

ALEKSANDER UBYSZ*

**BADANIE OBJĘTOŚCI MANEWROWEJ
ZUŻYTEGO PALIWA W SAMOCHODZIE
W BRZEGOWYCH WARUNKACH RUCHU**

**PREDICTION OF FUEL CONSUMPTION
FOR A PASSENGER CAR IN REAL TRAFFIC**

Streszczenie

Głównym celem niniejszego artykułu jest wyjaśnienie mechanizmu powstawania „niedoliczonej” w programie EKO-DRIVE 2005 objętości paliwa, nazwanej manewrową V_m . Zasadniczo wpływa ona na dokładność obliczeń przebiegowego zużycia paliwa w samochodzie osobowym w ruchu rzeczywistym, zwłaszcza na najkrótszych trasach przejazdu.

Słowa kluczowe: objętość manewrowa, zużycie paliwa, trasa przejazdu

Abstract

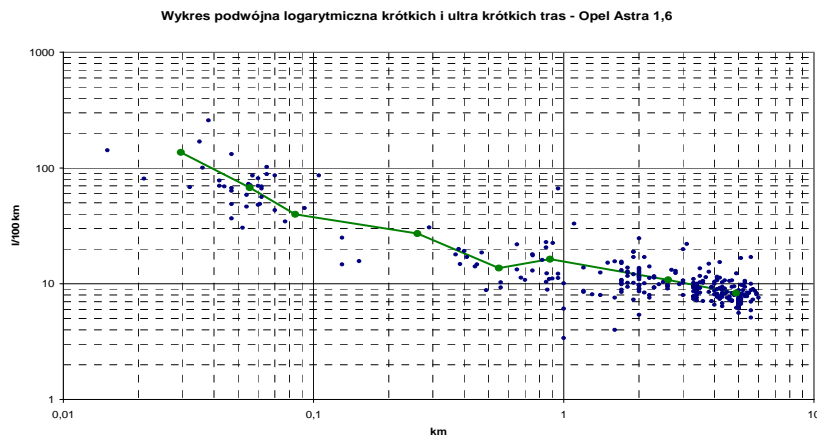
The aim of the paper is to explain how the mechanism of ‘not-calculated’ in EKO-DRIVE 2005 program amount of fuel (called V_m maneuvering value) gets started. It significantly influences the precision of calculating the mileage fuel consumption of a car moving in traffic, particularly at very short distances.

Keywords: fuel consumption, drive cycle, maneuvering volume

*Dr inż. Aleksander Ubysz, Katedra Budowy Pojazdów Samochodowych, Wydział Transportu, Politechnika Śląska w Gliwicach.

1. Wstęp

W opracowanym przez autora algorytmie obliczeń przebiegowego zużycia paliwa EKO-DRIVE 2005 na krótkich trasach przejazdu pojawia się dla określonego badanego zespołu „samochód–kierujący” statystyczny błąd „niedoliczanej” objętości zużytego paliwa. Był on na tyle powtarzalny i trwały na trasach do 20 km długości przebytej drogi, że wymagał bliższego zbadania i zdefiniowania. Na trasach średnich i długich wybrane do aproksymacji profilu prędkości pojazdu cykle jezdne są dominujące i dokładność obliczeń mieści się w wymaganym przedziale. Na trasach krótkich (5–20 km), bardzo krótkich (1–5 km) oraz ultrakrótkich nieprawdopodobne jest wyliczenie zużycia paliwa w dopuszczalnym przedziale błędów. Dla najkrótszych tras zużycie paliwa wzrasta wykładniczo, co przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1. Charakterystyka przebiegowego zużycia paliwa w samochodzie klasy B/K z silnikiem ZI 1,6 w ruchu rzeczywistym na trasach o długości do 6 km

Fig. 1. The dependence of mileage fuel consumption in a B/K class car with SI engine on the length of covered distance

Znaczny rozrzut przebiegowego zużycia paliwa dla każdej wartości zmiennej niezależnej (L , v_{sr}) jest wynikiem stochastycznego charakteru skojarzenia procesu sterowania pojazdem i warunków ruchu. W niniejszym artykule przedstawiono przyczyny znacznego wzrostu przebiegowego zużycia paliwa na najkrótszych trasach przejazdu.

