

PEVNOST NÁKLADNÍCH VOZŮ V MINULOSTI A V SOUČASNOSTI

THE STRENGTH OF FREIGHT WAGON IN THE PAST AND PRESENT

Zdeněk MALKOVSKÝ¹

Abstrakt

Příspěvek se zabývá problematikou dimenzování skříní železničních nákladních vozů. Je analyzován současný stav předpisů a jejich reálná aplikace. Požadavky v předpisech jsou konfrontovány s poznatky získanými při zkouškách a posuzování provozních pevnostních poruch nákladních vozů. Jsou uvedeny náměty na změnu stávajících norem.

Klíčová slova

nákladní vůz, požadavky na dimenzování, únavové poruchy, předpisy

Abstract

The paper deals with the issue of dimensioning of railway freight wagon car bodies. The current state of regulations and their real application is analysed. The requirements in the regulations are confronted with the knowledge gained during tests and assessment of an operational strength failures of freight wagon. Suggestions for changing of existing standards are given.

Keywords

freight car, sizing requirements, fatigue failures, regulations

1 ÚVOD

V souvislosti s neustále se zvětšujícím tlakem na ochranu životního prostředí je na evropské úrovni neustále deklarována nutnost převedení významné části přepravy nákladů ze silnice na železnici. Pro naplnění tohoto cíle je ovšem nutné kromě deklarací také provést systémové změny. Ty, které zatím byly přijaty, bohužel zavedení nových inovativních řešení u nákladních vozů spíše situaci zkomplikovaly. A stále se vyskytující pevnostní problémy tuto situaci potvrzují.

Nákladní vozy zařazené do režimu RIV mohly být bez problémů provozovány prakticky po celé Evropě. Jedním z důvodů byla i skutečnost, že v rámci Mezinárodní železniční unie UIC bylo technické sjednocování pomocí zpráv ORE/ERRI a vyhlášek UIC řešeno ze všech typů kolejových vozidel nejdříve. Přesto, že se jednalo o funkční systém, byly právě nákladní vozy převedeny do nového legislativního rámce podle Směrnice EU č. 2001/16/ES [1] v roce 2006. tj. o pět let dříve, než vozidla pro přepravu osob a lokomotivy. První vydání TSI WAG [2] bylo koncipováno tak, že obsahovalo všechny požadavky na nákladní vozy a nebyly uvedeny odkazy ani na vyhlášky UIC, ani na Evropské normy. Tomu odpovídal rozsah 467 stran. Podstatná část technického obsahu prvního vydání vznikla okopírováním příslušných pasáží z vyhlášek UIC.

Opačná filozofie byla zvolena u nového znění TSI WAG [3] z roku 2013. Rozsah textu byl výrazně zredukován a jsou využívány odkazy na Evropské normy, které mezitím vznikaly. Základním

¹ Ing. Zdeněk Malkovský, Ph.D., VÚKV a.s. Bucharova 1314/8, 158 00 Praha 5 – Stodůlky. Tel.: +420 736 519 970, e-mail: malkovsky@vukv.cz

závazným dokumentem pro dimenzování skříní nákladních vozů je tedy norma EN 12663-2 [8] z roku 2010, která v převážné míře přebírá věcný obsah zprávy ERRI B12/RP 17 [11]. Tím se situace v oblasti dimenzování skříní nákladních vozů dostala do určitého začarovaného kruhu. Technicky je nezbytně nutné aplikovat nové moderní přístupy obvyklé u kolejových vozidel pro přepravu osob, ale z hlediska legislativy je zafixován stav z konce 20. století. V normě EN 12663-2 [8] tedy nejsou reflektovány současné, výrazně jiné provozní podmínky. Evropské normy pro dimenzování vozidel jsou zpracovávány obvykle odborníky, kteří velmi dobře znají problematiku u osobních vozů, ale v odlišnostech nákladních vozů se orientují jen málo.

