

Ewolucja konstrukcji elektrycznych pojazdów trakcyjnych na przykładzie lokomotyw Škody

Marek GRAFF¹

Streszczenie

W artykule opisano ewolucję lokomotyw elektrycznych Škody, począwszy od pojazdów zasilanych napięciem 3 kV DC oraz 25 kV 50 Hz, wyposażonych w rozruch początkowo rezystorowy (dla zasilania DC), ewentualnie wysokonapięciową regulację napięcia (dla zasilania AC), a następnie w rozruch impulsowy (tyrystorowy). Sieć kolejowa ówczesnej Czechosłowacji początkowo była zelektryfikowana napięciem stałym (m.in. węzeł Pragi), jednak poznanie zalet napięcia 25 kV 50 Hz, opracowanego w Niemczech spowodowało, iż część nowych odcinków sieci ČSD zelektryfikowano prądem przemiennym. Równocześnie, krajowy producent Škoda opracował pojazdy (lokomotywy, ezT) przystosowane do eksploatacji pod napięciem stałym i przemiennym, choć początkowo były to pojazdy jednosystemowe, ponieważ opracowanie pojazdów wielosystemowych było wówczas skomplikowane technicznie (praktykowano jedynie wytwarzanie ich krótkich serii). Pojawienie się impulsowego rozruchu silników trakcyjnych nie tylko zapewniło bardziej ekonomiczne czy prostsze ich sterowanie, ale także pozwoliło na uproszczenie budowy pojazdów wielosystemowych. W artykule omówiono specyfikę obu systemów rozruchu silników oraz ewolucję budowy pojazdów na napięcie stałe i przemiennie oraz ich eksploatację.

Słowa kluczowe: lokomotywy, Škoda, rozruch silnika elektrycznego, tyrystor, tranzystor, GTO, IGBT, ČD, ŽSR, ČSD

1. Wstęp

Elektryfikacja linii kolejowej w Czechosłowacji jeszcze przed II wojną światową spowodowała, iż pojawiło się zapotrzebowanie na pojazdy elektryczne zasilane prądem stałym. Wybór napięcia 1,5 kV DC wynikał m.in. z prostoty stosowania podobnego napięcia. Pojazdy zamawiane przez ówczesne koleje Czechosłowacji były produkowane przez firmę Škoda. Ów stan utrzymał się po 1945 r., gdy głównym dostawcą lokomotyw elektrycznych był nadal rodzimy zakład Škoda, który zaprojektował i wyprodukował lokomotywy zasilane prądem stałym 3 kV, później także przemiennym 25 kV 50 Hz oraz dwusystemowe (3 kV+25 kV, 3 kV+15 kV), choć początkowo korzystano z bardzo udanej szwajcarskiej konstrukcji oznaczonej przez ČSD jako E499.1. Pojazdy były wytwarzane dla ČSD oraz na eksport (SŽD, BDŽ, DR, PKP). Na początku lat 80. XX w. opracowano lokomotywy z impulsowym rozruchem silników trakcyjnych i obecnie są one standardem na szlakach SŽ i ŽSR.

2. Metody rozruchu silnika elektrycznego

Rozruch silnika elektrycznego może być zrealizowany dla zasilania prądem stałym, jako rezystorowy (przez włączenie opornika do obwodu), ewentualnie jako impulsowy. Drugi z nich jest uznany za nowocześniejszy oraz bardziej ekonomiczny, choć bardziej skomplikowany technicznie.

2.1. Rozruch oporowy

Jednym ze sposobów rozruchu silnika elektrycznego, szczególnie przy zasilaniu napięciem > 100 V, jest regulacja wartości prądu za pomocą opornika lub oporników włączonych szeregowo w obwód [1]. Zasilanie napięciem wprost jest niemożliwe z powodu niebezpieczeństwa iskrzenia komutatora przy dużych napięciach. Włączony szeregowo rezystor powoduje zmniejszenie napięcia płynącego przez silnik przy niezmiennym natężeniu, zatem rozruch jest łagodniejszy. Zależność pomiędzy natężeniem, napięciem i rezystancją określają wzory 1–4:

¹ Dr; Instytut Chemii i Techniki Jądrowej; e-mail: marek.graff@infotransport.pl.

$$I = \text{const.}, \quad (1)$$

$$U = U_1 + U_2 + U_3, \quad (2)$$

$$IR = IR_1 + IR_2 + IR_3, \quad (3)$$

$$R = R_1 + R_2 + R_3, \quad (4)$$

gdzie: I – natężenie, U – napięcie, R – rezystancja (opór).

Innymi słowy, do rozruchu silnika jest potrzebne duże natężenie prądu i jednocześnie niskie napięcie, co uzyskuje się przez szeregowo włączony rezystor. Rozruch oporowy jest najstarszym sposobem rozruchu silnika elektrycznego DC, o łagodnej charakterystyce regulacji prędkości przez zmianę wartości napięcia zasilającego, natomiast zmianę kierunku obrotu wirnika uzyskuje się przez zmianę biegunów prądu zasilającego. Zaletą silnika DC, poza prostą regulacją, jest możliwość zasilania – przez prostownik – także prądem przemiennym o częstotliwości 16,7 Hz czy 50 Hz.

W chwili rozruchu, silniki są połączone szeregowo bezpośrednio do sieci, a napięcie jest kontrolowane przez regulację oporu rezystora rozruchowego. Wraz ze wzrostem liczby obrotów wirników silników, kolejne rezystory są odłączane, a z wykorzystaniem styczników następuje zmiana ustawienia silników z szeregowego na równoległe (przez odłączenie stycznika mostkowego). Straty energii podczas rozruchu oporowego (ewentualnie jazdy oporowej) są określone przez zależność (wzór 5):

$$W = P \cdot t = U \cdot I \cdot t = I^2 \cdot R \cdot t, \quad (5)$$

gdzie: I – natężenie, U – napięcie, R – rezystancja (opór), t – czas, P – moc, W – praca.

Zatem wskazane jest, aby jazdę z wykorzystaniem rezystorów ograniczyć do minimum oraz rozpocząć rozruch silnika od maksymalnej wartości natężenia – w ten sposób, w najkrótszym czasie osiągnąony jest etap ekonomiczny. Wraz ze wzrostem prędkości obrotowej wirnika, natężenie prądu będzie zmniejszać się, zatem w celu utrzymania czy zwiększenia prędkości obrotowej wirnika, styczniki odłączają kolejne oporniki i w pewnym momencie uzyskując pracę bezoporową. Wyróżnia się kilka rodzajów rozruchu oporowego – zarówno silników DC, jak i AC:

1. Silników pierścieniowych AC – podczas rozruchu włączane są rezystory pomiędzy pierścieniami zasilającymi wirnik. Wraz z uzyskaniem prędkości nominalnej przez wirnik, rezystory są odłączane poprzez zwarcie pierścieni.
2. Silników szeregowych DC – wówczas rezystory są włączane do obwodu szeregowo z silnikiem. Rozruch następuje przez zmianę oporności rezystora, natomiast wzrost rezystancji zmniejsza prędkość

obrotową wirnika, a spadek rezystancji – zwiększa, przy $I = \text{const.}$

3. Silników bocznikowych DC – rezystor jest także włączany szeregowo w obwód twornika, przy czym rozruchowe natężenie prądu jest 10–30 razy większe od prądu nominalnego, zatem w celu uniknięcia uszkodzenia silnika czy zbyt dużego obciążenia sieci zasilającej, zmniejsza się napięcie przy zachowaniu natężenia przez m.in. włączenie opornika (tzw. rozrusznika) do obwodu.

Regulacja prędkości obrotowej wirnika polega zatem na dołączaniu lub wyłączaniu kolejnych rezystorów, a do uniknięcia skokowych zmian prądu, stosuje się styczniki sterowane elektropneumatycznie. Dla uzyskania bardziej ekonomicznego zużycia prądu, wykorzystywane jest osłabienie wzbudzenia (pola magnetycznego) silników trakcyjnych. Wraz ze wzrostem prędkości wirników korzystniejsza jest zmiana ustawienia silników z szeregowego na szeregowo-równoległe, czy równoległe (znacznym spadek strat energii wskutek niższej rezystancji). Zależność pomiędzy napięciem, natężeniem i rezystancją dla połączenia równoległego określają wzory 6–9:

$$U = \text{const.}, \quad (6)$$

$$I = I_1 + I_2 + I_3, \quad (7)$$

$$\frac{U}{R} = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} + \frac{U}{R_3} \quad (8)$$

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}, \quad (9)$$

natomiast wyższą rezystancję do ustawienia szeregowego w porównaniu z ustawieniem równoległym można wykazać, zakładając:

$$R_1 = R_2 = R_3 = R_n \quad (10)$$

oraz podstawiając do wzorów 4 i 9:

$$R_{\text{szere}} = R_1 + R_2 + R_3 = 3R_n, \quad (11)$$

$$\frac{1}{R_{\text{rów}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}, \quad (12)$$

$$R_{\text{rów}} = \frac{1}{3} R_n, \quad (13)$$

$$9R_{\text{rów}} = R_{\text{szere}} \quad (14)$$

Oporniki mogą być także wykorzystane do regulacji prędkości obrotowej wirnika – wówczas służą do zmniejszania prądu wzbudzenia. W przypadku osłabienia wzbudzenia następuje wzrost prędkości obrotowej wirnika przy jednoczesnym zmniejszeniu momentu elektromagnetycznego.

Opisany rozruch ma istotne wady:

- 1) jest energochłonny – energia tracona w rezystorach (równa wykonanej pracy, $E = \Delta W$) jest zamieniana na ciepło ($\Delta W = Q$); (E – energia, W – praca, Q – ciepło);
- 2) same rezystory mają znaczną masę;
- 3) prędkość obrotowa, czy napięcie jest ograniczana przez komutator (pojawia się iskrzenie przy dużych wartościach napięcia), który musi być poddawany częstym przeglądom (nagrzewanie się, zużycie szczotek, gromadzenie się brudu lub zanieczyszczeń);
- 4) jest dość awaryjny.

2.2. Rozruch impulsowy

Rozruch impulsowy umożliwia zastosowanie nie tylko silnika DC, ale także trójfazowego (synchronicznego, asynchronicznego), czyli bezobsługowego. Sterowanie częstotliwościowe pozwala na bardziej płynny rozruch i pozwala wyeliminować rezystory czy styczniki.

Tyrystory

W porównaniu z rozruchem rezystorowym, rozruch impulsowy ma wyższą sprawność z powodu wyeliminowania strat energii / ciepła w rezystorze rozruchowym. Straty, choć niewielkie, pochodzą od komutacji oraz spadku napięcia w zamkniętym tyrystorze. Zaletą tyrystorów jest również możliwość płynnej regulacji napięcia.

Tyrystor składa się z elementów półprzewodnikowych mocy z trzema przejściami PN i elektrodą sterującą [2, 3, 4]. Zasada działania tyrystora jest związana ze zjawiskiem zachowania się tyrystora jako wyłącznika prądu o bardzo krótkim czasie włączania i wyłączania (kilka ms), w tym prądu do odbiornika (np. silnika). Regulacja średniej wartości napięcia jest realizowana przez modulację szerokości impulsu. W celu zachowania zgodności z minimalnymi czasami włączenia i wyłączenia, używana jest zmienna częstotliwość. Przekształtnik trakcyjny jest zbudowany z:

- tyrystora głównego,
- tyrystora wyłączającego,
- diod,
- obwodu komutacyjnego,

a chłodzenie jest powietrzne, olejowe lub z pomocą innej cieczy. Podczas pracy, główny tyrystor regularnie zmienia tryb funkcjonowania: do przodu, zamykania i blokowania. Po wyzwoleniu krótkiego impulsu do elektrody sterującej, tyrystor przechodzi w tryb

przelotowy, a całe napięcie źródłowe płynie przez odbiornik (silnik). Jeśli nastąpi zamknięcie tyrystora wyzwalającego, wtedy na tyrystorze głównym chwilowo odwraca się biegunowość, co powoduje przejście tyrystora w tryb zamykania, natomiast po przywróceniu biegunowości w tryb blokowania, gdy przez silnik nie płynie prąd. Zmiana częstotliwości sterującej objawia się akustycznie (tony słyszalne dla człowieka), przykładowo, przy ruszaniu pojazdu. Dla lokomotywy Škody rozruch silników następuje przy częstotliwości modulacji 33,3 Hz, zwiększanie prędkości – 100 Hz i 300 Hz, a jazda bez zmiany prędkości – 100 Hz. Wzbudzenie (pola elektromagnetycznego) silników trakcyjnych jest płynne i jest realizowane od prędkości 60 km/h do maksymalnej, tj. 120 km/h. Wyróżniane są następujące typy tyrystorów:

- tyrystory triodowe z blokadą wsteczną (tyrystory zwykłe),
- tyrystory RCT (z blokadą wsteczną, co umożliwia zmniejszenie spadku napięcia w trybie do przodu),
- tyrystory GTO (ang. *gate turn-off*, pol. bramkowane, co zmniejsza czas włączania i wyłączania oraz straty energii),
- tyrystory / tranzystory IGBT (o jeszcze krótszym czasie włączania i wyłączania niż tyrystory GTO).

Tyrystor GTO składa się z czterech warstw półprzewodnikowych typu P i typu N, a budowa urządzenia niewiele różni się od zwykłego tyrystora [5]. Dopuszczalne jest także traktowanie opisanych warstw półprzewodnikowych jako sprzężonej pary tranzystorów (jeden PNP, a drugi w konfiguracji NPN), analogicznie jak dla zwykłych tyrystorów. Złącza w GTO są nazywane anodą, katodą i bramką. Jeśli impuls prądu przepływa przez bramkę, wówczas tyrystor przewodzi prąd. Można wyróżnić 3 tryby działania GTO:

- tryb blokowania wstecznego,
- tryb blokowania do przodu,
- tryb przewodzenia do przodu.

Gdy bramka zostanie wyzwolona impulsem, tyrystor przechodzi w „tryb przewodzenia do przodu” i kontynuuje przewodzenie, dopóki wartość prądu do przodu nie obniży się poniżej wartości granicznej „prądu trzymania”. Oprócz normalnych cech tyrystorów, stan „wyłączenia” GTO można również kontrolować za pomocą impulsów ujemnych. W normalnych tyrystorach funkcja „wyłączenia” odbywa się automatycznie.

Tyrystor wyłączający GTO (bramka wyłączona) jest elementem, który umożliwia wyłączenie, czyli przejście ze stanu przewodzenia do stanu blokowania za pomocą sygnału sterującego, którym jest prąd w obwodzie bramki o przeciwnym zwrocie niż przy włączaniu i jest również znacznie większej wartości. Tyrystor GTO ma podobną budowę do klasycznego

tyrystora (z triodą w pętli zamkniętej) oraz podobną zasadę włączania i przewodzenia prądu przewodzenia, choć znacznie bardziej złożony podział powierzchniowy warstw tworzących złącze J3 (połączenie p-n, trzecie od anody). Zatem elektroda sterująca jest rozłożona na całym przekroju tyrystora, co umożliwia wyłączenie tyrystora przez wprowadzenie impulsu prądu iRG do obwodu bramki. Impuls ten ma przeciwny kierunek i jest wielokrotnie większy niż impuls iFG, który włącza tyrystor. Porównanie tyrystora i tyrystora GTO dla $U = 1,6 \text{ kV}$ i $I = 350 \text{ A}$ zamieszczono w tablicy 1.

Tablica 1
Porównanie tyrystora i tyrystora GTO dla $U = 1,6 \text{ kV}$
oraz $I = 350 \text{ A}$

Parametr	Opis parametru	Tyrystor	GTO
$U_{T \text{ on}}$	spadek napięcia w stanie włączenia	1,5 V	3,4 V
$t_{\text{on}}, I_{\text{g on}}$	czas włączania, prąd bramki	8 μs , 200 mA	2 μs , 2 A
t_{off}	czas wyłączenia	150 μs	15 μs

[Opracowanie własne].

Tranzystory

Tranzystor IGBT (ang. *insulated gate bipolar transistor*) jest tranzystorem bipolarnym z izolowaną bramką. Jest to element półprzewodnikowy używany w przekształtnikach generujących moce do kilkuset kV [6, 7, 8]. Zaletą ww. tranzystora jest zarówno łatwość sterowania tranzystorów polowych i wysokie napięcie przebicia oraz szybkość przełączania tranzystorów bipolarnych. Innymi słowy, łączy zalety dwóch typów tranzystorów bipolarnego z polowym typu MOSFET. Porównanie tranzystorów bipolarnych, MOSFET i IGBT zamieszczono w tablicy 2.

Tablica 2
Porównanie tranzystorów bipolarnych, MOSFET i IGBT

Charakterystyka	Tranzystor bipolarny	Tranzystor MOSFET	Tranzystor IGBT
Zakres napięć	< 1 kV	< 1 kV	> 1 kV
Zakres natężeń	< 500 A	< 200 A	> 500 A
Prąd wejściowy	zakres $h_{FE} \sim 20-200$	napięcie $U_{GS} \sim 3-10 \text{ V}$	napięcie $U_{GE} \sim 4-8 \text{ V}$
Rezystancja wejściowa	niska	wysoka	wysoka
Rezystancja wyjściowa	niska	średnia	niska
Szybkość włączania	niska [μs]	duża [ns]	średnia
Koszt	niski	średni	wysoki

gdzie: $b = h_{FE}$ – współczynnik wzmocnienia (ang. *amplification factor*), U_{GS} – napięcie bramka – źródło (ang. *Gate-Source*), U_{GE} – napięcie bramka – emiter (ang. *Gate-Emitter*) [opracowanie własne].

