

Aleksander UBYSZ

## WPLYW STANU CIEPLNEGO NA ZUŻYCIE PALIWA W SAMOCHODZIE OSOBOWYM

**Streszczenie.** W opracowaniu przedstawiono wybrane materiały obszernej analizy wpływu stabilizacji cieplnej samochodu na zużycie paliwa w funkcji czasu i prędkości w początkowym odcinku wybranej trasy przejazdu.

## INFLUENCE THERMIC STABILIZATION ON FUEL CONSUMPTION OF PASSENGER CAR

**Summary.** Report presents chosen elements of large analysis of influence vehicle "cold" start on fuel consumption in time and travelled way function, in the beginning sector of chosen route.

### 1. WSTĘP

Zużycie paliwa w samochodzie osobowym w znacznym stopniu zależy od stanu cieplnego pojazdu. Jego przechłodzenie, wynikające z tzw. „zimnego” startu, ma szczególnie duży wpływ na zużycie paliwa, gdy samochód jest eksploatowany na krótkich dystansach, w przedziale 1-10 km [1-3]. Problem dotyczy większości samochodów osobowych, wykorzystywanych przy dojazdach do pracy. W ostatnim okresie wiele prac poświęconych jest problemowi zmniejszenia zużycia paliwa i emisji toksyn w początkowej fazie ruchu [4-6].

W opracowaniu przedstawiono analizę przebiegowego zużycia paliwa w funkcji prędkości i temperatury otoczenia w początkowej fazie ruchu samochodu. Analiza wpływu stabilizacji cieplnej pojazdu na zużycie paliwa w funkcji czasu i przejechanej drogi wymagała porównywania odcinków przejazdu o dużej powtarzalności profilu prędkości w początkowej fazie ruchu. Analiza polegała m.in. na obliczeniu różnicy objętości zużytego paliwa w przyjętym przedziale czasu lub drogi dla pojazdu przechłodzonego i rozgrzanego, a więc obliczeniu paliwa zużytego na stabilizację cieplną pojazdu. Obliczenia prowadzono opierając się na zarejestrowanych wynikach podczas ruchu drogowego na odcinkach porównywalnych przy wykorzystaniu zaproponowanych kryteriów. Wyniki porównania przeprowadzonego dla wybranego odcinka w różnych porach roku pozwalają na wyciągnięcie interesujących wniosków.

## 2. KRYTERIA DOBORU PRZEJAZDÓW WYBRANEJ TRASY

Wyniki pomiaru przebiegowego zużycia paliwa samochodu osobowego klasy B (Opel Astra I 1,4 16V) na wybranym odcinku drogi pozwalają na ocenę wpływu stanu cieplnego pojazdu na poziom zużycia paliwa. Na rozpatrywanym, początkowym odcinku droga jest następująca: 0,35 km drogi osiedlowej, droga wylotowa – 1,2 km i reszta autostrada (na początku wyjazd z garażu i posesji w dwu fazach – 15 m). Rozpatrywany odcinek, dzięki korzystnemu usytuowaniu jego punktu początkowego (brak światła i skrzyżowań o dużym ruchu), charakteryzuje się znaczną powtarzalnością profilu prędkości, tym niemniej należało określić pewne kryteria doboru porównywanych profili.

W tabeli 1 za pomocą wybranych kryterialnych wielkości (kol. 2, 4, 7 i 8) scharakteryzowano początkowe odcinki rozpatrywanej drogi.

Tabela 1

Charakterystyka początkowego odcinka drogi (opis w tekście)

