

# Autonomous Electrical Vehicles' Charging Station

## Authors

Józef Paska  
 Mariusz Kłos  
 Łukasz Rosłaniec  
 Rafał Bielas  
 Magdalena Błędzińska

## Keywords

renewable energy sources, electrical vehicles, charging station, microgrids

## Abstract

This paper presents a model of an autonomous electrical vehicles' charging station. It consists of renewable energy sources: wind turbine system, photovoltaic cells, as well as an energy storage, load, and EV charging station. In order to optimise the operating conditions, power electronic converters were added to the system. The model was implemented in the Homer Energy programme.

The first part of the paper presents the design assumptions and technological solutions. Further in the paper simulation results are discussed and analysed, and then problems observed in the simulation and possible solutions.

**DOI: 10.12736/issn.2300-3022.2016310**

## 1. Introduction

Interest in renewable energy sources (RES) is constantly growing. This trend is undoubtedly caused by the political action of European Union member states. These countries are obligated to reduce emissions of harmful greenhouse gases and to increase the share of renewable energy sources in the total national energy balance. These objectives must be fulfilled while ensuring the proper reliability of power supply to receivers, which is not easy to achieve in the case of renewable sources. The instability (variability) of these sources can be limited by installing energy storage systems (accumulators) or combining different types of sources into one network. Such configurations can be successfully used to power different types of facilities at locations where power infrastructure is unavailable. Charging stations for electric vehicles can be receivers of such power. The growing interest of vehicle concerns in solutions like this will have an undoubted impact on the development of charging stations. Hybrid systems based on RES can be used to power these systems [5]. Interest in autonomous charging stations had already been observed worldwide. The American ENVISION SOLAR company presented an EV ARC (Electric Vehicle Autonomous Renewable Charger) based on photovoltaic cells, illustrated in Fig. 1 [9].

A station like this can be installed at locations with high solar exposure, which significantly limits the number of locations for construction. Hybrid systems can be applied much more widely in situations of insufficient sunlight. One may presume that the

increasing popularity of electric vehicles and continuous work on improving renewable energy sources and energy accumulators will lead to the popularisation of such solutions.

This paper presents a concept of an electric vehicles' autonomous charging station powered by a hybrid renewable generation system.

## 2. Design assumptions

The electric vehicles market is characterised by a great degree of diversity. From the perspective of power supply infrastructure, the charging standard with which cars must be compliant is of the greatest significance. The most widely propagated standard of quick electric vehicle chargers is currently the Chademo standard. Charging stations with 50 kW capacity, 500 V DC voltage and 125 A current are used most commonly [1]. In this configuration, vehicle charging time ranges from 15 to 30 minutes. Electrical vehicles from most manufacturers are compliant with this standard. The storage system is important from the perspective of the distance that an automobile can travel after a single charging cycle. This feature also influences on the localisation of charging stations, which should ensure user convenience.

The vehicle charging station in question is located in the Warmińsko-Mazurskie Voivodeship, at a site that is distant from the power grid. The station's surroundings have high appeal to tourists. The original concept presented here is intended to create possibilities of moving over grasslands without polluting the environment.



Fig. 1. Autonomous vehicle charging station powered by photovoltaic cells

The charging station is compliant with the Chademo standard, so its capacity cannot be less than 50 kW. It is connected to a microgrid, which operates independently of the power grid. To ensure proper reliability of the microgrid, two types of energy sources are installed: photovoltaic cells and wind power plant. A model of the microgrid and the vehicle charging station connected to it was made by means of Homer Energy software [8]. The following assumptions were accepted in the model:

- the station makes it possible to charge 6 vehicles daily during the period from May to September, and during the period from October to April – 5 (this assumption arises from the fact that more people use passenger vehicles in the summer)

- the average capacity of an electric car’s battery is approx. 35 kWh, and the vehicle charges up to 80% of this value in one quick charging cycle
- average daily energy demand is accepted to be 140 kWh
- the capacity of the microgrid’s accumulator, while maintaining state of charge (SOC) at no less than 30%, is enough to cover 2.5 times the daily energy demand.

In summary, average annual electricity demand is accepted to be 51,000 kWh. Load profiles, daily and monthly, implemented in the software are illustrated in Fig. 2. Energy used on internal load is included as well.

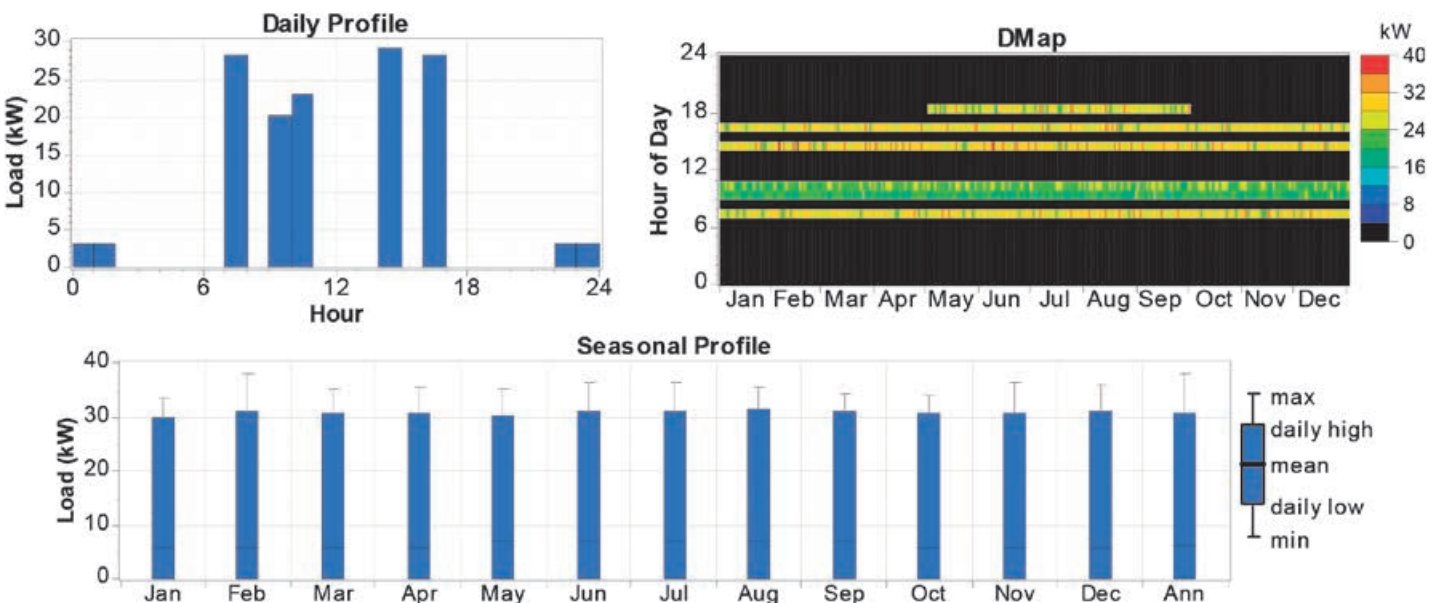


Fig. 2. Vehicle charging station load profiles: daily, monthly

### 3. Description of the model

The primary elements of the hybrid system (microgrid) powering the charging station are: wind power plant, photovoltaic system and energy storage. A model of the proposed system is shown in Fig. 3.

