

Tadeusz Wolfram

Nowoczesne elektryczne zespoły trakcyjne ruchu podmiejskiego

Istotne wymagania dotyczące taboru kolejowego obsługi ruchu podmiejskiego obejmują odpowiednie parametry i cechy techniczne oraz zmniejszenie kosztów zakupu i eksploatacji. Ten ostatni czynnik ma istotne znaczenie, ponieważ wpływy ze sprzedaży biletów w przypadku omawianych przewozów pokrywają tylko część kosztów eksploatacji zazwyczaj w granicach 25–80%. Ważną również sprawą jest oddziaływanie na naturalne środowisko człowieka, ponieważ ruch tych pojazdów odbywa się zazwyczaj w rejonie gęsto zasiedlonym. Zależności między potrzebami społecznymi a parametrami i cechami technicznymi zespołów trakcyjnych obrazuje schemat (rys. 1).

Ruch podmiejski w warunkach europejskich prowadzony jest niemal wyłącznie pociągami trakcji elektrycznej. Najczęściej są to zespoły trakcyjne, niekiedy – pociągi zespołowe złożone z lokomotywy, wagonów i wagonu z kabiną sterowniczą. Cechą istotną linii, na których ten ruch się odbywa, są stosunkowo niewielkie odległości między przystankami. W rejonach zbliżonych do centrów aglomeracji miejskich odległości te wynoszą 800–1000 m ($r = 10\text{--}15\text{ km}$), w nieco odleglejszych – 2000–3000 m ($r = 20\text{--}30\text{ km}$), a w dalszych – 3000–5000 m ($r = 30\text{--}50\text{ km}$). Sposób jazdy w przypadku takiego ruchu odbiega w istotnym stopniu od sposobu jazdy przy większych odległościach między przystankami. Z reguły prowadzone są jazdy zapewniające oszczędność energii trakcyjnej, z wykorzystywaniem biegu bez zasilania w energię [18].

Rozwój aglomeracji miejskich powoduje, że obszar odcinków linii z przystankami o małych odległościach będzie się systematycznie powiększał. Koleje podmiejskie w coraz większym stopniu upodobią się w tym obszarze do szybkiej kolei miejskiej,

współtworząc zintegrowany system transportu miejskiego. Bywają również przypadki, że ruch podmiejski o znacznym promieniu obsługi nabiera cech ruchu regionalnego. W tablicy 1 przedstawiono główne cechy niektórych zespołów trakcyjnych

Istotnym zagadnieniem funkcjonowania systemu kolejowego jest uzyskanie odpowiednio krótkich czasów podróży, stanowiących znaczący element konkurencji w stosunku do innych środków transportu. Miernikiem określającym czas podróży jest prędkość handlowa, zależna od:

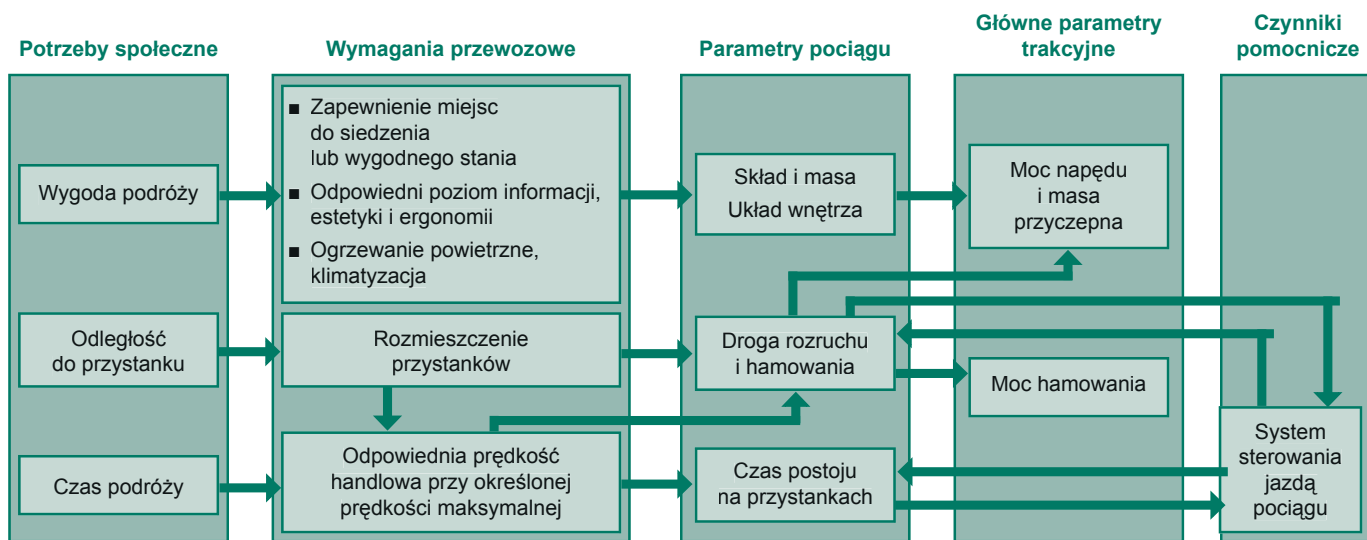
- prędkości technicznej V_t [km/h]
- czasu postoju na przystankach t_p [s].

Nowe konstrukcje zespołów trakcyjnych wykazują parametry zapewniające osiągnięcie prędkości handlowej 35–40 km/h w przypadku czasu postoju w granicach 18–20 s dla odległości między przystankami 1000 m. Uzyskuje się to wskutek dużego udziału masy napędnej, w niektórych przypadkach do 100% masy całkowitej, oraz znacznych mocy jednostkowych osiągających ponad 20 kW/t. Prędkości największe zależne są od stref obsługi i zawierają się w granicach 100–140 km/h, w przypadku obsługi również ruchu regionalnego nawet 160 km/h.

Znamiennym dążeniem w projektowaniu nowoczesnych zespołów trakcyjnych jest zapewnienie znacznej liczbie pasażerów odpowiedniej wygody podróżowania, której nieodłącznym elementem stał się system informacji.

Prędkość techniczna, czas postoju na przystankach, prędkość handlowa

Przedstawioną analizę czynników mających wpływ na prędkość techniczną wykonano dla przejazdów na linii o profilu poziomym, w sposób energooszczędny, przy średnim opóźnieniu hamowania 1 m/s^2 .



Rys. 1. Zależność między potrzebami społecznymi a parametrami i cechami technicznymi zespołów trakcyjnych

