

Stefan WÓJTOWICZ

## POJAZDY Z NAPĘDEM ELEKTRYCZNYM

**STRESZCZENIE** *Sprawność silników elektrycznych i rozwój nowoczesnych magazynów energii sprawiają, że pojazdy elektryczne stanowią techniczną i ekonomiczną alternatywę dla pojazdów spalinowych. W artykule przedstawiono ogólne perspektywy rozwoju pojazdów elektrycznych, zestawiono ich zalety i wady. Tematyka pojazdów z napędem elektrycznym należy do głównych kierunków badawczych w Instytucie Elektrotechniki. Prowadzone są prace nad napędami elektrycznymi z zastosowaniem najnowszych rozwiązań z energoelektroniki, sterowania, nowych silników elektrycznych i zastosowań technik informatycznych. Nacisk kładzie się na układy zasilania, magazynowania energii, zarządzania zużyciem energii. Przedstawione rozwiązania znajdują zastosowanie w nowych modelach pojazdów specjalistycznych oraz lokomotywach, tramwajach i trolejbusach.*

**Słowa kluczowe:** *pojazdy elektryczne, efektywność napędów elektrycznych, zasobniki energii.*

### 1. WSTĘP

---

Transport jest zdominowany przez pojazdy elektryczne w dwóch obszarach. Pierwszy to pojazdy szynowe: tramwaje, trolejbusy, kolej podmiejska, metro, superszybka. Drugim obszarem, gdzie niepodzielnie panują pojazdy elektryczne, jest transport towarów wewnątrz zamkniętych obiektów, jak

---

**dr inż. Stefan WÓJTOWICZ**  
e-mail: s.wojtowicz@iel.waw.pl

Zakład Systemów Pomiarowo-Diagnostycznych  
Instytut Elektrotechniki

PRACE INSTYTUTU ELEKTROTECHNIKI, zeszyt 258, 2012

hurtownie i supermarkety, magazyny, zakłady przemysłowe, lotniska i wszędzie tam, gdzie hałas i spaliny wykluczają inne rozwiązania. Dostępne baterie pozwalają na rozwój specjalistycznych pojazdów elektrycznych do poruszania się na małe odległości. Są to rowery, skutery, małe samochody elektryczne, wózki transportowe, turystyczne, rekreacyjne.

W obszarze samochodów osobowych obserwuje się zwiększoną aktywność koncernów samochodowych. One kierują się własną strategią i przede wszystkim własnym interesem ekonomicznym. Jednak o masowym wprowadzeniu napędu elektrycznego i ewentualnym sukcesie samochodu elektrycznego zadecyduje efektywność napędu w powiązaniu z całym systemem wytwarzania, dystrybucji i magazynowania energii elektrycznej.

Efektywność napędu elektrycznego jest to zdolność do elastycznego reagowania na zmiany w obszarze wytwarzania, dystrybucji energii elektrycznej, do produktywnego oraz oszczędnego wykorzystania energii do realizacji przyjętego celu. Efektywność opisywana jest relacją uzyskiwanych efektów do ponoszonych nakładów i może być rozpatrywana jako sprawność, czyli minimalizowanie stosunku kosztów do efektów oraz jako skuteczność, czyli zdolność do osiągania zakładanego celu.

## 2. PIERWSZE POJAZDY ELEKTRYCZNE

---

Bez pomocy środków technicznych zasięg aktywności człowieka wynosi zaledwie kilka do kilkunastu kilometrów. Era pary i elektryczności spowodowała zmiany w podejściu do przemieszczania się w przestrzeni.



Rys. 1. Pierwsza na świecie kolej elektryczna, konstrukcji W. von Siemens na Berlińskiej Wystawie Przemysłowej w 1879 roku [6]

Silniki zaczęły napędzać pojazdy. Na pierwszy plan wysunął się problem źródeł energii i technologii magazynowania energii. Od połowy dziewiętnastego wieku obserwujemy rozwój napędów elektrycznych w transporcie towarów i ludzi. Pierwsze pojazdy z napędem elektrycznym skonstruowano w Europie w latach trzydziestych XIX wieku. Były to powozy konne z prostym silnikiem elektrycznym.