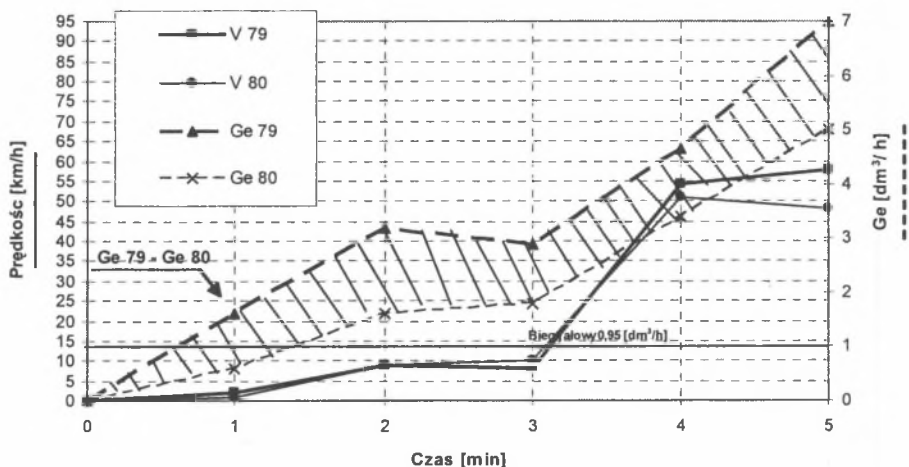
Nr	Nr trasy/m-c	$m_{lad}$ kg	T °C	$v_{sr}$ km/h	$V_p^1$ dm <sup>3</sup>	$V_p^2$ dm <sup>3</sup>	$L_s$ km	$T_1^3$ min	Rodzaj rozruchu/4
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	80/03	120	3	68	0,247	0,250	2,7	3,2	G
2	81/03	180	3	76	0,280	0,280	2,7	3,4	C/0,25 h
3	106/03	120	13	76	0,270	0,27	2,82	3,4	C/0,3 h
4	3/04	180	12	81	0,265	0,263	2,8	3,25	G
5	14/01	120	-8	83	0,270	0,270	3,3	2,8	G
6	19/04	120	13	96	0,320	0,320	4,5	2,4	L/1,36 h
7	9/01	120	-12	82	0,370	0,370	3,0	3,0	L/1,33 h
8	18/01	180	-15	72,5	0,392	0,390	2,65	3,25	Z
9	43/01	180	-5	53	0,330	0,330	2,3	3,3	Z
10	5/09	180	12	72	0,380	0,375	2,8	3,2	Z
11	1/03	180	6	55	0,390	0,380	2,65	3,0	Z
12	14/04	180	10	95	0,420	0,420	4,4	2,3	Z
13	79/03	180	3	65	0,340	0,338	2,6	3,5	Z
14	84/03	180	4	80	0,370	0,373	3,15	3,2	Z
15	16/01	180	-4	51	0,345	0,340	2,25	3,23	Z
16	92/03	120	3	75	0,370	0,376	2,7	3,4	Z
17	98/03	180	3	68	0,330	0,335	2,7	3,4	Z
18	103/03	180	4,5	70	0,360	0,360	2,65	3,0	Z

1- zużycie paliwa z wykresu w funkcji czasu po 5' pracy silnika, 2- to samo co (1), tylko odczytane z wykresu w funkcji drogi, 3- czas w min. po przejechaniu drogi 1 km, G- rozruch gorący, C- rozruch ciepły (10-30' postoju), L- rozruch letni- ok.1,3 h postoju, 4- czas korekty odczytu wykresów, niezbędny do synchronizacji parametrów („+” – przesunięcie zera w prawo)

Wartości zaproponowanych kryteriów porównawczych wskazują na znaczne zróżnicowanie i tak już wyselekcjonowanych tras przejazdu. Podstawowymi kryteriami doboru odcinków do porównania przyjęto długość przejechanej drogi po 5 min (kol. 7) oraz końcową prędkość po 5 min (kol. 4). Różnice w masie ładunku można skorygować w obliczeniach za pomocą odpowiedniego wskaźnika [7]. Równie ważny jest czas przejazdu pierwszego kilometra drogi (kol. 8).

Objętość zużytego paliwa w kol. 5 i 6 określono z dwu różnych wykresów dla tego samego początkowego odcinka czasu.

Na rys. 1 przedstawiono nałożone przebiegi, odpowiadające 1 i 13 przejazdowi z tab.1.



Rys.1. Porównanie profili prędkości i czasowego zużycia paliwa  $G_e$  samochodu przechłodzonego (79) i rozgrzanego (80)

Fig.1. Comparison profiles speed and fuel consumption in hour time of 80 route (hot start) and 79 route (cold start)

### 3. ZUŻYCIE PALIWA NA STABILIZACJĘ CIEPLNĄ POJAZDU

#### 3.1. Charakterystyki czasowe

W tab. 2 zestawiono wyniki pomiaru czasowego zużycia paliwa. W kol. 2 są przedstawione są objętości zużytego paliwa na stabilizację cieplną pojazdu, bezpośrednio wyliczone z tab.1 kol.5. W kol. 10, dla porównania, przedstawiono sumę obliczonej objętości zużytego paliwa (kol. 5-9).

