



XXIII. konference s mezinárodní účastí
20.–22. září 2017, Česká Třebová

VÝVOJ TŘÍNÁPRAVOVÉHO PODVOZKU PRO DIESELELEKTRICKOU LOKOMOTIVU

DEVELOPMENT OF A THREE-AXLE BOGIE FOR DIESEL-ELECTRIC LOCOMOTIVE

Lukáš HAUPT¹, Jan KOPAL², Tomáš MICHÁLEK³, Jiří ŠTĚPÁNEK⁴, Michal BENICKÝ⁵,
Petr STANĚK⁶, Tomáš ČEJKA⁷, Stanislava LIBEROVÁ⁸

Abstrakt

Příspěvek se zabývá vývojem třínápravového podvozku pro dieselelektrickou lokomotivu o rozchodu 1520 mm, splňujícího standardy GOST. Tento vývoj probíhá ve spolupráci společnosti CZ LOKO, a.s., a Dopravní fakulty Jana Pernera (DFJP) Univerzity Pardubice v rámci řešení projektu TH01010455 Technologické agentury České republiky. V příspěvku je popsána navržená koncepce podvozku, vycházející z unifikovaných komponentů CZ LOKO, dále jsou uvedeny výsledky simulačních výpočtů vodicích vlastností lokomotivy, jež byly při vývoji podvozku realizovány. Pozornost je věnována i požadavkům norem GOST.

Klíčová slova

třínápravový podvozek, diesel-elektrická lokomotiva, simulační výpočty, normy GOST

Abstract

This paper deals with development of a 3-axle bogie for diesel locomotive for the track gauge 1520 mm proposed according to the GOSTs. The bogie is being developed in cooperation of the company CZ LOKO, a.s., and the Faculty of Transport Engineering (DFJP) of the University of Pardubice in framework of the R&D project No. TH01010455 of the Technology Agency of the Czech Republic. In the paper, there is described the proposed bogie design based on the CZ LOKO unified components. Results of simulations of guiding behaviour of the vehicle as well as GOST requirements are mentioned.

Keywords

three-axle bogie, diesel-electric locomotive, simulations, GOST standards

¹ Ing. Lukáš Haupt, CZ LOKO, a.s. Semanínská 580, 560 02 Česká Třebová. Tel.: +420 465 558 427, e-mail: haupt@czloko.cz

² Ing. Jan Kopal, CZ LOKO, a.s. Drahelická 2083, 288 03 Nymburk. Tel.: +420 325 518 846, e-mail: kopal@czloko.cz

³ Ing. Tomáš Michálek, Ph.D., University of Pardubice, Faculty of Transport Engineering / Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera. Dislokované pracoviště DFJP, Nádražní 547, 560 02 Česká Třebová. Tel.: +420 466 037 428, e-mail: tomas.michalek@upce.cz

⁴ Ing. Jiří Štěpánek, CZ LOKO, a.s. Drahelická 2083, 288 03 Nymburk. Tel.: +420 602 234 778, e-mail: jiri.stepanek@czloko.cz

⁵ Ing. Michal Benický, CZ LOKO, a.s. Semanínská 580, 560 02 Česká Třebová. Tel.: +420 727 969 769, e-mail: michal.benicky@czloko.cz

⁶ Ing. Petr Staněk, CZ LOKO, a.s. Semanínská 580, 560 02 Česká Třebová. Tel.: +420 602 377 598, e-mail: stanek@czloko.cz

⁷ Ing. Tomáš Čejka, CZ LOKO, a.s. Semanínská 580, 560 02 Česká Třebová. Tel.: +420 601 579 300, e-mail: tomas.cejka@czloko.cz

⁸ Ing. Stanislava Liberová, Ph.D., University of Pardubice, Faculty of Transport Engineering / Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera. Dislokované pracoviště DFJP, Nádražní 547, 560 02 Česká Třebová. Tel.: +420 466 037 426, e-mail: stanislava.liberova@upce.cz

1 ÚVOD

Projekt třínápravového podvozku pro diesel-elektrickou lokomotivu završuje dlouholetý vývoj nových pojezdů ve firmě CZ LOKO, a.s. Prvním byl pojezd dvounápravové lokomotivy řady 719.7, jenž vznikl v letech 2005–2008 ve spolupráci firmy CZ LOKO, a.s., a Dopravní fakulty J. Pernera (DFJP) Univerzity Pardubice. Myšlenka nového pojezdu s sebou od počátku nesla představu, že se bude jednat o pojezd jednoduše aplikovatelný jak do konstrukce dvounápravové lokomotivy, tak s minimálními úpravami i do dvounápravového podvozku čtyřnápravové lokomotivy. V letech 2010 až 2012 tak vznikl, opět ve spolupráci CZ LOKO, a.s., a DFJP, dvounápravový podvozek použitý u lokomotivy 744.001. Na tento prototyp navázala v roce 2016 lokomotiva řady 744.1, splňující nejnovější požadavky norem a technických specifikací pro interoperabilitu (TSI). Dvounápravový podvozek byl modifikován i pro použití na tratích s rozchodem 1520 mm podle standardů GOST. V roce 2015 pak bylo rozhodnuto o vývoji třínápravového podvozku s požadavkem na co největší unifikaci s komponenty již dříve vyvinutých pojezdů. Tento vývoj probíhá v rámci řešení projektu ev. č. TH01010455 „Výzkum a vývoj třínápravového podvozku pro rozchod 1520 mm“ Technologické agentury České republiky ve spolupráci firmy CZ LOKO, a.s., a DFJP. Cílem je vyvinout a vyrobit funkční vzorek podvozku pro motorovou lokomotivu pro rozchod koleje 1520 mm s individuálním pohonem dvojkolí $C_0'C_0'$ a s maximální rychlostí 120 km/h, splňující standardy GOST.

