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

ZKUŠEBNA KOLEJOVÝCH VOZIDEL A KONTEJNERŮ

CERTIFIKOVANÁ METODIKA

Metodika provozního ověření namáhání skříní a částí podvozků kolejových vozidel

Autoři:

Vypracoval Ing. Zdeněk Malkovský, Ph.D.
Spolupracoval Ing. Emanuel Mergl
Přezkoušel Josef Žák Technický vedoucí zkušební laboratoře
Schválil Ing. Zdeněk Malkovský, Ph.D. 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
3.1 Požadavky pro měření v provozu 5
3.2 Zodpovědnosti 6
4 Kategorie vozidel 6
5 Zkušební tratě 7
6 Měřené veličiny 9
6.1 Vzorkovací frekvence a filtrování měřeného signálu 9
7 Zpracování naměřených signálů namáhání 9
8 Popis uplatnění metodiky 11
9 Seznam publikací, které předcházely metodice 11

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 ověření provozního namáhání skříní kolejových vozidel.

Při vypracování metodiky se vycházelo nejen z podkladů normativního nebo doporučujícího charakteru, ale zejména ze zkušeností Zkušebny kolejových vozidel a kontejnerů VÚKV a.s. z reálných měření na různých kolejových vozidlech provedených v různých provozních podmínkách na vybraných železničních tratích SŽDC, DB Netz, ÖBB-Infrestruktur a na Železničním zkušebním okruhu Výzkumného ústavu železničního v Cerhenicích.

V normativních dokumentech je u skříní kolejových vozidel ověření provozního namáhání doporučeno, postup však není blíže specifikován. Obdobná situace je i u rámů podvozků. Měření na provozních tratích je pro rámy podvozků předepsáno, ale nejsou uvedeny bližší podmínky tohoto měření.

Předkládaná metodika popisuje zejména způsob provedení zkoušky, ale také rámcově postup vyhodnocení naměřených napětí z hlediska provozní pevnosti. Rozsah měření je závislý na typu vozidla.

2 Podklady a literatura použité pro přípravu metodiky

[1] EN 12663-1:2010+A1:2015 „Železniční aplikace – Pevnostní požadavky na konstrukce skříní 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 skříní kolejových vozidel – Část 2: Nákladní vozy“

[3] EN 13749:2011 „Železniční aplikace – Dvojkolí a podvozky – Metody specifikování požadavků na rámy podvozků“;

[4] EN 15827:2011 „Železniční aplikace – Požadavky na podvozky a pojezdy“;

[5] EN 15663:2009 „Železniční aplikace – Definice referenčních hmotností vozidla“;

[6] prEN 17149-3:2019 „Railway applications — Strength assessment of railway vehicle structures — Part 3: Fatigue strength assessment based on cumulative damage“;

[7] EN 14363:2016+A1:2018 „Železniční aplikace - Přejímací zkoušky jízdních charakteristik železničních vozidel - Zkoušení jízdních vlastností a stacionární zkoušky“;

[8] 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;

[9] Nařízení komise (EU) č. 1302/2014 ze dne 18. listopadu 2014 o technické specifikaci pro interoperabilitu subsystému kolejová vozidla – lokomotivy a kolejová vozidla pro přepravu osob železničního systému v Evropské unii

[10] EN ISO/IEC 17025:2005 „Posuzování shody – Všeobecné požadavky na způsobilost zkušebních a kalibračních laboratoří“;

[11] DVS 1612 „Gestaltung und Dauerfestigkeitsbewertung von Schweißverbindungen mit Stählen im Schienenfahrzeugbau“. DVS Media GmbH, Düsseldorf 2014;

[12] DIN-Taschenbuch 491/2 „Schienenfahrzeuge 2. Bahnanwendungen. Radsätze und Drehgestelle“. Berlin, Beuth Verlag GmbH 2014;

[13] FKM-Richtlinie „Rechnerischer Festigkeitsnachweis für Maschinenbauteile aus Stahl, Eisenguss- und Aluminiumwerkstoffen“, 6. überarbeitete Ausgabe 2003;

[14] Certifikovaná metodika VÚKV „Metodika simulačního výpočtu pevnosti skříní kolejových vozidel“

