

AUTONOMICZNA STACJA ŁADOWANIA POJAZDÓW ELEKTRYCZNYCH

Józef PASKA¹, Mariusz KŁOS¹, Łukasz ROSŁANIEC¹, Rafał BIELAS², Magdalena BŁĘDZIŃSKA²

1. Politechnika Warszawska, Instytut Elektroenergetyki, Zakład Elektrowni i Gospodarki Elektroenergetycznej
tel.: 22 234 58 64; e-mail: Jozef.Paska@ien.pw.edu.pl
2. Politechnika Warszawska, Wydział Elektryczny, studia doktoranckie
tel.: 22 234 56 13; e-mail: bledzinm@ee.pw.edu.pl

Streszczenie: W artykule zaprezentowano model autonomicznej stacji ładowania pojazdów elektrycznych. Składa się ona z odnawialnych źródeł energii: turbozespołu wiatrowego, ogniw fotowoltaicznych, a także zasobnika energii, odbioru i stacji służącej do ładowania pojazdów elektrycznych. Dla osiągnięcia optymalnych warunków pracy do układu wprowadzono przekształtniki energoelektroniczne. Model zaimplementowano w programie Homer Energy.

W pierwszej części artykułu przedstawione zostały założenia projektowe oraz zaprezentowano obecnie dostępne rozwiązania technologiczne w tym zakresie. Dalsza część artykułu prezentuje wyniki badań otrzymanych z przeprowadzonych symulacji oraz ich analizę. We wnioskach wskazano rolę, jaką mogą odgrywać autonomiczne stacje zasilania.

Słowa kluczowe: odnawialne źródła energii, samochody elektryczne, stacja ładowania, mikro sieci

1. WSTĘP

Rosnąca popularność rozproszonych źródeł energii znacząco wpływa na rozwój nowych technologii wykorzystujących ich możliwości. Przyczyniają się do tego takie czynniki, jak wyczerpujące się zasoby paliw kopalnych czy większa świadomość ludzi dotycząca ochrony środowiska. Redukcja zanieczyszczeń w miastach i zmniejszenie emisji gazów cieplarnianych do atmosfery stały się wyzwaniem dla władz i ludności. Naprzeciw tym wymaganiom wychodzą także koncerny samochodowe, które w swojej ofercie prezentują modele samochodów elektrycznych i hybrydowych.

Pełny rozwój technologii pojazdów elektrycznych jest możliwy jedynie przy zapewnieniu odpowiedniej infrastruktury do ich ładowania. W miastach z gęstą siecią elektroenergetyczną zasilanie takich stacji nie stanowi większego problemu. Komplikacja pojawia się w miejscach oddalonych od systemu elektroenergetycznego. Rozwiązaniem, które może zostać wykorzystane w tego typu obiektach jest hybrydowy układ zasilania oparty na odnawialnych źródłach energii, pracujący niezależnie od zewnętrznej sieci zasilającej [1]. Dotychczas autonomiczne stacje ładowania pojazdów powstały m.in. w Stanach Zjednoczonych. Firma Envision Solar zaprezentowała autonomiczną stację zasilaną z ogniw fotowoltaicznych EV ARC (Electric Vehicle Autonomous Renewable Charger). Zdjęcie stacji przedstawiono na rysunku 1.

W niniejszej publikacji została przedstawiona koncepcja mikro sieci, z przyłączoną stacją ładowania pojazdów elektrycznych, pracującej w trybie off-grid, tj. niepołączonej z system elektroenergetycznym.



Rys. 1. Autonomiczna stacja ładowania pojazdów zasilana z ogniw fotowoltaicznych [1]

2. ZAŁOŻENIA PROJEKTOWE

Autorska koncepcja zaprezentowana w artykule ma na celu przedstawienie możliwości wykorzystania odnawialnych źródeł energii do zasilania obiektów odległych od sieci elektroenergetycznej. Ze względu na niedostatecznie rozbudowaną infrastrukturę elektroenergetyczną w województwie warmińsko-mazurskim oraz wysokie walory turystyczne tych obszarów stację do ładowania pojazdów zlokalizowano właśnie tam. Jej budowa umożliwia korzystanie z ekologicznego transportu, przyjaznego środowiska, który nie ingeruje nadmiernie w krajobraz.

