

Wojciech Moćko^{1,2}, Marcin Ornowski¹, Magdalena Szymańska^{1,3}

¹⁾ Instytut Transportu Samochodowego, Warszawa

²⁾ Instytut Podstawowych Problemów Techniki, Warszawa

³⁾ Instytut Mikroelektroniki i Optoelektroniki, Politechnika Warszawska, Warszawa

BADANIE ZUŻYCIA ENERGII PRZEZ SAMOCHÓD ELEKTRYCZNY W CZASIE TESTÓW DROGOWYCH

ESTIMATION OF ENERGY CONSUMPTION OF ELECTRIC VEHICLE DURING ROAD DRIVING TEST

Streszczenie: W pracy przedstawiono wyniki pomiarów zużycia energii w trakcie trzech wybranych przypadków korzystania z samochodu elektrycznego: jazdy w warunkach dużego natężenia ruchu, jazdy miejskiej z zatrzymaniami wymuszonymi przez sygnalizację świetlną oraz jazdy pozamiejskiej po drodze ekspresowej. Badania zostały przeprowadzone z użyciem samochodu wyposażonego w silnik asynchroniczny sterowany przez falownik, zasilany przez pakiet akumulatorów kwasowych. Jednostkowe zużycie energii wynosiło od 155 Wh/km do 223 Wh/km, przy czym wartość zużycia energii silnie zależała od płynności jazdy. Zwiększenie liczby cykli zatrzymania/ruszania powodowało wzrost energii pobieranej z akumulatorów.

Abstract: This work shows the results of energy consumption of electric vehicle estimated at three selected cases of car usage i.e. urban traffic, urban cycle with common stops forced by traffic lights and highway cycle. The tests were carried out using vehicle equipped with the asynchronous electric engine driven by the inverter powered by the pack of lead-acid batteries. The unit energy consumption was within the range from 155 Wh/km to 223 Wh/km. The magnitude of energy consumption was strictly combined with driving fluency. The increase in stop/go cycles results in increase of energy consumed.

Słowa kluczowe: akumulatory trakcyjne, samochód elektryczny, zużycie energii, cykle jezdne

Keywords: traction batteries, electric vehicles, energy consumption, driving cycles

1. Wstęp

Ograniczone zasoby paliw kopalnych powodują, szczególnie w obszarze energetycznym i transportowym, wzmożone zainteresowanie alternatywnymi źródłami energii oraz gospodarką niskoemisyjną. W każdej dziedzinie przemysłu prowadzone są intensywne prace nad obniżeniem zużycia energii niezbędnej do wykonania danego zadania. Na przykład w transporcie intensyfikuje się badania nad obniżeniem masy pojazdu [1], silnikami nowej generacji o niskim spalaniu, rozwiązaniami hybrydowymi czy napędami elektrycznymi [2]. W ostatnim przypadku kluczowe znaczenie ma pojęcie całkowitej emisji CO₂, która rozumiana jest jako masa dwutlenku węgla wytwarzana w całym łańcuchu produkcji energii potrzebnej do przejechania jednego kilometra. Wartość całkowitej emisji samochodu elektrycznego jest więc ściśle powiązana z typem elektrowni wytwarzających energię elektryczną na danym obszarze [3]. Jednym ze sposobów pozyskiwania czystej ekologicznie energii, obok farm wiatrowych, jest wykorzystanie fotowoltaiki, która umożli-

wia konwersję energii słonecznej na elektryczną [4, 5]. Elektrownie zasilane energią słoneczną mogą być użyte do ładowania akumulatorów samochodu elektrycznego, dzięki czemu emisja całkowita takiego pojazdu wynosi zero. Aktualnie prowadzone badania dotyczące zużycia energii przez samochody (zarówno o napędzie spalinowym jak i elektrycznym) obejmują głównie testy laboratoryjne w ściśle określonych warunkach [6]. Dzięki temu możliwe jest precyzyjne odtworzenie wyników badań przez różne laboratoria, jednak wyniki pomiarów mogą znacznie odbiegać od wartości rejestrowanych później przez użytkownika w trakcie eksploatacji. W ramach niniejszej pracy autorzy przeprowadzili serię testów drogowych, których celem było oszacowanie rzeczywistego zużycia energii w trakcie badań eksploatacyjnych.

