

Aleksander UBYSZ
Marek DYKIER

OCENA PRZEBIEGOWEGO ZUŻYCIA PALIWA SAMOCHODÓW OSOBOWYCH

Streszczenie. W artykule scharakteryzowano różnice w przebiegowym zużyciu paliwa samochodów osobowych wg starej i nowej normy oraz podano różnice w toku jego określania na drodze analitycznej.

A CRITICAL ESTIMATION OF ROUTE FUEL CONSUMPTION IN PASSENGER CARS

Summary. In the paper, there is confronted a former norm of the route fuel consumption with norm binding nowadays and there are showed differences between them.

1. WSTĘP

W katalogach pojazdów dane dotyczące przebiegowego zużycia paliwa powinny być obliczane wg jednego obowiązującego generalnie na danym obszarze testu jeźdnego i regulaminu. W krajach Unii Europejskiej zasady przeprowadzania tych pomiarów oraz obowiązujące normy ustala Komisja ds. Emisji Pojazdów Silnikowych MVEG (Motor Vehicle Emissions Group) [1].

Dla samochodów osobowych w krajach europejskich jest w użyciu cykl, tzw. ECE, zgodny z regulaminem R15, opracowany przez Europejską Komisję Gospodarczą. Podstawowy profil prędkości tego cyklu składa się z trzech trapezowych modułów oddzielonych postojami, trwającymi po 21s, a czterokrotne powtórzenie tego 195 s profilu poprzedzone 40 s czasem rozgrzewania się samochodu składa się na tzw. miejski europejski cykl jeźdny (UDC - urban driving cycle). W porównaniu z odpowiadającym mu cyklem amerykańskim FTP-75 jest mniej dynamiczny i mniej adekwatny do złożonych warunków ruchu miejskiego, ale dzięki temu prostszy w realizacji na stanowisku i łatwy w obliczeniu [2].

2. CHARAKTERYSTYKA DANYCH PRZEBIEGOWEGO ZUŻYCIA PALIWA SAMOCHODÓW OSOBOWYCH

Od 1997 r. znajdujemy się w okresie przejściowym, w którym w katalogach podaje się dane przebiegowego zużycia paliwa samochodów wg dwu testów jezdnych: wcześniej obowiązującego regulaminu 89/491/EWG, którego dane przebiegowego zużycia paliwa nadmiernie odbiegały od zużycia rzeczywistego, co często na niekorzyść producentów samochodów kwestionowali użytkownicy, oraz obowiązującego od dwu lat rozwiniętego cyklu jezdnego zgodnego z nową normą 93/116/CE, wg którego przebiegowe zużycie paliwa jest wyższe od wcześniej obowiązującego, a więc bardziej bliskie rzeczywistemu [3].

Wynik obliczeń przebiegowego zużycia paliwa wg normy wcześniej obowiązującej operował czterema wielkościami, z których najczęściej prezentowana była wartość średniego zużycia, tzw. Euromix, będąca średnią arytmetyczną trzech wartości: zużycia paliwa w cyklu miejskim (ECE R15) oraz zużycia przebiegowego przy jeździe ze stałą prędkością 90 i 120 km/h. Na niską wartość Euromixu rzutowało szczególnie niskie zużycie paliwa przy jeździe ze stałą prędkością 90 km/h oraz - z uwagi na pominięcie 40 s okresu rozgrzewania silnika - mniejszy udział i tak już zaniżonego zużycia paliwa w cyklu miejskim. Dlatego obecna norma wyeliminowała testy stałych prędkości w stałych warunkach jazdy jako mało reprezentatywne do warunków drogowych, a w ich miejsce wprowadzono test tzw. jazdy pozamiejskiej, regulowany przepisami ECE R83 (EUDC - Extra Urban Driving Cycle: pozamiejski europejski cykl jezdny). Jego wartość w większości przypadków jest bardziej zbliżona do zużycia przebiegowego, odpowiadającego jeździe ze stałą prędkością 90 niż 120 km/h [4,16]. Decydujący o znacznym wzroście średniego zużycia paliwa obliczanym wg nowej normy jako średnia ważona (cykl kombinowany) jest cykl miejski, którego udział wzrósł z 33,33. do 37%, a 63% udziału ma cykl jazdy pozamiejskiej.

Zestawienie przebiegowego zużycia paliwa wg starej i obecnie obowiązującej normy dla wybranych modeli samochodów Audi, VW i Opel przedstawiono w tabeli 1 [4].