Stacja powinna zapewniać możliwość ładowania pojazdów różnych producentów. Najbardziej rozpowszechnionym obecnie standardem szybkich ładowarek pojazdów elektrycznych jest standard Chademo. Najczęściej są stosowane stacje ładowania o mocy 50 kW, napięciu 500 V DC oraz prądzie 125 A. Czas ładowania pojazdu w takim trybie wynosi od 15 do 30 minut [3].

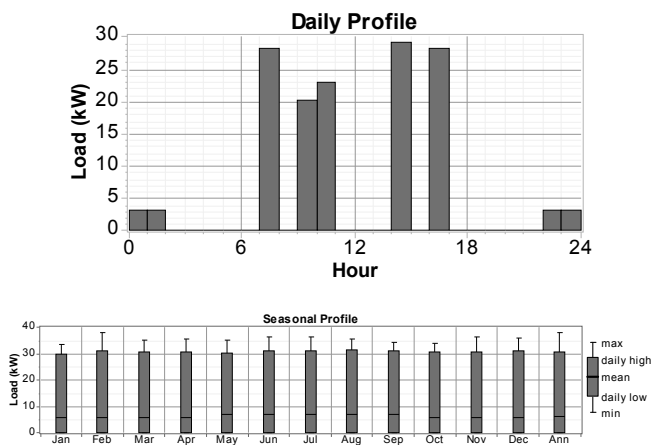
Stacja ładowania zaproponowana w publikacji jest zgodna ze standardem Chademo, dlatego jej moc nie może być mniejsza niż 50 kW. Jest połączona z mikro siecią, która pracuje niezależnie, odłączona od systemu elektroenergetycznego. Dla zapewnienia odpowiedniego poziomu niezawodności w mikro sieci zainstalowano dwa rodzaje źródeł energii: ogniw fotowoltaiczne oraz elektrownię wiatrową.

Model mikro sieci oraz przyłączonej do niej stacji ładowania pojazdów wykonano w programie komputerowym

Homer Energy [4]. W modelu przyjęto następujące założenia:

- stacja pozwala na naładowanie 6 samochodów dziennie w okresie od maja do września, natomiast w okresie od października do kwietnia - 5 (założenie wynika z faktu, iż w okresie letnim więcej osób korzysta z samochodu osobowego);
- przeciętna pojemność baterii samochodu elektrycznego wynosi około 35 kWh, natomiast w jednym cyklu szybkiego ładowania pojazd pobiera do 80% tej wartości,
- dzienne przeciętne zapotrzebowanie na energię przyjęto na poziomie 140 kWh,
- pojemność zasobnika mikrosieci, przy zachowaniu współczynnika naładowania (ang. state of charge SOC) na poziomie nie mniejszym niż 30%, wystarcza na pokrycie 2,5-krotności dziennego zapotrzebowania na energię.

Podsumowując, otrzymano roczne zapotrzebowanie na energię elektryczną na poziomie 51000 kWh. Profile obciążenia, dobowy i miesięczny, zaimplementowane w programie zilustrowano na rysunku 2.



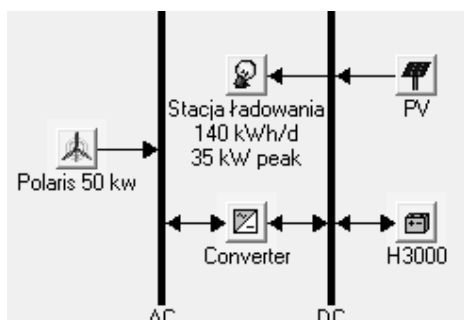
Rys. 2. Profile obciążenia stacji ładowania pojazdów: dobowy, miesięczny

3. OPIS MODELU

Podstawowymi elementami układu hybrydowego (mikrosieci) zasilającego stację ładowania są: elektrownia wiatrowa, instalacja fotowoltaiczna oraz baterijny zasobnik energii. Model proponowanego układu przedstawiono na rysunku 3.

