

Jaromír Zelenka¹

Hodnocení vodicích vlastností lokomotivy v obloucích velmi malých poloměrů podle nové vyhlášky UIC 518:2009

Klíčová slova: *vodicí vlastnosti lokomotivy, kvazistatická zatěžující síla, simulační výpočty*

1. Úvod

Tento článek navazuje na článek uveřejněný v čísle 28 VTS ČD [1]. Je provedena analýza vodicích vlastností dieselelektrické lokomotivy CZ LOKO řady 744.0 z hlediska hodnocení nově zavedené veličiny dle UIC 518:2009 [4].

2. Změny v hodnocení vodicích vlastností vozidel v obloucích

Vzájemná interakce kolejového vozidla a koleje je zjišťována většinou při jízdních zkouškách vozidel, které jsou součástí schvalovacího řízení nových, rekonstruovaných nebo modernizovaných vozidel do provozu (podle vyhlášky UIC 518 nebo podle evropské normy EN 14 363). Při těchto zkouškách jsou zjišťovány jízdni vlastnosti vozidel v přímé koleji (prostřednictvím měření příčných a svislých zrychlení na skříni vozidla a rámu podvozku, sumy vodicích sil), a vodicí vlastnosti vozidel v obloucích (účinky na trať - kvazistatické vodicí a kolové síly, bezpečnost proti vykolejení).

S postupným vývojem poznání interakce vozidla a koleje i růstem požadavků na moderní kolejová vozidla (nedostatek převýšení, rychlost jízdy, hmotnost na nápravu) dochází k úpravám norem a vyhlášek ve smyslu přehodnocení stávajících kritérií (mezí hodnota kvazistatické vodicí síly, bezpečnost proti vykolejení) a nebo zadáváním dalších veličin, které je nutné hodnotit (kvazistatická zatěžující síla) či sledovat (ekvivalentní konicita v přímé, index radiálního stavění v obloucích malých poloměrů) při provádění jízdních zkoušek vozidel.

Z hlediska vodicích vlastností vozidel je v případě posuzování podle platné normy ČSN EN 14363:2006 u nových vozidel problematické dodržení hodnot poměru vodicí a kolové síly na nabíhajícím kole a kvazistatické vodicí síly obloucích malých ($400 \text{ m} \leq R < 600 \text{ m}$) a velmi malých poloměrů ($250 \text{ m} \leq R < 400 \text{ m}$). Porovnání výsledků simulačních výpočtů vodicích vlastností lokomotivy řady 744.0 hodnocením kvazistatické vodicí síly pro různé vstupní parametry je provedeno v rámci [1].

¹ Doc. Ing. Jaromír ZELENKA, CSc., 1957, Vystudoval VŠDS v Žilině obor DMT – specializace kolejová vozidla. Docent na Dopravní fakultě Jana Pernera Univerzity Pardubice, Katedra dopravních prostředků a diagnostiky, oddělení kolejových vozidel.

2.1 Poměr (Y/Q)

Podle současných zjištění (dle ČSN EN 14363:2006) by měla být mezní hodnota $(Y/Q)_{\max, \lim}$ ověřována pouze v obloucích (úseky s konstantní křivostí, bez přechodnic a vzesupnic) s poloměry $R \geq 300$ m a při určitém stavu ložení vozidla. Avšak zatím chybí důkazy o vhodnosti této hodnoty pro poloměry $R < 300$ m. Z důvodu bezpečnosti je proto mezní hodnota $(Y/Q)_{\max, \lim} = 0.8$ pro oblouky $250 \text{ m} \leq R < 300$ m pouze doporučena k používání.

V oblasti přechodnice mohou dosahovat hodnoty poměru (Y/Q) přes 0.8. Dosud však není definována mezní hodnota pro oblast přechodnice. V každém případě by ale poměr (Y/Q) neměl překročit hodnotu 1.2. V případě překročení hodnoty 0.8 musí být tento případ speciálně posouzen a objasněn. Hodnota 1.2 ovšem musí být při zkoušce kvazistatické bezpečnosti proti vykolejení (při sklonu okolku 70°) dodržena.

