

Arkadiusz Małek, Dawid Kowalczyk

# CARPORT FOTOWOLTAICZNY DO ŁADOWANIA POJAZDÓW ELEKTRYCZNYCH

*Technologia fotowoltaicznych ogniw słonecznych może zostać połączona z technologią pojazdów elektrycznych. Podczas ładowania pojazdów elektrycznych z Odnawialnych Źródeł Energii, jak i podczas ich użytkowania, do atmosfery nie zostają wydzielane żadne zanieczyszczenia. W artykule przedstawiono prototypową konstrukcję carportu przeznaczonego do ładowania pojazdu elektrycznego. Przeanalizowano przebieg generowanej przez system fotowoltaiczny mocy w różnych warunkach pogodowych. W wyniku jej porównania z zapotrzebowaniem prądowym pojazdu elektrycznego podczas procesu ładowania baterii został wybrany optymalny sposób podłączenia carportu do sieci elektrycznej.*

## WSTĘP

Ogniwa fotowoltaiczne wykorzystujące energię promieniowania słonecznego do produkcji energii elektrycznej są uważane za jedno z najbardziej ekologicznych źródeł energii. Związane jest to z ich znikomym negatywnym wpływem na środowisko zarówno podczas wytwarzania energii, jak również w trakcie produkcji samych ogniw oraz ich utylizacji [1, s. 12]. Obecnie produkowane są ogniwa monokrystaliczne (czarne), polikrystaliczne (dające się barwić), amorficzne oraz ogniwa typu thin film (dostępne również w wielu kolorach) [6, s. 8-10]. Różnią się one nieznacznie parametrami prądowymi. W znacznym stopniu zaś różnią się ceną, która w decydujący sposób wpływa wciąż na duże wykorzystanie paneli polikrystalicznych w Polsce [8, s. 3].

Technologia fotowoltaicznych ogniw słonecznych może zostać połączona z technologią pojazdów elektrycznych. Podczas ładowania pojazdów elektrycznych z Odnawialnych Źródeł Energii jak i podczas ich użytkowania do atmosfery nie zostają wydzielane żadne zanieczyszczenia [4, s. 22].

## 1. WPROWADZENIE

Ciągle zwiększająca się liczba pojazdów elektrycznych wymaga coraz większej liczby stacji ich ładowania. Z drugiej strony dobrze przygotowana strategia elektryfikacji, np.: danego miasta europejskiego, może zakładać w pierw budowę odpowiedniego zaplecza, które zachęci do zakupu aut elektrycznych. Stacje ładowania powinny być dostępne wówczas, gdy pojazd będzie zaparkowany na kilka godzin. Zatem ładowanie powinno być dostępne w domowym garażu oraz w pracy. Sprawa komplikuje się, gdy ktoś nie posiada garażu lub pracuje w centrum zatłoczonego miasta. W takich sytuacjach jedynym rozwiązaniem jest stworzenie infrastruktury publicznej do ładowania pojazdów elektrycznych [7, s. 12]. Jej warunki użytkowania i zasięg (ilość miejsc parkingowych i ilość wtyczek różnego rodzaju) powinny być stale monitorowane i rozbudowywane według aktualnych potrzeb i przewidywalnych trendów. Oferta producentów stacji ładowania pojazdów elektrycznych wynika z rzeczywistych potrzeb klientów i stanowi ona:

- a) garażowe naścienne punkty ładowania,
- b) słupki parkingowe w wydzielonych miejscach w centrum miast,

- c) słupki parkingowe w centrach handlowych (rysunek 1),
- d) słupki parkingowe przy popularnych restauracjach i kawiarniach,
- e) słupki parkingowe na stacjach benzynowych (zazwyczaj autostradowych),
- f) słupki parkingowe podłączone do ogniw fotowoltaicznych – obecny trend rozwojowy.