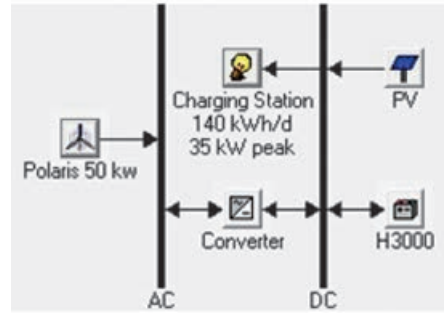


Fig. 3. Scheme of the proposed model in the Homer Energy program

#### Selection of photovoltaic panels

Poland’s geographical situation is not favourable in terms of available sunlight. The average annual quantity of solar radiation amounts to 1000÷1100 kWh/m<sup>2</sup>/year [3, 4, 6]. Central and eastern Poland have the greatest insolation. Due to conditions in these regions, available radiation should be utilised to the greatest possible extent. In relation to this, monocrystalline silicon cells characterised by the greatest efficiency were selected in the model. Panels are oriented towards the south and positioned at a 35° to the base, which ensures optimal operating conditions for photovoltaic cells installed at our geographical location [3]. Losses in the system (voltage drops, converter efficiency, ambient temperature) were accepted to 14%. At any time of a day cells are not overshadowed, since this could significantly reduce the amount of generated energy [7]. Fig. 4 presents input data to the Homer Energy program. Photovoltaics generation was simulated

on the basis of this data. A system with a total capacity of 40 kW was selected.

#### Selection of wind turbine set

Energy gain from the wind turbine system depends on wind conditions in the given area. Four wind zones can be distinguished in Poland [3, 6]. The proposed object will be located in a zone where average wind speed is 3.5 m/s. The input data to Homer Energy program have been illustrated in Fig. 5. Due to low

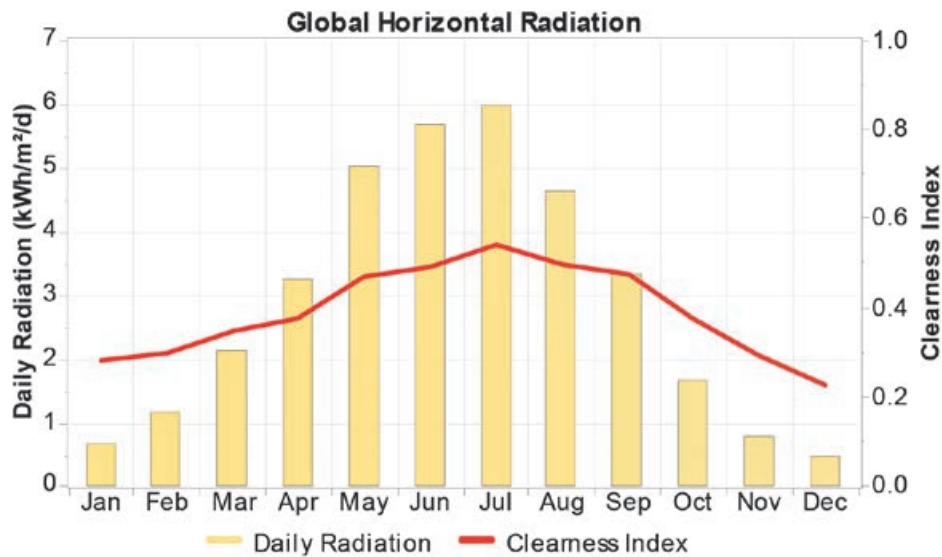


Fig. 4. Average daily amount of sunlight at individual months

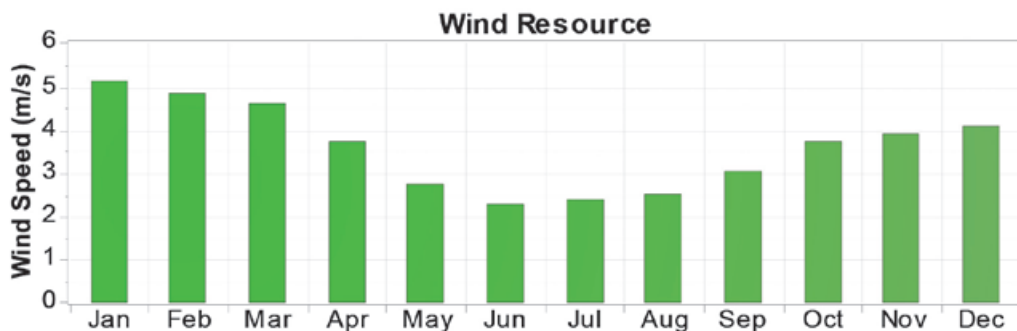


Fig. 5. Average wind speed in individual months

average wind speed, it is necessary to apply a wind turbine that starts at low wind speeds. It is equally important for the generator to reach rated power quickly. Considering the aforementioned criteria, a turbine with a horizontal axis of rotation from the Polaris company, with a power of 50 kW, was selected. The tower height is 36.6 m; and the object is situated in a forested area.

**Selection of accumulator battery**

The energy accumulator in the proposed solution makes it possible to cover 2.5 daily’s energy demand according to the assumed load profile. It was decided to apply 24 OPzS 3000 lead-acid batteries from Hoppecke, with a rated capacity of 3000 Ah per cell (6 kWh). The total capacity of the accumulator amounts to 480 kWh while its useful capacity equals 336 kWh.

**4. Testing and analysis**

Tests were conducted in the Homer Energy program on the basis of the data given above. Data on energy generated and consumed by the system are presented in Fig. 6.

One can observe that the majority of energy, as much as 66%, comes from the wind power plant, with the solar power plant making up the remaining 34%. And this is despite the fact that the wind turbine set has just 20% more rated power. Poor conditions of solar exposure at this latitude and the fact that the PV system works only during days are the reasons for this result. The whole system generates 51 MWh over the course of a year, which completely covers the station’s demand. One can also observe that some of the energy generated cannot be consumed (excess electricity factor) due to the limited capacity of the storage system and the load distribution specific to systems of this type.

Production	kWh/yr	%	Consumption	kWh/yr	%	Quantity	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

Fig. 6. Data on annual energy generation and consumption in the tested hybrid system

