



Maciej Chmieliński

EKOLOGIZACJA TRANSPORTU PRZEZ ZASTOSOWANIE FOTOWOLTAIKI DO ZASILANIA SAMOCHODÓW ELEKTRYCZNYCH (EV)

Maciej Chmieliński, mgr – doktorant na Uniwersytecie Ekonomicznym we Wrocławiu

adres korespondencyjny:
Uniwersytet Ekonomiczny
ul. Komandorska 118/120, 53-345 Wrocław
e-mail: maciej.chmielinski@gmail.com

ECOLOGICAL TRANSPORT WITH PHOTOVOLTAIC TECHNOLOGY AS A POWER SUPPLY OF ELECTRIC VEHICLES

SUMMARY: The market of the electric cars has been developing dynamically for the last couple of years. The reason of that is a huge technological development in lithium-ion batteries EV production, as well as a great scale potential of this market. In order to provide sustainable transportation, using electric vehicles, the ecological fuel is also needed – the energy from renewable sources, which will provide 100% energy for EV. This study proves that it is profitable to use electric car from a premium segment, at the same time investing in the renewable energy – photovoltaic. In comparison to the combustion engine car, provided that all the quality of driving and comfort conditions are comparable, EV turns out to be way cheaper in maintenance, given comparable purchase prices. Together with EV market development in next years, we will observe moving the EV profitability towards compact and mini cars segments.

KEYWORDS: sustainable development, electric cars, photovoltaics, renewable energy, alternative fuels

Wstęp

Do niedawna rynek motoryzacyjny i rynek energii elektrycznej były traktowane oddzielnie i niezależnie. Nie istniały pomiędzy nimi synergie ani powiązania dla klientów. Powodem były różne rodzaje nośników energii, choć w większości kopalne w obu przypadkach. Samochody elektryczne otwierają w tym kontekście zupełnie nowy wymiar użyteczności. Są nie tylko sposobem na przemieszczanie się, ale także mogą służyć jako magazyn energii elektrycznej, zdolny do dysponowania mocą w czasie jej największego zapotrzebowania. Z punktu widzenia klienta energia elektryczna staje się wspólnym mianownikiem na potrzeby przemieszczania się i funkcjonowania gospodarstwa domowego czy firmy. I tutaj właśnie pojawia się rola energii odnawialnej, w szczególności fotowoltaicznej. Energia pozyskana ze słońca przez coraz bardziej zaawansowane technologicznie panele fotowoltaiczne jest w stanie uniezależnić klientów od paliw kopalnych wszędzie tam, gdzie energia jest potrzebna. Dziś odbywać się to może w części – a w przyszłości – w stu procentach, przy dynamicznie rozwijającej się technologii i rosnących korzyściach skali. Dom przyszłości niewątpliwie produkować będzie więcej energii niż jej zużywać, pokrywając jednocześnie zapotrzebowanie na energię EV. Jeszcze kilka lat temu taki rozwój rynku mógł uchodzić za mało realistyczne myślenie życzeniowe, które głównie ze względu na wysokie koszty produkcji, pozbawione było możliwości szybkiej realizacji. Po raz kolejny jednak świat zaskakiwany jest innowacjami, które mają szansę diametralnie zmienić zachowania konsumentów przez zaoferowanie nowej jakości w pozyskiwaniu energii i transporcie. Fotowoltaika wysuwa się na zdecydowanego lidera odnawialnych źródeł energii (OZE) w tym zakresie, głównie ze względu na łatwość jej zastosowań, wkomponowania w budynki i infrastrukturę ładowania samochodów elektrycznych.

Parafrazując Ericha Fromma¹ – potrzebne jest nam nie tylko „zdrowe społeczeństwo” ale także społeczeństwo postępujące odpowiedzialnie w stosunku do środowiska, czego wyrazem jest zwiększanie udziału odnawialnych źródeł energii w konsumpcji i transporcie. Technologia fotowoltaiczna daje szansę na powodzenie tej idei zarówno w pierwszym, jak i w drugim sektorze.

Historia samochodów elektrycznych

Samochód napędzany energią elektryczną był poprzednikiem auta spalinowego. Już na początku XX wieku skonstruowano pierwsze samochody napędzane akumulatorami (Anthony, Baker, Detroit, Edison, Studebaker). Jednak już po kilku latach samochody spalinowe zaczęły wypierać z rynku pojazdy elektryczne,

¹ E. Fromm, *Zdrowe społeczeństwo*, Kraków 2012.

głównie z powodu sukcesu Forda we wprowadzeniu na rynek forda T. Ciągłe ulepszanie silników spalinowych (rozrusznik, chłodnica) spowodowało, że ostatecznie zdominowały one rozwój motoryzacji na dziesięciolecia. W latach dwudziestych XX wieku w Stanach Zjednoczonych na krótko odrodziła się idea wprowadzenia na rynek samochodu elektrycznego dzięki preferencjom podatkowym. Wyprodukowano EV takich marek, jak General Motors EV1, Toyota, Honda, Ford, Nissan, Chrysler. Na skutek protestów środowiska motoryzacyjnego i lobby naftowego samochody elektryczne nie zdobyły jednak rynku USA w tamtym czasie.

Obecny stan rynku samochodów elektrycznych

Samochód elektryczny jest obecnie uważany za produkt bardzo drogi, luksusowy. Przyczyną takiego stanu rzeczy jest głównie brak ich masowej produkcji. Prekursorem nowoczesnych samochodów elektrycznych jest kalifornijska Tesla Motors, która wprowadziła na rynek w 2008 roku samochód Tesla Roadster, oferując około 1000 sztuk² w cenie około 109 000 dolarów amerykańskich. Tesla Roadster jest samochodem sportowym o zasięgu ponad 400 kilometrów, o ponadprzeciętnych osiągnięciach, konkurującym z najlepszymi samochodami sportowymi o napędzie spalinowym. Tesla Motors w 2012 roku wprowadziła na rynek pierwszy luksusowy samochód kompaktowy – Teslę S, której sprzedaż rozwija się obecnie dynamicznie³. W 2014 roku Tesla Motors sprzedała blisko 30 000 samochodów. Poza Tesla Motors, będąca segmentem premium, na światowym rynku znaczną rolę odgrywają samochody w klasie kompaktowej, takie jak Nissan Leaf, będący światowym liderem, jeśli chodzi o liczbę sprzedanych samochodów, a także między innymi BMW i3, czy Renault Zoe. W pierwszej połowie 2014 roku nastąpiła inauguracja sprzedaży dwóch ostatnich modeli w Polsce⁴. W 2015 i kolejnych latach spodziewana jest kolejna seria nowych samochodów elektrycznych na światowym rynku. Plany Tesli Motors to sprzedaż 50 000 modeli Tesli S w 2015 roku⁵.