Wyniki obliczeń przedstawiono w formie graficznej na rys. 2. Wynika z nich jednoznacznie, że na wybranym odcinku drogi, o powtarzalnym w pewnych granicach profilu prędkości jazdy, 5-minutowy interwał czasu nie jest wystarczającym dla pełnego nagrzania pojazdu.

Tabela 2

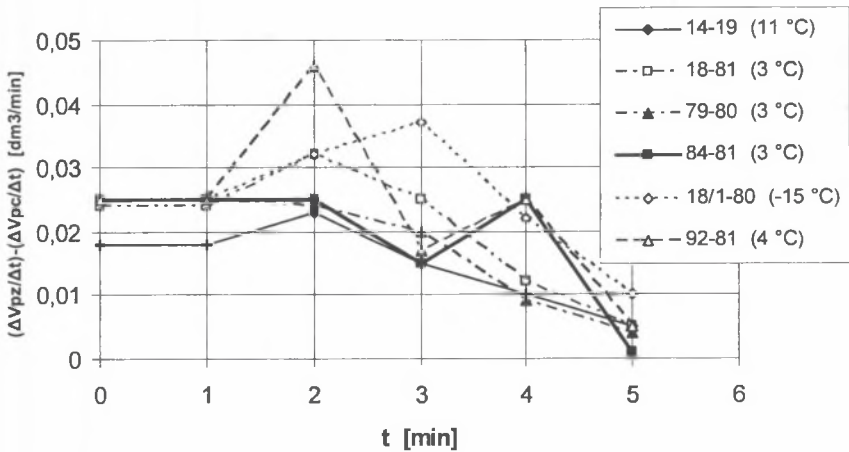
Zestawienie wyników obliczeń czasowego zużycia paliwa

Nr odcinka	$\Delta V_p (\pm \Delta V_{pm})$ dm <sup>3</sup>	$T_{sr}$ °C	$\Delta m_l$ kg	$\Delta V_p / \text{min}, \text{dm}^3$					$\sum V_p$ dm <sup>3</sup>	$\Delta V_p, \text{dm}^3$ (2)-(10)
				1'	2'	3'	4'	5'		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
92-81	0,09+0,014	3	-60	0,026	0,046	0,018	0,024	0,006	0,12	-0,016
84-81	0,092	4	0	0,025	0,025	0,015	0,025	0,00	0,09	0,002
79-80	0,090-0,014	3	60	0,024	0,024	0,019	0,009	0,003	0,07	0,006
18-81	0,11	3	0	0,025	0,032	0,025	0,018	0,006	0,106	0,004
14-19	0,10-0,018	11	60	0,018	0,023	0,015	0,011	0,005	0,062	0,02
18/1-80	0,15-0,013	-8	60	0,025	0,032	0,037	0,023	0,01	0,127	0,01

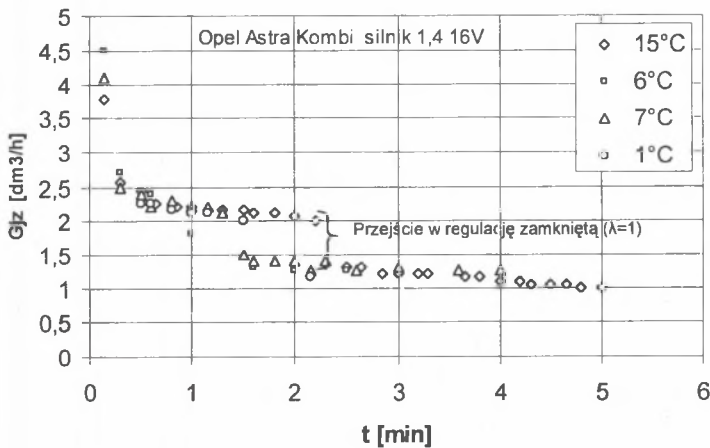
Mimo że na biegu jałowym w czasie rozgrzewania silnik tylko ok. 2 min pracuje na wzbogaconej mieszance (patrz rys. 3), to w czasie rozgrzewania w ruchu w tym samym czasie

zużycie paliwa wzrasta nieznacznie, w granicach 0,018-0,035 dm<sup>3</sup>/min. Stąd zwiększone zużycie paliwa w późniejszym okresie wynika w głównej mierze z większych oporów ruchu w rozgrzewających się zespołach pojazdu.

