

Elektrické lokomotivy Siemens ES 64 U4

Jan MAJ, Jiří POHL, Siemens s.r.o., Evropská 33a, 160 00 Praha 6

1 Úvod

První prakticky upotřebitelnou elektrickou lokomotivu předvedl světu Werner von Siemens dne 31.5.1879 na průmyslové výstavě v Berlíně. Měla jediný trakční motor o výkonu 2 kW, napájený napětím 150 V. Její hmotnost byla přibližně 1 t a jezdila se třemi vozy rychlostí 7 km/h. Vývoj šel rychle kupředu. Dorothea, dodaná v roce 1882 kamenouhelným dolům v Zaukerode, již v sobě měla prakticky všechny principy, používané u stejnosměrných lokomotiv s odporovou regulací, stavených mnoha výrobci až do konce dvacátého století. V roce 1896 přišel Werner von Siemens s myšlenkou jednofázového napájení elektrických drah vysokým napětím s transformací na lokomotivě a v roce 1896 postavila firma Siemens-Halske první lokomotivu s třífázovými asynchronními motory. V roce 1903 se již na zkušební trati Marienfelde – Zossen proháněla třífázová elektrická lokomotiva s asynchronními trakčními motory rychlostí 150 km/h. Na podobném principu vyvinul Siemens elektrický vůz s vlastním elektrickým pohonem, který dosahoval dokonce rychlost 210 km/h.

Ve 126 let dlouhé historii elektrických lokomotiv Siemens má každý rok své místo a neustále zdokonaluje technologie výroby lokomotiv. Dokládá to i soudobá nejmodernější panevropská elektrická lokomotiva typu ES 64 U4, zastoupená na veletrhu Czech Raildays vozidlem řady 1216.002 Rakouských spolkových drah (ÖBB).

1.1 První krok: Europrinter ES 64 U1/ES 64 U2 (Rh 1016/1116 ÖBB - Taurus)

V závěru devadesátých let minulého století se Rakouské spolkové dráhy rozhodly provést zásadní obměnu svého parku elektrických lokomotiv. Zvolili si k tomu vozidlo mimořádných parametrů: výkon 6 400 kW, čtyřnápravové provedení, maximální rychlost 230 km/h, špičkové technické úrovně a velmi pohledných tvarů. Objednávka 400 vozidel svědčí o významu lokomotiv této kategorie v dlouhodobých záměrech ÖBB.

Lokomotivy se díky početným dodávkám staly v průběhu několika let po uzavření kontraktu typickým symbolem rakouských železnic. Jde o lokomotivy v pravdě univerzální, vhodné pro dopravu rychlíků i těžkých nákladních vlaků, což výrazně zjednodušuje organizaci provozu a umožňuje jejich maximální každodenní využití. K tomu přispívá jejich vysoká provozní spolehlivost a minimální náročnost na údržbu. Zejména v souvislosti se strmými a dlouhými alpskými rampami, elektrizovanými systémem 15 kV, 16,7 Hz, je podstatným přínosem těchto lokomotiv rekuperační elektrodynamická brzda, doplněná o vysoce výkonnou třecí brzdu s rychloběžnými kotouči.

Železniční doprava má v Evropě výrazně nadnárodní charakter a tak začaly být lokomotivy 1016 používány i na náročných mezistátních vozebních ramenech spojující přes horské průsmyky Rakousko s Německem a Švýcarskem. K provozu do dalších s Rakouskem sousedících zemí, které mají tratě elektrizované nikoliv systémem 15 kV, 16,7 Hz, ale systémem 25 kV, 50 Hz, tedy do Maďarska, Slovenska a Česka, byl výchozí typ po dodávce prvních 50 jednosystémových lokomotiv řady 1016 pro napětí 15 kV, 16,7 Hz modifikován na dvousystémové provedení pro napájecí napětí 15 kV, 16,7 Hz a 25 kV, 50 Hz, označené řadou 1116.

Fotografie červených lokomotiv s charakteristickým oblým čelem se staly nepostradatelnou součástí kalendářů vydávaných pro obdivovatele železnic. Celkový proběh lokomotiv řad 1016 a 1116 již dosahuje přibližně 120 000 000 km.

Úspěch těchto lokomotiv na sklonově náročných tratích v Rakousku vedl i DB, MÁV a GySEV k nákupu prakticky shodných vozidel řad 182, 1047.0 a 1047.5. Šedesát dvousystémových lokomotiv typu ES 64 U2 je zařazeno do šedožluté flotily společnosti Siemens Dispolok, ze které si je na delší či kratší období pronajímají mnozí evropští dopravci k zabezpečování nejrůznějších dopravních služeb. Tato nabídka umožňuje všem dopravcům, státním dráhám i privátním společnostem prakticky ihned a bez nároků na prvotní kapitál, získat pro naplňování svých záměrů moderní, vysoce výkonné a v řadě evropských zemí homologované lokomotivy a postupně je splácet z tržeb za jimi uskutečňované přepravy. Lokomotivy ES 64 U2 se v provozu jeví jako velmi spolehlivé a s minimálními nároky na údržbu, jejich disponibilita dosahuje hodnoty cca 97 %.

1.2 Druhý krok: Europrinter ES 64 F4 (BR 189 DB)

Úmyslem dopravních odborníků z orgánů Evropské unie je převést dálkovou nákladní dopravu z přetížených silnic na kapacitně nevyužitě železnice. Pomůže se tím jak silnicím a dálnicím, které těžká vozidla poškozují a na kterých brání plynulosti a bezpečnosti provozu, tak i železnicím, které potřebují více dopravních výkonů pro rozložení svých nemalých fixních nákladů. Avšak na rozdíl od automobilů, lodí a letadel, které mohou po Evropě volně jezdit, plout a létat, u trakčních železničních vozidel tomu tak není. Mezi jednotlivými evropskými státy existuje mnoho technických bariér, které dokonalému propojení evropských železnic zabraňují, a to i na tratích s normálním rozchodem 1 435 mm.

□ Dispolok železniční síť není z technického hlediska volně průjezdná. Politická vůle, aby vlaky libovolných dopravců mohly napříč Evropou volně projíždět, je již v současnosti kodifikována v zákonech členských zemí Evropské unie. Její praktické uskutečňování je však silně komplikováno technickou nejednotností. Mnohaletá koordinace technické jednotnosti evropských železnic organizací UIC bohužel nevedla k úspěšnému cíli, zájmy jednotlivých států a lokálních výrobců byly po mnoho desetiletí silnější než snaha o vytvoření skutečné evropské železnice.

Iniciativu proto převzali bruselští zákonodárci. Nástrojem k oživení železniční dopravy v Evropě je interoperabilita, neboli vzájemná propojitelnost evropských železnic. Ta však představuje dlouhodobý proces, neboť přebudování železniční infrastruktury na jednotné provedení je otázkou mnoha let a v řadě případů je i ekonomicky nereálné. Proto byla společností Siemens vyvinuta evropská elektrická lokomotiva Europrinter ES 64 F 4, respektující současnou nejednotnost evropské železniční infrastruktury.

V první řadě je pro tuto lokomotivu typické, že může být napájena ze čtyř různých evropských elektrizačních systémů: 1,5 kV (Francie-jih, Nizozemí), 3 kV (Belgie, Itálie, Česko-sever, Slovensko-sever, Polsko), 15 kV 16,7 Hz (Švýcarsko, Německo, Rakousko, Norsko, Švédsko) a 25 kV 50 Hz (např. Francie-sever, Lucembursko, Dánsko, Maďarsko, Bulharsko, Rumunsko). Ale to by samo o sobě nestačilo. Každá země představuje ve vybavení lokomotivy určitý národní balíček, tvořený zejména souborem místních zabezpečovacích a sdělovacích zařízení. Odlišnost infrastruktury vede k tomu, že všechna drážní vozidla – tedy i lokomotivy - musí být v každé zemi zvlášť schválena místními drážními úřady.

Prvořadým posláním lokomotiv typu Europrinter ES 64 F4 je umožnit přepravním rychlou mezistátní nákladní dopravu ve vysoké kvalitě, s garantovanými termíny a přitom cenově dostupnou. Desetitisíce kamionů denně komplikujících provoz na silnicích a dálnicích v celé Evropě dokládá, jak velký potenciál tento přepravní trh představuje a jaká je společenská potřebnost a užitečnost záměru převedení této zátěže ze silnic na železnice. Postupné zavádění silničního mýta a očekávané výrazné a trvalé zvýšení cen pohonných hmot jsou pro železnice významnou příležitostí. Je ale potřeba připravit se novými vozidly – moderními, vysoce výkonnými, spolehlivými, údržbově nenáročnými, s nízkou spotřebou elektrické energie a schopných mezinárodního nasazení. Tato strategie vedla DB (nyní Railion) k nákupu 100 čtyřsystémových lokomotiv řady 189. Jejich parametry, tedy výkon 6 400 kW a maximální rychlost 140 km/h je předurčují zejména pro rychlou dálkovou nákladní dopravu, ale na tratích s četnými oblouky a tedy s dovolenou rychlostí do 140 km/h mohou pochopitelně sloužit i pro osobní přepravu.

Díky individuálnímu řízení IGBT pulsních napěťových střídačů pro napájení asynchronních trakčních motorů dosahují tyto lokomotivy velmi dobrých adhezních vlastností. Proto disponují rozjezdovou tažnou silou 300 kN a trvalou tažnou silou 270 kN, což jsou hodnoty dosud obvyklé jen u šestnápravových, nikoliv u čtyřnápravových lokomotiv. Pozitivní vliv náhrady šestnápravových lokomotiv čtyřnápravovými na míru opotřebení tratí i vozidel je jednoznačný. Maximální rychlost 140 km/h umožňuje použít některá jednoduchá řešení, pozitivně ovlivňující cenu a hmotnost lokomotiv, jako například podvozky s tlakovými trakčními motory a s brzdovými kotouči v discích kol, nebo jednodušší tvar čela s rovinnými okny.