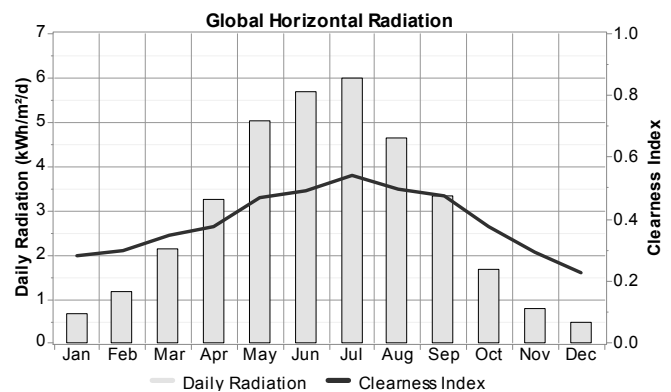
Dobór paneli fotowoltaicznych

Położenie geograficzne Polski nie jest bardzo korzystne pod względem dostępnego natężenia promieniowania słonecznego. Średnia roczna ilość promieniowania słonecznego wynosi 1000÷1100 kWh/m²/rok [5, 6, 7].



Rys. 3. Schemat modelu w programie Homer Energy

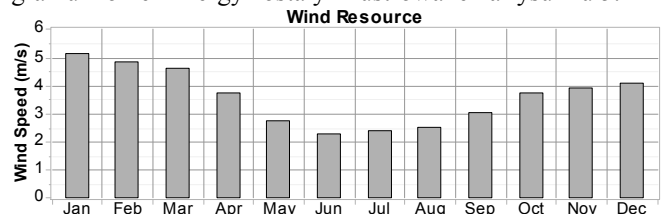
Największe nasłonecznienie występuje w centralnej i wschodniej Polsce. W związku z występującymi warunkami należy dążyć do maksymalnego wykorzystania dostępnego promieniowania. W związku z tym do modelu wybrano ogniwa zbudowane z krzemu monokrystalicznego, które charakteryzują się najwyższą sprawnością. Panele są skierowane na południe i ustawione pod kątem 35° do podłoża, co stanowi optymalne warunki pracy dla ogniw fotowoltaicznych instalowanych w naszym położeniu geograficznym [5]. Straty w układzie (spadki napięć, sprawność przekształtnika, temperatura otoczenia) przyjęto na poziomie 14%. Ogniwa w żadnej porze dnia nie są zacienione, gdyż mogłyby to spowodować znaczący spadek ilości produkowanej energii [8]. Na rysunku 4 przedstawiono dane wejściowe wprowadzone do programu Homer Energy. Na ich podstawie przeprowadzono symulację produkcji energii z ogniw fotowoltaicznych. Dobrano instalację o łącznej mocy 40 kW.



Rys. 4. Średnia, dzienna ilość promieniowania słonecznego w poszczególnych miesiącach

Dobór turbosespołu wiatrowego

Uzysk energii z turbosespołu wiatrowego zależy od warunków wietrzności na danym terenie. W Polsce można wyróżnić cztery strefy wietrzności [7, 9]. Proponowany obiekt będzie zlokalizowany w strefie, w której średnia prędkość wiatru wynosi 3,5 m/s. W związku z małą wartością średniej prędkości wiatru jest konieczne zastosowanie turbiny startującej przy niskich prędkościach. Równie ważnym jest szybkie uzyskanie przez generator mocy nominalnej. Biorąc pod uwagę wspomniane kryteria do modelu wybrana została turbina z poziomą osią obrotu firmy Polaris o mocy 50 kW. Wysokość wieży wynosi 36,6 m; obiekt jest zlokalizowany na terenach leśnych. Dane wejściowe programu Homer Energy zostały zilustrowane na rysunku 5.



