

Aleksander UBYSZ

## PRZESŁANKI DO SYMULACJI ZUŻYCIA PALIWA PRZEZ SAMOCHODY OSOBOWE W WARUNKACH JAZDY RZECZYWISTEJ ZA POMOCĄ WYBRANYCH CYKLI JEZDNYCH

**Streszczenie.** W pracy przedstawiono, podbudowane obliczeniami symulacyjnymi na modelu teoretycznym, przesłanki przemawiające za modelowaniem zużycia paliwa przez samochód osobowy jadący w warunkach jazdy rzeczywistej za pomocą wybranych cykli jezdnych.

### SOME CIRCUMSTANCES FOR THE CAR FUEL CONSUPTION SIMULATION IN ACTUAL DRIVING CONDITIONS TAKING INTO ACCOUNT THE SELECTED DRIVING CYCLES

**Summary.** The paper presents some circumstances of modelling the car fuel consumption which prove to be advantageous. It has been assumed that the car is in actual driving conditions. Some simulation calculations have been carried out for a theoretical model and selected driving cycles have been examined.

#### 1. WSTĘP

W przemyśle samochodowym jednym z podstawowych kryteriów oceny pojazdów jest ich przebiegowe zużycie paliwa oraz toksyczność emitowanych do atmosfery spalin. Niektóre z tych kryteriów są głównym narzędziem walki konkurencyjnej na najbogatszych ekonomicznie rynkach świata.

Zagadnieniem określania przebiegowego zużycia paliwa pojazdów zajmowało się wiele ośrodków naukowych i badawczych, jednak najczęściej są to rozważania nad wpływem różnych parametrów i wskaźników na zużycie paliwa w skali mikro, tzn. na przejechanie krótkiego, o określonych ściśle parametrach, poziomego odcinka drogi [1, 2]. Niektórzy poszerzają swoje obliczenia do homologacyjnych cykli jezdnych [4, 5]. Natomiast niewiele ośrodków zajmuje się optymalizacją i obliczaniem zużycia paliwa w skali makro, tzn. na znacznej długości, zróżnicowanym odcinku drogi, odpowiadającym przebiegowi samochodu na w pełni zatankowanym zbiorniku paliwa.

Pomiar rzeczywistego zużycia paliwa łatwo może każdy obliczyć w tych warunkach metodą pełnego tankowania zbiornika, a błąd pomiaru przy tym popełniany można zminimalizować do 2-4%. Dzięki temu pomiarowi można zweryfikować każdą metodę obliczeń symulacyjnych przebiegowego zużycia paliwa przez samochód pokonujący znaczne odległości w bardzo zróżnicowanych warunkach drogowych [3].

Jak wykazały wcześniejsze obliczenia na modelu teoretycznym energochłonności ruchu i zużycia paliwa, w złożonych warunkach jazdy, samochód osobowy ma ograniczone możliwości optymalizacji zużycia paliwa [3]. Przy umiarkowanym korzystaniu z hamulców (ograniczone marnotrawstwo energii) zużycie paliwa zależy w zasadzie od dwu podstawowych czynników: dynamiki układu napędowego oraz od średniej prędkości jazdy.

Poza tym w obliczeniach symulacyjnych przebiegowego zużycia paliwa należy uwzględniać zmienność na poszczególnych odcinkach drogi takich wskaźników, jak stopień załadowania samochodu, współczynniki oporów toczenia i kształtu, czas postojów samochodu wymuszonych przez warunki na drodze i niewymuszonych, a mających czasem duży wpływ na przebiegowe zużycie samochodu z uwagi na zimny rozruch silnika.

Te i inne zagadnienia zostaną częściowo wyjaśnione w niniejszym opracowaniu.

## 2. DOBÓR CYKLI JEZDNYCH I METODYKA OBLICZEŃ PRZEBIEGOWEGO ZUŻYCIA PALIWA SAMOCHODU OSOBOWEGO

Z praktyki eksploatacyjnej samochodów osobowych wiadomo, że w zależności od warunków drogowych i od pory roku przebiegowe zużycie paliwa podlega znacznym fluktuacjom dochodzącym do 35%. Na przykład w warunkach zimowych na suchej jezdni zużycie wzrasta średnio o ok. 12-25% w stosunku do zużycia paliwa samochodem w warunkach letnich. Jest to spowodowane zwiększonym zapotrzebowaniem na energię w okresach rozgrzewania się zimnego silnika i oporów toczenia samochodu na oponach zimowych [6].

