

Tadeusz Maciołek

Aspekty projektowania sieci trakcyjnych kolei dużych prędkości

Dotychczas w Polsce eksploatowane są sieci trakcyjne do prędkości 160 km/h. Nowe odcinki sieci trakcyjnej, projektowane do prędkości maksymalnej 200 km/h, montowane na linii E65, nie przeszły dotychczas weryfikacji w eksploatacji [5, 7].

Projektując i wykonując sieci należy oprzeć się o doświadczenia innych krajów, jak: Japoni, Francji, Niemiec, Hiszpanii, Włoch, gdzie takie linie są budowane od wielu lat. Na podstawie wymagań Technicznych Specyfikacji Interoperacyjności (TSI) [1, 2] obowiązujących również w Polsce, należy przyjąć dla linii o prędkości rzędu 300 km/h zastosowanie systemu prądu przemiennego 25 kV 50 Hz. System ten jest systemem o najlepszych parametrach energetycznych dla linii kolejowych największych prędkości [10, 14].

Kryteria uwzględniane w trakcie projektowania sieci trakcyjnej

Proces konstruowania nowego typu sieci trakcyjnej powinien uwzględnić następujące etapy:

- opracowanie i symulacje modelu matematycznego sieci trakcyjnej; program symulacyjny powinien być dopuszczony do stosowania lub zweryfikowany za pomocą programów dopuszczonych w Europie;
 - opracowanie projektu konstrukcji sieci;
 - wykonanie i badanie odcinka testowego.
- W sieciach trakcyjnych dużych prędkości muszą być uwzględnione specyficzne wymagania w stosunku do sieci dla prędkości do 200 km/h [11, 13]. Ma to na celu zapewnienie właściwej współpracy z pantografem. Wymagania te uwzględniają [1, 2, 12]:
- stałą statyczną wysokość zawieszenia przewodu jezdnego,
 - profilowanie przewodu jezdnego w stosunku do toru – 0%,
 - dopuszczalne odchylenie poprzeczne przewodu jezdnego pod działaniem wiatru bocznego do 0,4 m,
 - ograniczenie maksymalnej długości przęsła,
 - długość minimalną wieszaka,
 - odstępy między wieszakami,
 - maksymalny odsuw przewodu jezdnego w miejscu jego podwieszenia,
 - ograniczenie nierównomierności elastyczności,
 - ograniczenie uniesienia przewodu przy maksymalnej prędkości,
 - ograniczenie czasu wyładowań łukowych przy prędkości maksymalnej,
 - zwiększenie obciążalności prądowej ze względu na większą moc obciążenia,
 - zwiększenie naciągów w przewodach sieci ze względu na większe prędkości propagacji i sztywność sieci,

- zwiększenie sztywności konstrukcji wsporczych ze względu na zapewnienie stabilności położenia przewodów,
- zmniejszenie masy osprzętu,
- zwiększonej odporności na korozję elementów sieci ze względu na największą niezawodność,
- rozwiązania rozjazdów bez powiązania mechanicznego sieci toru głównego z torem bocznym, jak również możliwość przejazdu torem głównym bez kontaktu pantografu z siecią toru rozjazdowego.

Ze względu na wymagane duże moce systemu zasilania konieczne jest przyjęcie systemu zasilania prądem przemiennym 15 kV lub 25 kV lub 2×25 kV [1]. Powoduje to dodatkowe wymagania dla konstrukcji sieci trakcyjnych w stosunku do systemu 3 kV:

- określone sposoby separacji poszczególnych sekcji,
- prowadzeniem przewodu powrotnego wzdłuż sieci,
- zwiększenie odstępów izolacyjnych.