3 Výchozí podmínky, zdůvodnění metodiky

Nutnost metodiky, která popisuje ověření provozního namáhání skříní a částí podvozků kolejových vozidel vyplývá z následujících faktů:

a) Základní normativní zatížení aplikované v současné době pro dimenzování skříní kolejových vozidel je uvedeno v normách EN 12663-1 [1] a EN 12663-2 [2]. V normě EN 12663-1 v kapitole 9.2.3.4 a v normě EN 12663-2 v kapitole 9.2.3 uvádí: *„V případě, že analýza a statické zkoušky neprokázaly shodu s touto evropskou normou, nebo když v použitých dynamických vstupech existují nejistoty, lze pro stanovení únavové pevnosti použít provozní zkoušky na trati s přímým měřením provozních zatížení a s kontrolou vhodnosti pro stanovené účely. Pro zaznamenání odezvy konstrukce v odpovídajících provozních podmínkách se na důležitých místech konstrukce plně vybaveného kolejového vozidla (s normálním konstrukčním užitečným zatížením m3) musí použít tenzometry. Tato místa musí pokrývat všechny kritické oblasti v souladu s výsledky konstrukčních analýz a/nebo statických zkoušek.*

Na základě těchto měření se jako závěrečný krok kontroly vhodnosti pro stanovené účely musí podle 5.6 vyhodnotit únavová pevnost v důležitých měřicích místech a kritických oblastech.“

b) Základní normativní zatížení aplikované v současné době pro dimenzování částí podvozků kolejových vozidel je uvedeno v normě EN 13749 [3]. V kapitole 6.2.5 Traťové zkoušky se mj. uvádí: *„Pro získání platných výsledků se traťové zkoušky musí uskutečnit se zkušebním vozidlem, užitečným zatížením a na koleji s kvalitou a rychlostním profilem, které reprezentují všechny zamýšlené provozní podmínky. Jestliže okolní prostředí může ovlivnit výsledky zkoušek, musí se zkoušky vykonat za vhodných podmínek.*

POZNÁMKA 1 Cíle validace, kterých lze dosáhnout při traťových zkouškách:

- *ověření výchozích návrhových údajů týkajících se provozních podmínek a provozního obrysu (bez omezení a zjednodušení, která se vyskytují v simulacích);*
- *ověření/stanovení skutečných časových průběhů napětí (spektrum/výslednice) v měřicích místech za skutečných provozních podmínek (bez omezení a zjednodušení, která se vyskytují v simulačních konstrukčních modelech a výchozích údajích zatížení);*
- *stanovení životnosti konstrukce na základě skutečných změřených časových průběhů napětí (spektrum/výslednice) a teoretické únavové hypotézy.*

POZNÁMKA 2 Omezení traťových zkoušek:

- *zkušební program může představovat pouze malý úsek celkové provozní životnosti konstrukce podvozku;*
- *při extrapolování výsledků zkoušek na celkovou provozní životnost konstrukce podvozku jsou nevyhnutelná zjednodušení a při hodnocení výsledků se musí brát v úvahu úroveň, v jaké byl zkušební program schopen reprezentovat celkové podmínky skutečné životnosti;*
- *prognózování provozní životnosti konstrukce vychází z teoretických únavových hypotéz a proto má úroveň důvěryhodnosti vymezenou vlastní hypotézou (včetně všech nejistot v zatřídění hodnocených prvků).“*

c) V návrhu evropské normy prEN 17149-3 [6] se v kapitole 6.2 uvádí: *„For stresses derived from normative loads defined by EN 12663 for car body structures and EN 13749 for bogie frame structures a partial factor of $\gamma_L = 1,0$ is applicable.*

If the stress spectrum is derived from simulations, an appropriate partial factor γL shall be considered depending on the uncertainties of the simulation, e.g. multi-body simulation.

If the stress spectrum is derived from on track tests, an appropriate partial factor γL shall be defined to cover the uncertainties of these measurements. If the tests are:

- *made on representative track,*
- *made under normal operational conditions,*
- *made with a representative payload and*
- *have sufficient length.*

A partial factor $\gamma_L = 1,05$ is sufficient to account for all remaining uncertainties of the measurements.

NOTE 1 If the payload condition during the on-track test is the normal design payload as defined in EN 15663 and referenced in EN 12663 and EN 13749, this is regarded as a conservative approach for the payload. This also covers influences of payload changes especially at commuter services. If validated payload spectra are available, combination of measurements with different payloads levels are regarded as representative if additionally influences of payload changes are taken into account.

NOTE 2 Sufficient length of measurements is given if:

- *the total length of the measurements is at least 1/10 000 of the lifetime mileage, or*
- *the entire network of the service in question is measured 3 times, (which would be reasonable for closed networks).“*

Z výše uvedeného přehledu je patrné, že v žádné z existující nebo připravované normě nejsou dány jednoznačné podmínky pro provedení jízdních pevnostních zkoušek.

Nutnost analyzovat skutečné provozní namáhání skříní a částí podvozku v reálných podmínkách vyplývá mj. z provedených výzkumných analýz **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.**, [L3]. Na obr. 1 je uveden příklad únavové poruchy skříně nákladního vozu, kdy tyto poruchy vznikaly v provozu u jednoho dopravce, zatímco při provozu na jiných tratích u jiného dopravce ke vzniku poruch nedocházelo.