Tranzystory IGBT są obecnie wykorzystywane do budowy falowników jako łączniki oraz elementy umożliwiające załączanie prądów $> 1 \text{ kA}$ i blokowanie napięć $< 6 \text{ kV}$.

IGBT jest urządzeniem półprzewodnikowym, które zostało opracowane w latach 80. XX w. i ma trzy zaciski zdefiniowane jako emiter, kolektor i bramka. Jest to rodzaj tranzystora, który może obsłużyć większą moc i ma wyższą prędkość przełączania, co czyni urządzenie bardzo wydajnym. IGBT ma połączone cechy tranzystora MOSFET i bipolarnego tranzystora złączowego (BJT) PNP, sterowanie nim odbywa się przez bramkę jak w tranzystorze MOSFET, a aktualna charakterystyka napięcia jest taka, jak w tranzystorze BJT.

Tranzystor MOSFET steruje bazą tranzystora bipolarnego, zapewniając szybkie przechodzenie od stanu blokowania do przewodzenia i na odwrót. Stan blokowania IGBT występuje, gdy napięcie pomiędzy bramką a źródłem jest niższe od wartości progowej $U_{GS(th)}$, wielkości znanej z tranzystora MOSFET. Dołączone napięcie dren – źródło powoduje przepływ bardzo małego prądu upływu. Jeśli napięcie bramka – źródło przekroczy wartość progową $U_{GS(th)}$ tranzystora MOSFET będącego elementem IGBT, to zaczyna się przewodzenie – płynie prąd drenu określony napięciem kolektor-emiter oraz wartością napięcia sterującego U_{GE} .

IGBT ma zastosowanie dla dużych napięć oraz jest łatwy w sterowaniu. Struktura tranzystorów IGBT umożliwia połączenie pozytywnych cech obu tranzystorów, a jako łącznik może być wykorzystywany w układach generujących napięcie rzędu kilkuset kV, pracujący z częstotliwością przełączania około 50 kHz. Wartość napięcia blokowanego to $> 6 \text{ kV}$, co umożliwia tego rodzaju tranzystorom swobodne zasilanie napięciem $> 400 \text{ V}$. Opisany układ ma zalety i wady, szczegółowo:

1) zalety:

- łatwość sterowania tranzystorem IGBT jest związana ze zmianą potencjału izolowanej bramki, co bardzo upraszcza konstrukcję tego elementu;

2) wady:

- duży spadek napięcia na nim w stanie przewodzenia (około 2,5 V), choć i tak mniejszy niż w klasycznym tranzystorze bipolarnym,
- ograniczona temperatura pracy, od -20°C do około 150°C (temperatury złącza),
- występowanie tzw. „ogona prądowego” w procesie wyłączenia tranzystora, wydłużającego czas realnego wyłączenia, co powoduje konieczność odprowadzenia ładunków mniejszościowych z obszaru bramki.

Obecnie, falowniki zbudowane z tranzystorów IGBT są najtańszymi urządzeniami do zasilania silników elektrycznych prądu stałego i przemiennego (klatkowych).

Przewaga falowników tranzystorowych IGBT wobec tyrystorowych GTO jest związana z faktem, iż GTO są elementami dyskretnymi, wymagającymi kosztownych sterowników do bramek, choć także zapewniają większe moce czy wyższe napięcia. Konieczna dla GTO jest także ochrona zwarciowa, tj. zapewnienie dodatkowych układów. W konsekwencji przewagi zalet układów tranzystorowych IGBT nad tyrystorowymi GTO, pierwsze rozwiązanie wypiera drugie. Porównanie układów GTO wobec IGBT zamieszczono w tablicy 3.

Tablica 3
Porównanie tyrystorów GTO i tranzystorów IGBT

Charakterystyka	GTO	IGBT
Opis	odmiana tyrystora	odmiana tranzystora
Liczba złączy (GTO) / terminali (IGBT)	3; anoda, katoda i bramka	3; emiter, kolektor, bramka
Prąd bramki	konieczny impuls prądowy do włączenia	niezbędne ciągle dostarczanie napięcia
Liczba połączeń	3	1
Zewnętrzne urządzenia do włączania i wyłączania prądu	niepotrzebne	potrzebne
Zastosowanie	generowanie wysokich napięć	

[Opracowanie własne].

3. Początki linii zelektryfikowanych prądem stałym i przemiennym na sieci ČSD

Na początku lat 50. XX w. w Czechosłowacji zelektryfikowano niewiele linii kolejowych. Wśród nich były dwie linie: Tábor – Bechyně i Certlov (obecnie Rybník) – Lipno nad Vltavou oraz linie kolejowe w obrębie węzła praskiego, zelektryfikowane napięciem 1,5 kV DC [9]. Liczne zarządy kolejowe ówczesnej Europy rozważały elektryfikację własnych linii kolejowych prądem przemiennym o częstotliwości przemysłowej 50 Hz. Ostatecznie zdecydowano się na system 25 kV (początkowo brano pod uwagę 20 kV), opracowany na podstawie pozytywnych doświadczeń zaobserwowanych podczas eksploatacji na linii kolejowej w Schwarzwaldzie w Niemczech. Linia ta była zelektryfikowana napięciem 20 kV (a podniesienie napięcia z 20 kV do 25 kV znacznie poprawiło parametry eksploatacyjne). Oba systemy – prądu stałego i przemiennego mają wady i zalety.

System prądu przemiennego 25 kV wymaga jedynie pojedynczego przetwarzania w stacjach transfor-

matorowych, zatem tym napięciem może być zasilana sieć trakcyjna, po obniżeniu z wartości np. 110 kV. Ponadto, przesyłanie prądu o wysokim napięciu oznacza mniejsze straty – prąd taki charakteryzuje się mniejszym natężeniem, a zatem generuje mniejszą oporność przewodnika. Pozwala to na użycie sieci trakcyjnej o mniejszej średnicy przewodu jezdniowego lub nośnego (zatem i o mniejszej masie), a także lżejszych słupów sieci trakcyjnej. Dodatkowo, napięcie 25 kV wymaga budowy podstacji zasilających co 50–60 km, a napięcie 3 kV co 20–30 km. Czynniki te powodują, iż elektryfikacja i późniejsze utrzymanie linii kolejowej napięciem 25 kV 50 Hz są tańsze i prostsze niż napięciem 3 kV DC.

Inaczej przedstawiają się zalety i wady obu napięć przy zasilaniu lokomotyw elektrycznych. W najprostszym przykładzie, regulacja napięcia na zaciskach silnika prądu stałego zasilanego wprost z sieci, np. przy rozruchu silnika, odbywa się przez dołączanie układu rezystorów, co w efekcie skutkuje stosunkowo dużym zużyciem prądu (w opornikach energia elektryczna jest zamieniana na ciepło, tj. tracona). W lokomotywach zasilanych prądem przemiennym z sieci trakcyjnej istnieje możliwość szerszej regulacji napięcia i natężenia prądu przez transformator (dalej prąd jest prostowany w prostowniku krzemowym lub wcześniej w rtęciowym / ignitronie), co w efekcie prowadzi do obniżenia strat energii wobec zasilania napięciem 3 kV. W porównaniu z prądem stałym, prąd przemienny okazał się także korzystniejszy w zasilaniu pociągów dużych prędkości (możliwość uzyskania dużych mocy na pantografie). Jednak produkcja taboru na prąd przemienny w latach 50. czy 60. XX w. była znacznie droższa i bardziej skomplikowana niż lokomotyw na prąd stały, choć po upowszechnieniu się sterowania impulsowego silników trakcyjnych ceny zakupu obu pojazdów (na prąd stały i przemienny) nie różniły się aż tak drastycznie.

Rozważanie zalet i wad obu napięć skutkowało tym, iż wiele zarządów, w tym ČSD, nie zrezygnowało całkowicie z napięcia 3 kV na rzecz 25 kV 50 Hz oraz wdrożyło oba systemy zasilania na własnej sieci kolejowej. Decyzję o przyjęciu napięcia 25 kV 50 Hz, jako przyszłościowego dla sieci ČSD podjęto w 1959 r., a miejscem produkcji taboru na prąd przemienny miała być fabryka Škody w Pilźnie. Dodatkowo, zakład stał się także jednym z czołowych producentów lokomotyw elektrycznych, nie tylko na rynek krajowy, ale także na eksport (rys. 1–5).

Pierwszym odcinkiem próbnym na sieci ČSD zelektryfikowanym napięciem 25 kV 50 Hz, była linia Pilzno – Horažďovice przedmieście. W 1961 r. zelektryfikowany odcinek Pilzno – Koterov – Blovice (będący fragmentem poprzedniego) postanowiono wykorzystać do testów nowych lokomotyw na prąd przemienny produkowanych dla kolei ZSRR i Bułgarii.

Kolejnymi liniami zelektryfikowanymi napięciem 25 kV 50 Hz były Kutná Hora – Havlíčkův Brod – Jihlava i Havlíčkův Brod – Brno. Obecnie na sieci SŽ i ŽSR², znajdują się następujące odcinki zmiany napięcia (3 kV DC ↔ 25 kV 50 Hz):

- Kadaň–Prunéřov – Klášterec nad Ohří, linia Chomutov – Cheb (SŽ),
- Beroun seřadovací nádraží – Zdice, linia Praga – Pilzno (SŽ),
- Benešov u Prahy – Bystřice u Benešova, linia Praga – Czeskie Budziejowice (SŽ),
- Svitavy – Březová nad Svitavou, linia Česka Třebova – Brno (SŽ),
- na południe od stacji Púchov, linia Żyliny – Bratisława (ŽSR);

lub na stacjach:

- Kutná Hora hl. n., linia Kolín – Havlíčkův Brod (SŽ),
- Říkovice (do 2021 r. Nedakonice), linia Přerov – Břeclav (SŽ).



Rys. 1. EP05-23 (3 kV DC, 1435 mm) na terenie lokomotywowni Warszawa Olszynka Grochowska (7.02.2017 r.) [fot. S. Dębski]



Rys. 2. 182 157 (3 kV DC, 1435 mm) na terenie stacji Białystok (26.03.2011 r.) [fot. M. Graff]



Rys. 3. CS7-088 (3 kV DC, 1520 mm) z pociągiem dalekobieżnym, Dw. Jarosławski, Moskwa (29.06.2006 r.) [fot. M. Graff]



Rys. 4. CS4-132 (25 kV 50 Hz, 1520 mm) na stacji Kijów (1.05.2013 r.) [fot. M. Graff]



Rys. 5. CS4^T-603 (25 kV 50 Hz, 1520 mm) z pociągiem dalekobieżnym do Brześcia, Mińsk (28.06.2006 r.) [fot. M. Graff]

Na stacji Kutná Hora hlavní nádraží istnieje możliwość zasilania sieci trakcyjnej w obrębie całej stacji z zastosowaniem obu systemów w zależności od zapotrzebowania, choć obecnie to nie jest wykorzystywane. Specyfika sieci kolejowej SŽ i ŽSR polega na tym, że północne Czechy i Słowacja (Praga, Olomuniec, Żyliny, Koszyce) są zelektryfikowane prądem stałym 3 kV, a południe z Czeskimi Budziejowicami,

² SŽ i ŽSR, to zarządcy infrastruktury kolejowej odpowiednio w Czechach i na Słowacji, odpowiednik PKP PLK.

Brnem, Brzeclawiem, Bratyslawą – prądem przeniennym 25 kV 50 Hz. Zatem wykorzystywanie lokomotyw dwusystemowych jest powszechne. Dodatkowo, napięcie 3 kV DC, jakie jest stosowane w sąsiedniej Polsce oraz 25 kV 50 Hz na Węgrzech powoduje, iż potencjalny wjazd pojazdów ČD czy ZSSK jest nieskomplikowany. Obsługa komunikacyjna ruchu z Niemcami i Austrią także nie jest skomplikowana i jest również realizowana pojazdami dostarczonymi przez Škodę, a w ostatnich latach – przez całą gamę pojazdów wyprodukowanych przez Siemens (Taurus, Vectron, ES64F4) i Bombardiera (Traxx).

4. Pierwsze lokomotywy Škody z impulsowym rozruchem silników

Poniżej przedstawiono stopniowe wdrażanie impulsowego rozruchu silników trakcyjnych, początkowo do lokomotyw manewrowych.

4.1. Serie E458.0, E458.1 i S458 (110, 111, 210)

W 1971 r. Škoda wyprodukowała pierwsze lokomotywy typu 33E, oznaczone przez ČSD jako seria E458.0 (110), wyposażone w rezystorowy rozruch silników trakcyjnych i przeznaczone do pracy manewrowej na stacjach zelektryfikowanych prądem stałym o napięciu 3 kV, a także do obsługi ruchu lokalnego (rys. 6) [9–13]. Dwie lokomotywy (nr 018 i 047) skierowano do pracy na liniach zelektryfikowanych napięciem 1,5 kV DC (Tábor – Bechyně, Rybník – Lipno), gdzie eksploatowano już lokomotywy serii 113, czyli odmianę lokomotyw serii 110. W 1979 r. Škoda we współpracy z ČKD Elektrotechnika, tytułem eksperymentu w jednej z lokomotyw E458.0³, zamontowały zamiast oporników rozruchowych dwa przekształtniki tyrystorowe (rys. 7). Nowe rozwiązanie miało o tyle uzasadnienie ekonomiczne, iż lokomotywa była wykorzystywana w pracy manewrowej, gdzie dominowała jazda z niewielką prędkością oraz częste ruszanie i zatrzymywanie się. Pomiar wykazały, iż podczas roku zaoszczędzono 200 MWh energii w porównaniu z lokomotywą wyposażoną w rozruch oporowy. Dodatkowo, przy rozruchu impulsowym nie ma potrzeby stosowania takich urządzeń jak styczniki i całej skomplikowanej aparatury używanej przy rozruchu oporowym. Przy zasilaniu przekształtników tyrystorowych prądem wstępnym w granicach

40–3560 V, częstotliwość sterująca zmieniała się w szeregu: 33,3–100–300 Hz, np. przy częstotliwości 300 Hz (pełen puls) następował pierwszy stopień osłabienia wzbudzenia (pola elektromagnetycznego) silników trakcyjnych. Po nadzorowanej eksploatacji lokomotyw E458.1 (111) z rozruchem impulsowym stwierdzono, iż nowy pojazd jest bardziej ekonomiczny z porównaniem z serią E458.0 (110). Porównując pod tym względem oba pojazdy, osiągnięto następujące oszczędności energii:

- przy jeździe luzem – 17%,
- przy wjeździe na górkę rozrządową – 55–60%,
- średnie zużycie na jedną godzinę jazdy manewrowej – 50%.



Rys. 6. 110 026 (ZSSK) na stacji granicznej PKP / ŽSR Plaveč, Słowacja (8.02.2009 r.) [fot. M. Graff]



Rys. 7. 111 019 (ČD) na stacji Praha Smichov (8.03.2008 r.) [fot. M. Graff]

4.2. Opis części elektrycznej i mechanicznej lokomotywy serii 110/111

Jest to lokomotywa czteroosiowa z indywidualnym zawieszeniem silników trakcyjnych, które przez

³ Była to lokomotywa E 458.0012, uszkodzona w wyniku pożaru, po rekonstrukcji zaś oznaczona jako E 457.0001 (112.001–3). Lokomotywa była eksploatowana do 1996 r., a w 2001 r. została fizycznie zlikwidowana.

sprężyny opierają się na ramie wózka [9, 10, 14]. Moment obrotowy silnika na koła przenosi przekładnia z jednostronnym kołem zębatym z prostymi zębami. Wózki lokomotywy są dwuosiove, całkowicie spawane, z luzowym prowadzeniem zestawów kołowych. Siły pociągowe są przenoszone przez czop skrętu i dodatkowo przez układ skośnych wieszaków. Zawieszenie pojazdu jest dwustopniowe: pierwszy stopień stanowią cylindryczne sprężyny, drugi zaś cylindryczne sprężyny i tłumiki hydrauliczne. Lokomotywa jest wyposażona w mechanizm elektropneumatyczny służący do niwelowania zmian nacisku poszczególnych osi na tor podczas jazdy. W środkowej części lokomotywy znajduje się kabina maszynisty, zaopatrzona w dwa pulpity sterowania (po jednym w każdym kierunku jazdy). Na dachu lokomotywy znajduje się jeden pantograf niesymetryczny dostosowany do pracy pod napięciem 3 kV DC i kabel WN oraz układ zabezpieczający uziemienie. Lokomotywa jest wyposażona w rozruch oporowy, przy czym same rezystory rozruchowe⁴ znajdują się po obu stronach kabiny w obniżonych przedziałach maszynowych lokomotywy (dla serii 110). Lokomotywa ma 4 silniki trakcyjne prądu stałego, sześciopolowe, z chłodzeniem wymuszonym. Aparatura elektryczna jest zgrupowana w obu przedziałach maszynowych lokomotywy w ten sposób, iż przy demontażu usuwa się każde z nich jako całość. Tam również znajdują się żaluzje i filtry służące do wlotu powietrza chłodzącego silniki i rezystory rozruchowe. W lokomotywie istnieje możliwość zabudowy sprzęgu samoczynnego – wówczas należy usunąć balast o masie całkowitej 8 t (wtedy maksymalna siła pociągowa zmniejsza się ze 180 kN do 160 kN). W lokomotywie jest zamontowany hamulec systemu DAKO, jedna sprężarka (111 – dwie sprężarki) i 2 zbiorniki powietrza o pojemności sumarycznej 1000 l. Pojazd jest wyposażony w urządzenia antypoślizgowe. Nastawnik dla lokomotyw serii 110 ma 36 pozycji jazdy, przy czym jest możliwe osłabienie wzbudzenia silników trakcyjnych do 50%. W każdym pojeździe zamontowano system bezpieczeństwa ruchu LS IV.

