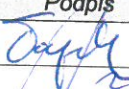
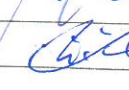


	Druh dokumentu Certifikovaná metodika	Číslo vydání 1
	Číslo 18-F 03	Ze dne 2018-09-30
Název Zkouška pro ověření bezpečnosti proti vykolejení		Strana 1 z 22

Obsah

1 Úvod.....	Strana 2
1.1 Obecně.....	2
1.2 Vykolejení - popis děje.....	2
1.3 Stávající postupy pro ověřování bezpečnosti proti vykolejení.....	4
2 Cíl metodiky.....	5
3 Pojmy a zkratky.....	5
4 Popis metodiky.....	6
4.1 Všeobecně.....	6
4.2 Zkušební podmínky.....	6
4.3 Experimentální část.....	7
4.3.1 Obecně.....	7
4.3.2 Zjištění kolových sil na zborcené koleji.....	7
4.3.3 Kolové síly na vodorovné koleji.....	14
4.3.4 Zjištění odporu podvozku proti natáčení.....	14
4.3.5 Zjištění silových charakteristik vazeb mezi vypruženými částmi vozidla.....	15
4.3.6 Vozidla s mezinápravovou / mezipodvozkovou vazbou.....	16
4.4 Výpočtová část.....	17
4.4.1 Obecně.....	17
4.4.2 Výpočtový model.....	17
4.4.3 Realizace výpočtu.....	17
4.4.4 Ověření věrohodnosti výsledků výpočtu.....	18
4.5 Vyhodnocení bezpečnosti proti vykolejení.....	19
5 Srovnání novosti postupů proti původní metodice.....	21
6 Popis uplatnění certifikované metodiky.....	21
7 Ekonomické aspekty.....	21
8 Seznam použité související literatury.....	21
9 Seznam publikací, které předcházely metodice.....	22
10 Jména oponentů.....	22

Činnost	Titul, jméno a příjmení	Útvar	Datum	Podpis
Vypracoval	Ing. Jan Čapek, Ph.D.	3100	2018-09-30	
Uvolnil	Ing. Miroslav Bakeš	3010	2018-09-30	
Schválil	Josef Žák	3100	2018-09-30	
Rozdělovník	Ministerstvo dopravy, VÚKV a.s., oponenti			

	Druh dokumentu	Certifikovaná metodika	Číslo vydání	1
	Číslo	18-F 03	Ze dne	2018-09-30
	Název	Zkouška pro ověření bezpečnosti proti vykolejení	Strana	2 z 22

1 Úvod

1.1 Obecně

Bezpečnost proti vykolejení musí být u každého kolejového vozidla zaručena. V EU jsou požadavky na prokázání bezpečnosti vozidel proti vykolejení obsaženy v technických specifikacích pro interoperabilitu TSI [1], [2], resp. v navazujících normativních dokumentech – zejména v evropské normě EN 14363 [3]. Prokázání bezpečnosti proti vykolejení je vyžadováno ve dvou úrovních:

1. Bezpečnost proti vykolejení při jízdě na zborcené koleji – tzv. kvazistatická
2. Součást jízdní bezpečnosti posuzované při traťových (jízdních) zkouškách

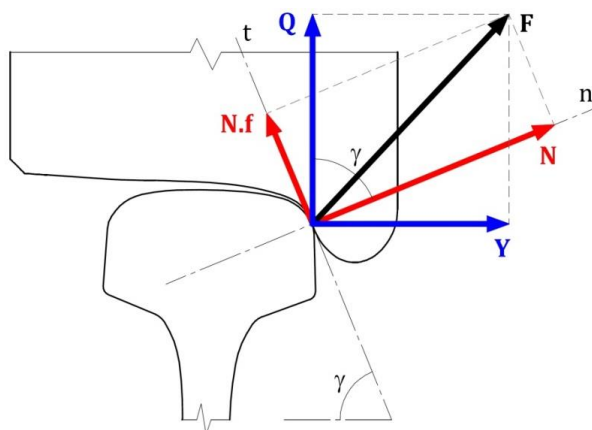
Prvním stupněm je prokázání bezpečnosti proti vykolejení za kvazistatických podmínek, což je jedna z podmínek nutných pro udělení povolení jízdy vozidla na trati (a tedy musí být prokázána již před započítáním jízdních zkoušek). S určitou mírou zjednodušení jsou na speciálním zkušebním zařízení simulovány z hlediska bezpečnosti proti vykolejení kritické podmínky na trati. Ověření se děje za kvazistatických podmínek, tedy děje jsou dostatečně pomalé, aby byl vyloučen vliv dynamických účinků.

Prokázání jízdní bezpečnosti je pak prováděno během jízdy vozidla na reálné trati, rozsah a parametry zkušebních jízd jsou definovány tak, aby bylo pokryto co nejvíce stavů, které se v provozu vozidla mohou vyskytnout. Hodnocení bezpečnosti vozidla je pak předmětem statistického vyhodnocení časových záznamů měřených veličin. Do vyhodnocení již vstupuje dynamické chování vozidla.

Předmětem této metodiky je ověřování bezpečnosti proti vykolejení za kvazistatických podmínek. Postup obsažený v této metodice pak odstraňuje nedostatky metod současných.

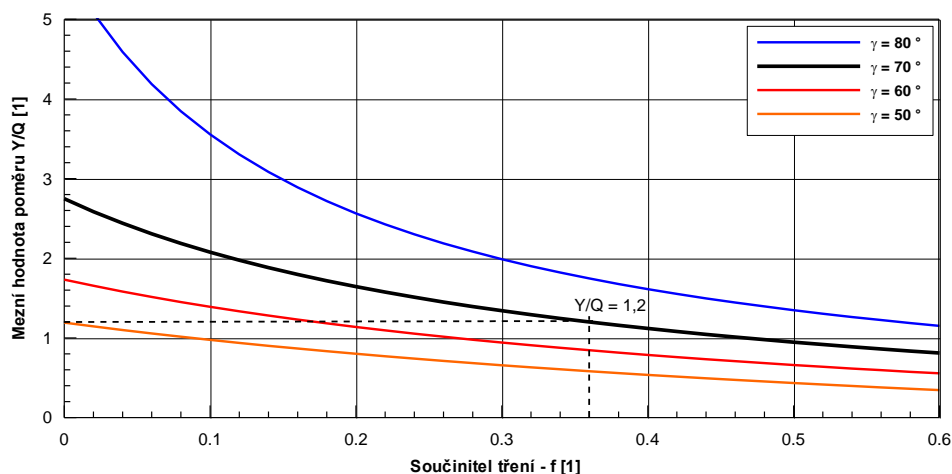
1.2 Vykolejení - popis děje

K vykolejení šplháním okolku dochází tehdy, jestliže se účinkem vnějších sil dotkový bod mezi kolejnicí a nabíhajícím kolem přesune na okolek a nastane šplhání kola (jeho zvedání vůči kolejnici). Jestliže účinek vnějších sil je intenzivní a trvá dostatečně dlouho, vyšplhá kolo svým okolkem na temeno kolejnice a nastane vykolejení. K tomuto stavu může dojít, pokud jsou splněny podmínky dané parametry vozidla, koleje, okolí, rychlostí jízdy apod. Stav během vykolejení lze popsat silovými poměry v kontaktu kolo-kolejnice. Na obr. 1 jsou zobrazeny síly působící na okolek kola, které se nachází na mezi vykolejení. Dotková rovina proložená kontaktem kolo-kolejnice svírá vůči vodorovné rovině úhel γ . Na kolmici k dotkové rovině působí v dotkovém bodě kola a kolejnice normálová síla N . V dotkové rovině pak působí tečná (skluzová, třecí) síla o velikosti $N \cdot f$, kde f je součinitel tření mezi kolem a kolejnicí. Výslednou silou, působící na kolo, je síla F . Tato výsledná síla může být rozložena na svislou (kolovou) sílu Q a příčnou (vodicí) sílu Y . Zatímco tedy síly N a $N \cdot f$ jsou tak složkami výsledné síly F v souřadném systému dotkového bodu, vodící Y a kolovou Q sílu je možné měřit při jízdě vozidla v koleji prostřednictvím např. měřicích dvojkolí, nebo snímačů na kolejnicích.



Obr. 1 Silové poměry na okolkou kola na mezi vykolejení


Síly Q a Y je možné dle obr. 1 vyjádřit funkcí normálové síly N , součinitele tření a úhlu γ (v tomto případě je úhel roven úhlu sklonu okolku). Vydělením takto vyjádřených sil Q a Y dostáváme tzv. Nadalův vztah, jenž definuje kritický poměr Y/Q v závislosti na velikosti součinitele tření f v kontaktu kolo-kolejnice a úhlu sklonu okolku γ . Tato závislost je pro úhly sklonu okolku 50° až 80° graficky znázorněna na obr. 2. Při výpočtu mezní hodnoty poměru Y/Q se běžně používá hodnota součinitele tření $f = 0,36$; pro dnes běžnou hodnotu úhlu sklonu okolku $\gamma = 70^\circ$ pak vychází hodnota kritického poměru $(Y/Q)_{\text{lim}} = 1,2$.