Na świecie szereg wiodących firm motoryzacyjnych zapowiedziało produkcję samochodów elektrycznych na większą skalę⁶. Inwestycje poszczególnych firm ilustruje tabela 1. Na szczególną uwagę zasługuje wyżej już wspomniana Tesla Motors z dwoma modelami: Teslą S (pozycja 22) i Teslą X (pozycja 1). Samochody te swoim designem, osiągnięciami oraz znacznie dłuższym dystansem jazdy stają się liderami innowacyjności na światowym rynku.

² Tesla Motors: www.teslamotors.com [20-02-2015].

³ Reuters: www.reuters.com [20-02-2015].

⁴ Konferencja Renault Polska, 14 czerwca 2012, www.mg.gov.pl [20-02-2015].

⁵ Bloomberg, www.bloomberg.com [11-11-2014].

⁶ Renault-Nissan: www.nissan-global.com [11-11-2014].

Tabela 1

Inwestycje wybranych firm motoryzacyjnych w samochody elektryczne, stan na kwiecień 2013

Lp	Rok wejścia na rynek	Marka	Firma	Typ	Produkcja
1	2015	Tesla Model X	Tesla Motors Inc	BEV	Koncepcyjna
2	2014	SIM-Drive SIM-WIL	SIM-Drive Corp	BEV	Koncepcyjna
3	2014	China Great Wall Motor Co EV Sedan	CODA Automotive Inc	BEV	Duża produkcja
4	2014	FAW-VW Kaili E88	FAW-Volkswagen Co Ltd	BEV	Duża produkcja
5	2013	Audi R8 E-tron	Audi AG	BEV	Mała produkcja
6	2013	BMW i3	Bayerische Motoren Werke AG	BEV	Koncepcyjna
7	2013	Mercedes Benz SLS eDrive	Daimler AG	BEV	Ogłoszona
8	2013	Chevrolet Spark EV	General Motors Co	BEV	Koncepcyjna
9	2013	Volkswagen Up E-Motion	Volkswagen AG	BEV	Duża produkcja
10	2013	Nissan e-NV200	Nissan Motor Co Ltd	BEV	Koncepcyjna
11	2013	Honda Fit EV	Honda Motor Co Ltd	BEV	Demonstracyjna
12	2013	BYD-Daimler Denza	Shenzhen BYD Daimler New Technology Co/The	BEV	Koncepcyjna
13	2013	Ssangyong KEV2	Ssangyong Motor Co	BEV	Koncepcyjna
14	2013	Citroen Berlingo Electricque	Peugeot SA	BEV	Ogłoszona
15	2013	Fiat 500e	Fiat SpA	BEV	Duża produkcja
16	2013	Mahindra e2o	Mahindra & Mahindra Ltd	BEV	Mała produkcja
17	2012	Ford Focus Electric	Ford Motor Co	BEV	Mała produkcja
18	2012	Kia Ray EV	Kia Motors Corp	BEV	Mała produkcja
19	2012	Renault Fluence ZE	Renault SA	BEV	Mała produkcja
20	2012	Renault Zoe ZE	Renault SA	BEV	Mała produkcja
21	2012	Smart forTwo EV	Daimler AG	BEV	Mała produkcja
22	2012	Tesla Model S	Tesla Motors Inc	BEV	Około 30 tys. w 2014

BEV – *battery electric vehicle* – samochód w 100% elektryczny

HEV – *hybrid electric vehicle* – samochód elektryczny hybrydowy

PHEV – *plug-in hybrid electric vehicle* – samochód elektryczny hybrydowy z możliwością ładowania baterii jak BEV

Źródło: Bloomberg, 04.2013, dane rynkowe.

Działalność promująca samochody elektryczne

Głównym bodźcem do produkcji samochodów elektrycznych w Europie stało się przyjęcie pakietu klimatycznego w Unii Europejskiej, który zakłada obniżenie emisji CO₂ i innych gazów cieplarnianych o 20% do roku 2020 w stosunku do 1990 roku. W ślad za tym, prawodawstwo Unii Europejskiej w postaci Regulacji EC No 443/2009 z dnia 23 kwietnia 2009 roku, dotyczącej ustanowienia standardów obniżenia emisji spalin dla samochodów pasażerskich, określiło limit emisji

CO₂. Wynosi on dla nowo produkowanych samochodów 120 g CO₂/km. Taką wartość emisji jest zobligowany uzyskać każdy producent samochodów w Unii Europejskiej. Od roku 2020 wartość ta powinna spaść średnio do 95 g CO₂/km⁷. Biorąc pod uwagę emisyjność najbardziej oszczędnych, nowych samochodów w klasie A (na przykład Mercedes klasa A posiadający średnie spalanie na poziomie 4,9 l/100 km oraz emisyjność 128 g CO₂/km), spełnienie wyżej wymienionych regulacji unijnych będzie wręcz niemożliwe bez wprowadzenia na rynek samochodów elektrycznych. Spowodują one bowiem spadek średniej emisyjności, ponieważ jako samochody napędzane przez akumulatory nie emitują gazów cieplarnianych.

Pozostaje jednak pytanie o emisyjność pierwotną, potrzebną do wytworzenia energii elektrycznej, zgromadzonej w aucie elektrycznym. Przyjmijmy dla przykładu warunki polskie, które wydają się skrajne na tle krajów unijnych, jeśli chodzi o emisję CO₂. Przy założeniu, że samochód elektryczny zużywa około 15 kWh na 100 kilometrów⁸ oraz emisja CO₂ 1 MWh energii elektrycznej w sieci elektroenergetycznej wynosi około 0,89 tony⁹, obniżona o około 10% udziału OZE w sieci elektroenergetycznej, to samochód elektryczny emituje około 120 g CO₂/km, czyli mniej więcej tyle samo, co bardzo dobrej klasy pod względem emisji samochód o napędzie spalinowym. Tak więc całkowita emisyjność samochodu elektrycznego, jeśli chodzi o CO₂, pozostaje na tym samym poziomie. Sytuacja zmienia się jednak, gdy zastąpi się źródło konwencjonalne odnawialnym źródłem energii w 100%. Wtedy emisyjność samochodu elektrycznego spadłaby do 0 g CO₂/km. W warunkach polskich jednak taka wartość jest niemożliwa do osiągnięcia. Należy przyjąć docelowo w 2017 roku 12,9% energii odnawialnej w finalnej sprzedaży energii elektrycznej do odbiorców końcowych¹⁰. Daje to obniżenie emisyjności do poziomu około 116 g CO₂/km¹¹. Z roku na rok będzie następował stopniowy postęp w obniżaniu emisyjności polskiej elektroenergetyki na skutek wyłączenia starych bloków energetycznych i zastępowania ich bardziej efektywnymi nowymi mocami, czyli blokami gazowymi, węglowymi, a być może

⁷ Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 443/2009 z dnia 23 kwietnia 2009 r. określające normy emisji dla nowych samochodów osobowych w ramach zintegrowanego podejścia Wspólnoty na rzecz zmniejszenia emisji CO₂ z lekkich pojazdów dostawczych (Dz.U. L 140 z 5.6.2009).

