

Aleksander UBYSZ

ANALITYCZNA METODA OKREŚLANIA ZUŻYCIA PALIWA W TESTACH JEZDNYCH 93/116/CE SAMOCHODU O NAPĘDZIE HYBRYDOWYM

Streszczenie. W pracy obliczono metodą analityczną z wymaganą dokładnością sprawność energetyczną i zużycie paliwa samochodu Toyota Prius Hybrid w dwu wersjach napędowych: elektrycznej i spalinowej.

THE ANALYTIC METHOD OF CALCULATING OF FUEL CONSUMPTION IN CAR PROVIDED WITH HYBRID DRIVE IN 93/116/CE DRIVING CYCLES

Summary. In this paper the results of calculating of the energetic efficiency and fuel consumption of car provided with hybrid drive were shown. The calculating were carried out by analytic method for two different versions of drive of car Toyota Prius Hybrid : for electric motor and I.C. engine.

1. WSTĘP

Opracowana w Instytucie Transportu analityczna metoda wyznaczania zużycia paliwa samochodów w testach drogowych daje dostatecznie wysoką dokładność wyników obliczeń w przedziale $\pm 6\%$, przy czym 85% wyników nie przekracza 3% [1, 2].

W przypadku podlegających okresowym modyfikacjom standardowych testów jezdnych analityczna metoda wymaga ciągłych korekt i modyfikacji [3]. Wyżej wymieniona norma jest od trzech lat obowiązującym udoskonaleniem wcześniej obowiązujących norm, a i ona ulegnie wkrótce poprawie w zakresie metody rozgrzewania zimnego silnika – NEDC (New Europe Drive Cycle) [4, 5].

Opracowana metoda analityczna podlega weryfikacji nie tylko przez okresowo modyfikowane normy pomiaru, ale również przez nowe rozwiązania samochodów i ich zespołów napędowych. Dotychczas nie było trudności z doбором założeń wyjściowych i z dokładnością obliczeń zużycia paliwa samochodów z nowymi rozwiązaniami w ramach tradycyjnie produkowanego zespołu napędowego. Niewątpliwie nowym jakościowo wyzwaniem jest napęd hybrydowy samochodu, już stosowany w seryjnie produkowanych pojazdach. Niestety, do obliczeń energochłonności całkowitej, niezbędnej przy realizacji europejskich testów jezdnych, w literaturze fachowej jest zbyt mało danych, aby uznać je za dokładne [6, 7]. Jednak przy pewnych założeniach można pokusić się o rozwiązanie tego zagadnienia, co jest tematem tego opracowania.

2. WYBÓR SAMOCHODU I ZAŁOŻENIA WYJŚCIOWE

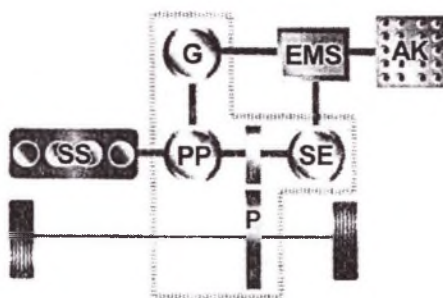
Do obliczeń wytypowano samochód osobowy o napędzie hybrydowym, produkowany seryjnie od 1997 r. – Toyota Prius Hybrid (TPH). Drugi znany z literatury samochód tego typu – Fiat Multipla Hybryda – wprowadzany do produkcji seryjnej w końcu tego roku, ma mniej danych niezbędnych do obliczeń. Obydwa pojazdy równolegle są produkowane w wersji konwencjonalnego napędu silnikiem spalinowym.

W tab. 1 przedstawiono interesujące nas dane. Poza tym na rys.1 pokazano schemat zespołu napędowego o układzie szeregowo-równoległym (THS – Toyota Hybrid System). Zastosowano w nim silnik elektryczny synchroniczny prądu zmiennego o pracy odwracalnej z magnesami trwałymi o mocy 33 kW, który przy prędkości 400 min^{-1} rozwija moment 350 Nm. Przekładnia planetarna umożliwia połączenie poszczególnych zespołów układu w jedną całość, sterowaną przez elektroniczny moduł sterujący (EMS). Silnik spalinowy podłączony jest do kosza satelitów, silnik elektryczny współpracuje z kołem o zazębieniu wewnętrznym, a generator z kołem słonecznym. Funkcję tradycyjnego alternatora i rozrusznika przejął generator. Moment obrotowy trafia na koła przednie poprzez przekładnię redukcyjną.

