

Tadeusz Maciołek, Matthias Potzsch, Sławomir Wesolek

Wiązki kablowe pojazdów szynowych – współczesne realizacje i dobre praktyki projektowania

Właściwe zaprojektowanie i rozprowadzenie instalacji elektrycznej po taborze szynowym jest kluczowe dla stabilnego funkcjonowania instalacji elektrycznej pojazdu, a w późniejszym okresie eliminuje wiele problemów eksploatacyjnych. Artykuł omawia w szczególności okablowanie elektrycznych zespołów trakcyjnych jako najbardziej zaawansowaną i rozległą strukturę pojazdu szynowego. Inne pojazdy trakcyjne (zespoły spalinowe, wagony) są prostsze pod względem elektrycznym, bądź bardziej zwarte (lokomotywy).

Żeby dobrze zaplanować wiązki kablowe należy przyjąć założenie, że konstrukcja wiązek kablowych jest konstrukcją mechaniczną posiadającą funkcje elektryczne. Główne parametry wiązek określają bowiem właściwości mechaniczne, takie jak masa, średnica, promień gięcia i uwzględniając te parametry rozprowadza się wiązki po pojeździe. We współczesnych pojazdach szynowych ponadto prowadzenie wiązek jest związane z rozprowadzeniem oświetlenia, wentylacji, czy pneumatyki, gdyż te elementy infrastruktury przebiegają wspólnie w znacznej części pojazdu szynowego, a te aspekty mają również swój wymiar fizyczny. Artykuł omawia podstawowe problemy związane z projektowaniem oraz aktualne tendencje, a także najczęściej występujące błędy projektowe.

Regulacje normatywne okablowania pojazdów szynowych

Główna regulacja dotycząca wiązek kablowych pojazdów szynowych zawarta jest w normie EN 50343 *Railway applications – Rolling stock – Rules for installation of cabling* uznanej za Polską Normę w 2003 r. [1]. Regulacja ta ma charakter ogólnych wytycznych i określa reguły prowadzenia okablowania pojazdów szynowych. Jak to zwykle bywa z uregulowaniami normatywnymi, współcześnie nie nadążają one za postępem technologicznym. Norma jest bardzo ogólna i zawiera podstawowe reguły rozprowadzenia okablowania, lecz opiera się w znacznym stopniu na wcześniej stosowanych rozwiązaniach, które obecnie ze względu na uwarunkowania zewnętrzne i postęp technologiczny nie są już stosowane. Część zasad jest uniwersalna i zależnie od typu instalacji (zasilanie, sterowanie, instalacji silnoprądowej etc.) norma określa warunki brzegowe, między innymi określa takie elementy okablowania jak:

- żywotność kabli wynosi co najmniej 20 tys. godzin przy pracy w 110°C, lecz nie krócej niż planowana żywotność pojazdu,
- sposób obliczania kabli oraz współczynniki zwiększające przekroje zależnie od sposobu grupowania kabli i ich ułożenia w pojeździe,

- zasady grupowania kabli oraz warunków ich instalacji,
- sposób ekranowania przewodów zależnie od funkcji okablowania (EMC, bezpieczeństwo, uwarunkowania mechaniczne),
- minimalny przekrój przewodów jednożyłowych 1 mm²,
- odwołuje się do normy EN 50355 w zakresie wytrzymałości mechanicznej przewodów,
- rezerwuje kolor zielono żółty dla przewodów neutralnych,
- stosowanie kabli usieciwionych w przypadku zastosowania połączeń ruchomych,
- określa zasady separacji przewodów o różnych potencjałach – mogą być one realizowane poprzez dystans, izolację bądź ekranowanie przewodów.

Oprócz wymienionych parametrów, w normie określone są również zasady oznaczania kabli, zaciskania końcówek, gęstości umieszczania opasek zaciskowych zależnie od położenia kabli, wymagań co do okablowania przy modernizacji pojazdów, inspekcji, obsługi, napraw, zabezpieczeń przewodów przed ogniem, wymagań związanych z kompatybilnością elektromagnetyczną. Ponadto norma zawiera procedury testowania okablowania, wytrzymałości napięciowej izolacji.

