

FILIPCZYK Jan<sup>1</sup>

## Prognozowanie zużycia paliwa na wybranej trasie przewozu

### WSTĘP

Jedną z podstawowych zasad prawidłowej eksploatacji samochodu jest dążenie do uzyskiwania jak najmniejszego zużycia paliwa przy jednoczesnym ograniczeniu do minimum intensywności zużywania się zespołów pojazdu tj. silnika, układu przeniesienia napędu, układu jezdnego itp. (zasada ekonomicznej jazdy). Zużycie paliwa zależy od przebytej drogi, wartości opałowej paliwa, energochłonności ruchu i sprawności napędu. Energochłonność ruchu zależna jest od oporów ruchu związanych z profilem drogi (wzniesienia, zakręty), warunków atmosferycznych (opady, wiatr, temperatura), własności samochodu (opory toczenia), obciążenia samochodu (masa rzeczywista samochodu), cyklu jazdy realizowanego przez kierowcę (prędkość jazdy, dostosowanie przełożenia skrzyni biegów do obciążenia silnika, sposób przyspieszenia i hamowania). Sprawność napędu zależy od parametrów nominalnych samochodu oraz jego stanu technicznego (własności rzeczywistych). Czynniki wpływające na zużycie paliwa związane z pojazdem to: typ nadwozia (opory aerodynamiczne), liczba osi, rodzaj i konstrukcja silnika, rodzaj i konstrukcja elementów układu przeniesienia napędu, masa pojazdu (masa bezwładności), rodzaj opon (opory toczenia), dodatkowe wyposażenie (klimatyzacja, ogrzewanie postojowe).

Przyjmując, że własności rzeczywiste samochodu są znane, a samochód będzie kierowany zgodnie z zasadami prawidłowego użytkowania, tj. minimalizacji zużycia układów samochodu i paliwa, to głównym czynnikiem wpływającym na energochłonność przejazdu będzie jego trasa.

Przy wyborze trasy przejazdu można brać pod uwagę minimalizację kosztów, czasu przejazdu, zużycia paliwa, emisji spalin. Zużycie paliwa przez samochód podczas wykonywania zadań przewozowych jest istotnym czynnikiem wpływającym na koszty usługi transportowej. W bezpośredni sposób wpływa na poziom emisji dwutlenku węgla oraz innych substancji zawartych w spalinach. Poziom zużycia paliwa podczas wykonywania zadania transportowego zależy od wielu czynników m.in. długości trasy, ukształtowania terenu, konstrukcji samochodu, stosunku mocy silnika do masy pojazdu z ładunkiem, sposobu jazdy, infrastruktury drogowej, natężenia ruchu.

Planując trasę przejazdu dla samochodu uwzględnia się m. in. czas w jakim zadanie transportowe powinno być wykonane, długość drogi przejazdu, szacunkowe koszty. Ilość paliwa które będzie zużyte podczas przejazdu zależy od własności trakcyjnych samochodu, średniego zużycie paliwa przez dany samochód dla różnych warunków drogowych, infrastruktury drogowej na planowanej trasie przejazdu tj. ilości i rodzajów skrzyżowań, długości odcinków prostych, ograniczeń prędkości, płynności przejazdu związanej z natężeniem ruchu, występowaniem utrudnień w ruchu.

Ważnym zagadnieniem jest także wpływ wyboru trasy i związane z tym prędkości i czasy jazdy z określonymi prędkościami na emisję spalin [3]. Nie zawsze skrócenie czasu przejazdu poprzez wybór innej trasy jest równoznaczne zmniejszeniu zużycia paliwa czy ograniczeniu emisji poszczególnych składników spalin [1].

### 1 WYBÓR TRASY PRZEJAZDU

Wybór trasy przejazdu jest ściśle związany z realizacją zadania transportowego. Z tego względu zadanie transportowe możemy podzielić na: *proste* – polegające na przewozie osób lub ładunku (przejeździe) pomiędzy danymi punktami (przystankami) bez możliwości wyboru trasy (np. komunikacja miejska), *proste z wyborem trasy* – polegające na przejeździe pomiędzy przystankami w określonej kolejności ale przy możliwości wyboru trasy przejazdu pomiędzy kolejnymi przystankami

<sup>1</sup> Politechnika Śląska, Wydział Transportu; 40-016 Katowice; ul. Krasińskiego 8.

