

OPTIMALIZACJA ZUŻYCIA PALIWA W SAMOCHODZIE OSOBOWYM Z SILNIKIEM ZI NA OBSZARZE ZABUDOWANYM

Aleksander UBYSZ

Katedra Budowy Pojazdów Samochodowych, Politechnika Śląska
Wydział Transportu, 40-019 Katowice ul. Krasińskiego 8
tel. (32) 603 4146; e-mail: aleksander.ubysz@polsl.pl

Streszczenie

W niniejszej pracy autor na podstawie badań własnych przedstawia praktyczne metody optymalizacji zużycia paliwa w samochodzie osobowym z silnikiem ZI w pojedynczej fazie zmiennego cyklu jezdny i w całym cyklu jezdny w ruchu na obszarze zabudowanym. W opracowaniu we właściwy sposób uwzględniono wpływ na optymalizację pochylenia jezdni „p” oraz spadek sprawności efektywnej silnika w dynamicznych warunkach pracy. Do rozważań włączono nie zalecaną technikę jazdy z rozłączonym napędem.

Słowa kluczowe: zużycie paliwa, charakterystyka uniwersalna.

OPTIMIZATION OF FUEL CONSUMPTION IN A CAR WITH SI ENGINE

Summary

Some practical methods of optimization of fuel consumption in a car with SI engine at a single phase of variable driving cycle as well as a complete driving cycle in city traffic have been presented in the paper. The described methods are have been based on the writer's research work. The impact of 'p' road grade and the decrease of engine efficiency in dynamic operating conditions upon the optimization of fuel consumption has been taken into consideration in the course of the carried out tests – the idle running was included in the tests as well.

Keywords: fuel consumption, fuel consumption map.

1. WSTĘP

Problem zużycia paliwa i techniki sterowania samochodem osobowym należy do najwzrostrońniej rozpatrywanych na każdym poziomie zainteresowań aplikacyjnych i naukowych. W rezultacie opracowywane są specjalne programy korygujące styl jazdy [1], mniej lub bardziej zrozumiałe w działaniu dla kierujących inteligentne sterowniki prędkością samochodu o konwencjonalnym zespole napędowym [2] lub zupełnie nowe konstrukcje energooszczędnych pojazdów [3, 4].

Problem oszczędnej eksploatacji samochodów we współczesnym świecie jest tak ważny, że w wielu krajach energooszczędne sterowanie pojazdem włączono do programu szkolenia kierowców (np. Szwecja). W kraju dotychczas optymalizację zużycia paliwa sprowadzano do czysto teoretycznych rozważań [5] lub symulacji ruchu rzeczywistego na hamowni podwoziowej, teoretycznie uwzględniając pochylenie jezdni [6]. Jednak dostrzega się coraz częściej potrzebę tego typu badań w ruchu rzeczywistym pojazdów [7, 8].

W badaniach własnych nad optymalizacją przebiegowego zużycia paliwa w samochodzie osobowym w ruchu rzeczywistym autor opracował

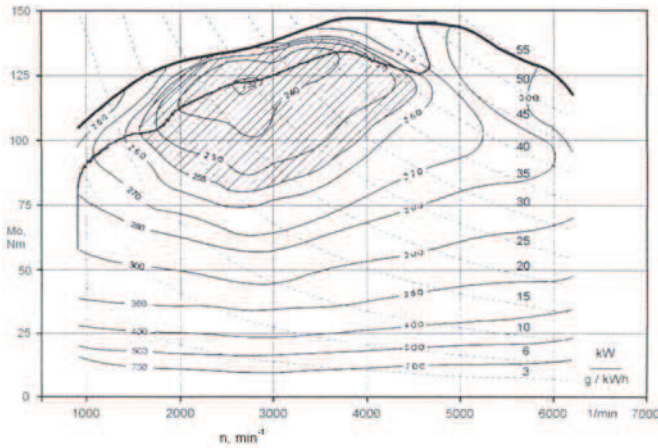
oryginalną metodę optymalizacji zużycia paliwa w najdłuższej fazie zmiennego cyklu jezdny dla trzech technik sterowania napędem: z napędem ciągłym, z napędem rewersyjnym (hamowanie silnikiem) i z rozłączonym napędem (jazda wybiegiem).

