

Arkadiusz Małek, Iwona Filipowicz

Ładowanie pojazdu elektrycznego z minicarportu fotowoltaicznego

JEL: Q01, L62. DOI: 10.24136/atest.2018.343.

Data zgłoszenia: 7.10.2018. Data akceptacji: 19.11.2018.

W artykule omówiony został proces ładowania pojazdu elektrycznego z minicarportu fotowoltaicznego. W celu przeprowadzenia badań zaprojektowano i zbudowano, w ramach zajęć dydaktycznych, minicarport fotowoltaiczny o mocy szczytowej 1 kWp. Do badań wykorzystano mały, dwuosobowy pojazd miejski o napędzie elektrycznym. Na podstawie przeprowadzonych badań określono parametry prądowe zarówno carportu fotowoltaicznego oraz pojazdu elektrycznego. Na ich podstawie określono sposób podłączenia pojazdu elektrycznego do carportu fotowoltaicznego, w celu ładowania baterii trakcyjnych pojazdu.

Słowa kluczowe: ładowanie pojazdu, system fotowoltaiczny.

Wstęp

Na rynku globalnym można zaobserwować niekwestionowane trendy w dwóch obszarach: elektromobilności i fotowoltaiki. Pierwszy dotyczy powszechnego wykorzystania pojazdów o napędzie elektrycznym do przewozu osób i towarów. Drugi jest zaś związany z powszechnym wykorzystywaniem energii z odnawialnych źródeł (OZE), w tym energii słonecznej. Obydwe innowacyjne technologie stykają się w miejscu ładowania baterii trakcyjnych pojazdów elektrycznych (EV). Przeciwnicy elektromobilności niejednokrotnie podkreślają fakt, że pojazdy elektryczne w dalszym ciągu są pojazdami emisyjnymi, ze względu na fakt ładowania baterii prądem elektrycznym wytwarzanym z paliw kopalnianych. Wykorzystanie energii z OZE, w tym z energii słonecznej, pozwoli na brak emisji CO₂, jak i innych regulowanych składników spalin, zarówno na poziomie generowania energii potrzebnej do ładowania baterii, jak i samego użytkowania pojazdu elektrycznego w centrum miasta. W artykule zostanie przedstawiony aktualny stan techniki i nauki w obszarze pojazdów elektrycznych, jak i systemów fotowoltaicznych służących generowaniu energii elektrycznej ze Słońca [3, 12].

1. Rozwój rynku pojazdów elektrycznych

Z roku na rok liczba sprzedawanych w Europie, na świecie i w Polsce rośnie w bardzo dużym tempie. W USA w 2017 roku sprzedano prawie 200 tys. samochodów elektrycznych i hybrydowych z możliwością zewnętrznego ładowania (EV/PHEV). W USA jeździ już sporo ponad 750 tys. EV/PHEV. Wszystko wskazuje, że w 2018 r. zostanie [7] przekroczony poziom miliona pojazdów elektrycznych na drogach [7]. Z przedstawionych danych wynika, że USA są drugim największym rynkiem sprzedaży pojazdów elektrycznych. Zajmujące pierwsze miejsce Chiny wyprodukowały i sprzedały w 2017 roku ponad 770 tys. pojazdów elektrycznych [6]. Jak wynika z raportu Obserwatorium Rynku Paliw Alternatywnych (orpa.pl) w 2017 r. w Unii Europejskiej sprzedano 216 566 EV [9]. Jest to o 39% więcej niż rok wcześniej (155 757 szt.). W przekroju dwunastu miesięcy najczęściej pojazdów elektrycznych sprzedano w Niemczech (54 617 szt.), Wielkiej Brytanii (47 298 szt.) i Francji (36 835 szt.). W Polsce z salonów w 2017 r. wyjechało 1 068 EV. Stanowi to wzrost o 87,7% w porównaniu do 2016 r. Nad Wisłą sprzedano 585 hybryd plug-in (+44,8% r/r) oraz 439 samochodów całkowicie elektrycznych (+306,5 r/r) [9].

Można wyciągnąć wniosek, że w ubiegłym roku Polska odnotowała jeden z największych przyrostów sprzedaży pojazdów w pełni elektrycznych spośród wszystkich państw członkowskich Unii Europejskiej.