Obr. 2 Mezní hodnota poměru Y/Q v závislosti na součiniteli tření f pro různé úhly sklonu okolku γ

Za podmínku bezpečného průjezdu vozidla obloukem je považována situace, kdy skutečný poměr Y/Q na nabíhající kole během průjezdu je menší než limitní hodnota. Z toho přímo vyplývá, že faktory, které zvyšují velikost vodící síly na nabíhající kole, nebo snižují velikost svíslé kolové síly na tomto kole, zvyšují riziko vykolejení. Významný vliv mají tyto parametry:

- Hlavní rozměrové parametry vozidla
- Hmotnostní parametry vozidla
- Zkrutná tuhost vozidla (na rozvoru podvozku a na vzdálenosti podvozků)
- Odpor podvozku proti natáčení
- Tuhost vedení dvojkolí (podélná, příčná)

	Druh dokumentu	Certifikovaná metodika	Číslo vydání	1
	Číslo	18-F 03	Ze dne	2018-09-30
	Název	Zkouška pro ověření bezpečnosti proti vykolejení	Strana	4 z 22

1.3 Stávající postupy pro ověřování bezpečnosti proti vykolejení

V současnosti jsou normou EN 14363 [3] definovány tři metody pro prokázání bezpečnosti vozidla proti vykolejení za kvazistatických podmínek.

První metoda je založena na navození situace vysokého rizika vykolejení v podmínkách průjezdu vozidla obloukem se zborcením (tedy s definovanou nerovností, která vyvodí odlehčení nabíhajícího kola). Měřením se zjišťuje velikost vyšplhání kola.

Druhá metoda je založena přímo na stanovení poměru Y/Q , kde hodnoty sil Y a Q se stanovují samostatnými zkouškami. Zjištěný poměr Y/Q je pak porovnán s mezní hodnotou.

Třetí metoda je založena na zjištění odlehčení ΔQ na zkušebním zborcení koleje a momentu odporu podvozku proti natočení. Ani jeden z těchto dvou parametrů nesmí překročit limitní hodnotu. Třetí metoda je co do provedení nejjednodušší, ovšem je nejméně vzdálená reálné situaci, tedy průjezdu vozidla obloukem. Z toho důvodu je její použití limitováno pouze na konvenční vozidla, její nasazení je např. vyloučeno pro vozidla članková. Jedná se také o metodu nejkonzervativnější.


Rekapitulace zkušebních metod:

1. Metoda 1 – jedná se o průjezd vozidla speciálním obloukem o poloměru 150 m s definovaným zborcením (nabíhající kolo je vlivem zborcení odlehčeno), vozidlo je rovněž zkrouceno podložkami v obou stupních vypružení
2. Metoda 2 – jedná se o průjezd vozidla nepřevýšeným obloukem o poloměru $R = 150$ m (pro stanovení sil Y) a zjištění odlehčení na zkušebním zborcení koleje (pro stanovení sil Q) pomocí zkušebního stavu
3. Metoda 3 – již bez průjezdu vozidla obloukem, oddělené vyšetření odlehčení na zkušebním zborcení koleje (stanovení sil Q) a momentu odporu podvozku proti natáčení (náhrada za síly Y), oboje zkoušky se provádějí na zkušebních stavech

Použití těchto metod je spojeno s následujícími komplikacemi:

- Metoda 1 vyžaduje použití speciálního oblouku definovaných parametrů, tyto oblouky jsou k dispozici pouze v areálu několika zkušeben v Evropě (s tím souvisí značné náklady z důvodu přesunu zkoušeného vozidla), dále je vyžadováno měření sil Q a Y , což klade požadavky na další nákladné měřicí vybavení a vozidlo je potřeba před provedením zkoušky zkroutit vkládáním podložek do vypružení
- Metoda 2 vyžaduje použití nepřevýšeného oblouku definovaného poloměru. Tyto oblouky se sice sporadicky vyskytují v síti železničních tratí, ale problémem je jejich kvalita (dodržení požadavků na kvalitu geometrické polohy koleje), nutnost měření sil Q a Y přímo na zkoušeném vozidle a v neposlední řadě komplikace spojené s potřebou jízdy neschváleného vozidla na železniční síti. Prakticky se tak měření provádí pouze ve speciálních měrných obloucích v areálu několika zkušeben v Evropě. S tím souvisí vyšší náklady na provedení zkoušek.
- Výsledky měření metodou 1 a 2 jsou velice výrazně zatíženy vnějšími vlivy – především součinitelem tření kolo-kolejnice, který silně závisí na atmosférických a povětrnostních podmínkách. V normě EN 14363 [3] jsou definovány poměrně náročné požadavky na velikost tření při zkoušce, velikost dosahovaného tření při zkoušce se musí dokumentovat. S tím souvisí nutnost opakování zkoušek z důvodu nedodržení podmínek a jejich obtížné časové plánování.
- Metoda 3 – tím, že je zcela vyloučen průjezd vozidla obloukem, nejsou postihnuty některé parametry vozidla, které mají vliv na bezpečnost proti vykolejení (např. podélná a příčná tuhost ve vedení dvojkolí). Limitní hodnoty jsou z toho důvodu nastaveny nejkonzervativněji a použití metody je limitováno pouze pro vybrané typy vozidel.

Tato metodika je výstupem řešení projektu TH01010529 „Pokročilé postupy stacionárních zkoušek kolejových vozidel“.

	Druh dokumentu	Certifikovaná metodika	Číslo vydání	1
	Číslo	18-F 03	Ze dne	2018-09-30
	Název	Zkouška pro ověření bezpečnosti proti vykolejení	Strana	5 z 22

2 Cíl metodiky

Předložená metodika odstraňuje výše uvedené nedostatky a stanovuje nový postup při ověřování bezpečnosti kolejového vozidla proti vykolejení.

Níže uvedený nový postup má ve srovnání s dosud praktikovanými postupy – viz kap. 1.3 – tyto výhody:

- umožňuje zjistit kvazistatickou bezpečnost proti vykolejení vozidla zkouškou v libovolném místě, kde se vozidlo nachází (oproti metodě 1 a 2 podle [3], resp. [4]),
- činí provedení zkoušek nezávislým na počasí v době konání zkoušky, čímž zjednodušuje plánování zkoušek (oproti metodě 1 a 2),
- zjednodušuje a snižuje náklady na provedení zkoušek (oproti metodě 1 a 2),
- zjednodušení zkoušek nevyvolává takové požadavky na konzervativní přístup k hodnocení výsledků (oproti metodě 3)
- umožňuje efektivně ověřit kvazistatickou bezpečnost proti vykolejení vozidel jak s normálním evropským rozchodem, tak i s jiným než normálním rozchodem (oproti metodě 1, 2 a 3),
- za dodržení určitých podmínek umožňuje zjistit kvazistatickou bezpečnost proti vykolejení vozidla před jeho dokončením.


3 Pojmy a zkratky

Pojmy:

Jsou vysvětleny dále v textu této zkušební metodiky.

Zkratky:

BPV	bezpečnost proti vykojení
ČSN	česká technická norma
EN	evropská norma
LOC&PAS TSI	technická specifikace pro interoperabilitu subsystému „Kolejová vozidla – lokomotivy a kolejová vozidla pro přepravu osob“ transevropského konvenčního železničního systému
WAG TSI	technická specifikace pro interoperabilitu subsystému "Kolejová vozidla – nákladní vozy" transevropského konvenčního železničního systému
MBS	Multi body system

	Druh dokumentu	Certifikovaná metodika	Číslo vydání	1
	Číslo	18-F 03	Ze dne	2018-09-30
	Název	Zkouška pro ověření bezpečnosti proti vykolejení	Strana	6 z 22

4 Popis metodiky

4.1 Všeobecně

Ověření kvazistatické bezpečnosti proti vykolejení vozidla podle této metodiky sestává z experimentální a výpočtové části. Hodnotícím kritériem je poměr sil (Y/Q), který je vyhodnocen pro každé kolo zkoušeného vozidla.

Experimentální část je provedena za účelem stanovení:

1. Minimální kolové síly $Q_{jk,min}$ vstupující do vztahu (3) pro hodnocení bezpečnosti proti vykolejení
2. Parametrů ovlivňujících velikost vodicích sil v nepřevýšeném oblouku (vodicí síly jsou následně určeny výpočtem dle kap. 4.4):
 - a. Kolových sil na vodorovné koleji Q_{0jk}
 - b. Odporu podvozku proti natáčení
 - c. Charakteristik vypružení vozidla v podélném a příčném směru

Cílem výpočtové části je zjištění vodicích sil Y vystupujících ve vztahu pro určení bezpečnosti proti vykolejení (3). Výpočtem je simulován průjezd zkoušeného vozidla pomalou rychlostí (10 km/h) nepřevýšeným obloukem o poloměru R_{min} .

