

Prognozowanie emisji CO₂ samochodu z użyciem dyskretnej mapy warunków eksploatacji

JACEK KROPIWNICKI

Politechnika Gdańska

W pracy przedstawiono propozycję opisu warunków eksploatacji pojazdów w wybranej aglomeracji miejskiej z użyciem dyskretnej mapy warunków eksploatacji. Mapa taka umożliwia prognozowanie wybranych parametrów eksploatacyjnych pojazdów dla przyjętych dróg przejazdu oraz różnych jednostek napędowych. Głównymi parametrami wyznaczanymi z użyciem dyskretnej mapy warunków eksploatacji są: całkowita energia przeznaczana do napędu wybranego pojazdu, zużycie paliwa, czas przejazdu, średnia prędkość przejazdu, emisja CO₂. Zamieszczony w pracy przykład wykorzystania dyskretnej mapy warunków eksploatacji pokazuje możliwości porównywania alternatywnych tras przejazdu dla wybranego pojazdu, ze względu na takie kryteria, jak: czas przejazdu, zużyte paliwo lub emisja CO₂. Przykład ten pokazuje również możliwość oceny rozwiązań inżynierii drogowej, która może być w pełni miarodajna, jeżeli dostępna będzie dyskretna mapa warunków eksploatacji dla wszystkich ulic w analizowanym obszarze, a nie tylko głównych traktów komunikacyjnych.

1. Wstęp

Polska jako sygnatariusz licznych międzynarodowych porozumień w zakresie ochrony środowiska jest zobowiązana między innymi do określania emisji CO₂ oraz zużycia paliwa w skali całego kraju (w tym z transportu) i przekazywania jej wyników do wiadomości pozostałych stron porozumień [13]. Do tego celu mogą być używane zarówno modele probabilistyczne, jak również modele rozpatrujące emisję CO₂ dla każdego pojazdu indywidualnie [1, 12]. Drugie ze stosowanych podejść wymaga, oprócz rozpoznania samochodów składających się na flotę pojazdów na rozpatrywanym obszarze, również wyznaczenia kinematyki ruchu indywidualnych pojazdów lub przyjęcia alternatywnej formy opisu warunków eksploatacji pojazdu. Wykorzystując znajomość warunków eksploatacji pojazdu oraz model wiążący te warunki z przebiegowym zużyciem paliwa i emisją CO₂ można określić poszukiwane wielkości dla indywidualnego pojazdu. W niniejszej pracy skoncentrowano się na użyciu autorskiej metody do oceny warunków eksploatacji pojazdów [7, 8, 9]. Użycie tej metody poddyktowane zostało możliwością wyjątkowo dokładnego skorelowania parametru opisującego warunki eksploatacji pojazdu z przebiegowym zużyciem paliwa oraz emisją CO₂ i zostało to wykazane w dalszej części pracy. Poniżej zaprezentowany został

również przykład przygotowania i wykorzystania mapy warunków eksploatacji wybranej aglomeracji na przykładzie kilku ulic miasta Gdańska.

2. Identyfikacja rzeczywistych warunków eksploatacji

Warunki eksploatacji pojazdu identyfikowane będą za pomocą liczbowego wskaźnika energetycznego zwanego energochłonnością jednostkową Φ , który obejmuje zarówno wpływ warunków zewnętrznych, jak również styl jazdy kierowcy [7, 9, 14]. Wymienione czynniki wpływają na ilość energii mechanicznej przekazywanej kołom napędowym, która jest jednym z parametrów tworzących wspomniany wskaźnik energetyczny. Ilość energii mechanicznej przekazywanej kołom napędowym w czasie cyklu pomiarowego może wynikać w równym stopniu z zaistniałych warunków ruchu pojazdów, co ze stylu jazdy kierowcy. Z tego powodu, w zaproponowanej metodzie wspomniane czynniki są traktowane jako równoważne, a ich oddziaływanie na warunki eksploatacji pojazdu zostały ujęte w tym samym liczbowym wskaźniku energetycznym. Wartość parametru Φ dla założonego czasu trwania cyklu t_c można obliczyć korzystając z następującego równania [9]:

$$\Phi = \frac{E}{L_n \cdot m} \quad (1)$$

gdzie:

- E – energia mechaniczna dostarczona przez układ przeniesienia napędu do kół,
- L_n – droga pokonana przez pojazd w fazie napędzania przez silnik,
- m – masa całkowita pojazdu.

