

Aleksander UBYSZ

ALGORYTM OBLICZANIA PRZEBIEGOWEGO ZUŻYCIA PALIWA PRZEZ SAMOCHODY OSOBOWE W WARUNKACH JAZDY RZECZYWISTEJ ZA POMOCĄ WYBRANYCH CYKLI JEZDNYCH

Streszczenie. W pracy przedstawiono tok postępowania przy obliczaniu przebiegowego zużycia paliwa samochodu osobowego w warunkach jazdy rzeczywistej za pomocą wybranych cykli jezdnych: dwóch homologacyjnych i dwóch dla warunków ekstremalnych.

ALGORITHM OF MILEAGE FUEL CONSUMPTION IN CARS AT REAL DRIVING CONDITIONS TAKING INTO ACCOUNT THE SELECTED DRIVING CYCLES

Summary. The procedures of calculating the mileage fuel consumption in a car at real driving conditions taking into account the selected driving conditions have been presented in the paper.

1. WSTĘP

Problem możliwości przewidywania przebiegowego zużycia paliwa samochodu osobowego w warunkach jazdy rzeczywistej jest, obok toksyczności spalin, jednym z podstawowych dążeń projektantów i naukowców pracujących w przemyśle samochodowym. Większość prac dotyczy obliczeń symulacyjnych na krótkich odcinkach drogi o dokładnie znanym profilu i przy z góry założonym profilu prędkości jazdy [1]. W niniejszej pracy przedstawiono w postaci skróconego algorytmu tok obliczeń przebiegowego zużycia paliwa przez samochody osobowe w zróżnicowanych warunkach jazdy rzeczywistej, a więc takich, w których profile drogi i prędkości podlegają znacznemu stochastycznemu zróżnicowaniu.

Rozważania zagadnienia na modelu teoretycznym wskazują, że zużycie paliwa przy ciągłym napędzaniu kół jezdnych samochodu w złożonych warunkach drogowych w nieznanym stopniu zależy od techniki jazdy, lecz w głównej mierze od średniej jej prędkości oraz od dynamiki napędu [3, 4]. Oszczędności w zużyciu paliwa można dopiero uzyskać stosując intensywnie jazdę wybiegiem lub poprzez obniżanie dynamiki napędu na drodze stosowania kolejnych nadbiegów w skrzynce biegów, np. 6., a nawet 7. biegu. Pozwala to, analogicznie jak w samochodach ciężarowych z 10- lub 16-biegową skrzynką biegów, na eksploatację silnika w zakresie jego maksymalnej sprawności ogólnej. Dlatego też w niniejszej pracy przedstawiono, z uwagi na brak miejsca, skrócony algorytm obliczeń

przebiegowego zużycia paliwa przez samochód osobowy w warunkach jazdy rzeczywistej za pomocą wybranych cykli jezdnych – homologacyjnych i dla warunków jazdy ekstremalnej.

2. BUDOWA ALGORYTMU OBLICZENIOWEGO ZUŻYCIA PALIWA PRZEZ SAMOCHODY OSOBOWE

2.1. Rejestracja danych

Badania weryfikujące wyniki obliczeń prowadzono metodą pełnego zbiornika paliwa dla trzech samochodów osobowych. Każdy z badanych samochodów poruszał się w zmiennych warunkach atmosferycznych (różne pory roku i zróżnicowane warunki pogodowe) i zmiennych warunkach ruchu. Ponieważ zamierzono symulować przebiegowe zużycie paliwa przez samochód za pomocą przebiegowego zużycia paliwa w czterech cyklach jezdnych: dwóch homologacyjnych i dwóch dla warunków ekstremalnych (potokowego Stop & Go i autostradowego Autobahn) rejestracja danych polegała na następujących czynnościach:

- w przypadku jazdy w potoku rejestrowano drogę oraz czas przejazdu,
- niezależnie od jazdy w potoku rejestrowano całkowity czas jazdy samochodu,
- rejestrowano sumaryczny czas zatrzymań samochodu (np. na skrzyżowaniach) wymuszonych warunkami ruchu na jezdni, podczas którego silnik pracuje na biegu jałowym,
- rejestrowano takie warunki pogodowe, które mają wpływ na opory jazdy i zużycie paliwa, tj. kierunek i siła wiatru, temperatura otoczenia i stan jezdni (mokra-sucha-zaśnieżona),
- rejestrowano w czasie całego przebiegu między tankowaniami zbiornika samochodu stan jego załadowania i drogę przebytą z każdym ładunkiem.