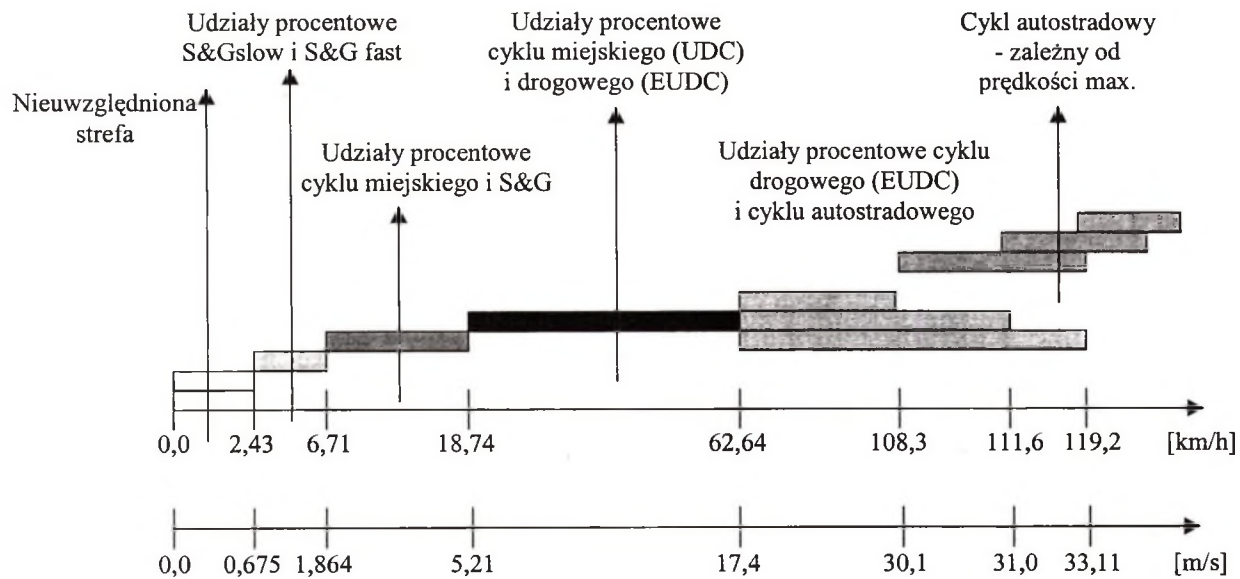
Poza tym znaczny rozrzut wartości przebiegowego zużycia paliwa spowodowany jest warunkami ruchu drogowego. Z samych danych fabrycznych samochodów wynika, że dla samochodów osobowych przebiegowe zużycie paliwa w cyklu jazdy miejskiej jest o 60-90% większe niż zużycie w cyklu drogowym (dla NEDC – New Europe Drive Cycle).

Jeszcze większe przebiegowe zużycie paliwa przez samochody występuje przy jeździe w warunkach zatłoczonych ulic (jazda w potoku). Jak wykazują badania własne autora, jazda w potoku może mieć zróżnicowany charakter i zużycie paliwa w trakcie niej może się wahać, np. dla samochodu Opel Astra Kombi ZI 1,4 16V od 25,8 do 33,5 dm/100km. Jest to zależne od średniej prędkości samochodu w potoku, która może się zmieniać od 2,43 do 6,71 km/h [6]. Jazda w potoku nosi tak indywidualny charakter, że bez najmniejszego problemu można ją wyłączyć z całości przebytej drogi pod względem jej długości i czasu na to potrzebnego.

Często na długich trasach kierowcy samochodów osobowych jeżdżą z prędkością znacznie przekraczającą 100 km/h. Ponieważ średnia prędkość jazdy, będąca podstawowym kryterium oceny wielkości przebiegowego zużycia paliwa dla samochodów osobowych, w tych przypadkach znacznie przewyższa średnią prędkość jazdy w cyklu drogowym (62,64 km/h), zachodzi więc konieczność wykorzystania cyklu o znacznie wyższej prędkości średniej przejazdu. Wymagania te spełnia niemiecki cykl autostradowy, którego 3-stopniowana - w zależności od katalogowej maksymalnej prędkości jazdy - konstrukcja pozwala na jazdę ze średnią prędkością 108,3, 111,6 i 119,2 km/h [3].

