

Wózek lokomotywy typu 111E

W artykule dokonano przeglądu rozwiązań wózków europejskich lokomotyw czteroosiowych i na ich tle przedstawiono budowę wózka 111E, przeznaczonego do zabudowy pod lokomotywą elektryczną dwutrakcyjną typu 111Ed, wyprodukowaną przez PESA Bydgoszcz. Przedstawiono dane techniczne oraz zaprezentowano konstrukcję poszczególnych podukładów i podzespołów zabudowanych na wózku 111E. Konstrukcja wózka została opracowana przez Instytut Pojazdów Szynowych „Tabor” w ramach projektu celowego pt. „Uniwersalna lokomotywa elektryczna wielosystemowa o budowie modułowej na prędkości powyżej 200 km/h” w latach 2009-2012, finansowany z budżetu Ministerstwa Szkolnictwa Wyższego.

1. WSTĘP

Ostatnia lokomotywa elektryczna czteroosiowa projektu i produkcji krajowej opuściła bramy wrocławskiej fabryki Pafawag w 1997 r. Była to EP09-047, oznaczona symbolem konstrukcyjnym 104Ea. W latach 1998-2002 u wrocławskiego producenta wytworzono lokomotywy typu 112E (serii EU43) oraz 113E (serii EU11), zaprojektowane we współpracy z ówczesnym Ośrodkiem Badawczo-Rozwojowym Pojazdów Szynowych w Poznaniu (obecnie Instytut Pojazdów Szynowych „Tabor”), jednak nie weszły na stan PKP i zostały sprzedane zagranicznym przewoźnikom.

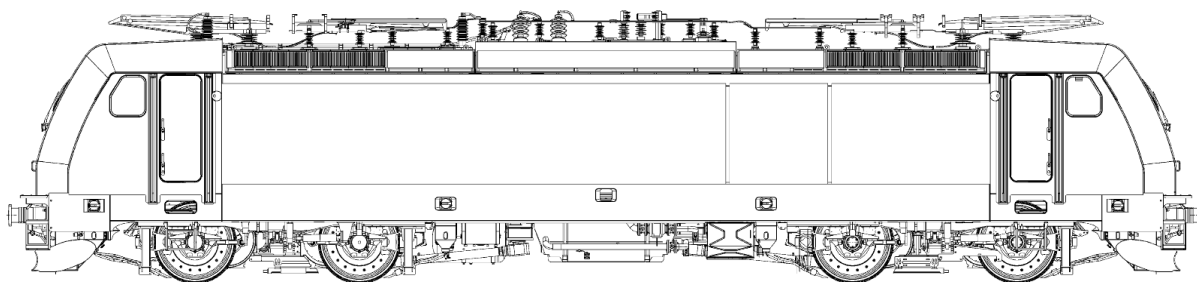
Dopiero w 2012 r. na międzynarodowych targach InnoTrans w Berlinie premierę miały dwie lokomotywy elektryczne czteroosiowe, zaprojektowane i wyprodukowane w kraju – wielosystemowa E4MSU produkcji Newag Gliwice oraz jednosystemowa, dwutrakcyjna 111Ed produkcji PESA Bydgoszcz. Stanowią one jedynie pierwszy z elementów całej rodziny pojazdów o konstrukcji modułowej, przygotowanej przez obu producentów. 111Ed została wyposażona w dwa wózki 2-osiowe typu 111E, zaprojektowane przez Instytut Pojazdów Szynowych „Tabor” w Poznaniu w ramach projektu celowego pt. „Uniwersalna lokomotywa elektryczna wielosystemowa o budowie modułowej na prędkości powyżej 200 km/h” w latach 2009-2012, finansowany z budżetu Ministerstwa Szkolnictwa Wyższego.

2. PRZEGLĄD ROZWIĄZAŃ WÓZKÓW NOWOCZESNYCH LOKOMOTYW CZTEROOSIOWYCH

2.1. Bombardier TRAXX F140 MS

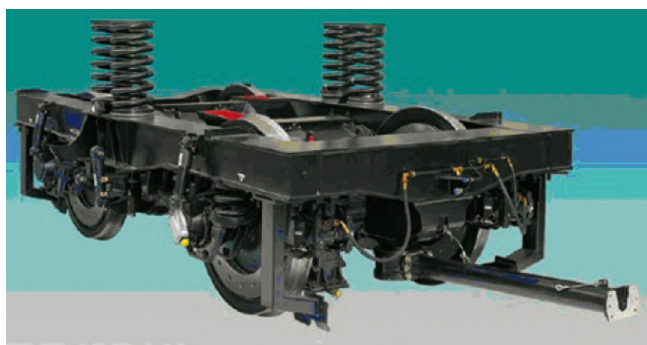
Kanadyjski koncern Bombardier zaprojektował serię lokomotyw elektrycznych i spalinowych, bazujących na wspólnym pudle i wózkach, różniących się wyposażeniem elektrycznym, oznaczonych jako TRAXX. Konstrukcja pojazdów wywodzi się od jednosystemowej lokomotywy, na kolejach DB oznaczonych jako seria 128. Obecnie do serii pojazdów dołączyła lokomotywa hybrydowa, należąca do trakcji elektrycznej, ale wyposażona w dodatkowy agregat prądowórczy, służący do zasilania silników na nieelektryfikowanych bocznicach. Widok przykładowej lokomotywy F140 MS z rodziny TRAXX został przedstawiony na rys. 2.1, natomiast widok wózka znajduje się na rys. 2.2.

Rama wózka została wykonana jako płaska i dwuobwodowa. Maźnica zestawu kołowego połączona jest z ramą wózka za pomocą przewodnika prostego z przegubami gumowo-metalowymi. W I stopniu usprężynowania zastosowano parę sprężyn śrubowych. Do tłumienia ruchów pionowych i poziomych służą tłumiki hydrauliczne. Pudło opiera się na dwóch parach sprężyn wielkogabarytowych. Sprężyny z każdej z par osadzono wzdłuż ostojnicy wózka. Do przenoszenia



Rys. 2.1. Widok lokomotywy TRAXX F140 MS firmy Bombardier [14]

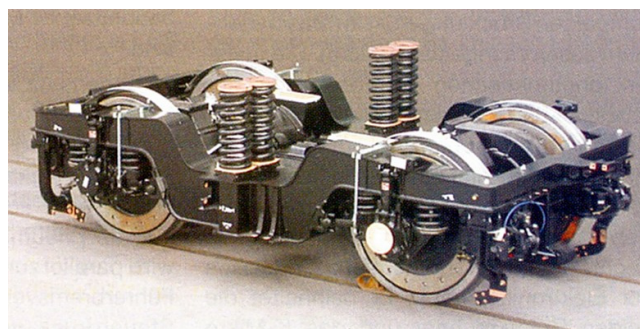
sił pociągowych z wózka na pudło służy ciągle trakcyjne. Silniki z jednej strony przykręcono do środkowej poprzecznicy wózka, a z drugiej osadzono na osi poprzez łożyska toczne.



Rys. 2.2. Widok wózka lokomotywy TRAXX F140 MS [14]

2.2. Siemens ES64F4

ES64F4 jest pierwszym przedstawicielem gamy lokomotyw z rodziny EuroSprinter, zaprojektowanych i wyprodukowanych przez Siemens Mobility. Pierwsze zamówienie na 100 sztuk tej lokomotywy złożyły koleje niemieckie Deutsche Bahn AG w 1999 r. Lokomotywa charakteryzuje się maksymalną prędkością jazdy 140 km/h i przeznaczona jest głównie do prowadzenia pociągów towarowych zarówno krajowych jak i międzynarodowych. Istnieje możliwość podwyższenia prędkości do 160 km/h, co czyni ją atrakcyjną również dla przewozów pasażerskich. Widoki lokomotywy oraz wózka zostały przedstawione na rys. 2.3 oraz 2.4.

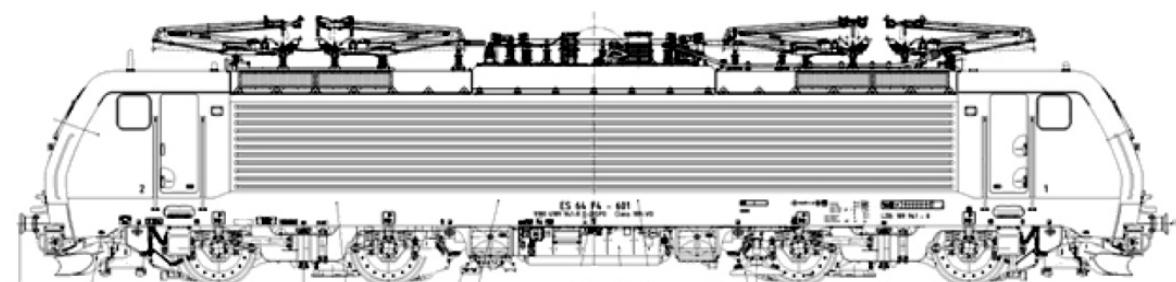


Rys. 2.4. Widok wózka lokomotywy ES64F4 [3]