2. Uzasadnienie teoretyczne

Powszechnie wiadomo, że żaden z przyjętych do aproksymacji cykli jezdnych nie uwzględni zróżnicowanych pod względem energochłonności ruchu warunków brzegowych tras przejazdu. Pod pojęciem warunków brzegowych rozumiemy czas i drogę potrzebne do włączenia i wyłączenia się z ruchu. Są to nierzadko czasochłonne, a jeszcze bardziej energochłonne manewry. Ich przebieg zależy od warunków garażowania/parkowania samochodu. Charakteryzują się przeważnie bardzo małą prędkością ruchu spowodowaną złożoną topografią otoczenia i trudnościami włączenia się do ruchu.

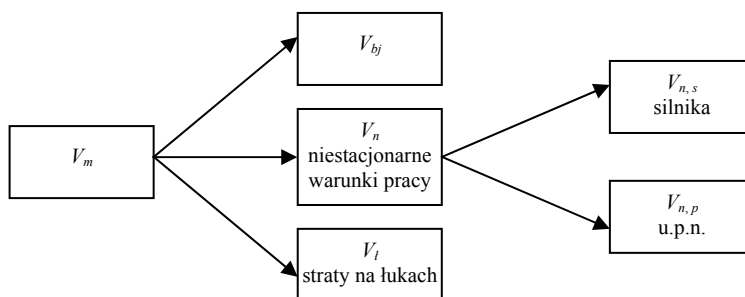
Na początku przeprowadzono obliczenia „niedoliczonej” objętości paliwa dla dwóch samochodów klasy B/K, eksploatowanych na stałej trasie o długości ok. 10 km, o zróżnicowanym stopniu trudności warunków brzegowych na początku. Złożone końcowe brzegowe warunki ruchu, które na trasie powrotnej są początkowymi, nie uległy zmianie.

Na podkreślenie zasługuje dwustanowość cieplna pojazdu w ruchu w warunkach brzegowych: włączanie się do ruchu w stanie cieplnie nieustalonym, zakończenie – w ustalonym. Stany cieplne pojazdu na trasie powrotnej są dokładnie odwrotne.

Obliczone dla kilkudziesięciu pomiarów średnie „niedoliczone” objętości paliwa dla dwóch zróżnicowanych początkowych brzegowych warunków ruchu pojazdów A i B to, odpowiednio, 200 i 120 cm³. Ta druga wartość zostanie w kolejnym rozdziale w badaniach szczegółowych zweryfikowana.

W warunkach brzegowych często obserwuje się pracę silnika na biegu jałowym przez dłuższy czas. Związane jest to z wykonywaniem w tym czasie operacji dodatkowych. W stanie cieplnie nieustalonym, jak również ustalonym jest to związane z przedłużaniem czasu pracy silnika w stanie, dla którego przebiegowe zużycie paliwa równa się nieskończoności. W wielu instrukcjach obsługi producenci samochodów zalecają wyłączenie silnika w czasie zatrzymania samochodu powyżej 60 s. Silnik ZI o pojemności skokowej 1,6 dm³ zużywa w stanie cieplnie ustalonym w tym czasie 14–20 cm³ paliwa, znacznie więcej w stanie nieustalonym cieplnie [2].

