

CUMULATED LPG CONSUMPTION SUPLIED OF CARS ENGINES

Lech J. Sitnik

Wroclaw University of Technology, Faculty of Mechanical Engineering
Institute of Machines Design and Operation
Ignacego Łukasiewicza St. 7/9, 50-371 Wrocław, Poland
tel.: +48 71 347 79 18, fax: +48 71 347 79 18
e-mail: lech.sitnik@pwr.wroc.pl

Abstract

Fuel consumption is one of the base variables to take into account in car's exploitation. Important are current and future fuel consumption. Fundamental question is how time of car's exploitation is economically grounded. In case of exploitation of the cars' fleet not fewer important is fleet's cost forecasting which, in first step originated from fuel's cost. When theory of the cumulate fuel's consumption was appeared in 2004 [1] forecasting for this matter is possible. Suitability of theory was presented [1] in reference to city bus communication fueled with diesel, in presented result [2] they proved suitable of theory to trunk bus communication (fueled with diesel too) whilst this paper presents results for fleet fueled with LPG. In text presents the mathematics models of cumulated fuel consumption in process of vehicle's exploitation. Presented way and procedure are to construction of solid model. Heeded mention to characteristic qualities of cumulate fuel's consumption. Presented examples of taking advantage of a theory for mark an exploitation of vehicles' fleet fueled with LPG. Further presented forecasting of LPG consumption are for estimate mileage for few vehicles' fleet and whole fleet. Reported a full prove of a theory of the cumulate fuel's consumption also for LPG.

Keywords: exploitation, vehicle, fuel, LPG, intake

SKUMULOWANE ZUŻYCIE LPG ZASILAJĄCEGO SILNIKI SAMOCHODÓW

Streszczenie

Zużycie paliwa jest jednym z podstawowych czynników branych pod uwagę w eksploatacji pojazdów. Ważne jest zarówno zużycie aktualnie występujące w eksploatacji jak i prognozowane w dłuższej perspektywie czasowej. Istotne jest bowiem pytanie jak długo eksploatowany powinien być pojazd by miało to uzasadnienie ekonomiczne. W przypadku eksploatacji floty pojazdów nie mniej ważne jest również prognozowanie kosztów eksploatacji floty, a te wynikają w pierwszym rzędzie z kosztów zakupu paliwa. Prognozowanie w omawianej problematyce stało się możliwe po opracowaniu w 2004 roku [1] teorii skumulowanego zużycia paliwa. Przydatność teorii wykazano w odniesieniu do autobusów komunikacji miejskiej zasilanych olejem napędowym, w [2] przedstawiono wyniki potwierdzające przydatność teorii w autobusach komunikacji międzymiastowej, (których silniki były także zasilane olejem napędowym) natomiast w publikacji niniejszej wyniki odnoszące się floty pojazdów zasilanych LPG. W referacie przedstawiono modele matematyczne skumulowanego zużycia paliwa w procesie eksploatacji pojazdu. Podano sposób oraz procedurę wyznaczania stałych modeli. Zwrócono uwagę na charakterystyczne cechy skumulowanego zużycia paliwa. Przedstawiono przykłady wykorzystania opracowanej teorii do oceny eksploatacji floty pojazdów zasilanych LPG. Podano również prognozy zużycia LPG, do zakładanych przebiegów, przez poszczególne pojazdy floty oraz całej floty. Wykazano pełną przydatność opracowanej teorii skumulowanego zużycia paliwa również w wypadku gdy paliwem jest LPG.

Słowa kluczowe: eksploatacja, pojazd, paliwo LPG, zużycie

1. Wstęp

Zużycie paliwa jest jednym z podstawowych czynników branych pod uwagę w eksploatacji pojazdów. Ważne jest przy tym zarówno zużycie aktualnie występujące w eksploatacji, jak