Poza tym do programu obliczeniowego należy wprowadzić parametry samochodu wymienione na rys. 1.

<p>Wprowadzanie danych :</p> <p>STAŁE:</p> <ul style="list-style-type: none"> - wartość opałowa paliwa - gęstość paliwa - gęstość powietrza <p>PARAMETRY SAMOCHODU :</p> <ul style="list-style-type: none"> - pojemność skokowa - moc max - moment obrotowy max - prędkość max - przyspieszenie - przełożenia (przekł. głównej i poszczególnych biegów) - masa własna - wymiary czołowe (wysokość i szerokość) - współczynnik oporu powietrza C_x - współczynnik wypełnienia h - pojemność zbiornika paliwa - ogumienie

Rys.1. Pierwsza część algorytmu obliczeniowego (wprowadzanie danych)
Fig.1. First part of the calculation algorithm (data input)

2.2. Obliczenia udziałów drogi poszczególnych cykli jezdnych

Aby ustalić udziały drogowe poszczególnych cykli jezdnych, musimy poznać kryteria doboru każdego z nich. Są one następujące :

- Cykl jezdny STOP&GO posiada indywidualny charakter, gdyż można go w sposób bardzo łatwy zarejestrować w rzeczywistych warunkach ruchu. Wiadomo, że prawie w każdym przypadku poruszamy się w potoku (w nielicznych przypadkach jazda może odbywać się z prędkością większą od cyklu STOP&GO_{FAST} – w takim przypadku należy zarejestrowany odcinek drogi proporcjonalnie względem średnich prędkości rozdzielić na odcinki cykli SGF i miejskiego) [5]. Podstawą doboru udziałów przejechanej drogi w każdym z cykli STOP&GO jest średnia prędkość przejazdu oparta na podstawie przebytej drogi w potoku i czasu jej przejazdu.
- Cykl miejski, znacznie przewyższający cykl STOP&GO pod względem prędkości średniej, posiada inny charakter, występują w nim fazy przyspieszania, jazdy ze stałą prędkością, oraz hamowania i zwalniania. Zauważalny jest też znaczny udział czasu fazy zatrzymań pojazdu, bo aż 31%. Staje się on dlatego podstawowym kryterium doboru tego cyklu [3]. Na podstawie czasu postojów można określić czas przejazdu w cyklu miejskim, a znając średnią prędkość tego cyklu (18,74 km/h) można obliczyć przebytą drogę.
- Cykle jezdne drogowe i autostradowe charakteryzują znacznie większe średnie prędkości przejazdu oraz znacznie mniejszy na jednostkę przebytej drogi udział czasu zatrzymań samochodu. W ich przypadku kryterium doboru udziału jest średnia prędkość jazdy pozostałego odcinka drogi (z wyłączeniem drogi w cyklach S&G i miejskim).

Znając kryteria doboru, możemy przejść do budowy algorytmu obliczeń udziałów.

Algorytm obliczeń zużycia paliwa opiera się na dwóch zasadniczych etapach. W pierwszym z nich należy obliczyć na podstawie przyjętej charakterystyki ogólnej silnika wartości przebiegowego zużycia paliwa dla każdego z rozpatrywanych cykli jezdnych oraz zweryfikować przyjęte założenia za pomocą katalogowego zużycia paliwa samochodu. Drugi etap to wyliczenie na podstawie zarejestrowanych parametrów kinematycznych samochodu na długodystansowym odcinku przejechanej drogi udziału poszczególnych cykli jezdnych. Szczegółowy tok postępowania przy wyznaczaniu zużycia paliwa przez samochód metodą analityczną jest następujący. Pierwszym krokiem jest zgromadzenie danych o pojeździe, co omówiono we wcześniejszym punkcie opracowania.