2 KONCEPCE TŘÍNÁPRAVOVÉHO PODVOZKU

Projekt třínápravového podvozku prošel určitým vývojem, v rámci kterého bylo na základě výsledků simulačních výpočtů jízdně-technických vlastností lokomotivy, konzultací s dodavatelem řízení trakční soustavy, zejména individuálního řízení trakčních motorů, technické náročnosti řešení celého podvozku, zástavbových omezení na lokomotivě atd. dosaženo následující koncepce.

2.1 Dvojkolí a brzda

V podvozku jsou použita tři dvojkolí s tlapovým uložením trakčního motoru; rozvor dvojkolí v podvozku činí 2x1850 mm. Dvojkolí sestávají z plné nápravy s ložiskovými čepy $\varnothing 157$ mm, sedel pro uložení tlap. ložisek $\varnothing 220$ mm a velkého ozubeného kola. Monobloková kola s integrovanými brzdovými kotouči mají $\varnothing 1100$ mm. Každé kolo je brzděno jednou brzdovou jednotkou; na každém dvojkolí je jedna z jednotek vybavena střadačovou brzdou. Každé kolo je rovněž vybaveno čistícím špalíkem pro zlepšení adhezních podmínek.

Na nápravě jsou nalisována valivá tlap. ložiska soudečkového provedení, zachycující radiální, popř. axiální reakční síly z ozubeného převodu pohonu dvojkolí (trakčního motoru) a současně sloužící jako opěrná ložiska pro uložení trakčního motoru na nápravě. Zatížení obou ložisek jsou přenášena pomocí kompaktního pouzdra obepínajícího nápravu, které je na jednom svém konci opatřeno labyrintovým těsněním, na druhém přírubou pro montáž labyrintového těsnění. Na tomto pouzdru je pomocí dělených pouzder našroubován trakční motor a kryt ozubeného převodu. [1, 2]

2.2 Ložiskové skříně, primární vypružení a vedení dvojkolí

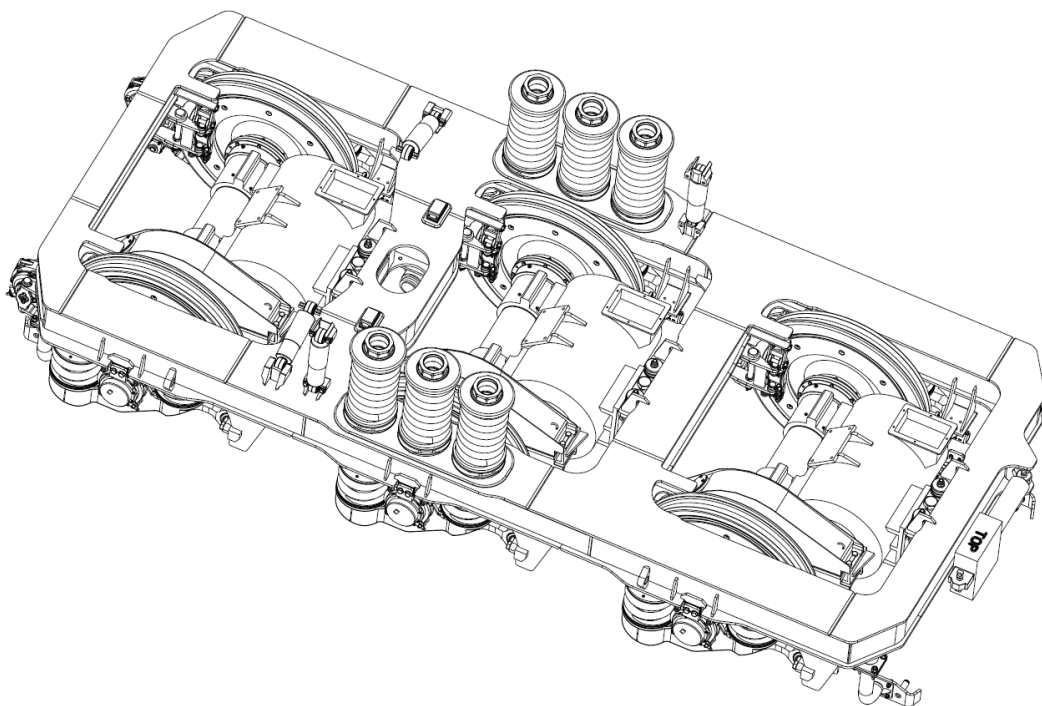
Ložiskové skříně (v provedení levém a pravém) jsou odlitky s funkčními plochami opracovány na příslušný rozměr. V každé ložiskové skříně jsou dvě jednořadá válečková ložiska, utěsněná labyrintovým těsněním spolu s pryžovými o-kroužky v místech styku s přírubami. Víka ložiskových skříní jsou uzpůsobena pro montáž snímačů (protismyku/protiskluzu, otáček atd.). Na každé ložiskové skříně spočívají dvě primární pružiny, jež jsou z důvodu použití kotoučové brzdy umístěny při pohledu shora excentricky. V místě uložení jedné pružiny jsou v ložiskové skříně dva otvory pro pevnostní šroub M30 k uchycení ojnice vedení dvojkolí. U druhé pružiny je připravena konzola pro umístění svislých tlumičů. V horní části ložiskové skříně je trn sloužící jako svislá i příčná narážka.