i prognozowane w dłuższej perspektywie czasowej. Istotne jest bowiem pytanie jak długo eksploatowany powinien być pojazd by miało to uzasadnienie ekonomiczne. W przypadku eksploatacji floty pojazdów ważne jest również prognozowanie kosztów eksploatacji floty, a te wynikają w pierwszym rzędzie z kosztów zakupu paliwa. Prognozowanie w omawianej problematyce stało się możliwe po opracowaniu w 2004 roku [1] teorii skumulowanego zużycia paliwa. Przydatność teorii wykazano w [1] w odniesieniu do autobusów komunikacji miejskiej zasilanych olejem napędowym, w [2] przedstawiono wyniki potwierdzające przydatność teorii w autobusach komunikacji międzymiastowej, (których silniki były także zasilane olejem napędowym) natomiast w publikacji niniejszej wyniki odnoszące się do floty pojazdów zasilanych LPG. W referacie przedstawiono modele matematyczne skumulowanego zużycia paliwa w procesie eksploatacji pojazdu. Podano sposób oraz procedurę wyznaczania stałych modeli. Zwrócono uwagę na charakterystyczne cechy skumulowanego zużycia paliwa. Przedstawiono przykłady wykorzystania opracowanej teorii do oceny eksploatacji floty pojazdów zasilanych LPG. Podano również prognozy zużycia LPG, do zakładanych przebiegów, przez poszczególne pojazdy floty oraz całej floty.

2. Skumulowane zużycia paliwa floty samochodów zasilanych LNG

Po każdym czasie pracy silnika wyznaczyć można wielkość skumulowanego zużycia paliwa, która jest „sumą zużytego paliwa od chwili wprowadzenia silnika do eksploatacji do chwili odpowiadającej analizowanemu czasowi jego pracy”.

Skumulowane zużycie paliwa różni się od zużycia chwilowego, które można zdefiniować jako „zużycie jakie wystąpiło w trakcie określonego, stosunkowo krótkiego czasu w dowolnym ogólnym czasie pracy silnika”. Popularną wielkością, którą charakteryzuje się chwilowe zużycie paliwa jest chwilowa intensywność zużycia paliwa podawana litrach na 100 km.

Matematyczne ujęcie pozwala wyznaczyć skumulowane zużycie paliwa powstałe do czasu t eksploatacji silnika jako funkcję:

$$Q(t) = ct^{a+1}, \quad (1)$$

gdzie t - jest czasem eksploatacji silnika, c oraz a są współczynnikami.

Intensywność skumulowanego zużycia jest jego pochodną, którą w funkcji czasu wyraża się zależnością:

$$\frac{dQ(t)}{dt} = Q'(t) = c(a+1)t^a. \quad (2)$$

Po obustronnym logarytmowaniu równania (1) otrzymuje się:

$$\ln Q(t) = \ln(ct^{a+1}) = \ln c + (a+1)\ln t, \quad (3)$$

który po wprowadzeniu podstawień:

$$\ln Q(t) = y, \quad \ln c = b_0, \quad (a+1) = b_1, \quad \ln t = x, \quad (4)$$

ma postać liniową

$$y = b_0 + b_1x. \quad (5)$$

Do wyznaczenia współczynników b_0 oraz b_1 wystarczająca jest oczywiście znajomość położenia dwu punktów przez które ta funkcja prowadzi. Natomiast po przeprowadzeniu badań uzyskuje się, z reguły dwa wektory wyników,

$$\mathbf{Q} = [Q(t_1), Q(t_2), Q(t_3), \dots, Q(t_i), \dots, Q(t_j)]^T, \quad \mathbf{T} = [t_1, t_2, t_3, \dots, t_i, \dots, t_j]^T, \quad (6)$$

które, do wyznaczenia współczynników b_0 oraz b_1 (w konsekwencji również c oraz a) wykorzystuje się w analizie regresji.

Po przyjęciu, że $t \leftrightarrow km$, wprowadza się podstawienie $x = \ln(km)$, $y = \ln(dm^3)$. Przykładowe dane eksploatacyjne dotyczące z floty, zużycia LPG pojazdu przedstawiono w Tab. 1.

