

BADANIA KORELACYJNE EMISJI ZANIECZYSZCZEŃ I ZUŻYCIA PALIWA W TESTACH HOMOLOGACYJNYCH

Streszczenie

Emisje zanieczyszczeń i zużycie paliwa są zależne od stanów pracy samochodowego silnika spalinowego, zdefiniowanych warunkami ruchu pojazdu. W związku z tym wyniki badań emisji zanieczyszczeń i zużycia paliwa w różnych testach homologacyjnych różnią się między sobą. W pracy podjęto się zadania oceny, czy – mimo to – istnieje możliwość porównywania wyników badań emisji zanieczyszczeń i zużycia paliwa w różnych testach homologacyjnych. W wyniku przeprowadzonych analiz stwierdzono, że wyniki badań emisji zanieczyszczeń i zużycia paliwa w testach homologacyjnych: europejskim, amerykańskim i japońskim, są silnie ze sobą skorelowane. Jednocześnie oceniono, że pomiędzy wynikami badań emisji drogowej zanieczyszczeń poszczególnych substancji i eksploatacyjnego zużycia paliwa nie ma znacznej korelacji.

WSTĘP

Emisja zanieczyszczeń oraz zużycie paliwa są wrażliwe na stany pracy silników spalinowych, zarówno na stany statyczne, jak i – szczególnie – na występowanie stanów dynamicznych [4]. W związku z tym istnieją uzasadnione wątpliwości, czy na podstawie wyników badań emisji zanieczyszczeń i zużycia paliwa w konkretnych stanach pracy silnika spalinowego istnieje możliwość wnioskowania o tych właściwościach w innych stanach jego pracy. Oczywiście w ogólności takie wnioskowanie nie jest uzasadnione, istnieje jednak możliwość rozpatrywania podobnych – w przyjętym sensie – stanów pracy silnika spalinowego. W niniejszym artykule rozpatruje się problem oceny właściwości silnika spalinowego znajdującego się w stanach, zdefiniowanych jazdą samochodu w testach homologacyjnych: europejskim, amerykańskim i japońskim. Mimo zasadniczych różnic, istnieje również pewne podobieństwo rozpatrywanych testów homologacyjnych, m.in. ich prędkość średnia. Istnieje również pragmatyczne uzasadnienie wyboru takich warunków pracy silnika spalinowego, często bowiem znane są wyniki badań emisji drogowej zanieczyszczeń i eksploatacyjnego zużycia paliwa silnika samochodowego w którymś z testów. Istnieje wówczas problem, na ile wyniki te są miarodajne dla warunków pracy silnika w innym teście. W związku z tym w niniejszej pracy postawiono zadanie zbadania zależności wyników badań emisji drogowej zanieczyszczeń i eksploatacyjnego zużycia paliwa dla silnika spalinowego w warunkach pracy w trzech testach homologacyjnych.

1. WYNIKI BADAŃ EMISJI ZANIECZYSZCZEŃ I ZUŻYCIA PALIWA

Badania emisji zanieczyszczeń i zużycia paliwa zostały wykonane w Przemysłowym Instytucie Motoryzacji w Warszawie w ramach realizacji pracy [3].

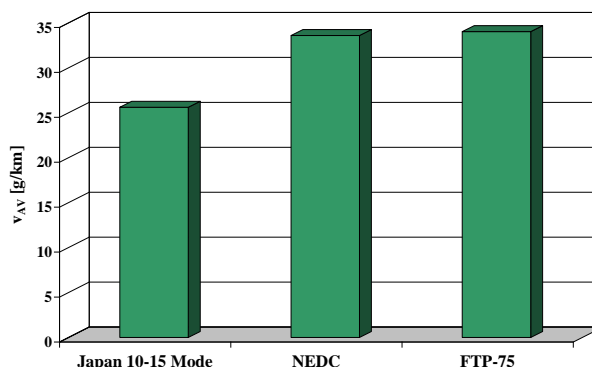
Badania przeprowadzono na samochodzie w testach homologacyjnych [9]:

- NEDC (New European Driving Cycle), składającym się z testu jazdy w miastach – UDC (Urban Driving Cycle) i z testu jazdy poza miastami – EUDC (Extra Urban Driving Cycle),
- FTP-75,
- Japan 10-15 Mode.