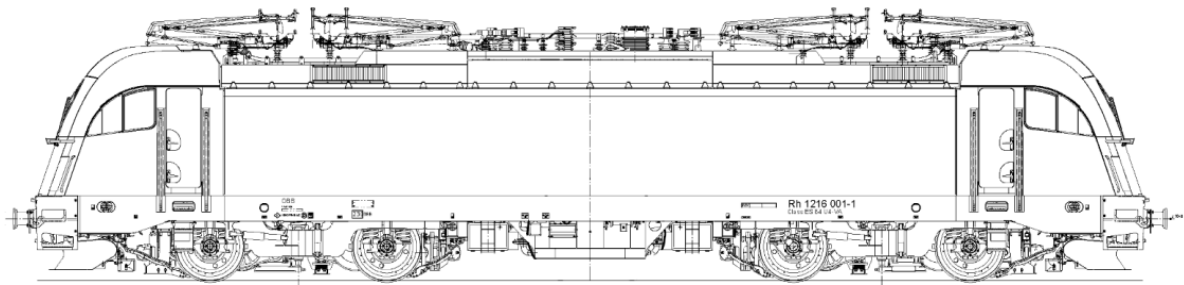
Rama wózka została wykonana jako przestrzenna i dwuobwodowa. Maźnica zestawu kołowego połączona jest z ramą wózka za pomocą prowadnika trójramiennego z przegubami gumowo-metalowymi. W I stopniu usprężynowania zastosowano parę sprężyn śrubowych. Do tłumienia ruchów pionowych i poziomych służą tłumiki hydrauliczne. Pudło opiera się na dwóch parach sprężyn wielkogabarytowych, osadzonych w zagłębieniu ostojnic. Sprężyny z każdej z par osadzono wzdłuż poprzecznej osi wózka. Do przenoszenia sił pociągowych z wózka na pudło służy czop skrzętu. Silniki z jednej strony przykręcono do środkowej belki skrzętowej wózka, a z drugiej osadzono na osi poprzez łożyska toczne.

2.3. Siemens ES64U4

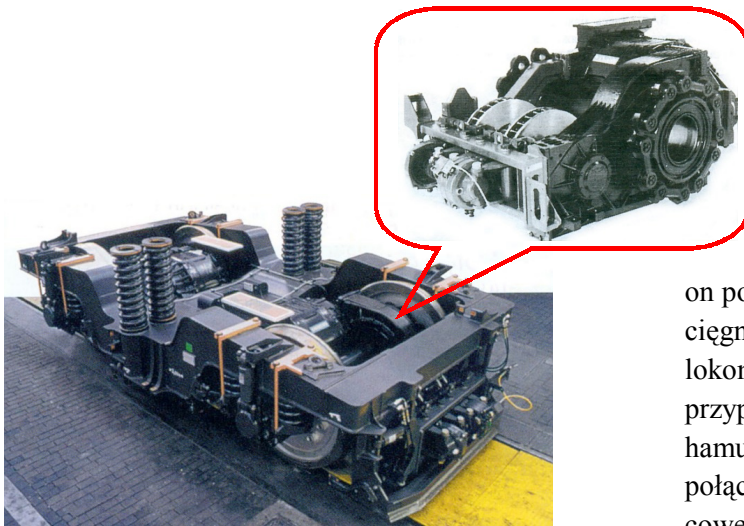
Lokomotywa ES64U4 jest kolejnym przedstawicielem rodziny EuroSprinter, przeznaczonym do pracy uniwersalnej. Jednak jej osiągi spowodowały, że



Rys. 2.3. Widok lokomotywy EuroSprinter ES64F4 firmy Siemens [15]



Rys. 2.5. Widok lokomotywy EuroSprinter ES64U4 firmy Siemens [15]



Rys. 2.6. Widok wózka oraz zespołu napędowego i hamulcowego lokomotywy ES64U4 [3]

jest wykorzystywana głównie w przewozach pasażerskich. Jeden z wyprodukowanych egzemplarzy lokomotywy oznaczonej jako 1216 025-5 w dniu 2 września 2006 r. ustanowił rekord prędkości pojazdu konwencjonalnego. Podczas jazd próbnych w okolicach Norymbergi osiągnął prędkość 357 km/h. Lokomotywy od 2008 r. w ilości 10 sztuk eksploatowane są również w Polsce przez przewoźnika PKP Intercity.

Widoki lokomotywy ES64U4 oraz wózka zostały przedstawione na rys. 2.5 i 2.6.

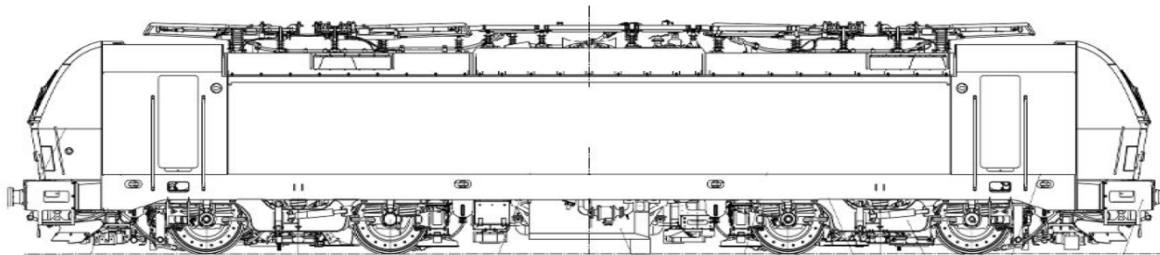
Rama wózka została wykonana jako przestrzenna i dwuobwodowa. Maźnica zestawu kołowego połączona jest z ramą wózka za pomocą prowadnika trójramiennego z przegubami gumowo-metalowymi. W I stopniu usprężynowania zastosowano parę sprężyn śrubowych. Do tłumienia ruchów pionowych i poziomych służą tłumiki hydrauliczne. Pudło opiera się na dwóch parach sprężyn wielkogabarytowych, osadzonych w zagłębieniu podłużnic. Sprężyny z każdej z par osadzono wzdłuż poprzecznej osi wózka. Do przenoszenia sił pociągowych z wózka na pudło służy czop skrzytu z prowadnikiem. Napęd lokomotywy ES64U4 jest przenoszony z silników prądu przemiennego poprzez przekładnię zębatą na wał drażony. Jest

on połączony ze sprzęgłem sześciocięglowym, którego ciągną przykręcone są do koła. Głównym hamulcem lokomotywy jest hamulec elektrodynamiczny. W przypadku zbyt małej siły hamowania załączany jest hamulec cierny. Z dużym kołem zębatym przekładni połączone jest również małe koło zębate wału hamulcowego, na którym znajdują się dwie wentylowane tarcze hamulcowe z zaciskami.

2.4. Siemens Vectron

Lokomotywy z rodziny Vectron, wyprodukowane przez Siemens Mobility są pojazdami uniwersalnymi, przeznaczonymi zarówno do pracy w pociągach pasażerskich jak i w towarowych. Wózki wszystkich odmian pojazdów zostały przystosowane do prędkości 200 km/h, niezależnie od parametrów lokomotywy. Wózki mogą zostać wyposażone w aktywne tłumiki wężykowania, których odpowiednie sterowanie zmniejsza siły prowadzące podczas przejazdu przez łuki toru, co w konsekwencji pozytywnie wpływa na zmniejszenie zużycia koła. W 2012 r. na targach Innotrans w Berlinie miała miejsce premiera nowej lokomotywy z rodziny Vectron, zasilanej prądem przemiennym i wyposażonej dodatkowo w agregat prądotwórczy, umożliwiającą manewry na niezelektryfikowanych bocznicach.

Widoki lokomotywy oraz wózka zostały przedstawione na rys. 2.7 i 2.8.



Rys. 2.7. Widok lokomotywy Vectron DC X4-C02 [15]

Rama wózka została wykonana jako przestrzenna i dwuobwodowa. Maźnica zestawu kołowego połączona jest z ramą wózka za pomocą prowadnika trójramiennego z przegubami gumowo-metalowymi. W I stopniu usprężynowania zastosowano parę sprężyn śrubowych. Do tłumienia ruchów pionowych i poziomych służą tłumiki hydrauliczne. Pudło opiera się na dwóch parach sprężyn typu „flexicoil”, osadzonych w zagłębieniu podłużnic. Sprężyny z każdej z par osadzono wzdłuż poprzecznej osi wózka. Do przeniesienia sił pociągowych z wózka na pudło służy czop skrzytu. Silniki z jednej strony przykręcono do środkowej poprzecznicy wózka, a z drugiej osadzono na osi poprzez łożyska toczne, umożliwiające przesuw osi.

Podstawowe dane techniczne lokomotyw oraz własności ich układów biegowych zostały przedstawione w tabeli 2.1.



Rys. 2.8. Widok wózka lokomotywy X4-C02

3. LOKOMOTYWA DWUTRAKCYJNA TYPU 111Ed

Lokomotywa 111Ed została wyprodukowana w 2012 r. przez zakłady PESA w Bydgoszczy jako pierwsza z rodziny lokomotyw modułowych „Gama”, w której znaleźć się mają pojazdy w różnych konfiguracjach, przedstawionych w tabeli 3.1.

Zestawienie podstawowych parametrów nowoczesnych lokomotyw 4-osiowych

Tabela 2.1.