Podle nové vyhlášky UIC 518:2009 [4] je limitní hodnota poměru (Y/Q) stále revidována a při překročení doporučené mezní hodnoty 0.8 jsou navrženy jiné způsoby statistického zpracování naměřených dat z jednotlivých traťových úseků. Celkové posouzení je navíc velmi závislé na zkušenostech ze zkoušek podobných vozidel.

2.2 Kvazistatická vodící síla Y_{qst}

Podle dosud platné normy ČSN EN 14363:2006 [3] je mezní hodnota kvazistatické vodící síly $Y_{qst, \lim} = 60$ kN v obloucích velmi malých poloměrů ($250 \text{ m} \leq R < 400$ m) pro mnoho vozidel problémem.

Podle nové vyhlášky UIC 518:2009 [4] je již mezní hodnota kvazistatické vodící síly $Y_{qst, \lim}$ závislá na střední hodnotě R_m poloměru hodnocených traťových úseků podle vztahu:

$$Y_{qst, \lim} = 30 + \frac{10500}{R_m} \quad [kN] .$$

Při překročení této mezní hodnoty je navíc v případě nepříznivých třecích poměrů mezi kolem a kolejnicí možné provést přepočítání očekávané hodnoty Y_{qst} [4].

Porovnání hodnocení této veličiny podle ČSN EN 14363 a podle vyhlášky UIC 518:2009 je provedeno v [1].

2.3 Kvazistatická zatěžující síla B_{qst}

Kromě proměnlivosti mezní hodnoty kvazistatické vodící síly $Y_{qst, \lim}$ je navíc zavedena pro posuzování vodících vlastností vozidel v obloucích malých a velmi malých poloměrů nová veličina, tzv. kvazistatická zatěžující síla koleje:

$$B_{qst} = Y_{qst} + 0.83 \cdot Q_{qst} + \left[a - \left(30 + \frac{10500}{R_m} \right) \right] \quad [kN] .$$

Tato kvazistatická zatěžující síla závisí na kvazistatické vodící síle Y_{qst} a kvazistatické kolové síle Q_{qst} na příslušném kole, střední hodnotě R_m poloměru hodnocených traťových úseků a na typu úseků (zohledněno konstantou a – pro oblouky velmi malých poloměrů $250 \text{ m} \leq R < 400 \text{ m}$ je $a = 67.5$). Podobně jako v případě překročení mezní hodnoty kvazistatické vodící síly $Y_{qst \text{ lim}}$ je také v případě překročení mezní kvazistatické zatěžující síly koleje $B_{qst \text{ lim}} = 180 \text{ kN}$ možné provést přepočítání očekávané hodnoty Y_{qst} .

3. Simulační výpočty vodících vlastností lokomotivy CZ LOKO řady 744.0

V rámci řešení programového projektu výzkumu a vývoje IMPULS Ministerstva průmyslu a obchodu pod názvem „Výzkum a vývoj modulových konstrukčních celků dieselelektrických lokomotiv“ byly provedeny rozsáhlé simulační výpočty jízdních a vodících vlastností dieselelektrické lokomotivy řady 744.0.