Obr. 1

3.1 Požadavky pro měření v provozu

Pro specifikaci měření namáhání skříní a dílů podvozku lze k využít některá doporučení uvedená v DIN-Taschenbuch 491/2 [12]. Program měření musí obsahovat zejména:

- Podrobná identifikace kolejového vozidla, se kterým bude měření realizováno;
- Umístění měřeného vzorku (skříň, podvozek) ve zkušební soupravě;
- Stav ložení/obsazení zkoušeného vozidla;
- Popis měřících jízd – popis tratí včetně směrových poměrů, délka měření, typ kolejí, rychlost jízdy;
- Stav vozidla;
- Poloha snímačů a typ měřené veličiny – relativní pohyby, zrychlení, mechanické napětí;
- Typ snímačů;

- Metoda vyhodnocení naměřených veličin a interpretace změřených napětí;
- Dovolené hodnoty napětí;
- Kritéria akceptace.

Způsob ložení/obsazení zkoušeného vozidla musí být doložen rozborem, který z možných druhů reálného provozního zatížení je pro měřené vozidlo nejméně příznivý. Tento požadavek vyplývá z poznatků získaných při výzkumu poruch nákladních vozů. Na obr. 2 je dvounápravový nákladní vůz, u kterého bylo zjištěno nepřípustné namáhání při jízdě v prázdném stavu. Tento rozbor je možné realizovat pomocí multibody simulací (MBS) [14].

Obr. 2

3.2 Zodpovědnosti

Měření musí provést zkušební laboratoř akreditovaná podle normy EN ISO/IEC 17025.

Akreditovaná zkušební laboratoř je zodpovědná za:

- Aplikaci měřících míst;
- Kompletaci měřícího vybavení;
- Prokabelování;
- Přípravu odborného měřícího týmu pro provedení zkoušek;
- Vyhotovení zkušebního protokolu;
- Použití kalibrovaných přístrojů.

4 Kategorie vozidel

Pro účely metodiky byla vozidla rozdělena do následující kategorií podle typu jejich provozního nasazení:

K1 – Nákladní vozy;

K2 – Vozidla pro předměstskou, meziměstskou a regionální dopravu pro rychlost do 120 km/h;

K3 – Vozidla pro dálkovou dopravu s maximální rychlostí do 160 km/h;

K4 – Vozidla pro dálkovou dopravu s maximální rychlostí vyšší, jak 160 km/h;

K5 – Vozidla městské kolejové dopravy (tramvaj, metro).

5 Zkušební tratě

Měření provozního namáhání musí pokrýt typy tratí, na kterých se předpokládá provoz zkoušeného kolejového vozidla. Dalším podpůrným kritériem je požadavek na délku zkušební jízd uvedený v návrhu evropské normy prEN 17149-3 [6]. V tabulce 2 je pro jednotlivé kategorie vozidel uveden předpokládaný proběh kilometrů za celou dobu životnosti příslušného kolejového vozidla.

Tabulka 2

Kategorie vozidla	K1	K2	K3	K4	K5
Celkový proběh (km)	6 000 000	6 000 000	9 000 000	9 000 000	-
Rozsah měření podle [6] (km)	600	600	900	900	Celá síť
Délka zkušební trati [12] (km)	-	900	1 570	2250	Celá síť

Dalším vodítkem pro výběr tratí byla Směrnice pro zkoušky na trati podle DIN EN 13749, která je obsažena v DIN-Taschenbuch 491/2 [12].

Při výběru tratí se zohlednily i požadavky uvedené v normě EN 14363 [7]. Tato norma platí pro provádění jízdně technických zkoušek, při kterých se sleduje účinek vozidla na trať a bezpečnost proti vykolejení. Pro provedení těchto zkoušek se požaduje projetí přímých úseků, úseků s velkými oblouky o poloměru větším jak 600 m, se středními oblouky o poloměru 400 až 600 m a s malými oblouky o poloměru 250 až 400 m. U oblouků se středním poloměrem 400 až 600 m musí být zajištěno měření v 50 různých úsecích. Ve zbylých úsecích je požadavek na 25 různých úseků. Dále jsou v EN 14363 [7] stanoveny požadavky na kvalitu koleje:

a) úroveň kvality *QN* 1:

   vyžaduje prohlídku úseku koleje nebo přijetí opatření pro údržbu v rámci běžného provozního časového plánu,

b) úroveň kvality QN 2:

   vyžaduje přijetí krátkodobých opatření pro údržbu,

c) úroveň kvality QN 3:

   charakterizuje úseky koleje, které nevykazují obvyklou kvalitu geometrie koleje.