W latach 1981–1982 wyprodukowano 35 lokomotyw w rozruchem impulsowym (seria 111) dla ČSD, a obecnie całość serii należy do ČD. Natomiast seria 110 jest obecnie eksploatowana w liczbie: ČD+ZSSK – 28+22 sztuk z wyprodukowanych 52 szt dla ČSD. Lokomotywy serii 110/111 używane są głównie do pracy manewrowej, a niekiedy do obsługi pociągów zbiorczych czy lekkich pasażerskich, zarówno na sieci kolei czeskich, jak i słowackich. Pojawiały się

także sporadycznie na sieci PKP, z pociągiem osobowym ze słowackiego Plavča przez Muszynę do Krynicy. Pojazdy serii 110 stacjonują w lokomotywniach (czeskich i słowackich) znajdujących się w Koszycach, Ostrawie, Pradze, Usti nad Łabą i Żylinie, a 111 – tylko w lokomotywniach ČD: Bohuminie, Hradec Králové, Ostrawie, Pradze i Usti nad Łabą.

4.3. Seria 113

Seria 113 to odmiana serii 110 i jest przystosowana do eksploatacji na liniach zelektryfikowanych napięciem 1,5 kV DC [5, 10, 14]. Do obsługi ruchu pasażerskiego na liniach Tábor – Bechyně i Rybník – Lipno zbudowano 6 pojazdów, które zastąpiły używane wcześniej lokomotywy serii 100. Serię przydzielono do dwóch lokomotywni Tábor i Vyšší Brod (po 3 egzemplarze). Po 2000 r. ČD zdecydowały o elektryfikacji linii Rybník – Lipno będącej częścią linii České Budějovice – Summerau (przejście graniczne z Austrią) napięciem 25 kV 50 Hz, co nastąpiło w kwietniu 2004 r. (ostatni pociąg pod napięciem 1,5 kV DC przemierzył ww. trasę w październiku 2003 r.). Choć 2 lokomotywy zostały przewiezione do Pragi, gdzie przebudowano oba egzemplarze na serię 110 i renumerowano na 110 205 i 110 206, to ostatecznie zostały skasowane i złomowane, podobnie jak kolejny egzemplarz 113. Pozostałe pojazdy serii 113 stacjonowały w lokomotywni Bechyně k. Tabora i były eksploatowane do 2010–2011 prowadząc pociągi z wagonami 2-osioowymi typu Btax780, gdy część obsługi trakcyjnej powierzono serii 814, czyli spalinowym wagonom silnikowym.

4.4. Seria 210

Modyfikacją lokomotywy E 458.0 (110) jest seria S 458.0 (210) – przy zachowanej części mechanicznej poprzedniczki – E458.0. W lokomotywie zmieniono część elektryczną (te lokomotywy jako pierwsze na ČSD były już seryjnie wyposażane w rozruch impulsowy) i przystosowane do pracy na liniach zelektryfikowanych napięciem 25 kV 50 Hz (rys. 8) [5, 9, 14]. Wymagało to zamontowania transformatora (z olejowym chłodzeniem swobodnym), który umieszczono pod kabiną maszynisty. Prąd z sieci trakcyjnej jest kierowany przez transformator, skąd z uzwojenia wtórnego jako niskie napięcie przechodzi przez dwa tyrystorowe antyrównoległe regulatory napięcia i dwa mostki diodowe i dalej do silników. Silniki są połączone w grupy i mogą pracować w trzech trybach:

⁴ Fedralowe, czy fechalowe; jest to skrót od FeC(h)rAl – żelazo, chrom i aluminium.

- normalna jazda – każda para silników jest połączona w grupy i zasilana z osobnego przekształtnika, napięcie na zaciskach silników trakcyjnych jest płynnie regulowane,
- jazda z pełnym wzbudzeniem silników trakcyjnych w zakresie prędkości 0–20 km/h, np. przy pracy manewrowej na górcie rozrządowej,
- wolna jazda z pełnym wzbudzeniem silników trakcyjnych w zakresie prędkości 0–5 km/h, po opuszczeniu wagonów z górci rozrządowej.



Rys. 8. 210 040 (ZSSK) na stacji Bratislava Predmestie (22.08.2006 r.) [fot. M. Graff]

W ten sposób uzyskuje się dobrą przyczepność lokomotywy podczas ciężkiej pracy manewrowej, co pozwala zachować odpowiednią prędkość przy prowadzeniu pociągów lokalnych. Seria S458.0 (210) ma również możliwość zamontowania sprzęgu samoczynnego.

Lokomotywy serii S458.0 zostały wyprodukowane w 74 egzemplarzach, a w 1988 r. zmieniono oznaczenie na 210, a po podziale Czechosłowacji rozdzielono pojazdy pomiędzy dwa nowe państwa. Obecnie w eksploatacji pozostały na inwentarzu: w ČD 24 lokomotywy, a w ZSSK 6 lokomotyw. Pewną nowością było zamontowanie akumulatorów (w osobnym wagonie doczepnym), które umożliwiały lokomotywowi pracę na liniach niezelektryfikowanych i pokonanie sumarycznie 40 km, czyli uzyskano bardziej uniwersalne zastosowanie. Podobnie jak seria 110/111, seria 210 jest wykorzystywana w pracy manewrowej oraz przy obsłudze pociągów zbiorczych i lekkich pasażerskich. Pojazdy serii 210 stacjonują w lokomotywniach znajdujących się w Czeskich Budziejowicach, Taborze i Pilźnie oraz w lokomotywniach słowackich – w Bratysławie i Zwoleniu. W jednej lokomotywie serii 210 ČD Cargo zamontowano silnik spalinowy Caterpillar i zmieniono oznaczenie na serię 218. Jedna lokomotywa (210 037) jest własnością podmiotu KDS Kladno, 20 lokomotyw typu 51E dostarczono w 1994 r. dla kolei Bułgarii, gdzie są obecnie eksploatowane w pracy manewrowej z oznaczeniem serii 61 (rys. 9).



Rys. 9. 61 010 (BDŽ) na stacji Sofia Główna, Bułgaria (6.10.2019 r.) [fot. M. Graff]

5. Lokomotywy liniowe powstałe w latach 70. XX w., czyli pojazdy z rezystorowym rozruchem silników trakcyjnych ewentualnie sterowaniem wysokonapięciowym

Pierwsze pojazdy zbudowane w latach 70. XX w. przeznaczone do ruchu pasażerskiego otrzymały jeszcze rezystorowy rozruch silników trakcyjnych (serie 350 i 150/151), podobnie jak lokomotywy zbudowane na początku lat 80. do obsługi ruchu towarowego (seria 131). Powstały pojazdy przystosowane do eksploatacji na liniach zelektryfikowanych napięciem 3 kV DC i 25 kV 50 Hz.

5.1. Seria ES499.0 (350)

Na przełomie 1968 i 1969 roku, wraz ze zwiększaniem prędkości pociągów, koleje Czechosłowacji złożyły zamówienie u Škody na lokomotywy pasażerskie przeznaczone do obsługi pociągów pospiesznych i ekspresowych na liniach zelektryfikowanych prądem stałym 3 kV i przemiennym 25 kV 50 Hz, o prędkości maksymalnej 160 km/h, mocy 4000 kW i masie do 88 t. W tym celu w 1972 r. przetestowano nowe wózki w lokomotywie E 469 3030 (124 601–6), z myślą o zastosowaniu w pojazdach nowej serii. Opracowano dwa prototypy w 1973 r. i 1974 r., oznaczone jako ES 499.0, po czym wyprodukowano dwa pierwsze egzemplarze w 1974 r. i 1975 r., oznaczone odpowiednio ES 499 0001 i ES 499 0002. Istotną nowością na kolejach ČSD było zastosowanie (oporowego) hamulca elektrodynamicznego (rys. 10).

Lokomotywa jest wyposażona w 2 dwuosiowe wózki, z kolumnowym prowadzeniem zestawów kołowych [5, 9, 14]. Na ramie wózka są umieszczone silniki trakcyjne, całkowicie usprężynowane. Przeniesienie napędu odbywa się przez przekładnię typu Škoda. Pudło lokomotywy ma na

obu końcach kabinę maszynisty, izolowaną termicznie i akustycznie z dodatkowo zainstalowanym nawiewem. Przednie szyby wyposażono w instalację do usuwania szronu oraz do spryskiwania mieszaniną wody i detergentu. Lokomotywa ma podwójne zawieszenie, na które składają się cylindryczne sprężyny i tłumiki hydrauliczne. Siły pociągowe i hamowania są przenoszone przez czop skrętu otoczony gumową nakładką. Nie montowano sprzęgu międzywózkowego. Przy jeździe pod napięciem 3 kV prąd przepływa przez główny bezpiecznik napięcia i dalej do silników, a przy zasilaniu prądem przemiennym – początkowo przez transformator obniżający napięcie i dalej do silników. Zamontowane jest zabezpieczenie, które w przypadku awarii układu elektrycznego blokuje system sterowania lokomotywą. Ruch silników trakcyjnych odbywa się z udziałem rezystorów sterowanych przez mechanizm elektropneumatyczny. Moc jednostkowa silnika wynosi 1000 kW (sumaryczna moc lokomotywy to 4000 kW). Do chłodzenia rezystorów, silników trakcyjnych i transformatora użyto dwóch wentylatorów, do których powietrze jest kierowane przez żaluzje umieszczone w bocznych ścianach pudła lokomotywy. Główny transformator jest umieszczony pośrodku lokomotywy, tuż pod ramą główną. Pojazd jest wyposażony w hamulec pneumatyczny typu DAKO-LR z mechanizmem zapobiegającym poślizgowi kół. Jako dodatkowy, zamontowany jest hamulec elektrodynamiczny oporowy, funkcjonujący w zakresie prędkości 60–160 km/h niezależnie od tego, czy lokomotywa pobiera napięcie z sieci trakcyjnej, czy nie. Lokomotywę wyposażono w system zapewniający większą automatykę prowadzenia, w porównaniu do wcześniejszych pojazdów. Ogrzewanie wagonów może odbywać się na dwa sposoby: przy jeździe pod napięciem 3 kV DC – bezpośrednio z sieci, przy prądzie przemiennym – z transformatora i napięciem 1,5 / 3 kV 50 Hz. Sposób sterowania lokomotywą i właściwości trakcyjne są praktycznie identyczne dla obydwu systemów zasilania. Prędkość maksymalna pojazdu jest równa 160 km/h (podczas jazd próbnych osiągnięto prędkość maksymalną 182 km/h).



Rys. 10. 350 014 (ZSSK) z pociągiem IC 532 Rákóczi relacji Budapeszt – Koszyce na stacji Hidasnémeti – stacji granicznej MÁV / ŽSR (28.03.2009 r.) [fot. M. Graff]

Seria 350 od początku swej eksploatacji na sieci ČSD prowadziła pociągi na trasie Štúrovo – Bratislava – Praga (styk obu systemów zasilania – 3 kV DC i 25 kV 50 Hz znajduje się na stacji Kutná Hora hlavní nádraží), a od 1975 r. dociera także do Budapesztu. Jeszcze w połowie lat 90. XX w. i po 2000 r. zdarzały się sytuacje, iż pociągi pasażerskie przejeżdżające przez Czechy, były na całej sieci ČD prowadzone lokomotywami obcych zarządców, np. EC Hungaria relacji Budapeszt – Berlin: odcinek Budapeszt – Bratislava – Praga Holešovice – obsługiwała lokomotywa 350 (ZSSK), a Praga Hol. – Drezno – Berlin lokomotywa 180 (DB). Obecnie, pociągi EC/IC na odcinku Praga – Drezno prowadzą lokomotywy ČD Vectron serii 373. Cała seria 350 (obecnie 18 egzemplarzy z 20 wyprodukowanych) stacjonuje w Bratisławie. Lokomotywy tej serii osiągają wraz z serią 151 ČD najwyższe średnie przebiegi dobowe, wynoszące około 1000 km. Od 1997 roku, wraz z podnoszeniem prędkości do 160 km/h na liniach tranzytowych ČD, serię tę poddano modernizacji w ŽOS Vrútky montując nowy system diagnostyczny MIREL, a także dodano tłumiki drgań poprawiające właściwości biegowe lokomotywy oraz zmieniono kolorystykę – z niebiesko-kremowej na czerwono-kremową. W 2005 r. wprowadzono pociągi Pendolino kolei ČD do obsługi relacji Praga – Bratislava / Wiedeń oraz na początku 2009 r. lokomotywy Taurus serii 1216 kolei ÖBB do obsługi pociągów Wiedeń – Brzeclaw – Praga. Wcześniej używane na odcinku Brzeclaw – Praga lokomotywy serii 350 kolei słowackich ZSSK, przejęły obsługę pociągów IC relacji Budapeszt – Miskolc – Koszyce przez przejście graniczne Hidasnémeti – Čaña i wraz z serią 363 prowadzą pociągi IC (7 par). Do grudnia 2014 r. i wprowadzenia lokomotyw ČD serii 380, seria 350 była eksploatowana na trasach w obsłudze pasażerskich pociągów EC, IC, Ex:

- Praga – Olumuniec – Ostrava – Żylin – Koszyce,
- Praga – Brno – Břeclav – Bratislava – Štúrovo – Budapeszt.

Domeną obsługi serii 350 pozostają linie:

- Bratislava – Żylin – Poprad – Koszyce,
- Koszyce – Hidasnémeti – Miskolc – Füzesabony – Hatvan – Budapeszt,
- (Praga – Brno) / Bohumín – Břeclav – Bratislava – Štúrovo – Budapeszt.

Pojazdy te, mimo wieku (> 40 lat), pozostają nadal w eksploatacji, a jedną z przyczyn jest brak środków finansowych ZSSK na zakup nowych pojazdów. W 2017 r. ZSSK wynajęło 10 lokomotyw Vectron (oznaczenie 381.1) do obsługi linii Bratislava – Koszyce, przy czym podobne lokomotywy otrzymały dopuszczenie w krajach sąsiednich – Czechach, Niemczech, Austrii, Węgrzech i Polsce, zatem czasowo mogą zastąpić serię 350. Rozwiązaniem wydaje się także modernizacja lokomotyw serii 163 do poziomu 361.1 wykonywana przez ZSSK.

5.2. Seria E499.2 (150) i 151

W latach 70. XX w. wraz ze wzrastającą masą pociągów pasażerskich, lokomotywy serii E 499.0 (140) i E 499.1 (141) eksploatowane przez ČSD, musiały być stosowane w trakcji podwójnej. Zatem Škoda zaprojektowała pojazd serii E499.2 (150) do eksploatacji na liniach zelektryfikowanych napięciem 3 kV DC, która była dalszą modyfikacją lokomotyw drugiej generacji dla ČSD. Opracowanie projektu i wdrożenie do produkcji E499.2 (150) nastąpiło w 1978 r. Główne założenia pochodziły z dwusystemowego pojazdu serii ES 499.0 (350), jak np. pudło, wózki, wyposażenie stanowiska maszynisty, silniki trakcyjne oraz sterowanie pojazdem [5, 9, 14, 15].

Lokomotywa serii E499.2 (150) jest przeznaczona do prowadzenia pociągów pospiesznych i ekspresowych na liniach magistralnych i wykorzystywaną od lat na linii Praga – Koszyce. Prędkość maksymalna lokomotyw tej serii wynosi 140 km/h. Różnicą w części mechanicznej w stosunku do serii ES 499.0 (350) jest zamontowany sprzęg międzywózkowy, ułatwiający wpisywanie się lokomotywy w łuki. Inaczej niż dla serii ES 499.0 (350), dla której zastosowano osie drążone, w lokomotywach serii E 499.2 (150) użyto osi pełnych. Pudło ma nieznacznie zmieniony kształt w porównaniu z lokomotywą dwusystemową serii ES 499.0 (350) – układ żaluzji i wlotów powietrza chłodzącego silniki i oporniki rozruchowe. Lokomotywa jest wyposażona w elektrodynamiczny hamulec oporowy o mocy 3600 kW działający w zakresie prędkości 45–140 km/h (150) i 25–160 km/h (151), a przy mniejszych prędkościach maszynista może używać tylko hamulca pneumatycznego. Zamontowany jest pneumatyczny wyrównywacz nacisku osi w obu wózkach. System diagnostyczny wykrywa uszkodzenia w układzie elektrycznym, co sygnalizuje maszyniście. Lokomotywy wyposażono w system automatycznej regulacji prędkości (ARR, czes. *automatická regulaci rychlosti*), jednak w praktyce z powodu jazdy na wyższych stopniach oporowych oraz niedostatecznego chłodzenia samych oporników, używanie ARR powodowało liczne awarie i w konsekwencji zaniechano stosowania ARR w lokomotywach tej serii. Kilka lat później rozpoczęto demontaż tego systemu. Wszystkie pojazdy tej serii mają zamontowany system antypoślizgowy, hamulec DAKO i system bezpieczeństwa LS 90 (rys. 11).

