

## Trakcje w Kolejach Dużych Prędkości

### 1. WSTĘP

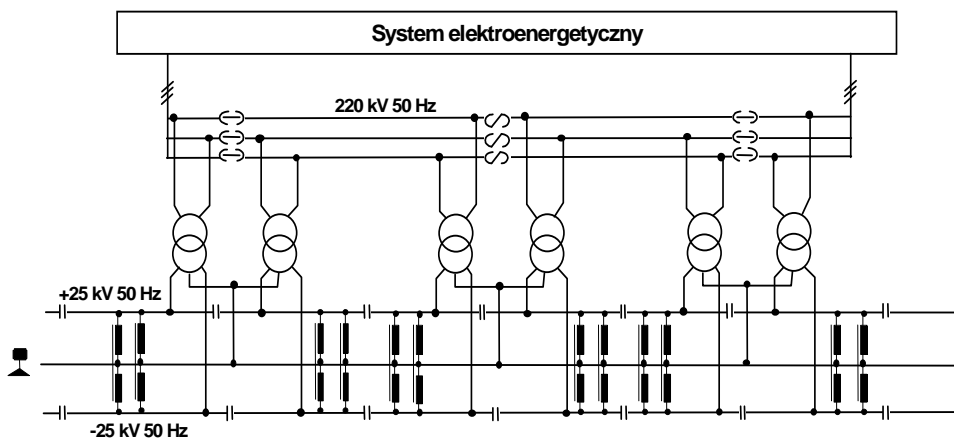
Linia dla Kolei Dużych Prędkości to technologiczny skok w wielu obszarach techniki w szczególności w obszarze energetyki i napędu. Pociągi dużych prędkości wymagają zainstalowania odpowiednio dużej mocy. Dlatego tak istotnym jest system zasilania, który ma służyć przekazywaniu energii z krajowego systemu elektroenergetycznego do pojazdu dużych prędkości. W Polsce wiąże się to z wdrożeniem całkiem nowych rozwiązań i technologii. W Europie funkcjonują dwa podstawowe systemy zasilania pojazdów trakcyjnych. Jest to system prądu stałego i system prądu przemiennego. W artykule opisano systemy zasilania oraz główne tendencje w konstrukcjach elektromechanicznych Kolei Dużych Prędkości.

### 2. GŁÓWNE CECHY SYSTEMÓW ZASILANIA KDP

Pociągi dużych prędkości wymagają zainstalowania odpowiednio dużej mocy. Wynika to przede wszystkim z oporów ruchu. Składnikiem o największej wartości są opory aerodynamiczne, rosnące z kwadratem prędkości. Opór aerodynamiczny pojazdu poruszającego się z prędkością 300 km/h jest około 9-cio krotnie większy od oporu powietrza pociągu poruszającego się z prędkością 100 km/h. Uzyskanie przez pojazdy KDP prędkości powyżej 250 km/h wymaga dostarczenia do poszczególnych pociągów mocy powyżej 10 MW [1]. Zasadnicze znaczenie w warunkach polskich ma wybór jednego ze znormalizowanych, najkorzystniejszego systemu zasilania. Wybór i projekt układu zasilania pojazdu powinien odpowiadać kryterium jakości pracy takiego układu i jest zagwarantowanie dostawy energii o wymaganej jakości. Skład systemu zasilania trakcji elektrycznej wchodzi:

- a) linie zasilające ogólnokrajowego systemu energetycznego,
- b) podstacje trakcyjne,
- c) sieć trakcyjna wraz z przewodami łączącymi sieć trakcyjną z podstacją oraz siecią powrotną.

