

MACIEJ GRZYWNA

inż., Politechnika Krakowska
im. Tadeusza Kościuszki, Wydział
Mechaniczny, Instytut Pojazdów
Szynowych, 31-864 Kraków,
al. Jana Pawła II 37,
tel. +48 12 374 33 14, e-mail:
grzywna.maciej@student.
pk.edu.pl

Kierunki rozwoju elektrycznych zespołów trakcyjnych¹

Streszczenie: Na przestrzeni lat wykształcił się wyraźny podział kolejowych przewozów pasażerskich na trzy segmenty, które warunkują zastosowanie odpowiednich rozwiązań konstrukcyjnych spełniających warunki eksploatacyjne, zmienne w zależności od hierarchii danego segmentu przewozowego. Współczesne pojazdy charakteryzują się wysokim bezpieczeństwem, napędem rozproszonym na całej długości pojazdu, modułową budową, niewielką masą własną, małą energochłonnością, odpowiednią dostępnością dla osób o ograniczonej możliwości poruszania się oraz zgodnością z odpowiednimi podsystemami TSI. Widoczna jest tendencja do wytwarzania rodzin pojazdów w jak największym stopniu uniwersalnych, wyposażonych w standaryzowane podzespoły, które przy niewielkich nakładach finansowych można dostosować do wymagań konkretnego zamówienia. Pomimo dostępnych na rynku rozwiązań, część podmiotów, zamawiając elektryczne zespoły trakcyjne, niepoprawnie formułuje SIWZ, w wyniku czego dostarczane pojazdy wyposażone są w niewłaściwe podzespoły, aranżacja ich wnętrza utrudnia wymianę pasażerów w trakcie postojów handlowych, a samo rozmieszczenie aparatury wpływa na wydłużenie czasu obsługiwania i przez to powoduje wzrost wysokości kosztów, w tym utrzymania kosztownej rezerwy taborowej. Niewystarczające badania popytu na usługi transportowe skutkują zakupem jednostek o niewłaściwej pojemności, przez co w późniejszych latach konieczne jest ich zestawianie w trakcji wielokrotnej.

Słowa kluczowe: pojazdy szynowe, elektryczne zespoły trakcyjne, konstrukcja pojazdów szynowych, standaryzacja pojazdów szynowych, podatność obsługowa pojazdów szynowych.

Wprowadzenie

Współczesny pasażerski transport kolejowy wykorzystuje środki transportu cechujące się wysokim bezpieczeństwem, małym negatywnym oddziaływaniem na środowisko naturalne, niską energochłonnością, wysokimi wskaźnikami dostępności i niezawodności oraz niskimi kosztami eksploatacji. Na przestrzeni ostatnich lat obserwuje się wzrost liczby podróży wybierających kolej jako podstawowy środek transportu na średnich i dużych odległościach. Aby sprostać oczekiwaniom formułowanym wobec kolei, przygotowawana przez przewoźników oferta powinna uwzględniać potrzeby każdej z grup podróży i docierać do nich różnymi kanałami dystrybucji.

Dobra koniunktura, perspektywy rozwoju pasażerskiego rynku kolejowego oraz dotacje z Funduszy Europejskich są przyczynkiem do wprowadzania nowych rozwiązań w zakresie konstrukcji pojazdów szynowych. Przewoźnicy kolejowi coraz chętniej rozszerzają swoje parki taborowe o nowe pojazdy, w szczególności elek-

tryczne zespoły trakcyjne (EZT). Ich współczesne konstrukcje stają się atrybutem pozytywnych zmian na kolei i stanowią przy tym najszerzej rozpowszechniony typ normalnotorowych pojazdów kolejowych wykorzystywanych przy realizacji przewozów pasażerskich. Zamawiający wspomniane pojazdy, rozpatrując oferty przetargowe, kierują się głównie rachunkiem ekonomicznym, na który wywierana jest presja z uwagi na publiczne pochodzenie środków [1]. Nowo budowane EZT powinny cechować się napędem rozproszonym na całej długości pojazdu, modułową budową, niewielką masą własną, małą energochłonnością, odpowiednim stosunkiem długości przestrzeni pasażerskiej do długości całkowitej pojazdu. Powinny posiadać również odpowiednie charakterystyki trakcyjne zgodne z przeznaczeniem użytkowym oraz być w pełni zgodne z wymaganiami TSI, które obejmują podsystemy: tabor – lokomotywy i tabor pasażerski LOC & PAS [2], infrastruktura INF [3], hałas NOI [4], energia CR ENE [5] oraz dostosowanie do obsługi osób niepełnosprawnych i osób o ograniczonej możliwości poruszania się PRM [6]. Zgodność pojazdów z TSI pozwala uzyskać standaryzację podsystemów kolejowych UE oraz ogranicza koszty certyfikacji i produkcji nowych pojazdów.

Wnioski wyciągnięte z eksploatacji jednostek w krajach Europy Zachodniej wskazują EZT jako środek transportu poddany silnej konkurencji, który winien być odnawiany co kilkanaście lat – mniej więcej dwukrotnie w okresie jego użytkowania, tak aby jego konstrukcja nadążała za postępem technicznym i spełniała wymagania stawiane przez obecną sytuację rynkową. Takie działania prowadzą do uzyskania pojazdu o nowych cechach eksploatacyjnych [7] oraz pomagają kreować kolejowy transport pasażerski na atrakcyjny środek transportu.

Etapy projektowania pojazdu szynowego

Proces zarządzania projektami nowoczesnych EZT można podzielić zasadniczo na cztery fazy [8]:

- definiowanie – formułowanie założeń, źródeł i pochodzenia finansowania oraz ostateczny wybór koncepcji;
- projektowanie – opracowanie projektu, badania weryfikacyjne, integracja projektu;
- realizacja prototypu – opracowanie dokumentacji wykonawczej, realizacja, walidacja techniczna i projektowa, weryfikacja opracowanej dokumentacji;
- badania i walidacja prototypu – badanie prototypu, usystematyzowanie i opracowanie danych, korekta, wnioski, zamknięcie projektu.

¹ ©Transport Miejski i Regionalny, 2019.

Z wymienionych faz pierwszą i najważniejszą opracowuje zamawiający, pozostałe zaś realizuje producent. Brak dialogu technicznego pomiędzy tymi podmiotami skutkuje często problemami przekładającymi się na zwiększone koszty całego przedsięwzięcia.