Parametr	Jedn.	F140 MS TRAXX MS	ES64F4 EuroSprinter	ES64U4 EuroSprinter	X4-C02 Vectron DC
Producent	-	Bombardier	Siemens	Siemens	Siemens
Vmax	km/h	160	140	230	160
Masa służbowa	t	84	87	87	80,5
Baza lokomotywy	mm	10390	9900	9900	9500
Baza wózka	mm	2600	2900	3000	3000
Prowadzenie zestawu kołowego	-	prowadnik trójramienny	prowadnik trójramienny	prowadnik trójramienny	prowadnik trójramienny
Usprężynowanie I stopnia	-	sprężyny śrubowe	sprężyny śrubowe	sprężyny śrubowe	sprężyny śrubowe
Usprężynowanie II stopnia	-	4 sprężyny flexicoil	4 sprężyny flexicoil	4 sprężyny flexicoil	4 sprężyny flexicoil
Oparcie pudła na wózku	-	4 sprężyny flexicoil	4 sprężyny flexicoil	4 sprężyny flexicoil	4 sprężyny flexicoil
Przeniesienie sił pociągowych	-	ciągło trakcyjne	czop skrzytu	czop skrzytu z prowadnikiem	czop skrzytu
Max moc silników	kW	5600	6400	6400	5200
Zawieszenie silnika	-	za nos, łożyskowane tocznie	za nos, łożyskowane tocznie	drażek reakcyjny	za nos, łożyskowane tocznie
Przeniesienie napędu	-	b/d	sprzęgło membranowe	wal drażony i łączniki przegubowe	sprzęgło wielopłytkowe
Hamulce	-	tarczowe na kołach	tarczowe na kołach	tarczowe na wale hamulcowym	tarczowe na kołach
Średnica koła w stanie nowym / zużytych	mm	1250/1170	1250/1170	1150/1070	1250/1170
Min. promień łuku	m	100	80	90	80
Oś	-	b/d	drażona	drażona	drażona

Podstawowe parametry lokomotyw z rodziny „Gama” Tabela 3.1.

Typ pojazdu	Typ lokomotywy	Zasilanie	Układ osi	Przeznaczenie	Prędkość maks.	Uwagi
111Ea	elektryczna	3 kV DC	Bo'Bo'	towarowa	140 km/h	---
111Eb	elektryczna	3 kV DC	Bo'Bo'	uniwersalna	160 km/h	---
111Ec	elektryczna	3 kV DC	Bo'Bo'	towarowa	140 km/h	system Marathon
111Ed	elektryczna	3 kV DC	Bo'Bo'	uniwersalna	160 km/h	system Marathon
111Ee	elektryczna	3 kV DC 15 kV 16,7 Hz 25 kV 50	Bo'Bo'	towarowa	140 km/h	---
111Ef	elektryczna	3 kV DC 15 kV 16,7 Hz 25 kV 50	Bo'Bo'	uniwersalna	160 km/h	---
111Eg	elektryczna	3 kV DC	Bo'Bo'	pasażerska	189 km/h	---
111Eh	elektryczna	3 kV DC 15 kV 16,7 Hz 25 kV 50	Bo'Bo'	pasażerska	189 km/h	---
111DEa	spalinowo - elektryczna	---	Bo'Bo'	towarowa	140 km/h	---
111DEb	spalinowo - elektryczna	---	Bo'Bo'	uniwersalna	160 km/h	---

Ogólny widok lokomotywy został przedstawiony na rys. 3.1, natomiast podstawowe parametry, charakteryzujące opisywany pojazd podano w tabeli 3.2.

111Ed spośród wielu lokomotyw elektrycznych wyróżnia się zabudową dodatkowego agregatu prądotwórczego systemu „Marathon” (silnik spalinowy Caterpillar C15 ACERT sprzęgnięty z prądnicą prądu przemiennego typu GLp 500 S4 firmy EMIT Żychlin o mocy 420 kVA), służącego do zasilania silników trakcyjnych w przypadku braku napowietrznej sieci trakcyjnej. System ten służy do manewrów ze składem wagonowym na końcowych lub początkowych odcinkach pracy trakcyjnej i jest przeznaczony głównie dla przewoźników towarowych. Podczas jazdy przy zasilaniu z agregatu prądotwórczego maksymalna prędkość ograniczona jest do 40 km/h przy zachowaniu pełnej siły pociągowej przy rozruchu. Przy pracy na agregacie prądotwórczym lokomotywa może przejechać ok. 40 km.

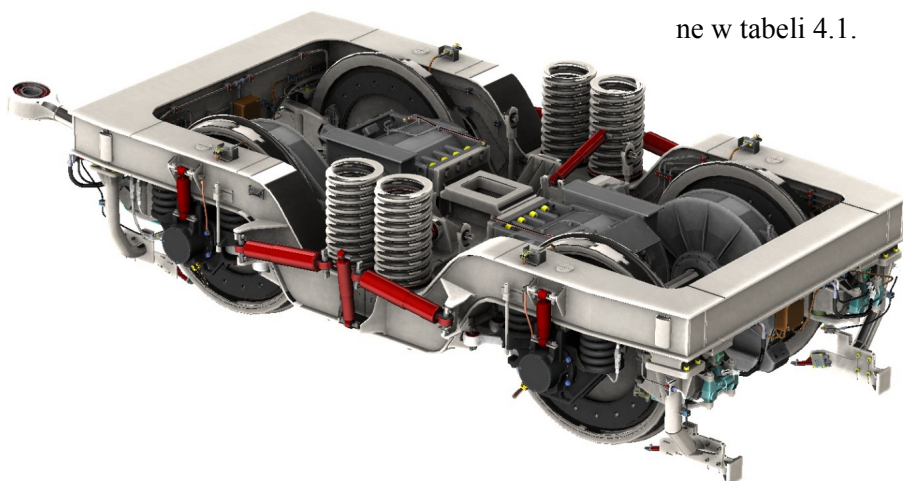


Rys. 3.1. Widok lokomotywy typu 111Ed

Podstawowe parametry lokomotywy typu 111Ed Tabela 3.2.

Parametr	Jedn.	Wartość
Układ osi	-	Bo'Bo'
Długość ze zderzakami	mm	19 500
Max szerokość	mm	3 000
Wysokość (pantograf opuszczony)	mm	4 000
Baza lokomotywy	mm	10 700
Baza wózka	mm	2 800
Średnica kół nowych / zużytych	mm	1 250 / 1 170
Max siła pociągowa	kN	300
Max siła hamowania ED	kN	150
Masa własna	t	80
Masa służbowa	t	82
Minimalny promień łuku toru, przez który może przejechać lokomotywa	m	80
V_{max}	km/h	160
V_{max} przy zasilaniu agregatem	km/h	40
Ilość i moc ciągła silników trakcyjnych	kW	4 x 1 400 = 5 600
Rodzaj hamulca	-	elektrodynamiczny ED elektropneumatyczny EP zespolony pneumatyczny lokomotywy sprężynowy postojowy BP

Lokomotywa 111Ed po pierwszych próbach na torach producenta została skierowana na badania na tor doświadczalny w Węglewie k. Żmigrodu, należący do Instytutu Kolejnictwa w Warszawie. Po uzyskaniu tymczasowego dopuszczenia do ruchu, w porozumieniu z przewoźnikiem towarowym Lotos Kolej i pasażerskim PKP Intercity przeszła eksploatację nadzorowaną.



Rys. 4.1. Wizualizacja wózka lokomotywowego typu 111E

Podstawowe dane techniczne wózka 111E Tabela 4.1.

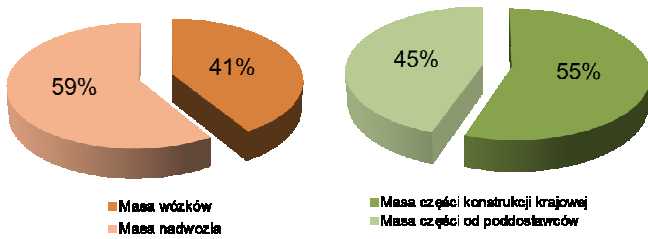
Parametr	Wartość
Przeznaczenie	lokomotywy rodziny „Gama”
Masa wózka [kg]	17 000 ± 3%
Moc silnika [kW]	1 400
Przełożenie przekładni	4,808
Baza wózka [mm]	2 800
Prędkość maksymalna [km/h]	160
Szerokość toru [mm]	2 450
Średnica koła nowego / zużytego [mm]	Ø1 250/ Ø1 170
Szerokość wieńca koła [mm]	140
Rozstaw środków maźnic [mm]	2 100
Usprężynowanie	dwustopniowe
Ugięcie statyczne usprężynowania I-go i II-go stopnia dla lok. o masie 82 t [mm]	234
Przesuw poprzeczny wózka względem pudła [mm]	50
Najmniejszy promień łuku toru przez który może przejechać lokomotywa o bazie 10,7m [m]	80
Wymiary czopa osi [mm]	Ø160x205
Skrajnia wózka	wg UIC 505-1 [5]

4. BUDOWA WÓZKA TYPU 111E

Wózek 111E umożliwia jazdę dwukierunkową z prędkością nie większą niż 160 km/h. Maksymalny nacisk statyczny zestawu kołowego na tor wynosi 201 kN. Eksploatacja wózka jest możliwa w zakresie temperatur otoczenia z przedziału -30°C ÷ +60°C. Podstawowe dane techniczne wózka zostały przedstawione w tabeli 4.1.