Ważnym i przydatnym elementem normy są załączniki, które zawierają zasady doboru przewodów pod względem obciążenia prądowego przy obciążeniach krótkotrwałych, uwzględniania pracy w temperaturach wyższych niż 90°C, obliczeń w zależności od temperatury otoczenia, korekty żywotności kabli w zależności od warunków pracy, a także zasady połączeń elektrycznych po stronie przewodu i przyłącza z uwzględnieniem aspektów mechanicznych i elektrycznych (zaciskanie, lutowanie, owijanie, przewody niezbrojone, etc...)

Ostatni załącznik normy zawiera listę wymagań jakie powinny podlegać uzgodnieniu pomiędzy producentem pojazdów szynowych a dostawcą okablowania.

Współcześnie w praktyce projektowej nie stosuje się niektórych zaleceń normy, a w zakresie rozprowadzenia okablowania stosuje się wyłącznie umieszczanie wiązek w odpowiednich korytach kablowych.

Struktura okablowania pojazdów szynowych

Instalacje wysokonapięciowe i silnoprądowe pojazdów ze względu na swój charakter i prostotę zazwyczaj układane są bezpośrednio na pojeździe. Ze względu na koszt materiałowy takiego okablowania, instalacja ta jest zazwyczaj bardzo zwarta i skoncentrowana na pojeździe w niewielkich odległościach od źródeł zasilania trakcyjnego. W zasadzie nie jest optymalne tworzenie wiązek tego rodzaju poza pojazdem. Jakkolwiek niektórzy producenci wykonują wiązki kablowe także w ten sposób. Aspekt ten jest ważny zwłaszcza w zakresie połączeń szczelnych, silnoprądowych doprowadzających napięcie do silników, rozdzielni HV i wyłączni-

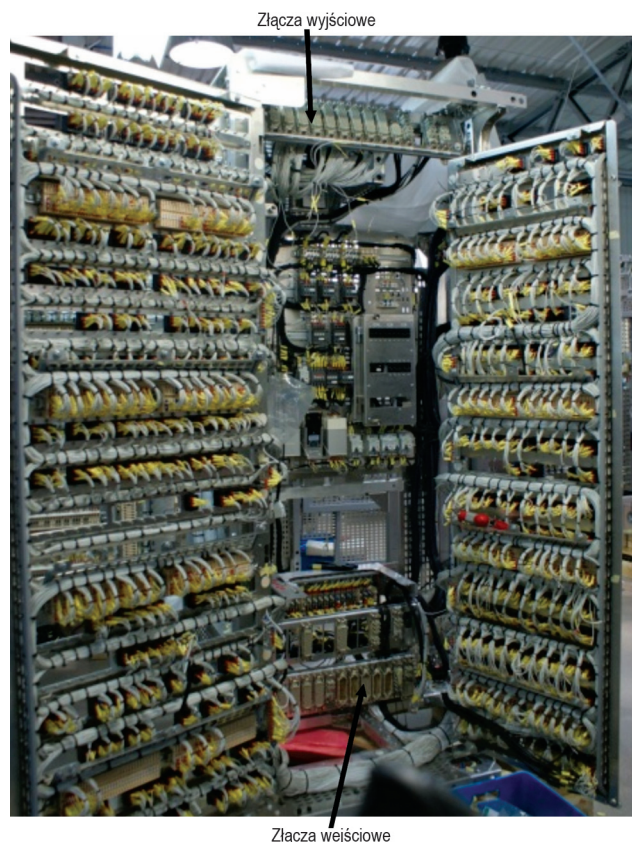
ka szybkiego. Podobną specyfiką jest również okablowanie wózków nie omawianych w niniejszym artykule.

We współczesnych pojazdach szynowych można wydzielić dwa obszary związane z instalacją elektryczną niskiego napięcia. Pierwszy obszar dotyczy instalacji szafowych głównie realizujących rozdział energii i sterowania. Źródłem zasilania tych szaf jest napięcie DC lub AC pochodzące z przetwornicy pomocniczej. W obszarze tym można wydzielić szafy: niskiego napięcia zawierającą zabezpieczenia, sterowanie pojazdem, szafę hamulca. Szafy takie są zazwyczaj zlokalizowane na pojeździe w obszarze przedziału maszynisty lub w centralnej części składu, do których dochodzą wiązki dedykowane odpowiednim systemom infrastruktury elektrycznej pojazdu.