Drugim krokiem jest rejestracja danych kinematycznych samochodu – czasu i drogi przejazdu, czasu zatrzymań, czasu i drogi przebytej w potoku, stopnia załadowania samochodu, warunków pogodowych, ewentualnych zmian aerodynamiki pojazdu.

W dalszej części należy przystąpić do określania udziałów procentowych poszczególnych cykli jezdnych w warunkach jazdy rzeczywistej. Na początku najlepiej obliczyć udział cyklu STOP&GO, ponieważ jego charakter jest bardzo indywidualny. Na podstawie średniej prędkości jazdy można wyliczyć w tym cyklu jezdny rozdział przejechanej drogi pomiędzy cykle jezdne wolny i szybki - STOP&GO_{SLOW} i STOP&GO_{FAST}. Jeśli ta prędkość jest niższa od 2,43 km/h, to uznajemy, że całość jazdy w potoku była realizowana wg cyklu STOP&GO_{SLOW}. Gdy prędkość średnia leży w wyznaczonym przedziale, dokonujemy metodą ważenia obliczenia udziału procentowego każdego z tych cykli, gdzie do wyznaczenia udziału STOP&GO_{FAST} stosujemy wzór :

$$U_{SG\text{FAST}} = 100(V_{SG} - 2,43) / 4,27 \quad (1)$$

gdzie 4,27 to różnica pomiędzy średnią prędkością obu cykli.

Może się również zdarzyć, że zarejestrowano ruch potokowy, a po obliczeniu średniej prędkości okazało się, że jest ona wyższa niż 6,71 km/h. W tym momencie pomijamy krok obliczeniowy dotyczący cyklu STOP&GO.

W przypadku, gdy cykl jezdny STOP&GO nie występuje, przechodzimy bezpośrednio do doboru cyklu miejskiego (operacja 4). Jak wcześniej wspomniano, podstawowym kryterium jest czas postojów (zatrzymań). Ponieważ w cyklu miejskim 31% czasu to czas zatrzymań pojazdu, na podstawie następującego wzoru można określić całkowity czas jazdy w tym cyklu:

$$T_M = T_P 100/31 = T_P 3,23, \quad (2)$$

gdzie T_P – czas wymuszonych postojów (zatrzymań) pojazdu.

Dalej, na podstawie średniej prędkości w cyklu miejskim można wyznaczyć drogę przebytą w tymże cyklu.

Następnie należy przejść do wyznaczenia średniej prędkości jazdy w pozostałych cyklach: drogowym i autostradowym (operacja 5). W tym celu od całkowitej drogi przejechanej przez pojazd należy odjąć drogę przebytą w potoku (jeśli wystąpiła jazda w potoku) oraz wcześniej wyliczoną ze wzoru (2) drogę cyklu miejskiego. Analogicznie postępujemy z wyznaczeniem czasu jazdy w cyklach drogowym i autostradowym.

Na podstawie wyznaczonej drogi i czasu dla cykli „szybkich” określamy średnią prędkość jazdy w tych cyklach V_{DA} .

Należy rozpatrzyć w tym momencie kilka przypadków możliwych prędkości średnich, w jakich może się znaleźć wyznaczona prędkość V_{DA} . W zależności od tego, w jakim zakresie znajduje się jej wartość, przyjmujemy do obliczeń udziały różnych cykli jezdnych (operacja 6 i 7).

Przypadek I (mało prawdopodobny) wystąpi, gdy V_{DA} jest większa od 119,2 km/h – tutaj jednoznacznie całość przejechanej drogi przypisujemy cyklowi autostradowemu. Przypadek II (najczęstszy), gdy obliczeniowa prędkość znajdzie się w przedziale pomiędzy 62,64 km/h a 119,2 km/h, to udziały procentowe cyklu drogowego i autostradowego obliczamy ze wzoru :

