ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1997
Seria: TRANSPORT z.29 Nr kol.1358

Aleksander UBYSZ

WPŁYW DYNAMIKI POJAZDÓW SAMOCHODOWYCH NA ICH SPRAWNOŚĆ ENERGETYCZNĄ

Streszczenie. W pracy za pomocą wykresów scharakteryzowano wpływ dynamiki kilku grup pojazdów na ich jednostkowe zużycie paliwa, charakteryzujące ich sprawność energetyczną. Wyjaśniono również przyczyny pozornych nieprawidłowości w przebiegu tych charakterystyk.

THE INFLUENCE OF AUTOMOTIVE VEHICLES DYNAMICS ON THEIR WATT-HOUR EFFICIENCY

Summary. The influence of dynamics on unitary fuel consumption in chosen groups of wehicles has been characterized by charts and presented in this paper. Unitary fuel consumption effects in a considerable way vehicles watt-hour efficiency.

1. WSTĘP

Przed przystąpieniem do próby obliczenia sprawności zespołów napędowych pojazdów samochodowych na podstawie danych katalogowych wskazane jest sprawdzenie, w jaki sposób dynamika tych pojazdów wpływa na ich sprawność energetyczną. Za pomocą odpowiednich programów komputerowych i odpowiedniego banku danych możliwe jest otrzymanie takich charakterystyk dla każdej klasy poszczególnych grup pojazdów. Współczynnik korelacji tych charakterystyk z punktami pomiarowymi opisującymi je określać będzie wartość R-kwadrat. Poniżej, ze względu na ograniczoną objętość pracy, przedstawione zostaną tylko wybrane, najciekawsze z punktu widzenia autora, charakterysyki wpływu dynamiki na jednostkowe zużycie paliwa przez pojazd dla trzech grup pojazdów: samochodów osobowych i ciężarowych oraz autobusów.

2. PODSTAWY TEORETYCZNE

Jak wiadomo, sprawność energetyczna pojazdu jest dostatecznie precyzyjnie wyrażona jednostkowym zużyciem paliwa przez pojazd w przypadku stosowania paliw ropopochodnych o przybliżonej gęstości i wartości opałowej, a w ogóle przez syntetyczny wskaźnik ekonomiczności pojazdu, tzw. SWEP [1,2]. W opracowaniu ograniczono się do charakterystyki tego pierwszego wskaźnika jako wystarczająco dokładnego w przypadku stosowania dwu tylko paliw (benzyna, olej napędowy) i ogólnie można napisać, że wielkość tego wskaźnika w każdej klasie poszczególnych grup pojazdów silnikowych zależy przede wszystkim od:

$$g_v = f(m_c, g_e, t_{100}[M_m], A_f), \quad [dm^3/100km/Mg], \tag{1}$$

gdzie: m_c -masa całkowita pojazdu

g_e -jednostkowe zużycie paliwa przez silnik wyrażające jego sprawność ogólną,

t_{100} -dynamika pojazdu wyrażona czasem rozpędzania pojazdu do 100 km/h lub

M_m -wskaźnikiem momentu obrotowego na jednostkę masy całkowitej

A_f -powierzchnia czołowa pojazdu .

We wzorze dynamika pojazdów, w zależności od danych katalogowych ,przedstawione jest alternatywnie. Dokładniej wyraża ją czas rozpędzania pojazdu od stanu zatrzymanego do 100 km/h, gdyż uwzględniono jest charakterystyka nie tylko silnika ale całego zespołu napędowego, z doborem przełożeń włącznie. Ale z braku takich danych w większości grup pojazdów, z wyjątkiem samochodów osobowych, dynamikę pojazdu określono tylko na podstawie wskaźnika maksymalnego momentu obrotowego silnika na jednostkę masy całkowitej:

$$M_m = M_o/m_c \quad [Nm/Mg], \tag{2}$$

gdzie M_o - maksymalny moment obrotowy silnika napędzającego pojazd.