Główne cechy nowoczesnych elektrycznych zespołów trakcyjnych

Kolej	Seria	Układ wagonów	Masa własna całkowita [t]	Moc napędu głównego [kW]	Zasilanie napędu głównego [kV; Hz]	Liczba osi napędnych	Rodzaj hamulca	Prędkość maksymalna [km/h]	Średnica kół [mm]	Długość całkowita [m]	Liczba miejsc do siedzenia/stojących	Liczba przedziałów w wagonie	Główny producent	Uwagi
CD	471	BoBo+22	112	2000	3=	4	el. pow. op.	140		52,80	178/199	2	Studenka Skoda	zespół 2-poziomowy
DB	423	Bo(Bo) (2) (Bo)Bo	105	2350	15; 16 ² / ₃	8	el. pow. rek.	140	850	67,40	192/352	3	Adtranz Alstom	
DB	424	Bo(Bo) (2) (Bo)Bo	113	1175	15; 16 ² / ₃	8	el. pow. rek.	140	850	67,40	206/352	2	Adtranz (DWA) Siemens	
DB	426	Bo (2) Bo	64	1176	15; 16 ² / ₃	4	el. pow. rek.	160	850	36,50	100/113	2	Adtranz (DWA) Siemens	
DB	481/482	2(Bo2+BoBo)	114	1200	15; 16 ² / ₃	12	el. pow. rek.	100	820	73,60	188/400	3	Adtranz Siemens	składy 4-, 6-, 8-wag.
DB	445	BoBo+22+BoBo	165	3600	15; 16 ² / ₃	8	el. pow. rek.	140	920	82,27	289	2	Adtranz Siemens	zespół 2-poziomowy
FS	TAF	Bo2+22+22+2Bo	210	2500	3 =	8	el. pow. rek. op.	140	1100/920		475/372	2	Breda Ansaldo	zespół 2-poziomowy
Hamburg S-Bahn	474/874	BoBo+22+BoBo	100	920	1,2 =	8	el. pow. rek./op. magn.	100	855	66,00	208/300	3	Adtranz LHB	
JR East	209	4s+10d	241	1520	1,5=	16	el. pow. op.	110		200,00	522/1018	4	Toshiba Mitsubishi	
JR East	231	4s+10d		1520	1,5=	16	el. pow. rek. op.	120	860	200,00	550/1068	4	JR East Tokyu CC	składy 5-, 10-, 15-wag.
NSB	72	Bo(1+1)(1+1)(1+1)Bo	156	1490	15; 16 ² / ₃	4	el. pow. rek.	160	920	85,57	310	2	Ansaldo Breda SLM	
SNCF	EOLE	22+BoBo+22+BoBo+22	277	3500	25; 50 1,5=	8	el. pow. rek. op.	140		112,00	550/732	3	Alstom	zespół 2-poziomowy
SNCB	AM96	BoBo+22+22	149/155	1400	25; 50 3=	4	el. pow. rek. magn.	160	1010/950	79,20	213/199	2	Alstom Bombardier	
Wlk. Brytania Northern Spirit	333	BoBo+22+Bo Bo	145	1400	25; 50	8	el. pow. rek.	150	860	23,74	260	2	Siemens CAF	

O prędkości technicznej na odcinku linii o danej odległości, w opisanych warunkach jazdy, decyduje zasadniczo średnie przyspieszenie rozruchu – a_{rm} (od 0 do V_m) i prędkość największa V_m . Wpływ tego drugiego parametru jest różny w zależności od stopnia wykorzystania go na określonym odcinku. Średnie przyspieszenie rozruchu a_{rm} zależy zarówno od siły rozruchu (udziału masy napędnej G_n), jak i jednostkowej mocy pojazdu N_c , co obrazują wykresy na rysunku 2. Wielkość ta ujmuje syntetycznie wpływ zarówno mocy, jak i masy napędnej na możliwości trakcyjne zespołów trakcyjnych.

Początkowe przyspieszenie rozruchu a_{ro} jest zależne od udziału masy napędnej w całkowitej masie pojazdu w sposób następujący:

%	[G]	100	80	60	40
a_{ro}	[m/s ²]	1,36	1,09	0,81	0,52

Stosunek przyspieszeń a_{rm}/a_{ro} kształtuje się w zakresie od 0,1 – przy małych mocach i masie napędnej ($V_m = 140$ km/h) do blisko 1 – przy dużych mocach i masie napędnej (niemal w całym zakresie V_m).

Należy zauważyć, że przy mniejszych mocach jednostkowych wpływ masy napędnej na przyspieszenie a_{rm} jest niewielki, po-

dobnie jak przy małej masie napędnej (i mniejszych V_m) nawet znaczny wzrost mocy nie powoduje znaczącego zwiększenia wspomnianego przyspieszenia.

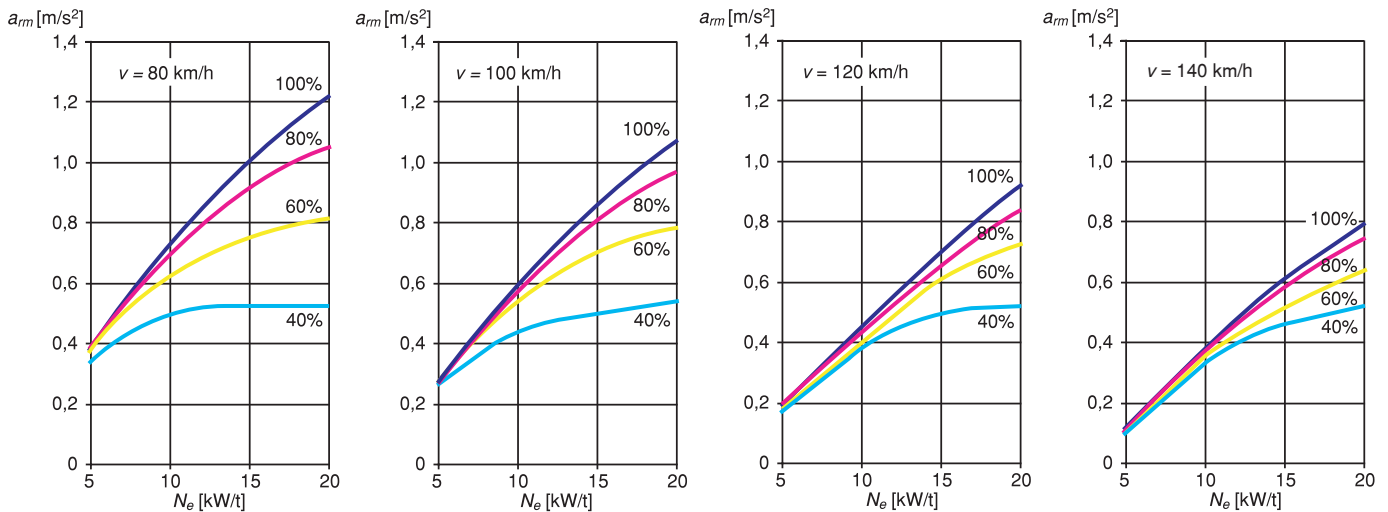
Wpływ przyspieszenia a_{rm} na wielkość prędkości technicznej V_t w funkcji największej prędkości jazdy V_m dla rozmaitych odległości między przystankami przedstawiają wykresy na rysunku 3. Zależność prędkości technicznej od prędkości największej jest stosunkowo niewielka przy odległości między przystankami 1000 m, uwidacznia się natomiast w miarę zwiększania tych odległości, jednak zawsze w istotny sposób zależy od przyspieszenia a_{rm} .

Prędkość techniczną określa też średnie opóźnienie hamowania. Jego największa wartość w przypadku hamowania służbowego nie powinna przekraczać 1,3 m/s², przy narastaniu nie większym od 0,6 m/s³. Zazwyczaj omawiane opóźnienie wynosi 1 m/s². Wykres na rysunku 4 przedstawia wpływ opóźnienia hamowania na prędkość techniczną w odniesieniu do jej wartości dla opóźnienia 1 m/s² – przy $V_m = 80$ km/h i $a_{rm} = 0,4$ m/s² oraz $V_m = 120$ km/h i $a_{rm} = 0,8$ m/s².

