

Aleksander UBYSZ

## OCENA PRZEBIEGOWEGO ZUŻYCIA PALIWA SAMOCHODÓW OSOBOWYCH Z SILNIKAMI ZS WYZNACZANEGO METODĄ ANALITYCZNĄ

**Streszczenie.** W opracowaniu przedstawiono wyniki obliczeń przebiegowego zużycia paliwa różnych klas samochodów osobowych napędzanych silnikami ZS DI ze skrzynką manualną. Obliczenia prowadzono sprawdzoną na silnikach ZI metodą doboru sprawności silnika z charakterystyki oryginalnej lub podstawionej.

### A CRITICAL ESTIMATION OF ROUTE FUEL CONSUMPTION IN PASSENGER CARS PROVIDED WITH CI ENGINE CALCULATED BY ANALYTIC METHOD

**Summary.** The results of the calculating of a route fuel consumption of passenger cars provided with supercharged CI engine and manual gear box were presented in this paper. The calculations were carried out on the basis of selection the total efficiency by means of genuine or substituted fuel consumption map. This method had been checked on the SI engines.

#### 1. WSTĘP

W ostatnich latach, w wyniku ogromnego postępu w poprawie własności eksploatacyjnych małych silników ZS DI (o wtrysku bezpośrednim), znacznie wzrosło zainteresowanie samochodami osobowymi o tym napędzie. W takich krajach, jak Austria (60%) czy Hiszpania (55%), sprzedaż takich pojazdów znacznie przewyższa sprzedaż samochodów z silnikami ZI. Jest to efekt dużej ekonomiczności silników ZS przy porównywalnej z silnikami ZI dynamice i cichobieżności. Poza tym nowa generacja systemów zasilania o na bieżąco monitorowanym procesie spalania przez EMS (Elektroniczne Moduły Sterujące) pozwala optymalizować jego przebieg pod kątem sprawności ogólnej silnika i emisji toksyn w spalinach, eliminując konieczność stosowania drogich urządzeń ekologicznych na wylocie spalin (katalizatory, filtry sadzy) [1].

Z drugiej strony silniki ZS DI mają specyficzne warunki rozgrzewania się i pracy (świece grzewcze) o zróżnicowanym stopniu turbodoładowania) w porównaniu do silników ZI i dlatego obliczanie przebiegowego zużycia paliwa wg normy 93/116/CE samochodów z tymi silnikami może wymagać innego nieco podejścia [2]. W opracowaniu tym przedstawiono wyniki takich obliczeń dla 30 samochodów różnych klas napędzanych silnikami ZS DI.

## 2. WYNIKI OBLICZEŃ

Zastosowana w stosunku do samochodów z silnikami ZI procedura obliczeniowa doskonale sprawdza się przy określaniu przebiegowego zużycia paliwa dla samochodów osobowych z silnikami ZS DI [2]. Silniki ZS o wtrysku pośrednim pominięto ze względu na regresyjny charakter ich zastosowania (w 2000 r. poniżej 30% produkcji z wyraźną tendencją spadkową).

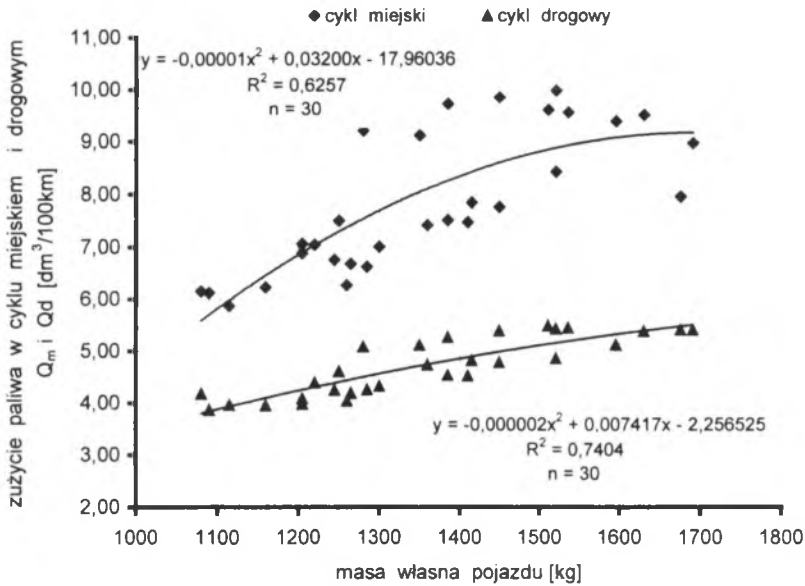
W tabeli 1 przedstawiono wyniki obliczeń przebiegowego zużycia paliwa 30 samochodów osobowych z silnikami ZS DI różnych klas w podstawowych europejskich cyklach jezdnych.