Poszczególne charakterystyki jednostkowego zużycia paliwa przez pojazdy poszczególnych grup i klas w funkcji masy całkowitej w poszczególnych przedziałach dynamiki otrzy-

mano dzięki filtracji komputerowej danych katalogowych. Wybrane wyniki przedstawiono w kolejnych rozdziałach pracy.

3. CHARAKTERYSTYKA WPŁYWU DYNAMIKI NA SPRAWNOŚĆ ENERGETYCZNĄ POJAZDÓW

Wybrane charakterystyki wpływu dynamiki na jednostkowe zużycie paliwa przez pojazd przedstawiono dla wybranych klas trzech grup pojazdów samochodowych: dla samochodów osobowych na podstawie wskaźnika dynamicznego określonego czasem rozpędzania pojazdu do 100 km/h oraz samochodów ciężarowych i autobusów na podstawie wskaźnika momentu obrotowego silnika na jednostkę masy całkowitej pojazdu.

3.1. Samochody osobowe

W pracy [1,2,3] sprawność energetyczną pojazdów samochodowych przedstawiano za pomocą prostoliniowych charakterystyk, które w formie bardziej czytelnej, ale nie zawsze najdokładniejszej, opisują zależność g_v w funkcji masy całkowitej pojazdu. Na rys. 1 przedstawiono nieprostoliniowe, najczęściej wielomianowe, charakterystyki dla wszystkich klas samochodów osobowych. Dzięki aproksymacji nieprostoliniowej współczynnik korelacji wzrósł średnio o ok.15% (tabela 1).

Na przykładzie samochodów osobowych klasy średniej niższej (B) widoczne jest znaczne przetasowanie charakterystyk dynamicznych jednostkowego zużycia paliwa w obu grupach silników napędowych (ZI i ZS). Jedynie w klasie samochodów kombi (K) z silnikami ZI układ charakterystyk jest regularny, tzn. pojazdy o wyższej dynamice mają odpowiednio wyższe g_v. W przypadku tańszych, o niższym standarcie wykonania i wyposażenia, samochodów klasy B jest to możliwe do wytłumaczenia biorąc pod uwagę dwa ważne czynniki, które mają jeszcze wpływ na sprawność energetyczną pojazdów, a nie uwzględnione w dotychczasowych rozważaniach. Są to opory aerodynamiczne i sprawność jednostki napędowej.

Opory aerodynamiczne można w przybliżeniu scharakteryzować powierzchnią czołową pojazdu, podaną w danych katalogowych. Natomiast sprawność jednostki napędowej, wyrażonej bezpośrednio sprawnością ogólną (efektywną) silnika lub pośrednio jednostkowym zużyciem paliwa przez silnik, katalogi nie podają.