3.1 Základní parametry lokomotivy řady 744.0 - vstupní data pro simulaci

Přehled použitých hmotnostních a rozměrových parametrů lokomotivy 744.0, které byly převzaty od výrobce, jsou uvedeny v tab. 1:

Tab. 1 Základní vstupní data do simulačních výpočtů

Parametr	Hodnota	Poznámka
Hmotnost skříně	53 600 kg	alternováno dle hmotnosti lokomotivy
Moment setrvačnosti skříně kolem x-osy	81 810 kg.m ²	pro 80 t
Moment setrvačnosti skříně kolem y-osy	802 700 kg.m ²	pro 80 t
Moment setrvačnosti skříně kolem z-osy	802 700 kg.m ²	pro 80 t
Vzdálenost otočných čepů	8.6 m	
Výška podlahy stanoviště strojvedoucího nad TK	1.85 m	
Hmotnost podvozku	5 400 kg	bez dvojkolí + 1/3 trakčního motoru
Moment setrvačnosti podvozku kolem x-osy	3 788 kg.m ²	
Moment setrvačnosti podvozku kolem y-osy	6 186 kg.m ²	
Moment setrvačnosti podvozku kolem z-osy	9 383 kg.m ²	
Hmotnost dvojkolí	3 878 kg	+ 2/3 trakčního motoru
Moment setrvačnosti dvojkolí kolem x-osy	1 995 kg.m ²	
Moment setrvačnosti dvojkolí kolem y-osy	584 kg.m ²	
Moment setrvačnosti dvojkolí kolem z-osy	2 215 kg.m ²	

Průměr kola	1.1 m	
Poloviční příčná vzdálenost tlumení od osy vozidla	1.113 m	
Poloviční příčná vzdálenost vypružení od osy vozidla	1.013/1.113 m	
Rozvor podvozku	2.4 m	
Výška těžiště podvozku nad TK	0.581 m	
Výška přenosu podélných sil podvozek-skříň nad TK	0.34 m	
Poloviční příčná vzdálenost nápravových ložisek	1.058 m	
Tuhost pružiny primárního stupně vypružení	808 000 Nm ⁻¹	
Tuhost pružiny sekundárního stupně vypružení	538 000 Nm ⁻¹	
Svislý tlumič primárního stupně vypružení		H8P.140.43.30
Příčný tlumič sekundárního stupně vypružení		H8L.140.100.100
Svislý tlumič sekundárního stupně vypružení		H8L.170.63.63

Rychlost jízdy: vodicí vlastnosti byly hodnoceny v oblouku poloměru $R = 250$ m rychlostí jízdy odpovídající příčnému nevyrovnaného zrychlení dle ČSN EN 14363 $a_n = 1.1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$. Při převýšení koleje 150 mm je rychlost jízdy při simulaci $V = 82$ km/h.

Charakteristiky kontaktní geometrie dvojkolí-kolej: jsou dány kombinací použitého jízdního obrysu kola dvojkolí a příčného profilu hlavy kolejnice. Byla provedena analýza výsledků simulačních výpočtů pro kontakt dvojkolí s jízdním obrysem ORE S1002 na kolejnicích UIC60 s úklonem 1:20 a 1:40 a pro jízdní obrys provozně opotřeбенý, který na reálné koleji vykazoval hodnotu ekvivalentní konicity $\lambda_{ekv} = 0.45$.

Dalšími vstupními parametry simulace jsou geometrické parametry koleje (svislé a příčné odchylky polohy jednotlivých kolejnicových pásů). Tyto GPK byly získány z měřicího vozu pro železniční svršek. Simulační výpočty byly provedeny pro GPK odpovídající oblouku o poloměru $R = 300$ m na MZO Zkušebního centra VUZ Velim.

4. Vyhodnocení simulačních výpočtů vodicích vlastností lokomotivy

Pro posouzení vodicích vlastností dielelektrické lokomotivy řady 744.0 byly provedeny simulační výpočty v oblouku velmi malého poloměru $R = 250$ m. Hmotnost lokomotivy byla alternována v rozmezí 70÷80 t.

Na *Obr. 1* jsou znázorněny výsledky vyhodnocení účinků na trať pomocí kvazistatické zatěžující síly B_{qst} pro simulaci lokomotivy s jízdním obrysem ORE S1002 na kolejnicích UIC60 / 1:40 ($\lambda_{ekv} = 0.184$).

