

Ing. Jan Matějka

Interoperabilita z pohledu elektrické trakce

Klíčová slova: technické specifikace interoperability, elektrická trakce, trakční vedení, elektrické napájení, subsystém energie

1. Úvod

Uvažujeme-li o pojmu interoperabilita z historického hlediska, pak první snahy o nalezení společně platných ustanovení můžeme objevit již v dávné minulosti. Teprve nyní však nastala situace, kdy se jednotlivé vyspělé evropské státy dostávají do politické i ekonomické rezonance vysoce rozvinutých společenství zhruba na stejné úrovni, která pro svou existenci a další rozvoj vyžaduje vyšší stupeň vzájemného propojení. Tento vyšší stupeň geopolitického uspořádání je nezbytně nutný pro pokračování ekonomické konkurenceschopnosti a prosperity v nových podmínkách zvyšující se celosvětové konkurence.

Z pohledu elektrotechniky a energetiky můžeme proces začleňování do evropských struktur v zásadě charakterizovat jako spojení, dvou hlavních částí - legislativní a technické.

2. Legislativní část

Legislativou se v zásadě vyjadřují požadavky (podmínky), práva a povinnosti dosažení a zajištění interoperability. Základní požadavky jsou obsaženy ve směrniciích ES o interoperabilitě. Pro konvenční tratě, což je situace všech dosavadních tratí ČD, platí směrnice **2001/16/ES**. Na základě směrnic ES jsou vypracovávány technické specifikace interoperability (TSI - Technical Specification for Interoperability) pro jednotlivé subsystémy s respektováním evropských norem pro jednotlivé prvky, ze kterých jsou subsystémy vytvořeny. Základními subsystémy - podsystémy železnic pak jsou:

- řízení a zabezpečení (*control-command & signalling*)
- infrastruktura (*infrastructure – pevná zařízení tratě*)
- kolejová vozidla (*rolling stock*)
- energie (*energy – elektrické napájecí systémy a zásobování elektřinou*)
- údržba (*maintenance – údržba vozidel*)
- provoz (*operation*)

Dosavadní výsledky nasvědčují tomu, že České dráhy a.s. jsou na součinnost s EU v mnohém připraveny, protože do obnovy infrastruktury již implementovaly řadu evropských technických norem a jsou postupně přijímána legislativní opatření, významná pro zavedení dalších materiálů nižší právní důležitosti. V současnosti se specialisté ČD podílejí na vytváření, překladech a zavádění nových dokumentů, zejména TSI, které pro jednotlivé

Ing. Jan Matějka – zástupce ředitele a vedoucí oddělení energetiky a elektrických napájecích systémů odboru automatizace a elektrotechniky GR ČD, a.s. Praha. Dlouholetá praxe v oboru napájení elektrické trakce, dispečerských řídicích systémů a železniční elektroenergetiky od úrovně elektromontéra a elektrodispečera až po vrcholové řídicí funkce v odvětví elektrotechniky a energetiky na železnici.

podsystemy představují ucelený a podrobně rozpracovaný soubor technických požadavků pro zajištění bezpečného průjezdu vlaků po vybrané transevropské železniční síti.

Při hodnocení důkladnosti a obsažnosti těchto dokumentů z pohledu elektrotechniky a energetiky je patrné, že se členské státy unie poučily ze svých dřívějších kroků a již ve stadiu přípravy usilují o zpracování problematiky do nejmenších podrobností v zájmu minimalizovat případné budoucí legislativní a technické problémy. Jedná se o práci odpovědnou a složitou, na které se podílejí týmy specialistů z různých členských zemí, kteří v řadě případů musí hledat vhodný kompromis, přijatelný pro všechny zúčastněné strany.