Tabela 1

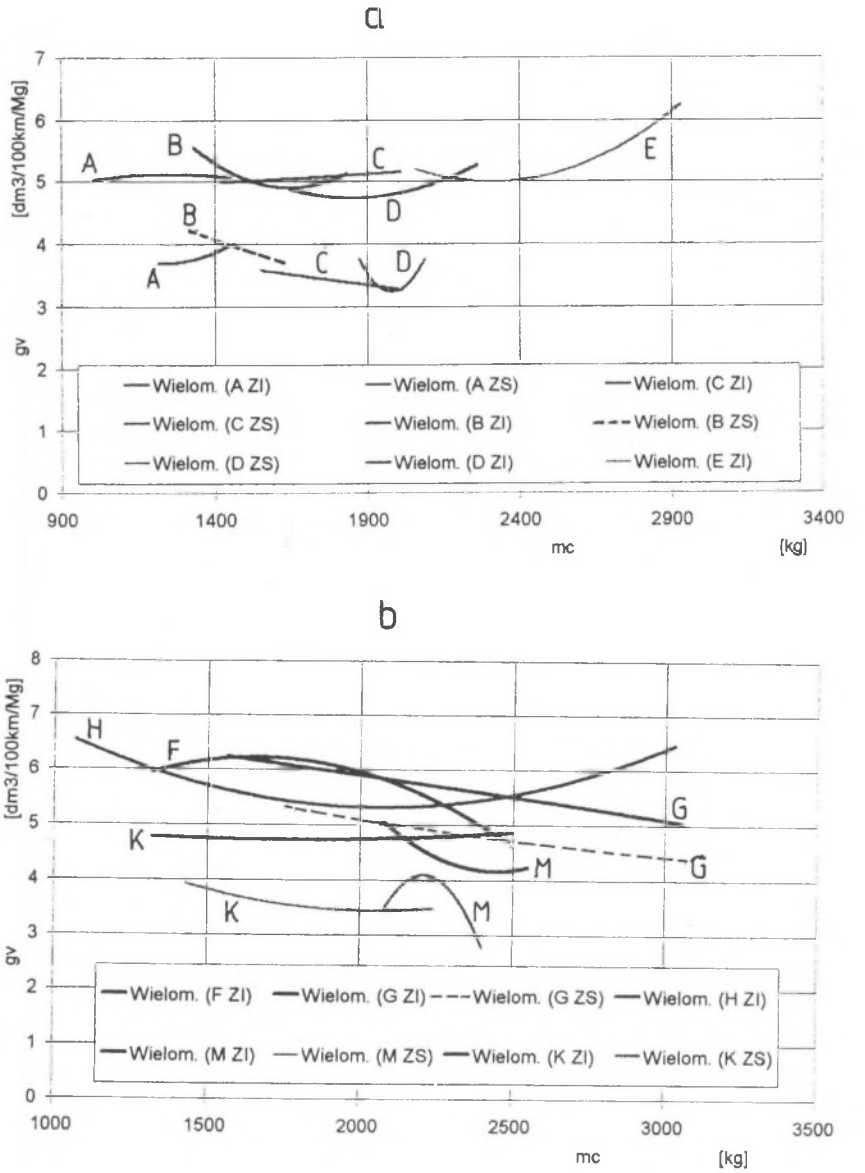
Charakterystyka rozrzutu jednostkowego zużycia paliwa przez poszczególne klasy samochodów osobowych za pomocą współczynnika korelacji R-kwadrat przy dwu rodzajach linii aproksymacyjnych

Klasa samochodów	Ilość n samochodów	R-kwadrat prosta	R-kwadrat optymalne	Rodzaj linii
A silniki ZI	64	0.13	0.15	wielomian
B	102	0.02	0.02	wielomian
C	78	0.18	0.21	wielomian
D	59	0.12	0.17	wielomian
E	32	0.16	0.17	wielomian
F	52	0.14	0.18	wielomian
G	39	0.16	0.18	wielomian
H	60	0.35	0.40	wielomian
K	83	0.27	0.36	wielomian
M.	20	0.36	0.37	wielomian
A silniki ZS	8	0.47	0.50	wielomian
B	16	0.26	0.29	wielomian
C	21	0.06	0.06	wielomian
D	23	0.65	0.70	wielomian
G	24	0.38	0.40	wielomian
K	31	0.28	0.35	wielomian
M.	5	0.18	0.19	wielomian

Doskonale jednak wiadomo, że sprawność jednostki napędowej w wykorzystaniu energii cieplnej ma znaczny wpływ na zużycie paliwa i jednostkowe zużycie paliwa przez pojazd. Szczególnie dobrym przykładem takiego wpływu jest bardzo iskie zużycie paliwa przez wszystkie samochody osobowe napędzane bardzo ekonomicznymi silnikami ZS o wtrysku bezpośrednim firmy Audi 1,9 i 2,5 TDI. Wcześniej, bo w połowie lat 80 popularność ekonomicznego samochodu dostawczego zyskał dzięki oszczędnemu silnikowi ZS o wtrysku bezpośrednim (doładowany, 2,5 dm^3) Ford Transit..