Posledním požadavkem uvedeným v normě EN 14363 [7] je projíždění tratí s úklonem koleje 1:20 a 1:40.

Dalšími kritérii, kterým musí zkušební tratě vyhovět, jsou hmotnost na nápravu a maximální traťová rychlost.

Současné železniční nákladní vozy určené pro provoz v Evropě jsou konstruovány obvykle pro hmotnost 22,5 t na nápravu, některé již na 25 t na nápravu. Těmto parametrům odpovídají tratě zařazené do traťových tříd D2, D3, D4, E4 a E5. Z celkové délky 9 458 km je jen na menší části sítě SŽDC povolena hmotnost na nápravu 22,5 t. Jedná se o traťové třídy D3 a D4. Všechny tyto tratě jsou zařazeny do evropského železničního systému a tratě celostátní dráhy. Jedná se zároveň o kodifikované tratě pro kombinovanou dopravu.

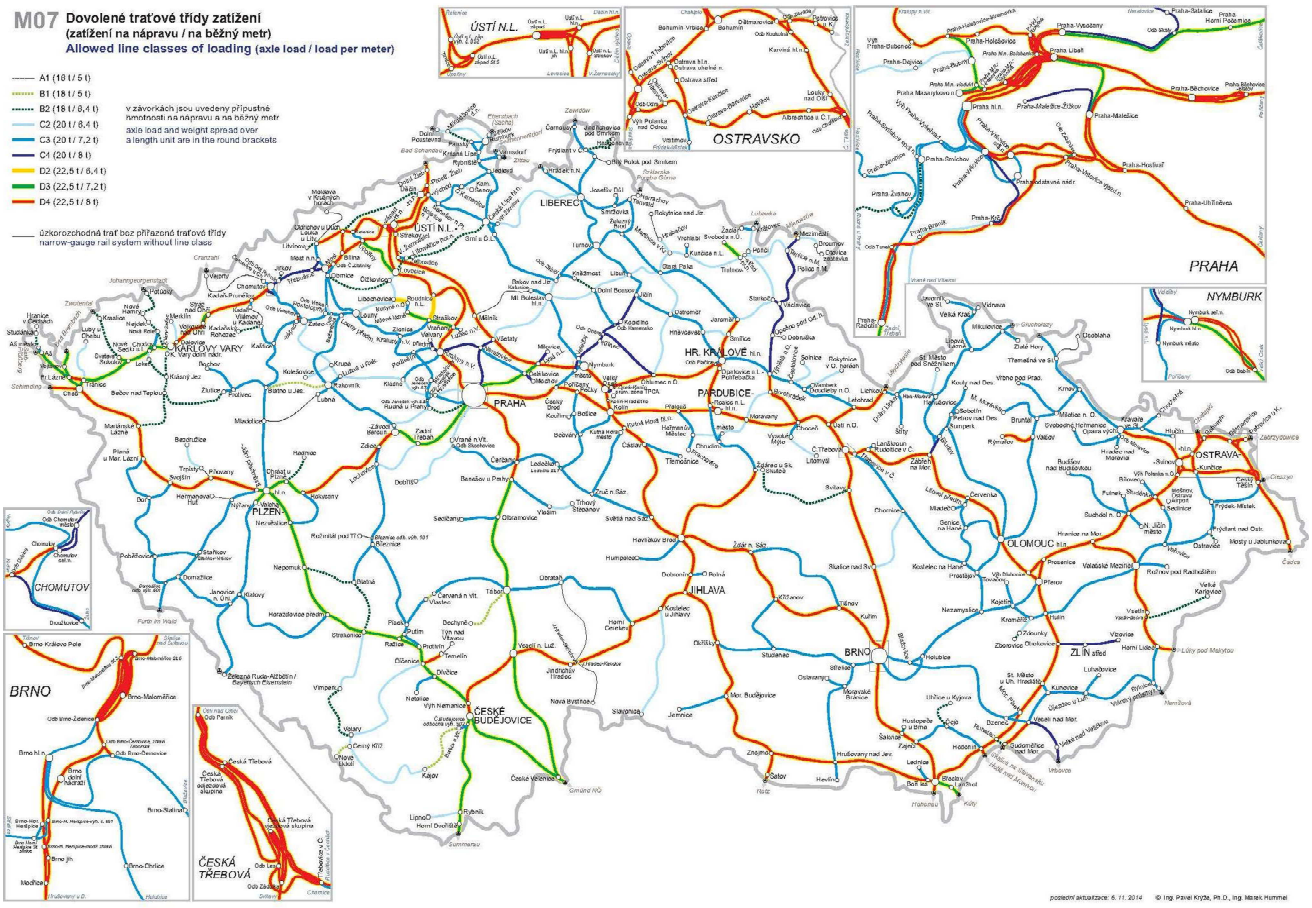
Tratě SŽDC celostátní dráhy zařazené do evropského železničního systému jsou v délce 2 594 km, Porovnáme-li tratě, na nichž je povolen provoz vozidel s hmotností na nápravu 22,5 t a rychlost jízdy alespoň 85 km/h, jedná se opět o tratě zařazené do evropského železničního systému. Tyto tratě zároveň spadají do kategorie kodifikovaných tratí.