$$U_A = 100 (V_{D,A} - V_D) / (V_A - V_D) \quad (3)$$

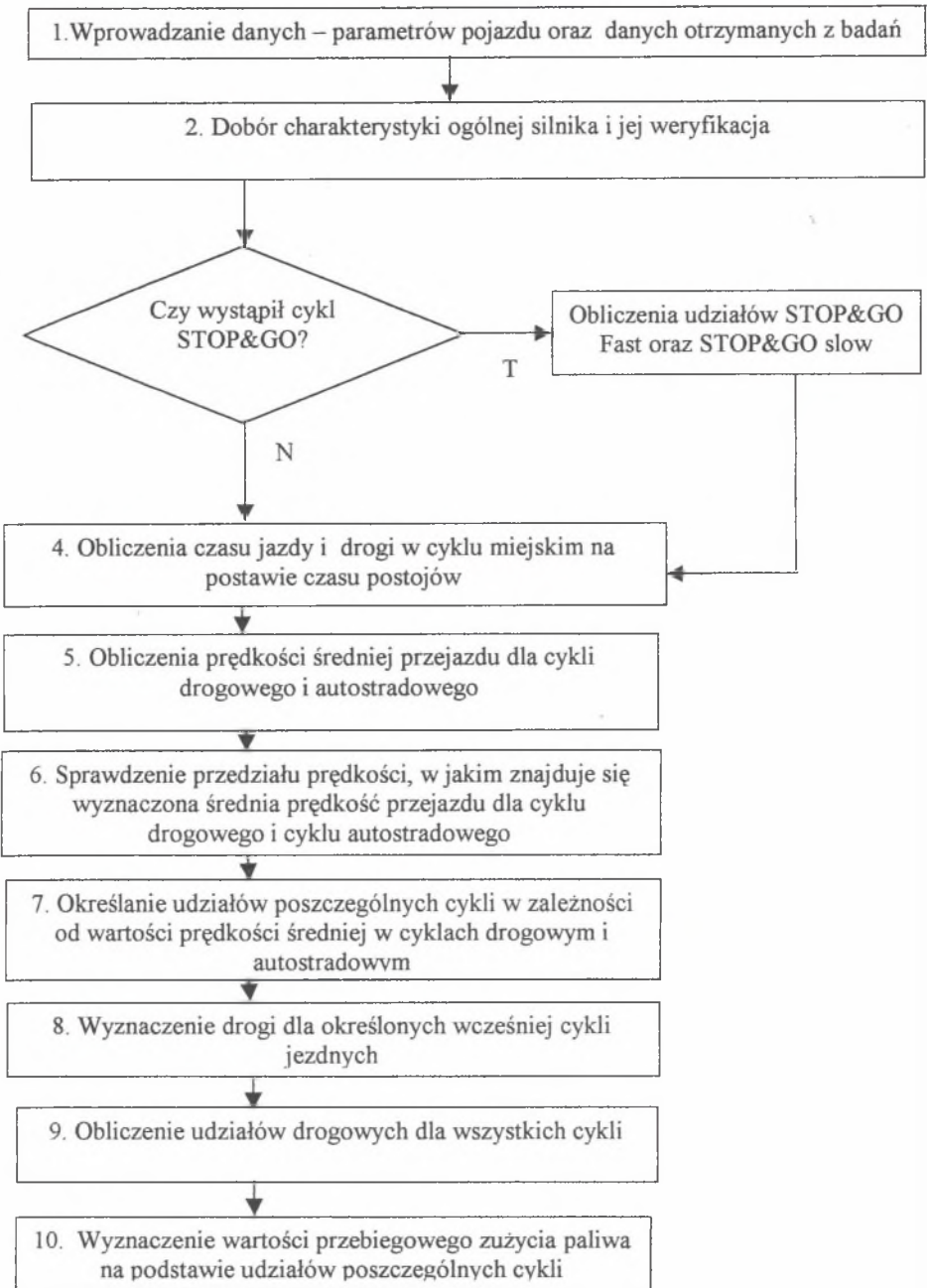
$$U_D = 1 - U_A \quad (4)$$

Może zaistnieć również przypadek, że prędkość V_{DA} znajdzie się poniżej wartości 62,64 km/h. Musimy wtedy określić udziały procentowe cykli drogowego oraz miejskiego z analogicznego wzoru dla wyznaczenia udziału cyklu drogowego :

$$U_D = 100 (V_{D,A} - V_M) / (V_D - V_M) \quad (5)$$

Po obliczeniu udziału procentowego, w każdym z wyżej omówionych przypadków należy przemnożyć dany udział przez drogę cykli „resztkowych”, najczęściej autostradowego i drogowego (operacja 8). Otrzymamy w ten sposób odcinki drogi przebyte wg określonego cyklu.