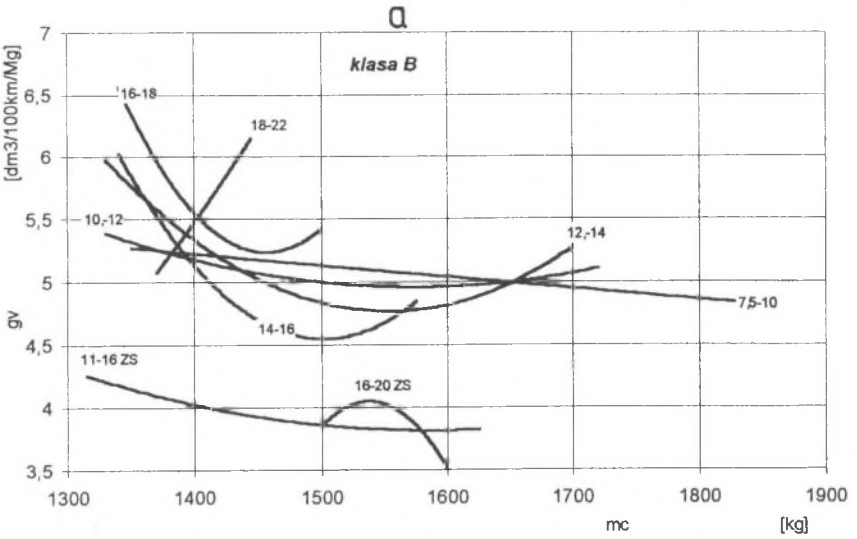
Przedstawione na rys.2a charakterystyki jednostkowego zużycia paliwa przez samochody osobowe klasy B z silnikami ZI o zróżnicowanej dynamice układają się względem siebie w sposób zróżnicowany i na pierwszy rzut oka dość przypadkowy. Jednak bliższa analiza ich wzajemnego położenia oraz współczynnika korelacji R-kwadrat (patrz tabela 2), jako miernika rozrzutu wskaźnika paliwowego dla pojazdów o określonej dynamice, w przybliżeniu daje nam następujący obraz: samochody podklasy o najwyższej dynamice (t_{100}=7,5-10 s), wbrew

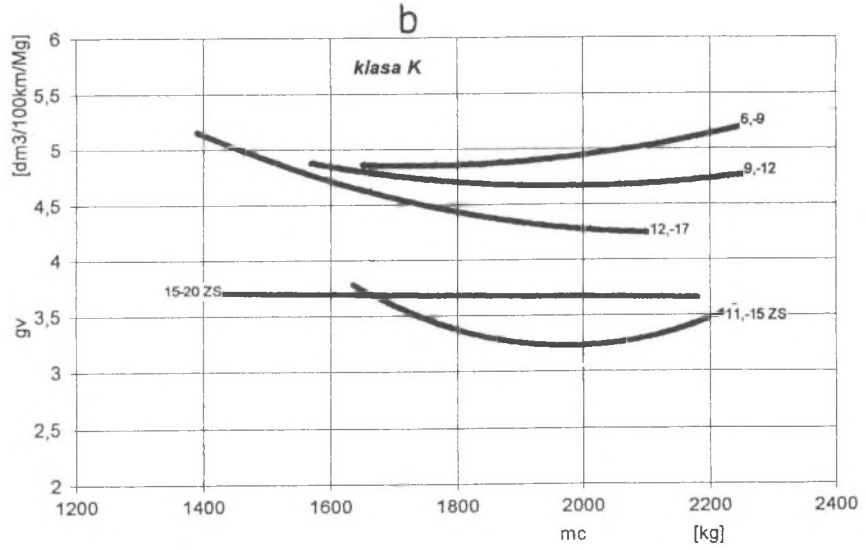
teorii, szczególnie w przypadku pojazdów o najwyższej masie całkowitej, mają nie wysoki wskaźnik gv poniżej 5 dm^3/100km/Mg. Jest to prawdopodobnie zasługa wysokiego stopnia