## 2. ZAŁOŻENIA FUNKCJONALNE CARPORTU DO ŁADOWANIA POJAZDÓW ELEKTRYCZNYCH

Wiąta fotowoltaiczna jest doskonałym pomysłem na wytwarzanie energii elektrycznej z energii słonecznej. Może również posłużyć jako stacja do ładowania samochodów elektrycznych, jako dodatkowe źródło zasilania budynku i zadaszone miejsce parkingowe równocześnie [5, s. 274].

Aby w sposób autonomiczny zasilić pojazd Renault Twizy z systemu paneli fotowoltaicznych generowana w każdych warunkach moc musi spełniać zapotrzebowanie odbiornika w postaci ładowarki pokładowej. Jest tu mowa o mocy ok. 2000 W, która może być zapewniona przy dobrym nasłonecznieniu przez 8 standardowych paneli fotowoltaicznych. Jednak uwzględniając sezonowość pogody w Polsce oraz występowania zachmurzenia system powinien być odpowiednio większy.

Do wszelkich założeń projektowych związanych z projektowaniem systemów fotowoltaicznych możemy obecnie założyć:

- wymiary standardowego panelu 1000 mm x 1500 mm (1 m x 1,5 m) co stanowi powierzchnię 1,5 m<sup>2</sup>,
- moc standardowego panelu wynosząca 250 W.

Autorzy podjęli się opracowania założeń konstrukcyjnych takiego carportu. Carport będzie umożliwiał ładowanie pojazdów elektrycznych zaparkowanych pod wiatą parkingową. Wielkość carportu będzie uzależniona od dostępnej powierzchni parkingowej, która może zostać zadaszona a także od zapotrzebowania na ładowanie pojazdów elektrycznych. W chwili braku odbioru energii przez pojazdy, carport dostarcza energię elektryczną do sieci elektrycznej. Innowacyjny carport cechuje się atrakcyjnym designer pomocnym w budowaniu ekologicznego wizerunku instytucji, w której się znajduje. Będzie także przystosowany do warunków klimatycznych panujących w Polsce i w krajach Europy Środkowo-Wschodniej. Obecne w krajach Europy Zachodniej i Południowej rozwiązania nie

spełniają wymogów wytrzymałościowych związanych z maksymalnym obciążeniem konstrukcji spowodowanej opadami śniegu. Innowacyjna konstrukcja zostanie obliczona wytrzymałościowo oraz wykorzysta bardzo wytrzymałe panele w technologii szkło-szkło pozwalające spełnić takie wymogi i uzyskać stosowne certyfikaty pozwolenia.

### 3. OPIS CARPORTU FOTOWOLTAICZNEGO

Przeprowadzone obliczenia dowiodły, że do ładowania Renault Twizy w każdych warunkach potrzebny jest carport składający się z 15 standardowych paneli fotowoltaicznych o łącznej mocy 3750 W. Przedstawiona na rysunku 1 i 2 konstrukcja składa się z elementów w postaci spawanych z profili metalowych i ocynkowanych (w celu zabezpieczenia antykorozyjnego) podpór oraz elementów nośnych paneli wykonanych z aluminiowych profili ciągnionych i anodowanych.

#### 3.1. Carport jako stanowisko badawcze

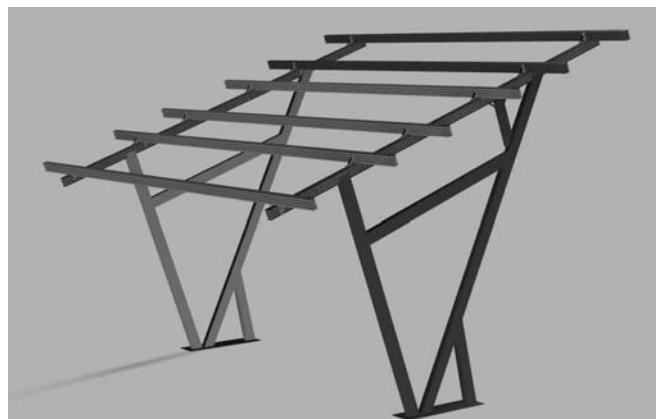
Stanowisko badawcze przeznaczone jest do badania fotowoltaicznych ogniw słonecznych w warunkach rzeczywistych. Umożliwia badanie jednocześnie 15 standardowych paneli (1 x 1,5 m) co wynika z wymiarów konstrukcji nośnej. Na przedmiotowym stanowisku badawczym możliwe są następujące badania:

- Badania bezwzględne parametrów ogniw fotowoltaicznych w zmiennych warunkach pogodowych wraz z ich rejestracją. Ilość parametrów prądowych ogniw jak i zmiennych warunków rzeczywistych zależy od opomiarowania stanowiska badawczego. Przykładowym badaniem jest badanie utraty właściwości ogniw w czasie (starzenie się).
- Badania względne (porównawcze) parametrów różnych typów ogniw fotowoltaicznych w zmiennych warunkach pogodowych wraz z ich rejestracją. Ilość parametrów prądowych ogniw jak i zmiennych warunków rzeczywistych zależy od opomiarowania stanowiska badawczego. Przykładowym badaniem jest badanie porównawcze osiągnięć różnych typów ogniw fotowoltaicznych w tych samych warunkach pogodowych..
- Badania względne i bezwzględne inwerterów prądu dla systemów fotowoltaicznych.
- Badania w fazie rozwojowej paneli fotowoltaicznych i układów sterowania nimi.
- Badania systemów fotowoltaicznych on-grid i off-grid.
- Badania procesu ładowania baterii pojazdów elektrycznych z fotowoltaicznych ogniw słonecznych.

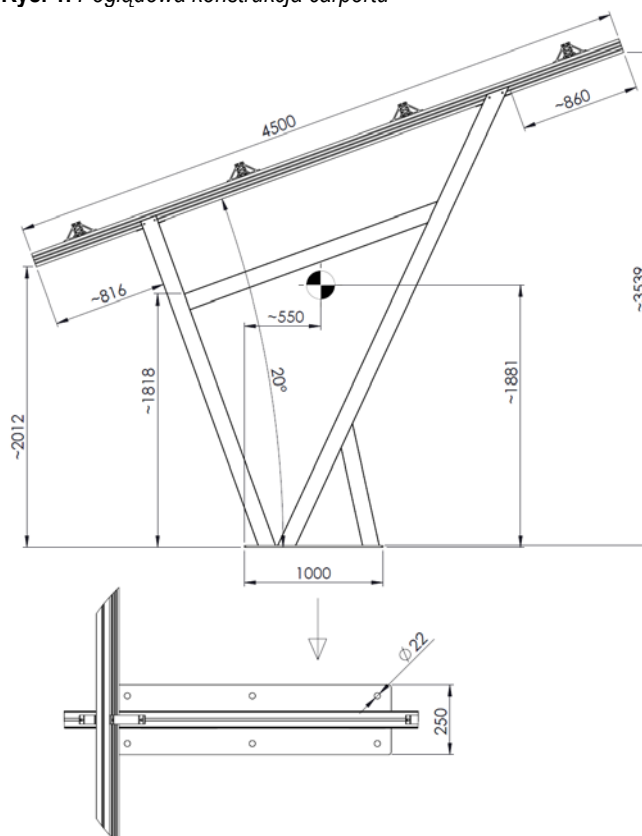
#### 3.2. Konstrukcja nośna carportu

Konstrukcja nośna składa się z dwóch podpór bocznych wykonanych ze stalowych elementów spawanych ocynkowanych w celu zabezpieczenia przed korozją. Podpory boczne są zamocowane do podłoża za pomocą kotw chemicznych. Podpory boczne zapewniają montaż konstrukcji nośnej dla paneli fotowoltaicznych. Konstrukcja nośna dla paneli wykonana jest z profili aluminiowych ciągnionych zabezpieczonych przed korozją w wyniku procesu anodowania. Profile nośne łączone są ze sobą za pomocą łączników, co umożliwia dowolne ich rozmieszczenie ze względu na wymogi montażowe producenta paneli fotowoltaicznych.