Mając już wszystkie odcinki drogi przebyte wg określonych cykli jezdnych, możemy określić ich udziały procentowe w odniesieniu do całkowitej drogi (operacja 9). Korzystając również z wcześniej wyliczonego przebiegowego zużycia paliwa dla wszystkich cykli jezdnych na podstawie ich udziałów w przejechanej drodze, możemy obliczyć średnie przebiegowe zużycie pojazdu (operacja 10).



Rys.2. Skrócony algorytm obliczania udziałów poszczególnych cykli jezdnych
 Fig. 2. Curtate algorithm of calculating the participation of individual driving cycles

Na rys.2 przedstawiono skrócony algorytm obliczania przebiegowego zużycia paliwa samochodu osobowego na długodystansowym odcinku drogi na podstawie udziału w niej wybranych cykli jezdnych z uwzględnieniem zmienności parametrów samochodu (masy, współczynników kształtu i oporów toczenia) [5].

2.3. Przykłady obliczeń

Przykład 1 (trasy: Żabnica, Gliwice, dojazdy do pracy – maj 2002):

Poniżej przedstawiono dwa z wielu przykładów obliczeń przebiegowego zużycia paliwa samochodów osobowych. Pierwszy przykład samochodu Opel Astra Kombi 1,4 16V jeżdżącego w warunkach rzeczywistych na trasie długości 326 km, z całkowitym czasem jazdy 6,72 godz., czasem wymuszonych zatrzymań 1008 s (poza jazdą w potoku) i drogą przejechaną w potoku 2900 m w czasie 1860 s (kierowca stosuje często jazdę wybiegiem).

Tok postępowania mający na celu określenie udziałów poszczególnych testów jest następujący :

1. S&G – wystąpił

Obliczamy średnią prędkość przejazdu w cyklu STOP&GO

$$V_{SG} = 1,559 \text{ [m/s]} = 5,6124 \text{ [km/h]}$$

Prędkość średnia znajduje się w przedziale pomiędzy S&G slow i S&G fast, stąd – na podstawie prędkości średniej – określamy udziały tych dwu testów [3] :

$$\begin{aligned} U_{SG \text{ fast}} &= 74,3 \% & L_{SG \text{ fast}} &= 2154,7 \text{ [m]} \\ U_{SG \text{ slow}} &= 25,7 \% & L_{SG \text{ slow}} &= 745,3 \text{ [m]} \end{aligned}$$

2. Wyznaczamy czas jazdy w cyklu miejskim na podstawie czasu postojów :

$$T_M = 3,25 T_P = 3,25 \cdot 1008 \text{ [s]} = 3251 \text{ [s]} = 0,903 \text{ h}$$

2.1. Wyznaczamy drogę w cyklu miejskim :

$$L_M = T_M \cdot 18,740 \text{ m/h} = 16926 \text{ [m]}$$

3. Droga w cyklach drogowym i autostradowym :

$$L_{D,A} = L_C - L_{SIG} - L_M = 306174 \text{ [m]}$$

4. Czas w cyklach drogowym i autostradowym :

$$T_{D,A} = T_C - T_{SIG} - T_M = 18060 \text{ [s]}$$

5. Średnia prędkość jazdy w cyklach drogowym i autostradowym

$$V_{D,A} = 16,95 \text{ [m/s]} = 61,03 \text{ [km/h]}$$

Prędkość ta jest w przedziale poniżej średniej prędkości dla cyklu drogowego, dlatego obliczono udziały dwu sąsiednich pod względem średniej prędkości cykli :

- drogowego

$$U_D = 98,9 \%$$

Droga w cyklu drogowym 300346,87 [m]

- i miejskiego

$$U_M = 1,1 \%$$

Droga w cyklu miejskim 3340,56 [m]

6. Wyznaczone udziały drogowe cykli mają wartość:

$$\begin{aligned}U_{SG} &= 0,89 \% \\U_M &= 8,66 \% \\U_D &= 90,44 \%\end{aligned}$$