Drugą składową objętości „niedoliczonego” paliwa może być nieuwzględniony w cyklach jezdnych wzrost oporów ruchu na zakrętach – V_l . Jak wykazują badania własne, wykonanie zmiany kierunku ruchu pod kątem prostym wiąże się ze wzrostem zużycia paliwa



Rys. 2. Relacje pomiędzy składowymi zużytego paliwa na warunki manewrowe V_m
Fig. 2. The relations between the components of consumed fuel
and V_m maneuvering conditions

o 0,5–2,5 cm³/skręt (zależnie od promienia skrętu i prędkości). Na trasach krótkich gęstość takich zmian kierunku ruchu może wynosić 1 skręt/km i więcej, co na 10 km trasie wpływa na wzrost przebiegowego zużycia paliwa o 0,05–0,25 dm³/100 km. Na rozpatrywanej trasie zamkniętej 20 cm³ zużytego paliwa przewidziano na 20 wykonywanych manewrów zmiany kierunku ruchu pod kątem prostym.

Wszystkie te składowe objętości „niedoliczonego”, zużytego paliwa łączy jedna cecha wspólna, a mianowicie jest to zużycie wymuszone warunkami manewrowymi ruchu samochodu i dlatego nazwano ją **objętością manewrową** V_m (rys. 2).

3. Badanie objętości manewrowej V_m w ruchu rzeczywistym

Za pomocą programu EKO-DRIVE 2005 zadawalająca dokładność obliczeń przebiegowego zużycia paliwa w samochodzie była osiągana na trasach przejazdu o długości powyżej 20 km. Na trasach krótszych niedokładność obliczeń była tak duża, że należało dokonać korekty obliczeń numerycznych za pomocą objętości manewrowej zużytego dodatkowo paliwa V_m , wynikającą z faz manewrowania pojazdem na trasie przejazdu o dowolnej długości.

Badania statystyczne długości tras przejazdu współczesnych samochodów osobowych wskazują na zaskakująco znaczny udział tych najkrótszych, o długości do 5 km, dla których objętość manewrowa ma znaczny wpływ na przebiegowe zużycie paliwa.

W dalszej części rozważań dla 41 rzeczywistych tras przejazdów samochodu B na trasach otwartych o długości 2–5 km obliczono średnią objętość manewrową V_m , pozwalającą zwiększyć dokładność obliczeń przebiegowego zużycia paliwa. Ponieważ badania bardzo krótkich tras przejazdu nie monitorowano z dostateczną dokładnością, otrzymane wyniki V_m mają znaczny rozrzut i dla dalszych rozważań istotna jest wartość średnia – 43,1 cm³ (tab. 1).

Tabela 1

Wyniki obliczeń średniej objętości manewrowej V_m na bardzo krótkich trasach przejazdu samochodu klasy B/K z silnikiem 1,6 ZI w 2006 r.

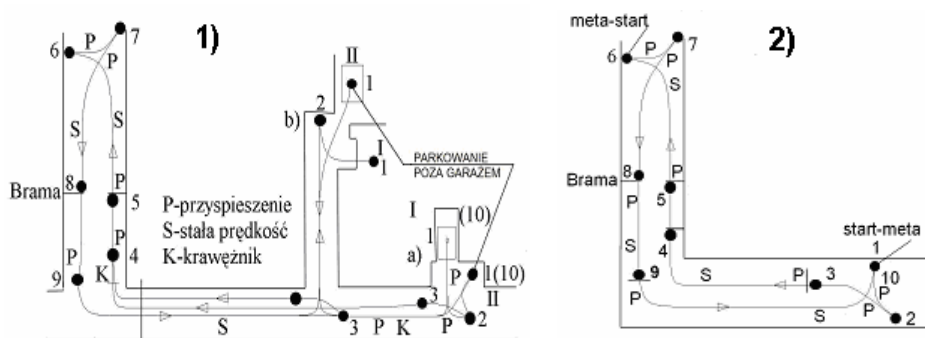
Nr	Data	Nr trasy	t_c [s]	L_c [km]	V_{sr} [km/h]	t_p [s]	t_{SG} [s]	L_{SG} [m]	...	t_{post} [h]	$\frac{Q_T}{Q_c} \quad \frac{Q_c}{Q_{rz}}$ [dm ³ /100 km]			[%]	V_m [cm ³]
											20	21	22		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	...	19	20	21	22	23	24
1	7.01.	14	660	3,5	19,1	0	225	375	...	20,4	9,2	11,0	13,6	-19	91
2	9.01.	17	940	3,1	11,6	0	300	550	...	24	13,1	14,2	22,1	36	245
3	13.01.	36	480	2,7	20,3	0	160	130	...	5,8	8,9	9,9	13,2	-25	89
:	:	:	:	:	:	:	:	:	...	:	:	:	:	:	:
38	16.08.	21	360	2,0	20,0	0	95	125	...	3,7	9,1	8,7	11,4	-24	54
39	16.08.	24	540	2,6	17,3	0	190	250	...	0,33	10,0	9,7	9,7	0	0
40	26.08.	35	1020	3,1	10,9	0	440	460	...	24	12,7	12,4	14,0	-11	50
41	13.01.	37	360	2,6	26,0	83	160	100	...	0,5	9,26	8,46	8,46	0	0
Wartość średnia															43,1