Podczas projektowania typu sieci stosuje się matematyczne modelowanie sieci. Zmniejsza to nakłady oraz prawdopodobieństwa wystąpienia uszkodzeń sieci w warunkach skrajnych, które są trudne do uzyskania w trakcie badań poligonowych rzeczywistego obiektu. Modelowanie obejmuje również zachowanie sieci w warunkach dynamicznych podczas przejazdu pociągu. W sieci trakcyjnej modelowane są podstawowe parametry przy określonych wymaganiach:

- długość sieci jezdnej nie mniejsza niż 10 przęseł podwieszenia sieci i co najmniej trzykrotna odległość między pracującymi pantografami;
- w konstrukcji uwzględniona musi być lokalizacja i długości wieszaków;
- wysokość konstrukcyjna sieci;
- położenie ramion odciągowych, ich masy;
- liczba i charakterystyczne mechaniczne parametry przewodów tworzących sieć jezdną;
- naciągi przewodów;
- parametry mechaniczne konstrukcji wsporczych;
- elastyczność wieszaków;
- prędkość pociągu;
- własności tłumiące sieci jezdnej.

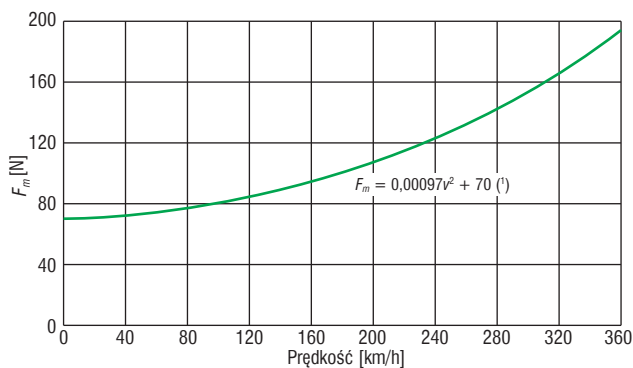
Stosowane są konkretne modele pantografów. Istotne są ich parametry:

- liczba i wzajemne odległości między czynnymi pantografami,
- wielkości sił statycznych,
- wielkości sił aerodynamicznych,
- wysokość uniesienia.

Wyniki symulacji powinny obejmować:

- obliczone siły stykowe,
- przemieszczenia przewodu jezdnego,
- dynamiczne zachowania się odbieraków prądu podczas przejazdu.

Obliczone wartości dla współpracy z jednym lub z kilkoma pantografami powinny prezentować wartości sił stykowych zarówno chwilowe, jak i wskaźniki syntetyczne symulacji, w tym maksymalne i minimalne pionowe przemieszczenie punktu styku w funkcji czasu. W odniesieniu do przemieszczenia przewodu jeźdnego – maksymalne wartości uniesienia przewodu w punkcie podwieszenia przy konstrukcji wsporczej oraz w wybranych punktach charakterystycznych w funkcji czasu. W odniesieniu do przerw stykowych – procentowy czas utraty styku. Stosowanie danej metody symulacyjnej powinno zostać poprzedzone jej badaniami co do dokładności z weryfikacją za pomocą symulacji już zweryfikowanych normą [8]. Ważne są wyniki symulacji dla prędkości 250 km/h, 300 km/h. Wymaganą siłą docisku pantografu dla sieci prądu przemiennego przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Wymagana średnia siła docisku pantografu do sieci w funkcji prędkości [1]

Duża siła nacisku dla pantografów wymusza zwiększenie sztywności sieci w celu zmniejszenia uniesienia przewodów.