2. Opis metody badań

2.1. Samochód elektryczny

Badania zostały przeprowadzone z wykorzystaniem samochodu elektrycznego Zilent Courant (rys. 1). Pojazd był wyposażony w pakiet akumulatorów trakcyjnych kwasowo-ołowiowych, który składał się z 10 baterii o pojemności 110 Ah i napięciu znamionowym 12 V. Poszczególne akumulatory pakietu były połączone szeregowo dając w rezultacie napięcie znamionowe równe 120 V. Do ładowania akumulatorów została użyta wbudowana w konstrukcję pojazdu ładowarka, zasilana z sieci publicznej 230V.



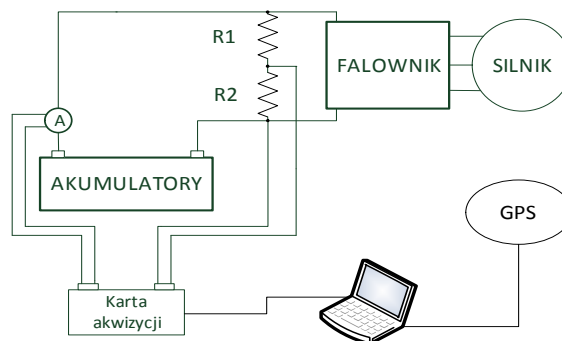
Rys. 1. Zdjęcie samochodu wykorzystanego do badań - Zilent Courant

Samochód był wyposażony w 3-fazowy silnik asynchroniczny o znamionowym momencie obrotowym i mocy wynoszących odpowiednio 32 Nm oraz 8,5 kW, natomiast maksymalne wartości momentu i mocy były równe 100 Nm i 17 kW. Do zasilania silnika zastosowano falownik zasilany napięciem stałym z akumulatorów równym 120V. Zmiana częstotliwości generowanej przez falownik pozwalała na osiągnięcie prędkości obrotowej silnika od 0 do 5600 obr/min. W układzie przeniesienia napędu zainstalowano przekładnię ręczną o pięciu biegach. Maksymalna prędkość pojazdu według danych producenta to około 85 km/h, natomiast zalecana prędkość ekonomiczna to 40 km/h. Masa pojazdu gotowego do jazdy wynosiła 1170 kg.

2.2. Układ pomiarowy

Do analizy zużycia energii przez samochód elektryczny niezbędne było zarejestrowanie w czasie ciągłym wyników pomiaru napięcia i prądu pobieranego z akumulatorów trakcyj-

nych oraz prędkości pojazdu. Schemat opracowanego układu pomiarowego zaprezentowano na rysunku 2. Do pomiaru napięcia wykorzystano dzielnik napięcia o współczynniku 1:16 podłączony do zacisków akumulatorów. Wartość dzielnika została dobrana tak, aby nie przekroczyć zakresu napięcia wejściowego karty akwizycji (10 V), która rejestrowała przebieg prądu i napięcia. Do pomiaru prądu wykorzystano zamontowane na przewodzie zasilającym cęgi prądowe firmy Fluke o stałej równej 1mV / 1A i błędzie pomiarowym mieszczącym się w granicach 3% wartości mierzonej +0,5 A. Próbkowanie i przetwarzanie analogowo-cyfrowych przebiegów odbywało się za pomocą kompaktowej karty akwizycji NI USB-6009 podłączonej do komputera przenośnego. Pomiar prędkości został przeprowadzony z użyciem odbiornika GPS podłączonego do komputera rejestrującego dane. Wartość prądu i napięcia uśredniona z 1000 próbek zmierzonych przy częstotliwości akwizycji równej 1000 Hz była zapisywana co 1 sekundę z wykorzystaniem oprogramowania LabViewSignalExpress.