Na rysunku 1 przedstawiono prędkość średnią w poszczególnych testach.

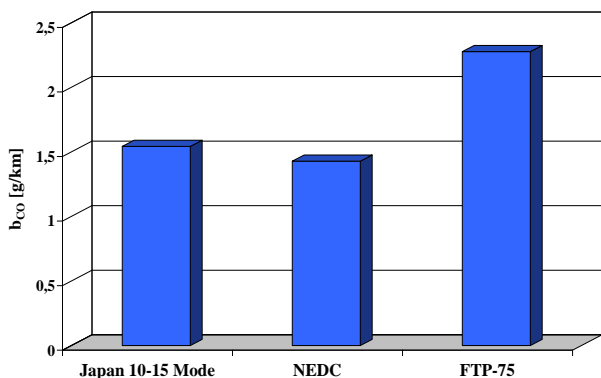
Obiektem badań był samochód osobowy Honda Civic EJ9 z silnikiem o zapłonie iskrowym o objętości skokowej 1396 cm³, spełniający wymagania emisji zanieczyszczeń na poziomie Euro 3. Badania samochodu prowadzono w stanie silnika spalinowego nagrzanego do ustabilizowanej temperatury.

Badania samochodu w każdym z testów były wykonywane pięciokrotnie. Na rysunkach 2–6 przedstawiono wyniki badań wartości średniej emisji drogowej zanieczyszczeń i wartości średniej eksploatacyjnego zużycia paliwa w poszczególnych testach [2, 3].

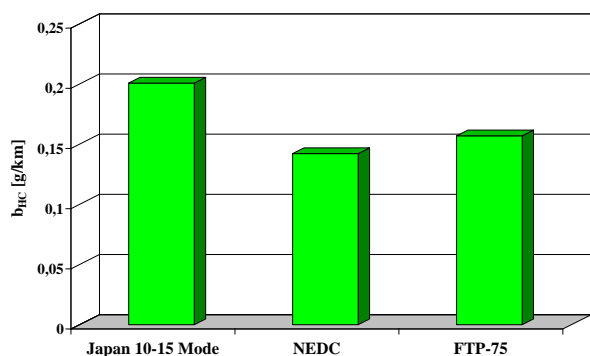


Rys. 1. Prędkość średnia w testach homologacyjnych

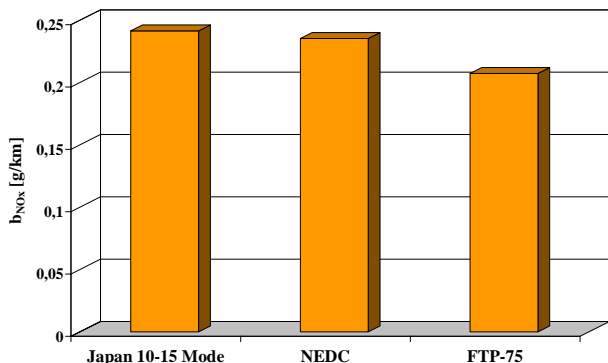
Badania samochodu zostały przeprowadzone na stanowisku hamowni podwoziowej Schenk Komeg EMDY 48. Do badań emisji wykorzystano stanowisko do analizy spalin, w którego skład wchodzi system Horiba Mexa 7200 wyposażony w analizatory Horiba do pomiarów stężeń: tlenku węgla (AIA-721A), węglowodorów (FIA-725A), tlenków azotu (CLA-755A), dwutlenku węgla (AIA-722) i tlenu (MPA-720).



