

Electric vehicles' influence on Smart Grids

Authors

Marta R. Jabłońska

Jerzy S. Zieliński

Keywords

Electric Vehicle (EV), Hybrid Electric Vehicle (HEV), Smart Grid (SG), Consumers

Abstract

Aim of the paper is to demonstrate evolution of Electric Vehicles (EV) and their influence on the Smart Grid (SG).

Starting from USA definition of the SG considering the fifth- and sixth- properties of the SG: It accommodates all generation and storage options and it enables new products, services and markets. We can determine EV role in the SG operation. Contemporary we can distinguish following types of the EV: HEVS – hybrid electric vehicles with motor and use batteries with no using electricity from external source, Pure EVs – running on electric motor powered by batteries that are recharged by plugging in the vehicle, Plug-in PHEVs – can be charged with electricity like engine power EVs and run under engine like HEVs.

The most interesting for electric power there are Pure EVs and PHEVs that are consumers and also kind of electricity storage devices (very important in SG). These types may be charged “in home”, using special station with different time of charging; there is also considered charging during the time waiting for change of lights on road nodes (junctions).

It is important to mention that EV development influence not only on SG, social- and climate- environment but also on development of new branch of industries producing equipment necessary for EV operation.

1. Introduction

Though the idea of electric car is accompanying electric power development, nevertheless in the last few years only that idea is going to be matured. According to [4] Google spent \$10 000 000 for plug-in Electric Vehicle (EV) research and testing and Warren Buffet has invested in Chinese electric car company. Now it is possible to distinguish three main types EV technologies [4]:

- HEVs – Hybrid electric vehicles with motor using gasoline and batteries and don't use electricity from external sources.
- Pure-EVs – run on electric motor powered by batteries recharged by plugging in the vehicle.
- Plug-in PHEVs – can be charged with electricity like EVs and run under engine power like hybrid electric vehicles. There are two types: parallel hybrid PHEVs in which both the electric motor and combustion engine are mechanically coupled to the wheels. Series hybrid (Extended range electric vehicles – EREVs) are PHEVs in which the electric motor is directly coupled to the wheels and the combustion engine is only used to charge the batteries when needed.

According to [13] as the most consistent solutions that are

available to the automotive industry are considered moreover:

- FCVs – Fuel Cell Vehicles
- PFCVs – Plug-in Fuel Cell Vehicles.

E. Ungar and K. Fell [8] distinguish following EV types: parallel hybrids (for example, the plug in version of Prius to be introduced by Toyota) all-electric vehicles (Tesla introduced in 2009 and the Nissan Leaf will be in US in late 2010), EREVs (Chevrolet Volt, introduced late 2010). They also use acronym PEV (Plug-in Electric Vehicle). The early PEVs will be more expensive than HEVs or conventional vehicles [14].

EVs and PHEVs have following advantages [4]:

- reduction in petroleum usage
- lower net CO₂ emissions
- operating in the electric mode they have no tailpipe emissions (NO₂, dust, etc.)
- can use the existing infrastructure for charging
- EV performance is likely to be on par with or superior to that of similar conventional vehicles, with better acceleration and very fast response.

In [8] it is pointed that despite many PEVS' advantages such as: more efficient motors (than in conventional fuel-based

vehicles), less reliance on fossil fuels, low emissions, energy storage for grid surplus and Vehicle-to-Grid capability for supporting grid during times of peak loads, there are two main disadvantages. The first one is the high cost of batteries and the second – limited driving range. Nevertheless battery technologies and capacities are constantly improving and costs are expected to be lower with a spread of the technology. Moreover the potential of using EVs' batteries for balancing the intermittency of renewable energy and providing ancillary service [15] is a promising opportunity for EVs spread.

The above mentioned advantages of EV influence on industry and market activity. According to [14] the mature market development and growth period in USA will begin in 2013 and conclude in 2017 and expansion period is assumed to begin in 2017 what means that in optimistic case 10^6 vehicles will be solved by 2015 and in a more pessimistic case – by 2017.

In Europe there are some projects for collecting more data on EVs performances and their interaction with electricity grids [4] e.g. EDF with Toyota, Saab & Volvo, Daimler & RWE, Daimler & Enel, Renault & Nissan (with Danish utility DONG) etc.

2. EV charging [1d]

The EV supply equipment (EVSE) consists of:

- Supply device – supplying electrical power and providing shock protection (it may also contain information system for measuring amount of delivered energy for EV charging).
- Power cord – cable transmitting electrical current and communication signals from the supply devices to the connector.
- Connector – plug on the power cord connecting the EVSE to charging sockets on the electric vehicle.

Two parameters of charging: its duration and power needed to recharge are dependent on several variables [13]:

- Battery's size
- Efficiency of a battery
- Driving pattern (average daily kilometers driven)
- Charge levels
- Charger's efficiency
- State of charge of a battery during operation.

In USA exist three levels of vehicle charging (tab. 1).

EVSE	Utility Service	Usage	Charge Power [kW]	Time to charge
Level 1	110V, 15 A	Opportunity	1.4	18 hours
Level 2a	220V, 15 A	Home	3.3	8 hours
Level 2b	220V, 30 A	Home/Public	6.6	4 hours
Level 3	480 V, 167 A	Public/Private	50–70	20–50 min

Tab. 1. Typical set of charging options developed for EV [4]

Except of options presented in tab. 1 it is possible to consider charging station located e.g. near cross-road, petrol station; there is also considered charging during the time of waiting for change of lights on road nodes (junctions) [5].

In [1] there are stated several solutions for EV batteries organized into three core categories: residential, public and fast/ultra-fast infrastructures. Residential charging infrastructures provide single phase AC line at $110/220 V_{rms}$ and 50/60 Hz. It provides efficient and low power vehicle charging sequences but with an assumption that vehicle is plugged all night. It implies charging during low-load periods. Public charging infrastructures are generally supplied from three phase AC mains at 50/60 Hz. Comparing to residential infrastructures, public ones can be considered as semi-fast due to the fact that a battery can be charged in few hours, i.e. during work hours. The last category, fast/ultra-fast charging infrastructures use variable voltage levels in the range between 50–700 V_{dc} due to the varies in specifications and limitations of different vehicles. This solution allows to recharge a battery in shortest possible time, even in less than 5 minutes.

