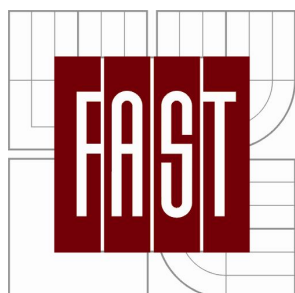


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ  
ÚSTAV ŽELEZNIČNÍCH KONSTRUKCÍ A STAVEB

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING  
INSTITUTE OF RAILWAY STRUCTURES AND CONSTRUCTIONS

# POŽADAVKY NA PROJEKTOVANÝ A PROVOZNÍ STAV GEOMETRICKÝCH PARAMETRŮ KOLEJE VE VZTAHU K VZÁJEMNÉMU SILOVÉMU PŮSOBENÍ VOZIDLA A KOLEJE

THE REQUIREMENTS FOR TRACK DESIGN AND TRACK GEOMETRY QUALITY IN RELATION OF  
THE INTERACTION OF VEHICLE AND TRACK

TEZE DIZERTAČNÍ PRÁCE  
PHD THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

ING. RADEK TREJTNAR

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

DOC. ING. OTTO PLÁŠEK, PH.D.

HRADEC KRÁLOVÉ 2013

**Klíčová slova**

Geometrické parametry koleje, nedostatek převýšení, mezipřímé a kružnicové části oblouků, jízdní vlastnosti vozidel, mezní provozní hodnoty, vykolejení

**Key words**

Alignment design parameters, cant deficiency, intermediate straight, circular curve, dynamic running behavior, limit values in service, derailment

**Místo uložení práce**

Ústav železničních konstrukcí a staveb a Knihovnické a informační centrum FAST VUT v Brně

## Obsah

<b>Značky a zkratky</b> .....	<b>4</b>
<b>Seznam symbolů</b> .....	<b>4</b>
<b>Úvod</b> .....	<b>5</b>
<b>1. Navrhování a diagnostika GPK z hlediska současných požadavků</b> .....	<b>5</b>
1.1 Nedostatek převýšení .....	6
1.2 Náhlá změna nedostatku převýšení .....	7
1.3 Vzestupnice .....	7
1.4 Směrové uspořádání koleje.....	8
1.4.1 Délka směrového prvku konstantní křivosti .....	8
1.4.2 Vzdálenost náhlých změn nedostatku převýšení.....	8
1.4.3 Vzájemná poloha vzestupnic a výhybek.....	10
1.4.4 Vyloučení nebezpečí zaklesnutí nárazníků .....	12
<b>2 Principy hodnocení GPK ve vztahu k vzájemnému silovému působení vozidla a koleje</b> .....	<b>12</b>
2.1 Vlivy odchylek v průběhu jednotlivých parametrů GPK na jízdu vozidla .....	13
2.1.1 Rozchod koleje a jeho změny .....	13
2.1.2 Směr koleje .....	14
2.1.3 Zborcení koleje .....	15
<b>3 Cíle disertační práce</b> .....	<b>15</b>
<b>4 Praktické posouzení silových účinků vozidla trať vzhledem k projektovaným parametrům a provozním odchylkám GPK</b> .....	<b>16</b>
4.1 Použitá metodika.....	16
4.2 Délka směrových prvků konstantní křivosti a jejich kombinace .....	17
4.2.1 Traťový úsek Letohrad – Lichkov .....	17
<b>5 Závěr</b> .....	<b>23</b>
<b>6 Literatura</b> .....	<b>25</b>
<b>Curriculum Vitae</b> .....	<b>29</b>
<b>Abstrakt</b> .....	<b>30</b>

## Značky a zkratky

ČSN	česká technická norma
EN	evropská norma
GPK	geometrické parametry koleje
MU	mimořádná událost
SDO	směrodatné odchytky
SŽDC	Správa železniční dopravní cesty
TSI	technické specifikace interoperability
TUDC	Technická ústředna pro dopravní cestu
UNMZ	Ústav pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví
VUKV a.s.	Výzkumný ústav kolejových vozidel
VUZ a.s.	Výzkumný ústav železniční
ŽDC	železniční dopravní cesta

## Seznam symbolů

$a_q$	nevyrovnané příčné zrychlení v úrovni ložiskových skříní dvojkolí	(m/s <sup>2</sup> )
$dD/dt$	časová změna převýšení	(mm/s)
$dI/dt$	časová změna nedostatku převýšení	(mm/s)
$D$	převýšení koleje	(mm)
$D1, D2$	rozsah; pásmo vlnových délek	(m)
$I$	nedostatek převýšení	(mm)
$L_i$	délka směrového prvku konstantní křivosti (kružnicový oblouk nebo přímá)	(m)
$L_k$	délka krajní přechodnice tvaru klotoidy a tvaru podle Blosse, měřená v ose koleje	(m)
$n$	součinitel sklonu v zestupnice	(-)
$PK$	převýšení koleje	(mm)
$Q$	svislá síla	(kN)
$R$	poloměr kružnicového oblouku	(m)
$RK$	rozchod koleje	(mm)
$RK100$	střední hodnota rozchodu koleje na délce 100 m	(mm)
$RP$	rychlostní pásmo	(-)
$SK$	směr koleje v geometrické ose koleje	(mm)
$SL, SP$	směr levého, pravého kolejnicového pásu	(mm)
$u$	rozchod koleje	(mm)
$V$	rychlost	(km/h)
$VL, VP$	podélná výška temene levého, pravého kolejnicového pásu	(mm)
$ZK$	zborcení koleje	(mm/m)
$\psi$	úhel mezi výslednicemi sil působící na těžiště vozidla v oblouku	(grad, rad)

## Úvod

Účelem vhodného návrhu geometrických parametrů koleje (GPK) je zřídit takovou kolej, která bude zajišťovat v maximální míře klidné a plynulé vedení vozidla, tak aby byly splněny principy bezpečnosti provozu a zároveň přijatelného komfortu cestujících. Zároveň by měla být kolej hospodárně udržovatelná a neměla by na provozovaných vozidlech vyvolávat nepřiměřenou míru opotřebení. Na druhou stranu je zřejmé, že vlivem ekonomických a geografických podmínek, nelze zřídit kolej s ideálními parametry GPK, a proto je třeba stanovit takové zásady projektování, které zajistí výše uvedené požadavky při přiměřených podmínkách pro její zřízení.

V současné době dochází k diskusím nad sjednocením pravidel projektování GPK v rámci států sdružených v Evropském společenství. Dochází ke konfrontaci v oblasti různých přístupů k navrhování parametrů GPK především v oblasti jejich mezních hodnot. Jednou z velmi diskutovaných oblastí je délka směrového prvku konstantní křivosti mezi dvěma změnami křivosti ve vazbě na náhlou změnu nedostatku převýšení nebo alternativně v závislosti na parametrech navazujících přechodnic a vzestupnic.

Neméně důležitou oblastí hodnocení GPK je měření a vyhodnocování odchylek polohy koleje za provozu, kde se uplatňují požadavky na bezpečnost provozu, na komfort cestujících i na management údržby koleje vzhledem k její životnosti. Kromě jiných vlivů se na rychlosti degradace kvality GPK a na možném výskytu závažných závad podílí původní návrh jednotlivých parametrů GPK a jejich kombinace. Nad to je měření a vyhodnocování geometrických parametrů koleje v zásadě sekundárním měřením, neboť výše uvedená kritéria bezpečnosti a komfortu cestujících jsou ovlivněna vzájemným silovým působením vozidla a koleje, které je však provozně obtížně hodnotitelné. Velikosti odchylek GPK za provozu je tedy třeba stanovit s ohledem na předpokládané vzájemné silové působení vozidla a koleje, čemuž je třeba přizpůsobit i metodiku měření a vyhodnocování (rozsahy vlnových délek, velikost a typ odchylek – lokální závady a úsekové hodnocení, délka trvání).

Související oblastí této problematiky je vazba na návrh a ověřování chodových vlastností pojezdu kolejových vozidel, kdy jsou stanoveny určité referenční podmínky zkoušení vozidel za jízdy ve vazbě na deklarované silové působení.

Autor této disertační práce se podílí na tvorbě evropské legislativy (TSI INF; jako zástupce provozovatele dráhy v CER INF) a evropských norem v oblasti projektování geometrických parametrů koleje a jejich kontroly za provozu (jako zástupce UNMZ v příslušných pracovních skupinách CEN/TC256/SC1). Současně je zpracovatelem českých technických norem a předpisů provozovatele drah ve vlastnictví ČR (SŽDC, státní organizace).

Níže uvedená teoretická část disertační práce je založena na vlastní tvorbě zásadních norem a předpisů v oblasti GPK.

## 1. Navrhování a diagnostika GPK z hlediska současných požadavků

Projektování GPK se v ČR řídí normou ČSN 73 6360-1:2008 „Konstrukční a geometrické uspořádání koleje železničních drah a její prostorová poloha – Část 1: Projektování“, která je závazná na základě ustanovení vyhlášky MDČR č. 177/1995 Sb., kterou se vydává stavební a technický řád drah. Metodika a omezení pro návrh GPK podle výše uvedené normy musí při splnění odpovídajících provozních podmínek garantovat bezpečnost provozu a měla by vymezovat parametry tak, aby byl dosažitelný odpovídající komfort cestujících. Zároveň ale není žádoucí omezovat jednotlivé parametry GPK, které není pro výše uvedené požadavky

nezbytné. Z tohoto důvodu je třeba věnovat pozornost tomu, jakým způsobem je kvalita návrhu GPK ověřována a jaké limity jsou stanoveny.

Řešenou problematikou v disertační práci je zejména omezení délky směrového prvku konstantní křivosti v závislosti na parametrech navazujících směrových prvků, tak aby byly splněny požadavky bezpečnosti, komfortu cestujících a provozní udržitelnosti ve vazbě na předcházení zbytečného omezování výsledných užitných parametrů koleje, především traťové rychlosti. Dále jsou v tomto přehledu uvedeny podmínky pro projektování klíčových parametrů z hlediska řešené problematiky.

### 1.1 Nedostatek převýšení

Nedostatek převýšení je zásadní parametr návrhu trati. Je parametrem bezpečnostním i ovlivňujícím komfort cestujících a hospodárnost údržby tratí. Využití nedostatku převýšení při jízdě vlaků souvisí s konstrukčními vlastnostmi vozidla (různé typy vozidel se konstruují na různé nedostatky převýšení, dle příslušných TSI a EN se navrhuje osobní vozy na 150 mm a nákladní vozy na 130 mm, lehké osobní jednotky lze navrhnout až na 165 mm). Velikost nedostatku převýšení ovlivňuje silové působení vozidla na trať. Je třeba přihlédnout k tomu, že vlivem vypružení vozidla dochází ve vozové skříni k dalšímu zvětšení nedostatku převýšení min. o 20% ve srovnání s projektovanou hodnotou v závislosti na koeficientu tuhosti příčného vypružení vozidla  $s = (0,2 - 0,4)$ . Dále je třeba přihlédnout k tomu, že vlivem provozních odchylek převýšení (většinou záporné) dále dochází k zvýšení praktických hodnot nedostatku převýšení oproti projektovaným hodnotám.

Současně je ale parametr nedostatku převýšení směrný pro určení maximální rychlosti vozidel v oblouku. Autorem práce je dlouhodobě prosazována změna koncepce využívání jednotlivých kategorií nedostatků převýšení v rámci snahy o zvýšení efektivity železniční dopravy.

Maximální traťová rychlost v ČR je odvozena na základě hodnot nedostatku převýšení a je rozdělena do těchto kategorií:

1. základní ( $V$ )  $I = 100$  mm
2.  $V_{130, 150}$   $I = 130$  mm nebo  $I = 150$  mm
3. pro jednotky NS ( $V_k$ )  $I = 270$  (240) mm

Nedostatek převýšení  $I$  odpovídající nejvyšší projektované rychlosti vozidel v daném úseku trati v poloměru oblouku  $R$  je vyjádřen vztahem:

$$I = \frac{11,8 \cdot V_{\max}^2}{R} - D \leq I_{\max} \quad [\text{mm}]$$

Standardní, mezní a maximální hodnoty nedostatku převýšení  $I_n$ ,  $I_{\text{lim}}$ ,  $I_{\max}$  jsou uvedeny v tabulce 1 normy ČSN 73 6360-1. Hodnoty nedostatků převýšení z tabulky 1 platí pro úseky koleje, ve kterých je hodnota nedostatku převýšení konstantní nebo plynule se měnící, a ve kterých neleží výhybky a výhybkové konstrukce.