⁸ www.bmw.pl, specyfikacja techniczna samochodu elektrycznego BMW i3: 13,5 kWh/100 km [10-03-2015].

⁹ Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej – Załącznik do Regulaminu konkursu GIS – Część B.I, Metodyka. Dane na podstawie *Wartości opałowe i wskaźniki emisji do raportowania w ramach Wspólnotowego Handlu Uprawnieniami do Emisji za rok 2013*, Warszawa 2014, s. 3.

¹⁰ Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 14 sierpnia 2008 r. w sprawie szczegółowego zakresu obowiązków uzyskania i przedstawienia do umorzenia świadectw pochodzenia, uiszczenia opłaty zastępczej, zakupu energii elektrycznej i ciepła wytworzonych w odnawialnych źródłach energii oraz obowiązku potwierdzania danych dotyczących ilości energii elektrycznej wytworzonej w odnawialnym źródle energii (Dz.U. 2008 nr 156 poz. 969).

¹¹ Obliczenia własne.

także jądrowymi, bazującymi na czystych technologiach¹² oraz źródłami wykorzystującymi odnawialne źródła energii. Daje to ogromny potencjał do obniżenia emisyjności CO₂ również w transporcie, ponieważ będzie on pośrednio korzystał z czystych technologii zastosowanych w elektroenergetyce.

Warto podkreślić, iż wielkość emisji CO₂ spada w Polsce regularnie. Poczynając od 1990 roku obserwuje się zmniejszenie emisji z 375 tys. ton CO₂ do nieco ponad 320 tys. ton w roku 2013¹³, co stanowi spadek o ponad 14%. Z kolei udział transportu w całkowitej emisji CO₂ wynosi 13,4%¹⁴. Stanowi on więc istotną część emisji szkodliwych gazów do atmosfery. Rządy wielu państw europejskich prowadzą działania w celu obniżenia emisyjności szkodliwych gazów pochodzących z transportu. Jednak, jak pokazują dane statystyczne, od roku 1990 nastąpił w Unii Europejskiej nie spadek, a **wzrost** udziału emisji gazów pochodzących z transportu. Porównując rok 1990 z 2012 było to 14%¹⁵. Jednocześnie zauważalna jest pozytywna tendencja spadkowa od roku 2000: udział emisji gazów z transportu w porównaniu do roku 2012 spadł o 2,7%¹⁶.

Tabela 2

Wsparcie rządowe dla rozwoju rynku samochodów elektrycznych w wybranych krajach

NORWEGIA	DANIA	HOLANDIA
<p>Wielkość rynku w 2013 roku: 7882 auta (5,5% rynku).</p> <p>Wsparcie rządowe:</p> <ul style="list-style-type: none"> • zwolnienie z podatku VAT od zakupu auta • zwolnienie z innych podatków od zakupu i sprzedaży EV • zwolnienie z opłat za parkowanie (szczególnie istotne w Oslo) 	<p>Budżet 6,6 mln dolarów.</p> <p>Wsparcie rządowe:</p> <ul style="list-style-type: none"> • zwolnienie z podatku VAT za zakup EV poniżej 2000 kg 	<p>Wsparcie rządowe:</p> <ul style="list-style-type: none"> • zwolnienie z podatku VAT od zakupu auta • zwolnienie z rocznego podatku od posiadania auta
FRANCJA	WIELKA BRYTANIA	CHINY
<p>Wsparcie rządowe:</p> <ul style="list-style-type: none"> • samochody emitujące poniżej 20 g CO₂/km otrzymują wsparcie 6 300 euro, z maksymalnym wsparciem 20% wartości samochodu brutto • EV zwolnione są z podatku od samochodów 	<p>Plan: 800 000 EV do 2020 roku</p> <p>Wsparcie rządowe:</p> <ul style="list-style-type: none"> • ulga w postaci 5 000 funtów od samochodów poniżej prognozy emisji 75 g CO₂/km • zwolnienie z podatku od posiadania auta 	<p>Wielkość rynku w 2020: 5 mln EV/PHEV przed 2020 rokiem</p> <p>Wsparcie rządowe:</p> <ul style="list-style-type: none"> • zwolnienie z 10% podatku na zakup EV

¹² Zgodnie z założeniami *Polityki Energetycznej Polski do roku 2020* ponad 12 000 MW będzie musiało być poddanych gruntownej modernizacji, a kolejne 12 000 MW wybudowanych.

¹³ *Ochrona Środowiska*, Warszawa 2014, s. 51.

¹⁴ *Ochrona Środowiska*, Warszawa 2009, dane za rok 2007, s. 232; www.stat.gov.pl [20.02.2015], czyli 38 213 ton CO₂/ 285 287 ton CO₂.

¹⁵ *Progress towards achieving the Kyoto and EU 2020 objectives*, European Commission, październik 2014, s. 33.

¹⁶ *Ibidem*.

NIEMCY	SZWECJA	USA
<p>Wielkość rynku w 2020: 1 mln EV/ PHEV przed 2020 rokiem.</p> <p>Wsparcie rządowe:</p> <ul style="list-style-type: none"> • coroczne zwolnienie od podatku od posiadania auta przez 10 lat licząc od daty zakupu EV • 1 mld euro na badania i rozwój do 2013 roku 	<p>Wielkość rynku w 2020 roku: 600 000 EV.</p> <p>Wsparcie rządowe:</p> <ul style="list-style-type: none"> • zwolnienie od podatku od posiadania auta przez 5 lat, licząc od daty zakupu EV dla samochodów poniżej zużycia energii 37 kWh/100 km • <i>super green car premium</i>: wsparcie 40 000 SEK, dla pierwszych 5 tys. aut, poniżej emisji CO₂ na poziomie 50 g/km 	<p>Wielkość rynku w 2020 roku: 1 mln do 2015 roku.</p> <p>Wsparcie rządowe:</p> <ul style="list-style-type: none"> • do 7 500 dolarów na samochód dla pierwszych 200 tys. aut • ponad 2 mld dolarów subsydiów dla producentów baterii oraz komponentów EV/PHEV

stan na 2014 rok

Źródło: ACEA: *Overview of purchase and tax incentives for electric vehicles in the European Union*, 04 2014; Environmental Science and Policy 42 (2014): *The Norwegian support and subsidy policy of electric cars. Should it be adopted by other countries?* Bjart Holtsmark, Anders Skonhoft; Bloomberg.com (wsparcie EV w Chinach); opracowanie własne na podstawie informacji prasowych, listopad 2014.