Miejsce eksploatacji (intensywność ruchu) oraz sposób prowadzenia pojazdu mogą być w zaproponowanej metodzie [9] jednoznacznie opisane za pomocą funkcji gęstości rozkładu parametru Φ :

$$f_\phi = f(\Phi) \quad (2)$$

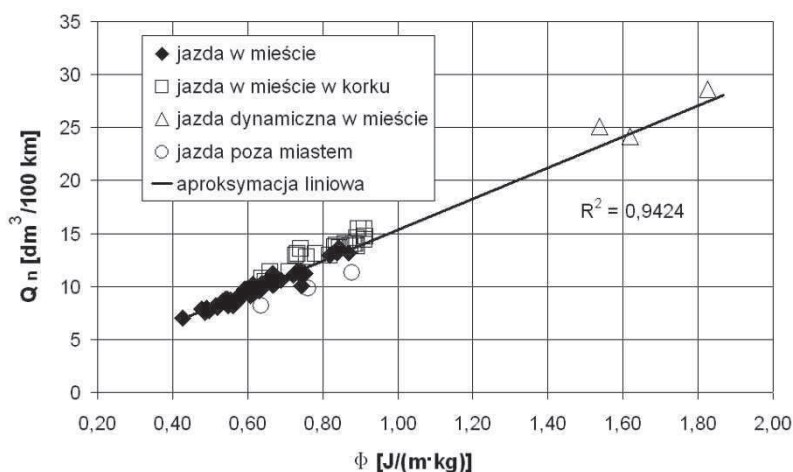
Funkcja ta może zostać wyznaczona na drodze okresowej rejestracji podstawowych parametrów opisujących warunki eksploatacji pojazdu, między innymi: prędkości obrotowej wału korbowego silnika i momentu obrotowego (z modelu układu napędowego pojazdu – w przypadku braku systemu pomiaru tego parametru), przejechanej drogi. Dla przyjętych granic zmian parametru Φ spełniony musi być ponadto warunek:

$$\int_{\phi_{\min}}^{\phi_{\max}} f_\phi d\Phi = 1 \quad (3)$$

Funkcja (2) może być używana zarówno w postaci ciągłej, jak również dyskretnej (histogramu).

3. Związek przebiegowego zużycia paliwa z energochłonnością jednostkową

Na rysunku 1 przedstawiono wpływ energochłonności jednostkowej (Φ) na przebiegowe zużycie paliwa w fazie napędowej (Q_n). Dane zostały uzyskane w czasie badań drogowych pojazdu osobowego w rzeczywistym ruchu miejskim na terenie Gdańska [12]. W sposób arbitralny warunki eksploatacji zostały podzielone na jazdę w mieście, jazdę w mieście w korku, jazdę dynamiczną w mieście oraz jazdę poza miastem.



Rys. 1. Związek przebiegowego zużycia paliwa w fazie napędowej Q_n z energochłonnością jednostkową Φ

Wyniki przedstawione na rysunku 1 pozwalają stwierdzić, iż istnieje ścisła korelacja między przebiegowym zużyciem paliwa w fazie napędowej (Q_n) a energochłonnością jednostkową (Φ) dla złożonych warunków ruchu występujących w mieście. Zależność powyższa może być aproksymowana funkcją liniową w postaci [6, 7, 8]:

$$Q_n = k_1 \cdot \Phi + k_0 \quad (4)$$

gdzie:

Q_n – przebiegowe zużycie paliwa w fazie napędowej (z wyłączeniem paliwa zużywanego przez silnik na biegu jałowym),

k_1, k_0 – współczynniki funkcji aproksymującej.

Uzyskana na drodze liniowej aproksymacji zależność może być stosowana przy zachowaniu dużej dokładności (dla danych na rys. 1 $R^2=0.942$) do prognozowania zużycia paliwa przy eksploatacji pojazdu w warunkach miejskich. W warunkach pozamiejskich, ze względu na wyjątkowo korzystne warunki pracy silnika, wyniki uży-

skane z zależności przedstawionej na rysunku 1 mogą być obarczone pewnym systematycznym błędem (mała zmienność obciążenia oraz korzystne, z punktu widzenia sprawności, położenie punktu pracy silnika [2, 4, 6, 15]).