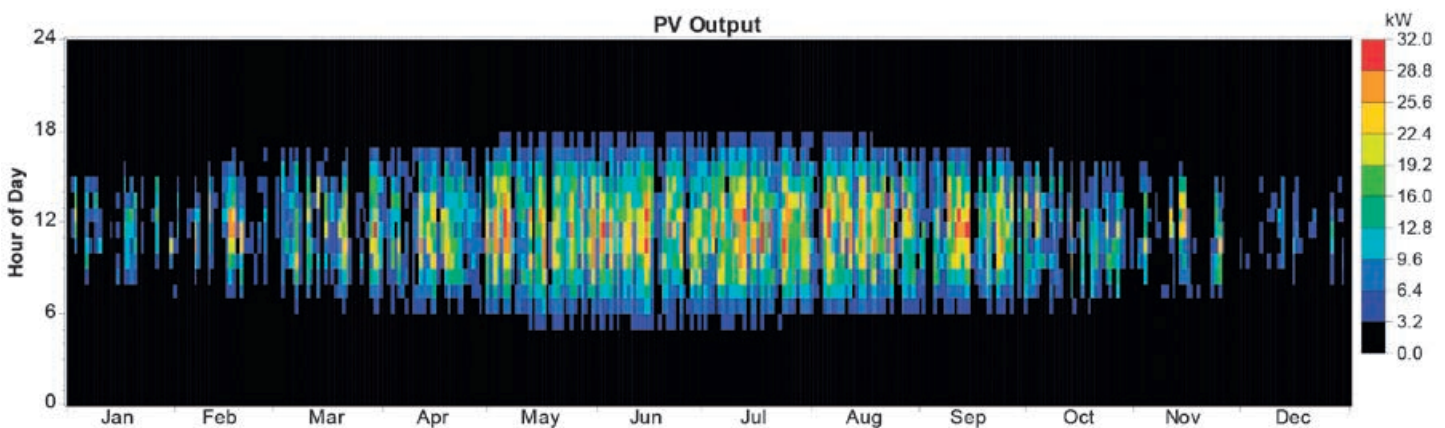


Fig. 7. Average power generated by photovoltaic cells over the course of a year

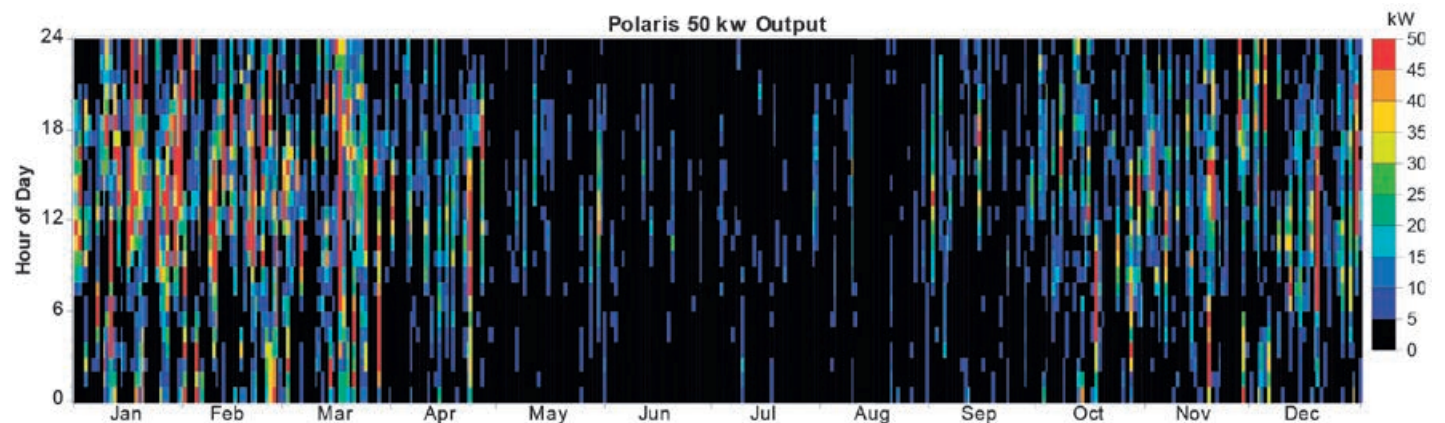


Fig. 8. Average power generated by wind turbine system over the course of a year

Unmet electric load is close to zero, meaning that it is possible to cover the station's demand for electricity at all times in practice.

Fig. 7 shows the hourly and monthly distribution of electricity generation by photovoltaic cells. Power was generated for nearly 4500 h/year in total. Boundaries between individual seasons can clearly be seen. Significant amount of energy is generated during the summer, while practically no energy is generated in the winter. Another energy source independent of the factors affecting PV cells is thus necessary. A wind turbine is such a source in the proposed system. A graphical illustration of its hourly operating range is presented in Fig. 8.

The turbine set has tendencies opposing those of the photovoltaic source. More energy is generated during the winter. This is clearly visible in Fig. 9, which compares the average monthly

power generation of both sources. The wind power plant operates for a total of 6500 h/year, which is nearly 145% of the solar plant's operating time.

Fig. 10 presents the storage system's state of charge for individual hours over the course of a year.

The greatest state of discharge takes place during the summer, when energy consumption is elevated. A low state of charge also occurs during the winter. This is due to short days and small amount of solar radiation reaching the considered latitude. The battery accumulated over 31 MWh of energy in total over the course of a year, and dispensed nearly 27 MWh. The difference between these values is the loss occurring in energy storage.

Several problems can be seen, based on the results presented above. Significant over dimensioning of individual elements of the hybrid system is undoubtedly one of the disadvantages of the