Tabela 1

Porównanie obliczonego przebiegowego zużycia paliwa z danymi producenta i określenie odchyłki obliczeń w obu cyklach jezdnych dla samochodów osobowych z silnikami ZS TDI

Marka pojazdu	Cykl miejski $Q_m$ [ $\text{dm}^3/100\text{km}$ ]			Cykl drogowy $Q_d$ [ $\text{dm}^3/100\text{km}$ ]		
	Obliczone	Katalogowe	%	Obliczone	Katalogowe	%
Alfa Romeo 156 1,9 JTD	7,50	7,80	-4,00	4,61	4,70	-1,95
Alfa Romeo 156 2,4 JTD	9,11	8,90	2,31	5,12	5,40	-5,47
Audi A4 1,9 TDI Avant	6,62	7,00	-5,74	4,26	4,40	-3,29
Audi A4 2,5 TDI	9,72	9,70	0,21	5,27	5,20	1,33
Audi A6 2,5 TDI	9,98	9,90	0,80	5,43	5,30	2,39
BMW 320 d	7,76	7,40	4,64	4,78	4,70	1,67
BMW 330 d	9,39	9,30	0,96	5,13	5,40	-5,26
Citroën Xantia 2,0 HDi	7,51	7,50	0,13	4,54	4,70	-3,52
Fiat Marea 2,4 JTD	9,21	9,00	2,28	5,09	5,30	-4,13
Ford Focus 1,8 DI	6,88	6,70	2,62	3,98	4,00	-0,50
Ford Mondeo 2,0 DI	7,84	8,20	-4,59	4,82	4,60	4,56
Mercedes-Benz A 170 CDI	6,16	6,20	-0,65	4,18	4,20	-0,48
Mercedes-Benz C 220 CDI	8,43	8,80	-4,39	4,86	4,70	3,29
Mercedes-Benz E 220T CDI	8,97	9,10	-1,45	5,41	5,50	-1,66
Mercedes-Benz E 270 CDI	9,51	9,40	1,16	5,38	5,40	-0,37
Opel Astra 2,0 DTI	7,04	7,30	-3,69	4,39	4,60	-4,78
Opel Corsa 1,7 DTI	5,87	6,10	-3,92	3,96	3,90	1,52
Peugeot 306 2,0 HDI Break	7,06	7,20	-1,98	4,09	4,40	-7,58
Peugeot 406 2,0 HDI	7,47	7,30	2,28	4,53	4,50	0,66
Peugeot 607 2,2 HDI	9,56	9,30	2,72	5,45	5,30	2,75
Renault Laguna 1,9 dCi	7,42	7,40	0,27	4,74	4,80	-1,27
Seat Cordoba 1,9 TDI	6,23	6,30	-1,12	3,95	4,00	-1,27
Seat Ibiza 1,9 TDI	6,13	6,40	-4,40	3,87	4,10	-5,94
Seat Toledo 1,9 TDI	6,76	6,70	0,89	4,25	4,20	1,18
Skoda Octavia 1,9 TDI	6,68	6,70	-0,30	4,19	4,20	-0,24
Volkswagen Golf 1,9 TDI	6,27	6,50	-3,67	4,04	4,10	-1,49
Volkswagen Passat 1,9 TDI	7,01	7,10	-1,28	4,33	4,30	0,69
Volkswagen Passat 2,5 TDI	9,85	9,70	1,52	5,39	5,20	3,53
Volkswagen Sharan 1,9 TDI	7,96	8,10	-1,76	5,41	5,60	-3,51
Volvo S70 2,5 TDI	9,61	9,40	2,19	5,49	5,20	5,28
		średnia	-0,60		średnia	-0,79

Kursywą zaznaczono pojazdy, w których obliczenia przeprowadzono na podstawie oryginalnych charakterystyk ogólnych, a w pozostałych obliczenia oparto na charakterystykach podstawionych. Graficzne przedstawienie otrzymanych wyników obliczeń widoczne jest na rys.1.