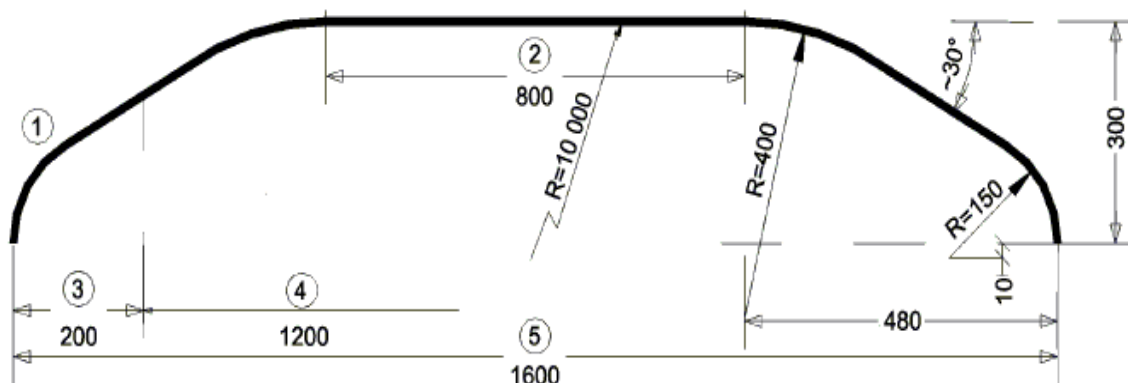
U ČD právě nyní probíhá posouzení, kde na tratích vybraných pro interoperabilní provoz jsou a kde nejsou splněny všechny podmínky a co bude pro zajištění nutné ještě udělat. Jedná se o projekt PHARE CZ 02.03.01 „Aplikace směrnice 2001/16/ES o železniční interoperabilitě“. Vedle stanovení legislativního rámce a institucionální struktury v ČR pro zajištění aplikace směrnic ES jde v projektu především o zapojení ČR do tvorby a aplikace TSI s definicí nutných úprav a nákladů na jejich realizaci a o vyjádření a zveřejnění přínosů, které interoperabilní železniční doprava může přinést.

3. Technická část

Z hlediska tématu tohoto příspěvku, který je zaměřen na interoperabilní požadavky u elektrické trakce, patří do technické části především subsystém energie a TSI – energie, z nichž vychází i činnost podskupiny energie, ustavené u ČD a vedené zástupcem odboru automatizace a elektrotechniky GR (v současnosti autorem tohoto příspěvku).

Podskupina energie byla ustavena generálním ředitelem ČD jako kooperující a oponentní skupina k postupu řešení interoperability v rámci podsystemu energie na základě výše zmíněné studie. V současnosti jsou zpracovány TSI – energie pouze pro vysokorychlostní tratě a probíhá jejich zpracování pro konvenční tratě. Vzhledem k tomu, že podstatná část podsystemu energie je shodná nebo podobná pro oba druhy tratí, a že TSI energie pro vysokorychlostní tratě obsahuje i požadavky pro tratě spojovací, které mají spíše charakter tratí konvenčních, existuje již řada definičních podmínek pro posuzování a řešení připravenosti elektrických zařízení v provozu ČD. Řešitel studie proto porovnává současný stav s požadavky evropských norem a základních kapitol TSI – energie na základě podkladů poskytovaných ČD a z porovnání vytvoří požadavky a návrhy řešení nutných úprav. Základními požadavky jsou především napětí a frekvence trakčních proudových soustav, vlastnosti trakčního vedení, schopnost jeho spolupráce se sběrači elektrických hnacích vozidel a výkonnost napájecí soustavy. S tím samozřejmě souvisí garantované parametry elektrického napájení, jako je maximální dovolená tolerance napájecího napětí, frekvence, obsah harmonických, intenzita elektromagnetického vyzařování, dále pak mechanické parametry trakčního vedení a jeho vlastnosti v dělicích místech napájení nebo trakčních proudových soustav (délka neutrálních polí apod.), ale také např. požadavky na elektrické předtápění vlakových souprav.

Výběr následujících obrázků, tabulek a grafů z TSI-energie pro vysokorychlostní tratě ukazuje příklady definovaných vlastností a parametrů pevných trakčních elektrických zařízení pro splnění požadavků interoperability.