**Rys. 2.** W 1898 roku Ferdynand Porsche w austriackiej fabryce Lohner opracował konstrukcję napędu elektrycznego o mocy 12 KM, nadający się do wbudowania w piastę koła pojazdu [7, 8]

W latach sześćdziesiątych tego wieku opracowanie akumulatora energii umożliwiło rozwój, którego ukoronowaniem było przekroczenie przez samochód elektryczny w roku 1899 bariery 100 km/godz. Natychmiast zostały docenione zalety napędu elektrycznego, a wśród nich łatwość obsługi, czystość, brak hałasu. Pamiętajmy, że porównywano nowy wynalazek z napędem konnym i parowym. Na przełomie wieków nastąpiło przyspieszenie rozwoju napędu spalinowego i pojazdy z napędem elektrycznym zostały wyparte przez pojazdy z silnikami spalinowymi. Napęd elektryczny pozostał i nadal dominował w transporcie szynowym miejskim i podmiejskim.

### 3. SZANSE ROZWOJOWE

---

Obecnie napęd elektryczny jest stosowany masowo i nie kwestionuje się jego zalet. Dyskusja dotyczy natomiast szerokiego zastosowania napędowych silników elektrycznych w samochodach osobowych i ciężarowych [1]. Nastąpi to wtedy, gdy to rozwiązanie, przy osiągnięciu tych samych celów, zostanie uznane za bardziej efektywne energetycznie, czyli będzie bardziej opłacalne niż inne.

Efektywność energetyczna wiąże się z wieloma zjawiskami społecznymi, nie tylko z techniką. Wiedza, nawyki życia codziennego, zachowania wyrażające preferencje kulturowe mogą decydować o sposobach wytwarzania i użytkowania energii elektrycznej. O ogromną rolę odgrywają zjawiska polityczne.

Do 2020 roku wszystkie kraje Unii Europejskiej muszą razem spełnić cele 3 x 20, uzgodnione na szczycie Rady Europejskiej w marcu 2007 r. Są to: zmniejszenie emisji CO<sub>2</sub> o 20%; zwiększenie udziału energii ze źródeł odnawialnych do 20%; zwiększenie efektywności energetycznej o 20% do 2020 roku. Dwa pierwsze cele wymagają nakładów inwestycyjnych. Trzeci cel wymaga działań na rzecz oszczędzania. Zaoszczędzona energia staje się większym i tańszym źródłem energii niż ropa, węgiel czy gaz.

Wzrost liczby samochodów na świecie oraz coraz większa dostępność podróży samolotami odrzutowymi to kolejne czynniki zwiększające emisję gazów cieplarnianych. Emisja dwutlenku węgla przez zasilane paliwami kopalnymi pojazdy to bardzo poważny wkład w globalne zmiany klimatu. W skali światowej transport odpowiada za 20% emisji CO<sub>2</sub>. Samochodowe silniki spalinowe to emisja tlenków siarki, tlenków azotu, pyłów i toksyn, łatwo przyswajalnych metali ciężkich, węglowodorów i promieniotwórczości. Spaliny samochodowe są dużo bardziej szkodliwe dla ludzi, niż zanieczyszczenia pochodzące z przemysłu, bo rozprzestrzeniają się w dużych stężeniach na niskich wysokościach w bezpośrednim sąsiedztwie ludzi; w małych silnikach nie jest też możliwa instalacja filtrów, takich jak w elektrowniach i fabrykach. Aktualnie po drogach świata jeździ miliard samochodów – 200 milionów ciężarówek i 800 milionów samochodów osobowych.

