach szybkiego ruchu

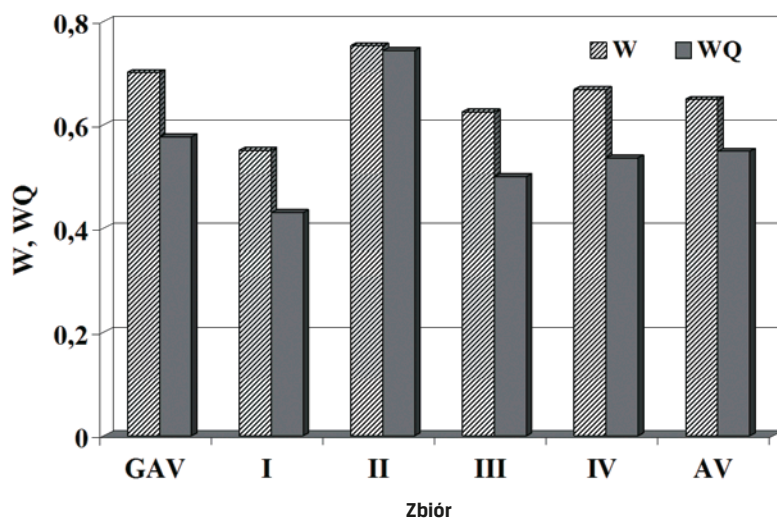
Jest wyraźnie widoczne podobieństwo ocenianych charakterystyk. Jedynie w przypadku wartości maksymalnej występują odstępstwa, ale wartość maksymalna dla całego zbioru może mieć przypadkowo dużą wartość.

Na rysunkach 22–25 przedstawiono porównanie charakterystyk: współczynnika zmienności – W i współczynnika rozstępu ćwiatkowego – WQ (1) dla poszczególnych modeli ruchu dla testów jezdnych I–IV oraz wartości średniej dla testów – AV, a także dla wszystkich zarejestrowanych realizacji badanych procesów – GAV.

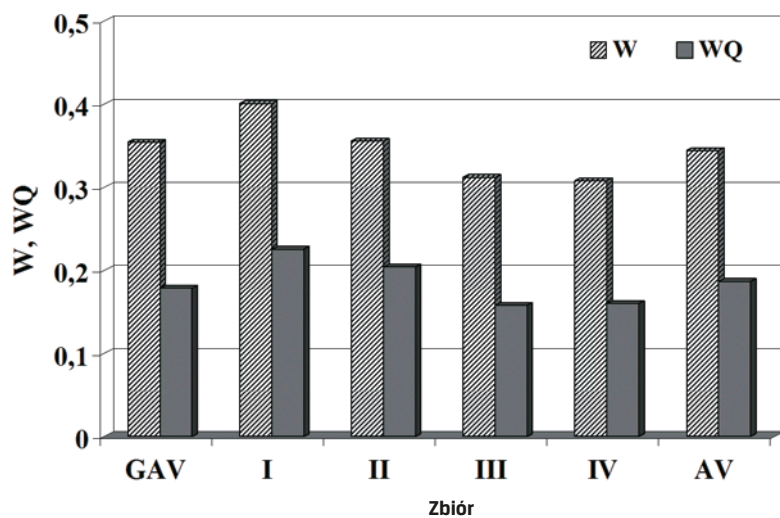
$$WQ = \frac{DQ}{M} \quad (1)$$



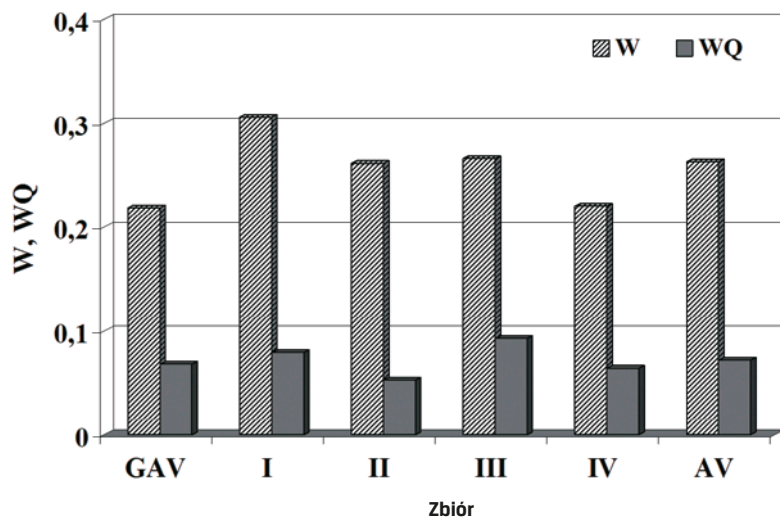
Rys. 22. Charakterystyki wszystkich przebiegów oraz testów dla jazdy w zatorach ulicznych