Rys. 5. Średnia prędkość wiatru w poszczególnych miesiącach

Dobór baterii akumulatorów

Zasobnik energii w zaproponowanym rozwiązaniu pozwala na pokrycie 2,5-dniowego zapotrzebowania energetycznego według założonego profilu obciążenia. Zdecydowano się na zastosowanie zasobników kwasowo-olowiowych firmy Hoppecke 24 OPzS 3000, o nominalnej pojemności pojedynczej komórki 3000 Ah (6 kWh). Całko-

wita pojemność zasobnika wynosi 480 kWh, zaś jego pojemność użyteczna 336 kWh.

4. BADANIA I ANALIZA

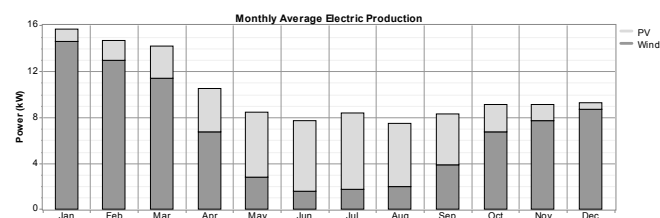
Na podstawie wyżej wymienionych danych zostały wykonane badania w programie Homer Energy. Na rysunku 6 przedstawiono dane dotyczące energii wyprodukowanej i zużytej przez układ.

Production			Consumption			Quantity		
	kWh/yr	%		kWh/yr	%		kWh/yr	%
PV array	30,807	34	DC primary load	51,048	100	Excess electricity	29,070	32.5
Wind turbine	58,658	66	Total	51,048	100	Unmet electric load	52.1	0.1
Total	89,465	100				Capacity shortage	99.7	0.2

Rys. 6. Dane dotyczące rocznej produkcji i zużycia energii w badanym układzie hybrydowym

Można zauważyć, że zdecydowana większość energii, bo aż 66%, pochodzi z elektrowni wiatrowej, natomiast pozostałe 34% z elektrowni słonecznej. Dzieje się tak mimo większej jedynie o 20% mocy turbozespołu wiatrowego. Przyczyną takiego wyniku są słabe warunki nasłonecznienia występujące na tej szerokości geograficznej oraz praca układu PV wyłącznie w dzień. Układ łącznie w ciągu roku produkuje 51 MWh, co całkowicie pokrywa zapotrzebowanie stacji. Można również zauważyć, że część wyprodukowanej energii nie może być zużyta (współczynnik Excess electricity) ze względu na ograniczoną pojemność zasobnika bateryjnego oraz specyficzny dla tego typu układów rozkład obciążenia. Wskaźnik informujący o energii niedostarczonej (Unmet electric load) jest bliski zeru w związku z czym praktycznie przez cały czas możliwe jest pokrycie zapotrzebowania stacji na energię elektryczną.

Łączny czas produkcji energii elektrycznej z ogniw fotowoltaicznych wynosi 4500 h/rok. W wynikach symulacji wyraźnie zauważalna jest granica pomiędzy poszczególnymi porami roku. Znaczne ilości energii są generowane latem, natomiast zimą praktycznie zerowe. Wówczas niezbędne jest inne źródło energii niezależne od czynników wpływających na ogniwa PV. W zaproponowanym układzie takim źródłem jest turbozespół wiatrowy. Produkcja energii z generatora wiatrowego wykazuje odwrotną tendencję niż dla źródła fotowoltaicznego. Więcej energii jest produkowane w okresach zimowych. Dobrze zobrazowane zostało to na rys. 7 porównującym średnią miesięczną produkcję energii obydwu źródeł. Elektrownia wiatrowa pracuje łącznie około 6500 h/rok co stanowi niemal 145% czasu pracy elektrowni słonecznej.

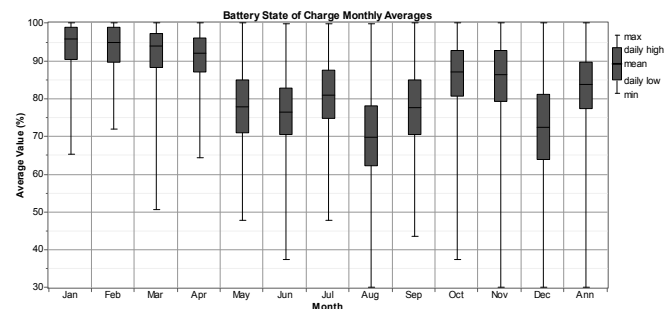


Rys. 7. Średnia miesięczna produkcja energii elektrycznej w układzie

Na rysunku 8 zaprezentowano stopień naładowania zasobnika bateryjnego (SOC) dla poszczególnych godzin w ciągu roku.

