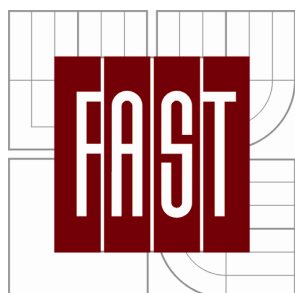




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



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

DIZERTAČNÍ PRÁCE
PHD THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

ING. RADEK TREJTNAR

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

DOC. ING. OTTO PLÁŠEK, PH.D.

HRADEC KRÁLOVÉ 2013

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.

Klíčová slova

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

Abstract

Aim of the proper track design is build track, which enable smooth run of the vehicle as much as is possible complying with the safety rules and reasonable level of comfort for passengers. However, this 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 morphological 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 interactions between vehicle and track.

Evaluation of the quality of track geometry in service has the same or may be 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.

Key words

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

Bibliografická citace VŠKP

TREJTNAR, R. *Požadavky na projektovaný a provozní stav geometrických parametrů koleje ve vztahu k vzájemnému silovému působení vozidla a koleje* Brno, 2013. 217 s., Vysoké učení technické v Brně. Fakulta stavební. Ústav železničních konstrukcí a staveb. Vedoucí dizertační práce doc. Ing. Otto Plášek, Ph.D.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem disertační práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Hradci Králové dne.....

.....
podpis

Poděkování

Děkuji svému vedoucímu doc. Ing. Ottu Pláškoví, Ph.D. za jeho odborné vedení, cenné rady a připomínky a svým kolegům za jejich podporu a pomoc.

Dále děkuji firmě VUKV a.s. a Siemens AG Bereich Transportation Systems za poskytnutí dat z jízdních zkoušek vozidel stejně jako za ochotnou spolupráci při jejich hodnocení.

Současně by nebylo práci možné vytvořit bez podpory zaměstnavatele Správy železniční dopravní cesty, státní organizace.

V neposlední řadě bych rád poděkoval ing. Vladimíru Igielskému, který mi předal mnoho ze svých zkušeností a motivace k práci.

Obsah

Předmluva	9
1. Navrhování a diagnostika GPK z hlediska současných požadavků	11
1.1. Principy projektování GPK ve vztahu k vzájemnému silovému působení vozidla a koleje	11
1.1.1. Úvod	11
1.1.2. Definice jednotlivých hladin pro návrhové parametry polohy koleje	11
1.1.3. Rozchod koleje	12
1.1.4. Převýšení koleje	14
1.1.5. Nedostatek převýšení	26
1.1.6. Přebytek převýšení	38
1.1.7. Vzestupnice	38
1.1.8. Směrové uspořádání koleje	46
1.1.9. Přechodnice	69
1.1.10. Princip virtuální přechodnice	73
1.2. Principy hodnocení GPK ve vztahu k vzájemnému silovému působení vozidla a koleje	77
1.2.1. Úvod do problematiky	77
1.2.2. Silové působení svislou kolovou silou (Q)	78
1.2.3. Silové působení příčnou kolovou silou (Y)	79
1.2.4. Poměr sil svislých a příčných (Y/Q)	81
1.2.5. Vlivy odchylek v průběhu jednotlivých parametrů GPK na jízdu vozidla	82
1.2.6. Měření a vyhodnocování	93
2. Cíle disertační práce	96
2.1. Výchozí podmínky	96
2.2. Hlavní a vedlejší cíle	96
3. Praktické posouzení silových účinků vozidla trať vzhledem k projektovaným parametrům a provozním odchylkám GPK	98
3.1. Použitá metodika	98
3.1.1. Princip ověřování jízdních vlastností vozidel vzhledem k GPK	98
3.1.2. Výchozí podklady	98
3.2. Délka směrových prvků konstantní křivosti a jejich kombinace	101
3.2.1. Traťový úsek Letohrad – Lichkov	101
3.2.2. Traťový úsek Leština u Světlé – Kolín	137
3.2.3. Traťový úsek Praha – Děčín	159
3.2.4. Traťový úsek Brno – Česká Třebová	176
3.2.5. Traťový úsek Přerov – Prosenice	194
3.3. Vyhodnocení míry změny vzájemného silového působení vozidla a koleje v závislosti na velikosti nedostatku převýšení (resp. na velikosti nevyrovnaného příčného zrychlení)	197
3.4. Posouzení délky směrového prvku konstantní křivosti podle metodiky přílohy A.2 prEN 13803-1:2007 – ověření měřením pohybů skříně měřicího vozu pro železniční svršek	204
4. Souhrn výsledků	210
4.1. Vliv projektovaných parametrů GPK na jízdní vlastnosti vozidel	210
4.1.1. Mezipřímé mezi oblouky s přechodnicemi a kružnicové části oblouků s přechodnicemi	210

4.1.2.	Mezipřímé mezi náhlými změnami křivosti, délky kružnicových oblouků bez přechodnic	211
4.1.3.	Vliv zvýšení hodnoty nedostatku převýšení na výsledné silové působení vozidla...	212
4.1.4.	Metodika výpočtu příloha A.2 prEN 13803-1:2007	212
4.2.	Vliv jednotlivých odchylek parametrů GPK na bezpečnost provozu	213
4.2.1.	Rozchod koleje.....	213
4.2.2.	Převýšení koleje.....	213
4.2.3.	Zborcení koleje	214
4.2.4.	Směr koleje	214
4.2.5.	Podélná výška koleje.....	214
5.	Závěr	216
6.	Literatura	218
6.1.	Legislativa.....	218
6.2.	Normy	218
6.3.	Interní dokumenty a předpisy.....	219
6.4.	Neveřejné technické zprávy.....	220
6.5.	Obecná literatura	221
7.	Značky a zkratky	223
8.	Seznam obrázků.....	228
9.	Seznam grafů	233
10.	Seznam tabulek.....	234

Předmluva

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.

Podle projektovaného stavu GPK je následně kolej zřízena, a to přitom s nutnými počátečními odchylkami. Velikost počátečních odchylek je ovlivněna především technologiemi stavebních prací, použitým materiálem a výrobky a kvalitou provedených prací. Zájemem provozovatele dráhy je převzít kolej s minimálními odchylkami GPK, jelikož se tím podle všeobecných zkušeností předchází rychlé degradaci kvality GPK za provozu. Současně je však třeba stanovit velikost akceptovatelných odchylek s ohledem na technickou možnost dosažení kvality ze strany zhotovitele, a to zároveň s ohledem na možnosti odchylky měřit a vyhodnotit (opakovatelnost a reprodukovatelnost výsledků).

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.

Problematika návrhu, přejímky a provozního hodnocení GPK je značně komplexní. Spolu s rozvojem technických možností diagnostiky a údržby koleje a zároveň s rozvojem možností optimalizování technických vlastností vozidel se nabízí možnost celkové úpravy systému návrhu a hodnocení GPK.

POZNÁMKA 1: V celém textu nejsou uváděny citace na dokumenty, jejichž byl autor této disertační práce zpracovatelem. Výčet těchto dokumentů je následující:

- ČSN 73 6360-1,2 „Konstrukční a geometrické uspořádání koleje železničních drah a její prostorová poloha“;

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

- ČSN 73 6320+Z1 „Průjezdné průřezy na dráhách celostátních, dráhách regionálních a na vlečkách normálního rozchodu“;
- Oficiální překlad včetně národního aplikačního dokumentu ČSN EN 13848-5 Železniční aplikace – Kolej – Kvalita geometrie koleje – Část 5: Hladiny kvality geometrie – Běžná kolej;
- Oficiální překlad včetně národního aplikačního dokumentu ČSN EN 13803-2 Železniční aplikace – Kolej – Parametry návrhu polohy koleje – Kolej rozchodu 1435 mm a širšího – Část 2: Výhybky a výhybkové konstrukce a porovnatelné situace návrhu polohy koleje s náhlou změnou křivosti;
- Oficiální překlad včetně národního aplikačního dokumentu ČSN EN 15273-3 Železniční aplikace – Průjezdné průřezy tratí a obrysy vozidel – Část 3: Průjezdné průřezy tratí;
- Oficiální překlad včetně národního aplikačního dokumentu ČSN EN 13231-1 Železniční aplikace – Kolej – Přejímka prací – Část 1: práce v koleji s kolejovým ložem – běžná kolej, výhybky a výhybkové konstrukce;
- SŽDC SR 103/4(S) „Využívání měřících vozů pro železniční svršek s kontinuálním měřením tratě pod zatížením“;
- SŽDC S3 Železniční svršek – Díl III: Zajištění prostorové polohy koleje; Díl XVI: Doplňující technické podmínky pro geometrické a prostorové uspořádání kolejí;
- „Metodický pokyn SŽDC pro stanovení skupiny příčné přechodnosti vozidel“.

POZNÁMKA 2: Hodnocená data silového působení vozidel 109E a Talns jsou majetkem VUKV a.s. a bez jejího vědomí nesmí být dále šířena. Data jsou využita pro výzkum v oblasti vlivu projektovaných parametrů geometrie koleje na jízdní vlastnosti vozidel v souladu se Smlouvou o spolupráci mezi VUKV a.s. a SŽDC, stání organizací ze dne 19.7.2010. Hodnocená data kvality geometrie koleje jsou majetkem SŽDC, s.o. a bez jejího vědomí nesmí být dále šířena. Hodnocená data silového působení vozidla ES64U4 jsou majetkem Siemens AG Bereich Transportation Systems a bez jejího vědomí nesmí být dále šířena.

1. Navrhování a diagnostika GPK z hlediska současných požadavků

1.1. Principy projektování GPK ve vztahu k vzájemnému silovému působení vozidla a koleje

1.1.1. Úvod

Projektování GPK se řídí normou ČSN 73 6360-1 „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 by nebylo 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. Vlivem širších souvislostí možných kombinací jednotlivých geometrických parametrů koleje jsou níže popsány teoretické základy jak v oblasti parametrů konstrukčního uspořádání koleje (KUK), tak i v oblasti parametrů geometrického uspořádání koleje (GUK).

1.1.2. Definice jednotlivých hladin pro návrhové parametry polohy koleje

Pro stanovení mezních hodnot jednotlivých návrhových parametrů GPK je podstatné definovat jednotlivé úrovně využití jejich optimálních či mezních hodnot. Návrhové hodnoty parametrů konstrukčního a geometrického uspořádání koleje jsou stanoveny s ohledem na příslušné traťové rychlosti, které jsou využívány odpovídajícími skupinami vozidel. Podle konkrétních parametrů je zpravidla nutno dále zohlednit skladbu a druh provozované dopravy, tedy spektrum využití jednotlivých rychlostí v kombinaci odpovídajícím zatížením trati. Návrhové hodnoty parametrů jsou podle jejich významu definovány pro účely normy ČSN 73 6360-1 v těchto hladinách:

- 1. Standardní hodnota (H_n)** – tato hodnota shora (nebo zdola) vymezuje interval doporučených hodnot k projektování. Pokud tomu nebrání místní nebo jiná omezení, mají být tyto hodnoty dodržovány. Použití těchto hodnot zaručuje splnění požadavků na komfort jízdy i vhodnou míru nákladů na údržbu trati.
- 2. Mezní hodnota (H_{lim})** – tato hodnota nemá být překračována. Překročení těchto hodnot je možné například z důvodu omezení nebo vyloučení místního snížení návrhové rychlosti. Při překročení těchto hodnot dochází k omezení komfortu cestujících a/nebo ke zvýšení nákladů na údržbu trati. Použití vyšších/nížších než mezních hodnot musí být odsouhlaseno vlastníkem infrastruktury, může být v některých případech omezeno dalšími podmínkami (například podmínka provozu schválených vozidel, jejichž konstrukce odpovídá dotčeným hodnotám).

3. Maximální (minimální) hodnota (H_{\max} / H_{\min}) – tato hodnota nesmí být překročena. Maximální nebo minimální hodnoty veličin se použijí jen v nezbytných případech, kdy není možné nalézt jiné řešení. Tato mez je mezi bezpečnostní, nelze ji tedy v případě běžného provozu překročit.

Podle významu jednotlivých parametrů se použijí výše uvedené hladiny hodnot, v jednotlivých případech mohou být hladiny sloučeny nebo nevyužity. Není-li u jednotlivých parametrů předepsána hodnota standardní, uvažuje se shodná s hodnotou mezní. Není-li u jednotlivých parametrů předepsána hodnota mezní, uvažuje se shodná s hodnotou maximální (minimální). Není vhodné navrhovat kombinace jednotlivých parametrů překračující mezní hodnoty z důvodu nepříznivého jejich vzájemného ovlivnění vedoucí ke snížení jízdního komfortu a zvýšení nákladů na udržování trati.

Četnost praktického využití mezních (maximálních) hodnot se v případě jednotlivých parametrů liší. Zatímco například v případě nedostatku převýšení, kdy jsou využívány hodnoty blízké se maximálním hodnotám poměrně běžně, tak například v oblasti parametru sklonu vzesupnic jsou využívány maximální hodnoty sklonů poměrně méně. Obecně je tato četnost dána rozlišením vazby jednotlivých mezních hodnot na bezpečnost provozu či na míru zvýšeného opotřebování součástí koleje.

Hodnoty jednotlivých parametrů jsou v ČSN 73 6360-1 stanoveny pro běžné provozní podmínky. V ojedinělých případech zvláštního provozu (zkoušení vozidel při jejich sledovaném chování, verifikace tratí, atd.) lze provozovat drážní dopravu způsobem mimo podmínky určené normou ČSN 73 6360-1. V těchto případech musí být zajištěna bezpečnost provozu podle zvláštních ustanovení. Těmito případy jsou i případy hodnocení jízdních vlastností vozidel při jejich jízdních zkouškách, které jsou dále použity při hodnocení vlivu jednotlivých parametrů GPK, kdy je předepsána zkušební rychlost odpovídající nedostatku převýšení vyššímu o 10% oproti základní konstrukční hodnotě pro vozidla.

Dále budou uvedeny v současnosti používané zásady pro navrhování jednotlivých parametrů GPK včetně teoretického odvození, kterého bylo využito pro zpracování platné ČSN 73 6360-1:2008.

POZNÁMKA: Návrh parametrů GPK je také řešen v evropské normě EN 13803-1,2. Ustanovení této normy se v ČR nevyužívá. Tato norma vznikla v rámci principu „umbrella approach“, tj. obsahuje nejliberálnější pravidla používaná v jednotlivých členských zemích EHS. Tato pravidla vždy odpovídají provozním podmínkám daných zemí a zpravidla nejsou kombinovatelná a přímo uplatnitelná.

1.1.3. Rozchod koleje

Rozchod koleje, jeden z nejdůležitějších parametrů GPK z hlediska vzájemné kompatibility koleje a vozidel, je vzdálenost mezi pojížděnými hranami obou kolejnicových pásů, měřená na kolmici k ose koleje. Jmenovitá hodnota rozchodu koleje je 1435 mm. Rozchod koleje má být za provozu měřen jako nejmenší vzdálenost pojížděných hran kolejnicových pásů a to v rozsahu od spojnice temen kolejnicových pásů do 14 mm pod ní. Tato definice zohledňuje i výskyt převálek hlavy kolejnicového pásu v uvedeném rozsahu hloubky pod spojnicí temen kolejnicových pásů.

Úvahy z druhé poloviny 20. století o vhodnosti jeho zúžení byly vyvráceny (krom jiného se vyznačuje zvyšováním ekvivalentní konicity, která přispívá ke vzniku nestabilního chodu podvozků). Tento jmenovitý rozchod je obecně uznávaný a je jedním ze základních prvků interoperability evropského železničního systému. Zúžení rozchodu není z důvodu změny kontaktní geometrie dvojkolí a s tím souvisejícího nárůstu ekvivalentní konicity žádoucí.

Rozšíření rozchodu koleje se používá z důvodu průjezdu vozidel oblouky malých poloměrů tak, aby bylo dvojkolí schopno takového natočení, že bude umožněno příznivější postavení vozu nebo podvozku v koleji. Sleduje se schopnost průjezdu vozidla obloukem z důvodu příčení jeho podvozku, z čehož vyplývá souvislost s uspořádáním dvojkolí jednotlivých vozidel. Z tohoto důvodu v dřívějších dobách provozu parních lokomotiv mělo rozšíření rozchodu většího významu. V současné době je snaha utlumovat provoz vozidel v tomto směru negativně působících (především vozidla starší konstrukce s třínápravovými podvozky; řady ČD 180, 181, 182, 183, 770, 771, 781 a další). Provozním rozšířením rozchodu koleje ztrácí vodící kolo v obloucích velkého poloměru nebo v přímé pevné vedení v koleji, vznikají příčné rušivé pohyby vozidel a zvětšuje se úhel náběhu vodícího kola se všemi nežádoucími účinky.

Rozlišujeme rozšíření rozchodu v běžné koleji a ve výhybkách. Rozdíl v přístupu je dán tím, že výhybkové oblouky jsou výrazně kratší, proto je možno dovolit rozšíření rozchodu až od oblouků nižších poloměrů. Sleduje se také zjednodušení výroby a údržby výhybek a z tohoto důvodu se v současné době vyrábí výhybky s rozšířením rozchodu jen pro nejmenší poloměry.

Změna rozchodu koleje se navrhuje v plynulých výběžích, pro zajištění přiměřeně klidného chodu vozidla.

Dlouhodobě ustálená maximální sledovaná hodnota projektovaného rozšíření rozchodu koleje je $\Delta u_{\max} = 16$ mm. Výjimečně v poloměrech oblouků $R < 150$ m se zřizují i vyšší hodnoty projektovaného rozšíření rozchodu koleje z důvodu nižší rychlosti nárůstu opotřebení kolejnicových pásů (viz např. [39])

Z praktických měření vyplývá, že při použití bezpodkladnicových typů upevnění (pražec B91(S), upevnění W14) osciluje střední hodnota rozchodu koleje na délku 100 m (RK100) kolem jmenovité hodnoty 1435 mm s největší četností v rozsahu -1 mm až 0 mm. Nižší uvedený graf č.1 reprezentuje analýzu parametru RK100 v úseku spojovací větve I a II TŽK. Hodnoty odchylek RK100 jsou generovány v četnosti jednoho vzorku na 1 m. Rozsah součtu evidovaných hodnot RK100 v dělení po 1 mm je vždy pro příslušnou hodnotu X mm (X,00 – X,99). Délka úseku je 275 km.