Rys. 2. Schemat układu pomiarowego

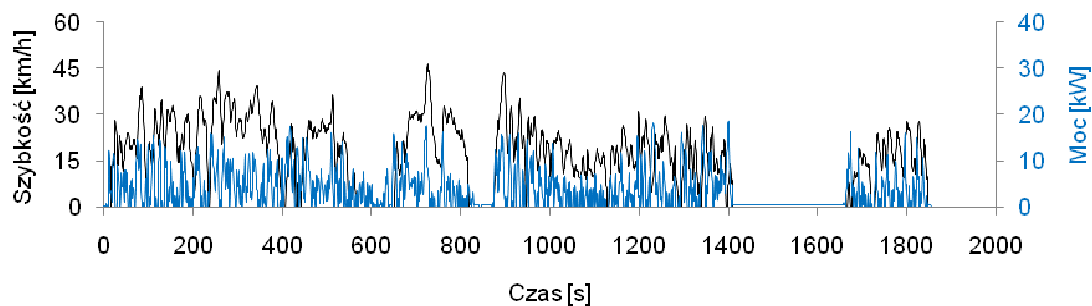
3. Analiza zużycia energii przez samochód elektryczny dla różnych scenariuszy drogowych

Pomiar zużycia energii przez samochód elektryczny został przeprowadzony w trakcie pięciu przejazdów testowych oznaczonych jako „Pomiar n”. Pomiar 1 został przeprowadzony w warunkach jazdy w gęstym ruchu ulicznym, pomiary 2 i 3 w trakcie jazdy miejskiej na drodze z sygnalizacją świetlną, natomiast pomiary 4 i 5 w czasie ruchu pozamiejskiego po drodze ekspresowej. Podstawowe wartości takie jak czas, droga, prędkość średnia, zużycie energii całkowite i jednostkowe oraz średnia moc silnika, obliczone na podstawie przebiegów przedstawionych na rys. 3-7 zaprezentowano w tabeli 1.

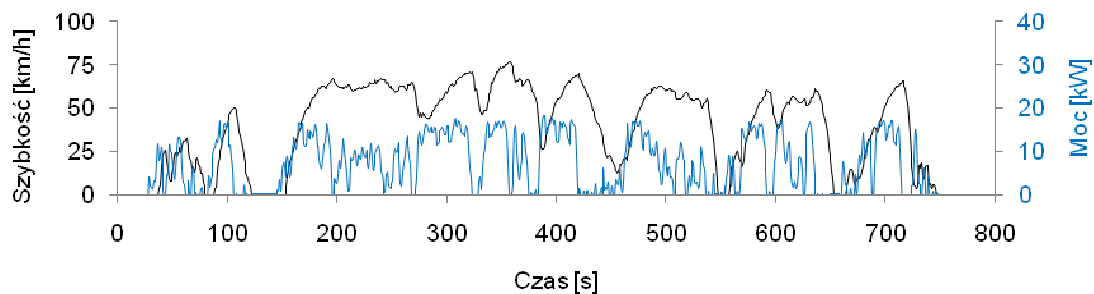
Tabela 1. Wyniki uzyskane w trakcie pomiarów drogowych

	Pomiar 1	Pomiar 2	Pomiar 3	Pomiar 4	Pomiar 5
Czas [s]	1853	747	1274	1377	3673
Czas ¹ [s]	1369	646	813	900	1781
Droga [m]	7942	8295	9601	11125	25390
Prędkość średnia [km/h]	15,43	39,98	27,13	29,09	24,89
Prędkość średnia ¹ [km/h]	20,88	46,23	42,52	44,50	51,32
Zużycie energii [kWh]	1,78	1,43	1,71	1,75	3,96
Moc średnia [kW]	4,17	7,74	7,35	6,40	7,67
Jednostkowe zużycie energii [Wh/km]	223,5	171,8	178,2	157,5	155,8