Významnou roli v zafixování současného nevyhovujícího stavu představuje strach výrobců i odběratelů z případných změn, neboť neexistuje nezávislá odborná analýza tohoto stavu. V neposlední řadě hraje svoji roli i ta skutečnost, že v současné době jsou preferována jiná témata, jako je např. hluk, automatické spřáhlo, elektronizace a diagnostika nákladního vozu nebo zavedení nových brzdových špalíků a klasickým oblastem, jako je dimenzování nebo jízdní vlastnosti, není věnována potřebná pozornost.

2 LEGISLATIVNÍ PODMÍNKY

Pro dimenzování skříně nákladního vozu platí norma EN 12663-2 [8] a na základě prováděcího nařízení komise č. 2019/776 lze aplikovat i část normy EN 12663-1 [7]. Části obou norem jsou nyní citovány v platném konsolidovaném znění TSI WAG [3].

Norma EN 12663-2 [8] předepisuje základní statická a provozní zatížení. Jsou rozlišeny pouze dvě kategorie nákladních vozů:

- kategorie F-I: např. vozy bez omezení při posunu;
- kategorie F-II: např. vozy se zákazem posunu odrazem a přejíždění svážného pahrbku.

Toto členění tedy zohledňuje pohled na dimenzování skříní nákladních vozů pouze z hlediska výjimečných podélných sil. Z hlediska provozních zatížení jsou požadavky pro obě kategorie nákladních vozů shodné. Konstrukce skříní se vyznačují velkou variabilitou v mnoha parametrech. Z hlediska pružnosti a pevnosti se tato variabilita projevuje především ve velikosti průhybů od svislého provozního zatížení. Již z tvaru skříně jednotlivých typů nákladních vozů je jasné, že vysokostěnné a cisternové vozy mají výrazně menší průhyb v porovnání s vozy kontejnerovými nebo plošinovými. Do normy EN 12663-2 [8] byl převzat ze zprávy ERRI B12/RP 17 [11] následující požadavek: „Maximální průhyb rámu spodku vozu (včetně průhybu kterékoli příčky) od počáteční polohy při normálním konstrukčním užitečném zatížení nesmí překročit 3 ‰ rozvoru nebo rozteče otočných čepů podvozků“. Splnění tohoto požadavku mělo zajistit, že skříně nákladních vozů nebudou mít problémy s namáháním vlastními kmity, to ale praxe nepotvrzuje.

Pro hodnocení únavové pevnosti skříní vozů se vychází z napětí zjištěných při svislém statickém zatížení. Postup je převzat ze zprávy ERRI B12/RP 17 [11]. Je uvažováno pět kategorií vrubových účinků, ale členění neodpovídá dnešním postupům navrhování skříní kolejových vozidel, které jsou uvedeny např. v německých směrniciích DVS 1612 [12] nebo FKM-Richtlinie [13]. Tento způsob hodnocení není provázán s požadavky uvedenými v normě EN 15085-3 [4]. Naopak v současné době připravovaná norma prEN 17149-3 [9] vychází z členění typů svarů používaných v této normě.

Určitou změnu v přístupu k dimenzování skříní nákladních vozů umožnilo v roce 2019 Prováděcí nařízení 2019/776 [5]. Tímto nařízením bylo doplněno TSI WAG [3] o možnost aplikovat validační program podle normy EN 12663-1 [7]. Účelem validačního programu je ověřit, zda navržená konstrukce skříně vozidla vydrží maximální zatížení v souladu s odpovídajícími provozními požadavky po požadovanou dobu životnosti v běžných provozních podmínkách s odpovídající pravděpodobností přežití. Výpočty, zkoušením nebo kombinací obojího se musí prokázat, že nedojde k významným trvalým deformacím nebo porušení konstrukce jako celku nebo jednotlivých prvků vlivem stanovených druhů konstrukčních zatížení.