Właściwy dobór ich parametrów ma duży wpływ na prawidłowe, bezawaryjne funkcjonowanie systemu trakcji [2]. Ogólnie systemy zasilania linii kolejowych można podzielić na systemy prądu stałego i prądu przemiennego. Wśród systemów kolejowych prądu stałego najbardziej rozpowszechnione na świecie są systemy 3 kV DC (ok. 35% długości linii zelektryfikowanych na świecie) i 1,5 kV DC (ok. 7,8% długości linii zelektryfikowanych). Wśród systemów prądu przemiennego najbardziej rozpowszechnione to: system 25 kV 50 Hz lub 2 x 25 kV 50 Hz (ok. 41% długości linii zelektryfikowanych) oraz system 15 kV 16 2/3 Hz (ok. 15% długości linii zelektryfikowanych). W każdym z systemów trakcji energia elektryczna pobierana jest z systemu źródłowego (elektroenergetycznego), następnie przetwarzana do poziomu napięcia przesyłowego, zaś w podstacjach trakcyjnych transformowana do rodzaju (napięcie stałe, napięcie przemiennie określonej częstotliwości) i poziomu napięcia odpowiedniego do zasilania pojazdów trakcyjnych w danym systemie trakcji.



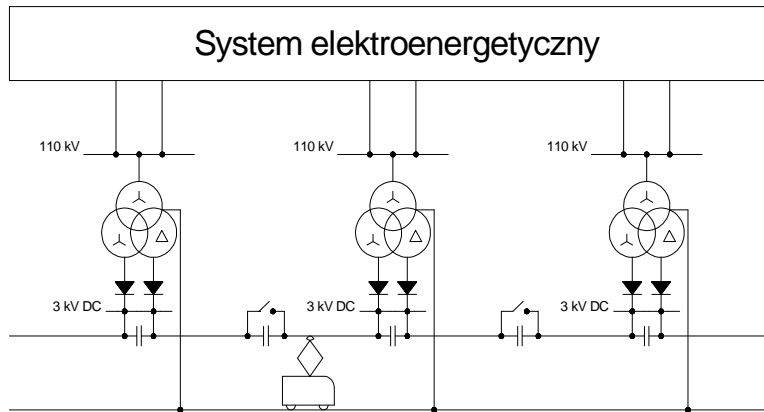
Rys. 1. Ogólny schemat systemu zasilania trakcji elektrycznej 25 kV 50 Hz.

<sup>1</sup> Zakład Trakcji Elektrycznej, Wydz. Elektryczny, Politechnika Warszawska

Innym kryterium jest zgodność z systemami elektryfikacji występującymi w ramach tej samej infrastruktury kolejowej. W idealnym przypadku infrastruktura kolejowa powinna być zelektryfikowana w tym samym systemie, aby nie było konieczności stosowania różnego lub wielosystemowego taboru. Duże znaczenie ma również to, że elektryfikacja w innym systemie niż istniejący w danym kraju pociąga za sobą dodatkowe koszty.

### 2.1 System prądu stałego.

Schemat układu zasilania linii kolejowej w systemie prądu stałego 3 kV z transformacją jednostopniową i prostownikami 12-pulsowymi przedstawiono na rys.2.

