

Marek FLEKIEWICZ
Andrzej FURYK

ANALIZA CZYNNIKÓW ODDZIAŁUJĄCYCH NA ŻUŻYCIE PALIWA PRZEZ SAMOCHODY EKSPLOATOWANE W RUCHU MIEJSKIM

Streszczenie. W niniejszym opracowaniu przedstawiono wyniki analizy, której celem była ocena wpływu warunków ruchu miejskiego na zużycie paliwa przez pojazd samochodowy. Podczas przejazdu 10 tras pomiarowych o łącznej długości 1500 km zarejestrowano prędkość, drogę i zużycie paliwa. Otrzymane wyniki poddano badaniom statystycznym określając zależności związane z zapisem funkcji $V = f(t)$ wpływające w znacznym stopniu na zużycie paliwa w rozpatrywanych warunkach. Wykazano, że jednostkowy średni czas jazdy w największym stopniu wyjaśnia zmiany przebiegowego zużycia paliwa. Rezultaty znajdują potwierdzenie w fizycznych własnościach modelu układu pojazd samochodowy-silnik oraz we wzajemnych związkach zachodzących wśród zmiennych, które poddano badaniom. Opracowana metoda określania zużycia paliwa powinna znaleźć zastosowanie przede wszystkim przy projektowaniu nowych tras komunikacyjnych, jak również optymalizacji systemów sterowania ruchem drogowym.

1. Wprowadzenie

Wśród wielu na ogół zmiennych w czasie czynników wpływających na wielkość zużywanego przez pojazd samochodowy paliwa część z nich związana jest z konstrukcją pojazdu, pozostałe zaś zależą od samego użytkownika i warunków eksploatacyjnych.

Dążenia zmierzające do obniżenia zużycia paliwa wyłaniają więc coraz to nowe zadania zarówno w sferze konstrukcji, jak również w zakresie poprawy organizacji i warunków ruchu drogowego.

Ponieważ zmiany i udoskonalenia konstrukcyjne charakteryzują się powolną zmianą struktury eksploatowanych pojazdów, największe możliwości zmniejszenia zużycia paliwa leżą w sferze eksploatacji samochodu.

Jak wiadomo, w warunkach ruchu miejskiego zużycie paliwa przez samochód może wzrosnąć nawet dwukrotnie w porównaniu z ruchem pozamiejskim.

Stąd też biorąc pod uwagę istotne znaczenie, jakie przedstawia zagadnienie oszczędności paliwa dla gospodarki narodowej, w Instytucie Transportu Pol. Śl. podjęto badania mające na celu opracowanie metody umożliwiającej przewidywanie zużycia paliwa przez samochody eksploatowane w ruchu miejskim.

2. Teoretyczne podstawy prognozowania zużycia paliwa

Szczegółowa analiza metod umożliwiających określenie eksploatacyjnego zużycia paliwa przez samochody eksploatowane w ruchu miejskim pozwoliła na dokonanie następujących ustaleń:

- w prowadzonych dotychczas pracach ograniczono się na ogół do badania wpływu wybranych czynników na wielkość zużycia paliwa,
- praktyczne stosowanie istniejących metod nie jest łatwe ze względu na ich skomplikowany charakter,
- można przyjąć, że wyłączając czynniki konstrukcyjne wpływ wszystkich pozostałych czynników skumulowany jest w zapisie funkcji $V = f(t)$.

Stąd uważano, że celowe będzie:

- wykonanie dokładnych badań zmiennych, które opisują funkcję $V = f(t)$ i mają wpływ na jej przebieg,
- zbudowanie uproszczonego modelu układu pojazd samochodowy - silnik, adekwatnego do analizowanych warunków ruchu oraz zidentyfikowanie współczynników równania modelowego.

2.1. Uproszczony model układu pojazd samochodowy - silnik

Przystępując do opracowania modelu przyjęto następujące założenia:

- zużycie paliwa może być określone na podstawie porównania energii zawartej w paliwie z pracą wykonaną przez pojazd,
- samochód eksploatowany jest w warunkach ruchu miejskiego, którego podstawową cechą jest cykliczność jazdy,
- osiągane przez samochód wartości średnich prędkości jazdy są niewielkie,
- ze względu na ruch pojazdów na obszarach zabudowanych nie uwzględnia się wpływu wiatru bocznego,
- samochód porusza się po drogach poziomych.

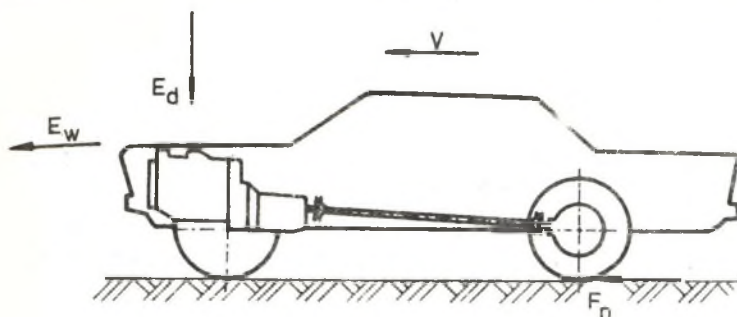
Modelowe równanie przyjęło następującą postać:

$$Q_p = \frac{1}{S} \left[\alpha T + \left[\beta \int_0^T \hat{V} dt + \gamma \int_0^T \hat{V}^3 dt + \delta \int_0^T a \hat{V} dt \right] \right], \quad (1)$$

przy czym występujący w równaniu iloczyn αT reprezentuje zużycie paliwa wynikające ze strat mechanicznych w układzie napędowym oraz mocy traconej na napęd urządzeń dodatkowych.