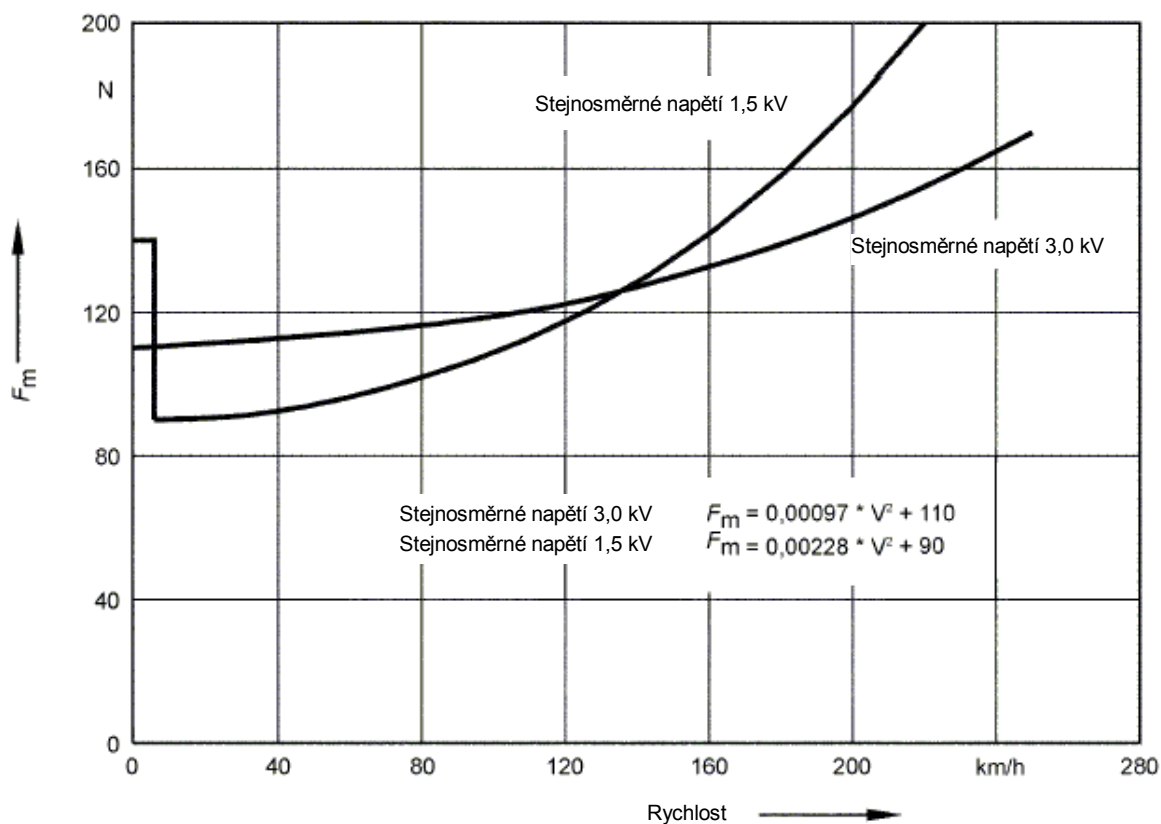
Profil hlavy sběrače proudu (Obr.1)

Geometrie hlavy sběrače (Obr.2)

Č .	Popis	Všechny kategorie tratí
1	Šířka hlavy sběrače proudu	
1.1	Jednotná hlava sběrače proudu (mm)	1 600
1.2	Hlava sběrače proudu během přechodného období (mm)	1 450 a 1 950
2	Pracovní rozsah hlavy sběrače proudu (mm)	1 200
3	Délka obložení smýkadla (mm)	800
4	Profil hlavy sběrače proudu	
4.1	Profil jednotné hlavy sběrače proudu	Viz obrázek 1
4.2	Profil přechodné hlavy sběrače proudu	EN 50367
5	Elektrické spojení mezi sběrači	Pokud takové spojení existuje, musí být přerušitelné
6	Zařízení pro detekci závad hlavy sběrače proudu	Nezbytné