ETZ w segmentach kolejowych przewozów pasażerskich

Liberalizacja rynku kolejowego, regionalizacja przewozów pasażerskich, zmiany i postęp w procesie projektowania i konstruowania pojazdów kolejowych oraz inne zmiany organizacyjne [9] doprowadziły do wyraźnego podziału kolejowych przewozów pasażerskich na trzy podstawowe segmenty przewozów uporządkowane wg narastającej hierarchii oddziaływania:

- aglomeracyjny – obejmujący obszar o promieniu do kilkudziesięciu kilometrów od części centralnej aglomeracji, zazwyczaj powiązany taryfowo z systemem komunikacji miejskiej i zarządzany wspólnie przez jeden podmiot [10], dotowany zazwyczaj z budżetu województwa;
- regionalny – zawężony do 100 km od centrum danej jednostki administracyjnej, może przekraczać granice danego regionu oraz być subwencionowany za jego pośrednictwem;
- międzyregionalny – posiadający szeroki zakres oddziaływania, w obszarze zarówno przewozów międzyregionalnych, jak i międzynarodowych, realizowany pomiędzy dużymi ośrodkami na zasadzie ograniczonej dostępności – wymiana handlowa podróźnych tylko na wybranych punktach przystosowanych do obsługi pasażerów, dotowany centralnie [1].

Elektryczne zespoły trakcyjne projektowane i konstruowane są zgodnie z przyjętymi założeniami dotyczącymi docelowego charakteru ich eksploatacji, który warunkuje zastosowanie w pojazdach odpowiednich rozwiązań i komponentów. W tabeli 1 przedstawiono wybrane cechy techniczne EZT wraz z przyporządkowanym priorytetem określającym ich istotność w warunkach eksploatacji w poszczególnych segmentach przewozowych.

Uwarunkowania lokalne oraz odmienne oczekiwania pasażerów mogą wpływać na zatarcie różnic pomiędzy poszczególnymi segmentami przewozów, w wyniku czego rozwiązania charakterystyczne dla danego segmentu mogą być stosowane w pojazdach przeznaczonych do użytku w wyższym lub niższym segmencie.

Tabor do przewozów aglomeracyjnych

Standardowe EZT wykorzystywane do realizacji przewozów aglomeracyjnych charakteryzują się długością całkowitą do 70 m w układzie 3- lub 4-wagonowym [1] i użytkowane są w trakcji pojedynczej lub wielokrotnej. Istnieją jednak konstrukcje nawet ośmiocłonowe, których długość przekracza 100 m [10]. Podwozia omawianych pojazdów często stanowią wózki Jacobsa. Ich układy napędowe, zakładające min. 50% udział osi napędnych w ogólnej liczbie osi, umożliwiają uzyskanie wysokich wartości przyspiesze-

Tabela 1

Cecha techniczna	Tabor przeznaczony dla segmentu		
	aglomeracyjnego	regionalnego	międzyregionalnego
Prędkość maksymalna	1	2	3
Przyspieszenie	3	2	1
Liczba drzwi	3	2	1
Długość pojazdu	2	2	3
Komfort podróżowania	2	2	3
Przestrzeń prywatna	1	2	3
Miejsca stojące	2	brak	brak
Aerodynamika nadwozia	1	1	3
Procentowy udział osi napędnych	3	2	2
Techniczne środki odzysku energii	3	2	1
Wartość mocy na jednostkę masy	3	2	2
Masa pojazdu na jednego pasażera	3	3	3
Systemy zarządzania energią na cele nietrakcyjne	3	3	3
Stosunek długości przedziału pasażerskiego do długości pojazdu	3	3	2
Modułowa budowa	3	3	3

1 – niski priorytet, 2 – wysoki priorytet, 3 – najwyższy priorytet.
Opracowanie własne na podstawie [9]

nia rozruchu i opóźnienia hamowania – rzędu 1,0–1,3 m/s². Podyktowane jest to koniecznością utrzymania odpowiednich prędkości komunikacyjnych przy dużej częstości występowania postojów handlowych na terenie aglomeracji – w jej centralnej części nawet co 800–1000 m [11]. Istotną cechą jest również czas wymiany dużych potoków pasażerskich na stacjach i przystankach, który wpływa na ogólny czas podróży i konkurencyjność względem pozostałych środków transportu. W konstrukcjach nowoczesnych EZT powszechnie stosowane są dwuskrzydłowe drzwi odskokowo-przesuwne o dużym prześwicie, sumarycznie nie mniejszym niż 20–25% długości ściany bocznej członu, dzięki czemu czas postoju handlowego ograniczony jest zaledwie do około 20 sekund. Ważnym zagadnieniem jest także sposób rozmieszczenia drzwi. W pojazdach z równomiernie rozmieszczonymi drzwiami (rys. 1) wymiana pasażerów przebiega szybciej niż z rozmieszczeniem nierównomiernym (rys. 2) z uwagi na jednakowy dostęp do drzwi dla wszystkich pasażerów jednocześnie. Przestrzeń pasażerska opisywanych pojazdów jest otwarta i w wysokim stopniu integralna, w sporej większości EZT jednopoziomowa i klimatyzowana. Przedsionki są obszerne i oddzielone od pozostałej części wiatrołapami. Siedzenia umieszczone są z reguły poprzecznie do osi wzdłużnej pojazdu, jednak istnieją konstrukcje z siedzeniami usytuowanymi wzdłuż osi pojazdu – taki układ znany jest z konstrukcji wagonów metra. Tylko w przypadku przewozów aglomeracyjnych przewidywane są miejsca stojące dla podróźnych. Ważnym zagadnieniem jest również łatwy dostęp do pojazdu, z uwagi na dostosowanie wysokości podłogi do wysokości obsługiwanych peronów. Na rynku dostępne są pojazdy, których wysokość podłogi może zostać dostosowana do konkretnych potrzeb.