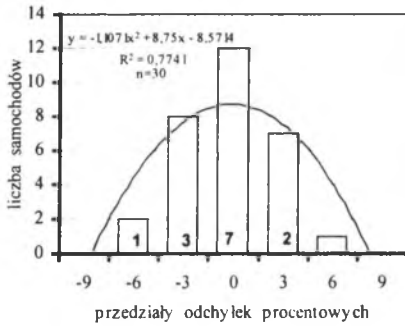
Rys. 1. Charakterystyki średniego przebiegowego zużycia paliwa w miejskim  $Q_m$  i drogowym  $Q_d$  cyklu jezdnym z rozrzutem punktów obliczeniowych

Fig. 1. The average route fuel consumption in UDC ( $Q_m$ ) and EUDC ( $Q_d$ ) together with dispersion of results

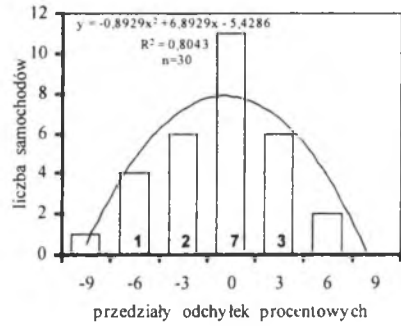
Graficzne przedstawienie odchyłki otrzymanych wyników obliczeń pokazano na rys. 2, gdzie w słupkach 3-procentowych przedziałów rozrzutu wyników pomiarów cyfrą zaznaczono liczbę samochodów z obliczeniami opartymi na oryginalnej charakterystyce ogólnej.

W silnikach ZS DI, które w zasadzie są w samochodach osobowych nisko lub średnio turbodoładowane, istnieje problem nienadążności agregatu doładowującego za parametrami silnika przy jego rozpędzaniu. O ile w silnikach ZI - z kolei w ogromnej większości niedoładowanych - nie uwzględniono ze względu na brak bliższych danych wpływu pracy silnika w warunkach nieustalonych na jego sprawność ogólną i sprawność napędu, to w silnikach ZS ze względu na tę nienadążność turboagregatu można założyć wzrost sprawności ogólnej silnika w funkcji przyspieszenia pojazdu na danym biegu w obszar sprawności silnika w wersji wolnoobrotowej, tak jak to przedstawiono na rys. 3. Takie założenie, nawet przy znacznej inercji turboagregatu, jak się okazało, ma niewielki wpływ na wyniki obliczeń przebiegowego zużycia paliwa w obu cyklach jezdnych. Tym bardziej że we współczesnych silnikach ZS turbosprężarki, dzięki minimalnej masie zespołu wirującego i zmiennej geometrii turbiny (VGT), mają zminimalizowany czas opóźnienia reakcji na parametry silnika.

a)