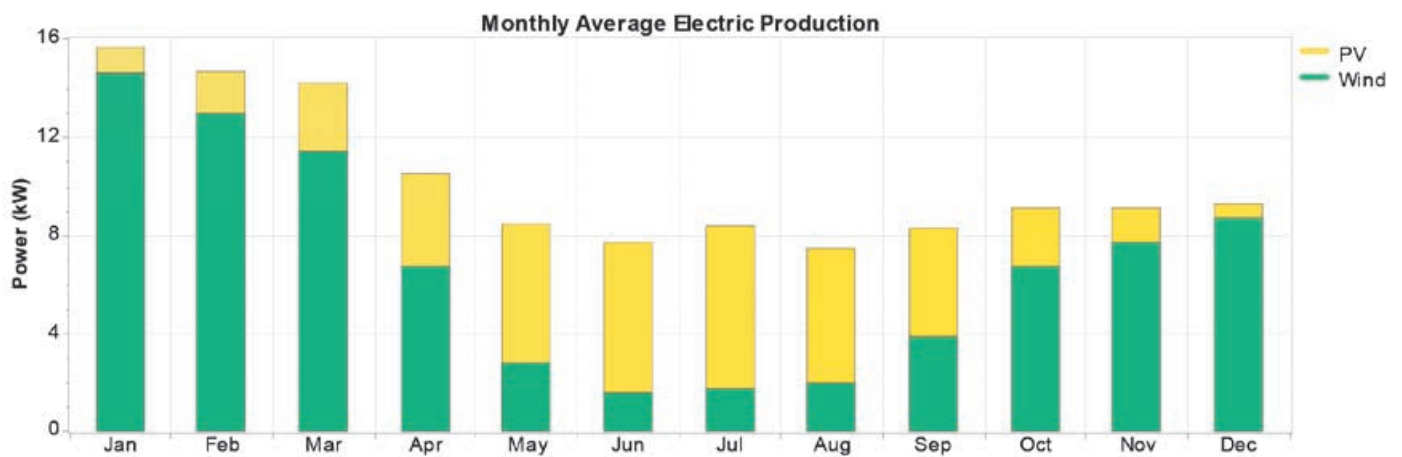


Fig. 9. Average monthly electricity generation in the system

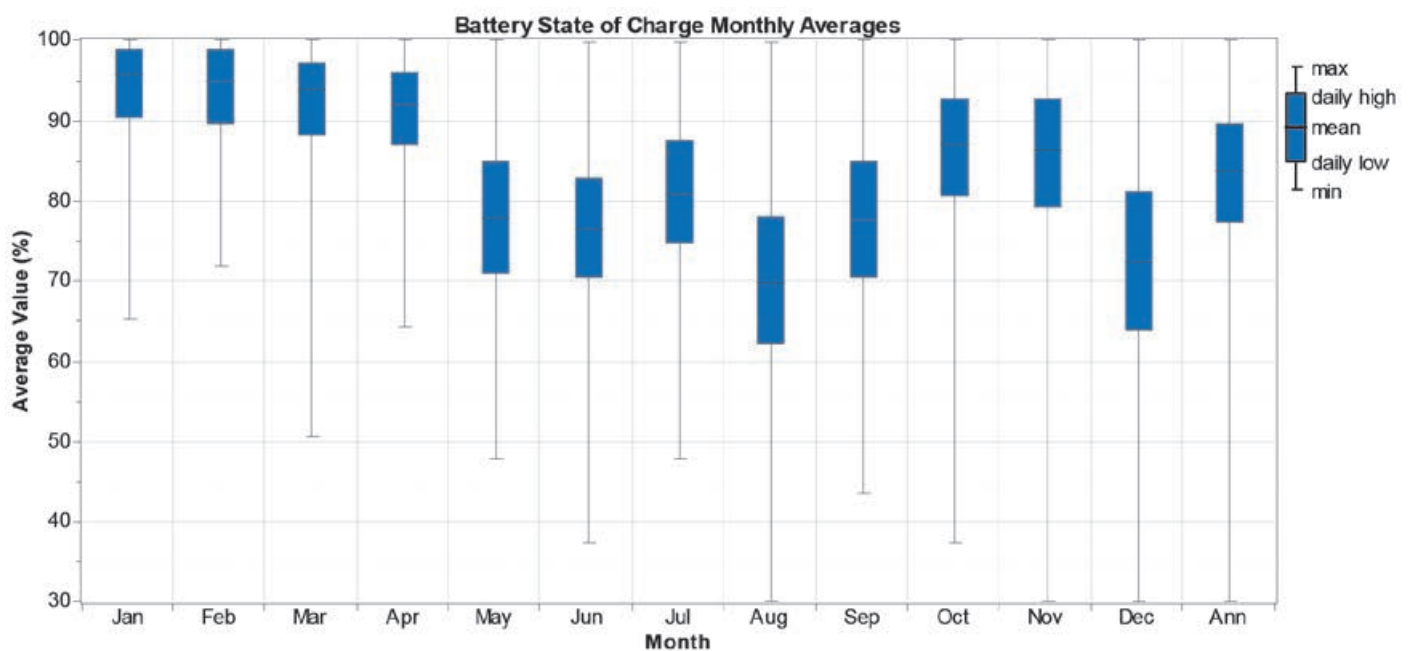


Fig. 10. Battery's state of charge in individual months

presented solution. The reason is the characteristics of the load. Quick electric vehicle chargers require access to large amount of energy within short time. This means that an energy accumulator of significant capacity must be placed in the system. This, in turn, necessitates the installation of energy sources of the appropriate size, to replenish power shortages within a relatively short time. The power sources themselves may be another problem. Wind turbines and photovoltaic cells are undoubtedly sources that are volatile and difficult to predict, which may cause energy shortages in exceptionally unfavourable weather. This is also why the battery was significantly over dimensioned in the considered example. The cost of the presented hybrid system may be another problem. The station's relatively large elements require significant financial outlays. A comparison of construction costs and operational costs of the presented system with the construction costs of the proper power infrastructure to lead power to a given location are undoubtedly issues that require analysis. Such analysis would certainly clarify what distance between the autonomous electric vehicle charging station and the available power grid would be financially feasible. However, this issue is not the subject of this analysis, and will not be discussed in detail.

## 5. Conclusions

Autonomous vehicles' charging stations may be the only feasible solution, both practically and financially, in certain regions of the world. The hybrid system "powered" by renewable energy sources applied in the station is sufficient for charging several cars per day. Depending on the station's location, only the power of individual sources could change according to the annual distribution of solar radiation or wind speed. This would help to optimise electricity generation for vehicle charging purposes. The profitability of such an investment is a matter that still requires consideration. However, considering the trends in development

of renewable energy sources and electric cars, which are linked to falling prices of these goods, autonomous vehicle charging stations may play a significant role on the electric vehicles market in the future.

## REFERENCES

1. K. Biernat, K. Nita, S. Wójtowicz, Architektura mikrosieci do inteligentnego ładowania pojazdów elektrycznych [Architecture of microgrid for intelligent charging of electrical vehicles], *Prace Instytutu Elektrotechniki*, z. 260, 2012.
2. M. Ćwil, Możliwości wykorzystania energetyki wiatrowej małej mocy w gminach, prezentacja Polska Izba Energetyki Odnawialnej [Possibilities of using low-power wind energy in communes, presentation of the Polish Chamber of Renewable Energy], Warsaw 2009.
3. E. Klugmann-Radziemska, Fotowoltaika w teorii i praktyce [Photovoltaics in theory and practice], Legionowo 2010.
4. J. Paska, Wytwarzanie rozproszone energii elektrycznej i ciepła [Distributed generation of electricity and heat], Warsaw 2010.
5. J. Paska, P. Biczal, M. Kłos, Hybrid power systems – An effective way of utilising primary energy sources, *Renewable Energy*, Vol. 34, No. 11, Nov. 2009, pp. 2414–2421.
6. J. Paska, T. Surma, M. Sałek, Current status and perspectives of renewable energy sources in Poland, *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, Vol. 13, No. 1, 2009, pp. 142–154.
7. J. Paska et al., Aspekty techniczne i ekonomiczne wykorzystania urządzeń energoelektronicznych w fotowoltaicznych układach wytórczych [Technical and economic aspects of using electronic power devices in photovoltaic generating systems], *Elektroenergetyka – Współczesność i Rozwój*, No. 1, 2011, pp. 42–47.
8. Getting started Guide for Homer, instrukcja programu.
9. <http://envisionsolar.com/ev-arc/> – accessed 27.02.2015

### Józef Paska

Warsaw University of Technology, Institute of Electrical Power Engineering  
 e-mail: Jozef.Paska@ien.pw.edu.pl

A graduate of Warsaw University of Technology. Professor of Technical Sciences (since 2007), head of the Electric Power Plants and Economics of Electrical Power Engineering Division at Warsaw University of Technology, member of the Power Engineering Problems Committee and the Electrical Engineering Committee of the Polish Academy of Sciences, chairman of the of the Nuclear Energy Committee of the Association of Polish Electrical Engineers (SEP).

Author of over 300 articles and papers, and 11 monographs and academic textbooks. Scientific interests concern power generation, including distributed generation and RES use, electrical power management and economics, power system reliability and power supply security.

### Rafał Bielas

Warsaw University of Technology, Faculty of Electrical Engineering  
 e-mail: bielasr@ee.pw.edu.pl

Graduated from the Faculty of Electrical Engineering of Warsaw University of Technology, gaining the professional degree of Master of Science, Engineer, Electrician in 2014. In the same year, he commenced 3rd degree studies at the Institute of Electrical Power Engineering at Warsaw University of Technology.

The application of energy storage systems in power grids and the use of power plants based on renewable energy sources are among his main interests.

**Magdalena Błędzińska**

Warsaw University of Technology, Faculty of Electrical Engineering

e-mail: bledzinm@ee.pw.edu.pl

Graduated as M.Sc. from the Faculty of Electrical Engineering at Warsaw University of Technology in 2014, speciality in Electrical Power Engineering. In the same year, she commenced doctoral studies at the Institute of Electrical Power Engineering at Warsaw University of Technology. During her Master's studies, she completed a 3-month internship at Fachhochschule Köln in Germany.

The operation of distributed energy sources in microgrids is her main field of interest. Her research focuses on microgrid control and management mechanisms, and she has particular interest in subjects such as integration of distributed sources, power flow control, effective use of energy storage systems.

**Mariusz Kłos**

Warsaw University of Technology, Institute of Electrical Power Engineering

e-mail: Mariusz.Klos@ien.pw.edu.pl

Graduated from the Faculty of Electrical Engineering at Warsaw University of Technology (2002). PhD degree received in 2007. Since 2006 he has been working at the Warsaw University of Technology, in the Institute of Electrical Power Engineering, Electric Power Plants and Economics of Electrical Power Engineering Division. In 2011, he completed a six-month internship at the Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, USA.