Jednym ze sposobów w osiągnięciu celu zmniejszenia emisji jest promowanie produkcji bądź zakupu samochodów elektrycznych. Systemy wsparcia dla EV przedstawia tabela 2.

Wsparcie dla rozwoju rynku samochodów elektrycznych udzielają głównie kraje dominujące gospodarczo w Europie i na świecie, które jako „produkt uboczny” swojego rozwoju ekonomicznego dostrzegają duże zanieczyszczenie powietrza lub widzą potencjał na krajowym rynku EV ze względu na regulacje prawne i ekologiczną postawę obywateli.

Korzyści z e-mobility

Przede wszystkim należy podkreślić, iż samochody elektryczne, jako idea, która miałyby się szeroko upowszechnić potrzebują bodźca, który spowoduje, iż potencjalni klienci będą skłonni przesiąść się do pojazdu droższego, ale posiadającego zalety, których nie daje tradycyjny samochód. Tym bodźcem, a zarazem główną zaletą, jest bardzo niska emisja CO₂ (w zależności od źródła pochodzenia energii elektrycznej napędzającej EV), połączona z ogromnym komfortem bezgłośnego poruszania się samochodu. Dzięki tym dwóm cechom pojazd elektryczny jest zupełnie inny od tradycyjnego. Są to cechy szczególnie ważne w dużych miastach, gdzie natężenie ruchu, zanieczyszczenie powietrza oraz hałas powodowane przez pojazdy stanowią główny problem dla mieszkańców, także w Polsce¹⁷. Dlatego właśnie tak duże znaczenie może mieć upowszechnienie samochodu elektrycznego – w znaczny sposób przyczynić się może do wzrostu dobrobytu mieszkańców, w sposób odczuwalny i szybki.

¹⁷ Program ochrony środowiska przed hałasem dla Warszawy z 21.10.2010: www.bip.warszawa.pl [20-03-2015].

Warto wskazać także inną zaletę samochodu elektrycznego, która wpisuje się w ideę zrównoważonego rozwoju. Jest to fakt, iż silnik elektryczny przetwarza energię pierwotną w sposób bardziej efektywny niż silnik spalinowy. Sprawność silnika elektrycznego wynosi 88%¹⁸, podczas gdy silnika spalinowego około 30%. Silnik elektryczny wykorzystuje bardziej efektywnie zasoby naturalne, co w skali makro oznacza ogromne oszczędności energii pierwotnej.

Kolejnym aspektem przemawiającym za rozwojem samochodów elektrycznych jest możliwość traktowania pojazdów jako magazynów energii w celu bilansowania wahań zapotrzebowania na energię elektryczną. Samochody włączone do sieci elektroenergetycznej podczas ładowania akumulatorów mogłyby jednocześnie, w razie konieczności, oddać część energii do systemu elektroenergetycznego. Zakładając, że pojemność akumulatora małego samochodu EV to około 20 kWh, wystarczyłoby ich 50 tys., aby osiągnąć łączną moc 1000 MW – czyli wielkość dużej elektrowni. Część z tej dostępnej mocy mogłaby być oddawana do sieci elektroenergetycznej, gdy samochód stoi (tak zwany model *power-to-grid*). Przeciętnie użytkownik samochodu spędza w nim średnio kilkadziesiąt minut dziennie, włączenie samochodu do sieci, a tym samym jego dostępność do celów bilansowania, byłaby znacząca.

Wady *e-mobility*

Jedną z głównych wad samochodów elektrycznych jest cena. Koszt Tesla S plasuje się w widełkach cenowych klasy premium i wynosi około 70 tys. dolarów. Obecnie rynek znajduje się na początkowym etapie rozwoju – produkcja masowa dopiero zaczyna się rozwijać i nie powoduje jeszcze wystarczających korzyści skali, które wykreowałyby większą dostępność cenową. Drugą wadą jest mała korzyść ekologiczna w przypadku samochodów elektrycznych korzystających z energii elektrycznej wyprodukowanej głównie ze źródeł węglowych. Taka sytuacja występuje między innymi w Polsce, ponieważ nasycenie MWh przez CO₂ wyprodukowanej w polskim sektorze elektroenergetycznym wynosi około 0,89 t. W tym wypadku emisyjność jest zbliżona do poziomu emisyjności oszczędnych, nowych samochodów spalinowych. Należy obiektywnie przyznać, że wartość 120 g/km emisji CO₂ to za mało, aby nazwać EV autem ekologicznym. Potrzebne jest więc połączenie samochodu elektrycznego ze źródłem odnawialnym, które znacznie obniży lub zredukuje emisyjność do 0 g CO₂/km. Te parametry spełnia źródło fotowoltaiczne.

Trzecim mankamentem EV jest brak publicznie dostępnej infrastruktury ich ładowania, która jest niezbędna do prawidłowego funkcjonowania rynku. Pierwsze kroki zostały już jednak podjęte, głównie przez duże koncerny energetyczne w stolicach europejskich, między innymi w Berlinie¹⁹, czy Londynie²⁰. Także

¹⁸ Na przykładzie Tesla Roadster: www.teslamotors.com [20-04-2015].

¹⁹ RWE e-mobility: www.rwe.com [20-04-2015].

²⁰ London's Major: www.tfl.gov.uk [20-04-2015].

w Warszawie postawiono już pierwsze 12 stacji ładowania samochodów elektrycznych z inicjatywy firmy energetycznej RWE Polska²¹. Aby rynek samochodów elektrycznych mógł się rozwijać, potrzeba zdecydowanych działań wszystkich państw Unii. Najnowsza dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady w sprawie rozwoju infrastruktury paliw alternatywnych z października 2014 roku daje szansę na przyspieszenie rozwoju infrastruktury ładowania EV w krajach Unii, w tym w Polsce. Nakłada ona na kraje członkowskie obowiązek stworzenia publicznie dostępnej infrastruktury ładowania samochodów elektrycznych do 31 grudnia 2020 roku. Do 2016 roku natomiast Polska jest zobligowana do przedstawienia planu rozwoju wyżej wymienionej sieci²². Ustanowienie powyższej legislacji na poziomie unijnym stwarza szansę na dynamiczny rozwój rynku samochodów elektrycznych.