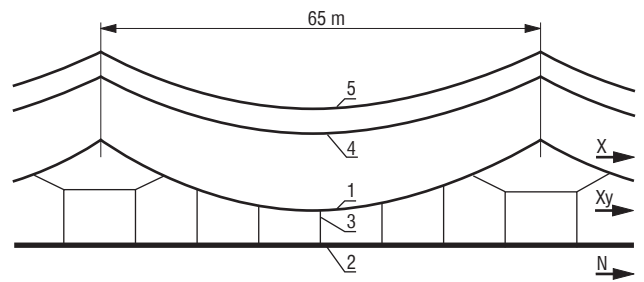
Konstrukcja sieci trakcyjnej

Najdłuższe doświadczenie w zakresie sieci trakcyjnych dla dużych prędkości w Europie mają koleje francuskie. Na liniach TGV stosowana jest sieć tańczuchowa bez uelastycznienia Y. Mimo braku uelastycznienia sieć taka sprawdza się w eksploatacji. Sieć ta wymaga stosowania mniejszych (rzędu 50 m) rozpiętości przęseł przelotowych, niż w sieciach z uelastycznieniem typu Y. Cechą sieci są bardzo duże naciągi w przewodzie jeźdnym. Zapewniona jest przez to duża prędkość propagacji fali mechanicznej i zmniejszona elastyczność szczególnie w środku przęsa. Pod taką siecią odbył się rekordowy przejazd z prędkością 574,8 km/h. Sieć ta miała dodatkowo zmodyfikowane parametry. Naciąg w przewodzie jeźdnym z miedzi stopowej 150 mm² został zwiększony do 32 kN

W sieciach systemów prądu przemiennego stosowana jest pojedyncza lina nośna i pojedynczy przewód jeźdny. Przekroje sieci są wystarczające do przeniesienia dużej mocy ze względu na stosowane wysokie napięcie.

Zawieszenie sieci trakcyjnej może być wykonane na słupach indywidualnych lub brankach. Na słupach zawieszony jest dodatkowy przewód zasilacza i przewód powrotny, co związane jest z przyjmowanym systemem zasilania.

Rozjazdy sieciowe dla prędkości przejazdu w kierunku zasadniczym 200 km/h i większej nie mogą mieć połączeń mechanicznych. Rozjazdy te mogą nie zawierać przęsa naprężenia w torze głównym, ale nie może występować kontakt pantografu z siecią toru głównego przy jeździe na wprost.



Rys. 2. Przykładowa konstrukcja sieci trakcyjnej dużej prędkości dla systemu 2×25 kV 50 Hz

1 - lina nośna brąz 95 mm², 2 - przewód jeźdny miedz stopowa 150 mm², 3 - wieszak brąz 10 mm², 4 - przewód powrotny AlFe 150 mm², 5 - zasilacz dodatkowy AlFe 180 mm², N – naciąg przewodu jeźdnego 21 kN, Xy - naciąg liny uelastycznienia 3,5 kN, X - naciąg liny nośnej 15kN

Sieć trakcyjna powinna być zaprojektowana w taki sposób, aby umożliwiała współpracę z pantografami szerokości 1600 mm o geometrii ślizgacza określonej w punkcie TSI [1] dla kolei dużych prędkości. Skrajnia budowli jest powiększona w stosunku do linii o mniejszych prędkościach. Większa jest również wymagana szerokość międzytorza. Szczególnie istotne jest projektowanie tuneli i przejazdów pod wiaduktami. Oddziaływania aerodynamiczne są duże, szczególnie podczas mijania się pociągów z pełną prędkością.

Do planowanych w przyszłości sieci w Polsce opracowano nowe materiały i osprzęt [9]. Ponieważ naciągi w przewodach jeźdnym są ponad dwukrotnie większe niż dotychczas stosowane, wymagane jest stosowanie stopów miedzi o zwiększonej wytrzymałości. Są to między innymi materiały oznaczone następującymi symbolami: CuMg 0,2; CuMg 0,5; CuSn 0,2; CuSn 0,4; rzadziej CuCd 1. Miedź stopowa ma większą rezystancję (nawet o 50%) niż czysta miedź. Nie jest to jednak przyczyną nadmiernych spadków napięcia w sieci, gdyż wynikają one głównie z reaktancji sieci. Spadki napięcia są większe w systemie 25 kV 50 Hz (Francja) niż w systemie 15 kV 16,7 Hz (Niemcy). Rezystancja ma jednak wpływ na ograniczenie wielkości prądu obciążenia przy danym przekroju sieci.

Prędkość propagacji fali w przewodach jeźdnym jest charakterystycznym parametrem w ocenie przydatności sieci trakcyjnej do dużych prędkości. Sieć należy projektować tak, by prędkość maksymalna danej linii nie była większa niż 70% prędkości propagacji fali.

Wolna przestrzeń do podniesienia ramienia odciągowego powinna być dwa razy większa niż podniesienie przewodu jeźdnego przy ramieniu odciągowym, występujące przy normalnych warunkach eksploatacyjnych, dla jednego lub większej liczby pantografów wywierających średni nacisk stykowy F_m przy maksymalnej prędkości linii.