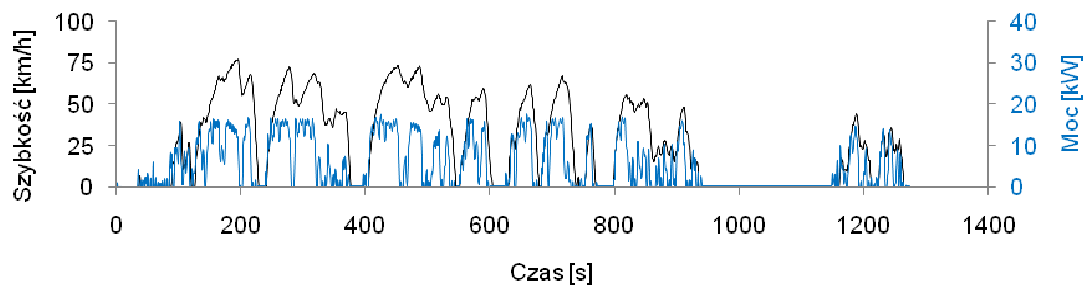
¹ bez uwzględniania postoju



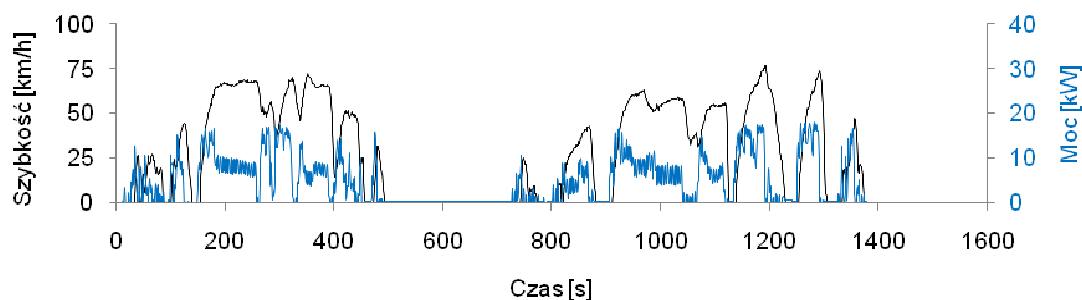
Rys. 3. Przebieg szybkości samochodu i mocy pobieranej z akumulatorów w warunkach jazdy w gęstym ruchu ulicznym (pomiar 1)



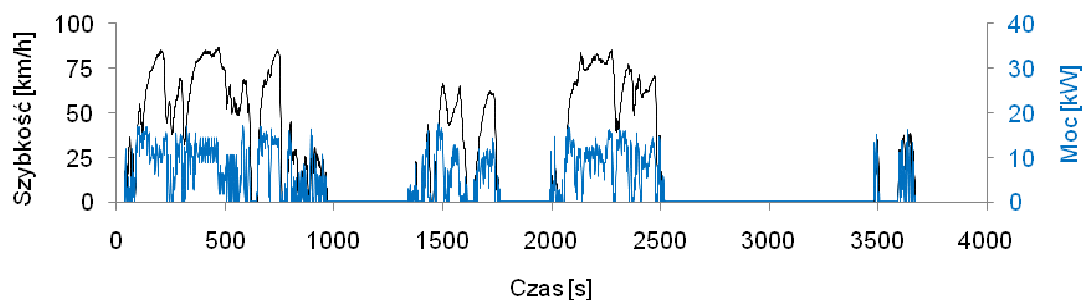
Rys. 4. Przebieg szybkości samochodu i mocy pobieranej z akumulatorów w trakcie jazdy miejskiej na drodze z sygnalizacją świetlną (pomiar 2)



Rys. 5. Przebieg szybkości samochodu i mocy pobieranej z akumulatorów w trakcie jazdy miejskiej na drodze z sygnalizacją świetlną (pomiar 3)



Rys. 6. Przebieg szybkości samochodu i mocy pobieranej z akumulatorów w czasie ruchu pozamiejskiego po drodze ekspresowej (pomiar 4)



Rys. 7. Przebieg szybkości samochodu i mocy pobieranej z akumulatorów w czasie ruchu pozamiejskiego po drodze ekspresowej (pomiar 5)