Kalkulacja opłacalności eksploatacji samochodów elektrycznych

Samochód elektryczny można nazwać w pełni ekologicznym, jeśli źródło energii elektrycznej zasilającej pojazd pochodzi ze źródła odnawialnego. Sytuacja w polskim systemie elektroenergetycznym nie pozwala na spełnienie tego warunku. Konieczne jest więc zbudowanie własnego źródła odnawialnego, które zaspokoi potrzeby samochodu na energię.

Inwestycja w elektrownię fotowoltaiczną (PV) o mocy 5 kW

W celu zaspokojenia zapotrzebowania na energię elektryczną dla samochodu elektrycznego niezbędne jest zainstalowanie około 5 kW elektrowni fotowoltaicznej. Taka moc zapewnia w warunkach polskich produkcję około 4,5 MWh energii rocznie, co przy średnim zużyciu energii przez samochód elektryczny na poziomie 15 kWh/100 km daje przebycie dystansu około 30 000 km. Poniżej przedstawione są trzy scenariusze inwestycji w elektrownię fotowoltaiczną: scenariusz pesymistyczny, optymistyczny i bazowy. Różnią się one poziomem kosztów inwestycyjnych, odpowiednio: 48 100 zł, 37 600 zł oraz 39 700 zł. Ważnym założeniem modelu jest produkcja energii elektrycznej w 100% na potrzeby własne – firmy, gospodarstwa domowego lub bezpośrednio potrzeby samochodu. Dzięki temu średni ważony koszt wytworzenia energii elektrycznej (LCOE – *leveraged cost of electricity*) z PV staje się jednocześnie ceną za kWh zużytą przez samochód elektryczny, a energia ta jest w 100% odnawialna, bo pochodzi ze słońca. Do dalszej analizy opłacalności samochodu elektrycznego napędzanego energią ze słońca przyjęto Scenariusz Bazowy w celu uczynienia modelu jak najbardziej realnym ekonomicznie. Średni ważony koszt wytworzonej i zużytej energii elektrycznej ze słońca przez 25 kolejnych lat dla tego wariantu wynosi 0,38 zł/kWh,

²¹ RWE Polska: www.rwe.pl [20-04-2015].

²² Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2014/94/UE z dnia 22 października 2014 r. w sprawie rozwoju infrastruktury paliw alternatywnych (Dz.U. L 307 z 28.10.2014), art. 4, pkt.1.

uwzględniając spadek produktywności PV rocznie o 0,6% oraz koszty eksploatacji. Oznacza to, że inwestując w roku bazowym około 40 000 zł w PV otrzymujemy w zamian produkcję paliwa przez kolejne 25 lat, które pozwoli inwestorowi na przejechanie prawie 700 000 km (w zależności od rodzaju pojazdu). Warto nadmienić, iż w analizie opłacalności samochodu elektrycznego przyjęto kilka dodatkowych założeń:

- ujęto tylko 10 lat pracy PV, przyjęto całe koszty inwestycyjne (ang. *capital expenditures* – CAPEX); pozostałe 15 lat pracy stanowią dodatkowy długofalowy czynnik działający na korzyść połączenia PV i EV;
- przyjęto, że koszty eksploatacji samochodu elektrycznego i spalinowego pozostają na tym samym poziomie, wobec niemożliwości zweryfikowania realnych kosztów eksploatacji EV w ciągu kolejnych 10 lat, ponieważ seryjna produkcja EV jest obecna na światowym rynku od około dwóch lat; dane zebrane od użytkowników EV pozwalają przypuszczać, że koszty te są znacznie niższe niż dla samochodu spalinowego²³, głównie ze względu na znacznie niższą liczbę części i mniej skomplikowany silnik;
- założono brak konieczności wymiany baterii w EV w ciągu 10 lat;
- nie brano pod uwagę faktu mniejszego zasięgu samochodów elektrycznych w porównaniu do spalinowych, ani braku dobrze rozwiniętej sieci publicznych punktów ładowania EV; jest to ważny czynnik negatywnie oddziałujący na obecne postrzeganie EV;
- nie brano pod uwagę dynamicznego rozwoju superszybkich, darmowych stacji ładowania przez Tesla Motors (dla posiadaczy samochodu Tesla): 124 stacje w USA, 82 stacje w Europie; w Polsce jest planowanych 5 stacji w 2015 roku²⁴.

Założenia modelu opłacalności

W tabeli 3 przedstawiono założenia do obliczenia średniego ważonego kosztu wytworzenia energii z PV (LCOE) oraz scenariusze wartości LCOE w zależności od kosztów inwestycyjnych. Parametr LCOE informuje, jaką cenę energii elektrycznej ze źródła fotowoltaicznego uzyska inwestor przez cały okres działania PV, biorąc pod uwagę zarówno koszty inwestycyjne CAPEX, jak i koszty eksploatacji przez okres 25 lat, łącznie z wymianą inwertera po 10 latach. LCOE oblicza się dzieląc koszty przez wytworzoną energię w ciągu całego okresu.

W tabeli 4 przedstawiono trzy warianty LCOE, w zależności od wielkości CAPEX. Do dalszych obliczeń użyto Scenariusza Bazowego jako najbardziej realistycznego.

²³ www.greencarreports.com, *Life with Tesla Model S: Tires cost me more than my fuel does*, [13-11-2014].

²⁴ www.teslamotors.com/supercharger, and Third Quarter 2014 Shareholders Letter, [05-11-2014], s. 2.

Tabela 4

Instalacja PV o mocy 5 kW na potrzeby ładowania samochodu elektrycznego

SCENARIUSZ BAZOWY	koszty całkowite PV	39 700	zł
CAPEX netto [5 460 zł/kW]		27 300	zł
Koszty eksploatacji PV		12 400	zł
Produktywność PV przez 25 lat		104 761	kWh
LCOE – leveraged cost of electricity – średni ważony koszt energii elektrycznej		0,38	zł/kWh
SCENARIUSZ PESYMISTYCZNY	koszty całkowite PV	48 100	zł
CAPEX netto [7 140 zł/kW]		35 700	zł
Koszty eksploatacji PV		12 400	zł
Produktywność PV przez 25 lat		104 761	kWh
LCOE – leveraged cost of electricity – średni ważony koszt energii elektrycznej		0,46	zł/kWh
SCENARIUSZ OPTYMISTYCZNY	koszty całkowite PV	37 600	zł
CAPEX netto [5 040 zł/kW]		25 200	zł
Koszty eksploatacji PV		12 400	zł
Produktywność PV przez 25 lat		104 761	kWh
LCOE – leveraged cost of electricity – średni ważony koszt energii elektrycznej		0,36	zł/kWh

Opłacalność zakupu i użytkowania samochodu elektrycznego vs spalinowego

W celu porównania opłacalności zakupu i użytkowania samochodu elektrycznego i spalinowego konieczne jest przyjęcie szeregu założeń (tabela 5). Dotyczą głównie średniego spalania paliwa na 100 km dla samochodów spalinowych (od 4,2 do 9,5 l/100 km), przebytego dystansu rocznie (30 tys. km), ceny paliwa (5,1 zł/l).