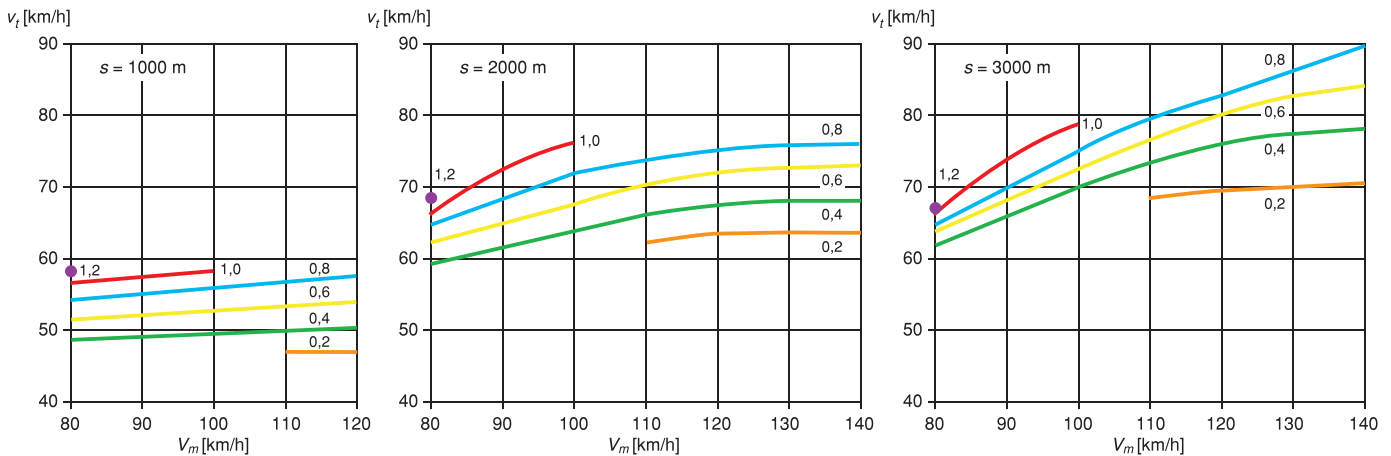
Czas postoju na przystankach powinien zapewniać bezpieczną wymianę podróżnych [3]. Na jego wielkość wpływają dwa czynniki:

- 1) łączna szerokość drzwi wagonu – powinna uwzględniać prędkość przejścia – 1 osoba/s/m, przy długości wagonu ok. 20 m stanowi ona ok. 0,25 długości pułta, co wymaga 4 drzwi o prześwicie 1,3 m;
- 2) różnica poziomu podłogi wagonu i peronu – może wynikać jedynie z uwzględnienia ugięcia usprężynowania I stopnia

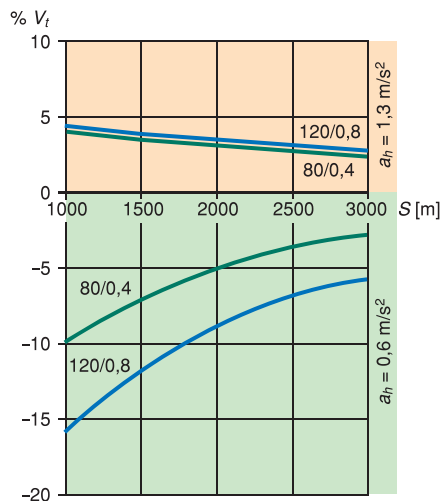
i zużycia obręczy kół; należy nadmienić, że spełnienie tego warunku nie napotyka na trudności konstrukcyjne przy wysokości peronu 960 mm lub więcej; w przypadku peronów niższych zachodzi konieczność zróżnicowania poziomu podłogi wagonu, co jednak ogranicza liczbę drzwi lub powoduje konieczność umieszczania ich na różnym poziomie podłogi,



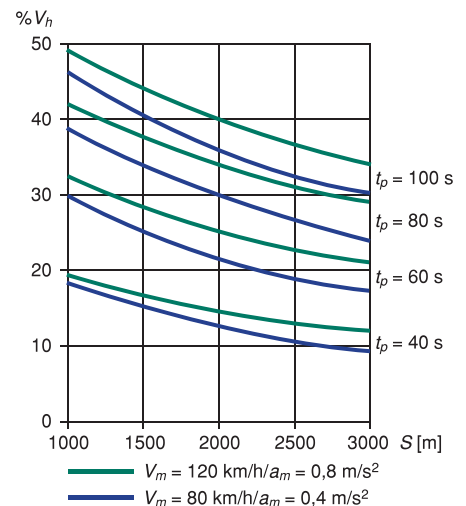
Rys. 2. Zależność średniego przyspieszenia rozruchu od udziału masy napędnej i jednostkowej mocy pojazdu



Rys. 3. Wpływ średniego przyspieszenia rozruchu na prędkość techniczną, w zależności od największej prędkości, dla różnych odległości między przystankami



Rys. 4. Wpływ opóźnienia hamowania na prędkość techniczną



Rys. 5. Wpływ czasu postoju na zmniejszenie prędkości handlowej w stosunku do czasu podróży uzyskiwanego przy czasie postoju 20 s

a tym samym wydłuża czas postoju – w wagonach ruchu podmiejskiego unika się zastosowania takiego rozwiązania.

W sprzyjających warunkach bezpieczny czas postoju może być zredukowany do wspomnianych 18–20 s w przypadku zespołów trakcyjnych o jednym poziomie; w przypadku pojazdów dwupoziomowych przekracza on 60 s, dochodząc nawet 90 s.

Jak wspomniano prędkość handlowa zależy od prędkości technicznej, jak i czasu postoju na przystankach. Wykres na rysunku 5 obrazuje wpływ czasu postoju t_p na zmniejszenie prędkości handlowej V_h , wyrażone w procentach w stosunku do czasu podróży uzyskiwanego przy czasie postoju 20 s dla różnych odległości między przystankami. Wpływ ten przy odległości 1000 m w skrajnym przypadku może nawet wynosić 50%, co wskazuje na znaczenie tego czynnika dla uzyskania odpowiedniego czasu podróży. Tym bardziej jest to istotne, że osiągane poprzez skrócenie czasu postoju na przystankach efekty nie wymagają zwiększonych rozchodów energii na cele trakcyjne.

Rozwiązania konstrukcyjne

Układy ogólne zespołów trakcyjnych przewozów podmiejskich

Elektryczne zespoły trakcyjne przewozów podmiejskich składają się zazwyczaj z 2–4 wagonów. Pozwala to na łatwe dostosowanie składu do aktualnego potoku podróży. Niekiedy użytkowane są zespoły 10–15 wagonowe (np. w Japonii), ma to miejsce w przypadku ustabilizowanej, przynajmniej w pewnym okresie, znacznej liczby pasażerów.

Masa jednostkowa tych zespołów wynosi zazwyczaj 520–600 kg/m². Coraz częściej stosuje się układ przegubowy wagonów, sprzyjający zmniejszeniu masy i stwarzający korzystniejsze warunki utrzymania. Dążenie do uzyskania możliwie dużej liczby miejsc do siedzenia na długości pociągu skłoniła niektóre zarządy kolejowe do zwiększenia szerokości wagonu tak, aby zmieścić 5–6 miejsc w jednym szeregu. Stało to możliwe dzięki przyjęciu niekonwencjonalnego układu pociągu, o krótkich wagonach – jak w przypadku kolei S Kopenhagi [20], bądź wykorzystania lokalnej skrajni – jak w przypadku kolei SJ. Należy dodać, że w pierwszym przypadku uzyskano wskaźnik masy 400 kg/m².

