



VÝZKUM, VÝVOJ A ZKUŠEBNICTVÍ KOLEJOVÝCH VOZIDEL
Bucharova 1314/8, Stodůlky, 158 00 Praha 5

ZKUŠEBNA KOLEJOVÝCH VOZIDEL A KONTEJNERŮ

CERTIFIKOVANÁ METODIKA

Metodika simulačního výpočtu pevnosti skříní kolejových vozidel

Autoři:

Vypracoval Ing. Zdeněk Malkovský, Ph.D.

Spolupracoval

Přezkoušel Ing. Petr Šindelář

Schválil Ing. Zdeněk Malkovský, Ph.D.

Technický ředitel

Ředitel zkušební laboratoře

Certifikovaná metodika je výstupem z řešení projektu TAČR č. TE01020038
„Centrum kompetence drážních vozidel“.

Praha, 11/2019

OBSAH

1	Úvod	3
2	Podklady a literatura použité pro přípravu metodiky	3
3	Výchozí podmínky, zdůvodnění metodiky	3
4	Požadavky na simulační výpočet	5
4.1	Všeobecně	5
4.2	Rychlosti jízdy	5
4.3	Provozní scénáře a scénáře trasování	5
4.4	Stanovení zatížení	6
5	Popis uplatnění metodiky	6
6	Seznam publikací, které předcházely metodice	6

1 Úvod

V rámci programu Centra kompetence Technologické agentury České republiky byl řešen projekt č. TE01020038 „Centrum kompetence drážních vozidel.“ Jedním z výstupů tohoto projektu je certifikovaná metodika popisující postup simulačního výpočtu pevnosti skříňí kolejových vozidel

Při vypracování metodiky se vycházelo nejen z podkladů normativního nebo doporučujícího charakteru, ale zejména ze zkušeností získaných při vývoji nových kolejových vozidel pro zákazníky nejen z České republiky, ale i ze zahraničí. Dále se vycházelo ze zkušeností získaných při zkouškách kolejových vozidel a z analýz prováděných při znaleckém posuzování pevnosti skříňí vozidel pro Spolkový drážní úřad v Bonnu (EBA), zemské schvalovací orgány v Německu, Spolkový dopravní úřad v Bernu (BAV) a pro notifikované osoby.

V normativních dokumentech na evropské úrovni není pro skříňí kolejových vozidel možnost provádění simulačních výpočtů s ohledem na ověření pevnosti skříňí kolejového vozidla uvažována. Obdobná situace je i u rámu podvozků.

Cílem metodiky je stanovení požadavků na simulační výpočty (MBS), jejichž výsledkem jsou síly působící v provozu na reálných tratích na kolejové vozidlo. Takto stanovené síly představují variantu k normativně předepsaným silám.

Metodika se nezabývá vlastním výpočetním modelem pro simulační výpočty, neboť jeho struktura je v mnoha ohledech závislá na typu použitého software (např. Simpack, Adams).

Protože simulační výpočty se provádějí s modelem celého vozidla, vztahuje se metodika nejen na skříň vozidla, ale i na podvozek.

Metodika je ve VÚKV evidována pod číslem 19-C 054.

2 Podklady a literatura použité pro přípravu metodiky

- [1] EN 12663-1:2010+A1:2015 „Železniční aplikace – Pevnostní požadavky na konstrukce skříňí kolejových vozidel – Část 1: Lokomotivy a vozidla osobní dopravy (a alternativní metoda pro nákladní vozy)“;
- [2] EN 12663-2:2010 „Železniční aplikace – Pevnostní požadavky na konstrukce skříňí kolejových vozidel – Část 2: Nákladní vozy“
- [3] EN 13749:2011 „Železniční aplikace – Dvojkolí a podvozky – Metody specifikování požadavků na rámy podvozků“;
- [4] EN 15663:2017+A1:2018 „Železniční aplikace – Definice referenčních hmotností vozidla“;
- [5] EN 14363:2016+A1:2018 „Železniční aplikace - Přejímací zkoušky jízdních charakteristik železničních vozidel - Zkoušení jízdních vlastností a stacionární zkoušky“;

