

Tadeusz Glinka
Politechnika Śląska, Gliwice

HISTORIA I DZIEŃ DZISIEJSZY TRAKCJI ELEKTRYCZNEJ

PAST AND PRESENT OF ELECTRIC TRACTION

Abstract: The beginning of electric traction dates back to 1879. It was during Berlin Trades Exposition in 1879 that Werner von Siemens built and showed first passenger electric railway driven with direct current motor supplied from 600 V dc traction network. Since then electric traction has been undergoing continuous development. The successive stages of locomotive drive systems and supply systems evolution may be enumerated as follows:

- locomotive three-phase induction slip-ring motor drive, supplied directly from 3.3 kV, 16 2/3 Hz three-phase network
- locomotive one-phase ac motor drive, supplied via one-phase transformer located in the locomotive, one-phase, 15 kV, 16 2/3 Hz traction network
- locomotive dc series motors drive, 3 kV dc network
- locomotive induction cage motor drive, traction network varies from country to country (3 kV dc, 15 kV ac, 20 kV ac, 25 kV ac).

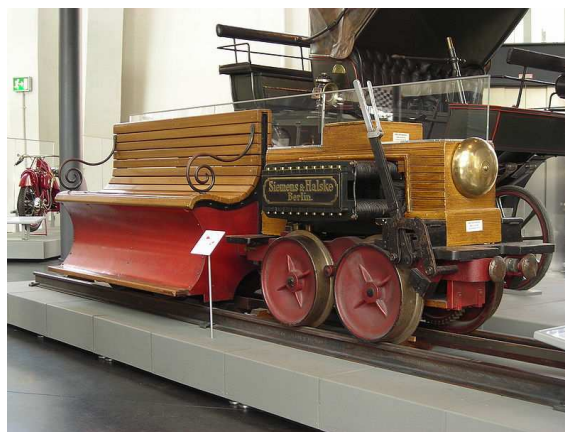
The magnetic railway is the most current achievement in electric traction.

1. Początki i rozwój trakcji elektrycznej

Moritz Jakobi zbudował w 1833 roku pierwszy silnik elektryczny prądu stałego wzbudzany magnesami trwałymi i wykorzystał go do napędu łodzi płynącej po Newie w Sankt Petersburgu. Pierwsza lokomotywa elektryczna została zbudowana przez Szkota, Roberta Davidsona z Aberdeen w 1837 roku. Była ona napędzana silnikiem prądu stałego zasilanego z baterii elektrycznej. Davidson zbudował później jeszcze większą lokomotywę, którą nazwał *Galvani*. Została ona zaprezentowana na *Royal Scottish Society of Arts Exhibition* w 1841 roku, a jej pierwsze testy odbyły się w Edynburgu oraz w Glasgow we wrześniu następnego roku. Niestety ograniczona energia elektryczna dostępna z baterii uniemożliwiła rozwój lokomotyw elektrycznych i ich zastosowanie.

Rok 1879 uważany jest za początek rozwoju trakcji elektrycznej. W tym właśnie roku Werner von Siemens zbudował i przedstawił na wystawie rzemiosł w Berlinie, pierwszy elektryczny pociąg pasażerski. Lokomotywa była napędzana przez silnik prądu stałego o mocy 2,2 kW, 150 V, a trasa w kształcie koła miała długość 270 m. Pociąg składał się z lokomotywy i trzech odkrytych wagonów, osiągał prędkość maksymalną 12 km/h – rys.1. Źródłem energii było dynamo ulokowane w pobliżu torów, a energia elektryczna

dostarczana była przez trzecią szynę znajdującą się pomiędzy szynami torów. W ciągu pierwszych czterech miesięcy pociąg ten przewiózł blisko 90,000 pasażerów. Silnik napędzający lokomotywę był pierwszym sprawnie działającym silnikiem szeregowym prądu stałego. Pierwszy eksperymentalny system trakcyjny stanowił udany eksperyment w oparciu o który rozpoczęto budowę linii tramwajowych.



Rys.1. Elektryczna lokomotywa z 1879 r. zbudowana przez Wernera von Siemens, dane znamionowe: 2,2 kW, 150V DC, prędkość 12 km/h, masa 954 kg, siła 75 kN

Pierwsza na świecie elektryczna linia tramwajowa została otwarta w miasteczku *Groß-Lichterfelde* pod Berlinem, w Niemczech w 1881 roku. Została ona zbudowana przez

Wernera von Siemensa. Początkowo trasa miała służyć jedynie jako obiekt badań. Siemens chciał zbudować sieć linii elektrycznych w całym Berlinie, ale sceptycznie nastawiona rada miasta nie pozwalała mu tego zrobić aż do 1902 roku.