Wizualizację wózka typu 111E przedstawiono na rys. 4.1.

Procentowe udziały mas wózków w masie całego pojazdu oraz mas części konstrukcji krajowej w całkowitej masie części zostały przedstawione na rys. 4.2.

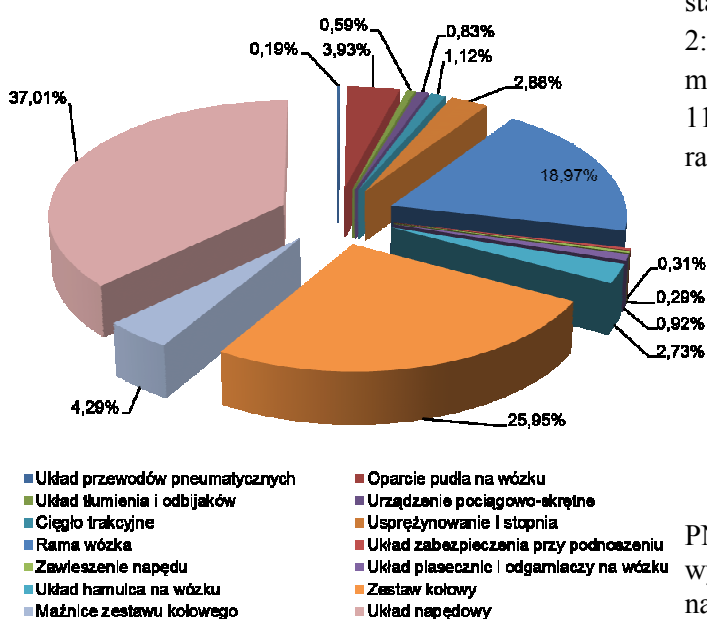


Rys. 4.2. Udział masowy:

a) wózków w masie całego pojazdu; b) części konstrukcji własnej w całkowitej masie części

Masa wózków stanowi ok. 40% masy całego pojazdu. Komponenty zamawiane u poddostawców – na ogół skatalogowane – stanowią 45% masy wózka, a pozostała część stanowi masę elementów dedykowanych i konstruowanych dla konkretnego typu wózka. Zawarte na rys. 4.2. b) dane pokazują trendy w obecnie projektowanych konstrukcjach – wiele komponentów wózka jest skatalogowanych, często gotowych do użycia i wymagających tylko odpowiednich warunków zabudowy. Do najważniejszych grup, które stanowią konstrukcję własną, przeznaczoną do wózka 111E można zaliczyć ramę z częściami przyspawanymi, zestaw kołowy, usprężynowanie I-go i II-go stopnia, układ przeniesienia napędu oraz układ wsporników piasecznic i odgarniaczy.

Rama wózka została wykonana jako konstrukcja spawana o przekroju zamkniętym. Zastosowano zestawy kołowe monoblokowe z kołami o średnicy nominalnej okręgu tocznego równej $\varnothing 1250\text{mm}$. Do prowadzenia zestawu kołowego służy prowadnik



Rys. 4.3. Procentowy udział mas poszczególnych zespołów konstrukcyjnych wózka w masie całkowitej wózka

trójramienny. Usprężynowanie I stopnia zrealizowano poprzez zastosowanie stalowych sprężyn śrubowych. W II stopniu usprężynowania zastosowano dwie pary sprężyn wielkogabarytowych (po jednej parze na stronę wózka), ułożonych w osi wzdłużnej wózka. Do napędu pojazdu służą asynchroniczne silniki trakcyjne, z których napęd jest przekazywany poprzez podatne sprzęgło wielopłytkowe na przekładnię walcową i z niej na zestaw kołowy. Przeniesienie siły pociągowej zrealizowano za pomocą skośnego cięgła trakcyjnego. Do tłumienia drgań pionowych, poprzecznych oraz wężykowania służą tłumiki hydrauliczne. Hamowanie jest realizowane poprzez cztery cylindry hamulcowe, dociskające okładziny do tarcz hamulcowych, przykręcanych do kół. Układ wyposażony jest w system przeciwpoślizgowy. W maźnicach zestawów kołowych znajdują się bezobsługowe łożyska toczne. Do zabezpieczenia wózka przed opadnięciem na tor przy podnoszeniu służy układ wieszaków. W celu zminimalizowania zużycia obrzeży kół zastosowano układ smarowania.

Na rys. 4.3 przedstawiono udział procentowy mas poszczególnych grup konstrukcyjnych w masie całkowitej wózka.

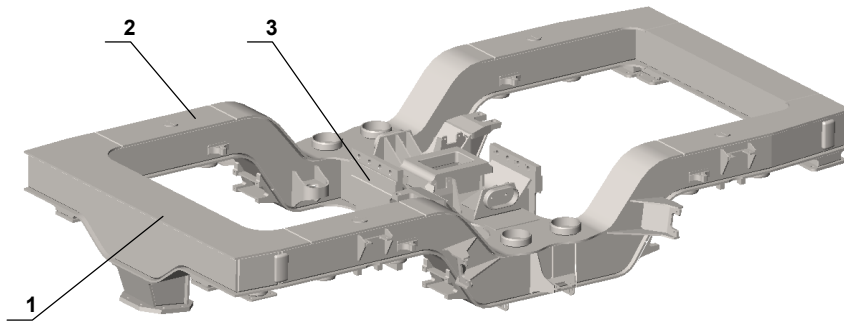
4.1. Rama wózka

Rama wózka stanowi konstrukcję spawaną, składającą się z dwóch ostojnic, połączonych w środku belką skrętową oraz dwiema czołownicami. Do budowy ramy zostały wykorzystane elementy wykonane ze stali S355J2+N według normy PN-EN 10025-2:2005(U) [7]. Podstawowe własności mechaniczne materiału zastosowanego do budowy ramy wózka typu 111E zostały podane w tabeli 4.2, a widok modelu ramy przedstawiono na rys. 4.4.

Podstawowe dane techniczne stali S355J2 [7] Tabela 4.2.

Material	Grubość elementu [mm]	Granica plastyczności R_c [MPa]	Wytrzymałość doraźna R_m [MPa]
S355J2	<16	355	470-630
	?16	345	

W oparciu o wymagania zawarte w normie PN-EN 13749:2011 [12] przeprowadzono obliczenia wytrzymałości statycznej i zmęczeniowej ramy dla nacisku pojedynczego zestawu kołowego na tor równego 22,5 t. Model obliczeniowy ze względu na niesymetryczność obciążeń i budowy obejmował całą konstrukcję nośną ramy wózka.



Rys. 4.4. Rama wózka lokomotywowego typu 111E
 Oznaczenia: 1 – czołownica, 2 – ostojnica, 3 – belka skrętowa

W modelu obliczeniowym uwzględniono wszystkie elementy mające wpływ na pracę układu nośnego oraz właściwe zamodelowanie wprowadzenia i odebrania analizowanych obciążeń. Wymiary geometryczne i kształty poszczególnych elementów przyjęto na podstawie dokumentacji konstrukcyjnej [2]. Konstrukcja spawana spełnia wymagania normy PN-EN 15085-1+A1:2013-09E [13].

Po przeprowadzeniu analizy wytrzymałościowej ramy wózka stwierdzono, że poziom naprężeń powstających w ramie wózka dla obciążeń określonych w normie PN-EN 13749:2011 [12] nie przekracza wartości dopuszczalnych, co potwierdza dostateczną wytrzymałość ramy dla wszystkich zdefiniowanych przypadków.

Ze względu na fakt powstawania w procesie spawania ramy naprężeń spawalniczych zalecono przeprowadzenie odprężania wibracyjnego celem znaczącej redukcji naprężeń spawalniczych. Zabieg ten pozwala na uzyskanie stabilizacji wymiarowej ramy oraz wpływa na podwyższenie trwałości eksploatacyjnej ramy. Naprężenia resztkowe w spawanych ramach wózków pojazdów szynowych są nieodłącznie związane z przemianami fazowymi w procesach spawania. Występują także przy obróbce mechanicznej. Ich występowanie wpływa negatywnie na stabilność wymiarową konstrukcji wózka, powodując w długim czasie jego odkształcenia (odkształcenia zwłoczne) a także zwiększając podatność na pęknięcie i korozję naprężeniową. Miejsca koncentracji tych naprężeń stanowią karby zmniejszające wytrzymałość zmęczeniową [16]. Dlatego też istotą odprężania wibracyjnego jest doprowadzenie obrabianego elementu do odkształceń dynamicznych. Stosuje się w tym celu zabieg zwany odprężaniem wibracyjnym rezonansowym, polegający na doprowadzaniu elementu do drgań rezonansowych, a więc takich, w których częstotliwość wibratora zgodna jest z częstotliwością drgań własnych elementu [16].

4.2. Zestaw kołowy

Zestaw kołowy został zaprojektowany dla maksymalnego nacisku na tor równego 22,5 t. Zestaw składa się z dwóch kół monoblokowych o średnicy toczonej $\varnothing 1250$ mm wtloczonych na oś. Na każdym kole zamontowane są dwie tarcze hamulcowe. Widok zestawu kołowego do wózka typu 111E został przedstawiony na rys. 4.5.