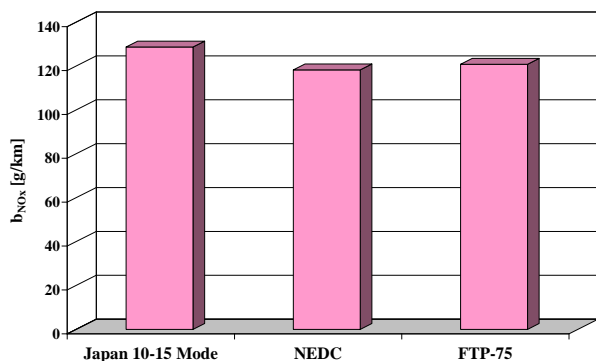
Rys. 2. Wartość średnia emisji drogowej tlenku węgla – b_{CO} w testach homologacyjnych



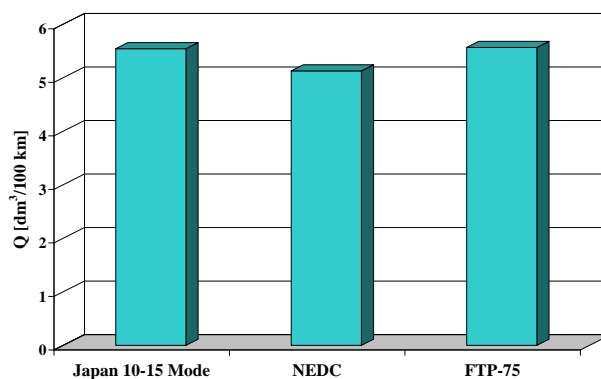
Rys. 3. Wartość średnia emisji drogowej węglowodorów – b_{HC} w testach homologacyjnych



Rys. 4. Wartość średnia emisji drogowej tlenków azotu – b_{NOx} w testach homologacyjnych

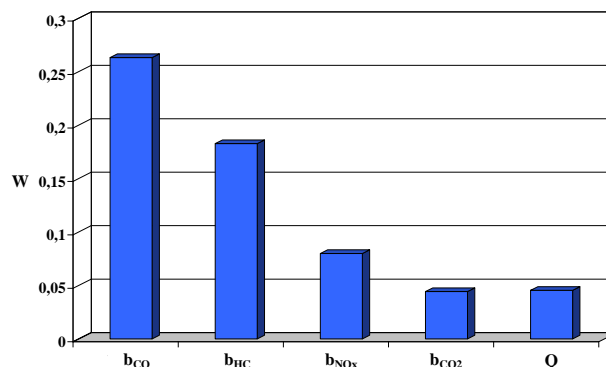


Rys. 5. Wartość średnia emisji drogowej dwutlenku węgla – b_{CO2} w testach homologacyjnych



Rys. 6. Wartość średnia eksploatacyjnego zużycia paliwa – Q w testach homologacyjnych

Na rysunku 7 przedstawiono współczynnik zmienności wartości średniej emisji drogowej zanieczyszczeń i wartości średniej eksploatacyjnego zużycia paliwa w testach homologacyjnych.

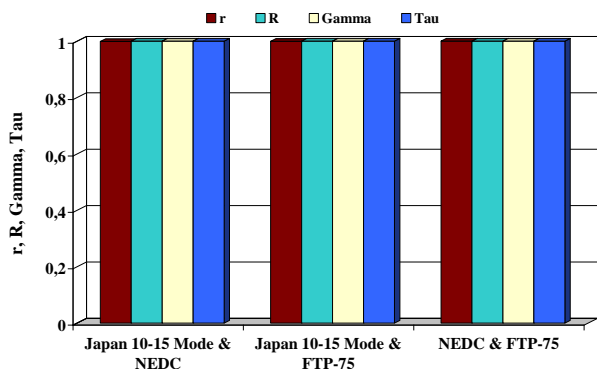


Rys. 7. Współczynnik zmienności – W wartości średniej emisji drogowej zanieczyszczeń i wartości średniej eksploatacyjnego zużycia paliwa w testach homologacyjnych