Tabor do przewozów regionalnych

Wśród pojazdów wykorzystywanych do realizacji przewozów w ramach danego regionu występuje duża różnorodność. Zasadniczo są to pojazdy jedno- lub dwupoziomowe o długości do 70 m, posiadające od 2 do 4 członów [1]. W tym segmencie przewozów popularnym zjawiskiem jest zestawianie pociągu z kilku EZT prowadzonych w trakcji wielokrotnej, kiedy występują zwiększone potoki pasażerskie. Rozwiązanie to ma zasadniczą wadę – z uwagi na dużą część długości całkowitej pojazdu przypadającą na kabinę maszynisty, strefę odkształcalną pochłaniającą energię zderzenia oraz urządzenia pociągowo-zderzne (sprzęg samoczynny Scharfenberga), liczba dostępnych miejsc jest znacznie ograniczona w stosunku do pojedynczego składu zespolonego pociągu o takiej samej długości [12]. Nie ma przy tym wymagań odnoszących się do liczby i sposobu umieszczania drzwi wejściowych – można przyjąć, że ich prześwit wynosi kilkanaście % długości ściany bocznej członu. Przestrzeń pasażerska zazwyczaj jest otwarta, albo miejscami wydzielona i klimatyzowana. Przewiduje się półki na większy bagaż oraz stoliki. Siedzenia usytuowane są poprzecznie do osi podłużnej pojazdu oraz posiadają opcjonalnie regulację siedziska. Popularne i często stosowane są koncepcje zakładające oparcie nadwozia na wózkach Jacobsa i dwóch skrajnych, klasycznych wózkach napędnych. W pojazdach o większej liczbie członów dodatkowo wprowadza się wózki napędne w środku składu. Taki charakter rozproszenia napędu wpływa na ograniczenie zapotrzebowania na moc o kilkadziesiąt procent (przy zachowaniu dotychczasowych własności trakcyjnych) w stosunku do rozwiązania z wózkami napędzonymi znajdującymi się wyłącznie na końcach pojazdu. Dodatkowo daje to możliwość uzyskania lepszych warunków hamowania elektrodynamicznego i rekuperacyjnego [1].

Tabor do przewozów międzyregionalnych

Elektryczne zespoły trakcyjne eksploatowane w sektorze przewozów dalekobieżnych złożone są z od 3 do kilkunastu członów w opcji zarówno jedno-, jak i dwupoziomowej. Na najbardziej obciążonych relacjach wspomniane pojazdy eksploatowane są w trakcji podwójnej. Występuje stosunkowo duży odsetek konstrukcji z napędem zlokalizowanym na końcach składu zespolonego w postaci głowic napędowych, jednak przeważają rozwiązania z wykorzystaniem członów

czołowych w ramach przestrzeni pasażerskiej i napędem rozproszonym na całej długości EZT. Zasadniczo stosowane są wagony z oparciem nadwozia na dwóch własnych wózkach. Powszechną proporcją przy projektowaniu pojazdów przeznaczonych do ruchu dalekobieżnego jest stosunek liczby osi napędnych do tocznych przyjmujący wartość 1:2 [1]. W organizacji przewozów międzyregionalnych wyróżnia się dwa podsegmenty: przewozy realizowane taborem przystosowanym do dużych prędkości (powyżej 200 km/h) oraz przewozy uzupełniające realizowane taborem konwencjonalnej budowy (do 200 km/h) [13]. W zależności od podsegmentu budowa EZT różni się np. wysokością położenia środka ciężkości, rozwiązaniem układów biegowych, zastosowanymi do budowy materiałami oraz rodzajem konstrukcji pudła. Pojazdy eksploatowane w segmencie przewozów międzyregionalnych muszą zapewniać wysoki komfort podróży i stosunkowo krótki czas jej trwania, dlatego w krajach Europy Zachodniej tak duży nacisk kładziony jest na rozwój systemu kolei dużych prędkości, pozwalającego osiągać wysokie prędkości komunikacyjne, który zastępuje klasyczne podejście do transportu pomiędzy większymi ośrodkami. Z uwagi na niski priorytet dotyczący czasu wymiany pasażerów podczas postojów handlowych często stosowane są pojazdy dwupoziomowe z jedną parą drzwi na końcu każdego z członów. Zasadniczo nowo budowane EZT wyposażone są w oddzielny wagon barowy bądź restauracyjny zlokalizowany najczęściej pośrodku składu. Część pojazdów wyposażona jest w mechanizm wychylnego nadwozia, pozwalający na pokonywanie łuków torowych ze zwiększonymi prędkościami w stosunku do pociągów o budowie konwencjonalnej.

Rozwiązania konstrukcyjne stosowane we współczesnych elektrycznych zespołach trakcyjnych

Pasywne mechanizmy bezpieczeństwa

Obecne przepisy i regulacje traktują bezpieczeństwo pasażerów podróżujących pojazdami kolejowymi jako dobro nadrzędne, które należy chronić wszelkimi dostępnymi środkami i sposobami. Zgodnie z wymaganiami TSI podsystemu LOC & PAS [2], powołującymi się na normę EN 15227 [14], każdy pojazd kolejowy, z wyjątkiem pojazdów kolejowych nie przeznaczonych do przewozu pasażerów i pracowników oraz maszyn torowych, powinien posiadać odpowiednie mechanizmy bezpieczeństwa biernego,



Rys. 1. Przykład EZT z równomiernie rozmieszczonymi drzwiami [Bombardier]



Rys. 2. Przykład EZT z nierównomiernie rozmieszczonymi drzwiami [Bombardier]

mające na celu uzupełnienie bezpieczeństwa czynnego. Odpowiednia konstrukcja mechaniczna tych pojazdów musi zapewniać ochronę pasażerów po zderzeniu poprzez:

- ograniczenie opóźnienia hamowania,
- zachowania tzw. przestrzeni przeżycia oraz utrzymania integralności strukturalnej obszarów pasażerskich pojazdu,
- ograniczenie ryzyka najechania,
- ograniczenie ryzyka wykolejenia,
- ograniczenie skutków zderzenia z przeszkodą.

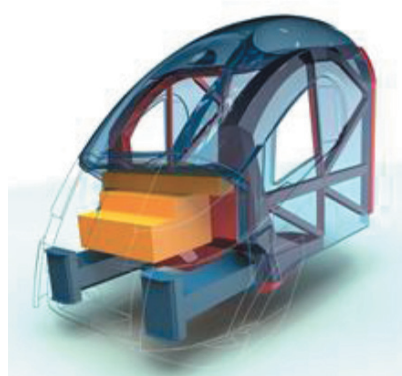
Ochrona pasażerów przed wszystkimi możliwymi scenariuszami wypadków kolejowych jest utrudniona, a czasem nawet niemożliwa. Koszty związane z projektowaniem i produkcją takich pojazdów byłyby nieporównywalnie wyższe, a ich masa wzrosłaby znacząco. Dlatego przyjęto cztery referencyjne, najczęściej występujące scenariusze kolizji, po zaistnieniu których każdy pojazd zgłoszony do certyfikacji musi zapewnić odpowiednie bezpieczeństwo podróżującym. Dla elektrycznych zespołów trakcyjnych, zaliczanych do kategorii C-I, są to odpowiednio:

- scenariusz 1: zderzenie czołowe dwóch jednostek o jednakowej budowie przy prędkości jednej z nich wynoszącej 36 km/h – zderzenie w strefie urządzeń pociągowo-zderznych;
- scenariusz 2: zderzenie czołowe z nie poruszającym się wagonem o masie 80 ton, wyposażonym w zderzaki o skoku 105 mm, przy prędkości 36 km/h – zderzenie w strefie urządzeń pociągowo-zderznych;
- scenariusz 3: zderzenie pojazdu kolejowego z pojazdem drogowym o dużych gabarytach i dużej masie (15 ton) na skrzyżowaniu jednopoziomowym przy prędkości równiej minimum spośród prędkości drogowej obowiązującej na danej linii i prędkości konstrukcyjnej pojazdu pomniejszonej o 50 km/h, przy czym ≤ 110 km/h – zderzenie w strefie górnej oraz strefie urządzeń pociągowo-zderznych;
- scenariusz 4: uderzenie pojazdu kolejowego w przeszkodę niską – np. samochód osobowy, skała, zwierzę – zderzenie w strefie dolnej (zgarniacz).

