

Nr 98/2017, 157–166
ISSN 1644-1818
e-ISSN 2451-2486

ELEKTRYCZNE POJAZDY CIĘŻAROWE – PRZEGLĄD TECHNOLOGII I BADANIA WYBRANEGO POJAZDU

ELECTRIC VEHICLES TRUCKS – OVERVIEW OF TECHNOLOGY AND RESEARCH SELECTED VEHICLE

Andrzej Łebkowski

Akademia Morska w Gdyni, Morska 81–87, 81-581 Gdynia, Wydział Elektryczny,
Katedra Automatyki Okrętowej, e-mail: a.lebkowski@we.am.gdynia.pl

Streszczenie: W artykule przedstawiono rozwiązania technologiczne stosowane w pojazdach ciężarowych, w tym w pojeździe IVECO DAILY 50C ELECTRIC. Zaprezentowano podstawowe parametry pojazdu oraz właściwości eksploatacyjne. Przedstawiono wyniki badań eksploatacyjnych elektrycznego układu napędowego pojazdu ciężarowego prowadzone w warunkach drogowych oraz hamowni podwoziowej. Dokonano porównania badanej konstrukcji z innymi rozwiązaniami technologicznymi.

Słowa kluczowe: elektryczne samochody ciężarowe, napęd elektryczny, akumulatory trakcyjne.

Abstract: The article describes the technological solutions applied in electric trucks, especially in the IVECO DAILY 50C ELECTRIC truck. The basic vehicle parameters and properties are presented. The results of the truck's electric powertrain testing in road conditions and on roller dyno are introduced. The comparison of the examined design with other technological solutions is performed and discussed.

Keywords: electric trucks, electric powertrain, traction batteries.

1. WSTĘP

Historia motoryzacji elektrycznej sięga 1832 roku, kiedy to szkocki biznesmen Robert Anderson wymyślił pierwszy prymitywny powóz elektryczny. Ponad 60 lat później, w 1895 roku amerykańska firma Riker Electric Motor Co. z Nowego Jorku rozpoczęła produkcję dwumiejscowych trzykołowych ciężarówek o masie do pięciu ton [*The Early Electric Car Site*]. Ciężarowe samochody elektryczne wykorzystywane były w ówczesnych czasach głównie na terenach miejskich, do przewozu różnego rodzaju ładunków, jako samochody do rozwożenia mleka, pieczywa, mobilne punkty sprzedaży posiłków, lodów, kawiarnie, samochody pocztowe.

we, a nawet jako pojazdy straży pożarnej, policji i karetki pogotowia (rys. 1). Wymienione pojazdy rozwijały prędkości na poziomie 50 km/h i osiągały zasięg rzędu 60 km. Od tamtych czasów tego typu pojazdy elektryczne nie były jednak praktycznie stosowane. Z początkiem XX wieku ze względu na rozwój technologii silników spalinowych elektryczne samochody ciężarowe zostały odstawione na boczny tor motoryzacji. Wyjątkiem od reguły okazały się trolejbusy, tramwaje oraz lokomotywy elektryczne, jako pojazdy elektryczne zasilane poprzez odbieraki prądu bezpośrednio z sieci elektroenergetycznej.

Z początkiem XXI wieku wraz z rozwojem technologii elektrycznych silników napędowych, przekształtników energoelektronicznych, a zwłaszcza akumulatorów, zapomniane technologie i konstrukcje powracają do łask. Coraz więcej firm stosuje elektryczne układy napędowe w samochodach specjalnych, lekkich samochodach ciężarowych, autobusach, ciężkich samochodach ciężarowych, a nawet w bardzo ciężkich, ponadstunowych pojazdach pracujących w kopalniach (tzw. wozidła).

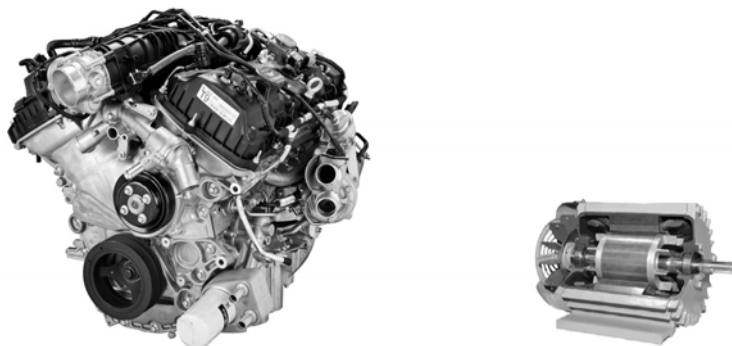


Rys. 1. Pierwsze elektryczne samochody ciężarowe [Early American Automobile History]