Objętość manewrowa na tych trasach powinna stanowić pewną ściśle określoną część objętości V_m charakterystycznej dla często realizowanej, zamkniętej trasy odniesienia „**garaż–parking–garaż**” ($120 = 60/40 + 20$ cm³ – rozdział objętości przyjęty orientacyjnie na podstawie stopnia trudności włączania się do ruchu i stanu cieplnego pojazdu w brzegowych warunkach ruchu każdego etapu trasy zamkniętej plus zmiany kierunku ruchu). Dzięki realizacji tych 41 otwartych tras przejazdu najczęściej w znacznie korzystniejszych brzegowych warunkach ruchu (parking–postój) iloraz objętości manewrowej odpowiadającej warunkom brzegowym ruchu „garaż–parking” i „parking–postój” $V_m = 60/43,1$ cm³ można uznać za prawdopodobny. Aby to potwierdzić, należy przeprowadzić badania na ultrakrótkich trasach przejazdu, symulujących zróżnicowane warunki brzegowe włączania i wyłączania się z ruchu w określonych warunkach, wszystkie pomiary należy realizować w stanie cieplnie ustalonym pojazdu.

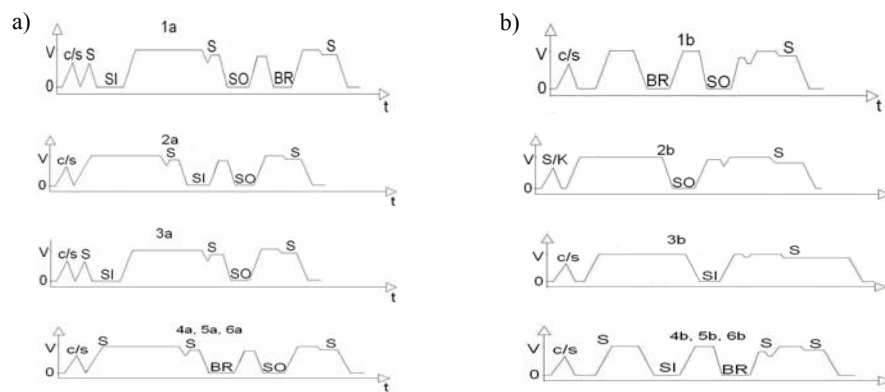
4. Obliczanie objętości manewrowej w warunkach brzegowych

4.1. Program badań

W celu wyznaczenia i potwierdzenia obliczonych wcześniej objętości manewrowych zużytego paliwa V_m na wybranej zamkniętej trasie przejazdu przyjęto do badań cykl jezdny w miarę dokładnie odwzorujący brzegowe warunki ruchu (rys. 3). W przyjętym do badań cyklu jezdny realizowano kilka wariantów garażowania, poczynając od wariantów rzeczywistych z $V_m = 200 \text{ cm}^3$ (pojazd A) i 120 cm^3 (pojazd B), a kończąc na symulacji warunków z obszernym garażem z automatycznie otwieraną bramą.