2. WARUNKI BADAŃ I CHARAKTERYSTYKA SAMOCHODU

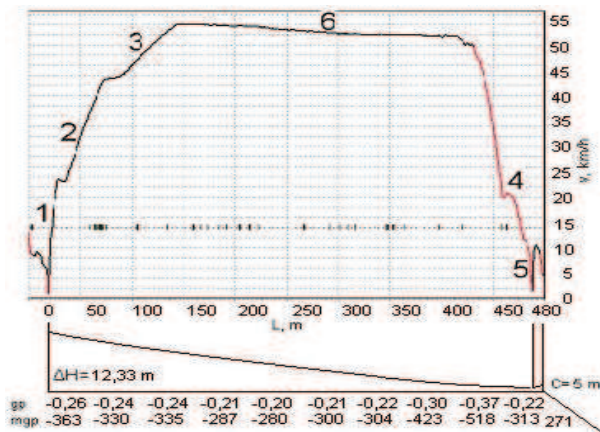
Zmienny pod względem dynamiki przyspieszania pojazdu cykl jezdny symulujący ruch pojazdu na obszarze zabudowanym realizowano na odcinku jezdni długości do 500 m o dokładnie wyznaczonym profilu pochylenia „p” (rys.2). Do badań wykorzystano samochód osobowy klasy B/K z silnikiem 1,6 ZI o znanej charakterystyce uniwersalnej (rys. 1). W celu określenia wpływu pochylenia jezdni na dynamikę przyspieszania samochodu dla stałego obciążenia silnika realizowano pomiary zużycia paliwa i drogi za pomocą MotoGrafu dla przejazdów w obu kierunkach: „w dół” i „w górę”.

Pomiary prowadzono na dwóch („L” i „H”) zróżnicowanych odcinkach pomiarowym, rozpędzając pojazd do 58 km/h na trzech pierwszych przełożeniach skrzynki biegów oraz do

45 km/h na dwóch pierwszych przełożeniach. W celu minimalizacji błędu stochastycznego, wynikającego z dokładności sterowania pojazdem, dla każdej dynamiki rozpędzania samochodu badania prowadzono kilkakrotnie.



Rys. 1. Charakterystyka uniwersalna silnika ZI 1,6



Rys. 2. Charakterystyka pochylenia odcinka „L” oraz jeden z profili prędkości w zmiennym cyklu jezdnym („w dół” z wybiegiem w fazie „6”)

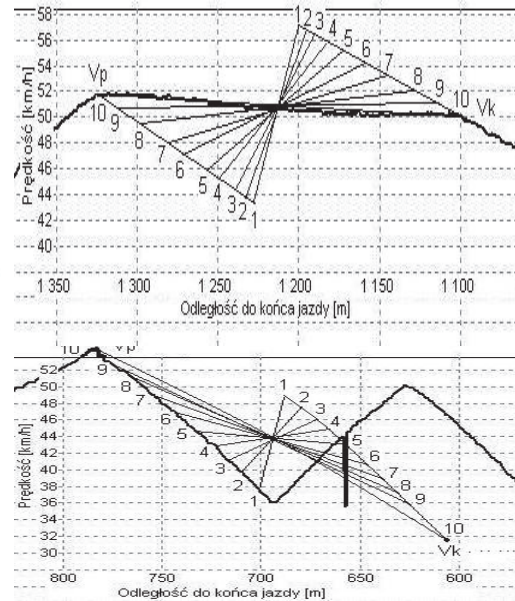
3. OPTIMALIZACJA ZUŻYCIA PALIWA

3.1. W „6” fazie na trasie „L”

Powtarzalność cykli jezdnych o określonej dynamice przyspieszania w określonym zakresie prędkości na poszczególnych przełożeniach skrzynki biegów była ograniczona sposobem sterowania obciążeniem silnika i stochastycznym charakterem sterowania pedałem przyspiesznika. Dlatego przy wielokrotnych pomiarach zdarzały się prawie identyczne profile prędkości fazy „6” z rys. 2 przy zróżnicowanym sterowaniu napędem: w sposób ciągły i wybiegiem. Stąd wyciągnięto wniosek, że w przypadku napędu ciągłego w takim przypadku zużycie paliwa w tej fazie odpowiada zużyciu paliwa na biegu luzem (pokonanie oporów własnych silnika).