2. Pozyskiwanie energii do ładowania pojazdów elektrycznych

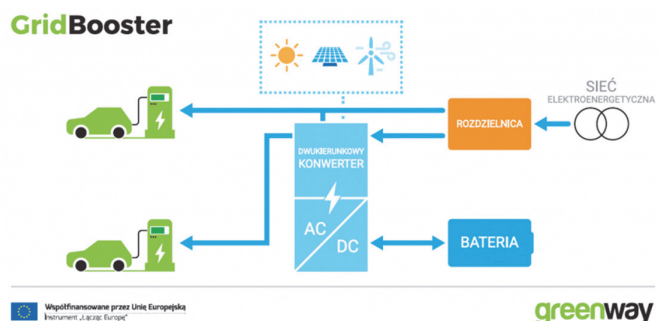
Rozwój rynku pojazdów elektrycznych w poszczególnych krajach, a nawet w poszczególnych stanach USA, silnie uzależniony jest od infrastruktury ich ładowania. Infrastrukturę taką stanowią obecnie szybkie ładowarki do ładowania prądem stałym DC o mocach od 40 do 150 (z wtyczką typu CCS) kW oraz punkty zasilania trójfazowego zazwyczaj o mocach do 22 kW (z wtyczką typu 2) [1]. Pierwsze z nich przeznaczone są do pojazdów z pakietami baterii trakcyjnych o dużych pojemnościach energetycznych. Pojazdy te nie muszą być wyposażone w ładowarki pokładowe. Słupki z wtyczką typu 2 przeznaczone są do dostarczenia prądu trójfazowego 400 V do pojazdów z zabudowaną na pokładzie ładowarką.

Warto przypomnieć, że do dostarczenia mocy 20 kW potrzebne jest gniazdo trójfazowe o prądzie max. 32 A. Jest to poziom mocy ogólnie dostępny w Polsce. Jednak już do ładowarki o mocy 40 kW potrzebne jest gniazdo trójfazowe o prądzie max. 63 A. Jest to poziom mocy rzadko spotykany w Polsce i występujący zazwyczaj w dużych zakładach przemysłowych, mających wewnętrzne przyłącza do sieci energetycznej z transformatorami. Europa Zachodnia już od dłuższego czasu przystosowuje sieć energetyczną do zasilania coraz większych ilości pojazdów elektrycznych.

Pierwsza w Europie Środkowej stacja ładowania samochodów elektrycznych zintegrowana z magazynem energii – GridBooster – została uruchomiona w Bratysławie [8]. Rozwiązanie stanowi część sieci Greenway, która jest także rozbudowywana w Polsce. Stanowi dobrze zaplanowaną sieć ładowania samochodów elektrycznych z ujednoliconymi zasadami pobierania opłat. Do 2020 roku Greenway planuje zainstalować w naszym kraju 10 takich magazynów, wspierających nie tylko zasilanie samochodów, ale też funkcjonowanie systemu elektroenergetycznego. Schemat funkcjonalny zintegrowanej stacji ładowania przedstawiono na rysunku 1.

Energia elektryczna do ładowania pojazdów elektrycznych w różnych krajach pochodzi z różnych źródeł. W krajach Europy Zachodniej od wielu lat inwestuje się w produkcję energii elektrycznej z OZE.

W Polsce na koniec 2017 roku, według danych URE, moc zainstalowana elektrowni na OZE wyniosła 8 563,826 MW i była większa



Rys. 1. Schemat funkcjonalny zintegrowanej stacji ładowania [8]



Fot. 1. Pojazd elektryczny Renault Twizy

o 148,285 MW niż na koniec 2016 roku. To wzrost o niespełna 2 % i nie jest to efekt wyłącznie przyrostu nowych mocy, ale też aktualizacji decyzji koncesyjnych. Pod względem mocy zainstalowanej największy udział miały elektrownie wiatrowe (68,4 proc.), na drugim miejscu były źródła biomasowe (16 proc.), a na trzecim elektrownie wodne (11,6 proc.). Bardzo skromny udział mają w statystykach farmy fotowoltaiczne. Jak wynika z danych GUS w Polsce w 2016 roku jedynie 11,3% energii elektrycznej pochodziło z OZE [4].