Kromě Německých drah si lokomotivy ES 64 F4 pořídily i Švýcarské dráhy (řada Re 474 SBB) a 30 jich je zařazeno do Siemens – Dispolok, odkud si je pronajímají mnohé evropské železnice či privátní dopravci .

1.3 Třetí krok: Europrinter ES 64 U4 (Rh 1216 ÖBB)

Aplikace výše uvedených myšlenek a principů panevropského provozu i v oboru rychlé osobní dopravy vedla vedení ÖBB k zájmu o nákup lokomotivy řady ES 64 U4, tedy řady 1216 ÖBB. Ve svých hlavních komponentech v podstatě vycházejí z lokomotiv řady 1016 a 1116 ÖBB (podvozky,

čela) a z lokomotiv řady 189 DB (čtyřsystémová elektrická výzbroj) ale přináší i mnohá další nová řešení.

Lokomotivy ES 64 U4 (Rh 1216 ÖBB) jsou, podobně jako předchozí typy ES 64 U1 (Rh 1116 ÖBB) a ES 64 U2 (Rh 1116 ÖBB), řešeny jako univerzální, tedy disponující nejen vysokou tažní silou (300 kN), ale i vysokou maximální rychlostí (200 až 30 km/h). Segment přepravního trhu, na který směřují, je proto vedle již uvedené mezinárodní nákladní dopravy i dálková mezistátní doprava osobní.

Situace v mezistátní přepravě osob se mění. Dopravu na vysokorychlostních tratích a intervalovou dopravu všeobecně přejímají ucelené jednotky. Avšak též pro lokomotivy se ve spojení s klimatizovanými vozy a případně i řídicími vozy rýsují nové příležitosti. Tou je doprava na konvenčních tratích (tedy rychlostí do 200 km/h včetně) na střední vzdálenosti (v podstatě mezi sousedními státy) v úsecích s velmi silným zájmem o přepravu, například na spojnicích hlavních měst. Dalším atraktivním přepravním trhem jsou noční lůžkové spoje, pojízdě hotely k vytvoření nočního skoku. Moderní pohodlné a bezpečné lůžkové vozy s vysokou úrovní kultury cestování i ubytovacích služeb (včetně individuálních WC a sprch) v sobě slučují dvojici služeb, souvisejících s v Evropě velmi běžnými pracovními nebo soukromými cestami: přepravu a přenocování. Pochopitelně jsou zaměřeny směrem k zámožnější klientele a proto musí poskytovat prvotřídní kvalitu a spolehlivost.

ÖBB si místo posledních 68 lokomotiv řad 1016/1116 ze čtyřsetkusové série objednaly 50 lokomotiv řady 1216 s opcí na dodání dalších 18, tři prototypy převzaly ve výrobním závodě Siemens Krauss-Maffei v Mnichově dne 31.3.2005. Z hlediska vybavení nejsou tyto tři prototypy navzájem shodné, každý z nich reprezentuje jednu z variant, ve kterých mají být lokomotivy 1216 Rakouským spolkovým drahám dodávány:

1216.001 – provedení A (pro provoz v Rakousku, Německu a Itálii), v tomto provedení je objednáno 25 vozidel ,

1216.002 – provedení C (pro provoz v Rakousku, Německu Česku a Slovensku), v tomto provedení je objednáno 15 vozidel z 50,

1216.003 – provedení B (pro provoz v Rakousku, Německu a Slovinsku), v tomto provedení je objednáno 10 lokomotiv.

Sériové dodávky lokomotivy 1216 mají proběhnout v letech 2006 až 2007. Obdobné lokomotivy, označené řadou 541 SŽ, si v počtu dvaceti vozidel objednaly Slovenské železnice, dodány mají být v letech 2006 až 2008.

2 Technický popis lokomotivy ES 64 U4

Elektrická lokomotiva ES 64 U4 je skříňová s dvěma čelními kabinami strojvedoucího. Skříň lokomotivy je samonosná, tvoří ji spodní rám a bočnice, střecha je demontovatelná a rozdělená na jednotlivé segmenty. Střešní segmenty nesou 4 polopantografové sběrače proudu a další vysokonapěťové komponenty (odpojovače, zkratovače, AC hlavní vypínač). Vozidlo je na čelech opatřeno nárazníky třídy C s absorpční schopností 70 kN, pro pohlcení ještě větší nárazové energie jsou za nárazníky umístěny výměnné deformační prvky, díky kterým je lokomotiva schopna bez dalšího poškození pojmout nárazovou energii 1 MJ.

Strojovnou lokomotivy prochází v podélné ose situovaná ulička, podél které jsou rozmístěna jednotlivá zařízení – trakční a pomocné měniče, ventilátory pro chlazení trakčních motorů, jednotky kapalinového chlazení měničů a transformátoru, brzdové odporníky, pneumatická zařízení, akumulátorová baterie a vlakové zabezpečovače. Pod průchozí uličkou jsou umístěny kabelová vedení a potrubní rozvody. Uprostřed je pod lokomotivou umístěn transformátor. Kabiny strojvedoucího jsou prostorné, klimatizované a jsou z obou stran opatřeny vnějšími dveřmi. Z důvodu jízdy vyššími rychlostmi jsou provedeny jako tlakotěsné a jsou vybaveny tlakovou ochranou, která zamezuje působení tlakových vln na strojvedoucího, zejména při míjení vlaků či při vjezdu do tunelu.

Skříň lokomotivy spočívá prostřednictvím dvojic paralelně řazených válcových šroubových flexicoil pružin na dvounápravových podvozcích, podélné síly jsou přenášeny tažným čepem. Dvojkolí jsou vedena ojnicemi, primární vypružení zajišťují ocelové šroubové pružiny. Individuální pohon dvojkolí zajišťují asynchronní trakční motory s cizí ventilací a to prostřednictvím jednostupňového čelního ozubeného převodu se šikmými zuby a dutého hřídele, obepínajícího nápravu. Jeho unášeče jsou s ozubeným kolem i s diskem dvojkolí propojeny ojnicovou spojkou.

Pro snížení dynamických silových účinků vozidla na trať jsou minimalizovány neodpružené hmoty. Dvojkolí je opatřeno koly o průměru pouze 1 150 mm a brzdové kotouče nejsou instalovány ani na nápravě, ani v discích kol, ale jsou uloženy na samostatném odpruženém brzdovém hřídeli, který je poháněn od nápravové převodovky. Rychloběžnost tohoto hřídele též minimalizuje rozměry brzdových

jednotek. Přesná vzájemná poloha brzdových kotoučů a brzdových jednotek je přispívá k jejich dlouhodobé životnosti. Čelní ozubený převod pohonu dvojkolí je z důvodu zajištění přesné geometrie záběru kol řešen s uložením pastorku z přední strany v ložisku ve štítu převodové skříně.

Základem elektrické výzbroje lokomotivy jsou dva komplety vodou chlazených IGBT měničů. Každý z nich přísluší jednomu podvozku a obsahuje dva vstupní čtyřkvadrantové měniče, paralelně napájející společný stejnosměrný meziobvod, dva pulsní napěťové střídače (každý z nich je opatřen podpurným vstupním kondenzátorem a napájí jeden trakční motor), dva pulsní spínače brzdových odporů a jeden střídač pro napájení pomocných pohonů, též opatřený podpurným vstupním kondenzátorem. Na měnič pro napájení pomocných pohonů navazuje oddělovací transformátor. Ke stejnosměrnému meziobvodu je dále připojen odsávací LC obvod naladěný na 33 respektive 100 Hz, který slouží na systému 15 kV 16,7 Hz, respektive 25 kV 50 Hz k eliminaci druhé harmonické vlny, která vlníka dvoucestným usměrněním vstupního napětí.

Při práci v střídavých sítích vstupuje elektrická energie do vozidla se sběračů přes hlavní vypínač s vakuovým zhášedlem do trakčního transformátoru. Ten má jedno primární vinutí a čtyři shodná trakční sekundární vinutí s pevným převodem, ale s odbočkou pro volbu napěťového systému 15 nebo 25 kV. Páté sekundární vinutí transformátoru slouží k napájení průběžného vedení vlakového topení. Toto vinutí má volitelné odbočky pro napětí 1 000, 1 500 a 3 000 V.

Při práci v stejnosměrných sítích nejsou čtyřkvadrantové měniče ve funkci, elektrická energie vstupuje do vozidla přes ve strojovně umístěný hlavní vypínač a síťový filtr, ve kterém je kromě kondenzátoru a tlumivky z odsávacího obvodu též využito jako indukčnost sekundární vinutí trakčního transformátoru. Díky použití vysokonapěťových IGBT spínacích modulů je napájení pulsních střídačů i na systému 3 kV přímé (dvoubodové), dříve používané vstupní snižovací měniče či dvojice střídačů napájejících dvojitě satorové vinutí trakčního motoru nejsou aplikovány, což přispělo ke zvýšení spolehlivosti a ke snížení ztrát. Při napájecím napětí 3 kV jsou satorová vinutí trakčních motorů, stejně jako při práci v sítích 15 a 25 kV, zapojena do hvězdy, při napájecím napětí 1,5 kV jsou pro částečnou kompenzaci poklesu napětí zapojena do trojúhelníku. Konfigurace měničů, doplněná přepojovači, umožňuje v případě poruchy vadný díl odpojit a vozidlo nadále disponuje až 75 % výkonu a tažných sil.

V sítích, ve kterých je to možné, pracuje elektrodynamická brzda zásadně jako rekuperační a veškerá trakčními motory dodávaná elektrická energie je prioritně dodávána do sítě, respektive vedlejším spotřebičům na lokomotivě (pomocné pohony, vedení vlakového topení) a brzdové odporníky jsou svými pulsními spínači aktivovány jen v případě potřeby. V sítích s nemožnou nebo omezenou schopností odebírat vozidlem nabízenou rekuperovanou energii odebírají brzdovou energii vedlejší spotřebiče a brzdové odporníky. Ty jsou umístěny ve strojovně ve stojanu a jsou axiálně profukovány ventilátorem.