Fig. 1. The first electric trucks [Early American Automobile History]

Napęd elektryczny wypiera silniki spalinowe ze współcześnie budowanych samochodów ciężarowych z uwagi na korzystniejsze parametry i brak emisji trujących spalin do atmosfery. Silniki elektryczne mają mniejsze gabaryty od spalinowych (rys. 2), cechuje je znacznie większy moment obrotowy i to od najmniejszych wartości prędkości obrotowej. Ponadto charakteryzują się mniejszą liczbą elementów, z których są zbudowane w stosunku do spalinowych, nie

wymagają obsługi ani wymiany filtrów i płynów eksploatacyjnych, mają możliwość dużych zmian prędkości obrotowej w krótkim czasie, a także możliwość zastosowania hamowania odzyskowego.



Rys. 2. Porównanie gabarytów silnika spalinowego z elektrycznym o porównywalnej mocy
Fig. 2. Internal combustion engine vs. electric motor – size of comparable power

Współcześnie konstruowane samochody ciężarowe z napędem elektrycznym, takie jak NICOLA ONE™ (rys. 3), mają możliwość rozwijania prędkości ponad 100 km/h i uzyskiwania zasięgów blisko 2000 km na jednym tankowaniu CNG (turbozespół gazowy) trwającym 10–15 minut. Moc elektrycznego układu napędowego sięga 1470 kW (2000 KM) przy momencie obrotowym na poziomie 5000 Nm, generowanym z pakietu akumulatorów litowo-jonowych o pojemności 320 kWh [NICOLA ONE™].



Rys. 3. Ciężarowy samochód elektryczny NICOLA ONE™ [NICOLA ONE™]

Fig. 3. The electric truck NICOLA ONE™ [NICOLA ONE™]

Zastosowanie elektrycznego układu napędowego przyczynia się nie tylko do ograniczenia emisji szkodliwych gazów do atmosfery, ale także w znacznej mierze do redukcji kosztów eksploatacji pojazdu o ponad połowę w stosunku do paliw kopalnych. Jednak głównym problemem, z jakim borykają się konstruktorzy, są parametry akumulatorów trakcyjnych. Najczęściej do tej pory stosowanymi akumulatorami, oprócz kwasowo-ołowiowych (Pb-A) o gęstości energii 35–50 Wh/kg, były akumulatory niklowe o gęstości energii w zakresie 50–110 Wh/kg (Ni-Fe, Ni-Zn, Ni-Cd, Ni-MH), a także różnego rodzaju akumulatory litowe charakteryzujące się gęstością energii na poziomie 90–200 Wh/kg (Li-Ion, LiTiO, LiCoO, Li-MnO₂, LiMn₂O₄, LiFePO₄, LiSO₂, Li-SOCl₂, LTO). Nadzieja współczesnej motoryzacji pokładana jest w rozwoju technologii akumulatorów grafenowo-polimerowych, które oferują możliwość magazynowania energii elektrycznej w blisko dziesięciokrotnie mniejszej objętości niż dotychczas stosowane – 1000 Wh/kg, przy możliwości szybkiego ładowania i zachowania znacznie większej żywotności [Peleg 2016].

Równolegle do rozwoju technologii akumulatorów trakcyjnych, ogniwo paliwowych czy też ekologicznych generatorów gazowych, poszukiwane są inne rozwiązania związane z dostarczeniem energii elektrycznej na pokład pojazdu.

Jednym z pomysłów jest możliwość bezstykowego indukcyjnego przekazywania energii elektrycznej poprzez infrastrukturę drogową (cewki indukcyjne umieszczone w drodze) [Robarts 2015]. Inny pomysł dotyczy budowy stacji szybkiego ładowania przez łączniki zamontowane na dachu pojazdu lub podwoziu, które w bardzo krótkim czasie byłyby w stanie przekazać energię do naładowania pakietu akumulatorów pojazdu [*ABB wins 1st commercial order...* 2016], lub wymiany pojazdów ciągnących naczepę z ładunkiem [Edelstein 2016].