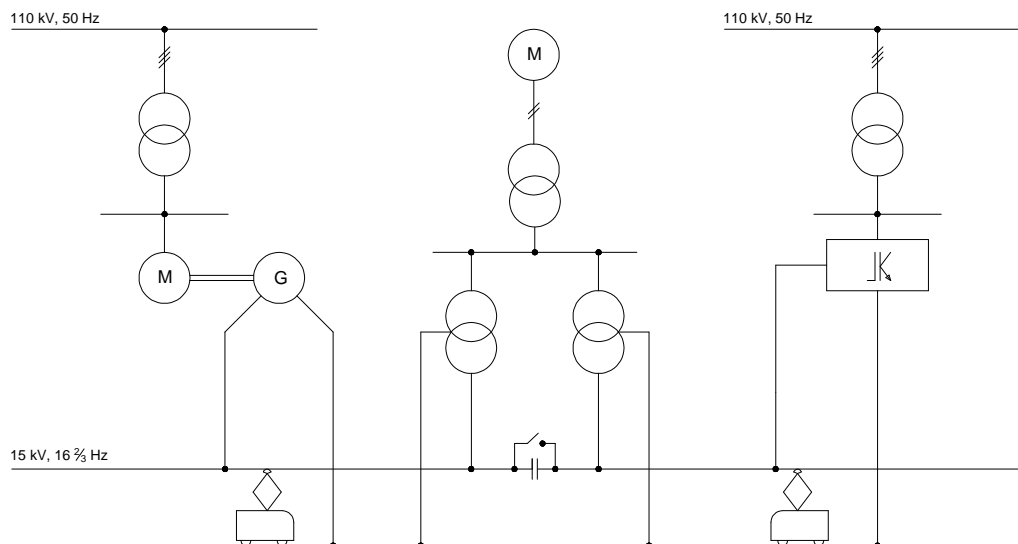


Rys.2. Ogólny schemat systemu zasilania 3 kV prądu stałego [2].

Wykorzystanie przesyłowe tego systemu wymaga stosowania przekrojów sieci jezdnej nawet do 600 mm<sup>2</sup> a prądy płynące osiągają wartość 3 kA. Podstacje systemu prądu stałego wyposażone są w układy prostownikowe 12-pulsowe, lub o większej ilości pulsów. Głównie na zwiększenie ilości pulsów wpływa konieczność zmniejszenia poboru wyższych harmonicznych prądu z sieci elektroenergetycznej, jak również otrzymania napięcia stałego na szynach podstacji o mniejszej pulsacji. Zwiększenie ilości pulsów wpływa na zwiększenie strat mocy na podstacji trakcyjnej (w przybliżeniu proporcjonalnie do liczby pulsów). Przy tym systemie zasilania pojazdy nie mogą przekraczać prędkości powyżej 250km/h co wiąże się z poborem mocy rzędu 6-8 MW.

### 2.2. System prądu przemiennego 15 kV 16,7 Hz.

Schemat zasilania linii kolejowej przedstawiono na rys. 3.



Rys.3. Ogólny schemat zasilania linii kolejowych w systemie 15 kV 16 2/3 Hz.

Wytworzenie napięcia o częstotliwości 16,7Hz realizowane jest poprzez (na rys 3 kolejno od lewej):

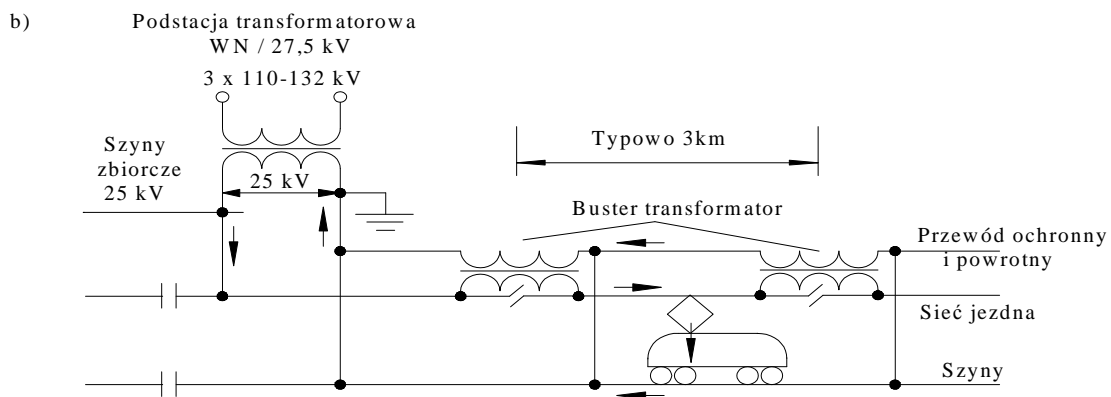
- zastosowanie przetwornic wirujących,
- wytworzenie napięcia o obniżonej częstotliwości w oddzielnych przeznaczonych do tego małych elektrowniach,
- zastosowania przetwornic statycznych (przekształtnikowych).