Tak więc dzięki dwu cyklom jezdnych homologacyjnym i dwu dla ekstremalnych warunków jazdy można policzyć na podstawie ich udziałów w przejechanej drodze całkowite średnie przebiegowe zużycie paliwa i wynik porównać ze zmierzonym metodą pełnego zbiornika.

Na rys.1 przedstawiono schemat możliwych do uwzględnienia w obliczeniach symulacyjnych przebiegowego zużycia paliwa samochodu osobowego zakresów średnich prędkości jazdy w poszczególnych cyklach jezdnych.



Rys. 1. Dobór cyklu jezdny w zależności od średniej prędkości jazdy

Fig. 1. Drive cycle selection depending on average drive speed

Tok obliczeń można scharakteryzować następującymi trzema krokami obliczeń:

1. Na podstawie pomiarów drogi i czasu z obliczeń wyłączamy udział w przebytej drodze cyklu potokowego (S&G Mix), na podstawie której obliczyć można zużycie całkowite paliwa na tym odcinku drogi.
2. Na podstawie wymuszonych warunkami drogowymi czasów postojów można obliczyć drogę przejechaną w cyklu jazdy miejskiej, uznając że w pozostałych dwu cyklach jezdnych czas postoju jest pomijalny.
3. Na podstawie pozostałej drogi i czasu, na podstawie prędkości średniej za pomocą równania bilansu należy obliczyć udziały w pozostałej przejechanej drodze cykli drogowego i autostradowego.

Drogę przejechaną w cyklu miejskim obliczyć można na podstawie czasu wymuszonych warunkami ruchu drogowego postojów pojazdu (z wyłączeniem postojów przy jeździe w potoku) za pomocą następującego równania:

$$L = 1,0013 \cdot t/60 \text{ [km]} \quad (1)$$

gdzie: L – droga przejechana w cyklu miejskim, km  
t - czas wymuszonych postojów, s.

W pozostałych „szybkich” cyklach jezdnych postoje przewidziane są tylko w cyklu drogowym, ale na jednostkę przejechanej drogi w stosunku do cyklu miejskiego postoje są w nim 10-krotnie mniejsze i dlatego można je uznać za pomijalne.

### 3. PROBLEM DYNAMIKI NAPĘDU SAMOCHODU I SPRAWNOŚCI SILNIKA

Dynamikę napędu najlepiej charakteryzują dwa wskaźniki: czas rozpędzania samochodu do prędkości 100 km/h oraz prędkość maksymalna rozwijana przez samochód. Każdy z nich uwzględnia zespół napędowy w całości, ale tylko dla ściśle określonego przepisanym stopnia załadowania samochodu w ściśle określonych warunkach drogowych. Mniej dokładny, bo nie uwzględniający doboru przełożeń w układzie przeniesienia napędu, ale bardziej uniwersalny, jest wskaźnik maksymalnego momentu obrotowego silnika na jednostkę masy rzeczywistej. Pozwala on na uwzględnienie zmienności dynamiki samochodu w funkcji stopnia jego załadowania.

W przypadku posiadania oryginalnej charakterystyki ogólnej silnika problem ogranicza się do odpowiedniego doboru współczynników oporów toczenia i kształtu oraz do policzenia zużycia paliwa w cyklach jezdnych homologacyjnych: miejskim i drogowym oraz porównania otrzymanych wyników z danymi producenta. Najczęściej jednak charakterystyki oryginalnej brak i dlatego należy posłużyć się metodą adaptacyjną dowolnej charakterystyki ogólnej wg zaleceń literaturowych [3]. Jako kryterium oceny adaptacji i ewentualnej jej korekty należy wykorzystać rozbieżność pomiędzy wartościami obliczeniowymi przebiegowego zużycia paliwa w cyklach homologacyjnych a danymi katalogowymi. W przypadku rozbieżności wyników powyżej  $\pm 3\%$  należy skorygować wartość izolinii jednostkowego zużycia paliwa w górę lub w dół wg wzoru:

$$g_e' = g_e \cdot g_{emin}' / g_{emin} \quad (2)$$

gdzie:  $g_e'$  – wartość jednostkowego zużycia paliwa przez silnik skorygowana,  
 $g_e$  - wartość przed korekcją,



$G_{emin}'$  - wartość minimalna („oczka”) jednostkowego zużycia paliwa silnika po korekcji,  
 $G_{emin}$  - wartość minimalna przed korekcją.