Z uwagi na porównywanie odcinków przejazdu przy zróżnicowanej masie ładunku (o 60 kg) konieczne było jej skorygowanie z pomocą danych analitycznych [7, 10]. Przyrost masy ładunku w tej klasie samochodów osobowych zwiększa przebiegowe zużycie paliwa o ok. 0,67 dm<sup>3</sup>/100 km/100 kg. Dla odczytu 18/1- 80 z tab. 2 dla przebiegu 3,2 km oznacza to korektę -0,013 dm<sup>3</sup> (kol. 2 tab. 2). Różnica objętości paliwa z kolumny 2 i 10 jest miarą błędu obliczeń czasowego zużycia paliwa na stabilizację cieplną pojazdu (kol. 11).



Rys. 2. Charakterystyki czasowe zużycia paliwa  
Fig. 2. Time characteristics of fuel consumption



Rys. 3. Czasowa charakterystyka zużycia paliwa przez silnik ZI na biegu jałowym  
Fig. 3. Time characteristics of fuel consumption for SI engine working on idle run

Porównując różnice w zużyciu paliwa zauważamy wpływ niskiej temperatury otoczenia i stopnia schłodzenia pojazdu.

Rozgrzewanie silnika samochodu na biegu jałowym w nowym cyklu NEDC (New European Driving Cycle) nie jest już stosowane. W celach poglądowych na rys. 3 przedstawiono fazy takiego nagrzewania. Zaznaczona na rysunku skokowa zmiana strumienia zużywanego paliwa wyznacza granicę przejścia silnika na mieszankę stechiometryczną [5, 8, 9]. Od tego momentu zwiększone zapotrzebowanie na paliwo w całości przeznaczone jest na pokonanie zwiększonych oporów ruchu jeszcze nie ustabilizowanego cieplnie pojazdu.

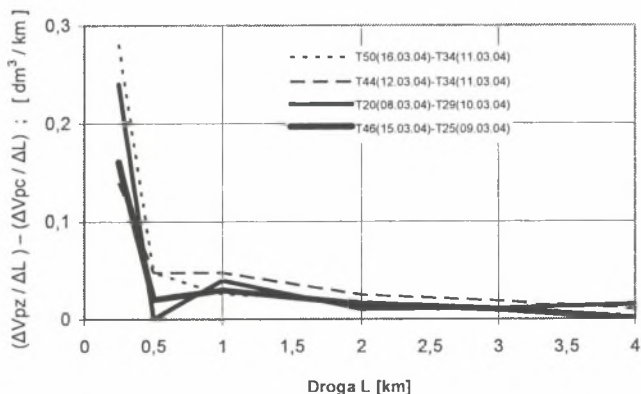
Zwiększenie zużycia paliwa wynikające z przechłodzenia układu przeniesienia napędu i kół jezdnych można obliczyć w każdym interwale czasu zestawiając strumień zużywanego paliwa na rozgrzanie silnika na biegu jałowym z paliwem zużywanym na rozgrzanie pojazdu. Dla rozpatrywanego przykładu po 5 min wydatek paliwa na rozgrzanie silnika i układu napędowego z kołami wynosi odpowiednio  $-0,057 \text{ dm}^3$  i  $0,035 \text{ dm}^3$ .

### 3.2. Charakterystyki przebiegowe

Analogiczne do charakterystyk czasowych, można dla danego odcinka drogi obliczyć charakterystyki przebiegowe, przedstawiające ilość zużywanego paliwa na rozgrzanie samochodu na jednostkę drogi. Wyniki obliczeń przedstawiono na rys. 4. Kryterium głównym doboru tras była zgodność czasu przejazdu pierwszych czterech km.

Większa część paliwa wydatkowanego na rozgrzanie zespołu napędowego przypada na pierwszy km przebytej drogi, któremu odpowiada  $3,0 \pm 0,5$  min czasu pracy silnika. W znacznym stopniu przyczyną tego, jak wcześniej wspomniano, jest praca silnika w pierwszych dwu minutach na wzbogaconej mieszance.

