POZNAN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY ACADEMIC JOURNALS
No 91 Electrical Engineering 2017

DOI 10.21008/j.1897-0737.2017.91.0030

Ryszard NAWROWSKI*
Zbigniew STEIN*
Maria ZIELIŃSKA*

MODERNIZACJE NOWOCZESNYCH POJAZDÓW TRAKCYJNYCH

W referacie omówiono aktualne trendy w rozwoju nowoczesnych pojazdów trakcji elektrycznej. Przedmiotem referatu są w szczególności pojazdy przeznaczone do przewozu pasażerskiego w transporcie szynowym, zarówno miejskim jak i dalekobieżnym. W nowoczesnych pojazdach szczególną uwagę zwrócono na napędy asynchroniczne, które wymagają dość złożonych systemów obliczeniowych.

SŁOWA KLUCZOWE: trakcja elektryczna, samochód elektryczny, tramwaj, przyrządy energoelektroniczne

1. CHARAKTERYSTYKA ZAGADNIENIA

Historia trakcji elektrycznej w Polsce sięga lat trzydziestych ubiegłego wieku. Okres wojny praktycznie zatrzymał jej rozwój. Po wojnie trakcja elektryczna przechodziła różne okresy. Początkowo intensywnie się rozwijała się, ale w pewnym okresie jej rozwój został na pewien czas zatrzymany. Powodem była między innymi, na szczęście chwilowa, koncepcja rozwoju wyłącznie trakcji spalinowej. Duże zasługi w powrocie do rozwoju trakcji elektrycznej ma Stowarzyszenie Elektryków Polskich które, na jednym ze zjazdów, wezwało Władze Państwowe do zaniechania likwidacji trakcji elektrycznej w Polsce. To działanie okazało się bardzo skuteczne, bo przywróciło intensywny rozwój trakcji elektrycznej w Polsce. Dużo wtedy zrobiono. Nie tylko zelektryfikowano wiele linii kolejowych ale również zaczęto produkować, bardzo wówczas nowoczesny, tabor kolejowy, między innymi lokomotywy elektryczne, które w dużej ilości są nadal użytkowane. Niestety w okresie tzw. transformacji ustrojowej, wiele z tych osiągnięć zostało zmarnowanych, tak jak zlikwidowano wiele zakładów, które produkowały znaczne ilości nowoczesnego wyposażenia dla trakcji elektrycznej. Wiele lat trwała, i w wielu miejscach trwa nadal, odbudowa tej zniszczonej infrastruktury. To zniszczenie przemysłu dotyczy między innymi Zakładów H. Cegielski w Poznaniu, które produkowały między innymi lokomotywy

* Politechnika Poznańska.

elektryczne. Do najaktywniejszych aktualnie producentów wyposażenia dla trakcji elektrycznej należą zwłaszcza Zakłady PESA w Bydgoszczy.

2. ROZWÓJ TRAKCJI ELEKTRYCZNEJ

W ostatnich latach trakcja elektryczna ponownie zaczęła być postrzegana jako nowoczesny i wydajny środek transportu. Nowoczesne napędy trakcyjne osiągnęły obecny poziom i mogą się dalej rozwijać przede wszystkim dzięki postępowi w energoelektronice. Impulsowe przekształcanie energii elektrycznej pozwala na dowolne sterowanie dopływu mocy do silników i kształtowanie charakterystyk trakcyjnych pojazdów odpowiednio do zapotrzebowania energetycznego dla danego typu pojazdu.

Dalszy rozwój przyrządów energoelektronicznych wymagać będzie nowych metod sterowania napędów. Stosowane będą urządzenia o mniejszej masie, mniejszym zużyciu energii i wyższej sprawności takie jak: transformatory energoelektroniczne w pojazdach zasilanych z systemu AC zamiast klasycznych transformatorów (zmiana częstotliwości za pomocą przekształtników energoelektronicznych zmniejszy masę transformatora), przekształtniki o wyższej sprawności i mniejszych gabarytach, napędy sterowane indywidualnie (pojedyncze sterowanie momentem napędowym koła).

Aktualnie polityka transportowa państwa ma na celu, między innymi:

- zwiększenie udziału transportu kolejowego w przewozach pasażerskich i towarowych głównie w celu usprawnienia transportu aglomeracyjnego.
- rozwój szybkiego transportu kolejowego, zwłaszcza w celu ograniczenia zużycia energii.

