

Nr 98/2017, 139–147  
ISSN 1644-1818  
e-ISSN 2451-2486

## BADANIA EKSPLOATACYJNE UKŁADU NAPĘDOWEGO LEKKIEGO SAMOCHODU ELEKTRYCZNEGO

### EXPLOITATION TESTS OF AN ELECTRIC POWERTRAIN FOR A LIGHT ELECTRIC VEHICLE

**Andrzej Łebkowski**

Akademia Morska w Gdyni, Morska 81–87, 81-581 Gdynia, Wydział Elektryczny,  
Katedra Automatyki Okrętowej, e-mail: a.lebkowski@we.am.gdynia.pl

**Streszczenie:** W pracy zaprezentowano konstrukcję lekkiego pojazdu elektrycznego MEGA eCITY. Omówiono jego podstawowe parametry oraz właściwości eksploatacyjne. W ramach projektu realizowanego przez Mielecką Agencję Rozwoju Regionalnego MARR S.A., kilka z pojazdów zostało poddanych licznym testom w warunkach drogowych, a także na hamowni pojazdowej. Podczas prowadzonych testów pojazdy były monitorowane przez system firmy ELTE GPS. Na podstawie zebranych danych pomiarowych dokonano analizy układu napędowego samochodu. Zaprezentowano wyniki badań i przedstawiono wnioski.

**Słowa kluczowe:** samochody elektryczne, napęd elektryczny, akumulatory trakcyjne, inteligentne sieci.

**Abstract:** The paper describes the design of a light electric vehicle – MEGA eCITY. Its basic parameters and properties are discussed. During a project led by the Mielecka Agencja Rozwoju Regionalnego MARR S.A., a number of such vehicles were extensively tested in real road driving conditions and on a roller dyno. While under testing, the vehicles were remotely monitored using a system provided by the ELTE GPS company. Basing on the gathered vehicle data, an analysis of light electric vehicle MEGA eCITY was performed. In the summary of the article, the results of testing and analysis are presented.

**Keywords:** electric cars (EV, LEV, PHEV, FCEV), electric powertrain, traction batteries, smart grids.

## 1. WSTĘP

Wymagania związane z ochroną środowiska, a także życia i zdrowia ludzkiego, powodują, iż poszukiwane są rozwiązania technologiczne eliminujące z transportu emisję szkodliwych gazów do otoczenia. Optymalnym rozwiązaniem spełniającym powyższe kryterium jest zastosowanie elektrycznych układów napędowych, czyli

takich, w których silnik elektryczny przekazuje moment napędowy na koła pojazdu czy też na pędnik okrętowy. W zależności od zastosowanej konfiguracji zasilania układu napędowego (zasilanie: poprzez odbieraki prądu bezpośrednio z sieci elektroenergetycznej, z akumulatorów, pomocniczych silników spalinowych – napęd hybrydowy spalinowo-elektryczny szeregowy lub równoległy – ogniwo paliwowych) w momencie, gdy ostatnim elementem przekazującym moment obrotowy na pędnik jest silnik elektryczny, można stwierdzić, że jest to pojazd elektryczny. Ponadto każde z wymienionych źródeł zasilania w różnym stopniu wpływa na stopień ograniczenia emisji szkodliwych gazów do atmosfery, co jest uzależnione w głównej mierze od sposobu produkcji energii elektrycznej (energia pochodząca ze źródeł odnawialnych, elektrociepłowni węglowych, atomowa). Równie istotnym elementem jak konfiguracja układu napędowego jest rodzaj zastosowanego silnika oraz konstrukcja nadwozia pojazdu. W związku z powyższym pojawiły się propozycje projektowania małych lekkich pojazdów elektrycznych, których konstrukcja stanowi kompromis pomiędzy bezpieczeństwem użytkowników a osiąganymi parametrami. Przykładem jednej z takich konstrukcji jest lekki samochód wyprodukowany we Francji przez koncern MEGA-AIXAM, dla którego przeprowadzono badania w rzeczywistych warunkach drogowych oraz na hamowni podwoziowej.