Rozdělení hodnot odchylek RK100 je zhruba symetrické. S tím, že 80% hodnot je záporných. Zásadním způsobem je to ovlivněno nejčetnější hodnotou, která je v rozsahu 0 mm až - 0,99 mm.



Graf 1 Rozdělení četnosti výskytu odchylek rozchodu koleje - parametr RK100 (osa x odchylka [mm]; osa y - četnost odchylek)

1.1.3.1. Úklon kolejnic

Po roce 1989 byla přijata koncepce pro modernizaci vybraných železničních tratí. Pro případ úklonu kolejnic bylo rozhodnuto změnit používanou kombinaci soustavy svršku R 65 a úklonu 1:20 ve prospěch soustavy svršku UIC 60 a úklonu kolejnic 1:40. S postupem přestavby tratí vyvstal problém neklidného chodu vozového parku ČD s profily kol přizpůsobené úklonu kolejnic 1:20, proto bylo přistoupeno mimo jiné k úpravě profilu kolejnic přebroušením na profil UIC lots136, tedy úklonu 1:36. V současné době se sleduje sjednocení úklonu kolejnic na 1:40 na všech tratích sítě SŽDC, tj. i pro soustavu S 49.

1.1.4. Převýšení koleje

Převýšení je jednou ze základních charakteristik návrhu GPK. Vhodným návrhem velikosti převýšení se umožní bezpečný a komfortní provoz vlaků, stejně tak jako ekonomicky přijatelná údržba infrastruktury. Je třeba si uvědomit, že zvláště v případě pevné jízdní dráhy bude navržené GPK ovlivňovat provoz a údržbu desítky let, proto je třeba jejich návrhu věnovat značnou pozornost.

Převýšení koleje se navrhuje z důvodu snížení účinků odstředivé síly působící na vozidla v koleji v oblouku, a to zvýšením polohy vnějšího kolejnicového pásu vůči pásu vnitřnímu, který zůstává v úrovni nivelety temene kolejnicového pásu (vyjma vzestupnice s bodem obratu).

1.1.4.1. Návrh převýšení

Teoretické převýšení je takové, při kterém výslednice svislého zrychlení vyvolaného gravitací a odstředivého zrychlení pro danou rychlost působí kolmo ke spojnici temen

kolejnicových pásů. Potom je působení odstředivé síly zcela eliminována, což má pozitivní účinek na komfort cestujících i na namáhání koleje. Takto navržené převýšení může být realizováno pouze ve výjimečných případech tratí poježděných vlaky stejnými rychlostmi. Takový případ nastává zcela zřídka. Ve většině případů navrhuje převýšení takové, které je pro rychle jedoucí vlaky nedostatečné, naproti tomu pro pomalu jedoucí nákladní vlaky přebytné. Z následujícího schématu lze odvodit vztahy pro teoretické převýšení.

Výchozí podmínkou je kolmost působení výslednice sil působících na vozidla, tedy shodnost úhlů mezi výslednicí a svislou tíhovou složkou působící na vozidlo (ψ_2) a úhlem určující převýšení, tj. odklonem spojnice temen kolejnicových pásů od vodorovné roviny (ψ_1)

$$\psi_1 = \psi_2 \quad (1-1)$$

$$\tan\left(\frac{m \cdot v^2}{R}\right) = \sin\left(\frac{D}{s}\right) \quad (1-2)$$

po úpravách, kdy pro malou hodnotu ψ je $\sin \psi \cong \tan \psi$, a $v [\text{m} \cdot \text{s}^{-1}] = \frac{V}{3,6} [\text{km} \cdot \text{h}^{-1}]$,

$$D_t = \frac{11,8 \cdot V^2}{r} \quad (1-3)$$

Poznámka: pro $D_{max} = 160 \text{ mm}$ a $s = 1500 \text{ mm}$ je $\tan \psi_1 = 0,107278709$ a $\sin \psi_2 = 0,106$ jsou úhly: $\psi_1 = 6,842742988^\circ \cong \psi_2 = 6,803554253^\circ$, rozdíl mezi vypočtenými úhly a tedy nepřesnost výpočtu je $0,039188734^\circ$, což odpovídá $0,57\%$.

Nedostatek převýšení je rozdílem převýšení teoretického a navrženého ($D_t > D$):

$$I = D_t - D \quad [\text{mm}] \quad (1-4)$$

Tedy vlaky jedoucí rychlostí:

$$V > \sqrt{\frac{D_{eq} \cdot R}{11,8}} \quad [\text{km/h}] \quad (1-5)$$

projíždějí obloukem s nedostatkem převýšení I :

$$I = \frac{11,8 \cdot V^2}{R} - D > 0 \quad [\text{mm}] \quad (1-6)$$

Přebytek převýšení je rozdíl navrženého a teoretického ($D_t < D$):

$$E = D - D_t \quad [\text{mm}] \quad (1-7)$$

Tedy vlaky jedoucí rychlostí:

$$V < \sqrt{\frac{D_{eq} \cdot R}{11,8}} \quad [\text{km/h}]$$

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

(1-8)

projíždějí obloukem s přebytkem převýšení E :

$$E = D - \frac{11,8 \cdot V^2}{R} > 0 \quad [\text{mm}]$$

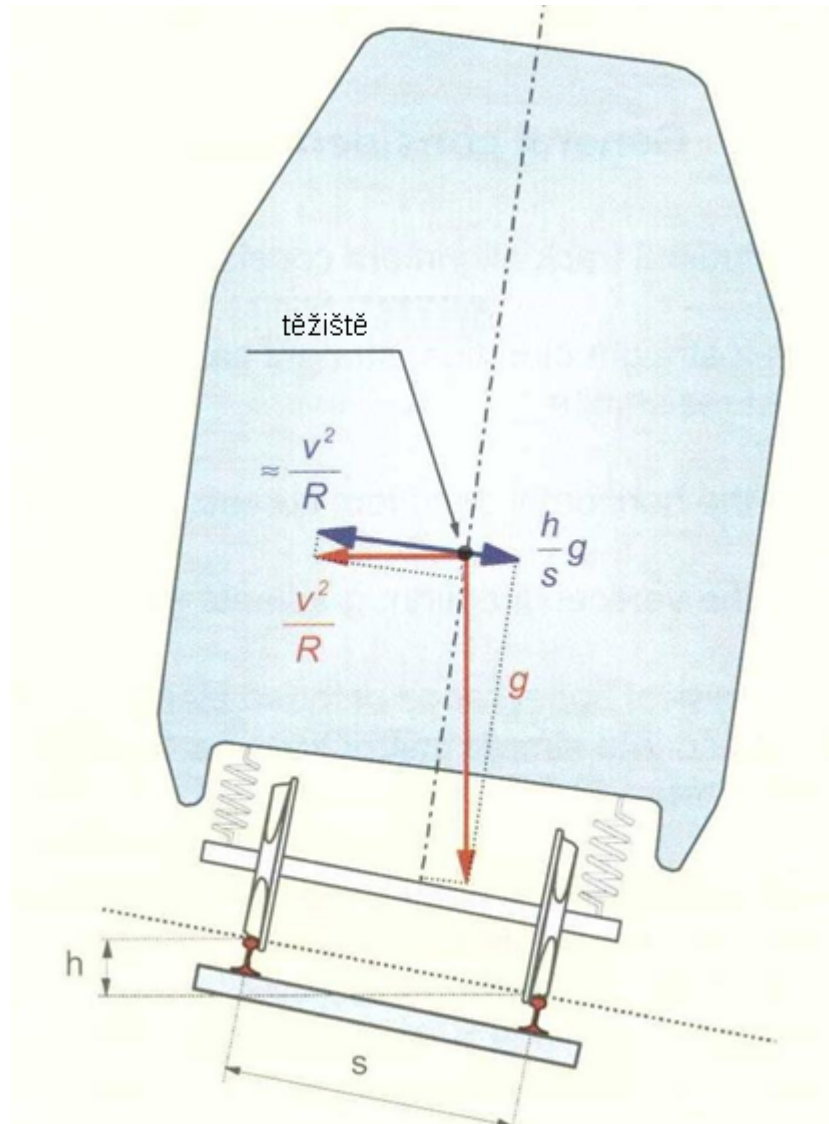
(1-9)

Variantně lze vyjádřit nedostatek převýšení ve formě nevyrovnaného bočního zrychlení. Toto vyjádření je alternativní interpretací níže uvedeného obrázku, kdy uvažujeme rozdíl složky odstředivého a tíhového zrychlení působících na vozidlo:

$$a_n = a_{odst.} - a_g \quad [mm.s^{-1}] \quad (1-10)$$

po dosazení výše odvozených vztahů:

$$a_n = \frac{v^2}{R} - \frac{D \cdot g}{s} \quad (1-11)$$



Obrázek 1 Působení sil ve vztahu k bočnímu zrychlení kompenzovaném převýšením (podle Modern Railway Track viz [93])

Převýšení koleje musí vyhovovat rychlosti všech vlaků, které jsou po této koleji pravidelně vedeny, při dodržení omezujících hodnot nedostatku a přebytku převýšení. Má dále zohledňovat hospodárnost údržby tak, aby opotřebení obou kolejnicových pásů vlivem zatížení provozem bylo přednostně pokud možno vyrovnané. Je tedy třeba v projektu při návrhu velikosti převýšení zohlednit uvažovanou skladbu vlaků (četnost vlaků podle jejich rychlosti a hmotnosti); není-li tato skladba blíže známa, lze využít převýšení doporučeného D_N (viz dále).

Při projektování GPK na základě znalosti aktuálního a výhledového provozního zatížení tratí vznikají v zásadě tři situace:

1. **Tratě určené výhradně pro osobní dopravu**
2. **Tratě určené pro nákladní dopravu**
3. **Tratě určené pro smíšený provoz**

1. Tratě určené výhradně pro osobní dopravu

Nejjednodušší situace je v případě tratí určených výhradně pro osobní dopravu, kde všechny vlaky pojedou přibližně stejnou rychlostí (např. podzemní dráhy). Potom v závislosti na trasovacích podmínkách, lze poměrně jednoduše navrhnout převýšení, vhodné pro všechny vlaky. V této kategorii trati lze navrhnout převýšení až do vyčerpání možností kompenzace nevyrovnaného příčného zrychlení jako teoretické. Nejvyšší doporučené převýšení je ve smyslu ČSN 736360-1 $D = 150$ mm. Přesáhne-li poměr druhé mocniny rychlosti a poloměru směrového oblouku 12,7, je nutné přistoupit k návrhu s nedostatkem převýšení. Velikost maximálního nedostatku převýšení závisí především na traťové rychlosti a druhu provozovaných vozidel.

2. Tratě určené pro nákladní dopravu

V tomto případě závisí návrh převýšení na skladbě nákladních vlaků. Pro případ konstantního provozu stále stejných vlaků stejnou rychlostí, lze postupovat obdobně jako v předchozím případě. Pokud bude složení vlaků a jejich skutečných rychlostí různé, lze postupovat jako v případě tratí určených pro smíšený provoz.

3. Tratě určené pro smíšený provoz

A. Se zohledněním skladby dopravy

Návrh převýšení musí vyházet ze znalosti výhledové skladby dopravy na projektované trati. Pokud takové údaje nejsou k dispozici, je třeba je alespoň odhadnout z charakteru trati. Možnost jak zohlednit v návrhu převýšení známou skladbu dopravy je stanovení střední rychlosti váženým průměrem dle kritéria hmotnosti vlaku. Odpovídající vztah je:

$$D = \frac{11,8}{R} \cdot \frac{\sum G \cdot V^2}{\sum G} \quad [mm]$$
$$\sum G \cdot V^2 = n_1 \cdot P_1 \cdot V_1^2 + n_2 \cdot P_2 \cdot V_2^2 + \dots + n_i \cdot P_i \cdot V_i^2$$
$$\sum G = n_1 \cdot P_1 + n_2 \cdot P_2 + \dots + n_i \cdot P_i$$

(1-12)

kde n – počet vlaků zhruba stejné váhy a rychlosti

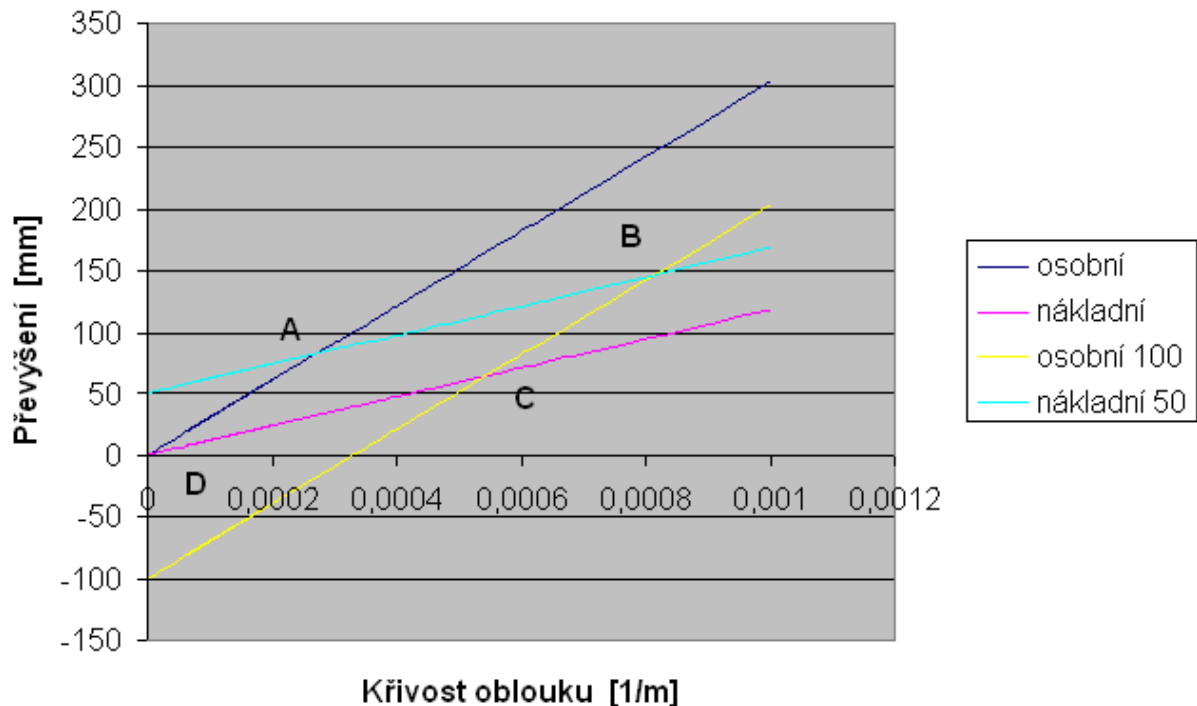
P – hmotnost vlaku (brt) [tun]

V – rychlost [km.h⁻¹]

V případě takto stanoveného převýšení dochází k nejlepšímu rozdělení účinků vozidla na trať. Nevýhodou této metody je nutnost přesné znalosti skladby dopravy i ve výhledu.

B. Z maximální a minimální rychlosti osobních a nákladních vlaků

Další možností jak stanovit převýšení (doporučené) je patrné z následujícího grafu. Jedná se o stanovení převýšení na základě křivosti oblouku se znalostí maximální rychlosti osobních vlaků a minimální rychlosti nákladních vlaků. Tato metoda nezohledňuje poměrné zatížení osobními a nákladními vlaky.



Graf 2 Závislost převýšení koleje na její křivosti, osobní 100 se vztahuje k nedostatku převýšení, nákladní 50 se vztahuje k přebytku převýšení; křivky nárůstu převýšení budou prakticky omezeny dalšími podmínkami (např. omezení velikosti převýšení ve vztahu k poloměru oblouku)

Z grafu 1 jsou patrné možnosti návrhu převýšení. Převýšení lze navrhnout v oblasti vymezené spojnicemi bodů A-B-C-D. Mezní teoretické převýšení, které lze pro danou kombinaci rychlostí osobního a nákladního vlaku navrhnout je reprezentována průsečíkem mezních křivek pro návrhy převýšení. Toto mezní převýšení je lehce vyjádřitelné pomocí rovnic mezních přímk, kdy zřejmě musí platit:

$$\frac{11,8 \cdot V_{os}^2}{R_m} - I = \frac{11,8 \cdot V_{nákl}^2}{R_m} + E \quad (1-13)$$

dále lze vyjádřit mezní poloměr:

$$R_m = \frac{11,8(V_{os}^2 - V_{nákl}^2)}{E + I} \quad (1-14)$$

Předpoklad výše uvedeného výpočtu je $V_{os} > V_{nákl}$

Dosazením (2) do (1) a úpravou získáme vztah pro maximální převýšení:

$$D_m = \frac{V_{os}^2 \cdot E - V_{nákl}^2 \cdot I}{V_{os}^2 - V_{nákl}^2} \quad (1-15)$$

Možností jak stanovit doporučené převýšení je navrhnout dle vztahu reprezentujícího spojnicí počátku souřadné soustavy a bodu $[D_m; 1/R_m]$. Rovnice této přímky bude:

$$D_m = c_{opt} \cdot \frac{1}{R_m} \quad (1-16)$$

dosazením (1-14) a (1-15) do (1-16):

$$\frac{V_{os}^2 \cdot E - V_{nákl}^2 \cdot I}{V_{os}^2 - V_{nákl}^2} = c_{opt} \cdot \frac{E + I}{11,8(V_{os}^2 - V_{nákl}^2)} \quad (1-17)$$

úpravou:

$$c_{opt} = \frac{11,8(V_{os}^2 \cdot E + V_{nákl}^2 \cdot I)}{E + I} \quad (1-18)$$

Výsledně pro návrh převýšení bude platit:

$$D_{dop} = \frac{c \cdot V_{os}^2}{R} \quad [mm]$$

kde $c = \frac{c_{opt}}{V_{os}^2}$ (1-19)

V současně platné ČSN 73 6360-1 je definován parametr c v závislosti na rychlostních pásmech.