Drugi obszar okablowania przeznaczony jest do odpowiednich funkcji systemu. W tym zakresie można wydzielić wiązki: ogrzewania, monitoringu, oświetlenia, sterowania (szeroki zakres wiązek zależnych od zastosowanych systemów), magistrali danych (CAN, MVB, Ethernet), przyrządów pomiarowych, maszyn drzewiowych, wiązki pulpitu, a także wiązki międzywagonowe i wiązki międzyskładowe do jazdy ukrotnionej.

Szafy sterownicze, pulpity

Szafy sterownicze stanowią serce systemu okablowania pojazdu. Najczęściej szafy te przeznaczone są oddzielnie dla instalacji elektrycznej NN pojazdu oraz instalacji systemu sterowania i nadzoru TCMS (*Train Control and Monitoring System* – System sterowania i nadzoru pociągu). Na rysunku 1 przedstawiono typową szafę sterowania elektrycznego zespołu trakcyjnego. Szafa ta zawiera ok. 4,5 tysiąca połączeń. Konstrukcja szafy stanowi lekką konstrukcję aluminiową, dodatkowo perforowaną dla zmniejsze-



Rys. 1. Szafa NN elektrycznego zespołu trakcyjnego (w produkcji)

nia jej masy. Konstrukcja szafy ma strukturę „kanapkową” wielopłaszczyznową, w której z jednej strony (po zamknięciu od wewnątrz) jest rozproszony okablowanie, po drugiej zaś stronie dostępne są zabezpieczenia, lampki kontrolne, przyciski etc. Szafy najczęściej umieszczone są nad kanałami kablowymi. Dzięki takiemu podejściu w dolnej części szaf znajdują się przyłącza wejściowe, w górnej części zaś przyłącza wyjściowe modułowe. Ze względu na zastosowanie złączy wejściowych i wyjściowych szafy takie po zakończeniu procesu produkcyjnego mogą być łatwo poddane testowaniu przy użyciu dedykowanych testerów okablowania. Należy pamiętać także o kodowaniu złączy w celu uniknięcia niewłaściwego podłączenia wiązek.

Projektowanie szaf – dobre praktyki

Na etapie projektowania okablowania szafy należy unikać prowadzenia zbyt grubych wiązek, mając na uwadze ograniczoną elastyczność i promień gięcia wiązki. Lepszym rozwiązaniem będzie rozdzielenie okablowania na większą liczbę cieńszych wiązek. Należy przewidzieć mocowanie wiązek do konstrukcji szafy z zachowaniem zasad ich mocowania (co najmniej 30 cm dla wiązek poziomych i 50 cm dla wiązek pionowych). Konieczne jest również zmodularyzowanie konstrukcji szafy w taki sposób, żeby ograniczyć prace montażowe w całej szafie, zaś okablowywać poszczególne moduły szafy poza nią. Takie podejście pozwala również na ułatwienie prac w przypadku diagnostyki, prowadzenia napraw i modernizacji pojazdu w przyszłości. Przewidywać należy również możliwość układania okablowania na makietach lub zdjętych elementach szafy, które nie powinny zawierać przepustów zamkniętych, a wyłącznie podcięcia typu U.

Prowadzenie wiązek kablowych wzdłuż pojazdu nad sufitem

We współczesnych pojazdach szynowych nie można rozpatrywać prowadzenia wiązek kablowych wzdłuż pojazdu i pod sufitem w oderwaniu od prowadzenia kanałów klimatyzacji, oświetlenia, monitoringu pojazdu i instalacji nagłośniającej. Trasy przebiegu tych instalacji najczęściej są wspólne.

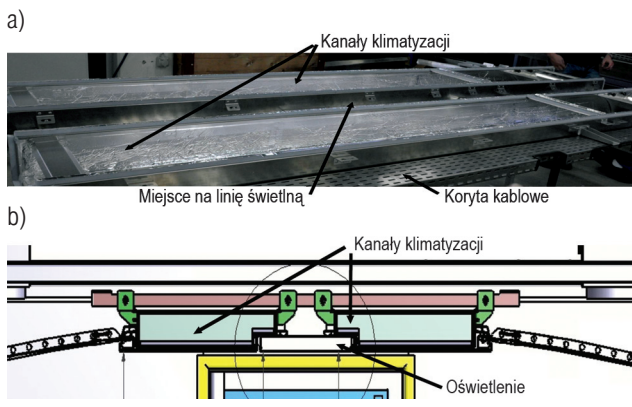
Na rysunku 2 przedstawiono kanał klimatyzacji prowadzony wspólnie z korytami kablowymi i przygotowanym miejscem na linię świetlną.