(np. przewozy dalekobieżne) *złożone* – polegające na przejeździe pomiędzy przystankami lub po wyznaczonych odcinkach dróg bez określonej kolejności (np. rozwożenie prasy, odbiór odpadów komunalnych, odśnieżanie).

Przy założeniu sposobu kierowania samochodem przez kierowcę zgodnego z zasadami ekonomicznej jazdy, w przypadku *zadań prostych* na zużycie paliwa podczas realizacji przewozu wpływ będą miały parametry techniczne samochodu (stałe), obciążenie ładunkiem (stałe lub zmienne), długość i profil drogi (stały), infrastruktura związana z regulacją ruchu (stała), natężenie ruchu (zmienne), warunki klimatyczne (zmienne). Dla *zadania prostego z wyborem* istnieje możliwość dodatkowego wyboru tras o różnej długości przy znanych parametrach drogi i infrastrukturze. W *zadaniu złożonym* podstawową zmienną jest długość trasy przejazdu.

W przypadku optymalizacji długości trasy przejazdu pomiędzy danymi punktami problem może być zredukowany do zadania Eulera [5]. Zadanie może być rozwiązane metodami heurystycznymi, jak metoda najbliższego sąsiada, z wykorzystaniem algorytmów ewolucyjnych czy algorytmów immunologicznych [4].

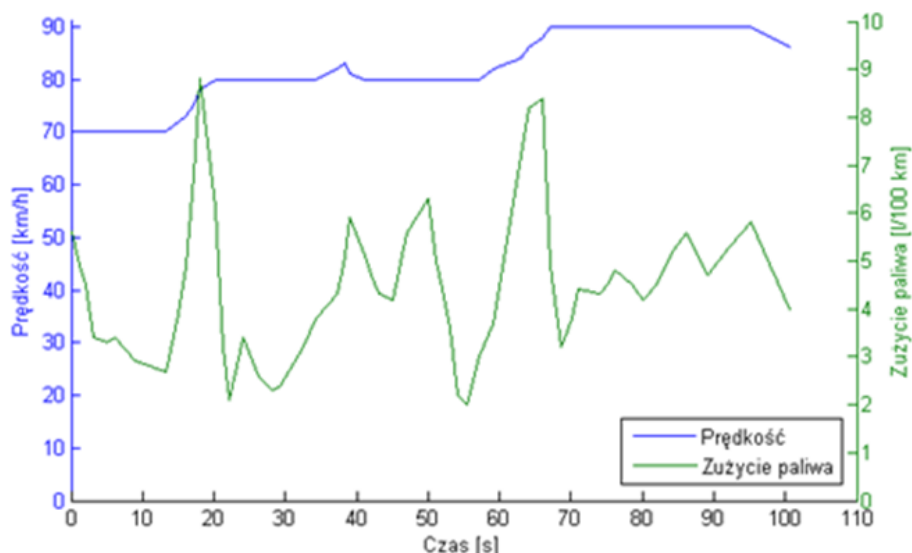
Odrębnym zagadnieniem jest optymalizacja trasy przejazdu z uwzględnieniem minimalizacji zużycia paliwa czy emisji spalin. Istnieje szereg modeli wykorzystywanych do obliczania emisji poszczególnych składników spalin w zależności od typu silnika, roku produkcji (uwzględnia się normy emisji) i prędkości jazdy. Modele różnią się sposobem obliczania emisji w stanach przejściowych prac silnika i metodami pozyskiwania podstawowych danych dotyczących zużycia paliwa i emisji podczas pomiarów wstępnych.