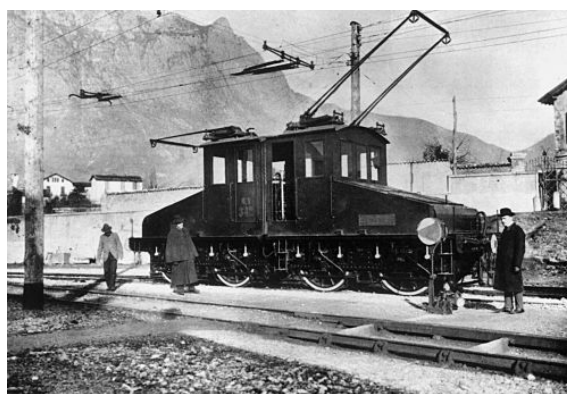
W ślad za Niemcami ruszyły inne kraje. W Wielkiej Brytanii, kolej elektryczną *Volk'a* otwarto w 1883 roku w Brighton. W USA elektryczne wozy zostały zbudowane przez Franka J. Sprague w 1888 roku i wprowadzone na lini pasażerskiej *Richmond – Union*.

Rozwojowi trakcji elektrycznej sprzyjały tunele i metro w dużych miastach. Dym z parowozów był szkodliwy, więc gminy coraz częściej zabraniały ich stosowania. Pierwszą działającą elektryczną linią metra była *South London Railway* w Wielkiej Brytanii, otwarta dzięki klauzuli zakazującej użycia parowozów. Została ona otwarta w 1890 roku, przy użyciu lokomotyw elektrycznych, zbudowanych przez firmę *Mather & Platt*. Pierwszą główną linią kolejową *Baltimore - Belt Line* w USA, na odcinku czterech mil, została zelektryfikowana w 1895 roku.

Pierwsze lokomotywy elektryczne były napędzane silnikami prądu stałego. Hiperboliczny kształt charakterystyki mechanicznej $M = f(n)$ silnika szeregowego prądu stałego predysponował go szczególnie do zastosowań trakcyjnych. Jednak z uwagi na ograniczone możliwości zasilania sieci trakcyjnej napięciem nie przekraczającym 600 V (lata 1890-1900), nie można było przy elektryfikacji linii kolejowych stosować rozwiązań sprawdzonych dla tramwajów, bowiem moce lokomotyw znacznie przekraczały moce tramwajów.

W roku 1888 Doliwo-Dobrowolski zbudował prądnicę synchroniczną 3-fazową, a rok później silnik indukcyjny klatkowy, powstały zatem warunki do rozwoju trakcji elektrycznej kolejowej z napędem asynchronicznym. Pierwszy wykorzystał tę możliwość węgierski inżynier i wynalazca Kálmán Kandó w firmie *Ganz* w Budapeszcie w 1894r. Jest on uważany za „ojca elektrycznych pociągów”. Włoska kolej była pierwszą na świecie, która wprowadziła trakcję elektryczną wg projektu Kálmána Kandó. Linia *Valtellina* o długości 106 km została otwarta 4 września 1902 roku. Była to linia trójfazowa o parametrach –

3,6 kV, 15 Hz. W 1915 r. – rys.2. Kálmán Kandó sformułował zasadę, że trakcja elektryczna rozwinie się, jeżeli będzie zasilana energią elektryczną z sieci publicznych za pośrednictwem podstacji transformatorowych.. Dalszemu rozwojowi trakcji elektrycznej z napędem asynchronicznym sprzyjało wynalezienie przetwornicy jednotwornikowej, przetwarzającej prąd stały na trój-fazowy prąd zmienny. W 1923 roku, pierwsze lokomotywy z przetwornicą jednotwornikową zostały skonstruowane na Węgrzech na podstawie projektów Kandó i rozpoczęto ich produkcję seryjną. Sekcja Węgierskich Kolei Państwowych na odcinku Budapeszt - Hegyeshalom - Wiedeń (1929) została zbudowana w oparciu o ten wynalazek.



Rys.2. Pierwsza na świecie lokomotywa 3X3600 V AC, 15 Hz zaprojektowana przez Kálmána Kandó i zbudowana w firmie Ganz, elektryfikowała kolej Valtellina we Włoszech

W okresie elektryfikacji kolei włoskiej, wykonano badania dotyczące optymalnego wyboru zasilania trakcji. Testowano zasilanie o parametrach:

- 3,6 kV; 16,6 Hz, zasilanie trójfazowe;
- 1500 V DC;
- 3 kV DC;
- 10 kV AC; 50 Hz.