Rys. 3. Plan sytuacyjny brzegowych rzeczywistych warunków ruchu samochodu
Fig. 3. Location plan of boundary real traffic conditions

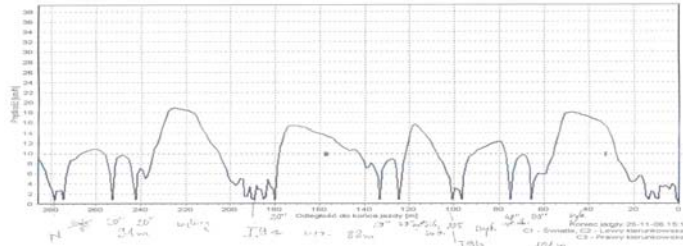


Rys. 4. Przyjęte w badaniach czasowe profile prędkości symulujące ruch rzeczywisty w warunkach brzegowych: a) wyjazd z garażu i zaparkowanie na zamkniętym placu, b) odwrotnie – powrót

Fig. 4. Time speed profiles chosen for testing purposes, which simulate the actual traffic mode at boundary conditions: a) pulling out of the garage and parking in closed area, b) the other way round – going back

W czasie badań starano się utrzymać stałą długość odcinka pomiarowego w granicach $2 \times 90 \text{ m}$. Na odcinku a) z rys. 4 odtwarzano w warunkach rzeczywistych początkowe

brzegowe warunki ruchu, natomiast końcowe – wjazd na plac parkingowy – symulowano na jezdni (asfalt zamiast szutrowej, nierównej nawierzchni). Dokładność odczytu zarejestrowanej drogi i zużytego paliwa to $\pm 0,5$ m oraz $\pm 0,5$ cm³. Wszystkie fazy napędowe, podobnie jak w warunkach rzeczywistych, realizowano na 1. biegu.



Rys. 5. Przykład drogowego zapisu prędkości ruchu w warunkach brzegowych rzeczywistych na trasie zamkniętej (tab. 2)

Fig. 5. The example of driving speed record in real boundary conditions in closed route (Tab. 2)

4.2. Wyniki obliczeń i ich analiza

Rejestrowano pomiar zużycia paliwa w obu kierunkach ruchu. Jednak w celu wyeliminowania wpływu zmiany energii potencjalnej pojazdu w punktach granicznych obliczenia prowadzono na trasach zamkniętych. Podstawę do obliczeń objętości manewrowej V_m dają różnica w rzeczywistym i obliczonym za pomocą programu EKO-DRIVE 2005 przebiegowym zużyciu paliwa. Średnia prędkość przejazdu dzięki cyklowi jezdniemu SG_S (Stop&Go Slow) [3] na każdym odcinku pomiarowym mieści się w zakresie prędkości cyklu SG_{MIX} (2,43–6,91 km/h). Przebiegowe zużycie paliwa w samochodzie osobowym klasy B/K przewożącym 180 kg ładunku w cyklach jazdy SG_F i SG_S obliczone metodą numeryczną wynosi, odpowiednio, 15,8 i 31,4 dm³/100 km.

Wyniki obliczeń różnych wariantów warunków brzegowych (wariowano warunkami początkowymi i końcowymi: czasem zatrzymań i techniką sterowania zespołem napędowym) przedstawiono w tab. 2.

Różnica w przebiegowym zużyciu paliwa z kolumn 6 i 7 jest wynikiem jego niedoliczenia przez program w rezultacie znacznego spadku sprawności zespołu napędowego w jeździe rzeczywistej w porównaniu ze sprawnością przyjętą w obliczeniach w cyklach jezdnych symulujących jazdę w potoku pojazdów. Na zmniejszenie zużycia paliwa pozwala eliminacja 20-, 40- s czasu pracy silnika na biegu jałowym (poz. 4, 6). Zatrzymanie samochodu daje porównywalne V_m (6) dla „trudnego” wyjazdu z garaży „od frontu” (1, 2). Ułatwienie wyjazdu bez ograniczeń topograficznych również zmniejsza zużycie paliwa na objętość manewrową V_m o 1/3 (por. poz. 2, 10, 23 i 16).