It is assumed that residential charging infrastructures will be installed in individual houses in several ways: indoor, outdoor or wall mounted. Public charging stations will be available throughout the urban area, i.e.: at company parking, stores, public buildings or other parking. Due to the fact that consumer will have to pay for the charging, these stations will require an authentication and payment system. Fast/ultra-fast charging stations will be placed in highway areas and convenient city refueling points.

Development of EV implies many responsibilities on dealers, purchasers, utilities, electrician or electrical contractors and society.

Development of EV fleet influences on grid and especially on Smart Grid (SG) in global- and local- manner presented in following paragraph.

3. EV and Smart Grid

One of the SG property "It accommodates all generation and storage options" implies necessity to use electric energy produced in Renewable Energy Sources (RES) each time, i.e. also in off-peak period and the main problem is to store these RES generated energy and use it the time of peak. PHEVs charged the time off –peak period can store it and send to the grid the time of peak or more likely – could function as reserve or other ancillary services (Vehicle-to-Grid – V2G) [5]. It means that the grid has to be updated to become two-way system making possible to collect electricity from remote storages, like PHEVs car batteries. V2G is expected to be one of the core technologies for smart grids integrating renewable sources [10].

It means that ICT development is a necessity, i.e. to invest in smart meters, meter measurement system (the repository) meter reading/communication software (between meter and systems) meter system interfaces, web-enabled end –user applications, end users energy management systems.

Using V2G needs the revision of grid parameters (especially feeders) what sometimes discover necessity of distribution grid retrofitting. According to [14] many of existing primary and secondary distribution networks have not any spare capacity and no monitoring and automation capability. It also influence on design of buildings and needs modification of communications

and control technologies [3]. Influencing on billing system, V2G also changes energy market.

The large potential of V2G solutions is located in advanced lithium-ion battery and development of charging infrastructure, predicted large amount of PHEVs and EVs [10]. Lithium batteries are perceived to be the best solution for all types of rechargeable vehicles [13] as they solve the security problems due to overload. Tab. 2 presents a comparison of lead acid and lithium iron phosphate batteries. As it is shown below the performance of Li-Ion batteries is much more efficient than lead acid ones.

	Unit	Lead Acid	Li-Ion FePO ₄
Specific Energy	Wh/kg	30–40	100
Energy Density	Wh/l	60–70	200
Specific Power	W/kg	180	3000
Power Density	W/l	360	5800

Tab. 2. Comparison of lead acid and lithium iron phosphate batteries [13]

Generally, V2G is a concept, where PHEVs or EVs provide ancillary services to the grid to sell the capacity and energy of the parked vehicle on the control market [11] which is a marketplace where a control power (backup power) can be provided when needed, i.e.: in peak periods or to balance the intermittence of renewable energy sources. Availability of capacity is predicted to be very high due to the fact that vehicles are parked usually for 92% of the day. Moreover, there is no cost related to vehicles availability and they can provide the power faster than conventional control power providers [11]. Though it is important to aggregate capacities of many EVs because a capacity of simple vehicle is very small. That is why an aggregating control system should be implemented. The concept of a such system can be found in [11], V2G control scheme is proposed in [10].

PHEVs in V2G can provide control power in two ways. Firstly, start charging a PHEV to deliver down control in a period when a load is low and needs to be increased. Secondly, stop charging a vehicle when a load is high and needs to be decreased. Using PHEVs' batteries in that way is called "part controllable load". Though it is possible to add a third action that is a vehicle can discharge its battery to increase generation in the grid. That is called "part generation" [11].

Advantages from using V2G are presented in [7] where the ten-year present value of revenues produced by one V2G vehicle are presented. There were given the following assumptions:

- the vehicle is plugged and providing V2G services 80% of the time (7,008 hours per year), the other 20% of the time the car could be unplugged, being driven, or the vehicle owner could choose not to provide V2G services
- average market-clearing price for regulation is \$40/MWh and spinning reserve is \$10/MWh
- the vehicle is capable of bidirectional power flow
- there exists a 7% discount rate
- only gross revenues from capacity payments are shown. For net, one would subtract battery life costs from increased

cycling, round-trip energy losses, standby power draw, as analyzed elsewhere.

At varying power levels, discounted present value of gross revenues generated from selling regulation and spinning reserve are predicted as followed. From selling regulation the lowest gross revenues account for about 4 000 \$ minimum (at 2 kW) to nearly 30 000 \$ maximum (at 15 kW). Gross revenues generated from spinning reserve reached minimum level of about 2000 \$ (at 2 kW) to about 8 000 \$ (at 15 kW).

There have been conducted studies in several countries i.e.: USA, Canada, Portugal and Belgium [2]. Despite differences consequential to varies between differences in grids designs and power levels in individual areas, the result was that a control of charging the PHEVs is a necessity to avoid increased power peaks and losses in the system.

The implementation of PHEVs into the distribution system presents several challenges for the utility such as infrastructure's capability of supporting many PHEVs charging at the same time or necessity of costly upgrades of network assets [8]. Bringing PHEVs into distribution systems that – in many countries – are already overloaded, may take effect in a collapsing of the grid. That is why Smart Grid technologies are considered as the best solution to managing charging of the PHEVs. Thanks to smart grids it is possible to maximize the number of PHEVs in transportation systems by reducing its unfavorable effect of the system [12]. Using Demand Response and distributed generation and storage, Smart Grid is capable to decrease load in peak periods. Demand Response is the ability to curtail some electrical loads during peak periods to alleviate the need for peaking generation sources [3]. The main issue in charging PHEVs is that usually in residential loads PHEVs are plugged in peak hours (in early evening). That can have a major influence on a consumer's load pattern. In [12] it was presented that a typical residential home load with superimposed PHEV charging load in Southern California can be approximately two times higher in peak periods.