Zauważalne jest znacznie większe zużycie paliwa w cyklu miejskim wg nowej normy na 10 - 25%, a to ze względu na obowiązujący obecnie pomiar zużycia ze startu „zimnego”, czyli z uwzględnieniem 40 s - wcześniej pomijanego - okresu rozgrzewania się silnika na biegu jałowym. Tak więc przedstawione dane nie potwierdzają sugerowanego w literaturze węższego przedziału rozrzutu przebiegowego zużycia paliwa w cyklu jazdy miejskiej na niekorzyść nowej normy w granicach $20\pm 3\%$ [5, 6, 7]. Znacznie większy rozrzut w granicach od +10 do +25% uzasadniony jest zróżnicowanym czasem dochodzenia silnika w samochodzie

do stanu rozgrzania w wyniku stosowania rozwiązań o zróżnicowanym stopniu efektywności działania, a stosowanych ze względu na konieczność skrócenia czasu doprowadzenia katalizatora do temperatury pracy [17]. Natomiast średnie wartości przebiegowego zużycia paliwa w teście jazdy pozamiejskiej przewyższają zużycie przy jeździe ze stałą prędkością 90 km/h o 5 do 18% (patrz tabela 1).

Tabela 1

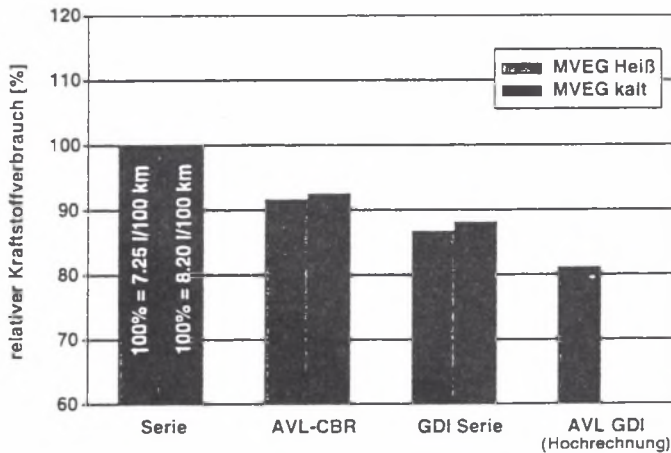
Porównanie przebiegowego zużycia paliwa obliczanego wg starej (89/491/EWG) i nowej (93/116/EC) normy dla wybranych samochodów

| Pojazd / silnik | Zużycie paliwa w $\text{dm}^3/100 \text{ km}$ | | | | | | | | |
|------------------------|---|---------|------|---------|-------------|------|----------|---------|----------------|
| | Cykl miejski | | | 90 km/h | Cykl pozam. | % | 120 km/h | Euromix | Zużycie wazone |
| | ECE | "zimny" | % | | | | | | |
| VW Polo 1,05 | 7,5 | 9,4 | 25,3 | 5,3 | 5,6 | 5,7 | 7,1 | 6,6 | 7,0 |
| VW Polo 1,0 | 6,6 | 7,7 | 16,7 | 4,8 | 4,9 | 2,1 | 6,4 | 5,9 | 5,9 |
| VW Polo 1,4 | 8,2 | 9,6 | 17,1 | 5,3 | 5,4 | 1,9 | 7,0 | 6,8 | 6,9 |
| Audi A4 1,6 | 9,7 | 11,2 | 15,5 | 5,6 | 5,9 | 5,4 | 7,2 | 7,5 | 7,9 |
| Audi A4 1,9 TDI | 6,1 | 7,0 | 14,8 | 3,9 | 4,4 | 12,8 | 5,4 | 5,1 | 5,4 |
| Audi A4 2,8 | 11,8 | 13,6 | 15,3 | 6,4 | 7,0 | 9,4 | 8,3 | 8,8 | 9,4 |
| Audi A4 1,9 TDI Avant | 6,8 | 7,8 | 14,7 | 4,1 | 4,8 | 17,1 | 5,5 | 5,5 | 5,9 |
| Audi A4 2,8 Avant | 12,1 | 13,6 | 12,4 | 6,8 | 7,0 | 2,9 | 8,3 | 9,1 | 9,4 |
| Audi A6 2,5 TDI Avant | 7,9 | 10,0 | 26,6 | 5,1 | 5,3 | 3,9 | 7,0 | 6,7 | 7,0 |
| Audi A6 1,8 20V | 10,6 | 12,1 | 14,2 | 6,1 | 6,4 | 4,9 | 7,9 | 8,2 | 8,5 |
| Audi A6 2,5 TDI | 7,5 | 9,9 | 32,0 | 4,8 | 5,3 | 10,4 | 6,7 | 6,3 | 6,9 |
| Audi A4 1,8 quattro Av | 11,0 | 13,1 | 19,1 | 6,5 | 7,2 | 10,8 | 8,2 | 8,6 | 9,4 |
| Audi A4 2,8 quattro Av | 12,7 | 14,8 | 16,5 | 6,8 | 7,9 | 16,2 | 8,7 | 9,4 | 10,4 |
| Opel Astra 1,8 | - | 10,9 | - | 5,2 | 6,0 | 15,4 | 6,7 | 4,0 | 7,8 |