Velmi důležitá poznámka je uvedena v kapitole 9.2.2 normy EN 12663-1 [7]: „Na základě výsledků konstrukčních analýz lze kolejové vozidlo schválit ke statickým, únavovým nebo provozním zkouškám. Je přípustné, když podle výsledků konstrukční výpočtové analýzy některé oblasti konstrukce nesplňují požadavky této evropské normy, pokud ale následné zkoušky prokážou, že požadavky této evropské normy na dané části budou v konkrétních provozních podmínkách splněny“.

3 VÝVOJ PROVOZNÍCH PODMÍNEK

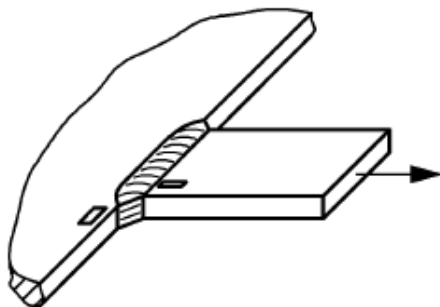
Při převzetí postupů UIC, resp. ERRI pro dimenzování nákladních vozů došlo, nebyla řešena otázka, zda předpoklady, ze kterých se při tvorbě zprávy ERRI B12/RP 17 [11] vycházelo, platí i v současné době. Pokud porovnáme jen základní provozní parametry, je patrná změna podmínek provozu:

- Rychlost jízdy: postupně došlo k navýšení z 80 km/h na 100 km/h, resp. 120 km/h;
- Hmotnost na nápravu: zvýšení z 20 t na 22,5 t, resp. 25 t;
- Vyšší míra využití ložné hmotnosti a doposud trvalý výrazně menší rozsah kontroly skutečné hmotnosti v místě nakládky. Zjištění přetížených nákladních vozů na traťových kontrolních místech nejsou výjimkou;
- Průměrný proběh vozu za rok: ve zprávě ERRI B12/RP 17 [11] se předpokládá roční proběh 100 000 km. Podle údajů uvedených v článku [14] byl tehdejší skutečný průměrný roční proběh 25 000 km. Skutečný proběh významně závisí na typu nákladního vozu. Zatímco u cisternových vozů je průměrný roční proběh 50 000 km, u kontejnerových vozů je to 150 000 km. U některých dopravců je to i více jak 200 000 km;
- Zcela se změnilo spektrum nárazů vozů, především z hlediska nárazové rychlosti a četnosti nárazů;
- Kolej: v České republice v souladu s evropským trendem se na vytižených tratích provádí údržba kolejnic reprofilací jejich hlav broušením, popř. frézováním. Výsledkem těchto zásahů je prakticky jednotný tvar hlavy kolejnice blížící se tvaru 60E2 při úklonu kolejnice 1/40 bez ohledu na typ svršku (kolejnice tvarů R65, T, 49E, 60E různých provedení, se sklonem upevnění kolejnic 1/20 nebo 1/40);
- Typ podvozku: U nákladních vozů je používán převážně podvozek typu Y 25. Postupným vývojem ze základní varianty Y 25 Cs se vyvinulo dnešní standardní provedení Y 25 Lsd1 s různým typem brzdy (špalíková jednostranná nebo oboustranná, kotoučová) a tomu odpovídajícím rámem podvozku (s čelníkem nebo bez čelníku), popř. upraveným tvarem podélníku.

4 ZKUŠENOSTI ZE ZKOUŠEK NÁKLADNÍCH VOZŮ

S nákladními vozy se musí realizovat statické pevnostní zkoušky a nárazové zkoušky. Jízdní pevnostní zkoušky jsou doporučeny, schválení vozu není podmíněno jejich provedením a předložením výsledků. Pro statické pevnostní zkoušky je předepsána řada výjimečných zatížení. Určitý rozpor je však v hodnocení od svislého zatížení. V kapitole 5.3.2.1 normy EN 12663-2 [8] je předepsáno aplikovat maximální svislé provozní zatížení $1,3 \cdot g \cdot (m_1 + m_3)$, kde m_1 je hmotnost prázdného vozu a m_3 je hmotnost normálního užitečného zatížení. Zjištěná namáhání se porovnávají s příslušnou mezí kluzu použité oceli.