Istotnym, coraz częściej stosowanym sposobem zwiększenia liczby miejsc w pociągu stało się wykorzystanie wagonów dwupoziomowych [1, 2, 11, 15]. Liczba miejsc do siedzenia na 1 m długości takiego zespołu wynosi 5–6 (dla zespołu o jednym poziomie – ok. 3). Wskaźniki masy wynoszą 450–600 kg/m². Wadą tych układów jest stosunkowo długi czas wymiany podróży na przystankach.

W nowoczesnych zespołach trakcyjnych stanowisko maszynisty umieszczone jest centralnie. Najczęściej przedsiionki nie są oddzielone od pozostałej części przedziału dla pasażerów, a przejście między poszczególnymi wagonami ma szerokość niemal równą szerokości wagonu, co stwarza jednolitą przestrzeń dla pasażerów na długości całego zespołu. Potrzeba szybkiej wymiany podróży powoduje, że przy długości wagonu jednopoziomowego około 20 m, wyposażony on bywa w 4–5 przedsiionków, a w przypadku wagonów o dwóch poziomach w 3 przedsiionki [2]. Usprawnienie wymiany podróży może być uzyskane poprzez zastosowanie odchylonych ścian wagonu (Alstom) – foto 1.

Oprócz wspomnianego uprzednio zespołu kolei S Kopenhagi, do eksploatacji wprowadzone zostały również inne zespoły o układach niekonwencjonalnych, jak np. zespół „Integral” –



Fot. 1. Odchylona ściana zespołu trakcyjnego ułatwiająca wymianę podróży
Źr. IRJ 10/1999

Jenbach TS [20], czy zespół dla kolei SNCF, przeznaczony do jazdy po torach tramwajowych w obrębie miasta, jak również po torach sieci kolejowej.

Napęd, hamowanie, sterowanie

Zasilanie zespołów trakcyjnych ruchu podmiejskiego jest przeważnie tego samego systemu co zasilanie podstawowej sieci kolejowej. Odstępstwa od tej zasady są stosunkowo nieliczne, np. kolej S w Berlinie (0,75 kV DC), Hamburgu (1,2 kV DC), Kopenhadze (1,65 kV DC). Doprowadzenie energii elektrycznej do pojazdu odbywa się najczęściej poprzez sieć napowietrzną, niekiedy poprzez trzecia szynę (kolej S-Bahn Berlina, rejon południowo-wschodniej Anglii).

Obwód główny zespołu trakcyjnego prądu przemiennego składa się z transformatora, sterownika czterokwadrantowego, obwodu pośredniego, falownika, silnika prądu przemiennego. Przy zasilaniu prądem stałym obwód główny stanowią przekształtnik prąd stały – prąd stały, obwód pośredni, falownik, silnik prądu przemiennego. Wykorzystywane transformatory są konstrukcji konwencjonalnej, jak dotychczas nie osiągnięto w pełni pozytywnych wyników w pracach nad transformatorami o zwiększonej częstotliwości bądź transformatorami elektronicznymi. Nie uzyskano pomyślnych wyników w badaniach nad bezpośrednim zasilaniem falowników w pojazdach prądu przemiennego. Coraz częściej natomiast pojawiają się obwody główne zasilane bezpośrednio w przypadku pojazdów prądu stałego, co pozwala na uniknięcie jednego stopnia przetwarzania energii. W tych przypadkach wykorzystywany jest trójpoziomowy układ modułów falownika (falownik Alstom Onix) lub ich szeregowo połączenie. Powszechnie wykorzystywane są falowniki napięcia, niezwykle rzadko stosowane są jeszcze falowniki prądu (SNCF Z2N, RENFE UT 450). Zasadnicze elementy obwodu głównego, jak dotychczas budowane są w oparciu o tyrystory GTO (DB serie 423–426, 474/484, 481/482) [8, 10]. Od pewnego czasu rozpoczęto wykorzystywać w miejsce tyrystorów GTO – tranzystory IGBT. Pozwalają one na zmniejszenie masy modułów o 20%, ich objętości o 30%, pracują przy mniejszych stratach własnych i większej częstotliwości. Tego rodzaju elementy znalazły już zastosowanie w eżt SNCB AM 96, CD 471, NSB 72 [16] i zespołach kolei Japonii [6, 19]. Niewątpliwie znajdują one niebawem powszechne zastosowanie w elementach obwodu głównego. Z reguły są już stosowane w przetwornicach obwodów pomocniczych. Chłodzenie transformatorów odbywa się przy wykorzystaniu estru, co stwarza korzystniejsze warunki wymiany ciepła niż przy zastoso-

waniu oleju. Elementy elektroniczne chłodzone są wodą zdejonizowaną.

Silniki trakcyjne są silnikami bezkomutatorowymi, asynchronicznymi, o chłodzeniu powietrznym lub wodnym (DB serie 424–426) [8]. Ten ostatni system umożliwia zmniejszenie masy silnika, chroni go od zanieczyszczeń i ogranicza hałas związany z jego pracą. Obieg chłodzenia jest wspólny z obiegiem chłodzenia elementów elektronicznych. Silniki trakcyjne zespołów trakcyjnych zawieszono są niemal zawsze w ramie wózka, a tym samym w pełni usprężynowane. Napęd do zestawu przenoszony jest poprzez sprzęgło przegubowe [14], wał przegubowy w osi silnika systemu SLM [9], rzadziej przez wał przegubowy na osi zestawu

kół [10]. W wielu przypadkach przekładnia zębata jest dwustopniowa ze względu na duże obroty silnika sięgające 6000 na minutę. Skrzynia przekładniowa pozostaje nie usprężynowana. Na rysunku 6 przedstawiono schemat napędu zespołu trakcyjnego DB 424.

Od dawna trwają prace nad bezprzekładniowym silnikiem trakcyjnym. W ostatnim czasie powstał w Japonii (kolej JR East) prototyp zespołu trakcyjnego z tego rodzaju silnikami. Są to silniki synchroniczne, o magnesach stałych z poprzecznym polem magnetycznym, wykazujące korzystne wskaźniki masy pomimo napędu bezpośredniego.



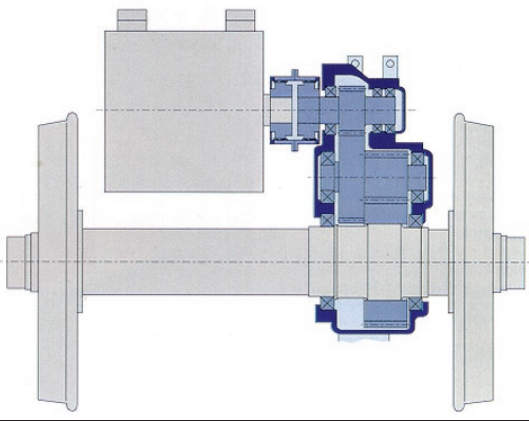
Fot. 2. Widok i przedział dla pasażerów zespołu trakcyjnego MI2N kolei podmiejskich w regionie Paryża Fot. Alstom, J. Raczyński



Fot. 3. Widok i przedział dla pasażerów zespołu trakcyjnego kolei duńskich DSB w regionie Kopenhagi Fot. Alstom LHB



Fot. 4. Zespół trakcyjny Integral kolei austriackich podczas prezentacji na targach Innotrans 2002 Fot. J. Raczyński



Rys. 6. Napęd zespołów trakcyjnych DB serii 424-426
 Źr. materiały firmy Voith

Schemat obwodu głównego wspomnianego prototypu przedstawiono na rysunku 7, a na rysunku 8 – schemat jego napędu [6].