Na základě tohoto rozboru a zkušeností zkušebny kolejových vozidel VÚKV a.s. z realizace jízdně technických zkoušek byly vytipovány pro jízdní pevnostní zkoušky vozidel K1 až K4 tratě SŽDC, které jsou uvedeny v tabulce 3 a na obr. 3.

Pro zkoušky nákladních vozů představují vytypované tratě okruh a úseky s povolenou maximální rychlostí nižší než 100 km/h tvoří jen malou část z celkové délky 771 km. Jsou to spojovací úseky mezi částmi s vyššími parametry. Prakticky na celém uvedeném okruhu je možné realizovat, po udělení výjimky od SŽDC a povolení Drážním úřadem České republiky, zkušební jízdy i s nákladními vozy konstruovanými pro maximální hmotnost na nápravu 25 t.

Tabulka 3

Číslo trati	Úsek	Délka (km)	Traťová třída	Traťová rychlost (km/h)	Kategorie vozidla
010	Praha - Česká Třebová	164	D4	125 - 160	K1-K4
260	Česká Třebová - Brno	91	D4	125 - 140	K1-K4
250	Brno - Havlíčkův Brod - Kolín	195	D4	65 - 120	K1-K4
231	Kolín - Lysá nad Labem	38	D4	105 - 120	K1-K4
072	Lysá nad Labem - Ústí nad Labem	94	D4	75 - 120	K1-K4
073	Ústí nad Labem - Děčín	28	D4	75 - 80	K1-K4
090	Děčín - Praha	129	D4	105 - 160	K1-K4
024	Ústí nad Orlicí - Lichkov	34	D4	65-100	K1-K4
270	Česká Třebová - Bohumín	304	D4	105-160	K3, K4
170	Praha - Cheb	213	D3/D4	85-160	K3, K4



Obr. 3

Pro vozidla kategorie K3 a K4 při započítání vzdálenosti Čeká Třebová – Bohumín a zpět je délka zkušebních tratí 1381 km. To se blíží požadavkům na délku trati, která je uvedena v podkladu [12].

Pro kategorii K4 není zatím pro rychlost nad 160 km/h k dispozici žádná provozní trať.

6 Měřené veličiny

Při jízdních pevnostních zkouškách je nutné měřit následující veličiny:

- Prodloužení pomocí tenzometrů;
- Pohyby podle specifikace zkoušky;
- Zrychlení;
- Rychlost jízdy;
- Směr jízdy;
- GPS-protokol;
- Projeté traťové úseky, včetně jejich délky;
- Teplota okolního prostředí;
- Datum a čas;
- mimořádné povětrnostní podmínky (déšť, sníh, bouřka apod.)

6.1 Vzorkovací frekvence a filtrování měřeného signálu

Vzorkovací frekvence musí být:

- Pro měření napětí nejméně 2000 Hz;
- Pro měření zrychlení nejméně 800 Hz;
- Pro měření pohybů nejméně 100 Hz.