Zużycie całkowite obliczeniowe średnie obliczono, z uwzględnieniem zmian w trakcie jazdy parametrów pojazdu, na podstawie wyliczonych dla określonej charakterystyki ogólnej silnika przebiegowych zużyć paliwa dla poszczególnych cykli jezdnych ($Q_{SGS} = 33,4 \text{ dm}^3/100\text{km}$, $Q_{SGF} = 20,33 \text{ dm}^3/100\text{km}$, $Q_M = 11,2 \text{ dm}^3/100\text{km}$, $Q_D = 6,44 \text{ dm}^3/100\text{km}$) i po podzieleniu przez odcinek całkowity przejechanej drogi dało wynik: $Q = 7,00 \text{ dm}^3/100\text{km}$, a przebiegowe zużycie całkowite rzeczywiste (pomierzone metodą pełnego zbiornika) – $6,65 \text{ dm}^3/100 \text{ km}$. Odchyłka obliczeń wynosi $-5,4\%$. Niższe zużycie rzeczywiste jest wynikiem stosowanej przez kierującego jazdy wybiegiem.

Przykład 2

Samochód Ford Focus 1,6 16V (kierowca nie stosuje jazdy wybiegiem). $L_C = 242.300 \text{ m}$, $T_C = 16098 \text{ s}$, czas wymuszonych zatrzymań $T_p = 1228 \text{ s}$, $L_{SG} = 3400 \text{ m}$, $T_{SG} = 2361 \text{ s}$, $V_{SG} = 1,44 \text{ m/s} = 5,2 \text{ km/h}$.

1. Na podstawie prędkości średniej określono z równania bilansu drogi udziały dwu testów SG – Fast i Slow: $U_{SGF} = 64\%$, $L_{SGF} = 2300 \text{ m}$, $U_{SGS} = 36\%$, $L_{SGS} = 1100 \text{ m}$.
2. Udział czasowy cyklu miejskiego wyznaczono na podstawie czasu zatrzymań:
 $T_m = 3,25 \cdot T_p = 3,25 \cdot 1228 \text{ s} = 3961 \text{ s}$. Udział drogowy cyklu miejskiego wyliczyć można ze wzoru $L = T_m/3600 \cdot 18.740 \text{ m/h} = 20.620 \text{ m}$.
3. Droga w cyklach drogowym i autostradowym: $L_{D,A} = L_C - L_{SG} - L_m = 218.279 \text{ m}$, a czas przejazdu w cyklach drogowym i autostradowym: $T_{D,A} = T_C - T_{SG} - T_m = 8548 \text{ s}$.
4. Średnia prędkość jazdy w cyklach drogowym i autostradowym wynosi $25,5 \text{ m/s}$, tj. $91,9 \text{ km/h}$. Prędkość ta jest wyższa niż średnia prędkość dla cyklu drogowego i mniejsza niż średnia prędkość dla cyklu autostradowego, dlatego z bilansu drogi określono udziały tych cykli: $U_A = 51,8\%$, $U_D = 48,2\%$. Stąd $L_A = 113.044 \text{ m}$, $L_D = 105.235 \text{ m}$.
5. Tak więc udziały w przejechanej drodze poszczególnych cykli jezdnych wynoszą: $U_{SG} = 1,4\%$, $U_m = 8,5\%$, $U_D = 43,41\%$, $U_A = 46,65\%$.
6. Przebiegowe zużycie paliwa dla zredukowanych wskaźników i parametrów samochodu na tej trasie dla poszczególnych cykli jezdnych wynosi: $Q_{SGS} = 33,3 \text{ dm}^3/100\text{km}$, $Q_{SGF} = 19,9 \text{ dm}^3/100\text{km}$, $Q_m = 10,96 \text{ dm}^3/100\text{km}$, $Q_D = 6,13 \text{ dm}^3/100 \text{ km}$, $Q_A = 6,4 \text{ dm}^3/100 \text{ km}$.
7. Przebiegowe zużycie paliwa obliczone wynosi $6,97 \text{ dm}^3/100 \text{ km}$, a zużycie wyliczone metodą pełnego zbiornika wynosi $7,32 \text{ dm}^3/100 \text{ km}$. Odchyłka obliczeń wynosi $4,8\%$.