Największy wzrost odnotowano w energetyce wiatrowej – o 19 proc., kolejno w fotowoltaice – o 8 proc., a w energetyce biomasowej już tylko o 3 proc. To wystarczyło do wytworzenia energii w ilości większej niż ta, którą wyprodukowały europejskie elektrownie węglowe. Kluczowa dla tego wyniku była generacja ze źródeł wiatrowych, biomasowych i fotowoltaicznych w Niemczech, która w 2017 r. miała wynieść 30 proc., a także w Wielkiej Brytanii (28 proc.). Rekordzistami okazali się jednak Duńczycy, którzy w ubiegłym roku z tych trzech źródeł pokryli aż 74 proc. krajowego wytwarzania energii elektrycznej [5].

3. Badania procesu ładowania pojazdu elektrycznego z minicarportu fotowoltaicznego

3.1. Charakterystyka pojazdu elektrycznego

Do badań wykorzystano dwuosobowy pojazd miejski o napędzie elektrycznym Renault Twizy. Pojazd wszedł do produkcji w 2012 roku i do tej pory sprzedano ponad 30 tys. egzemplarzy [10]. Szczególnym powodzeniem cieszy się w krajach śródziemnomorskich (Hiszpania, Włochy) ze względu na pół otwartą kabinę pojazdu. Należy podkreślić, że otwierane do góry drzwi stanowią dodatkową opcję przy zakupie pojazdu. Podstawowy model sprzedaży tego pojazdu obejmuje zakup pojazdu bez baterii trakcyjnych, które podlegają dzierżawie na określony okres czasu. Od roku 2018 zarówno w Polsce jak i innych krajach europejskich można zakupić Renault Twizy wraz z bateriami trakcyjnymi.

Pojazd ceniony jest przez użytkowników za niezwykłą zwinność poruszania się w ruchu miejskim, wynikającą z małego promienia skrętu oraz szerokości wynoszącej tylko 120 cm. Pojazd potrzebuje niewiele miejsca na parkowanie (fot. 1), a w wielu miastach europejskich, w tym także w Lublinie, jest zwolniony z opłaty w strefach płatnego parkowania jako pojazd ekologiczny.

Podstawowe dane techniczne pojazd Renault Twizy, mające wpływ na użytkowanie pojazdu, jak i przeprowadzenie badań, przedstawiono w tabeli 1.

Tab. 1. Dane Renault Twizy [10]

Dane	Wartość
Masa własna	405 kg
Dopuszczalna masa całkowita	690 kg
Prędkość maksymalna	85 km/h
Typ silnika	elektryczny – asynchroniczny
Moc silnika	13 kW (17 KM)
Typ baterii trakcyjnych	litowo-jonowy
Pojemność baterii trakcyjnych	6,1 kWh
Zasięg w cyklu NEDC	100 km
Emisja CO ₂	0 g/km
Znormalizowane zużycie prądu (od gniazda do koła)	63 Wh/km
Zasilanie ładowarki pokładowej	gniazdka 230 V

3.2. Charakterystyka minicarportu fotowoltaicznego

W celu realizacji praktycznych zajęć laboratoryjnych w Wyższej Szkole Ekonomii i Innowacji w Lublinie wykonano minicarport fotowoltaiczny. Fundusze na budowę pozyskano z grantu wewnętrznego Wydziału Transportu i Informatyki WSEI. Projekt oraz realizacja zostały wykonane w ramach zajęć dydaktycznych z Projektu zespołowego na drugim roku kierunku Mechanika i budowa maszyn. Jest to już kolejna konstrukcja carportu opracowana przez autora [11].

Konstrukcja nośna carportu składa się z dwóch nóg wykonanych ze spawanych profili stalowych. Elementy stalowe zostały zabezpieczone antykorozyjnie poprzez cynkowanie. Kolejną częścią carportu jest konstrukcja nośna paneli fotowoltaicznych. Konstrukcja dachowa została wykonana z anodowanych profili aluminiowych. Konstrukcja



Fot. 2. Pojazd elektryczny podczas ładowania baterii z minicarportu fotowoltaicznego



Fot. 3. Układ elektryczny minicarportu

została poddana obliczeniom wytrzymałościowym ze względu na masę własną, dodatkowe obciążenie zalegającym w okresie zimowym śniegiem oraz podmuchy wiatru.