W ostatnim okresie proponuje się:

- rozwój pojazdów drogowych, to jest samochodów, z napędem elektrycznym w celu zmniejszenia zużycia energii w transporcie, w tym ograniczenia zużycia paliw płynnych,
- ograniczenie negatywnego oddziaływania środków i systemów transportu na środowisko (redukcja kosztów zewnętrznych, ograniczenie emisji hałasu i zatłoczenia dróg),
- preferencyjne traktowanie rozwoju transportu, w kierunku zwiększenia udziału pojazdów trakcyjnych z napędem elektrycznym przy zasilaniu sieciowym i autonomicznym.

3. SYSTEMY ZASILANIA TRAKCJI ELEKTRYCZNEJ

Dla zasilania pojazdów trakcji elektrycznej przewiduje się nadal stosowanie górnej sieci zasilającej, jako najlepszej dla dostarczania energii elektrycznej do pojazdów również, dużej mocy i dużych prędkości. W odniesieniu do pojazdów

samochodowych o napędzie elektrycznym rozważane są różne warianty dostarczania energii elektrycznej. Szczególne znaczenie ma rozmieszczanie wzdłuż dróg punktów zasilania pojazdów w postaci tzw. gniazd.

Przewiduje się nadal stosowanie istniejącego systemu zasilania sieci kolejowej napięciem 3 kV prądu stałego, nawet na liniach magistralnych dla pojazdów dużych prędkości. Równocześnie proponuje się prowadzenie badań i prac wdrożeniowych przygotowujących kolei i przemysł w Polsce do perspektywicznego wdrożenia do trakcji kolejowej systemu prądu przemiennego 2x25 kV/50 Hz – przede wszystkim dla nowych zastosowań. Przesunięcie terminu realizacji nowych linii kolei dużych prędkości daje szczególną szansę na przeprowadzenie głębokich rodzimych (ukierunkowanych na uwarunkowania krajowe) studiów analitycznych usprawniających ten system i zwiększających szansę na uniknięcie błędów popełnionych w przeszłości w innych krajach.

Prowadzenie prac nad wdrożeniem systemu 25 kV AC dotyczy nie tylko nowych linii kolei dużych prędkości, ale także linii dotychczas niezelektryfikowanych, a nie kolidujących z istniejącymi liniami zelektryfikowanymi w systemie 3 kV DC. Duże możliwości w tym zakresie mają odcinki linii wydzielonych, np. odcinki linii przygranicznych stykających się z liniami zelektryfikowanymi w systemie 25 kV AC, np. przy granicy z Litwą.

Intensyfikacja rozwoju trakcji elektrycznej, tak szynowej jak drogowej, wymaga wyprzedzającej, o lata, odpowiedniej rozbudowy sieci zasilających WN i NWN a także zapewnienia powstania źródeł mocy zasilających te linie z odpowiednio rozbudowanej energetyki zawodowej. Przemysł krajowy musi być przygotowany do produkcji aparatury i urządzeń wyposażenia systemu linii zasilających oraz podstacji trakcyjnych systemu 25 kV 50 Hz. Jest celowe przygotowanie co najmniej jednego odcinka linii kolejowej jako pilotażowej dla prób technicznych i eksploatacyjnych tego nowego systemu trakcji.

Ze względu na wzrost mocy i prędkości pojazdów trakcji elektrycznej przemysł krajowy powinien być przygotowany do podjęcia produkcji, lub rozszerzenia dotychczasowego asortymentu, urządzeń potrzebnych dla rozbudowanych sieci trakcji elektrycznej, tak szynowej jak drogowej. Niezbędne jest opracowanie nowych, doskonalszych, konstrukcji pojazdów i urządzeń trakcji elektrycznej a także metod diagnostyki, monitoringu i eksploatacji podstacji trakcyjnych, sieci trakcyjnej a zwłaszcza odbieraków prądu. Za ważne należy uznać, opracowanie własnych lub zakup zagranicznych, pojazdów wielosystemowych (między innymi na różne napięcia zasilania), a także hybrydowych np. sieciowo – akumulatorowych. Rozważane być muszą typowe pojazdy dla trakcji kolejowo-tramwajowej.