His scientific interests are generally concentrated on the means of effective integration of generation units operated in various technologies (especially alternative and RES tech), and the integration of energy storages with the power system with the use of electronic power circuits. Hybrid generation systems and independent power microsystems (AC and DC microgrids) are his other areas of interest, from both a technical and economic perspective.

**Łukasz Rosłaniec**

Warsaw University of Technology, Institute of Electrical Power Engineering

e-mail: Lukasz.Roslaniec@ien.pw.edu.pl

Graduated with a master's degree in electrical engineering in 2008. That same year he enrolled to doctoral studies at the Institute of Electrical Power Engineering of Warsaw University of Technology. In 2009, he completed a four-month internship at RWTH Aachen in Germany. In 2011, he completed a six-month internship at the Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, USA. In 2014 he defended his doctoral dissertation, which was awarded. Now an assistant professor at the Institute of Electrical Power Engineering of Warsaw University of Technology.

His research focuses mainly on the issue of electricity transfer from distributed sources to the grid. In particular his interests include the issues related to power quality improvement, high performance electricity conversion, and converters interoperable with distributed sources.

This is a supporting translation of the original text published in this issue of "Acta Energetica" on pages 109–115. When referring to the article please refer to the original text.

PL

## Autonomiczna stacja ładowania pojazdów elektrycznych

### Autorzy

Józef Paska  
Mariusz Klos  
Łukasz Rosłaniec  
Rafał Bielas  
Magdalena Błędzińska

### Słowa kluczowe

odnawialne źródła energii, samochody elektryczne, stacja ładowania, mikro sieci

### Streszczenie

W artykule zaprezentowano model autonomicznej stacji ładowania pojazdów elektrycznych. Składa się ona z odnawialnych źródeł energii: turbosespołu 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 przedstawiono założenia projektowe oraz zaprezentowano rozwiązania technologiczne. W dalszej części artykułu omówiono wyniki przeprowadzonych symulacji oraz ich analizę, a następnie problemy zaobserwowane podczas symulacji oraz możliwości ich rozwiązania.

### 1. Wstęp

Zainteresowanie odnawialnymi źródłami energii (OZE) stale rośnie. Niewątpliwie trend taki jest spowodowany działaniami politycznymi państw należących do Unii Europejskiej. Kraje te są zobowiązane do redukcji emisji szkodliwych gazów cieplarnianych oraz zwiększania udziału odnawialnych źródeł energii w całkowitym bilansie energetycznym. Cele te muszą być spełnione przy zapewnieniu odpowiedniej niezawodności zasilania odbiorów, co w przypadku źródeł odnawialnych nie jest łatwe do osiągnięcia. Ograniczenie niestabilności tych źródeł może być osiągnięte przez instalowanie zasobników energii czy łączenie źródeł różnego rodzaju w jednej sieci. Takie konfiguracje z powodzeniem mogą być stosowane do zasilania różnego typu obiektów w miejscach bez infrastruktury elektroenergetycznej. Jednym

z takich odbiorów mogą być stacje ładowania pojazdów elektrycznych. Rosnące zainteresowanie koncernów samochodowych tego typu rozwiązaniami niewątpliwie będzie wpływać na rozwój stacji ładowania. Do zasilania tych instalacji mogą zostać użyte systemy hybrydowe oparte na OZE [5]. Na świecie zauważa się już zainteresowanie autonomicznymi stacjami ładowania. Amerykańska firma ENVISION SOLAR zaprezentowała w 2014 roku autonomiczną stację ładowania pojazdów elektrycznych EV ARC (ang. *Electric Vehicle Autonomous Renewable Charger*) (fot. 1) [9].

Stacja taka może być instalowana w miejscach, gdzie warunki słoneczne są bardzo dobre, co znacząco ogranicza możliwości ich lokalizacji. W sytuacji niedostatecznego nasłonecznienia dużo szersze zastosowanie znajdują systemy hybrydowe. Można

przypuszczać, że zwiększająca się popularność samochodów elektrycznych oraz ciągłe prace nad ulepszaniem źródeł OZE i zasobników energii będą zmierzać do popularyzacji tego typu rozwiązań.

W artykule zaprezentowano koncepcję autonomicznej stacji ładowania pojazdów elektrycznych zasilanej z hybrydowego układu wytwórczego.

### 2. Założenia projektowe

Rynek pojazdów elektrycznych charakteryzuje się dużą różnorodnością. Z punktu widzenia infrastruktury zasilającej największe znaczenie ma standard ładowania, z jakim samochody mogą współpracować. Najbardziej rozpowszechnionym obecnie standardem szybkich ładowarek pojazdów elektrycznych jest standard Chademo. Najczęściej stosowane są stacje ładowania o mocy 50 kW, napięciu 500 V DC oraz prądzie 125 A [1]. Czas ładowania pojazdu w takim trybie wynosi od 15 do 30 minut. Obecnie samochody elektryczne większości producentów są zgodne z tym standardem. Bateria akumulatorów jest istotna z punktu widzenia dystansu, który auto może pokonać po jednorazowym cyklu ładowania. Cecha ta ma także znaczenie dla lokalizacji stacji ładowania, które powinny zapewniać użytkownikom komfort.

Rozpatrywana stacja ładowania pojazdów jest zlokalizowana w województwie warmińsko-mazurskim, w miejscu odległym od systemu elektroenergetycznego. Okolica, w której się znajduje, ma wysokie walory turystyczne. Autorska koncepcja, którą przedstawiono, ma na celu stworzenie możliwości poruszania się po terenach zielonych bez zanieczyszczenia środowiska.

Stacja ładowania 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: ognia fotowoltaiczne oraz elektrownię wiatrową.