Rys. 4.5. Widok modelu zestawu kołowego wózka lokomotywowego typu 111E

Oś zestawu kołowego została wykonana ze stali ulepszonej cieplnie, oznaczonej jako EA4T, zgodnie z normą PN-EN 13261+A1:2011 [9]. Masa osi jest równa 529 kg. W środku obrotu osi wykonano otwór przelotowy o średnicy $\varnothing 80$ mm. Taka konstrukcja umożliwia przeprowadzenie badań defektoskopowych na całej długości osi drążonej, bez konieczności demontażu zestawu kołowego oraz łożysk. Istnienie otworu przelotowego nie wpływa w znaczący sposób na zmniejszenie wytrzymałości osi.

Badania osi drążonej wykonuje się w całej objętości materiału poprzez głowice wprowadzane do otworu przelotowego. Dostęp do niego jest utrudniony, dlatego też konieczne jest wykonywanie badań specjalnie przeznaczonym do tego układem, przedstawionym przykładowo w [1]. Badania defektoskopowe osi są badaniami porównawczymi. Otrzymane wyniki odnosi się do wyników otrzymanych w badaniu wzorców osi z określonymi nacięciami. Wzorce badawcze zostały określone w normach i procedurach. Przed dopuszczeniem do badań muszą otrzymać certyfikat,

wydany przez właściwą jednostkę badawczą [1]. Pomiarzy drażonych osi zestawów kołowych pojazdów szynowych przeprowadza się dwoma głowicami o częstotliwości pracy 2 MHz i kącie wprowadzania wiązki 45°, skierowanymi przeciwbieżnie.

Z badaniami defektoskopowymi osi drażonych wiąże się kilka problemów [1]. Konieczny jest stabilny i ciągły kontakt głowicy z osią. Najskuteczniejszym sposobem na jego zapewnienie jest zalanie osi olejem. Podczas pomiarów od miejsca zmiany średnicy osi mogą pojawić się błędy pomiaru, wskazujące na wadę. Aby upewnić się, że wada nie występuje należy dokonać obrotu osi o 360°. Wada nie występuje, jeśli przyrząd wskazuje tą samą wartość na całym obwodzie. Poprawna identyfikacja wskazań chwilowego miejsca badania jest możliwa poprzez zewnętrzne pomiary odległości i kąta obrotu, ale znacznie wygodniejsze i precyzyjne jest zastosowanie rozwiązania konstrukcyjnego z układem identyfikacji położenia.

Dane identyfikacyjne osi zostały naniesione na metalową opaskę, zawieszoną na osi. Zapisano na niej informacje dotyczące numeru zestawu kołowego i jego typu, datę montażu zestawu oraz znak właściciela.

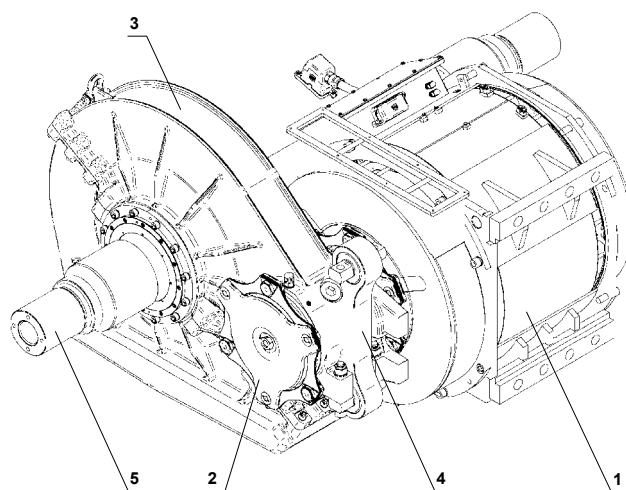
Na osi znajdują się dwa koła monoblokowe, osadzone poprzez wtłaczanie. Wykonano je ze stali ER8, zgodnie z normą PN-EN 13262+A2:2011 [10]. Pojedyncze koło posiada masę nominalną 645 kg. W pobliżu piasty znajduje się otwór, w trakcie normalnej eksploatacji zabezpieczony korkiem. Służy on do stłaczania koła w stanie maksymalnego zużycia z osi. Wieniec koła posiada profil S1002/h28/e32,5/6,7%, zgodny z normą PN-EN 13715:2011+A1 [11].

Do każdego z kół dokręcono za pomocą 18 śrub M12 dwie tarcze hamulcowe, wykonane z żeliwa szarego i dostarczone przez firmę Knorr-Bremse. Każda z nich posiada masę równą 185 kg. Tarcze od strony wewnętrznej posiadają uźebrowanie dla intensyfikacji przepływu powietrza chłodzącego.

4.3. Zespół napędowy

Lokomotywy typu 111Ed zostały wyposażone w zespoły napędowe, składające się z silnika trakcyjnego, sprzęgła oraz przekładni trakcyjnej. Został on zaprojektowany specjalnie dla zastosowania w wózkach nowych lokomotyw typu 111Ed. Widok zespołu napędowego został przedstawiony na rys. 4.6.

Moment obrotowy z wału silnika elektrycznego jest przekazywany na podatne sprzęgło wielopłytkowe typu SRS1000 firmy Kupplungwerk Dresden.



Rys. 4.6. Widok układu napędowego lokomotywy typu 111Ed [4]
Oznaczenia: 1 – silnik trakcyjny typu DKLBZ 4514-4A, 2 – podatne sprzęgło wielopłytkowe typu SRS1000, 3 – przekładnia walcowa typu DURUTRAIL RS1-22-4,81, 4 – drążek reakcyjny, 5 – oś zestawu kołowego

Służy ono do kompensowania przesunięć osiowych, promieniowych i kątowych. Sprzęgło jest połączone z małym kołem zębatym przekładni typu DURUTRAIL RS1-22-4,81. Moment obrotowy jest przekazywany dalej na duże koło zębate, osadzone na osi zestawu kołowego.

Do napędu zastosowano elektryczny silnik trakcyjny typu DKLBZ 4514-4A, wyprodukowany przez firmę VEM Sachsenwerk Dresden. Jest to silnik trójfazowy, klatkowy i asynchroniczny. Podstawowe dane techniczne silnika zostały podane w tabeli 4.3.

Jeden z końców wału wirnika jest połączony z wałem wejściowym przekładni poprzez podatne sprzęgło wielopłytkowe. Silnik nie posiada własnego przewietrzania i do jego chłodzenia służy wymuszony przez oddzielne wentylatory obieg powietrza. Na stojanie po stronie przeciwnej do sprzęgła umieszczono 6 czujników temperatury. Takie same czujniki w ilości 2 sztuk znajdują się w zespole rdzenia stojana. Widok silnika z podziałem na poszczególne podzespoły przedstawiono na rys. 4.7.

Montaż silnika odbywa się w dwóch etapach. Najpierw poprzez odpowiedni wspornik silnik jest osadzany kształtowo w przynależnym gnieździe, znajdującym się we wsporniku przyspawanym do belki skrętowej wózka. Po zakończeniu tej operacji silnik przykręca się do wspornika poprzez 8 śrub M36 z nakrętkami samozabezpieczającymi firmy Flaig& Hommel w celu uniemożliwienia ich odkręcania na skutek drgań występujących podczas jazdy.

Podstawowe dane techniczne silnika DKLBZ 4514-4A

Tabela 4.3.

Parametr	Jedn.	Wartość
Oznaczenie typu	-	DKLBZ 4514-4A
Producent	-	VEM Sachsenwerk
Izolacja	-	VPI, klasa ciepła 200
Wentylacja	-	wymuszona
Stopień ochrony silnika / skrzyni zaciskowej	-	IP 22 / IP 65
Masa silnika	kg	2 155 kg
Moc nominalna	kW	1 400 kW
Napięcie	V	2 340 V
Natężenie prądu	A	398,6 A
Prędkość obrotowa przy mocy nominalnej	obr/min	1 489
Prędkość obrotowa maksymalna	obr/min	3 700
Częstotliwość prądu	Hz	50
Sprawność	%	96,77
Współczynnik cosφ	-	0,90
Moment obrotowy przy mocy nominalnej	Nm	8 976
Moment obrotowy maksymalny	Nm	11 579

Przekładnia trakcyjna typu DURUTRAIL RS1-22-4,81 została wykonana w zakładach Henschel Antriebstechnik Kassel. Jest to jednostopniowa przekładnia walcowa o zębach prostych. Podstawowe parametry przekładni zostały przedstawione w tabeli 4.4.