## 2 POMIAR ZUŻYCIA PALIWA

W celu określenia wpływu sposobu kierowania samochodem, infrastruktury drogowej, warunków atmosferycznych czy też natężenia ruchu na energochłonność przewozu, niezbędne jest przeprowadzenie pomiarów zużycia paliwa. W celu wyznaczenia średniego zużycia paliwa przez pojazd w większości przypadków wystarczający jest pomiar ilości zużytego paliwa na wyznaczonym odcinku drogi. We współczesnych samochodach można do tego celu wykorzystać przepływomierze montowane w układzie paliwowym, zliczające ilość zużytego paliwa lub metodę pomiaru „przy pełnym zbiorniku”, tzn. ilość paliwa zużytego określa się na podstawie ilości jaką należy uzupełnić w zbiorniku po przejechaniu odcinka pomiarowego. Zastosowanie tych metod jest niemożliwe przy konieczności określenia zużycia paliwa na bardzo krótkich odcinkach drogi, lub przy wykonywaniu manewrów tj. skręt, przyspieszenie, hamowanie, zatrzymanie w krótkich przedziałach czasu. Niezbędny jest wówczas pomiar chwilowy zużywanego paliwa określający ilość paliwa zużytego w jednostce czasu na jednostkę przejechanej drogi. Można do tego celu zastosować przepływomierze montowane do układów zasilania silników, wymagające przeważnie znacznej ingerencji w układy paliwowe, przetworzone dane pochodzące z komputera pokładowego samochodu, o ile znajduje się w samochodzie, przetworzone dane dotyczące parametrów pracy silnika pochodzące z systemu diagnostyki pokładowej (OBD).

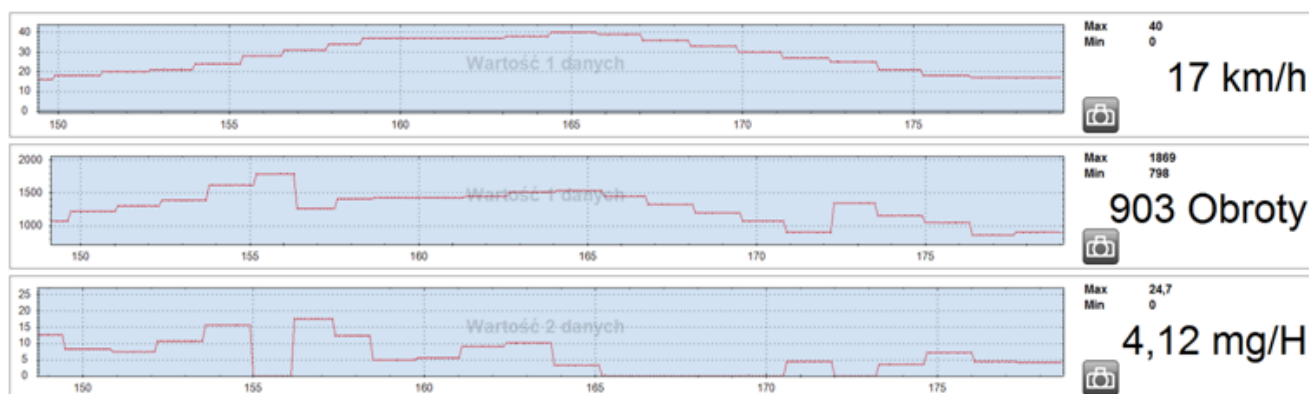
Przeprowadzono pomiary porównawcze zużycia paliwa dwiema metodami, odczytu danych z komputera pokładowego samochodu oraz parametrów odczytu parametrów pracy silnika z układu OBD. Obiektem badań był samochód osobowy z silnikiem o zapłonie samoczynnym [2].

W przypadku pierwszej metody rejestrowano co jedną sekundę obliczane przez komputer chwilowe zużycie paliwa oraz prędkość samochodu. Przykładowy wykres przebiegu zużycia paliwa w zależności od prędkości jazdy przedstawiono na rysunku 1.