Napięcie sieci trakcyjnej 3 kV DC uznano za najlepsze. Wykorzystanie tego systemu było możliwe dzięki opracowaniu silników szeregowych DC wysokiego napięcia 3000/2 V zasilanych poprzez rezystory rozruchowe z sieci 3 kV DC, a także dzięki podjęciu produkcji i wprowadzenie na podstacje trakcyjne wysokosprawnych prostowników rtęciowych, umożliwiających zasilanie sieci trakcyjnej napięciem 3 kV DC. Walory systemu

zasilania 3 kV DC, sprawiły, że z wyjątkiem Węgier, wszystkie kraje, które przystępowały do elektryfikacji swoich linii kolejowych w latach 1915 do 1950 realizowały to przedsięwzięcie systemem prądu stałego 3 kV DC. W 1930 roku zasilanie 3 kV DC zostało wybrane w kolejach włoskich, a później także w Polsce. Powrócono zatem do napędów prądu stałego. Także tramwaje i pociągi metra standardowo mają trakcję prądu stałego o napięciu 600 V i 750 V i są napędzane silnikami szeregowymi prądu stałego. Napędy prądu stałego są powszechnie stosowane, do lat 80-ych XX-go wieku, przez wszystkie firmy budujące tabor trakcyjny.

W latach 1950-70 nastąpiła szybka elektryfikacji linii kolejowych w świecie, w tym w Europie i w Polsce. Konstrukcja i technologia lokomotyw elektrycznych stale się rozwijała. Milwaukee Road klasy PE-2, z roku 1918, ważył 240 t, miał moc 3330 kW i osiągał prędkość 112 km/h. Wyprodukowany 1935 roku, niemiecki E 18 miał moc 2800 kW, ale ważył 108 ton i osiągał prędkość maksymalną 150 km/h. W dniu 29 marca 1955 francuska lokomotywa CC 7107 osiągnęła prędkość 331 km/h. W 1960 lokomotywy SJ klasy Dm produkowane przez ASEA w Szwecji miały moc 7200 kW. W tym samym okresie koleje niemieckie i francuskie zostały wyposażone w lokomotywy do przewozów pasażerskich z prędkością do 200 km/h.

Do lat 80-tych XX-go wieku podstawowym napędem były silniki prądu stałego o wzbudzeniu szeregowym. Rozwój energoelektroniki i falowników stworzył warunki do powrotu napędów asynchronicznych. Silniki indukcyjne klatkowe zasilane z falowników zaczęto wprowadzać najpierw w tramwajach, a następnie w lokomotywach i pociągach samojezdnych. W dniu 2 września 2006 r. standardowa lokomotywa *Siemens Eurosprinter* typu ES64-U4 z napędem asynchronicznym osiągnęła prędkość 357 km/h. Jest to rekord dla lokomotywy ciągnącej pociąg z wagonami.

Pozytywne wyniki prób i doświadczeń przeprowadzonych przez inżynierów francuskich po II wojnie światowej na linii Hollentalbahn oraz na własnych liniach zelektryfikowanych napięciem 20 kV, 50 Hz (1951r.) , a później 25 kV, 50 Hz pozwoliły

stwierdzić, że ten system trakcji prądu przemiennego dla tranzytowych linii kolejowych i dużych prędkości jest najbardziej efektywny.

2. Trakcja elektryczna w Polsce

Na ziemiach polskich pierwszy tramwaj wprowadzono w Poznaniu w 1887r., w Bydgoszczy w 1888r., w 1898 w Grudziądzu, Łodzi i Wałbrzychu, a w 1905r w Warszawie. Kolejowa trakcja elektryczna w rejonie warszawskim została otwarta w 1936 r. i tę datę uważa się za początek trakcji elektrycznej w Polsce. Linie tranzytowe elektryfikowano po wojnie w latach 50-ych i 60-ych ubiegłego wieku. Łącznie w Polsce elektryfikowano ponad 20 tys. kilometrów linii kolejowych, na 26 tys. kilometrów wszystkich linii. Napięcie sieci trakcyjnej wynosi 3 kV DC. W Polsce, do roku 1990 produkowano: lokomotywy, wagony, pociągi samojezdne, tramwaje, lokomotywy kopalniane (Pafawag, Cegielski Konstal). Obecnie Zakłady Remontowe Lokomotyw Elektrycznych W Gliwicach podjęły się opracowania lokomotywy o mocy 5 MW, która obecnie przechodzi badania eksploatacyjne. Branżowy Ośrodek Badawczo Rozwojowy Maszyn Elektrycznych (BOBRME) Komel opracował dla tej lokomotywy silnik napędowy. Jest to silnik indukcyjny o mocy 830 kW. W lokomotywie jest zainstalowanych 6 silników. Silniki wyprodukowała Fabryka Maszyn Elektrycznych EMIT w Żychlinie – rys.3. Falowniki do zasilania tych silników opracował i produkuje Instytut Elektrotechniki w Warszawie.