Mechanizmy bezpieczeństwa biernego winny być opracowywane, a ich działanie weryfikowane z wykorzystaniem: analizy numerycznej, testów rzeczywistych podzespołów i pełnowymiarowych konstrukcji, podzespołów sprawdzonych i certyfikowanych.

Jako podstawowy element konstrukcji EZT, pochłaniający energię zderzenia, można wymienić zgarniacz. Na przestrzeni lat rola tego podzespołu nie zmieniła się. Ma on za zadanie usuwanie z toru małych pojazdów i przedmiotów, chroniąc je w ten sposób m.in. przed zgnieceniem. W nowo budowanych elektrycznych zespołach trakcyjnych należy stosować dodatkowe mechanizmy bezpieczeństwa biernego, które mają za zadanie pochłonąć niekontrolowaną energię zderzenia, której nie był w stanie przejść sprzęg w sprężystym i plastycznym zakresie swojej pracy oraz zminimalizować ryzyko uszkodzenia struktury nośnej pojazdu. Do takich

rozwiązań można zaliczyć absorbery, strefy odkształcalne w konstrukcji pojazdu, urządzenia zapobiegające wspinaniu, dodatkowe elementy np. o strukturze wewnętrznej zbliżonej do przekroju plastra miodu. Wspomniane elementy zasadniczo, w związku z pochłoniętą energią zderzenia, winny odkształcać się w sposób równomierny, najczęściej osiowo. Z reguły przytwierdzone są one do ramy wykonanej ze stali o wysokich właściwościach wytrzymałościowych, która w swojej strukturze może posiadać dodatkowe elementy pochłaniające energię. Taka konstrukcja, spełniająca wymagania normy EN 12663-1 [15], stanowi „klatkę bezpieczeństwa”, która nie ma prawa naruszyć swojej struktury w zakładanych przebiegach kolizyjnych, chroniąc w ten sposób prowadzącego pojazd trakcyjny. Przykład takiej konstrukcji przedstawiono na rysunku 3.



Rys. 3. Pasywne mechanizmy bezpieczeństwa zastosowane w pojeździe PESA Elf [8]

Stosowanie stref i elementów pochłaniających energię zderzenia wiąże się z pewnym wzrostem masy własnej oraz długości EZT. Wzrost masy może wpłynąć na konieczność wykorzystywania lżejszych i często droższych materiałów konstrukcyjnych bądź wykonywania dodatkowych prac z zakresu optymalizacji parametrycznej w celu zachowania dotychczasowych nacisków zestawów kołowych na tor. Zwiększenie długości całkowitej pojazdu bez zmiany długości przedziału pasażerskiego powoduje naruszenie prawidłowego stosunku tych długości, co jest szczególnie niekorzystne zwłaszcza w pojazdach eksploatowanych w obszarze aglomeracji w trakcji wielokrotnej.

Układy biegowe

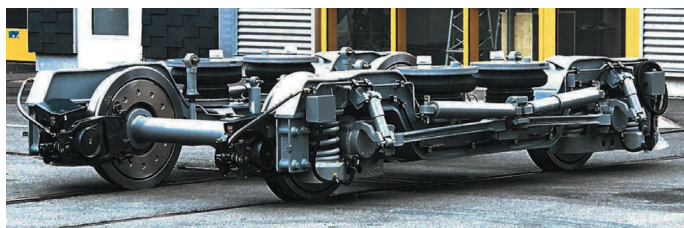
Współczesne konstrukcje układów biegowych EZT cechuje nieskomplikowana i zwarta budowa, możliwie minimalna masa własna oraz wykorzystanie elementów sprawdzonych charakteryzujących się wysokimi wskaźnikami niezawodności, ale przy tym łatwo dostępnych i stosunkowo tanich. Część podwozi wózkowych posiada łożyskowanie wewnętrzne pozwalające ograniczyć masę wózka – krótsze wały osiowe i mniejsza długość poprzecznic [16] oraz poprawić bezpieczeństwo jazdy w warunkach quasi-statycznych podczas przejazdu przez tory wichrowate [17, 18]. Stosowanie tego typu łożyskowania pozwala także ograniczyć wymiary zarysu zewnętrznego wózka. W nowoczesnych układach biegowych unika się stosowania ciernych węzłów łożyskowych – np. widłowego prowadzenia

zestawów kołowych z wzdłużnym luzem konstrukcyjnym. Powszechnie stosowane są prowadzenia bezluzowe, takie jak wahaczowe, dwucięgnowe czy kolumnowe, w konstrukcjach których występują elementy gumowe, pozwalające na uzyskanie poprzecznej elastyczności i w efekcie zdolności do radialnego bądź quasiradialnego ustawiania się zestawów kołowych podczas przejazdu przez łuki torowe. Powoduje to ograniczenie intensywności procesu zużycia powierzchni tocznej i obrzeża, zmniejszenie oporów toczenia oraz redukcję emitowanego hałasu, wpływając pozytywnie na ocenę własności układu biegowego. Nowoczesne wózki EZT często wyposażone są w sprężyny walcowe śrubowe naciskowe bądź sprężyny gumowe w ramach usprężynowania przysiosowego. Drugi stopień usprężynowania stanowią zazwyczaj sprężyny pneumatyczne osadzone w siodłowych belkach ostojnicowych ramy układu biegowego, które współpracują z amortyzatorami tłumiącymi drgania pionowe i poprzeczne. Siły trakcyjne mogą być przenoszone pomiędzy wózkiem i nadwoziem poprzez układ przesuwu czopa skrętu – tzw. pływający czop skrętu [19].

W budowie EZT, w szczególności przeznaczonych do użytku w segmencie aglomeracyjnym i regionalnym, standardem są układy biegowe określane jako wózki Jacobsa (fot. 1), zakładające oparcie dwóch sąsiednich członów na jednym wspólnym wózku. Takie rozwiązanie powoduje zmniejszenie sumarycznej liczby zestawów kołowych, wpływając na ograniczenie masy własnej pojazdu oraz oporów ruchu związanych z toceniem się pojazdu po torze. Pewną niedogodnością wynikającą z zastosowania tego typu układów biegowych w składzie zespolonym jest fakt, iż jego człony są nierozłączalne w normalnych warunkach eksploatacji.