Pružiny primárního vypružení využívají flexi-coil efekt. Jedna z pružin je vůči druhé o něco výš nad temenem kolejnice, a to z důvodu uchycení ojnice vedení dvojkolí v ložiskové skříni. Uvnitř druhé, níže položené pružiny je umístěn hydraulický tlumič svislých kmitů. Seřizování kolových sil je zajištěno podkládáním pružin podložkami. Vedení dvojkolí v rámu podvozku zajišťují jednostranně ojnice. Pouzdra těchto ojnic jsou opatřena pryžokovovými silentbloky, zajišťujícími jak příčnou, tak částečně i podélnou poddajnost vedení dvojkolí. V silentblocích jsou čepy umožňující přišroubování k rámu podvozku a k ložiskové skříni. Vodící ojnice mají vzdálenost středů ok 350 mm. [1, 2]

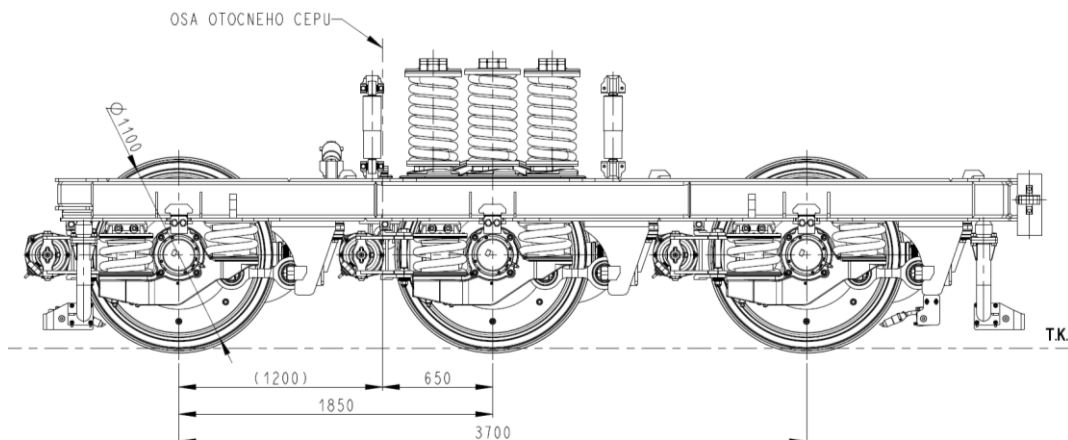
2.3 Pohon dvojkolí

Pohon dvojkolí je individuální ($C_0'C_0'$) s využitím asynchronních tlapových trakčních motorů typu TAM 1084C6 o výkonu 366 kW (modifikovaných pro použití v podmínkách standardů GOST), s možností jejich nahrazení stejnosměrnými tlapovými trakčními motory typu TMD5003V1. Pružné zavěšení trakčních motorů v rámu podvozku prostřednictvím dvojice pryžokovových válcových silentbloků (shodných jako u ř. 744.0 a 744.1) je orientováno směrem od středu lokomotivy, což vyplynulo z požadavku na minimalizaci rozvoru podvozku a umístění otvoru pro otočný čep do jednoho z příčníků rámu podvozku, situovaného naopak blíže středu lokomotivy. Trakční motory jsou opatřeny otvory pro vstup chladicího vzduchu z ventilátoru. Spojení vzduchodů v hlavním rámu lokomotivy a trakčního motoru zajišťují pružné měchy.

Nápravový převod se stálým převodovým poměrem 84:17 je tvořen dvěma ozubenými koly se šikmým ozubením se sklonem zubů 20° . Letmo uložený pastorek je nalisován na kuželovém konci hřídele trakčního motoru, velké ozubené kolo je nalisováno přímo na sedle nápravy. Kryt nápravového převodu uzavírá prostor mazaného převodu a neslouží k přenosu žádných sil. Jde o dělený kryt svařený z plechů, jehož utěsnění zajišťují těsnící kroužky. Opatřen je nalévacím otvorem, měrkou pro kontrolu množství oleje, odvodušňovací trubičkou, prohlížecím otvorem pro vizuální kontrolu stavu ozubení a vypouštěcí zátkou. [1, 2]



Obr. 1 Celkový pohled na třínápravový podvozek CZ LOKO [3]



Obr. 2 Boční pohled na třínápravový podvozek CZ LOKO [3]

2.4 Rám podvozku

Rám podvozku je řešen jako svařenec z plechů. Sestává ze dvou podélníků, svázaných dvěma čelníky a dvěma příčnický. Hlavní příčník, umístěný vždy blíže středu lokomotivy, má v sobě otvor pro otočný čep. Na spodní části rámu podvozku jsou konzoly pro uložení ojnicek vedení dvojkolí a konzoly pro uchycení smetadel. U každého dvojkolí jsou na podélnících rámu podvozku konzoly pro nesení a zachycení reakcí brzdových jednotek kotoučové brzdy a konzol čistících špalíků. Dále jsou na podvozku umístěny příslušné konstrukční uzly pro uchycení dalšího vybavení, instalace rozvodu vzduchu k pneumatickým válcům brzdových jednotek a k jednotkám čistících špalíků atd. [2] Celý podvozek (viz obr. 1 a obr. 2) je navržen pro maximální nápravové zatížení 25 t/n.

2.5 Sekundární vypružení a přenos podélných sil

Sekundární vypružení je tvořeno dvěma sadami pružin na podvozek. V každé sadě jsou 3 flexi-coil pružiny, pod nimiž jsou na rámu podvozku dosazeny pryžokovové naklápěcí podložky. Horní konec pružin je uložen v tzv. misce s mechanismem regulačního šroubu pro seřizování velikosti kolových sil mezi podvozky. Pružiny jsou v provedení pravém a levém dle smyslu vinutí. Na jednom podélníku potom spočívá sada 3 pružin s jedním smyslem vinutí. Osa naklápění pryžokovových podložek směřuje vždy do středu příslušného otočného čepu, což přispívá ke snížení odporu proti natáčení podvozku a namáhání materiálu pružin při natáčení podvozku. Zdvih pružin je omezen ve svislém směru nárazkami situovanými na hlavním příčníku rámu podvozku a v příčném směru vůlemi v otočném čepu. Každé sadě pružin je paralelně přiřazen jeden hydraulický tlumič svislých kmitů a jeden hydraulický tlumič příčných kmitů.