W tabeli 2 przedstawiono wyniki obliczeń objętości manewrowej zużytego paliwa w warunkach brzegowych w pojeździe w stanie cieplnie ustalonym. Natomiast w tab. 3 (poz. 1, 12) przedstawiono V_m dla samochodu w stanie cieplnie nieustalonym dla trasy przejazdu 1a z rys. 4a) (4 przejazdy).

W pomiarach zamkniętych tras odtwarzających brzegowe warunki ruchu (poz. 3, 6, 9, 12 z tab. 3) średnia wartość V_m ze startu zimnego to 86 cm³, która jest o 14% mniejsza od 100 cm³, co jak na tego typu wyniki obliczeń jest błędem małym. Trzy ostatnie pomiary

wykonano dodatkowo dla przejazdu odcinka drogi o różnej długości ze startu „zimnego” (w różnej temperaturze otoczenia) na prostym odcinku drogi (poz. 13 i 15) oraz z zawracaniem (poz. 14).

Tabela 2

Zestawienie wyników badań przebiegowego zużycia paliwa samochodem na ultrakrótkich trasach symulujących jazdę w zróżnicowanych warunkach brzegowych samochodu w stanie cieplnie ustalonym ($m_f = 180$ kg)

Poz.	Charakterystyka (garaż–plac Pol.Śl.)	L_c [m]	t_c [s]	V_{sr} [km/h]	Q_7		V_m [cm ³]	V_m/L_c [cm ³ /m]
					Q_z	Q_7		
					[dm ³ /100km]			
1	2	3	4	5	6	7	8	8
1	Garaż przód aut.,aI ¹⁾	188	276	2,45	46,8	31,2	29,3	0,156
2	Garaż przód aut.,aI	184	232	2,86	48,9	29,2	36	0,196
3	Plac przód (PP 20”),aII	179	228	2,83	43,0	29,4	25	0,140
4	PP- brama 0”,aII	176	184	3,44	39,8	24,2	27,5	0,156
5	PP - 40”, aII	178	272	2,36	50,0	31,6	33	0,185
6	PP - 40” wył.sil., aII	177	265-70	3,3	42,9	31,3	21,2	0,120
7	PP 20” + wybieg, aII	180	230	2,82	45,6	29,6	28,8	0,160
8	Jak „7” +wybieg, aII	153	265	2,1	52,3	32,5	33	0,216
9	Jak „6”+ nierów., aII	178	193	3,30	39,9	25,4	25	0,141
Wartości średnie wariant „a”				2,82	45,5	29,4	28,8	0,163
10	Garaż tył, 20”, bI	201	279	2,60	50,7	29,9	40,6	0,202
11	Jak „13”+nierów., bI	200	278	2,60	45,5	30,2	31,2	0,156
12	Plac tył (PT), bII	201	276	2,62	49,8	29,8	40,2 ²⁾	0,200
13	PT, brama 0”+wyb.,bII	191	184	3,74	41,9	22,7	37	0,194
14	PT, brama 0”, bII	190	181	3,78	35,8	20,3	29,5	0,155
15	PT, nierów.,bII	193	238	2,92	40,4	29,1	22,0	0,116
Wartości średnie wariant „b”				3,04	44,0	27,0	33,4	0,171
16 ³⁾	Otwarty plac (OP) 20”+20”	133	170	2,82	45,9	30,2	21,3	0,160
17	OP 20”+20”+wybieg	150,5	154	3,52	37,2	23,7	20,3	0,153
18	OP 20”+0”	138	125	3,97	33,3	22,5	14,9	0,108
19	OP 20”+40”	136,5	210	2,34	48,4	33,5	22,3	0,163
20	OP 20”+40” wyłącz.sil.	140	220-70	3,36	35,7	33,8	15,7	0,112
21	OP 0”+0” ⁴⁾ ; 45 m	45	16	10,1	31,1	13,0	8,14	0,181
22	OP, asfalt, 3-faz. nawrót ⁴⁾	61	32	6,86	25,6	16,1	5,8	0,098
Wartości średnie (16-20) – otwarty plac				3,2	40,1	28,7	18,9	0,139
23	OP 20”+20”	162	182,4	3,2	42,6	26,8	26,0	0,16
24	OP 20”+ 0”	146,7	136,2	3,9	34,8	23,4	16,7	0,11
25	OP 20” + 0” wyb.	147,3	138,8	3,8	33,9	23,7	15,0	0,10
26	OP 20” + 20” in1 = 0”	141	164,5	3,1	33,3	27,2	8,6	0,061
27	OP 20+40”	147	228,7	2,26	50,34	33,8	24,3	0,165
28	OP 20+40” wył. 70”	148	230-70	3,32	42,6	26,7	23,5	0,16
28 ⁴⁾	OP 20+40” wył. 70”	148	230,5	2,31	42,6	32,8	14,5	0,098
Wartości średnie (23-28) – otwarty plac				3,26	39,25	26,9	19,0	0,126