Przewiduje się, że jeśli aktualny trend będzie kontynuowany, do 2050 roku liczba aut podwoi się. Koszt transportu samochodami osobowymi jest w rzeczywistości wielokrotnie wyższy, niż płacą za to użytkownicy samochodów [2]. Bezpośredni koszt jednego kilometra jest pokrywany w zaledwie 25 procentach przez użytkownika samochodu. Resztę kosztów ponosi społeczeństwo, łącznie z tymi, którzy samochodami nie jeżdżą.

Lepszym rozwiązaniem jest komunikacja zbiorowa. Jest wydajna ekonomicznie i ekologiczna. Na transport pasażera autobusem wystarcza 8-krotnie mniej paliwa niż w przypadku jazdy samochodem. Dla metra lub tramwaju te współczynniki są jeszcze lepsze. Transport publiczny wymaga kilkakrotnie mniej miejsca niż samochody. Komunikacja masowa jest znacznie bezpieczniejsza dla zdrowia, wielokrotnie mniej wypadkowa, pozwala też na ograniczenie hałasu.

Napęd elektryczny spełnia surowe warunki ekologiczne. Pojazdy elektryczne to wygodne, ciche, tanie, a także czyste ekologicznie źródło transportu w komunikacji miejskiej, co jest bardzo ważne dla transportu i atmosfery w miastach i dużych aglomeracjach. Pojazdy elektryczne nie wydzielają spalin, nie hałasują, w związku z efektywną pracą silników elektrycznych w znacznym przedziale obrotów mają też doskonałe osiągi. Efektywność silników elektrycznych, odzyskiwanie energii podczas hamowania oraz brak akcyzy na prąd powodują, że cena przejechania 1 kilometra pojazdem elektrycznym jest dużo

niższa, niż dla pojazdu na benzynę czy ropę. Barię hamującą rozwój samochodów elektrycznych były stosunkowo mało wydajne magazyny energii ograniczające zasięgi pojazdów do kilkudziesięciu kilometrów. Obecnie to ograniczenie jest przełamywane. Oczywiście z produkcją prądu, którym są ładowane akumulatory tych pojazdów, również jest związana emisja zanieczyszczeń, ale w dużych elektrowniach znacznie łatwiej kontrolować zanieczyszczenia, a efektywność samochodów elektrycznych jest znacznie lepsza niż efektywność pojazdów spalinowych. Oprócz „czystego” napędu elektrycznego rozwijany jest napęd hybrydowy [1], jako połączenie silników spalinowego i elektrycznego. Silniki te mogą pracować na przemian lub jednocześnie. W miastach stosowany jest silnik elektryczny. Silnik spalinowy wykorzystywany jest głównie poza miastem do jazdy ciągłej. Napęd hybrydowy jest szczególnie korzystny w pojazdach, które często zatrzymują się i ruszają. Sprawdza się też doskonale w ruchu miejskim.

Rozwijanym rozwiązaniem magazynu energii dla napędu elektrycznego są ogniwa paliwowe. Podczas pracy ogniwa paliwowe nie produkują gazów cieplarnianych ani innych zanieczyszczeń. Pojazdy na ogniwa paliwowe są wysoko wydajne, zużywają niewiele energii, a także nie spalają paliwa w czasie postoju. Są ciche i z braku części ruchomych bardzo proste w utrzymaniu. W odróżnieniu akumulatorów są tankowane wodorem. Pojazdy elektryczne z ogniwami paliwowymi są w fazie badań.

## 4. ZALETY POJAZDÓW ELEKTRYCZNYCH

---

Pojazdy elektryczne mogą realizować różne zadania i w zależności od tego można je podzielić na grupy [3]. Pierwszą grupę stanowią pojazdy do transportu szynowego: kolej, metro, tramwaje. Tu efektywność jest niekwestionowana. Podobnie w grupie pojazdów specjalnych, gdzie wyklucza się emisję spalin. Obecnie rozstrzyga się zastosowanie napędów elektrycznych w samochodach osobowych. Postęp w dziedzinie magazynowania energii, optymalizacji silników elektrycznych, układów sterowania spowodował poprawę efektywności i korzyści zaczynają dominować nad wadami. Do najczęściej wymienianych zalet napędu elektrycznego w stosunku do napędu spalinowego można zaliczyć:

- radykalne zmniejszenie kosztów zużycia energii w porównaniu z napędem spalinowym,
- zwiększenie sprawności energetycznej do 80%,
- dużo większy moment obrotowy,

- brak emisji spalin i mała emisja hałasu,
- zasięg z użyciem baterii litowo-jonowych do 500 km,
- łatwe i dostępne ładowanie baterii w domu,
- możliwość odzysku energii hamowania,
- zmniejsza zależność od ropy naftowej,
- większa stabilność cen energii elektrycznej,
- obniżenie kosztów eksploatacji,
- tańsze ładowanie w nocy i wyrównywanie obciążenia sieci energetycznej,
- poprawa bezpieczeństwa związana z brakiem zbiornika paliwa.

Zalety techniczne w zasadzie są bezdyskusyjne, natomiast punkty ekonomiczne oddają obecną sytuację rynkową.

## 5. WADY POJAZDÓW ELEKTRYCZNYCH

---

Przy obecnym stanie techniki, mimo wymienionych atutów, samochody elektryczne nie zastępują tradycyjnych spalinowych. Opóźnienie wprowadzenia napędu elektrycznego do masowo produkowanych samochodów osobowych wynika z następujących powodów:

- pojazdy elektryczne mają ograniczony zasięg, który można zwiększać dużym nakładem kosztów,
- długi czas ładowania baterii,
- wysoki koszt magazynów energii,
- stosunkowo wysoka cena pojazdu.

Wymienione czynniki decydują o skali popytu na samochody elektryczne. Dodatkowo zalety ekologiczne nie dla wszystkich są przekonujące [3]. Brak emisji w miejscu eksploatacji nie oznacza czystości ekologicznej. Energia do ładowania akumulatorów czerpana jest z sieci. Elektrownie produkują energię głównie ze spalania węgla, gazu, w mniejszym stopniu innych surowców energetycznych. Dobrą prognozą jest rozwój energetyki opartej na odnawialnych źródłach energii, takich jak energia wodna, słoneczna, wiatrowa, geotermiczna, energia z falowania. Tworząc bilans szkodliwego oddziaływania na środowisko należy uwzględnić także możliwość szkodliwego działania w procesie wytwarzania przed eksploatacją.

Znaczna część szkodliwego działania samochodów na środowisko pochodzi od ogumienia, zarówno w procesie produkcji, jak i eksploatacji. Ten argument dotyczy wszelkich pojazdów drogowych i nie może być brany pod uwagę przy ocenie pojazdów elektrycznych.

## 5. WYBRANE ROZWIĄZANIA PROTOTYPOWE LEKKICH POJAZDÓW

Obecnie w kraju są opracowane i produkowane w małych seriach pojazdy elektryczne. Wybrane polskie propozycje lekkich pojazdów elektrycznych pokazano poniżej.



Rys. 3. Elipsa wersja osobowa [9]



Rys. 4. Elipsa wersja ciężarowa [9]



Rys. 5. Elcar pojazd golfowy [13]



Rys. 6. RE-VOLT Impact Automotive Technologies Sp. z o.o.[10]



Rys. 7. Meleks wersja ciężarowa [12]





Rys. 8. Prototyp pełnowymiarowego samochodu elektrycznego opracowany w projekcie Green Cars [11]

## 6. PEŁNOWYMIAROWE SAMOCHODY ELEKTRYCZNE

Na rynkach światowych w limitowanych seriach oferowane są samochody elektryczne różnych marek. Oto niektóre z nich pokazane na kolejnych rysunkach [13].