Tabela 1

Zestawienie danych literaturowych przyjętych do obliczeń zużycia energii w europejskim teście jezdnym 93/116/CE samochodu Toyota Prius Hybrid

Dane techniczne		-
a) jednostka napędowa		
rodzaj		Silnik spalinowy ZI GDI
liczba cylindrów		4
liczba zaworów		16
pojemność skokowa, cm^3		1497
stopień sprężania		13,5
moc maksymalna N_e/n_N , $\text{kW}/\text{min}^{-1}$		53/4500
maksymalny moment obrotowy M_o/n_M , Nm/min		115/4200
b) układ napędowy		
skrzynka biegów		Planetarna
liczba biegów		2
prędkość maksymalna, km/h		160
czas rozpędzania do $100\text{km}/\text{h}$, s		13,4
c) masy		
własna, kg		1240
badawcza, kg		1370
d) pojemności		
zbiornik paliwa, dm^3		50
bagażnik, dm^3		385
e) wymiary		
długość		4275
szerokość	mm	1695
wysokość		1490
Zużycie paliwa (energii), dm^3 lub $\text{kWh}/100\text{km}$		5,1/ -



Schemat układu napędowego Toyota Prius

Rys. 1. Schemat zespołu napędowego samochodu o napędzie hybrydowym Toyota Prius Hybrid:
 G- generator, SE- silnik elektryczny, EMS- blok sterujący, Ak- akumulatory

Fig. 1. The diagram of power transmission system of Toyota Prius Hybrid provided with hybrid drive : G – generator , SE – electric motor , EMS – electronic control system , Ak – accumulators

Stosowany silnik spalinowy ZI jest nowo opracowaną jednostką o podwyższonym geometrycznym stopniu sprężania do 1:13,5, sugerującym silnik ZI GDI. Jest to jednak jednostka z ilościową regulacją obciążenia, a dzięki tzw. obiegowi Atkinsona poprzez zmianę faz napełniania możliwe jest obniżanie rzeczywistego stopnia sprężania ze wzrostem obciążenia silnika. Dzięki temu na niższych obciążeniach, analogicznie jak w silnikach GDI, ale w mniejszym stopniu zwiększono sprawność efektywną silnika.

Zespół napędowy może pracować w następujących opcjach:

- akumulatory napędzają silnik elektryczny,
- silnik ZI napędza koła i silnik elektryczny,
- silnik spalinowy napędza koła, a akumulatory silnik elektryczny (maksymalna dynamika napędu),
- silnik ZI napędza koła i ładuje akumulatory,
- hamowanie odbywa się z odzyskiem energii.

W czasie obliczeń okaże się, że przy realizacji testów europejskich wystarczającą mocą dysponuje napęd elektryczny, a do realizacji napędu hybrydowego wykorzystano dodatkowo dwie ostatnie opcje.

2.1. Dobór pojemności elektrycznej baterii

Dla znanego napięcia znamionowego baterii należy dobrać ich pojemność elektryczną. Na podstawie danych literaturowych o 23% większej pojemności jednostkowej, o 30% mniejszej masie i 60% mniejszej objętości akumulatorów nikielowo-wodorkowych (NiMH) można przez analogię do znanych parametrów zwykłych akumulatorów określić pojemność elektryczną baterii TPH. Parametry kwasowych akumulatorów 12 V to: pojemność elektryczna $Q = 45\text{Ah}$, masa 14 kg.

Dodatkowe założenie dotyczy rozdziału mas pomiędzy poszczególne zespoły układu napędowego w samochodzie. Przy masie własnej TPH 1250 kg na zespół napędowy przeznaczamy 380 kg, z czego 110 kg na silnik spalinowy, generator i silnik elektryczny 100 kg i baterie akumulatorowe 170 kg. W celu otrzymania 274 V napięcia znamionowego należy połączyć szeregowo 22 akumulatory tradycyjne o pojemności na jednostkę masy $q_m = 0,15$

Ah/kg. Stąd łatwo na podstawie wyżej zapisanych własności akumulatorów niklo-wodorkowych obliczyć pojemność baterii TPH:

$$Q = \frac{m_{bat} q_m}{\eta_{el} \eta_m} = \frac{170 \cdot 0,15}{0,77 \cdot 0,70} = 46 Ah \quad (1)$$

gdzie:

m_{bat} – założona masa baterii,

η_{el} – zwiększona sprawność elektryczna baterii,

η_m – sprawność uwzględniająca o 30% mniejszą masę.