## 2. OBIEKT BADAŃ

Z inicjatywy Mieleckiej Agencji Rozwoju Regionalnego MARR S.A., podobnie jak w innych krajach Europy Zachodniej (Norwegia, Holandia, Anglia, Francja, Niemcy, Dania, Szwecja, Hiszpania, Włochy, Portugalia) i na świecie (Japonia, Stany Zjednoczone, Chiny, ...), po 180 latach od skonstruowania pierwszego pojazdu elektrycznego, w ramach projektu pt. „Budowa rynku pojazdów elektrycznych, infrastruktury ich ładowania – podstawą bezpieczeństwa energetycznego”, testom poddano kilkanaście samochodów z napędem elektrycznym. Wśród testowanych pojazdów znalazło się kilka samochodów MEGA eCITY, które zostały dostarczone do testów w ramach zamówienia publicznego pt. „Dostawa samochodów elektrycznych”, przez konsorcjum, którego liderem była Akademia Morska w Gdyni. Podczas testów pojazdy były monitorowane przez firmę ELTE GPS Sp. z o.o. w ramach zamówienia publicznego pt. „Dostawa sprzętu do stacji monitorowania (GPS) oraz przygotowanie i wykonanie testów trakcyjno-ruchowych samochodów elektrycznych wraz z niezbędną infrastrukturą” [Mielecka Agencja Rozwoju Regionalnego MARR S.A.].

Lekkie pojazdy produkowane były od 1975 roku, początkowo pod nazwą AROLA, a od 1983 roku pod nazwą AIXAM. W 1990 roku równoległe do nazwy AIXAM wprowadzono nazwę MEGA głównie dla samochodów użytkowych –

komercyjnych [AIXAM-MEGA 2016]. Pojazdy elektryczne AIXAM-MEGA w zależności od swoich parametrów posiadają homologację M1 jako samochody osobowe lub L7e jako pojazdy samochodowe inne. Oznacza to, że w zależności od masy pojazdu, mocy układu napędowego i rozwijanych prędkości mogą być prowadzone przez osoby posiadające kategorię prawa jazdy AM, B1 lub kategorie nadrzędne.



**Rys. 1.** Lekki pojazd elektryczny MEGA eCITY

**Fig. 1.** Light electric vehicle MEGA eCITY

Konstrukcja testowanego pojazdu elektrycznego MEGA eCITY została wykonana w niewielkim stopniu ze stali połączonej mechanicznie z utwardzonym aluminium, które zostało pokryte termoformowanymi panelami wykonanymi z ABS. Panele z ABS, jak i szyby, montowane są do konstrukcji pojazdu za pomocą kleju. Aluminiowa klatka nośna o wadze około 30 kg została zaprojektowana z myślą wykorzystania jej jako bazy do budowy pojazdu z napędem elektrycznym lub spalinowym.



**Rys. 2.** Konstrukcja lekkiego pojazdu elektrycznego MEGA eCITY

**Fig. 2.** The construction of light electric vehicle MEGA eCITY

Stalowa rama nośna, przedstawiona na rysunku 2 po lewej stronie (przód pojazdu), montowana jest do aluminiowej konstrukcji za pomocą śrub. Rama ta służy do montażu zawieszenia przedniego, na którym może być osadzony silnik spalinowy lub elektryczny układ napędowy. W wypadku wyboru silnika spalinowego, w tylnej części pojazdu pod przestrzenią bagażnika montowany jest zbiornik paliwa. Dla elektrycznego układu napędowego, wewnątrz kabiny pojazdu

na podłodze montowany jest pakiet akumulatorów typu AGM. Nad pakietem akumulatorów montowane są fotele przednie i kanapa tylna. W zależności od wybranej konfiguracji pojazd może być dwu- lub czteroosobowy. Dzięki przedniemu napędowi oraz nisko umieszczonemu środkowi ciężkości pojazd ma dobre właściwości jezdne. Niewielkie wymiary geometryczne i promień skrętu, wynoszący 4 m, sprawiają, iż pojazd z łatwością może operować w ruchu miejskim.

Testowany MEGA eCITY wyposażony został w elektryczny układ napędowy, w którego skład wchodzi silnik asynchroniczny o mocy 8 kW, zasilany poprzez falownik Sevcon z pakietu akumulatorów AGM o łącznej energii 10,1 kWh. Urządzenia pokładowe (obwód 12 VDC wraz z akumulatorem) zasilane są z przetwornicy DC/DC o mocy 500 W, podłączonej do pakietu akumulatorów trakcyjnych. Pojazd wyposażony jest w nawiew, który oprócz standardowej pracy wentylatora posiada możliwość ogrzewania i odmrażania szyb. Pozostałe parametry pojazdu podane przez producenta przedstawiono w tabeli 1.