Rys. 9. Tesla Roadster



Rys. 10. Mitsubishi i-MiEV



Rys. 11. Nissan Leaf



Rys. 12. Renault Fluence Z.E





Rys. 13. PEUGEOT iOn



Rys. 14. Chevrolet Volt

## 7. PRACE BADAWCZE I ROZWOJOWE W INSTYTUCIE ELEKTROTECHNIKI

W Instytucie Elektrotechniki tematyka pojazdów z napędem elektrycznym należy do głównych kierunków badawczych. W latach pięćdziesiątych i sześćdziesiątych przedmiotem badań były silniki i układy napędowe od małej mocy poniżej kilowata do megawatów. Zostały opracowane silniki i układy napędowe dla wózków, samochodów, lokomotyw, tramwajów i trolejbusów. W następnych dekadach rozwijano tę dziedzinę wprowadzając nowe technologie jak układy energoelektroniczne i mikroprocesorowe układy sterowania i diagnostyki. W latach siedemdziesiątych został zbudowany prototyp autobusu elektryczny z akumulatorowym magazynem energii. Osiemdziesiąte i następne to praktyczne rozwiązania wykonywane na zamówienie, układy energoelektroniczne dużych mocy, produkcja kompletnych podzespołów trakcyjnych, modernizacje tramwajów i lokomotyw. W oparciu o dorobek Zakładu Doświadczalnego Instytutu Elektrotechniki w dziedzinie projektowania i wytwarzania silników prądu stałego rozpoczęto produkcję małych pojazdów elektrycznych w spółce Elcar.

Obecnie rozwijane są napędy elektryczne z zastosowaniem najnowszych rozwiązań z energoelektroniki, sterowania, nowych opracowań silników elektrycznych i zastosowań technik informatycznych. Bardzo silny nacisk kładzie się na układy zasilania, magazynowania energii, zarządzania zużyciem i oszczędzaniem energii. Przedstawione rozwiązania znajdują zastosowanie w nowych i modernizowanych lokomotywach, tramwajach i trolejbusach.

Instytut Elektrotechniki prowadzi szeroką kooperację z zakładami produkującymi tabor kolejowy oraz zakładami komunikacji miejskiej. Nowoczesne rozwiązania przyszłościowe dotyczące napędów, mikroprocesorowych układów sterowania oraz układów magazynowania energii z zastosowaniem superkon-

densatorów są przedmiotem projektów celowych i innych projektów z dofinansowaniem państwa i UE.



Rys. 15. Lokomotywa uniwersalna, wagon metra i lokomotywa manewrowa [15]

Ponadto prowadzone są badania zmierzające do modernizacji i wprowadzenia nowych rozwiązań usprawniających pracę obsługi i poprawiających wygodę pasażerów. Temu służy wyposażenie pojazdów w m.in. takie rozwiązania, jak pełna skomputeryzowana informacja dla pasażera, energooszczędne diodowe oświetlenie, automatyczna diagnostyka, lokalizacja pojazdu z centrum sterowania ruchem, rejestracja zdarzeń dla poprawy bezpieczeństwa system antykolizyjny.



Rys. 16. Modernizowane tramwaje i nowe konstrukcje trolejbusów [14, 16]

Lekkie pojazdy z napędem elektrycznym stanowią dynamicznie rozwijającą się dziedzinę transportu ekologicznego. Elcar, spółka, której głównym udziałowcem jest Instytut Elektrotechniki, jest producentem finalnym pojazdów elektrycznych.

Badania prowadzone obecnie zmierzają do opracowania i wdrożenia nowoczesnego, lekkiego pojazdu elektrycznego do przewozu pasażerów na niewielkie odległości. Pojazd przeznaczony jest do obsługi turystów w zabytkowych dzielnicach miast, jako środek transportu na lotniskach, jako element transportu wewnątrzzakładowego, pojazd obsługujący obszary przyrodnicze oraz tereny targowe.