Rys.1. Średnie jednostkowe zużycie paliwa przez poszczególne klasy samochodów osobowych z silnikami ZI i ZS klas konwencjonalnych (a) i niekonwencjonalnych

Fig. 1. Average unitary fuel consumption in a particular class of automotive vehicles with SI and CI engines of (a) conventional and (b) unconventional classes





Rys.2. Charakterystyki jednostkowego zużycia paliwa samochodów o zróżnicowanej dynamice t_{100} [s] klasy B (a) i K (b)

Fig.2. Characteristics of unitary fuel consumption for automotive vehicles with diversified dynamics expressed by time of acceleration up to 100 km/h - t_{100} [s] for (a) cllas B and (b) cllas K

Tabela 2

Charakterystyka rozrzutu poszczególnych podklas dynamicznych samochodów osobowych klasy średniej niższej B i kombi K

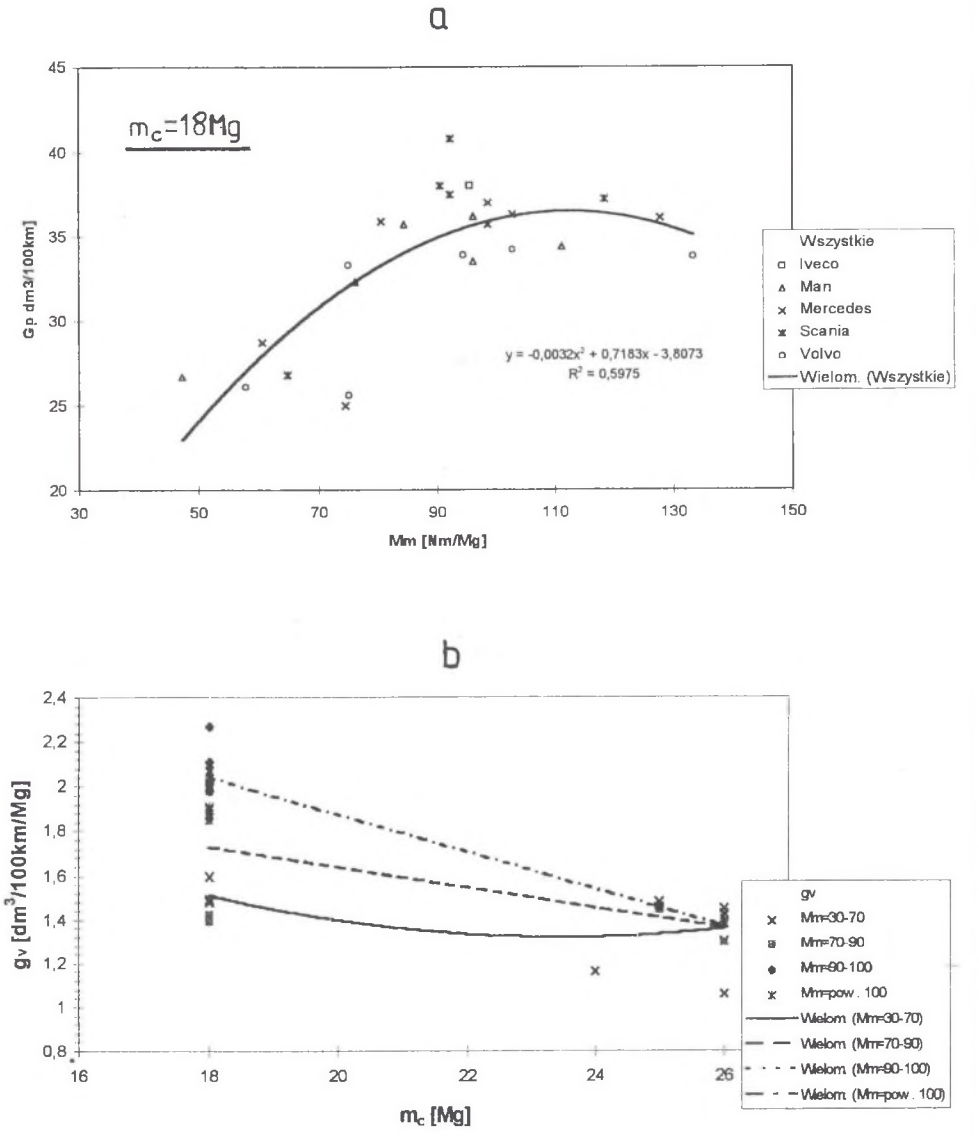
Klasa B - t_{100}	Ilość n samochodów	R-kwadrat	Klasa K - t_{100}	Ilość n samochodów	R-kwadrat
7,5-10	26	0,10	6-9	11	0,87
10-12	27	0,09	9-12	44	0,45
12-14	28	0,42	12-17	30	0,81
14-16	12	0,50	-		
16-18	6	0,49	-		
18-22	16	0,43	-		
11-16ZS	11	0,89	11-15ZS	18	0,86
16-20ZS	8	0,37	15-20ZS	13	0,74