**Tabela 1.** Parametry samochodu elektrycznego MEGA eCITY (dane producenta)

*Table 1. The parameters of electric vehicle MEGA eCITY (manufacturer's data)*

Lp.	Nazwa	Dane	Jednostka
1	Wymiary	2897 x 1474 x 1470	[mm]
2	Rozstaw osi	1960	[mm]
3	Promień skrętu	4	[m]
4	Masa pojazdu	705	[kg]
5	Liczba miejsc	4	[szt.]
6	Typ akumulatorów	AGM ołowiowo-kwasowe	–
7	Masa akumulatorów	300	[kg]
8	Pojemność akumulatorów	10,1	[kWh]
9	Napięcie pakietu akumulatorów	48	[V]
10	Czas ładowania akumulatorów	8	[godz]
11	Prędkość maksymalna	65	[km/h]
12	Zasięg przy temperaturze 15÷20°C	80	[km]
13	Zużycie energii na 1 km	125	[Wh/km]
14	Typ silnika	Asynchroniczny	–
15	Moc silnika	8	[kW]
16	Moc ładowarki pokładowej	1,5	[kW]
17	Przekładnia	Automatyczna	–
18	Przełożenie	8,4 : 1	–
19	Moc systemu ogrzewania	0,75	[kW]
20	Moc systemu odmrażania	1,5	[kW]

### 3. TESTY ELEKTRYCZNEGO UKŁADU NAPĘDOWEGO

Badania układu napędowego lekkiego samochodu elektrycznego MEGA eCITY zrealizowano przy użyciu automatycznego urządzenia rejestrującego parametry pojazdów z napędem elektrycznym [Łebkowski 2017]. W czasie testów rejestrowane były takie parametry jak: napięcie i prąd pakietu akumulatorów, prędkość pojazdu, wysokość nad poziomem morza oraz temperatury falownika i silnika. Przykładowe wyniki pomiarów przedstawiono na rysunku 3.

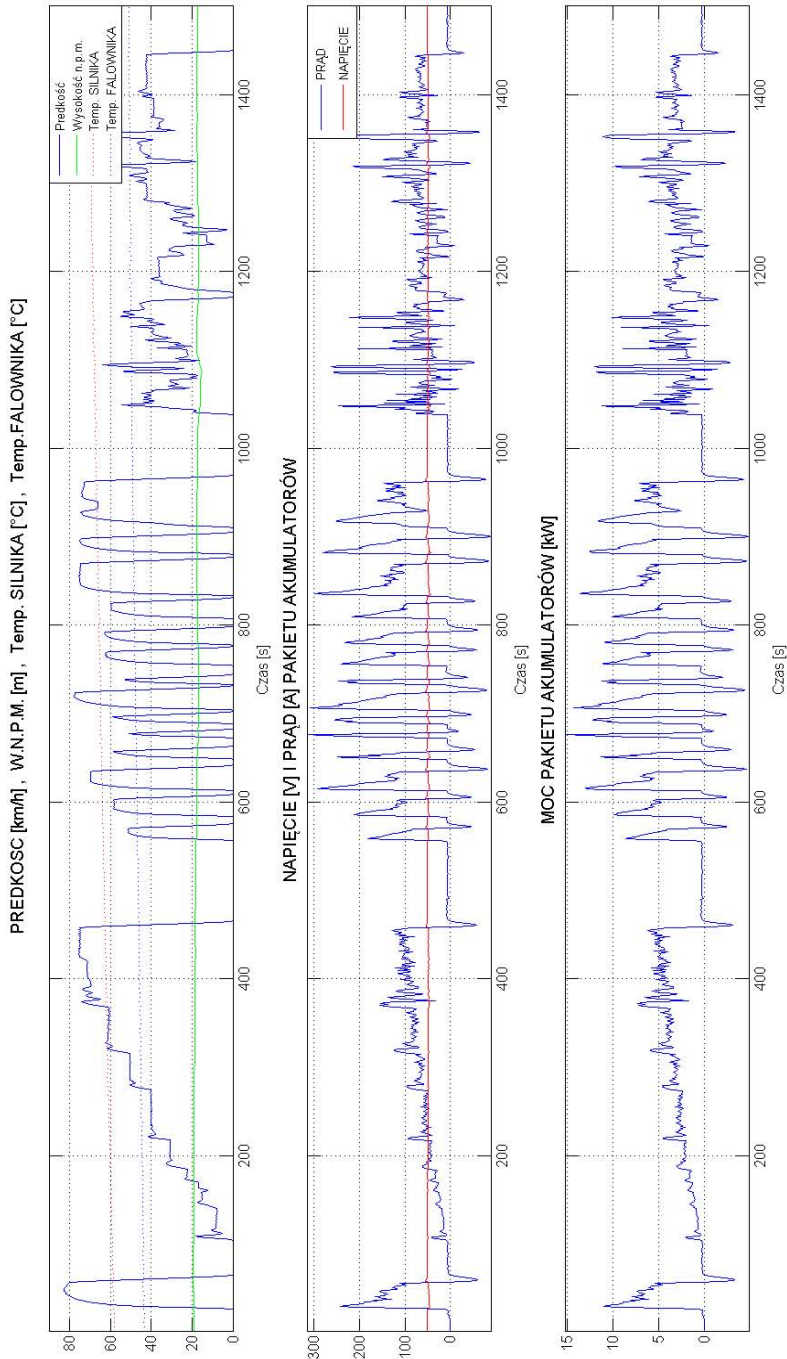
Oprócz testów szczegółowych prowadzono badania zużycia energii przez lekki samochód elektryczny w ramach projektu MARR S.A. z wykorzystaniem pięciu pojazdów rozlokowanych w miastach Mielec, Kraków, Warszawa, Gdynia.