4.2 Zkušební podmínky


Obecně se musí zkušební podmínky stanovit pro nejhorší případ z hlediska bezpečnosti proti vykolejení.

Zkoušené vozidlo musí být v dokončeném stavu.

Vozidlo se musí zkoušet v prázdném stavu. Jestliže je vypružení vozidla nelineární, musí se vozidlo zkoušet v tom stavu ložení, který je s přihlédnutím na tuhost vypružení nejhorší z hlediska bezpečnosti proti vykolejení.

V případě vozidel se vzduchovým vypružením se zkouší případy s napuštěnými i vypuštěnými vzduchovými pružinami. U napuštěných vzduchových pružin je zkouška provedena se zapojeným vyrovnávacím systémem. Musí se prošetřit vliv doby odezvy vyrovnávacího systému.

V případě vozidlových souprav, u kterých má způsob spojení sousedních vozidel vliv na výsledek zkoušky bezpečnosti proti vykolejení, není možné zkoušet jednotlivá vozidla samostatně (např. v případě, kdy jsou skříňové sousedních vozidel uloženy na společném podvozku).

	Druh dokumentu	Certifikovaná metodika	Číslo vydání	1
	Číslo	18-F 03	Ze dne	2018-09-30
	Název	Zkouška pro ověření bezpečnosti proti vykolejení	Strana	7 z 22

4.3 Experimentální část

4.3.1 Obecně

Experimentální část je prováděna na nepohyblivém se vozidle s využitím vhodných zkušebních stavů.

4.3.2 Zjištění kolových sil na zborcené koleji

Výsledkem zkoušky jsou pro všechna kola zkoušeného vozidla hodnoty minimálních kolových sil $Q_{jk,min}$ na zkušebním zborcení koleje a hodnoty kolových sil na vodorovné koleji Q_{0jk} .

Zkouška je provedena dle EN 14363, metody 2 pro určení bezpečnosti proti vykolejení, části měření poklesu svislé kolové síly na zkušebním stavu, který simuluje zborcení koleje. V EN 14363 jsou uvedeny vztahy pro výpočet zkušebních zborcení, které jsou odvozeny z analýzy geometrických parametrů koleje na evropské železniční síti s normálním rozchodem 1435 mm. Pro tratě s jiným rozchodem a/nebo pro jiná teritoria musí být parametry do vztahů pro zkušební zborcení stanoveny dle parametrů infrastruktury.

Zkouška je provedena s využitím zkušebního stavu, kterým lze simulovat zborcení koleje, spojitě měřit kolové síly a velikost zborcení. Například pomocí ve svislém směru pohyblivých kolových podpěr, které podpírají jednotlivá kola zkoušeného vozidla. Prostřednictvím pohybů kolových podpěr je vozidlo zkrucováno. Zkušební zařízení měří spojitě svislé zdvihy kolových podpěr a kolové síly všech kol zkoušeného vozidla. Z naměřených signálů jsou vykresleny digramy kroucení, tj. závislosti kolových sil na zborcení koleje, viz obr. 3. Z těchto digramů jsou postupem dle EN 14363 vyhodnoceny minimální kolové síly $Q_{jk,min}$ a kolové síly na vodorovné koleji Q_{0jk} .

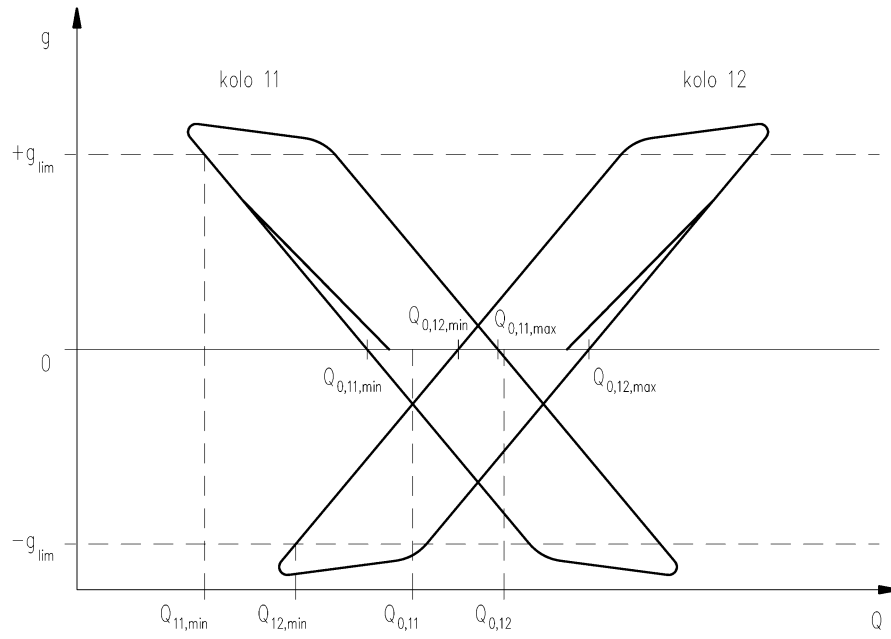
Obecně jsou definovány tři typy zkušebního zborcení:

- zborcení na bázi rovné rozvoru podvozku (hodnota zborcení je značena g^+),
- zborcení na bázi rovné vzdálenosti otočných čepů (hodnota zborcení je značena g^*)
- kombinované zborcení složené ze zborcení předchozích dvou typů.

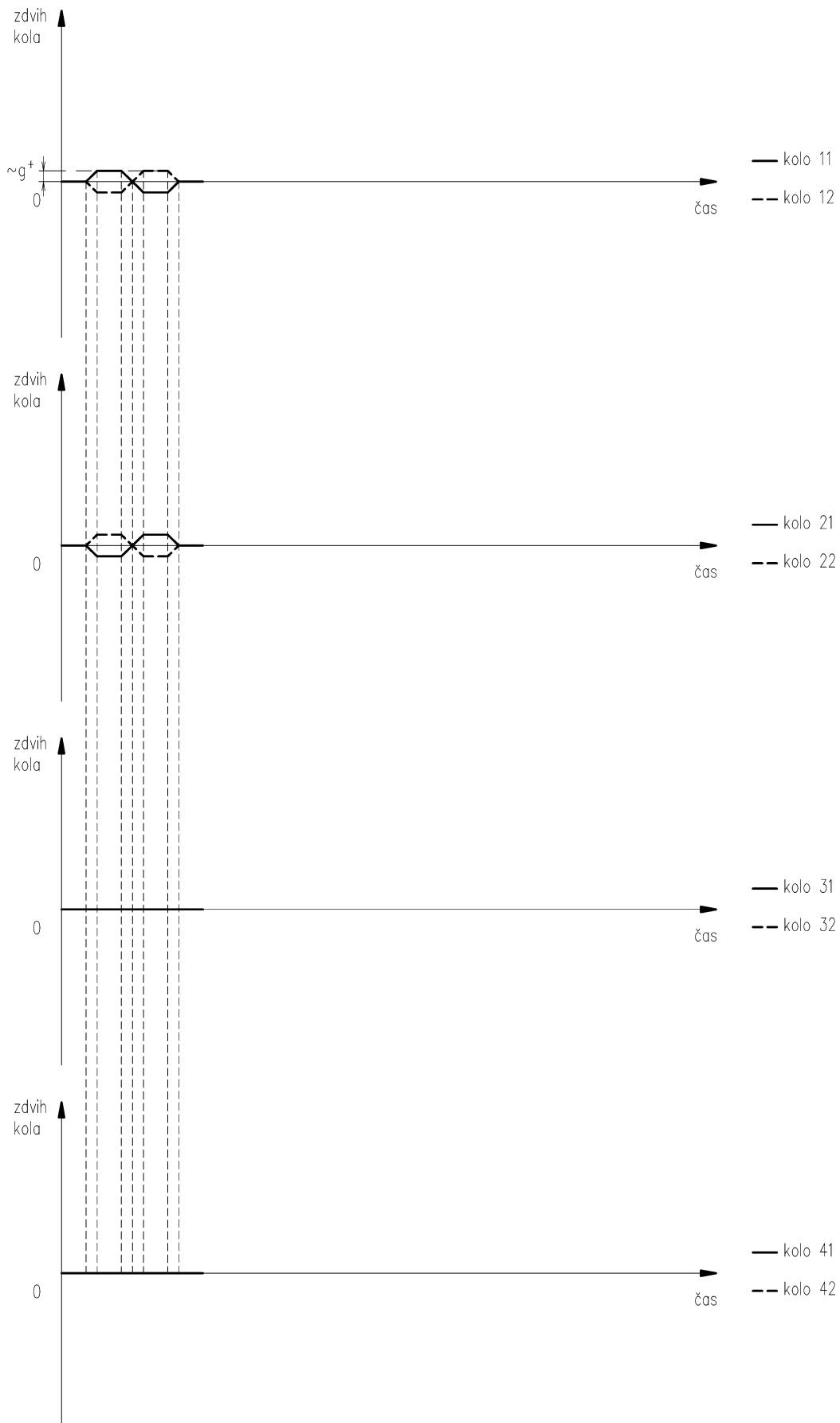
Při zkoušce se provedou všechny tyto typy zborcení. To vede pro čtyřnápravové podvozkové vozidlo dle obr. 13 na 5 případech zkrucování, jejichž popis je uveden v tab. 1. Při zkoušce je nutné, aby pohyby všech kol zkoušeného vozidla byly vyvozovány synchronně. Příklady časových průběhů zdvihů jednotlivých kol jsou pro jednotlivé typy zborcení uvedeny na obr. 4 až 8.