2.2. Dalsze założenia do obliczeń

Z iloczynu pojemności i napięcia znamionowego otrzymujemy teoretyczną energię wyładowania akumulatora, równą 12,6 kWh. Z tej ilości energii bezpiecznie jest pobrać nie więcej niż 50% energii, czyli 6,5 kWh.

Do obliczeń przy napędzie elektrycznym samochodu niezbędne jest założenie sprawności łącznej zespołu napędowego [8]:

$$\eta_{en} = \eta_M \eta_{prz} \eta_{pe} \quad (2)$$

gdzie: η_M – sprawność silnika elektrycznego w granicach 0,80 – 0,93,

η_{prz} – sprawność układu przeniesienia napędu w granicach 0,65 – 0,97,

η_{pe} – sprawność przekształtnika energii w obwodzie zasilania (0,92 – 0,96).

Do obliczeń założono sprawność zespołu napędowego elektrycznego równą 0,80. Tak więc do obliczeń mocy wyładowania baterii P_w przy napędzie silnikiem elektrycznym samochodu w danej fazie wykorzystano równanie:

$$P_w = N_c / \eta_{en} \quad (3)$$

a pobraną ilość energii elektrycznej w danej fazie cyklu jeźdźnego wyliczano z zależności:

$$A_w = P_w t \text{ [kWh]} \quad (4)$$

Gdzie

t jest czasem trwania fazy w godzinach.

Jedną z opcji jest napęd i ładowanie akumulatorów przez silnik spalinowy ZI. Przyjęto maksymalny dopuszczalny prąd ładowania:

$$I_l = 0,4 Q_{bat} = 0,4 \cdot 46 = 18 A \quad (5)$$

Maksymalna moc ładowania wynikająca z dopuszczalnego natężenia I prądu

$$P_{max} = I U / \eta_{pe} = 274 \cdot 18 / 0,68 = \underline{7,2 \text{ kW}} = \text{const} \quad (6)$$

służy do obliczenia momentu obrotowego M_{oel} obciążenia elektrycznego silnika spalinowego przy danej prędkości obrotowej silnika w danej fazie. Założona sprawność w równaniu (6) jest sprawnością z jaką jest wykorzystana energia ładowania mocy 7,2 kW i ładująca baterie mocą 5,0 kW. Sprawność ta jest w przedziale 0,6 – 0,7 (założono 0,68).

Moment obciążający silnik ZI stałą mocą ładowania wyliczyć można z równania:

$$M_{ocł} = P_{max} / (2\pi n) = 1146/n \text{ [Nm]} \quad (7)$$

Wartość dla każdej z faz cyklu drogowego przedstawia kolumna (9) tabeli 3, natomiast kolumna (10) jest wynikiem pomnożenia $P_{max} = 7200 \text{ W}$ przez czas każdej fazy wyrażony w godzinach.

Tabela 2

Tabela obliczeń zużycia energii elektrycznej w jednym z czterech modułów cyklu miejskiego przy założonym $\eta_{cn} = 0,8$

Faza	N_c [W]	t [s]	t [h]	F_n [N]	P_w [kW]	A_w [kWh]
1	2	3	4	5	6	7
2	6600	4	0,0011	1577	11	0,012
3	742	8	0,0022	178	0,93	0,002
7	5400	5	0,0014	1293	9,0	0,013
9	13000	5	0,0014	1456	16,25	0,025
10	1780	24	0,0067	200	2,22	0,015
14	5400	5	0,0014	1294	9,0	0,013
16	10000	9	0,0025	1028	12,5	0,031
18	13000	8	0,0022	925	16,25	0,036
19	3400	12	0,0034	241	4,25	0,0145
21	2000	13	0,0036	206	2,5	0,010