Koryta kablowe wykonane są najczęściej z blachy aluminiowej perforowanej. Takie rozwiązanie stosuje się dla obniżenia masy koryt. Niekiedy stosuje się zamiast koryt perforowanych aluminiowych, koryta siatkowe. Ze względu na wymagania normy EN 13272 dotyczącej oświetlenia pojazdów i jego jednorodności oraz natężenia coraz częściej stosuje się dwie linie świetlne po bokach umieszczone centralnie nad siedzeniami. W pojazdach szynowych metra, ze względu na ograniczoną skrajnię zamiast koryt kablowych umieszczonych nad sufitem stosuje się płaską blachę perforowaną, umieszczoną w górnej części ścian bocznych pojazdu (rys. 3). Do blachy tej mocowane są wiązki kablowe. Generalne zasady układania wiązek kablowych sprowadzają się do separacji wiązek przenoszących różne grupy potencjałów. Współcześnie stosuje się niemal wyłącznie separację poprzez rozkładanie okablowania o różnych potencjałach na różnych korytach (lub posiadających bariery mechaniczne) przez co eliminuje się jakiegokolwiek interferencje i oddziaływanie sygnałów na siebie. Pomimo że norma dopuszcza stosowanie separacji potencjałowej poprzez zwiększenie otuliny przewodów, takie rozwiązania ze

względu na znaczne zwiększenie masy okablowania w zasadzie się już nie stosuje.

Dobre praktyki

Postęp technologiczny w ostatnich latach oraz tendencja obniżania masy pojazdów i kosztów wytwarzania sprawiła, że ulegają zmianie zarówno konstrukcja kanałów klimatyzacyjnych, jak i technologie oświetlenia. Następuje także integracja koryt kablowych z oświetleniem. Dotychczas typowa konstrukcja kanałów klimatyzacyjnych wykonana była z wygiętych blach aluminiowych wyłożonych materiałem izolacyjnym, zabezpieczonych folią aluminiową. Obecne tendencje zmierzają do wykonania kanałów klimatyzacyjnych bezpośrednio z twardego niepalnego (w klasie B1) materiału izolacyjnego jednostronnie pokrytego folią aluminiową, połączonego na krawędziach wytłoczonymi specjalnymi profilami aluminiowymi.



Rys. 2. Instalacja okablowania nad sufitem

a) produkcja kanałów klimatyzacji, b) rozmieszczenie instalacji pod sufitem pojazdu

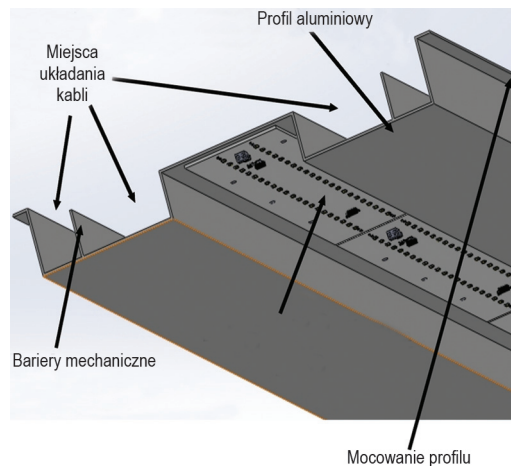


Rys. 3. Umieszczenie okablowania w pojazdach metra

Pozwala to na niemal 10-krotne skrócenie czasu montażu kanałów, przy jednoczesnym obniżeniu masy kanałów o około 80%. Podobny trend występuje w przypadku integracji koryt kablowych z oświetleniem. W nowoczesnych pojazdach stosuje się bowiem wytłaczane, odpowiednie do danego typu pojazdu, aluminiowe

koryta kablowe, w których w zewnętrznej części koryt w lekkim wgłębieniu umieszczone są źródła światła LED (rys 4).

