

Historia napędów elektrycznych w trakcji

Tadeusz Glinka

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 napędzany silnikiem prądu stałego zasilany z sieci trakcyjnej 600 V DC. Od tego czasu trakcja elektryczna ciągle się rozwija.

Kolejne etapy rozwoju układów napędowych lokomotyw i systemów zasilania, to:

- napęd lokomotyw trójfazowymi silnikami indukcyjnymi pierścieniowymi, zasilanymi bezpośrednio z sieci trójfazowej 3,3 kV, 16 2/3 Hz),
 - napęd lokomotyw jednofazowymi silnikami prądu przemiennego, zasilanymi poprzez jednofazowy transformator zabudowany w lokomotywie, sieć trakcyjna 1-fazowa 15 kV, 16 2/3 Hz,
 - napęd lokomotyw silnikami szeregowymi prądu stałego, sieć trakcyjna 3 kV DC,
 - napęd lokomotyw silnikami indukcyjnymi klatkowymi, sieć trakcyjna w zależności od kraju: 3 kV DC, 15 kV AC, 20 kV AC, 25 kV AC.
- Najnowsze osiągnięcia trakcji elektrycznej to kolej magnetyczna.

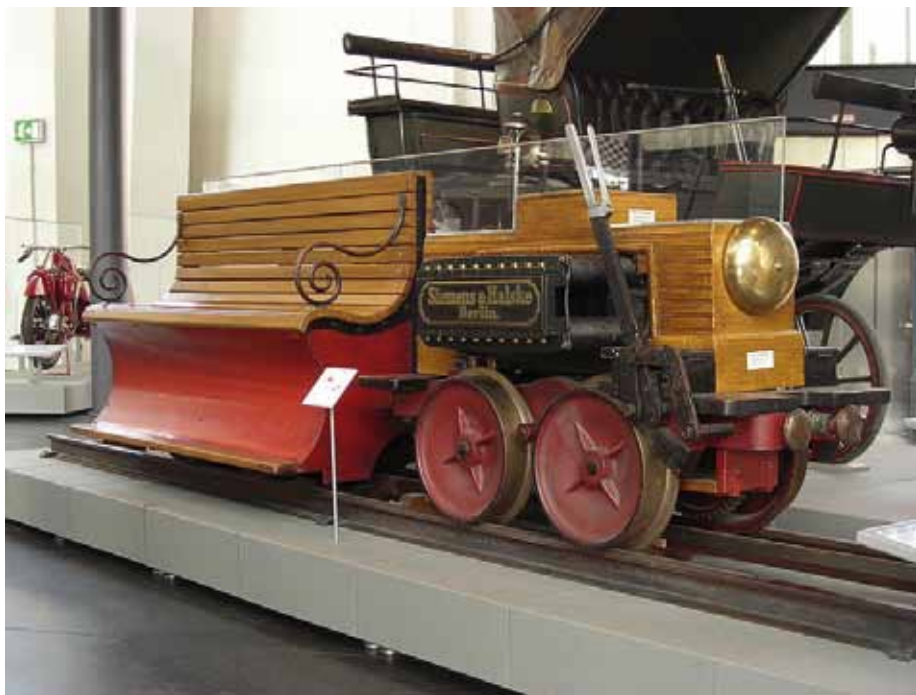


prof. dr hab. inż.
Tadeusz Glinka
Politechnika Śląska
w Gliwicach
glinka.tadeusz@gmail.com

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 pływającej 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 lokomo-



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

tywy 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.

Pierwsza na świecie elektryczna li-

nia tramwajowa została otwarta w miasteczku *Groß-Lichterfelde* pod Berlinem, w Niemczech w 1881 roku. Została ona zbudowana przez Wernera von Siemens. 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