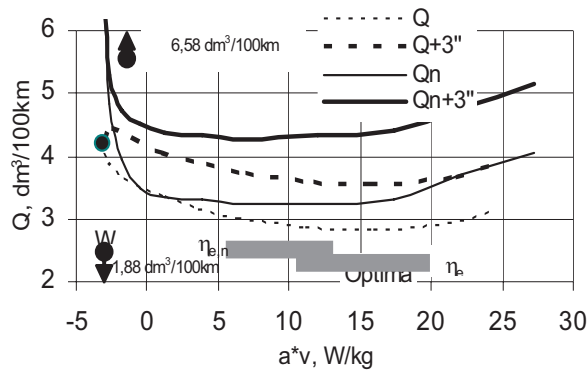
W związku z powyższym stała się możliwa optymalizacja zużycia paliwa w rozpatrywanej fazie uwzględniając wszystkie trzy techniki jazdy,

przy założeniu dla każdej z nich tej samej prędkości początkowej i końcowej - v_p i v_k . Za wzorcowy profil prędkości w fazie „6” przyjęto profil o najmniejszym spadku energii kinetycznej pojazdu, z rozłączonym napędem (wybieg). Na rys. 3 na profile prędkości dla ruchu „w dół” i „w górę” nałożono 9 wariantów profili hamowania silnikiem z śródfazą utrzymującą energię kinetyczną samochodu na wymaganym poziomie. Wariant 10. jest wspomnianym wcześniej napędem ciągłym z mocą silnika bliską zero.



Rys. 3. Optymalizacja techniki jazdy rewersyjnej i jej porównanie z jazdą wybiegiem i napędem „ciągłym” na odcinku drogi o pochyleniu ($g_p = 0,288 \text{ m/s}^2$ („pod górę”) i $g_p = -0,210 \text{ m/s}^2$ („w dół”) (na podstawie profilu prędkości fazy głównej z rys. 2)

Rozpatrzenie 9. wariantów przyspieszenia ruchu pojazdu w śródfazie odzysku energii kinetycznej ma na celu przeprowadzenie optymalizacji zużycia paliwa w fazie „6” dla zalecanej techniki jazdy rewersyjnej. Ponieważ autor określił wielkość spadku sprawności efektywnej silnika w funkcji dynamiki zmian prędkości obrotowej [8], to na rys. 4 przedstawiono przebieg zużycia paliwa w „6” fazie z uwzględnieniem (linie ciągłe) i bez uwzględnienia tego spadku. Na rys. 4 zaznaczono dodatkowo wpływ 3 sek. zwłoki wyłączenia wtrysku paliwa. Optima dla obydwóch przypadków zaznaczono szarym prostokątem. Poza tym zaznaczono wartość zużycia paliwa dla jazdy z rozłączonym napędem ($Q=1,88 \text{ dm}^3/100 \text{ km}$) i dla napędu ciągłego (wariant „10-10”) z minimalnym obciążeniem $M_0 = 0,08 \text{ Nm}$ ($6,58 \text{ dm}^3/100 \text{ km}$) o wyjątkowo małej sprawności efektywnej 0,001 ($g_e = 100 \text{ 700 g/kWh}$). Osiągnięcie tego samego profilu prędkości w fazie „6” dla jazdy „w górę” i „w dół” osiąga się kosztem skrajnie różnych Q .



Rys. 4. Optymalizacja zużycia paliwa w jeździe rewersyjnej „w dół” na 3. biegu ze zróżnicowaną dynamiką śródfazy częściowego odtwarzania poziomu energetycznego ruchu samochodu z uwzględnieniem ($\eta_{e,n}$) i bez uwzględnienia (η_e) wpływu dynamicznej pracy silnika; $Q = 6,58 \text{ dm}^3/100\text{km}$ dla napędu ciągłego z $M_o = 0,08 \text{ Nm}$

Z powyższego wynika, że najmniejsze straty energii w fazie ruchu o małej energochłonności występują w ruchu z rozłączonym napędem. Jednak gdy warunki drogowe wymagają istotnego ograniczenia prędkości w krótkim czasie, to korzystniej wykorzystać do tego własne opory silnika na biegu luzem, oszczędzając tym samym i paliwo (po 1-3 s wyłączenie wtrysku) i powierzchnie robocze układu hamulcowego.

Należy zwrócić uwagę na niekorzystne zjawisko wzrostu emisji tlenku węgla (CO) w „gorących” fazach hamowania silnikiem w miejskim cyklu jezdny [6], powodem którego może być, zdaniem autora, szybkie wychłodzenie katalizatora poniżej temperatury pracy (250°C) w wyniku „przeciągania” przez silnik strumienia zimnego powietrza o znacznym natężeniu (otwarta przepustnica).