Přenos podélných sil mezi podvozkem a rámem lokomotivy zprostředkovává otočný čep. Ten je pevně přivařený k rámu lokomotivy a v rámu podvozku prochází otvorem v hlavním příčníku, situovaným mezi 2. a 3. dvojkolím, díky čemuž je tento otvor pro otočný čep vyosen směrem ke středu lokomotivy (viz též obr. 1 a 2). Otočný čep slouží zároveň pro omezení příčného pohybu podvozku vůči skříni, k čemuž jsou na rámu podvozku přišroubovány pružné dorazy s talířovými pružinami. Pro přenos podélných sil je otvor pro otočný čep v rámu podvozku opatřen kluznicemi s kluznými plochami z otěruvzdorné oceli, které jsou vypružené, aby byly zmírněny podélné rázy, zejména při vyvíjení vysokých tažných i brzdných sil. [2]

Na čelníku rámu podvozku, situovaném vždy směrem od středu lokomotivy, může být volitelně umístěn aktivní prvek (viz obr. 1), který slouží k aktivnímu natáčení podvozku do oblouků malých poloměrů, čímž umožňuje snížit příčné silové účinky vozidla na kolej, a tedy i míru opotřebení kol a kolejnic v obloucích. Aktivní prvek rovněž může plnit funkci tlumiče vrtivých pohybů podvozku při

jízdě vyšší rychlosti v přímé koleji. Obě uvedené funkce aktivního prvku jsou umožněny s ohledem na navržené uspořádání sekundárního vypružení lokomotivy s otočnými čepy posunutými blíže ke středu lokomotivy, s orientovanými naklápěcími pryžokovými podložkami pod flexi-coil pružinami a s velkým ramenem síly aktivního prvku k otočnému čepu. Navržené konstrukční řešení spojení skříňe lokomotivy a třínápravového podvozku, resp. sekundárního vypružení v kombinaci s využitím aktivních prvků je předmětem ochrany užitným vzorem. [4]

3 PŘEHLED ZÁKLADNÍCH PARAMETRŮ DIESEL-ELEKTRICKÉ LOKOMOTIVY VYBAVENÉ TŘÍNÁPRAVOVÝMI PODVOZKY

Nová šestnápravová motorová lokomotiva CZ LOKO, pro kterou jsou nové podvozky vyvíjeny, je uvažována ve dvou verzích s celkovou hmotností 138 t, nebo 150 t, tzn. s nápravovým zatížením 23 t/n, nebo 25 t/n. Rozdílné nápravové zatížení, resp. celková hmotnost lokomotivy je realizována různým provedením rámu lokomotivy především z hlediska tloušťky použitých plechů a následným dobalastováním volných prostorů v rámu lokomotivy. Následující tabulka uvádí přehled základních parametrů a provedení konstrukčních uzlů diesel-elektrické lokomotivy vybavené nově vyvíjenými třínápravovými podvozky.

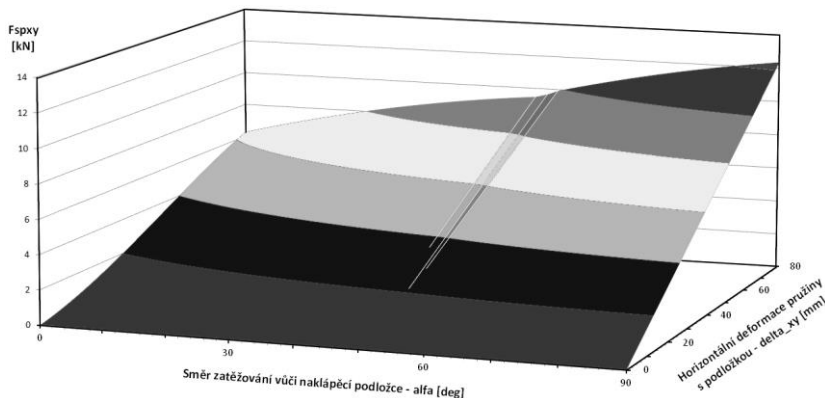
Tab. 1 Přehled základních parametrů lokomotivy s třínápravovými podvozky [2]

Uspořádání pojezdu	C ₀ 'C ₀ '
Maximální rychlost	120 km/h
Rozchod koleje	1520 mm
Vzdálenost otočných čepů	9700 mm
Rozvor podvozku	2x 1850 mm
Průměr nových/ojetých kol	1100 mm / 1020 mm
Minimální poloměr projížděného oblouku	120 m
Hmotnost na nápravu	23 t, nebo 25 t
Obrys drážního vozidla	1-T dle GOST 9238-83
Přenos výkonu	AC/AC, příp. AC/DC
Trakční motory	TAM1084C6, příp. TMD5003V1
Max. výkon trakčních motorů (TAM1084C6)	6x 366 kW
Převodový poměr nápravového převodu	84:17
Typ tlapového ložiska trakčního motoru	2x soudečkové dvouřadé
Typ nápravového ložiska	ložisková jednotka CTBU
Primární vypružení	flexi-coil pružiny + hydraulické tlumiče
Vedení dvojkolí	jednostranné ojníčkové
Sekundární vypružení	flexi-coil pružiny s naklápěcími podložkami + hydraulické tlumiče (+ aktivní prvky pro natáčení podvozků)
Přenos podélných sil skříň–podvozek	excentricky umístěný otočný čep
Mechanická část brzdy	brzd. kotouče v discích kol + brzd. jednotky