4. Referencyjne zużycie paliwa

Wykorzystując zidentyfikowaną na drodze eksperymentalnej zależność (4) można obliczyć referencyjne zużycie paliwa dla rozpoznanych warunków eksploatacji (dla tej samej funkcji rozkładu parametru Φ (2) - w postaci dyskretnej będzie to histogram) [6]:

$$\bar{Q} = \frac{1}{L} \left\{ L_n \int_{\Phi_{\min}}^{\Phi_{\max}} [f_{\Phi}(k_1 \cdot \Phi + k_0)] d\Phi + \vartheta_{bj} + \vartheta_h \right\} \quad (5)$$

gdzie:

- Φ_{\min}, Φ_{\max} – granice zmian parametru Φ ,
- ϑ_{bj} – paliwo zużyte podczas pracy silnika na biegu jałowym,
- ϑ_h – paliwo zużyte podczas hamowania (w czasie hamowania silnikiem: $\vartheta_h \rightarrow 0$),
- L – całkowita droga przebyta przez pojazd,
- L_n – droga przebyta przez pojazd gdy był on napędzany przez silnik.

Paliwo zużyte podczas pracy silnika na biegu jałowym może być obliczone według następującej zależności:

$$\vartheta_{bj} = t_{bj} \cdot G_{bj} \quad (6)$$

gdzie:

- G_{bj} – zużycie paliwa przy pracy silnika na biegu jałowym,
- t_{bj} – czas pracy silnika na biegu jałowym.

Poprzez obliczenie referencyjnego zużycia paliwa (5) dla warunków eksploatacji zarejestrowanych za pomocą funkcji (2) możliwe jest porównanie eksploatacyjnego zużycia paliwa z referencyjnym dla rzeczywistych warunków eksploatacji. Powstanie znaczącej różnicy między eksploatacyjnym a referencyjnym zużyciem paliwa wskazuje na powstanie usterki w układzie napędowym pojazdu lub stosowaniem rażąco niewłaściwych technik jazdy samochodem, np. jazda z wybranym II biegiem w przekładni wybieralnej przy stałej prędkości 70 km/h. Metoda nie pozwala jednoznacznie zidentyfikować przyczyn powstałej różnicy. Kierowca pojazdu może natomiast na bieżąco stwierdzać, czy wzrost rejestrowanego zużycia paliwa jest uzasadniony pogarszającymi się warunkami eksploatacji (np. dynamicznym stylem jazdy).



Do obliczeń drogowej emisji CO₂ wykorzystać można metodę „bilansu węgla”, używaną do określania przebiegowego zużycia paliwa w czasie badań homologacyjnych pojazdów [11]. Pomijając wpływ drogowej emisji CO oraz HC na zużycie paliwa otrzymamy przekształconą i uproszczoną zależność [3]:

$$CO_2 = k_{CO_2} \cdot Q \cdot (10 \cdot \rho_{pal}), \quad (7)$$

gdzie k_{CO_2} – współczynnik proporcjonalności, który dla spalania całkowitego i zupełnego wynosi 3,15 [3].

5. Mapa warunków eksploatacji wybranej aglomeracji

Zaproponowana w niniejszej pracy mapa warunków eksploatacji dla wybranej aglomeracji ma umożliwić prognozowanie wybranych parametrów eksploatacyjnych oraz ich porównywanie dla alternatywnych dróg przejazdu oraz różnych jednostek napędowych. Głównymi parametrami wyznaczanymi z użyciem mapy warunków eksploatacji dla wybranej konfiguracji pojazd-droga są:

- całkowita energia przeznaczana do napędu wybranego pojazdu,
- zużycie paliwa,
- czas przejazdu,
- średnia prędkość przejazdu,
- emisja CO₂.

Zgodnie z równaniami (1), (5), (6) i (7) wyznaczenie wymienionych powyżej parametrów jest możliwe z użyciem następującego wektora parametrów:

$$Y_M = \left[\bar{\Phi}, \bar{V}, \frac{L_n}{L}, \frac{t_{bj}}{t_c} \right] \quad (8)$$

gdzie:

$\bar{\Phi}$ – średnia wartość energochłonności jednostkowej,

\bar{V} – średnia prędkość jazdy,

$\frac{L_n}{L}$ – udział drogi przejechanej w fazie napędzania przez silnik w stosunku do całkowitej drogi,

$\frac{t_{bj}}{t_c}$ – udział czasu pracy silnika na biegu jałowym w stosunku do całkowitego czasu jazdy.