Tabulka 1 koeficienty pro návrh převýšení koleje

c [-]	V [km/h]
7,1	0 - 120
6,5	120 - 160
5,9	160 - 200

Jelikož 5,9 je polovinou 11,8, bude platit, že navržené převýšení se bude rovnat nedostatku převýšení. To znamená, že pro vyšší rychlosti, je nutno navrhovat převýšení koleje přímo s ohledem na konkrétní nedostatek převýšení ve smyslu následujícího vztahu:

$$D = \frac{11,8 \cdot V^2}{R} - 80 \quad [mm] \quad (1-20)$$

Tento vztah je odvozen s ohledem na mez pro standardní hodnoty nedostatku převýšení $I_n = 80$ mm.

Obecně při novostavbách není vhodné navrhovat převýšení, které vyvodí nedostatek převýšení větší než 80 mm. Při rekonstrukcích tratí se zpravidla využívá mezních hodnot nedostatků převýšení.

C, Metoda ing. Janovského

Doporučené převýšení lze navrhnout v závislosti na poměru zatížení dopravou $\frac{Q_n}{Q} = \frac{I}{E}$ a na

poměru $\frac{V_n}{V} = k$.

(1-21)

Rychlost osobních vlaků je předpokládána maximální traťová (V). Potom koeficient poměru rychlosti nákladních a osobních vlaků $V_n^2 = k^2 \cdot V^2$ dosadíme do základní rovnice podmínky návrhu převýšení:

$$\frac{11,8 \cdot V^2}{R} - I = \frac{11,8 \cdot k^2 \cdot V^2}{R} + E \quad (1-22)$$

potom lze vyjádřit poměr I:E následujícím vztahem:

$$\frac{I}{E} = \frac{\Sigma Q_{nv}}{\Sigma Q_{os}} = \frac{\left[\frac{(11,8 - C) \cdot V^2}{R} \right]}{\left[\frac{(11,8 - C \cdot k^2) \cdot V^2}{R} \right]} \quad (1-23)$$

kde C je vyjádřeno:

$$C = \frac{11,8 \cdot \left(1 + \frac{k^2 \cdot I}{E} \right)}{\left(1 + \frac{I}{E} \right)} = \frac{11,8 \cdot 150}{(150 + I_{\max})} \quad (1-24)$$

z čehož vyplývá:

$$I = D \cdot \frac{(11,8 - C)}{C \cdot I_{\max}} = \frac{1770}{C} - 150$$

$$D_{\lim} = \frac{I_{\max} \cdot C}{11,8 - C}$$

$$E = \frac{I \cdot (C - 11,8 \cdot k^2)}{11,8 - C}$$

$$D_{\lim} = \frac{E_{\max} \cdot C}{(C - 11,8 \cdot k^2)} \quad (1-25)$$

Rovnice lze vyjádřit pomocí nomogramu, z přípustných hodnot parametrů E a I lze dále stanovit velikost součinitele C .

Doporučené převýšení lze tedy navrhnout dle vztahu:

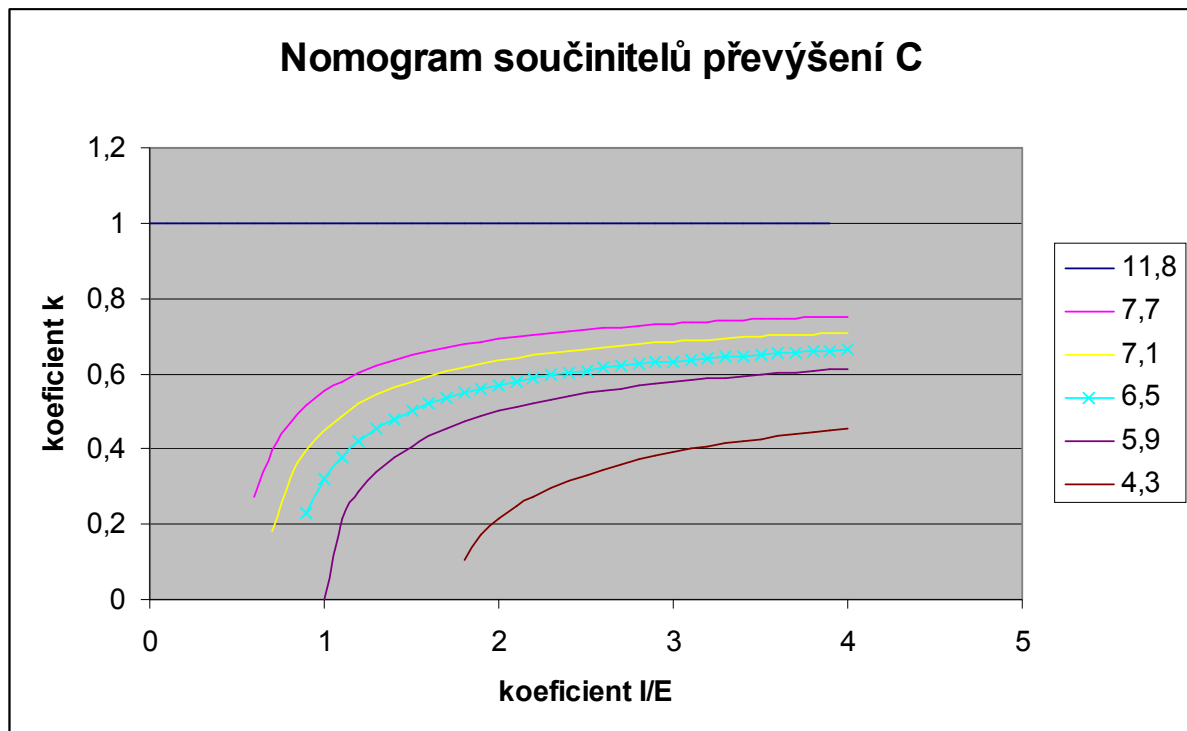
$$D_{dop} = \frac{C \cdot V^2}{R} \quad (1-26)$$

kde součinitel C je doporučeno volit na základě zjištěných nebo technologicky stanovených poměrů $V_n/V = k$ a $Q_{nv}/Q = E/I$

Tabulka 2 koeficienty pro návrh převýšení koleje

$l:E = Q_{nv}:Q$	1	1,3	1,75	2,3	
$k = V_{nv} \cdot V$					
$\geq 0,65$	$\geq 7,7$	$\geq 7,7$	$\geq 7,7$	7,1	7,1
0,64	$\geq 7,7$	$\geq 7,7$	7,7	7,1	6,5
0,57	$\geq 7,7$	7,7	7,1	6,5	5,9
0,50	$7,7^1$	$7,1^1$	6,5	5,9	5,9
0,40	$7,7^2$	6,5	5,9	5,9	5,9
¹⁾ $D_{\max} = 130 \text{ mm}$ ²⁾ $D_{\max} = 100 \text{ mm}$					

Hodnoty $C = 5,9$ a $C = 6,5$ jsou vhodné pro smíšený provoz, $C = 7,1$ nebo $C = 7,7$ lze použít při převažující osobní dopravě s omezením maximálního převýšení, viz poznámky k tabulce. Vyplyvající hodnoty nedostatku převýšení při použití výše uvedených koeficientů však nesmí překročit limitní hodnoty.



Obrázek 2 Nomogram součinitelů převýšení (fialová čára pro „11,8“ splývá s vodorovnou částí mřížky grafu v úrovni koeficientu $k = 1$)

Výsledně tedy pro návrh převýšení platí:

Výchozí vztah pro návrh převýšení je:

$$D = \frac{C \cdot V^2}{R} \quad (1-27)$$

kde koeficient C [$\text{mm} \cdot \text{m} \cdot \text{h}^2 / \text{km}^2$]. Koeficient je volen v závislosti na rychlosti, druhu a skladby dopravy a místních podmínkách. Normou ČSN 73 6360-1 jsou určeny koeficienty C pouze v závislosti na rychlosti.

Výše uvedené způsoby návrhu převýšení vyžadují znalost výhledového dopravního zatížení, které je hlavně v oblasti nákladní dopravy obvykle hůře predikovatelné. Obvykle je

návrh převýšení podřizen snaze umožnit nejrychlejším vlakům co nejvyšší možnou rychlost, v těchto případech se tedy bude jednat o minimální převýšení pro nejrychlejší vlaky, přitom za hraniční rychlost lze považovat 200 km/h. Obvyklá nejvyšší rychlost nákladních vlaků se pohybuje mezi 100 - 120 km/h, přičemž do rychlosti 200 km/h osobních vlaků vznikne rozdíl v teoretických převýšeních 100 mm až 170 mm, což lze kompenzovat součtem přebytku a nedostatku převýšení. Od rychlostí vyšších než 200 km/h je třeba uvažovat pouze s vlaky osobními a vybranými velmi rychlými nákladními vlaky. Návrh převýšení je záležitostí úvahy projektanta, přitom normy a předpisy nikdy nemohou postihnout všechny případy kombinací dopravních a traťových podmínek. Je zřejmé, že normou stanovené koeficienty nezohledňují skladbu a druh dopravy ani jiné podmínky trati než je poloměr oblouku a maximální či minimální rychlost. Projektant musí uvážit všechny ostatní podmínky ovlivňující rychlost vlaků (podélný sklon trati, stupeň zabezpečovacího zařízení atd.).

Obecně je převýšení navrhováno s ohledem na nejrychlejší vlaky, přičemž návrh převýšení musí zajistit rovnoměrnost traťové rychlosti. Kromě výše uvedených doporučení je třeba respektovat pravidla omezující absolutní hodnoty převýšení koleje.

Pokud je zřízeno převýšení koleje, je obvyklé doporučené rozmezí hodnot pro projektování převýšení koleje s ohledem na návrhovou rychlost všech skupin vlaků a na hospodárnost provozu a údržby koleje od $D_{\min} = 20$ mm až do hodnoty převýšení koleje $D_{\lim} = 150$ mm, v odůvodněných případech lze navrhnout převýšení až do hodnoty $D_{\max} = 160$ mm.

Norma ČSN EN 13803-1:2010 upozorňuje, že převýšení 160 mm lze považovat za mezní s ohledem na možnost posunu nákladu, omezení komfortu cestujících při mimořádném zastavení vlaku a s ohledem na bezpečnost práce některých traťových strojů ve smyslu ztráty jejich stability. V současně platných TSI pro infrastrukturu konvenčního železničního systému [5] vyjma kategorií tratí určených pouze pro osobní dopravu je stanovena mezní hodnota převýšení 160 mm.

Projektovaná hodnota převýšení nemá být v kolejích s provozním zatížením ≥ 20 milionů t/rok větší než $D_{\lim} = 120$ mm. Provozní zatížení se v tomto případě vypočte jako prostý součet hmotností vlaků provezených po této koleji za rok. Toto ustanovení je vztaheno na koleje využívané ve velké míře nákladní dopravou, která zpravidla projíždí oblouky s přebytkem převýšení. Přebytek převýšení způsobuje zvýšené namáhání vnitřního kolejnicového pásu mimo jiné i ve formě vzniku skluzových vln z důvodu rozdílnosti poloměrů styčných kružnic obou kol dvojkolí.

Projektovaná hodnota převýšení v obloucích s poloměrem $R < 290$ m musí být z důvodu rozdělení sil na nabíhající dvojkolí pomalu jedoucích vozidel s ohledem na způsob hodnocení GPK za provozu dodržena podle následujícího vztahu:

$$D \leq \frac{R - 50}{1,5} \quad [\text{mm}]$$

(1-28)

Vztah (1-28) omezuje nejvyšší dovolené převýšení vzhledem k maximálnímu dovolenému zborcení koleje. Mezní zborcení koleje odpovídající navrženému převýšení podle vztahu (1-28) musí být menší než: $\frac{20}{\ell} + 1,5 \leq 6$ ‰. Pokud převýšení navíc splňuje vztah $D \leq \frac{R - 100}{2}$,

lze pro maximální přípustné zborcení koleje využít vztahu:

$$\frac{20}{\ell} + 3,0 \leq 7 \text{ ‰} \quad (1-29)$$

kde ℓ je délka báze zborcení koleje

Problém nastává při rekonstrukcích koleje, kde bylo zřízeno převýšení vyšší než odpovídá vztahu (1-28). V takovém případě by bylo nutné při zachování stávajícího poloměru oblouku (velmi obtížně modifikovatelný parametr) snižovat rychlost, což je krok pro rekonstrukci krajně nežádoucí. Jako kompenzace může posloužit zvýšení nedostatku převýšení až do hodnoty 130 mm, viz následující kapitola.

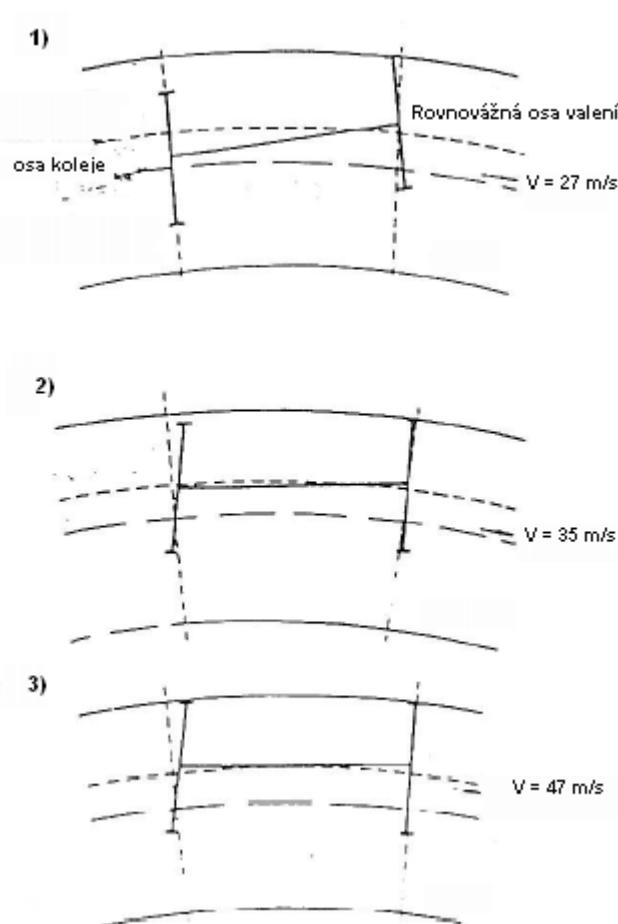
POZNÁMKA 1: k 31.05.2009 bylo v síti tratí v majetku ČR 896 oblouků, které nevyhovují výše uvedenému vztahu (13), v souhrnné délce 532,5 km.

POZNÁMKA 2: Obecně je nebezpečí vykolejení při vyšplhání okolků na temeno kolejnice hodnoceno pomocí poměru Y/Q , který nesmí překročit hodnotu danou Nadalovým vztahem:

$$\frac{Y}{Q} = \frac{tga - \mu}{1 + \mu \cdot tga} \quad (1-30)$$

kde μ je součinitel tření a α je úhel okolku

Nadalův vzorec je ve skutečnosti konzervativní odhad bezpečné hodnoty a lze ho použít při velkých náběžných úhlech. Je zřejmé že k tomu, aby bylo dosaženo kritické hodnoty, se musí pro daný profil kola zvětšit příčná síla (Y) ze sil z nedostatku převýšení nebo z rozpěrných sil, nebo se musí zmenšit kolová síla (Q) jako výsledek přenesení váhy z vnější kolejnice nebo v důsledku zborcení koleje nebo v důsledku obou případů. Zvětšování převýšení při pomalé jízdě zvětšuje gravitační sílu dovnitř oblouku (přebytek převýšení), tedy odlehčuje vnější kolo, ale také zvětšuje příčné síly z důvodu stavění náprav v oblouku (viz obrázek níže). Oproti tomu při vyšší rychlosti dochází k příznivějšímu stavění podvozku v oblouku (příčné síly se vlivem stavění podvozku sníží a vlivem zvětšení odstředivé síly zvýší, takže výsledně zůstanou stejné) a zároveň k přitížení vnějšího kola, takže poměr Y/Q zpravidla nemá tendenci nepřekračovat nebezpečnou mez.



Obrázek 3 Stavění podvozku v oblouku v závislosti na rychlosti - poloměr 650 m pro jednotku APT-E

Je zřejmé, že nejvyšší riziko se nachází krátce po vjezdu nízkou rychlostí do vzestupnice s klesajícím převýšením. V této situaci vede přebytek převýšení k velkému rozpěrnému efektu, zmenšení svislého zatížení (vlivem rámového účinku podvozku ve vzestupnici). Stupňování tohoto efektu spočívá v umístění vzestupnic částečně do oblouku při nedostatečné nebo žádné délce mezipřímé.

Projektovaná hodnota převýšení koleje při rekonstrukci stávajícího nástupiště a u nově zřizovaného nástupiště má být do $D_{\text{lim}} = 60$ mm a nesmí překročit hodnotu $D_{\text{max}} = 110$ mm. Při návrhu převýšení koleje při nástupištní hraně by měla být zohledněna míra využití konkrétního nástupiště cestujícími. Omezení převýšení koleje v tomto případě je vztaženo k míře komfortu cestujících při nastupování a vystupování.