Na rys. 1 przedstawiono graficzne porównanie względnego przebiegowego zużycia paliwa (wartość wazona - MVEG) samochodu z silnikami ZI o różnym systemie zasilania i spalania przy masie testowej pojazdu stałej - 1474 kg [6].

3. OBLICZANIE PRZEBIEGOWEGO ZUŻYCIA PALIWA SAMOCHODU

Obliczanie przebiegowego zużycia paliwa w cyklu jazdy miejskiej i pozamiejskiej najprościej obliczyć dzieląc odpowiednie testy jezdne na elementarne odcinki drogi przejechanej ze stałą prędkością, przy rozpędzaniu ze stałym dla danego odcinka przyspieszeniem



Rys. 1. Zróźnicowanie przebiegowego zużycia paliwa przy zimnym i gorącym starcie samochodu z silnikami ZI o różnym systemie zasilania

Fig. 1. Variation of route fuel consumption with a cold and hot start of car provided with spark ignition engine and different supply systems

oraz pozostałe, do których zaliczyć należy postoje, hamowanie i przełączanie biegów, podczas których silnik pracuje praktycznie na biegu luzem [9, 10].

Znając charakterystykę ogólną silnika wg ogólnie znanego wzoru można określić dla poszczególnych odcinków zakresy pracy silnika (patrz rys. 2) i za pomocą prostego wzoru obliczyć przebiegowe zużycie paliwa [8]:

$$Q = \frac{1}{L} \left(\frac{1}{W_d} \Sigma \frac{E}{\eta_n} + G_j T_j \right), \quad [\text{dm}^3/\text{m}.],$$

gdzie: W_d - objętościowa wartość opałowa paliwa, $[\text{MJ}/\text{dm}^3]$,

E - energochłonność paliwa, $[\text{MJ}]$,

η_n - średnia sprawność napędu dla danego odcinka,

G_j - godzinowe zużycie paliwa przy pracy silnika na biegu luzem, $[\text{dm}^3/\text{h}]$,

L - droga całkowita, $[\text{m}.]$,

T_{b1} - łączny czas pracy silnika w czasie testu bez obciążenia (bieg luzem), $[\text{h}]$.

3.1. Sprawność napędu

Przedstawiony wzór służy do przybliżonego określania przebiegowego zużycia paliwa, gdyż przyjęte w nim średnie wartości parametrów i wskaźników w warunkach rzeczywistych podlegają znacznym wahaniom, często nie do końca rozpoznany. Sprawność napędu to iloczyn sprawności ogólnej silnika i układu przeniesienia napędu.

Sprawność silnika przy pracy na poszczególnych biegach można wyliczyć z bilansu mocy i w ten sposób na charakterystyce ogólnej silnika otrzymamy punkty lub odcinki pracy (przy przyspieszaniu), odpowiadające określonej sprawności ogólnej silnika. Przyjęcie takiej metody o tyle nie odpowiada rzeczywistości, że charakterystyki ogólne wyznacza się w ustalonych warunkach pracy silnika, a w obu cyklach jezdnych większość czasu silnik pracuje w warunkach nieustalonych.

Dlatego w ostatnich latach w literaturze fachowej coraz częściej w celu określenia sprawności silnika zamiast minimalnego jednostkowego zużycia paliwa, odpowiadającego prawie pełnym obciążeniom, podaje się zużycie jednostkowe odpowiadające częściowym obciążeniom, typowym dla testu jazdy miejskiej (rys. 2) - $n = 1500 \text{ min}^{-1}$, $p_e = 2,62 \text{ bara}$ [12] lub 2000 min^{-1} , $1,5 \text{ bara}$ i pozamiejskiej - 4000 min^{-1} , 5 bar [13].