Założeniem projektowym było wykonanie konstrukcji kompaktowej mającej znaczenie użytkowe. Carport ma generować energię elektryczną potrzebną do ładowania samochodów elektrycznych. W przypadku braku odbioru energii przez pojazd zostaje ona przekazana do sieci energetycznej. Dodatkową funkcją carportu ma być zdolność wystawiennicza w celu promocji idei elektromobilności, jak i samej uczelni, na różnego rodzaju seminariach, wystawach, pokazach i targach. By spełnić tę funkcję carport musi być w łatwy i szybki sposób montowalny i demontowalny. Wygląd wersji finalnej carportu wraz z podłączonym pojazdem elektrycznym przedstawiono na fot. 2.

Ze strony elektrycznej carport składa się z czterech paneli fotowoltaicznych o łącznej mocy szczytowej 1 kWp. Zakupiono panele fotowoltaiczne, wykonane w technologii polikrystalicznej, polskiej produkcji. Do konwersji uzyskanej ze Słońca energii elektrycznej na prąd przemienny płynący w sieci energetycznej wykorzystano inwerter o mocy 1 kW. Inwerter został podłączony do sieci energetycznej zasilającej uczelnię w celu synchronizacji z siecią i oddawania do niej wytwarzanej energii. Zatem mamy do czynienia z połączeniem systemu fotowoltaicznego typu *online*.

System fotowoltaiczny carportu został podpięty do sieci energetycznej za pomocą inwertera. Został on dodatkowo zabezpieczony po stronie prądu stałego (DC) i prądu przemiennego (AC) za pomocą urządzeń zabezpieczających umieszczonych w skrzynce bezpiecznikowej (fot. 3). Dodatkowo na konstrukcji nośnej carportu zainstalowano 3 gniazda 230 V w celu zasilania odbiorników zewnętrznych, w tym pojazdu elektrycznego.

3.3. Analiza procesu ładowania

W celu naładowania baterii trakcyjnych pojazdu elektrycznego został on podłączony do jednego z gniazd 230 V minicarportu za pomocą zwijanego przewodu o długości 3 m, będącego na wyposażeniu pojazdu (fot. 3).

Postanowiono zbadać cały proces ładowania baterii pojazdu od całkowitego rozładowania do pełnego naładowania. Pełne rozładowanie polegało na jeździe pojazdem, aż do momentu zatrzymania się, czemu towarzyszyło wskazanie poziomu naładowania baterii 0% (SOC = 0%). Taki stan baterii nazywany jest głębokim rozładowaniem i pojazd nie powinien długo przebywać w tym stanie.



Fot. 4. Podłączenie pojazdu elektrycznego do carportu celem ładowania baterii

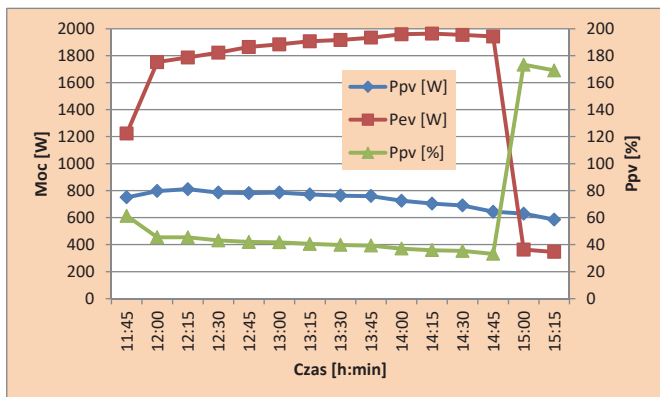
Pomiaru chwilowej mocy pobieranej przez pojazd dokonano za pomocą powszechnie dostępnego Watomierza z kalkulatorem energii, który jest w stanie mierzyć i wskazywać jeszcze wiele innych parametrów elektrycznych, zarówno sieci jak i podłączonych odbiorników. Do pomiarów wartości elektrycznych systemu fotowoltaicznego, w tym chwilowej generowanej mocy oraz energii, wykorzystano wewnętrzny system pomiarowy inwertera, który wyświetla wybrane wielkości wraz z wartościami na wyświetlaczu urządzenia.