Ze względu na znaczące zapotrzebowanie na energię elektryczną przez infrastrukturę kolejową obejmującą również zasilanie układów bezpieczeństwa, sterowania i sygnalizacji, istotne jest wdrażanie rozwiązań:

– podnoszących niezawodność i zapewniających odpowiednią jakość tego zasilania,

- poprawiających jego odporność na różne zakłócenia, w tym zakłócenia środowiskowe,
- zapewniających poprawną pracę w warunkach awaryjnych przez wykorzystanie własnych źródeł zasilania niekonwencjonalnego (np. z sieci trakcyjnej) lub zasilania autonomicznego (elektrownie wiatrowe, panele słoneczne, baterie akumulatorów czy też generatory prądotwórcze
- energooszczędnych (oświetlenie, ogrzewanie, urządzenia o wysokiej sprawności).

4. TRAKCJA ELEKTRYCZNA W KOMUNIKACJI MIEJSKIEJ

W trakcji miejskiej dominująca pozostanie rola tramwaju, który w dużych aglomeracjach przyjmie formę tramwaju szybkiego lub metra. W ostatnich latach obserwuje się w Polsce wzrost inwestycji w tramwajowej komunikacji miejskiej. Świadczy o tym wzrost zainteresowania zakupem nowego lub modernizacją starego taboru tramwajowego. Ze względu na bardzo duże koszty raczej nie będą budowane, poza Warszawą, nowe linie metra. Realizowane są i nadal będą realizowane inwestycje drogowe w postaci nowych tras tramwajowych, również w postaci tzw. tramwaju szybkiego.

Prowadzi to do znacznego wzrostu obciążenia systemów zasilania, zwykle niezmodernizowanych, wywołany przez zamierzoną w tym rozwoju zwiększoną moc zapotrzebowaną przez nowe układy napędowe, niezbędne dla pojazdów przewidzianych na potrzeby zwiększonej intensywności ruchu. Nawet ograniczając się tylko do poprawy układów zasilania trakcji tramwajowej, trzeba prowadzić badania nad nowymi rozwiązaniami zasilania trakcji tramwajowej uwzględniającymi:

- nowe konfiguracje zasilania (np. zasilanie 2–stronne analogiczne jak dla systemu kolejowego),
- wdrożenia do eksploatacji nowych typów sieci trakcyjnych o zwiększonym przekroju i obciążalności w celu podwyższenia zdolności przesyłowych, ponieważ nowoczesne układy napędowe pracują z hamowaniem odzyskowym a to wraz z zasilaniem na potrzeby trakcyjne i nietrakcyjne zwiększa średnie obciążenie termiczne przewodów linii zasilającej.
- możliwość zwiększenia wykorzystania energii hamowania odzyskowego poprzez magazynowanie energii elektrycznej (zasobniki: pojazdowe, stacyjne i sieciowe) i/lub jej zwrot do sieci trakcyjnej w celu wykorzystania przez inne pojazdy lub przesłania do sieci elektroenergetycznej (za pośrednictwem energoelektronicznych przekształtników w podstacjach),
- wykorzystywanie do ruchu w odcinkach, zwłaszcza trakcji tramwajowej, bez zasilania z górnej sieci jezdnej – pojazdów hybrydowych sieciowo-

autonomicznych (praca na odcinku bez zasilania z wykorzystaniem np. tzw. superkondensatorów),
- podniesienie napięcia zasilania sieci trakcyjnej do np. 1 kV w okresie kilkunastu lat, co pozwoli zmniejszyć straty przesyłu i prądy błądzące,
- zasilanie bezstykowe na drodze indukcyjnej (punktowe lub liniowe bez górnej sieci jezdnej),
- poprawę bezpieczeństwa, dyspozycyjności i podatności serwisowej układów zasilania, szczególnie w warunkach awaryjnych.

Istotne jest indywidualizowanie podejścia do rozwiązań stosowanych w komunikacji miejskiej i stosowanie odmiennych rozwiązań w systemach tramwajowych w dużych aglomeracjach (Warszawa, Łódź, Kraków) w porównaniu z miastami małymi (Elbląg, Grudziądz, Gorzów Wlkp.).

Komunikacja trolejbusowa, stosowana jest w bardzo małej liczbie miast, w porównaniu z komunikacją tramwajową. Zwykle nie przewiduje się rozwoju tego typu środka transportu. Dużo mniejsza moc układów napędowych trolejbusów ułatwia poszukiwanie rozwiązań przyszłościowych. W pojazdach trolejbusowych, już od dość dawna dominują napędy asynchroniczne, które w większości przypadków wyeliminowały klasyczne silniki prądu stałego. Szczególne znaczenie mogą mieć tu nowe wymagające dalszych prac badawczych systemy zasilania i magazynowania energii elektrycznej. Te nowe rozwiązania przyczynią się istotnie do rozwoju tej komunikacji i wzrostu jej mobilności.