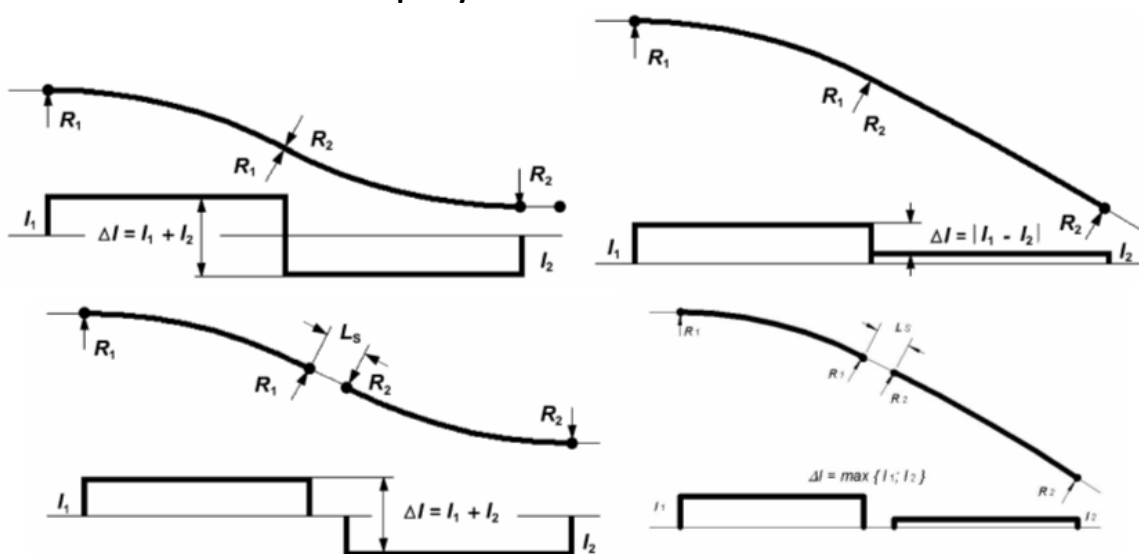
**Tabulka 1 Hodnoty standardního, mezního a maximálního nedostatku převýšení  $I_n$ ,  $I_{\text{lim}}$ ,  $I_{\max}$  v kolejích, ve kterých je hodnota nedostatku převýšení konstantní nebo plynule se měnící, a ve kterých neleží výhybky a výhybkové konstrukce**

Rychlost [km/h]	Standardní hodnota $I_n$ [mm]	Mezní hodnota $I_{\text{lim}}$ [mm]	Maximální hodnota $I_{\max}$ [mm]
--------------------	-------------------------------------	---	---

$V \leq 80$	80	100	100 (130 <sup>c</sup> )
$80 < V \leq 230$			130 (150 <sup>b</sup> )
$230 < V \leq 250$	60	80	130 (150 <sup>a,b</sup> )
$250 < V \leq 300$			130

<sup>a</sup> Lze pouze pro vozidla s omezenými silovými účinky na trať (maximální hmotnost na nápravu 18 t)  
<sup>b</sup> Lze pouze pro vozidla vlaků osobní dopravy  
<sup>c</sup> Lze pouze pro poloměr oblouku  $R \geq 250$  m. V poloměrech  $R < 250$  m lze projektovat  $I_{\max} = 130$  mm pouze pro vozidla s omezenými silovými účinky na trať (maximální hmotnost na nápravu 18 t)

## 1.2 Náhlá změna nedostatku převýšení



Obrázek 1 Vybrané situace změny křivosti osy koleje se znázorněnou změnou nedostatku převýšení (zdroj ČSN EN 13803-2:2006)

Kromě absolutních hodnot nedostatků převýšení je třeba sledovat i parametr náhlé změny nedostatku převýšení. Míra náhlé změny nedostatku převýšení souvisí s charakteristikami GPK ovlivňující komfort jízdy, především bočním rázem. Ten lze definovat jako změnu bočního zrychlení vyvozenou změnou křivosti osy koleje.

Hodnoty nedostatků převýšení z tabulky 1 ČSN 73 6360-1 lze využít za předpokladu plynulé změny nedostatku převýšení. V situacích, kdy nejsou přechodnice navrženy nebo kdy přechodnice nesplňují požadavky na jejich minimální délku, musí být prokázáno, že náhlá změna nedostatku převýšení vyhovuje stanoveným hodnotám.

## 1.3 Vzestupnice

Vzestupnice je úsek koleje, v němž se plynule mění převýšení. V podstatě se jedná o „projektované zborcení koleje“, proto je třeba strmosti vzestupnice věnovat náležitou pozornost. Pro výškový přechod mezi úsekem koleje bez převýšení a úsekem koleje s převýšením má být projektována krajní lineární vzestupnice. Je prokázáno, že lineární vzestupnice se zaobleným začátkem a koncem dostatečně mírného sklonu, má z hlediska jízdy vozidla téměř stejné vlastnosti jako vzestupnice nelineární. Z tohoto důvodu se přistupuje k návrhu nelineární vzestupnice, pouze pokud není možné navrhnout krajní

lineární vzestupnici vhodné délky a strmosti. Mezi úseky koleje s rozdílnými hodnotami převýšení (při stejném smyslu křivosti) má být projektována lineární mezilehlá vzestupnice. U oblouků opačných směrů bez mezilehlé přímé koleje se projektuje lineární vzestupnice s bodem obratu. Varianta návrhu nelineárních vzestupnic s bodem dotyku není sledována, protože tím, že se v podsadě jedná o dvě dotýkající se krajní vzestupnice, není využita technická výhoda vyšší strmosti nelineární vzestupnice vzhledem k její nižší délce, jak je patrné na níže uvedeném obrázku.

Vzestupnice je popsána svou délkou  $L_d$  a svým sklonem, definovaným maximální hodnotou časové změny převýšení  $dD/dt$  nebo alternativně maximální hodnotou poměru nárůstu převýšení v závislosti na délce vzestupnice  $1:n$ .

Minimální délka vzestupnice je vypočtena z maximální hodnoty sklonu vzestupnice  $1:n$  nebo ekvivalentně z časové změny převýšení  $dD/dt$ , přičemž není možné projektovat kratší (respektive strmější).

#### 1.4 Směrové uspořádání koleje

Novostavba železniční dráhy má být pokud možno v přímé nebo s co největšími poloměry oblouků. Poloměry oblouků musí být navrženy tak, aby bylo možné stanovit převýšení, při kterém bude nedostatek převýšení pro nejvyšší posuzovanou rychlost vozidel a přebytek převýšení pro nejnižší uvažovanou rychlost vlaků splňovat podmínky dané ČSN 73 6360-1. U železničních drah určených pro osobní přepravu se doporučuje nevyužívat mezní návrhové parametry, aby bylo možné při odstranění dílčích omezení případně budoucí zvýšení rychlosti, zejména v místech tunelů a mostů. Autor si je vědom komplexnosti výše uvedeného, z četných projednávání přípravy staveb železničních drah je zřejmé, že možnosti změny směrových parametrů bývají velmi omezené (v rámci snahy využití stávajícího tělesa žel. spodku), přesto je třeba při návrhu konkrétních GPK hledat optimální řešení jak vzhledem k využitelné rychlosti, tak vzhledem k namáhání konstrukce žel. svršku.

##### 1.4.1 Délka směrového prvku konstantní křivosti

Pohyb vozidla v koleji konstantní křivosti je z hlediska kvazistatických sil uklidněný. Při změnách křivosti osy koleje nastanou změny kvazistatických sil, tedy narušení klidného chodu vozidla. Velikost změny kvazistatických sil je určena omezením náhlé změny nedostatku převýšení i nárůstem převýšení resp. nedostatku převýšení po délce vzestupnice resp. přechodnice. Pro bezpečnou a požadavky komfortu cestujících plnící jízdu je třeba sledovat také vzdálenost změn kvazistatických sil. Každá změna kvazistatické síly vyvolá reakci ve vzájemném silovém působení vozidla a koleje, které může být představováno kmitáním vozové skříně. Stanovení minimální vzdálenosti změn křivosti osy koleje by mělo omezit možné sčítání účinků odezvy vozidla jimi způsobené.

Délka směrových prvků konstantní křivosti osy koleje je sledována s ohledem na:

- vzdálenost náhlých změn nedostatku převýšení;
- vzdálenost začátků a konců různých vzestupnic;
- vyloučení nebezpečí záklesu nárazníků a vytlačení vozů.

##### 1.4.2 Vzdálenost náhlých změn nedostatku převýšení

Soustava vozidlo kolej je pružnou soustavou. Hlavní pružné prvky jsou: kolejový rošt, vypružení podvozků a vypružení vozové skříně. Místa náhlé změny křivosti osy koleje působí změnu naklání vozidla, kdy se tento pohyb může stát kmitavým, který je třeba před dalším

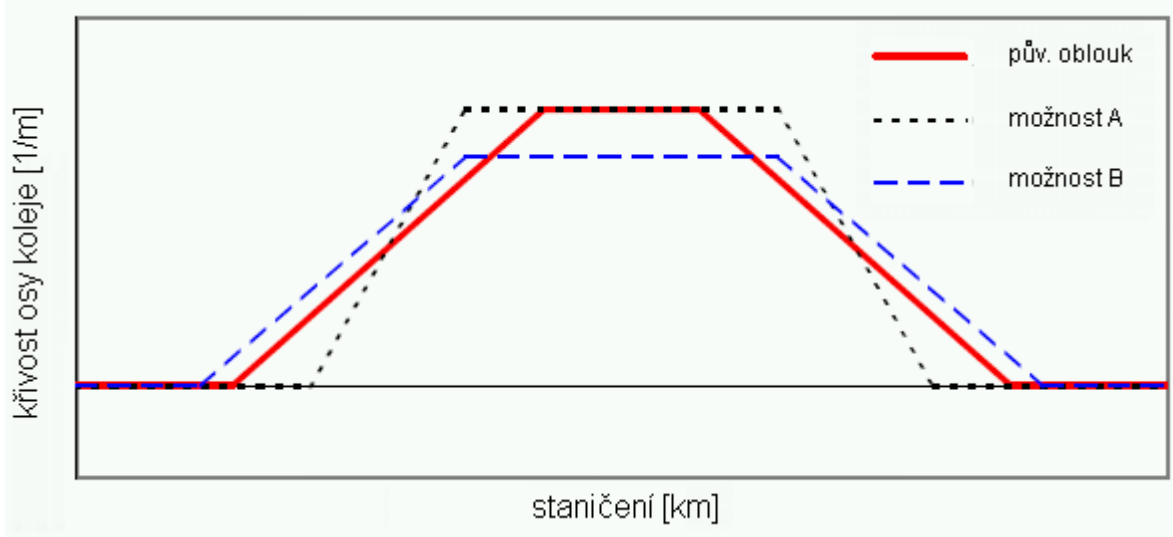


místem náhlé změny křivosti uklidnit. Zjednodušeně lze říci, že kmitání příčného naklonění vozidla je jeho odezvou na změnu křivosti dráhy ve svislém nebo příčném směru. Vozová skříň kmitá v příčném směru úhlově kolem podélné osy vozu s velkým útlumem, takže se ve starší literatuře [89] uvažuje, že po třech kmitech kmitání prakticky ustává. Doba jednoho kmitu je podle [89] přibližně 0,65 s bez závislosti na rychlosti vozidla. Z těchto dvou podmínek vyplývá, že pro uklidnění vozidla je nutná dráha odpovídající alespoň  $3 \times 0,65$  s, tedy

$$L = 3 \cdot 0,65 \frac{V}{3,6} = \frac{V}{1,85} \cong \frac{V}{2}$$

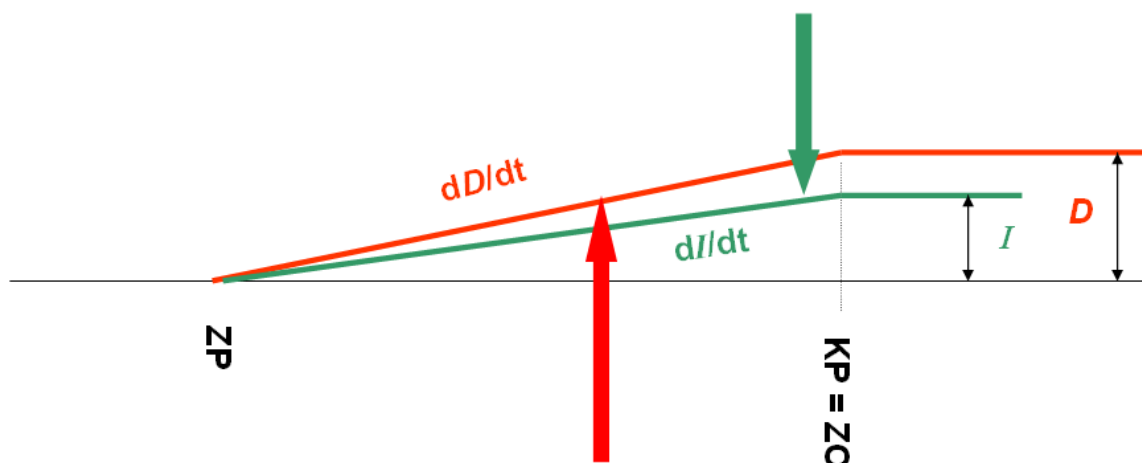
Podle této teorie by délky mezipřímých i kružnicových částí oblouků neměly klesnout pod 0,5.V.

Motivace revize výše uvedené teorie vznikla na základě požadavků zvyšování rychlosti bez výrazné změny polohy koleje. V případě zvýšení rychlosti při stávajícím směrovém uspořádání logicky vzniká požadavek na prodloužení délek kružnicových částí oblouků i délek mezipřímých. Je-li například oblouk s krajními přechodnicemi při požadavku zachování tečen navržen na stávající rychlost bez rezervy, potom při zvýšení návrhové rychlosti musí být prodloužena délka kružnicového oblouku, což povede ke zkrácení délky přechodnic a vzetupnic se všemi důsledky z toho vyplývajícími. Z těchto důvodů je jako zásadní řešena otázka vhodnosti preference nedodržení délky kružnicových částí oblouků, či přistoupit ke zkrácení délky přechodnic a vzetupnic až k mezním hodnotám.



Obrázek 21 Ilustrace problémů zvyšování požadavků na délku kružnicové části oblouku při zvýšení rychlosti

Silová odezva vozidla v oblasti změny křivosti jízdní dráhy závisí (krom jiného) na délce směrového prvku konstantní křivosti ve smyslu shody fáze kmitání příčného naklonění vozové skříňe a změny křivosti dráhy. Obecně by bylo vhodné navrhnout takovou délku směrového prvku konstantní křivosti, aby došlo k úplnému útlumu kmitání příčného naklonění vozové skříňe závislé na typu vypružení, nebo alespoň aby vozidlo v místě náhlé změny křivosti bylo ve fázové shodě se smyslem změny této křivosti. Obrázek 3 ukazuje působení základních charakteristik  $dD/dt$  a  $dI/dt$ , kdy je podstatné, jak velké změně těchto veličin na změně křivosti dojde a jaký je jejich rozdíl, neboť při působení proti sobě se vzájemně vyruší.



Obrázek 2 Schéma působení vektorů  $dI/dt$  a  $dD/dt$  ve vzetupnici

Současné znění ČSN 736360-1:2008 stanoví, že krátké přímé úseky mezi oblouky stejného směru mají být nahrazeny mezilehlým obloukem o poloměru větším, než je poloměr menšího z nich, krátké přímé úseky mezi oblouky opačného směru by měly být nahrazeny řešením napojení oblouků přechodnicemi stýkajícími se v inflexním bodě. Dále pak, že minimální délka mezipřímé nebo mezilehlého kružnicového oblouku oddělující dvě místa náhlé změny křivosti pro koleje průběžné traťové a hlavní staniční, musí odpovídat hodnotám uvedeným v tabulce 2.