Model całej konstrukcji nośnej przedstawiono na rysunku 1, zaś projekt podpór bocznych przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 1. Poglądowa konstrukcja carportu



Rys. 2. Rzut boczny carportu z wymiarami

#### 3.3. System fotowoltaiczny

Na konstrukcji nośnej zainstalowano 12 monokrystalicznych paneli fotowoltaicznych wykonanych w technologii szkło-szkło. Są to panele monokrystaliczne wykonane w technologii szkło-szkło posiadające indywidualny optymalizer. Dostarczone panele zostały zamontowane na konstrukcji nośnej carportu będącego własnością Instytutu Badawczo-Rozwojowego. Widok zamontowanych do badań paneli przedstawiono na rysunku 3.

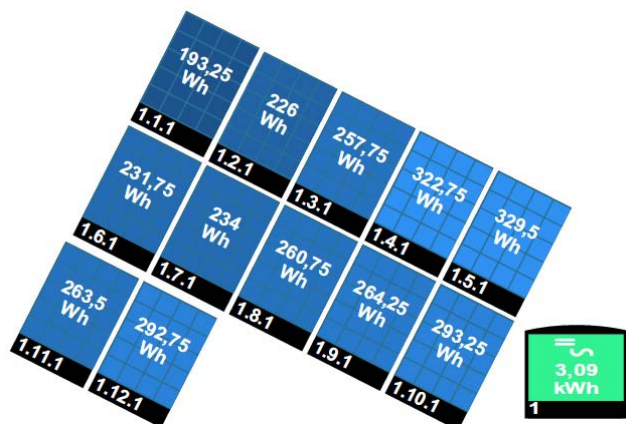


Rys. 3. Panele zamontowane na konstrukcji nośnej

### 3.4. Inwerter z systemem monitoringu

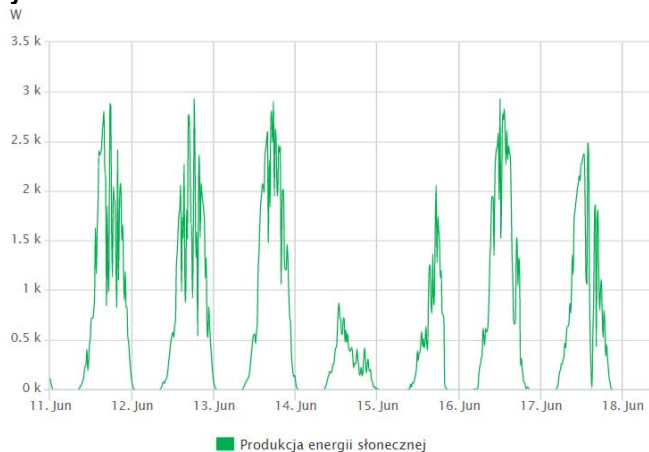
12 paneli fotowoltaicznych z indywidualnymi optymalizatorami, charakteryzującymi się mocą szczytową 3 kWp, podłączone do jednofazowego inwertera. Falownik efektywnie konwertuje energię DC z paneli słonecznych na energię AC, którą można przesyłać przez sieć AC instalacji, a następnie do sieci elektrycznej. Każdy z paneli fotowoltaicznych jest indywidualnie identyfikowany i załączany przez inwerter. Optymalizatory mocy są przetwornikami prądu stałego DC-DC podłączonymi do modułów PV w celu zapewnienia maksymalnego pozyskania energii poprzez wykonywanie niezależnego wyszukiwania punktu maksymalnej pracy (MPPT) na poziomie modułu. Optymalizatory mocy regulują napięcie łańcucha na stałym poziomie, bez względu na długość łańcucha oraz warunki otoczenia.