Jeszcze inne rozwiązanie testowane od 2014 roku opiera się na wykorzystaniu stykowego przekazywania energii poprzez pantografy umieszczone w górnej części pojazdu, odbierające energię bezpośrednio z przewodów jezdnych umieszczonych na wysokości 5,8 m nad drogą. Pierwsza na świecie autostrada z przewodami jezdnyimi została oddana do użytku w czerwcu 2016 roku w Szwecji (rys. 4). Konfiguracja systemu jest praktycznie identyczna jak w systemach zasilających lokomotywy elektryczne, składy metra lub tramwaje. Sieć trakcyjna zasilana jest z podstacji niskiego napięcia poprzez transformatory, prostowniki i falowniki, które przejmują z pojazdu nadmiar energii elektrycznej, generowanej podczas hamowania odzyskowego. Napięcie sieci zasilającej wynosi około 750 V DC (700÷750 VDC) i podawane jest przez dwubiegunowy pantograf do elektrycznego układu napędowego pojazdu. Rozwiązania konstrukcyjne pantografu umożliwiają podłączenie pojazdu w trakcie jazdy i zasilanie jego układu napędowego w zakresie prędkości do 90 km/h. Układ napędowy pojazdu składa się z falownika, silnika trakcyjnego o mocy 130 kW, rozwijającego moment 1050 Nm, oraz 5 kWh pakietu akumulatorów litowo-jonowych, będącego w stanie zapewnić energię do przemieszczania się pojazdu na odcinku do 3 km. Oprócz tego ciężarówka wyposażona jest w ekologiczny silnik spalinowy o mocy 265 kW zasilany biopaliwem [Weller 2016; Engdahl 2016].



Rys. 4. Pierwsza elektryczna autostrada szwedzka [Weller 2016; Engdahl 2016]

Fig. 4. The first electric Swedish highway [Weller 2016; Engdahl 2016]

Aktualnie produkuje się kilkadziesiąt typów elektrycznych samochodów ciężarowych (rys. 5), z których najbardziej popularne to Modec, Edison i Newton firmy Smith Electric Vehicles, Hytruck, BoulderEV, EVI MD firmy Electric Vehicles International, Renault Trucks D EV, Renault Maxity Electric, E-FORCE ONE AG, Nissan e-NT400 ATLAS, MilesEV Automotive – ZX40ST eTruck Light, Mule M100 i Balqon MX30 firmy Balqon Corporation, MT-EV WIV, BMW Terberg YT202-EV, Nautilus XE20, Mitsubishi Fuso Canter E-CELL, Mitsubishi Minicab-MiEV Truck, PVI – Electric Garbage Truck i inne [Electric Truck Model].



Rys. 5. Współczesne elektryczne samochody ciężarowe [Electric Truck Model]

Fig. 5. Modern electric trucks [Electric Truck Model]

Większość wymienionych pojazdów uzyskuje zasięgi około 100–150 km, zdarzają się też modele dysponujące zasięgiem do 300 km. Praktycznie każdy z pojazdów ma ograniczoną prędkość maksymalną do poziomu ok 70÷90 km/h. Do grupy wymienionych pojazdów należy także IVECO DAILY 50C ELECTRIC, którego elektryczny układ napędowy był przedmiotem badań niniejszej publikacji.

2. OBIEKT BADAŃ

Prawdopodobnie pierwszym w Polsce elektrycznym samochodem ciężarowym jest pochodzący z importu IVECO DAILY 50C ELECTRIC (rys. 6).



Rys. 6. Elektryczny samochód ciężarowy IVECO DAILY 50C ELECTRIC

Fig. 6. *The electric truck IVECO DAILY 50C ELECTRIC*

Pojazdy tego typu produkowane są od 1986 roku we Włoszech z przeznaczeniem do użytku w krajach, gdzie nachylenie terenu nie jest większe niż 16%. IVECO DAILY ELECTRIC wyprodukowano w wielu odmianach karoserii oraz w różnych konfiguracjach elektrycznego układu napędowego.

Parametry ciężarowego samochodu elektrycznego IVECO DAILY 50C ELECTRIC przedstawiono w tabeli 1.