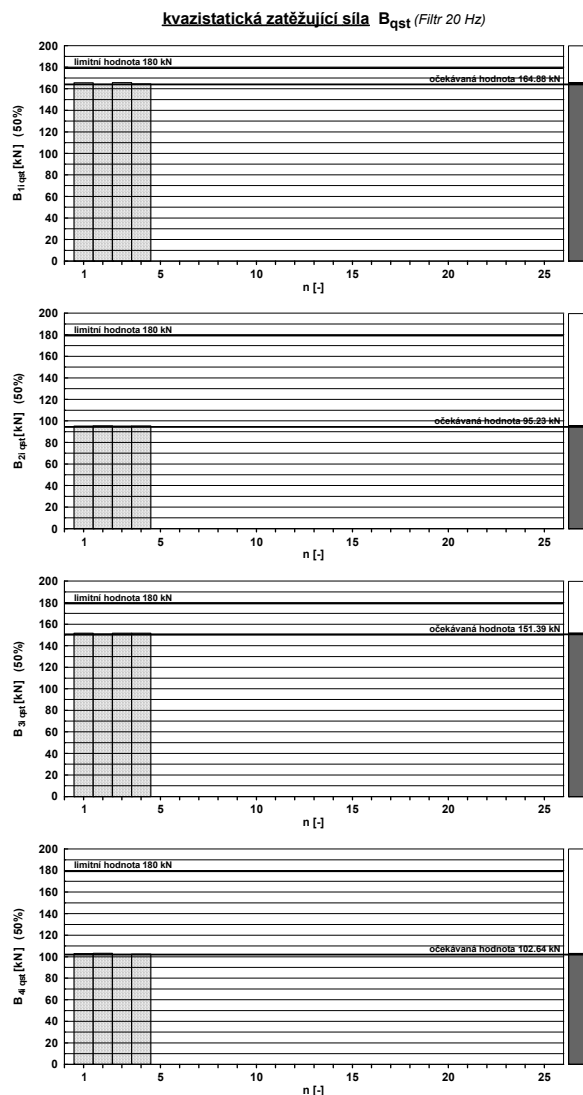
Dále jsou na *Obr. 2* znázorněny průběhy dosahovaných hodnot této kvazistatické zatěžující síly na nabíhajícím kole prvního dvojkolí v závislosti na hmotnosti lokomotivy pro různé charakteristiky kontaktní geometrie dvojkolí-kolej. Z tohoto

porovnání je možno vyslovit následující poznatek: výpočet kvazistatické zatěžující síly je málo závislý na charakteristikách kontaktní geometrie dvojkolí kolej (použitý jízdní obrys a příčný profil hlavy kolejnice). Pro uvažovanou hmotnost lokomotivy do 80 t jsou dosahované hodnoty B_{qst} pro zkušební oblasti 4, tedy pro oblouky o velmi malých poloměrech $250\text{ m} \leq R < 400\text{ m}$, pod mezní hodnotou 180 kN.