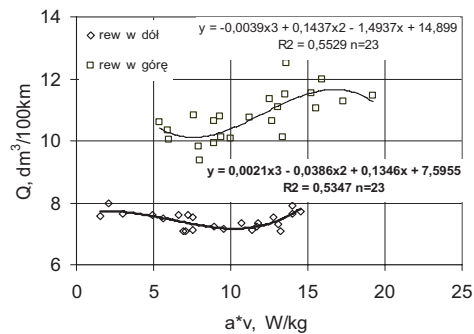
3.2. ...w cyklu jezdny na trasie „H”

W tym rozdziale poddano analizie rzeczywiste zużycie paliwa w samochodzie w zmiennym, pod względem dynamiki rozpędzania, cyklu jezdny o znanej długości i trzech modułach profilu prędkości:

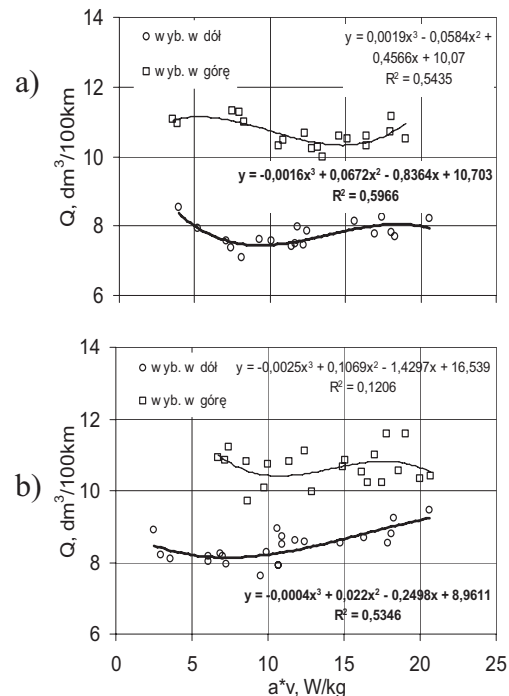
- moduł przyspieszania na 2. lub 3. biegach (rys.2),
- moduł ruchu o niewielkiej energochłonności,
- moduł hamowania i unieruchomienia pojazdu.

Wyznaczone na rys. 5 optima zużycia paliwa dla ruchu „w dół” i „pod górę” z rewersyjną fazą „6” można porównać z charakterystykami z rys. 6b, wyznaczonymi dla cykli jezdnych z rozłączonym napędem w fazach nienapędowych. Na rys. 4a mniejsze Q jest w rezultacie rozpędzania samochodu na dwóch biegach do prędkości o 13 km mniejszej. Dla ruchu „pod górę” w wyniku wprowadzenia dodatkowej śródfazy zapewniającej dotarcie do celu brak oszczędności, a minimalne Q występuje przy $(a \cdot v) = 13 \text{ W/kg}$ (brak min. na rys. 6b, gdzie bezwładność pojazdu rozpędzonego

do 58 km/h zapewniała osiągnięcie celu bez dodatkowej fazy).



Rys. 5. Optymalizacja zużycia paliwa w funkcji mocy jednostkowej dodatkowych oporów ruchu dla samochodu przyspieszanego na 3. biegach z fazą rewersyjną „6” („pod górę” i „w dół”; „H”, $L=400 \text{ m}$)



Rys. 6. Optymalizacja zużycia paliwa w funkcji mocy jednostkowej dodatkowych oporów ruchu dla samochodu przyspieszanego na 3. biegach ($L = 400 \text{ m}$) (b) lub 2. biegach ($L = 340 \text{ m}$) (a) i z rozłączonym napędem („pod górę” i „w dół”, odcinek „H”)

Natomiast jazda rewersyjna w fazie „6” (rys. 5) i wybiegiem (6b) w fazach nienapędowych wymaga nieco innej strategii sterowania samochodem. Dla jazdy „w dół” korzystne jest szybkie przyspieszenie celem wydłużenia fazy „6”, umożliwiającej dotarcie do celu z nieznacznie malejącą prędkością (z 58 do 54 km/h). Z kolei w ruchu „pod górę” wyraźne minimum Q występuje w przypadku wolnego rozpędzania samochodu, co zapewnia osiągnięcie v_{max} bliżej celu i dodatkowa faza napędowa jest zbędna. Jednak zbyt powolne przyspieszenie pojazdu „pod

górze” skraca czas pracy silnika z wyłączonym wtryskiem paliwa i zużycie w lewo od min. rośnie (rys. 5).

Na tych kilku przykładach pokonywania samochodem określonego odcinka drogi „w dół” i „w górę” wyraźnie widać, że minimalizacja zużycia paliwa na jednostkę przebytej drogi jest bardzo złożona. Opracowane sterowniki prędkości ruchu [2] oraz programy analizujące technikę jazdy [1] nie są w stanie przewidzieć wszystkich czynników mających na nie istotny wpływ.