Wszystkie te źródła wytwórcze są połączone jednofazowymi liniami w oddzielny system synchroniczny (16,7 Hz), obejmujący duży obszar. Zarówno maszyny wirujące jak i przetwornice statyczne wprowadzają do systemu elektroenergetycznego zakłócenia. W przypadku przetwornic mechanicznych są to duże prądy rozruchu, zaś w przypadku przetwornic statycznych wyższe harmoniczne prądu pobieranego z SEE. System ten posiada znacznie większe możliwości przesyłowe niż system 3 kV DC. Pozwala zastosować mniejsze przekroje sieci jezdnej, jak również większe odległości między podstacjami w stosunku do systemu 3 kV DC, przy takich samych okładach mocy. Ruch pojazdów na liniach zelektryfikowanych w tym systemie może być prowadzony z prędkościami nawet do 350 km/h.

Zalety: - możliwość łączenia wzdłużnego sekcji sieci trakcyjnych zasilanych z różnych podstacji (podobnie jak w systemie prądu stałego), co przyczynia się do wzrostu niezawodności zasilania, -możliwość zastosowania zasilania dwustronnego, co zmniejsza spadki napięć i zwiększa sprawność systemu.

### 2.3 System prądu przemiennego 1 x 25 kV, 50 Hz.

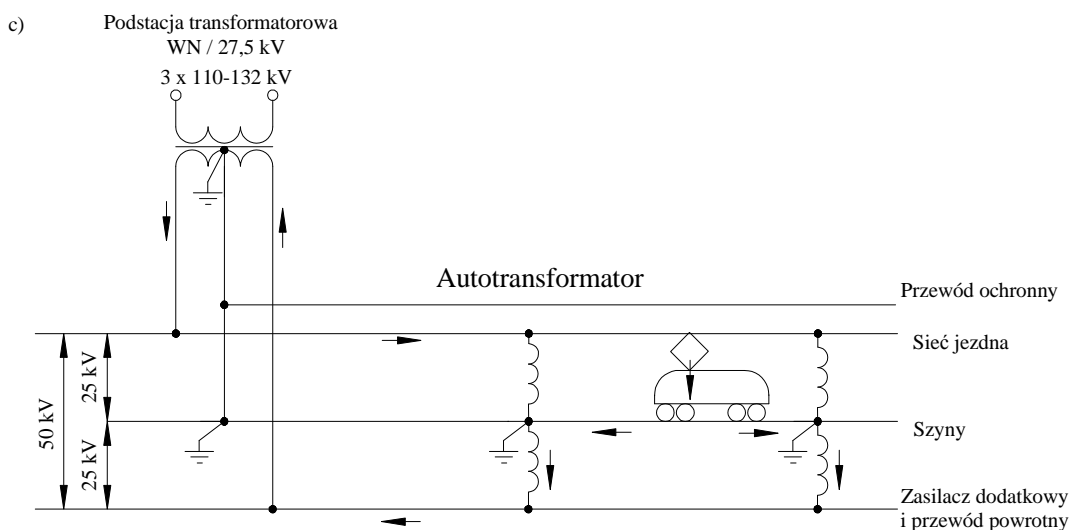
Sposób realizacji tego systemu pokazano na rys. 4. Ze względu na oddziaływanie elektromagnetyczne na obwody telekomunikacyjne i układy srk, jak również przez dużą upływność prądu do ziemi w postaci system został zmodyfikowany poprzez dodanie tzw. transformatorów odsysających (ang. *booster transformers* – BT). Transformatory odsysające rozmieszczone co kilka kilometrów powodują że większa część prądu powrotnego płynie przez przewód powrotny, mniejsza zaś przez szyny jezdne.



Rys. 4. Schemat zasilania 25 kV, 50 Hz z transformatorami odsysającymi.