Na charakterystykach przebiegowych zużycia paliwa na stabilizację cieplną pojazdu wyraźnie widoczne jest powolne zmniejszanie się strumienia paliwa z każdym przejechanym km drogi. Proces stabilizacji cieplnej pojazdu nie kończy się w rozpatrywanych interwałach czasu i drogi, co pokazano na rys.2 i 4.



T50(7°C zimny)-T34(2°C gorący); T44(1°C zimny)-T34(2°C gorący);

T20(-2°C zimny)-T29(2°C ciepły); T46(3°C zimny)-T25(0°C ciepły)

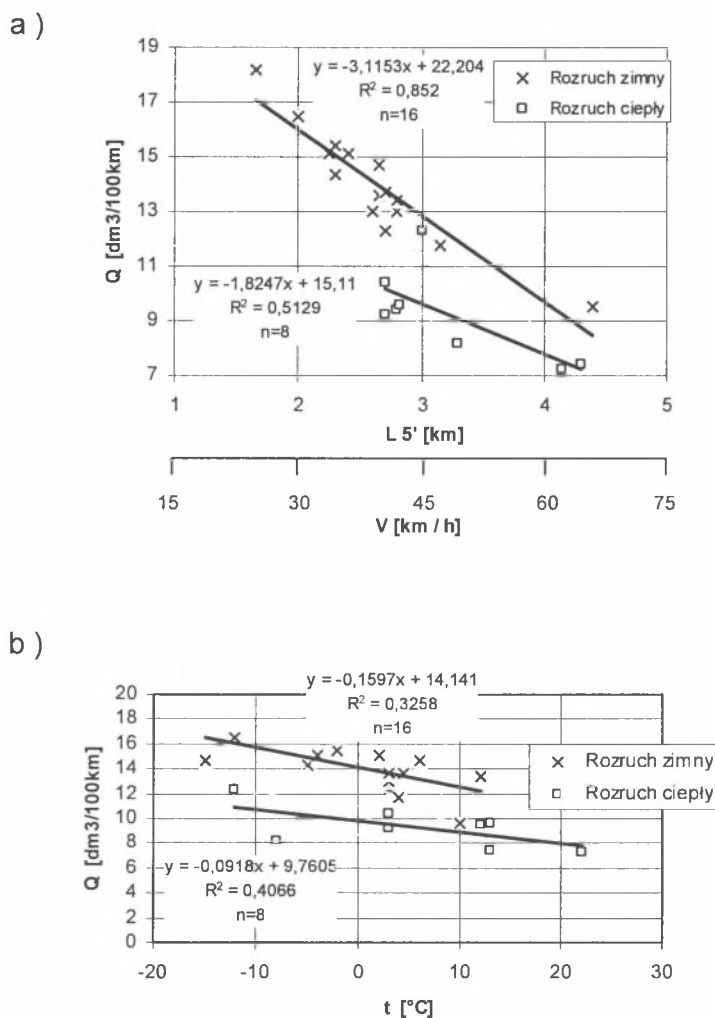
Rys. 4. Charakterystyki drogowe zużycia paliwa

Fig. 4. Road characteristics of fuel consumption

Przy rozgrzewaniu silnika w warunkach jazdy rzeczywistej, uwarunkowanej narzuconym profilem prędkości, koszty energetyczne rozgrzewania zespołu napędowego są znacznie niższe, gdyż nieznacznie większym kosztem zużytego paliwa rozgrzewa się cały pojazd, a także przebyty zostaje znaczny odcinek drogi.

#### 4. WPLYW TEMPERATURY OTOCZENIA I ŚREDNIEJ PRĘDKOŚCI JAZDY NA ZUŻYCIE PALIWA W PIERWSZYCH 5 MINUTACH

Dysponując wynikami obliczeń z tab.1 nietrudno przejść na rozpatrywanym odcinku przejechanej drogi w określonym czasie 5 min. na przebiegowe zużycie paliwa samochodu.



Rys. 5. Wpływ prędkości jazdy (a) i temperatury (b) na przebiegowe zużycie paliwa samochodu na początkowym 5 min. odcinku przejazdu

Fig. 5. Temperature (b) and ride speed (a) influence on mileage fuel consumption in first 5 min.