Natomiast sprawność układu przeniesienia napędu, szczególnie przy ruszaniu z miejsca i zmianie biegów, podlega na tyle znacznym wahaniom, że w efekcie końcowym jej średnia wartość może przyjąć wartość znacznie niższą od tej zalecanej w literaturze - 0,63 zamiast 0,93-0,96 [8]. Jednym ze sposobów uwzględnienia strat poślizgu na sprzęgle w czasie ruszania z miejsca i zmiany biegów jest uwzględnienie strat pracy tarcia sprzęgła, odpowiednio 7 - 13 i 3 - 5,5 kJ (niższe wartości przy przełączaniu na wyższych biegach) [11].

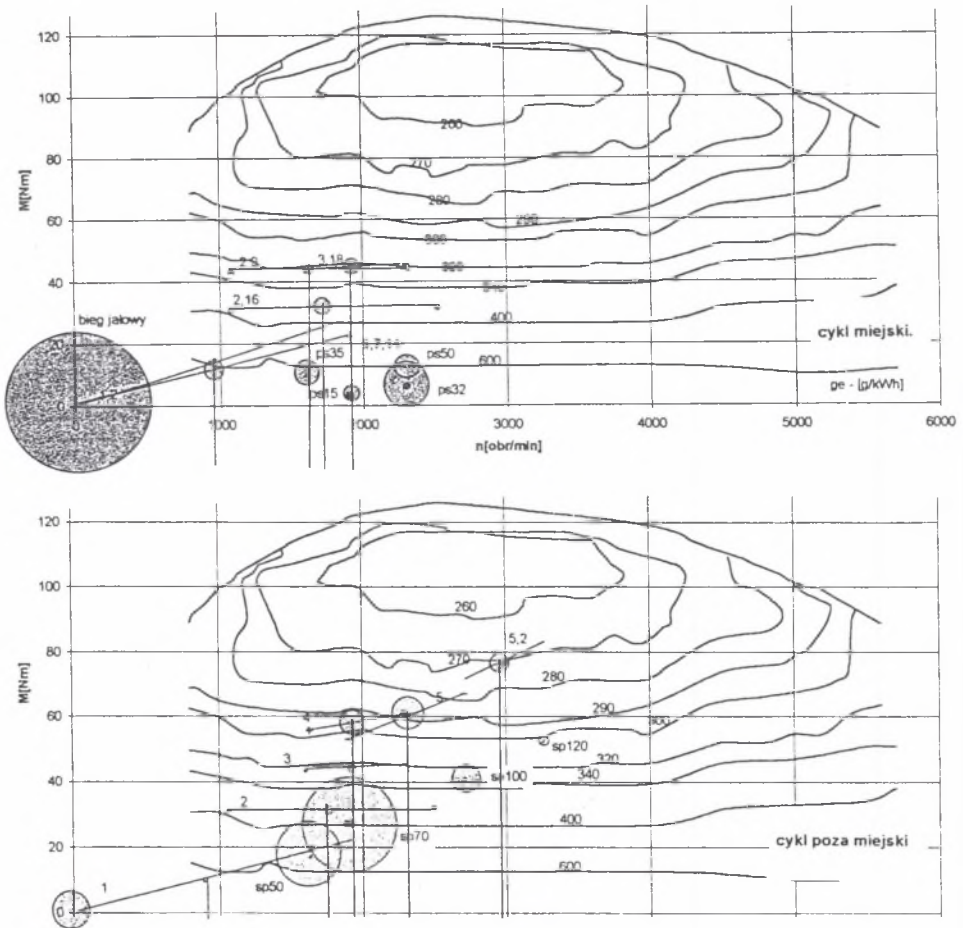
3.2. Obliczenie energochłonności ruchu

Energochłonność ruchu dla najbardziej złożonego przypadku ruchu w testach 93/116/CE, tzn. podczas rozpędzania, obliczamy wg znanego wzoru:

$$E = mgfL_n + 0,6A c_x v^2 L_n + a mL_n, \quad [\text{Nm}]$$

We wzorze tym masę pojazdu zależnie od klasy przyjmuje się jako masę własną powiększoną o 75 kg masy kierowcy z bagażem oraz masa paliwa przy zbiorniku napełnionym w 90%. Współczynnik oporów toczenia f we współczesnych samochodach osobowych waha

się w przedziale 0,010 - 0,015, a nawet dochodzi do 0,008 [14], a w samochodach ciężarowych do 0,006.