Dla wybranego linowego odcinka drogi między punktami o oznaczeniach „0” i „k” mapa warunków eksploatacji powinna przyjąć formę charakterystyki wielowymiarowej w postaci:

$$Y_M|_0^k = f_M(\{\varphi_0, \lambda_0\}, \{\varphi_k, \lambda_k\}, T, D) \quad (9)$$

gdzie:

- φ_0 – szerokość geograficzna punktu startowego,
- λ_0 – długość geograficzna punktu startowego,
- φ_k – szerokość geograficzna punktu końcowego,
- λ_k – długość geograficzna punktu końcowego,
- T – dzień tygodnia. W pracy zaproponowano zbiór o 2 elementach: {dzień roboczy; weekend};
- D – pora dnia. W pracy zaproponowano zbiór o 6 elementach: $\{6^{00}-9^{00}; 9^{00}-12^{00}; 12^{00}-15^{00}; 15^{00}-18^{00}; 18^{00}-21^{00}; 21^{00}-6^{00}\}$.

Z praktycznego punktu widzenia zaproponowana mapa warunków eksploatacji powinna mieć formę dyskretną, a nie ciągłą. Analizowanie parametrów eksploatacyjnych pojazdów (np. zużycia paliwa) może mieć miejsce tylko dla istniejących i przebadanych dróg, a nie dowolnych współrzędnych geograficznych. Wybór trasy przejazdu polegać będzie na wskazaniu kolejnych, dostępnych w bazie danych, punktów charakteryzujących początek i koniec przebadanych odcinków dróg. Przebadane drogi zostaną podzielone na odcinki o stałej długości 100 m. Wyjątkiem jest tylko ostatni odcinek, którego długość wynika z różnicy długości całej trasy i skumulowanej we wcześniejszych odcinkach.

W niniejszej pracy przedstawione zostaną wyniki badań drogowych przeprowadzonych na terenie miasta Gdańska w regularnym ruchu miejskim z użyciem pojazdu osobowego wyposażonego w system pomiaru położenia GPS oraz komunikacji z siecią pokładową CAN umożliwiającą rejestrację wybranych parametrów eksploatacyjnych pojazdu. Pomiar wysokości z użyciem systemu GPS podlegał fenomenologicznej korekcie [5]. Korekta ta polegała na wykluczeniu wskazań wysokości dających pochylenie drogi wyższe niż dopuszczalne w przepisach. Metoda ta pozwala całkowicie wyeliminować wpływ fałszywych wskazań systemu na używaną w dalszych obliczeniach wysokość, w odróżnieniu od powszechnie używanych metod filtracji cyfrowej, które powodują tylko osłabienie tego wpływu. Styl jazdy kierowcy podporządkowany był stylowi prowadzenia losowo wybranego pojazdu [10]. Wybrany pojazd był „śledzony” przez pojazd testowy w celu ograniczenia wpływu indywidualnego stylu jazdy kierowcy testowego na wyniki próby. W ramach realizowanych prac przebadanych zostało 5 szlaków komunikacyjnych w centrum miasta (w tym główna 3-pasmowa arteria Trójmiasta).



Prezentowane wyniki badań dotyczą jazd przeprowadzonych w godzinach 9⁰⁰-12⁰⁰, w dni robocze, przy czym każde z badań zostało powtórzone 6-krotnie. Prezentowane poniżej wyniki dotyczą danych uśrednionych dla 7 prób, dla każdego przebadanego odcinka trasy.

Reprezentacją graficzną charakterystyki wielowymiarowej (9) będzie geograficzna mapa terenu z zaznaczonymi przebadanymi odcinkami dróg, do których przypisane zostały wyznaczone w trakcie badań drogowych wartości parametrów wektora Y_M (8). W prezentowanej pracy zamieszczono przykład takiej graficznej reprezentacji wykonanej z użyciem autorskiego oprogramowania, które na bazie map geograficznych dostępnych w aplikacji „Google Earth” kreśli przebadane odcinki tras. Wybrane wartości parametrów wektora Y_M (8) prezentowane są na rysunkach 2 i 3, przy czym określonym na drodze badań drogowych wartościom odpowiadają odpowiednie kolory. Skala wartości i odpowiadające im kolory zostały dołączone do kolejnych rysunków w postaci słupka kolorów.