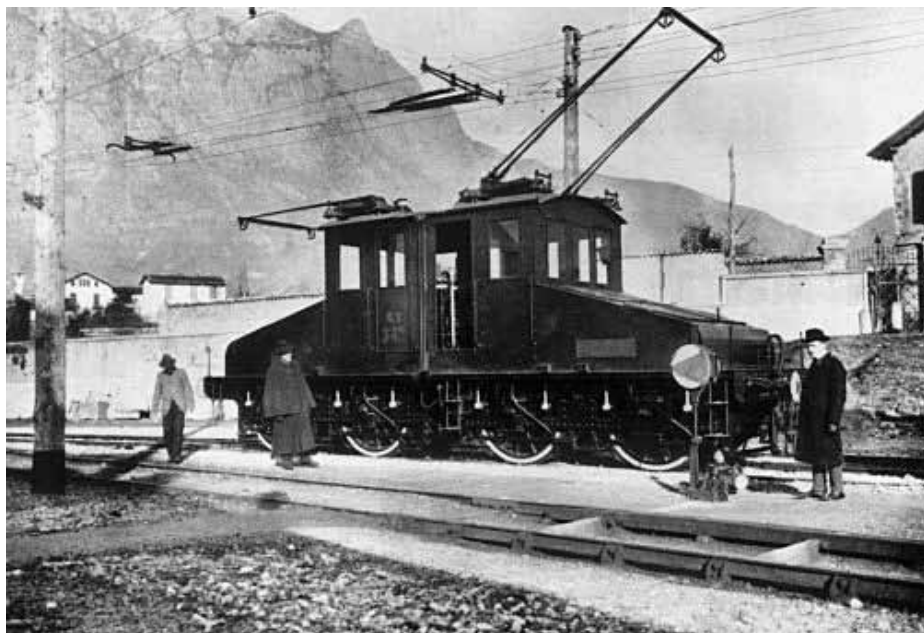
i wprowadzone na lini pasażerskiej *Richmond – Union*.

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*. Pierwsza główna linia kolejowa *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 1894 r. 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.

W okresie elektryfikacji kolei włoskiej, wykonano badania dotyczące optymal-



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



3. Silnik indukcyjny STx 500-4A, 830 kW do napędu lokomotywy (BOBRME Komel)

nego wyboru zasilania trakcji. Testowano zasilanie o parametrach:

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

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 3kV DC zostało wybrane w kolejach włoskich, a później także w Polsce. Powrócono zatem do napędów prądu stałego. Także tramwaje i pociągi metra

standardowo mają trącję prądu stałego o napięciu 600 V i 750 V i są napędzane silnikami szeregowymi prądu stałego. Napędy prądu stałego były powszechnie stosowane, do lat 80-ych XX-go wieku, przez wszystkie firmy budujące tabor trakcyjny.

W latach 1950-70 nastąpiła szybka elek-

tryfikacji 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 samojedznych. 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.

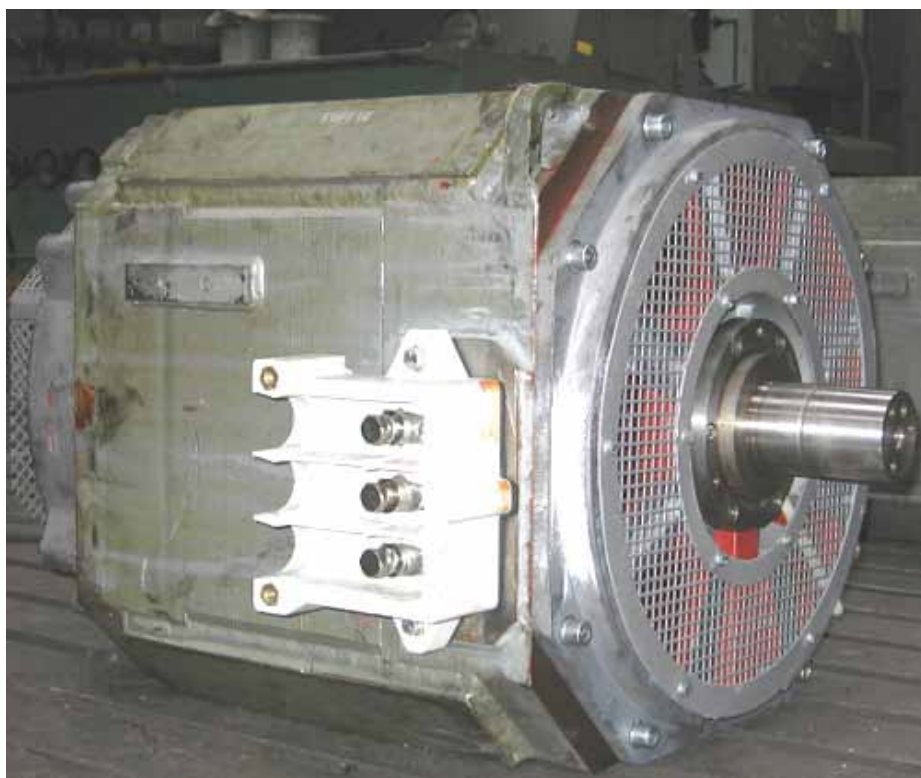
Pozytywne wyniki prób i doświadczeń przeprowadzonych przez inżynierów francuskich po II wojnie światowej na linii Hollentalbahn oraz na własnych liniach zelektryfikowanych napięciem 20 kV, 50 Hz (1951 r.), a później 25 kV, 50 Hz pozwoliły stwierdzić, że ten system trącji prądu przemiennego dla tranzytowych linii kolejowych i dużych prędkości jest najbardziej efektywny.