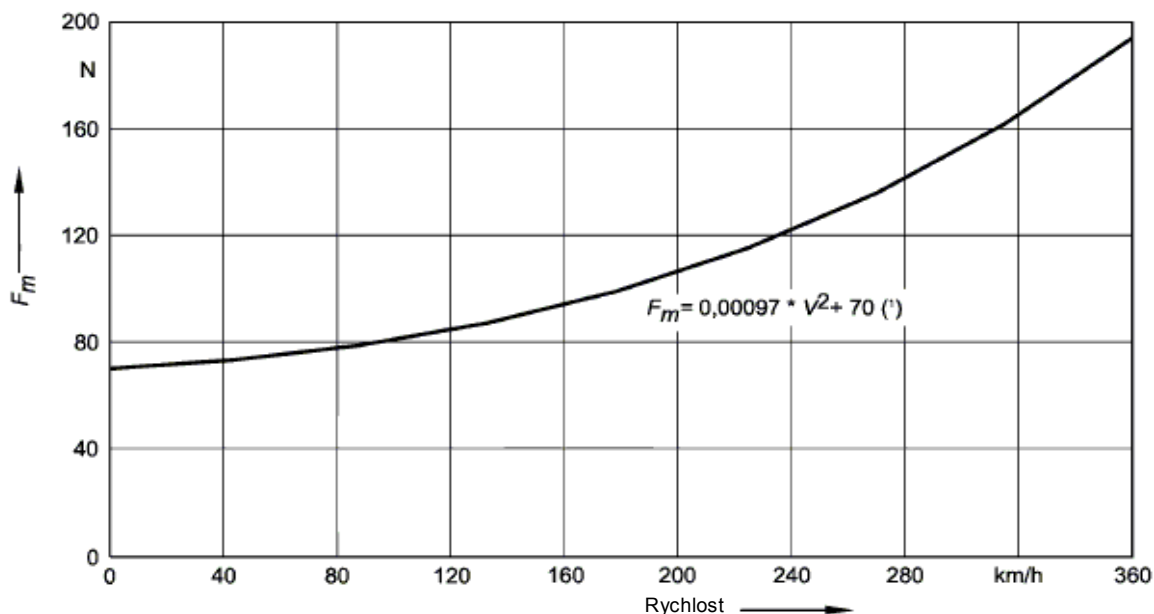
Stejnóměrnost elasticity U TV v procentech (Obr.3)

Typ trolejového vedení	Rychlost jízdy km/h		
	200 až 230	230 až 300	Nad 300
Bez přidavného lana	< 40	< 40	< 25
S přidavným lanem	< 20	< 10	< 10

$U = ((e_{max} - e_{min}) / (e_{max} + e_{min})) * 100\%$ kde: e_{max} je maximální hodnota v rozsahu
 e_{min} je minimální hodnota v rozsahu

Cílová hodnota střední přítlčné síly F_m pro stejnosměrné systémy s napětím 1,5 a 3 kV v závislosti na rychlosti jízdy (Obr.4)


Cílová hodnota střední přítláčné síly F_m pro střídavé systémy v závislosti na rychlosti jízdy (Obr.5)



Maximální zkratový proud mezi trakčním vedením a kolejnicemi (Obr.6)

Systém elektrického napájení	Trakční napájecí stanice je obecně připojena paralelně	Maximální zkratový proud trolej - kolej, který se může vyskyt.
	Ano/Ne	kA
AC 25 000 V-50Hz	N	15 ⁽¹⁾
AC 15 000 V-16,7 Hz	A	40
DC 3 000 V	A	50 (předpokládaný trvalý) ⁽²⁾
DC 1 500 V	A	75* (předpokládaný trvalý) ⁽²⁾
DC 750 V	A	65* (předpokládaný trvalý) ⁽²⁾
(1)	Dříve byla všeobecně přijímána hodnota 12 kA.	
(2)	Definice je uvedena v normě EN 50123-1	

Jmenovitá napětí a povolené meze jejich hodnot a trvání (Obr.7)