Procentowy udział wyładowań łukowych przy maksymalnej prędkości dla sieci AC ≤ 0,1. Uwzględniane są przerwy łukowe o czasie trwania powyżej 5 ms. Przerwy stykowe o krótszych czasach są pomijane.

Sieć trakcyjną należy projektować do eksploatacji przy maksymalnej prędkości pociągu, przy założeniu, że dwa sąsiednie pantografy ustawione będą w odległościach 200 m.

Istotnym elementem w sieciach trakcyjnych AC są sekcje separacji faz. Mogą one być wykonane jako 3- lub 4-odcinkowe.

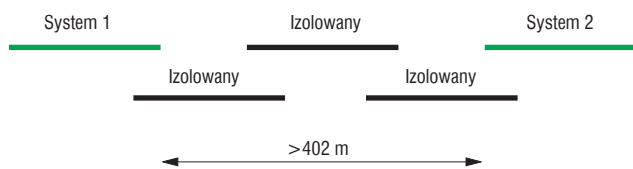
Konstrukcja sekcji separacji faz powinna zapewniać możliwość poruszania się pociągów zgodnych z TSI od jednej sekcji do następnej, bez połączenia dwóch faz. Układ zasilania powinien mieć możliwość takiego przełączenia, aby pociąg, który został zatrzymany w sekcji separacji faz miał możliwość ponownego uruchomienia i zjazdu z sekcji.

Sieci trakcyjne prądu przemiennego 25 kV wymagają większych odległości izolacyjnych, niż w systemie 3 kV. Minimalne odstępy izolacyjne między częściami roboczymi sieci jezdnej systemu 25 kV AC, podłączonymi do różnych faz wynoszą:

- dla różnicy faz 120° elektr.:
 - w układzie statycznym – 400 mm,
 - w stanie dynamicznym – 230 mm,
- dla różnicy faz 180° elektr.:
 - w układzie statycznym – 540 mm,
 - w stanie dynamicznym – 300 mm.

Odległość między elementami sieci jezdnej lub odbierakiem prądu, znajdującym się pod napięciem, a obiektami uziemionymi powinna – w najniekorzystniejszych obliczeniowych warunkach atmosferycznych – wynosić co najmniej 150 mm:

- w układzie statycznym – 270 mm,
- w stanie dynamicznym – 150 mm.



Rys. 3. Schemat układu separacji systemów

Występujący w Polsce system 3 kV prądu stałego będzie wymagał rozwiązania obszarów przejścia międzysystemowego. Przykład takiego przejścia przedstawiono na rysunku 3.

W Polsce rozpoczęto pilotażowe prace projektowe, realizacyjne nad wprowadzeniem systemu zasilania 25 kV 50 Hz i sieci trakcyjnych dla dużych prędkości. Przykładem są tu opracowania wytycznych dla tych rozwiązań [3, 14]. Realizowane są odcinki linii z sieciami trakcyjnymi wstępnie dostosowanymi do zmiany w przyszłości systemu zasilania na system prądu przemiennego [10]. Prowadzenie tych prac wiąże się z nabytym wcześniej doświadczeniem polskich zespołów przy pracach realizowanych z granicą [4].



Literatura

- [1] Decyzja Komisji UE 2008/284/WE z 6 marca 2008 r. dotycząca specyfikacji technicznej interoperacyjności podsystemu „Energia” transeuropejskiego systemu kolei dużych prędkości (notyfikowana, jako dokument nr C(2008) 807).
- [2] Decyzja Komisji UE 2008/232/WE z 21 lutego 2008 r. dotycząca specyfikacji technicznej interoperacyjności podsystemu „Tabor” transeuropejskiego systemu kolei dużych prędkości (notyfikowana, jako dokument nr C(2008) 648).