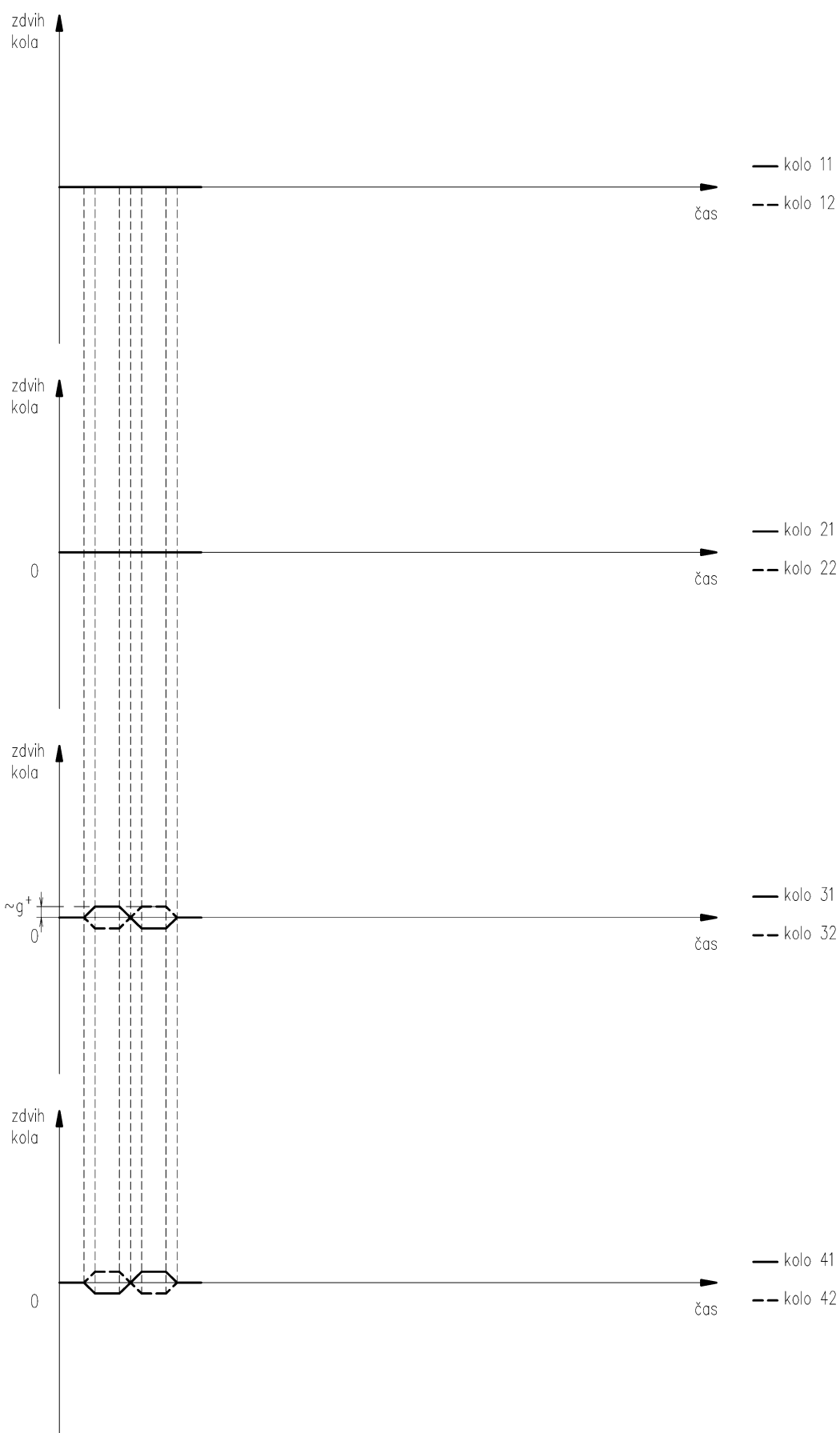
Tab. 1 Popis jednotlivých typů zkrucování (čtyřnápravové vozidlo)

Označení	Popis
1	Zkrucování podvozku - pomocí pohybů kol 11, 12, 21, 22
2	Zkrucování podvozku - pomocí pohybů kol 31, 32, 41, 42
3	Zkrucování vozidla - pomocí pohybů všech kol
4	Kombinace zkrucování vozidla pomocí pohybů všech kol a zkrucování podvozku pomocí pohybů kol 11, 12, 21, 22
5	Kombinace zkrucování vozidla pomocí pohybů všech kol a zkrucování podvozku pomocí pohybů kol 31, 32, 41, 42