Układy hamulcowe

Obecnie wytwarzane EZT wyposażane są powszechnie w hamulce cierne tarczowe z tarczami mocowanymi na wałach osiowych bądź bezpośrednio do tarcz kół (fot. 1). Najczęściej stosowanym układem sterującym jest układ elektropneumatyczny, który pozwala na jednoczesne hamowanie wszystkich zestawów kołowych, eliminując przy tym efekt opóźnienia fali hamowania, znany ze standardowych układów pneumatycznych, powodujący nierównomierne czasy rozpoczęcia i zakończenia hamowania. Współczesne układy hamulcowe posiadają system wizualizacyjny stanu zahamowania, który pozwala usprawnić przeprowadzenie próby hamulca zespolonego.



Fot. 1. Wózek toczny Jacobsa [Bombardier]

Układy napędowe

W nowoczesnych pojazdach stosowany jest rozproszony typ napędu, który zakłada napędzanie wielu osi pojazdu. Takie rozwiązanie jest szczególnie korzystne w odniesieniu do EZT używanych do przewozów aglomeracyjnych, gdzie dotychczas stosowany był napęd skoncentrowany w jednym lub dwóch członach pojazdu. Napęd rozproszony pozwala uzyskać zakładane naciski zestawów kołowych na tor, wpływa na poprawę warunków hamowania elektrodynamicznego z rekuperacją energii do sieci trakcyjnej, a także przyczynia się do usunięcia zbędnej aparatury ograniczającej przestrzeń w przedziale pasażerskim [12].

Obecnie często stosowany jest napęd z rozruchem impulsowym, pozwalający wyeliminować udarowe oddziaływanie wału silnika na przekładnię główną. Jest to możliwe dzięki płynnej i bezstopniowej regulacji momentu i prędkości obrotowej w całym zakresie charakterystyki trakcyjnej. W pojazdach nowo budowanych stosowane jest rozwiązanie, zakładające zastosowanie rozruchu impulsowego z asynchronicznymi silnikami indukcyjnymi, które w odróżnieniu od silników prądu stałego, nie posiadają szczotek i komutatora, co wpływa na ograniczenie prac związanych z obsługą silników trakcyjnych. Dodatkowo silniki te mają mniejszą masę i gabaryty, a przy tym pozwalają na uzyskiwanie znacznie większej mocy niż silniki prądu stałego. Ważnymi podzespołami towarzyszącymi temu rodzajowi napędu są przekształtniki trakcyjne zwane inaczej falownikami. Ich zadaniem jest zamiana prądu stałego z sieci trakcyjnej na prąd zmienny trójfazowy. Zależnie od konfiguracji, falownik może zasilać grupy silników lub każdy silnik niezależnie. Prędkość obrotowa silnika asynchronicznego sterowana jest na drodze skalarnej regulacji napięcia wyjściowego. Znane są zrealizowane modernizacje jednostek, w których wykorzystano korpusy dotychczasowych silników szeregowych, przebudowując je na silniki asynchroniczne. Taka operacja wpływa na znaczne oszczędności związane z brakiem konieczności przebudowy konstrukcji układów biegowych i przekładni głównych. W tego rodzaju rozwiązaniach rozruchu impulsowego występuje możliwość hamowania elektrodynamicznego w niemal całym zakresie prędkości w związku z przełączeniem silników trakcyjnych w tryb pracy prądnicowej. Uzyskana w ten sposób energia elektryczna wytracana jest na opornikach hamowania w postaci ciepła bądź, po uprzedniej zamianie w przetwornicach trakcyjnych lub falownikach, oddawana jest do sieci trakcyjnej przez odbierak prądu, jeśli w tym samym czasie inny pojazd pobiera ją z sieci trakcyjnej.

Zawieszenie silników trakcyjnych

W części EZT eksploatowanych w segmencie przewozów aglomeracyjnych, z racji uzyskiwanych niewielkich prędkości (maksymalnie 140 km/h), w układach napędowych wykorzystywane jest tzw. tramwajowe zawieszenie silników trakcyjnych w systemie „za nos”. W tym rozwiązaniu silnik z jednej strony podwieszony jest do ramy wózka, z drugiej zaś ułożyskowany na wale osiowym (wale drażonym). Takie rozwiązanie zawieszenia silnika, szczególnie

w przypadku silników szeregowych, należy uznać za niekorzystne z uwagi na fakt, iż ponad połowa masy układu napędowego spoczywa na osi w sposób nieusprężynowany. Powrót w nowo budowanych pojazdach do tego rozwiązania spowodowany jest przede wszystkim wprowadzeniem asynchronicznych silników trakcyjnych, których masa, w porównaniu do silników szeregowych, jest znacznie mniejsza, a sama konfiguracja napędu charakteryzuje się stosunkowo prostą budową. W jednostkach, których prędkość konstrukcyjna wynosi ponad 140 km/h, stosowane jest zawieszenie silników trakcyjnych w ramie wózka bądź częściowo w ramie i częściowo w nadwoziu. Oba rozwiązania zapewniają pełne odsprężynowanie silnika od osi zestawu kołowego. W wybranych pojazdach przeznaczonych do dużych prędkości – powyżej 200 km/h, stosowane jest całkowite podwieszenie silników trakcyjnych usytuowanych wzdłużnie w nadwoziu.