V obloucích ve staničních i traťových kolejích, kde vlaky často zastavují nebo v nichž většina vlaků traťové rychlosti nedosahuje, v obloucích, kde to vyžaduje stavební uspořádání podél hlavní nebo dopravní koleje (poloha nástupiště, průjezdný průřez) a v obloucích, limitujících dosažení vyšší traťové rychlosti v dlouhých ucelených úsecích, má být projektováno převýšení o hodnotě mezi doporučeným převýšením D_N a převýšením vyvolávajícím maximální nedostatek převýšení, vypočteným podle vzorce:

$$D_{\text{min}} = \frac{11,8 \cdot V^2}{R} - I_{\text{max}} \quad [\text{mm}]$$

(1-31)

Ve složeném oblouku se projektuje v každé jeho části převýšení koleje odpovídající jejímu poloměru tak, aby byly splněny podmínky pro velikost nedostatku a přebytku převýšení.

Pokud je možné stanovit převýšení shodné pro sousední části oblouku, plnicí zároveň podmínky předchozí věty, pak se takové řešení doporučuje upřednostnit, a to i v případě, že je nutné projektovat mezilehlou přechodnici.

V přímé koleji se převýšení koleje nezřizuje, kromě případů uvedených v tomto odstavci a v případech oblouků s převýšením bez přechodnic, kdy je vzesupnice umístěna v přilehlé přímé.

V přímé koleji smí být převýšení koleje zřízeno jen:

- a) v přímé větvi výhybky s tečným uspořádáním jazyka, jestliže výhybka leží v oblouku s převýšením;
- b) následuje-li přímá kolej za výhybkou s tečným uspořádáním jazyka, pokud výhybka leží v koleji s převýšením.

Největší možná projektovaná hodnota převýšení koleje je v obou uvedených případech do $D_{\max} = 100$ mm. V desinfekční koleji má být upravena kolej v potřebné délce s převýšením koleje $D_n = 60$ mm, a to i v případě, kdy desinfekční kolej leží mimořádně v oblouku.

Kolejová spojení a rozvětvení je vhodné umísťovat do přímých úseků hlavních staničních kolejí. Pokud to není možné nebo účelné, lze navrhovat kolejová spojení a rozvětvení v obloucích hlavních staničních kolejích při použití obloukových výhybek, a to v koleji bez převýšení i s převýšením. Velikost převýšení v obou větvích výhybky včetně části se společnými pražci je shodná, má být menší než $D_{\lim} = 80$ mm a musí být menší než $D_{\max} = 120$ mm. V krátkém oblouku za odbočením z přímé koleje do rovnoběžného přímého směru se převýšení koleje zpravidla neprojektuje.

Velikost převýšení v kolejovém spojení a rozvětvení musí být navržena tak, aby byly dodrženy přípustné hodnoty nedostatku a přebytku převýšení pro nejvyšší projektované rychlosti. S ohledem na tuto podmínku nelze ve výhybce v základním tvaru navrhnout převýšení vyšší než 100 mm a v obloukové oboustranné výhybce musí být převýšení nižší než 100 mm. Vždy musí být zohledněna též míra využití jednotlivých kolejí a běžně očekávané provozní rychlosti.

V kolejové spojce dvou soustředných oblouků se projektuje v obou výhybkách a ve všech kolejích v oblasti spojky jednotné převýšení koleje. Přitom je třeba upravit nivelety temen koleje tak, aby se spojnice temen kolejnic nacházely na jedné kuželové ploše.

1.1.5. 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 navrhovat až na 165 mm). Velikost nedostatku převýšení ovlivňuje silové působení vozidla na trať. Je třeba přihlídnout 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 přihlídnout k tomu, že vlivem provozních odchylek převýšení (většinou záporné) dále dochází k zvýšení praktických hodnot nedostatku převýšení oproti projektovaným hodnotám.

K těmto faktorům je nutno v některých případech nutno připočítat účinky bočního větru, těmito případy jsou ovlivněny zejména lehké naklápěcí jednotky v otevřeném terénu a ještě více na dlouhých a vysokých estakádách. Jako příklad působení lze uvést zkoušky jízdních podmínek jednotek typu RTG, realizovaných v roce 1974 ve Francii, kdy v podmínkách bočního větru o rychlosti 20 m/s působícího ve smyslu zvýšení nedostatku převýšení, bylo vyvoláno jeho zvýšení o 32 mm. Současně z analýzy rizika převrácení vozidla vyplynulo, že jemu odpovídající nedostatek převýšení je větší než nedostatek převýšení odpovídající deformacím koleje (ztráta příčné stability). Riziko vykolejení předpokládá takové překročení rychlosti v oblouku, které vyvolá nedostatek převýšení nad 500 mm, přičemž kritické hodnoty pro riziko deformace koleje (příčné stability) je cca 390 mm.

Z těchto a jiných důvodů je třeba přistoupit k omezení projektovaného nedostatku převýšení. Standardní hodnoty pro nedostatek převýšení se v jednotlivých státech liší. Obecně lze konstatovat, že se v geograficky rozsáhlých zemích prosadily vyšší hodnoty, neboť se u nich z technických důvodů více prosadily (preferenci jízdních dob).

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 |
| 4. pro vozidla skupiny přechodnosti 3 | omezena v závislosti na poloměrech oblouků viz [28] |

Každou takto stanovenou rychlost je nutné návěstit s výjimkou rychlosti V_{150} , která je zavedena pouze jako rychlostní profil v rámci systému zabezpečovacího zařízení ETCS. Ostatní rychlosti jsou návěštěny klasickými rychlostníky. Evropský zabezpečovací systém ERTMS dovoluje použít jiné limity nedostatku převýšení, a to hodnoty: 92, 100, 115, 122, 130, 153, 168, 183, 245, 270, 306 mm, nicméně tyto meze jsou pouze informativního charakteru. Všechny uvedené hodnoty jsou v ČR přiřazeny odpovídajícím způsobem k hodnotám daným výčtem (100, 130, 150, 270). Využitelnost rychlostníků pro vozidla skupiny přechodnosti „3“ pro jiné meze rychlostí (meze nedostatku převýšení) je zatím neaktuální, především s ohledem na vozidlový a vozový park provozovaný v ČR.

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

$$I = \frac{11,8 \cdot V_{\max}^2}{R} - D \leq I_{\max} \quad [\text{mm}] \quad (1-32)$$

Standardní, mezní a maximální hodnoty nedostatku převýšení I_n , I_{\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 mění, a ve kterých neleží výhybky a výhybkové konstrukce.

Maximální dovolenou rychlost vozidla pohybujícího se ve směrovém oblouku lze variantně posoudit využitím nevyrovnaného příčného zrychlení a_q . Této metodiky se již však v současné době nevyužívá, neboť je více charakteristikou vozidla. Naproti tomu nedostatek převýšení lépe vystihuje stavebně technický stav trati.

$$a_q = \frac{V_{\max}^2}{12,96 \cdot R} - \frac{g \cdot D}{1500} \leq a_{q,\max} \quad [\text{m/s}^2] \quad (1-33)$$

Maximální dovolené hodnoty $a_{q,\max}$ odpovídají při přepočtu podle vztahu (3-33) maximálním dovoleným hodnotám nedostatku převýšení I_{\max} uvedeným v tabulce 1. Přepočet nedostatku převýšení na nevyrovnané příčné zrychlení je možný podle vzorce:

$$a_q = \frac{I}{153} \quad [\text{m/s}^2] \quad (1-34)$$

Hodnoty nevyrovnaného příčného zrychlení a_q jsou vztaženy k úrovni kolejového roštu. Hodnoty nevyrovnaného příčného zrychlení působícího na osoby a hmotu skříně vozidla jsou obvykle vyšší, pokud není vozidlo vybaveno zařízením schopným kompenzace nedostatku převýšení. Při zahrnutí vlivu tuhosti vypružení lze vyjádřit nekompensované příčné zrychlení v úrovni podlahy vozu vztahem:

$$a_i = (1 + s_r) \cdot a_q \quad [\text{m/s}^2] \quad (1-35)$$

kde s_r je hodnota koeficientu příčného naklonění vozidla.

Tabulka 3 Hodnoty standardního, mezního a maximálního nedostatku převýšení I_n , I_{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_{lim} [mm]	Maximální hodnota I_{\max} [mm]
$V \leq 80$	80	100	100 (130 ^c)
$80 < V \leq 230$			130 (150 ^b)
$230 < V \leq 250$	60		130 (150 ^{a,b})
$250 < V \leq 300$		80	130

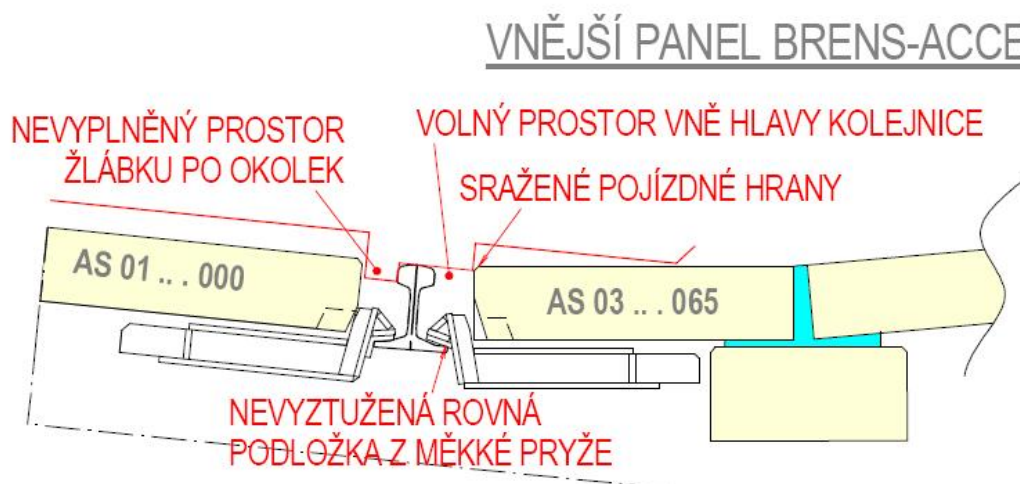
^a Lze pouze pro vozidla s omezenými silovými účinky na trať (maximální hmotnost na nápravu 18 t)
^b Lze pouze pro vozidla vlaků osobní dopavy
^c Lze pouze pro poloměr směrového oblouku $R \geq 250$ m. V poloměrech $R < 250$ m lze projektovat $I_{\max} = 130$ mm pouze pro vozidla s omezenými silovými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

Vzhledem k působení vyšších příčných sil je nezbytné hodnoty nedostatku převýšení vyšší než 100 mm navrhovat v případě bezстыkové koleje. Bezстыkovou kolej je možno navrhnout od poloměru 175 m (150 m v případě „Y“ pražců, a to zatím pouze zkušební úseky), viz také [40].

Nedostatek převýšení větší než $I = 100$ mm nelze využít v oblasti železničních přejezdů s konstrukcí přejezdové vozovky živičné a s konstrukcí dlážděným vozovkovým krytem

a v oblasti mostů bez průběžného kolejového lože, vyjma případů, kdy přímo pojížděná mostní konstrukce nemění vzhledem ke konstrukci železničního svršku svislou spojitou tuhost kolejové dráhy (tj. je součástí pevné jízdní dráhy). Omezení maximální hodnoty nedostatku převýšení v těchto místech jsou definována z důvodu náchylnosti vzniku závad ve směrové a výškové poloze koleje. Přejezdové konstrukce mohou být použity pro vyšší nedostatek převýšení, pokud zajišťují pro tento nedostatek převýšení rovnoměrnou tuhost uložení kolejového roštu. Ze stejných důvodů se nemá navrhovat přechod mezi konstrukcí koleje s pevnou jízdní dráhou a kolejovým ložem v oblouku. Pokud se tento přechod v oblouku (včetně přechodnic) vyskytuje, je v takovém oblouku omezena maximální hodnota nedostatku převýšení $I_{max} = 100$ mm.

Níže uvedený obrázek č.4 prezentuje dvě výše uvedené problematiky. Jedná se o jednu z původních variant konstrukce nástupní plochy pro záchranná vozidla plzeňských portálů Ejpovických tunelů. V případě, kdy je zvolena varianta použití PJD v tunelech, je nutné řešit problematiku přechodu do konstrukce klasického železničního svršku v oblouku. Jedná se tedy o místo, kde musí být maximální hodnota nedostatku převýšení $I_{max} = 100$ mm, z čehož vyplývá omezení rychlosti. Pokud by byla zvolena varianta klasického železničního svršku, je nutné řešit zpevněnou přístupovou cestu záchranných vozidel tak, aby co nejméně ovlivňovala tuhost jízdní dráhy a tím dovozovala užít vyšších hodnot nedostatku převýšení.



Obrázek 4 Detail uložení betonového přejezdového dílce zajišťující nižší ovlivnění tuhosti jízdní dráhy (zdroj ŽPSV a.s.)

Hodnoty nedostatku převýšení jsou děleny do čtyř úrovní:

První kategorií jsou hodnoty standardní (I_n), tedy ty které jsou obecně doporučovány projektovat. Tyto hodnoty vychází ze vztahů pro projektování doporučeného převýšení a jsou ověřeny v praxi jako vhodné z hlediska účinků vozidel na trať a její následnou údržbu.

Druhý stupeň reprezentuje hodnoty maximální doporučené (I_{lim}), které nemají být překračovány. Použití těchto hodnot a vyšších má za následek zvýšení údržbových nákladů a opotřebování tratě a negativní vliv na komfort cestujících. Tyto hodnoty se běžně využívají v případě rekonstrukcí kolejí v souvislosti se zvyšováním rychlostí, kdy je trasování omezeno stávajícím tělesem železničního spodku. Použití hodnot nedostatku převýšení v úrovni I_n a I_{lim} není vázána na omezení dle typu jednotlivých vozidel.

Třetí kategorií je kategorie maximálního nedostatku převýšení (I_{max}), které nesmí být překročeno. Použití takového nedostatku převýšení je zdůvodnitelné v případech vyrovnání poklesu rychlosti (především z energetických důvodů) nebo v případě delších ucelených

úseků ve smyslu zkrácení jízdních dob. Pro využití těchto hodnot nedostatku převýšení musí být vozidla konstruována a musí být ověřeny jejich jízdní vlastnosti. Z výsledků jízdních zkoušek vozidel je zřejmé, že při nárůstu nedostatku převýšení ze 100 mm na hodnotu 130 mm nedochází k zásadnímu zvýšení příčných kvazistatických sil. Velikost kvazistatických příčných sil je větší měrou závislá na křivosti oblouku než na dovoleném nedostatku převýšení.

Výše uvedené rozdělení je v shrnutí teorie použití různých mezních hodnot nedostatků převýšení. V běžných podmínkách navrhování optimalizací a modernizací železničních drah, nebo v situacích zavádění rychlostních profilů odpovídajících vyšším hodnotám nedostatku převýšení, kdy se v zásadě vychází z dané polohy koleje, dochází k využívání maximálních hodnot nedostatků převýšení v daleko vyšší míře, než bylo autory normy původně uvažováno. Na základě výsledků této práce dochází k přehodnocení výše uvedených principů využití vyšších hodnot nedostatku převýšení. Podrobněji k této problematice viz kapitola 3.3 této práce.

Zásady navrhování GPK pro vozidla s naklápěcí skříní jsou uvedeny v příloze E ČSN 73 6360-1. Maximální nedostatky převýšení pro jednotky s naklápěcími skříněmi jsou uvedené v tabulce 4.

Tabulka 4 Hodnoty nedostatků převýšení pro vozidla s naklápěcími skříněmi

Hodnoty I_k [mm]	
V koleji bez pevných míst pro $V_k \leq 230$ km/h v obloucích $R \geq 400$ m	270
V koleji bez pevných míst pro $V_k \leq 120$ km/h v obloucích $250 \text{ m} \leq R < 400 \text{ m}^{\text{a)}$	240
V koleji bez pevných míst pro $230 < V_k \leq 300$ km/h	150
V koleji s pevnými místy	
V oblasti výhybek s pevnými srdcovkami, pevných úroňových přejezdů ^{b)} , mostů bez průběžného kolejového lože, dilatačních zařízení a přechodů z koleje s kolejovým ložem na kolej bez kolejového lože	130
V oblasti výhybek s pohyblivými hroty srdcovek,	150
^{a)} Při rekonstrukci se souhlasem vlastníka lze připustit hodnotu $I_k = 270$ mm v obloucích $R \geq 300$ m ^{b)} Přejezdy s celopryžovou konstrukcí a přejezdy speciálně upravené určené pro přístup záchranné techniky jinak jako přejezdy nevyužívané se za pevná místa nepovažují.	

Pozn.: Výše uvedená tabulka se liší od tabulky E.1 z ČSN 736360-1:2008, která je chybná

Vyšší nedostatek převýšení způsobuje vyšší příčné účinky vozidel na kolej v oblouku. Nadto některé typy lokomotiv vykazují zvýšené hodnoty příčného působení z důvodu konstrukce podvozků (především se tato problematika týká lokomotiv s třínápravovými podvozky). Z tohoto důvodu bylo pro tyto lokomotivy stanoveno omezení rychlosti v závislosti na poloměru oblouku, které je znázorněno v níže uvedené tabulce 5.