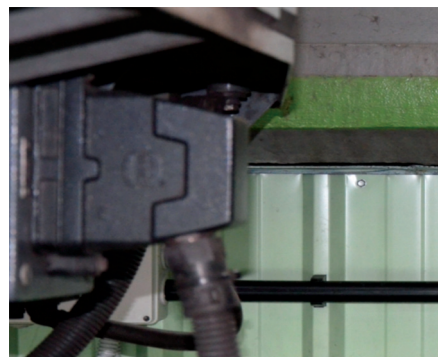
Takie podejście pozwala na obniżenie łącznej masy w stosunku do klasycznych rozwiązań o ponad 60%, przy jednoczesnym skróceniu czasu montażu profilu na pojeździe o połowę. Rozwiązanie takie jest również o ok. 20% materiałowo tańsze niż rozwiązania klasyczne, ze względu na optymalne wykorzystanie materiału oraz brak dodatkowych elementów mocujących (lub znaczne ich ograniczenie). Należy również pamiętać o umieszczeniu w projektowanych wiązkach przewodów rezerwowych (wymaganie normatywne). Ważne jest również prowadzenie kontroli procesu zakupów przewodów. Zdarzyć się może bowiem, że idea dobrze zaprojektowanego okablowania jest niweczona przez dział zakupów, gdy nie do końca zdefiniowane parametry mechaniczne kabli prowadzą do stosowania zamiennika o właściwych parametrach elektrycznych, ale gorszych parametrach mechanicznych. Różnica w masie okablowania przy analogicznych parametrach elektrycznych może być nawet dwukrotna, a w typowym elektrycznym zespole trakcyjnym masa okablowania wynosić może nawet kilka ton.



Rys. 4. Zintegrowanie koryt kablowych z oświetleniem pojazdu

Wiązki kablowe umieszczone pod pojazdem i wiązki międzywagonowe

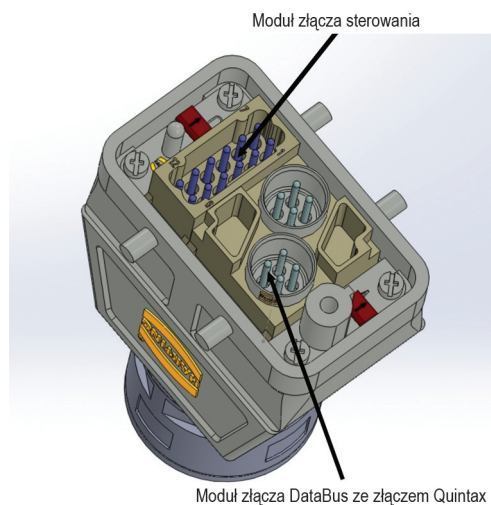
W zakresie instalacji pod pojazdem stosunkowo niewiele się zmieniło w ostatnich latach. W zasadzie jedyne zmiany instalacji elektrycznej pod pojazdem wynikają z powszechnego stosowania szczelnych (IP67) rur osłonowych zamiast wcześniej stosowanych rur metalowych. Wynika to głównie możliwości szybkiego montażu i mocowania rur do ostoi. Dostępne akcesoria pozwalają także na dodawanie przewodów w przyszłości.



Rys. 5. Wiązka międzywagonowa

Przejścia międzywagonowe i międzyskładowe obecnie wykonywane są na złączach modułowych, w których istnieje możliwość dowolnej konfiguracji modułów w zależności od przesyłanych sygnałów (wysokonapięciowe, sterujące, sygnały magistrali danych). Ze względu na separację potencjałów przenoszonych przez wiązki najczęściej prowadzi się dwie wiązki międzywagonowe.

Na rysunku 5 przedstawiono wiązkę międzywagonową w rurze osłonowej, a na rysunku 6 przykładową konfigurację złącza modułowego. Przy projektowaniu wiązki międzywagonowej należy zwrócić uwagę na odpowiednią długość wiązki uwzględniającej jej zachowanie na łukach oraz właściwe zabezpieczenie przed potencjalnym wypinaniem złącz.