PHEVs' impact on smart grids refers also to the e-mobility. It includes several issues that needs further consideration [1]:

- providing integrated and smart charging solutions
- preparing the grid to the challenges of e-mobility
- providing storage devices
- enabling safer charging in a required time
- preventing unnecessary battery depletion.

Thus it is necessary to implement DC charge Power Electronics system. Requirements of a such system are presented in [1]. As an major requirement a guarantee of an universal supply is stated to cope with different specifications of vehicles (e.g.: small cars with a nominal energy stored in the battery sets at a level of a few kWh to trucks usually requiring several tens of kWh). Charging stations should ensure short charging time to set a state of charge at high value. In [1] these values have been specified as 10 minutes of charging and 80% of nominal state of charge. What is more, every charging point have to guarantee a fully galvanic isolation.

Discussing PHEVs' impact on smart grids, power quality issue need

to be mentioned. Power quality is one of the main consideration for the reliability and security of smart grids. Charging many PHEVs at the same time may have a negative influence on the power quality due to the fact that PHEVs' battery chargers may cause significant harmonic currents injected into the distribution system [9]. Several charging patterns exists: on-peak, off-peak, fast charging, slow charging, etc. Stresses on the Smart Grid may be caused due to the harmonic levels raised to high levels due to these different patterns. Moreover, charging of the PHEVs may cause significant voltage deviations. That leads to the conclusion that it is necessary to include a processes of charging PHEVs in smart grids distribution system topology.

4. Conclusions

Following growing EV market it is necessary to invest in:

- New technologies for manufacturing different types of EV
- Smart Distribution- and Transmission Systems modernization
- New Energy Market supported with new ICT systems development.

All the above mentioned activities need large amount of money, also EVs are more expensive than normal cars and it is necessary to show benefits resulting development of EVs market; these are: save gasoline, low emission CO₂, no tailpipe emissions (NO₂, dust, etc.).

REFERENCES

1. Aggeler D., Canales F., Zelaya H., Coccia A., Butcher N., Apeldoorn O., Ultra-Fast DC-Charge Infrastructures for EV-Mobility and Future Smart Grids, IEEE PES Conference on Innovative Smart Grid Technologies Europe, October 11–13, 2010, Gothenburg, article no. 2006809.
2. Babaei S., Steen D., Tuan L.A., Carlson O., Bertling L., Effects of Plug-in Vehicles on Distribution Systems: A Real Case of Gothenburg, IEEE PES Conference on Innovative Smart Grid Technologies Europe, October 11–13, 2010, Gothenburg, article no. 2046565.
3. Brooks Alec., Spirakis Ch., Wehl B., Demand Dispatch, *IEEE Power & Energy Magazine*, May/June 2010, pp. 20–29.
4. Dickerman L., Harrison J., A New Car a New Grid, *IEEE Power & Energy Magazine*, March/April 2010, pp. 55–61.
5. ICT for Breakthrough Industry Transformation. ICT for a Low Carbon Economy Smart Electricity Distribution Networks. European Commission Information Society and Media, July 2009, pp. 36–39.
6. Ipakchi A., Albuyeh F., Grid of the future, *IEEE Power & Energy Magazine*, March/April 2009, pp. 52–62.
7. Kempton W., Udo V., Huber K., Komara K., Letendre, S., Baker S., Brunner D., Pearre N., A Test of Vehicle-to-Grid (V2G) for Energy Storage and Frequency Regulation in the PJM System. Results from an Industry-University Research Partnership, November 2008, Mid-Atlantic Grid Interactive Cars Consortium: <http://www.magicconsortium.org> [date of access: 03.01.2011].
8. Masoum A.S., Deilami S., Moses P.S., Abu-Siada A., Impacts of Battery Charging Rates of Plug-in Electric Vehicle on Smart Grid Distribution Systems, IEEE PES Conference on Innovative Smart Grid Technologies Europe, October 11–13, 2010, Gothenburg, article no. 2047502.
9. Moses P.S., Deilami S., Masoum A.S., Masoum M.A.S., Power Quality of Smart Grids with Plug-in Electric Vehicles Considering Battery Charging Profile, IEEE PES Conference on Innovative Smart Grid Technologies Europe, October 11–13, 2010, Gothenburg, article no. 2047441.
10. Ota Y., Taniguchi H., Nakajima T., Liyanage K.M., Baba J., Yokoyama A., Autonomous Distributed V2G (Vehicle-to-Grid), IEEE PES Conference on Innovative Smart Grid Technologies Europe, October 11–13, 2010, Gothenburg, article no. 2043111.
11. Sandels C., Franke U., Ingvar N., Nordström, Hamrén R., Vehicle to Grid – Reference Architectures for the Control Markets in Sweden and Germany, IEEE PES Conference on Innovative Smart Grid Technologies Europe, October 11–13, 2010, Gothenburg, article no. 2048244.
12. Sheikhi A., Maani A., Esfahani M., Ranjbar A.M., The Influence of the Intelligent Distribution Network on Plug-in Hybrid Vehicles Penetration Level, IEEE PES Conference on Innovative Smart Grid Technologies Europe, October 11–13, 2010, Gothenburg, article no. 2048001.
13. Turker H., Bacha S., Chatroux D., Impact of Plug-in Hybrid Electric Vehicles (PHEVs) on the French Electric Grid, IEEE PES Conference on Innovative Smart Grid Technologies Europe, October 11–13, 2010, Gothenburg, article no. 2048068.
14. Ungar E., Fell K., Plug In, Turn On, and Load Up., *IEEE Power & Energy Magazine*, May/June 2010, pp. 30–35.
15. Wu Q., Nielsen A.H., Østergaard J., Tae Cha S., Marra F., Chen Y. Træholt Ch., Driving Pattern Analysis for Electric Vehicle (EV) Grid Integration Study, IEEE PES Conference on Innovative Smart Grid Technologies Europe, October 11–13, 2010, Gothenburg, article no. 2046038.