V kapitole 5.2.5.1 normy EN 12663-2 [8] je ale pro únavové zatížení předepsáno zrychlení ve svislém směru $(1 \pm 0,3) \cdot g$. To znamená, že maximální únavové zatížení ve svislém směru je stejné jako svislé výjimečné zatížení. Pro hodnocení namáhání od stejné hodnoty svislého zatížení se tedy aplikují dvě různá kritéria. Porovnání pro typický svarový spoj z oceli S 355 podle obr. 1 je uvedeno v tab. 1.



Obr. 1 Svarový spoj s tupým svarem

Tab. 1 Dovolené hodnoty napětí

	Dovolené napětí (MPa)
Výjimečné zatížení podle kapitoly 5.3.2.1	323
Maximální únavové zatížení podle kapitoly 5.2.5.1	143

Z hodnot uvedených v tab. 1 je patrný rozpor, kdy pro hodnotově srovnatelná zatížení jsou aplikovány různé mezní hodnoty napětí. V tomto případě tedy hodnocení z hlediska výjimečného svislého zatížení postrádá smysl. V této souvislosti je nutné připomenout, že v prvním vydání normy EN 12663 [6] bylo pro maximální svislé zatížení uvedeno $1,95 \cdot g \cdot (m_1 + m_3)$. Tento požadavek souvisel se snahou zohlednit zejména způsob nakládky nákladních vozů. Uvážíme-li velkou různorodost typů nákladních vozů, pak je jasné, že způsob nakládání nelze zohlednit jedním koeficientem platným pro všechny nákladní vozy.

V normě EN 12663-2 [8] jsou v kapitole 5.2.5.1 předepsána zatížení vyvolaná tratí. Jedná se o zatížení ve svislém a příčném směru. Obvyklý postup je stanovení namáhání od všech kombinací těchto zatížení. Po té se provádí hodnocení z hlediska trvalé pevnosti v únavě. Postupy hodnocení odpovídající stavu techniky jsou uvedeny např. ve směrnících DVS 1612 [12] nebo FKM [13]. V normě EN 12663-2 [8] je však uveden jiný přístup k hodnocení namáhání od zatížení vyvolaných tratí. Zvlášť se hodnotí napětí od svislého zatížení a zvlášť od příčného zatížení. Tento přístup vychází z možnosti aplikace obou zatížení při statické pevnostní zkoušce. Simulace svislého zatížení při zkoušce je poměrně jednoduchá. Postup hodnocení v tomto případě je naznačen na obr. 1 a v tab. 1. Korektní zatížení v příčném směru není možné při zkouškách aplikovat. V tomto případě se pro prokázání odolnosti konstrukce při příčném zatížení v normě EN 12663-2 [8] uvádí, že postačuje nárazová zkouška a statické zkoušky stanoveného vybavení (klapky, bočnice, střechy apod.). Je patrné, že tento přístup nemá nic společného s obvyklým hodnocením pevnosti v únavě. Nárazové zkoušky mají za cíl ověřit odolnost konstrukce při působení podélných dynamických sil a statické zkoušky stanoveného vybavení se realizují vždy výjimečným zatížením.