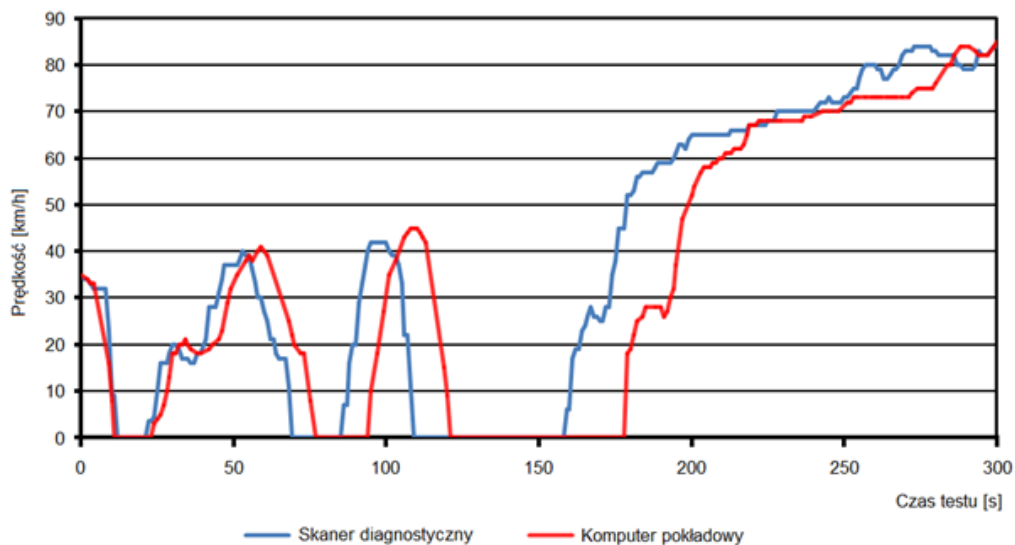
Rys. 1. Przykładowy przebieg zużycia paliwa i prędkości jazdy rejestrowany z komputera pokładowego

W drugiej metodzie rejestrowano przy pomocy skanera diagnostycznego podłączonego do układu OBD prędkość samochodu, prędkość obrotową silnika oraz wtryskiwaną dawkę paliwa na jeden cykl pracy. Przykładowy wykres wartości rejestrowanych parametrów przedstawiono na rysunku 2.

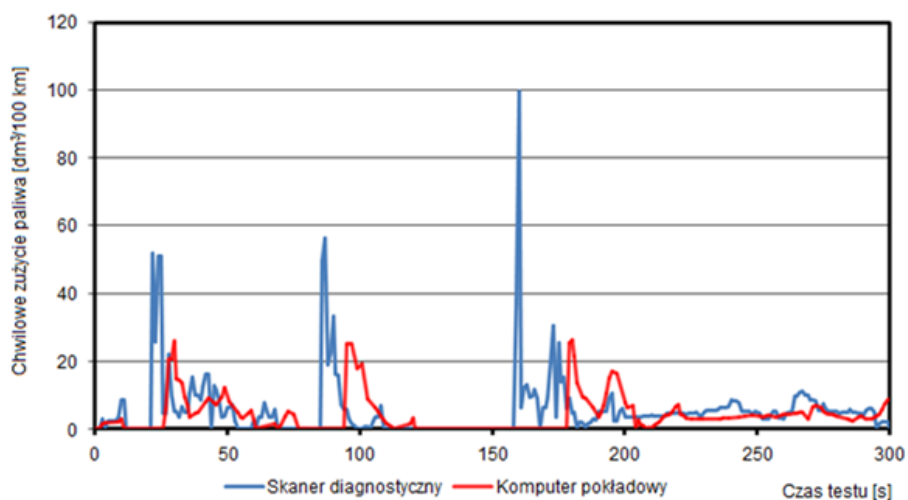


Rys. 2. Przykładowy przebieg rejestrowanych wartości przy użyciu układu OBD

Podczas przeprowadzania pomiarów porównawczych stwierdzono, że istnieje nieznaczne przesunięcie w czasie wartości rejestrowanych przy pomocy komputera pokładowego w stosunku do układu OBD (rysunek 3) oraz różnice w obliczanych wartościach chwilowego zużycia paliwa podczas ruszania samochodu (rysunek 4). Przyjęta stała czasowa rejestracji danych oraz uśrednianie wartości chwilowego zużycia paliwa przez komputer pokładowy uniemożliwiały rejestrowanie chwilowych wzrostów zużycia paliwa w przeciwieństwie do rejestracji danych pochodzących z układu OBD.



Rys. 3. Przykładowe przebiegi prędkości samochodu rejestrowane przy użyciu komputera pokładowego i układu OBD



Rys. 4. Wartości chwilowego zużycia paliwa rejestrowane podczas ruszania samochodu

Rejestrowane poprzez układ OBD chwilowe wzrosty zużycia paliwa podczas ruszania trwały kilka sekund. Jednak podczas pomiarów sumarycznego zużycia paliwa w czasie ruszania samochodu różnica pomiędzy wynikami uzyskanymi w obu metodach nie przekraczała 5%.