Poza tym rozpatrując wpływy temperatury i prędkości jazdy w czasie 5 min pracy silnika, zauważa się znacznie wyraźniejsze oddziaływanie tej drugiej wielkości i to zarówno dla zimnego, jak i ciepłego rozruchu (większa wartość współczynnika korelacji). Stąd prosty wniosek, rozciągający się na wszystkie przypadki ruchu o prędkości poniżej 70 km/h, dla której to prędkości przebiegowe zużycie paliwa samochodu jest najniższe, że należy w każdych warunkach ruchu na początkowym odcinku trasy starać się, aby zużywane przez silnik paliwo wykorzystywać przede wszystkim na pokonywanie zamierzonej drogi z maksymalną w danych warunkach prędkością, bliską 60 – 75 km/h.

#### 4. WNIOSKI

Na podstawie zaprezentowanych wyników pomiarów można wyciągnąć następujące wnioski:

1. W rozpatrywanych interwałach czasowym (5 min) i drogowym (4 km) samochód osobowy klasy B (rok produkcji 1997) nie osiąga równowagi cieplnej zespołu napędowego i kół jezdnych, o czym świadczy utrzymujące się zwiększone zużycie paliwa.
2. W fazie nagrzewania pojazdu, trwającej zależnie od temperatury otoczenia ok. 7-10 min lub 6-8 km, przebiegowe zużycie paliwa można zmniejszyć przez zwiększenie prędkości średniej przejazdu ( $\Delta Q = 2,0 \text{ dm}^3/100 \text{ km}$  na każde 10 km/h wzrostu prędkości).
3. Nagrzewanie silnika na biegu jałowym jest mało efektywne i dlatego powinno być realizowane w czasie jazdy, co niewątpliwie je przyspiesza i ogranicza czas pracy silnika ZI na wzbogaconej mieszance; w przypadku zatrzymania pojazdu na czas dłuższy niż 1 min korzystne jest wyłączenie silnika.
4. W stabilizacji cieplnej pojazdu znaczny udział ma układ przeniesienia napędu z kołami jezdными, wynoszący ok. 60% udziału silnika; stąd udział w całości strumienia paliwa wydatkowanego na stabilizację cieplną wynosi ok. 38%.

#### Literatura

1. Bielaczyc P., Merkisz J.: Euro III/Euro IV Emissions – A Study of Cold Start and Warm-up Phases with a SI (Spark-Ignition) Engine. SAE Technical Paper 1999-01-1074.
2. . Haitori F. i in.: Analysis of fuel and consumption behavior during cold starting of SI gasoline engine“. JSAE Review: Volume:18, Issue: 4, October 1997, s.351-359.
3. Kishi Y., Katsuki S., Yoshikawa Y., Morita I.: A method for estimating traffic flow fuel consumption-Using traffic simulations. JSAE Review: Volume:17, Issue:3, July 1996, s.307-311.
4. Oguchi T., Taniguchi M. i in.: Analysis of fuel consumption structure based on vehicle operating paterus. JSAE Review: Volume:16, Issue:3, July 1995, s.310.
5. Brzeżański M.: Toksyczność spalin w czasie nagrzewania silnika na biegu jałowym. Czasopismo techniczne, WPK, z. 7, Kraków 2000, s. 39-47.
6. Grebe U.D. i inni: Die neue Generation der mittleren Vierzylinder-Ottomotoren von Fiat-GM Powertrain. Motortechnische Zeitschrift nr 11, 2003, s.899-909.
7. Ubysz A.: Charakterystyka Współczesnych samochodów osobowych i ich silników. Skrypty uczelniane Pol. Śl., Gliwice 1996.
8. Wendeker M.: Sterowanie wtryskiem benzyny w silniku samochodowym. Lubelskie Towarzystwo Naukowe, Lublin 1999.

9. Merkiż J.: Ekologiczne problemy silników spalinowych. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, t. I i II, Poznań 1999.
10. Ubysz A.: Energochłonność samochodu a zużycie paliwa w złożonych warunkach ruchu. Monografia. Wyd. Politechniki Śląskiej, Gliwice 2003.

Recenzent: Dr hab. inż. Jerzy Jantos, Prof. Politechniki Opolskiej