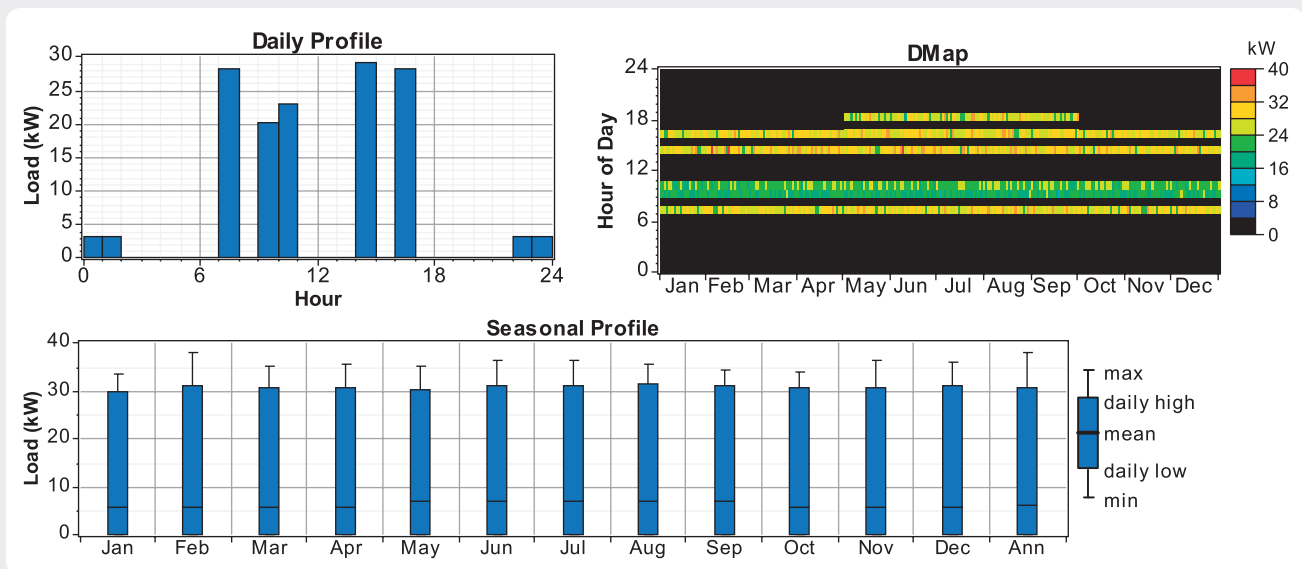


Fot. 1. Autonomiczna stacja ładowania pojazdów zasilana z ogniw fotowoltaicznych

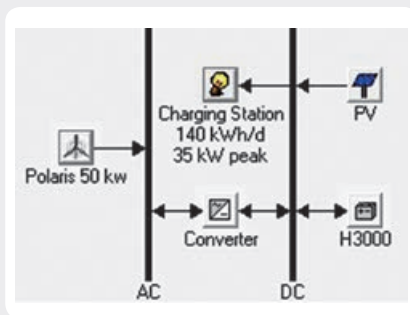


This is a supporting translation of the original text published in this issue of "Acta Energetica" on pages 109–115. When referring to the article please refer to the original text.

PL



Rys. 1. Profile obciążenia stacji ładowania pojazdów: dobowy, miesięczne



Rys. 2. Schemat modelu układu w programie Homer Energy

Model mikro sieci oraz przyłączonej do niej stacji ładowania pojazdów wykonano w programie komputerowym Homer Energy [8]. 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, że 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 mikro sieci, 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 51 000 kWh. Profile obciążenia, dobowy i miesięczny, zaimplementowane w programie zilustrowano na rys. 1.

### 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 rys. 2.

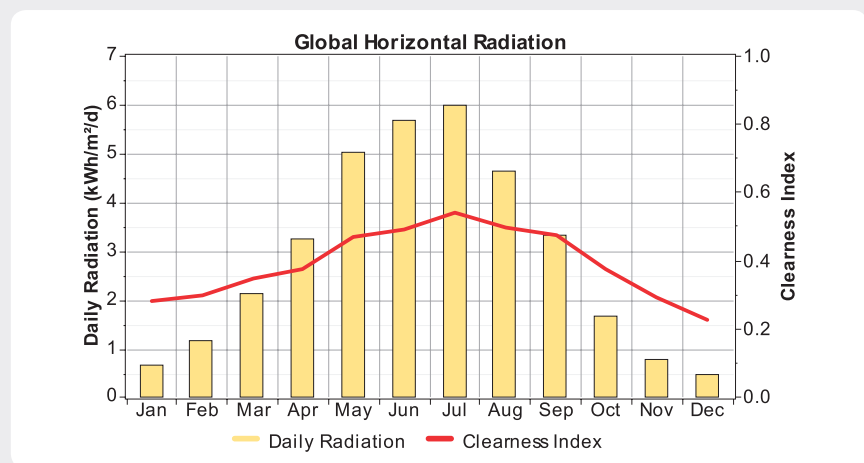
#### Dobór paneli fotowoltaicznych

Położenie geograficzne Polski nie jest bardzo korzystne pod względem dostępnego natężenia promieniowania słonecznego. Średnia roczna ilość promieniowania słonecznego wynosi 1000÷1100 kWh/m<sup>2</sup>/rok [3, 4, 6]. Największe nasłonecznienie występuje w centralnej i wschodniej Polsce. 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 [3]. Straty w układzie (spadki napięć, sprawność przekształtnika, temperatura otoczenia) przyjęto na poziomie 14%. Ogniwa w żadnej porze dnia nie są zacienione, gdyż mogłoby to spowodować znaczący spadek ilości produkowanej energii [7]. Na rys. 3 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.

#### Dobór turbosespołu wiatrowego

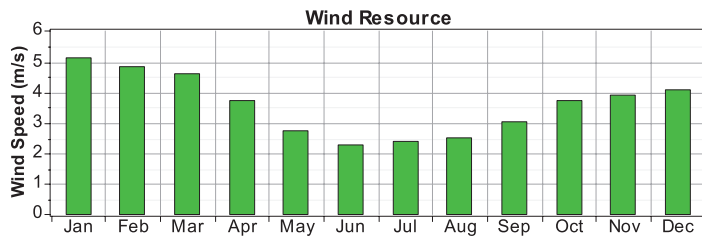
Uzysk energii z turbosespołu wiatrowego zależy od warunków wietrzności na danym terenie. W Polsce można wyróżnić cztery strefy wietrzności [3, 6]. Proponowany obiekt będzie zlokalizowany w strefie, w której średnia prędkość wiatru wynosi 3,5 m/s. W związku z małą wartością średniej prędkości wiatru jest konieczne zastosowanie turbiny startującej przy niskich prędkościach. Równie ważne jest szybkie



Rys. 3. Średnia dzienna ilość promieniowania słonecznego w poszczególnych miesiącach

This is a supporting translation of the original text published in this issue of "Acta Energetica" on pages 109–115. When referring to the article please refer to the original text.

PL



Rys. 4. Średnia prędkość wiatru w poszczególnych miesiącach

uzyskanie przez generator mocy nominalnej. Biorąc pod uwagę wspomniane kryteria, do modelu została wybrana turbina z poziomą osią obrotu firmy Polaris o mocy 50 kW. Wieża ma wysokość 36,6 m. Obiekt jest zlokalizowany na terenach leśnych. Dane wejściowe programu Homer Energy zostały zilustrowane na rys. 4.

#### Dobór baterii akumulatorów

Zasobnik energii w zaproponowanym rozwiązaniu pozwala na pokrycie 2,5-dniowego zapotrzebowania energetycznego o założonym profilu obciążenia. Zdecydowano się na zastosowanie zasobników kwasowo-ołowiowych firmy Hoppecke 24 OPzS 3000, o nominalnej

pojemności pojedynczej komórki 3000 Ah (6 kWh). Całkowita pojemność zasobnika wynosi 480 kWh, zaś jego pojemność użyteczna 336 kWh.

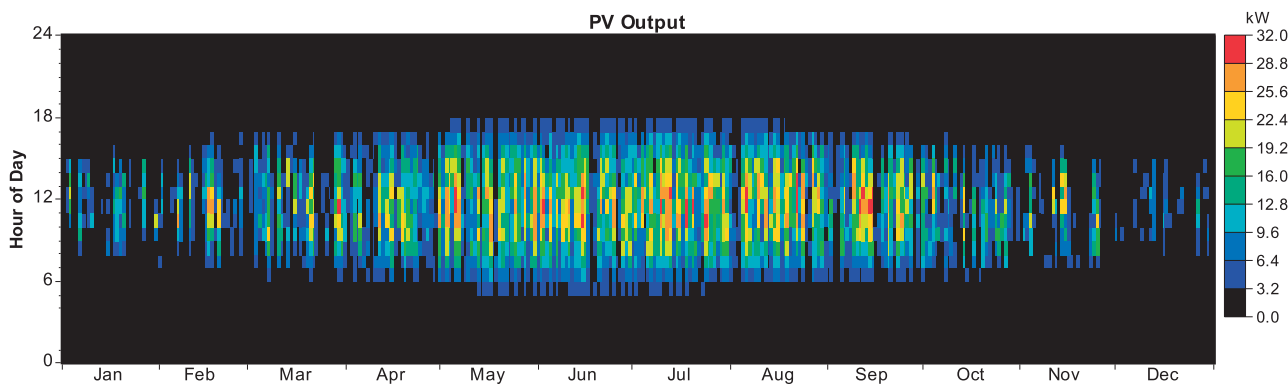
#### 4. Badania i analiza

Na podstawie przywołanych danych zostały wykonane badania w programie Homer Energy. Na rys. 5 przedstawiono dane dotyczące energii wyprodukowanej i zużytej przez układ.