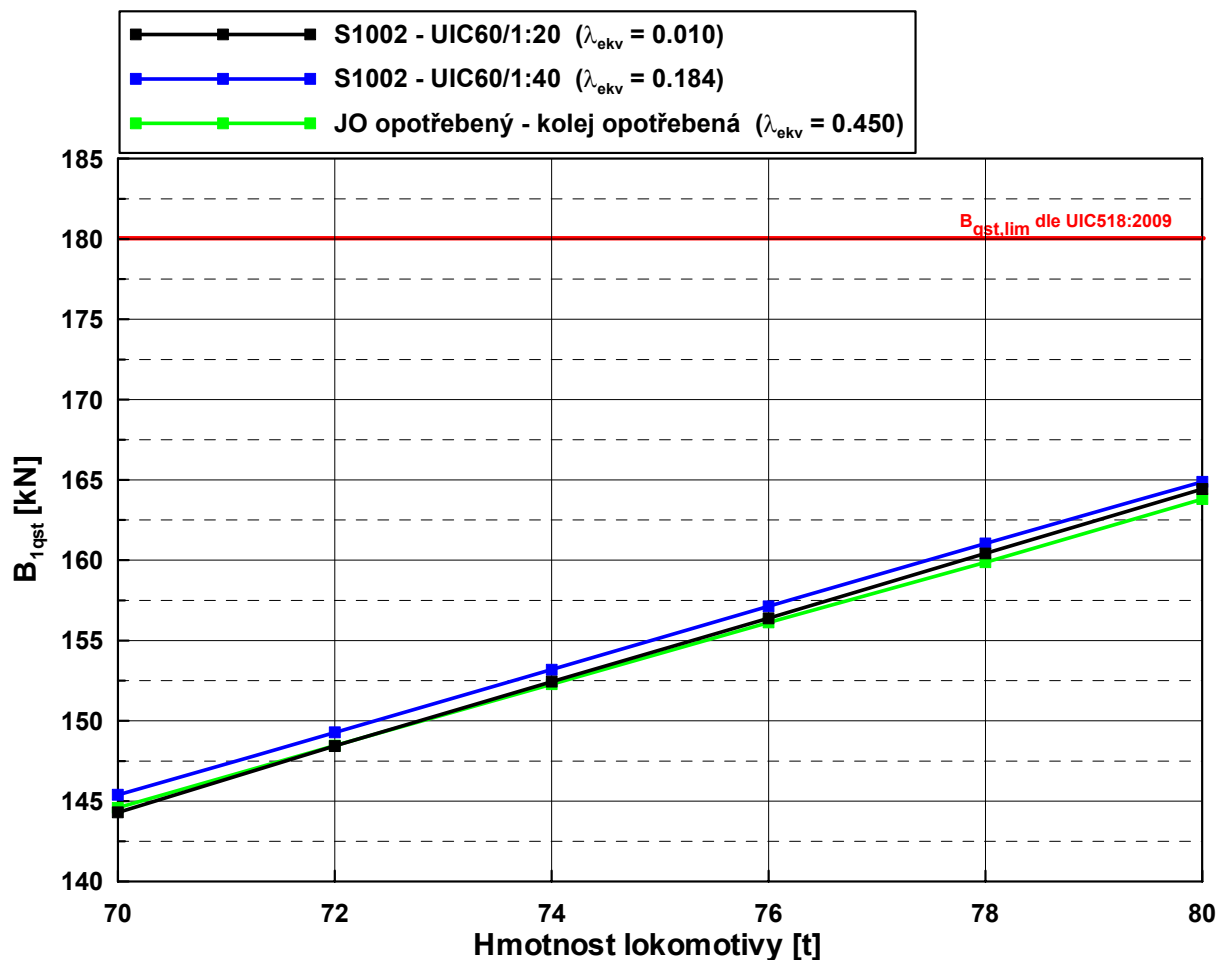
Univerzita Pardubice Dopravní fakulta JP Česká Třebová	PODVOZKOVÁ DIESELELEKTRICKÁ LOKOMOTIVA 744.0 <i>Účinky na trať</i>	Příloha č. 16 List č. B2 Zpráva č. VTS ČD
Traťový úsek: HK-R300V Typ koleje: R = 250 m Zkušební rychlost: 82 km/h ($a_n = 1.1\text{ m/s}^2$) Kontaktní podmínky: U40-1002 ($Le = 0.184$)		Převýšení: 150 mm Rozchod: 1439 mm Stav ložení: 80 t Pozn.:
Legenda střední hodnota směrodatná odchylka		

Program: 744 Výpočet: R250-80-OREU6040 © ZeJar

Vyhodnocení: © ZeJar, 22.03.10 - 2:21:12



Obr. 1 Výsledky simulačních výpočtů: hodnocení účinků na trať.