Po wykonaniu prób (nie wyprodukowano prototypu lokomotywy), w obrębie węzła praskiego seria miała być skierowana do obsługi linii Praga – Žylica – Koszyce, pojazdy przydzielono do lokomotywowni w Pradze. Później skierowano je do obsługi ww. linii magistralnej, gdzie prowadziły pociągi pospieszne i ekspresowe. Istotnym mankamentem, który ujawnił się podczas eksploatacji, był wysoki wskaźnik niesprawnych lokomotyw (~50% i więcej) spowodowany awaryjnością:

- federalowych oporników rozruchowych,
- samych silników (uzwojenia kompensacyjnego),
- zawieszeniem silników na ramie wózka.

Pierwszym skasowanym egzemplarzem była lokomotywa E 499 2017, która w 1981 r. przy prędkości 100 km/h najechała na pociąg towarowy koło Spišskej Novej Wsi. Druga lokomotywa 151 018 została skreślona z iłostanu ČD dnia 8.08.2008 r., po wypadku z pociągiem EC 108 w Studénce k. Ostrawy.

Modernizacja serii, a ściślej podniesienie prędkości do 160 km/h, została przeprowadzona w 1992 r. przy współpracy zakładów Škoda Pilzno i ŽOS Vrútky. W grudniu 1992 r., na torze doświadczalnym w Velimiu, lokomotywa osiągnęła prędkość 177 km/h. W niecałe 2 lata później zmodernizowano i przebudowano sumarycznie 13 pojazdów serii 150 na serię 151: zamontowano dodatkowe tłumiki hydrauliczne poprawiające właściwości biegowe lokomotywy, elektroniczny prędkościomierz, nowy system antypoślizgowy czy system bezpieczeństwa ruchu, nową sprężarkę (1 szt. zamiast 2) i wycieraczkę⁵. Dodatką cechą obu serii jest duża moc, pozwalająca bezproblemowo prowadzić ciężkie pociągi.

Serie 150/151 wraz z serią 350 mają obecnie największy na ČD średni dobowy przebieg, wynoszący ponad 1000 km. Wszystkie lokomotywy serii 150 i 151 stacjonują w lokomotywowni w Pradze: początkowo była to lokomotywownia Praha Střed (obecnie LD Praha Masarykovo nádraží), a później Praha Vršovice. W 1998 r. wszystkie lokomotywy serii 151 uzyskały pozwolenie na wjazd na sieć kolei słowackich. Przeznaczeniem serii 151 jest prowadzenie pociągów kwalifikowanych (EC, IC, SC) czy pospiesznych po sieci ČD: *Manažer* relacji Praha hl.n. – Bohumín (wycofany po wprowadzeniu Pendolino ČD), *EC Silesia* relacji Praha hl.n. – Bohumín (– Chałupki – Warszawa Wsch.)⁶, *IC Ostravan* relacji Praha

⁵ Dwa egzemplarze 151 mają zamontowane koła monoblokowe.

⁶ Wcześniej większość pociągów na trasie relacji Warszawa – Ostrawa – dalej Praga, Wiedeń czy Budapeszt kursowała przez przejście graniczne Zebrzydowice – Petrovice u Karviné, ze zmianą lokomotywy na stacji Petrovice u Karviné. Obecnie, praktycznie wszystkie połączenia mają zmienioną trasę kursowania, przez przejście Chałupki – Bohumín ze zmianą lokomotywy na stacji Bohumín, m.in. z powodu większej liczby stacji dla pasażerów dla ostatniej trasy (np. Racibórz, Gliwice, Zabrze itp.). Dla trasy przez Zebrzydowice, na odcinku od Katowic do granicy z Czechami, praktycznie nie było postojów na stacjach pasażerskich. W kolejnym rozkładzie jazdy przejście graniczne Zebrzydowice – Petrovice u Karviné zaplanowano kursowanie jedynie IC/EC Polonia.

hl.n. – Žilina⁷, czy *Silesia* relacji Praha hl.n. – Bohumín (– Warszawa Wsch. / Kraków Gł.). Natomiast lokomotywy serii 150 są wykorzystywane do obsługi pociągów pospiesznych pomiędzy Pragą i stacjami: Hradec Králové, Jaroměř i Týniště nad Orlicí, a także pociągami dalekobieżnymi EN *Slovakia* relacji Praha hl.n. – Humenné czy *SuperCity Košičan* relacji Praha hl.n. – Košice. Na uwagę zasługuje pociąg *Dukla*, łączący kiedyś Pragę z Moskwą, który za swych najlepszych czasów był zestawiany z aż 20 wagonów (masa brutto 1050 t) i zazwyczaj prowadziła go lokomotywa E 499 2 z Pragi przez Cierną nad Cisą do radzieckiego wtedy Czopu. Przejazd przez niektóre wzniesienia (Horní Lideč, Štrba) wymagał pomocy lokomotywy popychającej. Prędkość pociągu była ograniczona do 110 km/h ze względu na hamulec systemu Matrosow zamontowany w wagonach SŽD.



Rys. 11. 151 011 (ČD) na stacji Praha hl.n. (8.03.2008 r.)
[fot. M. Graff]

5.3. Lokomotywa elektryczna serii S 499.1 (242) kolei ČSD (ČD, ŽSR) oraz 43 i 44/45 kolei BDŽ

Wraz z elektryfikacją sieci ČSD w latach 70. XX w. napięciem 25 kV 50 Hz, pojawiło się zapotrzebowanie na tabor przystosowany do eksploatacji pod takim napięciem [5, 9, 14]. Z powodów ekonomicznych zdecydowano się adaptować pudło z lokomotyw serii E 469.3 (123) na napięcie 3 kV DC, z modyfikacjami wynikającymi z odmiennego rodzaju napięcia (całkowicie odmienna część elektryczna), np. większe żaluzje na ścianach bocznych pojazdu, nowy pulpit sterowania czy dodatkowo montaż hamulca elektrodynamicznego. Lokomotywy były dostarczane w trzech partiach – 30 egzemplarzy w 1975 r., 26 pojazdów w 1979 r. i 30 w 1981 r., sumarycznie 86 pojazdów. Po rozdziale ČSD na ČD

i ŽSR, cała seria została przejęta przez ČD i stacjonuje w lokomotywniach w Brnie i Pilźnie. Przeznaczeniem lokomotyw było prowadzenie pociągów pasażerskich i towarowych, jednak niska prędkość maksymalna – 120 km/h – powodowała, że ich zastosowanie było sukcesywnie ograniczane do prowadzenia pociągów lokalnych, ewentualnie niektórych pospiesznych, wraz z pozyskiwaniem przez ČSD lokomotyw nowszych serii.

Lokomotywa elektryczna serii S 499.1 (242) kolei ČSD (ČD, ŽSR) jest pojazdem 4-osiowym, przystosowanym do eksploatacji na liniach zelektryfikowanych napięciem 25 kV 50 Hz. Jest to lokomotywa o stosunkowo prostej konstrukcji i dużej niezawodności, pozbawiona urządzeń elektronicznych. Siły pociągowo-wzdłużne są przenoszone z wózków na ramę główną za pomocą skośnych cięgieł. Zawieszenie jest dwustopniowe – pierwszy stopień stanowią stalowe sprężyny, a drugi – resory piórowe. Prowadzenie zestawów kołowych jest kolumnowe. Jednak przy niewielkich nakładach na utrzymanie, problemy pojawiały się w części mechanicznej – przeniesienie sił wzdłużnych z pudła na wózki za pomocą skośnych cięgieł objawiało się drganiami wózków, czy nawet pękaniem samych cięgieł. Niedopracowany mechanizm nie pozwalał na pełne wykorzystanie mocy lokomotywy (rys. 12).

Pudło lokomotywy spoczywa na stalowej ramie głównej, a na obu końcach pojazdu znajdują się kabiny maszynisty. W obrębie ścian bocznych umieszczono żaluzje, w celu umożliwienia wymiany powietrza niezbędnego do chłodzenia urządzeń elektrycznych, ewentualnie odprowadzania powietrza gorącego na zewnątrz pojazdu. Do chłodzenia przedziału maszynowego służą 2 wentylatory umieszczone tamże. Odbiór prądu jest realizowany przez 2 pantografy symetryczne, po czym prąd przepływa przez 2 odłączniki automatyczne, wyłączniki pneumatyczne i odgromnik. Transformator jest umieszczony symetrycznie na ramie głównej, ma 32 odczepy oraz chłodzenie olejowe. Elementami transformatora są: autotransformator, zbiornik wyrównawczy, pompa olejowa i przełącznik Buchholza. Po obniżeniu napięcia w transformatorze, prąd jest kierowany przez krzemowy prostownik do silników trakcyjnych prądu stałego (1 prostownik zasila 1 silnik trakcyjny), które są zasilane prądem tętniącym (płynącym z prostownika prądu przemiennego przed odfiltrowaniem składowej zmiennej). Sześciobiegunowe silniki trakcyjne mają izolację klasy H, są całkowicie usprężynowane od ramy wózka i przenoszą moment obrotowy na zestawy kołowe za pomocą sprzęgła przegubowego i jednostronnej przekładni zębatej Škoda. Możliwe jest uzyskanie wzbudzenia silników do 44% oraz na 4 stopniach. Regulacja napięcia (i prędkości lokomotywy) odbywa się w zakresie 0–1 kV z uzwojenia wtórnego transformatora za pomocą siłownika pneumatycznego. Urządzenia

⁷ Wcześniej także IC Jan Perner relacji Praha hl.n. – Bohumín.

elektryczne w przedziale maszynowym są rozmieszczone symetrycznie – przejście prowadzi przez środek przedziału. Silniki trakcyjne są chłodzone przez wentylatory, urządzenia pokładowe zaś są zasilane napięciem 48 V DC z baterii akumulatorów, zawieszonych pod ramą lokomotywy. Lokomotywa jest wyposażona w 2 sprężarki tłokowe dwustopniowe trzycylindrowe 3 DSK 100, które dostarczają sprężone powietrze do urządzeń elektropneumatycznych i pneumatycznych pojazdu. Dwa główne zbiorniki powietrza umieszczone pod pudłem lokomotywy za pługiem odsnieżnym. Sprężone powietrze jest także tłoczone do dwóch zbiorników pomocniczych. Hamulec zasadniczy w lokomotywie jest pneumatyczny w systemie DAKO, a proces hamowania odbywa się przez klocki hamulcowe zamontowane obustronnie na wszystkich kołach lokomotywy. Hamulec pomocniczym jest hamulec ręczny. Pojazd jest wyposażony w system bezpieczeństwa ruchu LS IV. Obecnie, seria 242 nadal jest eksploatowana przez spółki z grupy ČD, choć dostawy ezt Pantera realizowane od 2011 r. spowodowały, iż znaczna część pojazdów serii 242 jest sukcesywnie wycofywana.

Podobne konstrukcyjnie do serii S 499.1 (242) kolei ČSD są lokomotywy serii 43, należące do kolei Bułgarii (typ 68E), BDŽ, które w latach 1971–1974 dostarczono w trzech partiach w liczbie 56 egzemplarzy [16, 17]. Seria 43 ma większą masę – 87 t zamiast 84 t i prędkość maksymalną – 130 / 120 km/h i niższą moc – 2900 kW wobec 3080 kW serii 242, przy czym część mechaniczna jest praktycznie niezmienną (rys. 13). W części elektrycznej różnicą jest zastosowanie dodatkowego filtra kondensatorowego tuż przed transformatorem. Serię 43 przydzielono do lokomotywni Górna Orjachowica i Podujane. W latach 1975–1980 (3 dostawy) i 1982–1983 (2 dostawy) wyprodukowano dla BDŽ zmodyfikowaną wersję (typ 68E1) w liczbie 89+60 lokomotyw oznaczonych przez BDŽ jako serie 44 i 45 (rys. 14), przy czym kontynuowano numerację serii 43. Różnice występują głównie w części mechanicznej – przeniesienie sił pociągowo-wzdłużnych z wózków na pudło odbywa się za pomocą czopa skrzytu. Odmiennie jest także zawieszenie drugiego stopnia – cylindryczne sprężyny oraz amortyzatory hydrauliczne. Różnicą pomiędzy serią 43 i 44 / 45 jest odmienna konstrukcja wózka, wynikająca ze zmienionego zawieszenia. Obniżenie prędkości maksymalnej ze 130 km/h do 110 km/h i podwyższenie siły pociągowej uzyskano przez zmianę przełożenia z 1:3,348 na 1:3,95 (seria 45 wobec 44). Lokomotywy zostały przydzielone do lokomotywni Górna Orjachowica i Podujane (seria 44) oraz Górna Orjachowica, Podujane, Burgas i Płowdiw (seria 45). W latach 1995–2003 przebudowano 43 lokomotywy serii 43 – zmieniono przełożenie przekładni na 1:3,95 i oznaczenie na 43.5. Przekładnie pochodziły z kasowanych lokomotyw serii 42, także dostarczonych przez Škodę. Celem przebudowy było pozyskanie pojazdów do prowadzenia pociągów towarowych. Obecnie

serie 43, 44 i 45 są podstawą obsługi trakcyjnej na zelektryfikowanych liniach BDŽ. Przewoźnik początkowo zlecał modernizacje chorwackiej firmie Končar (2 pojazdy serii 44 w 2004 r.), a w 2019 r. zdecydował się na wybór podmiotów z Czech i na Słowacji jako modernizatorów i wysłał doń 20 lokomotyw serii 44. Obecny łożystan serii 43 / 44 / 45 należących do BDŽ (2022 r.):

- seria 43: 31 lokomotyw w eksploatacji, 20 skasowanych i 5 sprzedanych innym przewoźnikom,
- seria 44: 43 pojazdy w eksploatacji, 31 skasowane i 15 sprzedane innym przewoźnikom,
- seria 45: 36 egzemplarzy w eksploatacji, 21 skasowane i 3 sprzedane innym przewoźnikom.

W 2012 r. spółka ZOS Zvolen zakupiła od BDŽ 4 lokomotywy serii 43.5, które następnie zostały zmodernizowane i przystosowane do eksploatacji na sieci ČD i ŽSR. Po 1 lokomotywie uzyskali: przewoźnik Railtrans International i Lokorail ze Słowacji, a 2 kolejne Loko Trans z Czech. Prywatni przewoźnicy w 2015 r. zakupili od ČD część wycofanych lokomotyw serii 242, które po modernizacji powinny zostać przywrócone do ruchu.



Rys. 12. 242 221 (ČD) na stacji Brno hl. n. (9.03.2008 r.) [fot. M. Graff]



Rys. 13. 510.7+43 526.3 (BDŽ) na stacji Płowdiw, Bułgaria (8.01.2016 r.) [fot. HotMusicFan] / Wikimedia Commons]



Rys. 14. 44 061 (BDŽ) z pociągiem dalekobieżnym na stacji Sofia Główna, Bułgaria (6.10.2019 r.) [fot. M. Graff]

5.4. Seria E 479.1 (131)

Lokomotywa elektryczna typu E479.1 (131) została zaprojektowana w 1981 r. do prowadzenia ciężkich pociągów towarowych na liniach zelektryfikowanych prądem stałym 3 kV [5, 9, 14]. Jest to pojazd dwuczłonowy, przy czym każdy człon można eksploatować oddzielnie jako lokomotywę jednokabinową. Dodatkowo, oba człony lokomotywy są połączone sprzęgiem śrubowym (UIC). Nowością był kształt pudła lokomotywy – postawiono na proste geometryczne kształty. Na dachu lokomotywy znajdują się żaluzje i filtry, przez które przechodzi powietrze chłodzące silniki trakcyjne i fedralowe rezystory rozruchowe. Urządzenia te miały większe gabaryty niż stosowane wcześniej w lokomotywach eksploatowanych na sieci ČSD, co było związane z faktem, że seria E479.1 (131) miała prowadzić pociągi z rudą żelaza i węglem kamiennym przez trudny górski teren – na linii Koszycko – Bogumińskiej przebiegającej przez masyw słowackich Tatr (rys. 15 i 16).