6. Przykład wykorzystania mapy warunków eksploatacji do wyboru trasy przejazdu

Zamieszczony poniżej przykład wykorzystania mapy warunków eksploatacji dotyczy wyznaczenia prognozowanych parametrów eksploatacyjnych (emisja CO₂, przebiegowe zużycie paliwa, czas przejazdu itd.) wybranego samochodu osobowego wyposażonego w silnik spalinowy o zapłonie iskrowym o pojemności 1,8 dm³. Rozważano dwie trasy przejazdu z punktu o oznaczeniu „START” do punktu o oznaczeniu „KONIEC” w kierunku południowym (S). Pierwsza trasa o oznaczeniu „1S” przebiega 2-pasmową drogą o dużej przepustowości, a następnie główną 3-pasmową arterią Gdańska. Druga trasa o oznaczeniu „2S” przebiega 2-pasmową drogą o małej liczbie skrzyżowań, a następnie 1-pasmową drogą o małej przepustowości. Rozważane w niniejszym przykładzie trasy stanowią popularny szlak komunikacyjny w centrum Gdańska, który łączy nadmorskie dzielnice mieszkaniowe (Zaspa, Przymorze, Żabianka) z dzielnicami handlowo-przemysłowymi. Ze względu na większą przepustowość trasy 1S jest ona chętniej wybierana przez gdańskich kierowców, pomimo wyraźnie większej długości. W przypadku dużego natężenia ruchu, w godzinach szczytu, trasa 1S charakteryzuje się większą możliwością utrzymania płynności ruchu. Przeprowadzone badania dotyczą przejazdu w dzień roboczy w godzinach 9⁰⁰-12⁰⁰ i mają na celu rozważenie zasadności wyboru trasy dłuższej, gdy płynność ruchu wynika w głównej mierze z nastaw sygnalizacji świetlnej, a w mniejszym stopniu z natężenia ruchu. Wskazanie trasy przejazdu odbywa się poprzez wybór z dostępnej bazy danych kolejnych odcinków trasy. W przypadku, gdy zmieniana jest ulica, po której odbywa się przejazd, zastosowany program wyznacza parametry łączącego ulice odcinka poprzez uśrednienie parametrów odcinków łączonych.

Wykorzystując dane zawarte w mapie warunków eksploatacji (9) oraz równania (1), (5), (6) i (7) wyznaczone zostały dla zadanych tras przejazdu prognozowane parametry eksploatacyjne pojazdu. Wyniki obliczeń zamieszczone zostały w tabeli 1.

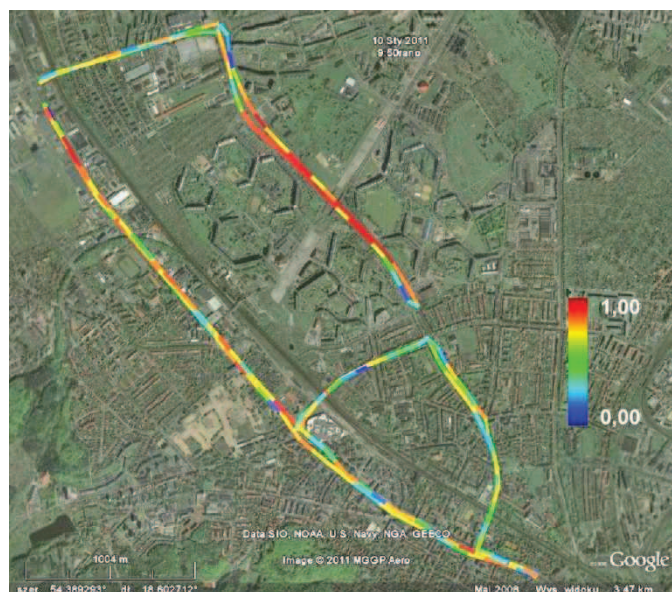


Tabela 1. Ogólna charakterystyka zdanych tras i prognozowane parametry eksploatacyjne wybranego pojazdu