W zależności od potrzeb występują dwa rodzaje asynchronicznych silników trójfazowych o mocy 30 kW i 40 kW. Silniki te mogą być zasilane z pakietów akumulatorów sodowych, zaspawanych w hermetycznie w nierdzewnej skrzyni, wyprodukowanych przez firmę ZEBRA o oznaczeniu Z5. Pojedynczy pakiet Z5 o masie 188 kg (z modułem sterującym 195 kg) jest w stanie zmagazynować energię o wartości 21,2 kWh. Maksymalny prąd z tego typu akumulatora producent określił na 210 A (około 2,69 C) przy napięciu 278 V. Konfiguracja elektrycznego układu napędowego IVECO DAILY ELECTRIC zakłada możliwość użycia od dwóch do czterech pakietów akumulatorów dla jednego pojazdu (zakres pojemności pakietu akumulatorów od 42,4 kWh do 84,8 kWh).

Tabela 1. Parametry ciężarowego samochodu elektrycznego IVECO DAILY 50C ELECTRIC
Table 1. The parameters of electric truck IVECO DAILY 50C ELECTRIC

Lp.	Nazwa	Dane	Jednostka
1	Wymiary	5928 x 1996 x 2295	[mm]
2	Rozstaw osi	3450	[mm]
3	Promień skrętu	7,26	[m]
4	Masa pojazdu	1900	[kg]
5	Dopuszczalna masa całkowita pojazdu	5200	[kg]
6	Liczba miejsc	7	[szt.]
7	Typ pakietu akumulatorów	Zebra Z5 NaNiCl ₂ 21,2 kWh	–
8	Liczba pakietów	2 / 3 / 4	
9	Masa akumulatorów	376 / 564 / 752	[kg]
10	Pojemność akumulatorów	42,4 / 63,6 / 84,8	[kWh]
11	Zasięg przy temperaturze 15÷20°C	70 / 100 / 130	[km]
12	Czas ładowania akumulatorów	8	[godz]
13	Prędkość maksymalna	70	[km/h]
14	Napięcie pakietu akumulatorów	278	[V]
15	Zużycie energii na 1 km	636	[Wh/km]
16	Typ silnika	Asynchroniczny	–
17	Moc silnika	40 (80 szczyt)	[kW]
18	Moc ładowarki pokładowej	9,6 (3 x 3,2)	[kW]
19	Przekładnia	Automatyczna	–
20	Zdolność pokonywania wzniesień	16	[%]
21	Moc cieczowego systemu ogrzewania	2	[kW]

Duży problem podczas eksploatacji elektrycznego układu napędowego samochodu elektrycznego IVECO stanowi konieczność utrzymywania stosunkowo wysokiej temperatury pakietu akumulatorów sodowych w zakresie od 245°C do 300°C. Pojazd, nawet gdy nie jest eksploatowany, wymaga podłączenia do sieci w celu utrzymywania przez elektryczną grzałkę zainstalowaną wewnątrz pakietu akumulatorów ZEBRA odpowiedniego zakresu temperatury. Gdy temperatura pakietu akumulatorów NaNiCl₂ spadnie poniżej 157°C, płynny sól zastyga, a akumulator przestaje pracować. Do utrzymywania prawidłowej temperatury podczas jazdy służy zewnętrzny wentylator, którego zadaniem jest transportowanie powietrza zewnętrznego wewnątrz pakietu akumulatorów.