Trakční proudová soustava	Nejnižší nestálé napětí	Nejnižší stálé napětí	Jmenovit é napětí	Nejvyšší stálé napětí	Nejvyšší nestálé napětí
	$U_{\min 2}$ (V)	$U_{\min 1}$ (V)	U_n (V)	$U_{\max 1}$ (V)	$U_{\max 2}$ (V)
Stejno-směrná (střední hodnoty)	400 (1)	400	600	720	800 (2)
	400 (1)	500	750	900	1 000 (2)
	1 000 (1)	1 000	1 500	1 800	1 950 (2)
	2 000 (1)	2 000	3 000	3 600	3 900 (2)
Střídavá (efektivní hodnoty)	11 000 (1)	12 000	15 000	17 250	18 000 (2)
	17 500 (1)	19 000	25 000	27 500	29 000 (2)

 (1) Trvání stavu mezi $U_{\min 1}$ a $U_{\min 2}$ nesmí být delší než 2 minuty

 (2) Trvání stavu mezi $U_{\max 1}$ a $U_{\max 2}$ nesmí být delší než 2 minuty

Kmitočet železničního elektrického systému a jeho povolené meze (Obr.8)

Trvání	Jmenovitý kmitočet systému	Napájení železničního elektrického systému	
		Propojená třífázová síť	Nepropojená třífázová síť
95 % týdne	50 Hz	50,50 Hz	51,00 Hz
		49,50 Hz	49,00 Hz
	16,7 Hz	16,83 Hz	Není použitelné
		16,50 Hz	Není použitelné
100 % týdne	50 Hz	52,00 Hz	57,50 Hz
		47,00 Hz	42,50 Hz
	16,7 Hz	17,36 Hz	17,00 Hz
		15,69 Hz	16,17 Hz

Opravný účinek (PF, λ) vlaku (Obr.9)

Výkon vlaku [MW]	Kategorie tratě		
	Vysoko- rychlostní	Modernizovaná	Spojovací ⁽³⁾
(a) $P > 6$	$\geq 0,95$	$\geq 0,95$	$\geq 0,95$ ⁽¹⁾
(b) $2 < P \leq 6$	$\geq 0,93$	$\geq 0,93$	$\geq 0,93$ ⁽¹⁾
(c) $0 < P \leq 2$	(2)	(2)	(2)

(1) Doporučené hodnoty.

(2) S cílem regulovat celkový opravný účinek pomocných spotřebičů vlaku během dojezdu musí být celkový průměrný opravný účinek PF, λ (trakce a pomocné spotřebiče) definovaný simulací a/nebo měřením vyšší než 0,85 během celé jízdy podle jízdního řádu.

Celkový průměrný opravný účinek λ pro jízdu vlaku je vypočítán z činné práce W_P (MWh) a z jalové práce W_Q (MVarh) získané počítačovou simulací jízdy vlaku nebo naměřené ve skutečném vlaku.

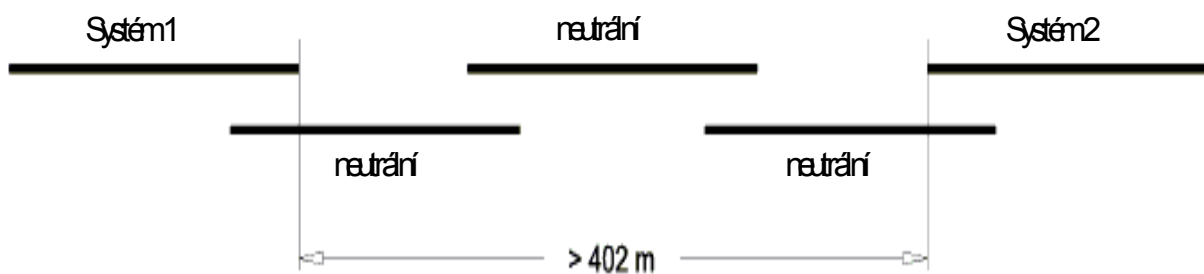
$$\lambda = 1/\sqrt{1+(W_Q/W_P)^2}$$

(3) Zadavatel může uložit podmínky, např. ekonomické nebo provozní podmínky nebo omezení výkonu, pro provozování vlaků, jejichž opravný účinek je nižší než cílová hodnota.