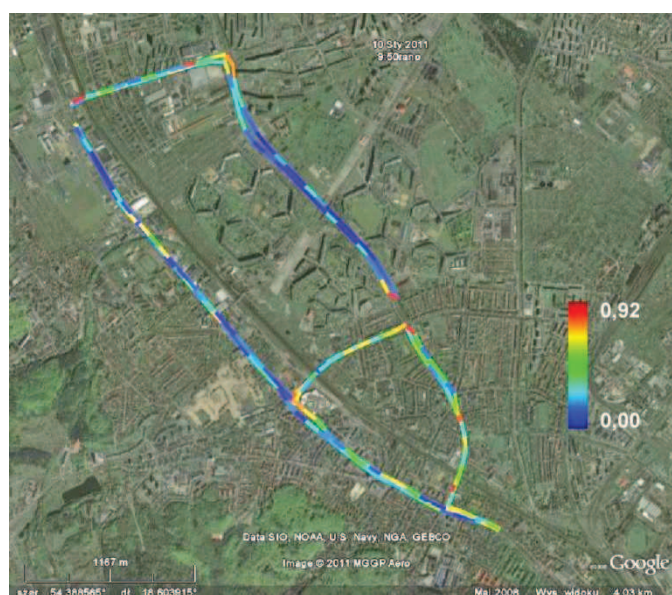
Trasa	Droga [m]	Czas [s]	Zużyte paliwo [dm ³]	Q [dm ³ /100 km]	CO_2 [g/km]	\bar{v} [km/h]
1S	5425	545	0.395	7.29	171	35,8
2S	4049	480	0.310	7.66	180	30,3

Analizując wyniki zamieszczone w tabeli 1 można stwierdzić, że szybszą trasą przejazdu jest trasa 2S. Tej trasie odpowiadają również mniejsze zużycie paliwa i emisja CO_2 . Sytuacja powyższa ma miejsce w godzinach poza szczytem komunikacyjnym, dlatego też nastawy sygnalizacji świetlnej oraz długość trasy mają decydujący wpływ na czas przejazdu, a wybór trasy dłuższej będzie w tym wypadku nieuzasadniony.

Na podstawie graficznej formy prezentacji wyników (rys. 4 i 5) można natomiast przeprowadzić analizę, w zakresie oceny zastosowanych rozwiązań inżynierii drogowej. Przy tej ocenie zdecydowano się wykorzystać jako kryterium emisję CO_2 . Przykładowo na rysunku 5 na trasie 2S, 3,5 km od punktu startowego zauważyć można odcinek o dużej emisji CO_2 (kolor pomarańczowy – ok. 500 g/km). Wskazany odcinek drogi występuje na skrzyżowaniu, gdzie trasa 2S włącza się w główną 3-pasmową arterię komunikacyjną Gdańska. W tym wypadku upłynnienie ruchu poprzez wydłużenie fazy światła zielonego dla kierunku trasy 2S wydaje się być racjonalnym rozwiązaniem, gdyż na rozważanym skrzyżowaniu droga odpowiadająca kierunkowi 1S odznacza się stosunkowo niską emisją CO_2 (ok. 120 g/km). Regulacja taka powinna być jednak poprzedzona analizą potencjalnych skutków dla przeciwnego kierunku ruchu.



Rys. 2. Mapa warunków eksploatacji – udział drogi przejechanej w fazie napędzania przez silnik w stosunku do całkowitej drogi (L_n/L)



Rys. 3. Mapa warunków eksploatacji – udział czasu pracy silnika na biegu jałowym w stosunku do całkowitego czasu jazdy (t_{bj}/t_c)



Rys. 4. Średnia prędkość jazdy na trasach: 1S i 2S

Rys. 5. Emisja CO₂ na trasach: 1S i 2S

7. Wnioski

Zaproponowana w pracy metoda tworzenia mapy warunków eksploatacji dla wybranej aglomeracji może zostać przeprowadzona przy wykorzystaniu tanich i prostych w obsłudze urządzeń. Podstawowym urządzeniem badawczym jest pojazd samochodowy wyposażony w system pomiaru położenia GPS z układem korekty wskazań wysokości [5] i rejestracji parametrów jazdy. Zastosowana metoda „śledzenia” wybranego losowo pojazdu w ruchu przez pojazd testowy ma na celu ograniczenie wpływu indywidualnego stylu jazdy kierowcy testowego na wyniki próby.