Falownik odbiera również dane monitorowania z każdego optymalizatora mocy i przesyła je do centralnego serwera. Portal monitoringu wymaga połączenia do Internetu. Przyjazny użytkownikowi software umożliwia chwilowy podgląd parametrów działania systemu fotowoltaicznego a także aktualnych i prognozowanych warunków pogodowych [2]. Portal w sposób automatyczny generuje raporty dzienne, tygodniowe, miesięczne oraz roczne możliwe do wizualizacji w postaci przejrzystych wizualizacji (rysunek 4) i wykresów (rysunek 5 i 6).

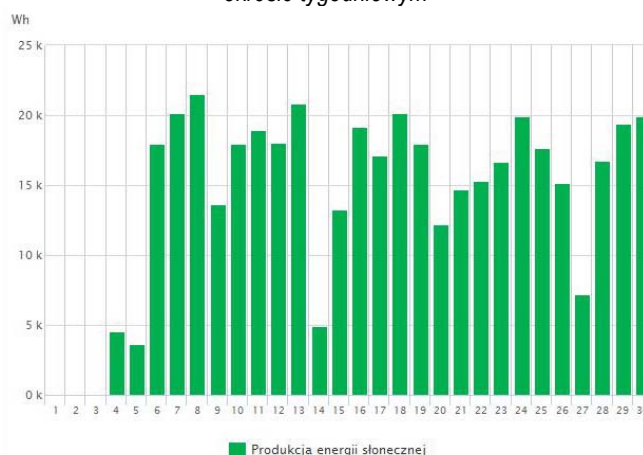


Rys. 4. Monitoring parametrów poszczególnych paneli fotowoltaicznych

Na rysunku 5 przedstawiono przebieg generowanej przez system fotowoltaiczny mocy w okresie jednego tygodnia w czerwcu 2016 roku. Ilość generowanej energii elektrycznej w poszczególne dni miesiąca czerwca 2016 roku przedstawiono na rysunku 6.



Rys. 5. Przebieg generowanej mocy systemu fotowoltaicznego w okresie tygodniowym



Rys. 6. Ilość energii generowanej przez system fotowoltaiczny w okresie miesięcznym

## 4. OPIS BADANEGO POJAZDU ELEKTRYCZNEGO

Samochód Renault Twizy to pojazd ekologiczny – napędzany silnikiem elektrycznym, nieemitujący żadnych zanieczyszczeń dla środowiska. Oprócz proekologicznych rozwiązań, Twizy zaskakuje nowoczesną konstrukcją. Minimalistyczna forma pojazdu intryguje i skłania do zastanowienia, czy zaliczany do klasy osobowych kwadrykli jest na pewno samochodem. Swoim wyglądem przypomina bardziej innowacyjny skuter lub zadaszony quad, niż dotychczasowe modele miniaturowych aut elektrycznych i hybrydowych.

Prototyp modelu pojazdu Twizy ZE Concept został zaprezentowany w 2009 roku, na targach motoryzacyjnych Motor Show w Frankfurcie nad Menem jako najnowsze osiągnięcie fabryki Renault w hiszpańskim Valladolid. Prototyp Twizy był odpowiedzią na potrzebę lekkiego, kompaktowego auta o prostego w użytkowaniu, odpowiadającego klimatycznym warunkom śródziemnomorskim. Dodatkowym podkreśleniem zalet auta została nazwa modelu – „Twizy” stworzona przez połączenie dwóch angielskich słów – „twin”

(podwójny, przeznaczony dla dwóch osób) i „easy” (łatwy w obsłudze).