Jednotlivé měniče jsou složeny z univerzálně použitelných fázových modulů, které obsahují kromě vlastních vodou chlazených IGBT spínacích prvků k nim náležící příslušenství. Součástí každého kompletu měničů je i jeden střídač pro napájení pomocných pohonů, na který navazuje oddělovací transformátor. Na lokomotivě jsou tedy dvě střídavé pomocné sítě. Jedna pracuje stálou frekvencí a stálým napětím (3 x 440 V, 60 Hz) a napájí asynchronní elektromotory pro pohon zařízení, jejichž funkce nezávisí na trakčním výkonu lokomotivy (kompresor pro zásobování stlačeným vzduchem, oběhová čerpadla v systémech vodního a olejového chlazení, klimatizační jednotky) a měnič s výstupním stejnosměrným napětím 110 V pro napájení řídicích obvodů a pro nabíjení pomocné baterie. Druhá střídavá pomocná síť napájí asynchronní elektromotory pohánějící ventilátory pro chlazení trakčních motorů a ventilátory výměníků olej/vzduch a voda/vzduch pro chlazení transformátoru a polovodičových měničů. Tato síť pracuje s proměnnou frekvencí 2 až 60 Hz a s proměnným napětím 0 až 440 V. Frekvence a napětí této sítě jsou řízeny v závislosti na teplotě chlazených zařízení, která je úměrná teplotě okolí a zatížení lokomotivy. Tím je výrazně snížena energetická náročnost pomocných zařízení i hlučnost lokomotivy. V případě poruchy lze obě sítě propojit a vybrané spotřebiče napájet z jediného měniče.

Lokomotiva je vybavena dvojicí centrálních řídicích počítačů vozidla (ZSG). Jeden z nich pracuje jako hlavní a vykonává řídicí funkce, druhý počítač je podřízený prvému, je ve stavu pohotovosti a je schopný převzít jeho funkci. Každý trakční pohon je řízen svým řídicím počítačem pohonu (ASG). Komunikace uvnitř lokomotivy, tedy mezi řídicími počítači vozidla, pohonu, brzd a mezi komunikačními displeji na stanovištích strojvedoucího a dalšími zařízení probíhá po datové sběrnici MVB. Ke komunikaci na úrovni vlaku, tedy například pro vícečlenné řízení nebo pro ovládání lokomotivy z řídicího vozu je využívána datová sběrnice WTB. Řídicí systém je koncipován na bázi komponent Sibas 32. Lokomotiva je též vybavena záznamovým tachografem (Juridical Recoder), součástí řídicího systému vozidla je i zařízení pro kontrolu bdělosti strojvedoucího Sifa.

Z mnoha důvodů (podstatně vyšší funkčnost a spolehlivost, prostorová nenáročnost, variabilnost) byla velká část sdělovačů a ovladačů na stanovišti strojvedoucího nahrazena dvojicí velkých (úhlopříčka 19") barevných dotykových monitorů (Touch-Screen) – PDT (Primary Driving Terminal) a ODT (Operation Diagnostic Terminal). Tyto monitory mají možnost pracovat ve více režimech. Monitor PDT je v základním stavu využíván v režimu multifunkčního zobrazení MFA a poskytuje strojvedoucímu informace o rychlosti jízdy, o velikosti tažné nebo brzděné síly, o celkovém stavu lokomotivy a zároveň spolupracuje s vlakovým zabezpečovačem – zobrazuje návěstní znaky a zábrzdnu dráhu. Monitor ODT je v základním stavu využíván v režimu BuB (ovládání a sledování), ve kterém se zobrazují informace o stavu a funkci jednotlivých agregátů vozidla (síťové napětí, síťový proud, tlaky vzduchu v hlavním vzduchojemu, v hlavním potrubí samočinné brzdy a v brzdových válcích, tažné a brzděné síly jednotlivých dvojkolí, činnost pomocných pohonů). Na tomto monitoru jsou též v různých úrovních zobrazovány diagnostické údaje a pokyny k obsluze vozidla v poruchových situacích a v případě vícečlenného provozu i údaje o dalších vozidlech.

Zdrojem stlačeného vzduchu je šroubový kompresor. Samočinná brzda je řízena řídicím počítačem brzd, přímočinná brzda je elektropneumatická. Použita je elektronická protismyková ochrana K-micro. Lokomotiva generuje signály pro ovládání elektropneumatické brzdy vozů. Na všechny čtyři dvojkolí působí zajišťovací brzda s pružinovými střadači.

Vozidlo lze řídit buď ovládáním tažné a brzděné síly, nebo volbou žádané rychlosti, kterou udržuje zařízení pro automatickou regulaci rychlosti AFB.

3 Modulární pojetí lokomotiv ES 64 U4

Železniční vozidla nejsou vyráběna a provozována v tak početných sériích, jako vozidla silniční. S tím spojené vyšší výrobní i provozní náklady a další komplikace znevýhodňují železniční dopravu vůči konkurenčním druhům dopravy. Ekonomickou nutností je hledat řešení vedoucí ke splnění dvou protichůdných požadavků:

- technickým provedením vozidla vyhovět individuálním požadavkům jednotlivých provozovatelů železniční dopravy,
- ve vývojových pracích, ve výrobní technologii a logistice, v procesu zkoušek a homologace i v každodenním provozu a údržby vozidel efektivně využívat všechny výhody hromadnosti a jednotnosti.

Ke splnění tohoto cíle byly definovány tři základní skupiny parametrů a vlastností lokomotiv ES 64 U4 (Eurposprinter, trakční výkon 6400 kW, univerzální provedení, 4 napěťové systémy):

- stálé prvky a principy, všeobecně platné a jednotné pro všechny modifikace,
- prvky a principy, vázané na existující infrastrukturu a zákony jednotlivých zemí ve kterých má být lokomotiva provozována,
- prvky a principy, specifické k danému provoznímu určení, respektive k danému provozovateli.

Prvky a principy první skupiny jsou jednotně zahrnuty do základního typu (platformy), prvky a principy druhé skupiny jsou obsahem národního provedení COP (Country packages) a prvky a principy třetí skupiny jsou obsahem zákaznického provedení CUP (Customer packages). Z důvodu funkčních návazností a nekonfliktní prostorové dispozice jsou nejžádanější prvky COP a CUP již předem vyprojektovány a zkonstruovány.

Tato modularita vede nejen k vytvoření lokomotiv odpovídajících potřebám provozu při využití osvědčených komponent, nízké ceně a krátkých dodacích lhůtách, ale z dlouhodobého hlediska i k bezproblémovému zajištění náhradních dílů a oprav. Potenciální zákazník má navíc možnost si svoji lokomotivu z nabídnutého menu sám sestavit.

COP (národní provedení)

Národní provedení zajišťuje provozuschopnost a homologovatelnost lokomotivy v jednotlivých zemích. V podstatě je tedy dáno infrastrukturou železničních tratí v příslušné zemi a charakterizuje ji zejména:

- napájecí systém,
- uspořádání sběračů,
- vlakový zabezpečovač,
- radiostanice,
- jazyk textů na displeji,
- označení vozidla,
- přídatné vybavení podle národních předpisů.

Tato národní provedení jsou v současnosti připravena pro provoz v 11 zemích:

- Rakousko (COP-A)
- Švýcarsko (COP-CH)
- Česká republika (COP-CZ)
- Německo (COP-D)
- Chorvatsko (COP-HZ)
- Maďarsko (COP-H)
- Itálie (COP-I)
- Holandsko (COP-NL)
- Polsko (COP-P)
- Slovensko (COP-SK)
- Slovinsko (COP-SLO)

Lokomotivy ES 64 U 4 lze podle potřeb provozovatele vybavit několika národními provedeními, zatím byly vytvořeny následující kombinace:

ES 64 U4-A: A, D, I, SLO

ES 64 U4-B: A, D, SLO

ES 64 U4-C: A, CZ, D, SK

ES 64 U4-E: A, CH, D, I

ES 64 U4-F: A, D, HR, H, I, SLO

CUP (zákaznická provedení)

Variabilnost zákaznických provedení je v podstatě neomezená. Avšak s výhodou lze využít již předdefinovaná zákaznická provedení, která jsou rozdělena do 13 skupin, odpovídajících členění vozidla do konstrukčních skupin podle DIN 25 002:

- lakování a označení (CUP-ADE) – dvoubarevné, třibarevné, ...,
- kabina strojvedoucího (CUP-DA) – stanoviště vpravo, vlevo, uprostřed, vybavení rádiem, držákem mobilního telefonu, faxem, ...,
- sanitární zařízení (CUP-FBS) – umyvadlo, chemické WC, ...,
- sběrač (CUP-FBS) – napětí 1,5 kV, 3 kV a 15/25 kV, šířka lišty 1 450 mm, 1 600 mm, 1 950 mm, částečně nebo plně izolované náběhové nástavce, ochrana lišty, zvýšení přítlaku při námraze, omezení výšky zdvihu, metalizované nebo měděné obložení, ...,
- energetické vybavení (CUP-FDS) – seřízení trakčního výkonu, výkon brzdového odporníku, ...
- vnější napájení (CUP-HAH) – jednostranně či oboustranně 3 AC 400 V pro DC i AC palubní síť, ...
- akumulátorová baterie (CUP-HCB) – olověná nebo niklo-kadmiová, kapacita 70 až 115 Ah, ...
- napájení vlakového topení (CUP-HD) – 1 000 V, 1 500 V, 3 000 V, ...,
- dálkový přenos dat (CUP-JED) – GPS, spotřeba energie, ...,
- dálkové řízení (CUP-JEF) – posun, postrk, ...
- vícenásobné řízení (CUP-JEM) – sběrnice WTB, systém TMC (ZMS/ZWS/ZDS), ...,
- radiostanice (CUP- JFZ) – Kapsch, EADS
- dodatečná výbava brzdy (CUP-RAK) – ep brzda UIC 541-5, ep brzda DB, blending, ...