Tabulka 5 Omezení traťové rychlosti (v kolejích traťových a hlavních staničních) pro hnací vozidla zařazené z hlediska příčných účinků do kategorie „3“

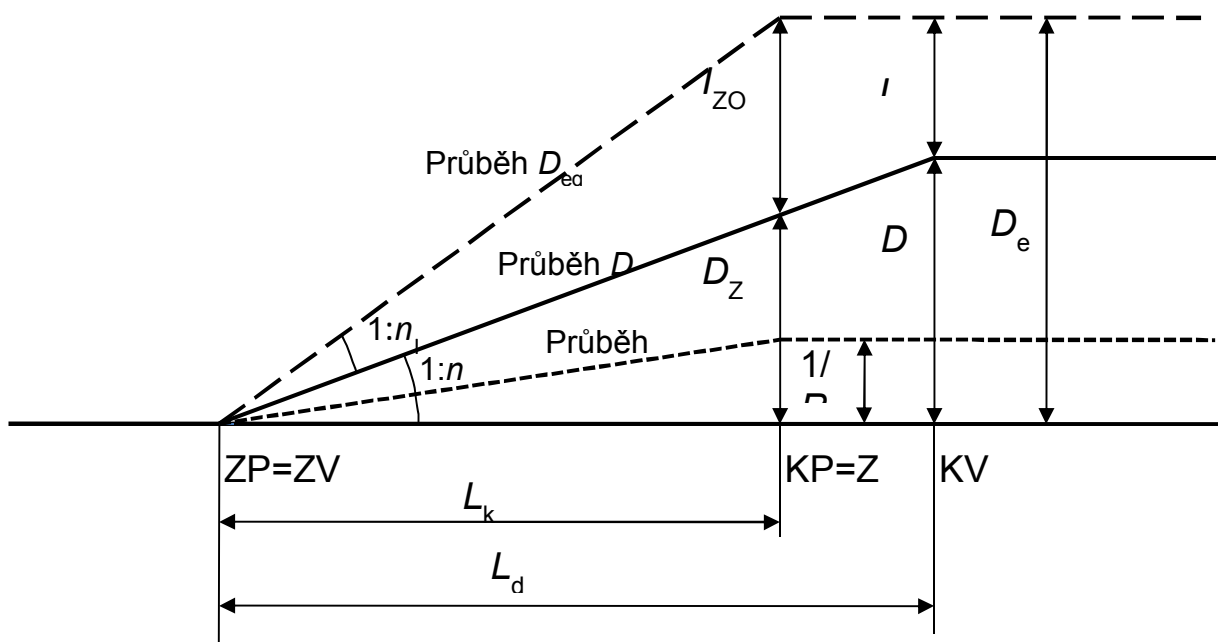
Tvar kolejnic	Poloměr oblouku [m]	Omezení traťové rychlosti v TTP [km.h ⁻¹]
T, S 49, R 65, UIC 60	200 - 299	40
	300 - 500	70
A a tvary slabší	v traťových a hlavních staničních kolejích nejsou hnací vozidla kategorie „3“ přechodná	

Vztah tohoto omezení k nedostatku převýšení spočívá v možnosti využívání rychlosti V_{130} vozidly zařazenými do skupiny „2“. Metoda klasifikace vozidel do skupiny přechodnosti „3“ je uvedena v „Metodický pokyn pro stanovení skupiny příčné přechodnosti vozidel; č.j. S14107/11-OTH ze dne 11.4.2011;“ [36]. Metodika omezení rychlosti pro vozidla skupiny „3“ není zcela vyhovující, neboť rychlost 40 km/h odpovídá poloměru 295 m v porovnání s rychlostí 70 km/h odpovídající poloměru 305 m (a neomezenou rychlostí v „ostatní staniční koleji“). Bylo by možné přehodnotit jak rozdělení dovolených rychlostí, tak i mezní poloměry oblouků. Změna metodiky stanovení rychlosti pro vozidla přechodnosti skupiny „3“ by měla za následek úpravy a přepočty odpovídajících rychlostí na několika tisících kilometrech tratí.

Pro rozsah rychlostí do 80 km/h je snížen výjimečný nedostatek převýšení na 130 mm, neboť jsou to případy oblouků malých poloměrů, kde se kromě vlivu nedostatku převýšení přidružuje zvýšení kvazistatických z malého poloměru oblouku.

V otázce problematice návrhu nedostatku převýšení na PJD není ještě dostatek zkušeností. Obecně by se dalo konstatovat, že lze pojíždět PJD vyššími rychlostmi než železniční svršek s klasickým kolejovým ložem z hlediska stability GPK, nicméně doporučuje se dodržovat ustanovení pro návrh GPK jako pro kolej s klasickým železničním svrškem.

Tam kde je vzestupnice delší než přechodnice, a vzestupnice zasahuje do kružnicové části oblouku, se na začátku oblouku vyskytne špičková hodnota nedostatku převýšení, a je třeba ji v návrhu posoudit, musí vyhovět odpovídajícím ustanovením. Dále je nutno vyhodnotit změnu nedostatku převýšení na délce přechodnice oproti změně převýšení, která se odehrává na délce vzestupnice.



Obrázek 5 Zvýšená hodnota nedostatku převýšení v případě větší délky vzestupnice než přechodnice

1.1.5.1. Nedostatek převýšení v kolejových rozvětveních

Další omezení pro nedostatek převýšení v kolejových rozvětveních oproti běžné koleji je možno chápat ze dvou důvodů. Prvním je zpravidla nedostatečná nebo žádná délka přechodnic a druhým je omezení vyplývající z pojižděných konstrukcí železničního svršku. První problém je řešen pomocí metodiky náhlých změn nedostatku převýšení.

Druhý problém je řešen v závislosti na konkrétních typech konstrukcí železničního svršku. Níže uvedená tabulka č.6 prezentuje jednotlivá omezení pro jednotlivé typy konstrukcí.

Mezní a maximální hodnoty nedostatku převýšení platné pro výhybky a výhybkové konstrukce vložené do kolejí staničních hlavních a průběžných traťových v obloucích jsou uvedeny v tabulce 3 ČSN 73 6360-1. Pro výhybky a výhybkové konstrukce v ostatních staničních kolejích nesmí být nedostatek převýšení koleji hlavního i vedlejšího dopravního směru vyšší než $i_{\max} = 100$ mm. Omezení hodnot náhlé změny nedostatku převýšení pro výhybky a výhybkové konstrukce jsou uvedena v tabulce 6. Pro nedostatek převýšení v kolejích s výhybkami a výhybkovými konstrukcemi jsou standardní hodnoty rovny hodnotám mezním. Pro stanovení rychlosti jednotek s naklápěcími skříněmi platí příloha E normy ČSN 73 6360-1.

U obloukových oboustranných výhybek, vložených jednou větví do koleje s převýšením, je v druhé větvi zřízeno opačné převýšení (vnější kolejnicový pás níže než vnitřní kolejnicový pás).

Pro opačné převýšení je nedostatek převýšení vyjádřen vztahem:

$$I = \frac{11,8 \cdot V^2}{R_2} + |D| \quad [\text{mm}]$$

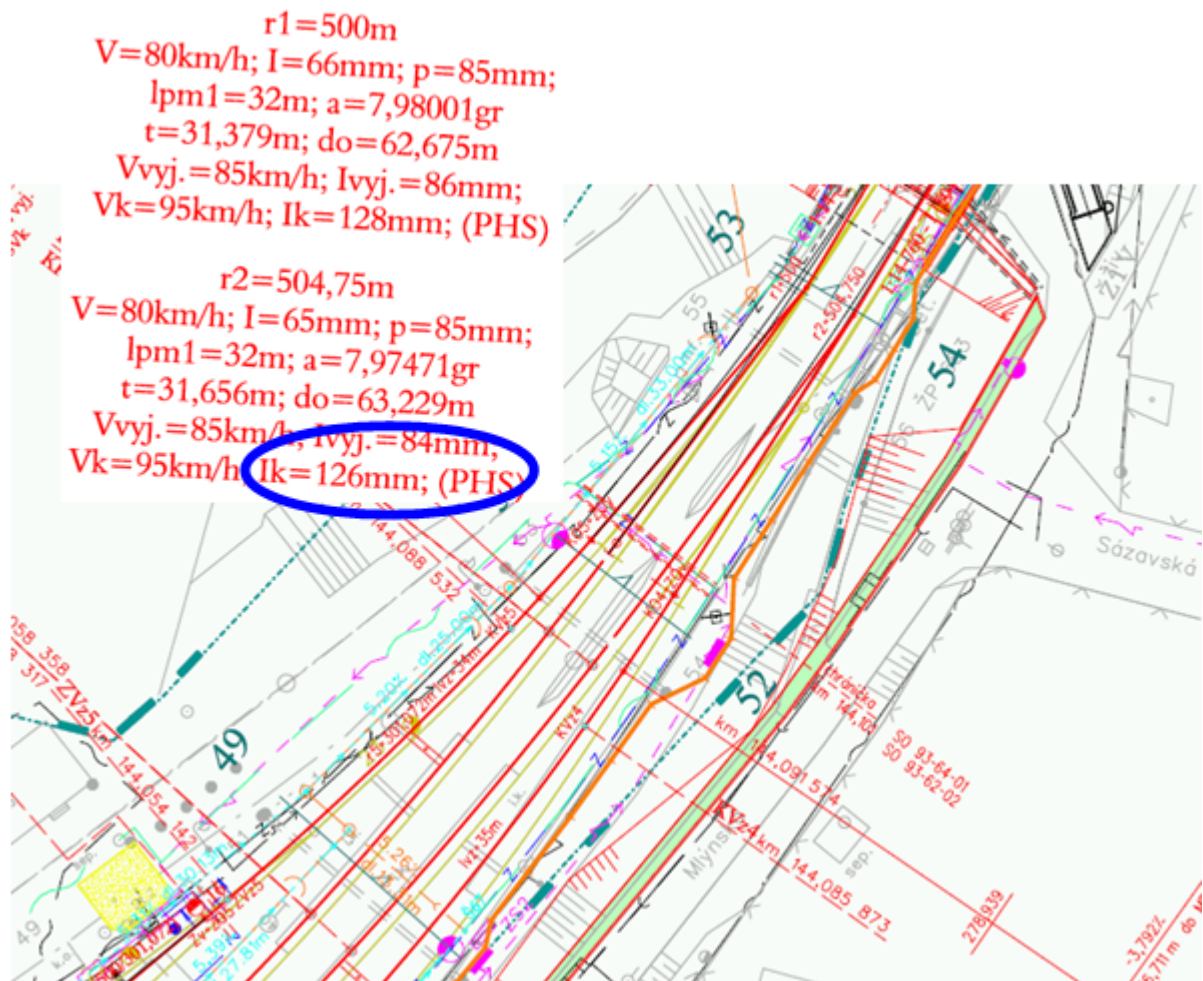
(1-36)

Tabulka 6 Mezní I_{lim} a maximální I_{max} hodnoty pro nedostatek převýšení v kolejích hlavních staničních a průběžných traťových s výhybkami a výhybkovými konstrukcemi

Typ konstrukce železničního svršku		$V \leq 160$ [km/h]		$160 < V \leq 200$ [km/h]		$200 < V \leq 300$ [km/h]
		Mezní hodnoty	Maximální hodnoty	Mezní hodnoty	Maximální hodnoty	Maximální hodnoty
		I_{lim} [mm]	I_{max} [mm]	I_{lim} [mm]	I_{max} [mm]	I_{max} [mm]
Pevné jednoduché srdcovky	^a	85	110 ^d	60	90	Vyloučeno
	^b		100		60	
Jednoduché srdcovky s pohyblivými částmi		100	130 ^d	100	120	60
Dilatační zařízení ^c		100		60	80	60
^a Přerušená pojížděná hrana kolejnicového pásu je na vnitřní straně výhybkového oblouku ^b Přerušená pojížděná hrana kolejnicového pásu je na vnější straně výhybkového oblouku ^c Pro rychlosti $V > 160$ km/h je v oblouku přípustné pouze malé dilatační zařízení ^d Pro rychlosti do 80 km/h lze projektovat $I_{max} = 130$ mm pouze pro poloměr směřového 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), pro ostatní vozidla platí $I_{max} = 100$ mm.						

Pro obloukové dvojité srdcovky s přerušenou pojížděnou hranou i s pohyblivými hroty je omezen nedostatek převýšení $I_{lim} = 80$ mm a $I_{max} = 100$ mm. Použití těchto konstrukcí je možné pouze do rychlosti 100 km/h a je upraveno předpisy vlastníka nebo jím pověřeného správce infrastruktury a zpravidla se nově nenavrhují.

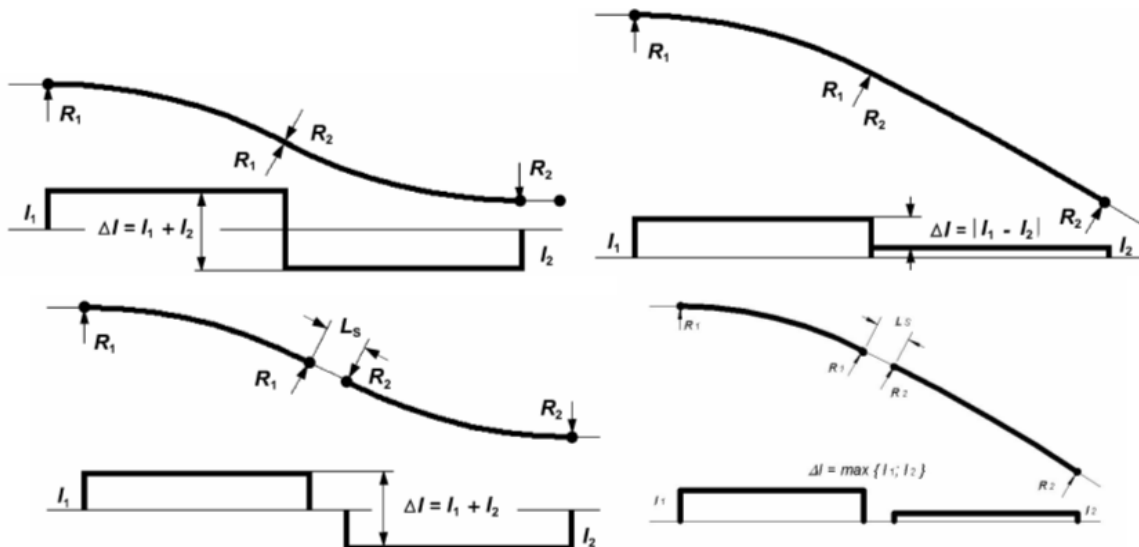
Přípustné hodnoty přebytku převýšení v kolejích staničních hlavních a průběžných traťových s výhybkami a výhybkovými konstrukcemi se doporučuje dodržet hodnotu $E_{lim} = 80$ mm a musí být dodržena hodnota $E_{max} = 100$ mm. Pro výhybky a výhybkové konstrukce v ostatních staničních kolejích nesmí být přebytek převýšení koleji hlavního i vedlejšího dopravního směru vyšší než $E_{max} = 100$ mm. Zvláště v případě pevných srdcovek je důležité, zda-li se vzhledem k působení nedostatku převýšení přerušení pojížděné hrany kolejnice vyskytuje na vnější či vnitřní straně oblouku.



Obrázek 6 Jedna z variant návrhu obloukového zhlaví žst. Čerčany

Na obrázku 6 je dobře patrné využití výhybek s pohyblivými hroty srdcovek (PHS). Jelikož díky nepřerušené pojížděné hraně dochází k menšímu ovlivnění jízdy vozidla než při průjezdu výhybky s přerušenou pojížděnou hranou, lze ve výhybkách s PHS dovolit působení vyššího nedostatku převýšení, pro klasická vozidla $I_{\max\text{PHS}} = 130\text{ mm}$ a pro naklápací jednotky $I_{k,\max\text{PHS}} = 150\text{ mm}$. Obrázek 6 ilustruje situaci navrženou podle ČSN 73 6360-1:1997, kdy bylo $I_{k,\max} = 110\text{ mm}$, a $I_{k,\max,\text{PHS}} = 130\text{ mm}$, tedy při použití PHS byl odstraněn propad rychlosti.

1.1.5.2. Náhlá změna nedostatku převýšení



Obrázek 7 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. Při idealizaci vozidla hmotným bodem bude platit:

$$\varphi = \frac{da}{dt} = \frac{\Delta a}{\Delta t} \quad [m / s^3] \quad (1-37)$$

Z uvedeného vztahu vyplývá, že hodnota bočního rázu je závislá na průběhu bočního zrychlení a jeho změn v čase. Mohou nastat tyto případy:

1. Kružnicový oblouk je napojen na přímou bez přechodnice

Z průběhu křivosti je zřejmé, nevyrovnané boční zrychlení se teoreticky mění na začátku oblouku skokem na hodnotu, kterou vozidlo udržuje v oblouku v konstantní hodnotě. Z toho by vyplývalo, že se hodnota zrychlení změní za nekonečně krátkou dobu $\Delta t \rightarrow 0$ tedy boční ráz φ dosahuje teoreticky nekonečně velkých hodnot. To platí v případě, že je vozidlo idealizováno hmotným bodem. Vlivem tuhosti vypružení vozu, vůle dvojkolí v koleji a pružnosti kolejového roštu je hodnota bočního rázu omezena a dochází zde k vytvoření přechodové zóny podobné funkci přechodnice.

Pro vozidla s dlouhým rozvozem vozu lze uvažovat, že se nevyrovnané příčné zrychlení mění na délce rozvozu vozu (viz princip virtuální přechodnice využívaný u Network Rail). Nicméně platnost tohoto principu se od středu vozu lineárně zmenšuje. Nejhorší situace je od místa náprav směrem ke konci vozu (resp. otočných čepů podvozků) neboť tam působí změny nevyrovnaného bočního zrychlení vzhledem k délce vozu okamžitě.

Mimo výše uvedené se v rámci hodnocení průběhů silových veličin při jízdách zkouškách prokázalo, že především v případě běžné koleje (tj. mimo výhybky a výhybkové konstrukce) dochází vlivem tuhosti koleje k vytvoření „fiktivní“ přechodnice.

Hodnoty nedostatků převýšení z tabulky 3 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 hodnotám z tabulky 7. Pro výhybky vložené do hlavních kolejí platí pro jejich hlavní dopravní směr náhlé změny nedostatků převýšení odpovídající hlavní koleji. Pro minimální vzdálenost dvou sousedních míst náhlé změny křivosti v současné době platí ustanovení článků 8.3 a 8.4 normy ČSN 73 6360-1:2008, která jsou založena na vyjádření násobkem rychlosti. Míra vhodnosti kritérií těchto délek včetně doporučení na přehodnocení těchto kritérií je předmětem hodnocení kapitoly 3 této práce.