Zawarta w nawiasie suma całek \hat{V} i \hat{V}^3 odpowiada ilości paliwa zużytego przy napędzaniu, niezbędnej do pokonania oporów toczenia i oporów powietrza.

Wyrażenie to nie uwzględnia paliwa zużywanego podczas jazdy rozpędem i podczas hamowania.



$$E_d = B \cdot W$$

$$E_w = \eta_m \cdot \eta_e \cdot B \cdot W$$

$$Q_p = \frac{1}{S} \left[\alpha T + \beta \int_0^T \hat{V} dt + \gamma \int_0^T \hat{V}^3 dt + \delta \int_0^T \hat{a} \hat{V} dt \right]$$

$$\alpha [m^3/s]; \quad \beta [m^2]; \quad \gamma [s^2]; \quad \delta [m/s^2]$$

Rys. 1. Uproszczony model układu pojazd samochodowy - silnik

Fig. 1. A simplified model of the system car-engine

Końcowa część równania zawierająca całkę iloczynu prędkości i przyspieszenia przedstawia ilość paliwa zużywanego w celu przyspieszenia samochodu. Natomiast

$$\text{prędkość } \hat{V} = \begin{cases} v, & \text{gdy } a > -0,15 \text{ m/s}^2 \\ 0, & \text{gdy } a < -0,15 \text{ m/s}^2 \end{cases}$$

czyli

$$\text{przyspieszenie } \hat{a} = \begin{cases} a, & \text{gdy } a > \delta \\ 0, & \text{gdy } a < 0 \end{cases}$$

Powyższe wartości przyspieszeń wynikają z wyróżnienia dwóch podstawowych faz ruchu, tzn. ruchu ustalonego i nieustalonego.

Uzyskana postać równania (1) sugerowała poszukiwanie modelu liniowego, z drugiej zaś strony umożliwiała określenie wartości liczbowych parametrów α , β i δ , których nie można określić analitycznie z dostateczną dokładnością.

2.2. Zmienne charakteryzujące funkcję $V = f(t)$

Niezależnie od poszukiwania i badań modelu liniowego zdefiniowano zmienne związane z charakterem zmian funkcji $V = f(t)$, uwzględniając przy tym następujące czynniki:

- czas jazdy oraz drogę przejechaną na określonym biegu,
- jednostkowy średni czas jazdy,
- zmienność prędkości i przyspieszenia w czasie,
- średnią prędkość jazdy,
- przebiegowe zużycie paliwa.

Tym samym ustalono zbiór 31 zmiennych, których definicje przedstawiono w tablicy 1.

Tablica 1

Zmienne ruchu przyjęte do badań statystycznych

- X_1 - średnia prędkość jazdy, zdefiniowana jako S/T , gdzie S przejechana droga, T czas jazdy
- X_2 - odchylenie standardowe prędkości, zdefiniowane jako $\left[\int_0^T (V - X_1)^2 \frac{dt}{T} \right]^{0,5}$
- X_3 - stosunek postoju do czasu jazdy, zdefiniowany jako t_p/t_j .
- X_4 - odchylenie standardowe przyspieszenia, zdefiniowane jako $\left[\int_0^T a^2 \frac{dt}{T} \right]^{0,5}$
- X_5 - największe chwilowe opóźnienie
- X_6 - największe przyspieszenie
- X_7 - stosunek czasu jazdy, gdy przyspieszenie $a > 0,3 \text{ m/s}^2$, do całkowitego czasu jazdy
- X_8 - czas postoju t_p dla $V = 0 \text{ km/h}$
- X_9 - jednostkowy czas jazdy zdefiniowany jako T/S
- X_{10} - wartość całki $\int_0^T a v dt$ na jednostkę drogi
- X_{11} - stosunek czasu jazdy, gdy $-0,15 \text{ m/s}^2 < a < 0,15 \text{ m/s}^2$, do całkowitego czasu jazdy