4 SIMULAČNÍ VÝPOČTY DYNAMICKÝCH VLASTNOSTÍ LOKOMOTIVY VYBAVENÉ TŘÍNÁPRAVOVÝMI PODVOZKY

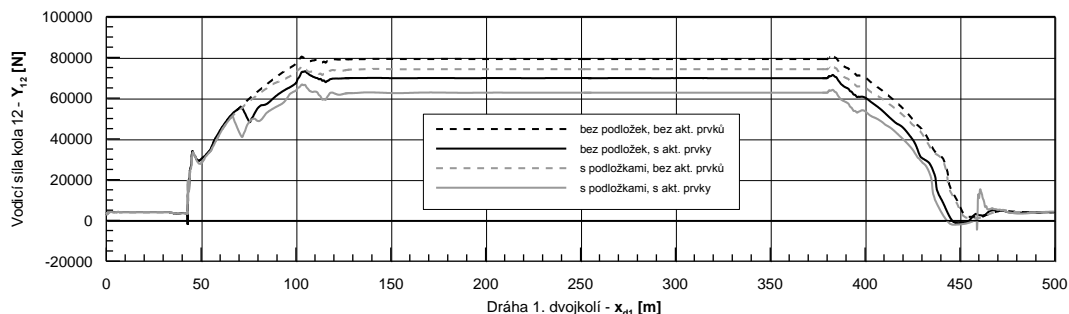
S cílem posoudit dynamické vlastnosti lokomotivy vybavené novými třínápravovými podvozky a optimalizovat některé jejich parametry byly v různých fázích vývoje podvozku na DFJP prováděny rozsáhlé simulační výpočty. [5, 6] Za tímto účelem byla vytvořena nová modifikace programového

systému SJKV (*Simulace jízdy kolejového vozidla*), nazvaná SJKV-CZL3nP (aktuálně ve verzi 3). V tomto příspěvku jsou prezentovány vybrané výsledky simulačních výpočtů vodicích vlastností a teoretické analýzy stability lokomotivy o celkové hmotnosti 138 t s navrženými podvozky, jejichž koncepce je popsána výše, přičemž je zde pozornost věnována právě zejména vlivu naklápěcích pryžokovových podložek pod pružinami sekundárního vypružení a aktivních tlumičů.

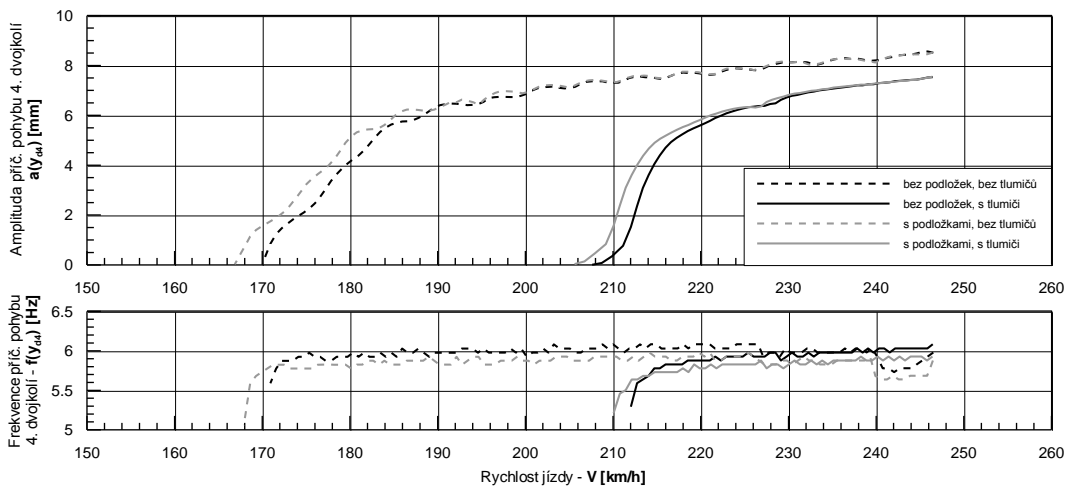


Obr. 3 Aproximace změřené charakteristiky sekundární pružiny s podložkou

Z hlediska uspořádání sekundárního vypružení byly prověřovány dvě verze – s naklápěcími pryžokovovými podložkami pod pružinami a bez nich, tj. pouze se samotnými flexi-coil pružinami. Zatímco samotná uvažovaná flexi-coil pružina vykazuje v příčném směru tuhost přibližně 280 kN/m, v kombinaci s naklápěcí podložkou je možné docílit směrové závislosti příčné tuhosti celé sestavy. Aproximace horizontální charakteristiky sestavy pružina–podložka v podobě závislosti výsledné síly na deformaci a směru zatěžování je pro jednu konkrétní hodnotu svislého zatížení znázorněna na obr. 3. Tato aproximace vychází z výsledků měření sestavy pružina–podložka [7], realizovaných v laboratořích VVCD DFJP v Pardubicích; modelování nelineárních prvků reprezentujících pružiny s podložkami vychází z metodiky popsané v článku [8]. Na obr. 4 je pak znázorněno, jak se pokles odporu proti natáčení podvozku, zapříčiněný užitím naklápěcích podložek, projeví na kvazistatické vodicí síle prvního dvojkolí lokomotivy při průjezdu obloukem o poloměru 250 m. Zatímco varianta lokomotivy s podvozky bez naklápěcích podložek pod sekundárními pružinami zde vykazuje vodicí sílu cca 79 kN, v případě podvozků s naklápěcími podložkami je to přibližně o 5 kN, resp. o 6 % méně. Jak ukazuje obr. 5, tak z hlediska výsledků teoretické analýzy stability při klesající rychlosti jízdy na ideální přímé koleji s počátečním vybuzením osamělou příčnou nerovností (viz např. [9]) se zde při dosazení podložek projevuje jen velmi mírný pokles kritické rychlosti v řádu jednotek km/h.