### 3 OKREŚLENIE ZUŻYCIA PALIWA DLA RÓŻNYCH WARUNKÓW DROGOWYCH

Jednym z głównych czynników wpływających na zużycie paliwa, zwłaszcza na trasach przebiegających przez tereny zurbanizowane, jest cykl jazdy rozumiany jako sekwencja przyspieszania, jazdy ze stałą prędkością, hamowania (silnikiem lub z wykorzystaniem układów hamulcowych względnie zwalniających) oraz zatrzymania.

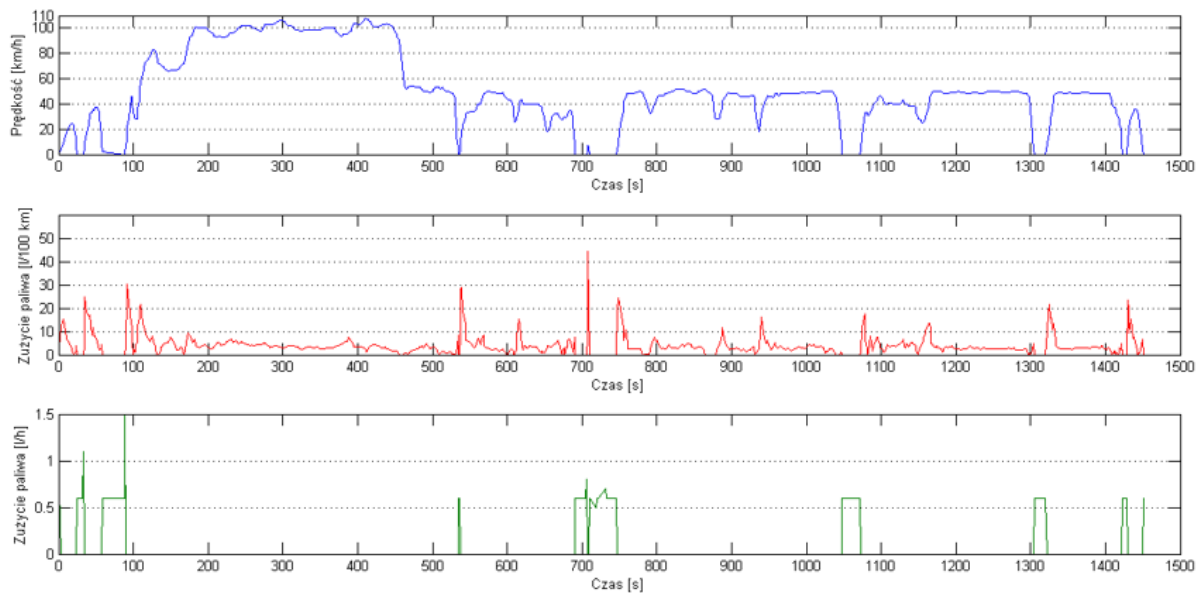
W celu określenia wpływu infrastruktury drogowej, natężenia ruchu oraz sposobu jazdy przeprowadzono pomiary chwilowego zużycia paliwa dla różnych sytuacji drogowych na różnych odcinkach drogi. Mierzono zużycie paliwa podczas wykonywania manewrów na drogach o różnym standardzie w różnych porach poszczególnych dni tygodnia. Przykładowe wyniki pomiarów dla jednego z testów przedstawiono w tabeli 1. Na podstawie przeprowadzonych pomiarów dla każdego rodzaju manewru, przy różnych prędkościach wykonywania, określono średnie ilościowe ( $\text{dm}^3$ ) i przebiegowe ( $\text{dm}^3/100\text{km}$ ) zużycie paliwa.