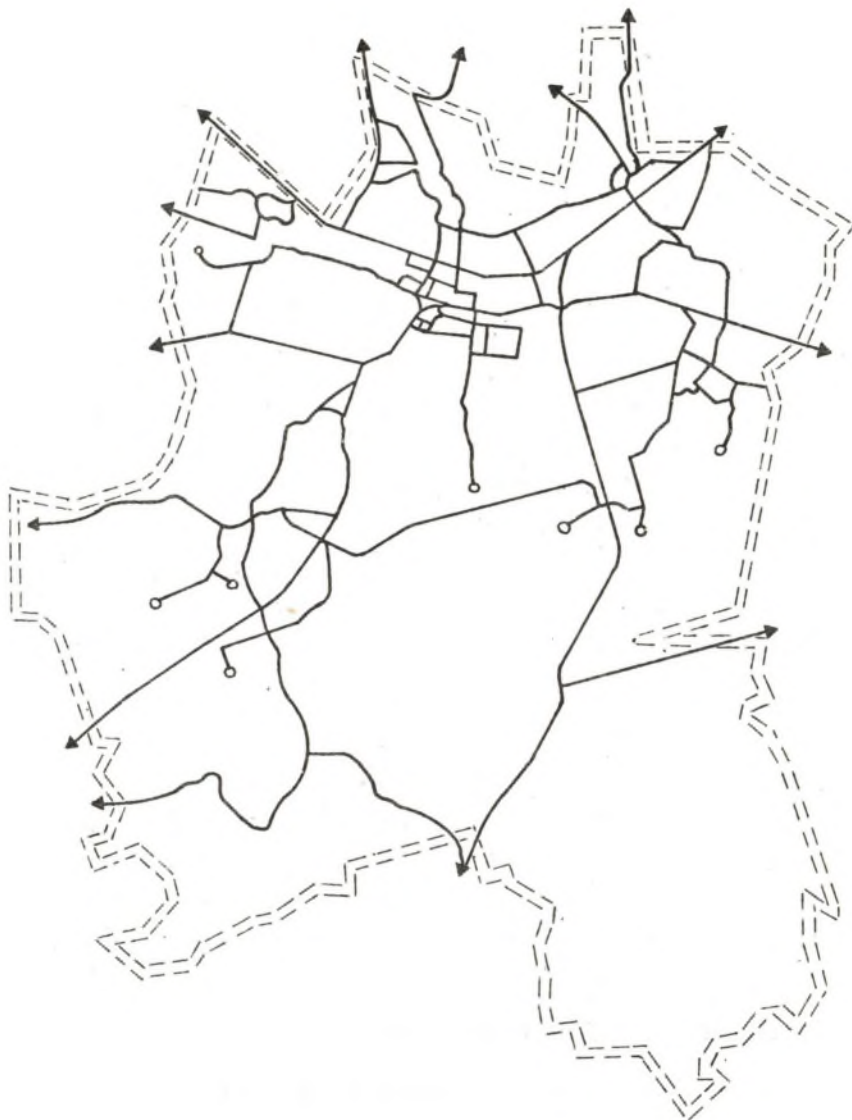
cd. tablicy 1

- X_{12} - stosunek czasu jazdy, gdy $a < -0,15 \text{ m/s}^2$, do całkowitego czasu jazdy
- X_{13} - wartość całki $\int_0^T V^2 dt$, gdy $a > -0,15 \text{ m/s}^2$
- X_{14} - wartość całki $\int_0^T V^3 dt$, gdy $a \geq -0,15 \text{ m/s}^2$
- X_{15} - stosunek drogi przejechanej, gdy $a < -0,15 \text{ m/s}^2$ do całkowitej drogi
- X_{16} - przebiegowe zużycie paliwa Q_p , zdefiniowane jako $\frac{(q_1 + q_p)}{s}$, gdzie ilość zużytego paliwa w czasie jazdy - q_j , ilość paliwa zużytego podczas postoju - q_p
- X_{17} - czas jazdy, gdy $a < -0,15 \text{ m/s}^2$
- X_{18} - czas jazdy, gdy przyspieszenie $a > 0,3 \text{ m/s}^2$
- X_{19} - droga przejechana, gdy przyspieszenie $a > 0,3 \text{ m/s}^2$
- X_{20} - droga przejechana, gdy przyspieszenie $-0,15 < a < 0,15 \text{ m/s}^2$
- X_{21} - stosunek drogi przejechanej, gdy przyspieszenie $-0,15 < a < 0,15 \text{ m/s}^2$ do całkowitej drogi
- X_{22} - stosunek czasu postoju do całkowitego czasu, zdefiniowany jako t_p ($t_j + t_p$)
- X_{23} - stosunek drogi przejechanej na biegu pierwszym do całkowitej drogi
- X_{24} - stosunek drogi przejechanej na biegu drugim do całkowitej drogi
- X_{25} - stosunek przejechanej na biegu trzecim do całkowitej drogi
- X_{26} - stosunek drogi przejechanej na biegu czwartym do całkowitej drogi
- X_{27} - stosunek czasu jazdy na biegu pierwszym do całkowitego czasu jazdy
- X_{28} - stosunek czasu jazdy na biegu drugim do całkowitego czasu jazdy
- X_{29} - stosunek czasu jazdy na biegu trzecim do całkowitego czasu jazdy
- X_{30} - stosunek czasu jazdy na biegu czwartym do całkowitego czasu jazdy
- X_{31} - stosunek czasu jazdy, gdy $a > -0,15$ do całkowitego czasu jazdy.

3. Badania drogowe i analiza wyników pomiarów

Podstawą do określenia zbiorów wartości 31 zmiennych były otrzymane poprzez realizację badań wyniki pomiarów w ruchu drogowym.

KATOWICE



Rys. 2. Przebieg tras pomiarowych
Fig. 2. A run of measurement paths

3.1. Przebieg badań w ruchu drogowym

Zrealizowany program badań obejmował dwie serie pomiarowe, których celem było zebranie danych umożliwiających określenie równania wyrażającego zależność przebiegowego zużycia paliwa w funkcji wybranych zmiennych.

Serie pomiarowe realizowane były przez dwóch kierowców, którzy korzystając z samochodów marki PF 125 p i NYSA 522 przejeżdżali 10 tras pomiarowych, w obu kierunkach. Samochód prowadzono w sposób nazwany umownie normalnym, tzn. utrzymując go w strumieniu ruchu, bez zbędnych przyspieszeń i opóźnień. Trasy pomiarowe dobrano tak, aby zawierały w równej mierze ulice o różnym natężeniu ruchu (rys. 2).

Podczas badań eksploatacyjnych rejestrowano zmiany eksploatacyjnego zużycia paliwa, prędkości jazdy oraz włączony bieg.

Stosowano do tego celu:

- piąte koło,
- precyzyjny miernik zużycia paliwa

oraz rejestratory.

Badania przeprowadzono w porach obejmujących godziny szczytu porannego, południowego i popołudniowego. W rezultacie otrzymano bardzo dużą ilość wyników określających zależność chwilowej prędkości jazdy, przejechanej drogi oraz eksploatacyjnego zużycia paliwa w funkcji czasu jazdy.

Przykładowy przebieg zmian chwilowej prędkości jazdy w funkcji czasu dla pierwszej trasy pomiarowej przedstawiono na rys. 3.