Tabulka 1 Minimální délka mezipřímé nebo kruž. části oblouku pro koleje průběžné traťové a hlavní staniční

Rychlost [km/h]	$L_{s,lim}$ [m]	$L_{s,min}$ [m]
$V \leq 50$	$0,25 \cdot V$	$0,20 \cdot V^a$
$50 < V \leq 120$	$0,25 \cdot V$	$0,20 \cdot V^b$
$120 < V \leq 230$	$0,50 \cdot V$	$0,25 \cdot V$
$230 < V \leq 300$	$0,75 \cdot V$	$0,30 \cdot V$
<sup>a</sup> nejméně však 6 m		
<sup>b</sup> nejméně však 15 m		

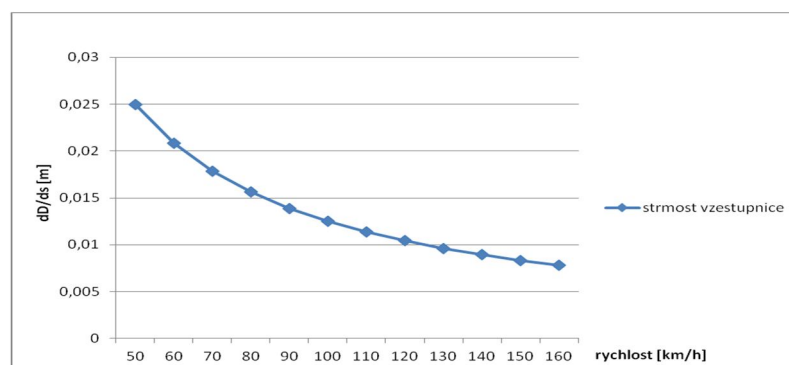
### 1.4.3 Vzájemná poloha vzetupnic a výhybek

Omezení minimální vzdálenosti vzetupnic a výhybkových konstrukcí je motivováno dvěma důvody. První z nich je spojen se způsobem zřízení koleje a výhybek – tj. se zásadou, aby do výhybky ani do oblasti společných pražců nezasahovalo zaoblení začátku nebo konce vzetupnice. Druhá motivace stanovení minimální vzdálenosti začátku/konce vzetupnice od výhybky je snížení rizika šplhání okolků na temeno kolejnice v oblasti výměnového styku a hrotu jazyka výhybky. Obecně nejnepříznivější kombinací je napojení začátku výhybky za konec vzetupnice (konec ve smyslu na přechodu z oblouku do přímé). Při pohybu vozidla ve směru klesajícího převýšení ve vzetupnici dochází k odlehčení vnějšího kola prvního dvojkolí. Zároveň přilehlý jazyk k opornici vytváří místo sníženého úhlu dotykové roviny na styku kolo/kolejnice. Kombinace těchto vlivů vytváří místo s vyšším rizikem šplhání okolků na

temeno jazyka. Z tohoto důvodu se v těchto místech předepisuje při překročení strmosti vzesupnice 1:8V dodržení stanovené vzdálenosti začátku výhybky od začátku vzesupnice.

V rámci posuzování návrhů GPK při přípravě staveb v souvislosti s praktickým používáním těchto pravidel vyvstaly otázky faktické správnosti těchto zásad. Problematické jsou zejména následující situace:

1. Délka úseku koleje, kde je vozidlo ovlivňováno silovým působením vycházejícím z nestejného vzájemného výškového uspořádání kolejnicových pásů, je dán konstrukčními charakteristikami vozidel – vzdáleností otočných čepů nebo rozvoru vozu. Tyto vzdálenosti zpravidla nepřesahují 20 m. Podle stanoveného vztahu určujícího minimální vzdálenost začátku výhybky od vzesupnice  $c_1 = 0,15 \cdot V$  vychází dodržení vzdálenosti 20 m až při dosažení rychlosti 133 km/h. Výše uvedený vztah tedy pro oblast nižších rychlostí poskytuje takové vzdálenosti, kdy se vozidlo ještě nacházející se zadním podvozkem ve vzesupnici a zároveň se nachází předním podvozkem již v oblasti výměnového styku výhybek. Naproti tomu riziko šplhání okolků na temeno kolejnic je obecně méně příznivé v případech směrových poměrů s malými poloměry oblouků a vyššími absolutními strmostmi vzesupnic typickými pro oblasti nižších rychlostí.
2. Dodržení minimální vzdálenosti vzesupnice a začátku výhybky je závislé na sklonu vzesupnice. To je vzhledem k míře nepříznivého ovlivnění vzájemného silového působení vozidla a koleje správné. Strmost vzesupnice lze vyjádřit v absolutní hodnotě sklonu vyjádřeném v mm/m nebo součinitelem „n“, který je učen násobkem rychlosti. Zatímco od absolutní hodnoty strmosti vzesupnice lze přímo odvodit míru ovlivnění silového působení vozidla a koleje (skrže stacionární zkoušky vozidel na zborcené koleje ve smyslu kapitoly 4 ČSN EN 14363), definování strmosti vzesupnice součinitelem násobku rychlosti (nebo míře změny převýšení v čase  $dD/dt$ ) je vyovídající o velikosti vektoru odlehčení/přetížení nabíhajícího kola dvojkolí. Je tedy otázkou, zda-li je vhodnější definování omezení vzdálenosti vzesupnice od výměnového styku výhybky pomocí parametru absolutního sklonu vzesupnice nebo pomocí míry nárůstu (poklesu) převýšení v čase ( $dD/dt$ ). Vyjádření pomocí  $dD/dt$  je výhodné z důvodu vyšší korelace s návrhovou rychlostí, naopak využití absolutního sklonu vzesupnice jako indikace omezení lépe pokrývá oblasti nižších rychlostí, kde omezení vyjádřením  $dD/dt$  umožňuje návrh vzesupnic velké absolutní strmosti, viz níže uvedený graf závislosti absolutní strmosti vzesupnice na rychlosti při sklonu 1:8.V.



Obrázek 4 Strmost vzesupnice v závislosti na rychlosti pro  $dD/dt = 8V$

Východiskem je zachování rozhodovacího kritéria o uplatnění omezení na minimální vzdálenost vzešupnice od výměnového styku pomocí parametru  $dD/dt$ , které by bylo (prakticky cca pro  $V < 80$  km/h) doplněno o rozhodovací kritérium maximální absolutní hodnoty sklonu vzešupnice 1,5 mm/m.

3. Nejasnosti jsou v oblasti uplatnění výše uvedených kritérií ve vztahu k rychlosti pro naklápečí jednotky. Tato oblast není v příloze E ČSN 736360-1 přímo specifikována. Jelikož je celý systém navrhování rychlostního profilu  $V_k$  postaven na technických parametrech jednotky CDT 680, bylo by možné při nutnosti dodržení zásad definovaných článkem 8.4.3 ČSN 736360-1 vycházet z hodnocení kvazistatické a jízdní bezpečnosti jednotky CDT 680. Posouzení se zaměří na určení velikosti rezervy v dosažení mezních hodnot pro parametr poměru vodících a kolových sil při obou typech zkoušek. Ve smyslu Technické zprávy VUZ-03-11/2003 bylo při stacionárních zkouškách dosaženo maximálně 40,7% hodnoty parametru změny kolové síly  $\Delta Q/Q$ , přičemž za mezní se považuje 60% hodnoty změny. Z toho lze usuzovat nejméně 30% rezervu dosažení mezních hodnot pro případ stacionárních zkoušek. Z hlediska posouzení dynamického chování jednotky CDT 680001 se vychází z protokolu o zkoušce PZL 03 – 030/2005, kdy v nejméně příznivém stavu při hodnocení průběhu  $Y/Q$  (maximální hodnoty) v oblasti přechodnic oblouků poloměrů 250 m – 400 m byly zaznamenány  $Y/Q_{\max} = 72,4\%$  mezní hodnoty. Z výše uvedeného se stanovuje, že vzhledem k bezpečnostní rezervě min. 30% do dosažení mezních hodnot se platnost zásad uvedených v článku 8.4.3 ČSN 73 6360-1 pro určení rychlostního profilu  $V_k$  neuplatňuje. Tuto zásadu je třeba upřesnit v příloze E této normy, přičemž je třeba vyloučit čistě teoretický případ, že by byla projektována pouze  $V_k$ .

#### 1.4.4 Vyloučení nebezpečí zaklesnutí nárazníků

Železniční vozidla jsou konstruována tak, že při průjezdu obloukem dochází k přesahu jejich konců na vnější stranu oblouku. Velikost přesahu je daná rozměry vozidla a to především vzdáleností otočných čepů resp. rozvoru vozu a vyložení nárazníků (vzdálenost jejich čelních ploch od otočného čepu podvozku resp. krajní nápravy). Je zřejmé, že při změně orientace oblouků dochází i k změně orientace přesahu vozu, přičemž nárazníky vozů jsou uzpůsobeny k pokrytí těchto vzájemných přesahů pouze do určité míry. Rozměry nárazníků jsou stanoveny vyhláškou UIC 526-1, která také určuje nejmenší délky mezipřímých mezi oblouky opačných směrů. Tyto délky jsou také stanoveny s určitou bezpečnostní rezervou i v ČSN 73 6360-1 v tabulce C.3.1.

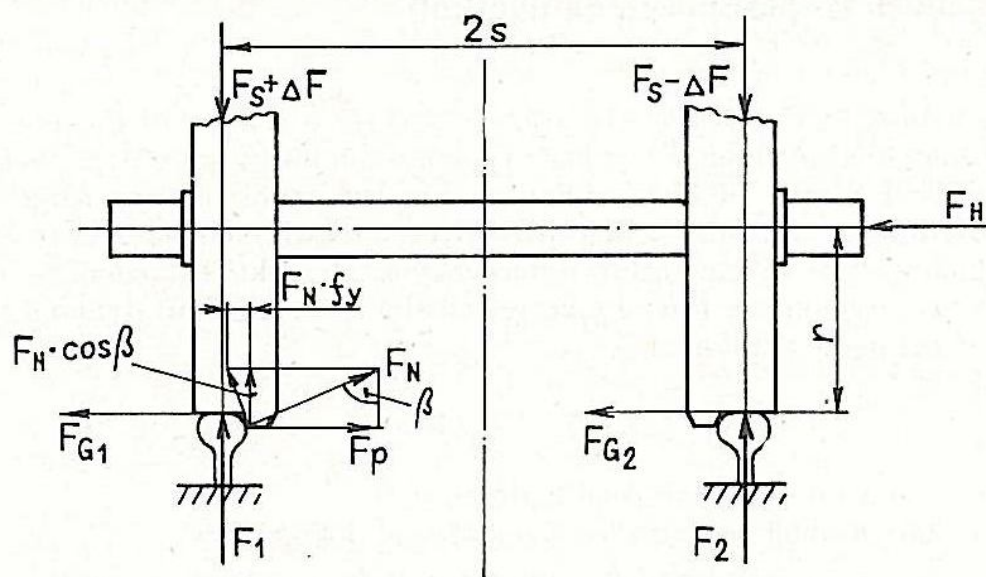
## 2 Principy hodnocení GPK ve vztahu k vzájemnému silovému působení vozidla a koleje

Vzájemné silové působení vozidla a koleje ovlivňuje bezpečnost provozu, komfort cestujících a v neposlední řadě hospodárnost údržby koleje i vozidel. Se zvyšující se rychlostí se toto působení zvětšuje, nicméně i při pomalé jízdě riziko vykolejení nemizí, v určitých případech se dokonce zvyšuje. (Obecně s klesající rychlostí stoupá úhel náběhu (dochází k přičení podvozku), stoupají příčné síly a vlivem přebytku převýšení klesají na vnějším kolejnicovém pásu hodnoty kolové síly, což vede k nepříznivému ovlivnění poměru vodících a kolových sil). Působení vozidla na kolej v příčném řezu zjednodušíme kvantifikací sil kolových ( $Q$ ) a vodících ( $Y$ ), pro kontrolu bezpečnosti proti vykolejení je dále sledován poměr zmíněných sil  $Y/Q$  a součet příčných sil  $\Sigma Y$ . Silové působení vozidla na kolej je možno přímo měřit, nicméně taková měření jsou technicky a organizačně náročná (nutnost použití

speciálních měrných dvojkolí), proto se těchto metod využívá pouze při zkouškách vozidel a verifikacích tratí (verifikace trati není periodickou kontrolou).

V provozních podmínkách se měří a vyhodnocují relativní odchylky v geometrii koleje podle metodiky přepočtu do skutečné geometrie a provozní odchylky geometrie dvojkolí podle mezinárodních dohod a předpisů vlastníka vozidel.

Vzájemné silové působení vozidla a koleje vyplývá ze zatížení nápravy kvazistatickými a dynamickými silami. Mezi základní faktory kvazistatického zatížení patří hmotnost vypružených částí vozidel, přitížení působící hnací silou, přitížení vlivem působení nedostatku převýšení při průjezdu obloukem a příčné síly při průjezdu obloukem. Základní faktory dynamického zatížení jsou dány vlivy nepravidelností, imperfekcí jízdní dráhy a trakčních sil zejména na nevypružené součásti vozidel.