*

Zaprezentowana ogólnie, poparta dwoma wybranymi przykładami, metodyka obliczeń przebiegowego zużycia paliwa samochodu osobowego w warunkach długodystansowej jazdy rzeczywistej daje obiecujące wyniki. Niewątpliwie można ją rozwijać przez uwzględnianie zmienności czynników po stronie kierującego (technika jazdy z punktu widzenia dynamiki hamowań, jazda wybiegiem), pojazdu (ilość i wpływ zimnych rozruchów silnika w funkcji temperatury otoczenia, urządzenia „Stop i Start” itd.), jak i drogi (natężenie ruchu na drodze wymuszające większy udział faz hamowania, czyli opracowanie dla polskich warunków - w miejsce cyklu autostradowego - cyklu dróg dwupasmych nie będących autostradami). Poza potrzebą jej dalszego rozwijania i udoskonalania do jej niewątpliwych zalet należy brak szczególnie dużych wymagań względem aparatury pomiarowej. W skrajnym przypadku do

pomiarów wystarczy uniwersalny chronometr ze stoperem oraz dyktafon, a to przy obecnym stanie finansów przeznaczanych na badania naukowe jest bardzo ważnym kryterium przemawiającym za ich kontynuowaniem i rozwijaniem wskazanej metodyki.

3. WNIOSKI

Jak wykazują obliczenia przebiegowego zużycia paliwa dla trzech samochodów osobowych klas w Polsce popularnych (Opel Astra 1,4 16V, Peugeot 206 i Focus 1,6) dla wielu przykładów długodystansowych marszrut drogowych z weryfikacyjnym pomiarem zużycia paliwa metodą pełnego zbiornika można wyciągnąć następujące wnioski:

1. Dla wyżej wymienionych przypadków obliczeń można stwierdzić, że przyjęta metodyka obliczeń przebiegowego zużycia paliwa przez samochody osobowe w postaci opracowanego pełnego algorytmu zdaje w pełni egzamin, o ile zadowolają nas wyniki obliczeń z dokładnością do $\pm 5\%$.
2. Wydaje się konieczne opracowanie, na wzór cykli jezdnych S&G, cykli oddających w pełni dynamikę jazdy na polskich drogach szybkiego ruchu (konieczność częstego hamowania na ograniczeniach prędkości ze względu na bezpieczeństwo ruchu), na których zużycie paliwa w stosunku do cyklu jezdno autostradowego może być o 25% wyższe.
3. Prowadzenie pomiarów nie wymaga drogiej aparatury specjalistycznej stosowanej w pomiarach (MotoGraf pracujący w systemie off-line), co pozwala na rozpowszechnienie tej metody i stosowanie w indywidualnych obliczeniach wykorzystywanych np. przez studentów.

Literatura

1. Siłka W.: Energochłonność ruchu samochodu. PWN, Warszawa 1997.
2. Hetmańczyk I.: Badania czynników decydujących o parametrach energetycznych ruchu samochodu osobowego w cyklach jezdnych. Rozprawa doktorska na Wydz. Mechanicznym Politechniki Opolskiej, grudzień 2002.
3. Ubysz A.: Przesłanki do symulacji zużycia paliwa przez samochody osobowe w warunkach jazdy rzeczywistej za pomocą wybranych cykli jezdnych. Zeszyty Naukowe Pol. Śl., seria Transport, nr 44, 2002 (w druku).
4. Ubysz A.: Energochłonność ruchu i zużycie paliwa samochodów osobowych. Wydawnictwa Politechniki Śląskiej, Monografia (w druku).
5. Ubysz A.: Opracowanie testu jezdno uniwersalnego dla ruchu w warunkach zatłoczonych ulic. ZN Politechniki Śląskiej, seria Transport, nr 42, Gliwice 2001.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Stanisław Jarnuszkiewicz

Abstract

The paper "Algorithm of mileage fuel consumption in cars at real driving conditions taking into account the selected driving cycles" presents the procedures of calculating the mileage fuel consumption in a car at real driving conditions taking into account the selected driving conditions have been.