Ostatecznym wynikiem powyższych założeń jest przyjęcie średnich kosztów przebycia dystansu 30 000 km rocznie przez poszczególne samochody spalinowe i elektryczne. Dla samochodów spalinowych jest to wartość roczna na poziomie od 6 426 zł do 14 535 zł, w zależności od klasy pojazdu. Z kolei dla samochodów elektrycznych konieczne jest przyjęcie dodatkowych założeń, z uwagi na specyfikę paliwa (tabela 6). Dla poszczególnych rodzajów EV potrzebne są różne moce PV, aby umożliwić przejechanie założonego dystansu (od 4,3 do 6 kW mocy PV). Energia dla EV jest produkowana w źródle, które inwestor musi nabyć w momencie zakupu samochodu. Źródło PV jest więc inwestycją, która będzie się zwracać w czasie. Jego czas pracy będzie znacznie dłuższy niż żywotność EV. Konieczne jest więc dokonanie pewnego uproszczenia na niekorzyść PV – rozłożenia kosztów PV tylko na 10 lat, nie na 25, tak aby móc porównać jego koszty z kosztami

Tabela 5

Założenia ogólne dotyczące kosztów spalania samochodów, kosztów zużycia energii przez EV, ceny paliwa, liczby przejechanych kilometrów rocznie

Zużycie paliwa 4,2 l/100 km – Mini Cooper 55 kW	21,4
Zużycie paliwa 6,1 l/100 km – Nissan Note	31,1
Zużycie paliwa 7,8 l/100 km – Mercedes S 250 CDI L	39,8
Zużycie paliwa 9,5 l/100 km – Audi A8 3.0 TDI	48,5

Dystans km rocznie	30 000	
Średnia cena paliwa [zł]	5,1	
Cena energii elektrycznej [zł/kWh] – LCOE PV	0,38	
Klasa Mini [zł/km] na podstawie Mini Cooper	0,12	
Klasa Compact [zł/km] na podstawie Nissan Note	0,13	
Klasa Premium [zł/km] na podstawie Audi A8 3.0	0,2	
Zużycie energii elektrycznej przez EV	[kWh/100 km]	konieczna moc fotowoltaiki do przejechania 30 tys. km przez samochód elektryczny [kW]
BMW i3	13	4,3
Nissan Leaf	15	5
Tesla S 85 kW	18	6
Tesla E w przygotowaniu od 2017 r.	15	5
Spalania aut spalinowych	[zł/100 km]	
Mini Cooper 55 kW	21,4	
Nissan Note	31,1	
Audi A8 3.0 TDI	48,5	
Liczba lat użytkowania samochodu	10	

Tabela 6

Roczne koszty paliwa do przejechania 30 000 km

Marka samochodu	Koszt paliwa na rok	Koszt PV dla EV dla przejechania 30 tys. km na rok przez 25 lat
BMW i3	-	21 840
Mini Cooper 55 kW	6 426	-
NISSAN LEAF	-	25 200
Nissan Note	9 333	-
TESLA S 85 kW	-	30 240
TESLA E [w przygotowaniu od 2017]	-	25 200
Audi A8 3.0 TDI	14 535	-

samochodu spalinowego. W rzeczywistości jednak PV służyć będzie przez kolejne 15 lat, produkując energię elektryczną na potrzeby inwestora, w tym potencjalnie dla kolejnych samochodów elektrycznych. Jest to dodatkowa korzyść PV, nieuwjęta liczbowo w poniższej kalkulacji.

Posiadając dane na temat obliczonego wyżej średnio ważnego kosztu wytworzenia energii elektrycznej ze źródła fotowoltaicznego na potrzeby własne, oraz powyższe założenia dotyczące samochodu spalinowego, można dokonać analizy porównawczej opłacalności EV.

Różnice w przejechaniu 100 km dla samochodu spalinowego i elektrycznego rosną wraz ze wzrostem klasy samochodów: od 15,4 zł/100 km dla klasy mini, do 40,2 zł/100 km dla klasy premium (rysunek 1, tabela 7).

Rysunek 1
Koszty przejechania 100 km przez EV przy wykorzystaniu energii słonecznej z PV

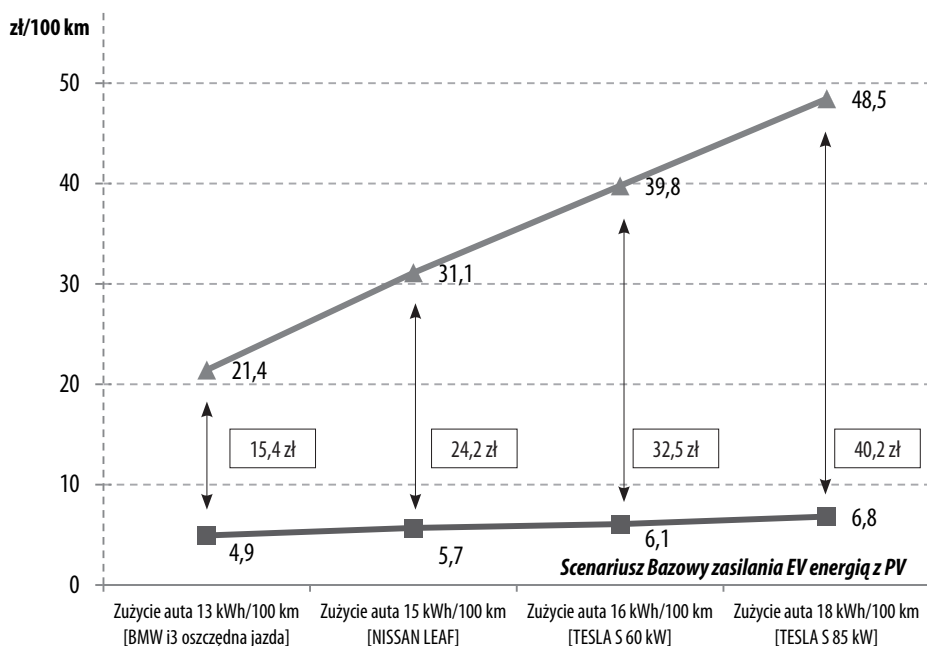


Tabela 7

Koszty energii elektrycznej wytworzonej z PV dla przejechania 100 km przez EV i samochody spalinowe