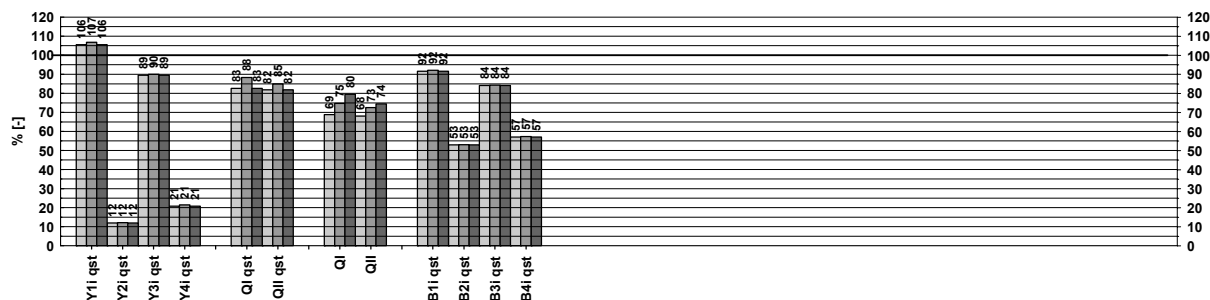
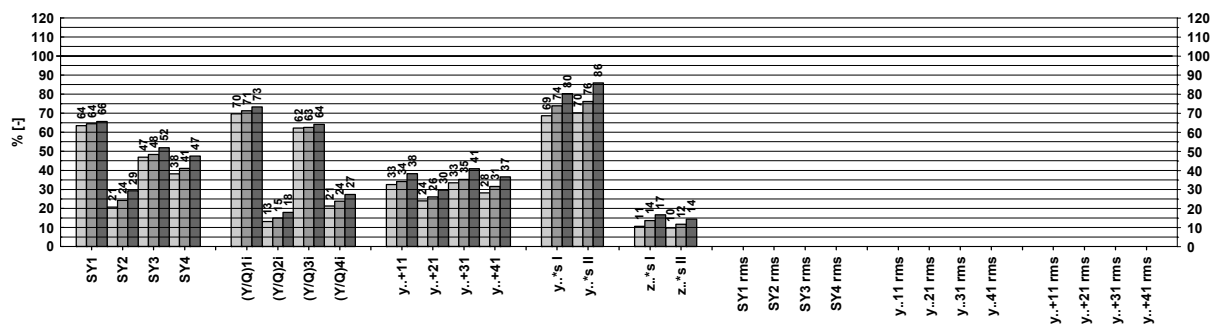
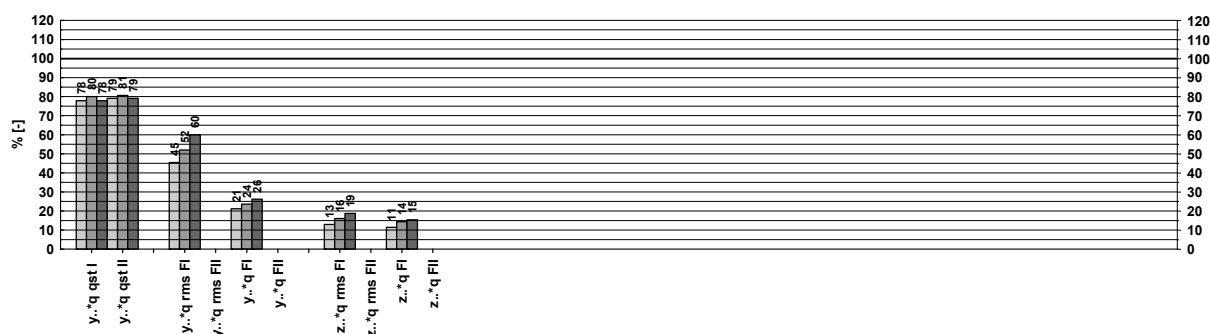
Obr. 2 Porovnání dosahované kvazistatické zatěžující síly na nabíhající kole první nápravy v oblouku $R = 250$ m v závislosti na hmotnosti lokomotivy.