¹⁾Oznaczenia końcowe jak na rys. 2.

²⁾Wzrost zużycia paliwa w wyniku dodatkowej fazy cofania.

³⁾16–21 to pomiary na otwartym placu manewrowym bez ograniczeń topograficznych, nawierzchnia szutrowa.

⁴⁾Czas postoju samochodu przed manewrem 1,3 h w temp. 8°C.

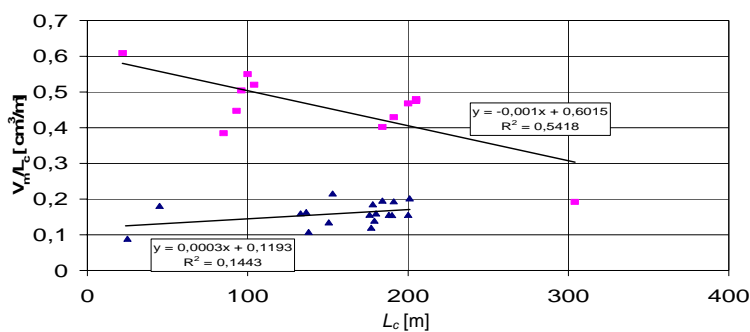
Z powyższego materiału wynika, że na przyjmowaną do obliczeń przebiegowego zużycia paliwa wartość objętości manewrowej V_m wpływ mają głównie warunki ruchu, długość odcinka pomiarowego i stan cieplny pojazdu. Pomimo fizycznej możliwości

Tabela 3

Zestawienie wyników badań przebiegowego zużycia paliwa samochodu na ultrakrótkich trasach symulujących jazdę w zróżnicowanych warunkach brzegowych – start „zimny”

Lp.	Charakterystyka (garaż.–plac Pol. Śl.)	L_c [m]	t_c [s]	V_{sr} [km/h]	Q_{rz}	Q_7	V_m	V_m/L_c
					[dm ³ /100 km]		[cm ³]	[cm/m]
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	T. „78” – Ib) wyjazd	104	140	2,7	81	25,6	54,1	0,520
2	powrót	101	120	3,0	69	22,6	43,4	0,430
3	T. „78” całość	205	260	2,85	75,2	27,5	97,5	0,475
4	T. „66” – Ia) wyjazd	96	110	3,1	76	25,7	48,4	0,504
5	powrót	95	90	3,8	58	22,6	33,6	0,350
6	T. „66” całość	191	200	3,45	67	24,1	82,0	0,430
7	t. „5” aI) wyjazd	93	115	2,91	75	27,1	41,6	0,450
8	Powrót	91	100	3,28	58,8	24,4	31,3	0,344
9	T. „5” całość	184	215	3,08	66,8	26,6	74	0,400
10	T. „45” Ib) wyjazd	102	148	2,48	84,8	30,1	55,9	0,550
11	Powrót	98	123	2,87	66,8	27,5	38,5	0,390
12	T. „45” całość	200	271	2,66	76,0	28,95	94,3	0,470
13	T. „37” 27.08.06; 28°C	304	418	2,58	49,3	29,7	58,5	0,20
14	T. „67” 25.10. „15°C	85	50	6,1	38,5	18,5	32,7	0,385
15	T. 12°C	22	36	2,2	92,3	31,5	13,4	0,61