Wyniki badań wykazują zróżnicowaną wrażliwość emisji zanieczyszczeń i zużycia paliwa na warunki ruchu pojazdu w poszczególnych testach. Jest znamienne, że nawet dla zbliżonych wartości prędkości średniej w różnych testach (NEDC i FTP-75) wyniki badań mogą się znacznie różnić. Potwierdza to tezę, że prędkość średnia nie może być traktowana jako jedyna charakterystyka zerowymiarowa, określająca dynamiczne stany silnika spalinowego w samochodzie, determinujące emisję zanieczyszczeń i zużycie paliwa. Inną zerowymiarową charakterystyką, uzupełniającą opis warunków pracy pojazdu, może być wartość średnia wartości bezwzględnej iloczynu prędkości i przyspieszenia dodatniego [1, 4].

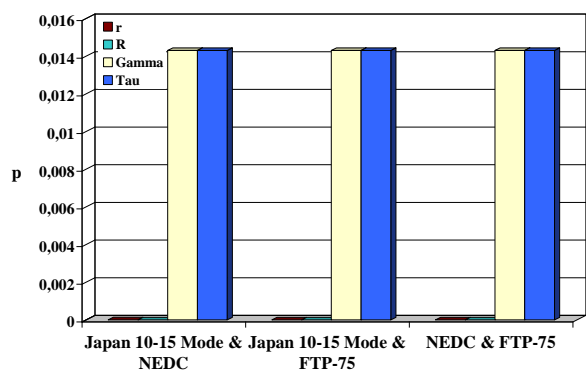
W celu zbadania zależności korelacyjnych emisji zanieczyszczeń i zużycia paliwa w różnych warunkach dynamicznych pracy silnika spalinowego, zdeteminowanych jego użytkowaniem w różnych testach jezdnych, wykorzystano zbiory przedstawionych wyników badań emisji drogowej zanieczyszczeń i eksploatacyjnego zużycia paliwa. Do analizy korelacyjnej wykorzystano testy: korelacji liniowej Pearsona [7], korelacji rang Spearmana [8], korelacji tau Kendalla [5] i korelacji gamma Kruskala [6].

Pierwszy rodzaj badań polegał na sprawdzeniu, jak są skorelowane ze sobą zbiory wyników badań emisji drogowej zanieczyszczeń i eksploatacyjnego zużycia paliwa w różnych warunkach pracy silnika spalinowego, zdeteminowanych ruchem samochodu w poszczególnych testach. Wyniki badań współczynnika korelacji dla badanych zbiorów przedstawiono na rysunku 8.



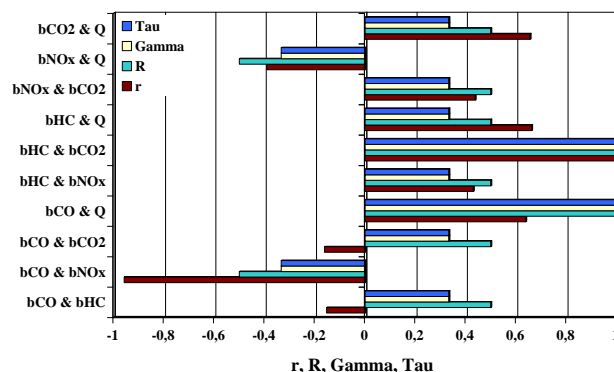
Rys. 8. Współczynnik korelacji liniowej Pearsona – r , korelacji rang Spearmana – R , korelacji tau Kendalla – τ i korelacji gamma Kruskala – Γ dla zbiorów wyników badań emisji zanieczyszczeń i eksploatacyjnego zużycia paliwa w porównywanych testach

Korelacje można ocenić jako bardzo silną, czego dowodem jest fakt, że największa wartość prawdopodobieństwa nieodrzużenia hipotezy o braku korelacji liniowej Pearsona i korelacji rang Spearmana jest mniejsza od $6 \cdot 10^{-7}$, a korelacji tau Kendalla i korelacji gamma Kruskala mniejsza od 0,015 – rysunek 9. Oznacza to, że zależności między poszczególnymi wartościami emisji drogowej zanieczyszczeń i eksploatacyjnego zużycia paliwa w różnych stanach pracy silnika spalinowego, odpowiadających warunkom pracy w różnych testach homologacyjnych, są silne.