Parametry pojazdów monitorowane były przez system zrealizowany przez firmę ELTE GPS Sp. z o.o. Monitoring parametrów pojazdów odbywał się na przestrzeni kilku lat. System monitoringu ELTE GPS umożliwiał rejestrację danych zarówno dla poruszających się pojazdów, jak i punktów ładowania akumulatorów, do których były one podłączone. Podczas badań rejestrowano napięcie i prąd pobierany z pakietu akumulatorów (z uwzględnieniem hamowania odzyskowego), prąd pobierany przez silnik napędowy, prąd pobierany przez urządzenia pokładowe pojazdu, sygnały związane z hamowaniem odzyskowym oraz ładowaniem pakietu akumulatorów, sygnał Gała z systemu ABS, informacje z GPS o przebytych dystansie, wysokość n.p.m. oraz temperaturę otoczenia.

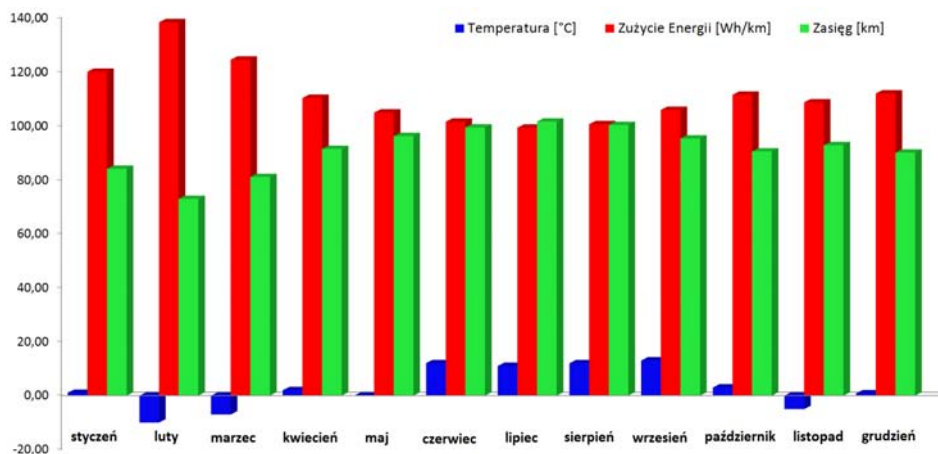
Na rysunku 4 przedstawiono wyniki badań dla przykładowego pojazdu MEGA eCITY, zarejestrowane na przestrzeni jednego roku od stycznia do grudnia. Średni zasięg pojazdu przy całkowitym przebiegu na poziomie 5960 km wyniósł 90 km. Maksymalny zasięg, jaki udało się osiągnąć wybranym pojazdem, wyniósł 101,5 km (lipiec), minimalny – 72,86 km (luty). Uzyskane parametry zależą w głównej mierze od temperatury otoczenia, gdyż akumulatory ołowiowo-kwasowe wykazują tendencje zmian rezystancji wewnętrznej w zależności od temperatury. Średnie zużycie energii wyniosło 111 Wh/km (minimalne – 99 Wh/km (lipiec, średnia temperatura miesiąca +22°C), maksymalne – 138 Wh/km (luty, średnia temperatura miesiąca +1°C)).