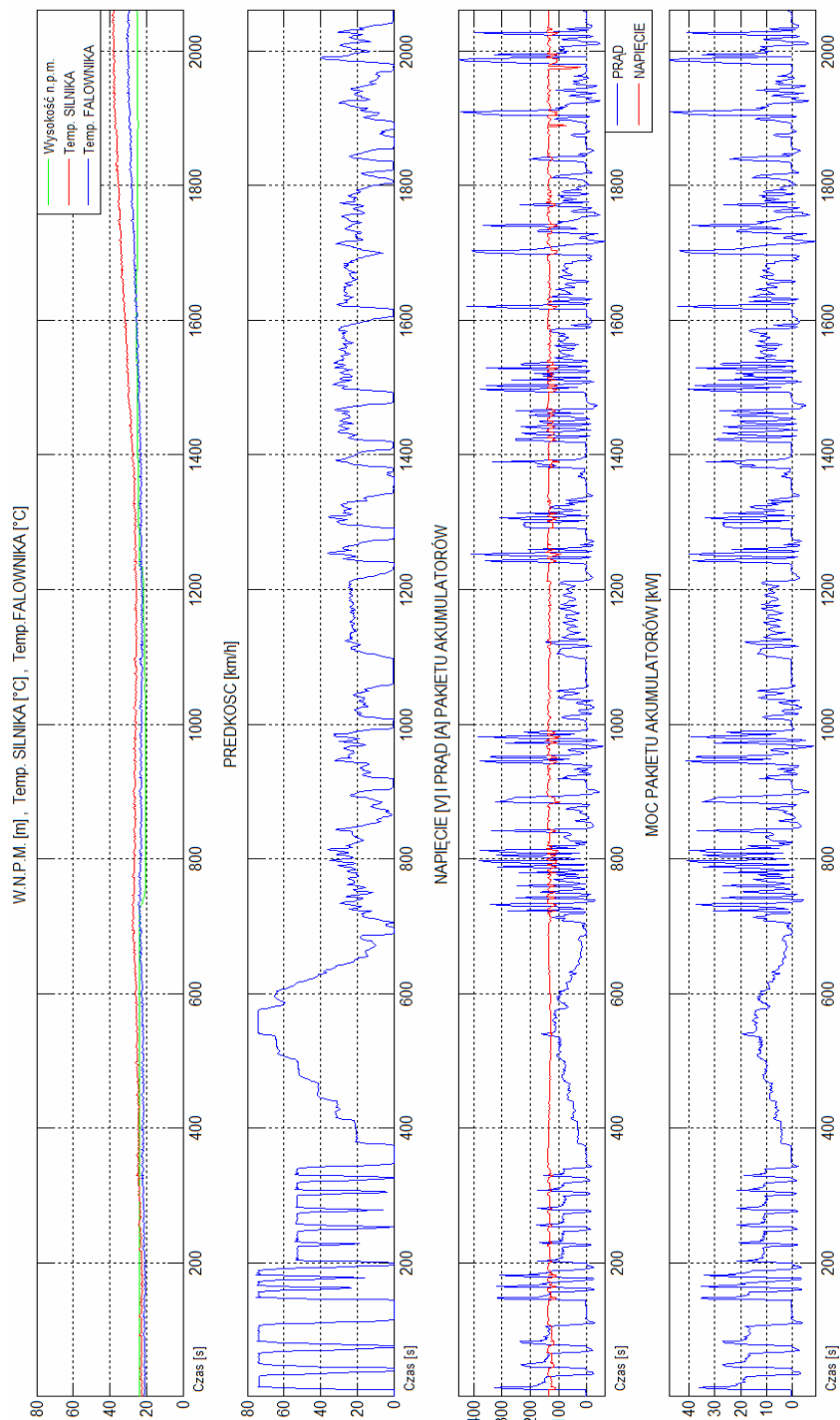
Najczęściej podczas spoczynku temperatura akumulatorów wynosi około 245°C, podczas pracy około 280°C. Podgrzewanie pakietu akumulatorów wiąże się z dodatkowymi kosztami i zużyciem energii elektrycznej na poziomie około 90 Wh (2,16 kWh/dobę). Każdy z pakietu akumulatorów ładowany jest osobną ładowarką o mocy 2,5 kW. Konieczność kondycjonowania akumulatorów ZEBRA produkowanych przez firmę FIAMM Sonick rekompensowana jest niższą ceną i dostępnością w porównaniu z akumulatorami litowymi, a także brakiem toksyczności dla środowiska naturalnego. Pozostałe komponenty elektrycznego układu napędowego zostały zaprojektowane i zrealizowane przez szwajcarską firmę MES S.A.

W skład komponentów wchodzi: przetwornica DC/DC do zasilania urządzeń pokładowych 12 VDC, falownik DC/AC, trójfazowy silnik asynchroniczny model A200-300 rozwijający prędkość obrotową rzędu 2950 obr/min, o mocy nominalnej 40 kW, wykonany do pracy ciągłej S1, przy zachowaniu stopnia ochrony IP54, $\cos\phi$ 0,85, o napięciu 140 V, maksymalnym prądzie 210 A oraz częstotliwości 100 Hz. Do ładowania pakietu akumulatorów ZEBRA Z5 z modułami BMI zastosowano ładowarkę MES typu BC-278-Z-3-A-EF o mocy 3,2 kW. Wszystkie wymienione urządzenia połączone są ze sobą za pośrednictwem cyfrowej sieci CAN, a najważniejsze parametry pojazdu, takie jak ilość energii zgromadzona w pakiecie akumulatorów, temperatura akumulatora, wartość prądu w obwodzie trakcyjnym, przedstawione są na wyświetlaczu ciekłokrystalicznym umieszczonym w kabinie pojazdu. Według producenta pojazd posiada dwa tryby eksploatacji: normalny – dysponuje pełną mocą układu napędowego i osiąga maksymalną prędkość 70 km/h oraz wolny – dysponuje ograniczoną mocą oraz osiąga maksymalną prędkość na poziomie 50 km/h.