Tabulka 7 Hodnoty náhlé změny nedostatku převýšení

Rychlost [km/h]	Hlavní kolej staniční a kolej průběžná traťová			Kolejová spojení a rozvětvení a ostatní koleje		
	Standardní hodnota (ΔI_n) [mm]	Mezní hodnota (ΔI_{lim}) [mm]	Maximální hodnota (ΔI_{max}) [mm]	Standardní hodnota (ΔI_n) [mm]	Mezní hodnota (ΔI_{lim}) [mm]	Maximální hodnota (ΔI_{max}) [mm]
$V \leq 100$	50	85	100	80	100	
$100 < V \leq 120$	40		85	60	80	95
$120 < V \leq 170$		50	80			
$170 < V \leq 230$	30	40	60	50	60	80

Pro rychlosti vyšší než 230 km/h se obvykle navrhují přechodnice dostatečné délky, přičemž průběh nárůstu převýšení odpovídá průběhu nárůstu křivosti, nicméně se často vyskytují případy, kdy je použit oblouk velmi velkého poloměru (řádově v desítkách tisíc metrů, tzv. „lom směru“), z čehož vyplyne malá náhlá změna nedostatku převýšení (řádově v jednotkách mm). Pokud je taková náhlá změna nedostatku převýšení navržena musí být menší než $\Delta I_{max} = 25$ mm.

Náhlá změna nedostatku převýšení je určena průběhem křivosti koleje. Velikost náhlé změny nedostatku převýšení se určuje podle následujících vztahů:

- a) Napojení kružnicového oblouku poloměru R a přímé:

$$\Delta I = \frac{11,8 \cdot V^2}{R} \quad [\text{mm}] \quad (1-38)$$

- b) Napojení dvou kružnicových oblouků poloměrů R_1 a R_2 stejného směru:

$$\Delta I = I_2 - I_1 = \frac{11,8 \cdot V^2}{R_x} = \frac{11,8 \cdot V^2 (R_1 - R_2)}{R_1 \cdot R_2} \quad [\text{mm}] \quad (1-39)$$

přičemž $R_1 > R_2$, kde R_x je hodnota náhradního poloměru, která je určena vztahem:

$$R_x = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 - R_2} \quad [\text{m}] \quad (1-40)$$

c) Napojení dvou kružnicových oblouků poloměrů R_1 a R_2 protisměrných:

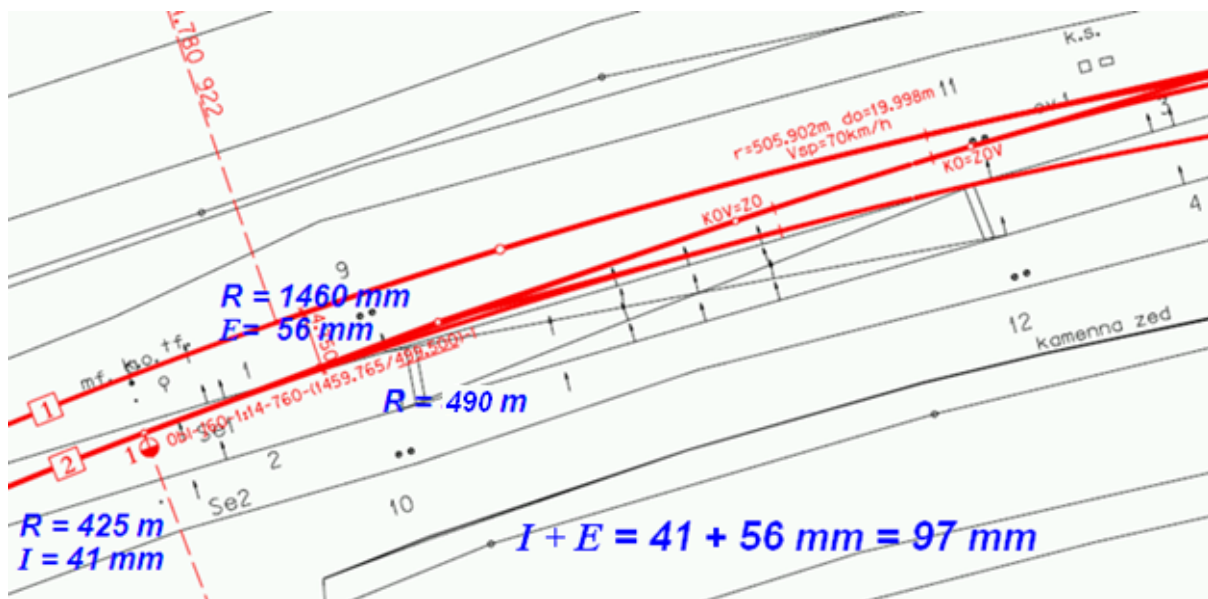
$$\Delta I = I_2 + I_1 = \frac{11,8 \cdot V^2}{R_x} = \frac{11,8 \cdot V^2 (R_1 + R_2)}{R_1 \cdot R_2} \quad [\text{mm}] \quad (1-41)$$

kde R_x je hodnota náhradního poloměru, která je určena vztahem:

$$R_x = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} \quad [\text{m}] \quad (1-42)$$

Oblouky opačných směrů bez přechodnic se mohou spolu stýkat v bodě obratu pokud nejsou překročeny hodnoty ΔI_{\max} podle tabulky 7 a zároveň ustanovení podle tabulek C.3. až C.5 normy ČSN 73 6360-1.

Zvláštní pozornost je třeba věnovat posouzení náhlé změny nedostatku převýšení v případech, kdy je třeba uvažovat náhlou změnu nedostatku převýšení do přebytku převýšení součtem absolutních hodnot. Takové situace mohou nastat především v případě kolejových spojení a rozvětvení, kdy při průjezdu obloukovou odbočnou větví výhybky na vozidlo působí přebytek převýšení v oblouku hlavní větve a následně nedostatek převýšení ve větví odbočné. Tuto skutečnost lze také vyjádřit pomocí změny nevyrovnaného bočního zrychlení, kdy je třeba posoudit při změně působení součet opačně působících hodnot.



Obrázek 8 Situace změny nedostatku převýšení do přebytku převýšení (z PD stavby „Optimalizace trati Praha Bubeneč – Praha Holešovice“)

Obrázek 8 ukazuje situaci, kdy je pro průjezd kolejovou spojkou třeba posoudit náhlou změnu nedostatku převýšení do přebytku převýšení. Při průjezdu obloukem $R = 425$ m pro rychlost $V_{sp} = 70$ km/h působí nedostatek převýšení $I = 41$ mm. Jelikož se mění křivost oblouku hlavní koleje z 425 m na 490 m je nutné ověřit, zda-li součet nedostatku převýšení a přebytku převýšení působícího opačným směrem nepřesáhne dovolené hodnoty pro náhlou změnu křivosti. V případě, že je kolejová spojka navržena v soustředných obloucích

bez dalších změn křivosti, bude náhlá změna nedostatku převýšení do přebytku převýšení vždy menší než $\Delta l = 100$ mm.

1.1.6. Přebytek převýšení

Přebytek převýšení E odpovídající nejnižší uvažované provozní rychlosti v daném poloměru oblouku je vyjádřen vztahem:

$$E = D - \frac{11,8 \cdot V_{\min}^2}{R} \quad [\text{mm}] \quad (1-42a)$$

Mezní hodnota přebytku převýšení je $E_{\text{lim}} = 80$ mm, maximální hodnota přebytku převýšení je $E_{\text{max}} = 110$ mm. Minimální rychlost V_{\min} je určena skupinou nejpomalejších vlaků obvykle provozovaných v daném traťovém úseku. Tato rychlost má být potvrzena dynamickým výpočtem.

Při vysokých hodnotách přebytku převýšení dochází ke vzniku skluzových vln na vnějším kolejnicovém pásu, neboť je vozidlo okolkem přimknuto na vnitřní kolejnicový pás a vnější kolo jede po menší kružnici se stejnou úhlovou rychlostí a tak se dostává do skluzu.

1.1.7. Vzestupnice

1.1.7.1. Druhy vzestupnic

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).

1.1.7.2. Lineární vzestupnice – sklon lineární vzestupnice

Lineární vzestupnice má v celé své délce stejný sklon (mimo zaoblení začátku a konce lineární vzestupnice), určený poměrem $1:n$. Součinitel sklonu vzestupnice n se navrhuje

podle tabulky 4, nemá být menší než 445 (odpovídá nárůstu převýšení po délce 2,25 mm/m) a nesmí být menší než 400 (odpovídá nárůstu převýšení po délce 2,5 mm/m).

Tabulka 8 Hodnoty součinitele „n“ určujícího sklon lineární vzestupnice a časové změny převýšení dD/dt

Rychlostní Pásmo	Součinitel sklonu vzestupnice n [-] Časová změna převýšení (dD/dt) [mm/s]					
	Standardní		Mezní		Maximální / minimální	
	n_n	$(dD/dt)_n$	n_{lim}	$(dD/dt)_{lim}$	n_{min}	$(dD/dt)_{max}$
$V \leq 80$ km/h	10. V	27,78	6.V ^a	46,30 ^a	6.V ^b	46,30 ^b
80 km/h < $V \leq 120$ km/h			7.V	39,68	6.V	46,30
120 km/h < $V \leq 160$ km/h			8.V	34,72	7.V	39,68
160 km/h < $V \leq 200$ km/h	12. V	23,15	10.V	27,78	8.V	34,72
200 km/h < $V \leq 300$ km/h						

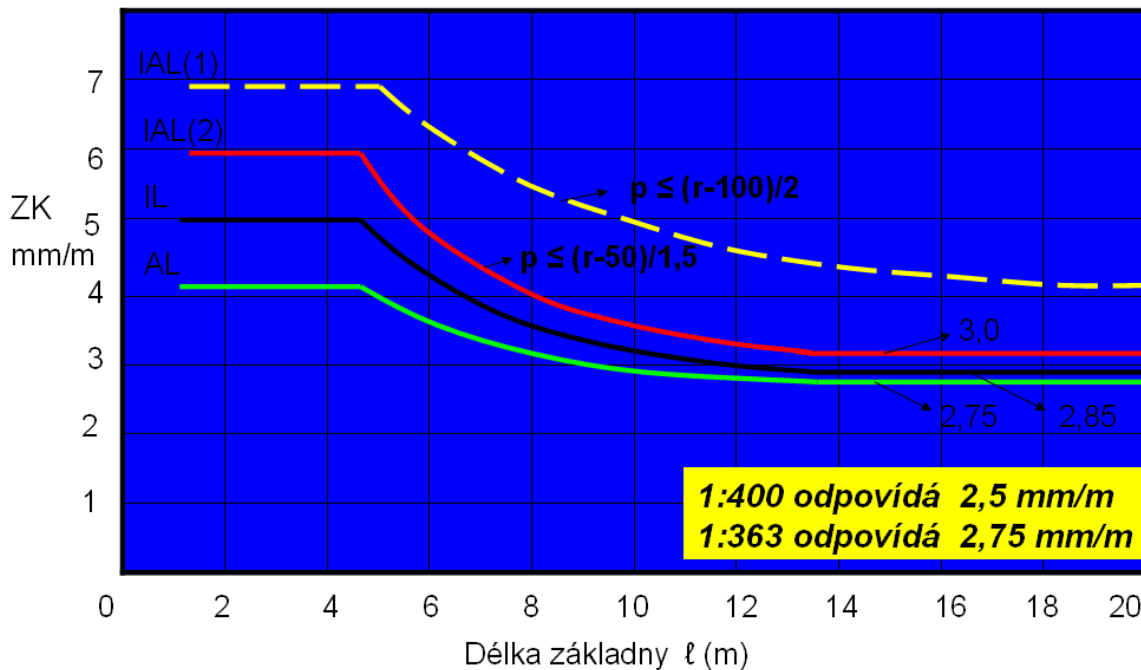
^a Současně sklon lineární vzestupnice nemá být větší než 1:445.
^b Současně sklon lineární vzestupnice nesmí být větší než 1:400.

POZNÁMKA: Pro přepočítání změny převýšení v čase dD/dt na součinitel sklonu vzestupnice n , je-li $n=k \cdot V$, platí:

$$k = \frac{277,8}{dD/dt} \quad [-]$$

(1-43)

Význam důležitosti vhodného návrhu sklonu vzestupnice je možné odvodit z následujícího grafu znázorňující mezní hodnoty dovoleného provozního zborcení koleje. Je vhodné připomenout, že překročené mezní provozní hodnoty zborcení koleje bývají často jednou z příčin vykolejení vozidel. Z následujícího obrázku 9a vyplývá malý rozdíl minimálních projektovaných hodnot (1:400 odpovídající 2,5 mm/m) a mezních provozních hodnot zborcení (1:363 odpovídající 2,75 mm/m).



Obrázek 9a Provozní hodnoty zborcení koleje ve smyslu ČSN 73 6360-2

1.1.7.3. Délka lineární vzestupnice

Délka krajní lineární vzestupnice se vypočte podle vzorce:

$$L_d = \frac{n \cdot D}{1000} \quad \text{nebo} \quad L_d = \frac{V \cdot D}{3,6 \cdot \frac{dD}{dt}} \quad [\text{m}]$$

(1-52)

Délka krajní lineární vzestupnice má být zaokrouhlena nahoru na nejbližší celý metr.

U oblouků s přechodnicemi má být lineární vzestupnice projektována v délce přechodnice. Začátek vzestupnice se vloží do místa začátku přechodnice a konec přechodnice se vloží do místa konce přechodnice (začátku kružnicového oblouku). Na začátku kružnicového oblouku má lineární vzestupnice dosáhnout stanovené hodnoty převýšení koleje. Při splnění tohoto požadavku jsou zajištěny odpovídající klidnost chodu vozidla vycházející z úměrnosti nárůstů dD/dt a dI/dt , resp. vyvolaných reakcí v místě jejich změn.

Ve stísněných poměrech pro rychlosti $V \leq 80$ km/h může být lineární vzestupnice projektována delší než odpovídající přechodnice. Začátek vzestupnice se vloží do místa začátku přechodnice, ale konec vzestupnice leží v kružnicovém oblouku. V konci přechodnice jsou převýšení a nedostatek převýšení úměrné poměru délek přechodnice a vzestupnice podle vzorců:

$$D_{ZO} = D \cdot \frac{L_k}{L_d} \quad I_{ZO} = \frac{11,8 \cdot V^2}{R} - D_{ZO} \quad [\text{mm}] \quad (1-53)$$

kde D_{ZO} a I_{ZO} je hodnota převýšení koleje a odpovídající hodnoty nedostatku převýšení v místě začátku kružnicové části oblouku

V takových případech musí být velikost nedostatku převýšení I_{ZO} menší než I_{\max} . a délka přechodnice musí být alespoň:

$$L_K \leq \frac{I_{ZO} \cdot n_I}{1000} \quad [\text{m}] \quad (1-54)$$

kde n_I je součinitel změny nedostatku převýšení.

Pokud oblouk nemá přechodnice, lze navrhnout vztupnici ležící částečně v přímé a částečně v oblouku, popř. zcela v přímé nebo zcela v oblouku. Toto řešení lze navrhnout jen v ostatních staničních kolejích mimo koleje hlavní, ve stísněných poměrech v hlavních staničních nebo průběžných traťových kolejích s rychlostí nejvýše 60 km/h včetně pouze se souhlasem vlastníka infrastruktury. Upřednostňuje se, aby celá vztupnice ležela v přímé, pokud to není možné, pak aby 2/3 délky vztupnice ležely v přímé koleji a 1/3 délky vztupnice v kružnicovém oblouku; pokud ani to není možné, musí být alespoň dodrženy podmínky $D_{ZO} \leq 100$ mm a zároveň $I_{ZO} \leq 100$ mm. V tomto případě bude:

$$D_{ZO} = D \cdot \frac{L_{d,\text{přímá}}}{L_d} \quad [\text{mm}] \quad (1-55)$$

kde $L_{d,\text{přímá}}$ je délka části vztupnice ležící v přímé.

Délka mezilehlé lineární vztupnice mezi dvěma částmi složeného oblouku stejného směru nebo mezi dvěma částmi oblouku s rozdílným převýšením se určí podle vzorce:

$$L_{d,m} = \frac{n \cdot (D_2 - D_1)}{1000} \quad \text{nebo} \quad L_{d,m} \geq \frac{V \cdot (D_2 - D_1)}{3,6 \cdot dD/dt} \quad [\text{m}] \quad (1-56)$$

přičemž $D_2 > D_1$.

Délka mezilehlé vztupnice má být zaokrouhlena nahoru na nejbližší celý metr.

Jestliže je mezi dvěma částmi složeného oblouku navržena mezilehlá přechodnice, pak se mezilehlá vztupnice vloží do stejného úseku koleje a délka $L_{d,m} = L_{k,m}$.

V případech, kdy ve stísněných poměrech mezi dvěma částmi složeného oblouku není navržena mezilehlá přechodnice nebo kdy ve dvou částech oblouku stejného poloměru je rozdílné převýšení, lze navrhnout do rychlosti 80 km/h včetně samostatnou mezilehlou vztupnici. U složených oblouků se upřednostňuje umístění mezilehlé vztupnice do oblouku s větším poloměrem v úseku bezprostředně přiléhajícím k bodu změny křivosti (KO=ZO), pokud je takové řešení možné. Umístění vztupnice musí v každém případě být

takové, aby v každém bodě vzestupnice byla dodržena omezující ustanovení pro velikost převýšení, nedostatku a přebytku převýšení.

Mezi oblouky opačných směrů s převýšením a přechodnicemi bez mezilehlé přímé koleje se projektuje dvojice vzestupnic v obou kolejnicových pásech na celkovou délku stýkajících se přechodnic. V bodě obratu, v němž se přechodnice stýkají, musí být oba kolejnicové pásy na stejné výškové úrovni podle vztahu:

$$h_{KP=ZP} = \frac{D_1 \cdot D_2}{D_1 + D_2} \quad [\text{mm}] \quad (1-57)$$

kde h_{KP} resp. h_{ZP} je hodnota zdvihu temen kolejnicových pasů nad fiktivním pásem v bodě obratu.