Prędkość średnia zmierzona w czasie badań po usunięciu zarejestrowanych przebiegów związanych z postojami technicznymi mieściła się w zakresie od 20 km/h do 51 km/h. Pomimo, że opory ruchu silnie zależą od prędkości jazdy, to zmierzone zużycie energii było największe dla pomiaru 1, w którym prędkość była najniższa. Prawdopodobną przyczyną takiego wyniku jest fakt, że prędkości osiągnięte przez pojazd były w wszystkich przypadkach mniejsze od 80 km/h. W takich warunkach opory ruchu nie odgrywają decydującej roli. Z drugiej strony w trakcie pomiaru numer 1 (gęsty ruch miejski) pojazd znacznie częściej niż w pozostałych próbach zatrzymywał się i ruszał, co wymagało pobrania z akumulatorów znacznej energii, niezbędnej do rozpędzenia samochodu. W rezultacie zużycie energii związane było głównie ze zmianą energii kinetycznej pojazdu, a nie z oporami ruchu. Badany samochód nie był wyposażony w układ odzyskiwania energii przy hamowaniu, ponadto charakteryzował się stosunkowo dużą masą (około 1200kg dla pojazdu z segmentu B), co jest wynikiem zainstalowania pakietu akumulatorów o wadze ok. 300kg. W związku z tym podczas pomiaru 1, który charakteryzował się dużą liczbą cykli zatrzymania/ruszenia zmierzono większe o około 30% jednostkowe

zużycie energii elektrycznej. Tego typu zachowanie jest wynikiem dużych strat mocy rozpraszanej w nieodwracalny sposób w trakcie hamowania.

Uzyskane wartości jednostkowego zużycia energii wynoszą od 155 Wh/km do 223 Wh/km. Zakładając brak strat przy ładowaniu, magazynowaniu w akumulatorach trakcyjnych oraz pobieraniu energii elektrycznej i cenie 1 kWh równej 0,6 zł[7], koszt przejechania 100 km samochodem elektrycznym wynosi od 9,3 zł do 13,3 zł.

4. Podsumowanie

Zużycie energii przez samochód elektryczny, który nie jest wyposażony w układ odzyskiwania energii przy hamowaniu silnie zależy od płynności jazdy, podobnie jak w przypadku pojazdów o napędzie spalinowym. W związku z tym można wyciągnąć wniosek, że zastosowanie ekologicznego stylu jazdy w odniesieniu do samochodu o napędzie czysto elektrycznym powinno przynieść pozytywny rezultat w postaci zmniejszenia zużycia energii i wydłużenia zasięgu.

5. Literatura

- [1]. Moćko W., Kowalewski Z. L., *Dynamic Properties of Aluminium Alloys Used in Automotive Industry*, Journal of Kones, vol. 19, 2012, s. 345-352.
- [2]. Moćko W., Wojciechowski A., Staniak P., *Zastosowanie odnawialnych źródeł energii w transporcie*. Zeszyty Problemowe - Maszyny Elektryczne, vol. 2, 2012, s. 99-105.
- [3]. Staniak P., Moćko W., Wojciechowski A., *Well-To-Wheel CO₂ Emission of electric Vehicle in Poland*, Journal of Kones, vol. 19, 2012, s. 139-148.
- [4]. Staniak P., Iwański G., Moćko W., *Koncepcja modułowego elektronicznego systemu przekształcania energii paneli fotowoltaicznych dla stacji wymiany akumulatorów trakcyjnych*, Elektronika, vol. 7, 2012, s. 99-100.
- [5]. Staniak P., Moćko W., Wojciechowski A., *Application of Green Energy for EC Battery Charging Station*, Journal of Kones, vol. 19, 2012, s. 371-376.
- [6]. Chłopek, Z., *Badania zużycia energii przez samochód elektryczny w warunkach symulujących jazdę w mieście*. Eksploatacja i Niezawodność, vol. 15, 2013, s. 75-82.
- [7] www:ebok.pge-obrot.pl

Autorzy

dr inż. Wojciech Moćko
Instytut Transportu Samochodowego
ul. Jagiellońska 80, 03-301 Warszawa
Instytut Podstawowych Problemów Techniki
ul. Pawińskiego 5B, 02-106 Warszawa
e-mail: wojciech.mocko@its.waw.pl

inż. Marcin Ornowski
Instytut Transportu Samochodowego
ul. Jagiellońska 80, 03-301 Warszawa
e-mail: marcin.ornowski@its.waw.pl

inż. Magdalena Szymańska
Instytut Mikroelektroniki i Optoelektroniki
ul. Koszykowa 75, 00-662 Warszawa
e-mail: M.Szymanska.1@stud.elka.pw.edu.pl

Finansowanie

Niniejsza praca była częściowo finansowana przez NCBiR (numer projektu: NR10-0020-10) oraz ITS (praca statutowa nr: 6241/CBM).