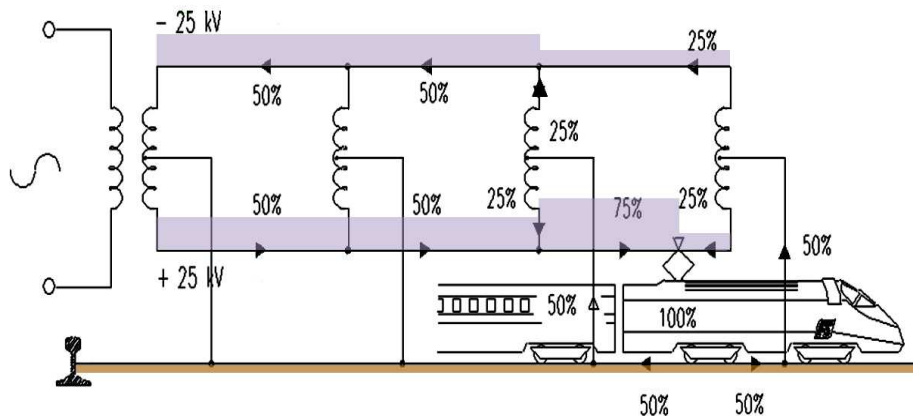
### 2.4 System prądu przemiennego 2 x 25 kV, 50 Hz.

Ogólny schemat systemu 2 x 25 kV przedstawiono na rys. 5.



Rys.5. Ogólny schemat systemu zasilania 2 x 25 kV 50 Hz.

Na podstacjach trakcyjnych (PT) zasilających jednostronnie dany odcinek (długości 80 – 120 km) zainstalowane są transformatory trakcyjne z dwoma uzwojeniami wtórnymi połączonymi szeregowo. Napięcie znamionowe każdego z tych uzwojeń wynosi 27,5 kV. Punkt wspólny tych uzwojeń połączony jest z szynami (SZ) i uziemiony, zaś poszczególne końce tych uzwojeń odpowiednio z siecią trakcyjną (ST) i z dodatkowym zasilaczem (DZ). W ten sposób wartość skuteczna napięcia między szynami a siecią trakcyjną jak również między szynami a dodatkowym zasilaczem wynosi 27,5 kV. Zaś między siecią trakcyjną a dodatkowym zasilaczem 55 kV. Napięcia te są wartościami znamionowymi na szynach podstacji, spadki napięć powodują że napięcia w sieci w pobliżu pojazdu są w praktyce zbliżone do 25 kV (między SZ a ST i między SZ a DZ) i do 50 kV (między ST a DZ). Stąd umownie nazwa systemu 2 x 25 kV. Energia od podstacji do najbliższych pojazdowi autotransformatorów przesyłana jest siecią jezdnią i dodatkowym zasilaczem na poziomie napięcia 50 kV. Autotransformatory obniżają dwukrotnie napięcie i energia od nich do pojazdu jest przesyłana poprzez sieć trakcyjną i szyny na poziomie napięcia 25 kV. Więc prąd pobierany przez pojazd płynie siecią jezdnią i szynami tylko do najbliższych autotransformatorów, zaś na dużych odległościach (do podstacji) płynie prąd dwukrotnie mniejszy. Powoduje to zmniejszenie spadków napięć na dużych odległościach i zmniejszenie strat mocy na drodze przesyłu energii do pojazdu. Na rys.6. przedstawiono przepływ prądu pomiędzy podstacją a pojazdem.



Rys. 6 Przepływ prądów pomiędzy podstacją a pojazdem w systemie 2 x 25 kV 50 Hz

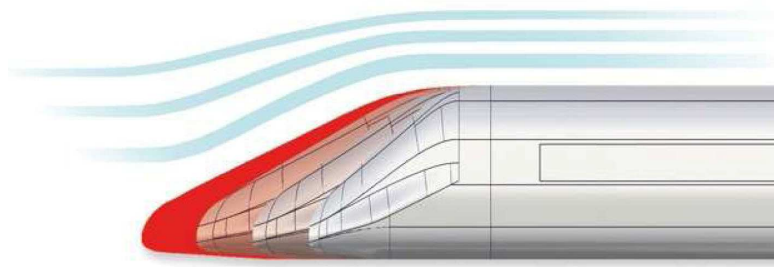
System 2 x 25 kV 50 Hz uważa się za najnowocześniejszy i większość linii dużych szybkości są obecnie elektryfikowane w tym systemie. Zalety tego systemu w zastosowaniach do zasilania linii kolejowych dużych szybkości są niepowtarzalne w innych systemach. Ma on największe zdolności przesyłu mocy, zaś oddziaływanie elektromagnetyczne na układy srk i systemy telekomunikacyjne są stosunkowo małe (najmniejsze ze wszystkich systemów elektryfikacji). Na francuskich liniach kolejowych zelektryfikowanych w tym systemie ustanawiane były kolejne rekordy prędkości przez pociągi TGV, ostatni z 3 kwietnia 2007 roku wynosił 574,8 km/h.