3. TESTY ELEKTRYCZNEGO UKŁADU NAPĘDOWEGO

Badania elektrycznego układu napędowego samochodu ciężarowego IVECO DAILY 50C ELECTRIC wykonywano na hamowni podwoziowej oraz warunkach drogowych z użyciem automatycznego urządzenia rejestrującego [Łebkowski 2017]. W czasie testów rejestrowano napięcie i prąd pakietu akumulatorów, prędkość przemieszczania się pojazdu, wysokość nad poziomem morza oraz temperatury falownika i silnika (rys. 7).

Zasięg, jaki udało się uzyskać testowanym pojazdem w warunkach miejskich, wyniósł 120 km (pojazd bez obciążenia), przy czym prędkość maksymalna nie przekroczyła 75 km/h. Maksymalna moc, jaką udało się wygenerować z układu napędowego, wyniosła około 48 kW. Również producent podaje, iż maksymalne nachylenie drogi, z jaką radzi sobie pojazd, to tylko 16%. Przedstawione informacje świadczą, że moc układu jest zbyt mała jak dla pojazdu o takich gabarytach i masie.



Rys. 7. Przykładowe przebiegi zarejestrowanych wielkości podczas testów pojazdu IVECO DAILY 50C ELECTRIC (hamownia podwoziowa: czas 0–690 s)

Fig. 7. Examples of recorded data during the test of IVECO DAILY 50C ELECTRIC vehicle (roller dyno: time 0–690 s)

4. PODSUMOWANIE

Prowadzone badania elektrycznego układu napędowego samochodu ciężarowego IVECO DAILY 50C ELECTRIC potwierdziły słuszność opracowania i wdrożenia do eksploatacji takiej konstrukcji. Dyskusyjna pozostaje jednak kwestia poziomu mocy układu napędowego. W trakcie badań maksymalna wartość mocy wygenerowanej przez układ napędowy osiągnęła 48 kW, co wydaje się wartością zdecydowanie za małą jak dla pojazdu ciężarowego o dopuszczalnej masie własnej wynoszącej 5200 kg. Odczuwalne było, iż pojazd nie dysponuje dużym przyspieszeniem i ma problemy z pokonywaniem wzniesień drogowych.

Otrzymano zużycie energii elektrycznej na poziomie 530 Wh/km, wliczając konieczność kondycjonowania pakietu akumulatorów, sumaryczny wynik był większy od wartości podawanej przez producenta (636 Wh/km) i wyniósł około 700 Wh/km. Należy zauważyć że odpowiednik spalinowy zasilany olejem napędowym na tym samym dystansie zużyje 1400 Wh/km.

Brak emisji spalin i zużycia tlenu, zmniejszony poziom hałasu oraz osiągany zasięg na poziomie 100 km sprawiają, że pojazd idealnie nadaje się do zastosowania w przestrzeniach miejskich.

LITERATURA

- ABB Wins 1st Commercial Order for Breakthrough 15-second Flash Charging Technology to Enable CO₂-free Public Transport in Geneva*, 2016, www.abb.com.
- Early American Automobile History*, www.earlyamericanautomobiles.com.
- Edelstein, S., 2016, *How to Turn Long-haul Trucking All-electric? Tractor Swapping!* www.greencarreports.com.
- Electric Truck Model*, www.ev-info.com.
- Engdahl, T., 2016, *World's First Electric Highway*, www.epanorama.net.
- Łebkowski, A., 2017, *Electric Vehicle Data Recorder*, „Przegląd Elektrotechniczny”, R. 93, nr 2.
- NICOLA ONE™, <https://nikolamotor.com/one>.
- Peleg, R., 2016, *Graphenano and Grabat Launch Graphene-based Batteries*, www.graphene-info.com.
- Robarts, S., 2015, *UK to Trial in-road Wireless Charging Tech for Electric Vehicles*, www.gizmag.com.
- The Early Electric Car Site*, www.earlyelectric.com.
- Weller, Ch., 2016, *Sweden Just Opened the World's First Electric Highway*, [TECHinsider](http://TECHinsider.com), www.techinsider.io.