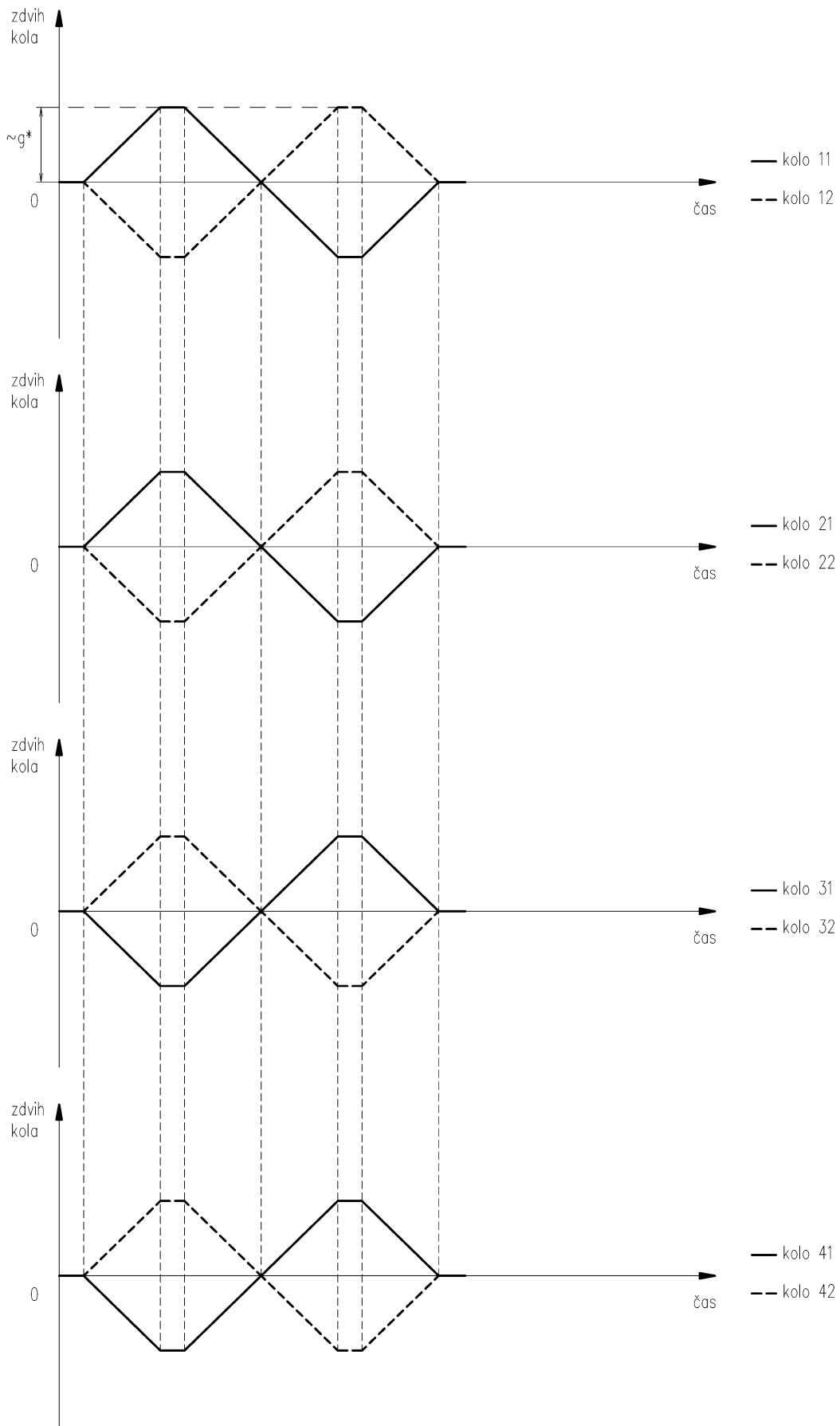


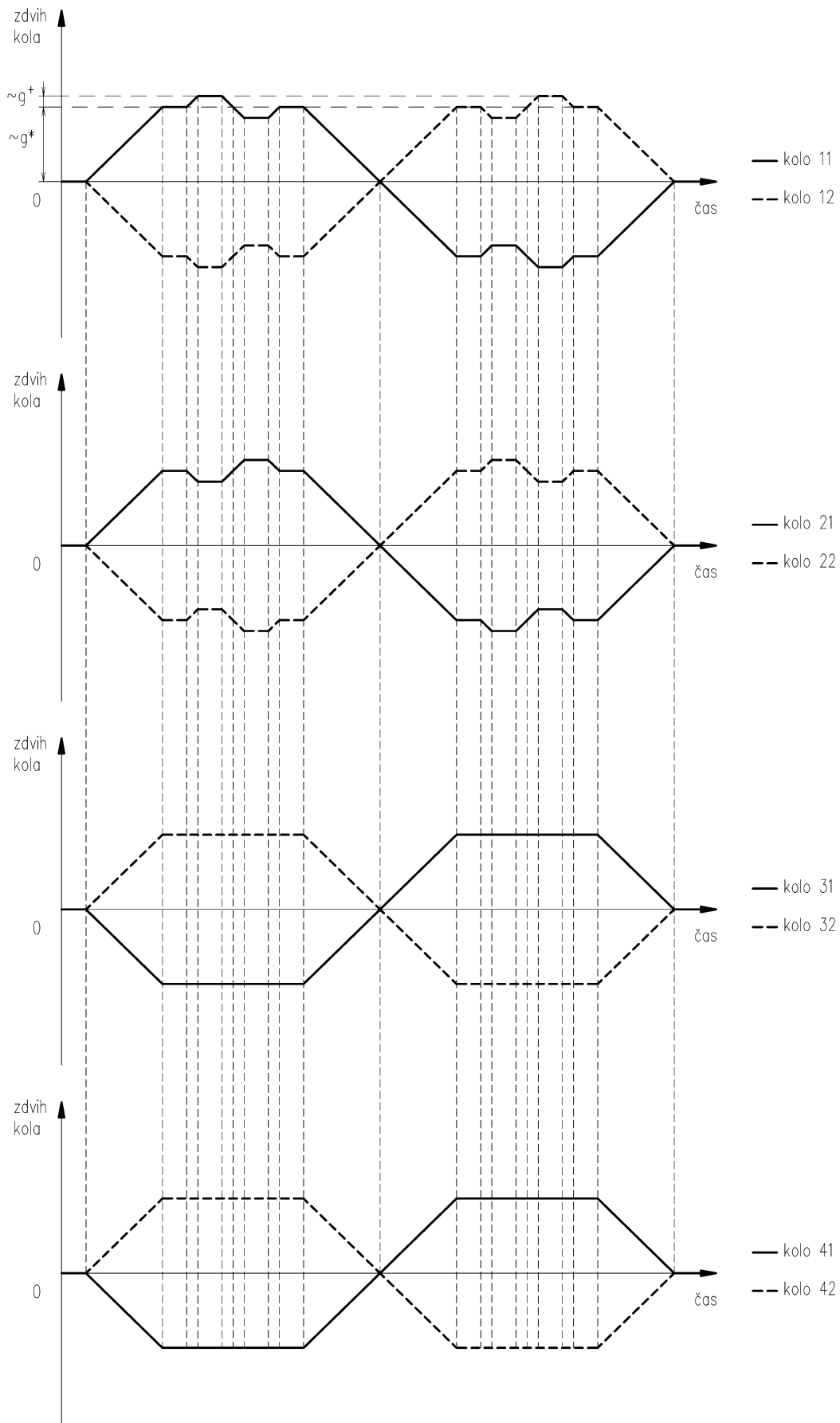
Obr. 3 Diagram kroucení

**Obr. 4** Zborcení na rozvoru podvozku (podvozek 1)

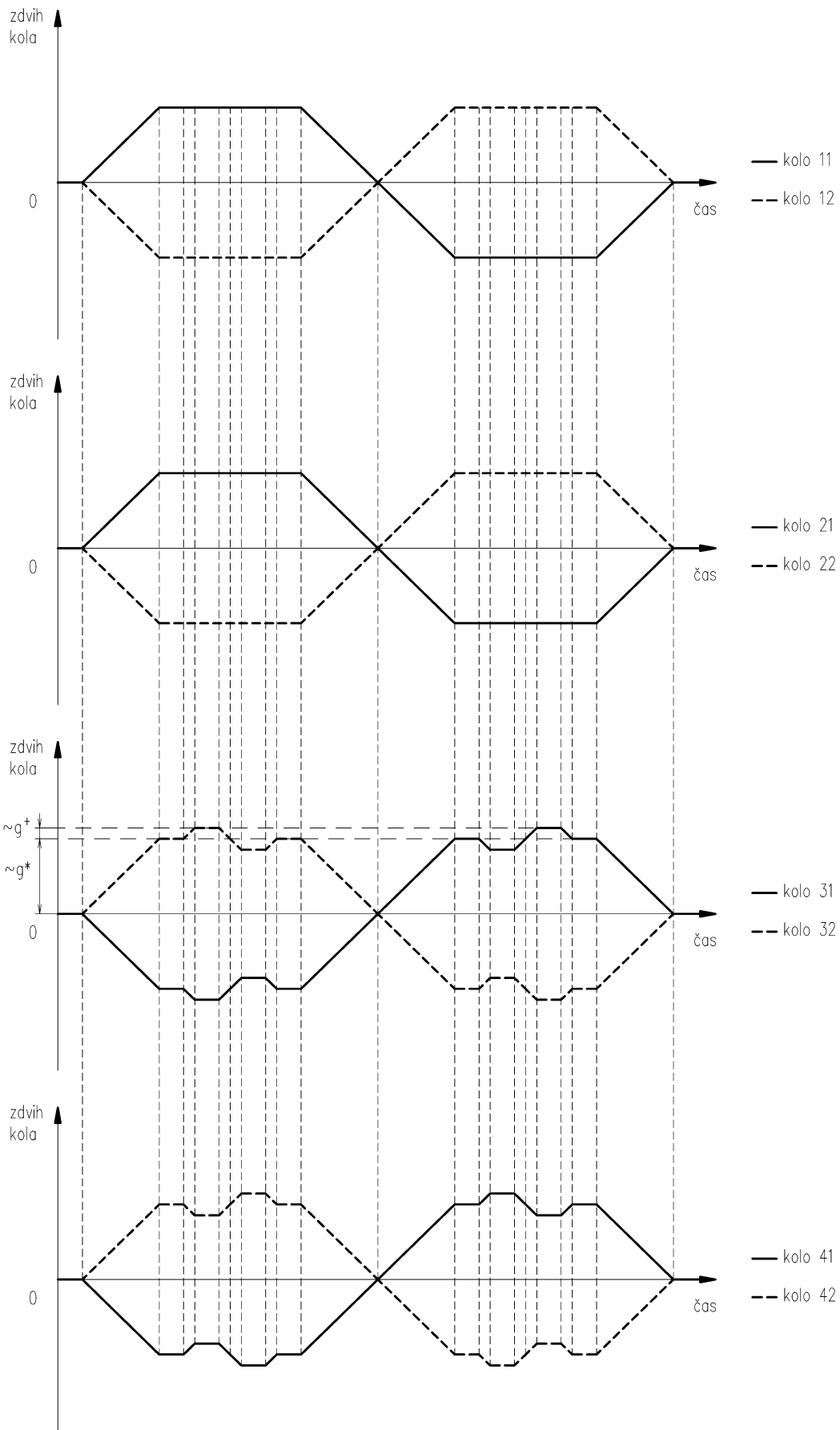


Obr. 5 Zborcení na rozvoru podvozku (podvozek 2)

**Obr. 6** Zborcení na vzdálenosti podvozků



Obr. 7 Kombinace zborcení (se zborcením na rozvoru podvozku 1)



Obr. 8 Kombinace zborcení (se zborcením na rozvoru podvozku 2)

4.3.3 Kolové síly na vodorovné koleji

Kolové síly se zjistí z výsledných diagramů kroucení dle 4.3.2 na základě kolových sil při zborcení 0.

4.3.4 Zjištění odporu podvozku proti natáčení

Zkouška je prováděna u podvozkových vozidel.

Výsledkem zkoušky je závislost momentu odporu podvozku proti natočení M_z na úhlu natočení podvozku $\Delta\psi$.

Zkouška je provedena s využitím zkušebního stavu, který natáčí podvozkem zkoušeného vozidla kolem jeho svislé osy a spojitě měří úhel natočení $\Delta\psi$ a moment odporu podvozku M_z .