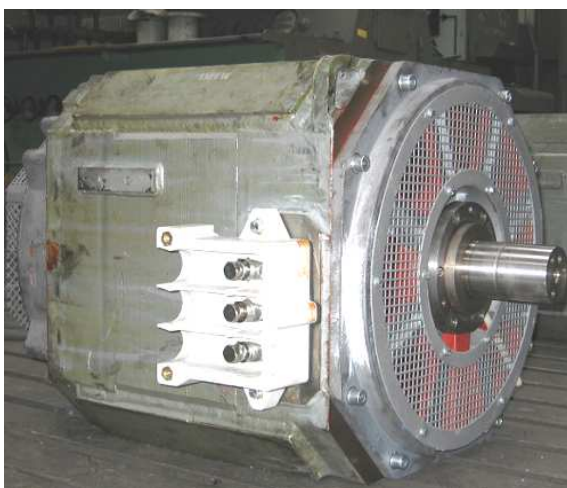
Rys.3. Silnik indukcyjny STx 500-4A, 830 kW do napędu lokomotywy

Silnik do napędu lokomotywy kopalnianej, wzbudzany magnesami trwałymi z komutacją elektroniczną, opracował i wyprodukował BOBRME Komel – rys.4. Komutator energoelektroniczny opracowała i wyprodukowała firma ENEL z Gliwic. Lokomotywę wyprodukował Instytut Maszyn Górniczych KOMAG.



Rys.4. Silnik wzbudzany magnesami trwałymi z komutacją elektroniczną do napędu lokomotywy kopalnianej o mocy 60 kW

BOBRME Komel opracował projekt silnika indukcyjnego klatkowego bezkadłubowego o mocy 180 kW zasilanego z falownika do napędu pojazdu trakcyjnego typu METROPOLIS – rys.5. Silnik produkuje FME EMIT.



Rys.5. Silnik STDa280-4B, 180 kW do napędu metra Warszawskiego

3. Rozwój trakcji elektrycznej

Linie trakcyjne dużych prędkości bazują na systemie 25 kV, 50 Hz. W latach 1980-90 rozwój bardzo szybkiej kolei przyniósł ożywienie elektryfikacji. Japoński *Shinkansen* i francuski *TGV* były pierwszymi systemami, dla których linie dużych prędkości budowano od podstaw. Podobne programy zostały podjęte we Włoszech, Niemczech i Hiszpanii. Przykładem jest linia trakcyjna Paryż – Marsylia na której maksymalna prędkość jazdy pociągów wynosi 350 km/h. Także planowana linia Paryż – Moskwa będzie mieć sieć trakcyjną 25 kV, 50 Hz.

Nowa generacja kolei to kolej magnetyczna. Kolej magnetyczna (zwana czasem *Maglev* od ang. magnetic levitation – lewitacja magnetyczna), jest to kolej, w której tradycyjne torowisko zostało zastąpione przez układ elektromagnesów. Dzięki polu magnetycznemu kolej ta nie ma kontaktu z powierzchnią toru, gdyż cały czas unosi się nad nim. Do realizacji tego zadania wykorzystuje się elektromagnesy wykonane z nadprzewodników (w Japonii) lub magnesy trwałe (w Niemczech). Pojazdy mogą przez to rozwijać duże prędkości. Dzięki zastosowaniu poduszki magnetycznej eliminowane jest tarcie kół, które w tradycyjnych pociągach znacznie ogranicza maksymalną prędkość jazdy. Dzięki temu maglevy zbliżają się do 600 km/h (rekord świata w prędkości magleva należy do japońskiej jego wersji, został osiągnięty 2 XII 2003 i wynosi 581 km/h, jest o 6 km/h większy od rekordu TGV). Linie kolei magnetycznej istnieją w Japonii, Niemczech i Chinach.

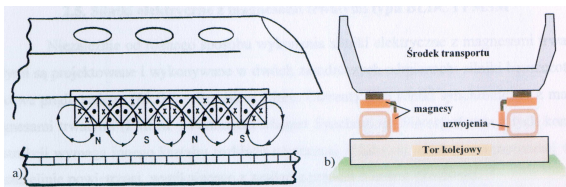
a)



b)



Rys.6. Kolej magnetyczna w Szanghaju



Rys.7. Sposób wytworzenia poduszki magnetycznej i siły ciągu

Literatura

- [1] Plewako St.: *Podstawy trakcji elektrycznej*. Wydawnictwo Komunikacyjne, 1955 r. Warszawa.
 [2] Chrabąszcz I., Prusak J., Drapik Sł.: *Trakcja prądu stałego. Układy zasilania*. 2009 r.

Autor

Prof. dr hab. inż. Tadeusz Glinka,
 Politechnika Śląska, Instytut Elektrotechniki
 i Informatyki, Zakład Maszyn Elektrycznych
 i Inżynierii Elektrycznej w Transporcie,
 Gliwice ul. Akademicka 10a.
 e-mail: Tadeusz.glinka@polsl.pl