Obr. 4 Průběhy vodicích sil nabíhajícího kola prvního podvozku při simulaci průjezdu obloukem o poloměru 250 m rychlostí odpovídající nevyrovnanému zrychlení $0,70 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ (součinitel tření 0,40, kolejnice R65/1:20, kuželový jízdní obrys dle GOST 11018-2011) pro různá provedení podvozku: sekundární pružiny bez podložek (černou barvou) vs. s podložkami (šedou barvou), aktivní prvky vypnuté (čárkovaně) vs. zapnuté (plnou čarou)



Obr. 5 Výsledky teoretické analýzy stability pro různá provedení podvozku: sekundární pružiny bez podložek (černou barvou) vs. s podložkami (šedou barvou), bez tlumičů vrtivých pohybů (čárkovaně) vs. s aktivními prvky ve funkci tlumičů vrtivých pohybů (plnou čarou); závislost amplitudy příčného pohybu 4. dvojkolí při nestabilním pohybu (horní graf) a odpovídající frekvence (dolní graf) na rychlosti jízdy za podmínky ekvivalentní konicity 0,4

Vliv aktivních prvků, situovaných příčně na vnějších čelních rámech podvozků (viz obr. 1), lze také demonstrovat na výsledcích uvedených na obr. 4 a 5. V „aktivním režimu“ tyto prvky pomáhají natáčet jednotlivé podvozky do oblouku, a to uvažovanou maximální silou 18 kN. Princip funkce aktivních prvků je přitom následující – při dosažení určité mezní hodnoty zdvihu prvku, jež vyplývá z natočení podvozku vůči skříní, začnou aktivní prvky působit silou požadovaného směru. Při navrácení podvozku do nenatočené polohy, resp. při poklesu zdvihu prvku pod definovanou hodnotu pak síla prvku vymizí. Jak v případě použití sekundárních pružin s podložkami, tak i bez nich se působení aktivních prvků při průjezdu obloukem projeví poklesem kvazistatické vodící síly na nabíhající kole předního podvozku. Za povšimnutí stojí skutečnost, že toto snížení vodící síly je výraznější v případě sekundárního vypružení s naklápěcími podložkami, které vytvářejí vhodnější podmínky pro činnost systému aktivních prvků. Zatímco v případě pružin bez podložek jde o pokles cca o 9 kN, resp. 12 %, v případě pružin s podložkami je to 11,5 kN, resp. přibližně 15,5 %. Aktivní prvky rovněž mohou zastávat funkci standardního tlumiče vrtivých pohybů podvozků, zde ovšem nezvykle umístěného příčně. Na obr. 5 je pak na výsledcích simulačních výpočtů demonstrován vliv těchto „aktivních tlumičů“ na stabilitu jízdy lokomotivy na teoretické koleji za podmínky ekvivalentní konicity o hodnotě 0,40 (hodnota pro amplitudu příčného pohybu dvojkolí 3 mm). Jak v případě použití sekundárních pružin s podložkami, tak i bez nich se kritická rychlost vozidla posouvá vlivem použití těchto tlumičů vrtivých pohybů podvozků s uvažovanou charakteristikou cca o 40 km/h výše.

5 POŽADAVKY GOST PŘI VÝVOJI A OVĚŘOVÁNÍ KOLEJOVÝCH VOZIDEL

Jedním ze specifíků vývoje nového podvozku, resp. lokomotivy pro východní trhy je nutnost respektovat požadavky standardů GOST. V této kapitole je uveden přehled základních požadavků GOST, které se váží k pevnosti a dynamickým vlastnostem kolejových vozidel.

Tyto požadavky na pevnost a dynamické vlastnosti jsou dány standardem GOST R 55513-2013 „Lokomotivy – Požadavky na pevnost a dynamické vlastnosti“ [10]. Tato norma je zavedena pro lokomotivy s rozchodem 1520 mm s rychlostí do 200 km/h, které jsou určeny pro dráhy v Ruské federaci. Jsou zde stanoveny požadavky na pevnost a tuhost vybraných uzlů lokomotiv, jejich dynamické vlastnosti a také způsob výpočtů a typy zkoušek nutných k ověření ukazatelů pevnosti a dynamických vlastností. [11]

Aby bylo možné provést hodnocení dynamických vlastností lokomotivy a výběr charakteristik vypružení, je podle normy přípustné při projektování použít programové systémy, umožňující počítačovou simulaci pro stanovení hodnot sledovaných dynamických parametrů pro pohyb v přímé koleji a obloucích s ohledem na převýšení a nerovnosti trati. Kontrola správnosti matematického modelu se provádí porovnáním výsledků výpočtového modelování s výsledky dynamické pevnostní zkoušky lokomotivy. Mezi hodnocené ukazatele dynamických vlastností vozidla podle standardu GOST R 55513-2013 patří:

- koeficient příčného pohybu, který je definován jako poměr dynamické složky rámové síly k maximálnímu statickému nápravovému zatížení; výpočet a hodnocení se provádí pro všechny nápravy lokomotivy,
- koeficient svislého pohybu prvního stupně vypružení, definovaný jako poměr hodnoty svislé dynamické síly k maximálnímu statickému zatížení v prvním stupni vypružení,
- koeficient svislého pohybu druhého stupně vypružení, definovaný jako poměr hodnoty svislé dynamické síly k maximálnímu statickému zatížení ve druhém stupni vypružení,
- koeficient bezpečnosti proti vykolejení, který se stanoví pomocí vztahu:

$$\lambda = \frac{C_1}{Y_R \cdot l + C_2 \cdot \mu^{HH} \cdot (1 + 0,5 \cdot \mu^H \cdot \sin^2 \beta) - C_1 \cdot \mu^H \cdot \cos^2 \beta} \cdot \frac{1}{\operatorname{ctg} \beta + \mu^H}, \quad (1)$$

kde C_1 a C_2 jsou veličiny, které jsou zavedené pro potřeby zjednodušení základního vztahu (1) a které mohou být stanoveny jako:

$$C_1 = 2 \cdot Q \cdot (b - a_2) - P_{Z1HK} \cdot (l + a_1) + P_{Z1HHK} \cdot a_2 + Y_R \cdot r + q_{HP} \cdot (b - a_2), \quad (2)$$

$$C_2 = 2 \cdot Q \cdot (b - a_1) - P_{Z1HK} \cdot (l + a_2) + P_{Z1HHK} \cdot a_1 + Y_R \cdot r + q_{HP} \cdot (b - a_1), \quad (3)$$

kde:

μ^H	součinitel tření mezi okolkem nabíhajícího kola a kolejnicí,
μ^{HH}	součinitel tření mezi nenabíhajícím kolem a kolejnicí,
β	úhel sklonu okolků kola k horizontální rovině,
Y_R	rámová síla,
Q	tíhová síla odpružených hmot lokomotivy připadající na dvojkolí,
q_{HP}	tíhová síla neodpružených hmot připadající na kolo,
P_{Z1HK}	svislá dynamická síla v prvním stupni vypružení na nabíhající kole dvojkolí,
P_{Z1HHK}	svislá dynamická síla v prvním stupni vypružení na nenabíhající kole dvojkolí,
b	poloviční vzdálenost mezi místem působení svislého zatížení na čepch nápravy,
a_1	vzdálenost mezi místem působení svislého zatížení na čepu nápravy a místem kontaktu nabíhajícího kola s kolejnicí,
a_2	vzdálenost mezi místem působení svislého zatížení na čepu nápravy a místem kontaktu nenabíhajícího kola s kolejnicí,
r	poloměr kola na styčné kružnici,
l	vzdálenost mezi místy kontaktu nabíhajícího a nenabíhajícího kola s kolejnicí;

- ukazatel jakosti chodu – pro výpočty se používají signály zrychlení, získané při pohybu lokomotivy v přímých úsecích trati a v obloucích, přičemž kontrolní místa na vozidle, rychlosti pohybu a parametry trati jsou definovány výše uvedenou normou,
- koeficient bezpečnosti pružících prvků v primárním vypružení – tento parametr je závislý na přítomnosti pružných dorazů omezující pohyb ložiska vůči rámu podvozku a přítomnosti nárazek ve svislém vypružení; v případě nepřítomnosti nárazek je tento koeficient definován jako podíl maximální síly, která odpovídá přípustnému konstrukčnímu stlačení pružin, při kterém existuje rezerva zdvihu pružiny 3 mm do sednutí závitů, a maximálního statického zatížení na pružinu,
- koeficient bezpečnosti pružících prvků v sekundárním vypružení, který se stanovuje analogicky jako koeficient bezpečnosti pružících prvků v primárním vypružení.

V tab. 2 jsou uvedeny základní požadavky na dynamické vlastnosti navrhovaného podvozku pro dieselelektrickou lokomotivu s konstrukční rychlostí do 120 km/h.

Tab. 2 Přehled základních požadavků na dynamické vlastnosti lokomotivy [11]

Název parametru	Mezní hodnota
Koeficient příčného pohybu	0,30
Koeficient svislého pohybu prvního stupně vypružení	0,35
Koeficient svislého pohybu druhého stupně vypružení	0,20
Koeficient bezpečnosti proti vykolejení	1,4
Ukazatel jakosti chodu	3,5
Koeficient bezpečnosti pružících prvků v primárním vypružení	1,6
Koeficient bezpečnosti pružících prvků v sekundárním vypružení	1,4

6 ZÁVĚR

V tomto příspěvku je představen výsledek vývoje nového třínápravového podvozku CZ LOKO, určeného pro dieselelektrickou lokomotivu pro rozchod koleje 1520 mm. Tento podvozek, jehož podrobný popis je uveden v kap. 2, využívá v maximální možné míře řešení konstrukčních uzlů typických pro nové pojezdy provenience CZ LOKO (viz též článek [12]). Ještě v roce 2017 bude v rámci řešení projektu TA ČR vyroben funkční vzorek třínápravového podvozku, mj. i za účelem pevnostního ověření vybraných konstrukčních celků.

V kap. 4 jsou prezentovány dílčí výsledky simulačních výpočtů dynamických vlastností vozidla vybaveného novými podvozky, které byly v rámci vývoje podvozku prováděny na Dislokovaném pracovišti DFJP v České Třebové za pomoci nově vytvořené verze zde vyvíjeného programového systému SJKV. Pozornost je zde věnována především posouzení vlivu originálního konstrukčního řešení spojení skříně a podvozku, resp. sekundárního vypružení, které sestává z:

- otočného čepu zasahujícího ze skříně lokomotivy do hlavního příčnicku rámu podvozku, který však není umístěn ve středu podvozku, ale je posunut směrem ke středu lokomotivy; toto řešení jednak zajišťuje konstrukční prostor pro zástavbu pohonné jednotky středního dvojkolí podvozku, jednak zmenšuje vzdálenost středů otáčení jednotlivých podvozků, ale také zvětšuje délku ramene, na kterém působí aktivní prvek,
- dvou sad sekundárních flexi-coil pružin, umístěných okolo středu podvozku na hlavních podélnicích rámu a osazených orientovanými naklápěcími pryžokovovými podložkami; toto řešení modifikuje charakteristiku odporu proti natáčení podvozku (a to i s ohledem na polohu otočeného čepu), čímž zajišťuje požadovanou funkčnost aktivního prvku,
- aktivního prvku na čelníku rámu podvozku, vzdálenějším od středu lokomotivy, který plní jednak funkci aktivního natáčení podvozku do oblouků o malých poloměrech (čímž přispívá ke zlepšení vodících vlastností lokomotivy) a jednak funkci (příčně umístěného) tlumiče vrtivých pohybů (čímž zlepšuje stabilitu jízdy lokomotivy ve vyšších rychlostech).