- [3] Szeląg A., Maciołek T., Mierzejewski L., Kaniewski M., Freliszka J., Zgiep J.: *Komentarz do wytycznych projektowania, budowy i odbioru sieci trakcyjnej oraz układ zasilania 2×25 kV AC dla prędkości jazdy $V \leq 350$ km/h*. Praca zbiorowa: CBP-BBK „Kolprojekt” sp. z o.o. i Zakład Trakcji Elektrycznej Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2008.
- [4] Kaminski B., Mierzejewski L., Szeląg A., Gert-Jan van Alphen, Freliszka J.: *Power supply and Remote controls of fixed installations for electric traction system on railway network*. Project: EUROPEAID/112846/D/SV/SI, The Republic of Slovenia Technical Assistance for the implementation of GSM-R,ERTMS/ETCS system and remote control of fixed installations for electric traction system on railway network.
- [5] Maciołek T., Kaniewski M.: *Sieci dużych prędkości jazdy na PKP*. MET’2003, Warszawa 2003.
- [6] Maciołek T.: *Zmniejszanie zużycia przewodów sieci trakcyjnej dużych prędkości poprzez zmiany konstrukcji pantografów i sieci trakcyjnej*. Technika Transportu Szynowego 12/2007, s. 55–58.
- [7] Maciołek T., Rostkowski W.: *Weiterentwicklung der Oberleitungen in Polen*. Elektrische Bahnen 1-2/2006, s. 70–74.
- [8] PN-EN 50388: 2008 (U) *Zastosowania kolejowe – Zasilanie energią a tabor – Kryteria techniczne dotyczące koordynacji zasilania energią (podstacja) z taborom w celu uzyskania interoperacyjności*.
- [9] Kieniewicz P., Kuca M., Kwaśniewski P., Maciołek T., Majewski W., Mamala A., Mierzejewski L., Rojek A., Woźniak K., Zasadiński K.: *Cykl artykułów. Nowa generacja wysokoobciążalnych sieci trakcyjnych –YC120-2CS150 i YC150-2CS150(1)*. Technika Transportu Szynowego 1/2007, 2/2007, 3/2007, 4/2007, 5/2007, 6/2007, 7/2007, 8/2007.
- [10] Szeląg A., Maciołek T., Mierzejewski L., Freliszka J., Zgiep J.: *Ekspertyza naukowo-techniczna dla projektu rozmieszczenia konstrukcji wsporczych na odcinku Góra Włodowska – Zawiercie linii CMK dla podwieszenia sieci jezdnej zasilanej napięciem 3 kV DC, a w przyszłości do wykorzystania ich do wywieszenia sieci jezdnej 2×25 kV AC przystosowanej do prędkości $V \leq 350$ km/h*. Zakład Trakcji Elektrycznej PW- CBP-BBK „Kolprojekt” sp. z o.o. Warszawa 2007 r.
- [11] *Standardy techniczne – szczegółowe warunki techniczne dla modernizacji linii CMK do prędkości jazdy 200/250 km/h*. CNTK. Warszawa, marzec 2002 r.
- [12] *Standardy techniczne. Szczegółowe warunki techniczne dla modernizacji lub budowy linii kolejowych do prędkości $V_{max} \leq 200$ km/h (dla taboru konwencjonalnego)/250 km/h (dla taboru z wychylnym pudłem)*. Przyjęte do stosowania uchwałą nr 263/2010 Zarządu PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. z 14 czerwca 2010 r.
- [13] Szeląg A., Maciołek T.: *Elektroenergetyka trakcyjna linii kolejowych w Polsce – uwagi dotyczące procesu projektowania*. Technika Transportu Szynowego 7-8/2012.
- [14] Szeląg A., Maciołek T., Mierzejewski L., Kaniewski M., Freliszka J., Zgiep J.: *Wytyczne projektowania, budowy i odbioru sieci trakcyjnej oraz układu zasilania 2×25 kV AC dla prędkości jazdy $V \leq 350$ km/h*. Praca zbiorowa: CBP-BBK „Kolprojekt” sp. z o.o. i Zakład Trakcji Elektrycznej PW, Warszawa 2008.

Tadeusz Maciołek
Zakład Trakcji IME Politechnika Warszawska
00-601 Warszawa, pl. Politechniki 1
tadeusz.maciolek@ee.pw.edu.pl