Marta R. Jabłońska

Łódź University

e-mail: mjablonska@uni.lodz.pl

A PhD student at the Department of Computer Science, Faculty of Management, Łódź University. An expert in the project team for passive building expert evaluation. Conducts research in the development of renewable energy sources.

Jerzy S. Zieliński

Łódź University

e-mail: jsz@wzmail.uni.lodz.pl

Manager of the Department of Computer Science, Faculty of Management, Łódź University. Previously a consultant in various posts, e.g. at the Institute of Power Engineering, at Zamojska Korporacja Energetyczna (a part of PGE Obrót S.A.), at the Research & Development Centre of Automation and Precision Devices, and a local coordinator of European research projects.

This is a supporting translation of the original text published in this issue of "Acta Energetica" on pages 13–16. When referring to the article please refer to the original text.

PL

Wpływ pojazdów elektrycznych na sieci Smart Grid

Autorzy

Marta R. Jabłońska
Jerzy S. Zieliński

Słowa kluczowe

elektryczne pojazdy (EV), hybrydowe elektryczne pojazdy (EHV), sieć inteligentna, odbiorcy

Streszczenie

Celem niniejszego artykułu jest zaprezentowanie rozwoju pojazdów elektrycznych oraz ich wpływu na sieci inteligentne (Smart Grid). Według definicji sieci Smart Grid, zaproponowanej przez USA, piątą i szóstą właściwość tych sieci stanowiły odpowiednio: posiadanie możliwości generacji i magazynowania oraz udostępnianie nowych produktów, usług i rynków. Autorzy dążą do określenia roli pojazdów elektrycznych w operacjach sieci Smart Grid.

Wyróżnić można następujące typy pojazdów elektrycznych: HEVs – pojazdy hybrydowe mające silnik i wykorzystujące baterie bez pobierania elektryczności ze źródeł zewnętrznych, EVs – pracujące na silniku elektrycznym zasilanym bateriami ładowanymi przez podłączenie pojazdu oraz Plug-in PHEVs – pojazdy, które można ładować tak jak EVs, ale pracujące jak HEVs.

Najbardziej znaczące dla elektroenergetyki są pojazdy typu EVs oraz PHEVs, ponieważ występują one jednocześnie w roli odbiorcy, jak i pewnego rodzaju urządzenia magazynującego. Pojazdy te mogą być ładowane w budynkach za pomocą specjalnych stacji ładujących bądź w trakcie postoju, np. na skrzyżowaniu.

Należy podkreślić, że rozwój pojazdów elektrycznych nie wywrze wpływu jedynie na sieci inteligentne, lecz także na środowisko naturalne, społeczeństwo oraz rozwój nowych gałęzi przemysłu wspierających pojazdy elektryczne.

1. Wprowadzenie

Choć koncepcja samochodu elektrycznego towarzyszy rozwojowi elektroenergetyki, to koncepcja ta dojrzeła zaledwie w ciągu ostatnich kilku lat. Według [4] Google wydało 10 mln USD na badania i próby pojazdu elektrycznego z silnikiem zasilanym akumulatorem ładowanym przez podłączenie pojazdu (ang. *plug-in Electric Vehicle*), Warren Buffet zaś zainwestował w chińskiego producenta samochodów elektrycznych.

Obecnie wyróżnić można trzy główne typy technologii pojazdów elektrycznych EV [4]:

- HEV – pojazdy hybrydowe z silnikiem benzynowym i akumulatorem, które nie pobierają elektryczności ze źródeł zewnętrznych
- Pure (czyste) – EV – pojazdy napędzane silnikiem elektrycznym zasilanym akumulatorami ładowanymi przez podłączenie pojazdu
- Plug-in (podłączane) PHEV – pojazdy, które można ładować tak jak EV, ale napędzane silnikiem, tak jak elektryczne pojazdy hybrydowe HEV. Są dwa typy: pojazdy równoległe hybrydowe PHEV, w których zarówno silnik elektryczny, jak i silnik spalinowy są mechanicznie połączone z kołami. Pojazdy szeregowo hybrydowe (pojazdy elektryczne o zwiększonym zasięgu – EREV) to pojazdy PHEV, w których silnik elektryczny jest bezpośrednio połączony z kołami, a silnik spalinowy służy tylko do ładowania akumulatora w razie potrzeby.

Według [13] za najbardziej spójne z rozwiązań dostępnych dla przemysłu motoryzacyjnego uważa się ponadto:

- FCV – pojazdy z ogniwami paliwowymi
- PFCV – pojazdy podłączane z ogniwami paliwowymi.

E. Ungar i K. Fell [8] rozróżniają następujące typy EV: równoległe hybrydowe (np. podłączana wersja modelu Prius, którą zapowiada Toyota), pojazdy całkowicie elektryczne (Tesla wprowadzona w 2009 roku i Nissan Leaf zapowiadany w USA na koniec 2010 roku), EREV (Chevrolet Volt wprowadzony pod koniec 2010 r.). Wspomniani autorzy stosują także skrót PEV (Plug-in Electric Vehicle, podłączany pojazd elektryczny). Wczesne pojazdy PEV będą droższe niż pojazdy HEV lub konwencjonalne [14]. Pojazdy EV i PHEV mają następujące zalety [4]:

- mniejsze zużycie benzyny/oleju napędowego
- mniejsze emisje netto CO₂
- przy pracy w trybie elektrycznym brak jakichkolwiek emisji z rury wydechowej (NO₂, pył itp.)
- można je ładować, korzystając z istniejącej infrastruktury
- osiągi pojazdów EV są porównywalne z podobnymi pojazdami konwencjonalnymi lub od nich lepsze, z lepszym przyspieszeniem i bardzo szybką reakcją.