Rys. 23. Charakterystyki wszystkich przebiegów oraz testów dla jazdy w miastach



Rys. 24. Charakterystyki wszystkich przebiegów oraz testów dla jazdy na poza miastami



Rys. 25. Charakterystyki wszystkich przebiegów oraz testów dla jazdy na trasach szybkiego ruchu

Zaproponowane testy jezdne umożliwiają symulację warunków ruchu w warunkach pseudoprzypadkowych, odpowiadających rzeczywistemu użytkowaniu pojazdu.

4. Podsumowanie

Badania empiryczne prędkości samochodu osobowego w warunkach, odpowiadających przeciętnemu użytkowaniu pojazdu, umożliwiły opracowanie testów jezdnych do celów badań prowadzonych na hamowni podwoziowej. Celem tych badań jest ocena właściwości użytkowych silnika samochodowego w różnych warunkach użytkowania pojazdu, często znacznie różniących się od warunków badań homologacyjnych.

W przyjętych modelach ruchu celowo wyodrębniono model ruchu w zatorach ulicznych oraz model ruchu w miastach bez uwzględniania zatorów ulicznych. Dzięki temu jest możliwe, wykorzystując kombinacje testów o różnych udziałach czasu ich trwania, tworzenie modeli ruchu w miastach o różnym stopniu utrudnienia ruchu. Metodę tę z powodzeniem zastosowano dla różnych warunków ruchu przy wyznaczaniu charakterystyk emisji zanieczyszczeń w modelu emisji zawartym w oprogramowaniu instytutu INFRAS AG [2, 7].

Istotną oryginalną cechą zaproponowanego w niniejszej pracy sposobu opracowywania testów jezdnych jest potraktowanie ich jako realizacji procesów stochastycznych, dzięki czemu jest możliwe wnioskowanie o wrażliwości właściwości użytkowych silników spalinowych nie tylko na dynamiczne, ale i na przypadkowe warunki pracy.

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] BENDAT J. S., PIERSON A. G.: *Random Data: Analysis & Measurement Procedures*. Wiley New York. 1966.
- [2] BUWAL, INFRAS AG: *Luftschadstoffemissionen des Strassenverkehrs 1950 – 2010*. BUWAL-Bericht No. 255, 1995.
- [3] CHŁOPEK Z., PIASECZNY L.: *Modelling of the effect of work conditions of marine diesel engines on their ecological properties*. Maritime Transport, Technological Innovations & Research, Universitat Politècnica de Catalunya, BARCELONATECH, Barcelona 2012, 489–501.
- [4] CHŁOPEK Z.: *Modelowanie procesów emisji spalin w warunkach eksploatacji trakcyjnej silników spalinowych*. Prace Naukowe. Seria „Mechanika” z. 173. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej. Warszawa 1999.
- [5] CHŁOPEK Z.: *Some remarks on engine testing in dynamic states*. Silniki Spalinowe – Combustion Engines 4/2010(143). 60–72.
- [6] CHŁOPEK Z.: *The research of the probabilistic characteristics of exhaust emissions from vehicle engines*. Silniki Spalinowe – Combustion Engines 1/2011(144). 49–56.
- [7] INFRAS AG: *Handbuch für Emissionsfaktoren des Strassenverkehrs; Version 3.1*; Bern 2010.

- [8] JANTOS J. et al.: *Driveability and fuel consumption improvement through integrated fuzzy logic control of powertrain with spark ignition engine and continuously variable transmission*. World Automotive Congress FISITA 2004. Barcelona.
- [9] SAVITZKY A., GOLAY M.J.E.: *Smoothing and differentiation of data by simplified least squares procedures*. Analytical Chemistry. 1964. 36: 1627–1639.
- [10] *Worldwide emission standards. Passenger cars and light duty vehicles*. Delphi. Innovation for the real world. 2011/2012.