Doświadczenia własne autora wskazują na uniwersalność tej metody pod warunkiem że adaptacji podlegają charakterystyki tej samej grupy silników (ZI, ZS), poza silnikami ZI GDI, do których stosuje się wyjątek [5,7,8].

Powyżej przedstawiono w jaki sposób uwzględnić można sprawność silnika wyrażoną przez jego charakterystykę ogólną. Natomiast dynamikę napędu uwzględnia się na charakterystyce ogólnej przez przeskalowanie osi momentu obrotowego do wartości maksymalnej dla rozpatrywanego silnika [3].

### 3.1. Uwzględnienie zmienności masy pojazdu na zużycie paliwa

Ponieważ samochód w warunkach rzeczywistych najczęściej obciążony jest ładunkiem odbiegającym od masy przewidzianej przepisami w badaniach homologacyjnych, dlatego przewidziano dwie metody uwzględniania nadwyżki masy. W każdej z tych metod otrzymujemy identyczne wyniki. Pierwsza, bardziej pracochłonna, opiera się na wykorzystaniu wpływu masy na poszczególne składowe oporów ruchu pojazdu uwzględniających masę dla każdego z czterech rozpatrywanych cykli jezdnych. Są to następujące zależności [3]:

#### Metoda A

Dla samochodów z silnikami ZI

- dla cyklu jazdy miejskiej

$$\Delta Q = 0,623 \cdot Q_m \cdot \Delta m / m_b$$

gdzie  $Q$  – zużycie paliwa dla określonego obciążenia samochodu  $m_b$  [l/100 km]

$\Delta m$  – różnica masy rozpatrywanej samochodu względem badawczej

- dla cyklu jazdy drogowej

$$\Delta Q = 0,561 Q_D \cdot \Delta m / m_b$$

- dla cykli jezdnych w warunkach zatłoczonych ulic – STOP&GO

$$\Delta Q = 0,681 Q_{SGF} \cdot \Delta m / m_b$$

$$\Delta Q = 0,344 Q_{SGS} \cdot \Delta m / m_b$$

- dla cyklu autostradowego

$$\Delta Q = 0,212 Q_{AB} \cdot \Delta m / m_b$$

Ta metoda uwzględniania zmienności masy ładunku jest dosyć kłopotliwa ze względu na konieczność określania procentowych udziałów odcinków drogi przebytych z określonym załadowaniem, a następnie na tej podstawie udziałów przyrostu zużycia paliwa  $\Delta Q$  dla poszczególnych cykli. Dalej należy zsumować wszystkie udziały  $\Delta Q$  i dodać do określonych wartości przebiegowego zużycia paliwa. Następnie wzięto pod uwagę te wartości pomijając

wcześniej wyznaczone dla masy pojazdu powiększonej jedynie o 75 kg kierowcy. Ponieważ metoda ta jest dość kłopotliwa, a daje wyniki identyczne do metody drugiej, więc równania odpowiadające silnikom ZS, ze względu na szczupłość miejsca, pominięto [3], a przedstawiono równanie na wyznaczenie masy zredukowanej (średniej) dla wszystkich odcinków pomiarowych przejechanej drogi o zróżnicowanym stopniu załadowania.

### Metoda B

Druga metoda opiera się na wyznaczeniu średniej ważonej masy, z jaką przebyliśmy określoną drogę, gdzie wystąpiły różnej długości odcinki z różnym załadowaniem.

Średnią tę wyznaczamy ze wzoru:

$$m^{-} = \Sigma L_i m_i / L_c$$

gdzie:  $L_i$  – określony odcinek drogi,

$m_i$  – masa ładunku (pasażerów i/lub bagażu) na i-tym odcinku drogi,

$L_c$  – droga całkowita.

Otrzymaną wartość uśrednionej masy ładunku należy dodać do masy własnej pojazdu (w miejsce przyjmowanej wcześniej masy 75 kg) i powtórzyć obliczenia przebiegowego zużycia paliwa dla każdego z cykli jezdnych.