Wskazuje się w [8], że mimo wielu zalet pojazdów PEV, takich jak wydajniejsze silniki (w porównaniu z konwencjonalnymi pojazdami z napędem spalinowym), mniejsze uzależnienie od paliw kopalnych, niskie poziomy emisji, magazynowanie nadwyżek energii w sieci oraz zdolność Vehicle-to-Grid (pojazd do sieci), czyli zasilanie sieci w okresach szczytowych obciążeń, mają one dwie główne wady. Pierwsza to wysoki koszt akumulatorów, a druga – ograniczony zasięg jazdy. Niemniej technologie i pojemności akumulatorów stale się poprawiają i oczekuje się, że wraz z upowszechnieniem tej technologii jej koszty będą niższe. Ponadto potencjał

stosowania akumulatorów pojazdów EV do równoważenia niestabilności energii odnawialnej oraz świadczenia usług dodatkowych [15] powinien przyczynić się do ich upowszechnienia.

Powyższe zalety pojazdów EV mają wpływ na działania przemysłu i rynku. Według [14] okres dojrzałego rozwoju i wzrostu rynku w USA rozpocznie się w roku 2013 i zakończy się w 2017, zakłada się także, że okres ekspansji rozpocznie się w 2017 roku, co oznacza, że 10⁶ pojazdów zostanie sprzedane do 2015 (prognoza optymistyczna) lub do 2017 roku (prognoza pesymistyczna).

W Europie prowadzi się kilka przedsięwzięć polegających na zbieraniu dodatkowych danych dotyczących osiągnięć pojazdów EV oraz ich interakcji z sieciami elektrycznymi [4], np. EDF z Toyotą, Saab i Volvo, Daimler i RWE, Daimler i Enel, Renault i Nissan (wraz z duńską firmą energetyczną DONG).

2. Ładowanie pojazdów EV [1]

Urządzenie do zasilania pojazdów EV (EVSE) składa się z:

- zasilacza – dostarczającego energię elektryczną i zapewniającego ochronę przeciwporażeniową (może również zawierać system informacyjny do pomiaru ilości energii dostarczonej do ładowania EV)
- przewodu zasilającego – do przesyłu prądu elektrycznego i sygnałów telekomunikacyjnych z zasilacza do złącza
- złącza – do przyłączenia przewodu zasilającego łączącego EVSE z gniazdem ładowania pojazdu elektrycznego.

Dwa parametry ładowania: czas trwania i moc potrzebna do ponownego naładowania zależą od kilku zmiennych [13]:

- rozmiarów akumulatora
- sprawności akumulatora

- wzorca jazdy (średniego przebiegu dziennego)
- poziomów ładowania
- sprawności ładowarki
- stopnia naładowania akumulatora w trakcie tej operacji.

W USA stosuje się trzy poziomy ładowania pojazdu (tab. 1).

EVSE	Zasilanie z sieci	Użytkowanie	Moc ładowania [kW]	Czas ładowania
Poziom 1	110 V, 15 A	Okazjonalne	1,4	18 godz.
Poziom 2a	220 V, 15 A	Domowe	3,3	8 godz.
Poziom 2b	220 V, 30 A	Domowe/publiczne	6,6	4 godz.
Poziom 3	480 V, 167 A	Publiczne/prywatne	50–70	20–50 min

Tab. 1. Typowy zestaw opcji ładowania EV [4]

Poza opcjami przedstawionymi w tab. 1 można rozważać stacje ładujące stron trzecich znajdujące się np. w pobliżu skrzyżowań czy stacji benzynowych; rozważa się również ładowanie w czasie oczekiwania na zmianę świateł drogowych na skrzyżowaniach [5].

W [1] podaje się kilka rozwiązań akumulatorów dla pojazdów EV w podziale na trzy podstawowe kategorie: infrastruktury mieszkaniowe, publiczne i szybkie/ultraszybkie. Infrastruktury ładowania mieszkaniowego zapewniają jednofazowe zasilanie prądem zmiennym o napięciu skutecznym V_{rms} 110/220 i częstotliwości 50/60 Hz. Zapewniają wydajne sekwencje ładowania pojazdów przy niewielkich mocach, ale przy założeniu, że pojazd jest podłączony przez całą noc. Oznacza to ładowanie w okresach niskiego obciążenia. Publiczne infrastruktury ładowania są zazwyczaj zasilane z trójfazowej sieci prądu zmiennego 50/60 Hz. W porównaniu z mieszkalnymi, infrastruktury publiczne można uważać za półszybkie, ponieważ akumulator można naładować w ciągu kilku godzin, np. w godzinach pracy. Ostatnia kategoria to infrastruktury ładowania szybkie/ultraszybkie. Ze względu na różnice specyfikacji i ograniczeń różnych pojazdów stosuje się różne poziomy napięcia stałego w zakresie od 50 do 700 V. Rozwiązanie takie pozwala naładować akumulator w najkrótszym możliwym czasie, nawet szybciej niż w 5 minut.

Zakłada się, że mieszkaniowe infrastruktury ładowania będzie się instalować w domach jednorodzinnych na kilka sposobów: wewnątrz, na zewnątrz lub na ścianie. Publiczne stacje ładowania będą dostępne w całych obszarach miejskich, czyli na parkingach firm, sklepów, budynków publicznych lub innych. Ze względu na to, że konsument będzie musiał zapłacić za ładowanie, stacje te będą wymagały systemu uwierzytelniania i płatności. Stacje ładowania szybkiego/ultraszybkiego będą sytuowane w obszarach autostrad i w dogodnych punktach tankowania w miastach.

Rozwój pojazdów EV oznacza wiele obowiązków dla sprzedawców, nabywców, przedsiębiorstw energetycznych, elektryków lub wykonawców robót elektrycznych oraz społeczeństwa.

Rozwój floty pojazdów EV wpływa na sieć, a zwłaszcza na sieci inteligentne Smart Grid (SG), w skali globalnej i lokalnej, w sposób przedstawiony w następnym rozdziale.