W wszystkich nowoczesnych zespołach trakcyjnych znalazły zastosowanie skojarzone układy elektrycznego hamulca dynamicznego i hamulca powietrznego. W przypadku zasilania pojazdu prądem stałym występuje problem możliwości zwrotu energii do sieci trakcyjnej, dlatego też oprócz hamulca odzyskowego z próbnikiem napięcia stosuje się układ hamulca oporowego. Dotychczas nie osiągnięto dobrych rezultatów zagospodarowania energii hamowania, w ograniczonym zakresie znalazły zastosowanie falowniki na podstacjach i zasobniki z masami wirującymi. Sterowanie hamulcem powietrznym odbywa się poprzez układ elektryczny, w najnowszych rozwiązaniach – układ elektroniczny pozwalający jednocześnie na diagnostykę (DB serie 474/484, 423-426) [10, 14]. Jako elementy wykonawcze hamulca powietrznego stosuje się wyłącznie siłowniki indywidualne współdziałające z tarczami hamulcowymi. Prowadzone są prace nad hamulcowymi siłownikami elektromechanicznymi.

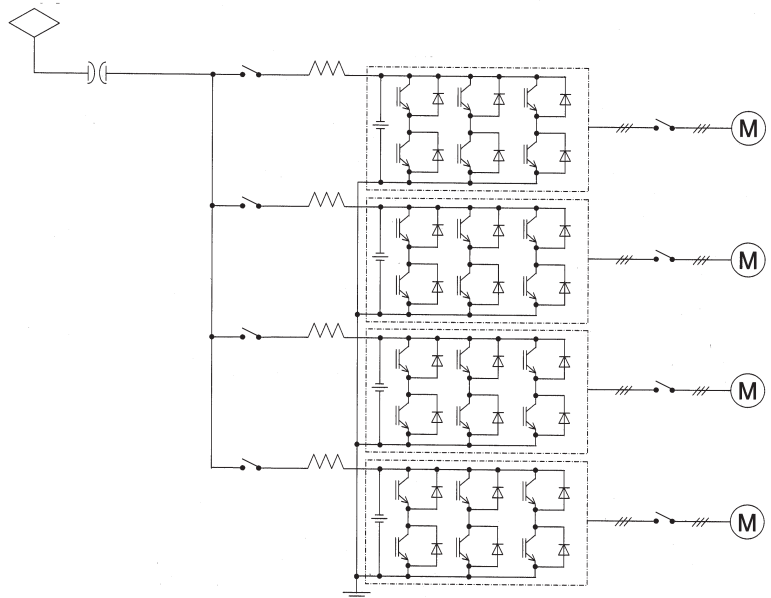
W niektórych warunkach eksploatacji wykorzystywane są hamulce magnetyczne.

Sterowanie napędem, kontrola pracy urządzeń, diagnostyka realizowane są poprzez sieć komputera pokładowego 32-bitowego. W najnowszych wykonaniach jest to sieć zintegrowana, obejmująca również sterowanie drzwiami zespołu oraz sieć informacji głosowej i wizualnej (rys. 9) [21]. Dzięki takiemu systemowi wyeliminowano znaczną liczbę kabli. W układ sterowania zawsze włączone jest urządzenie przeciwpoślizgowe, zapobiegające lub sterujące poślizgiem zarówno przy rozwijaniu siły pociągowej, jak i hamowania.

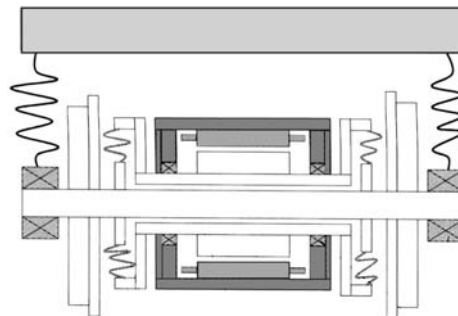
Należy również wspomnieć o tendencji znacznego rozszerzenia informacji dla pasażerów, objęcie nią obok informacji bieżących także danych dotyczących np. miejscowego rozkładu jazdy, czy wiadomości z prasy.

Nadwozie

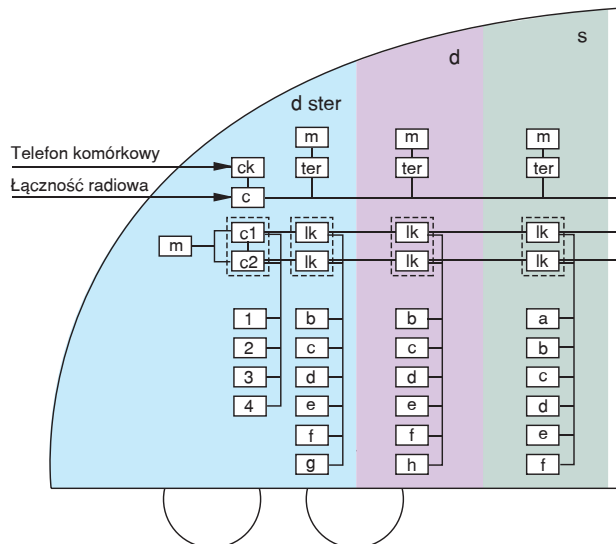
Pudło nadwozia wykonywane bywa z elementów ze stopów lekkich (DB serie 423-426, 445, brytyjska seria 333, DSB kolej S Kopenhaga, FS seria TAF) lub elementów stalowych (DB serie 474/874, 481/482, SNCF Z2N, niektóre zespoły trakcyjne kolei japońskich). Każdy z tych rodzajów pudeł ma zalety i wady. Nie ma jednoznacznych ocen przemawiających na korzyść jednej czy drugiej konstrukcji. Niektóre firmy (Hitachi) uważają, że są w sta-



Rys. 7. Obwód główny najnowszego zespołu trakcyjnego kolei japońskich Źr. JREng 12/2002



Rys. 8. Napęd zespołu trakcyjnego kolei japońskich Źr. JREng 12/2002



Rys. 9. Zintegrowana sieć komputera pokładowego zespołu trakcyjnego kolei japońskich

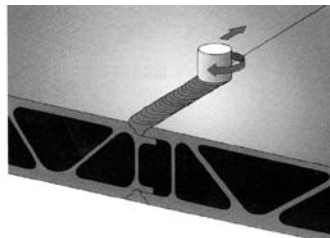
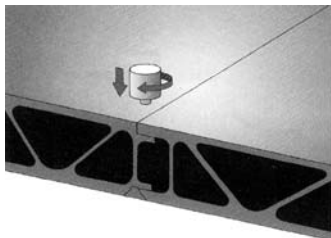
m – monitor ekranowy; 1 – sterownik; a – falownik; ter – terminal; 2 – aut. ster. poc.; b – sterownik hamulca; ck – sterowanie łącznością; 3 – radio poc.; c – informacja dla pas.; c1, c2, c – jednostka centralna; 4 – prąd siln.; d – nadzór pomieszczeń; lk – jednostka lokalna; e – drzwi; f – sygnalizacja bezp.; g – aut. syst. zapowiadania; h – zasilanie urz. pomoc.