W sterownikach w całym zakresie prędkości zaleca się nie przekraczanie mocy jednostkowej dodatkowych oporów ruchu 4-6 W/kg [2]. Jak udowodniono powyżej, istnieją scenariusze warunków ruchu (prędkość, pochylenie jezdni, masa pojazdu, długość odcinka drogi do przebycia, itd.), dla których optymalna wartość ($a \cdot v$) może być dwa razy większa. Natomiast stosowanie, w zależności od potrzeb, w miejsce faz napędowych o małym obciążeniu silnika, poniżej 3-7 kW, techniki jazdy rewersyjnej lub wybiegiem zwiększa zakres oszczędności paliwa w wyniku eliminacji faz pracy silnika z bardzo małą sprawnością efektywną [9]. Na podstawie powyższego zrozumiałym stało się wprowadzenie w niektórych krajach dla kierowców programu energooszczędnego sterowania samochodem.

4. WNIOSKI

1. Z trzech technik sterowania prędkością samochodu w fazach o bardzo małym zapotrzebowaniu na energię najbardziej oszczędna jest jazda wybiegiem a najmniej z napędem ciągłym; należy ją zastąpić fazą hamowania silnikiem ($4,25 \text{ dm}^3/100\text{km}$ z 3 sekundową zwłoką wyłączenia wtrysku) lub wybiegiem ($1,9 \text{ dm}^3/100\text{km}$).
2. Jazda wybiegiem, z rozłączonym napędem, jest dla większych prędkości najoszczędniejszą formą techniki jazdy, związaną z najwolniejszym wytracaniem prędkości. W jeździe wybiegiem zapotrzebowanie na paliwo ogranicza się do godzinowego zużycia paliwa na biegu jałowym silnika (w silniku ZI $1,6 G_j = 0,90 \text{ dm}^3/\text{h}$), co nietrudno przeliczyć na przebiegowe zużycie paliwa dla każdej prędkości jazdy (w ruchu miejskim, w zależności od wymaganej intensywności ograniczenia prędkości jazdy, stosowana zamiennie z techniką jazdy rewersyjnej).
3. Dla ograniczonej prędkości maksymalnej pojazdu i krótkich odcinków przebytej drogi (do 400 - 900 m) na obszarze zabudowanym jazda rewersyjna „w dół” jest najoszczędniejsza, zwłaszcza dla długiej fazy jazdy rewersyjnej, lub „pod górę”, gdy zachodzi konieczność istotnego ograniczenia prędkości do zatrzymania włącznie.
4. Energooszczędna technika sterowania samochodem wymaga także ustalania punktu

pracy na charakterystyce uniwersalnej w zakresie najmniejszej dopuszczalnej prędkości obrotowej, co pozwala na zwiększenie sprawności efektywnej silnika, m.in. przez ograniczenie jej spadku przez ograniczenie dynamicznych warunków pracy.

LITERATURA

- [1] Program instruktażowy FIAT G. A. i Microsoft Automotive Business Unit (dostępny w wybranych modelach samochodów od 2008 r.)
- [2] Neunzig D., Benmimoun A.: *Potentiale der voraus-schauenden Fahrerassistenz zur Reduktion des Kraftstoffverbrauchs*. Aachener Kolloquium Fahrzeug und Motorentechnik 2002, s. 1-27.
- [3] Jantos J.: *Zintegrowane sterowanie samochodowym, spalinowym układem napędowym o przełożeniu zmiennym w sposób ciągły*. Studia i Mono-grafie z. 141, Politechnika Opolska, Opole 2003.
- [4] Brzeżański M.: *Downsizing silników*. Silniki Spalinowe 4/2004, s. 5-12.
- [5] Siłka W.: *Energochłonność ruchu samochodu*. WNT, Warszawa 1997.
- [6] Romaniszyn K.: *Alternatywne zasilanie samochodów benzyną oraz gazami LPG i CNG*. WNT, W-wa 2007.
- [7] Merkiś J., Gis W.: *Możliwości oceny emisji w rzeczywistych warunkach ruchu*. Transport Samochodowy, nr 2/2007.
- [8] Ubysz A.: *Sprawność efektywna silnika ZI w funkcji dynamiki przyspieszania samochodu*. IV Międzynarodowy Kongres Diagnostyki Technicznej, Olsztyn 9-12.09. 2008 r.
- [9] Ubysz A.: *Energochłonność samochodu a zużycie paliwa w złożonych warunkach ruchu*. Monografia. Wyd. Pol. Śląskiej, Gliwice 2003.

Informację o Autorze zamieszczono na stronie 73