Namáhání provozními zatíženími lze reálně ověřit pouze při jízdní pevnostní zkoušce. Zkušebna VÚKV realizuje tyto zkoušky obvykle na tratích Správy železnic. Trati vybrané pro zkoušky představují reprezentativní vzorek podmínek, ve kterých bude vozidlo provozováno, tedy zejména z hlediska směrového vedení, typu svršku, kvality GPK. Celková délka zkušebních úseků odpovídá požadavku uvedenému v návrhu normy prEN 17149-3 [9]. Dostatečná délka zkušebních úseků je stanovena jako 1/10 000 celkového předpokládaného průběhu za celou dobu života nákladního vozu. Vzhledem k údajům uvedeným v kapitole 3 se při předpokládané životnosti 30 let délka zkušebních úseků pohybuje v rozmezí od 150 do 600 km. VÚKV doporučuje pro všechny typy nákladních vozů provádět tyto zkoušky vždy v délce minimálně 600 km s náležitým zastoupením rozmanitých směrových poměrů tratí a kvality geometrických parametrů koleje.

Zkušebna VÚKV realizovala jízdní pevnostní zkoušky s mnoha různými typy nákladních vozů. Změřený průběh napětí u plně loženého vozu je vyhodnocován metodou Rain Flow a podle směrnice FKM [13] je stanovena ekvivalentní amplituda napětí σ_a . Poměr této amplitudy k napětí od svislého statického zatížení σ_m lze vyjádřit koeficientem K:

$$K = \frac{\sigma_a}{\sigma_m}$$

Pro místa, kde statické napětí v absolutní hodnotě bylo větší jak 70 MPa, je možné zjištěné poměry z mnoha realizovaných měření shrnout následovně:

- Cisternové vozy: $K = 0,12 - 0,52$
- Výsypné vozy: $K = 0,24 - 0,46$
- Vozy pro přepravu svitků: $K = 0,38 - 0,45$
- Kontejnerové vozy: $K = 0,25 - 0,65$
- Plošinové vozy $K = 0,36 - 0,78$

K uvedeným hodnotám je nutné poznamenat, že i v rámci každého zkoušeného vozu nejsou tyto poměry stejné. Liší se místo od místa. Je patrné, že interval koeficientu K je u všech uvedených typů poměrně velký. Uvážíme-li dynamické účinky předepsané v normě EN 12663-2 [8] pro příčný směr $\pm 0,2g$ a pro svislý směr $\pm 0,3g$, pak z uvedeného přehledu vyplývá, že reálné dynamické namáhání je často větší, než je v normě uvedeno.

Dalším velmi důležitým poznatkem z jízdních pevnostních zkoušek je častý výskyt rezonančních stavů v určitých oblastech konstrukce. To může mít následující důvod. V normě EN 12663-1 [7] se v kapitole 6.9.1 uvádí, „Vlastní vibrace skříní vozidel v provozním stavu se mají vhodně izolovat nebo se mají jiným způsobem oddálit od kmitočtů vypružení, aby se vyloučily nežádoucí odezvy a byla dosažena přijatelná jakost chodu“. Tento požadavek však v normě EN 12663-2 [8] chybí. Také k únavovým zatížením vyvolaných tratí se v normě EN 12663-1 [7] přistupuje zcela jinak. Zatížení vyvolaná svislými a příčnými nerovnostmi a zborcením koleje lze stanovit na základě:

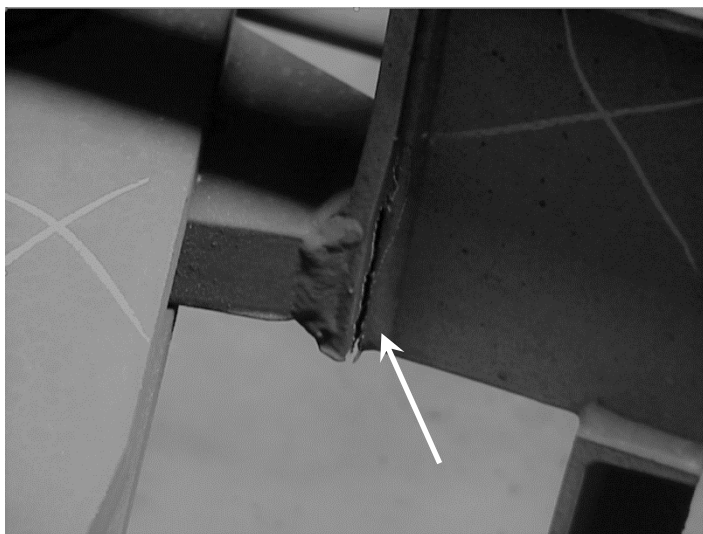
- a) dynamického modelování (s využitím údajů týkajících se geometrie a nerovností koleje);
- b) údajů změřených na určené nebo podobné trati;
- c) empirických údajů (zrychlení, výchylek atd.).