Kursywą opisano wyniki z „zimnych” startów w temp. $5^\circ\text{C}/m_l = 120$ kg dla całego odcinka pomiarowego



Rys. 6. Wartości drogowej objętości manewrowej $V_{m,L}$ w brzegowych warunkach ruchu w stanie cieplnie ustalonym (linia dolna) i nieustalonym

Fig. 6. The values of V_m route maneuvering volume in boundary traffic conditions at stationary (the bottom line) and non-stationary temperatures

odwzorowania bardzo małej prędkości ruchu (2,43 km/h) wykorzystane w programie cykle jezdne nie są w stanie na trasach ultrakrótkich odwzorować znacznego, 2-, 3-cyfrowego przebiegowego zużycia paliwa, w czym pomocna jest objętość manewrowa zużytego paliwa V_m . Pozwala ona na uwzględnienie hiperbolicznego spadku zużycia paliwa w pierw-

szych 200 s pracy silnika [5] przeznaczonego na stabilizację cieplną pojazdu oraz na pokrycie zwiększonego zapotrzebowania na energię w wyniku bardzo małej sprawności układu przeniesienia napędu [4].

Wpływ stanu cieplnego samochodu na jednostkową (drogową) objętość manewrową $V_{m,L}$ (tab. 2 i 3) w funkcji długości przebytej drogi w cyklach jezdnych, symulujących brzegowe warunki ruchu tras przejazdu, przedstawiono na rys. 6. Tylko w stanie cieplnie ustalonym pojazdu długość odcinka drogi nie wpływa na jednostkową objętość manewrową $V_{m,L}$.

5. Wnioski

W rzeczywistych warunkach ruchu samochodu na każdej trasie przejazdu w brzegowych warunkach ruchu warunki pracy zespołu napędowego są tak energochłonne, że przebiegowe zużycie paliwa może osiągać wartość nawet trzycyfrową, a „niedoliczoną” objętość zużytego paliwa na każdej trasie najłatwiej określić jako średnią prawdopodobną objętość manewrową V_m .

Można w przybliżeniu obliczyć ją jako różnicę „niedoliczonej” objętości zużytego paliwa na trasach krótkich (do 10 km), na których w istotny sposób wpływa na wynik, w stosunku do obliczanej dla tras długich (pow. 150 km), pod warunkiem rozpoznania współczynnika dynamiki sterowania prędkością pojazdu przez danego kierującego K_D .

Literatura

- [1] U b y s z A., *Numeryczne metody obliczania przebiegowego zużycia paliwa samochodu osobowego w warunkach jazdy rzeczywistej za pomocą zużycia w wybranych cyklach jezdnych*, Konferencja Międzynarodowa Konmot – Autoprogress 2004, Czasopismo Techniczne, z. 6-M/2004, t. II, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, 785-792.
- [2] U b y s z A., *Warunki brzegowe w obliczeniach numerycznych rzeczywistego zużycia paliwa w samochodzie*, Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, seria Transport, z. 63, Gliwice 2006, 231-240.
- [3] U b y s z A., *Opracowanie testu jezdnego uniwersalnego dla ruchu w warunkach zatłoczonych ulic*, Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, seria Transport, z. 42, Gliwice 2001.
- [4] U b y s z A., *Metodyka prognozowania zużycia paliwa w samochodzie osobowym w ruchu rzeczywistym*, manuskrypt rozprawy habilitacyjnej złożony 12.10.2007 r. na WOŚiE Politechniki Śląskiej.
- [5] Nasser S.H. i in., *Computer Simulation of Vehicle's Performance and Fuel Consumption Under Steady and Dynamic Driving Conditions*, Society of Automotive Engineers, 1998.