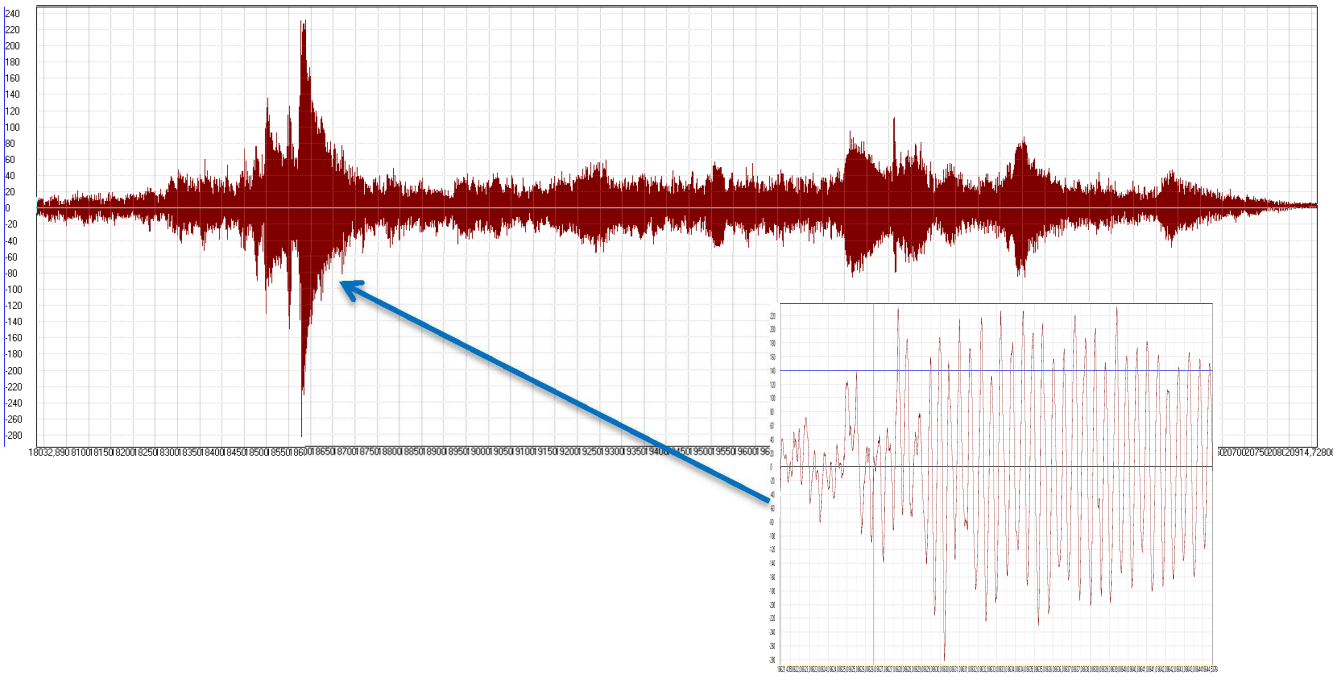
Zaznamenané signály jsou filtrovány dolnopropustným filtrem. Aplikovaná frekvence je:

- Pro měření napětí nejméně 200 Hz;
- Pro měření zrychlení nejméně 100 Hz;
- Pro měření pohybů nejméně 10 Hz.

Před vyhodnocením musí být kontrola signálů z hlediska výskytu možných výpadků signálu (drop out).

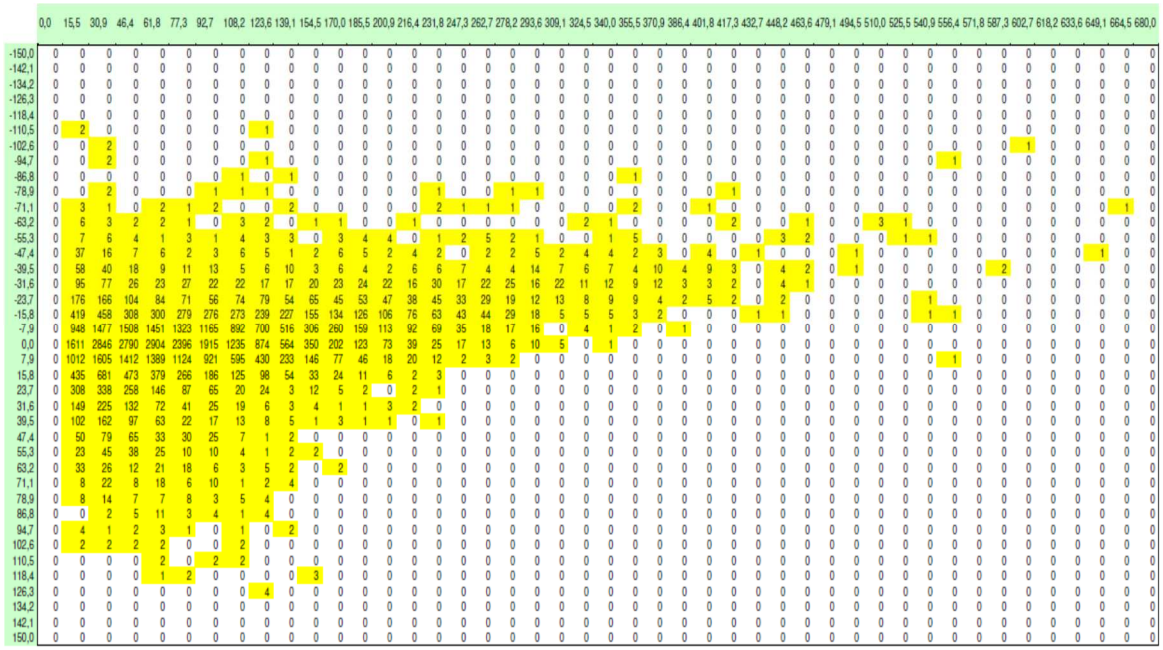
7 Zpracování naměřených signálů namáhání

Příklad naměřeného signálu na skříni nákladního vozu je uveden na obr. 4.