### 3. KIERUNKI KONSTRUKCJI KDP

Koleje Dużych Prędkości to jazda z dużym komfortem i bezpieczeństwem. Osiągamy to m.in. poprzez dobrą współpracę wózka z torem i sposobem rozwiązania ich sprężystych więzów z nadwoziem. Zadania wózków napędowych i tocznych to przeniesienie z zestawów kołowych na ramy wózków oraz na urządzenia sprzęgowe sił hamujących a dla wózków napędowych sił pociągowych lub sił hamujących. Równomierne rozłożenie na zestawy kołowe masy nadwozia, prowadzenie pojazdu po torze przy zachowaniu wymaganych warunkach bezpieczeństwa oraz stopnia spokojności biegu. Nowoczesna konstrukcja wózków to mała masa ( w porównaniu do klasycznych rozwiązań), beztarciove połączenie więzów przez stosowanie elementów gumowych. Techniczna Specyfikacja Interoperacyjności pociągów dużej prędkości standaryzuje ważniejsze cechy pojazdów wprowadzanych do eksploatacji na obszarze Unii Europejskiej. Dopuszczalne są następujące rozwiązania konstrukcyjne:

- pociągi z systemami przechyłu pudła lub bez nich,
- łączony na stałe konwencjonalny lub członowy skład pociągu,
- pociągi jedno lub dwupokładowe.

Napędy w KDP stanowią silniki asynchroniczne i synchroniczne na magnesy trwałe, które posiadają lepszy współczynnik mocy do masy (1kW/kg) w stosunku do silników asynchronicznych (0,8kW/kg). Ponadto silniki z magnesami trwałymi zajmują 0 33% procent mniej miejsca niż silniki asynchroniczne. Do przetwarzania energii w falownikach tendencja jest do stosowania tranzystorów IGBT. Warto zauważyć znaczący wpływ kształtu czoła („nos delfina”) w zależności od wartości maksymalnej prędkości.



Rys. 7. Kształty czola pociągu w zależności od wartości prędkości maksymalnej [4].



Rys. 8 Kształt czola pociągu AVE.

Na rys. 8. przedstawiono czoło pociągu AVE- Alta Velocidad Española (w języku hiszpańskim dosłownie "Wysoka Prędkość Hiszpańska"), przy czym równocześnie ave oznacza po hiszpańsku ptak) – szybka kolej hiszpańska osiągająca prędkość do 320 km/h na trasie z Madrytu do Barcelony. Start na trasę Madryt – Barcelona miał początek 18 grudnia 2010r. Odległość 391 km, pociąg przebył w 1h 35 minut.

#### 4. PODSUMOWANIE

Tam gdzie funkcjonują KDP tam też ten środek transportu przyciąga pasażerów, a potoki podróżnych na tych liniach zwiększają się. KDP to skok w ofercie przewozowej to nowoczesność, która pociągnie za sobą rozwój gospodarczy i „skróci” odległości między miastami i regionami. KDP pełni funkcje integracyjną, integruje miasta i ludzi. Koleje Dużych Prędkości to rewolucja w czasie przejazdu i przełom w pozytywnym postrzeganiu tego środka transportu.

#### 5. BIBLIOGRAFIA

- [1] Durzyński Z.: Energochłonność pociągów zespołowych na duże prędkości. Pojazdy Szynowe 3/2010.
- [2] Szela A., Mierzejewski L.: Systemy zasilania linii kolejowych dużych prędkości jazdy. Technika Transportu Szynowego 5-6/2005.
- [3] Raczyński J.: Pociągi dużych prędkości, kierunki rozwoju. Technika Transportu Szynowego 5-6/2005.
- [4] WWW. zefiro.bombardier.com.