### 3.2. Zmienność współczynników oporów toczenia i kształtu (uwzględniana metodą B)

W przypadku współczynników oporów toczenia  $f$  i kształtu można stosować obie metody, jednak i tu zalecane jest stosowanie prostszej metody. Poza tym istnieją metody pomiaru obu współczynników w warunkach rzeczywistych z wykorzystaniem metody wybiegu ze stałą prędkością [9, 10].

W przypadku uśredniania wartości współczynnika oporów toczenia obowiązuje uniwersalny wzór:

$$f^{-} = \Sigma L_i f_i / L_c$$

gdzie  $L_i$  – określony odcinek drogi,

$f_i$  – wartość współczynnika na i-tym odcinku drogi,

$L_c$  – droga całkowita.

A w przypadku uśredniania wartości współczynnika kształtu mamy:

$$C_x = \Sigma L_i c_{x i} / L_c$$

gdzie:  $L_i$  – określony odcinek drogi,

$c_{x i}$  – wartość współczynnika na i-tym odcinku drogi,

$L_c$  – droga całkowita.

## 4. WSPÓŁCZYNNIK $K_A$ KORYGUJĄCY ZUŻYCIE PALIWA W CYKLU AUTOSTRADOWYM W WARUNKACH KRAJOWYCH

Autor na podstawie swoich doświadczeń zauważył, że znacznie niższe przebiegowe zużycie paliwa występuje podczas jazdy autostradami krajów Europy południowej niż drogami szybkiego ruchu w kraju. Obliczenia wskazują, że rozbieżności te mogą przekraczać nawet 30%. Analogiczne wyniki otrzymano przy jeździe innymi samochodami osobowymi klas popularnych (Ford Focus 1,6 16V, Peugeot 206 1,2). Jazda drogą szybkiego ruchu na trasie Katowice-Warszawa-Katowice charakteryzuje się znacznie większą dynamiką zmian prędkości jazdy przy równocześnie niższej średniej prędkości przejazdu, większej rano w godzinach 5-9<sup>00</sup>, niższej po południu przy powrocie z Warszawy. W zasadzie celowe byłoby

opracowanie odpowiednika niemieckiego testu autostradowego dla warunków polskich dróg szybkiego ruchu. Tymczasem wprowadzono do obliczeń współczynnik korekcyjny  $K_A$  zużycia paliwa w cyklu autostradowym w warunkach krajowych.

Wprowadzenie tego współczynnika dla 10 zróżnicowanych marszrut drogowych dwu samochodów kierowanych przez kierowców o różnej technice jazdy wskazują, że optymalna jego wielkość dla rozpatrywanych przypadków wynosi 1,52. Dzięki niemu rozrzut wyników obliczeń od zużycia rzeczywistego paliwa zmniejszył się dla Forda Focusa o połowę z 13% do 7,7%. Wprowadzenie współczynnika korygującego dla samochodu Opel Astra  $K_A = 1,17$  obniżyło odchyłkę z wartości 4,7 do 2,6 %, z tym że kierujący tym pojazdem jeździ techniką wybiegu, dostosowaną do warunków na drodze. Jej udział jest dość zróżnicowany, zależnie od rodzaju trasy i warunków na drodze. Należy przypuszczać, że mniejszy współczynnik korygujący w drugim przypadku jest wynikiem oszczędności wynikających z jazdy wybiegiem.

Można więc założyć że dynamika prędkości na drogach szybkiego ruchu w jednakowym stopniu zwiększa zużycie paliwa w obu samochodach w ruchu autostradowym. Zakładając więc dla Opla Astry taki sam współczynnik korygujący jak dla Forda Focusa można policzyć jaką część drogi w cyklu autostradowym kierujący Opłem jechał wybiegiem. Wynik jest bardzo prawdopodobny, gdyż dla obliczonych 5 przypadków waha się w przedziale 0,12 – 0,23%. Tak więc otrzymany na tych 10 trasach drogowych dla dwu samochodów współczynnik korygujący zużycie paliwa samochodów osobowych w stosunku do cyklu autostradowego jest stosunkowo duży i należy go jeszcze potwierdzić dalszymi badaniami zużycia paliwa przez samochody osobowe.