Silniki trakcyjne zamontowane na ramie wózka, są całkowicie usprężynowane, a przeniesienie napędu odbywa się przez przekładnię typu Škoda. Siły pociągowe są przenoszone przez czop skrętu, a zawieszenie jest dwustopniowe: cylindryczne sprężyny i tłumiki hydrauliczne. Sprężyny są zawieszane w ten sposób, że przy ich wymianie nie ma potrzeby zdejmowania pudła lokomotywy. Wózki w każdej sekcji lokomotywy są połączone sprzęgiem międzywózkowym ułatwiającym wpisywanie się lokomotywy w łuki. Zestawy kołowe mają prowadzenie kolumnowe, w szczególności zmienione w stosunku do serii 350/150. Zamontowany jest także mechanizm wyrównywania nacisku osiowego. Pomiędzy ramą główną a czołownicą znajduje się specjalna belka, pochłaniająca większość energii w razie zderzenia pojazdu z przeszkodą. Uszkodzoną belkę można łatwo wymienić.

Lokomotywa jest wyposażona w układ elektroniczny, który sygnalizuje maszynie niektóre awarie w układzie elektrycznym, a także informuje, w jakich pozycjach znajduje się nastawnik jazdy. Oprócz tego urządzenia, maszynista ma do dyspozycji radiotelefon, a także system zabezpieczenia autostop-ALSN. Nastawnik jazdy ma 42 pozycje, przy czym ustawienia od 37. do 42. są pozycjami jazdy z osłabieniem wzbudzenia silników. Lokomotywę wyposażono w hamulec ręczny i pneumatyczny. W 2000 r. w dwóch egzemplarzach serii 131 (z opcją rozszerzenia na całą serię) zamontowano nowy elektroniczny system diagnostyczny MIREL, sygnalizujący usterki w lokomotywie, a także umożliwiający zastosowanie większej automatyki prowadzenia lokomotywy. Wyprodukowano 50 sztuk pojazdów serii 131, które prowadzą na ogół ciężkie pociągi towarowe na odcinku Koszyce – Ostrawa. Numeracja lokomotyw jest inna niż np. pojazdów spółek PKP, np. ET41 (ET41-001-A, ET41-001-B), ponieważ ZSSK numerują nie lokomotywę, ale każdy człon z osobna. Zatem pierwszy egzemplarz 131 ma numer inwentarzowy 131 001 + 131 002.

Obecnie, wszystkie lokomotywy znajdują się w dyspozycji Kolei Słowackich, a także wjeżdżają na sieci sąsiednie – SŽ i PLK, gdy przeprowadzają pociągi towarowe z Koszyc do Muszyny oraz w Zwardoni, skąd docierają od strony Čadcy. Prowadzą także – wyjątkowo – pociągi pasażerskie na słowackiej sieci kolejowej. Cała seria stacjonuje w lokomotywni w Spiskiej Nowej Wsi (linia Koszyce – Poprad – Żylin).

Na początku kwietnia 2008 r., na torze doświadczalnym CNTK w Węglewie k. Żmigrodu, wykonano próby techniczno-ruchowe lokomotywy serii 131 (131 025 + 131 026) należącej do ZSSK Cargo w celu wydania świadectwa dopuszczenia do ruchu lokomotyw serii 131 na sieć PLK. Dotychczas serie 131 i ET41 były dopuszczone do wjazdu jedynie na teren stacji granicznych ŽSR – Skalité (ET41) i PKP – Muszyna (131). Wykonanie prób zaplanowano na 10 dni, a w tym celu lokomotywa serii 131 otrzymała pantografy z miedzianymi wkładkami ślizgacza (2 pantografy, tzw. wewnętrzne), zgodnie z ówczesnymi przepisami PKP⁸. Równocześnie dla ZSSK Cargo w Węglewie przeprowadzono próby ET41-105, ponieważ zaplanowano wydanie analogicznego świadectwa dopuszczenia do ruchu na sieci kolei słowackich ŽSR dla serii ET41. Na mocy porozumienia pomiędzy kolejami słowackimi i polskimi, dwuczłonowe lokomotywy elektryczne przewoźnika ZSSK Cargo tej serii otrzymały certyfikat dopuszczenia do ruchu po sieci PLK w połowie 2008 r. Pierwszą z nich była seria 131 025 + 131 026, która prowadziła pociągi

⁸ Obecnie wymagany jest montaż pantografów z nakładkami grafitowymi.

między Koszycami a Krakowem (przez przejście Plaveč – Muszyna). Przewoźnik – ZSSK Cargo – wytypował kolejne lokomotywy tej serii przeznaczone do polonizacji (finalizacja procesu odbyła się pod koniec grudnia 2009 r.): 097/098, 009/010, 067/068, 039/040, 063/064, 019/020, 023/024 i 029/030. Proces polonizacji polegał na montażu polskiego systemu bezpieczeństwa – SHP i CA i łączności radiowej oraz wymianie ślizgaczy z węglowych na miedziane (po 2 pantografy połówkowe ze ślizgaczami obu rodzajów). Procesowi przystosowania do ruchu po sieci ŽSR i SŽ poddaje się przeważnie pojazdy serii ET41 będące na inwentarzu lokomotywowni Czechowice – Dziedzice. Od stycznia 2012 r. seria 131 kursuje w wydłużonych relacjach Haniska pri Košicach – Šwinojuście (trasą Bohumín – Zduňská Wola Karsznice – Poznań – Krzyż – Szczecin).



Rys. 15. 131 005 + 131 006 (ZSSK) na stacji Plaveč, stacji granicznej ŽSR / PKP (7.02.2009 r.) [fot. M. Graff]



Rys. 16. Połączenie pomiędzy członami lokomotywy serii 131 [fot. M. Graff]

6. Seryjne wdrożenie impulsowego rozruchu silników trakcyjnych

Na początku lat 80. XX w. Škoda wyprodukowała lokomotywy przystosowane do eksploatacji na liniach zelektryfikowanych napięciem zarówno 3 kV DC, jak i 25 kV 50 Hz (dwusystemowe, obecne serie 363/362), na bazie których producent opracował wersje jednosystemowe – opcjonalnie 3 kV DC (seria 163/162) lub 25 kV 50 Hz (seria 263). Do komunikacji z Niemcami wyprodukowano pojazdy przystosowane do pracy pod napięciem 3 kV DC i 15 kV 16,7 Hz (seria 371/372 i 180), w których jednak zdecydowano się pozostawić starszy (rezystorowy) rozruch silników trakcyjnych.

6.1. Seria ES499.1 (363)

Lokomotywy serii ES 499.1 (363) są dwusystemowymi pojazdami przystosowanymi do pracy pod napięciem 3 kV DC i 25 kV 50 Hz (rys. 17). Pojazd ma uniwersalną charakterystykę i jest przeznaczony do obsługi pociągów pasażerskich i towarowych. Na prowadzenie tych ostatnich pozwala duża moc: 3060 kW pod napięciem 25 kV 50 Hz i 3480 kW przy zasilaniu 3 kV DC. Zamówienie złożono w 1976 r., a 4 lata później zaprezentowano prototyp lokomotywy. Przy projektowaniu pojazdu założono, że seria ES 499.1 (363) będzie konstrukcją wyjściową dla lokomotyw przystosowanych do pracy tylko pod napięciem: 3 kV (seria E 499.3; 163) i 25 kV 50 Hz (S 499.2; 263), zatem maksymalnie zunifikowano zarówno część mechaniczną, jak i elektryczną [5, 9, 14, 18]. Stylistyka pudła nawiązywała do nowego prostego wzornictwa, jakie zastosowano np. w pojazdach serii E 479.1 (131). Część elektryczna lokomotywy powstała we współpracy Škody z firmą ČKD Elektrotechnika: opracowano 2 prototypy ES 499 1001 i 1002. Produkcję seryjną uruchomiono w 1985 r., a realizację ukończono w 1990 r. Prototypy przechodziły próby techniczno-ruchowe w grudniu 1980 r. na odcinku Horažďovice – Plzeň – Cheb, a także w okolicach Jihlavy i na torze doświadczalnym ŽZO Cerhenice. Po wykonaniu prób, lokomotywy przydzielono do LD Jihlava. Początkowo w pojazdach pojawiały się problemy z elektroniką i przekształtnikami tyrystorowymi, jednak producent wyeliminował usterki tych urządzeń.

Lokomotywa serii ES 499.1 (363) jest pojazdem czteroosiowym z indywidualnym napędem każdej z osi. Silniki trakcyjne, całkowicie usprężynowane, są zawieszane na ramie wózka. Przeniesienie napędu z silnika na zestaw kołowy odbywa się za pośrednictwem przekładni typu Škoda. Wózki są zunifikowane i możliwa jest bezproblemowa wymiana pomiędzy poszczególnymi seriami (363, 263, 163 itp.). Zawieszenie pudła na wózkach jest dwustopniowe:

pierwszy – to cylindryczne sprężyny, drugi – cylindryczne sprężyny i tłumiki hydrauliczne. Siły pociągowe są przenoszone przez czop skrętu, a zestawy kołowe mają prowadzenie kolumnowe. Oba wózki są połączone sprzęgiem międzywózkowym, ułatwiającym wpisywanie się lokomotywy w łuki o małych promieniach. Dodatkowo, zamontowany jest mechanizm pneumatyczny, wyrównujący naciski poszczególnych kół na tor. Boczna część pudła lokomotywy nie jest symetryczna: po jednej stronie znajdują się żaluzje i filtry potrzebne do chłodzenia silników i oporników federalowych składających się na hamulec elektrodynamiczny. Z drugiej strony znajdują się 4 okrągłe okna. Na każdym końcu pudła lokomotywy znajduje się kabina maszynisty. Silniki trakcyjne są nowej generacji: sześciopolewe, kompensowane z pełnym wzbudzeniem są zamknięte w każdym wózku (po 2 na każdy wózek) i tworzą jedną całość. Zaciski silników są zasilane z dwóch przekształtników tyrystorowych sterowanych częstotliwościowo – 33,3 Hz, 100 Hz i 300 Hz. Pełne wzbudzenie grupy silników otrzymuje się z jednego połączonego przekształtnika, a uruchomienie procesu hamowania następuje przez odwrócenie polaryzacji przekształtników i połączenie silników z rezystorami hamulca ED (2 silniki – 1 opornik). Napięcie na zaciskach silników, a tym samym i prędkość lokomotywy, reguluje się płynnie kolejnym przekształtnikiem tyrystorowym przy pełnym wzbudzeniu silników, co pozwala na ekonomiczne zużycie energii. Urządzenia pomocnicze w lokomotywie są zasilane z tyrystorowych przekształtników pomocniczych (3000 / 600 V). Przy jeździe pod prądem przemiennym, napięcie z sieci jest kierowane przez główny transformator i dalej przez 2 prostowniki (przy napięciu 3 kV w sieci prąd, omijając transformator przepływa wprost przez przekształtniki do silników trakcyjnych). Hamulec ED działa w zakresie 7–140 km/h (362) lub 7–120 km/h (363), a poniżej tej wartości można stosować tylko hamulec pneumatyczny. W celu zwiększenia komfortu prowadzenia lokomotywy zamontowano system ARR (rodzaj tempomatu), zachowujący nastawioną prędkość w granicach błędu do 3 km/h. Każda lokomotywa ma zamontowany hamulec DAKO, system bezpieczeństwa LS 90 i 2 sprężarki plus 2 zbiorniki powietrza (sumarycznie 900 l).

Wyprodukowano 180 egzemplarzy ES 499.1 (363) i jeden 362, przy czym druga seria miała podwyższoną prędkość maksymalną w stosunku do pierwszej ze 120 do 140 km/h (rys. 18). Na przełomie 1993 i 1994 r. przebudowano 15 lokomotyw przystosowując je do prędkości 140 km/h i oznaczono jako serię 362 oraz zachowano dotychczasowe numery inwentarzone przewoźnika ČD (ZSSK przenumerowały przebudowane lokomotywy zaczynając od numeru „1”). Przebudowa, która była podyktowana potrzebą

posiadania pojazdów do obsługi szybkich pociągów kwalifikowanych, polegała na poniesieniu prędkości maksymalnej ze 120 km/h do 140 km/h przez zmianę przełożenia przekładni głównych, zamontowanie kolejnych tłumików hydraulicznych i mocniejszych szyb w oknach czołowych. Proces modernizacji serii 363 (przebudowy na serię 362) polegał także na wymianie wózków z serią 162 (której zmieniono oznaczenie na 163.2).

Nowe lokomotywy przydzielono do LD České Budějovice, Plzeň, Praha Jih, Zdice i Nymburk. Po podziale Czechosłowacji, 121 lokomotyw serii 363 przejęły ČD: DKV Brno, České Budějovice, Ostrava, Plzeň i Praha, a 42 – ŽSR (obecnie ZSSK): Bratislava. Lokomotywy zmodernizowane – serii 362 otrzymały przydział do DKV Praha PJ Vršovice oraz Bratislava. Obecne stacjonowanie serii 363 to lokomotywnie: Ostrava, Plzeň, Ústí nad Labem (ČD) oraz Bratislava i Bratislava východ (ZSSK) plus 362: Brno i Plzeň (ČD) i Bratislava i Bratislava východ (ZSSK).



Rys. 17. 363 062 (ČD) (napięcie w sieci – 3 kV DC) na stacji Praha hl.n. (8.03.2008 r.) [fot. M. Graff]



Rys. 18. 362 011 (ZSSK) z pociągiem EC z Pragi na stacji Budapest Keleti (19.06.2013 r.) [fot. M. Graff]

Seria 363 oraz 362 jest obecnie najpopularniejszą lokomotywą na sieci dawnych kolei ČSD, używaną do obsługi zarówno pociągów pasażerskich

(362, 363), jak i towarowych (tylko 363) na liniach magistralnych, gdzie występuje styk obu systemów zasilania (3 kV i 25 kV 50 Hz). Te lokomotywy (362/363) prowadzą m.in. pociągi tranzytowe klasy EC z Polski przez Czechy i Słowację do Wiednia czy Budapesztu: odcinek Bohumín – Břeclav (Sobieski, Polonia, Chopin), czy Plaveč – Hidasnémeti (Cracovia⁹). Z racji większej prędkości maksymalnej wobec serii 363 (140 km/h vs. 120 km/h), seria 362 jest używana głównie w ruchu pasażerskim – od pociągu EC/IC, przez pociągi pospieszne do osobowych na sieci ČD, w szczególności dla pociągów kursujących w kierunku północ-południe. Na sieci ŽSR wykorzystanie serii 363/362 ogranicza się do linii Bratislava – Žylina, gdzie występuje styk obu systemów zasilania (3 kV DC, 25 kV 50 Hz), jedyny na sieci kolei słowackich. Znaczna liczba lokomotyw serii 363 została przebudowana na serię 362, zapewniając bardziej wszechstronne zastosowanie – z wyprodukowanych ponad 180 pojazdów (obecnie jako seria 363) eksploatowanych jest około 60 pojazdów, a przewoźnicy z grup ČD i ZSSK eksploatują około 100 lokomotyw serii 362.

W połowie grudnia 2008 r. węgierski urząd transportu kolejowego wydał certyfikat dopuszczenia serii 363 do ruchu po sieci MÁV przewoźnika ZSCS (Żelazniczna społeczność Cargo Slovensko), obecnie ZSSK Cargo. Próby lokomotyw na sieci MÁV były wykonywane na odcinkach Hegyeshalom – Ötvevény i Hegyeshalom – Lébény – Mosonszentmiklós. Procedura dopuszczenia do ruchu serii 363 obejmowała montaż: systemu bezpieczeństwa Mirel 1 w wersji 03, pedału nożnego urządzenia czuwakowego oraz systemu łączności radiowej. Obecnie przystosowano 3 pojazdy serii 363 (nr 102, 103 i 104) z lokomotywowni VP Bratislava východ. Począwszy od maja 2009 r. i według uzgodnień pomiędzy ZSCS i MÁV, lokomotywy te prowadzą pociągi towarowe na odcinku Koszyce – Miskolc przez przejście Čana – Hidasnémeti bez zmiany lokomotywy na granicy. Przewidziano także prowadzenie pociągów EC (2 pary) Budapeszt – Koszyce na tym samym odcinku bez zmiany lokomotywy. W przypadku braku lokomotyw serii 350, obecnie prowadzących pociągi EC na odcinku Bratislava – Budapeszt, seria 363 także prowadziła pociągi do stolicy Węgier. Do momentu dopuszczenia serii 363/362 na sieć kolei węgierskich docierały jedynie słowackie lokomotywy elektryczne serii 240 (seria 363 – tylko do stacji granicznych MÁV – Komárom i Rajka). Obecnie do Budapesztu dojeżdżają wytypowane 4 lokomotywy serii 362 kolei ZSSK, przystosowane do poruszania się po sieci MÁV,

prowadząc pociągi pasażerskie IC, EC, czy EN (odcinek Bratislava hl. st. – Komárom – Budapest Keleti ew. Nyugati). Ze względu na wysoki nacisk osi (22 t), pojazdy obu serii mają dopuszczenie wjazdu jedynie na stacje graniczne PKP PLK.