Dále se uvádí, že empirické úrovně svislých a příčných zrychlení, vhodné pro metodu trvalé pevnosti, odpovídající běžnému provozu v Evropě, se mají použít, pokud nejsou k dispozici vhodnější údaje. Pro některá použití lze definovat vyšší hodnoty a má se vzít v úvahu také vliv zborcení koleje. Tento přístup lépe koresponduje s poznatky získanými při jízdních pevnostních zkouškách.

5 ZKUŠENOSTI Z ANALÝZ PEVNOSTNÍCH PORUCH

V mnoha konstrukcích skříní nákladních vozů vznikají i v současné době únavové trhliny. Trhliny vznikají nejen na základní nosné struktuře skříně (obr. 2), ale i ve vazbách úchytů vybavení (obr. 3).

Na základě zkušeností získaných při analýze únavových poruch skříní nákladních vozů lze konstatovat, že velmi často vznikají v místech, která nejsou prověřena, pokud se striktně postupuje podle TSI WAG [3], resp. podle normy EN 12663-2 [8]. Tato skutečnost ukazuje na stále převládající názor, že pokud je nákladní vůz pozitivně posouzen z hlediska požadavků TSI WAG, pak skříně vozu je správně dimenzována. Z podkladů předkládaných při zjišťování příčin vzniku pevnostních poruch a pro posuzování shody s požadavky TSI WAG vyplývá, že jen malá část výrobců si uvědomuje, jak správně postupovat při vývoji skříní nákladních vozů s ohledem na jejich pevnost a pružnost.



Obr. 2 Únavová trhlina v základní struktuře skříně



Obr. 3 Únavová trhlina v místě úchytů vybavení

6 ZÁVĚR

Problematika dimenzování nákladních vozů je vzhledem k velkému množství typově rozdílných vozů, podmínek provozu, včetně problematiky nakládky a vykládky odlišná od problematiky dimenzování kolejových vozidel pro přepravu osob. Přitom norma EN 12663-1 [7] výrazně lépe reflektuje moderní postupy používané při vývoji skříní nových vozidel. Z tohoto pohledu je nanejvýš potřebné provést revizi normy EN 12663-2 [8] nebo ji zrušit a provést sjednocení při revizi normy EN 12663-1 [7]. Určité speciální požadavky na nákladní vozy, jako jsou např. nárazové zkoušky, by mohly být uvedeny v příloze revidované normy.

Poznatky postupně získávané při jízdních pevnostních zkouškách nákladních vozů ukazují, že je potřebné v zájmu spolehlivého fungování přepravy nákladů po železnici investovat do výzkumu dynamického chování při jízdě nákladních vozů na síti evropských železnic. Jízdní pevnostní zkoušky by se měly stát, vedle statických a nárazových zkoušek, nezbytnou součástí validačního procesu pro ověření výpočtových postupů.