Największy stopień rozładowania występuje w miesiącach letnich, w których zwiększa się zużycie energii. Niski poziom naładowania pojawia się również w okresach zimowych. Dzieje się tak ze względu na krótkie

dni oraz małą ilość promieniowania słonecznego docierającego na rozpatrywaną szerokość geograficzną. Łącznie zasobnik bateryjny zgromadził ponad 31 MWh energii w ciągu roku, natomiast oddał niecałe 27 MWh. Różnica pomiędzy wymienionymi wielkościami to straty występujące w magazynie energii.



Rys. 8. Stopień naładowania baterii w poszczególnych miesiącach

Na podstawie wyników przedstawionych powyżej można zauważyć kilka problemów. Niewątpliwie jedną z wad zaprezentowanego rozwiązania jest znaczne przewymiarowanie poszczególnych elementów układu hybrydowego. Powodem tego jest specyfika odbioru. Szybkie ładowarki samochodów elektrycznych wymagają dostępu do dużego zasobu energii w krótkim czasie. Wymusza to umieszczenie w układzie zasobnika energii o znacznej pojemności. To z kolei pociąga za sobą potrzebę zainstalowania odpowiedniej wielkości źródeł energii mogących uzupełniać braki mocy w stosunkowo krótkim czasie. Kolejnym problemem mogą być same źródła zasilania. Niewątpliwie turbina wiatrowa oraz ogniwa fotowoltaiczne należą do źródeł niestabilnych oraz trudnych do prognozowania, co może spowodować braki energii przy wyjątkowo niekorzystnych warunkach atmosferycznych. Dlatego też w rozpatrywanym przykładzie zasobnik bateryjny został w znacznym stopniu przewymiarowany. Kolejnym problemem może być koszt przedstawionego układu hybrydowego. Stosunkowo duże elementy stacji wymagają znacznych nakładów finansowych. Kwestią wymagającą analizy jest niewątpliwie porównanie kosztów wybudowania i użytkowania zaprezentowanego układu z kosztami budowy odpowiedniej infrastruktury elektroenergetycznej doprowadzającej zasilanie do danego miejsca. Analiza taka z pewnością wyjaśniłaby, powyżej jakiego dystansu pomiędzy autonomiczną stacją ładowania pojazdów elektrycznych od dostępnej sieci elektroenergetycznej jej budowa byłaby opłacalna finansowo. Zagadnienie to nie jest jednak tematem tego artykułu i nie będzie szczegółowo omawiane.

Kolejnym zagadnieniem, które powinno być rozpatrywane przy projektowaniu rzeczywistych układów jest budowa i implementacja układu sterowania i nadzoru do stacji ładowania pojazdów. Można przypuszczać, że wraz z rozbudową infrastruktury do ładowania pojazdów elektrycznych oraz zmianami w systemie elektroenergetycznym obejmującymi wprowadzanie na szeroką skalę sieci inteligentnych (smart grid) pojawi się problem zintegrowania i zarządzania takimi systemami. W literaturze można znaleźć propozycje trzystopniowego układu sterowania. Na pierwszym poziomie działa jednostka sterująca, która zbiera informacje i sygnały pochodzące od systemu pomiarowego, systemu zarządzania baterią oraz terminalu użytkownika. Jej zadaniem jest dostosowanie parametrów ładowania do odpowiednich wartości. Na kolejnych poziomach można wyróżnić system zarządzania i kontroli stacji ładowania oraz system zarządzania infra-

strukturą do ładowania pojazdów w przypadku pracy kilku stacji w lokalnej sieci elektroenergetycznej. Ostatni z układów należy rozpatrywać z punktu widzenia działania całej infrastruktury. Zbiera on informacje ze wszystkich podłączonych obiektów, ulepszając działanie sieci, m.in. przez monitorowanie parametrów poszczególnych obiektów oraz informacje o dostępności energii elektrycznej w konkretnym miejscu. Taki zintegrowany system zwiększa komfort użytkowników samochodów elektrycznych i pozwala im na wcześniejsze zaplanowanie miejsc ich postoju [10].