Podstawowe dane techniczne przekładni DURUTRAIL

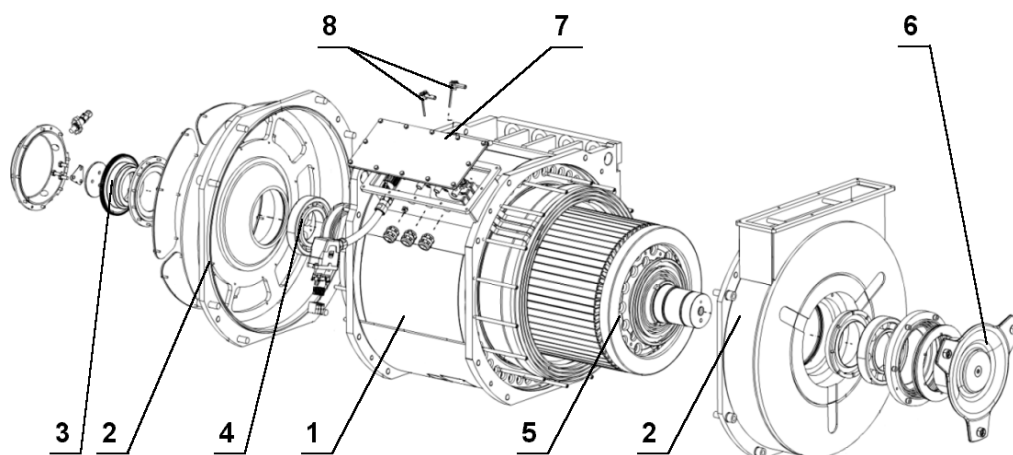
RS1-22-4,81

Tabela 4.4

Parametr	Jedn.	Wartość
Oznaczenie typu	-	DURUTRAIL RS1-22-4,81
Producent	-	Henschel Kassel
Przełożenie	-	4,808
Masa przekładni z osią zestawu kołowego (bez sprzęgła, drążka)	kg	1496
Ilość oleju	l	8÷9

Małe koło zębate jest połączone podatnym sprzęgłem wielopłytkowym z wałem silnika trakcyjnego, natomiast duże koło zębate jest osadzone na osi zestawu kołowego. Całość znajduje się w dwuczęściowej obudowie, wykonanej techniką odlewania z żeliwa sferoidalnego. Część górna jest łączona z częścią dolną poprzez śruby. W tylnej części obudowy znajduje się otwór wlewowy oleju, który służy również za wskaźnik poziomu oleju podczas jego uzupełniania. Korek wlewowy jest wyposażony w preł, posiadający właściwości magnetyczne, służący do wychwytywania zanieczyszczeń oraz produktów zużycia. Dodatkowy otwór inspekcyjny znajduje się od strony bocznej. W jego pobliżu u dołu znajduje się korek spustowy oleju. Nad tabliczką znamionową w pobliżu korka wlewowego oraz w pobliżu drążka reakcyjnego znajdują się dodatkowe otwory inspekcyjne, służące do oceny stanu uzębienia kół zębatach przekładni.

Przekładnia z jednej strony opiera się na osi zestawu kołowego, a z drugiej jest podwieszona do ramy wózka za pomocą drążka reakcyjnego. W przegubach drążka znajdują się elementy gumowo-metalowe, zapewniające pewną podatność. Właściwości przegubów gumowo-metalowych zostały przedstawione w tabeli 4.5.



Rys. 4.7. Widok silnika trakcyjnego typu DKLBZ 4514-4A z podziałem na podzespoły [4]

Oznaczenia: 1 – stojan, 2 – osłony stojana, 3 – nadajnik impulsów, 4 – łożyska toczne, 5 – wirnik, 6 – sprzęgło podatne, 7 – skrzynka zaciskowa, 8 – czujniki temperatury

Właściwości przegubów gumowo-metalowych drążka reakcyjnego
Tabela 4.5.

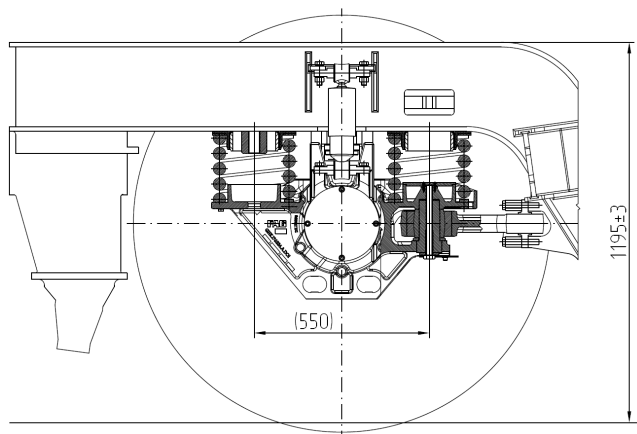
Parametr	Jedn.	Wartość
Sztywność promieniowa	kN/mm	56
Sztywność osiowa	kN/mm	10
Sztywność skrętna	kN/mm	120
Sztywność kardaniczna	kN/mm	75
Dopuszczalny kąt skrętu	°	± 3
Dopuszczalny moment skręcający	Nm/°	60

Taki sposób zawieszenia przekładni powoduje zmniejszenie masy nieusprężynowanej, co w konsekwencji powoduje zmniejszenie niekorzystnego oddziaływania na tor. Dla wózka 111E masa nieusprężynowana jest równa 3,51 t w przeliczeniu na pojedynczy zestaw kołowy.

Zastosowany zespół napędowy umożliwia jazdę lokomotywy z maksymalną prędkością 160 km/h. W celu podwyższenia prędkości do 190 km/h należy zastosować silnik DKLBZ 4515-1 firmy VEM Sachsenwerk Dresden o mocy 1500 kW oraz przekładnię trakcyjną typu Durutrail RS1 22-4,03 firmy Henschel Antriebstechnik Kassel o przełożeniu 4,033. Dla koła o średnicy okręgu tocznego Ø1250 mm i dla maksymalnej prędkości obrotowej silnika elektrycznego równej 3700 obr/min lokomotywa może osiągnąć prędkość maksymalną ok. 216 km/h.

4.4. Usprężynowanie I stopnia i prowadzenie zestawu kołowego

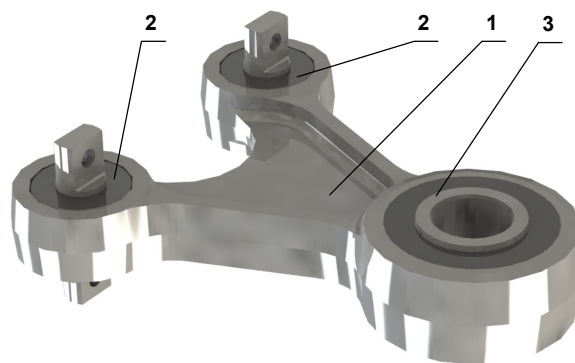
Widok układu prowadzenia zestawu kołowego oraz usprężynowania I stopnia w wózku lokomotywowym typu 111E został przedstawiony na rys. 4.8.



Rys. 4.8. Układ prowadzenia zestawu kołowego oraz usprężynowania I stopnia w wózku 111E

Zestaw kołowy został osadzony w maźnicy produkcji FAG Schweinfurt za pomocą zespołu łożysk walcowych 160x270x170, również firmy FAG. W wózku 111E zastosowano trzy rodzaje maźnic, różniących się wyposażeniem dodatkowym: 4 maźnice ze szczotkami uziemiającymi typu Frost firmy Stemmann Schüttof, 2 maźnice ze szczotkami uziemiającymi, czujnikiem temperatury i prędkości oraz 2 maźnice ze szczotkami uziemiającymi, czujnikami temperatury i prędkości oraz nadajnikiem prędkościomierza.

Prowadzenie zestawu kołowego jest realizowane za pomocą prowadnika trójramiennego firmy GMT, przedstawionego na rys. 4.9. Do mocowania prowadnika do ramy wózka i maźnicy zastosowano przeguby gumowo-metalowe.



Rys. 4.9. Prowadnik trójramienny zastosowany w wózku lokomotywowym typu 111E Oznaczenia: 1 – element kuty, trójramienny, 2 – przeguby zamocowane do ramy wózka, 3 – przegub zamocowany w maźnicy

Przesunięcie pionowe układu prowadzenia jest ograniczone regulowanym odbijakiem metalowym, zbudowanym pomiędzy maźnicą a ramą wózka. Zabezpiecza to jednocześnie zestaw kołowy przed opadnięciem na tor podczas podnoszenia wózka.

W pierwszym stopniu usprężynowania dla każdej maźnicy zastosowano parę sprężyn śrubowych, osadzonych w korpusie maźnicy. Sprężyny wykonano ze stali sprężynowej 52CrMoV4+HH zgodnie z normą PN-EN 10089:2005P [8]. Wymagana wysokość sprężyn jest wynikiem zastosowania podkładek regulacyjnych. W celu izolacji prądowej pod każdą sprężyną zamontowano podkładki wykonane z materiału nieprzewodzącego. Ruch wzdłużny maźnicy jest uniemożliwiony dzięki prowadnikowi trójramiennemu, a ruch poprzeczny ograniczany jest za pomocą odbijaków poprzecznych i nie jest regulowany.

Do wygaszania drgań układu zastosowano pionowy tłumik hydrauliczny typu 01.55.635 firmy GEREP Suderburg. Dla zabezpieczenia elektrycznego układu zastosowano linkę uziemiającą, łączącą maźnicę z ramą wózka.

Właściwości układów I stopnia usprężynowania oraz prowadzenia zestawu kołowego w wózku 111E zostały przedstawione w tabeli 4.6.

Właściwości I stopnia usprężynowania i prowadzenia zestawu w wózku 111E Tabela 4.6.