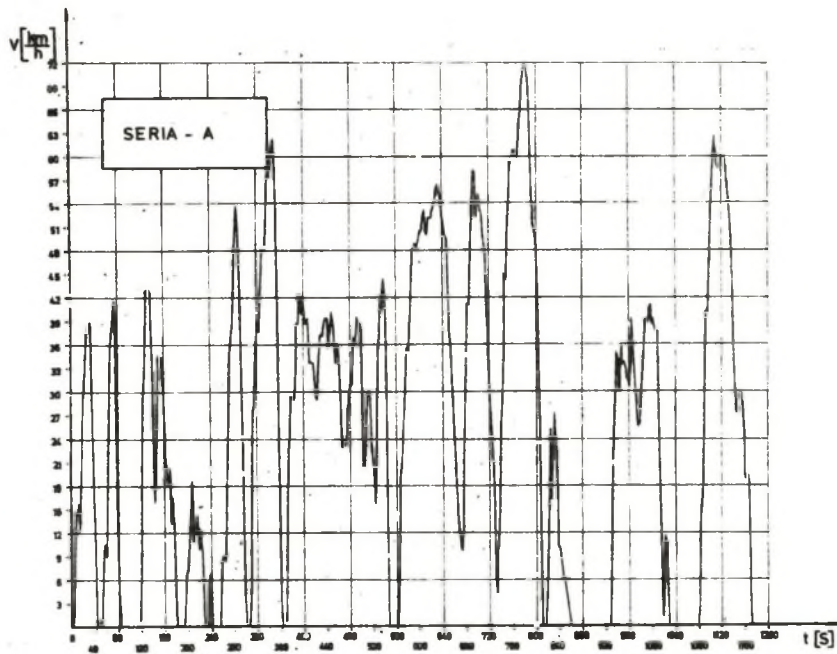
3.2. Analiza wyników pomiarów

Do redukcji otrzymanych wyników badań drogowych zastosowano metodę wykorzystującą cykliczność ruchu, polegającą na podziale otrzymanych podczas badań zależności prędkości funkcji czasu na cykle (rys. 4). Początek i koniec każdego z cykli wyznaczały dwie kolejno następujące po sobie chwile rozpoczęcia jazdy samochodu. Tym samym każdy z cykli obejmował również czas unieruchomienia pojazdu.

Podział na cykle oraz obliczenia wartości zmiennych dla każdego z cykli zrealizowano za pomocą programu obliczeniowego opracowanego dla maszyny cyfrowej ODRA 1304. Program ten umożliwił również przedstawienie wyników obliczeń w formie macierzy obserwacji, która była podstawą do przeprowadzenia kilku analiz statystycznych.

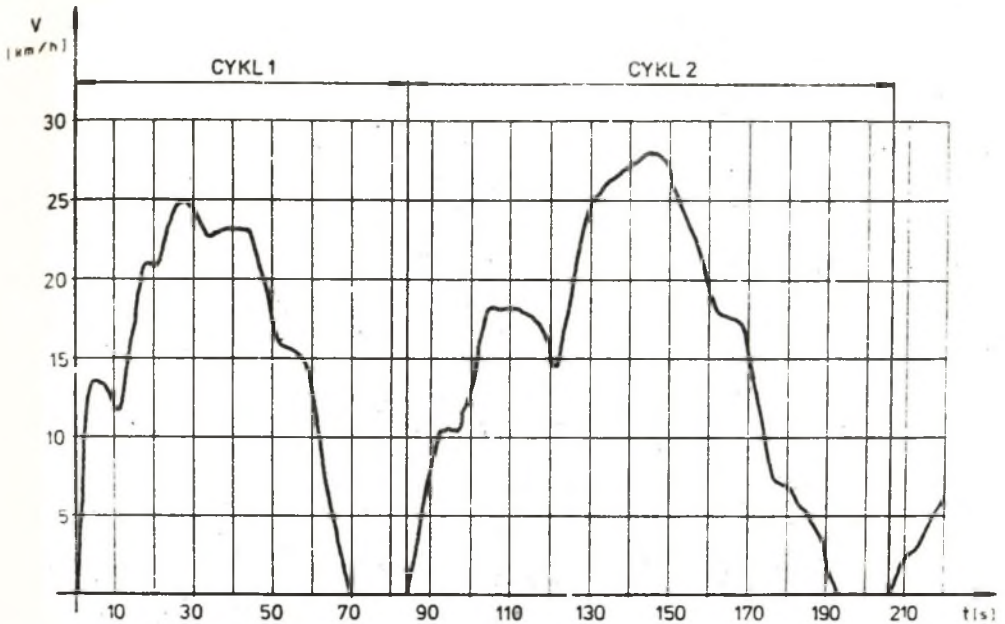
3.2.1. Wyniki analiz korelacji, składnika podstawowego oraz analizy czynnikowej

Przeprowadzona w pierwszej kolejności analiza korelacji wyjaśniła siłę wzajemnych związków statystycznych pomiędzy badanymi zmiennymi. Otrzymaną w wyniku przeprowadzonych obliczeń macierz korelacji przedstawia tablica 2.



Rys. 3. Przebieg zmian chwilowej prędkości jazdy w funkcji czasu jazdy
(pierwsza trasa pomiarowa)

Fig. 3. Time transients of instantaneous velocity changes



Rys. 4. Podział otrzymanych podczas badań zależności $V = f(t)$ na cykle
 Fig. 4. Decomposition of the obtained functions $V = f(t)$ into cycles

Pośród otrzymanych wyników najbardziej interesujące były związki statystyczne zmiennej X_{16} , czyli jednostkowego przebiegowego zużycia paliwa z pozostałymi zmiennymi.