Obrázek 5 Silové poměry styk kolo/kolejnice (Dynamické jevy, namáhání a poruš. pojezdů lok. NADAS 1986)

## 2.1 Vlivy odchylek v průběhu jednotlivých parametrů GPK na jízdu vozidla

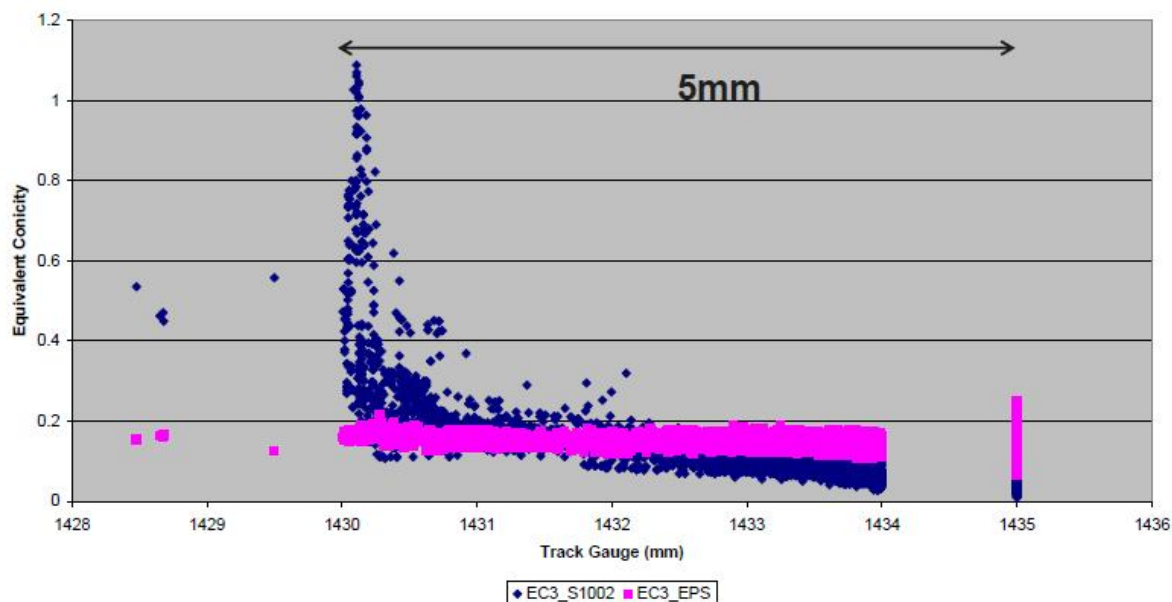
### 2.1.1 Rozchod koleje a jeho změny

Vzdálenost pojížděných hran kolejnicových pásů a tvar jejich obrysu spolu s rozměrovými charakteristikami dvojkolí vytváří základní podmínky pro klidnou a bezpečnou jízdu vozidel. V rámci tohoto pojednání je zahrnut pouze vliv vzdálenosti pojížděných hran kolejnicových pásů, tedy rozchodu koleje a jeho změn.

Lokální odchylky rozchodu koleje - v provozních podmínkách se vyskytuje rozchod koleje s kladnými a zápornými odchylkami. Stanovená bezpečnostní mez pro maximální hodnotu kladné odchylky (vztaženo vždy k hodnotě 1435 mm) je +35 mm. Při překročení této hodnoty zvláště v kombinaci se špatnou drážebností upevňovadel, kdy může dojít k dalšímu rozšíření rozchodu při průjezdu vlaku, následně hrozí propadnutí dvojkolí mezi kolejnicové pásy. S větší hodnotou rozchodu koleje se zvětšuje hodnota rozdílu skutečných poloměrů styčných kružnic na vnitřním a vnějším kole dvojkolí a úhel náběhu vodícího dvojkolí, což vede k vzniku prokluzu jednotlivých kol dvojkolí spojených tuhou nápravou. Tento jev má za následek vznik skluzových vln na temeni kolejnicových pásů s negativními dopady na

opotrebování kolejnicových pásů, přenos vibrací do konstrukce železničního svršku a zvýšení hlukové zátěže. Rozchod koleje se z konstrukčních důvodů nezužuje. Zúžení rozchodu může nastat vlivem provozních podmínek nebo chybou v konstrukci upevnění na kolejových podporách. Mezní odchylky záporného rozchodu koleje jsou stanoveny -9 mm (ČSN 73 6360-2, TSI INF CR) resp. -11 mm (ČSN EN 13848-5+A1).

Odchylky střední hodnoty rozchodu koleje - mimo lokálních odchylek rozchodu koleje se vyhodnocuje i průměrná hodnota rozchodu na 100 m (*RK100*) ve smyslu jejího maxima a minima. Toto hodnocení bylo zavedeno s cílem efektivní kontroly parametru ekvivalentní konicity, jejíž vysoké hodnoty jsou spojovány s nestabilitou chodu podvozku v koleji. (viz také studie [60], která hodnotila vzájemnou vazbu mezi parametrem *RK100* a ekvivalentní konicitou. Bylo prokázáno, že bez ohledu na úklon kolejnic a tvar profilu kolejnic dochází s poklesem *RK100* k nárůstu ekvivalentní konicity (pro každé kombinace profilů a úklonů s různou intenzitou). Ekvivalentní konicita je v současném stavu techniky obtížně přímo provozně hodnotitelná (vysoké požadavky na přesnost měření profilu kolejnic).



Obrázek 5 Vliv rozchodu koleje na ekvivalentní konicitu, měření – úsek tratě Ex2 (Švédsko), úklon kolejnic 1:30, profily kol EPS a S1002, rychlostní pásmo 160 km/h <  $V \leq 200$  km/h, osa [x] – rozchod koleje, osa [y] ekvivalentní konicita, zdroj [60]

### 2.1.2 Směr koleje

Vliv odchylek ve směru koleje může nepříznivě ovlivnit bezpečnost proti vykolejení z důvodu zvětšení příčné síly  $Y$  ve vztahu k odezvě vozidla v poměru příčné a svislé kolové síly  $Y/Q$  a v součtu příčných sil  $\Sigma Y$ . Nicméně pokud nedochází ke snížení kolové síly  $Q$  vlivem současného vlivu závady jiného parametru GPK (nejpravděpodobněji zborcení koleje), potom zvětšení příčné síly  $Y$ , které má negativní vliv na bezpečnostní poměr  $Y/Q$ , musí mít dynamický charakter. Při kvazistatickém nárůstu příčné síly na směrové deformaci koleje bude docházet k nárůstu působení odstředivého zrychlení, kdy narůstají svislé a kolové síly současně, tedy bezpečnostní poměr  $Y/Q$  zůstává zachován. V závislosti na projektované křivosti osy koleje se mění riziko vykolejení, jelikož s rostoucí křivostí roste obecně i úhel náběhu dvojkolí, a tím vlivem přičení podvozku vzrůstají vodící síly včetně změny třecích poměrů na styku kolo/kolejnice.

Odchytky směru koleje se výrazně projevuje v kombinaci s jinými lokálními závadami zejména v parametru zborcení koleje. Kombinace lokálních závad je hodnocena měřicími vozy (MVŽSv a MD), které jsou vybaveny systémem hodnocení odezvy vozidla na základě počítaných sil  $Y$  a  $Q$  pro určení bezpečnostních hodnot  $\Sigma Y$  a  $Y/Q$  ze změřené geometrie a předpokládaných charakteristik vozidla.

### 2.1.3 Zborcení koleje

Zborcení koleje je klíčovým parametrem hodnocené kvality GPK, neboť tyto závady se často podílejí na příčinách vykolejení vozidel. K vykolejení z důvodu závady ve zborcené koleji dochází vlivem odlehčení kola nápravy a její následné vyšplhání na temeno kolejnice při porušení bezpečnostního poměru sil  $Y/Q$ . Toto kritérium je založeno na rovnováze sil na nakloněné rovině styku mezi kolem a kolejnicí. K vykolejení dochází, jestliže výslednice svislých složek kolmých a obvodových sil dostatečně působí proti svislé síle kola. Předpokládá se, že v bodě styku okolku dochází ke smyku směrem dolů. Dále se předpokládá, že obvodová (třecí) síla na pojížděné ploše se rovná součinu součinitele tření na okolku a síly kolmé na okolek.

Mezní poměr  $Y/Q$  je funkcí úhlu okolku a součinitele tření  $\mu$  okolku. Hodnoty pro praktické rozsahy úhlů okolku a součinitele tření jsou uvedeny na následujícím obrázku, kde osa  $x$  znázorňuje úhel okolku ve stupních a osa  $y$  znázorňuje mezní poměr  $Y/Q$ . Z tohoto grafu je zřejmé, jakým způsobem stoupá bezpečnostní poměr  $Y/Q$  pro různé podmínky tření a úhlu styku kolo/kolejnice (sklon okolků a hrany kolejnice).

## 3 Cíle disertační práce

Provoz a údržba železničních drah se řídí podle zákona č. 266/1994 Sb., o dráhách, který v paragrafu 22 stanovuje práva a povinnosti provozovatele dráhy. Jednou těchto povinností je „...vydat ke dni zahájení provozování dráhy vnitřní předpis o provozování dráhy“. Současně s touto povinností provozovatele dráhy, je kladena odpovědnost na Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, který vydává České technické normy (dále jen ČSN). Vybrané ČSN citované ve vyhlášce Ministerstva dopravy č. 177/1995 Sb., kterou se vydává stavební a technický řád drah, jsou pro oblast železničního stavebnictví závazné. Úkolem všech předpisů a norem v oblasti provozování železniční dopravní cesty (dále ŽDC) je umožnit bezpečný a plynulý provoz drážní dopravy při zajištění efektivní možnosti její správy.

Cílem této disertační práce je ozřejmit postupy v oblasti návrhu a diagnostiky GPK, spolu s návrhem změn pro obě části normy ČSN 73 6360-1,2. Změny jednotlivých částí norem vycházejí z analýzy jízdních vlastností vozidel na definované geometrické poloze koleje se zahrnutím vlivů jejich provozních odchylek. Teoretická část disertační práce je založena na zpracování podkladů a vlastní zpracování norem ČSN 73 6360-1:2008 a ČSN 73 6360-2:2009 a předpisů provozovatele dráhy. V této části bylo nutné vycházet z dostupných teoretických podkladů a vlastních výpočtů při stanovení metodiky projektování a hodnocení GPK. Praktickou částí této disertační práce je ověření stanovených principů pomocí hodnocení měření vzájemných silových účinků vozidel a koleje. Součástí ověření principů hodnocení kvality GPK je rovněž šetření příčin vzniku mimořádných událostí, na kterých se autor této práce svými expertními posudky podílel. Hlavním cílem této práce je návrh úprav ČSN 73 6360 jako základního dokumentu v oblasti navrhování GPK a kontroly její kvality.

Dále budou výsledky této práce postupně aplikovány při úpravách všech souvisejících dokumentů, jak na úrovni předpisů provozovatele dráhy, tak i evropské legislativy (TSI INF, Evropské normy).

Vedlejšími cíli této práce je aplikace poznatků získaných při řešení hlavních cílů v rámci strategie provozovatele dráhy například v oblasti zvyšování traťových rychlostí (ve vztahu k využívání vyšších hodnot nedostatku převýšení).

Níže uvedená výsledková část obsahuje praktické ověření teoretických poznatků shrnutých v současné ČSN 73 6360-1 a ČSN 73 6360-2. K 1.4.2013 byla vydána Změna 1 ČSN 73 6360-2, která byla zpracována (autorem této disertační práce) z důvodu odstranění dílčích, ale zásadních nepřesností, které vedly k nesprávnému posuzování kvality GPK ve vztahu k šetření příčin a okolností vzniku mimořádných událostí.

## **4 Praktické posouzení silových účinků vozidla trať vzhledem k projektovaným parametrům a provozním odchylkám GPK**

### **4.1 Použitá metodika**

Pro praktické ověření vzájemné interakce vozidla a koleje při různých situacích návrhu polohy koleje byla využita měření, která se provádějí v rámci ověřování jízdních vlastností vozidel při schvalování jejich nových typů. Výhodnost využití těchto dat spočívá v poměrně velkém rozsahu měření co do délky zkušebních úseku (několik set km), velké různosti směrových poměrů (oblouky poloměrů 175 m a větších), ve velkém rozptylu kvality geometrie koleje a v detailním měření všech parametrů interakce vozidlo/kolej. Primární měřená data byla poskytnuta autorovi této práce ze strany VUKV a.s.

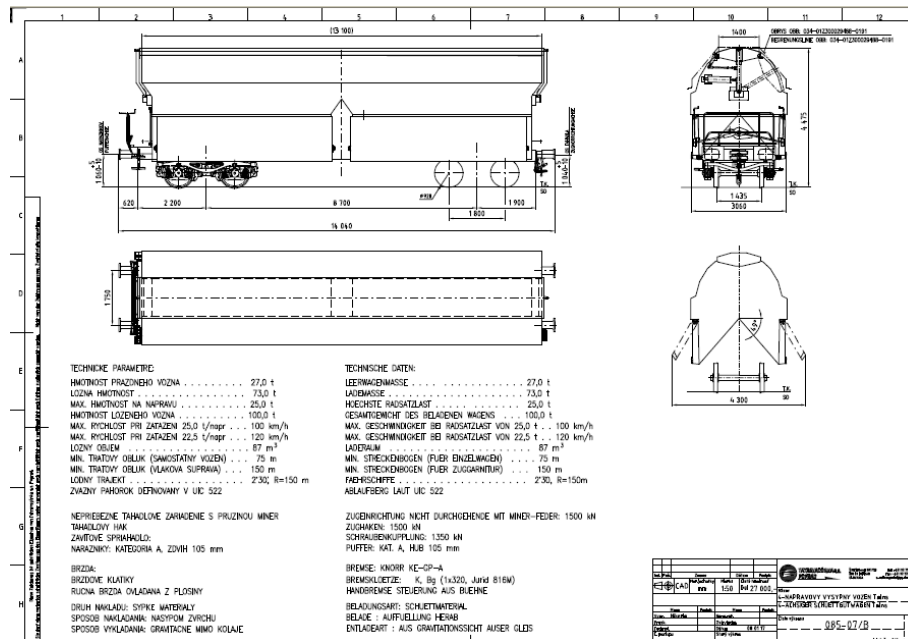
Současně byly ze strany SŽDC poskytnuty výstupy ze specializovaného měření kvality geometrické polohy koleje za provozu (viz podle [34]), a to jak ve formě výstupních souborů závad v různých úrovních včetně grafického znázornění, tak bylo možné na vyžádání pracovat s primárními daty importovanými přímo z jednotlivých čidel a snímačů měřícího vozu. Těchto dat bylo například využito pro sledování útlumu příčného naklánění skříně vozu (standardně byla data využívána pro kompenzaci při výpočtu převýšení koleje).

V průběhu roku 2009 a 2010 probíhaly na vybraných úsecích sítě tratí SŽDC jízdní zkoušky nákladního vozu Talns výrobce Tatravagónka Poprad a lokomotivy 109E výrobce ŠKODA Transportation (dále jen 109E).