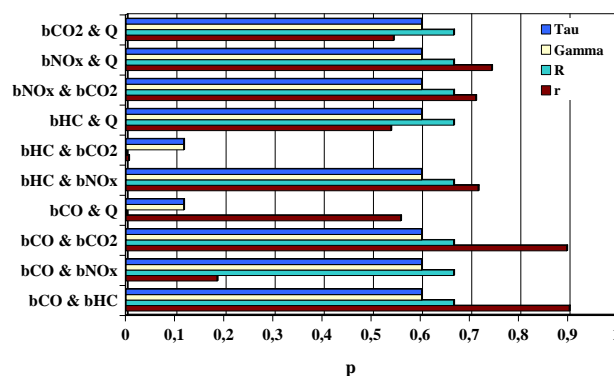


Rys. 9. Prawdopodobieństwo nieodrzużenia hipotezy o braku korelacji – p dla korelacji liniowej Pearsona – r , korelacji rang Spearmana – R , korelacji tau Kendalla – τ i korelacji gamma Kruskala – Γ dla zbiorów wyników badań emisji zanieczyszczeń i eksploatacyjnego zużycia paliwa w porównywanych testach

Drugi rodzaj badań polegał na ocenie, jak są od siebie zależne wartości emisji poszczególnych zanieczyszczeń i eksploatacyjnego zużycie paliwa w różnych warunkach pracy silnika spalinowego. Wyniki badań współczynnika korelacji dla badanych zbiorów przedstawiono na rysunku 10. Na rysunku 11 przedstawiono prawdopodobieństwo nieodrzużenia hipotezy o braku korelacji dla badanych zbiorów.



Rys. 10. Współczynnik korelacji liniowej Pearsona – r , korelacji rang Spearmana – R , korelacji tau Kendalla – τ i korelacji gamma Kruskala – Γ dla poszczególnych wyników badań emisji zanieczyszczeń i eksploatacyjnego zużycia paliwa oraz prędkości średniej we wszystkich testach



Rys. 11. Prawdopodobieństwo nieodrzużenia hipotezy o braku korelacji – p dla korelacji liniowej Pearsona – r , korelacji rang Spearmana – R , korelacji tau Kendalla – τ i korelacji gamma Kruskala – Γ dla poszczególnych wyników badań emisji zanieczyszczeń i eksploatacyjnego zużycia paliwa oraz prędkości średniej we wszystkich testach

Stwierdzono znaczne zróżnicowanie korelacji między poszczególnymi zbiorami. Najsilniejszą korelację stwierdzono między emisją drogową dwutlenku węgla i emisją drogową węglowodorów oraz między eksploatacyjnym zużyciem paliwa i emisją drogową: węglowodorów i dwutlenku węgla. Najłabsza jest korelacja między emisją drogową tlenku węgla i emisją drogową węglowodorów oraz między emisją drogową tlenku węgla i emisją drogową dwutlenku węgla. Oznacza to, że właściwości ekologiczne silników spalinowych w warunkach ich użytkowania w samochodach poruszających się w testach homologacyjnych są zróżnicowane ze względu na poszczególne emitowane substancje oraz ze względu na zużycie paliwa.