Tab.1. Przykładowe wyniki pomiarów zużycia paliwa na odcinku pomiarowym

L. p.	Manewr	Średnia prędkość [km/h]	Długość odcinka [m]	Średnie zużycie paliwa [dm <sup>3</sup> /100 km]	Zużycie paliwa [dm <sup>3</sup> ]
1	Start	10	19	11,17	0,00229
2	Zakręt w lewo – wyjazd z parkingu	11	12	5,9	0,00071
3	Jazda drogą z pierwszeństwem	32	258	7,12	0,01837
4	Zakręt w lewo – wyjazd z drogi podporządkowanej	10	11	3,65	0,0009
5	Przejście dla pieszych z sygnalizacją świetlną	18	15	24,9	0,00374
6	Jazda drogą z pierwszeństwem	48	1972	5,56	0,10964
7	Skrzyżowanie z sygnalizacją świetlną – skręt w prawo	34	57	4,13	0,00235
8	Jazda drogą z pierwszeństwem	44	686	5,85	0,04013
9	Skrzyżowanie z sygnalizacją świetlną – jazda prosto	9	14	17,57	0,00613
10	Jazda drogą z pierwszeństwem	55	2694	3,62	0,09752
11	Strzeżony przejazd kolejowy	11	24	6,69	0,00277
12	Jazda drogą z pierwszeństwem	35	1163	4,47	0,05197
13	Przejście dla pieszych z sygnalizacją świetlną	41	90	4,48	0,00403
14	Jazda drogą z pierwszeństwem	45	872	4,22	0,0368
15	Skręt w lewo	12	29	5,44	0,00241
16	Jazda drogą z pierwszeństwem	30	99	13,78	0,01364
17	Włączanie się do ruchu z drogi podporządkowanej	37	92	4,97	0,00457
18	Jazda drogą z pierwszeństwem	73	2314	3,01	0,06965
19	Przejście dla pieszych z sygnalizacją świetlną	65	164	2,36	0,00387
20	Jazda drogą z pierwszeństwem	74	2419	3,14	0,0756
21	Zjazd na prawy pas	79	109	2,2	0,0024
22	Jazda drogą z pierwszeństwem	58	823	1,49	0,01226
23	Zjazd na skrajny prawy pas	54	166	2,52	0,00418
24	Jazda drogą z pierwszeństwem	50	414	2,6	0,01076
25	Zakręt w prawo	8	15	16,76	0,00285
26	Jazda drogą z pierwszeństwem	23	133	4,95	0,00658
27	Skrzyżowanie z sygnalizacją świetlną – skręt w lewo	16	57	11,03	0,01045
28	Jazda drogą z pierwszeństwem	42	346	5,35	0,01851
29	Przejście dla pieszych z sygnalizacją świetlną	12	16	18,94	0,0037
30	Jazda drogą z pierwszeństwem	24	87	8,14	0,00708
31	Skrzyżowanie o ruchu okrężnym (jazda z pierwszeństwem)	31	26	3,63	0,00094
32	Jazda drogą z pierwszeństwem	29	131	1,41	0,00185
33	Skrzyżowanie z sygnalizacją świetlną – jazda prosto	4	17	5,44	0,00093
34	Jazda drogą z pierwszeństwem	35	493	3,96	0,01952
35	Skrzyżowanie z sygnalizacją świetlną – skręt w lewo	9	18	8,57	0,00288
36	Jazda drogą z pierwszeństwem	18	101	6,53	0,00659
37	Stop	7	4	5,45	0,00055

#### 4 SZACOWANIE ZUŻYCIA PALIWA

Badania przeprowadzono dla dwóch tras przejazdu łączących te same punkty w godzinach szczytu komunikacyjnego i poza szczytem, w dniu roboczym oraz w dzień wolny od pracy. Trasa krótsza miała długość 23,7 km, trasa dłuższa 28,8 km. Obie trasy przebiegały przez tereny miejskie o dużym natężeniu ruchu w godzinach szczytu. Na podstawie map satelitarnych pomiarowe trasy przejazdu podzielono na odcinki manewrów jakie kierowca musi wykonać podczas przejazdu. Na podstawie sporządzonej bazy danych zużycia paliwa przy wykonywaniu poszczególnych manewrów obliczono prognozowane zużycie paliwa. Wyniki zweryfikowano podczas przeprowadzonych prób drogowych, podczas których rejestrowano chwilowe przebiegowe zużycie paliwa (podczas jazdy) oraz godzinowe zużycie paliwa (podczas chwilowego zatrzymania w czasie jazdy). Przykładowe przebiegi rejestrowanego zużycia paliwa podczas przejazdu przedstawiono na rysunku 5. Podczas wykonywania prób drogowych kierowca przestrzegał przepisów ruchu drogowego, jechał z prędkością maksymalną dozwoloną, nie powodującą zagrożenia w ruchu drogowym.