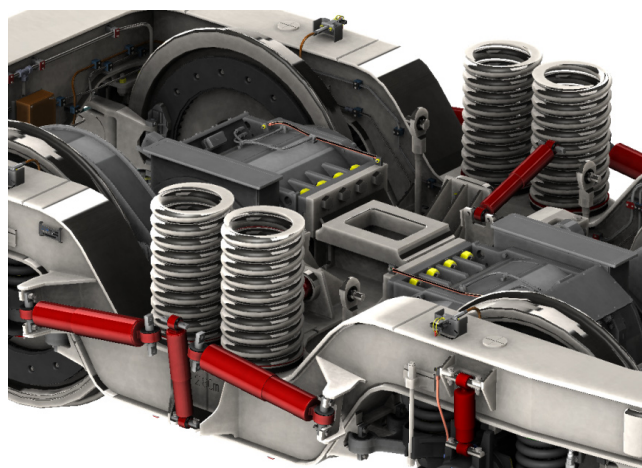
Parametr	Jedn.	Wartość
Średnica pręta sprężyny	mm	39
Kierunek zwijania sprężyny	-	prawy
Średnica podziałowa sprężyny	mm	219
Średnica zewnętrzna sprężyny	mm	258
Średnica wewnętrzna sprężyny	mm	180
Całkowita ilość zwojów sprężyny	-	5
Ilość zwojów czynnych sprężyny	-	3,5
Długość sprężyny nieobciążonej	mm	280
Długość sprężyny pod obciążeniem	mm	211
Podatność sprężyny	mm/kN	1,62
Ugięcie sprężyny max. obciążonej	mm	93
Miękkość / sztywność usprężynowania I stopnia	mm/kN kN/mm	0,2023 4,9432
Sztywność wzdłużna prowadnika	kN/mm	7 ± 15%
Sztywność poprzeczna prowadnika	kN/mm	10 ± 15%
Siła tłumienia tłumika przy V=0,1 m/s	kN	2
Siła tłumienia tłumika przy V=0,3 m/s	kN	3
Max. przesuw poprzeczny zestawu kołowego względem ramy wózka	mm	10

4.5. Usprężynowanie II stopnia i oparcie pudła na wózku

Układ usprężynowania II stopnia i oparcia pudła na wózku 111E został przedstawiony na rys. 4.10.

Pudło lokomotywy opiera się na dwóch parach wielkogabarytowych sprężyn śrubowych, osadzonych w gniazdach w ramie wózka i w pudle. Do ustawiania wysokości sprężyn służą podkładki regulacyjne.

Pomiędzy ramą wózka a pudłem zabudowano 2 pionowe tłumiki hydrauliczne typu 63-01.55.636 firmy GEREP (po jednym na stronę) oraz 2 poziome tłumiki hydrauliczne typu 63-01.55.637, również firmy GEREP. Do tłumienia ruchów wężykowych wózka służą dwa tłumiki hydrauliczne typu 63-01.85.064



Rys. 4.10. Układ usprężynowania II stopnia i oparcia pudła na wózku 111E

firmy GEREP, rozmieszczone względem siebie po przekątnej wózka. Dla lokomotyw o prędkości maksymalnej wyższej niż 160 km/h stosuje się 4 tłumiki wężykowania.

Właściwości układu II stopnia usprężynowania zostały przedstawione w tabeli 4.7.

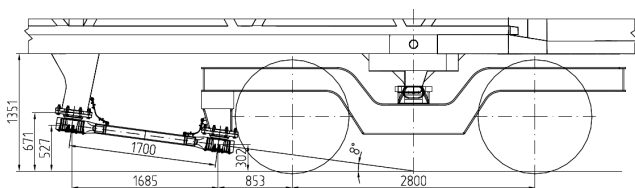
Właściwości II stopnia usprężynowania i oparcia pudła na wózku 111E Tabela 4.7.

Parametr	Jedn.	Wartość
Średnica pręta sprężyny	mm	52
Kierunek zwijania sprężyny	-	prawy
Średnica podziałowa sprężyny	mm	297
Średnica zewnętrzna sprężyny	mm	349
Średnica wewnętrzna sprężyny	mm	245
Całkowita ilość zwojów sprężyny	-	9,5
Ilość zwojów czynnych sprężyny	-	8
Długość sprężyny nieobciążonej	mm	735
Długość sprężyny pod obciążeniem	mm	570
Podatność sprężyny	mm/kN	2,92
Ugięcie sprężyny max. obciążonej	mm	206
Miękkość / sztywność usprężynowania II stopnia	mm/kN kN/mm	0,9333 1,0715
Siła tłumienia tłumika pionowego przy V=0,1 m/s	kN	6
Siła tłumienia tłumika pionowego przy V=0,3 m/s	kN	9
Siła tłumienia tłumika poziomego przy V=0,1 m/s	kN	4

Siła tłumienia tłumika poziomego przy $V=0,3$ m/s	kN	6
Siła tłumienia tłumika wężykowania przy $V=0,001$ m/s	kN	12
Siła tłumienia tłumika wężykowania przy $V=0,1$ m/s	kN	25
Przesuw poprzeczny wózka względem pudła	mm	50
Największy luz między ogranicznikami obrotu	mm	146
Max. kąt skrętu wózka (między ogranicznikami)	°	$4^{\circ}04'15''$

4.6. Przeniesienie sił pociągowych wózek – pudło

Siły pociągowe z ramy wózka na pudło pojazdu są przenoszone poprzez skośnie ustawione ciągło trakcyjne. Widok układu przeniesienia sił trakcyjnych został przedstawiony na rys. 4.11.



Rys. 4.11. Układ przeniesienia sił pociągowych z ramy wózka 111E na pudło lokomotywy

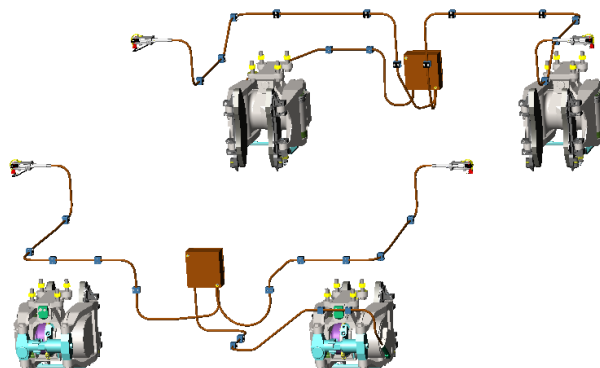
Układ przeniesienia sił trakcyjnych składa się z ciągła trakcyjnego oraz dwóch czopów, przykręcanych do odpowiednich wsporników na ramie wózka i pudle pojazdu. Każdy z czopów przykręcany jest za pomocą 8 śrub M20, natomiast ciągła trakcyjne do każdego z czopów przymocowano poprzez 3 śruby M16, zabezpieczone dodatkowo przed odkręceniem podkładką systemu Nord-Lock. W przypadku uszkodzenia jednego z elementów układu istnieje możliwość jego wymiany.

Ciągło trakcyjne jest nachylone pod kątem 8° do poziomu główki szyny. W gniazdach na obu końcach ciągła umieszczono przeguby gumowo-metalowe typu 715 022 firmy Phoenix. Ich podatność umożliwia swobodne ruchu wózka pod pudłem, ograniczone jedynie poprzez układ odbijaków. Ciągła trakcyjne posiadają zabezpieczenia przed opadnięciem na tor w postaci linek stalowych, dokręcanych do elementów pudła lub ramy wózka.

4.7. Układ hamulcowy

Wózek 111E wyposażony jest w hamulce tarczowe uruchamiane za pomocą sprężonego powietrza i mechanizmów zaciskowych. Tarcze hamulcowe zostały przykręcone do kół zestawów kołowych wózka. Okładziny cierne są zgodne z kartą UIC 541-3 [6]. Mechanizmy zaciskowe przykręcane są do wsporników przyspawanych do dolnych pasów podłużnic wózka. Przy każdej z osi zabudowane są dwa rodzaje cylindrów hamulcowych. Jeden z nich został dodatkowo wyposażony w sprężynowy hamulec postojowy. Mechanizmy zaciskowe uruchamiane są za pomocą pneumatycznych cylindrów hamulcowych, wyposażonych w mechanizmy samoregulacyjne, które uwzględniają zużycie wstawek ciernych i tarcz hamulcowych.

Mechanizm zaciskowy charakteryzuje się budową modułową i składa się z siłownika hamulcowego oraz urządzenia regulacyjnego, zależnego od stopnia zużycia okładzin ciernych i tarcz hamulcowych. Hamulec posiada zbiornik pomocniczy hamulca postojowego zintegrowany w obudowie. Istnieje możliwość mechanicznego odluźniania zbiornika pomocniczego poprzez ręczne uruchamianie za pomocą ciągła lub klucza do odluźniania. Dodatkowo działa układ odluźniania automatycznego zbiornika pomocniczego poprzez tłok z czujnikiem, który służy do rozpoznawania pęknięcia giętkiego przewodu ciśnieniowego (ciśnienie odhamowania). Dźwignie szczęk zostały wykonane jako konstrukcja segmentowa. Na poprzecznicach wózka umiejscowiono 2 dźwignie luzowania (po jednej na stronę wózka) do których podłączono 4 linki odluźniające (dwie na dźwignię) i umiejscowiono je na podłużnicach (po dwie na stronę wózka). Układ odluźniania został przedstawiony na rys. 4.12. Zaletą takiego rozwiązania jest możliwość odluźnienia hamulca z każdej strony pojazdu, ponieważ dźwignia luzowania pozwala na jednoczesne uruchomienie urządzeń do awaryjnego luzowania w maksymalnie czterech urządzeniach hamulcowych.