Zmienna ta jest skorelowana ze wszystkimi zmiennymi, przy czym najwyższy współczynnik korelacji ma ona ze zmianą X_9 , czyli jednostkowym średnim czasem jazdy i niewiele niższy ze zmiennymi X_{10} i X_1 .

Zmienna X_1 wyrażająca średnią prędkość jazdy jest skorelowana ze wszystkimi zmiennymi. Zmienna X_{10} , która reprezentuje pracę wykonaną podczas przyspieszenia samochodu, ma duży współczynnik korelacji ze zmienną X_9 .

Pierwszych pięć głównych składników macierzy korelacyjnej wyjaśnia 91,4% ogólnej zmienności. Wszystkie zaś pozostałe składniki, razem wzięte, wyjaśniają więc zaledwie 8,33% tej zmienności. Wartości własne podstawowych składników są zestawione w tablicy 3.

Analiza czynnikowa (Quartimax) wykorzystana została do wyrażenia wspólnej wariancji obserwacji układu zmiennych od X_1 do X_{16} jako sumy pewnego mniejszego uporządkowanego układu czynników nieskorelowanych. Tym samym umożliwiła redukcję zmiennych w celu utworzenia modelu predykcyjnego służą-

cego do określania istotnych wyzników próbki zmiennych, dla których mogłaby w pełni określić przestrzeń.

Tablica 3

Wyniki analizy składnika podstawowego

Lp.	Numer składnika	Wartość własna	Zmiana wariancji %	Akumulowana wartość w ogólnej wariancji %
1	2	3	4	5
1	1	7.4436631	46,52	46,52
2	2	3.0395378	18,60	65,12
3	3	2.0195552	13,02	78,14
4	4	1.2253232	7,66	85,80
5	5	0.9933932	5,87	91,67
6	5	0.4803509	3,00	94,67
7	7	0.3168718	1,98	96,65
8	8	0.1915573	1,20	97,85
9	9	0.1385361	0,87	98,72
10	10	0.0771553	0,48	99,20
11	11	0.0579256	0,36	99,56
12	12	0.0259822	0,16	99,72
13	13	0.0227575	0,15	99,87
14	14	0.0164548	0,10	99,97
15	15	0.0041420	0,03	100,00
16	16	0.0007940	0,00	100,00

Zmienne znamienne wpływające na każdy z pięciu czynników to:

czynnik 1: $(X_1, X_2, X_9, X_{10}, X_{11}, X_{13}, X_{14})$;

czynnik 2: $(X_3, X_4, X_8, X_9, X_{10}, X_{11}, X_{12})$;

czynnik 3: $(X_4, X_5, X_6, X_7, X_{12})$;

czynnik 4: (X_5) ;

czynnik 5: (X_7) ;

Uwzględniając wielkości reprezentowane przez poszczególne zmienne zauważyć można, że czynnik 1 zawiera te, które związane są ze średnią prędkością jazdy oraz jej odwrotnością. Zmienne, które wpływają znamienne na czynnik 2, charakteryzują przejechaną trasę. W przypadku czynnika 3 można uważać, że reprezentuje on charakterystykę przyspieszenia.

3.2.2. Metoda doboru zmiennych objaśniających a priori

Uwzględniając współzależność zmiennych zastosowano procedurę badawczą opartą na wykorzystaniu metody a priori doboru zmiennych objaśniających. Miała ona na celu dokonanie wyboru takich zmiennych objaśniających, których łączny wpływ na kształtowanie się zmiennej objaśnianej zapewniłby otrzymanie wymaganej precyzji w szacowaniu przebiegowego zużycia paliwa.

Tablica 4

Wyniki obliczeń wskaźników pojemności integralnej

Lp.	Optymalne kombinacje zmiennych objaśniających poziom zmian zmiennej X_{16}	Maksymalna wartość wskaźnika pojemności integralnej H_{\max}
1	2	3
1	$X_1, X_2, X_4, X_9, X_{10}$	0.74442
2	X_9, X_{10}, X_{13}	0.74255
3	X_1, X_9, X_{10}	0.73980
4	$X_2, X_4, X_9, X_{10}, X_{28}$	0.73938
5	$X_2, X_4, X_9, X_{10}, X_{13}$	0.73927
6	$X_1, X_2, X_9, X_{10}, X_{20}$	0.73913
7	$X_9, X_{10}, X_{13}, X_{20}$	0.73714
8	X_4, X_9, X_{10}, X_{13}	0.73702
9	$X_1, X_4, X_9, X_{10}, X_{13}$	0.73750
10	$X_1, X_9, X_{10}, X_{20}, X_{23}$	0.73569
11	X_9, X_{10}, X_{28}	0.73564
12	X_9, X_{10}, X_{23}	0.73414
13	X_9, X_{10}, X_{24}	0.73387
14	X_9, X_{10}, X_{14}	0.73048
15	X_4, X_9, X_{13}	0.72512
16	X_1, X_4, X_9	0.72459
17	X_1, X_{10}	0.71751
18	X_9, X_{10}, X_{27}	0.71467

Otrzymane kombinacje zmiennych objaśniających (tablica 4) wskazywały, że największą ilość informacji o zmianach przebiegowego zużycia paliwa zawiera ją zmienne od X_1 do X_{15} .

3.2.3. Analiza regresji wielowymiarowej

Przeprowadzenie analizy regresji wielowymiarowej umożliwiło określenie zmiennych niezależnych, które dają najlepsze zależności liniowe ze zmienną X_{16} .

Do określenia natężenia związku między zmienną objaśnianą i jej estymatorem stosowano współczynnik korelacji wielowymiarowej.