Średnie zużycie energii elektrycznej przez samochód elektryczny – koszty zł na 100 km	Scenariusz bazowy – 5460 zł/kW mocy PV	Scenariusz pesymistyczny – 7140 zł/kW mocy PV	Scenariusz optymistyczny – 5040 zł/kW mocy PV	Nowy samochód spalinowy	
Zużycie auta 13 kWh/100 km [BMW i3 oszczędna jazda]	4,9	6,0	4,7	Mini Cooper	21,4
Zużycie auta 15 kWh/100 km [NISSAN LEAF]	5,7	6,9	5,4	Nissan Note	31,1
Zużycie auta 16 kWh/100 km [TESLA S 60 kW]	6,1	7,3	5,7	Mercedes S 250	39,8
Zużycie auta 18 kWh/100 km [TESLA S 85 kW]	6,8	8,3	6,5	Audi A8 3.0 TDI	48,5

Analiza opłacalności

Klasa samochodów premium

Można, analizując dane z tabeli 6, postawić tezę o opłacalności samochodów elektrycznych w porównaniu do spalinowych w klasie premium już w pierwszym roku ich użytkowania (*break even point 1* na rysunku 2). Samochody w klasie premium – Tesla S oraz przykładowy model Audi A8 posiadają podobną cenę zakupu (około 350 tys. zł brutto), a koszty ich paliwa różnią się znacznie. Już dzisiaj można stwierdzić, że posiadanie samochodu w klasie premium Tesla S i dodatkowo 6 kW instalacji fotowoltaicznej do produkcji paliwa jest finansowo bardziej opłacalne niż zakup spalinowego samochodu klasy premium. Każdy rok użytkowania Tesli S generuje zerowe koszty paliwa z powodu zainwestowania w jego źródło jednorazowo ponad 30 tys. zł w pierwszym roku użytkowania. Dla przykładowego pojazdu klasy premium – Audi A8 trzeba wydać co roku ponad 14 tys. zł na paliwo, aby przejechać ten sam dystans 30 tys. km.

Klasa samochodów compact i mini

W tej klasie nie można jeszcze mówić o opłacalności samochodów elektrycznych w porównaniu do spalinowych (tabela 8, rysunek 2). Cena samochodów w klasie compact i mini jest za niska, a cena EV za wysoka, aby zerowe koszty paliwa zrekompensowały w okresie 10 lat zwrot z inwestycji w EV i PV. Ceny klasy compact to 45 tys. zł dla Nissana Note i około 130 tys. zł dla elektrycznego Nissana Leaf, a dla klasy mini: Mini Cooper: 69 tys. zł, BMW i3: 160 tys. zł. Po 10 latach dla klasy compact różnica w cenie to wciąż około 30 tys. zł, a dla klasy mini

²⁵ Źródła danych dotyczących samochodów: www.bmw.pl, www.teslamotors.com, www.nissan.pl, www.audi.pl, www.merceder-benz.pl, www.mini.com.pl, www.magazynauto.pl, www.autocentrum.pl [10-11-2014].

– prawie 60 tys. zł – w obu przypadkach na korzyść samochodów tradycyjnych. Analizując rynek przyszłych samochodów elektrycznych, uwzględniono w analizie model Tesla E, który ma pojawić się na światowym rynku w 2017 roku. Dla tego modelu, znacznie tańszego od obecnej klasy premium, istnieje moment zrównania opłacalności: koszty Tesla E i Nissan Note zrównują się w dziesiątym roku użytkowania (*break even point 2*), (tabela 8, rysunek 2).

Rysunek 2
Porównanie kosztów zakupu pojazdu i paliwa: samochody spalinowe versus elektryczne *break even points* dla poszczególnych klas