Wraz z zakupem ezt InterPanter przez ČD, zapotrzebowanie na lokomotywy serii 363 zmniejszyło się, jednak pozycja serii 363 w krajowym ruchu towarowym wydaje się niezagrożona, a w towarowym ruchu międzynarodowym wykorzystywana jest zmodernizowana seria 363.5 (rys. 19). Szczegółowo: w połowie 2011 r. podpisano umowę pomiędzy ČD Cargo i Škoda Transportation na przebudowę 30 jednostek lokomotyw (3 kV DC) serii 163 na dwusystemową serię 363.5 (3 kV DC; 25 kV 50 Hz) wraz z ich dostarczeniem w latach 2011–2014. Przebudowę zrealizowano w zakładzie Pars nova Šumperk będącej spółką córką koncernu Škoda Transportation. Zgodnie z umową, przebudowane lokomotywy są dopuszczone do eksploatacji na terenie sieci kolejowych Czech, Słowacji i Węgier. Zakres modernizacji obejmował [12, 13]:

- zrównanie mocy na obu systemach zasilania do 3700 kW (pierwotnie seria 363 miała inną moc przy jeździe pod napięciem 3 kV i 25 kV);
- modernizację silników trakcyjnych (podniesienie mocy do 925 kW);
- wymianę przetwornic (trakcyjnych oraz pomocniczych) na statyczne, zbudowanych na podstawie technologii IGBT (urządzenia dostarczyła Škoda);
- montaż nowego transformatora EFAT 6745 wyprodukowanego przez Siemens;
- umożliwienie hamowania rekuperacyjnego na obu systemach zasilania (AC i DC);
- zamontowanie sterowania wielokrotnego;
- zastosowanie nowych hydraulicznych amortyzatorów wózków;
- lokomotywy zostały dobalastowane do masy całkowitej 88 t w celu uzyskania odpowiedniej przyczepności i siły pociągowej;
- zamontowano nowy mikroprocesorowy system sterowania pojazdem, w tym tempomat (AVV – *automatické vedení vlaku*) oraz MSV Elektronika NVL – moduł systemu jazdy ukrotnionej i system bezpieczeństwa ruchu MIREL;
- wymieniono reflektory na diodowe LED.

W latach 2011–2013 sumarycznie zmodernizowano 30 lokomotyw do poziomu 363.5. Seria prowadzi ciężkie pociągi nie tylko po sieci ČD, ale także w krajach sąsiednich – do stacji granicznej MÁV / HŽ Gyékényes i do stacji Ostrava–Bartovice i Petrovice

⁹ Kraków – Koszyce – Budapeszt, obecnie kursowanie pociągu jest zawieszona.

u Karviné (przewóz rudy żelaza) oraz kontenerowe z terminalu Haniska pri Košiciach (stacja wyposażona w tor normalny i szeroki, ostatni biegnący z Ukrainy) oraz stacji granicznej CFR / MÁV Curtici.



Rys. 19. 363 511 (ČD) z pociągiem towarowym (napięcie w sieci – 3 kV DC) w pobliżu stacji Ústí nad Labem, Czechy (17.06.2014 r.) [fot. K. Steiner]

6.2. Seria S 499.2 (263)

Lokomotywa elektryczna serii S 499.2 (263) jest przeznaczona do obsługi pociągów towarowych i pasażerskich na liniach zelektryfikowanych prądem przemiennym 25 kV 50 Hz (rys. 20). Niektóre rozwiązania części elektrycznej zaczerpnięto ze starszych lokomotyw produkowanych przez Škodę – serii 363, a nowe lokomotywy miały uzupełnić park już istniejących pojazdów. Część mechaniczna została nieznacznie zmieniona w porównaniu z serią ES 499.1 (363), żadnym modyfikacjom nie poddawano silników trakcyjnych.

W pojeździe serii S 499.2 (263) każdy z czterech silników trakcyjnych jest zasilany z drugiego uzwojenia transformatora [5, 9, 14]. Przy płynnej regulacji częstotliwościowej silników trakcyjnych lokomotywa porusza się płynnie w zakresie prędkości 0–60 km/h przy pełnym wzbudzeniu silników, a w zakresie 60–120 km/h prędkość lokomotywy jest regulowana słabszymi stopniami osłabienia wzbudzenia. Niskonapięciowy rozruch lokomotywy następuje za pomocą przekształtników tyrystorowych, a hamowanie pojazdem (układ silnik / hamulec ED) również odbywa się za pomocą układu impulsowego. Na dachu lokomotywy znajdują się dwa pantografy niesymetryczne, od których odchodzi kabel wysokiego napięcia przechodzący przez układ zabezpieczający część elektryczną przed przepięciami atmosferycznymi i zapewniający uziemienie, dalej napięcie jest kierowane do transformatora wyposażonego w 8 niezależnych uzwojeń do zasilania:

- silników trakcyjnych,
- aparatury pomocniczej w lokomotywie,
- wzbudzenia silników trakcyjnych,
- pompy olejowej chłodzącej transformator i przekształtniki,

- ogrzewania wagonów,
- pomocniczych urządzeń w lokomotywie.



Rys. 20. 263 008 (ZSSK) z poc. zmiennokierunkowym na stacji Bratislava hl. stanica (22.06.2019 r.) [fot. M. Graff]

Przekształtnik rozruchowy składa się z 4 diod i 4 tyrystorów z chłodzeniem olejowym. Do zasilania urządzeń pomocniczych służy napięcie 440 V, które w zależności od potrzeb można obniżyć do 220 V, 260 V i 300 V. Przy hamowaniu elektrodynamicznym silniki pracują na pełnym wzbudzeniu, a uruchomienie hamulca ED odbywa się przez regulację wzbudzenia silników. Hamowanie przy prędkości poniżej 40 km/h uruchamia samoczynnie hamulec pneumatyczny, a przy prędkości 10 km/h i mniejszej, lokomotywę można hamować tylko hamulcem pneumatycznym. Moc lokomotywy i prędkość maksymalna są identyczne jak dla serii ES 499.1 (363) – 3060 kW i 120 km/h.

W 1984 roku wyprodukowano 2 prototypy serii S 499.2 (263), które poddano próbom na torze doświadczalnym w Velimiu, gdzie lokomotywy przejechały ogółem 100 tys. km. Produkcję seryjną zrealizowano w 1988 r., a serię (łącznie 12 egzemplarzy – dwa pojazdy prototypowe S 499.2001 i S 499.2002) przydzielono do lokomotywni Jihlava (obecnie lokomotywy stacjonują w lokomotywni w Brnie) oraz do lokomotywni w Bratisławie nr 003–012, gdzie pojazdy stacjonują do dzisiaj. Seria zyskała wysokie oceny personelu ČSD jako wyjątkowo niezawodna i łatwa w eksploatacji. Seria 263 prowadzi pociągi kursujące pomiędzy Brnem i Bratisławą. W pojazdach zamontowano starszy system bezpieczeństwa ruchu – LS III, a obecnie nie są przewidziane ich modernizacje, np. podniesienie prędkości. Po zakupieniu przez ZSSK w 2009 r. pociągów zmiennokierunkowych serii 951, seria 263 została przystosowana do prowadzenia podobnych pociągów wraz z serią 381 zakupioną u Škody w 2011 r. (2 pojazdy).

6.3. Seria E 499.3 (163) i E 630

Lokomotywa serii E 499.3 (163) powstała jako odpowiedź na potrzebę zastąpienia serii 140 / 141, jednocześnie z wykorzystaniem rozwiązań technicznych

zastosowanych w serii ES 499.1 (363). Pojazd tej serii jest pojazdem jednosystemowym (3 kV DC), którego eksploatacja na sieci ČSD rozpoczęła się w 1984 r. (dostawy zrealizowano do 1992 r.). Część mechaniczna nie różni się od zastosowanej w wyprodukowanych wcześniej innych lokomotywach nowej generacji, a różnica polega tylko na mniejszej masie pojazdu spowodowanej brakiem transformatora [5, 9, 14]. Pozostałe parametry – prędkość maksymalna, moc, są identyczne. Ogółem wyprodukowano 120 lokomotyw serii E 499.3 (163) i połowę mniej serii 162, z których większość (odpowiednio 88 i 29) po podziale Czechosłowacji przydzielono ČD. Serie te różnią się jedynie prędkością maksymalną (120 i 140 km/h), a moc i masa służbowa, są takie same. Hamulec ED, przekształtniki tyrystorowe dla serii 163 / 162 są podobne do zastosowanych w lokomotywach serii 363/362. W latach 1993–1994, w części pojazdów serii 162, wstawiono wózki z serii 363 celem określenia, czy można w ten sposób zwiększyć prędkość lokomotyw dwusystemowych. Wynik okazał się pozytywny, a zmienione pojazdy – sumarycznie 21 szt. (ČD) + 14 szt. (ZSSK) serii 162, otrzymały w 1994 r. oznaczenie 163.2 (rys. 21).

Kryzys ekonomiczny oraz przemiany ustrojowe w 1989 r., a także podział Czechosłowacji na dwa państwa 3 lata później, spowodował kłopoty finansowe kolei czeskich i słowackich. Nowe lokomotywy serii 163 wyprodukowane przez Škodę nie były przez ČD czy ŽSR odbierane, zatem producent rozpoczął poszukiwania nowego nabywcy. Przewoźnik z Włoch – Ferrovie Nord Milano Esercizio SA w 1994 r. zgłosił zainteresowanie pojazdami i zakupił 9 lokomotyw serii 163. Jednak w 1994 r. sytuacja finansowa zarówno kolei słowackich, jak i czeskich ustabilizowała się: po negocjacjach zawarto porozumienie i obaj przewoźnicy odebrali gotowe pojazdy – odpowiednio 10 i 40 sztuk. Pierwszy przydział lokomotyw serii 163 to: LD Česká Třebová, Olomouc i Košice. Zatem pojazdy zostały przystosowane do wymagań nowego odbiorcy – FNM, które obejmowały m.in. wymianę pantografów, obniżenie skrzyni z rezystorami hamulcowymi na dachu, a także dostosowanie do ruchu lewostronnego i inne (rys. 22). Lokomotywy otrzymały oznaczenie E 630, numerację 01–09 i prowadziły zarówno pociągi pasażerskie (w tym zmiennokierunkowe), jak i towarowe. W ostatnich latach spółka FNM odnowiła własny tabor głównie przez zakup pięciotyśięc, elektrycznych zespołów trakcyjnych. Seria E 630 kursowała pomiędzy Chiasso i Desio, choć coraz częściej była wycofywana z ruchu. Tę sytuację wykorzystał zarejestrowany w marcu 2009 r. przewoźnik RegioJet, który w ostatnich miesiącach próbował uzyskać udział w czeskim rynku kolejowych przewozów pasażerskich. Po wiosennych i letnich jazdach prezentacyjnych, z wykorzystaniem dwóch wypożyczonych

spalinowych zt Desiro wyprodukowanych przez Siemens w różnych regionach Czech, spółka RegioJet ogłosiła zamiar uruchomienia dalekobieżnych przewozów pasażerskich na odcinku Praga – Ostrawa, a tym samym bezpośrednio konkurować z ČD. W tym celu spółka odkupiła w maju 2010 r. wszystkie 9 egzemplarzy lokomotyw serii E 630 od FNM i ogłosiła przetarg na dostawę 50 wagonów pasażerskich (rys. 23) do ruchu dalekobieżnego (pozyskała ostatecznie tabor używany od ÖBB). Pierwsze 3 lokomotywy serii E 630 FNM przetransportowano z Włoch do czeskiej stacji granicznej Břeclav na początku lipca 2010 r., skąd zostały przewiezione do stacji Střelice. Lokomotywy zmodernizowano, co obejmowało zwiększenie prędkości maksymalnej do 140 km/h i otrzymano oznaczenie serii 162.



Rys. 21. 163 048 (ČD) z pociągiem Vltava rel. Moskwa – Praga na stacji Warszawa Wschodnia (1.04.2012 r.) [fot. M. Graff]



Rys. 22. E 630-05 (FNM) z pociągiem lokalnym na stacji Milano Cadorna, Włochy (16.04.2001 r.) [fot. S. Paolini]

Obecnie, pojazdy serii 162 stacjonują w lokomotywniach (ČD i ZSSK) zlokalizowanych w Czeskiej Trzebowej, Deczynie, Pradze i Ústí nad Labem (ČD) oraz Żylinie (ZSSK), a serie 163 i 163.2 – w Bohuminie, Czeskiej Trzebowej, Deczynie, Ołomuńcu, Ostrawie, Pradze, Ústí nad Labem (ČD) oraz Koszycach i Żylinie (ZSSK). Lokomotywy kolei ČD serii 163 prowadzą zarówno pociągi pasażerskie (przeważnie na liniach bocznych, gdzie prędkość

120 km/h jest wystarczająca), jak i towarowe oraz zastąpiły wcześniej używane sześciokośmowe lokomotywy serii 181 plus odmiany na liniach kolejowych Czech obfitujących w łuki. Lokomotywy ZSSK serii 163 prowadzą wyłącznie pociągi pasażerskie po sieci ŽSR: do prowadzenia ciężkich pociągów towarowych ZSSK dysponują serią 131, a odpowiednia moc jest wymagana z powodu trudniejszego profilu linii kolejowych na Słowacji w porównaniu z profilem linii kolejowych w Czechach, co wynika z ukształtowania terenu. W ostatnich 10 latach wraz z pozyskaniem przez ČD ekt serii 440/650 (RegioPanter), 660 (InterPanter) i 471 (CityElefant) zapotrzebowanie na lokomotywy serii 163 zmniejszyło się. Lokomotywy serii 162/163 przewoźnika ZSSK obecnie są dopuszczalne do ruchu na terenie stacji granicznej PLK Zwardoń. Wytypowany egzemplarz 163 należący do ZSSK prowadzi pociągi pasażerskie na odcinku granicznym ŽSR – UZ Čierna nad Tisou – Czop, zestawione z 2–3 wagonów: jednego do jazdy dziennej (ZSSK) oraz 1–2 sypialnych UZ kursujących w komunikacji Kijów – Bratysława – Praga / Wiedeń.



Rys. 23. 162 118 (RegioJet) z pociągiem Praga – Ostrawa na stacji Hranice na Moravě, Czechy (19.09.2013 r.) [fot. M. Graff]

6.3.1. Seria 163 na sieci PLK

W drugiej połowie 2007 r., cztery wytypowane pojazdy 163 kolei ČD (stan ten zwiększono wkrótce do 5 lokomotyw) rozpoczęły prowadzenie pociągów spółki PKP IC na sieci PLK: początkowo był to odcinek (Bohumín –) Zebrzydowice – Kraków – Krynica / Rzeszów, potem także EC Wawel na odcinku Kraków – Legnica, czy pociąg Skalnica na odc. Kraków – Zwardoń plus połączenia lokalne w okolicach Czechowic – Dziedzic, Kłodzko – Międzyzlesie – Lichkov, i dalekobieżne – Warszawa – Łódź czy Warszawa – CMK – Katowice – Bohumín (pociąg Vltava rel. Moskwa – Praga) [12, 13]. Były to pojazdy: 163 044 – *Marysia*, 163 045 – *Wanda*, 163 046 – *Kasia*, 163 047 – *Basia*, 163 048 – *Jadwiga*. Na początku listopada 2012 r. Przewozy Regionalne wypożyczyły od ČD 10 elektrycznych lokomotyw serii 163 plus jedną

rezerwową do obsługi pociągów uruchamianych przez polskiego przewoźnika po sieci PLK. Były to pojazdy: 163 021 – *Małgosia*, 163 022 – *Ela*, 163 026 – *Gabryśia*, 163 029 – *Beata*, 163 030 – *Agata*, 163 034 – *Helena*, 163 035 – *Zosia*, 163 040 – *Edyta*, 163 041 – *Kamila* i 163 042 – *Oliwia*, pochodzące z lokomotywowni Česká Třebova. Za utrzymanie pojazdów był odpowiedzialny w Polsce zakład taboru w Toruniu, a poważniejsze naprawy wykonywano w macierzystej jednostce w Czechach, gdzie wypożyczone lokomotywy zjeżdżały co 40 dni. Seria 163 zastąpiła dotychczas dzierżawione od PKP Cargo lokomotywy serii ET22. Proces wynajmu wybranych lokomotyw ČD serii 163 przez PR zakończył się pod koniec 2015 r. (rys. 24).



Rys. 24. 163 030 (dzierżawiona przez PR od ČD) z pociągiem lokalnym na stacji Poznań Garbary (29.03.2014 r.) [fot. M. Graff]

6.4. Seria 361

W listopadzie 2011 r. ŽOS Vrútky na Słowacji zaprezentowały prototypowy pojazd oznaczony 361 001 (przebudowana 163 053 z lokomotywowni Koszyce, rysunek 25) ze zwiększoną mocą: z 3480 do 3600 kW (3 kV DC) i z 3060 do 3200 kW (25 kV 50 Hz) oraz prędkością maksymalną podniesioną ze 120 km/h do 140 km/h (zmiana przełożenia przekładni głównej plus montaż dodatkowych tłumików drgań) [18]. Wymieniona została praktycznie cała część elektryczna (przekształtniki główne i pomocnicze, transformator, system sterowania i licznik zużycia prądu), a także pantografy. W kabinie maszynisty zamontowano klimatyzację. Do przebudowy zakwalifikowano kolejne 2 pojazdy, w tym 362 006 uszkodzoną w pożarze. Sumarycznie, od lipca 2011 r. do listopada 2012 r., przebudowano 5 lokomotyw oznaczonych jako 361: 001–005. Próby techniczno-ruchowe serii 361.0 przeprowadzono w połowie 2012 r. pod dwoma systemami zasilania i równocześnie przeszkolono 80 maszynistów ZSSK. Po przebudowaniu 5 lokomotyw, zdecydowano się zmodyfikować dokumentację techniczną

i opracować projekt pojazdu ze zwiększoną prędkością maksymalną do 160 km/h z oznaczeniem serii 361.1. Na początku stycznia 2013 r. wykonano próby pierwszej przebudowanej lokomotywy 361 101 (ex 163 102) na odcinku Vrútky – Čadca (po napięciu 3 kV DC). Sumarycznie przebudowano 23 pojazdy, nadając od września 2013 r. do początku 2017 r. nowe numery inwentarzowe 361: 101–110, 120–130. Przeznaczeniem obu podserii lokomotyw jest prowadzenie pociągów kwalifikowanych pomiędzy Koszycami i Bratysławą (od marca 2016 r. seria ma dopuszczenie wjazdu na sieć ČD).