Otrzymane wyniki analizy regresji wielowymiarowej (tablica 5) wskazują na to, iż najlepiej zmiany przebiegowego zużycia paliwa wyrażają zmienne od X_1 do X_{15} .

Tablica 5

Zmienne niezależne dające najlepsze zależności liniowe
ze zmienną zależną

Lp.	Zmienne- na za- leżna	Zmienne niezależne	Współ- czynnik korelacji wielowy- miarowej R	Poziom istotnoś- ci	Standar- dowy po- ziom i- stotności %
1	2	3	4	5	6
1	X_{16}	od X_1 do X_{15}	0.917	0.01	40
2	X_{16}	$X_9, X_{10}, X_{11}, X_{15}$	0.89	0.05	40
3	X_{16}	X_1, X_9, X_{10}, X_{15}	0.881	0.05	40
4	X_{16}	X_9, X_{10}, X_{15}	0.88	0.05	40
5	X_{16}	X_1, X_9, X_{10}	0.86	0.05	40
6	X_{16}	X_9, X_{10}	0.85	0.05	40
7	X_{16}	X_9	0.81	0.05	40

Uzyskana dla tej zależności wartość współczynnika korelacji wielowymiarowej wynosiła 0,917.

Zmienna X_9 wchodzi w skład każdej zależności liniowej z dwoma lub większą ilością zmiennych. W dwuwymiarowej zależności ze zmienną X_{16} zmienna X_9 wyjaśnia blisko 80% wariancji jednostkowego przebiegowego zużycia paliwa, podczas gdy całkowity zbiór 15 zmiennych wyjaśnia ~ 90% wariancji zmiennej X_{16} .

Można zatem stwierdzić, że pojedyncza zmienna X_9 wyjaśnia tak dużą ilość wariancji zmiennej X_{16} , ponieważ zmienne ruchu wpływające na zużycie paliwa

są ściśle związane ze zmienną X_9 , co uwidacznia współczynnik korelacji przedstawiony w tabelicy 2.

W zastosowanej tutaj analizie nie precyzowano odpowiedniej krzywej matematycznej i tym samym możliwe jest, że nieliniowe zależności w różnej postaci będą się bardziej nadawały do wyrażenia zmian przebiegowego zużycia paliwa.

Rezultaty regresji liniowej przedstawiają zbliżony obraz zależności pomiędzy różnymi zmiennymi. Stąd też nie ma powodów do twierdzenia, że nieliniowe zależności w odpowiedniej postaci nie będą korzystniejsze. Jednakże dotychczasowe rezultaty badań wskazują, że zastosowanie innych zależności może, w najlepszym przypadku, zredukować wariancję resztkową do dodatkowych 20% wariancji początkowej.

4. Interpretacja fizyczna uzyskanych wyników badań statystycznych

Wyniki analizy regresji przedstawione w tabelicy 5 można interpretować opierając się na uproszczonym modelu układu pojazd samochodowy - silnik. Uwzględniając fakt, iż:

$$\int_0^T \hat{V} dt - \int_0^T V dt = \int_0^T \hat{\hat{V}} dt ,$$

drogę przejechaną przez samochód napędzany można przedstawić następująco:

$$\int_0^T \hat{V} dt = \int_0^T V dt \left[1 - \frac{\int_0^T \hat{\hat{V}} dt}{\int_0^T V dt} \right] .$$

Ponieważ $\int_0^T V dt = S$, stąd też

$$\int_0^T \hat{V} dt = S \left[1 - \frac{\int_0^T \hat{\hat{V}} dt}{S} \right] ,$$

(2)

przy czym wyrażenie $\frac{\int_0^T \hat{v} dt}{S}$ uwzględnia straty energii wynikające z zamiany energii kinetycznej na ciepłą podczas hamowania, stanowiąc tym samym bardzo istotny element równania modelowego.

Biorąc pod uwagę równanie (2) oraz pomijając opory powietrza jako nieistotne w warunkach ruchu miejskiego, równanie (1) przekształcono do postaci, która umożliwi w najbardziej korzystny sposób ocenę dynamiki układu pojazd samochodowy - silnik w analizowanych warunkach.

$$Q_p = \beta + \alpha \frac{T}{S} - \frac{\int_0^T \hat{v} dt}{S} + \delta \frac{\int_0^T \hat{a} \hat{v} dt}{S} \quad (3)$$

Przyjmując zaś, że wyrażenie $\frac{\int_0^T \hat{v} dt}{S} = A$, równanie (3) sprowadzono do postaci:

$$Q_p = \alpha \frac{T}{S} + \beta(1 - A) + \delta \frac{\int_0^T \hat{a} \hat{v} dt}{S} \quad (4)$$

Wśród otrzymanych równań regresji znajdujemy najlepsze równanie w przestrzeni czterowymiarowej:

$$X_{17} = 0,052 + 0,174 X_9 + 0,14 X_{10} + 0,036 X_{15} \quad (5)$$

To równanie regresji odpowiada w pełni równaniu modelowemu (4), bowiem wszystkie jego wyrażenia znajdują odwzorowanie w wyrażeniach równania (4).

Wielkość określająca część drogi przejechanej rozpędem lub podczas hamowania jest identyczna z ujemnym wyrażeniem $-\beta A$ w równaniu (4). Współczynnik β reprezentuje zużycie paliwa na jednostkę drogi, niezbędną do przewyżnienia oporów toczenia i tym samym znaczenie współczynnika k_1 można interpretować podobnie.