Zkouška se provede v obou směrech natočení až do úhlu natočení podvozku $\Delta\psi_{\max}$:

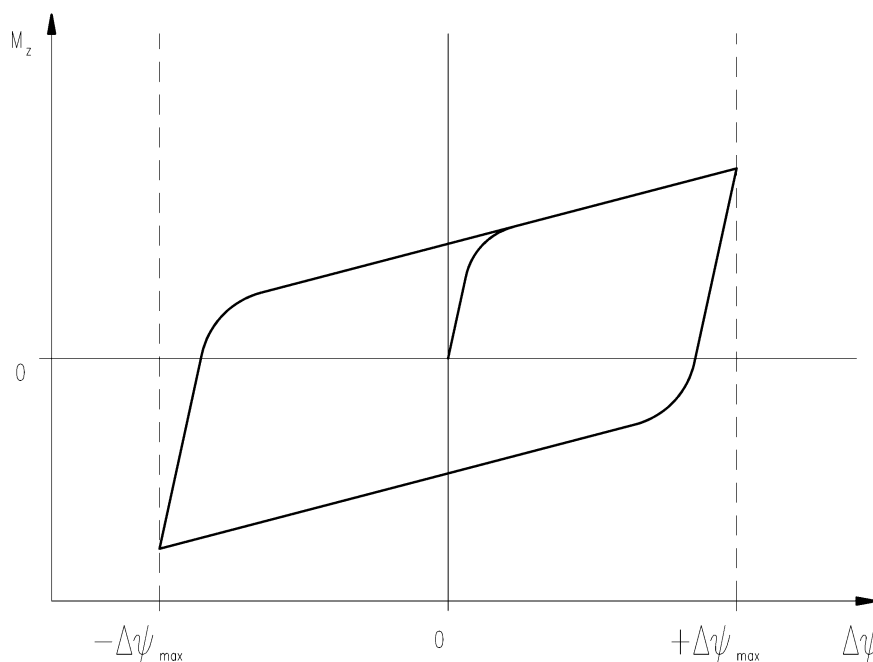
$$\Delta\psi_{\max} = \frac{2a^*}{2R_{\min}} + \frac{\delta}{2a^+} \quad (1)$$

kde:


R_{\min} poloměr oblouku, ve kterém jsou postupem dle kap. 4.4 zjišťovány hodnoty vodících sil; pro tratě s normálním rozchodem je $R_{\min} = 150$ m; pro tratě s jiným rozchodem musí být hodnota R_{\min} stanovena dle parametrů infrastruktury

δ očekávané příčné posunutí dvojkolí v oblouku o poloměru R_{\min} v důsledku vůle dvojkolí-kolej

Zkouška musí být provedena tak, aby byla získána uzavřená hysterezní smyčka (viz obr. 9).



Obr. 9 Příklad naměřené uzavřené hysterezní smyčky

	Druh dokumentu	Certifikovaná metodika	Číslo vydání	1
	Číslo	18-F 03	Ze dne	2018-09-30
	Název	Zkouška pro ověření bezpečnosti proti vykolejení	Strana	15 z 22

Rychlost natáčení podvozku při zkoušce musí odpovídat rychlosti natáčení podvozku při vjíždění zkoušeného vozidla do oblouku o poloměru R_{\min} rychlostí jízdy 10 km/h. Rychlost natáčení během zkoušky je dána vztahem:

$$\psi = \frac{10}{3.6 \cdot 2R_{\min}} \quad (2)$$

4.3.5 Zjištění silových charakteristik vazeb mezi vypruženými částmi vozidla

Výsledkem zkoušky jsou závislosti sil ve vazbách na vzájemných pohybech vypružení vozidla. U vozidel s jedním stupněm vypružení se zjišťují charakteristiky vazeb v podélném a příčném směru. U vozidel se dvěma stupni vypružení se zjišťují u prvního stupně vypružení charakteristiky vazeb v podélném a příčném směru, u druhého stupně vypružení charakteristiky pouze v příčném směru.

Zkouška je provedena s využitím zkušebního stavu, který vyvolává v požadovaném směru silové účinky na vazby mezi vypruženými částmi vozidla a spojitě měří vzájemné pohyby dx , dy a sílu F_x F_y nutnou pro dosažení tohoto pohybu. Při provádění zkoušky je důležité vyvodit pohyb (deformaci vypružení) pokud možno pouze v požadovaném směru a co nejvíce potlačit případné parazitní vlivy. Zkouška je provedena na vozidle stojícím na vodorovné koleji.

V případě čtyřnápravového vozidla se dvěma dvounápravovými podvozky se dvěma stupni vypružení se zkouška provede takto:

První stupeň vypružení, podélný směr:

První stupeň vypružení je deformován působením silou v podélném směru na obě ložiskové skříně jednoho dvojkolí tak, aby deformace v obou prvcích prvního stupně vypružení byly shodné. Místa působení vnějších sil jsou v příčném a svislém směru co nejbližší pružicím prvkům prvního stupně vypružení. Vnější působící síly a pohyby ložiskových komor vůči rámu podvozku jsou měřeny.

První stupeň vypružení, příčný směr:

První stupeň vypružení je deformován působením silou v příčném směru na rám podvozku u obou dvojkolí tak, aby deformace vypružení obou dvojkolí byly shodné. Místa působení vnějších sil jsou v podélném a svislém směru co nejbližší pružicím prvkům prvního stupně vypružení. Vnější působící síly a pohyby podvozku vůči ložiskovým komorám jsou měřeny.

Druhý stupeň vypružení, příčný směr:

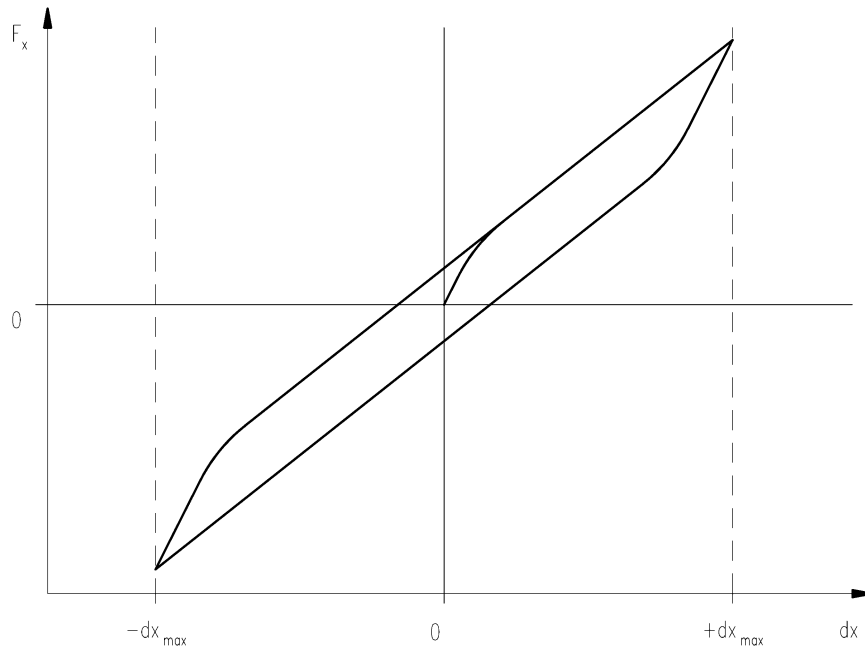
Druhý stupeň vypružení je deformován působením silou v příčném směru na vozidlovou skříně u obou podvozků tak, aby deformace vypružení obou podvozků byly shodné. Místa působení vnějších sil jsou v podélném a svislém směru co nejbližší pružicím prvkům druhého stupně vypružení. Vnější působící síly a pohyby vozidlové skříně vůči rámu podvozků jsou měřeny.

U vozidel jiných koncepcí se při návrhu zkoušky zohlední provedení vypružení a provedení zkoušky se pro získání požadovaných výsledků (charakteristik) náležitě upraví.

Rychlost vzájemného pohybu během zkoušky musí odpovídat očekávaným rychlostem těchto pohybů při průjezdu vozidla obloukem o poloměru R_{\min} rychlostí jízdy 10 km/h.

Zkouška se provede pro oba směry pohybu z výchozí (střední) polohy až do maxima, které je očekáváno při průjezdu vozidla obloukem o poloměru R_{\min} . Během zkoušky tak není nezbytně nutné vyčerpat maximální vzájemný pohyb až na narážky.

Zkouška musí být provedena tak, aby byla získána uzavřená hysterezní smyčka závislosti síly na velikosti vzájemného pohybu (viz obr. 10).