Rys. 5. Przykładowy przebieg zużycia paliwa podczas próby drogowej

Przykładowe porównanie wyników szacowanego zużycia paliwa z wynikami pomiarów przedstawiono w tabeli 2.

Tab. 2. Przykładowe szacowane i zmierzone wartości zużycia paliwa dla odcinka pomiarowego

Odcinek pomiarowy, dzień tyg., sposób wyznaczenia	Średnie zużycie paliwa [l/100 km]	Średnia prędkość [km/h]	Czas przejazdu [min:s]	Łączny czas zatrzymań [s]	Liczba skrzyżowań z sygnalizacją/ Liczba zatrzymań na czerwonym świetle	Czas zatrzymań na czerwonym świetle [s]	Liczba przejazdów kolejowych/ czas zatrzymań przed przejazdem [s]
Dłuższy, czwartek, szacowanie	3,9	44	39:32	135	18/9	135	2/0
Dłuższy, czwartek, Pomiar	4,0	42	43:10	158	18/8	118	2/7
Dłuższy, niedziela, szacowanie	3,8	47	36:55	135	18/9	135	2/0
Dłuższy, niedziela, pomiar	3,8	46	40:12	196	18/2	190	2/0
Krótszy, czwartek, szacowanie	4,8	28	50:50	225	30/15	225	0
Krótszy, czwartek, pomiar	4,9	26	57:40	580	30/14	454	0
Krótszy, niedziela, szacowanie	4,0	35	40:40	225	30/15	225	0
Krótszy, niedziela, pomiar	4,0	34	41:06	174	30/14	312	0

Różnice pomiędzy średnimi prędkościami szacowanymi i obliczonymi dla przeprowadzonych prób drogowych wynikały głównie z rozbieżności pomiędzy szacowaniem liczby i czasu zatrzymań.

Przy szacowaniu czasu przejazdu przyjęto, że na połowie skrzyżowań z sygnalizacją świetlną kierowca będzie oczekiwał na czerwonym świetle. Średni czas oczekiwania przyjęto jako 15 s (zgodnie z pomiarami określającymi czas wykonywania manewrów). Uzyskano zadowalające wyniki w zakresie szacowania zużycia paliwa.

## WNIOSKI

Zużycie paliwa zależy od wielu czynników związanych z własnościami trakcyjnymi samochodu, długością trasy przejazdu, natężeniem ruchu i infrastrukturą drogową oraz stylem jazdy. Długość drogi przejazdu nie zawsze jest głównym czynnikiem decydującym o czasie i prędkości przejazdu zwłaszcza na trasach przebiegających przez tereny zurbanizowane cechujące się dużym natężeniem ruchu.

Możliwość w miarę dokładnego prognozowanie zużycia paliwa może mieć znaczenie zarówno przy szacowaniu kosztów przejazdu (wykonania usługi transportowej) jaki i ocenie rozwiązań komunikacyjnych w aspekcie emisji spalin i obciążenia środowiska. Przy szacowaniu zużycia paliwa istotne jest przyjęcie prawidłowych danych dotyczących chwilowego zużycia podczas wykonywania poszczególnych manewrów związanych z przejazdem przez odcinki charakterystyczne dla infrastruktury drogowej tj. pokonywanie zakrętów, przejazd przez różne typy skrzyżowań i przejazdy kolejowe. Podczas badań związanych z pozyskiwaniem danych dotyczących zużycia paliwa oraz badań porównawczych stwierdzono, że na odcinkach o dużym zagęszczeniu elementów infrastruktury powodujących uspokojenie ruchu tj. mini ronda, skrzyżowania z odpowiednio dobranymi sekwencjami działania sygnalizacji świetlnej itp., czas przejazdu jest względnie stały i w małym stopniu zależy od poziomu agresywności jazdy np. gwałtownego przyspieszania, częstej zmiany pasa ruchu itp. Sposób jazdy ma natomiast istotne znaczenie dla wartości chwilowego i średniego zużycia paliwa. Opracowanie bazy danych dotyczących energochłonności przejazdów przy zastosowaniu dostępnych technik pomiaru i rejestracji nie jest czasochłonne. Wymaga jednak przeprowadzenia badań dla różnych warunków pogodowych, w różnych porach dnia i różnych stylach jazdy. Zwiększenie możliwości wyboru typu wykonywanego manewru z bazy danych podczas obliczania prognozowanej ilości zużycia paliwa, właściwy dobór manewru do analizowanego fragmentu trasy, zwiększa dokładność otrzymanych wyników końcowych.