nowoczesności tych modeli samochodów (nowoczesna jednostka napędowa, niskie opory aerodynamiczne). W przedziale masy całkowitej, w której występuje większość samochodów tej klasy o zróżnicowanym przedziale dynamicznym (dodatkowo 10-12 s; 12-14 s; 14-16 s), tj. 1,4-1,65 Mg, charakterystyki układają się względem siebie zgodnie z teorią - odpowiednio jedna pod drugą. Chaos całkowity występuje dopiero w przypadku samochodów klasy B o masie całkowitej najniższej, tzn. poniżej 1,45 Mg, gdzie w znacznych ilościach obok samochodów nowoczesnych produkowana jest dość liczna grupa pojazdów o przestarzałej konstrukcji i niedużej dynamice napędu (t_{100} = 16 -22s). O znacznym rozrzucie ekonomiczności samochodów z tych podklas świadczy bardzo niski współczynnik korelacji (tabela 2).

Bardziej klarowna sytuacja jest ze sprawnością energetyczną samochodów osobowych klasy B i K o napędzie silnikami ZS. Niezgodne z teorią położenie wzajemne charakterystyk jest wynikiem stosowania nowocześniejszych, a więc ekonomiczniejszych, silników ZS (doładowanych, o wtrysku bezpośrednim) w nowszych samochodach o znacznie wyższej dynamice. Tak więc nowoczesne samochody z silnikami ZS , zyskując na dynamice porównywalnej już z dynamiką najlepszych samochodów z silnikami ZI, nie straciły przy tym nic na ekonomiczności zużycia paliwa. Jak widać z wykresu na rys.2b, modernizacji tej poddane zostały samochody o największej masie całkowitej - powyżej 1,5 Mg dla klasy B i powyżej 1,65 Mg dla samochodów klasy kombi.

3.2. Samochody ciężarowe

Samochody ciężarowe i autobusy pod względem dynamiki można scharakteryzować tylko za pomocą wskaźnika momentu obrotowego silnika na jednostkę masy całkowitej



Rys.3. Średnie wskaźniki paliwowe gv (a) i Gp (b) dla samochodów ciężarowych klasy o masie całkowitej 16-32 Mg