Rys. 4.12. Rozmieszczenie linek odluźniających, dźwigni oraz cylindrów hamulcowych na wózku 111E

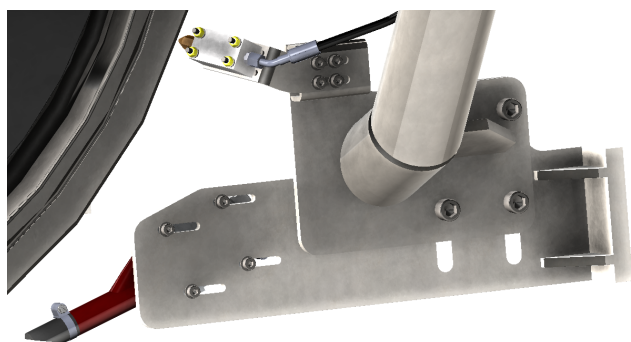
4.7. Układ piaskowania i smarowania obrzeży kół

W lokomotywie 111Ed zastosowano układ likwidacji poślizgu przy rozruchu i hamowaniu. Jednym z jego elementów jest układ piaskowania powierzchni tocznych kół zestawu kołowego. Jego elementem wykonawczym jest podgrzewana dysza z urządzeniem piaskującym typu C86022, dostarczona przez firmę Knorr Bremse. Zbiornik piasku został zabudowany w nadwoziu pojazdu.

W celu zmniejszenia zużycia obrzeży kół oraz ustalenia kryterium odnowy profilu koła wyłącznie zużycia powierzchni tocznej na lokomotywie zabudowano układ smarowania obrzeży kół systemu Railjet firmy Bijur Delimon. Elementem wykonawczym systemu są dysze, zabudowane na wspólnym wsporniku z dyszami piaskującymi. Możliwa jest regulacja ich położenia w zależności od zużycia zestawu kołowego. Zbiornik środka smarnego oraz urządzenie sterujące pracą układu zamontowano w nadwoziu lokomotywy.

Układ smarowania obrzeży kół załącza się automatycznie po osiągnięciu przez pojazd prędkości minimalnej, określonej w sterowniku. Podczas jazdy w danym kierunku smar natryskiwany jest na koła poprzez dysze na zestawach prowadzących wózków, czyli na 1. oraz 3. osi lokomotywy, patrząc od kierunku jazdy.

Widok elementów wykonawczych układów piaskowania i smarowania obrzeży kół został przedstawiony na rys. 4.13.



Rys. 4.13. Widok elementów wykonawczych układu piaskowania i smarowania obrzeży kół wózka 111E

4.9. Wyposażenie dodatkowe

Poza podstawowymi grupami konstrukcyjnymi na wózku 111E zabudowano również układ przewodów pneumatycznych oraz elektrycznych. W skład

układu przewodów pneumatycznych wchodzi przewody powietrzne z rur nierdzewnych, elastyczne przewody przyłączeniowe cylindrów hamulcowych i układu smarowania obrzeży kół, złączki grodziowe (umieszczone na dolnych pasach czołownicy), złączek prostych, kątowych i trójkątnych wyposażonych w uszczelniające pierścienie odcinające oraz z zespołów obejm.

Na wózku konieczne było poprowadzenie połączeń elektrycznych, doprowadzających zasilanie 24V DC do urządzeń, doprowadzających i odbierających sygnały z czujników oraz połączeń elektrycznych poszczególnych elementów wózka, tzn.: grzałki dyszy piaskującej, urządzeń uziemiających na maźnicach, czujników zabudowanych w maźnicach oraz do czujników prędkości obrotowej na silniku trakcyjnym. Osłony przewodów elektrycznych wykonano z przewodów ochronnych PMA. Wszystkie przewody i złącza wykonano w klasie izolacji IP68. Przewody elektryczne 24V DC są podłączone do gniazda złącza Harting, zamontowanego na dolnym pasie poprzecznicy ramy wózka. Przewody wysokoprądowe urządzeń uziemiających (3 kV DC) doprowadzono bezpośrednio z pudła lokomotywy do szczotek uszyniających, zabudowanych na maźnicach. Ponadto na wózku zastosowano połączenia elektryczne przewodami uziemiającymi maźnice z ramą wózka oraz silniki trakcyjne z ramą.

W celu podniesienia estetyki wykonania wózka wszystkie przewody oraz rury w miarę możliwości zostały poprowadzone od strony wewnętrznej lub dolnej.

5. WNIOSKI

Wózek 111E został opracowany w celu zastosowania go pod lokomotywami elektrycznymi i spalinowo-elektrycznymi z rodziny „Gama”. Zastosowane rozwiązania umożliwiają jazdę z maksymalną prędkością 160 km/h.

Wózek stanowi zwartą, kompaktową konstrukcję, co jest korzystne z punktu widzenia ewentualnego rozmieszczenia urządzeń podłogą lokomotywy. Podstawowe elementy wózka jak rama, zestaw kołowy (koła i osie), maźnica, sprężyny I stopnia i wahacz są w stanie przenieść obciążenia wynikające z nacisku zestawu kołowego na tor równego 22,5 t. Wózek może obsłużyć rodzinę lokomotyw o masie brutto zawierającej się w przedziale 80÷90 t, przy czym wymagane są tylko nieznaczne modyfikacje pozostałych elementów tzn. usprężynowania II stopnia oraz tłumików

hydraulicznych (poziomych, pionowych oraz wężykowania). W przypadku budowy lokomotywy o prędkości 189 km/h konieczna będzie wymiana układu silnik-przekładnia, przy czym przełożenie przekładni będzie wynosiło $i = 4,033$. Przy wymianie zespołu jego punkty mocowania wsporników na ramie pozostaną w tych samych miejscach. Wózek jest wyposażony w hamulce tarczowe, co gwarantuje w przypadku ich użycia niższy poziom emisji hałasu w stosunku do lokomotyw tradycyjnych, posiadających hamulce klockowe. Lokomotywa jest wyposażona jako jedna z pierwszych pojazdów tego typu w koła monoblokowe ze stali ER8.

Wózek 111E wpisuje się w aktualne tendencje rozwojowe układów biegowych lokomotyw liniowych. Jego konstrukcja stanowi skok rozwojowy w stosunku do dotychczas projektowanych wózków lokomotywo- wych w Polsce. Cechują go nowoczesne rozwiązania, w niczym nie odbiegająca od europejskich standar- dów, kreowanych przez czołowych producentów tabo- ru. Dzięki swojej uniwersalności może zostać zabu- dowany pod każdą z lokomotyw rodziny „Gama”, produkowanych przez zakłady PESA Bydgoszcz.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Michnowski Wł., Mierzwa J., Machala P., Uchroński P., *Badanie kolejowych zestawów kołowych, materiały konferencji DEFEKTOSKOPIE 2011, 9 – 11 listopada 2011, Ostrawa, Czechy*
- [2] 111E-0116-3-1, *Sprawozdanie z analizy wytrzymałości ramy wózka 111E, praca wewnętrzna IPS „Tabor” Poznań, niepublikowana, marzec 2012*
- [3] OR-9670, *Przegląd i badania rozwiązań technicznych stosowanych w lokomotywach elektrycznych na prędkość powyżej 200 km/h, praca wewnętrzna IPS „Tabor” Poznań niepublikowana, grudzień 2009*
- [4] *Dokumentacja konstrukcyjna wózka lokomotywowego typu 111E*
- [5] UIC 505-1 *Pojazdy kolejowe. Skrajnia pojazdów, maj 2006*
- [6] UIC 541-3 *Hamulec. Hamulec tarczowy i jego zastosowanie. Ogólne warunki dopuszczenia okładzin hamulcowych, listopad 2006*
- [7] PN-EN 10025-2:2005(U), *Wyroby walcowane na gorąco ze stali konstrukcyjnych – Część 2: Warunki techniczne dostawy stali niestopowych.*
- [8] PN-EN 10089:2005P, *Stale walcowane na gorąco na sprężyny ulepszone cieplnie – Warunki techniczne dostawy*
- [9] PN-EN 13261+A1:2011, *Kolejnictwo – Zestawy kołowe i wózki – Osie – Wymagania dotyczące wyrobu*
- [10] PN-EN 13262+A2:2011, *Kolejnictwo – Zestawy kołowe i wózki – Koła – Wymagania dotyczące wyrobu*
- [11] PN-EN 13715:2011+A1, *Kolejnictwo – Zestawy kołowe i wózki – Koła – Zarysy zewnętrzne wieńców kół*
- [12] PN-EN 13749:2011, *Kolejnictwo – Zestawy kołowe i wózki – Metody określania wymagań konstrukcyjnych dla ram wózków*
- [13] PN-EN 15085-1+A1:2013-09E, *Kolejnictwo – Spawanie pojazdów szynowych i ich części składowych – Część 1: Po- stanowienia ogólne*
- [14] *Materiały reklamowe firmy Bombardier Transportation*
- [15] *Materiały reklamowe firmy Siemens Mobility*
- [16] *Strona internetowa: www.wibropol.eu (dostęp: 17.10.2013)*