PODSUMOWANIE

Na podstawie przeprowadzonych badań emisji zanieczyszczeń i zużycia paliwa w europejskim, amerykańskim i japońskim testach homologacyjnych można stwierdzić, że istnieją uzasadnione podstawy do obiektywnej oceny badanych właściwości silników spalinowych w warunkach różnych testów na podstawie znajomości wyników badań w innych testach. Uzasadnieniem takiego wniosku są wyniki badań korelacyjnych zbiorów wyników badań emisji zanieczyszczeń i eksploatacyjnego zużycia paliwa w rozpatrywanych testach homologacyjnych. Korelację badanych zbiorów wyników ba-

dań w różnych testach homologacyjnych oceniono jako bardzo silną.

Uzasadnieniem tych wniosków jest znaczne podobieństwo warunków pracy silników spalinowych w różnych testach, oceniane na podstawie kryterium średniej prędkości jazdy samochodu – rysunek 1. Szczególnie podobne są wartości prędkości średniej w testach NEDC i FTP-75. Wartość średnia wartości średniej prędkości w testach homologacyjnych wynosi około 31 km/h, a współczynnik zmienności jest równy około 0,15.

Jednocześnie nie stwierdzono znacznej korelacji pomiędzy wynikami badań emisji drogowej zanieczyszczeń poszczególnych substancji i eksploatacyjnego zużycia paliwa.

PIŚMIENNICTWO

1. BUWAL, INFRAS AG: Luftschadstoffemissionen des Strassenverkehrs 1950–2010. BUWAL–Bericht Nr. 255, 1995.
2. 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* 2013, 154 (3). 202–207.
3. 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).
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. Kendall M.G.: A New measure of rank correlation. *Biometrika* 1938; 30. 81–89.
6. Kruskal H., Wallis W.A.: Use of ranks in one–criterion variance analysis. *Journal of the American Statistical Association* 1952; 47(260). 583–621.
7. Pearson K.: On the theory of contingency and its relation to association and normal correlation. *Drapers’ Company Research Memoirs. Biometric Ser. I.* 1904.
8. Spearman Ch.: The proof and measurement of association between two things. *American Journal of Psychology* 1904; 15. 72–101.
9. Worldwide emission standards. Passenger cars and light duty vehicles. Delphi. Innovation for the real world. 2012/2013.

THE CORRELATIVE STUDIES OF THE POLLUTANT EMISSION AND FUEL CONSUMPTION IN TYPE-APPROVAL TESTS

Abstract

The pollutant emission and fuel consumption are dependent on the operating conditions of a internal combustion engine, determined the conditions of the vehicle. Accordingly, the results of the pollutant emission and fuel consumption in various type-approval tests differ from each other. In this paper the task of evaluating whether - despite this - it is possible to compare test results of the pollutant emission and fuel con-

sumption in different type-approval tests. The analyzes found that the test results of the pollutant emission and fuel consumption in type-approval tests: European, American and Japanese, are closely correlated. At the same time it was estimated that between test results of the pollutant emission and fuel consumption is not a significant correlation.

Autorzy:

Prof. dr hab. **Zdzisław Chłopek** – Przemysłowy Instytut Motoryzacji. 01-301 Warszawa, ul. Jagiellońska 55; e-mail: Zdzislaw.Chlopek@pimot.eu; Zdzislaw.Chlopek@gmail.com; tel. +48 22 7777019; +48 603861709.

Mgr inż. **Jacek Biedrzycki** – Przemysłowy Instytut Motoryzacji. 01-301 Warszawa, ul. Jagiellońska 55; e-mail: j.biedrzycki@pimot.eu; tel. +48 22 7777191.

Mgr inż. **Jakub Lasocki** – Politechnika Warszawska. Wydział Samochodów i Maszyn Roboczych. 02-524 Warszawa, ul. Narbutta 84; e-mail: j.lasocki@simr.pw.edu.pl; tel. +48 22 8490303.

Mgr inż. **Piotr Wójcik** – Przemysłowy Instytut Motoryzacji. 01-301 Warszawa, ul. Jagiellońska 55; e-mail: p.wojcik@pimot.eu; tel. +48 22 7777191