Trącja elektryczna w Polsce

Na ziemiach polskich pierwszy tramwaj wprowadzono w Poznaniu w 1887 r., w Bydgoszczy w 1888 r., w 1898 w Grudziądzu, Łodzi i Wałbrzychu, a w 1905 r. w Warszawie. Kolejowa trącja elektryczna w rejonie warszawskim została otwarta w 1936 r. i tę datę uważa się za początek trącji 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 samojedzne, 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 loko-



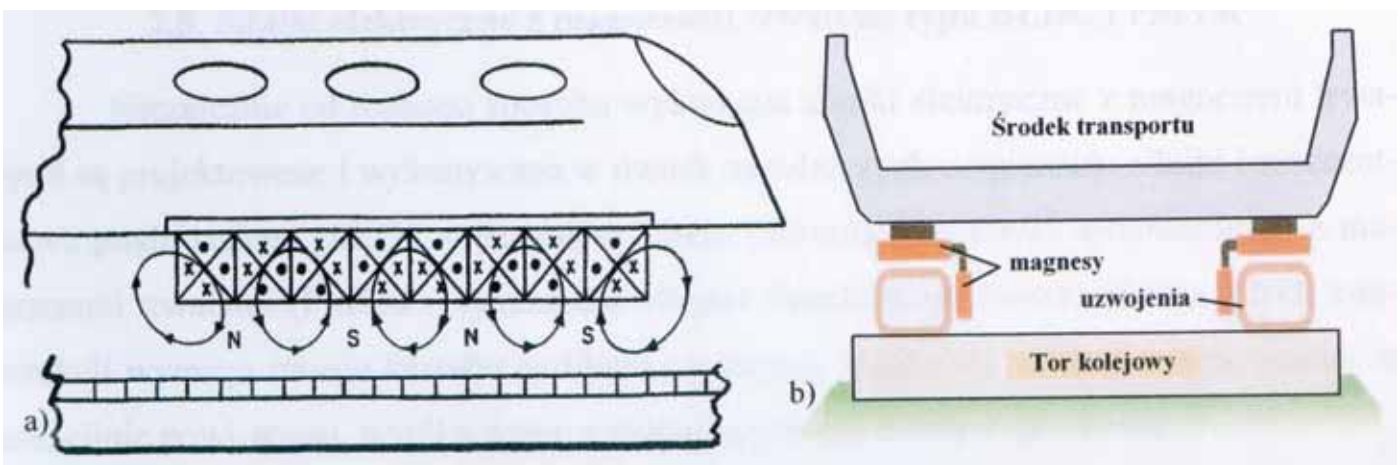
4. Silnik wzbudzany magnesami trwałymi z komutacją elektroniczną do napędu lokomotywy kopalnianej o mocy 60kW (BOBRME Komel)



5. Silnik STDa280-4B, 180 kW do napędu metra Warszawskiego (BOBRME Komel)



6. Kolej magnetyczna w Szanghaju (Internet)



7. Sposób wytworzenia poduszki magnetycznej i siły ciągu (Internet)

motywie 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.

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.

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.

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 Shin-

kansen 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. ◀

Materiały źródłowe

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