Na Obr. 3 je uvedeno celkové hodnocení simulačního výpočtu jízdy lokomotivy obloukem o poloměru $R = 250$ m. Hodnocení kvazistatické vodící síly je provedeno podle ČSN EN 14363 ($Y_{qst, lim} = 60$ kN). Při hodnocení výsledků simulačních výpočtů kvazistatické vodící síly podle UIC 518:2009 bylo v [1] konstatováno, že k překročení mezní hodnoty nedochází.

Univerzita Pardubice Dopravní fakulta JP Česká Třebová	PODVOZKOVÁ DIESELELEKTRICKÁ LOKOMOTIVA 744.0 <i>Celkové hodnocení</i>	Příloha č. 16 List č. A0 Zpráva č. VTS ČD
Traťový úsek: HK-R300V Typ koleje: R = 250 m Zkušební rychlost: 82 km/h (an = 1.1 m/s ²) Kontaktní podmínky: U40-1002 (Le = 0.184)		Převýšení: 150 mm Rozchod: 1439 mm Stav ložení: 80 t Pozn.:
Legenda střední hodnota maximální hodnota očekávaná hodnota		

Program: 744 Výpočet: R250-80-OREU6040 © ZaJar

Vyhodnocení: © ZaJar, 22.03.10 - 2:24:33

účinky na trať

bezpečnost jízdy

jízdní vlastnosti

Obr. 3 Celkové hodnocení výsledků simulačního výpočtu jízdy lokomotivy v oblouku.

5. Závěr

Pomocí programového systému jízdy kolejového vozidla vyvíjeného na DFJP byla provedena analýza vodicích vlastností nově vyvíjené diezelelektrické lokomotivy CZ LOKO řady 744.0. Byla sledována dosahovaná kvazistatická zatěžující síla při průjezdu oblouky velmi malých poloměrů při různých vstupních hodnotách simulace jízdy. Hodnocení bylo provedeno dle vyhlášky UIC 518:2009.

Simulační výpočty tvoří nedílnou součást vývoje nové lokomotivy, které se budou dále upřesňovat na základě zpřesňujících charakteristik vozidla společností CZ LOKO a.s. Skutečné ověřování jak vodicích, tak i jízdnicích vlastností lokomotivy bude provedeno na základě rozsáhlých zkoušek na prototypu lokomotivy 744.0 v budoucím období.

Poznámka: Výsledky prezentované v tomto článku byly řešeny v rámci projektu VaV Ministerstva průmyslu a obchodu „IMPULS“ ev.č. FI-IM5/093 „Výzkum a vývoj modulových konstrukčních celků dieselelektrických lokomotiv“.

Literatura:

- [1] ZELENKA J.: *Analýza vodicích vlastností dieselelektrické lokomotivy s novým podvozkem CZ LOKO pomocí simulačních výpočtů*. Vědeckotechnický sborník ČD č. 28/2009, GŘ ČD Praha, ISSN 1214-9047.
- [2] ZELENKA J.: *Jízdnicí a vodicí vlastnosti dvounápravových dieselelektrických lokomotiv CZ LOKO*. Nová železniční technika, č. 6/2009.
- [3] ČSN EN 14363:2006. *Železniční aplikace – Přejímací zkoušky jízdnicích charakteristik železničních vozidel – Zkoušení jízdnicích vlastností a stacionární zkoušky*. Český normalizační institut, 2006.
- [4] UIC CODE 518: *Testing and approval of railway vehicles from the point of view of their dynamic behaviour – Safety – Track fatigue – Running behaviour. 4th edition, September 2009*. International Union of Railways (UIC), Paris, 2009. ISBN 978-2-7461-1642-9.