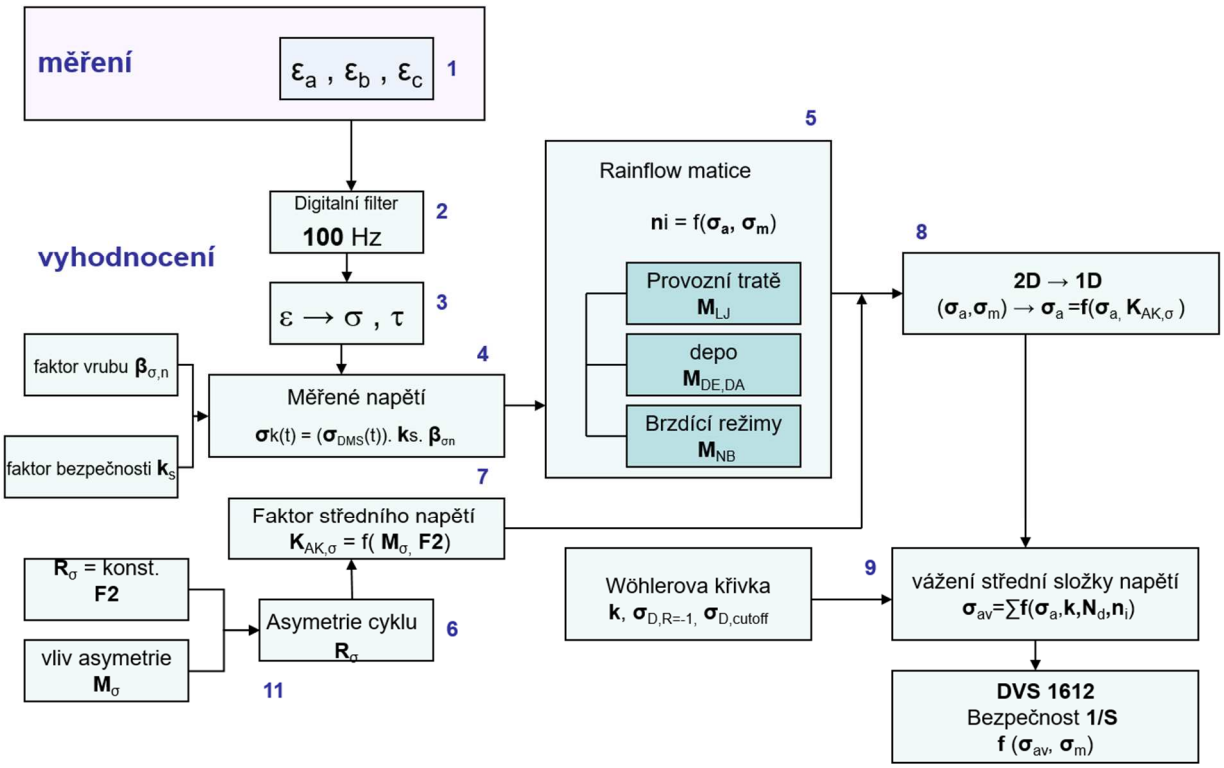
Obr. 4

Změřený signál bude vyhodnocen metodou Rainflow do matice o rozměru minimálně 32x32 (obr. 5).



Obr. 5

Obecný vývojový diagram pro zpracování naměřených signálů namáhání je uveden na obr. 6. Pro hodnocení změřených napětí a zpracovaných metodou Rainflow je možné aplikovat dva přístupy. První přístup je založen na hodnocení napětí z hlediska jmenovitých napětí a trvalé pevnosti. V tomto případě lze využít postup hodnocení podle směrnice DVS 1612 [11] nebo návrhu normy prEN 17149-3 [6]. Vývojový diagram je uveden na obr. 6