Obrázek 6 Lokomotiva 109E (řada ČD 380 006-7) na malém zkušebním okruhu VUZ v Cerhenicích





Obrázek 7 Typový výkres vozu Tals

Výběr zkušebních úseků pro jízdní zkoušky byl tento:

1. Letohrad – Lichkov
2. Brno – Česká Třebová
3. Vraňany – Hněvice
4. Lovosice – Děčín
5. Leština u Světlé – Kolín
6. Zkušební okruh VUZ Cerhenice
7. Přerov – Prosenice

#### 4.2 Délka směrových prvků konstantní křivosti a jejich kombinace

Standardním způsobem návrhu GPK je použití přechodnic ke zmírnění náhlé změny křivosti při přechodu z přímé do kružnicového oblouku nebo opačně. Z tohoto důvodu obsahují dotčené traťové úseky především situace kombinace směrových prvků protisměrných oblouků s přechodnicemi a mezipřímou, inflexní přechodnice nebo stejnosměrné oblouky s přechodnicemi oddělené mezipřímými. Cílem tohoto pojednání je analyzovat vliv jednotlivých kombinací směrových prvků na jízdní charakteristiky vozidel, jak ve vztahu k bezpečnosti provozu, tak i ve vztahu ovlivnění komfortu cestujících. Zásadním řešeným problémem je porovnání míry vlivu projektovaných parametrů vůči vlivu provozních odchylek. Tato část je praktickou částí disertační práce. Pro ilustraci postupů je níže uvedena analýza dat z jednoho zkušebního úseku v rozsahu 3 praktických příkladů (z celkových 58).

##### 4.2.1 Traťový úsek Letohrad – Lichkov

Hodnocený traťový úsek žst. Letohrad (mimo) – žst. Lichkov (mimo) je po celkové rekonstrukci, zkušební provoz byl spuštěn v roce 2008. Jedná se o jednokolejnou elektrizovanou trať vedenou ve směru Letohrad – Lichkov převážně ve stoupání (průměrně 10 – 15 ‰) se směrovými poměry s oblouky malých poloměrů v oblasti 300 – 500 m. Geometrické parametry koleje byly navrženy v souladu s normou ČSN 73 6360-1:1997. Sestava železničního svršku je soustavy R 65, tj. kolejnice tvaru R 65 vložené jako užité, uložené na betonových pražcích SB 8 s žebrovými podkladnicemi. Kvalita GPK odpovídala

rekonstruované trati – v době přejímky splňovala přejímkové odchylky pro užitý materiál dle ČSN 73 6360-2:2007. Níže uvedená tabulka 2 uvádí souhrn prvků směrového řešení konstantní křivosti, přičemž jejich délka je menší než jednonásobek traťové maximální rychlosti ( $L_i \leq 1,0 \cdot V$ ).

**Tabulka 2 Výčet směrových prvků konstantní křivosti v traťovém úseku Letohrad - Lichkov**

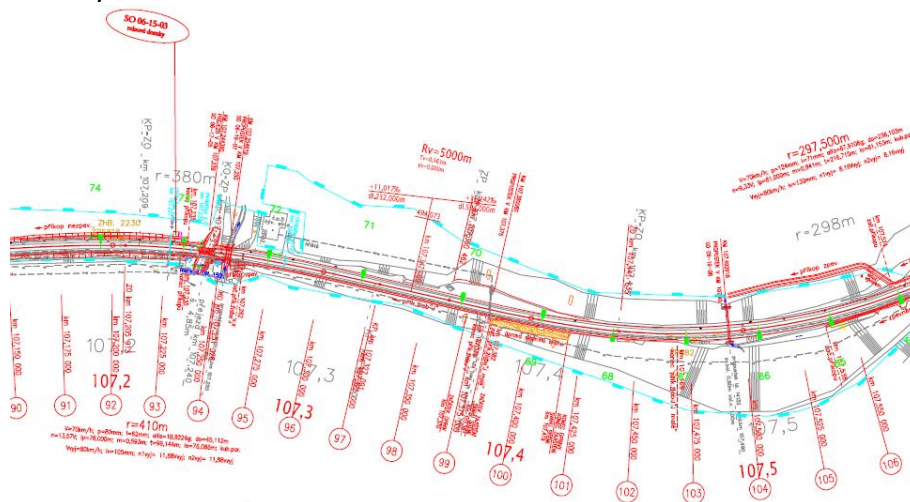
Mezipřímé $L < 1,0 \cdot V$					Navazující poloměry
km	km	$L$ [m]	$V$ [km/h]	$q = L/V$	$R_1/R_2$ [m]
91,91	91,941	31	85	0,37	724/345
93,151	93,189	38	85	0,45	395/415
97,646	97,692	46	80	0,58	300/300
98,048	98,089	41	80	0,52	300/402
99,987	100,017	30	80	0,38	440/330
101,321	101,367	46	75	0,62	296/445
103,727	103,771	44	80	0,55	380/385
103,935	103,995	60	70	0,86	385/250
104,234	104,26	26	70	0,38	250/600
104,905	104,927	22	75	0,3	290/300
107,327	107,36	33	80	0,42	410/298
107,758	107,824	66	80	0,83	298/342
109,413	109,491	78	90	0,87	300/500
Kružnicové části oblouků $L < 1,0 \cdot V$					
km	km	$L$ [m]	$V$ [km/h]	$q = L/V$	$R$ [m]
93,017	93,088	71	85	0,84	395
101,891	101,931	40	80	0,5	350
103,084	103,124	40	75	0,54	400
103,6	103,669	69	80	0,87	380
104,991	105,05	59	75	0,79	300
107,206	107,251	45	80	0,57	410
109,241	109,326	85	90	0,95	300

Dále budou uvedeny konkrétní případy hodnocení vlivu jednotlivých kombinací projektovaných parametrů GPK na silové působení vozidla v jednotlivých sledovaných úsecích.

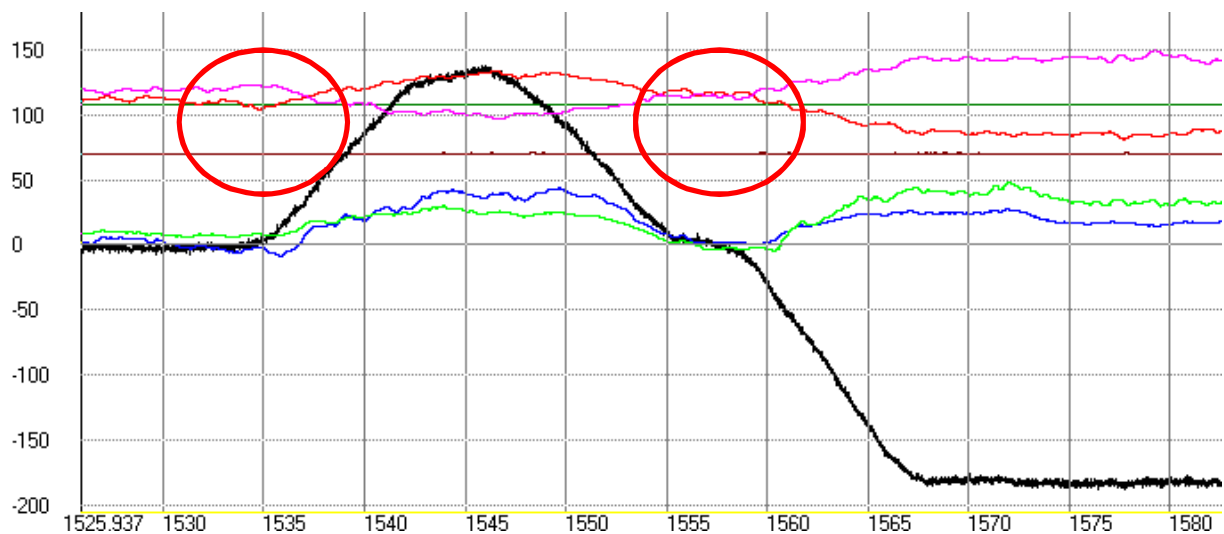
### **Příklad 1**

Z obrázku č. 9 v případě vozu Talns je patrná změna svislé kolové síly při přechodu mezi oblouky opačných směrů. Tato změna není plynulá s jednotným trendem. Změny velikostí kolových sil způsobují buzení příčného kývání vozidla. Zřetelněji se tento vliv projevuje v oblasti mezipřímé, nicméně se také projeví při přechodu z oblouku do přímé a to i při použití přechodnic. Z obrázku č. 10 je patrný obdobný průběh sil pro lokomotivu 109E v opačném směru jízdy, kdy je ve větší míře zachován jednotný trend poklesu/nárůstu sil. Nejednotný trend průběhu svislých sil ( $Q$ ) se projevuje zřetelněji na druhé nápravě ve směru jízdy. Z podrobnější analýzy je patrný rozdíl mezi kolovými silami  $Q$  první nápravy a kolovými silami ( $Q$ ) druhé nápravy, který je způsoben rámovým účinkem podvozku vozidla při jízdě ve vzestupnici (směrem klesajícího převýšení). Protože je tedy v jízdě podél vzestupnice

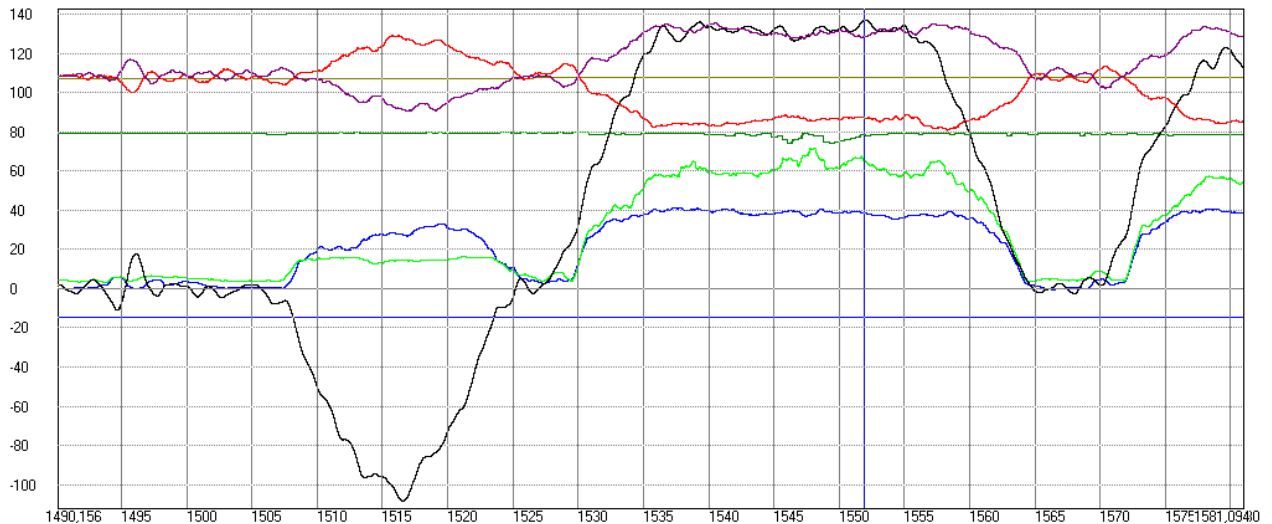
směrem klesajícího převýšení přitěžováno kolo druhé nápravy, je i účinek změny orientace nedostatku převýšení na mezipřímé silnější. Tyto závěry se týkají pojezdu vozidla 109E (rozvor 2500 m), zatímco v případě vozidla Talns (podvozky Y25) platí, že průběhy svislých sil se na první a druhé nápravě v zásadě shodují. Zřejmě je to dáno nižší torzní tuhostí podvozku a menším rozvodem (cca 1700 – 1800 mm). Výše uvedené průběhy sil lze pozorovat ve všech případech uvedených v tabulce 2.



Obrázek 8 Mezipřímá délky 33 m (0,4.V) mezi oblouky opačných směrů s přechodnicemi, km 107,3



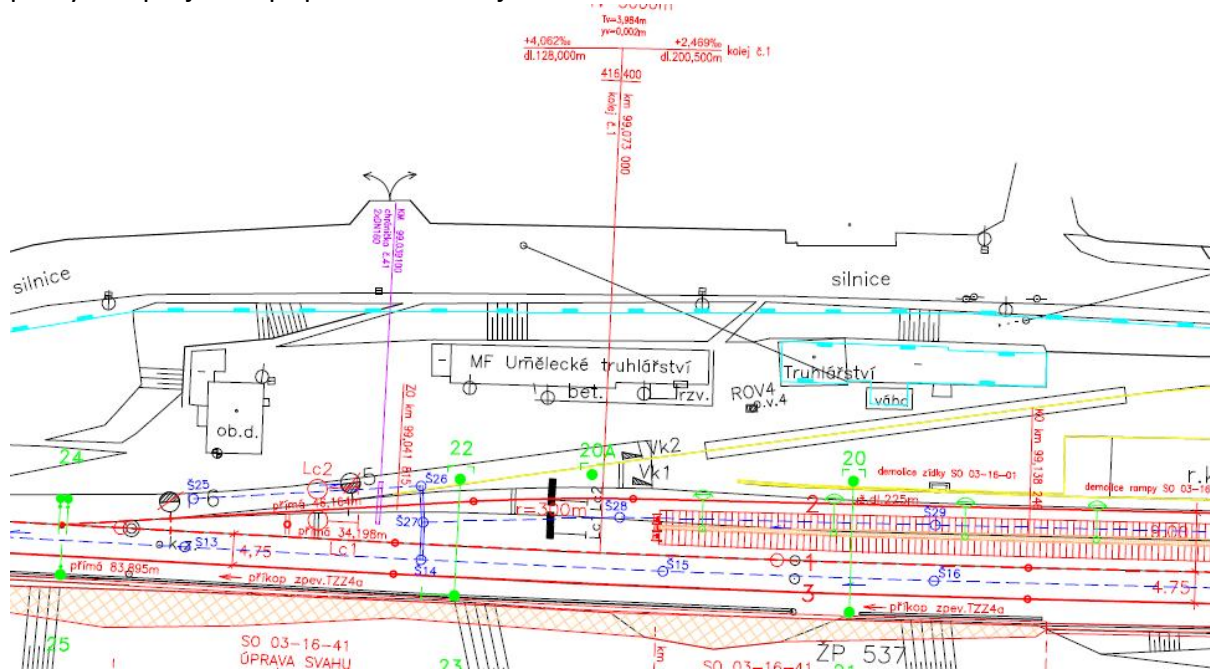
Obrázek 9 – Průběh kolových sil vozidla Talns, km 106,9 - km 107,9;  $Q_{11}$  - červená,  $Q_{12}$  fialová,  $Y_{11}$  - zelená,  $Y_{12}$  modrá, křivost osy koleje - černá; osa  $y$ : kolové síly [kN], osa  $x$ : čas [s];