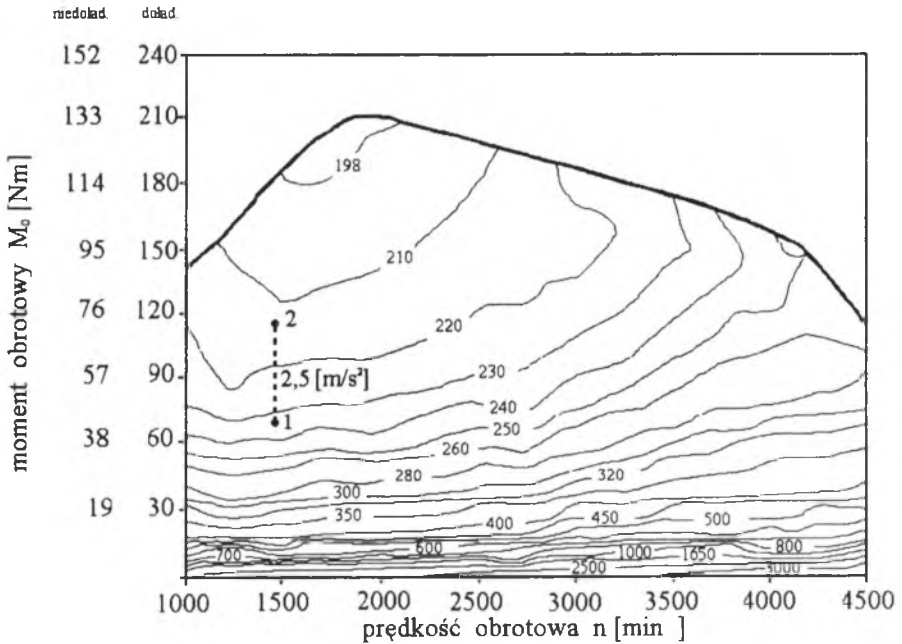


b)



Rys. 2. Rozrzut wyników obliczeń przebiegowego zużycia paliwa względem danych fabrycznych w cyklu jazdy miejskiej (a) i drogowym (b) samochodów osobowych z silnikami ZS TDI

Fig. 2. The distribution of deviations of calculated route fuel consumption of cars provided with supercharged CI engine from reference values: a – for UDC , b – for EUDC

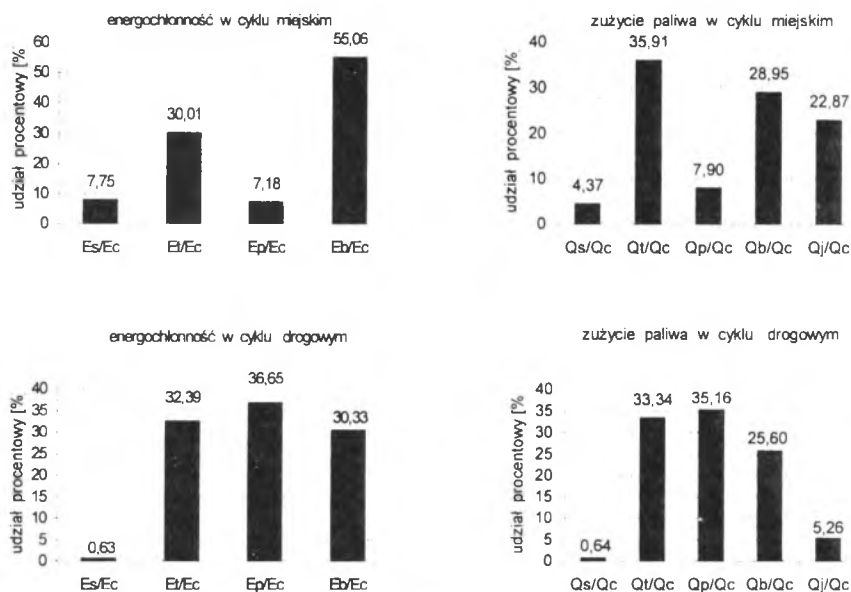


Rys.3. Korekta sprawności silnika ZS TDI przy przyspieszaniu samochodu, będąca rezultatem inercji turboagregatu w stanach pracy nieustalanej

Fig.3. The correction of engine total efficiency of supercharged CI engines that is result of supercharger's inertia in transient states

Przy pominięciu wpływu warunków pracy nieustalanej silnika ZS TDI na jego sprawność widoczny jest niewielki rozrzut błędów obliczeń, który dla cyklu miejskiego i drogowego w 93% samochodów nie przekracza  $\pm 6\%$ . Jest to jak na przyjęte założenia w statycznych obliczeniach dobry wynik, zważywszy że rozrzut wyników obliczeń i danych fabrycznych w każdym cyklu sięga 50-85%.

Charakterystyczny jest także w przypadku cyklu drogowego brak wpływu na dokładność obliczeń  $Q$  liczby pojazdów z charakterystykami oryginalnymi, dla których odchyłka obliczeń maleje do przedziału  $\pm 3\%$ , czego nie zaobserwowano w cyklu miejskim. W obliczeniach, analogicznie jak i w samochodach z silnikami ZI, uwzględniono stratę na sprzęgle przy ruszaniu z miejsca i przełączaniu biegów. Na rys.4 widoczne są znaczne udziały w energochłonności całkowitej energochłonności zużytej na pokonanie bezwładności pojazdu i zużycia paliwa na biegu jałowym (luzem) w cyklu jazdy miejskiej oraz oporów aerodynamicznych i toczenia w cyklu jazdy drogowej. Dlatego też urządzenie „Stop i Start” wyłączające bieg jałowy silnika po ok. 4 s pracy na postoju potrafi obniżyć zużycie paliwa w cyklu jazdy miejskiej o ok. 20-25%.