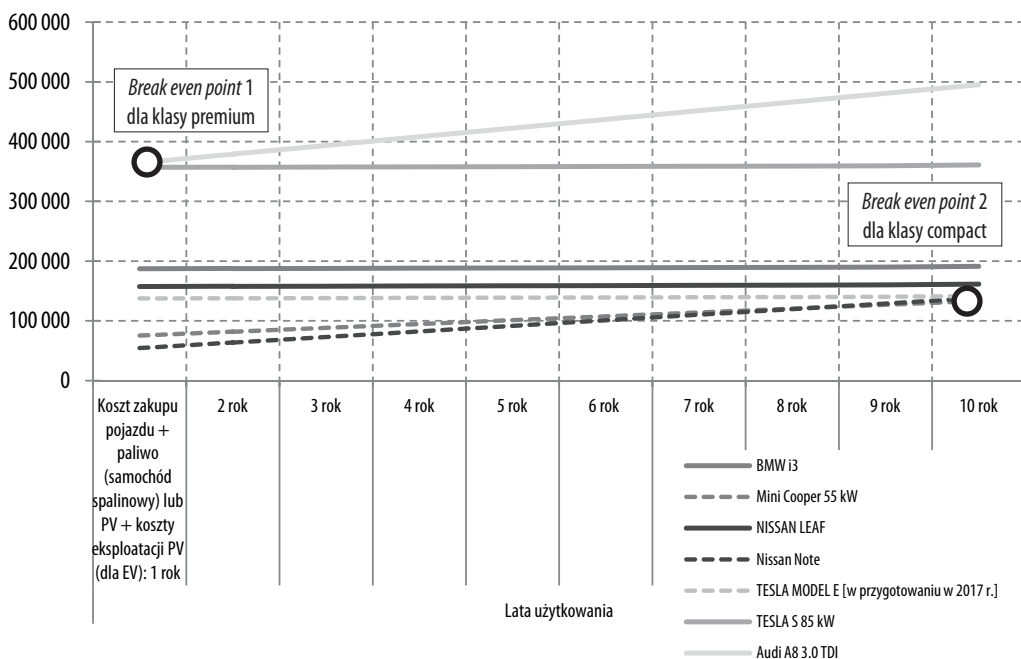


Tabela 8
Opłacalność samochodów elektrycznych i spalinowych

Marka samochodu/koszt zakupu pojazdu i paliwa lub PV [zł brutto]	Koszt zakupu samochodu	Koszt zakupu pojazdu + paliwo (samochód spalinowy) lub PV (samochód elektryczny) + koszty eksploatacji PV (dla EV): 1 rok	Lata użytkowania								Klasa samochodu		
			2 rok	3 rok	4 rok	5 rok	6 rok	7 rok	8 rok	9 rok		10 rok	
<i>Break even point dla poszczególnych klas</i>		PREMIUM										COMPACT	
BMW i3	160 000	187 169	187 480	187 798	188 126	188 461	188 805	189 158	189 519	189 889	191 324		Klasa Mini
Mini Cooper 55 kW	69 000	75 426	81 852	88 278	94 704	101 130	107 556	113 982	120 408	126 834	133 260		
Nissan Leaf	126 100	157 401	157 713	158 031	158 358	158 694	159 038	159 390	159 752	160 122	161 557		
Nissan Note	45 000	54 333	63 666	72 999	82 332	91 665	100 998	110 331	119 664	128 997	138 300		Klasa Compact
TESLA model E [w przygotowaniu w 2017 r.]	100 000	137 501	137 812	138 130	138 458	138 793	139 137	139 490	139 851	140 221	141 656		
TESLA S85 KW	325 458	356 759	357 071	357 389	357 716	358 052	358 396	358 748	359 110	359 480	360 915		Klasa Premium
Audi A8 3.0 TDI	350 000	364 535	379 070	393 605	408 140	422 675	437 210	451 745	466 280	480 815	495 350		

Podsumowanie

W najbliższych kilku latach konsekwencje rozwoju rynku samochodów elektrycznych będą rewolucyjne dla rynku motoryzacyjnego. Powstanie bowiem zupełnie nowa jakość przemieszczania się na dużą skalę, cechująca się w stu procentach ekologicznym paliwem (na przykład pochodzącym z fotowoltaiki), zwiększonym komfortem jazdy dzięki bardzo niskiemu poziomowi hałasu i zwiększonej dynamice jazdy. Już dziś obserwuje się opłacalność samochodów elektrycznych w klasie premium (Tesla S), napędzanych czystą energią słoneczną, w porównaniu do samochodów spalinowych klasy premium. Masowa produkcja EV spowoduje obniżenie kosztów ich wytwarzania, a więc również przesunięcie opłacalności do kolejnych segmentów rynku – samochodów klasy compact – na przykład planowana Tesla E w 2017 roku, a także samochody elektryczne takich marek jak Volkswagen, BMW, Mercedes, Renault, Nissan. Samochody elektryczne umożliwiają także nowe spojrzenie na elektroenergetykę: EV poruszać się będą po drogach, napędzane w znacznej mierze energią odnawialną, w tym fotowoltaiczną, a podczas postoju umożliwiać bilansowanie systemu elektroenergetycznego przez udostępnienie mocy z naładowanych baterii. Dziś głównym źródłem energii elektrycznej w Europie są duże elektrownie konwencjonalne: węglowe, jądrowe, gazowe. W perspektywie kilkunastu lat dynamicznie rozwijająca się energia odnawialna (głównie słoneczna i wiatrowa) w istotny sposób zmienić może *energy-mix* i spowodować większe rozproszenie źródeł wytwarzania.

W celu zagwarantowania konsumentowi lepszych warunków życia w długim okresie, czego ważnym elementem jest sposób transportu, a przy tym ochrony środowiska naturalnego, potrzebne są nowe, bardziej efektywne sposoby przetwarzania energii, czego częścią jest właśnie *e-mobility*. Działania koncernów motoryzacyjnych w kierunku planowanej produkcji samochodów elektrycznych dają nadzieję na powodzenie tego projektu, czego najbardziej dobitnym przykładem jest właśnie kalifornijska Tesla Motors. Po raz kolejny Krzemowa Dolina wyznacza kierunki rozwoju innowacji – już nie tylko w branży internetowej (Google, Facebook), czy telekomunikacyjnej (Apple), ale także w motoryzacji. Wiele firm energetycznych oraz rządy krajów europejskich, podążając często za legislacją Unii Europejskiej²⁶, podejmują starania, aby stworzyć niezbędną infrastrukturę ładowania pojazdów elektrycznych.

²⁶ Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2014/94/UE z dnia 22 października 2014 r. w sprawie rozwoju infrastruktury paliw alternatywnych.

Literatura

- Bloomberg, www.bloomberg
- Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2014/94/UE z dnia 22 października 2014 r. w sprawie rozwoju infrastruktury paliw alternatywnych (Dz.U. L 307 z 28.10.2014)
- Fromm E., *Zdrowe społeczeństwo*, Kraków 2012
- Konferencja Renault Polska, 14 czerwca 2012, www.mg.gov.pl
- London's Major: www.tfl.gov.uk
- Ochrona Środowiska*, Warszawa 2009
- Ochrona Środowiska*, Warszawa 2014
- Program ochrony środowiska przed hałasem dla Warszawy z 21.10.2010*: www.bip.warszawa.pl
- Progress towards achieving the Kyoto and EU 2020 objectives*, European Commission, październik 2014
- Renault-Nissan: www.nissan-global.com
- Reuters: www.reuters.com
- Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 14 sierpnia 2008 r. w sprawie szczegółowego zakresu obowiązków uzyskania i przedstawienia do umorzenia świadectw pochodzenia, uiszczenia opłaty zastępczej, zakupu energii elektrycznej i ciepła wytworzonych w odnawialnych źródłach energii oraz obowiązku potwierdzania danych dotyczących ilości energii elektrycznej wytworzonej w odnawialnym źródle energii (Dz.U. 2008 nr 156 poz. 969)
- Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 443/2009 z dnia 23 kwietnia 2009 r. określające normy emisji dla nowych samochodów osobowych w ramach zintegrowanego podejścia Wspólnoty na rzecz zmniejszenia emisji CO₂ z lekkich pojazdów dostawczych (Dz.U. L 140 z 5.6.2009)
- RWE e-mobility: www.rwe.com
- RWE Polska: www.rwe.pl
- Tesla Motors: www.teslamotors.com
- Tesla Roadster: www.teslamotors.com
- Wartości opałowe i wskaźniki emisji do raportowania w ramach Wspólnotowego Handlu Uprawnieniami do Emisji za rok 2013*, Warszawa 2014
- www.audi.pl
- www.autocentrum.pl
- www.bmw.pl
- www.bmw.pl
- www.greencarreports.com, *Life with Tesla Model S: Tires cost me more than my fuel does*
- www.magazynauto.pl
- www.merceder-benz.pl
- www.mini.com.pl
- www.nissan.pl
- www.teslamotors.com