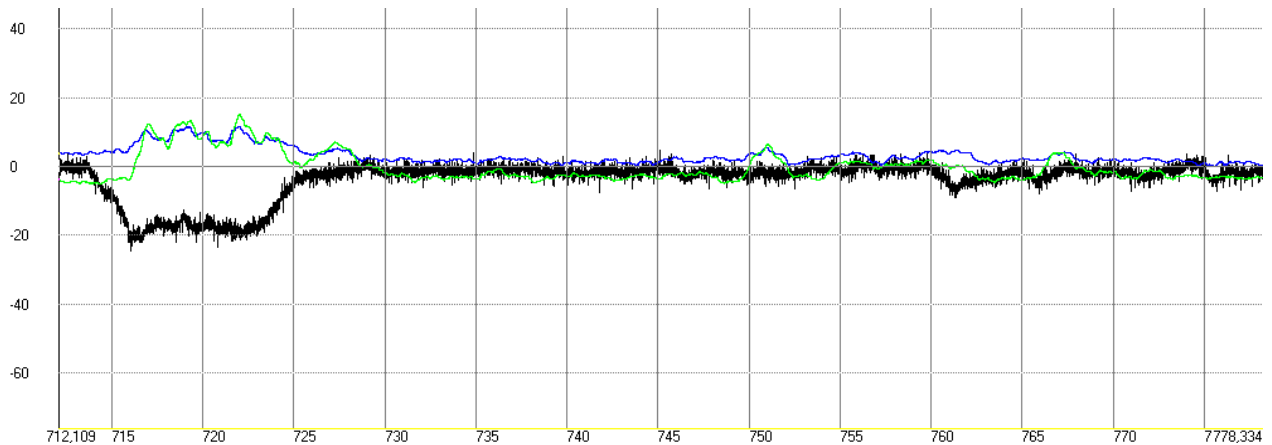
Obrázek 10 Průběh kolových sil vozidla 109E, km 106,9 - km 107,9;  $Q_{11}$  - červená,  $Q_{12}$  fialová,  $Y_{22}$  - zelená,  $Y_{21}$  modrá, křivost osy koleje - černá; osa y: kolové síly [kN], osa x: čas [s]

## Příklad 2

Obrázek č.11 (Talns) ukazuje situaci oblouku většího poloměru bez převýšení i přechodnic. Pro traťovou rychlost je zde odpovídající nedostatek převýšení  $I = 20,5$  mm. Dále je zde patrný ne zcela skokový nárůst křivosti, a tím úměrně příčné síly v závislosti na délce, jak by bylo teoretické. Podobným způsobem, nicméně s větší špičkovou hodnotou v místě teoretické náhlé změny křivosti v místě začátku oblouku, se plynulý nárůst nedostatku převýšení projevil v případě záznamu jízdních zkoušek 109E.



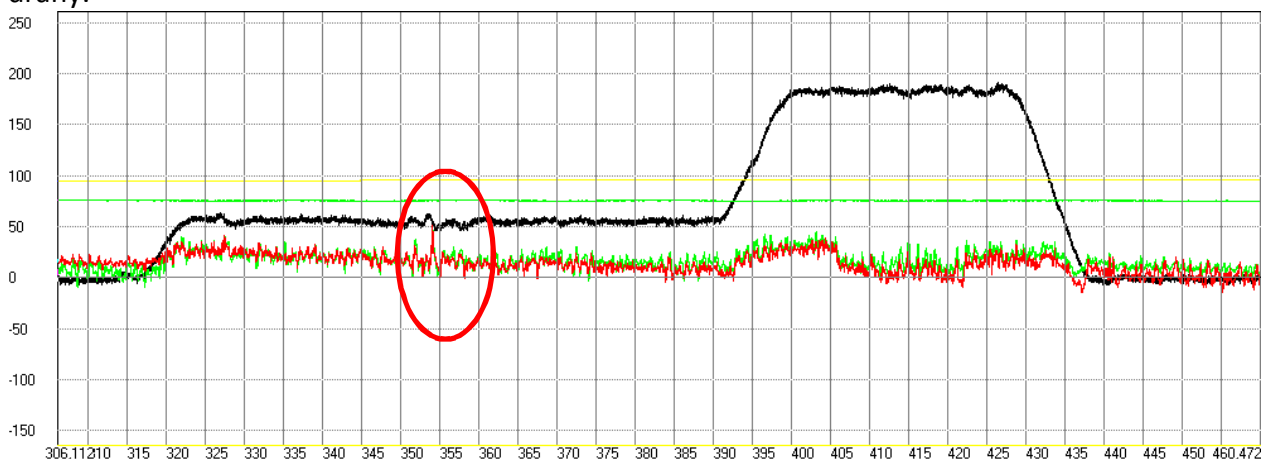
Obrázek 11 Směrový oblouk bez přechodnic  $R = 3250$ ,  $d_0 = 96$ m žst. Jablonné nad Orlicí km 99,1



Obrázek 12 - Průběh kolových sil vozidla Talns, km 99,1 - 99,8;  $Y_{11}$  - zelená,  $Y_{12}$  modrá, křivost osy koleje - černá; osa y: kolové síly [kN], osa x: čas [s];

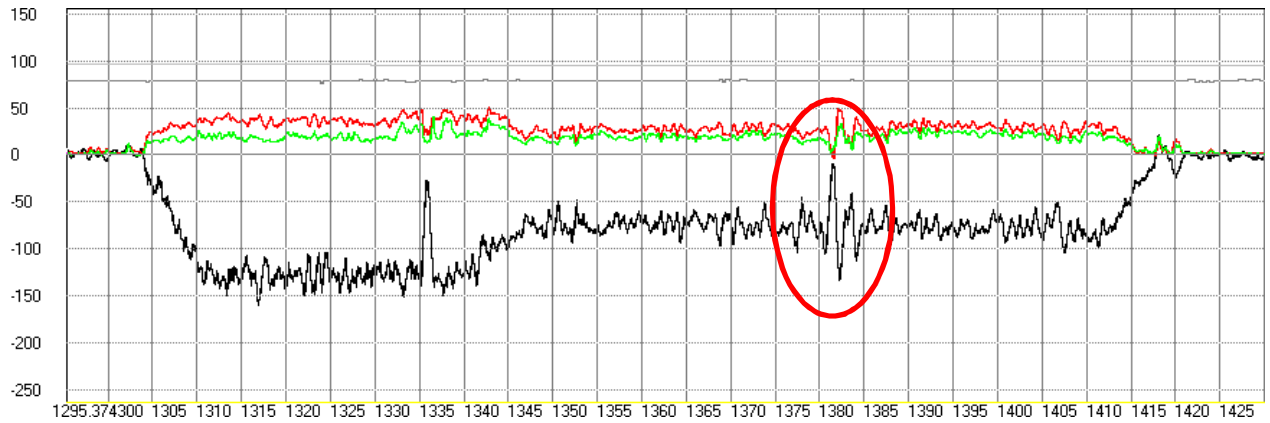
### Příklad 3

Následující grafy znázorňují průběh pro bezpečnost provozu směrodatný poměr příčných sil a svislých  $Y/Q$ . Tento poměr významně signalizuje místa se zvýšeným rizikem vykolejení. Zvýšené hodnoty působení příčných resp. kolových sil samy o sobě bez vzájemné kombinace znamenají spíše ovlivnění klidnosti jízdy – tedy komfortu cestujících. Následující obrázky byly zaměřeny na místa se zvýšeným poměrem  $Y/Q$ . Hodnotí se plovoucí průměr z naměřených hodnot  $Y/Q$  na délce 25 m (vůz Talns) a na délce 45 m (vozidlo 109E), která je odvozena pro délku trvání cca 2 m (v závislosti na frekvenci vzorkování a rychlost měření). Prvním případem je obrázek č. 78 resp. obrázek č. 79, který dokumentuje místo náhlého zvýšení poměru  $Y/Q$  k hodnotě 0,5, které je ovlivněno kombinací závad *SK* a *VL*, *VP* a změnou tuhosti vlivem mostní konstrukce. Přestože úroveň jednotlivých odchylek GPK při měření 2009 (jízdy Talns) a 2010 (jízdy 109E) se vzájemně liší, výsledné ovlivnění poměru  $Y/Q$  je u obou případů přibližně ekvivalentní. Zřejmě tedy dominantní vliv na tento poměr má změna tuhosti jízdní dráhy.

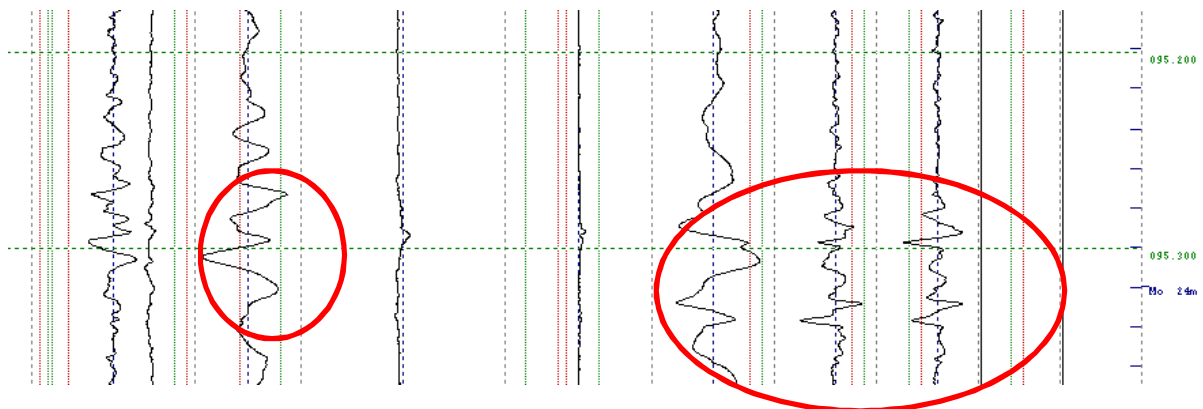


Obrázek 13 Průběh poměru vodících a kolových sil vozidla Talns, km 94,8 - km 96,1;  $Y_{22}/Q_{22}$  - červená,  $Y_{21}/Q_{21}$  - zelená, křivost osy koleje - černá; osa y:  $Y/Q \cdot 100$  [kN], osa x: čas [s];

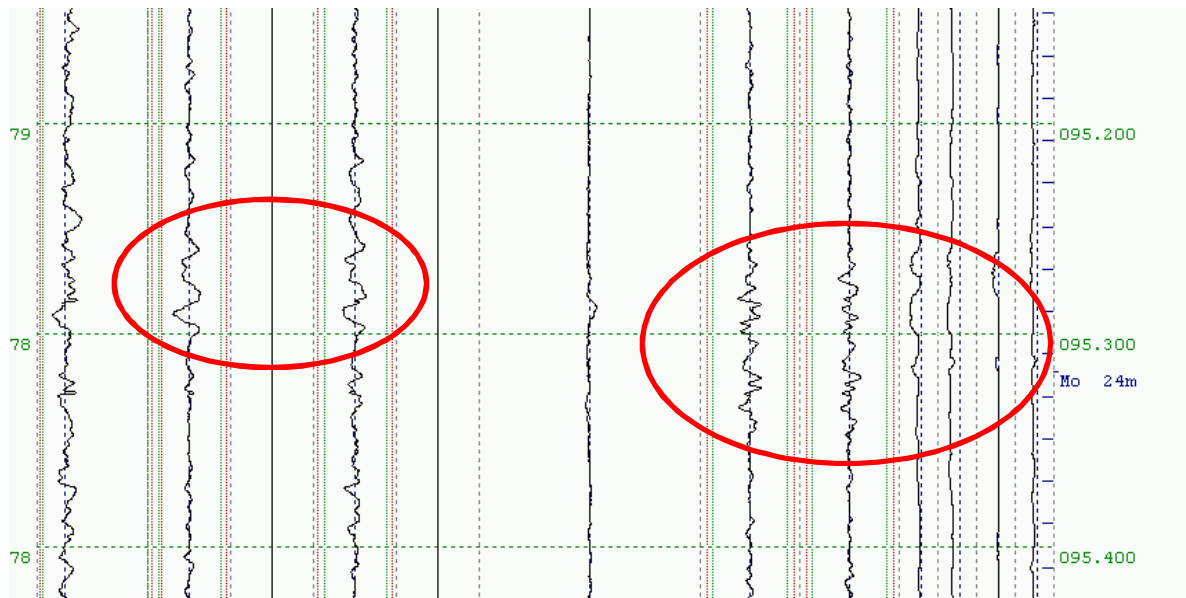
Požadavky na projektovaný a provozní stav geometrických parametrů koleje ve vztahu k vzájemnému silovému působení vozidla a koleje