Źr. IRJ 2/2003



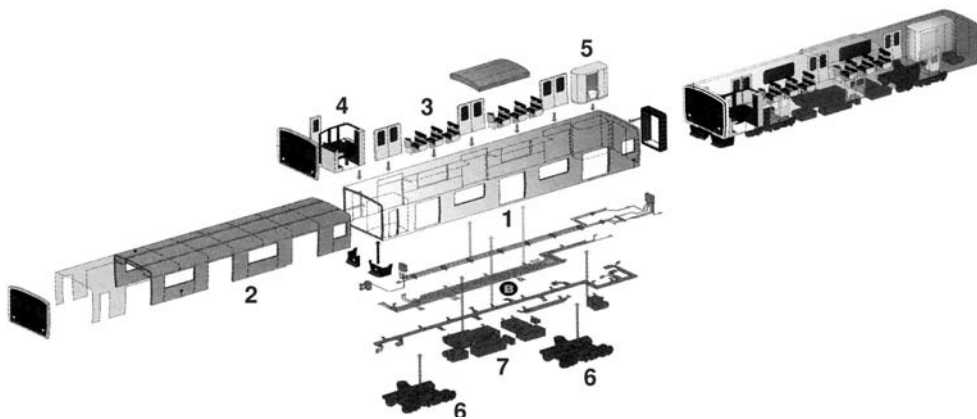
Fot. 5. Widok i przedział dla pasażerów zespołu trakcyjnego kolei niemieckich serii 423

Fot. Bombardier/Alstom



Rys. 10. Zasada spajania ciernego

Źr. JREng 12/2002



Rys. 11. Elementy struktury nadwozia zespołu trakcyjnego kolei japońskich

1 – pudło, 2 – poszycie wewnętrzne, 3 – wyposażenie wnętrza, drzwi, 4 – kabina maszynisty, 5 – toaleta, 6 – wózki, 7 – urządzenia elektryczne

Źr. JREng 12/2002

nie wykonać pudła stalowe, ze specjalnych elementów tłoczonych łączonych zgrzewaniem, o masie zbliżonej do pudła ze stopów lekkich. Inne firmy oceniają, że masa pudeł ze stopów lekkich jest mniejsza o około 5% od masy pudeł stalowych, a w przypadku wagonów dwupoziomowych nawet o 15%.

Pudła ze stopów lekkich wykonywane są najczęściej z elementów wyciskanych – o podwójnym poszyciu. Elementy te były dotychczas łączone poprzez spawanie, co powodowało niekorzystne zmiany w otoczeniu spawu. Ostatnio wprowadza się łączenie poprzez spajanie cierne (rys. 10). Metoda ta ma tę zaletę, że nie powoduje istotnych zmian w strukturze materiału, ponieważ temperatura w trakcie procesu nie przekracza 600°C, a sam proces jest przyjazny środowisku. Pudło z elementów stalowych wykonywane są na ogół w formie tradycyjnej (blachy poszycia wzmacniane elementami tłoczonymi). Przemysł japoński zamierza wprowadzić elementy stalowe, w których między poszycie wewnętrzne i zewnętrzne umieszczone są elementy o strukturze ulowej, łączone z poszyciem poprzez zgrzewanie lub spawanie laserowe [12].

W obu rodzajach pudeł wykorzystuje się elementy z tworzyw sztucznych (część czołowa pudła DB serie 424–426) [13, 14]. Istnieje tendencja eliminowania łączenia elementów z zastosowaniem „technologii gorących” na rzecz wykorzystania śrub, nitów, klejów.

Szczególną uwagę zwraca się na zabezpieczenie pojazdu przed skutkami zderzenia czołowego. Obowiązują w tym zakresie wymagania Karty UIC 651, według której siła obliczeniowa przyłożona do zderzaków powinna wynosić 1500 kN, a do pasa podokiennego – 300 kN. W niektórych przypadkach stosowane są odmienne wymagania. Coraz częściej oprócz wymagań co do wielkości statycznych sił obliczeniowych, formułowane są warunki związane z przejmowaniem energii zderzenia, np. w przypadku zespołów trakcyjnych DB serie 481/482 siłę obliczeniową przejmowaną przez zderzaki określono na 2×400 kN, jednocześnie wymagając, aby przy najeździe z prędkością 15 km/h pociągu pustego na pociąg pusty zahamowany nie nastąpiło trwałe odkształcenie żadnego elementu pudła. Przy nabieganiu z prędkością w zakresie 15–25 km/h dopuszcza się odkształcenie pewnych elementów strefy zgniotu, przy nabieganiu natomiast na barierę oporową z prędkością 8 km/h nie powinny wystąpić jakiegokolwiek szkody [9]. Niemal zawsze na czole pojazdu obok zderzaków stosowane są specjalne elementy pochłaniające energię zanim nastąpi trwałe odkształcenie konstrukcji głównej [9, 16]. Również oprócz sprzęgu samoczynnego coraz częściej znajdują zastosowanie zderzaki z elementami zapobiegającymi wspinaniu wagonów podczas zderzenia. Podstawową zasadą w określaniu wytrzymałości pudła na zderzenie czołowe jest uzyskanie stopniowego odkształcenia na jego długości.

Struktura nadwozia tworzona jest z poszczególnych elementów w taki sposób, aby pracochłonność montażu była możliwie mała [4]. Przykład z przemysłu japońskiego



Fot. 6. Zespół trakcyjny kolei niemieckich serii 474 Fot. Bombardier



Fot. 7. Zespół trakcyjny kolei niemieckich serii 445 Fot. Bombardier

(JR Kyushu R. Co.) przedstawiono na rysunku 11 [12]. Innym sposobem potaniania technologii wykonania jest wstępny montaż (wraz z wyposażeniem) ścian, podłogi, dachu, a następnie łączeniu tych elementów złączami śrubowymi. Materiały wnętrza powinny odpowiadać wymaganiom Kart UIC dotyczących odporności pożarowej. Siedzenia i niektóre inne elementy wnętrza niemal zawsze są odporne na uszkodzenia mechaniczne.

Do napędu drzwi zewnętrznych coraz częściej stosowane są siłowniki elektromechaniczne.

W warunkach środkowoeuropejskich stosuje się nawiewne ogrzewanie wnętrza i wymuszoną wentylację. W niektórych przypadkach, a z reguły w południowej części Europy, przedziały dla pasażerów wyposażone są w klimatyzację. Zawsze się ją stosuje w kabinach maszynisty.

W pewnych warunkach przewozowych zespoły trakcyjne ruchu podmiejskiego wyposażane są w toalety, zawsze z systemem zamkniętym, ze względu na ochronę naturalnego środowiska człowieka. Obecnie coraz szerzej zespoły te są dostosowane do możliwości przewozu osób niepełnosprawnych. W tym celu stosowane są niekiedy specjalne podnośniki [15].

Pomieszczenie dla pasażerów musi zapewniać coraz wyższy poziom wygody podróżowania, co bezpośrednio wiąże się z koniecznością pozyskiwania pasażerów, zwłaszcza tych, którzy do tychczas korzystają z własnych samochodów.