Rys. 2. Punkty pracy na charakterystyce silnika przy realizacji testów jezdnych przez VW Golf 1,6 CL

Fig. 2. Working points on engine universal characteristic for car working out of ECE R 15 and ECE R 83 drive cycles

Powierzchnia czołowa A i współczynnik oporów aerodynamicznych c_x nie pozwalają na duży margines błędów, gdyż w pierwszym przypadku prostokąt przekroju poprzecznego, wynikający z wymiarów gabarytowych, jest pomniejszony o dobrze rozpoznany współczynnik wypełnienia h , natomiast w drugim przypadku c_x mieści się dla samochodów osobowych

w dość wąskim przedziale 0,28 - 0,33, łatwym do ustalenia [3]. Człon ten ma decydujące znaczenie tylko przy jeździe z prędkością powyżej 50 km/h (cykl jazdy pozamiejskiej) i dlatego w przypadku rozpędzania pojazdu najlepiej energochłonność oporów aerodynamicznych obliczać za pomocą funkcji całkującej [7].

W trzecim członie równania, dotyczącym rozpędzania pojazdu, przyspieszenie „a” jest narzucone przez normę.

4. OBLICZANIE PRZEBIEGOWEGO ZUŻYCIA PALIWA

Pozostaje tylko problem, jak liczyć zużycie przebiegowe dla cyklu jazdy miejskiej w warunkach „zimnego” startu, w czasie gdy silnik przez pierwszych kilkadziesiąt sekund dochodzi do stabilizacji warunków pracy, dla których podawane są jego charakterystyki ogólne, pomocne w obliczaniu sprawności napędu? W tym przypadku niezbędne są wskazane wcześniej dane literaturowe [5, 6, 7] i dane z tabeli 1, określające, na ile start „zimny” wpływa na wzrost przebiegowego zużycia paliwa w stosunku do zużycia dla startu „gorącego”. Obliczone zużycie paliwa odpowiada w cyklu miejskim starej normie, nie uwzględniającej rozgrzewania zimnego silnika. Dlatego też, aby wynik obliczeń był bliski rzeczywistym wynikom mierzonym na hamowni podwoziowej, należy uwzględnić $18 \pm 7\%$ wzrost zużycia paliwa na rozgrzanie silnika oraz określone straty na sprzęgle. W silnikach nowoczesnych, spełniających normę Euro 2, obliczoną wartość powiększamy o procent z dolnego przedziału, a w przypadku braku wiedzy o silniku i pojeździe dodajemy 18-20%.

Nowa norma Euro 2 poza bardziej racjonalnym pomiarem zużycia paliwa wprowadziła również konieczność podawania - odpowiadającego temu zużyciu - emisji CO₂, odpowiedzialnego za efekt cieplarniany na Ziemi. Na podstawie emisji związków węglowych w spalinach, między innymi toksyn, można metodą bilansu węgla obliczyć z dużą dokładnością (96-98%) przebiegowe zużycie paliwa [7, 9, 15].

W ostatnich czterech latach naukowcy i producenci samochodów postawili sobie ambitne zadanie osiągnięcia przez samochody osobowe przebiegowego zużycia paliwa na poziomie do 3,0 dm³/100km [14]. Z bilansu węgla dla paliw ropopochodnych takiemu zużyciu odpowiada emisja CO₂ na poziomie 90 g/km, podczas gdy obecnie produkowane samochody mają emisję tego związku na poziomie 130-270 g/km. Celem projektu samochodu oszczędnego jest, jeżeli mamy w przyszłości najbliższej korzystać na taką skalę z paliw ropopochodnych, zredukowanie zużycia paliwa do technicznie możliwego minimum, przy równoczesnym zachowaniu emisji toksycznych związków na poziomie określonym odpowiednimi, co 5 lat

coraz bardziej rygorystycznymi, przepisami. Zużycie to jest osiągnięte przy ograniczonej prędkości maksymalnej, co - jak było do przewidzenia - wymagać będzie dodatkowych ograniczeń administracyjnych. Obecnie są już prototypy takich samochodów osobowych, w których wymagany poziom przebiegowego zużycia paliwa osiągnięto dzięki podjęciu wielokierunkowych działań, jak: zmniejszenie dzięki nowym technologiom (klejenie, nitowanie) masy pojazdu, oporów jazdy i nowym koncepcjom silników, jak np. w prototypowym samochodzie SmILE wysoko doładowany silnik ZI 0,36V2 o symbolu SAVE [14] lub już produkowany silnik ZS 1,2R3 TDI Diata do VW Lupo [18].