Fig.3. Average fuel index Gp (a) i g_v (b) for trucks of 16-32 Mg total mass

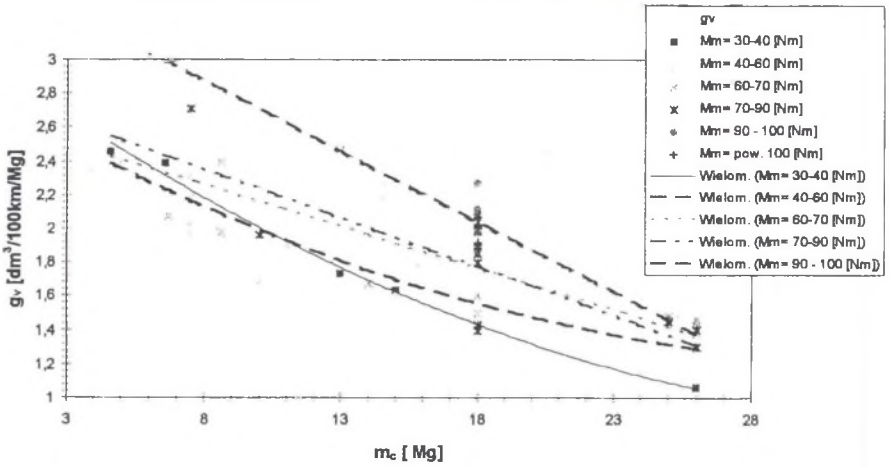
nierównomierny sposób charakteryzuje poszczególne klasy tych pojazdów. Najwięcej danych katalogowych dotyczących zużycia paliwa podają katalogi dla klas o wyższej masie całkowitej. Dodatkowo dla samochodów ciężarowych nie są podane wymiary gabarytowe, uniemożliwiając tym samym szacunkową ocenę oporów aerodynamicznych.

Wpływ dynamiki na sprawność energetyczną samochodów ciężarowych łatwo prześledzić w najliczniej scharakteryzowanej klasie samochodów o najwyższej masie całkowitej, a szczególnie o w przedziale masy całkowitej 18 Mg (rys.3). Widoczny dość znaczny rozrzut punktów pomiarowych od wartości średniej przy niskim współczynniku korelacji wskazuje na znaczne zróżnicowanie tych samochodów pod względem ekonomiczności zużycia paliwa jednostki napędowej, oporów aerdynamicznych i ilości przełożeń. Znaczna rozbieżność ilości przełożeń skrzynki biegów w tych dużych samochodach ciężarowych - czego nie stosuje się w autobusach - jest zbieżna z teoretycznymi założeniami. Z ilości stosowanych przełożeń 8, 10 i 16 te ostatnie stosowane są przeważnie w samochodach o największym wskaźniku momentu na jednostkę masy, co powoduje zagięcie charakterystyki w stronę zmniejszenia g_v (rys.3a).

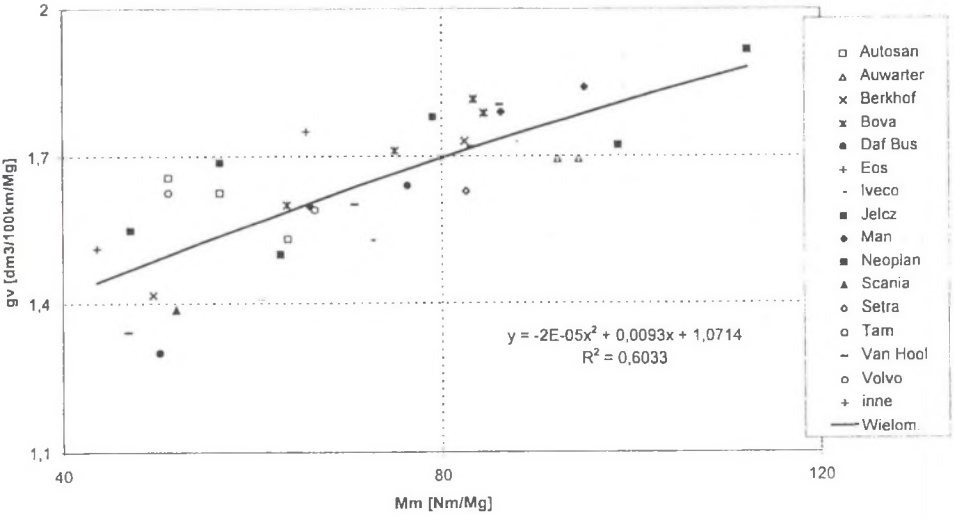
Charakterystyka poszczególnych podklas dynamicznych klasy samochodów ciężarowych o największej masie całkowitej 16 - 32 Mg przedstawiona jest na wykresie rys.3b. Charakterystyka samochodów o największej dynamice dotyczy tylko pojazdów o masie całkowitej 18 Mg i dlatego przedstawiona jest w formie krótkiego odcinka. Wpływ dynamiki na jednostkowe zużycie paliwa przez samochody ciężarowe pozostaje w mocy także przy globalnym rozpatrzeniu wszystkich klas razem, co pokazano na rys. 4. Nieznaczne perturbacje w przebiegu charakterystyk w zakresie najniższych mas są prawdopodobnie spowodowane niewielką ilością danych paliwowych.