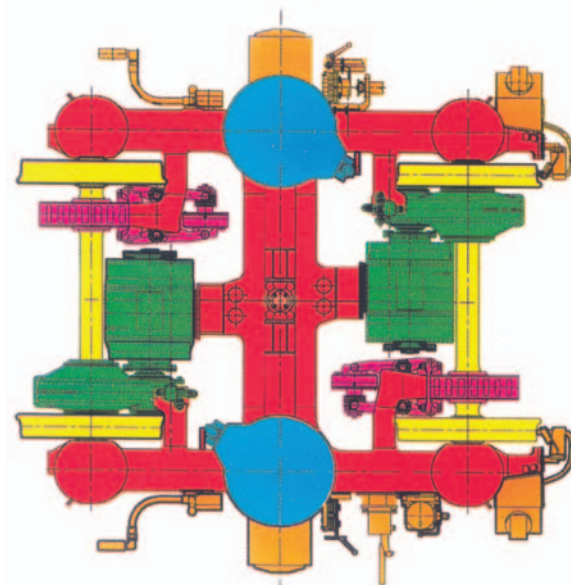
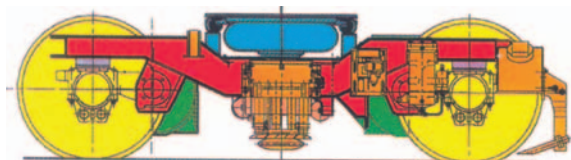
Część biegowa

Konstrukcja części biegowej ekt kształtowała się przed wielu laty i ulega stosunkowo niewielkim zmianom. Regułą stało się bezwładne prowadzenie maźnic (z wykorzystaniem wahaczy i sprężyn zwojowych lub bloków gumowo-metalowych), powietrzne usprężynowanie drugiego stopnia, w układzie flexicoil z samoczynną regulacją poziomu nadwozia względem ramy wózka, układ przesuwu czopa skreću z wyeliminowaniem tarcia. Przykłady konstrukcji wózków pokazano na rysunkach 12 i 13 [9, 10, 14, 15].

Pojawiły się zupełnie nowe układy umożliwiające radialne ustawianie się zestawu kół podczas jazdy w łuku. Poprawia to warunki współpracy koła z szyną, co ma istotne znaczenie dla eksploatacji zespołów trakcyjnych na liniach o znacznej liczbie łuków. Warunek ten został zrealizowany przez zastosowanie wózków jednoosiowych, jak w zespołach trakcyjnych Integral Jenbach TS, czy zespołach trakcyjnych kolei S-Bahne Kopenhagi [20]. Pojawił się zupełnie nowy układ biegowy – wózki systemu Adtranz Wintertur – FEBA (rys. 14) [17]. Takie wózki zastosowano w zespole trakcyjnym NSB [16].

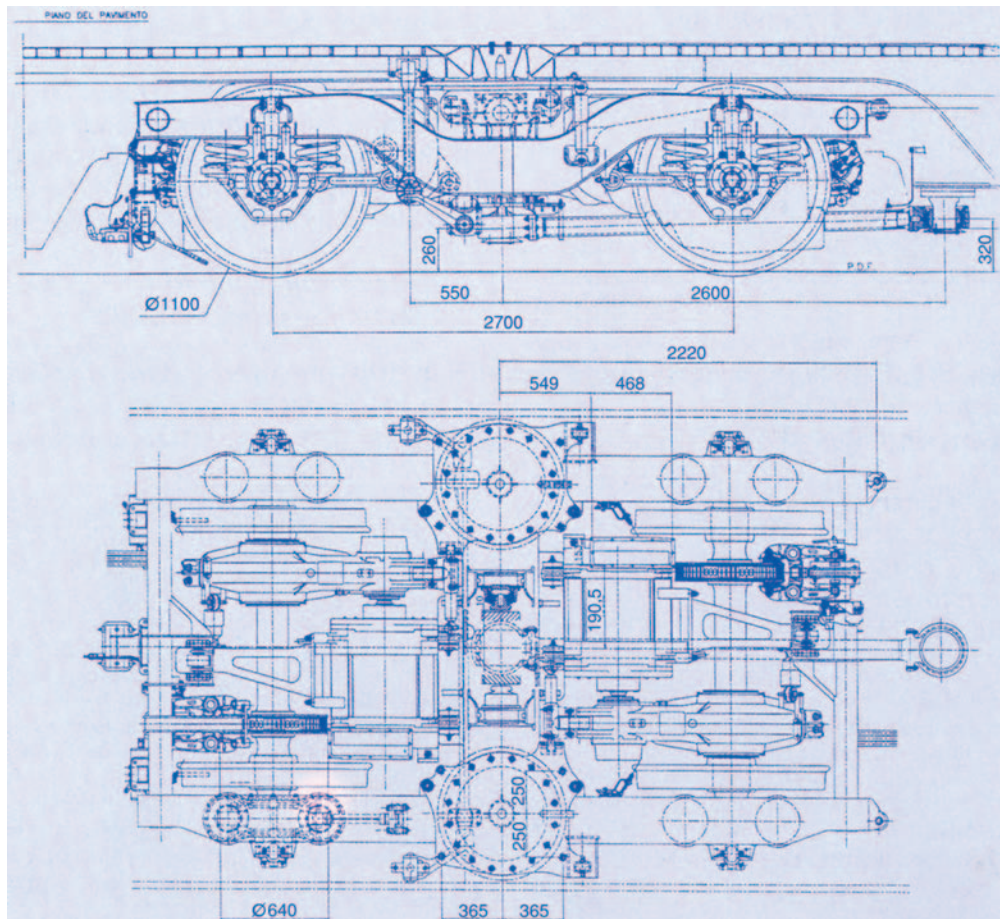


Fot. 8. Zespół trakcyjny kolei niemieckich serii 481 Fot. Bombardier



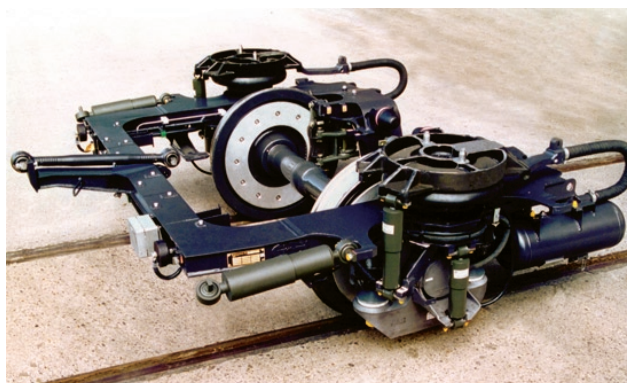
Rys. 12. Wózek zespołów trakcyjnych kolei DB serii 481/482

Źr. GA 7/1996



Rys. 13. Wózek zespołów trakcyjnych kolei FS serii TAF

Źr. ETR 1-2/1999



Fot. 9. Jednosiołowe wózki – napędny i toczny zespołu trakcyjnego kolei duńskich (DSB)

Fot. Alstom LHB

Część biegowa powinna zapewniać odpowiedni poziom spokojności biegu (wspomniana wygoda podróżowania), umiarkowane oddziaływanie na tor (szczególnie istotne dla linii podmiejskich intensywnie eksploatowanych), małe zużycie obręczy (koszty eksploatacji).

Czynniki wpływające na koszty eksploatacji zespołów trakcyjnych

Zasadniczymi czynnikami mającymi wpływ na koszty eksploatacji są koszty energii do celów trakcyjnych oraz koszty utrzymania. Te pierwsze uległy wydatnemu zmniejszeniu (o 12–15%) wskutek impulsowego sterowania silnikami trakcyjnymi. Istotne ograniczenie zużycia energii trakcyjnej (do 40%) uzyskuje się wskutek odzysku energii hamowania. Zależy to jednak od rodzaju linii i zdolności odbioru energii przez układ zasilania. Wpływ w tym zakresie ma również wielkość masy własnej zespołu trakcyjnego, zwłaszcza gdy ruch odbywa się ze stosunkowo małymi

prędkościami. Na korzystny bilans rozchodu energii, w stosunku do czasu przejazdu, wpływa skrócenie czasu postoju na przystankach.