Rys. 25. 361 004 (ZSSK) z pociągiem IC relacji Koszyce – Bratysława na stacji Poprad Tatry, Słowacja (18.09.2013 r.) [fot. M. Graff]

6.5. Serie ČSD ES 499.2 / ČD 372, BR 230 / DB 180 i ČD 371

Po elektryfikacji magistrali Berlin – Drezno – Bad Schandau – Děčín – Praga w 1987 r. (zasilanie: DR – 15 kV 16,7 Hz, ČSD – 3 kV DC) ministrowie transportu wschodnich Niemiec i Czechosłowacji podpisali umowę o wspólnej obsłudze (ČSD i DR) ww. odcinka i zakupie dla kolei DR nowych lokomotyw typu 80E/76E u Škody (rys. 26–28). Umowa przewidywała, iż część wyposażenia dla lokomotyw będzie produkcji wschodnioniemieckiej [5, 9, 11, 19]. Problemem, jaki pojawił się już na początku była dopuszczalna masa lokomotywy – 84 t, wobec maksymalnego nacisku na sieci DR. Z tego powodu bolączką stał się transformator – urządzenia stosowane już w lokomotywach serii ES 499.0 (350) i ES 499.1 (363) miały zbyt dużą masę (masa pojazdu 87–88 t). Ponadto, transformator pracujący pod napięciem 15 kV 16,7 Hz ma większą masę w porównaniu z odpowiednikiem dla napięcia 25 kV 50 Hz. Konieczność ograniczenia maksymalnego nacisku do 21 t na tor spowodowała, że nie zastosowano w lokomotywie rozruchu impulsowego, w którego budowie zakłady Škoda miały już kilkuletnie doświadczenie, lecz pozostawiono na bardziej energochłonny

rozruch oporowy (być może zdecydowała o tym także niewielka liczba wyprodukowanych lokomotyw). Część mechaniczna nowych lokomotyw typu 80E była wspólna wraz z seriami dostarczonymi dla ČSD: ES 499.1 (363), S 499.2 (263) i E 499.3 (163). Rozruch oporowy, jaki otrzymała ta seria, jednak różni się od stosowanego dotychczas na sieci kolei czzechosłowackich. Zatem adaptowano rozwiązanie od kolei DR: podczas pracy lokomotywy pod napięciem 15 kV 16,7 Hz silniki trakcyjne są zasilane wprost z drugiego uzwojenia transformatora (2×1,5 kV) po przejściu przez prostownik prądem tętniącym (analogia także do serii 242). Sterowanie pracą transformatora odbywa się za pomocą dwóch mostków diodowych. Diody, podobnie jak transformator, są chłodzone olejem. Podczas pracy pod prądem stałym, silniki trakcyjne są zasilane wprost z sieci trakcyjnej. Transformatory i część urządzeń do pracy pod prądem przemiennym dla wszystkich lokomotyw (ČSD i DR) zostały wyprodukowane we wschodnich Niemczech przez LEW Hennigsdorf. Lokomotywa ma hamulec ED (oporowy) o mocy 2200 kW, pracujący niezależnie od tego, czy lokomotywa pobiera prąd z sieci, czy nie. Zabudowano także system zabezpieczenia SIFA, łączności radiowej MESA oraz sterowania pojazdem: dla ČSD – DAKO, dla DR – Knorr. Z pomniejszych urządzeń zamontowano akumulatory o pojemności: ČSD – 160 Ah (alkaliczny), DR – 150 Ah (ołowowy), a także przewody: do oświetlenia pociągu, czy otwierania i zamykania drzwi wagonów i inne. Lokomotywa została wyposażona w jedną sprężarkę o wydajności 2,33 m³/min. Moc sumaryczna lokomotywy to 3060 kW (pod dwiema wartościami napięcia), a prędkość maksymalna – 120 km/h. Nastawnik lokomotywy ma 59 pozycji: na regulację oporową przypada 27 stopni, kolejnych 17 to równoległe połączenia silników, a ostatnie 5 – od stopni osłabienia wzbudzenia. Do chłodzenia oporników federalowych służą wentylatory zasilane ze spadku napięcia na rezystorach. Każda lokomotywa ma zamontowany system bezpieczeństwa ruchu: LS 90 (ČD) i PZ 80 (DB).



Rys. 26. 371 015 (ČD) z EC 173 Vindobona rel. Berlin – Wiedeń opuszcza stację Dresden Hbf. (1.09.2000 r.) [fot. M. Graff]



Rys. 27. 180 015 (DB) z pociągiem towarowym (napięcie w sieci – 3 kV DC) w pobliżu stacji Ústí nad Labem, Czechy (17.06.2014 r.) [fot. K. Steiner]



Rys. 28. 180 004 (DB) z pociągiem EC Varsovia na stacji Rzepin (styczeń 1998 r.) [fot. A. Lubka]

Dwa prototypowe egzemplarze typu 80E i serii 372 001 oraz 180 001 (po jednym dla ČSD i DR) wyprodukowano w 1988 r. i poddano próbom techniczno-ruchowym. Po trzech latach wyprodukowano 19 sztuk nieznacznie zmodyfikowanej serii 76E dla kolei DR, gdzie otrzymały oznaczenie serii 230, a dla ČSD – 14 egzemplarzy, oznaczonych jako seria 372. Obecnie po zmianie oznaczeń taboru w obu państwach mają oznaczenie: ČD – 372 i DB – 180. Największych zmian te lokomotywy doczekały się na sieci ČD: 6 lokomotyw przebudowano przystosowując je do prędkości 160 km/h i oznaczono jako 371. Postulowano, aby przeprowadzić podobną modernizację dla serii 180, ale z powodu wysokich kosztów nie została zrealizowana; zakłady Škoda wykonały przebudowę tylko jednej lokomotywy. Z perspektywy czasu ta przebudowa wydaje się niecelowa, ponieważ na odcinku Praga – Děčín niewiele jest odcinków dostosowanych do podobnej prędkości. Lokomotywy serii 372 stacjonują obecnie w lokomotywni Ústí nad Labem (ČD Cargo), a seria 371 – w lokomotywni Praha Vršovice (ČD). Obie serie prowadzą pociągi

pasażerskie (kwalifikowane, jak i osobowe) – 371 lub towarowe (tylko 372, ČD Cargo) od Pragi przez Děčín i Bad Schandau do Drezna i niekiedy Lipska. Styk obu systemów zasilania (3 kV DC; 15 kV 16,7 Hz) znajduje się na odcinku Děčín – Schöna. Do połowy lat 90. XX w. lokomotywy serii 180 dojeżdżały z Drezna czy Berlina do samej Pragi, jednak po modernizacji magistrali Berlin – Drezno i podniesieniu prędkości do 160 km/h pod koniec lat 90. XX w., seria 180 okazała się za wolna i pojazdy przesunięto do obsługi pociągów towarowych. Serię, stacjonującą początkowo w Dreźnie, stopniowo przenoszono do Berlina (całość w 2000 r.). Wraz ze zmianą lokalizacji serii 180, obsługę dalekobieżnego ruchu pasażerskiego z Drezna do stolicy Niemiec w całości przejęła wyprodukowana przez Adtranz¹⁰ seria 101 kolei DB. Ponadto, w 2003 r. DB przekazała jeden egzemplarz serii 180 dla ČD: w ramach rekompensaty za lokomotywę 372 006 uszkodzoną w lipcu 2001 r. w wypadku na stacji Dresden Hbf. (przekazano 181 001, tj. jedyny egzemplarz tej serii będący na stanie DB, o prędkości maksymalnej 160 km/h). W nomenklaturze kolei czeskich lokomotywa otrzymała oznaczenie 371 201. Seria 371 prowadziła m.in. pociągi na odcinku Praha Holešovice – Dresden Hbf./ Berlin: EC *Hungaria* relacji (Budapest Kel. –) Praha Holešovice – Berlin Zoo, *Kopernikus* relacji Praga – Berlin (– Amsterdam) czy EC *Vindobona* relacji (Wiedeń –) Praga – Berlin. Lokomotywy serii 180 kursowały również do Polski (1993–2005), gdzie w Rzepinie przejmowały pociągi typu EC, prowadząc je do samego Berlina. Po modernizacji linii Berlin – Frankfurt (O) i podniesieniu prędkości do 160 km/h, serię 180 zastąpiła seria 371 kolei ČD (w latach 2004–2007). W przypadku braku lokomotywy serii 371 zastępowały je lokomotywy spalinowe DB serii 234. Następnie, prowadzenie pociągów na odcinku Berlin – Rzepin przekazano lokomotywowi serii E186¹¹, dzierżawionym przez DB od Angel Trains, a w połowie 2010 r. obsługę pociągów pasażerskich (w tym EC) łączących Berlin z Warszawą na całej trasie przejęły lokomotywy Husarz serii EU44 przewoźnika PKP IC. Wtedy seria 180 stała się własnością DB Schenker Rail Deutschland, a wszystkie lokomotywy skoncentrowano w lokomotywni Lipsk. Wówczas czynnych było 14 pojazdów (002, 006–012, 015–020), a pozostałe wycofano. Należy dodać, iż jeszcze kilka lat temu niezagrożona wydawała się obsługa lokomotywami serii 372 (ČD Cargo) i 180 (DB Schenker) pociągów towarowych w komunikacji Czechy – Niemcy, w tym ekspresów kontenerowych

¹⁰ W latach 2000–2020 Bombardier, obecnie Alstom.

¹¹ Analogiczne pojazdy dzierżawiły do początku 2011 r. PKP Cargo (EU43), a obecnie zakupili lub wynajmują przewoźnicy prywatni (np. Lotos Kolej).

docierających z kierunku zachodniego do stacji Kutná Hora hl.n. Jednak obecnie większość ruchu towarowego pomiędzy Niemcami i Czechami przejęła seria 189, która dojeżdża do Děčína. Dodatkowo, przyszłość serii 180 skomplikowała się po wprowadzeniu do eksploatacji serii 380 kolei ČD, a także po przejściu części ruchu pasażerskiego po sieci ČD przez Taurus (seria 1216) kolei ÖBB i ČD (obsługa linii Wiedeń – Praga – Berlin). Dla DB Schenker eksploatacja serii 180 sukcesywnie stawała się coraz bardziej problematyczna ze względu na niewielką liczbę posiadanych egzemplarzy tych lokomotyw i nietypowe rozwiązania techniczne. Zatem przewoźnik odstawił 5 egzemplarzy serii 180 na stacji Rostock Seehafen Nordost (180: 002, 007, 009, 010 i 019), a 2 pojazdy (180: 004 i 005) oczekiwały na terenie lokomotywowni Dresden-Friedrichstadt na naprawę lub kasację. W podobnym stanie znajdowała się lokomotywa 180 003. Na początku stycznia 2013 r. stan niemieckiego przewoźnika wykazywał ułożony plan pracy dla 7–10 lokomotyw tej serii na trasie Drezno – Děčín, które także dojeżdżały do stacji Engelsdorf w Niemczech (duża stacja towarowa pod Lipskiem), ewentualnie do stacji Lovosice, Všetaty i Nymburk w Czechach. Sporadycznie, seria 180 prowadziła pociągi EC w przypadku braku lokomotyw serii 371 ČD. Zamiar zakupu lokomotyw znajdujących się na stacji w Rostocku, wyraziła Škoda Transportation pod koniec 2012 r., jednak transakcja nie została zrealizowana. Zainteresowanie zakupem lokomotyw serii 180 zgłosiła także Arriva, jednak w momencie przejścia ww. przewoźnika przez DB przyszłość omawianych 5 lokomotyw wydawała się nieznana.

Poza tym, w latach 2004–2006 rozważano powołanie spółki ČD i DB Schenker, która przejęłaby obie serie 180 i 372, przy czym wcześniej pojazdy zostałyby zmodernizowane. Zatem w zakładach naprawczych w Przerowie (DPOV Přerov) na przełomie 2005 r. i 2006 r. procesowi przebudowy poddano dwie lokomotywy serii 180: 017 i 018. Ostatecznie władze centralne Czech zrezygnowały z prywatyzacji ČD Cargo czy sprzedaży obcym podmiotom. Wobec przedłużającego się procesu dopuszczenia serii ČD 380 na sieci DB Netz (ta seria miała zastąpić serię 371 i częściowo 372), w kwietniu 2016 r. ČD Cargo podpisało umowę z Siemensem na dostarczenie 5 lokomotyw trójsystemowych Vectron (oznaczenie ČD – 383) w celu zastąpienia dotychczasowych serii 371 i 372 w obsłudze pociągów kursujących między Czechami i Niemcami. Przejęcie obsługi trakcyjnej przez Vectrony od serii 371 nastąpiło w grudniu 2017 r. Po 2010 r. gdy dopuszczono na sieć SŽ serię 189 (4-systemową) należącą do DB Schenker (obecnie DB Cargo), w grudniu 2014 r. niemiecki przewoźnik wycofał serię 180 z regularnej eksploatacji. Jeden egzemplarz przekazano do muzeum

w Weimarze (180 014), 2 zostały skasowane, a 16 zakupił czeski przewoźnik TSS Cargo (*Tratová strojná společnost*) z Ostrawy (rys. 29), który także wynajmuje lokomotywy serii 180 innym przewoźnikom (IDS Cargo, LokoTrain i in.).

Na rysunkach 30–37 zamieszczono zdjęcia wózków wybranych serii lokomotyw, a na rysunkach 38–45 zdjęcia pantografów.



Rys. 29. 180 015 (TSSC) na stacji Přerov, Czechy (17.05.2017 r.) [fot. PetrS / Wikimedia Commons]



Rys. 30. Wózek lokomotywy serii 362 [fot. M. Graff]



Rys. 31. Wózek lokomotywy serii 163 [fot. M. Graff]



Rys. 32. Wózek lokomotywy serii 210 [fot. M. Graff]



Rys. 33. Wózek lokomotywy serii 151 [fot. M. Graff]



Rys. 34. Wózek lokomotywy serii 131 [fot. M. Graff]



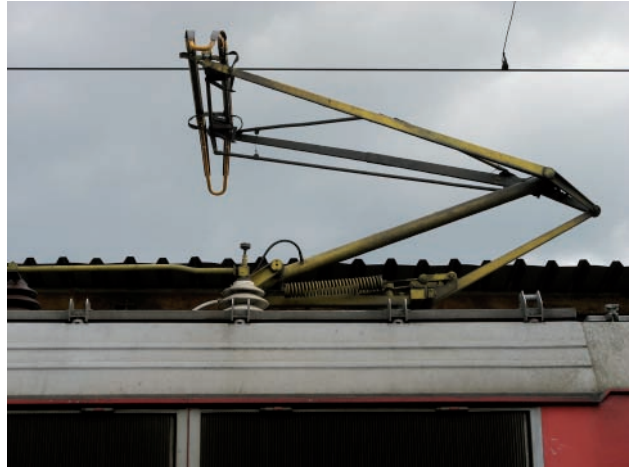
Rys. 35. Wózek lokomotywy serii 361 [fot. M. Graff]



Rys. 36. Wózek lokomotywy serii 263 [fot. M. Graff]



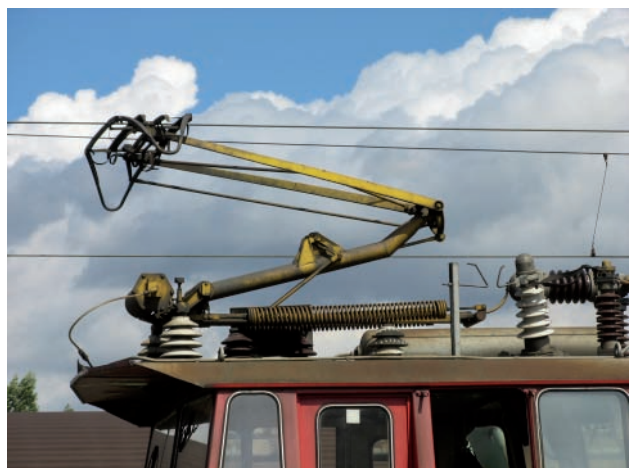
Rys. 37. Wózek lokomotywy serii 350 [fot. M. Graff]



Rys. 38. Pantograf lokomotywy serii 263 [fot. M. Graff]



Rys. 39. Pantograf lokomotywy serii 131 [fot. M. Graff]



Rys. 40. Pantograf lokomotywy serii 210 [fot. M. Graff]



Rys. 41. Pantograf lokomotywy serii 371 [fot. P. Větršíšek]



Rys. 44. Lokomotywy serii 151 [fot. M. Graff]



Rys. 42. Pantograf lokomotywy serii 361 [fot. M. Graff]



Rys. 45. Pantograf lokomotywy serii 350 [fot. M. Graff]

Szczegółowe dane techniczne i statystyczne wybranych lokomotyw wyprodukowanych przez Škodę i opisanych w artykule zamieszczono w tablicach 4–7.