$$4 \cdot \Sigma = 0,626 \text{ kWh}$$

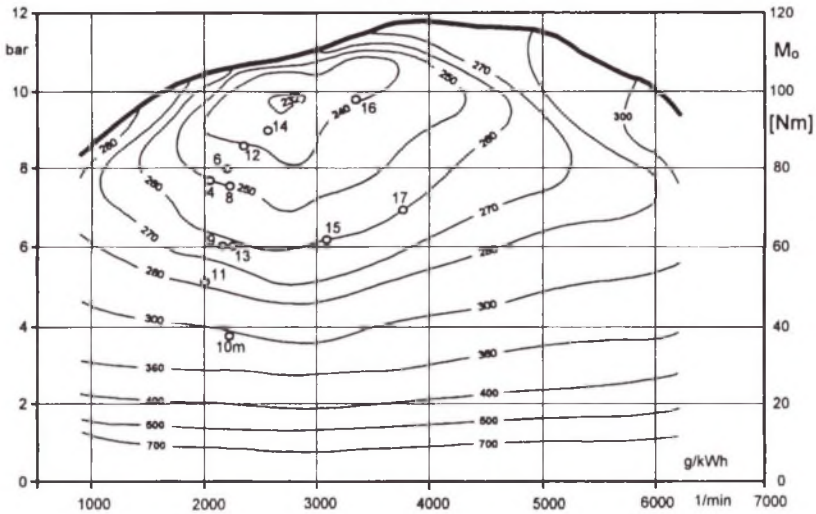
Tabela 3

Tabela obliczeń energochłonności cyklu drogowego uzupełniająca obliczenia zużycia (odzysku) energii elektrycznej przy założonych jw. sprawnościach w równ. (2) i (6)

Faza	N_c [W]	t [s]	t [h]	n [min ⁻¹]	n [s ⁻¹]	M_l [Nm]	M_n [Nm]	ΣM [Nm]	A_l [kWh]
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2	5400	5	0,0014	1050	17,3	64	25	89	0,010
4	10000	9	0,0025	1850	30,5	38	37	75	0,012
6	13000	8	0,0022	2200	36,5	31,4	48	79,4	0,011
8	16600	13	0,0036	2340	39,5	29	58	77	0,026
9	6000	50	0,014	2160	36	32	27	59	0,07
11	3400	69	0,019	2000	33	35	16	51	0,096
12	16600	13	0,0036	2350	39,5	29	58	87	0,018
13	6000	50	0,014	2160	36	32	27	59	0,070
14	19500	35	0,01	2550	43,5	26	61	87	0,050
15	12500	30	0,0084	3080	51,4	22	39	61	0,042
16	30000	20	0,0056	3400	56,5	20	77	97	0,028
17	19100	10	0,0028	3700	61,6	18,6	50	68,6	0,014
10m	1780	24	0,0067	2340	39	29,4	7,3	37	4-0,0335

cd. tabeli 3

Faza	g_c [g/kWh]	η_n [-]	E_n [kJ]	E_i [kJ]	E_c [kJ]	E_c/η_n [kJ]	P_w [kW]	A_w [kWh]
11	12	13	14	15	16	17	18	19
2	260	0,33	13,4	37,5	51	220	9,0	0,013
4	254	0,34	64,4	67,5	132	417	12,5	0,031
6	248	0,347	87	60	147	449	16,2	0,036
8	249	0,345	185	97,5	283	849	21	0,075
9	268	0,32	300	375	675	2197	7,5	0,105
11	263	0,33	231	517	749	2386	4,25	0,08
12	242	0,355	185	97,5	283	830	21	0,075
13	271	0,317	300	375	675	2218	7,5	0,105
14	242	0,355	581	262	844	2476	24,4	0,244
15	262	0,328	375	225	600	1906	15,6	0,131
16	240	0,358	543	150	693	2016	37,5	0,21
17	268	0,321	191	75	266	865	23,9	0,067



Rys. 2. Charakterystyka ogólna silnika ZI o pojemności 1,6 dm³ z punktami pracy
Fig.2. The fuel consumption map of 1,6 SI engine with marked work points

Na sprawność napędu, jako iloczynu sprawności silnika i układu przeniesienia napędu, największy wpływ ma sprawność silnika, którą dla założonych punktów pracy silnika spalinyowego obliczono ze wzoru ($\eta_n = \eta_e \cdot \eta_p$) w tab. 3 kol. (13). Sprawność wyznaczono metodą podstawianej charakterystyki ogólnej silnika Opel Astra 1,6 16v. Na rys.2 zaznaczono średnie punkty pracy silnika samochodu Toyota Prius Hybrid (z wyjątkiem p.11 i 10 m w pozostałych sprawność efektywna silnika przekracza 33%).