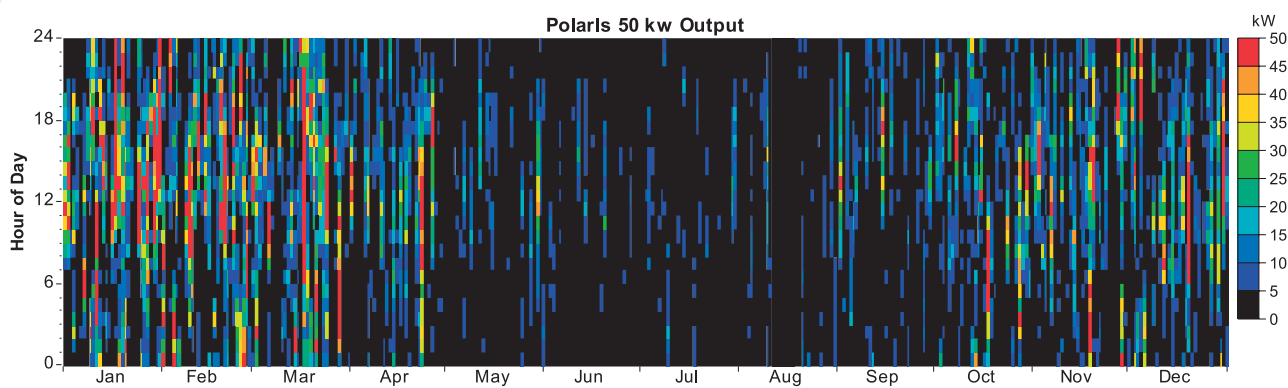
Można zauważyć, że zdecydowana większość energii, bo aż 66%, pochodzi z elektrowni wiatrowej, natomiast pozostałe 34% z elektrowni słonecznej. Dzieje się tak mimo większej jedynie o 20% mocy turboszespołu wiatrowego. Przyczyną takiego wyniku są słabe warunki nasłonecznienia na tej szerokości geograficznej 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

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



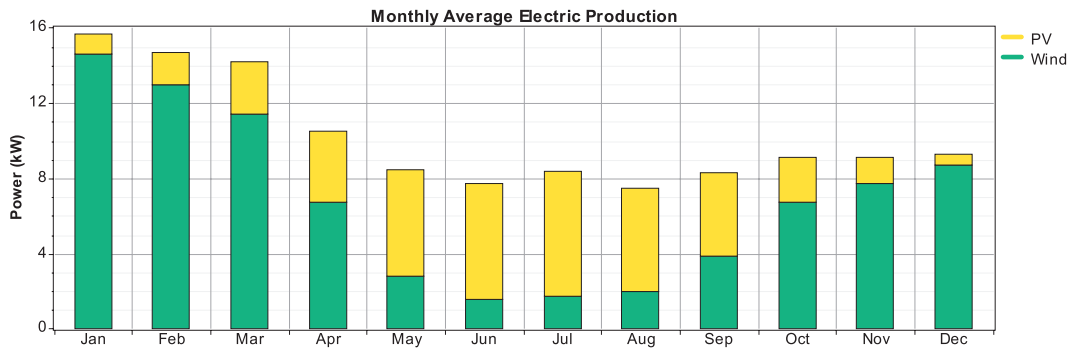
Rys. 6. Średnia moc produkowana w ogniwach fotowoltaicznych w ciągu roku



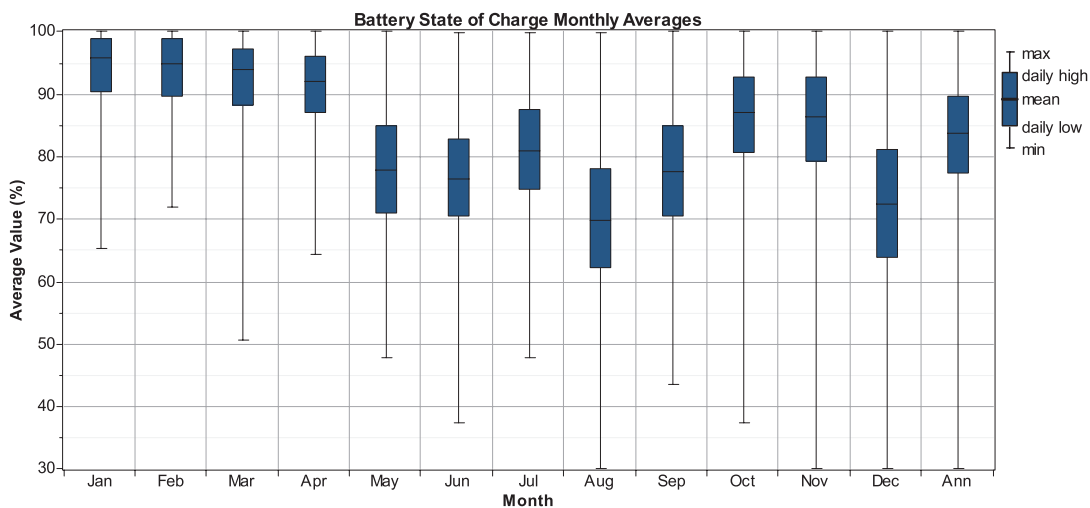
Rys. 7. Średnia moc produkowana w turboszespołe wiatrowym w ciągu roku

This is a supporting translation of the original text published in this issue of "Acta Energetica" on pages 109–115. When referring to the article please refer to the original text.

PL



Rys. 8. Średnia miesięczna produkcja energii elektrycznej w układzie



Rys. 9. Stopień naładowania baterii w poszczególnych miesiącach

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 tym praktycznie przez cały czas możliwe jest pokrycie zapotrzebowania stacji na energię elektryczną.

Na rys. 6 przedstawiono rozkład godzinowy oraz miesięczny energii elektrycznej generowanej przez panele fotowoltaiczne. Łącznie energia była wytwarzana przez prawie 4500 h/rok. 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 turbosespół wiatrowy. Grafika przedstawiająca godzinowy zakres jego pracy została przedstawiona na rys. 7.

Widać na nim odwrotną tendencję niż dla źródła fotowoltaicznego. Więcej energii uzyskuje się w okresach zimowych. Dobrze to zostało zobrazowane na rys. 8, porównującym średnią miesięczną produkcję energii obydwu źródeł. Elektrownia wiatrowa

pracuje łącznie ok. 6500 h/rok, co stanowi niemal 145% czasu pracy elektrowni słonecznej.

Na rys. 9 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 fakt, że dni są krótkie, a ilość promieniowania słonecznego docierającego na rozpatrywaną szerokość geograficzną mała. Łącznie zasobnik baterijny zgromadził ponad 31 MWh energii w ciągu roku, natomiast oddał niecałe 27 MWh. Różnica pomiędzy wymienionymi wielkościami to straty występujące w magazynie energii.