7. Podsumowanie

Na przestrzeni lat zakłady Škoda pokazały, iż potrafią wyprodukować lokomotywy nowoczesne i dobrze spełniające wymagania użytkowników. Mimo początkowych trudności z rozruchem impulsowym, producent z Pilzna dowiódł, iż jego pojazdy są niezawodne. Ostatnią odpowiedzią Škody na tabor nowej generacji jest trójsystemowa lokomotywa (3 kV DC, 15 kV 16,7 Hz, 25 kV 50 Hz) typu 109E o dużej mocy, zamówiona przez koleje czeskie i słowackie (w 2012 r. testowana także w Polsce na torze doświadczalnym w Węglewie). Lokomotywy Škody można także spotkać na sieci PKP – w latach 60. XX w. właśnie dzięki zakupionym u południowego sąsiada udanym pojazdom serii EU05, PKP szczegółowo zapoznały się ze specyfiką trakcji elektrycznej. Obecnie, lokomotywy Škody



Rys. 43. Pantograf lokomotywy serii 163 [fot. M. Graff]

Tablica 4

Dane statystyczne wybranych lokomotyw elektrycznych Skody

Typ	Oznaczenie ČSD / DR / FNM / BDŽ	Obecny przewoźnik	Oznaczenia aktualne	Lata produkcji lub początek eksploatacji	Liczba wyprodukowa- nych / zmodernizowa- nych*egzemplarzy	Ilostan lokomotyw ČD	Ilostan lokomotyw ZSSK	Ilostan lokomotyw TSS (b. DB)	Ilostan lokomotyw FNM / RJ	Ilostan lokomotyw BDŽ
33E	E 458.0	1ČD, ČD, ZSSK	110	1971-1973	52	6	2	-	-	-
78E			111	1981-1982	35	30	-	-	-	-
33E	E 426	ČD	113	1973	6	3	-	-	-	-
58E	E 479.1	ZSSK	131	1980-1982	50	-	50	-	-	-
65E	E 499.2	ČD	150	1978	27	12	-	-	-	-
65Em	-		151	1994	13*	13	-	-	-	-
98E	E 499.4	ČD, ZSSK	162	1991	60	20	8	-	-	-
71E			163	1984-1986						
99E	E 499.3	ČD, ZSSK	163	1991-1992	120+28*	75	13	-	-	-
bd.			163.2	1993-1994						
51E	S 458.0	ČD, ZSSK	210	1972-1984	74	24	6	-	-	-
	61 (BDŽ)	BDŽ	61	1994	20	-	-	-	-	20
73E 1-3	S 499.1	ČD	242	1975-1981	86	82	-	-	-	-
68E	43	BDŽ	43	1971-1984	56	-	-	-	-	31
68E1	44	BDŽ	44	1975-1981	89	-	-	-	-	43
68E1	45	BDŽ	45	1982-1983	60	-	-	-	-	36
70E	S 499.2	ČD, ZSSK	263	1984 1988	12	2	10	-	-	-
55E	ES 499.0	ZSSK	350	1973-1975	20	-	18	-	-	-
69Er	-	ČD, ZSSK	362	1990 1993-1994	100*	80 ¹⁾	20 ¹⁾	-	-	-
69E	ES 499.1	ČD, ZSSK	363	1980-1990	181	50	9	-	-	-
71Em	-	ČD	363.5	2011-	30*	30	-	-	-	-
bd.	-	ZSSK	361.0	2011-	5*	-	5	-	-	-
bd.	-	ZSSK	361.1	2012-	23*	-	23	-	-	-
76Em	-	ČD	371	1996-2000, 2004	7*	7 ²⁾	-	-	-	-
80E	ES 499.2	ČD	372	1988 1991	15	9	-	-	-	-
76E										
80E	230 (DR) / 180 (DB)	DB / DR (1991-2014), TSS Cargo (2014-)	180	1988 1991	1 19 ³⁾	-	-	1 16	-	-
99E	E 630 (FNM ⁴⁾)	FNM (1995-2010), RJ (2010-)	E 630 162	1991-1992	9	-	-	-	9	-

¹⁾ przy przebudowie lokomotywy 363 na 362 ČD zachowały dotychczasowe numery inwentarzowe, a ZSSK numerowały lokomotywy od „1”;²⁾ 1 egzemplarz otrzymano od DB; ³⁾ 1 egzemplarz przekazano ČD; ⁴⁾ Ferrovia Nord Milano S.p.A. (FNME), Włochy, eksploatowane w latach 1992-2010, sprzedane przewoźnikowi RegioJet (Czechy) [opracowanie własne: tablice 4-7].

Tablica 5

Dane techniczne wybranych lokomotyw elektrycznych Škody

Oznaczenia aktualne	Układ osi	Napięcie	V_{\max} [km/h]	Długość całkowita [mm]	Maks. siła pociągowa [kN]	Masa [t]	Maks. nacisk zestawu kołowego na szyny [kN]
110 111	Bo'Bo'	3 kV DC	80	14 400	160 186	72,0	18,0
113	Bo'Bo'	1,5 DC	50	14 400	160	64,0	16,0
131	2-Bo'Bo'	3 kV DC	100	34 540	350	169,0	21,1
163	Bo'Bo'	3 kV DC	120	16 800	258 300	85,0	21,3
162 163.2	Bo'Bo'	3 kV DC	140 120	16 800	258 300	85,0	21,3
150 151	Bo'Bo'	3 kV DC	140 160	15 500	227	82,5	20,6
350	Bo'Bo'	3 kV DC; 25 kV 50 Hz	160	15 500	210	88,0	22,0
210	Bo'Bo'	25 kV 50 Hz	80	14 400	164	72,0	18,0
242	Bo'Bo'	25 kV 50 Hz	120	16 440	240	84,0	21,0
43 (BDŽ)	Bo'Bo'	25 kV 50 Hz	130	16 440	240	84,0	21,0
44 (BDŽ)	Bo'Bo'	25 kV 50 Hz	130	16 440	bd.	87,0	21,8
45 (BDŽ)	Bo'Bo'	25 kV 50 Hz	110	16 440	bd.	87,0	21,8
263	Bo'Bo'	25 kV 50 Hz	120	16 800	250 300	84,0	21,0
361.0 361.1	Bo'Bo'	3 kV DC, 25 kV 50 Hz	140 160	16 800	260	86,0	21,5
362	Bo'Bo'	3 kV DC; 25 kV 50 Hz	140	16 800	260	87,0	21,8
363	Bo'Bo'	3 kV DC; 25 kV 50 Hz	120	16 800	260	87,0	21,8
363.5	Bo'Bo'	3 kV DC; 25 kV 50 Hz	120	16 800	300	88,0	22,0
372 371	Bo'Bo'	3 kV DC; 15 kV 16,7 Hz	120 160	16 800	243	84,0	21,0
180 (DB)	Bo'Bo'	3 kV DC; 15 kV 16,7 Hz	120	16 800	300	84,0	21,0
E 630 (FNM) 162 (RJ)	Bo'Bo'	3 kV DC	120 140	16 800	300 258	80,0	20,0

Tablica 6

Dane techniczne wybranych lokomotyw elektrycznych Škody cd.

Oznaczenia aktualne	Moc ciągła silnika elektrycznego [kW]	Moc ciągła lokomotywy [kW]	Rozruch silników trakcyjnych	Moc hamulca ED (oporowego) [kW]	Przełożenie przekładni
110 111	200	800 760	R tyrystorowy	bd. bd.	3,48
113	200	400	R	bd.	bd.
131	560	4480	R	bd.	2,70
162 163.2	900	3480	tyrystorowy	3000	3,04 3,52
163	900	3480	tyrystorowy	3000	3,52
150 151	1000	4000	R	3600	2,44 2,16

Tablica 6 cd.

Oznaczenia aktualne	Moc ciągła silnika elektrycznego [kW]	Moc ciągła lokomotywy [kW]	Rozruch silników trakcyjnych	Moc hamulca ED (oporowego) [kW]	Przełożenie przekładni
350	1000	4000	R	3600	2,16
210	220	880	tyrystorowy	bd.	4,06
242	800	3080	regulacja wysokonapięciowa	–	3,2
43 (BDŽ)	800	3040		2900	3,348
44 (BDŽ)	800	3140		bd.	3,95
45 (BDŽ)	800	3140		bd.	3,348
263	900	3060	tyrystorowy	3000	3,52
361.0 361.1	900	3200 (AC) 3600 (DC)	IGBT	bd.	3,52 bd.
362	900	3060 (AC) 3480 (DC)	tyrystorowy	3000	3,04
363.5	925	3700 (AC/DC)	IGBT	bd.	3,52
363	900	3060 (AC) 3480 (DC)	tyrystorowy	3000	3,52
372 371	900	3080	R (3 kV DC) / regulacja wysokonapięciowa (15 kV 16,7 Hz)	2200	3,52 2,64
E 630 FNM) 162 (R)	900	3480	tyrystorowy	3000	3,52 3,04
180 (DB)	900	3080	R (3 kV DC) / regulacja wysokonapięciowa (15 kV 16,7 Hz)	2200	3,52

Tablica 7

Dane statystyczne wybranych lokomotyw elektrycznych Škody cd.

Przewoźnik	Seria (oznaczenia aktualne)	Liczba lokomotyw wyprodukowanych / zmodernizowanych*	Liczba lokomotyw eksploatowanych	Stacjonowanie			
				ČD + ČD Cargo	ZSSK + ZSSK Cargo	TSS Cargo	RegioJet
ČD / ZSSK	110	52	8	Ostrava – 3, Praha Vršovice – 2, Ústí nad Labem – 1. SUMA: 6	Košice – bd., Žilina – bd. SUMA: 2	–	–
ČD	111	35	30	Bohumín – 2 Hradec Králové – 2 Ostrava – 6, Praha Vršovice – 8, Ústí nad Labem – 12. SUMA: 30	–	–	–
ČD	113	6	3	Tábor – 3	–	–	–
ZSSK	131	50	50	–	Spišská Nová Ves – 50	–	–
ČD	150	27	12	Praha Vršovice – 12	–	–	–
ČD	151	13*	13	Bohumín – 13	–	–	–
RegioJet	162	9*	9	–	–	–	bd.
ČD / ZSSK	162	60	28	Česká Třebová – 7, Děčín – 12, Praha Vršovice – 1. SUMA: 20	Žilina – 8	–	–

Tablica 7 cd.

ČD / ZSSK	163+163.2	120+28*	88	Bohumín – 8, Česká Třebová – 9, Děčín – 16, Olomouc – 6, Ostrava – 12, Praha Vršovice – 6, Ústí nad Labem – 18. SUMA: 75.	Košice – 9, Žilina – 4. SUMA: 13	–	–
TSS Cargo	180	19 / 7*	7	–	–	Hulín – 7	–
ČD / ZSSK	210	74	30	České Budějovice – 15, Plzeň – 2, Tábor – 7. SUMA: 24	Bratislava východ – bd., Zvolen – bd. SUMA: 6	–	–
ČD / ZSSK	263	12	12	Brno Maloměřice – 2	Bratislava – 10	–	–
ZSSK	350	20	18	–	Bratislava – 18	–	–
ZSSK	361.0 361.1	5* 23*	5 23	–	Bratislava – 5 + 23. SUMA: 28	–	–
ČD / ZSSK	362	100*	100	Brno Maloměřice – 38, Plzeň – 42. SUMA: 80	Bratislava – 19, Bratislava východ – 1. SUMA: 20	–	–
ČD / ZSSK	363	181	59	Ostrava – 30, Plzeň – 3, Ústí nad Labem – 17. SUMA: 50	Bratislava – bd., Bratislava východ – bd. SUMA: 9	–	–
ČD	363.5	30*	30	České Budějovice – 30	–	–	–
ČD	371	7*	7	Praha Vršovice – 7	–	–	–
ČD	372	15	9	Ústí nad Labem – 9	–	–	–

drugiej generacji nie tylko wjeżdżają na szlaki PKP PLK zarówno od strony Czech, Słowacji czy Niemiec, ale także na mocy umów o liberalizacji dostępu do infrastruktury kolejowej w ramach państw UE, prowadzą także planowe pociągi na sieci PLK, zarówno pasażerskie (w tym kwalifikowane), jak i towarowe.

Nomenklatura oznaczeń taboru kolei czechosłowackich, czeskich i słowackich

Zmiana systemu oznaczeń taboru ČSD nastąpiła w dniu 1.01.1988 r.: np. z wcześniejszych E 458.0 na obecne 110. Oznaczenia lokomotyw elektrycznych były następujące:

- literą E¹² – pojazdy na napięcie 3 kV DC,
- literą S¹³ – na napięcie 25 kV 50 Hz,
- literami ES – pojazdy dwusystemowe (3 kV DC + 25 kV 50 Hz / 3 kV DC + 15 kV 16,7 Hz / 25 kV 50 Hz + 15 kV 16,7 Hz).

Po wprowadzeniu nowego systemu oznaczeń lokomotyw, nomenklatura jest następująca:

- od 100 do 199 – pojazdy na napięcie 3 kV DC,
- od 200 do 299 – na napięcie 25 kV 50 Hz,
- od 300 do 379 – pojazdy dwusystemowe (3 kV DC + 25 kV 50 Hz / 3 kV DC + 15 kV 16,7 Hz / 25 kV 50 Hz + 15 kV 16,7 Hz),
- od 380 do 399 – pojazdy trójsystemowe (3 kV DC + 15 kV 16,7 Hz + 25 kV 50 Hz).

Literatura

1. Nowak M., Barlik R.: *Poradnik inżyniera energoelektronika*, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne WNT, Warszawa, 1998.
2. Nicolai U. et.al.: *Application Manual IGBT and MOS-FET Power Modules*, 1. Edition, ISLE Verlag 1998.

¹² E – od słowa elektryczny.

¹³ S – od słowa střídavý (pol. przemienny).

3. Shah P.B. et.al.: *Power Elect*, IEEE Trans, vol. 17, p. 1073 (2002).
4. Wintrich A. et.al.: *Application Manual Power Semiconductors* 2011 (2nd ed.) Semikron Nuremberg 2011.
5. Schrötter J., Fultner B.: *Svět lokomotiv*, 1. Wyd., CPress Brno, 2014.
6. Baliga Jayant B.: *Temperature behavior of insulated gate transistor characteristic*, *Solid-State Electronics*, 28 (3): 289–297 (1985).
7. Baliga Jayant B.: *The IGBT Device: Physics, Design and Applications of the Insulated Gate Bipolar Transistor*, William Andrew. pp. xxviii, 5–12 (2015).
8. Nakagawa A. et.al.: *Non-latch-up 1200V 75A bipolar-mode MOSFET with large ASO*, International Electron Devices Meeting, pp. 860–861 (1984).
9. Jansa F.: *Vozidla elektrické trakce* Nakladatelství Dopravy a Spoju, Praha 1987.
10. Dvořáček V., Palík F.: *Stejnoseměrné posunovací lokomotivy E 458.0 a E 426.0*, Nakladatelství dopravy a spojů, Praha 1974.
11. Etmanowicz A.: *Berlin Warszawa Express. 20 lat pociągów EuroCity Warszawa – Poznań – Berlin*, Kolpress, 2012.
12. Świat kolei *EmiPress Łódź / PKMK Poznań*, roczniki 2000–2019.
13. Technika transportu szynowego, Instytut Naukowo-Wydawniczy TTS Radom, roczniki 2015–2019.
14. Pernička J.: *Atlas vozidel 1. díl, Elektrické lokomotivy ČD a ŽSR*, Modellbahnpresse s.r.o., 2004.
15. *Železniční Magazín* 11/98, Modellbahnpresse s. r. o., 2004.
16. Dejanow D.: *Lokomotivnoto stopanstvo na BDŽ 1947–1990* Sofija 1993.
17. Dejanow D., Dejanow S.: *Lokomotiwite na Bulgarskite durżawni železnicy*, Sofija, 2008.
18. *Railvolution Modellbahnpresse s.r.o.* roczniki 2009–2019.
19. Kuhlmann B.: *Abschied von der Baureihe 180 / Erste Zwei-System-Lokomotiven der DR auf dem Abstellgleis*. *Verkehrsgeschichtliche Blätter*, 40. Jahrgang, Heft 4 (Juli/August 2013).

Współpraca i podziękowania dla inż. J. Pernički (Railvolution), inż. P. Štefka (DB Cargo Czechia), mgr inż. D. Kalinowskiego (Pesa Bydgoszcz, doktoranta w Instytucie Podstawowych Problemów Techniki PAN, Warszawa).