Tab. 1. Przebieg oraz skumulowane zużycie paliwa i dane pomocnicze do wyznaczania modelu matematycznego skumulowanego zużycia paliwa silnika samochodu Renault Kangoo 2

Tab. 1. Mileage, cumulated fuel's consumption and data for mathematics models of cumulated fuel consumption engine of Renault Kangoo 2 car

Okres	Przebieg	Skumulowane zużycie paliwa (LPG)	Przebieg (logarytmowany)	Skumulowane zużycie paliwa (logartmowane)
1	2	3	4	5
t	km	dm ³	ln km	ln dm ³
1	2720	294	7,908203	5,683579767
2	5114	546	8,539639	6,302618976
3	9472	993	9,156069	6,900730664
4	17032	1749	9,742835	7,466799475
5	23090	2340	10,047133	7,757906208
6	29642	2964	10,296931	7,994294986
7	36898	3639	10,515906	8,199464198
8	40561	3972	10,610556	8,287025025
9	44474	4323	10,702669	8,371704885
10	49166	4740	10,802950	8,463792415
11	56376	5367	10,939801	8,588024372
12	63997	6024	11,066597	8,703506769
13	70765	6600	11,167125	8,794824928
14	75013	6954	11,225421	8,847072313
15	79478	7323	11,283239	8,898775359
16	82935	7608	11,325816	8,936955604

Na podstawie danych kolumny 4 i 5 powyższej tabeli, wyznaczone są współczynniki równania (5) według zależności znanej z analizy regresji,

$$\begin{bmatrix} b_0 \\ b_1 \end{bmatrix} = \mathbf{b} = (\mathbf{X}^T \mathbf{X})^{-1} \mathbf{X}^T \mathbf{Y}, \quad (6)$$

gdzie \mathbf{X} jest macierzą zawierającą dwie kolumny; kolumnę z wartościami równymi 1 oraz kolumnę z wartościami zawartymi tu w kolumnie 4-tej Tab. 1. Wektor \mathbf{Y} jest kolumną 5-tą Tab. 1.

Po dokonaniu obliczeń uzyskano następujące wyniki:

Tab. 2. Wartości współczynników modelu matematycznego
Tab. 2. Variables' values of mathematical model

Współczynniki	Wartości	Błąd standardowy
b_0	-1,805672	0,031936
b_1	0,950142	0,0039587

Wyniki podstawowych statystyk regresji przedstawia Tab. 3, a Tab. 4 wyniki analizy wariancji.

Tab. 3. Statystyki regresji modelu matematycznego
Tab. 3. Regress statistics for mathematical model

Statystyki regresji	
Wielokrotność R	0,99990
R kwadrat	0,99980
Dopasowany R kwadrat	0,99979
Błąd standardowy	0,01489
Obserwacje	16

Tab. 4. Wyniki analizy wariancji
Tab. 4. Results of variant's analysis

Analiza wariancji	df	SS	MS	F
Regresja	1	15,66435	15,66435011	70655,5657
Resztkowy	14	0,0031038	0,0002217	
Razem	15	15,667454		

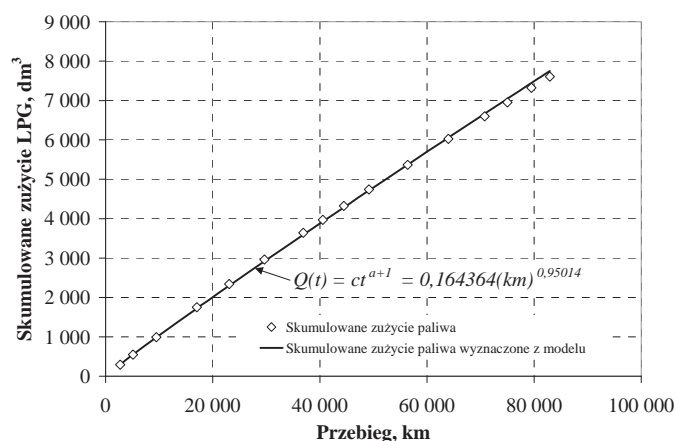
Współczynniki predykcji modelu matematycznego do danych pomiarowych są bardzo wysokie, bliskie wartości 1, co skutkuje niskimi odchyleniami wartości zmierzonych w eksploatacji naturalnej od wartości wyznaczonych z wykorzystaniem modelu matematycznego. Odpowiednie wartości przedstawia Tab. 5.