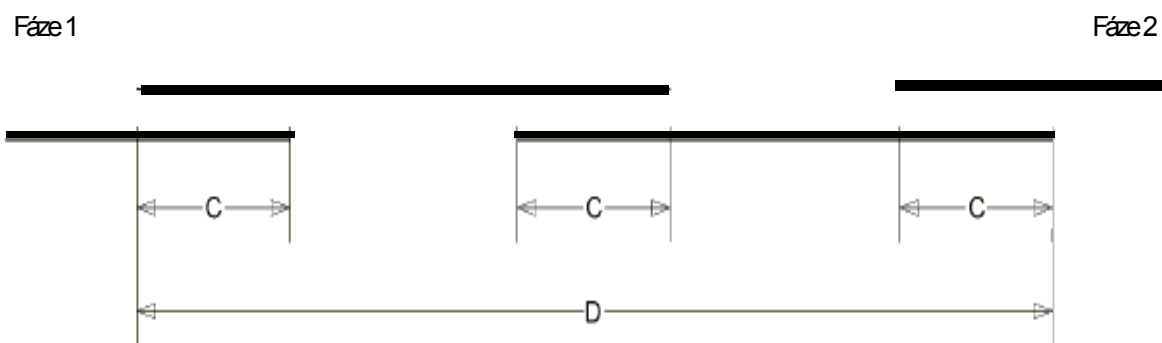
Geometrie trolejového vedení (Obr.10)

Č.	Popis	Spojovací tratě	Modernizované tratě	Vysokorychlostní tratě
1	Výška trolejového drátu			
1.1	Jmenovitá výška trolejového drátu (mm)	Od 5 000 do 5 750 ⁽¹⁾ ⁽²⁾ ₍₃₎	Od 5 000 do 5 500 ⁽¹⁾ ⁽³⁾	5 080 nebo 5 300 ⁽³⁾
1.2	Povolená odchylka (mm)	±30	±30	0 + 20
1.3	Mezní hodnoty	4 950 a 6 200	4 950 a 6 200	—
2	Povolený sklon trolejového drátu vzhledem k trati a povolené kolísání sklonu	Povolený sklon je dán tabulkou 8 ČSN EN 50119 a pohybuje se v závislosti na rychlosti jízdy od 60 promile při rychlosti jízdy do 10 km/hod do 0 promile při rychlosti vyšší než 250 km/hod		Není přípustný žádný plánovaný sklon
3	Povolené boční vychýlení trolejového drátu vlivem bočního větru (mm) ⁽³⁾	≤ 400		
<p>(1) V případě provozu tažených vozidel s nadměrným průřezem na spojovacích tratích se smíšenou nákladní a osobní dopravou může být výška trolejového drátu vyšší za předpokladu, že sběrač je vhodný pro odběr proudu se specifikovanou kvalitou a že rozsah sběrače je dostatečný, jak je uvedeno v bodu 5.3.2.5.</p> <p>(2) Na úroňových přejezdech musí být výška trolejového drátu navržena podle vnitrostátních směrnic.</p> <p>(3) Výška trolejového drátu a rychlost větru, které je třeba vzít do úvahy, budou vymezeny v registru infrastruktury definovaném v příloze D této TSI.</p>				

Uspořádání úseku oddělujícího systémy s dlouhým neutrálním úsekem (Obr.11)