Zamieszczony w pracy przykład wykorzystania mapy warunków eksploatacji pokazuje możliwości porównywania alternatywnych tras przejazdu dla wybranego pojazdu, ze względu na takie kryteria, jak: czas przejazdu, zużyte paliwo lub emisja CO₂. Przykład ten pokazuje również możliwość oceny rozwiązań inżynierii drogowej, która może być w pełni miarodajna, jeżeli dostępna będzie mapa warunków eksploatacji dla wszystkich ulic w analizowanym obszarze, a nie tylko głównych traktów komunikacyjnych.

Literatura

- [1] CHŁOPEK Z.: *Modelowanie emisji zanieczyszczeń z pojazdów poruszających się na skrzyżowaniach*. Archiwum Motoryzacji, PWN Warszawa 2002, Nr 4, ss. 189-204.
- [2] COMBE T., KOLLREIDER A., RIEL A., [et al.]: *Modellabbildung des Antriebsstrangs-Echtzeitsimulation der Fahrzeuglaengsdynamik*. MTZ 1/2005, ss. 50-59.
- [3] GAO Y., CHECKEL M. D.: *Experimental Measurement of On-Road CO₂ Emission and Fuel Consumption Functions*. SAE World Congress & Exhibition, April 2007, Detroit, MI, USA, Session: Life Cycle Analysis/Energy or Emissions Modeling. SAE 2007, 2007-01-1610.
- [4] KRETZSCH M., GÜNTHER M., ELSNER N., [et al.]: *Modellansätze für die virtuelle Applikation von Motorsteuergeräten*. MTZ 09/2009: 665-670.
- [5] KROPIWNICKI J., KNEBA Z.: *Phenomenological correction of height above ground level of vehicle derived from GPS system*. 6th International Conference MECHATRONIC SYSTEMS AND MATERIALS, 5 – 8 July 2010, Opole.
- [6] KROPIWNICKI J.: *Identyfikacja rzeczywistych warunków eksploatacji samochodu z użyciem energochłonności jednostkowej*. Archiwum Motoryzacji 3/2010, ss. 153-166.
- [7] KROPIWNICKI J.: *Koncepcja nowego testu energetycznego dla pojazdów samochodowych*. Archiwum Motoryzacji. 2/2007, s. 169-183.
- [8] KROPIWNICKI J.: *Możliwości parametrycznej identyfikacji warunków eksploatacji pojazdu samochodowego*. Journal of KONES: Powertrain and Transport. Vol. 15, nr 4 (2008), ss. 289-296.
- [9] KROPIWNICKI J.: *identification of real vehicle operating conditions*. FISITA 2010 World Automotive Congress, Budapest 2010, F2010-G-004.
- [10] KULKARNI A. V., SAPRE R. R., SONCHAL CH. P.: *Gps-Based Methodology for Drive Cycle Determination*. SAE 2005 World Congress & Exhibition, April 2005, Detroit, MI, USA, Session: Testing and Instrumentation (Part 1 & 2). SAE 2005, 2005-01-1060.
- [11] MERKISZ J.: *Ekologiczne problemy silników spalinowych*. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 1998.
- [12] RADZIMIRSKI S., TAUBERT S.: *Określanie wskaźników emisji zanieczyszczeń z pojazdów w rzeczywistych warunkach eksploatacji metodą macierzy emisji*. Zeszyty Naukowe Instytutu Transportu Samochodowego, Zeszyt 96, Warszawa 2004, ss.133-139.



- [13] RADZIMIRSKI S.: *Monitoring zużycia paliwa i emisji CO₂ w 2001 roku przez nowe samochody osobowe*. Zeszyty Naukowe Instytutu Transportu Samochodowego, Zeszyt 94, Warszawa 2003, ss. 147-154.
- [14] SILKA W.: *Teoria ruchu samochodu*. WNT, Warszawa 2002.
- [15] UBYSZ A.: *Energochłonność samochodu a zużycie paliwa w złożonych warunkach ruchu*. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2003.