Współczesna wersja Renault Twizy produkowana jest od 2012 roku, rok później była dostępna również w Polsce. Optymalne przystosowanie auta do warunków miejskich, sprawia, że cieszy się on szczególną popularnością wśród mieszkańców nowoczesnych metropolii. Parametry techniczne Twizy Life 80 potwierdzają, że pojazd z powodzeniem łączy w sobie prostotę obsługi i swobodę przemieszczania się z inteligentnym wykorzystaniem nowoczesnych, energooszczędnych rozwiązań technicznych. Twizy Life 80, napędzane silnikiem elektrycznym, potrzebuje zaledwie 4 godzin do naładowania swojej baterii litowo-jonowej zastępującej tradycyjny akumulator [3, s. 46, 47]. Pozwala to na przebycie dystansu minimum 50 km, a przy stosowaniu zasad ekologicznej jazdy antycypacyjnej – utrzymywanie stałej prędkości przez płynną jazdę bez ostrego hamowania czy też gwałtownego przyspieszania, zwiększa zasięg przemieszczenia się przy jednym doładowaniu do 100 km. Umożliwia to zastosowanie mechanizmu hamowania odzyskowego, połączonego z napędem samochodu na tylne koła. Twizy Life 80 jest autem zwrotnym, dynamicznie przyspieszającym, co jest niezbędne do sprawnego wykonywania manewrów w ruchu miejskim. Dodatkowo ułatwieniem jest fakt, że Twizy nie posiada skrzyni biegów. Zastąpiono ją przyciskami do jazdy do przodu i do tyłu umieszczonych po lewej stronie kierownicy. Przedstawiane przez producenta Renault dane zapewniają, że auto od 0 do 45 km/h rozpędza się w 6,1 s, a na pokonanie 50 m ruszając z zatrzymania potrzebuje 6,6 s. Twizy Life 80 rozwija maksymalną szybkość 85 km/h, co jest w pełni wystarczające także w warunkach miejskich i podmiejskich.

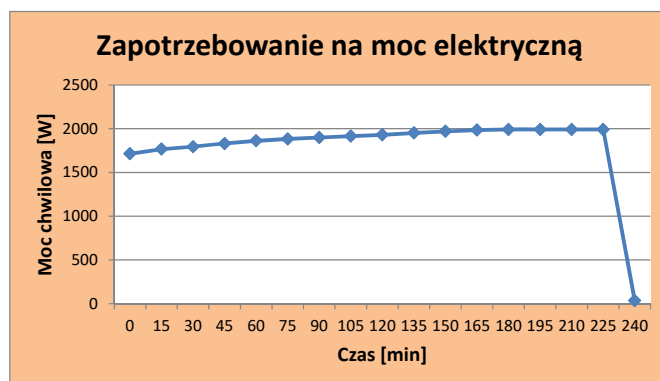
### 5. BADANIA PROCESU ŁADOWANIA POJAZDU ELEKTRYCZNEGO Z FOTOWOLTAICZNYCH OGNIW SŁONECZNYCH

Renault Twizy, dzięki wbudowanej pokładowej przetwornicy, może być ładowany ze standardowej sieci elektrycznej 230V. Wykorzystuje punkty dostępu do energii elektrycznej umieszczone na zewnątrz budynków. Proces ładowania przedmiotowego pojazdu elektrycznego z carportu fotowoltaicznego przedstawiono na rysunku 7.



Rys. 7. Ładowanie pojazdu elektrycznego z carportu fotowoltaicznego

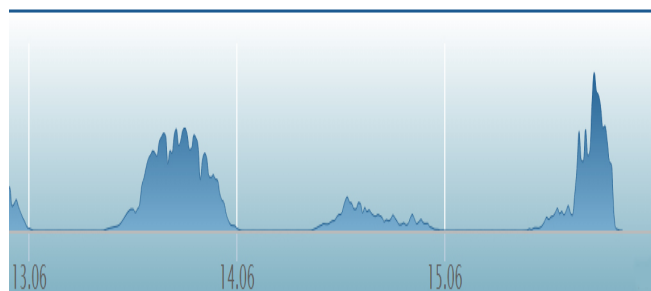
Zapotrzebowanie na moc elektryczną określono poprzez pomiar podstawowych parametrów prądowych podczas standardowego ładowania od całkowitego rozładowania baterii do ich całkowitego naładowania. Chwilowa moc potrzebna do ładowania na początku procesu wynosiła 1714 W i wzrastała do wartości 1991 W pod koniec procesu ładowania (rysunek 8). Proces wymagał pobrania ok. 6,5 kWh energii i trwał ok. 4 godzin. Wartości te zostały wielokrotnie potwierdzone przez autora podczas eksploatacji przez okres 16 miesięcy podczas których przejechano ponad 12 000 km.