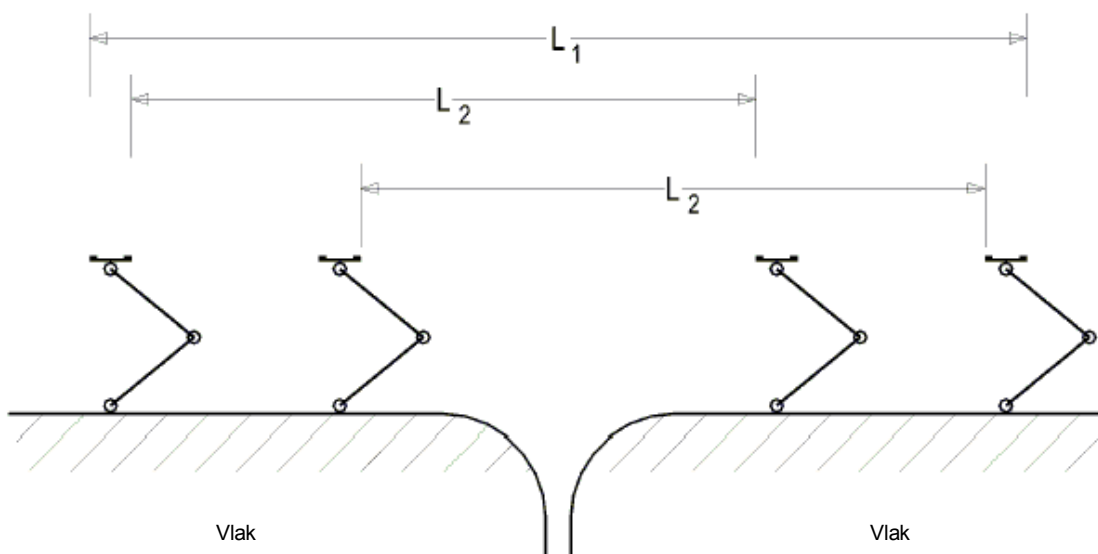


Uspořádání elektrického dělení napájení z různých fází s krátkým neutrálním úsekem (Obr.12)



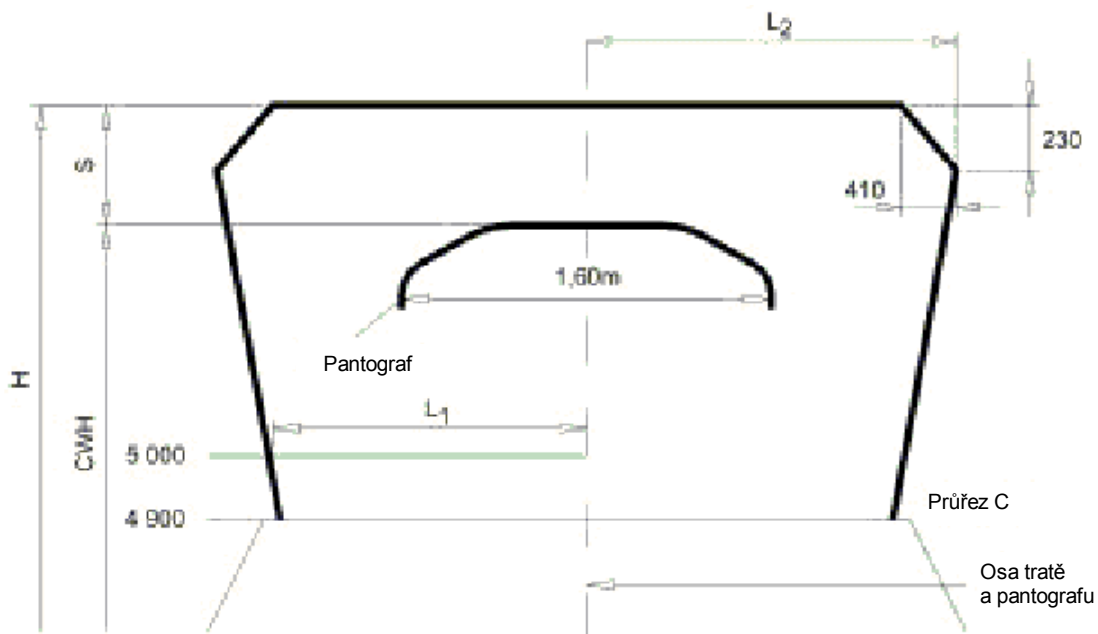
Vzdálenost $D=142\text{m}$

Uspořádání sběračů (Obr.13)



Délka $L_1 < 400$ mm
Délka $L_2 > 143$ m

Dynamická obalová křivka pro stanovení průjezdného profilu na interoperabilních tratích (Obr.14)



Změna podmínek, které pro Českou republiku v novém geopolitickém uspořádání vzniknou, si pravděpodobně vyžádá také odpovídající pohled na měření odběru elektrické energie jednotlivými vlaky a na následné přiřazení (rozúčtování) mezi jednotlivé participující operátory včetně souběžné nutnosti dodržet legislativu, normy, zásady a požadavky liberalizovaného trhu s elektřinou.