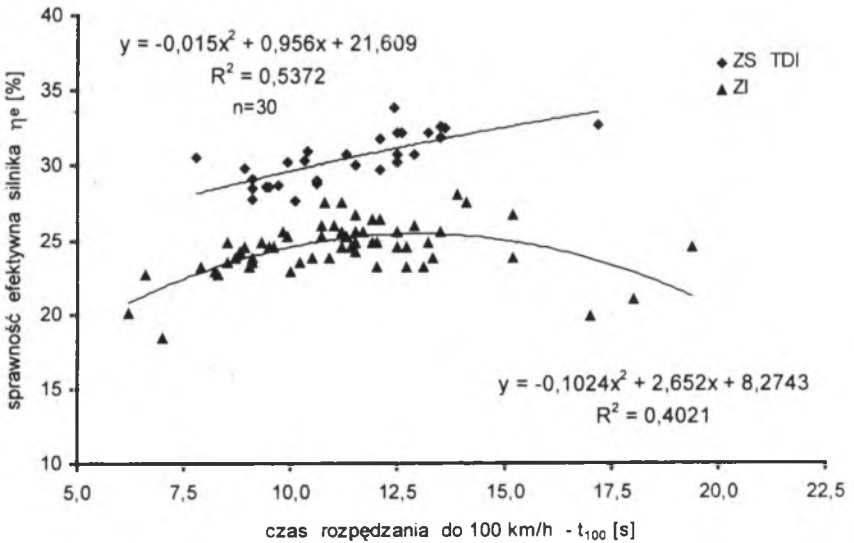
Rys. 4. Udziały procentowe tarcia na sprzęgle (s), oporów toczenia (t), powietrza (p) i bezwładności pojazdu (b) w energochłonności całkowitej (E) i zużyciu paliwa (Q) w obu cyklach jezdnych: a - cykl jazdy miejskiej, b - cykl drogowy, Q<sub>j</sub> - zużycie paliwa na biegu jałowym i luzem

Fig. 4. The percentage portion of loss of energy on the clutch, the rolling resistance, the air resistance and the inertial resistance in total energy-consumption (E) and fuel consumption (Q) in both driving cycles: a – UDC, b – EUDC, Q<sub>j</sub> – fuel consumption on the idle running

### 3. SPRAWNOŚĆ EFEKTYWNA SILNIKÓW ZS DI W CYKLACH JEZDNYCH

Na podstawie obliczonego zbioru samochodów z silnikami ZS można określić przedział sprawności efektywnej silników w poszczególnych fazach cykli jezdnych. Otrzymane wyniki średnie są zależne od dobranych zbiorów samochodów osobowych z silnikami ZI i ZS. Porównanie obu zbiorów, po 30 samochodów każdy, ukazuje znaczną dynamikę tych drugich (średnie  $t_{100} = 11,17$  [s] w porównaniu z 11,84 s).

Poza tym dla wybranego zbioru samochodów z silnikami ZI sprawność w poszczególnych fazach przyspieszających i stałych prędkości obu cykli jezdnych nie wykazuje tak zdecydowanej zależności od dynamiki napędu jak w przypadku napędu silnikami ZS, co przykładowo ilustruje rys.5. Niska sprawność silników ZI w 16 fazie cyklu miejskiego samochodów o małej dynamice jest spowodowana małą objętością skokową silników o nie najnowszych rozwiązaniach (Seat Ibiza i Arosa 1,0, VW Polo 1,05).