Analizując dane z wszystkich pięciu pojazdów podczas eksploatacji na przestrzeni jednego roku, otrzymano następujące wyniki:

- zarejestrowany przebieg całkowity pojazdów 14 040 [km];
- średni przebieg na pojazd 2808 [km];
- średni zasięg pojazdów 96 [km];
- średnie zużycie energii 106 [Wh/km];
- prędkość średnia 33 [km/h].



**Rys. 3.** Przykładowe przebiegi wielkości podczas testów pojazdu MEGA eCITY  
**Fig. 3.** Examples of recorded data during the test of MEGA eCITY vehicle



**Rys. 4.** Przebiegi wielkości dla przykładowego pojazdu MEGA eCITY

**Fig. 4.** Recorded data during the test of example MEGA eCITY vehicle

#### 4. PODSUMOWANIE

Na podstawie otrzymanych wyników badań eksploatacyjnych można stwierdzić, że lekkie pojazdy elektryczne charakteryzują się niewielkim zużyciem energii elektrycznej na poziomie 100÷110 Wh/km, w stosunku do cięższych i bardziej luksusowych modeli samochodów elektrycznych (BMW i3 170 Wh/km, VW e-Golf 182 Wh/km, Mitsubishi i-Miev 188 Wh/km, Nissan Leaf 188 Wh/km, Fiat 500e 188 Wh/km, Smart ForTwo 199 Wh/km, Ford Focus Electric 200 Wh/km, KIA Soul 203 Wh/km, TESLA S70 210 Wh/km, TESLA X AWD-P90D 238 Wh/km) [Łebkowski 2016].

Podczas badań na hamowni pojazdowej i w trakcie testów drogowych maksymalna wartość mocy wygenerowanej przez układ napędowy osiągnęła poziom 15,24 kW. Średni zasięg, jaki uzyskano z pakietu akumulatorów ołowiowo-kwasowych o pojemności 10,1 kWh, wyniósł około 90 km. Średnia wartość prędkości maksymalnej, jaką uzyskiwano wszystkimi pojazdami, wynosiła około 75 km/h. Jeżeli udawało się uzyskać większą prędkość (zarejestrowana maksymalna wartość 90 km/h), oznaczało to, że pojazd zjeżdżał ze wznieślenia.

Średni czas ładowania pakietu akumulatorów wynosił około 6 godzin. Średnie zużycie energii elektrycznej na poziomie 106 Wh/km można uznać za wynik poprawny, mając na uwadze, że większość z użytkowników nie stosowała zasad tzw. ecodrivingu.

Należy podkreślić, że otrzymane wyniki badań są korzystniejsze niż wartości podawane przez producenta (125 Wh/km). Wynikało to głównie z faktu, iż większość z użytkowników nie korzystała z systemu odmrażania kabiny pojazdu.

Dzięki możliwości zastosowania hamowania odzyskowego uzyskano zwrot energii do akumulatorów na poziomie 5÷6% całkowitej energii skonsumowanej przez pojazd (rys. 3, wartości poniżej zera dla przebiegu mocy pakietu akumulatorów). Jednocześnie należy zauważyć, że wraz ze spadkiem temperatury otoczenia spadał zasięg pojazdów, w przybliżeniu 15% na każdą zmianę temperatury o 10°C, licząc od temperatury odniesienia na poziomie 20°C.