Pro jejich vzájemný sklon 1 : n platí hodnoty součinitele sklonu vzestupnice podle tabulky 8.

Celková délka vzestupnice se určí podle vzorce:

$$L_{d,bo} = \frac{n \cdot (D_1 + D_2)}{1000} \quad L_{d,bo} = \frac{V \cdot (D_1 + D_2)}{3,6 \cdot \frac{dD}{dt}} \quad [\text{m}] \quad (1-58)$$

Obvykle se vyjadřuje délka části vzestupnice příslušná ke každé přechodnici $L_{d,1}$, $L_{d,2}$.

Má-li pouze jeden z oblouků převýšení, projektuje se v části přiléhající k oblouku s převýšením vzestupnice podle zásad pro projektování krajní vzestupnice.

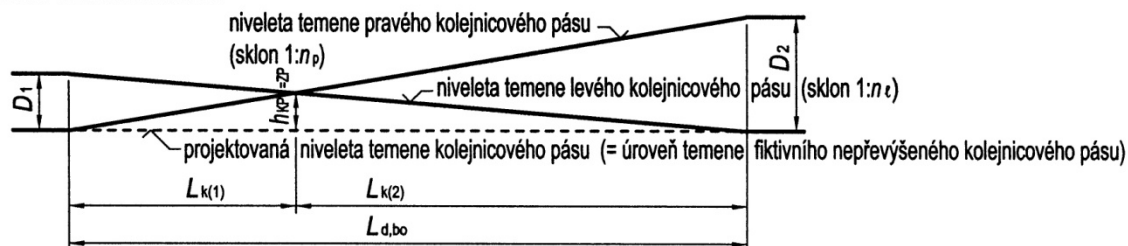
Důvod předepsaného řešení lineárních vzestupnic s bodem obratu (oproti nelineárních s bodem dotyku) spočívá především v tom, že lineární vzestupnice zasahuje svým zaoblením před místo označené jako začátek přechodnice (ZP) a naopak do oblouku za místo označené jako konec přechodnice a zároveň začátek oblouku (KP=ZO). V případě, že by byly zřízeny lineární vzestupnice s bodem dotyku, tak se jejich začátky zaoblení budou překrývat. Oproti tomu nelineární vzestupnice je konstruována tak, že v bodě ZP začíná i její zaoblení a proto ji lze konstruovat s bodem dotyku.

Dalším důvodem vhodnosti konstrukce s bodem obratu je, že průběh změny nevyrovnaného bočního zrychlení je po celé délce inflexních přechodnic konstantní, oproti konstrukci lineárních přechodnic s bodem dotyku, kdy se na jejich styku vyskytuje teoretická změna (tzv. boční riv). Míra výše popsaného negativního působení při použití lineárních přechodnic s bodem dotyku se se zvyšujícím se sklonem vzestupnic zhoršuje.

Výhybku je dovoleno vložit do vzestupnice jen ve zvláště stísněných poměrech. Pokud uvážíme, že se v takovém místě bude vyskytovat i přechodnice, bude transformací výhybky vznikat složité uspořádání, především ve vedlejším dopravním směru. Někteří správci infrastruktury však toto řešení běžně umožňují (typicky švédský Banverket), proto se v evropské legislativě neomezuje minimální délka přechodnice.

Pro výpočet parametrů lineární vzestupnice se použije níže uvedených vzorců.

VZESTUPNICE LINEÁRNÍ



Vzájemný sklon kolejnicových pásů $1:n$; $n = L_{K(1)} \cdot 1000/D_1 = L_{K(2)} \cdot 1000/D_2 = L_{d,bo} \cdot 1000/(D_1+D_2)$

$D_1/D_2 = L_{K(1)}/L_{K(2)}$

$n_t = (L_{K(1)}+L_{K(2)}) \cdot 1000/D_1$

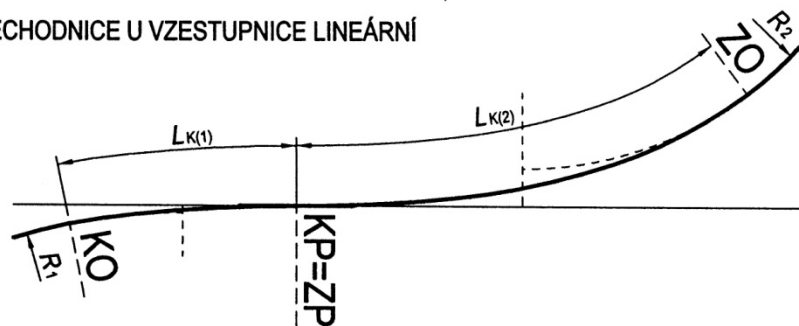
$n_p = (L_{K(1)}+L_{K(2)}) \cdot 1000/D_2$

Platí pro $D_1 \neq 0$ mm, $D_2 \neq 0$ mm. Pokud $D_1 = 0$ mm nebo $D_2 = 0$ mm, navrhne se vzetupnice jen v přechodnici, přiléhající k oblouku s převýšením.

NEDOSTATEK PŘEVÝŠENÍ V LINEÁRNÍ VZESTUPNICI



PŘECHODNICE U VZESTUPNICE LINEÁRNÍ



Obrázek 9b Lineární vzetupnice s bodem obratu

Vzorec pro výpočet lineární vzetupnice mezi úsekem koleje bez převýšení a úsekem s převýšením (krajní vzetupnice):

$$D(l) = \frac{D \cdot l}{L_d} \quad (1-59)$$

Vzorec pro výpočet lineární vzetupnice mezi úsekem koleje s převýšením D_1 a úsekem s převýšením D_2 (mezilehlá vzetupnice), kde $D_1 < D_2$:

$$D(l) = D_1 + \frac{(D_2 - D_1) \cdot l}{L_d} \quad (1-60)$$

1.1.7.4. Nelineární vzetupnice - sklon nelineární vzetupnice

Kromě lineární vzetupnice je možno mezi úsekem koleje bez převýšení a úsekem koleje s převýšením (krajní vzetupnice) projektovat nelineární Blossovu vzetupnici. Mezi oblouky opačných směrů s přechodnicemi bez mezilehlé přímé koleje se Blossova vzetupnice neprojektuje. Mezilehlá Blossova vzetupnice se neprojektuje mezi oblouky stejného směru.

Projektování Blossovy vzestupnice se doporučuje v případech, kdy je projektovaná rychlost vyšší než 80 km/h a hodnoty převýšení větší než 80 mm, jestliže není možné projektovat přechodnici s lineární vzestupnicí, a to pokud by byly překročeny mezní hodnoty nárůstu převýšení a/nebo nedostatku převýšení v čase.

Nelineární přechodnici lze s výhodou použít tam, kde dochází ke zvýšení převýšení, tedy je požadavek na prodloužení vzestupnice a tím i přechodnice, nicméně není prostor pro s tím spojené zvětšení odsazení kružnicového oblouku od tečny. Blossova přechodnice má mimo jiné tu výhodnou vlastnost, že má pro dané odsazení nejkratší délku.

Tabulka 9 Hodnoty součinitele „n“ určujícího sklon nelineární vzestupnice a časové změny převýšení dD/dt ve středu její délky

Rychlostní Pásmo	Součinitel sklonu vzestupnice n [-]					
	Časová změna převýšení dD/dt [mm/s]					
	Standardní		Mezní		Maximální / minimální	
	n_n	$(dD/dt)_n$	n_{lim}	$(dD/dt)_{li}$ m	n_{min}	$(dD/dt)_{max}$
$V \leq 100$ km/h	-	-	5.V ^a	55,55 ^a	4.V ^b	69,44 ^b
100 km/h < $V \leq 300$ km/h	-	-	5.V	55,55	4.V ^c	69,44 ^c

^a Současně sklon nelineární Blossovy vzestupnice nemá v maximu sklonu nalézajícím se uprostřed její délky překročit pro rychlost vyšší než 80 km/h hodnotu 1 : 500.
^b Současně sklon nelineární Blossovy vzestupnice nesmí v maximu sklonu nalézajícím se uprostřed její délky překročit hodnotu 1 : 400.
^c Současně sklon nelineární Blossovy vzestupnice nesmí v maximu sklonu nalézajícím se uprostřed její délky překročit pro rychlost vyšší než 120 km/h hodnotu 1 : 600.

POZNÁMKA: Pro přepočítání změny převýšení v čase dD/dt na součinitel sklonu vzestupnice n , je-li $n=k \cdot V$, platí:

$$k = \frac{277,8}{dD/dt} \quad [-] \quad (1-61)$$

1.1.7.5. Délka nelineární vzestupnice

Délka krajní nelineární Blossovy vzestupnice odpovídající sklonu 1 : n se stanoví podle vzorce:

$$L_d = \frac{1,5 \cdot n \cdot D}{1000} \quad \text{nebo} \quad L_d = \frac{V \cdot D}{2,4 \cdot dD/dt} \quad [\text{m}] \quad (1-62)$$

Délka krajní nelineární Blossovy vzestupnice má být zaokrouhlena nahoru na nejbližší celý metr.

Nelineární vzestupnici podle Blossa lze použít výhradně při současném použití odpovídající přechodnice podle Blossa.

Délka nelineární vzestupnice musí být totožná s délkou odpovídající přechodnice. Na začátku kružnicového oblouku musí převýšení dosáhnout předepsané hodnoty.

Vzestupnice nelineární a lineární se nesmí stýkat.

Pro výpočet nelineární vzestupnice podle Blossse se použije níže uvedených vzorců.

Vzorce pro výpočet nelineární vzestupnice podle Blossse mezi úsekem koleje bez převýšení a úsekem s převýšením (krajní vzestupnice) jsou odvozeny následovně:

Jedná se o přechodnici z nelineární vzestupnicí, proto bude také průběh křivosti po délce přechodnice narůstat nelineárně. Vzestupnice je odvozena z kubické paraboly. Pro vzestupnici tedy platí obecný předpis

$$D(x) = ax^3 + bx^2 + cx + d \quad (1-63a)$$

jehož derivace, tedy směrnice, se musí na konci a začátku přechodnice rovnat nule.

$$D'(x) = 3x^2 + 2bx + c \quad (1-63b)$$

Pro $x = l_v$ je tedy

$$D(l_v) = al_v^3 + bl_v^2 = D_n \quad (1-63c)$$

$$D'(l_v) = 3al_v^2 + 2bl_v = 0$$

Řešením rovnic jsou koeficienty $a = -2 \frac{D_n}{l_v^3}$; $b = 3 \frac{D_n}{l_v^2}$. Koeficienty $c = 0$ a $d = 0$ z důvodu

nulových hodnot derivací na začátku a konci přechodnice.

Rovnice vzestupnice (převýšení v libovolném bodě vzestupnice ve vzdálenosti l od začátku vzestupnice) bude tedy:

$$D(l) = D_n \cdot \left[3 \cdot \left(\frac{l}{L_d} \right)^2 - 2 \cdot \left(\frac{l}{L_d} \right)^3 \right] \quad (1-63d)$$

Vzájemný sklon kolejnicových pásů v libovolném bodě délky vzestupnice:

$$D'(l) = \frac{6 \cdot D_n}{1000} \cdot \left(\frac{l}{L_d^2} - \frac{l^2}{L_d^3} \right) \quad (1-64)$$

Poměr vzájemného sklonu kolejnicových pásů uprostřed délky vzestupnice (maximum sklonu nelineární vzestupnice):

$$1:n_{\max} = \frac{3 \cdot D_n}{2000 \cdot L_d} \quad (1-65)$$

kde L_d je celková délka vzestupnice (přechodnice) podle Blossse;

l je libovolná délka části vzestupnice v intervalu $\langle 0; L_d \rangle$

n_{\max} součinitel maximálního sklonu vstoupnice podle Blossa.

1.1.8. Směrové uspořádání koleje



Obrázek 10 Detail směrového uspořádání v žst. Kroměříž (od roku 2009 po rekonstrukci odstraněno)

1.1.8.1. Obecné zásady

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.

Použití poloměru oblouku menší než 150 m nezaručuje, že tyto koleje budou přechodné pro všechna běžná vozidla, popřípadě umožní jejich projetí jen za zvláštních provozních podmínek. Omezení provozu a stanovení zvláštních provozních podmínek musí stanovit provozovatel dráhy. Z hlediska interoperability železničních tratí, není dle Technických specifikací interoperability (dále jen TSI INF) přípustný poloměr oblouku pod 150 m ani v ostatních kolejích dep nebo tam, kde mohou být odstavovány vlaky. Konstrukce vozidel naopak musí umožňovat průjezd nesníženou rychlostí alespoň v poloměru oblouku 150 m. Minimální poloměr směrového oblouku průjezdný traťovou rychlostí je uveden v technických podmínkách každého vozidla. Dílčí problémy působí fakt, že v koleji lze navrhnout poloměr oblouku až do hodnoty $R = 150$ m, přičemž uplatníme-li k této hodnotě poloměru provozní odchylky parametru směru koleje, lze prakticky uvažovat s poloměry $R = 120$ m. Minimální poloměr oblouku definovaný dle technických podmínek vozidla však s žádnými tolerancemi stanoven není.

Problematika průjezdu menšími oblouky než 150 m pro dlouhé vozy významně souvisí nejen s problematikou natočení podvozku a s úhly náběhu, ale současně také s poměry ve spojení vozů. Z velkých vzájemných úhlů skříní vyplývají poměrně velké síly ve stlačovaných náraznících i ve spřáhle, a v jejich důsledku jsou vysoké i příčné síly mezi vozy. Toto může mít vliv i na bezpečnost proti vykolejení a zároveň z toho může plynout nebezpečí zaklesnutí nárazníků. Toto jsou hlavní důvody, proč je dlouhým vozům typu UIC X a Y v obloucích menších než 150 m povolen průjezd pouze rychlostí 10 km/h s povolenými spřáhly.

V železniční síti normálně rozchodných drah, se kterými má právo hospodařit SŽDC, se vyskytují poloměry pod 150 m pouze výjimečně (Tábor – Bechyně, Rybník – Lipno a Věřovice - Štramberk), v těchto případech jsou přijímána speciální opatření provozu jednotlivých typů vozidel, viz [32].

V koleji v oblouku se stanoví maximální rychlost podle odpovídající hodnoty nedostatku převýšení. Pro určení traťové rychlosti v daném oblouku, popřípadě v obloucích stejného směru nebo opačných směřů, jsou však důležité i další parametry (převýšení koleje, sklon a typ vzestupnice, délka přechodnic, velikost náhlé změny nedostatku převýšení, délka kružnicové části oblouku a délka přímé koleje mezi oblouky), které mohou omezovat nejvyšší dovolenou rychlost. Rozhodující je vždy nejmenší z určených rychlostí.

Z hlediska ověřování chování vozidel v obloucích se rozlišují oblouky velkých poloměrů $R > 600$ m, oblouky středních poloměrů $400 \text{ m} \leq R \leq 600$ m a oblouky malých poloměrů $250 \text{ m} \leq R < 400$ m. Ukazuje se, že chování vozidel se od poloměru 400 m níže mění, dochází k výraznějšímu působení příčných kvazistatických sil, což vede ke zvýšení opotřebování kolejnic/okolků. Nové lokomotivy se konstruují spíše s ohledem na stabilitu chodu v přímé koleji pro vyšší rychlosti, z čehož vyplývá malá poddajnost vůči příčnému natáčení podvozků v obloucích, což má za následek zvýšení kvazistatických příčných sil. Proto je potom nutné v těchto případech snižovat dovolený nedostatek převýšení, aby nedocházelo k nadměrnému namáhání železničního svršku. Z výše uvedených důvodů je žádoucí v maximální možné míře navrhovat poloměry oblouků větší než 400 m.

Obecně lze konstatovat, že poloměr směrového oblouku, podobně jako sklon koleje je jeden z obtížně ovlivnitelných parametrů při optimalizaci tratí ve stávající stopě, proto jsou doporučení omezení tohoto poloměru mezní hodnotou uvedené v ČSN 736360-1 spíše přáním než skutečným požadavkem.

1.1.8.2. 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 skříňe. 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 nebezpeční záklesu nárazníků a vytlačení vozů.