V uplynulém desetiletí se koridorové tratě, které byly rekonstruovány za finančního přispění programu PHARE, dostaly a dále dostávají z konstrukčního hlediska na daleko vyšší technickou úroveň ve srovnání s předchozím stavem.

Nepodařilo se však v potřebné míře rekonstruovat trakční napájecí stanice (TNS), i když současné technologie umožňují zvýšit technickou úroveň a spolehlivost s výrazným snížením nároků na údržbu při zachování vysokého stupně provozní spolehlivosti. Zařízení TNS, která byla v mnoha případech po desítky let vystavena tvrdým atmosférickým i provozním podmínkám, je nutno v budoucím období postupně (ve finančně přijatelných etapách) nahradit moderními zařízeními. Přístup k moderním technologiím vytváří podmínky pro zavedení nových postupů údržby, založené na kritériích provozuschopnosti s vysokým podílem technické diagnostiky. Technická diagnostika, přes zvýšené odborné nároky na příslušné specialisty, v součtu snižuje nároky na počet pracovních sil.

4. Závěr

Cílem elektrotechniky a energetiky na železnici je, abychom nové podmínky, dané pro nás především požadavky interoperability elektrických zařízení a změnami v principech zásobování železnice elektrickou energií s nákupem elektřiny na liberalizovaném energetickém trhu, dokázali zvládnout na potřebné úrovni. Nepůjde to ovšem bez investičních prostředků a kontextu se všemi ostatními odvětvími a subsystémy infrastruktury. Lze předpokládat, že tyto cíle budou podpořeny i v mezinárodní spolupráci.

Náročná část včleňovacího procesu spočívá i v harmonizaci technických norem. Naše dosavadní zkušenosti nás utvrzují v tom, že není možné se plně spolehnout na kvalitu obecného překladu norem, TSI a dalších podkladů, a že je nutné se podílet na korekturách přeložených materiálů s využitím originálního textu tak, aby konečné přeložené vyjádření mělo právě tu formu, která nejlépe obráží obsah i ducha originálu.

Přehled dosavadního postupu u ČD:

- ČD mají přeloženy do češtiny TSI energie pro vysokorychlostní tratě.
- ČD předpokládají spoluúčast na zpracování TSI - energie pro konvenční tratě (zástupce ČR v AEIF je z Elektrizace železnic Praha).
- Je řešen zmíněný projekt PHARE - odbor automatizace a elektrotechniky GŘ ČD vede podskupinu energie.
- Zástupci ČD se podílí na zpracování směrnic pro standardy údržby a standardy diagnostiky trakčního vedení v pracovní skupině PG 13-4 UIC.
- Zástupci ČD se zúčastňují pravidelných jednání skupiny ERPC-energy (European Railway Purchasing Conference).
- Zástupci ČD se podílejí na mezinárodním projektu řešení a ověření zjišťování překážek na trakčním vedení v rámci řešení spolupráce „sběrač – trakční vedení“.
- ČD a SŽDC mají od SÚDOP Praha vypracovanou studii modernizace napájecí soustavy elektrické trakce.



Literatura

- [1] TSI energie 2002/733/ES (Technická Specifikace Interoperability –subsystém energie)
- [2] Předpoklady interoperability u elektrické trakce
Autor: Jan Matějka
Sborník přednášek z konference CZECH RAILDAYS Ostrava 2004

Praha, listopad 2004

Lektoroval: Ing. Zdeněk Beneš, CSc.
GŘ ČD