## 5. WNIOSKI KOŃCOWE

Na podstawie przeprowadzonej analizy obliczeń symulacyjnych zużycia paliwa w warunkach jazdy rzeczywistej samochodu osobowego można stwierdzić, że:

1. Opracowany przez autora, złożony z dwu, cykl jezdny dla jazdy w potoku (SG Slow i SG Fast) w sposób dostatecznie dokładny odwzorowuje jadę samochodu w warunkach zatłoczonych ulic na podstawie dwu parametrów: przejechanej drogi i czasu jej przejazdu, licząc w tym czas postojów wymuszonych.
2. Symulacyjne obliczenia przebiegowego zużycia paliwa samochodu w warunkach jazdy rzeczywistej dają pozytywne wyniki dzięki wykorzystaniu cykli jezdnych o znacznym rozrzucie prędkości średniej jazdy od 2,41 km/h dla cyklu SG Slow do 119,2 km/h dla cyklu autostradowego.
3. U podstaw dokładności obliczeń symulacyjnych przebiegowego zużycia paliwa leży właściwy dobór charakterystyki ogólnej silnika, której stosunkowo prosta przeróbka jest weryfikowana za pomocą zużycia paliwa samochodu w cyklach jezdnych testów homologacyjnych.
4. Uwzględnienie zmienności masy pojazdu, współczynników oporu toczenia i kształtu polega na obliczeniu ich uśrednionej wartości, zwanej zredukowaną, wprost proporcjonalnej do wartości odpowiadającej długości przejechanej przy tej wartości drogi.
5. Większe niedokładności obliczeń przebiegowego zużycia paliwa samochodu jadącego w warunkach rzeczywistych w stosunku do zużycia obliczonego metodą pełnego zbiornika mogą występować z uwagi na przyjęty niemiecki cykl autostradowy; jazda z dużą prędkością po polskich drogach charakteryzuje się znacznie większym udziałem faz intensywnego hamowania, co na tyle zwiększa zużycie paliwa, że wymaga to wprowadzenia współczynnika korygującego zużycie paliwa w tym cyklu  $K_A = 1,51$ .

## Literatura

1. Siłka W.: *Energochłonność ruchu samochodu*. PWN, Warszawa 1997.
2. Flekiewicz M.: *Metoda prognozowania zużycia paliwa przez samochody eksploatowane w ruchu miejskim*. Praca doktorska. Politechnika Poznańska 1984.
3. Ubysz A.: *Energochłonność i zużycie paliwa w złożonych warunkach ruchu samochodu osobowego*. Monografia, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, w druku.
4. Ubysz A.: *Ocena przebiegowego zużycia paliwa samochodów osobowych z silnikami ZI wyznaczanego metodą analityczną*. Zeszyty Naukowe Pol. Śl. serii Transport, z.41, Gliwice 2000.
5. Ubysz A.: *Ocena przebiegowego zużycia paliwa samochodów osobowych z silnikami ZS wyznaczanego metodą analityczną*. Zeszyty Naukowe Pol. Śl. serii Transport, Gliwice 2001.
6. Ubysz A.: *Opracowanie testu jezdnego uniwersalnego dla ruchu w warunkach zatłoczonych ulic*. Zeszyty Naukowe Pol. Śl. serii Transport, Gliwice 2001.
7. Ubysz A.: *Sprawność napędu samochodów osobowych z silnikami ZI w cyklach jezdnych*. Zeszyty Naukowe Pol. Śl. serii Transport, z. 41, Gliwice 2000.
8. Ubysz A.: *Charakterystyka współczesnych samochodów osobowych i ich silników*. Skrypt Uczelniany nr 1964, Wydawnictwo Pol. Śl., Gliwice 1996.
9. Ubysz A.: *Analiza wyników obliczeń współczynnika oporów toczenia metodą wybiegu ze stałą prędkością*. Zeszyty Naukowe Pol. Śl. serii Transport, Gliwice 2001.
10. Ubysz A., Wilk K.: *Wybrane aspekty dokładności obliczeń współczynnika oporów toczenia metodą wybiegu ze stałą prędkością*. Zeszyty Naukowe Pol. Śląskiej, Gliwice 2002 (w druku).

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Stanisław Jarnuszkiewicz

## Abstract

The paper "Some circumstances for the car fuel consumption simulation in actual driving conditions taking into account the selected driving cycles" presents some circumstances of modelling the car fuel consumption which prove to be advantageous. It has been assumed that the car is in actual driving conditions. Some simulation calculations have been carried out for a theoretical model and selected driving cycles have been examined.

*Pracę wykonano w ramach prac własnych BW-466/RM 10-2/2002.*