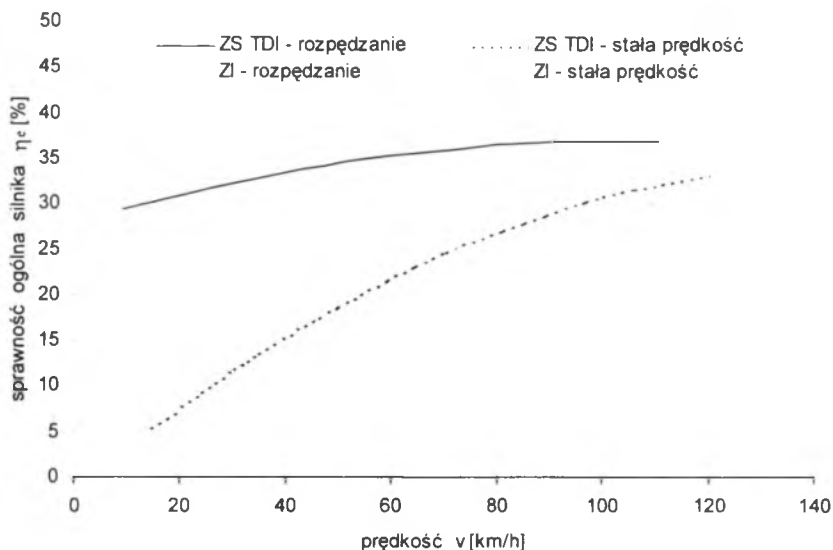
Rys. 5. Porównanie sprawności ogólnej silników ZS i ZI w 16 fazie cyklu jazdy miejskiej w funkcji dynamiki samochodu ( $t_{100}$ )

Fig. 5. The engine total efficiency of the SI and CI engines in 16<sup>th</sup> phase of UDC vs. dynamics of car ( $t_{100}$ )

Natomiast silniki ZS DI, ze względu na wysoki poziom ograniczeń emisji toksyn w spalinach, są rozwiązaniami nowoczesnymi, o stosunkowo wąskim, decydującym o sprawności, przedziale objętości roboczej. Wyższa dynamika napędu jednoznacznie oznacza, przy porównywalnych przełożeniach układu przeniesienia napędu, wyższą sprawność efektywną silnika pracującego na wyżej położonej izolacji  $g_c$  charakterystyki ogólnej. Na zakończenie można jeszcze przedstawić sprawność silników ZS DI samochodów osobowych w cyklach jezdnych w funkcji prędkości jazdy ze stałą prędkością i z przyspieszaniem (rys.6).

Przebieg średniej wartości sprawności efektywnej silników ZS DI wykazuje w fazach stałych prędkości jazdy dla niskich jej wartości, poniżej 40 km/h. bardzo niską sprawność - do

15%, co silnie wpływa na wysoką wartość przebiegowego zużycia paliwa w cyklu jazdy miejskiej ( $7,96 \text{ dm}^3/100 \text{ km}$ ). Natomiast w zakresie  $80 - 120 \text{ km/h}$  sprawność ogólna silnika przyjmuje w obu przypadkach wysokie wartości, co obniża zużycie paliwa w cyklu drogowym do wartości średniej  $4,75 \text{ [dm}^3/100 \text{ km]}$ .



Rys. 6. Średnia sprawność efektywna silników ZS DI w funkcji prędkości jazdy przy realizacji cykli jezdnych z zimnego startu

Fig. 6. The average engine total efficiency of the supercharged CI engines in driving cycles

Tabela 2

Charakterystyka jednostkowego zużycia paliwa silników ZS DI przy pracy w poszczególnych fazach cykli jezdnych i odpowiadające mu sprawności  $\eta_c$