Zastosowanie zwiększonego obciążenia silnika dodatkowym momentem ładowania baterii spowodowało w każdej z faz podniesienie sprawności w zakres maksymalny, podczas gdy w konwencjonalnym napędzie silnikiem ZI punkty pracy mieszczą się dla obu cykli w lewej dolnej ćwiartce pola obciążenia silnika.

3. WYNIKI OBLICZEŃ

3.1. Obliczenia podstawowe energochłonności

W tab. 2 i 3 zestawiono wyniki obliczeń samochodu Toyota Prius Hybrid w dwu cyklach jezdnych, z których pierwszy, 4- modułowy cykl miejski, realizowany jest za pomocą napędu elektrycznego, natomiast cykl drogowy przeliczono w całości dla dwu wersji napędu: elektrycznej i spalinowej z ładowaniem rozładowanych w cyklu miejskim baterii. W celu całkowitego uzupełnienia wyładowanej energii konieczne było wykorzystanie, oprócz energii hamowania, także fazy 10 cyklu miejskiego.

Poza tym faza 2 cyklu drogowego, jako początkująca jazdę, w celu obniżenia strat musi być realizowana tylko za pomocą napędu elektrycznego.

3.2. Obliczanie odzysku energii przy hamowaniu

Odzysk energii przy hamowaniu:

$$E_h = m(a_h - a_w) \cdot L \text{ [Nm]} \quad (8)$$

$$a_w = \frac{g \sin \alpha - gf - \frac{K}{m} v_p^2}{1 + \frac{K}{2m} L} \quad (9)$$

na poziomej jezdni $\sin \alpha = 0$; po podstawieniu:

$$E_h = mL \left(a_h - \frac{gf + \frac{K}{m} v_p^2}{1 + \frac{K}{2m} L} \right) \text{ [Nm]} \quad (10)$$

gdzie: m – masa badawcza samochodu, kg

L – droga hamowania ze stałym opóźnieniem, m

a_h – opóźnienie hamowania, m/s^2

a_w – opóźnienie wybiegu, m/s^2

f – współczynnik oporów toczenia,

K – współczynnik oporów aerodynamicznych, kg/m

v_p – prędkość na początku hamowania, m/s

g – przyspieszenie ziemskie.

Fazy hamowania wytypowane do odzysku energii, w których $v_k > 0$:

- w cyklu miejskim tylko po 19 fazie napędowej $a_h = -0,52 \text{ m/s}^2$ (faza 20 $v=50-35 \text{ km/h}$),
1. w cyklu drogowym po 9 fazie napędowej $a_h = -0,69 \text{ m/s}^2$ (faza 10 $v=70-50 \text{ km/h}$),
2. w cyklu drogowym po 17 fazie napędowej $a_h = -0,69 \text{ m/s}^2$ (faza 18 $v=120-80 \text{ km/h}$),
3. w cyklu drogowym po fazie 18 $a_h = -1,04 \text{ m/s}^2$ (faza 19 $v=80-50 \text{ km/h}$).

Tabela 4

Odzysk energii hamowania E_h w testach drogowych 93/114/EC w samochodzie Toyota Prius
Hybrid: $m=1380$ kg, $K=0,036$, $f=0,013$, $gf=0,1275$

Cykl /faza	v_p [km/h]	v_p^2 [m/s ²]	a_h [m/s ²]	L [m]	$\frac{K}{m}v_p^2 + gf$	$1 + \frac{K}{2m}L$	$a_w = \frac{(6)}{(7)}$ [m/s ²]	$a_k + (8)$	E_h [MJ]	$\frac{A_L}{A_L \cdot \eta_{pe}}$ [kJ] / [kWh]	t [s]
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
c.m./20	50	193,2	-0,52	94,5	0,1325	1,0123	0,131	-0,389	51	85 / 0,016	8
c.d./10	70	378,0	-0,69	134	0,226	1,0175	0,222		86	85 / 0,016	8
c.d./18	120	1111,0	-0,69	445	0,417	1,058	0,394	-0,296	182	170 / 0,032	16
c.d./19	80	494,0	-1,04	145	0,256	1,019	0,252	-0,79	158	85 / 0,016	8

Ponieważ tylko tę energię można zużyć do ładowania baterii, więc należy sprawdzić, czy energia hamowania pokrywa energię ładowania wyliczoną z równania:

$$A_L = \frac{P_{L_{max}} \cdot t}{\eta_i} = \frac{5,0}{0,68} \cdot t = 7,2 \cdot t [kJ] \quad (11)$$

Jak widać z porównania kolumn (10) i (11), niespełnione jest równanie tylko w pierwszym przypadku, czyli energia hamowania nie pokryje energii ładowania baterii z pełną założoną mocą – 7,2 kW. W pozostałych przypadkach występuje nadmiar, czyli: $E_h > A_L$.