Przebieg parametrów prądowych podczas procesu pełnego ładowania pojazdu z minicarportu fotowoltaicznego przedstawiono na rysunku 2. Proces głęboko-rozładowanej baterii rozpoczyna się z poziomu mocy wynoszącej 1200 W. Po kilku minutach moc pobierana przez pokładową ładowarkę wynosiła już około 1800 W (P_{ev}). Moc pobierana przez pojazd powoli wzrasta do około 2000 W. Po uzyskaniu poziomu naładowania baterii wynoszącego ok. 95% prąd ładowania, a za tym pobierana moc, zostały zmniejszone. Cały proces ładowania trwał 210 minut (3,5 godziny).

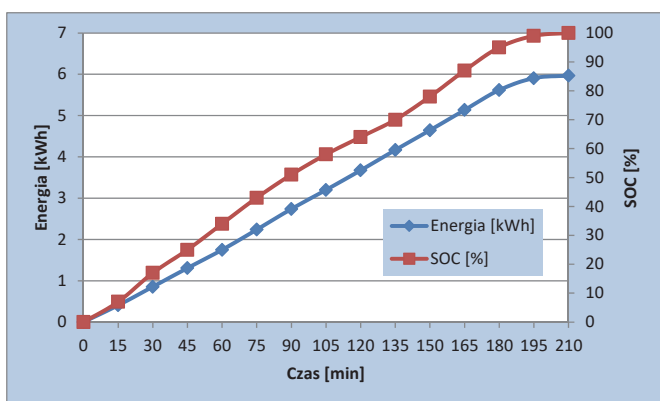
Proces ładowania odbywał się w słoneczne południe pomiędzy godziną 11:45 i 15:15. W tym czasie minicarport fotowoltaiczny generował chwilową moc wynoszącą od 600 do 800 W (P_{pv}). Jest to moc niższa od mocy pobieranej przez pojazd podczas ładowania. Z tej przyczyny minicarport fotowoltaiczny podpięty został do sieci energetycznej stanowiącej bufor energii dla ładowanego pojazdu. Podłączenie takie jest nazywane *online*. W odróżnieniu od podłączenia typu *offline*, kiedy to system fotowoltaiczny nie jest podłączony do sieci energetycznej a wytworzona energia magazynowana jest w stacjonarnych lub mobilnych magazynach energii.

Jednak w wielu pojazdach, i także w Renault Twizy, możliwe jest zaawansowane ustawienie maksymalnej mocy pobieranej przez ładowarkę pojazdu.

Udział mocy wytworzonej przez carport w stosunku do mocy pobieranej przez pojazd (P_{pv} [%]) wahał się od 33 do 45% podczas właściwego procesu ładowania, w zakresie SOC 5 do 95%. Podczas



Rys. 2. Przebieg parametrów podczas ładowania pojazdu elektrycznego z minicarportu



Rys. 3. Przebieg w czasie pobranej energii i stanu naładowania baterii podczas procesu ładowania

głębokiego rozładowania i końcowej fazy ładowania udział ten był wyższy i przekraczał zapotrzebowanie pojazdu.

Pomiędzy SOC 0 a 95% widać liniową zależność w czasie pobranej przez pojazd energii oraz stopnia naładowania baterii (rys. 3). W końcowej fazie ładowania, z SOC powyżej 95%, następuje ograniczenie prądu, a przez to mocy ładowania. W pakietach baterii o większej pojemności szybkie ładowanie dużym prądem zazwyczaj ma miejsce pomiędzy SOC wynoszącym 20 i 80%. Do pełnego naładowania pojazd pobrał prawie 6 kWh energii elektrycznej. W tym czasie minicarport fotowoltaiczny wytworzył 2,75 kWh energii elektrycznej co stanowi 46% zapotrzebowania.