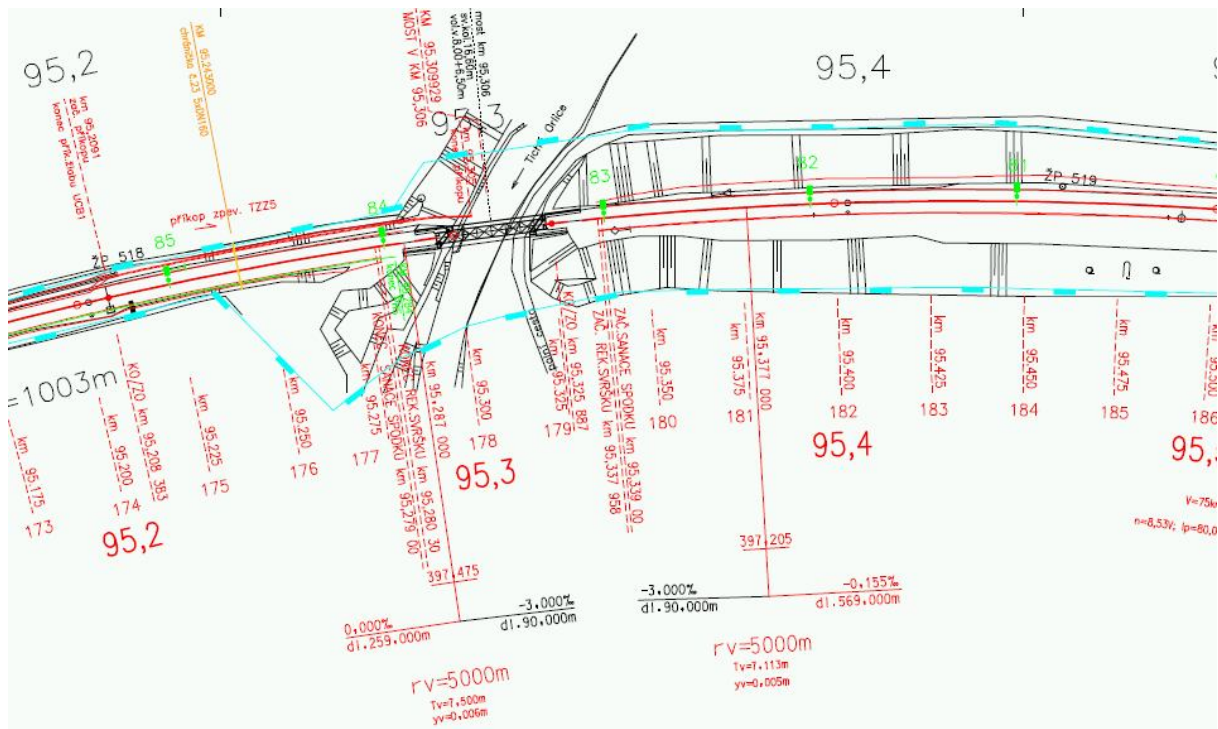
Obrázek 14 Průběh poměru vodících a kolových sil vozidla 109E, km 94,8 - km 96,1;  $Y_{11}/Q_{11}$  - červená,  $Y_{12}/Q_{12}$  zelená, křivost osy koleje - černá; osa y:  $Y/Q \cdot 100$  [kN], osa x: čas [s];



Obrázek 15 Kvalita GPK v km 95,3 – SK a VL, VP (měření 2009)



Obrázek 16 Kvalita GPK v km 95,3 – SK a VL, VP (měření 2010)



Obrázek 17 Situace v km 95,3 most s prvkovou mostovkou

## 5 Závěr

V první části disertační práce byly hodnoceny vlivy délek vybraných prvků směrového uspořádání koleje na průběh vzájemného silového působení vozidla a koleje ve vztahu k zásadám jejich navrhování. Cílem bylo potvrdit správnost principů navrhování délek směrových prvků konstantní křivosti uvedených v ČSN 73 6360-1:2008 nebo navrhnout jejich opravu. Z výsledků disertační práce vyplynulo, že by mělo být více rozlišováno mezi požadavky na délku mezipřímé oproti délce kružnicového oblouku. Důvodem je, že na rozdíl od mezipřímých se zde vyskytuje výraznější působení sil  $Q$  a  $Y$ , což zároveň klade vyšší požadavky na jejich útlum do kvazistatického stavu. Dále bylo poukázáno na neodůvodněnost a nekoncepčnost současných stanovených požadavků na vzájemnou polohu výhybek a vzesupnic, jelikož přistupují obdobně k oběma stranám výhybky (výměnový a koncový styk), i když se svými parametry rozhraní kolo/kolejnice zásadně odlišují. Nad to použití parametru  $dD/dt$  jako jediného rozhodného rovněž není speciálně v oblasti nízkých rychlostí vhodné. Výše uvedené ověření bylo provedeno pro vozidla konstruovaná tak, aby byla vyhovující zásadám stanoveným legislativou a normami pro oblast jízdních vlastností vozidel. Z tohoto vyplývá, že stanovené zásady pro projektování GPK jsou rovněž aplikovatelné pro celé spektrum vozidel, bez ohledu na jejich konstrukční řešení (hnací, hnaná, podvozková, bezpodvozková atd.). Výsledná doporučení této disertační práce její autor použije v rámci řešení následujícího úkolu technické normalizace řešící novelizaci ČSN 73 6360-1. Hlavními výslednými doporučeními jsou, že je žádoucí eliminovat případy, kdy jsou navrženy krátké přímé úseky mezi přechodnicemi, speciálně v případech protisměrných oblouků. V případě řešení přechodnic s bodem obratu je příznivější průběh především svislých kolových sil. Stejně je třeba eliminovat spolupůsobení vlivu mezipřímé minimální délky v kombinaci s vysokými hodnotami  $dD/dt$  a  $dI/dt$ . Problematické jsou také krátké kružnicové části oblouků, neboť na rozdíl od mezipřímých se zde vyskytuje výraznější působení  $Q$  a  $Y$ , což zároveň klade vyšší požadavky na jejich útlum do kvazistatického stavu.

V případě minimálních délek prvků konstantní křivosti mezi přechodnicemi lze uplatnit buď zásadu konstrukce přechodnice s bodem obratu – tedy nulové délky mezipřímé nebo lze navrhnout délky mezipřímých ve smyslu článku 7.2.4 a 8.2.4 normy ČSN 73 6360-1. Naproti tomu v případě délky kružnicové části oblouku mezi přechodnicemi musí být navržena její nenulová hodnota, jelikož oblouky složené pouze z přechodnic se nesmí navrhnout. Toto kritérium je správné z důvodů nutnosti vyrovnání změn  $dD/dt$  resp.  $dI/dt$  při maximálních hodnotách příčných a svislých sil působících na vodící kolejnicový pás. V tomto smyslu je význam minimálních délek definovaných v článku 7.2.4 normy ČSN 73 6360-1:2008 zásadnější než v případě mezipřímé. Výsledně tedy v případě minimální délky kružnicové části oblouku by měla být zohledněna krom návrhové rychlosti i změna nárůstu převýšení v čase  $\Delta dD/dt$  a nárůstu nedostatku převýšení v čase  $\Delta dI/dt$  jako faktorů ovlivňujících míru změny příčných a svislých sil na rozhraní vozidlo/kolej. Lze však konstatovat, že nastavení kritérií pro délku kružnicové části oblouku mezi přechodnicemi v závislosti na parametrech  $\Delta dD/dt$  a  $\Delta dI/dt$  závazně normou by se stalo neúměrně komplikovaným, proto lze stanovit, že by se při návrhu mělo k těmto veličinám přihlídnout.

Nad to je z pohledu současné metodiky posuzování dle ČSN 73 6360-1 problematický rozsah působnosti článku 7.2.4, který se týká pouze posuzování délek kružnicových částí oblouků a mezipřímých mezi vzestupnicemi, kdežto problematika posuzování nutných délek mezipřímých a kružnicových částí oblouků mezi přechodnicemi je určena s odlišným přístupem, který není na posuzování délek kružnicových částí oblouků vhodný. Článek 8.2.4 normy ČSN 73 6360-1 je vhodný pro posuzování délky mezipřímé. Pro posuzování délky kružnicové části oblouku mezi přechodnicemi, tento článek vhodný není, neboť teoreticky umožňuje navrhnout délku kružnicové části oblouku blížíci se nule (návrh přechodnicového oblouku se dle článku 8.1 neumožňuje). Článek 8.2.4 je třeba doplnit o ustanovení určující minimální délku kružnicového oblouku v absolutní hodnotě. Tyto hodnoty by měly být shodné s hodnotami uvedenými v článku 7.2.4, jelikož se zde jedná o vyrovnání změny parametru  $dI/dt$ , v tomto případě bez změny parametru  $dD/dt$ .

Analýzou průběhu  $Y/Q$  v oblouku se potvrdil teoretický předpoklad jeho průběhu: v přechodnici se zvyšujícím se převýšením narůstá plynule až do ustálených hodnot v kružnicové části oblouku, v přechodnici se snižujícím se převýšením je úbytek příčných sil rychlejší než jejich nárůst v přechodnici se zvyšujícím se převýšením.

Ve věci problematiky velikosti silového působení vozidla v závislosti na míře působení nevyrovnaného příčného zrychlení byl ověřen trend vlivu vyplývající z teorie rovnováhy sil působící na pojezd vozidel. Tímto trendem rychlejší nárůst svislých sil než sil příčných v obloucích nižších poloměrů, a tím výsledně pokles klíčových hodnot poměrů  $Y/Q$ . Dále byla ověřena míra vlivu nárůstu nevyrovnaného příčného zrychlení ve vztahu k nárůstu příčných kvazistatických sil, které jsou určující pro míru opotřebení kola/kolejnice. Bylo ověřeno, že řádově větší vliv na velikost příčných sil má faktor křivosti koleje než faktor nevyrovnaného příčného zrychlení. Na základě výše uvedeného ověření byly autorem této disertační práce v rámci zpracování Změny 1 ČSN 736360-2 (únor 2013) upraveny mezní provozní hodnoty převýšení koleje ve vztahu k nedostatku převýšení (viz tabulka 10.2 této normy).

V druhé části disertační práce je hodnocen vliv odchylek jednotlivých parametrů GPK a jejich vzájemných kombinací na průběh silových veličin charakterizujících bezpečnost jízdy drážního vozidla. Tato problematika je velmi komplexní, jelikož často dochází k vzájemnému spolupůsobení závad geometrické polohy koleje v jednotlivých parametrech s odlišnými reakcemi každého typu vozidel podle jejich vlastního konstrukčního řešení. Podstatný vliv na výslednou reakci vozidla má dále lokalizace závady ve vztahu k místním směrovým



a sklonovým poměrům. Jako nejméně příznivá je vyhodnocena kombinace závady v parametru směr koleje se současně se vyskytující závadou ve zborcení. Závada ve směru koleje působí na první nabíhající nápravě zvýšení příčné síly, závada ve zborcení koleje způsobuje snížení síly kolové. Výsledně dochází ke kritickému zvýšení poměru vodicích a kolových sil vedoucí ke šplhání okolku na temeno kolejnice.

Velmi obtížně hodnotitelné zůstávají opakující se závady, které mohou způsobit v závislosti na vlastních frekvencích vozidel reakce vedoucí až k přesažení meze bezpečnosti, přičemž amplitudy závad se pohybují pod hladinou mezních provozních odchylek.

V neposlední řadě byla autorem této disertační práce na základě provedené analýzy oblasti měření parametru směru koleje provedena oprava chybných ustanovení ČSN 736360-2 v oblasti hodnocení vzepětí na těživě délky 10 m, které se využívá především při zjišťování příčin a okolností vzniku mimořádných událostí (viz Změna 1 ČSN 73 6360-2:2013). Problematické bylo především nastavení velikostí odchylek pro ruční měření na těživě délky 10 m vzhledem k pro posuzování jízdní bezpečnosti směrodatným odchylkám parametru směru koleje hodnoceném ve skutečné geometrii v rozsahu vlnových délek  $D1$ .

## 6 Literatura

### Legislativa

- [1] Zákon č. 266/1994 Zákon o drahách;
- [2] Vyhláška č.173/1995 Sb., kterou se vydává dopravní řád drah;
- [3] Vyhláška č.177/1995 Sb., kterou se vydává stavební a technický řád drah
- [4] Rozhodnutí Komise 2002/732/ES ze dne 30. Května 2002 o technické specifikaci pro interoperabilitu subsystému „Infrastruktura“ transevropského vysokorychlostního železničního systému podle čl. 6 odst. 1 směrnice Rady 96/48/ES;
- [5] Rozhodnutí Komise 2011/275/EU ze dne 26. dubna 2011 o technické specifikaci pro interoperabilitu subsystému „infrastruktura“ transevropského konvenčního železničního systému;
- [6] Rozhodnutí Komise 2011/291/EU ze dne 26. dubna 2011 o technické specifikaci pro interoperabilitu subsystému „kolejová vozidla – lokomotivy a kolejová vozidla pro přepravu osob“ transevropského konvenčního železničního systému;
- [7] Rozhodnutí Komise 2002/735/EU ze dne 30. května 2002 o technické specifikaci pro interoperabilitu subsystému „kolejová vozidla“ transevropského vysokorychlostního železničního systému;
- [8] Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2008/57/ES ze dne 17.6.2008 o interoperabilitě železničního systému ve společenství
- [9] Nařízení vlády ze dne 9. března 2005 o technických požadavcích na provozní a technickou propojenost evropského železničního systému
- [10] Sdělení Ministerstva dopravy ze dne 25. února 2004 o výčtu železničních drah zařazených do evropského železničního systému

### Normy

- [11] ČSN EN 14 363 (28 0307). *Železniční aplikace – Přejímací zkoušky jízdních vlastností kolejových vozidel – zkoušky chování za jízdy a stacionární zkoušky*; Praha: ČNI, 2006. ISBN 8 590963764474.
- [12] ENV 13 803-1:2004. *Railway application – Track alignment design parameters – track gages 1435 mm and wider – Part 1: Plain Line*; Brusel: CEN, 2006.
- [13] ČSN EN 13 803-2. *Železniční aplikace - Kolej – Návrhové parametry polohy koleje – Kolej rozchodu 1435 mm a širšího: Část 2: Výhybky a výhybkové konstrukce a porovnatelné situace návrhu polohy koleje s náhlou změnou křivosti*, Praha: ČNI, 2007. ISBN 8 590963790633.

- [14] ČSN 73 6360-1. *Konstrukční a geometrické uspořádání koleje železničních drah a její prostorová poloha, Část 1: Projektování*. Praha: ČNI, 1997.
- [15] ČSN 73 6360-2. *Konstrukční a geometrické uspořádání koleje železničních drah a její prostorová poloha, Část 2: Stavba a přejímka, provoz a údržba*. Praha: ČNI, 2007. ISBN 8 590963778600.
- [16] UIC 703 R *Route design features for track and points*, vyhláška UIC
- [17] ČSN EN 12299. *Železniční aplikace – Jízdní pohodlí cestujících – Měření a vyhodnocení*. Praha: UNMZ, 2009.
- [18] ČSN EN 13848-1. *Železniční aplikace – Kolej – Kvalita geometrie koleje – Část 1: Popis geometrie koleje*. Praha: UNMZ, 2009.
- [19] ČSN EN 13848-5. *Železniční aplikace – Kolej – Kvalita geometrie koleje – Část 5: Hladiny kvality geometrie – Běžná kolej*. Praha: UNMZ, 2009.
- [20] prEN 13848-6. *Železniční aplikace – Kolej – Kvalita geometrie koleje – Část 6: Určení geometrické kvality*. Praha: UNMZ, 2013.
- [21] ČSN EN 13232-2. *Železniční aplikace – Kolej – Výhybky a výhybkové konstrukce – Část 2: Požadavky na geometrické uspořádání*. Praha: UNMZ, 2012.
- [22] ČSN EN 13232-9. *Železniční aplikace – Kolej – Výhybky a výhybkové konstrukce – Část 9: Návrh, konstrukce dokumentace a přejímka*. Praha: UNMZ, 2012.
- [23] ČSN 736301. *Projektování železničních drah*. Praha: ČNI, 1998.
- [24] UIC 705 RI. *Infrastructure for tilting trains*. Paříž: UIC, 2003.
- [25] UIC 518 OR. *Testing and approval of railway vehicles from the point of view of their dynamic behaviour – Safety – Track fatigue – Running behaviour*. Paříž: UIC, 2009.
- [26] UIC 510-2 OR. *Trailing stock: wheels and wheelsets. Condition concerning the use of the wheels of the various diameters*. Paříž: UIC, 2004.
- [27] UIC 505-1 OR. *Railway transport stock, Rolling stock construction gauge*. Paříž: UIC, 2006.