Na podstawie wyników przedstawionych powyżej można zauważyć kilka problemów. Niewątpliwie jedną z wad zaprezentowanego rozwiązania jest znaczne przewymiarowanie poszczególnych elementów układu hybrydowego. Powodem 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 uzupełnić braki mocy w stosunkowo krótkim czasie. Kolejnym problemem mogą być same źródła zasilania. Niewątpliwie turbina wiatrowa oraz ogniwa fotowoltaiczne należą do źródeł niespokojnych oraz trudnych do prognozowania, co może spowodować braki energii przy wyjątkowo niekorzystnych warunkach atmosferycznych. Dlatego też w rozpatrywanym przykładzie zasobnik baterijny 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 a dostępną siecią elektroenergetyczną jej budowa byłaby opłacalna finansowo. Zagadnienie to nie jest jednak tematem tej analizy i nie będzie szczegółowo omawiane.

This is a supporting translation of the original text published in this issue of "Acta Energetica" on pages 109–115. When referring to the article please refer to the original text.

PL

## 5. Wnioski

Autonomiczna stacja ładowania pojazdów w niektórych rejonach świata może stanowić jedyne możliwe do zastosowania i opłacalne rozwiązanie. Zastosowany w stacji układ hybrydowy, zbudowany z odnawialnych źródeł energii, jest wystarczający do zasilenia kilku samochodów dziennie. W zależności od miejsca lokalizacji stacji zmianie mogłaby 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 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 odegrać istotną rolę na rynku pojazdów elektrycznych.

## Bibliografia

1. Biernat K., Nita K., Wójtowicz S., Architektura mikrosieci do inteligentnego ładowania pojazdów elektrycznych, *Prace Instytutu Elektrotechniki* 2012, z. 260.
2. Ćwil M., Możliwości wykorzystania energetyki wiatrowej małej mocy w gminach, prezentacja Polska Izba Energetyki Odnawialnej, Warszawa 2009.
3. Klugmann-Radziemska E., Fotowoltaika w teorii i praktyce, Wydawnictwo BTC, Legionowo 2010.
4. Paska J., Wytwarzanie rozproszonej energii elektrycznej i ciepła, Oficyna Wydawnicza PW, Warszawa 2010.
5. Paska J., Biczal P., Kłos M. Hybrid power systems – An effective way of utilising primary energy sources, *Renewable Energy* 2009, Vol. 34, No. 11, s. 2414–2421.
6. Paska J., Surma T., Sałek M., Current status and perspectives of renewable energy sources in Poland, *Renewable & Sustainable Energy Reviews* 2009, Vol. 13, No. 1, s. 142–154.
7. Paska J. i in., Aspekty techniczne i ekonomiczne wykorzystania urządzeń energoelektronicznych w fotowoltaicznych układach wytwórczych, *Elektroenergetyka – Współczesność i Rozwój* 2011, nr 1, s. 42–47.
8. Getting started Guide for Homer – instrukcja programu.
9. <http://envisionsolar.com/ev-arc/> [dostęp 27.02.2015].

## Józef Paska

prof. dr hab. inż.  
 Politechnika Warszawska  
 e-mail: Jozef.Paska@ien.pw.edu.pl

Absolwent Politechniki Warszawskiej. Od 2007 roku jest profesorem nauk technicznych. Profesor zwyczajny, kierownik Zakładu Elektrowni i Gospodarki Elektroenergetycznej PW, członek Komitetu Problemów Energetyki przy Prezydium PAN oraz Komitetu Elektrotechniki PAN, przewodniczący Komitetu Energetyki Jądrowej SEP. Jego zainteresowania naukowe dotyczą technologii wytwarzania energii elektrycznej, w tym wytwarzania rozproszonego i wykorzystania odnawialnych zasobów energii, gospodarki elektroenergetycznej i ekonomiki elektroenergetyki, niezawodności systemu elektroenergetycznego i bezpieczeństwa zasilania w energię elektryczną. Autor ponad 300 artykułów i referatów oraz 11 monografii i podręczników akademickich.

## Mariusz Kłos

dr inż.  
 Politechnika Warszawska  
 e-mail: Mariusz.Klos@ien.pw.edu.pl

Ukończył studia magisterskie na Wydziale Elektrycznym Politechniki Warszawskiej (2002). Stopień naukowy doktora uzyskał w 2007 roku. Od 2006 roku pracuje na Politechnice Warszawskiej w Instytucie Elektroenergetyki, w Zakładzie Elektrowni i Gospodarki Elektroenergetycznej. W 2011 roku odbył sześciomiesięczny staż na Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, USA. Jego zainteresowania naukowe koncentrują się głównie wokół sposobów efektywnej integracji jednostek wytwórczych różnych technologii (w szczególności odnawialnych i alternatywnych) oraz zasobników energii z systemem elektroenergetycznym, przy wykorzystaniu układów energoelektronicznych. Innym obszarem zainteresowań są hybrydowe układy wytwórcze i niezależne mikrosystemy elektroenergetyczne (mikrosieci AC i DC) zarówno w ujęciu technicznym, jak i ekonomicznym.

## Łukasz Rosłaniec

dr inż.  
 Politechnika Warszawska  
 e-mail: Lukasz.Roslanienc@ien.pw.edu.pl

Tytuł zawodowy magistra inżyniera otrzymał w 2008 roku. Tego samego roku został doktorantem w Instytucie Elektroenergetyki Politechniki Warszawskiej. W 2009 roku odbył czteromiesięczny staż na RWTH Aachen w Niemczech. Natomiast w 2011 roku odbył sześciomiesięczny staż na Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, USA. W 2014 roku obronił rozprawę doktorską, która została wyróżniona. Obecnie pracuje na stanowisku adiunkta w Instytucie Elektroenergetyki Politechniki Warszawskiej. W swoich badaniach koncentruje się głównie na zagadnieniu przekazywania energii z rozproszonych źródeł energii do sieci elektroenergetycznej. W obszarze jego zainteresowań znajdują się szczególnie problemy związane z poprawą jakości energii elektrycznej, wysoko sprawną konwersją energii elektrycznej, przekształtnikami współpracującymi z rozproszonymi źródłami energii.

## Rafał Bielas

mgr inż.  
 Politechnika Warszawska  
 e-mail: bielasmr@ee.pw.edu.pl

Ukończył studia na Wydziale Elektrycznym Politechniki Warszawskiej (2014). W tym samym roku rozpoczął studia III stopnia w Instytucie Elektroenergetyki na Politechnice Warszawskiej. Obszary jego zainteresowań: zastosowanie zasobników energii w sieciach elektroenergetycznych oraz wykorzystanie elektrowni opartych na odnawialnych źródłach energii.

## Magdalena Błędzińska

mgr inż.  
 Politechnika Warszawska  
 e-mail: bledzinm@ee.pw.edu.pl

Ukończyła studia magisterskie na Wydziale Elektrycznym Politechniki Warszawskiej, specjalność: elektroenergetyka (2014). W 2014 roku rozpoczęła studia doktoranckie w Instytucie Elektroenergetyki PW. W trakcie studiów magisterskich odbyła trzymiesięczny staż na Fachhochschule Köln w Niemczech. Głównym obszarem jej zainteresowań naukowych jest praca rozproszonych źródeł energii w strukturach mikrosieci. W swoich badaniach skupia się na mechanizmach sterowania i zarządzania mikrosiecią, w tym w szczególności interesują ją takie zagadnienia, jak integracja rozproszonych źródeł, kontrola przepływów mocy, efektywne wykorzystanie zasobników energii.