3. Pojazdy elektryczne EV a sieci inteligentne Smart Grid

Jedną z właściwości inteligentnych sieci SG, które „przystosowują się do wszystkich opcji generacji i magazynowania”, oznacza konieczność użytkowania energii elektrycznej wytwarzanej w odnawialnych źródłach energii (OZE) za każdym razem, czyli także w okresie poza szczytem, a głównym problemem jest magazynowanie tej generowanej w OZE energii i użytkowanie jej w okresach szczytu obciążenia. Pojazdy PHEV ładowane poza szczytem mogą ją przechowywać i oddawać do sieci w szczytach lub co bardziej prawdopodobne – mogą funkcjonować jako rezerwa lub inne usługi pomocnicze (pojazd do sieci, Vehicle-to-Grid – V2G) [5]. Oznacza to, że sieć musi zostać zmodernizowana tak, aby stała się systemem dwukierunkowym umożliwiającym pobieranie energii elektrycznej z odległych magazynów, takich jak akumulatory pojazdów PHEV. Przewiduje się, że tryb V2G będzie jedną z podstawowych technologii integracji źródeł odnawialnych dla sieci inteligentnych [10].

Oznacza to konieczność rozwoju technologii teleinformatycznych, czyli inwestycji w inteligentne liczniki, systemy opomiarowania licznikami (repozytorium), oprogramowanie do odczytu liczników i komunikacji (pomiędzy licznikami i systemami), interfejsy licznik/system, oparte na sieci www aplikacje oraz systemy zarządzania energią dla użytkowników końcowych.

Stosowanie V2G wymaga rewizji parametrów sieciowych (zwłaszcza linii zasilających), co niekiedy ujawnia konieczność modernizacji sieci rozdzielczej. Według [14] wiele obecnych podstawowych i wtórnych sieci rozdzielczych nie ma ani zapasu pojemności, ani możliwości monitorowania i automatyzacji. Wpływa to także na projektowanie budynków i wymaga modyfikacji technologii komunikacji i sterowania [3]. Poprzez wpływ na system rozliczeniowy V2G zmienia także rynek energii.

Znaczny potencjał rozwiązań V2G związany jest z zaawansowanymi akumulatorami litowo-jonowymi i rozwojem infrastruktury ładowania oraz przewidywaną dużą liczbą pojazdów PHEV i EV [10]. Akumulatory litowe uważa się za najlepsze rozwiązanie dla wszystkich typów pojazdów z napędem zasilanym z akumulatorów [13], ponieważ rozwiązują one problemy zagrożeń bezpieczeństwa z powodu przeciążeń. W tab. 2 przedstawiono porównanie akumulatorów ołowiowo-kwasowych z litowo-żelazowo-fosforanowymi LiFePO₄. Jak pokazano w tabeli, akumulatory litowo-jonowe są znacznie bardziej wydajne niż ołowiowo-kwasowe.

	Jednostka	Ołów/kwas	Li-Ion FePO ₄
Energia właściwa	Wh/kg	30–40	100
Gęstość energii	Wh/l	60–70	200
Moc właściwa	W/kg	180	3000
Gęstość mocy	W/l	360	5800

Tab. 2. Porównanie akumulatorów ołowiowo-kwasowych z litowo-żelazowo-fosforanowymi LiFePO₄ [13]

Generalnie V2G to koncepcja, według której pojazdy PHEV lub EV świadczą usługi dodatkowe na rzecz sieci, sprzedając pojemność i energię zaparkowanych pojazdów na rynku regulacyjnym [11], czyli takim, gdzie można dostarczyć moc regulacyjną (rezerwową) w razie potrzeby, tzn. w godzinach szczytu lub w celu zrównoważenia zmienności podaży energii ze źródeł odnawialnych. Przewiduje się bardzo wysoką dostępność takiej pojemności, ponieważ pojazdy są zazwyczaj zaparkowane przez 92% dnia. Ponadto z dostępnością pojazdów nie wiążą się żadne koszty i mogą one dostarczać moc szybciej niż konwencjonalni dostawcy mocy regulacyjnej [11]. Jakkolwiek ważne jest, aby agregować pojemności wielu pojazdów EV, ponieważ pojemność pojedynczego pojazdu jest bardzo mała. To dlatego należy wdrożyć system sterowania agregacją. Koncepcję takiego systemu można znaleźć w [11], schemat systemu sterowania V2G zaproponowano w [10].

Pojazdy PHEV w trybie V2G mogą dostarczać moc regulacyjną na dwa sposoby. Po pierwsze, rozpoczynając ładowanie w celu regulacji w dół, kiedy obciążenie jest niskie i trzeba je zwiększyć. Po drugie, przerywając ładowanie, gdy obciążenie jest znaczne i musi być zmniejszone. Takie stosowanie akumulatorów pojazdów PHEV nazywa się „obciążeniem częściowo sterowanym”. Możliwe jest kolejne, trzecie działanie, kiedy pojazd rozładowuje akumulator, aby zwiększyć podaż energii w sieci. Nazywa się je „generacją częściową” [11].

Korzyści ze stosowania V2G przedstawiono w [7], gdzie oszacowano wartości bieżące przychodów z jednego pojazdu V2G w okresie dziesięcioletnim. Przyjęto tam następujące założenia:

- pojazd jest podłączony i świadczy usługi V2G przez 80% czasu (7008 godzin w roku), pozostałe 20% czasu samochód może być odłączony, można nim jeździć albo jego właściciel może powstrzymać się od świadczenia usług V2G
- średnia cena regulacji na rynku rozliczeniowym wynosi 40 USD/MWh, a cena rezerwy wirującej wynosi 10 USD/MWh
- pojazd przystosowany jest do dwukierunkowego przepływu energii
- stopa dyskontowa wynosi 7%
- uwzględnia się tylko przychody brutto z opłaty za pojemność. Aby uzyskać wartość netto, należałoby odjąć koszty zmniejszenia trwałości akumulatora

z powodu częstszych cykli ładowania i rozładowania, straty energii w obie strony, pobór energii w stanie gotowości, które analizuje się gdzie indziej.