#### Interní dokumenty a předpisy

- [28] SŽDC S3. *Železniční svršek*. Praha: SŽDC, státní organizace, 2008.
- [29] DS 800 01. *Bahnanlagen entwerfen*. Berlin: Deutsche Bundesbahn, 1993.
- [30] SŽDC (ČD) D2/1. *Doplněk s technickými údaji k Dopravním předpisům*. Praha: SŽDC, 1994.
- [31] *Směrnice pro montáž, kladení a udržování výhybek*. Praha: ČSD, 1974.
- [32] Opatření č.j.372/75 k udělení výjimky z PTPŽ č.j. 186/74-27
- [33] Oprava služebního předpisu ČSD S66 č.j. 5929/75 ze dne 29.9.1975, Praha;
- [34] SŽDC SR 103/4(S). *Využívání měřících vozů pro železnišní svršek s kontinuálním měřením tratě pod zatížením*; Praha: SŽDC, čj. S31722/10-OTH ze dne 29.7.2010.
- [35] SŽDC SR103/8(S). "Komentář ČSN 73 6360 *Konstrukční a geometrické uspořádání koleje železničních drah a její prostorová poloha*" (dále jen "Komentář k ČSN 73 6360"). Praha: SŽDC, č.j. 55549/10-OTH ze dne 22.11.2010.
- [36] *Metodický pokyn pro stanovení skupiny příčné přechodnosti vozidel*. Praha: SŽDC, č.j. S14107/11-OTH ze dne 11.4.2011.
- [37] *Podmínky pro posouzení možnosti zavedení rychlosti odpovídající nedostatku převýšení  $l > 100$  mm na stávajících tratích*. Praha: SŽDC, č.j.29206/11-OTH ze dne 16.6.2011.
- [38] Výnos FMD: *Zavedení nových kritérií přechodnosti lokomotiv*. Praha: SŽDC, čj. 26318/73-13 ze dne 28.12.1983.
- [39] Výnos SŽDC OTH: *Obnova koleje v traťovém úseku Rybník – Lipno nad Vltavou – souhlas s odchylným řešením od normy ČSN 73 6360-1*. Praha: SŽDC, čj. 45129/2012-OTH ze dne 19.10.2012.
- [40] SŽDC (ČD) S3/2. *Bezstyková kolej*. Praha: SŽDC, čj. 58644/200-O13, 2002.
- [41] – [48] Neobsazeno

### Neveřejné technické zprávy

- [49] IF 5/91 Report: *Admission of higher curving speeds for special trains*. Arnhem: UIC C7 Way of works, June 1991.
- [50] ZELENKA, J. *Koncepce úklonu kolejnic: výzkumná zpráva DP-02-07*. Pardubice: Univerzita Pardubice. Dopravní fakulta Jana Pernera, 2007.
- [51] Technical report CEN/TR 13848-6. *Railway application – Track – Track geometry quality – Part6: Track quality index survey*. Brusel: CEN, 2012.
- [52] Technical report of the Project Group UIC SG3 – n°P00162: „*Vehicle/Infrastruktur Interaction-developing of trstiny methods*“. Paříž: UIC, Leden 2008.
- [53] *Measurement proof for the superiority of a new track alignment design element, the so-called "Viennese Curve"*. Vídeň: ZEVrail, 2005.
- [54] Technická zpráva: *Návrh provádění periodických kontrol tratě jednotkou řady 680; č.j. VUZ RST – 024/2006*. Praha: VUŽ, 1.12.2006.
- [55] MOUREČEK, Z. *Zpráva o zkoušce 11-C 010. Zkouška jízdních vlastností elektrické lokomotivy řady 380 ČD (typ Škoda 109E) na tratích pro provozní rychlost 160 km/h*. Praha: VUKV a.s., 18.2.2011.
- [56] *Protokol o zkoušce PZL 03-030/2005 ze dne 14.10.2005*. Praha: Výzkumný ústav železniční, a.s. , 2005.
- [57] KAVÁN, P. Technická zpráva VUZ-O3-11/2003. *Posouzení zkoušky ověření přizpůsobení meznímu zborcení koleje jednotky CDT 680, ze dne 19.4.2003*. Praha: VUZ, 2003.
- [58] Technická zprávy *Versuchesbericht M1300 Lauftechnische Untersuchung nach UIC 518 Tfz. Reihe ES64U4 – OBB 1216 003-4*. Wien: Siemens, 2005.
- [59] KAVÁN, P. Technická zpráva TZ – 071/2011. *Posouzení jízdní bezpečnosti vozů stavby X a Y na trati Rybník – Lipno nad Vltavou*. Praha: VUZ, 29.12.2011.
- [60] Report to ERA DYN WP – *UIC Project Equivalent Conicity for Tracks (ECT)*. Brusel: UIC, 31.1.2012.
- [61] TUREK, J. *Statistické vztahy příbuzných veličin GPK*. Praha: KŽV, 6.8.2012.
- [62] *Vyhodnocení příčin a okolností vzniku mimořádné události – vykolejení Děčín hl.n. obvod nákladové nádraží*. čj. 31917/2012-OMU. Praha: SŽDC, 21.9.2012.
- [63] HEPTNER, T. *Zpráva 12 c 135, Posouzení možnosti provozovat motorové, přípojné a řídicí vozy vybraných řad ČD s nedostatkem převýšení 130 mm, ze dne 18.12.2012*, Praha VUKV, 2012
- [64] Neobsazeno

### Obecná literatura

- [65] JIRSÁK, Z. *Projektovanie, stavba a rekonštrukcia železničných tratí*. Bratislava: 1973 ISBN 63–556-74.
- [66] ERBEN, R. *Železniční svršek I*. Praha: Nakladatelství Technické knihkupectví a nakladatelství společnost s.r.o., 1947.
- [67] ŠKACH, A. *Technická příručka traťového hospodářství ČSD*. Praha: NADAS, 2. vydání 1971.
- [68] *Scientific papers of the university of Pardubice*. Pardubice: The Jan Perner Transport Fakulty, 1996. ISSN 1211-6610.
- [69] PLÁŠEK, O. *Nepřesnosti při výpočtu přechodnic a jejich odstranění*. Košice: konference, 1997.
- [70] JUDE; IGWEMEZIE, O.; MARCKS, D. *Re-engineering superelevation. Railway Track & Structures*. červenec a srpen 2006.
- [71] TREJTNAR, R. *Interoperabilita v oblasti geometrických parametrů koleje – hodnocení typů přechodnic*. Brno: 2006. Diplomová práce VUT FAST.
- [72] HASSLINGER, H.L. *Measurement proof for the superiority of a new track alignment design element, the so-called "Viennese Curve"*. Vídeň: ZEVrail, únor 2005.

- [73] ESVELD, C. *Comparison between theoretical and actual transfer functions of track maintenance machines*. Varšava: Politechnika Warszawska 1975. disertační práce.
- [74] KOMÍN, S. *Geometrická poloha koleje pro vysoké rychlosti*. In: *Zborník vysokej školy dopravném v Žilině*. Bratislava: Nakladateľstvo ALFA, 1971. Fakulta prevádzky a ekonomiky dopravy, Zvazok 10.
- [75] Komentář ČSN 73 6360. *Konstrukční a geometrické uspořádání drah a její prostorová poloha*. Praha: TUDC, 1999. Zavedeno výnosem 55780/98 ze dne 20.2.1998.
- [76] KOMÁREK, J. *Interoperabilita evropské železniční sítě*. Brno: VUT, 2004. STČ.
- [77] VLASÁK, J. a kol. *Výhybky a výhybková spojení*. Praha: NADAS, 1983.
- [78] NEDVĚD, R. *Železniční oblouk*. Praha: Průmyslové vydavatelství, 1952.
- [79] IGIELSKI, V. *Geometrické parametry kolejí pro jednotky s naklápěcími skříněmi (NS)*. In: *Vědeckotechnický sborník ČD č.5*. Praha: ČD, únor 1998.
- [80] IGIELSKI, V.; KOPSA, L. Kolej pro vozidla s naklápěcími skříněmi. In: *Vědeckotechnický sborník ČD č.13*; Praha: ČD, 2002.
- [81] KUFVER, B. Certain aspects of the CEN standards for alignments through switches and crossings. In: *Sborník konference Railway engineering*, Londýn, 2007.
- [82] KLAUDER, L.T. Roll-Guided spirals for railroad Tracks. In: *Sborník konference Railway engineering*. Londýn, 2007.
- [83] REKTORYS, K. *Přehled užití matematiky*. Praha: SNTL, 1981.
- [84] KUFVER, B *Kinematic on virtual Transition*. In: *Railway Engineering. London, 2005*.
- [85] KUFVER, B Optimisation of the railway alignment using dynamic vehicle models. In: *Technical University of Budapešť, Hungary. 1998*.
- [86] KUFVER, B Realigning railways in track renewals – linear versus S – shaped superelevation ramps. In: *2nd International konference Railway Engineering-99*, London: Květen 1999.
- [87] KUFVER, B; *On shorts elements between transition curves*; Extras from draft research report provided by SIS to the members in CEN TC256/SC1/WG15
- [88] ČECHÁK, J. *Vývoj železničního svršku v letech 1929 – 2003*. Brno: KPM Konsult, a.s., duben 2004.
- [89] *Železniční oblouk*; Ing. Dr techn. Rudolf Nedvěd; Průmyslové vydavatelství, Praha 1952
- [90] WEIGEND, M. *Ist die aktuelle Trassierungstechnik noch zeitgemass fur die moderne Bahn*, 2008 Vídeň
- [91] NĚMEC, J. *Dynamické jevy, namáhání a porušování pojezdu lokomotiv*. Praha: NADAS, 1986.
- [92] TREFULKA, J. *Železniční vozidla v oblouku*. Praha: NADAS, 1983.

## **Curriculum Vitae**

Jméno: **Ing. Radek Trejtnar**

Datum narození: 27. dubna 1983

Místo narození: Rychnov nad Kněžnou, Česká republika

Bydliště: Semechnice 44, 518 00 pošta Dobruška

### Vzdělání

1997 – 2001	Gymnázium v Žamberku
2001 – 2006	Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební obor Konstrukce a dopravní stavby zaměření Železniční konstrukce a stavby
2006 – dosud	interní postgraduální studium Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební

### Odborná praxe

2006 – dosud	Správa železniční dopravní cesty, státní organizace,  Generální ředitelství, odbor traťového hospodářství specialista v oblasti GPK
2006 – dosud	zastupování UNMZ v mezinárodních pracovních skupinách

### Jazykové znalosti

Anglický jazyk: pokročilý

## **Abstrakt**

Účelem vhodného návrhu geometrických parametrů koleje (GPK) je zřídit takovou kolej, která bude zajišťovat v maximální míře klidné a plynulé vedení vozidla, tak aby byly splněny principy bezpečnosti provozu a zároveň přijatelného komfortu cestujících. Zároveň by měla být kolej hospodárně udržovatelná a neměla by na provozovaných vozidlech vyvolávat nepřiměřenou míru opotřebení. Na druhou stranu je zřejmé, že vlivem ekonomických a geografických podmínek, nelze zřídit kolej s ideálními parametry GPK, a proto je třeba stanovit takové zásady projektování, které zajistí výše uvedené požadavky při přiměřených podmínkách pro její zřízení.

V této disertační práci jsou hodnoceny současné principy navrhování GPK za pomoci výsledků jízdních zkoušek vozidel v rámci rozsáhlého souboru měření jízdních vlastností různých typů vozidel z výběru zkušebních úseků tratí. Na základě těchto výsledků jsou hodnoceny vlivy projektovaných parametrů na jízdní vlastnosti vozidel, čímž je charakterizována jedna ze základních částí rozhraní vozidla a koleje.

Neméně důležitou oblastí je hodnocení geometrické kvality koleje s ohledem na bezpečnost provozu. Mezní provozní hodnoty odchylek GPK tak, jak jsou definovány v ČSN 73 6360-2, byly částečně stanoveny na základě rozsáhlých výzkumů, ale také na základě zkušeností. Součástí této práce je ověření vlivu těchto odchylek a jejich kombinací, tak aby bylo možné stanovit zásady pro údržbu GPK s ohledem na prevenci vzniku mimořádných událostí.

## **Abstract**

Aim of the proper track design is to build a track, which enable smooth run of the vehicle as much as possible complying with the safety rules and reasonable level of comfort for passengers. However, such track has to be maintainable and the vehicle shouldn't face unacceptable amount of wear. On the other hand it is clear that it is impossible to build ideal (straight) track because of many environmental and geomorphological conditions. So the rules for track designing have to be set carefully in order to produce a good track design which meets the conditions mentioned above.

The principles for track designing are evaluated with using the results of track test running dynamic behavior of the vehicles in this study. These tests were made for couple vehicles on several track sections. The influence of design parameters on the dynamic behavior are evaluated based on these results. That's defining one of the basic part of interactions between vehicle and track.

Evaluation of the quality of track geometry in service has the same or even higher importance. Limit values as defined in standard ČSN 73 6360-2 was set partially in consideration results of scientific studies, but partially in consideration of as common practice. So that part of this work is verification of the influence of tolerance in each parameter and their combinations in order to allow reasonable establishment of their limit values for track maintenance and for preventing of train derailment.