Jak z výčtu zákaznických provedení CUP vyplývá, je modifikovatelnost standardního provedení již připravenými (předdefinovanými) zákaznickými provedeními značně rozmanitá.

4 Technické parametry lokomotivy ES 64 E4

| | |
|---------------------------|----------------------------------|
| Rozchod | 1 435 mm |
| Obrys | UIC 505-1 |
| Rozsah teplot okolí | - 25 až + 40 °C |
| Napájecí napětí | 1,5 kV |
| | 3 kV |
| | 15 kV 16,7 Hz |
| | 25 kV 50 Hz |
| uspořádání pojezdu | B ₀ 'B ₀ ' |
| minimální poloměr oblouku | 90 m |
| hmotnost | 87 t |
| délka přes nárazníky | 19 580 mm |

| | |
|---|----------------------|
| vzdálenost otočných bodů podvozků | 9 900 mm |
| rozvor povozku | 3 000 mm |
| jmenovitý průměr dvojkolí | 1 150 mm |
| maximální rychlost | 230 km/h |
| trvalý výkon v režimu jízdy | 6 400 kW (15, 25 kV) |
| | 6 000 kW (3 kV) |
| | 3 000 kW (1,5 kV) |
| trvalý výkon rekuperační elektrodynamické brzdy | 6 400 kW (15, 25 kV) |
| | 6 000 kW (3 kV) |
| | 4 200 kW (1,5 kV) |
| trvalý výkon odporové elektrodynamické brzdy | 2 000 kW (3 kV) |
| | 3 000 kW (1,5 kV) |
| maximální tažná síla | 300 kN |
| maximální brzdná síla | 240 kN |

Dodatek 1: Čtyři systémy

V souvislosti s moderními elektrickými lokomotivami Europrinter ES 64 F4 a ES 64 U4, schopných jezdit po tratích, elektrizovaných libovolným ze čtyř v Evropě používaných systémů (1,5 kV, 3 kV, 15 kV 16,7 Hz a 25 kV 50 Hz), je dobré připomenout, jak vlastně v Evropě tato různorodost vznikla.

Počátky

Prvopočáteční elektrický provoz na železnicích navázal na sklonku 19. století na v té době po celém světě intenzivně zřizované tramvajové městské elektrické dráhy. I na prvních pokusných elektrických železnicích bylo používáno nepřilíš vysoké stejnosměrné napětí, zpočátku kolem 500 V, záhy nato kolem 1 000 V. Na rozdíl od měst, kde se dodnes v podobě systémů 600 V a 750 V zachovalo stejnosměrné napájení s nevysokým napětím dodnes, se u železnic velmi brzy projeví jeho limity a nevýhody: nízký výkon a malé vzdálenosti měření.

Snaha použít na vozidlech jednoduché robustní asynchronní motory vedla již na přelomu 19. a 20. století k elektrizaci železnic třífázovým systémem. Dvoustopé trakční vedení a v té době obtížně regulované asynchronní trakční motory byly slabinami, které vedly k opuštění tohoto stylu. Přesto však elektrizace 112 km dlouhé dráhy v údolí Valtelina v roce 1902, či jízdy rychlostí 210 km/h v roce 1903 na zkušební trati poblíž Berlína, dokládají kreativitu tehdejších průkopníků elektrické trakce.

Pozornost byla proto upřena k jednofázovým systémům. Střídavé napájecí napětí v úrovni zhruba 10 kV umožňovalo tratě racionálním způsobem elektrizovat (lehké trakční vedení, velká vzdálenost napájecích bodů), jeho transformace na lokomotivě na nižší úroveň též byla snadná, ale slabinou byl trakční motor. Třífázový indukční motor vyžadoval rozměrné rotační měniče a jednofázový komutátorový motor byl provozně nezpůsobivý, neboť jej provázelo silné jiskření na komutátoru a sním související napalování lamel komutátoru a rychlé opotřebení uhlíkových kartáčů.

Příčinou, proč komutátorový motor komutuje podstatně hůř při střídavém napájení, než při stejnosměrném, je transformační napětí, které se v kotvě indukuje od časově proměnného pole hlavních pólů. Usměrnovat na lokomotivě střídavý proud na stejnosměrný nebylo v té době snadné, byla k tomu potřeba těžká a rozměrná rotační soustrojí (motorgenerátory). Proto byl kmitočet střídavého napájecího napětí snížen. V Evropě z obvyklých 50 Hz na jednu třetinu, tedy na 16 2/3 Hz. Celočíselný poměr (3) byl zvolen z důvodu realizace rotační konvertorů a to na bázi šestipólového synchronního motoru a dvoupólového alternátoru. Snížení kmitočtu na jednu třetinu se ukázalo jako rozumným kompromisem mezi zvětšením rozměru transformátorů, ke kterému pochopitelně došlo a zlepšenou komutací trakčních motorů, o kterou bylo tolik usilováno. Nižší kmitočet se též příznivě projevil ve snížení impedance trakčního vedení a spolu s použitím dostatečně vysokého napětí napomohl ke snížení počtu napájecích stanic, neboť ty jsou díky poměrně malým úbytkům napětí schopny napájet poměrně dlouhé úseky.

Snížením kmitočtu a zavedením fázově posunutých pomocných pólů komutátorových trakčních motorů se již v první dekádě dvacátého století podařilo dovést jednofázový systém do úspěšného stavu technické použitelnosti a některé železnice jím začaly své tratě elektrizovat.

Evropská rozmanitost

Elektrizace, rozvíjející se na více místech železniční sítě, vyvolala potřebu jednotnosti. První dohoda, která stanovila jednotnou úroveň napájecího napětí, kmitočtu a výšky trolejového drátu nad temenem kolejnice vznikla v Evropě již v roce 1912, ale akceptovaly ji jen Švýcarsko, Německo, Rakousko, Švédsko a Norsko.

Důvodů jejího nepřijetí dalšími evropskými státy bylo několik. Kromě snah neopouštět jiné systémy, kterými již na přelomu 19. a 20. století některé státní dráhy či železniční společnosti elektrizaci svých tratí zahájily, šlo zejména o zájmy vojenskopolitické. Zejména v důsledku první světové války došlo k rozdělení Evropy do bloků navzájem nepřátelských států, kterému byly celoevropské technické a hospodářské cíle cizí.

Mnohé unikátní napěťové soustavy, používané v počátcích elektrizace železnic, například systémy využívající dvoustopé trakční vedení (při stejnosměrném či při střídavém třífázovém napájení) sice zanikly, ale rozvoj rtuťových usměrňovačů, nahrazujících ve dvacátých letech minulého století původně používané rotační konvertory, podpořil popularitu stejnosměrných systémů o vyšším napětí.

Francie se v roce 1920 rozhodla pro stejnosměrný systém 1 500 V a Itálie opustila počáteční trend třífázové elektrizace a přijala v roce 1927 rozhodnutí zavést na svém území jednotně stejnosměrný systém 3 000 V. Nejen technické důvody, ale i politické vlivy vedly v období mezi dvěma světovými válkami k rozšíření stejnosměrných systémů do dalších zemí. Svéráznou

cestou elektrizace tratí systémem 16 kV 50 Hz a použitím lokomotiv s rotačními měniči se vydalo Maďarsko.

Stejnoseměrný systém 1 500 V, převzatý i prvorepublikovými ČSD, ale (naštěstí) v Československu nerozvinutý, se již záhy po svém zavedení ukázal jako velmi nákladný a výkonově omezený a proto jej Francie v padesátých letech minulého století doplnila jednofázovým systémem využívající průmyslový kmitočet 25 kV 50 Hz. Ten se stal v pořadí již čtvrtým z hromadně rozšířených systémů elektrizace železnic a v šedesátých letech jej převzaly nejen státy teprve v té době zahajující elektrizaci svých železnic, ale i některé státy (zejména Sovětský svaz a Československo), již rozsáhlé provozující systém 3 000 V.

Dědictví

Tak se stalo, že v období parní trakce v podstatě propojitelnou evropskou železniční síť rozdělila v průběhu dvacátého století elektrizace železničních tratí na několik vzájemně obtížně slučitelných území, vyznačující se napětími 1,5 kV, 3 kV, 15 kV a 25 kV. Kromě potíží v mezistátní dopravě si několik evropských zemí, včetně bývalé Československé socialistické republiky, zkomplikovalo dvojicí napěťových soustav i svůj vnitrostátní provoz.

Jiné evropské státy důsledně elektrizovaly svoji železniční síť jediným systémem, byť se již třeba na základě nových poznatků a možností jevil v průběhu dalších let jako nemoderní. Provozní výhodnost jednotného elektrizačního systému shledaly důležitější, než dílčí výhody systému, který by byl zaveden jako druhý. Vzájemné výhody a nevýhody a tedy i pomyslné pořadí výhodnosti jednotlivých elektrizačních systémů se navíc v průběhu dvacátého století s vývojem techniky postupně měnily.

Polovodičová technika

Pořadí hodnocení výhodnosti jednotlivých elektrizačních systémů silně ovlivnil zejména nástup a rozvoj polovodičové techniky. Její první aplikace, kterou byly diodové usměrňovače, pozitivně ovlivnila a v podstatě umožnila výrobu jednofázových lokomotiv využívající průmyslový kmitočet 50 Hz a stejnosměrné trakční motory, neboť předchozí řešení, tedy na bázi vybavení lokomotiv rtuťovými usměrňovači nebyla v provozu náležitě spolehlivá a rotační měniče typu Ward-Leonard byly příliš těžké.

Zároveň však též polovodičové diody výrazně zjednodušily provedení a zhospodárnily provoz měničů napájejících stejnosměrné dráhy, které v původním provedení se rtuťovými čerpanými usměrňovači představovaly rozlehlý objekt na velkém pozemku s několika muži v trvalé službě.

Přechod od neřízených polovodičových usměrňovačů k řízeným, tedy v té době od diod k tyristorům, výrazně pomohl stejnosměrným lokomotivám, neboť technika pulsních měničů umožnila odstranit ztrátové řízení rozjezdu pomocí odporníků a opotřebením podléhajících stykačů.