Podsumowanie

Zaprojektowany i wykonany wraz ze studentami minicarport fotowoltaiczny stanowi bardzo użyteczne stanowisko dydaktyczno-naukowe. Podczas badań procesu ładowania pojazdu elektrycznego wykonano charakterystyki prądowe zarówno systemu fotowoltaicznego jak i ładowarki pokładowej pojazdu elektrycznego. Badania wykazały, że chwilowa moc generowana przez minicarport nie jest wystarczająca do ładowania przedmiotowego pojazdu elektrycznego w trybie *off-line*. Carport został podłączony do sieci energetycznej stanowiącej bufor energii pomiędzy systemem fotowoltaicznym a pojazdem (tzw. tryb *online*). Do pełnego naładowania baterii trakcyjnych pojazd pobrał prawie 6 kWh energii elektrycznej. W tym czasie minicarport fotowoltaiczny wytworzył 2,75 kWh energii elektrycznej, co stanowi 46% zapotrzebowania. Przedstawiony w artykule minicarport o mocy 1 kWp może posłużyć do modelowania systemów generowania mocy z OZE dla szybkich ładowarek DC.

Bibliografia:

1. Dobrzański D., *Przegląd i charakterystyka standardów złącza szybkiego ładowania pojazdów EV*. Maszyny Elektryczne – Zeszyty Problemowe 2017, nr 3(115).
2. Flaszka J., *Elektromobilność w Polsce - wyzwania i możliwości z uwzględnieniem inteligentnych instalacji OZE*. Autobusy – Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe 2017, nr 6.
3. Grosso M., Lena D., Bocca A., Macii A., *Energy-efficient battery charging in electric vehicles with solar panels*, IEEE 2016.
4. http://energetyka.wnp.pl/w-2017-roku-skromny-przyrost-nowych-mocy-oze-w-polsce,319681_1_0_0.html [dostęp 03.06.2018]
5. <http://gramzielone.pl/trendy/29908/w-2017-w-europie-wyprodukowano-po-raz-pierwszy-wiecej-energii-z-oze-niz-z-węgla> [dostęp 03.06.2018]
6. http://samochodyelektryczne.org/wyniki_sprzedazy_ev_phev_w_chinach_w_2017r.htm [dostęp 03.06.2018]
7. http://samochodyelektryczne.org/wyniki_sprzedazy_ev_phev_w_kalifornii_w_2017r.htm [dostęp 23.03.2018]
8. <http://www.elektro.info.pl/aktualnosc/id8170,gridbooster-czyli-magazyn-energii-i-ladowarka-e-pojazdow-w-jednym> [dostęp 03.06.2018]
9. <http://www.orpa.pl/sprzedaz-pojazdow-elektrycznych-w-polsce-europie-podsumowanie-2017-r/> [dostęp 03.06.2018]
10. <https://www.renault.pl/samochody/samochody-nowe/twizy.html> [dostęp 04.06.2018]
11. Małek A., Kowalczyk D., *Carport fotowoltaiczny do ładowania pojazdów elektrycznych*. Autobusy – Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe 2016, nr 11.
12. Nunes P., Figueiredo R., Brito M. C., *The use of parking lots to solar-charge electric vehicles*, Renewable and Sustainable Energy Reviews 2016, Vo. 66.
13. Paska J., Kłós M., Rosłaniec Ł., *Autonomiczna stacja ładowania pojazdów elektrycznych*, Zeszyty Naukowe Wydziału Elektrotechniki i Automatyki Politechniki Gdańskiej 2015, nr 42.
14. *Plan Rozwoju Elektromobilności w Polsce*, Ministerstwo Energii, Warszawa, 16.03.2017
15. Zajkowski K., Seroka K., *Przegląd możliwych sposobów ładowania akumulatorów w pojazdach z napędem elektrycznym*. Autobusy – Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe 2017, nr 7–8.

Charging the electric vehicle from the photovoltaic minicarport

The article discusses the process of charging an electric vehicle from a photovoltaic mini-carport. In order to carry out the research, a solar minicarport with a peak power of 1 kWp was designed and built as part of the didactic classes. A small, two-seat city vehicle with electric drive was used for the tests. On the basis of the conducted tests, current parameters of both photovoltaic carport and electric vehicle were determined. Based on them, the method of connecting an electric vehicle to a solar carport was specified in order to charge the vehicle's traction batteries.

Keywords: electric vehicle's charging, photovoltaic system.

Autorzy:

dr inż. **Arkadiusz Małek** – Wyższa Szkoła Ekonomii i Innowacji w Lublinie
Iwona Filipowicz – studentka w Wyższej Szkole Ekonomii i Innowacji w Lublinie