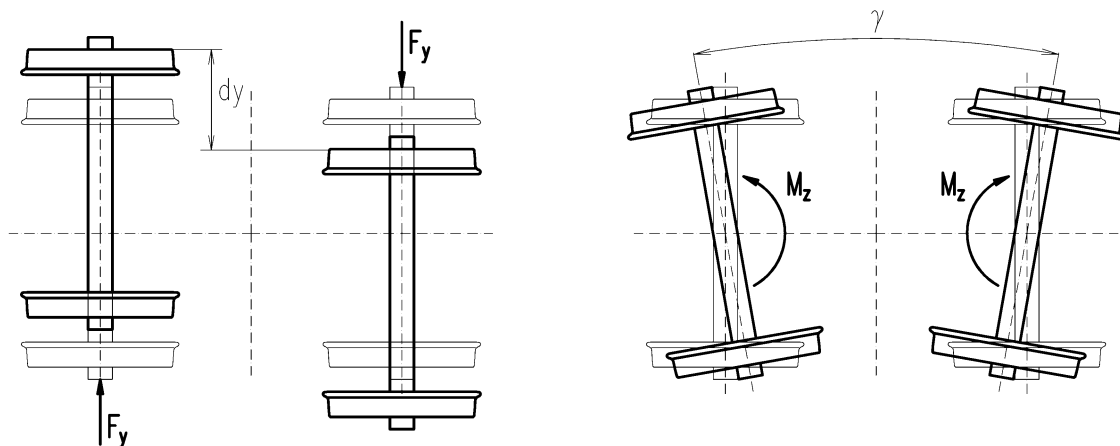


Obr. 10 Příklad naměřené uzavřené hysterzní smyčky


4.3.6 Vozidla s mezinápravovou / mezipodvozkovou vazbou

U vozidel s mezinápravovou nebo mezipodvozkovou vazbou jsou zjištěny parametry dle kap. 4.3.3 a 4.3.4 s deaktivovanými vazbami.

Další samostatnou zkouškou musí být zjištěny reálné vlastnosti takové vazby. Tím se rozumí zjištění vlastností použitých pružicích prvků vazby, které mají vliv na její celkovou tuhost v příčném směru nebo její torzní tuhost kolem svislé osy.



Obr. 11 Definice příčné a torzní tuhosti mezinápravové vazby

	Druh dokumentu	Certifikovaná metodika	Číslo vydání	1
	Číslo	18-F 03	Ze dne	2018-09-30
	Název	Zkouška pro ověření bezpečnosti proti vykolejení	Strana	17 z 22

4.4 Výpočtová část

4.4.1 Obecně

Výpočtem je simulován průjezd zkoušeného vozidla pomalou rychlostí (10 km/h) nepřevýšeným obloukem o poloměru R_{\min} .

4.4.2 Výpočtový model

Model vozidla je složen z těles a vazebních prvků. Model vozidla musí být sestaven s takovou mírou podrobností, aby byl dostatečně reprezentativní pro stanovení vodicích sil Y při průjezdu nepřevýšeným obloukem za kvazistatických podmínek. Obvykle je postačující vytvořit model z těchto základních těles: vozidlová skříň, rámy podvozků, dvojkolí. Parametry, které mají výrazný vliv na velikost vodicích sil Y , musí být modelovány s náležitou přesností. Jedná se o tyto parametry:

- Základní geometrické parametry – $2a^*$, $2a^*$, poloha prvků vypružení
- Základní hmotnostní parametry – hmotnosti základních těles a polohy jejich těžišť v horizontální rovině dle údajů od výrobce, poté je nutné zpřesnění pro zajištění kolových sil Q_0 dle výsledků zkoušky na vodorovné koleji
- Charakteristiky prvků vypružení resp. vazeb – dle charakteristik zjištěných zkouškou
- Moment odporu podvozku proti natočení – dle charakteristiky zjištěné zkouškou
- Mezipodvozkové / mezinápravové vazby – uspořádání dle podkladů od výrobce, tuhosti vazebních prvků dle výsledků zkoušky

Ostatní parametry vozidla (momenty setrvačnosti těles, výšky těžišť, tuhosti vypružení ve svislém směru a apod.) nemají zásadní vliv na velikost vodicí síly Y za uvažovaných simulovaných podmínek. V případě, že jejich hodnoty nejsou známy, mohou být kvalifikovaně odhadnuty.

4.4.3 Realizace výpočtu


Průjezd vozidla po trati těchto parametrů:

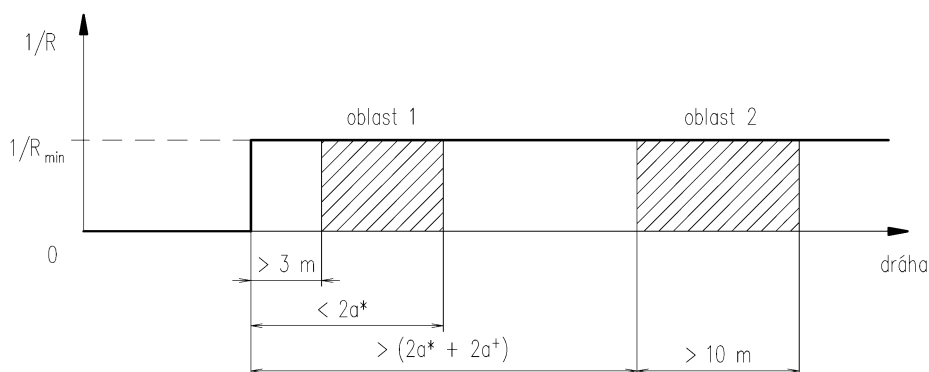
- Vjezd vozidla z přímé trati do oblouku jízda obloukem konstantního poloměru
- Bez přechodnice mezi přímou tratí a kružnicovým obloukem
- Poloměr oblouku R_{\min} (pro normálněrozchodné tratě $R_{\min} = 150$ m, pro tratě s jiným rozchodem musí být hodnota R_{\min} stanovena dle parametrů infrastruktury)
- Rozchod koleje 1440 mm (pro normálněrozchodné tratě, pro tratě s jiným rozchodem musí být hodnota rozchodu stanovena dle parametrů infrastruktury)
- Profil kolejnic S49 (pro normálněrozchodné tratě, pro tratě s jiným rozchodem musí být profil koleje volen dle konkrétní tratě)
- Profily kol vozidla
- Jmenovitá geometrie oblouku, kolej bez nerovností

Součinitel tření v kontaktu kolo-kolejnice je roven parametru τ_{dry} dle EN 14363.

Rychlost jízdy vozidla 10 km/h.

Výsledkem výpočtu jsou kolové Q a vodicí Y síly na všech kolech, vyhodnocené jako střední hodnoty zvlášť pro zónu 1 a 2 oblouku (viz obr. 12).

	Druh dokumentu	Certifikovaná metoda	Číslo vydání	1
	Číslo	18-F 03	Ze dne	2018-09-30
	Název	Zkouška pro ověření bezpečnosti proti vykolejení	Strana	18 z 22



Obr. 12 Zkušební oblouk

Soubor hodnot výstupních veličin simulace musí obsahovat časové signály těchto veličin:


- Rychlost jízdy
- Kolové síly Q
- Vodicí síly Y
- Úhel náběhu dvojkolí
- Natočení podvozku vůči vozidlové skříni
- Moment odporu podvozku proti natočení
- Deformace prvků vypružení v podélném a příčném směru
- Síly v prvcích vypružení v podélném a příčném směru

Signály těchto veličin jsou následně použity pro ověření věrohodnosti výsledků výpočtu.

4.4.4 Ověření věrohodnosti výsledků výpočtu

Ověření věrohodnosti výsledků výpočtu se provede v těchto krocích:

- Vykreslení grafu časové závislosti součtu všech kolových sil – porovnání s hmotností vozidla
- Vykreslení grafu časové závislosti součtu všech vodicích sil – musí se rovnat nule
- Střední hodnota úhlu náběhu vyhodnocovaných dvojkolí v zóně 1 a 2 – kontrola se vstupní hodnotou do výpočtu τ_{dy}
- Vykreslení grafů závislostí momentu odporu podvozku proti natočení na natočení podvozku – porovnání s grafem natočení podvozku zjištěným z měření
- Vykreslení grafů závislostí sil v prvcích vypružení na jejich deformacích pro příčný a svislý směr – porovnání s charakteristikami získanými z měření

	Druh dokumentu	Certifikovaná metodika	Číslo vydání	1
	Číslo	18-F 03	Ze dne	2018-09-30
	Název	Zkouška pro ověření bezpečnosti proti vykolejení	Strana	19 z 22

4.5 Vyhodnocení bezpečnosti proti vykolejení

Vyhodnocení bezpečnosti proti vykolejení se provede dle vztahu:

$$\left(\frac{Y}{Q}\right)_{jk} = \frac{Y_{jk,mean}}{Q_{jk,min} + \Delta Q_{jk,H}} \quad (3)$$

kde:

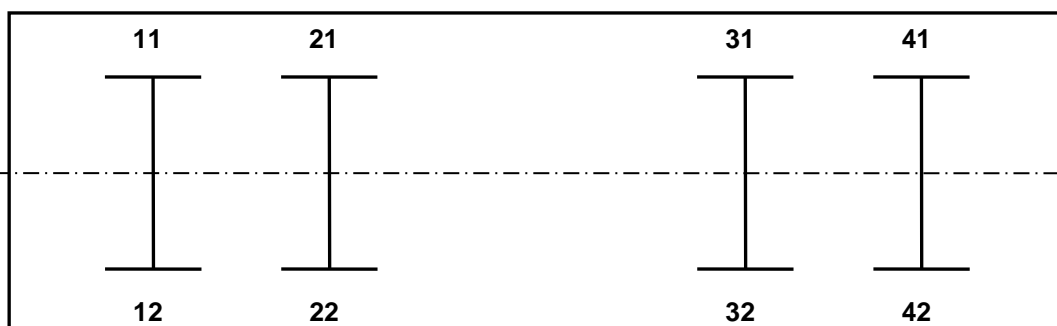
- jk index označení kola, j = číslo dvojkolí, k = strana vozidla (viz obr. 13)
- $Y_{jk,mean}$ střední hodnota vodící síly na vyhodnocovaném kole (vnějším kole v oblouku) zjištěná výpočtem dle kap. 4.4
- $Q_{jk,min}$ minimální kolová síla na vyhodnocovaném kole zjištěná zkouškou dle kap. 4.3.2
- $\Delta Q_{jk,H}$ změna kolové síly v důsledku momentu od vodících sil působících na kola dvojkolí

Změna kolové síly $\Delta Q_{jk,H}$ je vypočítána dle vztahu:


$$\Delta Q_{jk,H} = Q_{jk,mean} - Q_{jk,0} \quad (4)$$

kde:

- $Q_{jk,mean}$ střední hodnota kolové síly na vyhodnocovaném kole (vnějším kole v oblouku) zjištěná výpočtem dle kap. 4.4
- $Q_{jk,0}$ kolová síla na vyhodnocovaném kole na vodorovné koleji zjištěná zkouškou dle 4.3.3



Obr. 13 Číslování kol vozidla

	Druh dokumentu	Certifikovaná metodika	Číslo vydání	1
	Číslo	18-F 03	Ze dne	2018-09-30
	Název	Zkouška pro ověření bezpečnosti proti vykolejení	Strana	20 z 22

Vozidlo je považováno za bezpečné proti vykolejení, jestliže hodnocená veličina daná vztahem (3) je menší nebo rovna limitní hodnotě. Limitní hodnota je dána vztahem:

$$\left(\frac{Y}{Q}\right)_{\text{lim}} = \frac{\tan \beta - f}{1 + f \cdot \tan \beta} \quad (5)$$


kde:

β úhel okolku

f součinitel tření mezi kolem a kolejnici (standardní hodnota $f = 0,36$)

Pro úhel okolku $\beta = 70^\circ$ a součinitel tření $f = 0,36$ je limitní hodnota hodnotící veličiny:

$$\left(\frac{Y}{Q}\right)_{\text{lim}} = 1,2 \quad (6)$$

	Druh dokumentu	Certifikovaná metodika	Číslo vydání	1
	Číslo	18-F 03	Ze dne	2018-09-30
	Název	Zkouška pro ověření bezpečnosti proti vykolejení	Strana	21 z 22

5 Srovnání novosti postupů proti původní metodice

Zásadní rozdíl postupu podle nové metodiky ve srovnání s původní metodikou podle EN14363, metoda 2 je v tom, že nevyžaduje průjezd zkoušeného vozidla obloukem. Tím je odstraněna podstatná nevýhoda původní metodiky, která spočívá ve vysoké nejistotě, kterou jsou zatíženy výsledky měření při průjezdu vozidla obloukem. Zdrojem těchto nejistot jsou podmínky, za kterých je průjezd vozidla obloukem prováděn (povětrnostní vlivy), a způsob měření sil působících mezi kolejí a koly zkoušeného vozidla. V nové metodice je realizace průjezdu obloukem jeho výpočtovou simulací. Veškeré parametry vozidla, které významně ovlivňují velikost sil při průjezdu obloukem za kvazistatických podmínek, jsou zjištěny zkouškami za dobře zajistitelných okrajových podmínek. Okrajové podmínky výpočtu průjezdu obloukem jsou přesně definovány. Výsledky výpočtových simulací jsou následně validovány. Těmito opatřeními jsou eliminovány významné zdroje nejistot současných metod dle EN 14363.

6 Popis uplatnění certifikované metodiky

Tato metodika se uplatní v případech, kdy bude vyžadováno prokázání kvazistatické bezpečnosti vozidla proti vykolejení. Tato vlastnost musí být prokázána u každého vozidla nového typu v rámci „prvních kroků posuzování“ ještě před udělením povolení k jízdám tohoto vozidla na trati. Zkouška dle této metodiky může být také požadována výrobcem vozidla při vývoji nového vozidla z výzkumných důvodů nebo provozovatelem vozidla k ověření jeho vlastností v reálném provozu.

7 Ekonomické aspekty

Náklady plynoucí ze zavedení postupů uvedených v této metodice spočívají zejména v nákladech na pořízení zkušebního vybavení a výpočtový software. Cena tohoto kompletního vybavení - jednorázové investice - je odhadována na cca 6 mil. Kč.

Ekonomický přínos této metodiky spočívá zejména ve snížení nákladů na provedení zkoušky. Tohoto snížení je docíleno odpadnutím nutnosti provádění měření ve zkušebním oblouku. Náklady na provedení tohoto měření nejsou dány pouze pronájmem potřebné infrastruktury, ale také náklady na převoz zkoušeného vozidla do místa konání zkoušky. Úspora na jedno zkoušené vozidlo činí cca 200 tis. Kč (již po odečtení osobních nákladů na provedení simulačních výpočtů). Rovněž je eliminováno riziko opakování zkoušky z důvodu nepříznivých povětrnostních podmínek. Náklady na opakování zkoušky průjezdu obloukem jsou cca 200 tis. Kč.

8 Seznam použité související literatury


[1] WAG TSI (Nařízení komise (EU) č. 321/2013 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 ve znění Nařízení komise (EU) č.924/2015 ze dne 8. června 2015, kterým se mění nařízení (EU) č. 321/2013)

[2] LOC &PAS TSI (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)

[3] ČSN EN 14363:2017 Železniční aplikace – Zkoušení a simulace pro schvalování železničních vozidel z hlediska jízdních vlastností – Jízdní chování a stacionární zkoušky

[4] ČSN EN 14363:2006 Železniční aplikace – Přejímací zkoušky jízdních charakteristik železničních vozidel – Zkoušení jízdních vlastností a stacionární zkoušky.

[5] ERRI B55 RP8 .

	Druh dokumentu	Certifikovaná metodika	Číslo vydání	1
	Číslo	18-F 03	Ze dne	2018-09-30
	Název	Zkouška pro ověření bezpečnosti proti vykolejení	Strana	22 z 22

9 Seznam publikací, které předcházely metodice

CULEK B., MICHÁLEK T., VOLTR P., ZELENKA J.: Teoretická studie problematiky bezpečnosti kolejových vozidel proti vykolejení. Zpráva Univerzity Pardubice č. TWIST-2015-01, 2015.

BAUER P.: Zkušební zkrucovací stav, konstrukční návrh. Zpráva VÚKV a.s. č. 15-C 110, 2015.

KRULICH P.: Výpočtová simulace zkrucovací zkoušky. Zpráva VÚKV a.s. č. 15-C 106, 2015.

ČAPEK J., PHAMOVÁ L., KRULICH P.: Výpočtové simulace ověřování bezpečnosti proti vykolejení dle současných metod. Zpráva VÚKV a.s. č. 16-C 095, 2016.

MICHÁLEK T.: Simulační výpočty pro hodnocení bezpečnosti nákladního vozu proti vykolejení (etapa 1). Zpráva č. TWIST-2016-01. Univerzita Pardubice, 2016.

BAUER P.: Zkušební zkrucovací stav, výsledné konstrukční řešení a realizace. Zpráva VÚKV a.s. č. 16-C 096, 2016.

ŠÁTEK J., ČAPEK J.: Čtyřnápravový cisternový vůz Zacns 88 m³, typ 9-3108.0 – Zkouška bezpečnosti proti vykolejení. Zpráva VÚKV a.s. č. 17-C 068, 2017.

ČAPEK J., PHAMOVÁ L., KRULICH P.: Výpočtové simulace ověřování bezpečnosti proti vykolejení dle současných metod, etapa 2. Zpráva VÚKV a.s. č. 17-C 070, 2017.

MICHÁLEK T.: Simulační výpočty pro hodnocení bezpečnosti nákladního vozu proti vykolejení (etapa 2). Zpráva č. TWIST-2017-01. Univerzita Pardubice, 2017.

ČAPEK J.: Analýza současných metod ověřování bezpečnosti proti vykolejení. Zpráva VÚKV a.s. č. 17-C 071, 2017.

10 Jména oponentů

1. Ing. Jan Kalivoda, Ph.D., České vysoké učení technické v Praze, Fakulta strojní, jan.kalivoda@fs.cvut.cz
2. Bc. Miloš Toman, Legios Loco a. s., milos.toman@legios.eu