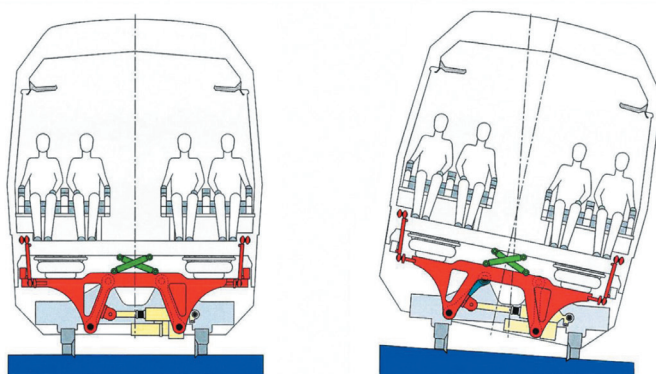
Kabina maszynisty

Nowoczesne EZT wyposażane są w odpowiednio zaprojektowane kabiny prowadzącego pojazd trakcyjny. Zastosowane w nich rozwiązania spełniają wymagania w zakresie ergonomii, w tym odnoszące się do wymiarów antropometrycznych maszynistów. Uzyskanie zgodności ze wspomnianymi wymaganiami możliwe jest dzięki właściwej konfiguracji pulpitu sterowniczego (rozstawieniu wskaźników i manipulatorów, właściwemu znakowaniu, oraz zapewnieniu miejsca na dokumenty), odpowiednio wyprofilowanemu fotelowi z podłokietnikami i regulacją siedziska, dużej szybie czołowej zapewniającej należyłą widoczność szlaku oraz dostatecznemu wyciszeniu i szczelności kabiny. W zakresie komfortu psychofizycznego i bezpieczeństwa pracy maszynisty należy wymienić także rozwiązania dotyczące bezpieczeństwa biernego, dzięki którym prowadzący jest przekonany o istnieniu strefy, która jest w stanie pochłonąć pewną ilość energii w trakcie zderzenia. W większości konstrukcji możliwe jest bezpośrednie przejście z kabiny do przedziału pasażerskiego. Kabina zgodna z TSI LOC & PAS powinna posiadać wyjścia bezpieczeństwa z obu stron pojazdu (mogą to być drzwi, odpowiednio skonstruowane okna lub włazy). Nowoczesne pojazdy często wyposażane są w Europejski System Sterowania Pociągami (ETCS) obejmujący trzy zakresy funkcji (zgodnie z TSI – poziomy), który eliminuje ewentualne błędy maszynisty. Wśród determinant warunkujących wybór kolei jako podstawowego środka transportu znajdują się przede wszystkim czas podróży oraz możliwość jej odbycia w relacji centrum aglomeracji – centrum aglomeracji. Duże metropolie Europy Zachodniej często posiadają stacje czołowe, przez które nie jest możliwy przejazd bez zmiany kierunku jazdy. Rozwiązaniem tej niedogodności jest wyposażanie EZT w kabiny sterownicze na obu końcach pojazdu, dzięki czemu możliwa jest dowolność w konfiguracji oraz stosunkowo szybka procedura zmiany czoła pociągu, co jest dużą dogodnością w stosunku do tradycyjnych składów wagonowych prowadzonych lokomotywą (z wyłączeniem składów typu push-pull).

Mechanizmy wychylnego nadwozia

W konstrukcjach wybranych pojazdów wykorzystywany jest mechanizm umożliwiający wychyły poprzeczne nadwozia. Jego stosowanie pozwala ograniczyć oddziaływanie przyspieszenia odśrodkowego na pudło pojazdu i umożliwia zwiększenie prędkości pokonywania łuków torowych o 35% [20]. W odniesieniu do rachunku ekonomicznego eksploatacja EZT z omawianym mechanizmem ma sens jedynie na fragmentach sieci kolejowej o dużej częstotliwości występowania łuków torowych, których modernizacja, powiązana ze zwiększeniem promieni tychże łuków, jest niemożliwa lub nieopłacalna. Niezaprzeczalnie wadą tego typu rozwiązania jest większy stopień skomplikowania konstrukcji podwozia i układu odbieraków prądu, a także wyższy koszt zakupu i utrzymania pojazdów.

Zasadniczo stosowane są dwa typy mechanizmów przechyłu: pasywny i aktywny. System pasywny pozwala na samoczynne przechyły nadwozia na drodze zmiany środka ciężkości pojazdu w czasie pokonywania łuku torowego, aktywny (rys. 4) zaś polega na wymuszonym wychylaniu pudła przez, sterowany sygnałem generowanym przez układ żyroskopowy lub urządzenia przytorowe, układ hydrauliczny lub elektryczny.



Rys. 4. Schemat układu aktywnego przechyłu nadwozia pojazdu VT611/VT612 [Adtranz]

Dostosowanie pojazdów do obsługi osób o ograniczonej możliwości poruszania się

Konwencja ONZ o prawach osób niepełnosprawnych uznaje dostępność jako jedną z jej zasad ogólnych. W art. 9 nakłada na Państwa-Strony wymóg polegający na przedsięwzięciu odpowiednich środków w celu zapewnienia osobom niepełnosprawnym dostępu na równych zasadach z innymi osobami. Omawiane środki obejmują m.in. eliminację przeszkód i barier w zakresie dostępności do transportu.

Elektryczne zespoły trakcyjne projektowane są w taki sposób, aby w pełni spełniały wymagania TSI PRM [6], które określają rozwiązania konstrukcyjne odnoszące się do siedzeń, miejsc na wózki inwalidzkie, drzwi, oświetlenia, toalet, przejść, informacji pasażerskiej, zmian w zakresie wysokości podłogi, poręczy, przedziałów do spania, położenia stopnia przy wsiadaniu i wysiadaniu oraz urządzeń wspomagających wsiadanie, takich jak rampy i windy.

Podatność obsługowa

Obsługiwanie pojazdów związane jest z działaniami przygotowującymi je do użytkowania oraz wpływającymi na ograniczenie tempa utraty właściwości użytkowych lub na ich przywrócenie w razie utraty. Podatność obsługowa jest właściwością pojazdu, która wynika z cech jego rozwiązań konstrukcyjnych i technologicznych wpływających na jego przystosowanie do wykrywania i eliminowania niezdatności (niesprawności wg [21]). Podatność obsługowa ma bezpośredni wpływ na czas trwania oraz pracochłonność obsługi, a przez to na jego koszty. Warunkuje również wysokość kosztów eksploatacji oraz niezawodność systemu eksploatacji, która wiąże się ze współczynnikiem gotowości eksploatowanych pojazdów. Liczny tabor w powiązaniu z długim czasem trwania obsługi wywołanym niską podatnością obsługową pojazdów wywołuje konieczność posiadania przez przewoźnika znacznej i kosztownej rezerwy taborowej niezbędnej do realizacji założonych zadań przewozowych [22].

W odniesieniu do omawianego problemu należy zwrócić uwagę przede wszystkim na rozwiązania konstrukcyjne pojazdu, np. na rozmieszczenie aparatury. Odpowiednia lokalizacja podzespołów wpływa na skrócenie czasu niezbędnego do wykonywania przeglądów i napraw. Zasadniczo większość urządzeń podwieszona jest w nadwoziu bądź znajduje się na dachu, dzięki czemu istnieje do nich łatwy dostęp z zewnątrz pojazdu, a przy tym daje to możliwość zwiększenia przestrzeni pozostającej do dyspozycji dla pasażerów. Zastosowanie części i podzespołów sprawdzonych w eksploatacji i powszechnie stosowanych sprawia, że w razie konieczności są one łatwo dostępne, a przy tym stosunkowo tanie. W konstrukcjach EZT należy unikać stosowania podzespołów skonstruowanych wyłącznie na potrzeby danego pojazdu, gdyż w przyszłości ich dostępność może być ograniczona, a czasem nawet niemożliwa (podatność na konserwację i remont oraz podatność na wymianę).