Tab. 5. Wyniki pomiarów i obliczeń wg modelu skumulowanego zużycia paliwa i intensywności skumulowanego zużycia paliwa

Tab. 5. Results of measure and arithmetic by model of cumulated fuel's consumption and intensity of cumulated fuel's consumption

Okres	Przebieg	Skumulowane zużycie paliwa	Przebieg	Skumulowane zużycie paliwa	Skumulowane zużycie paliwa wyznaczone z modelu	Odchyłka wartości		Intensywność skumulowanego zużycia paliwa
						dm ³	%	
t	km	dm ³	ln km	ln dm ³	dm ³	dm ³	%	dm ³ /km
1	2720	294	7,908203	5,683579767	301,34	-7,34	-2,5%	0,105283055
2	5114	546	8,539639	6,302618976	549,05	-3,05	-0,6%	0,102020152
3	9472	993	9,156069	6,900730664	986,23	6,77	0,7%	0,098932366
4	17032	1749	9,742835	7,466799475	1722,28	26,72	1,5%	0,096080032
5	23090	2340	10,047133	7,757906208	2299,69	40,31	1,7%	0,094633335
6	29642	2964	10,296931	7,994294986	2915,73	48,27	1,6%	0,093462043
7	36898	3639	10,515906	8,199464198	3590,09	48,91	1,3%	0,092447207
8	40561	3972	10,610556	8,287025025	3927,91	44,09	1,1%	0,09201197
9	44474	4323	10,702669	8,371704885	4287,18	35,82	0,8%	0,091590368
10	49166	4740	10,802950	8,463792415	4715,76	24,24	0,5%	0,091133575
11	56376	5367	10,939801	8,588024372	5370,59	-3,59	-0,1%	0,090513877
12	63997	6024	11,066597	8,703506769	6058,19	-34,19	-0,6%	0,089943474
13	70765	6600	11,167125	8,794824928	6665,38	-65,38	-1,0%	0,089493795
14	75013	6954	11,225421	8,847072313	7044,99	-90,99	-1,3%	0,089234055
15	79478	7323	11,283239	8,898775359	7442,84	-119,8	-1,6%	0,088977194
16	82935	7608	11,325816	8,936955604	7750,11	-142,1	-1,9%	0,088788512

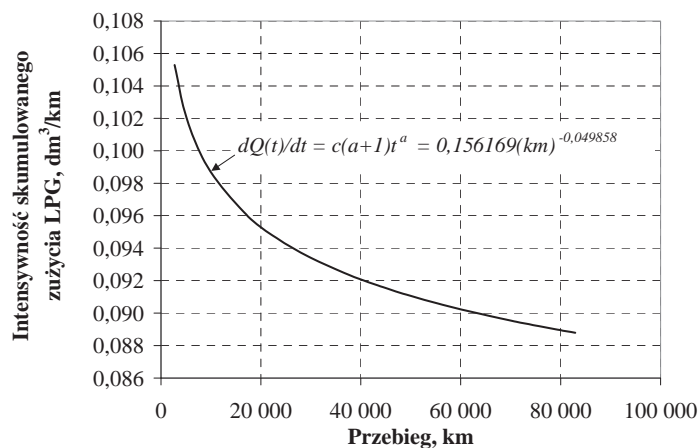
Wyniki przedstawiono graficznie:



Rys. 1. Wyniki pomiarów i obliczeń skumulowanego zużycia paliwa silnika samochodu Renault Kangoo 2

Fig. 1. Result of measure and arithmetic by model of cumulated fuel's consumption of engine of Renault Kangoo 2

Natomiast intensywność skumulowanego zużycia paliwa tego pojazdu przedstawia się jako:



Rys. 2. Intensywność skumulowanego zużycia paliwa pojazdu Renault Kangoo 2

Fig. 2. Intensity of cumulated fuel's consumption of Renault Kangoo 2 car

Teorię skumulowanego zużycia paliwa wykorzystać można w analizie zużycia paliwa floty pojazdów. Analizę taką przeprowadzono. Dysponując danymi eksploatacyjnymi zużycia LPG każdego samochodu opracowano odpowiadający mu model matematyczny. Przeprowadzono również analizę statystyczną predykcji poszczególnych modeli. Wyniki obliczeń zebrano tu w Tab. 6.