Przy różnych poziomach mocy zdyskontowaną bieżącą wartością brutto przychodów ze sprzedaży regulacji i rezerwy wirującej szacuje się następująco. Najniższe przychody brutto ze sprzedaży regulacji wynoszą od około 4000 USD (minimum przy 2 kW) do niemal 30 000 USD (maksimum przy 15 kW). Przychody brutto ze sprzedaży rezerwy wynoszą od około 2000 USD (minimum przy 2 kW) do około 8000 USD (przy 15 kW).

Przeprowadzono badania w kilku krajach – w USA, Kanadzie, Portugalii i Belgii [2]. Pomimo różnic, wynikających z różnych układów sieci i poziomów mocy w poszczególnych obszarach, w rezultacie okazało się, że aby uniknąć zwiększenia szczytów mocy i strat w systemie, konieczna jest kontrola ładowania pojazdów PHEV.

Włączenie pojazdów PHEV do systemu rozdzielczego stanowi wiele wyzwań dla przedsiębiorstw energetycznych, takich jak zdolność infrastruktury do obsługi wielu równocześnie ładujących się pojazdów PHEV lub ewentualne kosztowne modernizacje zasobów sieciowych [8]. Wprowadzenie pojazdów PHEV do systemów rozdzielczych, które w wielu krajach są już przeciążone, może spowodować załamanie się sieci. To dlatego technologie sieci inteligentnych uważa się za najlepsze rozwiązanie zarządzania ładowaniem pojazdów PHEV. Dzięki sieciom inteligentnym można zmaksymalizować liczbę pojazdów PHEV w systemach transportowych, ograniczając ich niekorzystny wpływ na system [12]. Stosując reakcję na popyt i rozproszone wytwarzanie i magazynowanie, sieć inteligentna jest w stanie zmniejszyć obciążenie w okresach szczytu. Reakcja na popyt to zdolność do ograniczania pewnych obciążeń elektrycznych w okresach szczytu w celu złagodzenia potrzeby generowania ze źródeł szczytowych [3]. Główny problem przy ładowaniu pojazdów PHEV polega na tym, że obciąża ono źródła mieszkaniowe w godzinach szczytu (wczesnym wieczorem). Może to mieć istotny wpływ na wzorec zużycia energii przez konsumentów. W pracy [12] pokazano, że typowe obciążenie domu mieszkalnego w południowej Kalifornii, uwzględniające dodatkowe obciążenie ładowaniem pojazdu PHEV w godzinach szczytu, może być około dwóch razy większe.

Oddziaływanie pojazdów PHEV na sieci inteligentne odnosi się również do e-mobilności. Obejmuje ona kilka problemów, które wymagają dalszej analizy [1]:

- dostarczanie zintegrowanych i inteligentnych rozwiązań ładowania
- przygotowanie sieci do wyzwań e-mobilności
- zapewnienie urządzeń do magazynowania
- umożliwienie bezpiecznego ładowania o wymaganej porze dnia
- zapobieganie niepotrzebnemu wyczerpaniu akumulatorów.

Tak więc niezbędne jest wdrożenie systemu energoelektronicznego do ładowania prądem stałym. Wymagania dotyczące takiego systemu przedstawiono w [1]. Jako

podstawowe wymaganie podano gwarancję uniwersalnego zasilania nadającego się do pojazdów o różnych specyfikacjach (np.: od małych samochodów, o znamionowej pojemności akumulatorów rzędu kilku kWh zmagazynowanej energii, do ciężarówek, które zazwyczaj wymagają kilkudziesięciu kWh). Stacje ładujące powinny zapewnić krótki czas ładowania do wysokiej wartości ładunku. W pracy [1] wartości te określono jako 10 minut ładowania i 80% ładunku znamionowego. Co więcej, każdy punkt ładowania ma zagwarantować pełną izolację galwaniczną.

Omawiając oddziaływanie pojazdów PHEV na sieci inteligentne, trzeba wspomnieć o problemie jakości energii. Jakość energii jest jednym z głównych uwarunkowań niezawodności i bezpieczeństwa sieci inteligentnych. Jednoczesne ładowanie wielu pojazdów PHEV może negatywnie oddziaływać na jakość energii, ponieważ ładowarki akumulatorów pojazdów PHEV mogą wprowadzać do systemu rozdzielczego znaczne prądy harmoniczne [9]. Jest kilka trybów ładowania: w szczycie, poza szczytem, ładowanie szybkie, ładowanie powolne itd. Oddziaływanie na sieci inteligentne może być powodowane wzrostem poziomów harmonicznych w związku z tymi trybami. Ponadto ładowanie pojazdów PHEV może powodować istotne odchylenia napięcia. Prowadzi to do wniosku, że konieczne jest objęcie procesów ładowania pojazdów PHEV topologią systemu rozdzielczego sieci inteligentnych.

4. Wnioski

W ślad za wzrostem rynku pojazdów EV konieczne są inwestycje w:

- nowe technologie produkcji różnych typów pojazdów EV
- modernizację inteligentnych systemów rozdzielczych i przesyłowych
- nowy rynek energii wspierany przez rozwój nowych systemów teleinformatycznych.

Wszystkie powyższe działania wymagają dużych nakładów, także pojazdy elektryczne są droższe od zwykłych samochodów i koniecznie trzeba wykazać korzyści wynikające z rozwoju rynku EV, a mianowicie: oszczędność benzyny, niską emisję CO₂, brak emisji z rury wydechowej (NO₂, pył itp.).

Bibliografia

1. Aggeler D. i in., Ultra-Fast DC-Charge Infrastructures for EV-Mobility and Future Smart Grids [Infrastruktury ultraszybkiego ładowania prądem stałym dla mobilności EV i przyszłych sieci inteligentnych], Konferencja IEEE PES nt. nowatorskich technologii sieci inteligentnych w Europie, 11–13 października 2010, Gothenburg (referat numer: 2006809).
2. Babaei S. i in., Effects of Plug-in Vehicles on Distribution Systems. A Real Case of Gothenburg [Oddziaływanie pojazdów podłączanych na systemy rozdzielcze. Rzeczywisty przypadek Gothenburga], Konferencja IEEE PES nt. nowatorskich technologii sieci inteligentnych

w Europie, 11–13 października 2010, Gothenburg (referat numer: 2046565).