Istotne zmniejszenie kosztów utrzymania zespołów trakcyjnych nastąpiło dzięki zastosowaniu elementów bezstykowych w obwodach elektrycznych, silników bezkomutatorowych, eliminacji powierzchni tarcia i wymagających smarowania oraz nowych materiałów. Znaczącą rolę w tym zakresie odgrywa diagnostyka. Pośrednim skutkiem wymienionych czynników było zwiększenie do 10 tys. km przebiegu między przeglądami bieżącymi, do 400 tys. km przebiegu między korektami profilu powierzchni tocznej kół i do 800 tys. km między naprawami rewizyjnymi. Współczynnik gotowości technicznej nowoczesnych zespołów trakcyjnych kształtuje się w granicach 0,92–0,95.

Rygorystyczne warunki stawiane są niezawodności zespołów trakcyjnych, np. według wymagań jednej z kolei brytyjskich, niesprawność (5 min opóźnienia) może pojawić się nie częściej niż co 116 tys. km przebiegu [5], a dla zespołów trakcyjnych jednej z kolei Hongkongu niesprawność (2 min opóźnienia) może wystąpić dla przebiegu co najmniej 2 mln km.

Ocenia się, że łączne skutki wspomnianych czynników zmniejszyły koszty eksploatacji nowoczesnych zespołów trakcyjnych o 40% w stosunku do rozwiązań I generacji.

Wspomnieć należy o tendencji stopniowego odchodzenia od utrzymania prewencyjnego do utrzymania bieżącego, co stało się możliwe dzięki zwiększeniu trwałości i niezawodności, bardziej dokładnego ich sparametryzowania i zastosowaniu nowoczesnej diagnostyki. Relacje w tym zakresie ustalane są na podstawie

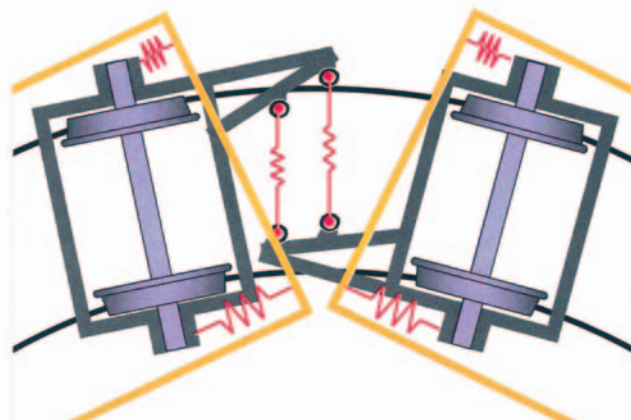
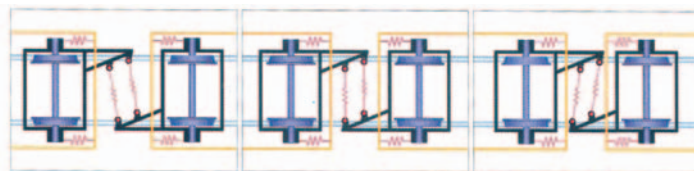
wiarygodnej optymalizacji kosztów. Powstały również pomysły ograniczenie okresu eksploatacji do 12 lat, w którym to okresie wzrost kosztów utrzymania jest nieznaczny. Po jego upływie dokonuje się oceny celowości naprawy głównej i dalszej eksploatacji, bądź wycofania zespołu z eksploatacji. W tym przypadku jednak cena pojazdu powinna być znacznie mniejsza [20].

Zarówno koszty energii trakcyjnej, jak i koszty utrzymania stanowią zasadniczy składnik kosztu cyklu życia pojazdu (LCC), na podstawie którego podejmowane są decyzje dotyczące inwestycji lub modernizacji taboru. Dla nowoczesnych eoz koszty utrzymania w okresie 25 lat kształtują się na poziomie jego ceny.



Literatura

- [1] Banke T., Quegwer D., Friedrich R.J., Knappek R., Reusch M.: *Elektrischer Doppelstocktriebzug Baureihe 445 für der Regionalverkehr*. EB 4/2001.
- [2] Boutonnet J.C., Fockens C.: *EOLE premiere etape – Le Materiel*. Rev. Gen. Chem. de Fer 8-9/1988.
- [3] Brandau J.: *S-Bahn – Triebzug in Doppelstockbauweise*. GA 10/1996.
- [4] *Bombardier delivers first modular Movia trains*. IRJ 2/2003.
- [5] *Class 333 makes its debut*. RG 5/2000
- [6] Endo T.: *Development of AC train commuting/suburban – type train for the next generation*. JR Eng. nr 12/2002.
- [7] Ernst G., Schulz W.: *Elektrische Ausrüstung der Triebzüge Baureihe 481/482 für die S-Bahn Berlin*. EB 5/1997
- [8] Falk P.: *Triebzugfamilie Baureihen 423 bis 426 für DB Regio*. EB 5-6/2000.
- [9] Gärtner E., Kasiske H.: *Die neuen Triebzüge BR 481/482 für die Berliner S-Bahn*. GA 7/1996
- [10] Gernert P., Sonnenburg U.: *Die neuen Triebzüge Baureihe 474/484 für die Hamburger S-Bahn*. GA 4/1998.
- [11] Klumpp D.: *Doppelstock – Triebwagen von Alstom und der begleitende Qualitätsprozess*. ETR 4/2003.
- [12] Kobayashi O.: *Rolling stock production – technologies and trends*. JR Eng. 12/2002.
- [13] Laitinen M.: *Finns develop composite car body structure*. IRJ 1/2003.
- [14] Lang A., Hartmann B.: *Neue elektrische Triebzüge Baureihen 423-426 für die Deutsche Bahn AG*. GA 9-10/1998.
- [15] Messerschmidt W.: *TAF Neue elektrische – Doppeldeckzüge für Italiens Bahnen*. ETR 1-2/1999.



Rys. 14. Wózki Adtranz Wintertur systemu FEBA *Žr. Eisenbahn Revue 10/1999*

- [16] *NSB regional EMUs on trial*. RG 2/2001.
- [17] Polach O., Kraft D.: *Gekoppelte Einzelachswerke FEBA mit Radialeinstellung erfolgreich erprobt*. Eisenbahn Revue 10/1999.
- [18] Sanftleben D., Sonntag H., Weber K.: *Verfahren „Energiesparende Fahrweise – ESF“*. ETR 9/2001.
- [19] Sato Y., Kozu K.: *New JR East trains offer more at lower cost*. IRJ 7/2001.
- [20] Wolfram T.: *Niekonwencjonalne, elektryczne zespoły trakcyjne ruchu regionalnego i podmiejskiego*. Technika Transportu Szynowego 1/1998
- [21] Yoshikawa T., Sunami K.: *New JR East trains have high-tech systems*. IRJ 2/2003.

Autor

doc. inż. Tadeusz Wolfram

Zakład Pojazdów Szynowych Centrum Naukowo-Technicznego

VI Międzynarodowa Konferencja

MET 2003

Nowoczesna trakcja elektryczna w zintegrowanej Europie XXI w.

Warszawa, 25–27 września 2003 r.

Informacje – sekretariat MET 2003

EESEMC Centrum Doskonałości – MET 2003, Instytut Maszyn Elektrycznych, Zakład Trakcji Elektrycznej
00-661 Warszawa, Plac Politechniki 1
tel.: +(48-22) 660 76 16; 660 75 51 fax: 660 75 51; 629 98 17
e-mail: aszelag@nov.iem.pw.edu.pl ■ www.ztu.ime.pw.edu.pl