Soudobá vozidla

Další pokrok v oblasti výkonové i řídicí elektroniky vedl k odklonu od používání stejnosměrných i střídavých komutátorových trakčních motorů. Komutátor, v podstatě mechanický střídač vestavěný do elektromotoru, byl z trakčního motoru vyjmut a nahrazen vně umístěným polovodičovým statickým měničem, napájejícím proměnným napětím a proměnnou frekvencí třífázový elektromotor – zpravidla asynchronní s kotvou nakrátko, ale v některých případech i synchronní, například s rotorem buzeným permanentními magnety. Vlivem podstatně vyšší odolnosti vůči provozním vlivům (znečištění, rázy, přetížení), lepším regulačním možnostem, vyšším výkonovým parametřům a nižším rozměrům i hmotnosti bezkomutátorových třífázových motorů, využívající točivé magnetické pole, opouštějí po sto letech poctivé služby komutátorové trakční motory obor elektrické trakce.

V celé šíři tohoto oboru, tedy od elektromobilů, přes trolejbusy, tramvaje a metro až po dieselelektrické či elektrické lokomotivy, trakční vozy a jednotky jsou nyní jednotně používány střídavé třífázové trakční motory napájené z polovodičových měničů. Jiná vozidla již prakticky nejsou vyráběna. V devadesátých letech minulého století působil tento trend v západní Evropě, nyní již se rozšířil v podstatě celosvětově.

Všechna vozidla elektrické trakce se tak v podstatě stala stejnými, využívají strukturu definovanou před třiceti lety tvůrcem moderních lokomotiv se třífázovými trakčními motory Wernerem Teichem:

a) vstupní obvod, tj.:

- sběrač a LC filtr u elektrických vozidel se stejnosměrným napájením z trakčního vedení (trolej nebo přívodní kolejnice),

- sběrač, transformátor, čtyřkvadrantový měnič a LC filtr u elektrických vozidel se střídavým napájením z trakčního vedení (trolej),
 - alternátor s usměrňovačem u vozidel dielelektrických,
 - nic u vozidel akumulátorových,
- b) trakční pohon, tj.:
- pulsní napěťový střídač s podpurným kondenzátorem stejnosměrného meziobvodu,
 - třífázové trakční motory,
 - pulsní spínač a brzdový odporník nebo brzdový kondenzátor (u vozidel, kde nelze veškerou brzdovou energii rekuperovat),
- c) pomocné pohony, tj.:
- primární měnič, zajišťující galvanické oddělení od napájecího systému (je-li potřebné),
 - sekundární měniče, zajišťující napájení jednotlivých pomocných elektromotorů proměnnou frekvencí, respektive napájení stejnosměrné pomocné sítě a pomocné baterie,
 - třífázové pomocné motory.

Použitá trakční napěťová soustava 1,5 kV, 3 kV, 15 kV 16,7 Hz respektive 25 kV 50 Hz má proto na strukturu technického řešení elektrických vozidel zcela nepatrný vliv. V podstatě jde o jen o to, zda vozidla mají či nemají transformátor a čtyřkvadrantový vstupní měnič, všechny jejich ostatní části elektrické výzbroje a celá mechanická část vozidel jsou v podstatě u všech napěťových soustav stejné.

Ale to je jen jeden úhel pohledu. Z pohledu širších souvislostí, tedy s uvážením spolupráce vozidel s napájecí sítí již určité rozdíly mezi jednotlivými v Evropě na železnicích používanými napěťovými systémy vyplývají a ovlivňují pořadí hodnocení jejich výhodnosti. Například rekuperační brzdění, které je v současnosti standardem všech soudobých elektrických vozidel, vede k nazírání na napájecí systémy i z hlediska opačného toku energie, což má mnohé další důsledky.

1 500 V

Tento systém využívá nepříliš vysoké napětí a proto pracuje s velkými síťovými proudy ($I = P/U$). Z toho vyplývá těžké trakční vedení, malé vzdálenosti měření a nevelký výkonový limit. Toto napětí je vhodné spíše pro městské a vicinální železnice, než pro hlavní tratě, zejména při snaze zvyšovat provozní rychlost se nedaří zajistit pro vozidla dodávku potřebného výkonu a při vyšších rychlostech nastupují i problémy s dynamickým chováním těžkého sběrače ve vztahu k mechanice trolejového vedení.

Pokud nejsou použity invertorové měnírnny (včetně dohodnutí výkupu navrácené elektrické energie jejím dodavatelem či distributorem), což by bylo spíše výjimečné, umožňuje tento systém rekuperovat brzdovou energii jen mezi nepříliš vzdálenými vozidly v napájeném úseku. U městských železnic s často zastavujícími vlaky jezdícími nepříliš rychle a za sebou v těsném sledu, je podobně jako u tramvají a metra poměrně vysoká pravděpodobnost, že se v napájeném úseku najde k brzdícímu vozidlu konzument jím navrácené energie. Avšak u železnic s většími odstupem rychleji jezdících vlaků je pravděpodobnost úspěšnosti rekuperace nízká, maření většiny brzdícím vozidlem generované elektrické energie v brzdovém odporníku je zpravidla nutností.

Důvodem existence systému 1 500 V na železnicích je v současnosti již jen udržování výchozího stavu, jeho další zavádění již není řadu let perspektivní a změna systému (za systém na okolních tratích zavedený) v rámci generální opravy infrastruktury má své opodstatnění. Vlastní trakční vozidla však jsou, jak je u tohoto systému tradicí, jednoduchá a levná.

3 000 V

Kvalitativně lze systém 3 kV hodnotit obdobně jako systém 1 500 V, kvantitativně je pochopitelně jeho hodnocení úměrně vyššímu napětí příznivější. Soudobé polovodičové prvky a způsob jejich řízení již umožňují i u systému 3 kV stavbu vozidel se střídači přímo napájenými z trakčního vedení. To je výrobně i provozně hospodárnější, než dříve používané dvojestupňové či tříbodové měniče pro dvouvinuťové trakční motory.

Elektrická výzbroj trakčních vozidel systému 3 kV je proto relativně jednoduchá, lehká, prostorově nenáročná a tedy i levná. Vstupní obvod a stejnosměrný meziobvod u nich v podstatě splývají v jeden celek.

Svým výkonovým limitem a redukovanou hmotností hlavice sběrače ještě tento systém vyhovuje pro konvenční evropské železnice (kategorie do 200 km/h), pro vysokorychlostní tratě

pojízdné ucelenými jednotkami s instalovaným výkonem kolem 8 až 10 MW rychlostmi 300 až 350 km/h jsou jednoznačně preferovány systémy s napětím 15 či 25 kV, u kterých je z důvodu nižší hodnoty síťového proudu napájení snazší.

Pravděpodobnost úspěšné rekuperace brzdové energie, daná možností jejího předání jiným vozidlům v napájeném úseku, je u systému 3 kV dobrá v husté příměstské dopravě a nedobrá v úsecích s řidší dopravou. Ve snaze zajistit dosažitelnost vhodného konzumenta energie i na větší vzdálenost, což je spojeno s překonáním poměrně velkých úbytků napětí v trakčním vedení, je při rekuperaci snaha napětí zvyšovat nad tradičně akceptované nejvyšší přípustné hodnoty, tedy nad $1,2 \times 3\,000\text{ V} = 3\,600\text{ V}$. Podle EN 50 163 je hodnota 3 600 V možná trvale a po dobu 5 minut je přípustné i napětí 3 900 V (tedy 3 000 V + 30 %). Tak radikální zvýšení tolerance napětí je možné jen u stejnosměrných systémů (v soustavách 600 V a 750 V připouští EN 50 163 při rekuperaci napětí až 800 V, respektive 1 000 V, tedy zvýšení o 33 % nad jmenovitou hodnotu), u jednofázových systémů jsou zejména z obavy před přesycováním jádra transformátoru a s tím souvisejícím prudkým zvýšením magnetizačního proudu, možnosti zvýšení tolerance napětí omezenější. U systému 25 000 kV je nejvyšší trvale přípustné napětí 27 500 V (tedy 25 000 V + 10 %) a po dobu 5 minut je dovoleno jej překročit na hodnotu 29 000 V (tedy 25 000 V + 16 %).

U již provozovaných tratí je systém 3 kV všeobecně ponecháván, nově však již tento systém není (s výjimkou elektrizace navazujících úseků) příliš rozšiřován. Tomu odpovídá i vžitá praxe v Čechách a na Slovensku, kdy tratě propojující oba systémy jsou ve větší délce elektrizovány střídavým napětím 25 kV a napětím 3 kV jen v menší části přiléhající k navazujícím tratím využívajícím stejnosměrný systém.

15 000 V 16,7 Hz

Hodnocení tohoto systému prošlo v několika posledních desetiletích určitými výkyvy. Příchod polovodičové techniky, tedy v první fázi možnost nahradit jednofázový trakční motor usměrňovačem a stejnosměrným trakčním motorem a v druhé fázi přechod na bezkomutátorové třífázové trakční motory s elektronickými střídači, vede k tomu, že snížený kmitočet napájecího napětí již s obměnou parku vozidel postupně ztrácí hlavní důvod, kvůli kterému byl na počátku dvacátého století zaveden. Tím bylo zlepšení komutace jednofázových komutátorových trakčních motorů v důsledku snížení velikosti transformačního napětí, indukovaného v komutující cívice rotorového vinutí změnou magnetického toku hlavních pólů, na jednu třetinu. Jen pro úplnost budiž uvedeno, že rozvoj polovodičové techniky též mírně modifikoval jmenovitou hodnotu kmitočtu. Poměr 1 : 3, tedy 16 2/3 Hz : 50 Hz, poplatný době používání rotačních měničů v systému napájení, byl v období elektronických měničů změněn na nesoudělný poměr 16,7 Hz : 50 Hz a to z důvodu zamezení vzniku rezonančních jevů (záznějů) v rozvodné síti.