5. WNIOSKI

Na podstawie zaprezentowanego materiału można wyciągnąć następujące wnioski ogólne:

1. Wartości przebiegowego zużycia paliwa mierzonego w cyklu jazdy miejskiej z rozruchu „zimnego” silnika (nowa norma 93/116/EC) przewyższają o 10 - 25% przebiegowe zużycie mierzone z rozruchu „ciepłego”, a więc z rozrzutem znacznie większym niż to podają dane literaturowe - 18-22%, i to zarówno dla samochodów napędzanych silnikami ZI jak i ZS.
2. Wartości przebiegowego zużycia paliwa mierzonego w cyklu jazdy pozamiejskiej są wyższe od 4 do 15% od przebiegowego zużycia dla jazdy ze stałą prędkością 90 km/h, przy czym wyższe wartości częściej występują przy napędzie silnikami ZS.
3. W analitycznej metodzie określania przebiegowego zużycia paliwa wg nowej normy niezbędne jest w obliczeniach uwzględnienie określonego naddatku paliwa na „zimny” rozruch (tylko w cyklu jazdy miejskiej), straty energii w sprzęgle przy ruszaniu z miejsca (ok. 8 ± 2 kJ) i przy zmianie biegów na wyższe (3 - 5,5 kJ).

Literatura

1. Bielaczyc P., Merkisz J.: Tendencje w rozwoju wymagań dotyczących ograniczania emisji związków szkodliwych ze źródeł silnikowych - 1999. Konferencja „Pojazd a środowisko”, Radom 1999.
2. Chłopek Z.: Analiza testów jezdnych do celów oceny ekologicznych właściwości silników spalinowych. Konferencja „Pojazd a środowisko”, Radom 1999.
3. Ubysz A.: Characteristics of tractional total efficiency of carengines. XV-th International Symposium on Combustion Processes, Zakopane, 1997.

4. Becker N. I in.: Neue Ottomotoren für den VW Polo. MTZ nr 9, 1996.
5. Bielaczyc P., i in.: Uwagi o pomiarach zużycia paliwa w silnikach samochodowych. Archiwum Motoryzacyjne nr 1, 1996.
6. Freidl G. I in.: Directeinspritzung bei Ottomotoren: Aktuelle Trends und zukunftsige Strategien. MTZ, nr 2, 1997.
7. Chłopek Ż. I in.: Ocena ekologicznych właściwości silników spalinowych w fazie nagrzewania się i rozruchu. Konferencja „Pojazd a środowisko” Radom, 1999.
8. Siłka W.: Energochłonność ruchu samochodu. WNT, Warszawa 1997.
9. Merkiż J.: Wpływ motoryzacji na skażenie środowiska naturalnego. Wyd. Pol. Poznańskiej, Poznań, 1994.
10. Directive 94/12/EC of the European Parliament and the Council of 23 March 1994.
11. Galiewskij E., Blinow E.: Snizhenije potier w sciepleni pri razgonie ATS. Awtomobilnaja Promyslennost. Nr 9, 1987, s.12 - 13.
12. Hauser G., i in.: Der neue 1,7-l-Zetec-SE-Motor für das Sportcoupe Puma. MTZ, s.192 - 198, MTZ nr 4, 1997.
13. Breitwieser K., i in.: Der neue Vierventilmotor mit 1,6 l Hubraum von Opel. MTZ s.420-433 nr 9, 1993.
14. Guzella L., Martin R.: Das SAVE - Motorconcept. MTZ s.644-653, nr 10, 1998.
15. Abgasvorschriften für PKW (wyciąg z norm).
16. Kemmann H.: Der neue Motor mit 1,8 l Hubraum für den Opel Astra. MTZ nr 4, 1998 s.224 - 235.
17. Ubysz A.: Współczesne silniki samochodowe. Skrypt Uczelniany Politechniki Śl. nr 2118, wyd. II, Gliwice 1998.
18. LUPO - na kropelkę paliwa. AUTO - Technika Motoryzacyjna. S.6-7, nr 9, 1999.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Stanisław Jarnuszkiewicz

Wpłynęło do Redakcji 28.04.1999 r.

Abstract

A former norm of route fuel consumption was confronted with a norm binding nowadays. Differences between these norms were showed. A method of calculation and effects of various parameters on the value of route fuel consumption were introduced and analysed. The very interesting illustrations in sphere of choice of the parameters and rates, e. g. engine total efficiency and working points of car on engine universal charakteristic were presented.