W odniesieniu do konstrukcji czoła pojazdu należy zauważyć powszechność stosowania techniki wklejanego czoła o poszyciu z łatwo dającego się formować laminatu polie-

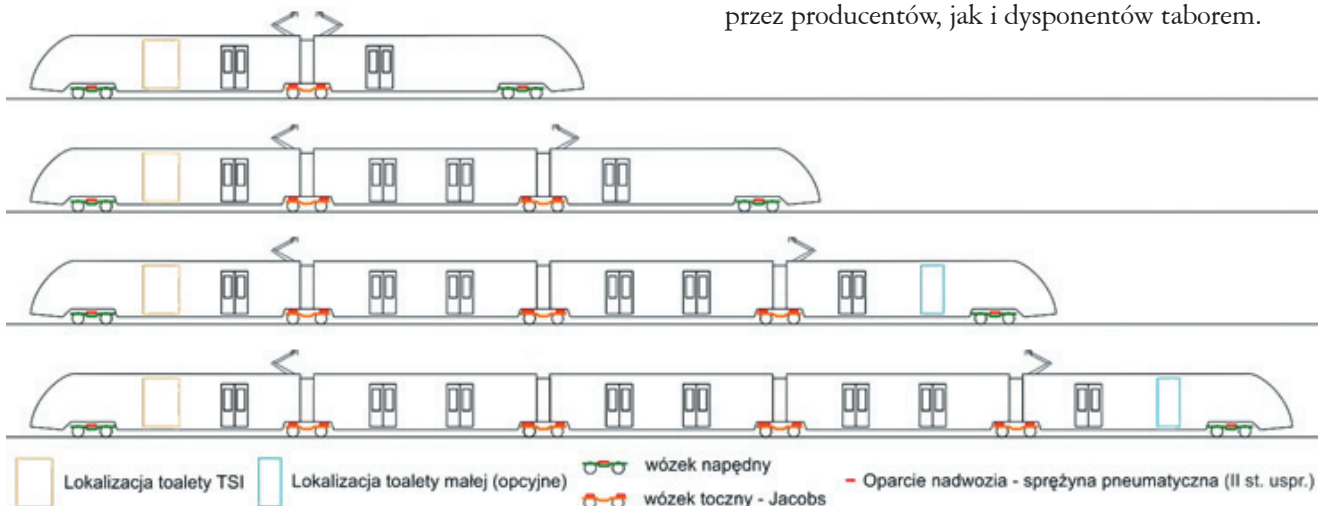
strowo-szklanego, który zapewnia atrakcyjny, opływowy kształt, a jego segmentowa struktura umożliwia, w razie uszkodzenia, łatwą wymianę poszczególnych części bez konieczności wymiany całego poszycia (podatność montażowa i demontażowa).

Nowoczesne EZT często wyposażone są w dodatkowe detektory, np. czujniki temperatury łożysk osiowych, które pozwalają wykrywać niezdatności prowadzące do sytuacji niebezpiecznych bądź do uszkodzenia danego podzespołu (podatność diagnostyczna).

Planując rozmieszczenie wyposażenia przestrzeni pasażerskiej, należy zwrócić uwagę na łatwość przeprowadzania prac porządkowych i oczyszczających obejmujących mycie i odkurzanie podłogi. Takie czynności ułatwia odpowiednie mocowanie foteli np. na konstrukcjach wsporczych przytwierdzonych w pełni do ścian bocznych nadwozia pojazdu (podatność na oczyszczanie).

Standaryzacja

Z doświadczeń producentów taboru wynika, że tworzenie konstrukcji EZT od podstaw na potrzeby niewielkich zamówień rzędu od kilku do kilkunastu sztuk pojazdów jest nieopłacalne, a nawet może przynosić straty w związku z ograniczonym zakresem testów prototypu, który nie ujawnia błędów konstrukcyjnych pojawiających się po dłuższym okresie eksploatacji. W takim przypadku zaproponowana przez producenta cena jest stosunkowo wysoka w związku z koniecznością każdorazowego opracowania nowej dokumentacji konstrukcyjnej, zmianami w zakresie procesów technologicznych oraz kosztów badań i certyfikacji. Aby wyeliminować wspomniane niedogodności, producenci taboru wdrażają standaryzację i modułową budowę do produkowanych pojazdów (rys. 5). Następstwem tego jest przede wszystkim wprowadzenie uniwersalnych rodzin pojazdów, które cechują się maksymalnie możliwą liczbą wspólnych podzespołów. Umożliwia to producentowi stosunkowo proste i szybkie dostosowanie projektu pojazdu do wymagań kolejnego postępowania przetargowego bez konieczności wykonywania wszystkich prac projektowych od początku. Taka polityka wiąże się z ograniczeniem kosztów ponoszonych zarówno przez producentów, jak i dysponentów taboru.



Rys. 5. Propozycja rozwiązań rodziny elektrycznych zespołów trakcyjnych o budowie modułowej w wariantach od 2 do 5 członów, w pełni zgodnych z wymaganiami TSI, opracowana przez Instytut Pojazdów Szynowych Politechniki Krakowskiej

Błędy przy formułowaniu SIWZ

Część podmiotów zamawiających pojazdy kolejowe opracowuje Specyfikacje Istotnych Warunków Zamówienia w sposób niepoprawny bądź niewystarczający (dający dowolność producentowi w zbyt szerokim zakresie). Pierwotnie zamawiający EZT, w ramach oceny przetargowej, punktowali producentów taboru w głównej mierze za cenę dostarczenia gotowego pojazdu (zazwyczaj około 90%), nie przywiązując wagi do wysokości późniejszych kosztów jego eksploatacji i ewentualnych napraw awaryjnych. W ostatnich latach tendencja ta nieco się zmieniła. Cena stanowi około 50% punktów przyznawanych w ramach oceny przetargowej, a resztę np. długość gwarancji, współczynnik efektywności, trwałość kół, współczynnik zdolności przewozowej czy okres obsługi EZT przez jego producenta.