Obecně známou a obecně platnou nevýhodou systému 15 kV 16 2/3 Hz respektive 16,7 Hz je větší průřez železa trakčního transformátoru, potřebný k vytvoření příslušného magnetického toku. Při pohledu na již čtyři desítky let staré čtyřnápravové elektrické vozy Švýcarských spolkových drah řady RBe 4/4, které mají při hmotnosti pouhých 68 t hodinový výkon 1 988 kW (tedy téměř tak velký, jako elektrická lokomotiva ČSD řady E 499.0) a k tomu 64 míst k sezení, či při pohledu na soudobé čtyřnápravové elektrické lokomotivy o výkonu přes 6 000 kW je zřejmé, že trakční transformátor byl i navzdory nízkému kmitočtu vcelku dobře zvládnut. Nicméně zejména z důvodu optimalizace parametrů nízkopodlažních příměstských jednotek a dvoucestných tramvají (obojích již i s konvenčními transformátory ve velkých počtech realizovaných), jsou hledána a ověřována i nová řešení:

- vynechání trakčního transformátoru, tedy přímé napájení trakčního měniče a trakčních motorů napětím sítě,
- použití vstupního vysokonapěťového střídače a vysokofrekvenčního transformátoru s keramickým jádrem,
- použití kryogenního transformátoru se supravodivým vinutím.

Z ryze technického hlediska jsou všechny tři výše uvedené varianty proveditelné a je v zejména otázkou dalšího vývoje technologií, které z nich se podaří propracovat tak, aby byly s ohledem na vyšší výrobních nákladů komerčně využitelné.

Překvapivě výhodně a z hlediska původních záměrů jeho tvůrců neplánovaně se jeví systém 15 kV 16,7 Hz z hlediska rekuperačního brzdění. V principu je to dáno obousměrnou průchodností trakční transformovny a zejména vlastní jednofázovou rozvodnou sítí, propojující jednotlivé trakční napájecí stanice. To umožňuje přenášet rekuperovanou energii rozvodnou sítí z úseku, kde nebyla spotřebována, do jiné napájecí stanice. Díky vlivem sníženého kmitočtu nízké induktivní reaktanci ($X = \omega \cdot L$) trakčního i rozvodného vedení jsou rekuperující vozidla schopny najít si i značně vzdáleného konzumenta elektrické energie a to i bez potřeby příliš zvyšovat při brzdění trakční napětí.

Praktickým důsledkem této skutečnosti je fakt, že vozidla tohoto napěťového systému vybavené elektrodynamickou brzdou v podstatě téměř nepotřebují brzdové odporníky, skoro vždy se pro rekuperujícím vozidlem dodávanou energii najde v síti spotřeba. To například umožnilo na lokomotivách řady 120 DB, které původně brzdovými odporníky vybaveny byly, tyto vypustit. Ve většině případů brždění tato vozidla rekuperují a jen ve výjimečných případech, když síť není schopna elektrickou energii odebrat, vstupuje v činnost mechanická brzda, která je provedena jako kotoučová a je náležitě výkonově a energeticky dimenzovaná.

V současnosti, kdy je v rámci oddělení železničního provozu od železniční infrastruktury prodej a zpětný výkup elektrické energie předmětem obchodních vztahů mezi provozovatelem každého jednotlivého vozidla a dodavatelem elektrické energie do trakčního vedení, má možnost rekuperace důležitý vliv na výši provozních nákladů dopravce.

25 000 V 50 Hz

Nejmladší evropský elektrizační systém má, podobně jako systém 15 000 V 16,7 Hz, proti stejnosměrným systémům výhodu ve větší výkonové zatížitelnosti a ve větší vzdálenosti napájecích stanic. Díky možnosti odběru vysokého výkonu a díky nízké redukované hmotnosti hlavice sběrače se dobře hodí i pro vysokorychlostní tratě.

Na rozdíl od doby svého vzniku v padesátých letech minulého století se však u tohoto systému projevily dvě komplikace. Ty v podstatě nesouvisí se systémem samotným, ale s faktem, že pro své napájení nevyužívá vlastní rozvodnou přenosovou (podobně jako je tomu u systému 15 kV 16,7 Hz) síť, ale všeobecnou (průmyslovou) distribuční síť.

Skutečnost, že všeobecnou rozvodnou síť, v podstatě řešenou pro třífázové rovnoměrně působící odběry, nezatěžuje železnice ve všech třech fázích rovnoměrně a navíc ji zatěžuje časově proměnlivě, promítá dodavatel elektrické energie do různých tarifních přírážek, kterými chce kompenzovat vícenáklady, které mu tento druh odběru přináší. Přitom vývojové trendy na straně železnice a elektrárenství jsou v určité disproporci. Snaha železnice o jízdy vyššími rychlostmi zvyšuje časovou nerovnoměrnost odběru – odběrové špičky jsou vyšší a působí kratší dobu. Naopak přechod z uhelné na jadernou energetiku vyžaduje trvalé zatížení elektráren stálým výkonem, větší výkonové disproporce je nezbytné vyrovnávat (například přečerpávacími hydroelektrárnami), což není levnou záležitostí. Z tohoto pohledu se též nelze příliš divit nezájmu distributora či dodavatele elektrické energie vykupovat od železnice zpět rekuperovanou elektrickou energii, zvláště když její velikost, okamžik zahájení dodávky a dobu trvání nedokáže železnice předem přesně a závazně stanovit. To se pochopitelně týká i systémů stejnosměrných, taktéž napájených ze všeobecné distribuční sítě.

Realita

Ve věci rekuperace elektrické energie zpět do distribuční sítě působí nejen výše popsané záležitosti snahy energetiky o ustálené a vyrovnané poměry ve výrobě a spotřebě, ale i přirozená snaha energetického komplexu elektrickou energii vyrábět a prodávat a nikoliv jí vykupovat zpět. Těžší problém, proč na rozdíl od tratí využívající jednofázový systém 15 kV 16,7 Hz se samostatnou rozvodnou sítí nemohou v některých případech na jednofázovém systému 25 kV 50 Hz rekuperovat ani nejmodernější vozidla se čtyřkvadrantovými vstupními měniči, však má podstatně hlubší, závažnější a techničtější příčinu. Znemožňuje to před mnoha lety zavedený způsob vzájemného propojení distribuční sítě a trakčních transformoven.

Trakční transformovna je průchozí pro oba směry průchodu elektrické energie, ta může transformátorem procházet z rozvodné sítě do trakčního vedení i opačně. Tato vlastnost je pro rekuperaci příznivá, ale bez ohledu na ni způsobuje nepříjemnosti při dvoustranném napájení trakčního vedení. Dvě sousední trakční transformovny jsou propojeny dvakrát: na primární straně distribuční sítě a na sekundární straně trakčním vedením. V normálním provozu tato skutečnost nevádí, avšak v případě výpadku v distribuční síti, zkratech a podobně, slouží trakční vedení jako nežádoucí paralelní přívod a snaží se postižené místo napájet. Proto jsou již od dob elektrizace tratí jednofázovým systémem 25 kV 50 Hz trakční transformovny takto napájených tratí opatřeny na vstupní straně citlivým relé, reagujícím na změnu smyslu činné složky proudu v přívodu do napájecí stanice. V případě, že se objeví proud tekoucí z transformovny do distribuční sítě, dávají tyto ochrany neprodleně povel k přerušení přívodu, neboť by mohlo jít o nežádoucí přítok energie do místa zkratu.

Zhruba čtyřicet let tato skutečnost provozu železnic nevádila, potíže se projevily až u vozidel s rekuperací. Nemá-li rekuperující vozidlo zajištěn odběr jím dodávané energie v napájeném úseku, začne předávat energii do distribuční sítě a výše popsaná ochrana to vyhodnotí jako možné nežádoucí napájení zkratu v distribuční síti a ihned vypne celou napájecí stanici. Protože rekuperující vozidlo nemá informaci, zda má či nemá jím dodávaná energie v napájeném úseku spotřebitele (na rozdíl od stejnosměrných systémů není velikost napětí v síti obrazem tohoto stavu), nelze na takto

napájených tratích v současnosti rekuperovat a vozidla s elektrodynamickou rekuperační brzdou musí trvale mařit brzdovou energii v brzdovém odporu.

Úsporně i na systému 25 kV

Tato nežádoucí situace pochopitelně má své řešení a to jak na straně energetiky, tak na straně železnice. Z komerčních důvodů však nemá logiku očekávat iniciativu od dodavatelů a distributorů energie, ti mají pochopitelný zájem prodávat co nejvíce energie a nikoliv ji vykupovat zpět. A tak je spíš na železnici tento stav změnit. Jednou z možností je předávat na vozidla (například pomocí GSM) informaci o velikosti primárního proudu trakční transformovny a podle toho odvozovat, jakou část brzdového výkonu lze do sítě dodat bez nebezpečí zásahu ochran. Je účelné, aby železniční vozidla elektrické trakce závislé mohla elektrickou energii vracet do sítě i na jednofázovém systému 25 kV 50 Hz. Například u příměstských vlaků jezdících rychlostí 100 km/h a zastavujícími každé 3 km lze rekuperaci vrátit do zpět do trakčního vedení až 40 % odebrané energie. Navíc je nedobrym paradoxem, že moderní vozidla, vybavená drahými čtyřkvadrantovými vstupními měniči na místě někdejších jednoduchých neřízených diodových usměrňovačů, využívala tuto techniku jen pro zkvalitnění odběru energie, nikoliv i k jejímu navrácení do sítě. Vedle zvýšení odolnosti kolejových obvodů železničních zabezpečovacích zařízení vůči rušivým proudům je záležitostí přijetí technických řešení umožňujících povolení rekuperace na systému 25 kV 50 Hz dalším důležitým momentem v zajištění skutečné interoperability železničních tratí elektrizovaných tímto systémem v evropské železniční síti.