Rys. 8. Zapotrzebowanie na moc elektryczną podczas ładowania pojazdu elektrycznego

Do celów przybliżonych obliczeń należy przyjmować zapotrzebowanie na moc podczas ładowania pojazdu elektrycznego Renault Twizy na poziomie 2000 W przez okres 4 godzin (2000 W x 4 h).

Na rysunku 9 przedstawiono przebieg generowanej przez system fotowoltaiczny mocy w ciągu 3 dni i nocy czerwca 2016 roku. Przedstawione dni charakteryzują się różnymi profilami nasłonecznienia, które mają bezpośrednie przełożenie na ilość produkowanej energii. Dzień 13.06.2016 był dniem o dużym nasłonecznieniu z niewielkim chwilowym zachmurzeniem podczas którego system wyprodukował 20,8 kWh energii. Kolejny dzień 14.06.2016 charakteryzował się dużym zachmurzeniem i obfitymi opadami deszczu podczas którego system wyprodukował zaledwie 4,9 kWh energii. W dniu 15.06.2016 do południa było duże zachmurzenie i opady deszczu. Jednak całkowita zmiana pogody po południu pozwoliła wygenerować 13,2 kWh energii.



Rys. 9. Przebieg generowanej mocy systemu fotowoltaicznego [11]

W wyniku porównania mocy generowanej przez carport z zapotrzebowaniem prądowym pojazdu elektrycznego podczas

procesu ładowania baterii został wybrany optymalny sposób podłączenia carportu do sieci elektrycznej (tabela 1).

**Tab. 1. Dane procesu ładowania pojazdu elektrycznego z carportu fotowoltaicznego**

L.p.	Data	Produkcja energii [kWh]	Ilość cykli ładowania Renault Twizy [6,5 kWh]	Możliwość ładowania off-grid [2 kW x 4 h]
1	13.06.2016	20,8	3,2	TAK
2	14.06.2016	4,9	0,8	NIE
3	15.06.2016	13,2	2,0	NIE

Z analizy wynika, że dnia 13.06.2016 carport wyprodukował ilość energii potrzebną do trzykrotnego pełnego naładowania baterii w Renault Twizy. Ilość energii wyprodukowanej 14.06.2016 nie była wystarczająca do pełnego naładowania. Tylko w słoneczne popołudnie w dniu 15.06.2016 można było z carportu naładować do pełna 2 pojazdy Renault Twizy. Porównując dane z tabeli 1 i z rysunku 5 można wyciągnąć wnioski dotyczące konieczności podłączenia carportu do sieci elektrycznej dostawcy energii (on-grid). Sieć elektryczna dostawcy energii pełni wówczas rolę bufora energii wytworzonej przez carport.

W ciągu rozpatrywanych 3 dni tylko jednego dnia (13.06.2016) wystąpiły warunki dogodne do pełnego naładowania pojazdu Renault Twizy (2 kW mocy przez 4 h) bez konieczności podłączenia do sieci elektrycznej dostawcy energii (off-grid). Podejście off-grid wymaga instalacji do carportu dodatkowego komponentu w postaci baterii do gromadzenia energii elektrycznej w czasie braku podłączenia odbiorników - pojazdów elektrycznych. Podejście takie pozwoli na wykorzystanie zgromadzonej w akumulatorach energii do ładowania pojazdów w nocy. Energia z akumulatorów może również wspomagać proces ładowania z carportu przy niewystarczającej generowanej mocy chwilowej do aktualnego zapotrzebowania pojazdu.

## PODSUMOWANIE

Połączenie technologii pojazdów elektrycznych z możliwością ich ładowania z Odnawialnych Źródeł Energii jest najbardziej ekologicznym sposobem zasilania pojazdów. Nie występuje wtedy emisja gazów cieplarnianych ani innych substancji regulowanych przez UE, zarówno na etapie wytwarzania energii jak i użytkowania pojazdu. Produkt stanowi innowację z tego także powodu, że jest elementem zero emisyjnego transportu osób i towarów.