## 8. UWAGI KOŃCOWE

---

Pojazdy z napędem elektrycznym posiadają niewątpliwe zalety, które powodują wzrost zainteresowania tym rodzajem transportu. Na pierwszym miejscu po stronie użytkownika należy wymienić niższe koszty eksploatacji i wyższą sprawność energetyczną. Dodatkowe zmniejszenie kosztów energii można uzyskać, odzyskując energię hamowania i ładowanie baterii w okresie niższej taryfy. Poza indywidualnymi istnieją obiektywne społeczne korzyści rozwoju pojazdów elektrycznych. Mała emisja hałasu, brak emisji spalin, bezpieczny magazyn energii, poprawa bilansu energetycznego, korzystny wpływ na obciążenie sieci przy ładowaniu nocą to zalety napędów elektrycznych odczuwane globalnie.

Ciekawa sytuacja wytworzyła się w związku z rozwojem alternatywnych źródeł energii. Pojazdy z napędem elektrycznym mogą być cennym elementem zrównoważonego rozproszonego systemu magazynowania i użytkowania energii. Rozwój pojazdów elektrycznych jest powiązany z rynkiem ropy naftowej. Przyspieszenie rozwoju alternatywnych źródeł energii może przyczynić się do uniezależnienia się gospodarki od rynku ropy. Tak naprawdę zależy to od ceny energii elektrycznej. Rozwój źródeł energii odnawialnej może spowodować spadek opłacalności wydobycia ropy i rozwój systemów rozproszonych.

## LITERATURA

1. Polakowski K.: Pojazdy elektryczne jako pojazdy przyszłości, SIPE 2011, Sieci Inteligentne i Pojazdy Elektryczne, Zielona Góra, 2011.
2. Wójtowicz S.: Pojazdy elektryczne, SEP, Międzynarodowy Dzień Elektryki, 2007.
3. Wójtowicz S.: Efektywność energetyczna pojazdów elektrycznych, Spectrum, 2008, nr. 9.

4. Instytut Elektrotechniki, Zakład Trakcji, produkty, [www.iel.waw.pl](http://www.iel.waw.pl).
5. Tesla Motors, [www.teslamotors.com](http://www.teslamotors.com).
6. Historia Kolei, [http://pl.wikipedia.org/wiki/Historia\\_kolei](http://pl.wikipedia.org/wiki/Historia_kolei).
7. Pojazdy elektryczne w kartach historii, [ekoRowery.pl](http://ekoRowery.pl).
8. <http://stuttcars.com/about-porsche/ferdinand-porsche/>.
9. ELIPSA ZNTK Radom, [www.elipsavehicle.com/index.php?pname=108](http://www.elipsavehicle.com/index.php?pname=108).
10. [www.auto-elektryczne.pl/sam.html](http://www.auto-elektryczne.pl/sam.html).
11. [www.gc.greenpl.org/pl/node/222](http://www.gc.greenpl.org/pl/node/222).
12. Melex A&D Tyszkiewicz Sp. J. <http://www.melex.com.pl/produkty>.
13. Materiały firmowe Renault, Mitsubishi, Nissan, Romet, Peugeot, Chevrolet, Elcar.
14. Solaris Bus & Coach S.A., [www.solarisbus.pl](http://www.solarisbus.pl).
15. Lokomotywy elektryczne, [www.pkp.pl/node/190](http://www.pkp.pl/node/190).
16. Tramwaj, <http://pl.wikipedia.org/wiki/Tramwaj>.

*Rękopis dostarczono dnia 03.04.2012 r.*

## ELECTRIC DRIVE VEHICLES

Stefan WÓJTOWICZ

**ABSTRACT** *Electric motor efficiency and development of modern energy storage system cause that electrical vehicles become the technical and economic substitute to gasoline cars. The generalized prospect of electrical vehicles advancement is presented in this article. The various arguments in favor of and against them are shown. The development of electric drive vehicles is the one of the major research subjects in the Electrotechnical Institute. The research on electric drives with implementation of novel solutions in the area of power electronics, steering, new generation of motors and IT are performed. The special attention is put on power, energy storage and energy management systems. The solutions shown here are applicable in new models of commercial vehicles, e.g. locomotives, tramways and trolleybuses.*

**Keywords:** *electric vehicles, effectivity of electric drives, energy stores*