3.3. Autobusy

Podobnie jak w samochodach ciężarowych, z punktu widzenia ilości danych, najlepiej obserwować wpływ dynamiki na ekonomiczność najbardziej popularnych autobusów turystycznych klasy MAXI. Obejmują one pojazdy w przeważającej części o masie całkowitej z



Rys.4. Globalna charakterystyka samochodów ciężarowych podklasami dynamicznymi
Fig.4. Global characteristics of subclasses of trucks with diversified dynamics exxpressed by moment index on Mm total mass unit



Rys.5. Jednostkowe zużycie paliwa w funkcji wskaźnika momentu autobusów turystycznych klasy MAXI
Fig.5. Unitary fuel consumption in the function of Mm index for MAXI class coaches

przedziału 18 Mg i jak pokazuje rys.5 sprawność energetyczna tych pojazdów jest zależna od dynamiki napędu. W autobusach nie ma takiego zróżnicowania ilości biegów jak w samochodach ciężarowych i zależnośćjest prawie wprost proporcjonalna, przy dostatecznie wysokim współczynniku korelacji.

4. WNIOSKI KOŃCOWE

Na podstawie zaprezentowanego materiału można wyciągnąć następujące wnioski:

1. We wszystkich grupach samochodów i w poszczególnych ich klasach obserwuje się wyraźny wpływ na sprawność energetyczną pojazdów ich dynamiki wyrażonej bądź wskaźnikiem momentu na jednostkę masy, bądź czasem rozpędzania do 100 km/h.

2. Jak wynika z graficznych charakterystyk, wydaje się dostatecznie silna teza, że w danej klasie sprawność energetyczna pojazdu zależy głównie od sprawności jednostki napędowej, masy całkowitej pojazdu i jego dynamiki oraz oporów aerodynamicznych, co pozwala wysnuć przypuszczenie, że przy odpowiedniej ilości danych można podjąć próbę wyliczenia pomijanej w danych katalogowych sprawności ogólnej silnika.

LITERATURA

1. Ubysz A.: Charakterystyka współczesnych samochodów osobowych i ich silników Skrypt Pol.Śl. nr 1964, Gliwice 1996.
2. Ubysz A.: Charakterystyka zużycia paliwa przez współczesne pojazdy samochodowe za pomocą syntetycznego wskaźnika ekonomiczności pojazdu. Zeszyty Naukowe Pol. Śl. s. Transport, nr 24, Gliwice 1995.
3. Ubysz A.: Ocena ekonomiczności samochodów osobowych na podstawie wskaźników zużycia paliwa. Archiwum Motoryzacji nr 1, ss. 75-86.

Recenzent: Prof.dr hab.inż.Stanisław Jarnuszkiewicz

Wpłynęło do Redakcji 14.02.1997 r.

Abstract

The influence of dynamics on unitary fuel consumption in chosen groups of vehicles has been characterized by charts and presented in this paper. Unitary fuel consumption effects in a considerable way vehicles watt-hour efficiency.

Causes of apparent irregularities of these characteristics have also been explained. R-sqares coefficient was chosen to present superiority of misaligment approximation and its application in interpreting the results.