Systemy metra raczej nie będą rozwijane a dotychczas ich rozbudowa przewidziana jest właściwie tylko w Warszawie. Ale ze względu na koszty budowy bierze się pod uwagę, również w Warszawie, rozwiązania tańsze w formie tzw. szybkiego tramwaju o liniach znajdujących się tylko częściowo w tunelach lub wykopach albo przebiegających po estakadach.

Rozważa się wykorzystanie do transportu miejskiego, nieczynnych i będących w złym stanie technicznym, linii kolejowych często bocznic, które po rozbudowie lub remoncie powiązanym z elektryfikacją mogłyby stanowić uzupełnienie sieci transportu elektrycznego, niekiedy w formie pojazdów kolejowo-tramwajowych.

W trakcji podmiejskiej celowe jest zastosowanie pojazdów wielosystemowych, np. zasilanych z sieci tramwajowych jak i kolejowych, umożliwiających bezprzesiadkowe połączenie nawet dalekich osiedli podmiejskich z centrami miast dzięki rozwiązaniom hybrydowym sieciowo autonomicznym z generatorem prądotwórczym i/lub zasobnikami energii (superkondensatory, akumulatory).

Przykładem takiego rozwiązania może być przygotowywana w najbliższym czasie zmiana systemu zasilania na Warszawskie Koleje Dojazdowe (WKD) z 660 V DC na 3 kV DC. Ma ona poprawić wydolność transportową tego systemu o charakterze szybkiego tramwaju, tak znaczącego w obszarze podwarszawskim, mimo występujących aktualnie, a wymagających szybkiego rozwiązania,

problemów ze zwiększonym zużyciem zestawów kołowych nowego dwu–systemowego taboru.

5. TENDENCJE ROZWOJOWE TRAKCJI ELEKTRYCZNEJ

Tendencje rozwojowe w komunikacji tramwajowej na świecie potwierdzają poprawność założeń komunikacyjnych opracowanych już ponad 100 lat temu np. w Łodzi. Przykładem może być Paryż i Zurych, gdzie buduje się nowe połączenia tramwajowe. Problemy komunikacyjne miejscowości podwarszawskich mogłoby rozwiązać wybudowanie linii tramwajowych w kierunku: Konstancina (przez Wilanów), Łomianek, Piaseczna, Janek, Marek. Należy pamiętać, że na tych trasach zlikwidowano działającą przez wiele lat kolej wąskotorową, rozbierając istniejące odcinki szynowe.

Jako rozwojowe, w dalszej perspektywie, wydają się pojazdy z zasilaniem autonomicznym, np. z ogniwami paliwowymi, akumulatorami elektrochemicznymi i superkondensatorami. Dla pojazdów autonomicznych dużej mocy istotna pozostaje przekładnia spalinowo-elektryczna, podobnie jak celowe do pracy manewrowej jest wykorzystywanie pojazdów hybrydowych.

Wydajne i niezawodne (energia, moc, liczba cykli roboczych) źródła energii elektrycznej są kluczowym problemem dla rozwoju autonomicznej trakcji miejskiej (tramwaje, trolejbusy, ebusy, samochody elektryczne). Wymaga to, oprócz rozwoju samych źródeł i zasobników, badań nad algorytmami sterowania i zarządzania przepływem energii pomiędzy źródłem, zasobnikami i napędem pojazdu.

Nowoczesne napędy trakcyjne osiągnęły obecny poziom i mogą się dalej rozwijać przede wszystkim dzięki postępowi w energoelektronice. Impulsowe przekształcanie energii elektrycznej pozwala na dowolne sterowanie dopływu mocą do silników i kształtowanie charakterystyk trakcyjnych pojazdów odpowiednio do zapotrzebowania energetycznego dla danego typu pojazdu.