3. Brooks Alec., Spirakis Ch., Weihl B., Demand Dispatch [Dyspozycja popytem], magazyn IEEE *Power & Energy*, maj/czerwiec 2010, s. 20–29.
4. Dickerman L., Harrison J., A New Car a New Grid [Nowy samochód, nowa sieć], magazyn IEEE *Power & Energy*, marzec/kwiecień 2010, s. 55–61.
5. ICT for Breakthrough Industry Transformation. ICT for a Low Carbon Economy Smart Electricity Distribution Networks [Teleinformatyka dla przełomowego przekształcenia przemysłu. Teleinformatyka dla inteligentnych elektroenergetycznych sieci rozdzielczych w gospodarce niskowęglowej], Komisja Europejska, Społeczeństwo Informacyjne i Media, lipiec 2009, s. 36–39.
6. Ipakchi A., Albuayeh F., Grid of the future [Sieć przyszłości], Magazyn IEEE *Power & Energy*, marzec/kwiecień 2009, s. 52–62.
7. Kempton W. i in., A Test of Vehicle-to-Grid (V2G) for Energy Storage and Frequency Regulation in the PJM System. Results from an Industry-University Research Partnership, November 2008, Mid-Atlantic Grid Interactive Cars Consortium [Próba trybu pojazd-do-sieci (V2G) dla celów magazynowania energii i regulacji częstotliwości w systemie PJM: Wyniki partnerskich badań uniwersytetu i przemysłu, listopad 2008, Konsorcjum Mid-Atlantic Grid Interactive Cars], <http://www.magicconsortium.org> [dostęp: 03.01.2011].
8. Masoum A.S. i in., Impacts of Battery Charging Rates of Plug-in Electric Vehicle on Smart Grid Distribution Systems [Oddziaływanie natężenia prądu ładowania pojazdów podłączanych na systemy rozdzielcze sieci inteligentnych], Konferencja IEEE PES nt. nowatorskich technologii sieci inteligentnych w Europie, 11–13 października 2010, Gothenburg (referat numer: 2047502).
9. Moses P.S., Deilami S., Masoum A.S., Masoum M.A.S., Power Quality of Smart Grids with Plug-in Electric Vehicles Considering Battery Charging Profile [Jakość energii w sieciach inteligentnych z pojazdami podłączanymi z uwzględnieniem charakterystyk ładowania akumulatorów], Konferencja IEEE PES nt. nowatorskich technologii sieci inteligentnych w Europie, 11–13 października 2010, Gothenburg (referat numer: 2047441).
10. Ota Y. i in., Autonomous Distributed V2G (Vehicle-to-Grid) [Autonomiczny rozdział V2G (pojazd-do-sieci)], Konferencja IEEE PES nt. nowatorskich technologii sieci inteligentnych w Europie, 11–13 października 2010, Gothenburg (referat numer: 2043111).
11. Sandels C. i in., Vehicle to Grid – Reference Architectures for the Control Markets in Sweden and Germany [Pojazd-do-sieci – Architektury referencyjne dla rynków regulacyjnych w Szwecji i Niemczech], Konferencja IEEE PES nt. nowatorskich technologii sieci inteligentnych w Europie, 11–13 października 2010, Gothenburg (referat numer: 2048244).

12. Sheikhi A. i in., The Influence of the Intelligent Distribution Network on Plug-in Hybrid Vehicles Penetration Level [Wpływ inteligentnej sieci rozdzielczej na poziom penetracji pojazdów podłączanych], Konferencja IEEE PES nt. nowatorskich technologii sieci inteligentnych w Europie, 11–13 października 2010, Gothenburg, (referat numer: 2048001).
13. Turker H., Bacha S., Chatroux D., Impact of Plug-in Hybrid Electric Vehicles (PHEVS) on the French Electric Grid [Oddziaływanie podłączanych hybrydowych pojazdów elektrycznych (PHEV) na francuską sieć elektryczną], Konferencja IEEE PES nt. nowatorskich technologii sieci inteligentnych w Europie, 11–13 października 2010, Gothenburg (referat numer: 2048068).
14. Ungar E., Fell K., Plug In, Turn On, and Load Up [Podłącz, załącz i naładuj], magazyn IEEE *Power & Energy*, maj/czerwiec 2010, s. 30–35.
15. Wu Q. i in., Driving Pattern Analysis for Electric Vehicle (EV) Grid Integration Study [Analiza wzorców jazdy samochodem dla celów badania integracji pojazdów elektrycznych (EV) z siecią], Konferencja IEEE PES nt. nowatorskich technologii sieci inteligentnych w Europie, 11–13 października 2010, Gothenburg (referat numer: 2046038).

Marta R. Jabłońska

mgr

Uniwersytet Łódzki

e-mail: mjablonska@uni.lodz.pl

Doktorantka w Katedrze Informatyki na Wydziale Zarządzania Uniwersytetu Łódzkiego. Ekspert w zespole projektowym wykonującym ekspertyzę w zakresie budynku pasywnego. Prowadzi badania dotyczące rozwoju systemu odnawialnych źródeł energii.

Jerzy S. Zieliński

prof. dr hab. inż.

Uniwersytet Łódzki

e-mail: jsz@wzmail.uni.lodz.pl

Kierownik Katedry Informatyki na Wydziale Zarządzania Uniwersytetu Łódzkiego. Był konsultantem m.in. w Instytucie Energetyki, w Zamojskiej Korporacji Energetycznej, w Ośrodku Badawczo-Rozwojowym Automatyki i Urządzeń Precyzyjnych oraz lokalnym koordynatorem europejskich projektów badawczych.