3 Výchozí podmínky, zdůvodnění metodiky

Nutnost existence metodiky, která popisuje základní požadavky na simulační výpočet pro využití při pevnostních výpočtech skříňí kolejových vozidel a částí podvozků kolejových vozidel vyplývá z následujících faktů:

- a) Při zkouškách kolejových vozidel ve zkušebně VÚKV se při analýze výsledků zjistilo, že normativní síly pro provozní zatížení se odchyľují od skutečně zjištěných sil při zkouškách v reálných provozních podmínkách a reálné infrastruktuře. Vyskytují se oba případy odchylek: reálné síly jsou jak větší, než síly normativní, tak i na opak.
- b) Základní normativní zatížení aplikované v současné době pro dimenzování skříňí kolejových vozidel je uvedeno v normách EN 12663-1 [1] a EN 12663-2 [2]. Působící síly jsou dány buď taxativně, nebo pouze obecným popisem.
- c) Základní normativní zatížení aplikované v současné době pro dimenzování částí podvozků kolejových vozidel je uvedeno v normě EN 13749 [3]. Opět jsou působící síly dány buď taxativně, nebo pouze obecným popisem.

Z výše uvedeného přehledu je patrné, že v žádné v současné době platné normě není uvedena možnost použít pro stanovení sil působících na vozidlo simulační výpočty.

Potřebnost predikovat skutečné provozní namáhání skříní a částí podvozku v reálných podmínkách vyplývá mj. z provedených výzkumných analýz [L1] až [L14]. Na obr. 1 je uveden příklad únavové poruchy skříně nákladního vozu, kdy tyto poruchy vznikají v provozu od zatížení, které není v současných normách uvažováno, ale které lze predikovat s využitím výsledků simulačního výpočtu.



Obr. 1

Při dimenzování vozových skříní a podvozků u mnoha konceptů vozidel a podvozků hraje dominantní roli trasování polohy kolejí, a to dokud kvalita polohy kolejí odpovídá průměrné kvalitě, s odchylkou polohy, se kterou se dnes v Evropě setkáváme. Kvalita polohy je též důležitá, ale není dominantní.

Trasování jízdní dráhy stanoví polohu jízdní dráhy v půdorysu a narysu (popř. v situačním plánu a výškopisném plánu). Tím je myšlen geometrický popis ideální (tj. bezchybné polohy) koleje. Chyby polohy koleje a kolejnic, které se ve skutečnosti vyskytují, se nepopisují trasováním, ale kvalitou polohy koleje.

Kvalita polohy kolejí jízdní dráhy popisuje odchylky polohy koleje od trasování.

Údaje o trasování a kvalitě polohy jízdní dráhy poskytuje obvykle správce infrastruktury.

Vliv trasování a kvality koleje lze objasnit pro skřín vozidla a pro podvozek následovně:

Vozová skříň: Primární a sekundární odpružení se používají k snížení dynamického zatížení způsobeného kvalitou dráhy. *Výjimka:* Chyby polohy korespondující se vzdáleností otočných čepů podvozků nebo pojezdu způsobují kroucení vozové skříně.

Podvozek: Rám podvozku je odpružen primárním vypružením. Proto i u rámu podvozku část zatížení, vzniklých z chyby polohy kolejí je snížena vhodným návrhem prvotního vypružení. Naopak příčná zrychlení vyvolaná trasováním jízdní dráhy, a také zatížení při rozjezdu a brzdění působí na rám podvozku prakticky nezávisle na vypružení. *Výjimka:* Chyby polohy korespondující s rozvorem dvojkolí způsobují kroucení rámu podvozku. Zásadně je vliv kvality polohy kolejí na zatížení u rámu podvozku vyšší než u vozové skříně.

4 Požadavky na simulační výpočet

4.1 Všeobecně

Rozsah výpočtu je závislý na typu kolejového vozidla. V předložené metodice je použita kategorizace podle normy EN 12663-1 [1], tj.:

- Kategorie L např. lokomotivy a hnací jednotky
- Kategorie P-I např. osobní vozy;
- Kategorie P-II např. ucelené vlakové jednotky a osobní vozy;
- Kategorie P-III např. vozidla metra, rychlodrážní a lehké konstrukce;
- Kategorie P-IV např. lehká vozidla metra a vozidla tramvajové rychlodráhy;
- Kategorie P-V např. tramvajová vozidla.
- Kategorie F-I např. nákladní vozidla bez omezení při posunu;
- Kategorie F-II např. nákladní vozidla se zákazem posunu odrazem a jízdou přes svážný pahrbek.