Cykl miejski			Cykl drogowy		
numer fazy	$\bar{g}_c \pm$ odchylenie standardowe [g/kWh]	$\bar{\eta}_c \pm$ odchylenie standardowe [%]	numer fazy	$\bar{g}_c \pm$ odchylenie standardowe [g/kWh]	$\bar{\eta}_c \pm$ odchylenie standardowe [%]
2	$281,97 \pm 17,65$	$30,07 \pm 1,89$	2	$303,70 \pm 22,42$	$27,96 \pm 2,07$
3	$1508,33 \pm 178,64$	$5,69 \pm 0,75$	4	$278,03 \pm 14,76$	$30,46 \pm 1,62$
7	$303,70 \pm 22,42$	$27,96 \pm 2,07$	6	$253,87 \pm 16,75$	$33,41 \pm 2,10$
9	$248,03 \pm 16,82$	$34,20 \pm 2,21$	8	$236,20 \pm 15,90$	$35,91 \pm 2,28$
10	$913,67 \pm 198,18$	$9,68 \pm 2,11$	9	$310,10 \pm 21,91$	$27,37 \pm 1,95$
14	$303,70 \pm 22,42$	$27,96 \pm 2,07$	11	$409,47 \pm 52,54$	$20,95 \pm 2,63$
16	$278,03 \pm 14,76$	$30,46 \pm 1,62$	12	$236,20 \pm 15,90$	$35,91 \pm 2,28$
18	$253,87 \pm 16,75$	$33,41 \pm 2,10$	13	$310,10 \pm 21,91$	$27,37 \pm 1,95$
19	$557,01 \pm 131,63$	$15,84 \pm 2,97$	14	$235,03 \pm 16,27$	$36,11 \pm 2,36$
21	$571,83 \pm 109,74$	$15,19 \pm 2,46$	15	$277,20 \pm 19,76$	$30,62 \pm 2,16$
			16	$228,00 \pm 13,93$	$37,18 \pm 2,19$
			17	$260,13 \pm 17,71$	$32,61 \pm 2,13$

Na rys.1 i w tab.2 widoczny jest znacznie mniejszy przedział rozrzutu wyników obliczeń przebiegowego zużycia paliwa w cyklu jazdy drogowej niż miejskiej. Jest to rezultat dużego rozrzutu sprawności silników ZS w zakresie obciążeń typowych dla cyklu jazdy miejskiej, poniżej 20% obciążenia.

#### 4. WNIOSKI

Na podstawie otrzymanych wyników obliczeń przebiegowego zużycia paliwa w cyklach jezdnych 93/116/CE samochodów osobowych z silnikami ZS DI można wyciągnąć następujące wnioski:

1. W powszechnie obecnie stosowanych w samochodach osobowych silnikach ZS DI z dostatecznie dużą dokładnością liczy się w obu cyklach jezdnych przebiegowe zużycie paliwa metodą oryginalnej i podstawianej charakterystyki ogólnej, z tym że ta druga metoda daje lepsze wyniki (rozrzut błędu obliczeń  $\pm 3\%$ ).
2. Analogicznie jak w samochodach z silnikami ZI, w cyklu jazdy miejskiej o zużyciu paliwa decydują składowe oporów toczenia (32%), bezwładności (28%) i biegu jałowego (29% - z układem Stop i Start tylko 12%), natomiast w cyklu drogowym składowe oporów aerodynamicznych (35%), toczenia (33%) i bezwładności (26%).
3. W odróżnieniu od samochodów z silnikami ZI, z silnikami ZS DI dynamika napędu wyrażona czasem rozpędzania pojazdu do 100 km/h ( $t_{100}$ ) ma wpływ na sprawność silnika prawie w każdej fazie obu cykli jezdnych.

#### Literatura

1. Ubysz A.: Technologie podwyższające eksploatacyjną sprawność ogólną silników samochodowych. IX Seminarium Naukowe z okazji Dnia Hutnika, Katowice 11.05. 2001.
2. Ubysz A.: Ocena przebiegowego zużycia paliwa samochodów osobowych z silnikami ZI wyznaczanego metodą analityczną. Zeszyty Naukowe Pol. Śl. serii Transport, z.41, Gliwice 2000.
3. Ubysz A.: Sprawność napędu samochodów osobowych z silnikami ZI w cyklach jezdnych. Zeszyty Naukowe Pol. Śl. serii Transport, z. 41, Gliwice 2000.
4. Siłka W.: Energochłonność ruchu samochodu. WNT, Warszawa 1997.

Recenzent: Dr hab. inż. Wojciech Siłka, Prof. nzw. Pol. Opolskiej

#### Abstract

The results of the calculating of a route fuel consumption of passenger cars provided with supercharged CI engine and manual gear box were presented in this paper. The calculations were carried out on the basis of selection the total efficiency by means of genuine or substituted fuel consumption map. This method had been checked on the SI engines. The results of the calculating show that analytic method is sufficient precisely even when we don't take into consideration inertia of supercharger.