Dalszy rozwój przyrządów energoelektronicznych (np. na bazie węglika krzemu) wymagać będzie nowych metod sterowania napędów. Stosowane będą urządzenia o mniejszej masie, mniejszym zużyciu energii i wyższej sprawności takie jak:

- transformatory energoelektroniczne w pojazdach zasilanych z systemu AC zamiast klasycznych transformatorów (zmiana częstotliwości za pomocą przekształtników energoelektronicznych zmniejszy masę transformatora),
- przekształtniki o wyższej sprawności i mniejszych gabarytach,
- napędy sterowane indywidualnie (pojedyncze sterowanie momentem napędowym koła), co zwiększa przestrzeń wewnątrz i umożliwia konstrukcję pojazdów niskopodłogowych,
- silniki z wysokoenergetycznymi magnesami trwałymi,

- nowoczesne układy automatyki i sterowania mające oprogramowanie zapewniające wykorzystanie mocy zainstalowanych w pojazdach, w elementy wspomagania trakcji oraz podejmowania decyzji w sytuacjach awaryjnych.
- rozwiązania zwiększające dyspozycyjność taboru dzięki wysokiej niezawodności i podatności serwisowej poprzez stosowanie rezerwowania istotnych urządzeń i diagnostyki predykcyjnej, pozwalającej na wymianę elementu zanim dojdzie do jego uszkodzenia, a systemy automatycznej informacji serwisowej zmniejszą koszty eksploatacji,
- systemy transmisji momentu poprawiające współpracę koła z szyną, szybko wykrywające dzięki dobrze działającym układom antypoślizgowym sytuacje prowadzące do zwiększonego zużycia zestawów kołowych, co jest typowym problemem w produkowanym obecnie w Polsce taborze.

6. UWAGI I WNIOSKI

Dla bieżącego istnienia i rozwoju trakcji elektrycznej niezbędne są przede wszystkim działania, zmierzające do:

- zmniejszenia zużycia energii,
- zmian w konstrukcji i wyposażeniu taboru,
- zmniejszenia strat przetwarzania i przesyłu energii w układzie zasilania i w taborze,
- efektywnego wykorzystania energii hamowania odzyskowego (zasobniki energii),
- opracowania systemu rozliczeń za energię na potrzeby trakcyjne i nietrakcyjne, wdrażających rozwiązania energooszczędne (np. możliwości wprowadzenia certyfikatów za zmniejszenie zużycia energii i wykorzystanie energii hamowania odzyskowego),
- poprawy niezawodności funkcjonowania transportu elektrycznego, wprowadzania rozwiązań proekologicznych i wpisanych w politykę zrównoważonego rozwoju (hałas, emisja zanieczyszczeń, obniżka kosztów zewnętrznych transportu),
- powiększenia efektywności transportu elektrycznego,
- wdrożenia do produkcji efektywnych źródeł energii dla pojazdów autonomicznych.

Istotnym problemem w zakresie transportu, zwłaszcza dla ruchu pasażerskiego, przy wykorzystaniu energii elektrycznej jest ustalenie, a właściwie uzgodnienie, przynajmniej w skali kraju, kierunków rozwojowych tzw. kolei dużych prędkości. Na razie nie aktualny, tzw. system **Y,** został chyba słusznie wycofany. Nie zmienia to faktu, że to zagadnienie pozostaje nie rozwiązane i w najbliższym czasie powinny zostać podjęte ostateczne decyzje, które wyznaczą kierunki działań na najbliższe lata.

LITERATURA

[1] Karwowski K., Szeląg A., „Problemy kształcenia i rozwoju zawodowego kadr inżynierskich dla trakcji elektrycznej w Polsce". Opracowanie w ramach Sekcji Trakcji Elektrycznej Komitetu Elektrotechniki PAN.
[2] Materiały ogólnodostępne prasy technicznej i na stronach internetowych poszczególnych instytucji.
[3] Szeląg A., Trakcja elektryczna. Stan obecny i perspektywy rozwoju. Wykład wygłoszony w grudniu 2012 roku na Jubileuszowym Posiedzeniu Komitetu Elektrotechniki, w Instytucie Elektrotechniki, z okazji 60–lecia Komitetu.

THE UPGRADING OF MODERN TRACTION VEHICLES

The present paper presents the current trends in the development of modern electric traction vehicles. In particular, the subject of the paper covers vehicles intended for passenger carriage in rail traffic, both the urban one and the long-distance one. In modern vehicles, particular attention is paid to asynchronous drives, which require fairly complex computing systems.

(Received: 31. 01. 2017, revised: 16. 02. 2017)