U kategorií vozidel P-I až P-V, u kterých se předpokládá regulérní provoz s cestujícími, se hmotnost vozidla uvažuje v souladu s normou EN 15663 [4]. Uvažuje se tedy hmotnost skříně $m_1 + m_3$, kde

- m_1 - hmotnost vozové skříně, připravené k provozu včetně spotřebního materiálu a vlakového personálu (80 kg)
- m_3 - hmotnost cestujících při normálním stupni obsazení podle tabulky 7 v EN 15663 [4]

U kategorie F-I a F-II musí být uvažovány dva stavy ložení, prázdný vůz a vůz ložený na maximální dovolené nápravové zatížení.

4.2 Rychlosti jízdy

Rychlosti jízdy pro provozní stavy zatížení se zvolí tak, aby se v oblouku vyskytla následující nevyrovnaná příčná zrychlení a_q :

- trasování bez přechodnic: $a_q = 0,65 \text{ m/s}^2$
- trasování s přechodnicemi: $a_q = 1,0 \text{ m/s}^2$

4.3 Provozní scénáře a scénáře trasování

Pro generování dalších únavových stavů zatížení se musí uvažovat následující, pro dané vozidlo specifické scénáře jízdy vozidla:

- jízda obloukem s malým poloměrem; vjezd a výjezd bez přechodnice a bez převýšení; jako poloměr se bere ten nejmenší poloměr oblouku, kterým vozidlo projíždí; $a_q = 0,65 \text{ m/s}^2$;
- jízda obloukem s malým poloměrem; vjezd a výjezd s přechodnicí, ale bez převýšení; jako poloměr se bere ten nejmenší poloměr oblouku, kterým vozidlo projíždí; $a_q = 1,0 \text{ m/s}^2$;
- jízda obloukem s přechodnicí a maximálním převýšením s rampou $(10 \cdot v_{max} [\text{km/h}])^{-1}$; poloměr oblouku se stanoví tak, že při nejvyšší rychlosti vozidla v_{max} se příčné zrychlení rovná $a_q = 1,0 \text{ m/s}^2$;
- jízda S-obloukem s malými poloměry; bez přechodnic a bez převýšení, poloměry a přímé úseky mezi oblouky se volí podle reálných podmínek (např. kolejové spojky); $a_q = 0,65 \text{ m/s}^2$;
- jízda S-obloukem s přechodnicemi a vzestupnicemi, rampa 1:250, ale bez přímého úseku mezi

oblouky. Délka rampy má pokrýt takovou část délky vozidla, která má rozhodující vliv na jeho zkrucování; $a_q = 1,0 \text{ m/s}^2$

- jízda C-obloukem s malým poloměrem, bez přechodnic a bez převýšení, poloměry a přímé úseky mezi oblouky se volí podle skutečné provozní tratě; $a_q = 0,65 \text{ m/s}^2$
- jízda po přímé koleji, bezprostřední přechod vrchol/důl (přechod svislý konvexní/konkávní oblouk) s k projektu se vztahujícími hodnotami pro vertikální poloměr a rychlost (např. $R_v = 250 \text{ m}$, $v = 25 \text{ km/h}$); oblouk důl/vrchol musí mít alespoň délku největší vzdálenosti středu podvozků plus vzdálenost os dvojkolí.

$$v[\text{km/h}] = \sqrt{\frac{R_v[\text{m}]}{0,4}}$$

Trať pro simulační výpočty musí obsahovat levý a pravý oblouk a to v obou směrech jízdy. To představuje minimální nasazení vozidla, eventuálně se musí doplnit další scénáře při uvažování podmínek uvedených v druhé části kapitoly 3.

Výsledky simulací se nefiltrují. Vyhodnocení sil z výsledků probíhá na základě nevyfiltrovaných časových řad. V případě výskytu špiček se tyto zpravidla eliminují zlepšením výpočetního modelu nebo okrajových podmínek.