### Streszczenie

*W pracy przedstawiono wyniki badań dotyczących możliwości prognozowania czasu przejazdu, zużycia paliwa i związanych z tym kosztów przewozu na wybranym odcinku drogi. Ilość zużytego paliwa oblicza jest na podstawie danych dotyczących chwilowego zużycia paliwa w różnych stanach pracy silnika, bazy danych dotyczących infrastruktury drogowej oraz natężenia ruchu w różnych porach dnia. Baza danych dotyczących chwilowego zużycia paliwa została opracowana na podstawie pomiarów drogowych dla różnych parametrów ruchu (prędkość, przyspieszanie, hamowania, zatrzymanie) i obciążenia zależnego od masy rzeczywistej samochodu, profilu drogi i rodzaju wykonywanego manewru. Podczas badań rejestrowano dane z komputera pokładowego samochodu oraz parametry pracy silnika (prędkość obrotowa silnika, prędkość samochodu, czas wtrysku) mierzone przy użyciu systemu OBD. Na podstawie opracowanych baz danych przeprowadzono obliczenia prognozowanego zużycia paliwa dla przejazdu pomiędzy dwoma punktami dla różnych wariantów wyboru trasy i pory przejazdu. Wyniki obliczeń porównano z wynikami pomiarów. Badania wykazały, że istnieje możliwość szacowania kosztów przejazdu oraz emisji spalin dla samochodu na wybranym odcinku drogi z uwzględnieniem parametrów ruchu drogowego.*

## Forecasting fuel consumption on a selected transport route

### Abstract

*The paper presents the results of research concerning possibility of forecasting travel time, fuel consumption and related costs of transport on the selected route. Amount of consumed fuel has been calculated from data of momentary fuel consumption in different operating conditions of the engine, a database of road and traffic infrastructure at different times of the day. The database of momentary fuel consumption was elaborated basing on the results of road tests for different movement parameters (speed, acceleration,*

*deceleration, braking, stopping) and load which depends on the real weight of vehicle, road profile and the type of manoeuvres. Data from the on-board computer of the car as well as engine parameters (engine rotation speed, vehicle speed, fuel injection time) from OBD system have been recorded. Basing on the compiled database, the calculations of forecasted fuel consumption for the journey between the two points for different variants of the route and time of the day have been made. The calculation results were compared with the results of road tests. Studies have shown that it is possible to estimate the cost of travel and the level of exhaust emissions for a car on the selected route, taking into account traffic parameters.*

## **BIBLIOGRAFIA**

1. Ahn K., Rakha H., *The effects of route choice decision on vehicle energy consumption and emission*. Transport Research Part D, 2008, 13.
2. Koczy K., *Wpływ wyboru trasy na zużycie paliwa*. Praca dyplomowa magisterska. Politechnika Śląska Wydział Transportu, 2014.
3. Merkisz J., Jacyna M., Andrzejewski M., Pielecha J., Merkisz-Guranowska A., *Prędkość jazdy samochodem a emisja substancji szkodliwych w spalinach*. Prace naukowe Politechniki Warszawskiej, Transport, 2013, z 98.
4. Mrówczyńska B., *Optimal route scheduling for municipal waste disposal garbage trucks using evolutionary algorithm and artificial immune system*. Transport Problems 2011, vol. 6, nr 4.
5. Mrówczyńska B., *Route planning of separate waste collection on a small settlement*. Transport Problems 2014, vol. 9, nr 1.