Rys. 6. Przykładowa konfiguracja złącza modułowego wiązki międzywagonowej

Konieczne jest stosowanie w wiązkach międzywagonowych przewodów w izolacji usieciowionej, co jest kluczowe dla trwałości tego połączenia

Zgadnienia EMC

Nowoczesne pojazdy trakcyjne, wyposażone w urządzenia energoelektroniczne, przed dopuszczeniem do ruchu poddawane są badaniom zgodności z normami. Jednym z podstawowych badań, jakie należy wykonać są badania zaburzeń EMC emitowanych przez pojazd według odpowiednich części norm serii PN-EN 50121 [7,8]. Już na etapie projektu należy mieć na uwadze oddziaływanie, jakie mogą być generowane przez poszczególne układy elektroniki mocy i ich połączenia (które są jednym z najważniejszych źródeł zakłóceń elektromagnetycznych w trakcji elektrycznej). Niewłaściwie zaprojektowanie okablowania może prowadzić do błędnego działania urządzeń niskoprądowych ze względu na wzajemne zakłócanie między obwodami pojazdu. Dodatkowo w późniejszym okresie w przypadku negatywnych wyników pomiarów certyfikacyjnych całego pojazdu wymagane będzie wprowadzanie przez konstruktorów kosztocłonnych i czasocłonnych zmian, w szczególności okablowania już zainstalowanego w pojeździe [6,8]. Niezależnie od stosowania się do reguł dobrych praktyk w układaniu okablowania, wykonanie wstępnych pomiarów emisji zakłóceń z poszczególnych urządzeń pozwala na odpowiednio wczesne podjęcie środków zaradczych, takich jak:

wykorzystanie urządzeń i okablowania mających odpowiednie certyfikaty EMC .

Podsumowanie

Nie ma uniwersalnych reguł projektowania okablowania dla pojazdów szynowych, a każdy z producentów taboru wypracowuje swoje własne techniki projektowania. Warto zlecać projektowania okablowania także konstruktorom mechanikom, stosować bardzo ograniczone zaufanie do modułów projektowania okablowania do narzędzi CAD podsuwających rozwiązania, które przy bardzo złożonych strukturach się niestety gubią. Poprawnie zaprojektowanie okablowania pojazdu potrafi znacząco ograniczyć czas montażu okablowania, jego masę, zwiększyć niezawodność, a także wpływa na łatwą diagnostykę i obsługowość pojazdu.

Literatura

- [1] PN-EN 50343:2003 Zastosowania kolejowe - Tabor - Zasady dotyczące instalacji sieci Kablowych
- [2] PN-EN 13272:2012 Kolejnictwo - Oświetlenie elektryczne pojazdów szynowych w systemach transportu publicznego
- [3] PN-EN 50264-2-1:2008E Kolejnictwo -- Przewody kolejowe elektroenergetyczne i sygnalizacyjne o szczególnej odporności na działanie ognia - Część 2-1: Przewody o izolacji usieciowanej - Przewody jednożyłowe
- [4] Dr. Thomas Schilla, Martin Schuster: *Simplify your HV-harness – uniform high current connectors for batteries, inverters and motors in heavy-duty vehicles and passenger cars*. Conference Emobility - Electrical Power Train, 2010, Leipzig.
- [5] Lennart Kloow, Mattias Jenstav: *High-speed train operation in winter climate - a study on winter related problems and solutions applied in Sweden, Norway and Finland*. www.gronataget.se (dostęp 03.09.2013).
- [6] Maciołek T., Patoka M.: *Czy elektromagnetyczny smog w otoczeniu aglomeracyjnej trakcji elektrycznej stwarza zagrożenie dla pasażerów*. Infrastruktura transportu, 3/2011, s. 25–26.
- [7] Szelaż A., Patoka M.: *Issues of low frequency electromagnetic disturbances measurements in traction vehicles equipped with power electronics drive systems*. Przegląd Elektrotechniczny 9/2013, s. 290–296.
- [8] Szelaż A., Patoka M.: *Pomiary i analiza przewodzonych i promieniowanych zaburzeń elektromagnetycznych w energoelektronicznych układach autonomicznych pojazdów trakcyjnych*. Przegląd Telekomunikacyjny 11/2013, s. 1370–1372.

Tadeusz Maciołek
Politechnika Warszawska, Instytut Maszyn Elektrycznych

Matthias Potzsch
Kabel Technik Polska Sp. z o.o

Sławomir Wesolek
Aviotech Electric Sp. z o.o.

Referat wygłoszony na Międzynarodowej Konferencji MET2013.