Współczynnik α , który w równaniu modelowym związany jest ze zużyciem paliwa wynikającym z pokonywania strat mechanicznych oraz napędem urządzeń dodatkowych w równaniu (5), może być identyfikowany z zużyciem paliwa na biegu jałowym. Wyjaśnienie tego staje się bardzo proste, gdy rozważy się cykl jazdy, w którym samochód przejechał elementarny odcinek drogi $D = \delta x$

w czasie δt , a wielkość zużytego paliwa wynosiła δq . Wtedy równanie (4) można zapisać w następujący sposób:

$$Q = \frac{dq}{dt} = \beta(1 - A) + \frac{\alpha}{\bar{v}} + \gamma \frac{\int_0^{\delta t} \hat{a} \hat{v} dt}{\delta x}.$$

Przemnażając powyższe równanie przez średnią prędkość jazdy $\bar{v} = \frac{\delta x}{\delta t}$ otrzymamy:

$$\frac{Q\bar{v}}{\delta t} = \beta(1 - A)\bar{v} + \alpha + \bar{v}\gamma \frac{\int_0^{\delta t} \hat{a} \hat{v} dt}{\delta x} \quad (6)$$

Gdy $\delta t \rightarrow 0$, średnia prędkość jazdy równa jest chwilowej prędkości jazdy i otrzymujemy:

$$\bar{v} \left[\frac{\int_0^{\delta t} \hat{a} \hat{v} dt}{\delta x} \right] \rightarrow v(\hat{a}\hat{v}) \cdot \frac{dt}{dx} = \hat{a}\hat{v}$$

Stąd też zużycie paliwa $\frac{dQ}{dt}$ może być wyrażone poprzez granicę równania (6), mianowicie:

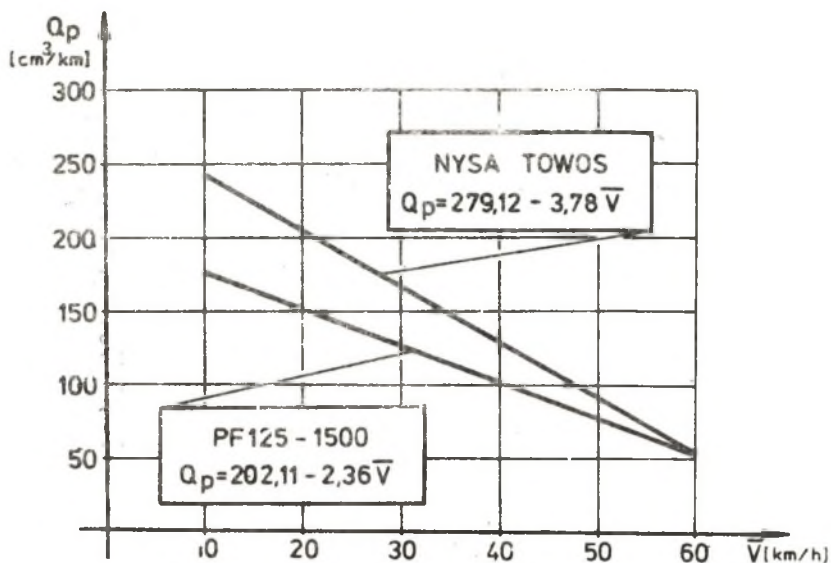
$$\frac{dQ}{dt} = (1 - A)\beta v + \alpha + \gamma(\hat{a}\hat{v}).$$

Gdy prędkość chwilowa v zbliża się do zera, wielkość zużywanego paliwa zbliża się do stałej wartości α , czyli wartość tę możemy identyfikować z zużyciem paliwa na biegu jałowym.

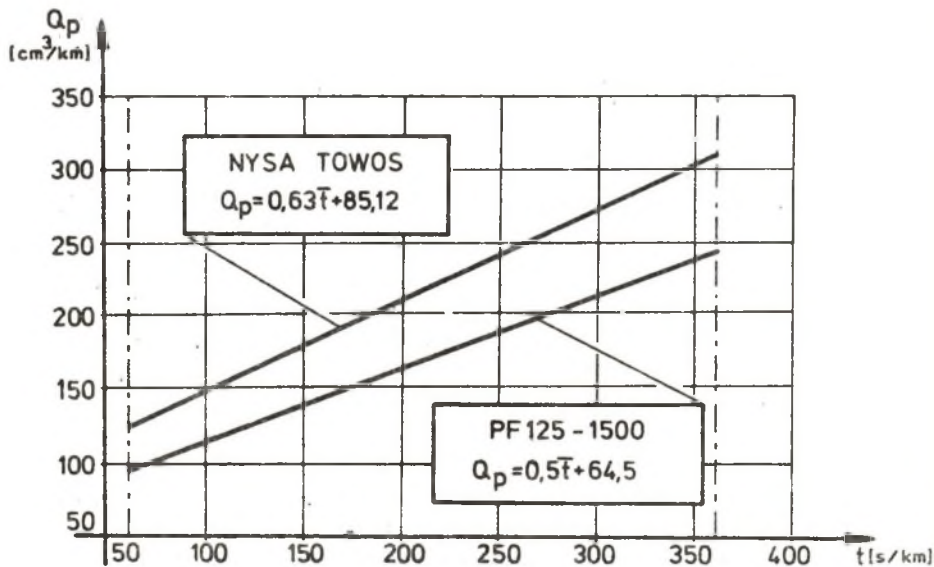
6. Dwuwymiarowa analiza regresji

Jak wykazano w pkt. 3, dwuwymiarowa zależność liniowa wiążąca jedną zmienną, jaką jest jednostkowy średni czas jazdy, może stanowić podstawę metody szacowania zużycia paliwa w ruchu miejskim.

Dlatego też korzystając z uzyskanych poprzez realizację badań drogowych wyników pomiarów, przeprowadzono analizę regresji dwuwymiarowej, z której wyłączono te cykle, dla których średnia prędkość jazdy znajdowała się poza przedziałem od 10 do 60 km/h oraz te, dla których przejechana droga była mniejsza od 160 m.