Literatura

- [1] Směrnice 2001/16/ES Evropského parlamentu a Rady ze dne 19. března 2001, o interoperabilitě transevropského konvenčního železničního systému. In: *Úřední věstník Evropských společenství*. L 110, 20. 04. 2001.
- [2] Rozhodnutí komise č. 2006/861/ES ze dne 28. července 2006 o technické specifikaci pro interoperabilitu subsystému „Kolejová vozidla – nákladní vozy“ transevropského konvenčního železničního systému. In: *Úřední věstník Evropské unie*. L 344, 08. 12. 2006.
- [3] Nařízení Komise (EU) č.2013/321 ze dne 13. března 2013 o technické specifikaci pro interoperabilitu subsystému „Kolejová vozidla – nákladní vozy“ železničního systému v Evropské unii a o zrušení rozhodnutí Komise 2006/861/ES. In: *Úřední věstník Evropské unie*. L 104, 12. 04. 2013.
- [4] ČSN EN 15085-3. *Železniční aplikace – Svařování železničních kolejových vozidel a jejich částí – Část 3: Konstrukční požadavky*. Praha: ČNI, 2008.
- [5] PROVÁDĚCÍ NAŘÍZENÍ KOMISE (EU) 2019/776 ze dne 16. května 2019, kterým se mění nařízení Komise (EU) č. 321/2013, (EU) č. 1299/2014, (EU) č. 1301/2014, (EU) č. 1302/2014, (EU) č. 1303/2014 a (EU) 2016/919 a prováděcí rozhodnutí Komise 2011/665/EU, pokud jde o soulad se směrnicí Evropského parlamentu a Rady (EU) 2016/797 a provádění konkrétních cílů stanovených v rozhodnutí Komise v přenesené pravomoci (EU) 2017/1474. In: *Úřední věstník Evropské unie*. L 139 I, 27. 05. 2019.
- [6] ČSN EN 12663. *Železniční aplikace – Pevnostní požadavky na konstrukce skříní kolejových vozidel*. Praha: ČNI, 2001.
- [7] ČSN EN 12663-1+A1. *Železniční aplikace – Pevnostní požadavky na konstrukce skříní kolejových vozidel – Část 1: Lokomotivy a vozidla osobní dopravy (a alternativní metoda pro nákladní vozy)*. Praha: ÚNMZ, 2015.
- [8] ČSN EN 12663-2. *Železniční aplikace – Pevnostní požadavky na konstrukce skříní kolejových vozidel – Část 2: Nákladní vozy*. Praha: ÚNMZ, 2010.
- [9] prEN 17149-3. *Railway applications — Strength assessment of railway vehicle structures — Part 3: Fatigue strength assessment based on cumulative damage*. Brussels: CEN, 2021.
- [10] ERRI B12/RP 60. *Versuche zum Festigkeitsnachweis an Schienenfahrzeugen. Vorschriften für die Ausführung und für zulässige Beanspruchungen*. 1. Ausgabe. Utrecht: ERRI, 1995.
- [11] ERRI B12/RP 17. *Güterwagen – Versuchsprogramm für Güterwagen mit Untergestell und Wagenstrukturen aus Stahl (die für den Einbau der Automatischen Zug-Druck-Kupplung geeignet sind) und deren Drehgestelle mit stählernem Drehgestellrahmen*. 8. Ausgabe. Utrecht: ERRI, 1997.
- [12] DVS 1612. *Gestaltung und Dauerfestigkeitsbewertung von Schweißverbindungen mit Stählen im Schienenfahrzeugbau*. Düsseldorf: DVS Media GmbH, 2014.
- [13] FKM-Richtlinie. *Rechnerischer Festigkeitsnachweis für Maschinen-bauteile aus Stahl, Eisenguss- und Aluminiumwerkstoffen*. 7. überarbeitete Ausgabe. Frankfurt am Main: VDMA Verlag GmbH, 2020. ISBN 978-3-8163-0743-3.
- [14] SCHISCHKOFF, M., JOBSTFINKE, D., HECHT, M., HAGENLOCHER, S. Betriebsdaten und Simulationsergebnisse zur dynamischen Auslegung der DAK. Teil 1: Längsdynamik und Auflaufstöße. *ZEVrail*. Berlin: Georg Siemens Verlag, 2021, **145** (5), 164–171. ISSN 1618-8330.