Tab. 6. Wartości współczynników modelu skumulowanego zużycia paliwa (4.2) oraz wartość współczynnika wielowymiarowej korelacji analizowanego parku pojazdów

Tab. 6. Variables' values of model of cumulated fuel's consumption (4.2) and variables' values of multidimensional correlation analyzed vehicles' fleet

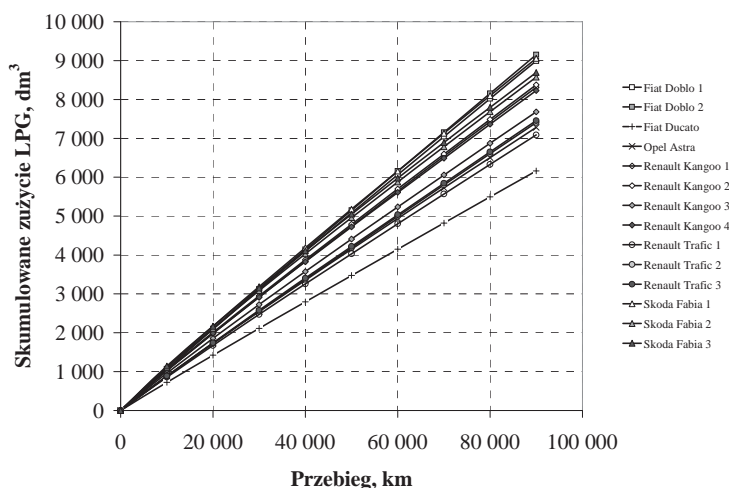
Samochód	Współczynniki				
	c	a	b_0	b_1	R^2
Fiat Doblo 1	0,141117	-0,030284	-1,958163	0,969716	0,999735
Fiat Doblo 2	0,132274	-0,023065	-2,022880	0,976935	0,999760
Fiat Ducato	0,091155	-0,025095	-2,395192	0,974905	0,999898
Opel Astra	0,132600	-0,043296	-2,020415	0,956704	0,999724
Renault Kangoo 1	0,157096	-0,046565	-1,850900	0,953435	0,999646
Renault Kangoo 2	0,164364	-0,049858	-1,805672	0,950142	0,999802
Renault Kangoo 3	0,162114	-0,056239	-1,819454	0,943761	0,999808
Renault Kangoo 4	0,171529	-0,055139	-1,763006	0,944861	0,999816
Renault Trafic 1	0,125435	-0,040804	-2,075968	0,959196	0,999710
Renault Trafic 2	0,116563	-0,030530	-2,149325	0,969470	0,999785
Renault Trafic 3	0,120070	-0,032544	-2,119680	0,967456	0,999839
Skoda Fabia 1	0,175979	-0,048980	-1,737393	0,951020	0,999315
Skoda Fabia 2	0,209115	-0,068916	-1,564869	0,931084	0,999336
Skoda Fabia 3	0,230624	-0,076283	-1,466967	0,923717	0,999411

Przebieg skumulowanego zużycia LPG oraz intensywności tegoż zużycia przedstawiono na Rys. 3 i 4.

Ponieważ predykcja poszczególnych modeli jest bardzo dobra, można opracować prognozę zużycia paliwa poszczególnych samochodów oraz floty. Odpowiednie dane zebrano w Tab. 7.

3. Zakończenie

Przedstawione wyniki badań upoważniają do stwierdzenia, że również w przypadku zasilania silników samochodowych floty pojazdów LPG, teoria skumulowanego zużycia paliwa znajduje swoje zastosowanie. Potwierdzeniem są m.in. bardzo wysokie współczynniki korelacji modeli