Rys. 5. Zależności $\bar{Q}_p = f(\bar{v})$ i $\bar{Q}_p = f(\bar{t})$ dla samochodu PF 125 p
 Fig. 5. Relations $\bar{Q}_p = f(\bar{v})$ and $\bar{Q}_p = f(\bar{t})$ for the car PF 125 p



Rys. 6. Zależności $\bar{Q}_p = f(\bar{v})$ i $\bar{Q}_p = f(\bar{t})$ dla samochodu NYSA 522
 Fig. 6. Relations $\bar{Q}_p = f(\bar{v})$ and $\bar{Q}_p = f(\bar{t})$ for the car NYSA 522

W wyniku przeprowadzonych obliczeń określono dwa równania empiryczne wyrażające zależności przebiegowego zużycia paliwa w funkcji jednostkowego średniego czasu jazdy oraz w funkcji średniej prędkości jazdy dla samochodów marki PF 125 i NYSA 522 (rys. 5 i 6).

Dla dziesięciu przejechanych tras pomiarowych błąd względny wynikający z różnicy wartości obliczeniowej i rzeczywistej wyniósł:

- dla samochodu PF 125 p 6%,
- dla samochodu NYSA 522 3,6%.

Podsumowanie

Zastosowanie analizy regresji wielowymiarowej wykazało, że zmienność przebiegowego zużycia paliwa można wyjaśnić w ponad 80% wykorzystując zbiór trzech zmiennych związanych z dynamiką układu pojazd samochodowy - silnik.

Wykorzystanie większej ilości zmiennych nie przyczynia się do znacznej poprawy dokładności w szacowaniu przebiegowego zużycia paliwa.

Zmiennymi, które w decydującym stopniu wpływają na to zużycie, są:

X_9 - jednostkowy średni czas jazdy,

X_{10} - wartość całki $\int_0^T a \hat{v} dt$, odpowiadająca energii niezbędnej do przyspieszenia samochodu,

X_{15} - stosunek drogi przejechanej, gdy $a < -0,15 \text{ m/s}^2$, do całkowitej drogi.

Dla średnich prędkości jazdy mniejszych od 60 km/h pojedyncza zmienna X_9 w wystarczającym stopniu wyjaśnia zmiany przebiegowego zużycia paliwa. Wykorzystując tę zmianę szacowano wielkość przebiegowego zużycia paliwa z błędem średniokwadratowym nie przekraczającym 6%.

Odnosząc uzyskane zależności dwuwymiarowe do całej trasy pomiarowej o długości S , którą przejechano w czasie T , uzyskano zależność:

$$G_v = a S + b T, \quad (7)$$

gdzie G_v jest całkowitym zużyciem paliwa w czasie jazdy. Współczynniki a i b zawarte w równaniu uwzględniają natomiast rodzaj pojazdu, jak i wpływ warunków ruchu. Można je określić dla dowolnego pojazdu przejeżdżając pewną ilość tras o różnych warunkach ruchu i dokonując pomiaru zużycia paliwa, przejechanej drogi i czasu.

Po określeniu współczynników a i b równania (7) można przewidywać zużycie paliwa w warunkach ruchu miejskiego rejestrując jedynie przejechaną drogę i czas jazdy, przy użyciu drogomierza i chronometru.

Wykorzystując zależność (7) do określenia przewidywanego zużycia paliwa zauważyć można, że jedyną możliwością zmniejszenia zużycia paliwa w rozpatrywanych warunkach jest usprawnienie układu komunikacyjnego danej aglomeracji oraz optymalizacja układów sterowania ruchem.

Rozważania dotyczące otrzymanych zależności, a w szczególności oceny wpływu zmiany kierowcy, sposobu jazdy, wpływu temperatury otoczenia oraz obciążenia przedstawione zostaną w drugiej części tego opracowania.

Recenzent:

Doc. dr inż. Lech Gasiński

Wpłynęło do Redakcji 10.03.86

АНАЛИЗ ФАКТОРОВ СОДЕЙСТВУЮЩИХ ПОТРЕБЛЕНИЮ ТОПЛИВА АВТОМОБИЛЯМИ ЭКСПЛУАТИРОВАННЫМИ В УЛИЧНОМ ДВИЖЕНИИ

Р е з ю м е

В настоящей работе представлены результаты анализа, целью которого была оценка влияния условий городского движения на расход топлива автомобильных транспортных средств. Во время проезда измерительных маршрутов общей длины 1500 км зарегистрированы скорость, путь и расход топлива. Полученные результаты были подтверждены статистическим исследованием определяя переменные, связанные с записью функции влияющие в значительной степени на расход топлива в рассматриваемых условиях. Доказано, что среднее удельные время езды в самой большей степени объясняет изменения расхода топлива на данном пробеге. Результаты находят подтверждение в физических модулях системы автотранспортное средство - двигатель а также во взаимных связях происходящих среди переменных, которые были подвергнуты исследованиям.

ANALYSIS OF FACTORS EFFECTING FUEL CONSUMPTION BY CARS IN THE TRAFFIC

S u m m a r y

The influence of various urban driving conditions on the automobile fuel consumption was studied. It was based on an experiment involving 1500 km test driving in Katowice and GOP area. The detailed speed, distance and fuel consumption records have been analysed by multivariable statistic techniques which have shown that the variable traffic conditions are important factor in the cars fuel consumption. These results also show that an average single trip time per distance is the most important factor in order to

explain the fuel consumption variability. It is to be explained in the physical properties terms of the vehicle-engine system and the interrelations between these traffic relation which have been tested.