Komplikace

Technika polovodičových pulzních střídačů a asynchronních trakčních motorů elektrické lokomotivy výrazně zjednodušila a sjednotila, čímž usnadnila stavbu čtyřsystémových lokomotiv. Avšak sama skutečnost, že je určité vozidlo schopno fungovat při napájení napětím 1,5 kV, 3 kV, 15 kV 16,7 Hz či 25 kV 50 Hz ještě nepostačuje k tomu, aby mohlo být na příslušné trati provozováno. K tomu je též nutno, aby vozidlo spolupracovalo se zabezpečovacím zařízením, kterým je daná trať vybavena.

V kolejnicích se setkávají zpětné trakční proudy s proudy kolejových obvodů železničních zabezpečovacích zařízení. S cílem zabránit ovlivnění činnosti zabezpečovacích zařízení zpětnými trakčními proudy, byly z důvodu odlišení zvoleny pro kolejové obvody jiné frekvence, než jaké odpovídají trakčnímu napájecímu napětí. Rozvoj železničních zabezpečovacích zařízení probíhal ve dvacátém století v různých Evropských zemích odděleně. To způsobilo, že k jedinému základnímu kmitočtu trakčního napájecího systému (například 50 Hz) není přiřazen jediný odlišný kmitočet kolejových obvodů železničních zabezpečovacích zařízení (například 75 Hz), ale velké množství různých kmitočtů. V praxi to znamená, že v Evropě v současnosti existuje ke čtyřem systémům energetického napájení železnic zhruba stovka kmitočtů vyhrazených v různých státech pro zabezpečovací zařízení a tedy přísně zakázaných pro zpětný trakční proud. Z bezpečnostních důvodů je toto téma velmi vážné a náležité filtrování síťového proudu, případně i průběžná kontrola amplitudy zpětného proudu vozidla na vyhrazených frekvencích jako i rozsáhlé kontrolní a schvalovací zkoušky jsou v současnosti složitějším technickým problémem, než pouhé vytvoření vícesystémového vozidla.

Obdobně působí i v průběhu dvacátého století v jednotlivých zemích zavedené rozličné typy vlakových zabezpečovačů a radiostanic. V průběhu druhé poloviny dvacátého století jich v Evropě vznikly desítky. V zásadě sice lze na vozidlo namontovat několik typů vlakových zabezpečovačů a radiostanic, ale v praxi to vede k prostorovým potížím a to jak ve strojně při umísťování vyhodnocovací aparatury, tak na spodku vozidla při umísťování snímačů či na střeše při umísťování antén, ale zejména ne pultu v kabině strojvedoucího při umísťování ovládacích a sdělovacích prvků. Tato skutečnost plus vysoká cena jednotlivých národních vlakových zabezpečovačů a radiostanic jsou důvodem k tomu, že se na jednotlivé lokomotivy dosazují jen ta zařízení, která na svých vozebních ramenech používají.

Ale ani samotné napájecí systémy nejsou tak jednotné, jak se na první pohled jeví. Některé státy, používající stejné napětí, se navzájem odlišují šířkou smýkadla sběrače (1 450 mm, 1 600 mm, nebo 1 950 mm), či jeho materiálem (uhlík versus měď), limitem síťového proudu při odběru i při rekuperačním brzdění, jakožto i výší napětí při rekuperaci. Ke zvláštním požadavkům některých zemí patří i schopnost přejet se vztyčeným sběračem místo bez trakčního vedení. Vzhledem ke skutečnosti, že při rychlosti 200 km/h a výkonu 6 000 kW již nelze použít týž sběrač pro AC a DC systémy (těžká DC hlavice je z důvodu velkých dynamických sil na lehkých AC trakčních vedeních nepřípustná), není snadné všechny potřebné sběrače a k nim náležící odpojovače a zkratovače (sběrače se širokými smýkadly musí být v některých zemích ukostřeny) umístit na střeše lokomotivy, kde je jejich počet limitován číslem 4.

Ani samo technické řešení všech těchto a mnohých jiných odlišností, jako i vybavení vozidla SW pro komunikaci se strojvedoucím a pro diagnostiku v příslušné jazykové verzi, ještě není postačující podmínkou k provozu. Tou je po splnění a prokázání všech technických požadavků typové schválení, tedy potvrzení orgánu státního odborného dozoru, že vozidlo je technicky způsobilé.

Dodatek 2: Kompatibilita neboli snášenlivost železničních vozidel a infrastruktury

V současnosti probíhající zkoušky elektrických jednotek řady 680 ČD přispěly ke zveřejnění, uvědomění si a obecnému pochopení určité fyzikální skutečnosti, která vznikla, existuje a působí zcela nezávisle na nich samotných. Touto skutečností je fakt, že na železnicích v České republice jsou používána zabezpečovací zařízení, která jsou funkční a spolehlivá (což rozhodně nelze opomenout, natož opustit), ale která nejsou snášenlivá, neboli kompatibilní s moderními trakčními vozidly elektrické trakce závislé. Nikoliv jen jednotky řady 680, ale veškerá soudobá elektrická trakční vozidla se střídavými trakčními motory totiž produkují zpětné proudy, které obsahují střídavé složky, které by mohly nepříznivě ovlivnit činnost některých typů v České republice dosud používaných kolejových obvodů železničních zabezpečovacích zařízení. To je pochopitelně zcela nepřijatelné, vozidla nemohou být provozována na tratích, vybavených zabezpečovacím zařízením, jehož činnost ovlivňují. Tento systémový nedostatek je proto nutno analyzovat a řešit.

Vozidla

Zhruba již 25 let (přibližně od roku 1980) umožňuje výkonová a řídicí polovodičová elektronika i v oboru elektrické trakce nahradit dříve používané komutátorové motory bezkomutátorovými, tak jak se tomu již dříve stalo v jiných průmyslových odvětvích. Tato možnost byla všeobecně a hromadně využita, neboť bezkomutátorové motory mají proti komutátorovým mnohé přednosti:

- údržbová nenáročnost,
- odolnost vůči vnějším vlivům,
- vyšší parametry,
- přetížitelnost,
- menší rozměry a hmotnost,
- možnost kvalitní regulace sil na mezi adheze.

Proto jsou v celé šíři spektra kolejových i nekolejových vozidel elektrické trakce závislé i nezávislé opouštěny komutátorové stroje a na jejich místo nastupují stroje bezkomutátorové s nezbytnými polovodičovými měniči. Již prakticky deset let nejsou žádná nová vozidla s komutátorovými trakčními motory vyráběna a dodávána. V souvislosti s dodávkami nových vozidel dožívají a postupně mizí z drah vozidla s komutátorovými trakčními motory. Jde pochopitelně o dlouhodobý, ale nezvratný proces. Vozidla s trakčními komutátorovými motory za určitou dobu v provozu již vůbec nebudou.

Dříve a nyní

Komutátor trakčního motoru, který vlastně plnil funkci mechanického kontaktního střídače, má stovky lamel a proto je zvlnění proudu, trakčním motorem ze sítě odebíraného, docela nepatrné. Nově zavedené polovodičové bezkontaktní střídače a k nim náležící střídavé trakční motory však mají je tři fáze a proto je jimi odebíraný síťový proud více zvlněný, obsahuje nezanedbatelně velkou střídavou složku. Na rozdíl od stejnosměrných pulzních měničů, které je možno spínat pevnou frekvencí, která je záměrně odlišná od frekvence kolejových obvodů železničních zabezpečovacích zařízení (viz známý způsob spínání pulzních měničů ČKD na elektrických lokomotivách ČD řad 163 a 363 : 33 Hz – 100 Hz – 300 Hz), prochází v průběhu rozjezdu vozidla s bezkomutátorovými trakčními motory frekvence střídavé složky síťového proudu spojitě celým spektrem od nula až po maximum. Frekvence napájecího napětí je totiž úměrná otáčivé rychlosti motoru a tedy rychlosti jízdy vozidla.

Kolejové obvody

Skutečností, že kolejové obvody železničních zabezpečovacích zařízení, sloužící mimo jiné i k indikaci volnosti či obsazení koleje, nesmí být ovlivněny zpětnými síťovými proudy trakčního vozidla, si byli jejich tvůrci dobře vědomi. Proto volili pro činnost kolejových obvodů frekvence odlišné od frekvencí střídavých složek, které by mohly být obsaženy ve spektru zpětného síťového proudu trakčních vozidel. V České republice jsou normou ČSN 34 2613, která je jako bezpečnostně relevantní

závazně zavedena Dopravním řádem drah 173/1995 Sb., vyhrazeny pro kolejové obvody železničních zabezpečovacích zařízení zejména (k + 0,5) násobky frekvence 50 Hz, tedy 25 Hz, 75 Hz, 125 Hz, 175 Hz, 225 Hz, 275 Hz. To proto, aby se tyto frekvence odlišovaly od vyšších harmonických vln energetického napájení se základní frekvencí 50 Hz, tedy od jejích celočíselných násobků: 50 Hz, 100 Hz, 150 Hz, 200 Hz, 250 Hz, 300 Hz, ...

Pro zajištění náležitého odstupu zpětných trakčních proudů od proudů zabezpečovacích obvodů jsou v pásmech poblíž pro zabezpečovací techniku vyhrazených kmitočtů (25 Hz, 50 Hz, 75 Hz atd.) povoleny jen velmi nízké hodnoty střídavých složek zpětných trakčních proudů a to nejvýše do 100 mA.

Jedinečnost České republiky

Zabezpečovací zařízení jsou pochopitelně používána na všech železnicích. Různost v Evropě použitých elektrizačních systémů vedla v minulosti i k různosti odlišení frekvencí kolejových obvodů od trakčních systémů. Tato různost je však z důvodu dlouhodobého a navzájem (mezinárodně) zcela nekoordinovaného působení velkého počtu národních výrobců velmi výrazná, v evropských zemích vzniklo v průběhu dvacátého století desítky různých zabezpečovacích systémů, využívající nejrůznějších kmitočtů proudů kolejových obvodů. V rámci UIC nebyla tato záležitost jednotně řešena, v podstatě každá železniční správa se samostatně vypořádala s tím, aby na ji používané napěťové soustavě její trakční vozidla nerušila její zabezpečovací zařízení.