4.4 Stanovení zatížení

Rozhodující pro hodnocení jsou extrémní namáhání. Výsledkem simulačního výpočtu je časový průběh působícího zatížení (síly, momenty a zrychlení) na rám podvozku a vozovou skříň.

Pro pevnostní výpočet metodou konečných prvků se proto musí stanovit časové body relevantní pro vyhodnocení. Toto určení může být provedeno pomocí inženýrských přístupů. Pro průkaz únavové odolnosti se zohledňují jak minimální, tak maximální hodnoty vypočtených sil pomocí simulačního výpočtu.

5 Popis uplatnění metodiky

Metodika simulačních výpočtů je určena pro dimenzování skříní a podvozků kolejových vozidel. Výsledky výpočtu slouží jako alternativa k zatížení, která jsou předepsána v normách EN 12663-1 [1], EN 12663-2 [2] pro skříně vozidel a v normě EN 13749 [3] pro rámy podvozků.

Pro dimenzování se použijí vždy větší z hodnot uvedených v normě nebo pomocí simulačního výpočtu.

Uplatnění metodiky se předpokládá při vývoji nových vozidel nejen u výrobce vozidla, ale i provozovatele vozidla při stanovování požadavků na vozidlo.

6 Seznam publikací, které předcházely metodice

[L1] Malkovský, Z.: Problematika dimenzování nákladních kolejových vozidel, Dizertační práce, Praha 2016;

[L2] Malkovský, Z. – Mergl, E.: Analýza poruch skříní nákladních vozů, Zpráva VÚKV č. 13-C 058;

[L3] Malkovský, Z. - Mergl, E.: Analýza pevnostních poruch cisternových vozů, Zpráva VÚKV č. 14-C 089;

[L4] Malkovský, Z: CKDV WP 2 - Podvozky. Analýza pevnostních poruch rámu podvozků Část 1, Zpráva VÚKV č. 16-C 090

[L5] Malkovský, Z.: Necessity of the applied research in the field of freight wagons; First European Rail Research and Innovation Conference. Praha 2015;

- [L6] Malkovský, Z.: Dimenzování nákladních vozů s ohledem na reálné provozní podmínky. In: Současné problémy v kolejových vozidlech: sborník XXIII. konference s mezinárodní účastí. 20. – 22. září 2017, Česká Třebová, Česko. Pardubice: Dopravní fakulta Jana Pernera, Univerzita Pardubice, 2017. s. 49-57. ISBN 978-80-7560-085-1;
- [L7] Malkovský, Z.: Stellt die EN 12663-2 den Stand der Technik vor? 15. Internationale Schienenfahrzeugtagung RAD Schiene 2017, Tagungsband s. 120-122; ISBN 978-3-87154-605-1;
- [L8] Malkovský, Z.: Güterwagenfestigkeit - EN 12663-2 braucht eine Überprüfung. 16. Internationale Schienenfahrzeugtagung RAD Schiene 2019, Tagungsband s. 75-78; ISBN 978-3-87154-631-0;
- [L9] Malkovský, Z. – Heptner, T.: Nákladní vozy pro železnici 21. století. Odrážejí platné normy pro nákladní vagóny současný stav techniky? In: Zborní přednášek, díl 2. XXIV. Medzinárodná konferencia Súčasné problémy v koľajových vozidlách. Žilina 17.-19.2019. ISBN 978-80-89276-59-2;
- [L10] Zpráva VÚKV č. 19-C 045 „Výpočtové simulace vzájemných účinků vozidel a koleje za podmínek zkoušek podle normy ČSN EN 14363 a vyhlášky UIC 518“;
- [L11] Zpráva VÚKV č. 19-C 038 „PP678 MBS výpočty. BPV, jízdní bezpečnost, stabilita, náklon, komfort“;
- [L12] Zpráva VÚKV č. 18-C 074 „Výpočty jízdních a vodicích vlastností vytipovaných vozidel provozovaných v ČR“;
- [L13] Zpráva VÚKV č. 18-C 025 „NIM Express. Rozšířený popis MBS modelu“;
- [L14] Zpráva VÚKV č. 18-C 021 „NIM Express. Validace MBS modelu“;