4. ANALIZA WYNIKÓW

4.1. Wersja napędu elektrycznego

W obliczanym przykładzie rozpatrywano dwie wersje pracy zespołu napędowego. Pierwsza zakłada, analogicznie jak to preferują konstruktorzy włoscy, że samochód ma napęd tylko elektryczny. Na realizację pełnego testu miejskiego i drogowego, w czasie którego samochód przejedzie 11040 m drogi, zużyte zostaje teoretycznie 1,85 kWh energii. Na przyjętych do obliczeń bateriach samochód może zrealizować 3,5 programu homologacyjnego. Przebiegowe zużycie energii elektrycznej wynosi:

$$Q_{1c} = 100A_{wc} / L = 185/11,04 = 16,76 \text{ kWh}/100 \text{ km}$$

Sprawność zespołu napędowego najlepiej sprawdzić, obliczając tzw. syntetyczny wskaźnik ekonomiczności pojazdu (SWEP), określający koszt przemieszczenia na odległość 100 km jednego Mg masy pojazdu.

$$E_{mL} = Q_{1c} / m_b = 16,76 \cdot 3,6/1,38 = 43,7 \text{ MJ}/\text{Mg}/100 \text{ km}$$

Jak widać z obliczeń, na przejechanie 100 km drogi samochód z napędem elektrycznym Toyota Prius zużył ilość energii elektrycznej zawartą w 1,05 kg benzyny, czyli ok. 1,4 dm³. Jest to 3-krotnie mniejsza ilość energii najbardziej ekonomicznych samochodów osobowych

z napędem konwencjonalnym [9]. Oczywiście po uwzględnieniu sprawności ładowania baterii i sprawności elektrowni wytwarzającej energię elektryczną ten efekt zostanie znacznie osłabiony, no i do tego należy doliczyć wysokie koszty eksploatacji baterii, których żywotność jest ograniczona, zależnie od metody do 150 – 600 ładowań [10].

Energię całkowitą, niezbędną do otrzymania wyliczonej energii jednostkowej E_{ml} , można obliczyć dzieląc otrzymaną wartość przez sprawność elektrowni η_{el} i ładowania akumulatorów z sieci η_{ls}

$$E_{ml}^c = \frac{E_{ml}}{\eta_{el} \cdot \eta_{ls}} = \frac{43,7}{0,5 \cdot 0,6} = 145,7 \frac{MJ}{100km Mg}$$

co stanowi wartość porównywalną samochodów osobowych z silnikami ZI [9]. Podzielenie tej wartości przez objętościową wartość opałową benzyny $W_{dv} = 31,8 MJ/dm^3$ i pomnożenie przez masę badawczą w Mg da wynik średniego przebiegowego zużycia paliwa w testach europejskich (6,3 $dm^3/100 km$).

4.2. Wersja napędu hybrydowego

Przebiegowe zużycie paliwa można wyliczyć z energochłonności faz napędowych silnikiem spalinowym, obejmujących oprócz pierwszej fazy cykl drogowy i 10 fazę cyklu miejskiego. Ponieważ silnik spalinowy nie tylko napędza samochód we wskazanych fazach cykli, ale jeszcze ładuje akumulatory w taki sposób, aby nastąpiło jej pełne uzupełnienie z faz napędowych silnikiem elektrycznym, dlatego w tab. 5 przedstawiono bilans poszczególnych składowych energii elektrycznej wyładowania i ładowania wewnątrz baterii.