Teprve nyní, v zájmu zajišťování interoperability evropské železniční sítě, vznikají mnohastránkové seznamy v různých zemích zakázaných frekvenčních pásem zpětných proudů. Jednotlivá zakázaná pásma jsou charakterizována frekvenčním rozsahem a povoleným proudem. V této pestré směsi rozličných údajů se vyskytují frekvence nízké i frekvence vysoké a povolené amplitudy proudu se pohybují od desítek miliampér až po desítky ampér. Zvláštností České republiky je, že z důvodu v padesátých a šedesátých letech instalovaných a dodnes používaných kolejových obvodů o frekvencích 25 Hz, 50 Hz a 75 Hz (nyní již se řadu let používá systém 275 Hz) jsou vyžadovány nízké úrovně rušivých proudů (100 mA) i v oblasti nejnižších frekvencí. To je základem potíží při aplikaci vozidel s bezkomutátorovými trakčními motory.

K filtrování střídavých složek vstupního proudu polovodičových měničů jsou dosud všeobecně používány pasivní prvky: tlumivky a kondenzátory. Protože reaktance tlumivek ($X = \omega \cdot L$) a admitance kondenzátorů ($Y = \omega \cdot C$) roste úměrně frekvenci zpětného proudu, daří se pasivními LC filtry celkem uspokojivě utlumit střídavé složky zpětného proudu o frekvencích řádu stovek hertzů, ale pro náležité utlumení střídavých složek zpětného proudu o frekvencích řádově desítek hertzů vycházejí příslušné filtrační kondenzátory a tlumivky nerealně velké.

Konflikt

Je zřejmé, že vozidla s bezkomutátorovými trakčními motory produkují při postupně se měnící rychlosti jízdy vozidla i jiné střídavé složky, než jen celočíselné násobky 50 Hz a mohou tedy zasahovat do pro vozidla zakázaných oblastí, tedy do oblastí vyhrazených zabezpečovací technice.

Před rozhodnutím, jakým způsobem řešit konflikt mezi vlastnostmi moderních vozidel s technikou střídavých pohonů a stavem existující infrastruktury železnic, vybavených zabezpečovací technikou, místně ještě využívající i zastaralé nízkofrekvenční kolejové obvody, nyní stojí i státem vlastněné železnice v České republice. Stanovení dalšího postupu není rozhodnutí snadným ani levným, provází jej řada technických, ekonomických a právních souvislostí. Vzniklou situaci je v podstatě možno řešit dvojím způsobem: buď přizpůsobit vozidla v České republice existujícím zabezpečovacím zařízením, nebo přizpůsobit zabezpečovací zařízení soudobým vozidlům.

Prvé řešení: přizpůsobení nových vozidel existující infrastruktuře

Z hlediska letmého pohledu do platných zákonů se rozhodnutí jeví jednoznačně. Má-li být vozidlo v České republice technicky způsobilé k provozu na drahách celostátních a regionálních, musí být ve smyslu § 43 zákona o drahách č. 266 /1994 Sb. prokazatelně shodné se schváleným typem. K tomu, aby mohlo být v České republice drážní vozidlo typově schváleno, musí bezesbýtku splňovat ustanovení dopravního řádu drah, vydaného vyhláškou ministerstva dopravy č. 173/1995 Sb. Ta ve své příloze 3 obsahuje požadavky na drážní vozidla, které v sobě v části II zahrnují i článek 18, podle kterého nesmí být drážní vozidla zdrojem rušivých napětí a proudů mezi kolejovými pásy, přesahující meze uvedené v technická norma ČSN 34 2613. Na této skutečnosti nic nemění ani fakt, že samotná technická norma ČSN 34 2613 již byla v roce 2004 Českým normalizačním institutem navrhována na zrušení z důvodu své neslučitelnosti se systémem evropských technických norem členských zemí Evropské unie. Bezpečnost dopravy ohrozit nelze.

Pokud k náležitému odrušení nepostačují pasivní filtry, je možno použít filtry aktivní. Ty jsou koncipovány jako elektronické proudové zdroje, kompenzující nežádoucí střídavé složky. Taková zařízení jsou technicky reálná, jsou však na ně kladeny přísná bezpečnostní kritéria, platná pro železniční zabezpečovací zařízení: musí být bezpečná i při libovolné poruše, která může v provozu nastat. To je požadavek u vozidel neobvyklý a zásadním způsobem zvyšuje náročnost technického řešení, typových zkoušek a schvalovacího procesu.

Nyní je aktivní filtr vyvíjen pro jednotky řady 680. Obdobné problémy při plnění požadavků ČSN 34 2613 však potenciálně mají veškerá vozidla s bezkomutátorovými trakčními motory. Aktivní filtr by se tedy mohl stát, podobně jako tuzemský typ liniového vlakového zabezpečovače, nezbytným národním doplňkem trakčních vozidel způsobilých pro provoz v České republice. Velmi orientačně lze předpokládat jeho vývoj a zkoušky v roce 2005, homologaci v roce 2006 a rutinní provoz v roce 2007.

Druhé řešení: přizpůsobení infrastruktury vozidlům

Dne 1.5.2005 přistoupila Česká republika k Evropské unii a ta již dříve vydala Směrnici evropského parlamentu a Rady 2001/16/ES o interoperabilitě transevropského konvenčního železničního systému. Tato směrnice (v České republice reprezentovaná vyhláškou ministerstva dopravy č. 352/2004 Sb.) ukládá povinnost zajistit na tratích, které jsou zahrnuty do transevropské železniční sítě TEN, jejich interoperabilitu. Ta je definována jako dokonalá slučitelnost technických charakteristik dopravní cesty dráhy s technickými charakteristikami použitých kolejových vozidel.

Na území České republiky jsou od 1.5.2004 do transevropské železniční sítě zařazeny tratě uvedené ve sdělení Ministerstva dopravy č. 111/2004 Sb. V podstatě jde o všechny důležité a z velké většiny o elektrizované železniční tratě v České republice, ve zjednodušené formě je lze definovat následovně:

- Praha – Děčín – státní hranice
- Praha- Plzeň - Cheb – státní hranice
- Plzeň – Česká Kubice – státní hranice
- Praha – Veselí nad Lužnicí - Horní Dvořiště – státní hranice
- Veselí nad Lužnicí - České Velenice
- Plzeň – České Velenice
- Praha – Hranice nad Moravou – Bohumín – Mosty u Jablunkova - státní hranice
- Ostrava – Havířov – Český Těšín
- Hranice nad Moravou – Horní Lideč – státní hranice
- Ústí nad Labem - Cheb
- Děčín -Kolín – Brno
- Česká Třebová – Brno – Břeclav – státní hranice
- Brno - Přerov
- Přerov – Břeclav
- Ústí nad Orlicí – Lichkov – státní hranice

Tytéž tratě jsou ve smyslu Směrnice Evropského parlamentu a Rady č. 2001/12 zahrnuty i do transevropské železniční sítě nákladní dopravy TERFN. Podle předpokladů Evropské unie by měla být interoperabilita tratí zařazených do sítě TEN zajištěna do konce roku 2008.

Jedním ze pěti strukturálních subsystémů interoperability evropského železničního systému je subsystém řízení a signalizace. Ten v sobě obsahuje i železniční zabezpečovací zařízení. Požadavky na každý ze subsystémů jsou definovány v technických specifikacích interoperability (TSI). Důležitým parametrem interoperability je i bezvadná a bezpečná součinnost vozidel a železničních zabezpečovacích zařízení. Ta v sobě též zahrnuje náležitou odolnost zabezpečovacích zařízení vůči běžné hodnotě trakčními vozidly vyvolaných rušivých proudů. V souladu se stavem techniky a s realitou ve většině členských zemích EU je v návrhu TSI požadována odolnost kolejových obvodů vůči výrazně vyšším hodnotám rušivých proudů, než jak stanoví ČSN 34 2613. Ve nasvědčuje tomu, že pro splnění podmínek interoperability železničních tratí, zařazených Českou republikou do evropského železničního systému, bude na nich nutno modernizovat kolejové obvody železničních zabezpečovacích zařízení. Jen tak bude možno předmětnou technickou specifikaci interoperability splnit.

To je v podstatě správné, neboť v mnoha železničních stanicích přežívají zabezpečovací systémy z padesátých let a jejich modernizace je žádoucí i z mnoha jiných důvodů.

Strategie obnovy

Ze znalosti obou výše uvedených možných řešení existujícího konfliktu mezi vozidly a infrastrukturou lze odvodit, že přizpůsobení soudobých vozidel existující infrastruktuře železnic v České republice jejich odrušením na extrémně nízké hodnoty je krokem přechodným, zatím co modernizace zabezpečovacích zařízení směrem k vyšší imunitě vůči rušení je krokem cílovým a systémovým. Tato akce nebude levná, ale ve srovnání s investicemi do rekonstrukcí koridorových tratí ne toliko výrazně drahá. Přitom instalace moderních zabezpečovacích zařízení rekonstruované tratě náležitě zhodnotí, neboť umožní plně využívat jejich technické parametry a pojíždět je moderními vozidly evropského standardu.

Ačkoliv byla k objasnění existujících vztahových záležitostí citována ve výše uvedeném textu řada právních předpisů, má celá tato záležitost zřetelně jasnou technickou a ekonomickou dimenzi. Je prvořadým zájmem České republiky mít železniční tratě zařazené v evropském systému a náležitě využívané nákladní i osobní dopravou. A je to pochopitelně i podnikatelským zájmem SŽDC a ČD.

Závěr

Elektrické lokomotivy ES 64 U4 představují vyvážený komplet vysoce moderních a technicky dokonalých řešení. Univerzálností svých parametrů a vícesystémovým provedením jsou všestranně použitelné. Přicházejí na železnice právě v době, kdy je téma transevropské dopravy velmi aktuální a zajisté k jejímu rozvoji a zkvalitnění výrazně přispějí.