Výsledky zde prezentovaných simulačních výpočtů ukazují, že v oblouku o poloměru 250 m lze kombinací sekundárních pružin s orientovanými naklápěcími podložkami a systému aktivních prvků pro natáčení podvozků docílit na nabíhajícím kole vyšetřovaného vozidla poklesu kvazistatické vodící síly přibližně o 20 % v porovnání s provedením bez naklápěcích podložek a bez systému aktivních prvků. Lze předpokládat, že celkově rovnoměrnější rozložení vodících sil na jednotlivá kola vozidla povede v reálném provozu ke snížení míry opotřebení kol a kolejnic v obloucích. Výsledky provedených zkoušek rovněž potvrzují, že použití naklápěcích podložek pod pružinami

významným způsobem snižuje namáhání materiálu těchto pružin. Závěry analýzy stability potom ukazují, že aktivní prvek ve funkci tlumiče vrtivých pohybů podvozku může pomoci výrazně zvýšit mez stability (kritickou rychlost) jízdy vozidla.

Kap. 5 je potom věnována současným požadavkům standardů GOST, především v oblasti dynamických vlastností hnacích kolejových vozidel. S uvedenými mezními hodnotami jízdních charakteristik budou v rámci poslední fáze vývoje podvozku konfrontovány výsledky simulačních výpočtů jízdy obou hmotnostních variant lokomotivy po reálné koleji s cílem finálního ověření, že navržené technické řešení podvozku splňuje také požadavky norem GOST na hodnocení jízdních zkoušek nově schvalovaného vozidla.

Tento příspěvek vznikl za podpory projektu ev. č. TH01010455 „Výzkum a vývoj třínápravového podvozku pro rozchod 1520 mm“ Technologické agentury České republiky.



Literatura

- [1] HAUPT, L. *Třínápravový podvozek pro dieselelektrickou lokomotivu*. Pardubice, 2015. Diplomová práce. Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera.
- [2] HAUPT, L. *Konstrukční řešení funkčního vzorku podvozku*. Technická zpráva č. 4-8080-074-00. Česká Třebová: CZ LOKO, a.s., 2016.
- [3] Výkresová dokumentace firmy CZ LOKO, a.s.
- [4] CZ LOKO, a.s. *Řešení sekundárního vypružení třínápravového lokomotivního podvozku*. Původci: HAUPT, L., MICHÁLEK, T. Česká republika. Návrh užitého vzoru č. 4-8037-152-01. 2017.
- [5] ZELENKA, J., MICHÁLEK, T., KOHOUT, M., LIBEROVÁ, S. *Tvorba výpočtového modelu a úvodní simulační výpočty dieselelektrické lokomotivy s třínápravovými podvozky*. Zpráva č. DP-E-03-15. Česká Třebová: Univerzita Pardubice, Dislokované pracoviště DFJP, 2015.
- [6] ZELENKA, J., MICHÁLEK, T., KOHOUT, M., LIBEROVÁ, S. *Optimalizace třínápravového podvozku dieselelektrické lokomotivy*. Zpráva č. DP-E-01-16. Česká Třebová: Univerzita Pardubice, Dislokované pracoviště DFJP, 2016.
- [7] VÁGNER, J., KOHOUT, M., HOJKA, P. *Zkouška reálných vlastností vypružení – závěrečná zpráva o výsledcích výzkumu*. Zpráva č. DZS-Z-17/01. Pardubice: Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera, Výzkové a výzkumné centrum v dopravě, Dynamický zkušební stav, 2017.
- [8] MICHÁLEK, T., ZELENKA, J. Modelling of flexi-coil springs with rubber-metal pads in a locomotive running gear. *Applied and Computational Mechanics*. 2015, **9**(1), 21–30. ISSN 1802-680X.
- [9] ZELENKA, J., KOHOUT, M., MICHÁLEK, T. Application of sensitivity analysis in design of characteristics of damping joints in locomotive running gear. *Engineering Mechanics*. 2013, **20**(5), 369–378. ISSN 1802-1484 (print), ISSN 1805-4633 (online).
- [10] ГОСТ Р 55513-2013. *Локомотивы. Требования к прочности и динамическим качествам*. Москва: ВНИКТИ-ВНИИЖТ, 2013.
[GOST R 55513-2013. *Lokomotivy. Trebovanija k pročnosti i dinamičeskim kačestvam*. Moskva: VNIKTI-VNIIŽT, 2013.]
- [11] ZELENKA, J., LIBEROVÁ, S., MICHÁLEK, T., KOHOUT, M. *Analýza vybraných norem a standardů GOST pro vývoj třínápravového podvozku pro rozchod 1520 mm*. Zpráva č. DP-E-02-16. Česká Třebová: Univerzita Pardubice, Dislokované pracoviště DFJP, 2016.
- [12] KOPAL, J. Pojezd lokomotiv provenience CZ LOKO a.s. In: *Současné problémy v kolejových vozidlech 2009: XIX. konference s mezinárodní účastí, sborník přednášek*. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2009, 1–6. ISBN 978-80-7395-199-3.