Tabela 5
Bilans wewnętrzny energii elektrycznej po stronie wyładowania i ładowania w czasie realizacji przez TPH europejskich testów jezdnych

Wyładowanie	MJ	Ładowanie	MJ
Cykl miejski bez fazy 10	0,626	Ładowanie w c.d. bez fazy 2	0,429
2 faza cyklu drogowego	0,13	Odzysk energii w czasie hamow.	0,074
-	-	Cykl miejski faza 10	0,134
Suma energii [MJ]	0,639	Suma energii [MJ]	0,637

Przebiegowe zużycie paliwa obliczyć można z bilansu energochłonności całkowitej pojazdu i ładowania, wyliczonej w tabeli 3, kolumna (16). Ponieważ w samochodzie o napędzie hybrydowym silnik spalinowy nie pracuje na biegu jałowym, wzór na obliczanie przebiegowego zużycia paliwa przyjmie postać:

$$Q = \frac{10^3}{L} \frac{1}{W_{dv}} \sum \frac{E_{cml}}{\eta_m} \left[\frac{dm^3}{100km} \right] \tag{12}$$

gdzie: L – droga przejechana w obu testach, 11040 m,
 W_{dv} – objętościowa wartość opałowa, 31,8 MJ/dm^3 ,

W kolumnie (16) tabeli 3 obliczone są ilorazy energochłonności całkowitej i sprawności napędu. Suma tej kolumny powiększona o 0,4 MJ fazy (10) cyklu miejskiego daje sumę z równania (12). Po podstawieniu i obliczeniu otrzymujemy $Q = 5,04 dm^3/100 km$. Porównanie obu wyników wskazuje na większą ekonomiczność drugiej wersji o 25%. Z podawanym w

literaturze dla tego samochodu wynikiem $5,1 \text{ dm}^3/100 \text{ km}$ jest to duża dokładność obliczeń na tego rodzaju rozwiązanie napędu.

5. WNIOSKI

Z przedstawionego w opracowaniu materiału można wyciągnąć następujące wnioski:

1. Przyjęta przez autora metodyka obliczeń przebiegowego zużycia paliwa w europejskich cyklach jezdnych samochodów osobowych jest metodą uniwersalną, przydatną również do obliczeń zużycia paliwa w samochodach o napędzie hybrydowym.
2. Z obliczeń jednoznacznie wynika, że sprawność samochodu o napędzie hybrydowym w przypadku samochodu osobowego dla danych założeń teoretycznych jest o ok. 25% wyższa niż samochodu z napędem elektrycznym.

Literatura

1. Ubysz A.: Ocena przebiegowego zużycia paliwa samochodów osobowych z silnikami ZI wyznaczanego metodą analityczną. Zeszyty Naukowe Pol. Śl. serii Transport, z.41, Gliwice 2000.
2. Ubysz A.: Sprawność napędu samochodów osobowych z silnikami ZI w cyklach jezdnych. Zeszyty Naukowe Pol. Śl. serii Transport, z. 41, Gliwice 2000.
3. Ubysz A.: Laboratorium z silników spalinowych i ochrony środowiska. Skrypty Uczelniane Pol. Śl. nr 2219, Gliwice 2000.
4. Merkisz J.: An investigation of cold start and warm-up phases with a SI engine for meeting new European emissions regulations. Archiwum Motoryzacji nr 1-2 1999.
5. Fraidl G. i in.: Fahrzeugklassen-spezifische Ottomotorkonzepte. MTZ nr 10, 1999. Str. 692-698.
6. Łęgiwicz J.: Tak samo, ale inaczej. Auto Technika Motoryzacyjna nr 12/2000, ss. 43-45.
7. Łęgiwicz J.: Krzyżówki i mieszańce. Auto Technika Motoryzacyjna nr 5/2000, ss. 52-54.
8. Kałuża E., Ubysz A.: Graniczne parametry trakcyjne pojazdów akumulatorowych. Zeszyty Naukowe Pol. Śl., seria Transport z.29, Gliwice 1997, ss. 53-62.
9. Ubysz A.: Charakterystyka współczesnych samochodów osobowych i ich silników. Skrypt Uczelniany nr 1964, Wydawnictwo Pol. Śl., Gliwice 1996.
10. Keyser M. i in.: Charging Algorithm Extends the Life of Lead-acid Batteries. 2001 R&D 100 Award Recipient. NREL.

Recenzent: Dr hab. inż. Wojciech Siłka, prof. nzw. Pol. Opolskiej

Abstract

In this paper the results of calculating of the energetic efficiency and fuel consumption of car provided with hybrid drive were shown. The calculating were carried out by analytic method for two different versions of drive of car Toyota Prius Hybrid: for electric motor and I.C. engine. From energetic point of view the received results show clearly, that cars provided with hybrid drive have a lot of advantages.