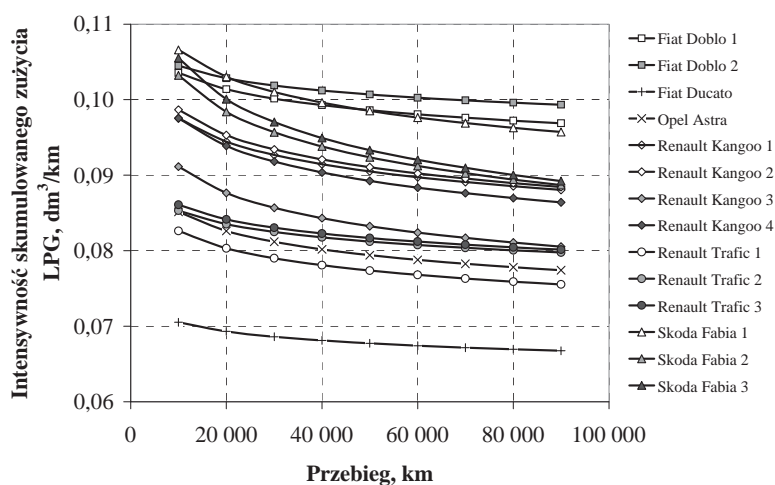


Rys. 3. Skumulowane zużycie LPG poszczególnych samochodów we flocie pojazdów

Fig. 3. Cumulated LPG fuel's consumption for specific cars in vehicles' fleet

matematycznych opisujących proces zużywania paliwa. Wykorzystując teorię skumulowanego zużycia paliwa można stosunkowo prosto porównać przebieg zużycia paliwa nie tylko poszczególnych samochodów ale również grup samochodów we flocie. Jest interesującym, że w każdej grupie

samochodów pojawiają się samochody, których zużycie paliwa odbiega znacząco od pozostałych. Szczególnie wyraźnie daje się to zauważyć analizując przebiegi intensywności skumulowanego zużycia paliwa. Istotne jest tu, że stosując teorię skumulowanego zużycia paliwa, tego typu zjawiska, można względnie łatwo wyodrębnić.



Rys. 4. Przebieg intensywności skumulowanego zużycia paliwa pojazdów floty

Fig. 4. Function of cumulated fuel's consumption intensity for fleet vehicles

Tab. 7. Prognoza skumulowanego użycia paliwa dla badanych pojazdów dla różnych przebiegów

Tab. 7. Forecasting of cumulated fuel's consumption for examined vehicles for different mileage

Samochód	Przebieg, km		
	100 000	150 000	200 000
	Skumulowane zużycie LPG, dm ³		
Fiat Doblo 1	9 958	14 754	19 502
Fiat Doblo 2	10 143	15 072	19 963
Fiat Ducato	6 828	10 139	13 421
Opel Astra	8 055	11 872	15 634
Renault Kangoo 1	9 191	13 528	17 797
Renault Kangoo 2	9 258	13 609	17 887
Renault Kangoo 3	8 484	12 440	16 320
Renault Kangoo 4	9 092	13 336	17 501
Renault Trafic 1	7 841	11 569	15 246
Renault Trafic 2	8 202	12 151	16 060
Renault Trafic 3	8 255	12 220	16 142
Skoda Fabia 1	10 013	14 724	19 357
Skoda Fabia 2	9 458	13 796	18 034
Skoda Fabia 3	9 583	13 936	18 178
SUMA	124 361	183 146	241 042

W miarę przebiegu poszczególnych pojazdów, różnice w skumulowanym zużyciu paliwa są coraz większe. Intensywność skumulowanego zużycia paliwa, samochodów zasilanych LPG, jest monotoniczną funkcją malejącą.

Dysponując modelami skumulowanego zużycia paliwa możliwe jest opracowanie prognozy zużycia paliwa zarówno poszczególnych samochodów we flocie, jak również sumarycznie całej floty.

Literatura

- [1] Sitnik, L. J., *Skumulowane zużycie paliwa*, Archiwum Motoryzacji, Nr 3, s. 227-254, 2004.
- [2] Witkowski, M., *Analiza eksploatacyjnego zużycia paliwa w autobusach komunikacji dalekobieżnej*, Praca dyplomowa, Politechnika Wroclawska, Wydział Mechaniczny, 2008.
- [3] Zazulak, G., *Aplikacja teorii skumulowanego zużycia paliwa do oceny zużycia paliwa trakcyjnych silników zasilanych LPG*, Praca dyplomowa, Politechnika Wroclawska, Wydział Mechaniczny, 2009.