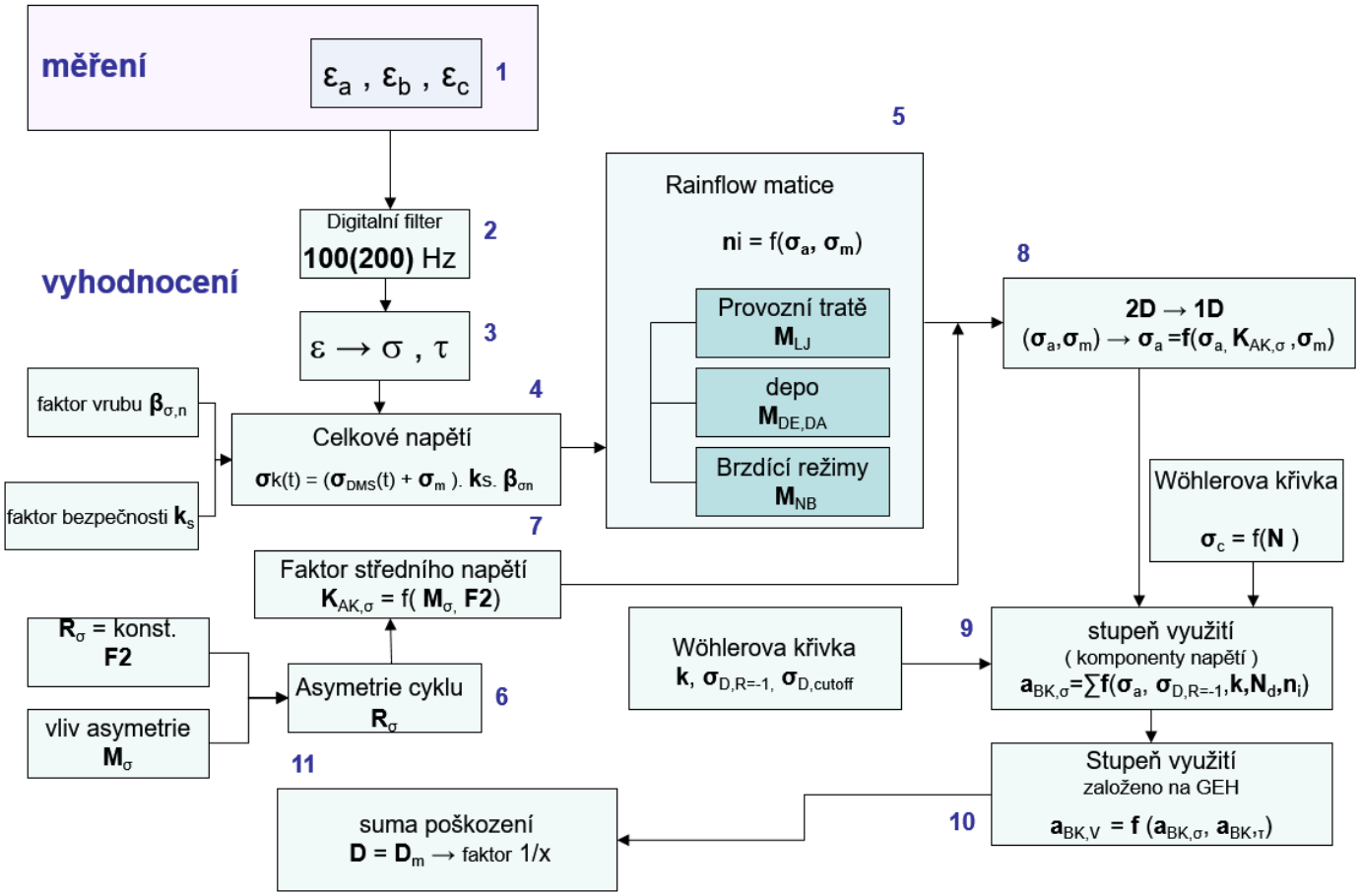


Obr. 6

První přístup je založen na hodnocení napětí z hlediska napětí ve vrubu a provozní pevnosti. V tomto případě lze využít postup hodnocení podle směrnice FKM [13] nebo návrhu normy prEN 17149-3 [6]. Vývojový diagram je uveden na obr. 7.

V tomto případě musí být zadavatelem zkoušky definováno:

- Předpokládaná životnost v letech;
- Roční proběh;
- Parametry brždění (pro kategorie K2 až K5);
- Parametry rozjezdu (pro kategorie K2 až K5).



Obr. 7

8 Popis uplatnění metodiky

Metodika je určena realizaci jízdních pevnostní zkoušek kolejových vozidel. Tyto zkoušky jsou jako možnost předepsány v normách EN 12663-1 [1], EN 12663-2 [2] pro skříně vozidel a v normě EN 13749 [3] pro rámy podvozků. Vzhledem k tomu, že na příslušné kapitoly normy EN 13749 je uveden odkaz v Technických specifikacích pro interoperabilitu TSI WAG [8] a TSI LOC @ PAS [9], je provedení jízdních pevnostních zkoušek pro rám podvozku povinné.

Uplatnění metodiky se předpokládá u všech nově schvalovaných vozidel.

9 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 rámů 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