5. WNIOSKI

Autonomiczna stacja ładowania pojazdów w niektórych rejonach świata może stanowić jedyne możliwe do zastosowania i opłacalne rozwiązanie. Zastosowany w stacji układ hybrydowy z odnawialnymi źródłami energii jest wystarczający do zasilenia kilku samochodów dziennie. W zależności od miejsca umieszczenia stacji, zmiany mogłyby ulegać moc poszczególnych źródeł ze względu na rozkład rocznego natężenia promieniowania słonecznego czy prędkości wiatru oraz pojemność magazynu. Pomogłoby to zoptymalizować produkcję energii elektrycznej na potrzeby ładowania pojazdów. Niewątpliwie kwestią niezbędną do rozpatrzenia są zagadnienia opłacalności takiej inwestycji. Biorąc jednak pod uwagę tendencje rozwoju odnawialnych źródeł energii oraz samochodów elektrycznych, a co za tym idzie spadku ich ceny, w przyszłości autonomiczne stacje ładowania pojazdów mogą stanowić duży potencjał na rynku pojazdów elektrycznych.

6. BIBLIOGRAFIA

1. <http://envisionsolar.com/ev-arc/> - dostęp 27.02.2015 r.
2. Paska J., Biczek P., Kłos M.: Hybrid power systems – An effective way of utilising primary energy sources, *Renewable Energy*, Vol. 34, No 11, Nov. 2009, pp. 2414–2421.
3. Biernat K., Nita K., Wójtowicz S.: Architektura mikrosieci do inteligentnego ładowania pojazdów elektrycznych, *Prace Instytutu Elektrotechniki*, zeszyt 260, 2012.
4. Getting started Guide for Homer – instrukcja program.
5. Klugmann-Radziemska E.: Fotowoltaika w teorii i praktyce, Wydawnictwo BTC, Legionowo 2010
6. Paska J.: Wytwarzanie rozproszone energii elektrycznej i ciepła, Oficyna Wydawnicza PW, Warszawa 2010
7. Paska J., Surma T., Sałek M.: Current status and perspectives of renewable energy sources in Poland, *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, Vol. 13, No 1, 2009. pp. 142–154.
8. Paska J., Kłos M., Kocęba M., Roslaniec Ł.: Aspekty techniczne i ekonomiczne wykorzystania urządzeń energoelektronicznych w fotowoltaicznych układach wytwórczych, *Elektroenergetyka – Współczesność i Rozwój*, Nr 1, 2011, ss. 42–47.
9. Ćwil M.: Możliwości wykorzystania energetyki wiatrowej małej mocy w gminach, prezentacja Polska Izba Energetyki Odnawialnej, Warszawa 2009.
10. Deng Benzai, Wang Zhiqiang: Research on Electric-Vehicle Charging Station Technologies Based on Smart Grid, *Power and Energy Engineering Conference (APPEEC), 2011 Asia-Pacific Wuhan*.

AUTONOMOUS ELECTRIC VEHICLES' CHARGING STATION

The paper presents a model of autonomous electric vehicles' charging stations. It consists of renewable energy sources: wind turbine, photovoltaic cells, energy storage, load and station for charging electric vehicles. In order to achieve optimum operating conditions power electronics converters were added into the model. The model was implemented in Homer Energy computer program.

In the first part of the article there is a presentation of the project design assumptions and systems currently operating in the industry. The location of the object and parameters of charging standard are enclosed. The next chapter comprises of design assumption and model characteristic, including choice of parameters of every element based on weather conditions in Poland. The last part of the article presents the results obtained from the simulations and their analysis. The effects encompass: energy production, time of operating, indicators of battery state. Subsequently, problems observed during the simulation are described and propositions of their possible solving are given.

Keywords: renewable energy sources, electric vehicles, charging station, microgrids