Carport o mocy szczytowej 3 kWp musi być podłączony do sieci elektrycznej dostawcy energii w celu poprawnego i sprawnego ładowania pojazdu Renault Twizy. Podejście on-grid umożliwia całkowite wykorzystanie energii elektrycznej produkowanej przez carport do ładowania pojazdu elektrycznego i oddawanie jej nadmiaru do sieci. Z niej mogą również być zasilane inne odbiorniki znajdujące się w domu. Bufor w postaci sieci elektrycznej zapewni odpowiedni poziom mocy oraz stałość parametrów prądowych niezbędne do przeprowadzenia poprawnego procesu ładowania pojazdu elektrycznego.

## BIBLIOGRAFIA

1. Aguado-Monsonet M., *The enviromental impact of photovoltaic technology*, EC Technical Report Series 1998
2. <https://monitoring.solaredge.com> – data wejścia 30.06.2016r.
3. Informator techniczny BOSCH, *Napędy hybrydowe, ogniwa paliwowe i paliwa alternatywne*, Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, wydanie 1, Warszawa 2010
4. Linde Arvids, *Electric Cars The Future is Now!: Your Guide to the Cars You Can Buy Now and What the Future Holds*, Veloce Publishing, 2010 Poundbury, ISBN: 978-1-845843-10-6
5. Małek A., Kowalczyk D., *Analiza procesu ładowania pojazdu elektrycznego z fotowoltaicznych ogniw słonecznych*. AUTOBUSY – Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe 2016, nr 6.
6. Merkisz J., Pielecha J., Radzymirski S., *Emisja zanieczyszczeń motoryzacyjnych w świetle nowych przepisów Unii Europejskiej*, Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, 2012
7. Merkisz J., *Pojazdy hybrydowe i elektryczne, a sprawa Polska*. Instytut Transportu Samochodowego, Warszawa 2012
8. Park Naukowo-Technologiczny Euro-Centrum, *Rynek fotowoltaiki w polsce – diagnoza*, Katowice 2013
9. Reiter E., Kukielka K., *Wykorzystanie energii turbiny wiatrowej z dyfuzorem do ładowania akumulatorów w pojazdach z napędem elektrycznym*. AUTOBUSY – Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe 2012, nr 5.
10. Rosolek K., Santorska A., Więcka A., *Polski rynek PV w liczbach*, Czysta Energia 2013, nr 10.
11. Rudnicki T., *Pojazdy z silnikami elektrycznymi*. Zeszyty Problematyczne – Maszyny Elektryczne 2008, nr 80.
12. *Technology Roadmap Electric and plug-in hybrid electric vehicles*, Paris, OECD/IEA, 2011

### Photovoltaic carport for electric vehicle charging

*The technology of photovoltaic solar cells can be combined with the technology of electric vehicles. During charging electric vehicles with renewable energy sources as well as during their use to the atmosphere are not emitted any pollutions. The article presents a carport prototype designed for charging electric vehicle. Paper analyzed the power course generated by the photovoltaic system in different weather conditions. As a result of the comparison with the current demands of the electric vehicle battery during the charging process the optimal way of connecting carport to the electricity network was discussed.*

Autorzy:

dr inż. **Arkadiusz Małek** – Wyższa Szkoła Ekonomii i Innowacji, ul. Projektowa 4, 20-209 Lublin, [arkadiusz.malek@wsei.lublin.pl](mailto:arkadiusz.malek@wsei.lublin.pl),

mgr inż. **Dawid Kowalczyk** – Instytut Badawczo-Rozwojowy Lubelskiego Parku Naukowo-Technologicznego Sp. z o.o., ul. Dobrzańskiego 3, 20-262 Lublin, [d.kowalczyk@lpnt.pl](mailto:d.kowalczyk@lpnt.pl)