Można stwierdzić, że lekkie pojazdy elektryczne nadają się głównie do eksploatacji w warunkach miejskich, gdzie średni pokonywany dystans dzienny wynosi około 40÷60 km. Ze względu na gabaryty, rozwijane prędkości i zasięgi lekkie samochody elektryczne nie nadają się do dłuższych podróży.

Otrzymane wyniki badań oraz ocena organoleptyczna konstrukcji pojazdu potwierdzają, iż lekkie pojazdy z napędem elektrycznym stanowią kompromis pomiędzy zachowaniem minimalnego poziomu bezpieczeństwa dla pasażerów (25% w testach EURO NCAP) a kosztami eksploatacji pojazdu. Dla przykładu Renault Fluence ZE uzyskał w tych samych testach 72%, Mitsubishi i-MiEV – 73%, Tesla Model S – 82%, KIA SOUL EV – 84%, Renault ZOE – 89%, BMW i3 – 86%, Nissan Leaf – 89%, Toyota Prius – 92% [EURO NCAP 2016].



**Rys. 5.** Rezultaty testów EURO NCAP – 1 gwiazdka dla pojazdu MEGA eCity [EURO NCAP 2016]

**Fig. 5.** The results of Euro NCAP tests – 1 star for the MEGA eCity vehicle [EURO NCAP 2016]

Wyniki testów trakcyjnych potwierdziły, iż koszty eksploatacji badanego pojazdu z napędem elektrycznym (106 Wh/km) są niższe niż koszty eksploatacji odpowiednika spalinowego (350 Wh/km, zużycie ok. 3,5 l/100 km oleju napędowego przez silnik o pojemności 400 cm<sup>3</sup>, moc 4 kW, maksymalny moment obrotowy 14 Nm).



W niedalekiej przyszłości pojawienie się nowego typu akumulatorów (grafenowo-polimerowych) spowoduje, że czas ładowania pakietu akumulatorów pojazdu zostanie skrócony do kilku minut, przy jednoczesnej możliwości wzrostu zasięgu pojazdu nawet do 800 km na jednym ładowaniu [Peleg 2016].

Istotną zaletą pojazdów z napędem elektrycznym, w tym lekkich, jest brak emisji substancji szkodliwych do atmosfery oraz całkowity brak zużycia tlenu. Zastosowanie pojazdów elektrycznych może spowodować obniżenie emisji CO<sub>2</sub>, a także SO<sub>2</sub> i NO<sub>2</sub>, wpływających na zwiększone występowanie takich chorób jak: astma, zapalenie oskrzeli, kaszel, podrażnienie oczu i gardła. Eksploatacja pojazdów elektrycznych, szczególnie w dużych miastach, może przyczynić się do likwidacji smogu miejskiego, złagodzenia efektów: niszczenia zabytków i architektury miast, korozji metali i materiałów budowlanych, degradacji gleby, fauny i flory. Jednocześnie eksploatacja pojazdów z napędem elektrycznym ogranicza emisje hałasu i wibracji, które niekorzystnie wpływają na nasze samopoczucie i są przyczyną wielu schorzeń takich jak: zmęczenie, stres, brak koncentracji, pogorszenie słuchu [Łebkowski 2015].

Niewątpliwie rozwój technologii elektrycznych układów napędowych zapoczątkuje nową erę motoryzacji.

## LITERATURA

AIXAM-MEGA, 2016, [www.aixam.com/en/aixam/history](http://www.aixam.com/en/aixam/history).

EURO NCAP, 2016, [www.euroncap.com](http://www.euroncap.com).

Łebkowski, A., 2015, *Emisja hałasu w pojazdach z napędem elektrycznym*, „*Ekonomika i Organizacja Przedsiębiorstwa*”, nr 7, s. 48–62.

Łebkowski, A., 2016, *Rozwiązania technologiczne elektrycznego samochodu sportowego SMOK*, *Maszyny Elektryczne: Zeszyty Problemowe*, nr 1, s. 89–94.

Łebkowski A., 2017, *Electric Vehicle Data Recorder*, „*Przegląd Elektrotechniczny*”, R. 93, nr 2.

Mielecka Agencja Rozwoju Regionalnego MARR S.A., [www.marr.com.pl](http://www.marr.com.pl).

Peleg, R., 2016, *Graphenano and Grabat Launch Graphene-Based Batteries*, [www.graphene-info.com](http://www.graphene-info.com).