Jednym z błędów formułowania SIWZ jest niewłaściwy lub niewystarczający zakres dotyczący badań potoków pasażerskich i prognozowania ich wielkości w przyszłości. Efektem tego jest zamawianie EZT o niewystarczającej liczbie członów i późniejszej konieczności ich eksploatacji w trakcji wielokrotnej. Doraźnym rozwiązaniem tego problemu może być opcja przebudowy pojazdów w późniejszym etapie eksploatacji polegającej na dodaniu dodatkowych członów pomiędzy człony silnikowe. Innym powszechnym błędem jest niewłaściwe określenie wyposażenia przestrzeni pasażerskiej pojazdu – np. nadmierna liczba stałych miejsc siedzących. W efekcie pojazd przeznaczony do realizacji przewozów w ruchu aglomeracyjnym może posiadać wyposażenie mające cechy właściwe dla ruchu regionalnego, w związku z czym występuje znaczne wydłużenie wymiany pasażerów w trakcie postojów handlowych.

Podsumowanie

W ostatnich latach zauważalna jest zmiana podejścia do projektowania i wytwarzania EZT, zarówno pod względem konstrukcyjnym, jak i technologicznym. Nowoczesne jednostki charakteryzują się niską masą własną, wysokim bezpieczeństwem, małą energochłonnością, napędem rozproszonym na całej długości, ograniczoną emisją hałasu oraz pełną zgodnością ze wszystkimi podsystemami TSI. Widoczna jest tendencja do wytwarzania rodzin pojazdów w jak największym stopniu uniwersalnych, wyposażonych w podzespoły standaryzowane, które przy niewielkich nakładach można dostosować do wymagań konkretnego zamówienia. Ważnym zagadnieniem w odniesieniu do analizowanych pojazdów staje się kwestia optymalizacji podatności obsługowej, dzięki której czas przeznaczony na obsługę pojazdu może być ograniczony do minimum. Takie podejście skutkuje obciążeniem minimalnymi kosztami zarówno producenta pojazdu, jak również jego dysponenta. Obecnie opracowywane SIWZ charakteryzują się należytą szczegółowością oraz oparte są na wcześniejszych badaniach i prognozach popytu na usługi transportowe, dzięki czemu dostarczane pojazdy spełniają odpowiednie wymagania odmienne w zależności od segmentu realizowanych przewozów. W ramach oceny przetargowej cena pojazdu punktowana jest w dużo mniejszym niż dotąd zakresie.

Literatura

1. Raczyński J., *Kierunki rozwoju taboru do kolejowych przewozów pasażerskich*, „Technika Transportu Szynowego”, 2006, nr 4.
2. Rozporządzenie Komisji (UE) nr 1302/2014 z dnia 18 listopada 2014 r. w sprawie technicznej specyfikacji interoperacyjności odnoszącej się do podsystemu „Tabor – lokomotywy i tabor pasażerski” systemu kolei w Unii Europejskiej.
3. Rozporządzenie Komisji (UE) nr 1299/2014 z dnia 18 listopada 2014 r. dotyczące technicznych specyfikacji interoperacyjności podsystemu „Infrastruktura” systemu kolei w Unii Europejskiej.
4. Rozporządzenie Komisji (UE) nr 1304/2014 z dnia 26 listopada 2014 r. w sprawie technicznych specyfikacji interoperacyjności podsystemu „Tabor kolejowy – hałas”, zmieniające decyzję 2008/232/WE i uchylające decyzję 2011/229/UE.
5. Rozporządzenie Komisji (UE) nr 1301/2014 z dnia 18 listopada 2014 r. w sprawie technicznych specyfikacji interoperacyjności podsystemu „Energia” systemu kolei w Unii.
6. Rozporządzenie Komisji (UE) nr 1300/2014 z dnia 18 listopada 2014 r. w sprawie technicznych specyfikacji interoperacyjności odnoszących się do dostępności systemu kolei Unii dla osób niepełnosprawnych i osób o ograniczonej możliwości poruszania się.
7. Durzyński Z., *Kompleksowa modernizacja elektrycznego zespołu trakcyjnego EN57*, „Technika Transportu Szynowego”, 1997, nr 4.
8. Dział Badań i Rozwoju PESA Bydgoszcz SA, *Wykorzystanie potencjału komputerów wysokiej mocy obliczeniowej dla biznesowych celów firm produkujących w Polsce*, materiały z warsztatów dla polskich przedsiębiorstw produkcyjnych, w ramach projektu HPC4Poland, Poznań 2016.
9. Raczyński J., *Czynniki decyzyjne w procesie zakupu taboru kolejowego*, „Technika Transportu Szynowego”, 2007, nr 4.
10. Raczyński J., *Tabor do przewozów aglomeracyjnych – kierunki rozwoju*, „Technika Transportu Szynowego”, 2007, nr 7–8.
11. Wolfram T., *Nowoczesne elektryczne zespoły trakcyjne ruchu podmiejskiego*, „Technika Transportu Szynowego”, 2003, nr 5.
12. Lalik M., *Tabor szynowy do przewozów aglomeracyjnych*, „Problemy Kolejnictwa”, 2009, z. 148.
13. Raczyński J., *Tabor do przewozów międzyregionalnych (1). Pociągi dużych prędkości do 250 km/h*, „Technika Transportu Szynowego”, 2007, nr 11.
14. PN-EN 15227 Kolejnictwo. Wymagania zderzeniowe dla pudeł pojazdów szynowych.
15. PN-EN 12663–2 Kolejnictwo. Wymagania konstrukcyjno-wytrzymałościowe dotyczące pudeł kolejowych pojazdów szynowych. Część 1: Lokomotywy i tabor pasażerski (i metoda alternatywna dla wagonów towarowych).
16. Kowalczyk D., Bińkowski R., *Analiza przyczyn uszkodzeń zestawów kołowych z wykorzystaniem metody elementów skończonych*, „Problemy Kolejnictwa”, 2017, z. 175.
17. Iwnicki S., *The Freight Train of the Future*, materiały konferencyjne: Mid-Term Conference, Paryż, Francja, 4 grudnia 2013.
18. Sobaś M., *Rozwój układów biegowych pojazdów szynowych, związanych z opłatami za użytkowanie infrastruktury kolejowej*, „Pojazdy Szynowe”, 2015, nr 4.
19. Górski M., *Transport szynowy*, <http://www.transportszynowy.pl/> dostęp: luty 2019.
20. Rusak R., *Pociągi z wychylnym nadwoziem w Europie*, „Technika Transportu Szynowego”, 2008, nr 11.
21. Moczarski M., Matej J., Zaborowski J., *Metodyka badań oceny podatności przeglądowej i naprawczej pojazdów mechanicznych*, Praca nr 504/A/1153/2360/000 (Grant dziekański). Politechnika Warszawska, Instytut Pojazdów, Warszawa 2001.
22. Moczarski M., *Podatność obsługowa pojazdów szynowych – istota, znaczenie, metody oceniania*, „Problemy Kolejnictwa”, 2008, z. 147.