1.1.8.3. Vzdálenost náhlých změn nedostatku převýšení

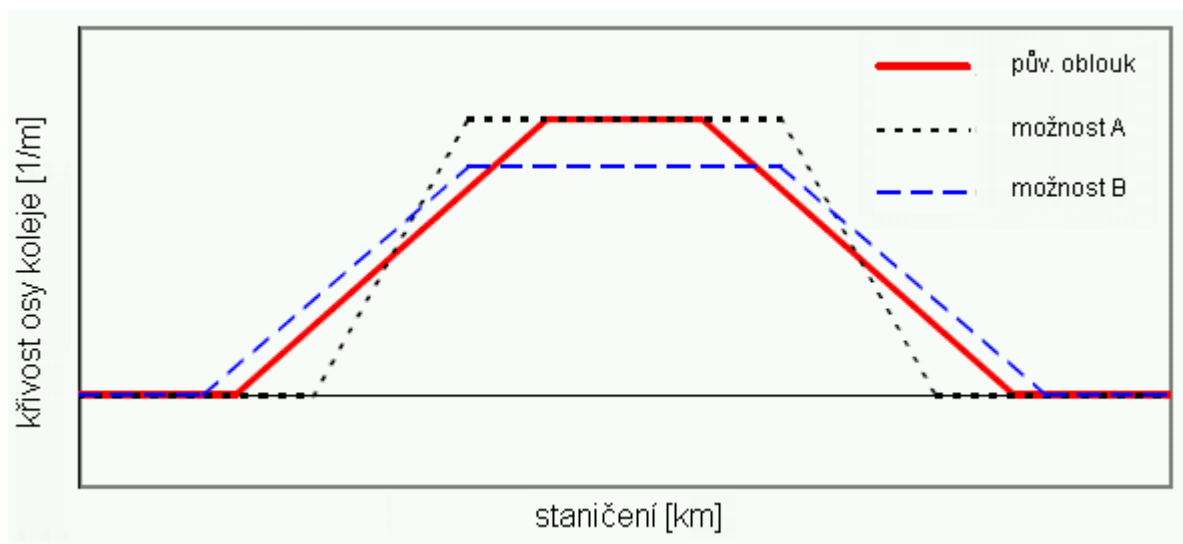
Soustava vozidlo kolej je pružnou soustavou. Hlavní pružné prvky jsou: kolejový rošt, vypružení podvozků a vypružení vozové skříňe. Místa náhlé změny křivosti osy koleje působí změnu naklání vozidla, kdy se tento pohyb může stát kmitavým, který je třeba před dalším místem náhlé změny křivosti uklidnit. 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 x 0,65 s, tedy

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

(1-66)

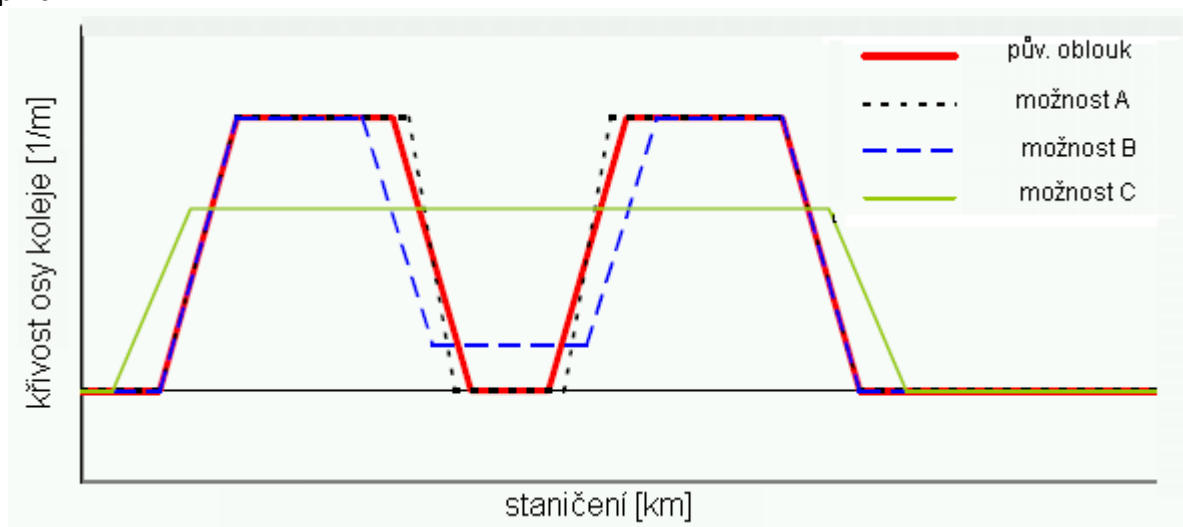
Podle této teorie by délky mezipřímých i kružnicových částí oblouků neměly klesnout pod 0,5.V.

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 vzestupnic 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 vzestupnic až k mezním hodnotám.



Obrázek 11 Ilustrace problémů zvyšování požadavků na délku kružnicové části oblouku při zvýšení rychlosti

Podobným případem může být případ dvou stejnosměrných oblouků s mezilehlou přímou. Ideálním řešením je nahrazení mezipřímé obloukem vhodného poloměru. Takové řešení zpravidla znamená změnu polohy osy koleje se všemi důsledky, přičemž v některých případech to nemusí být možné. Potom tedy přistoupí projektant k jedinému normou umožněnému řešení – prodloužení mezipřímé pro odpovídající zvýšení rychlosti a zkrácení délek přechodnic až na minimální hodnoty nárůstu nedostatku převýšení a strmosti vzesupnic.



Obrázek 12 Ilustrace problémů zvyšování požadavků na délku mezipřímé při zvýšení rychlosti

Pro průkaz chování vozidel v situacích různých délek kružnicových částí oblouků byly autorem výzkumné práce [87] provedeny simulace odezvy vozidla (svíslá kolová síla Q , vodící síla Y , poměr Y/Q , zrychlení, míra změny zrychlení a úhlová rychlost natáčení vozidla, komfort cestujících P_{ct}). Tyto simulace byly podkladem pro přípravu EN v rámci pracovní skupiny CEN/TC256/SC1/WG15 a byly uplatněny v rámci tvorby EN 13803-1 „Železniční aplikace – Kolej – Návrhové parametry polohy koleje – Kolej rozchodu 1 435 mm a širšího“. Podrobnosti jsou uvedeny v [85] a [87]. Ze závěrů výzkumných zpráv lze uvést:

- Síly kolové, vodící a poměr Y/Q se mění velmi málo, přičemž z grafů lze odečíst zvýšené působení sil v rozmezí 40 – 80 m, což je pro rychlost 200 km/h 0,2.V -

0,4.V, a naopak kratší délky kružnicových oblouků vykazují nižší vyvolané silové působení

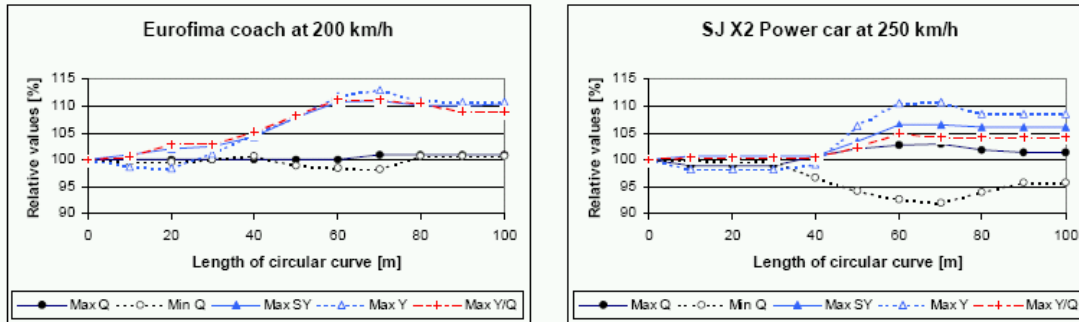


Figure 4a-4b. Normalised evaluation variables in the wheel/rail interface on a short circular curve. Eurofima coach at 200km/h (left) and the SJ X2 power car at 250km/h (right).

Obrázek 13 Výsledné relativní působení silových veličin v případě různých délek kružnicového oblouku - autor Bjorn Kufver viz [87]; „Obrázek 4a - 4b, Normalizované hodnoty silového působení na rozhraní kolo/kolejnice v případě krátkého kružnicového oblouku, vlevo – vůz Eurofima pro rychlost 200 km/h; vpravo – hnací vozidlo SJ X2 pro rychlost 250 km/h “

- Maximální boční zrychlení a maximální rychlost úhlového natáčení je délkou kružnicového oblouku neovlivněna, což je pravděpodobně způsobeno vypružením vozu, které odfiltruje zrychlení, která vlivem nízké délky prvků ani nestihnou dosáhnout zvýšené hodnoty

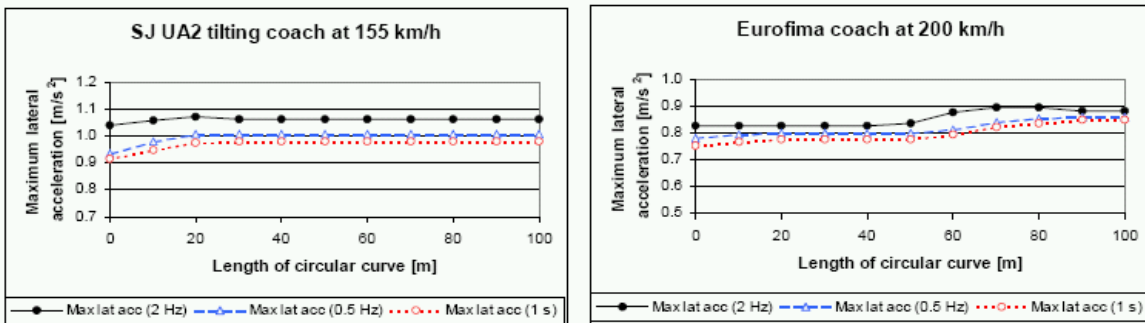


Figure 5a-5b. Maximum lateral acceleration in the vehicle body on a short circular curve. SJ UA2 coach at 155km/h (left) and Eurofima coach at 200km/h (right).

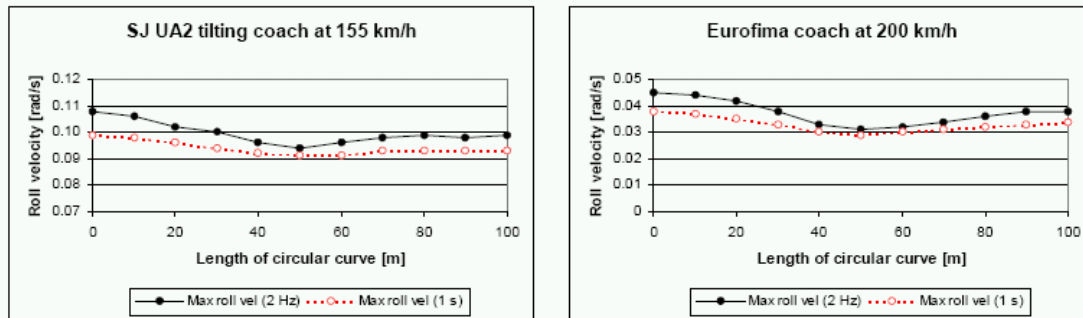


Figure 7a-7b. Maximum roll velocity of vehicle body on a run-off transition after a short circular curve. SJ UA2 coach at 155km/h (left) and Eurofima coach at 200km/h (right).

Obrázek 14 příčné zrychlení a rychlost úhlového natáčení v případě různých délek kružnicového oblouku - autor Bjorn Kufver viz [87] „Obrázek 5a - 5b, Maximální příčné zrychlení ve skříní vozidla v případě krátkého kružnicového oblouku, vlevo – vůz SJ UA2 pro rychlost 155 km/h; vpravo – vůz Eurofima pro rychlost 200 km/h“ „Obrázek 7a - 7b, Maximální rychlost natáčení skříně vozidla v případě krátkého kružnicového oblouku, vlevo – vůz SJ UA2 pro rychlost 155 km/h; vpravo – vůz Eurofima pro rychlost 200 km/h“

- Boční riv je ovlivněn délkou prvku, kdy pro rozmezí hodnot délek kružnicových částí oblouků odpovídající 0,2.V – 0,4.V je patrné snížení jeho hodnot. Z grafu pro Eurofima vůz je patrné shodné působení oblouku délky 30 m stejně jako 100 m.

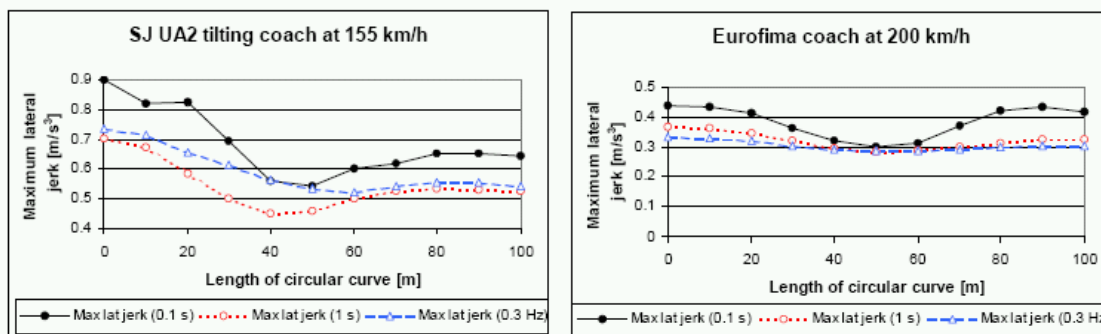
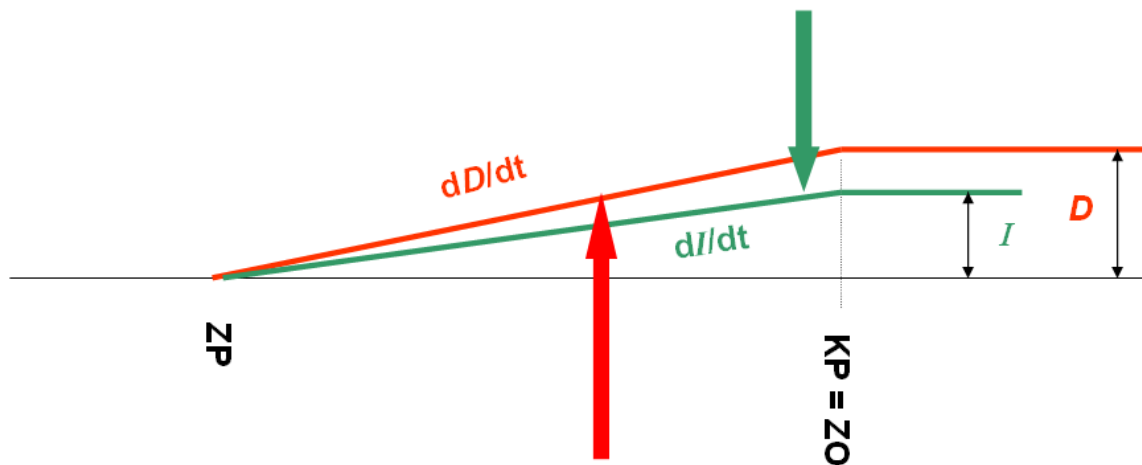


Figure 6a-6b. Maximum lateral jerk in the vehicle body on a run-off transition after a short circular curve. SJ UA2 coach at 155km/h (left) and Eurofima coach at 200km/h (right).

Obrázek 15 boční riv v případě různých délek kružnicového oblouku - autor Bjorn Kufver viz [87] Obrázek 6a - 6b, Maximální boční riv skříně vozidla v místě výstupní přechodnice navazující na krátký kružnicový oblouk, vlevo – vůz SJ UA2 pro rychlost 155 km/h; vpravo – vůz Eurofima pro rychlost 200 km/h“

Výše uvedené simulace předpokládají lineární vzestupnice bez zaoblení a pohyb po ideální křivce.

Silová odezva vozidla v oblasti změny křivosti jízdní dráhy závisí (krom jiného) na délce směrového prvku konstantní křivosti ve smyslu shody fáze kmitání příčného naklání vozové skříně a změny křivosti dráhy. Obecně by bylo vhodné navrhnout takovou délku směrového prvku konstantní křivosti, aby došlo k úplnému útlumu kmitání příčného naklání vozové skříně závislé na typu vypružení, nebo alespoň aby vozidlo v místě náhlé změny křivosti bylo ve fázové shodě se smyslem změny této křivosti. Obrázek 17 ukazuje působení základních charakteristik dD/dt a dI/dt , kdy je podstatné k jak velké změně těchto veličin na změně křivosti dojde a jaký je jejich rozdíl, neboť při působení proti sobě se vzájemně vylučují.



Obrázek 16 Schéma působení vektorů dI/dt a dD/dt ve vzestupnici

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 10.

Tabulka 10 Minimální délka mezipřímé nebo kružnicové části oblouku pro koleje průběžné traťové a hlavní staniční

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

A následně že, minimální délka mezipřímé nebo mezilehlého kružnicového oblouku oddělující dvě místa náhlé změny křivosti pro ostatní dopravní a manipulační koleje musí odpovídat hodnotám uvedeným v tabulce 11.

Tabulka 11 Minimální délka mezipřímé nebo kružnicové části oblouku pro ostatní dopravní koleje

Rychlost [km/h]	$L_{s,lim}$ [m]	$L_{s,min}$ [m]
$V < 50$	10 m	dle tab. C.3.1 a C.4.1
$V = 50$	10 m	6 m a dle tab. C.5.1
$50 < V \leq 70$	$0,20 \cdot V$	$0,15 \cdot V$
$70 < V \leq 120$	$0,25 \cdot V$	$0,20 \cdot V$
$120 < V \leq 160$	$0,30 \cdot V$	$0,25 \cdot V$

POZNÁMKA: Tybulky C.3.1 – C.5.1 jsou uvedeny v příloze C normy ČSN 73 6360-1. Tabulka C.3.1 určuje minimální délky mezipřímých s ohledem na vyloučení nebezpečí záklesu nárazníků, Tabulky C.4.1 a C.5.1 zohledňují požadavky na komfort cestujících

Ve zvlášť stísněných poměrech lze pro $V > 50$ km/h navrhnout i kolej se vzdáleností míst s náhlou změnou nedostatku převýšení menší, než je stanoveno tabulkami 10 a 11, variantně pokud je směrové uspořádání takové, že dvě náhlé změny křivosti jsou odděleny směrovým prvkem délky, která je kratší než $L_{s,min}$, a druhá náhlá změna křivosti vzájemně působí s první náhlou změnou křivosti ve smyslu zvyšování celkové náhlé změny křivosti, pak musí být tyto případy hodnoceny pomocí rovnice: $\Delta I = \Delta I_1 + \Delta I_2$ a součet obou změn nedostatku (přebytku) převýšení nesmí překročit přípustné hodnoty ΔI podle tab. 2 z ČSN 73 6360-1. Při návrhu délek směrových prvků kratších než podle tabulky 10 a 11 musí být posouzena vhodnost tohoto návrhu vzhledem k hospodárnosti údržby.

Výše uvedené hodnoty minimálních délek směrových prvků konstantní křivosti byly v normě ČSN 73 6360-1:2008 definovány na základě dlouhodobé zkušenosti a zvyklostí z projektování směrového uspořádání koleje. Kapitola 3 této práce posuzuje vhodnost těchto požadavků na základě hodnocení vzájemného silového působení vozidel a koleje.

Není vhodné využívat minimálních délek mezipřímých nebo kružnicových částí oblouku v kombinaci s maximálními hodnotami náhlé změny nedostatku převýšení při náhlé změně křivosti.



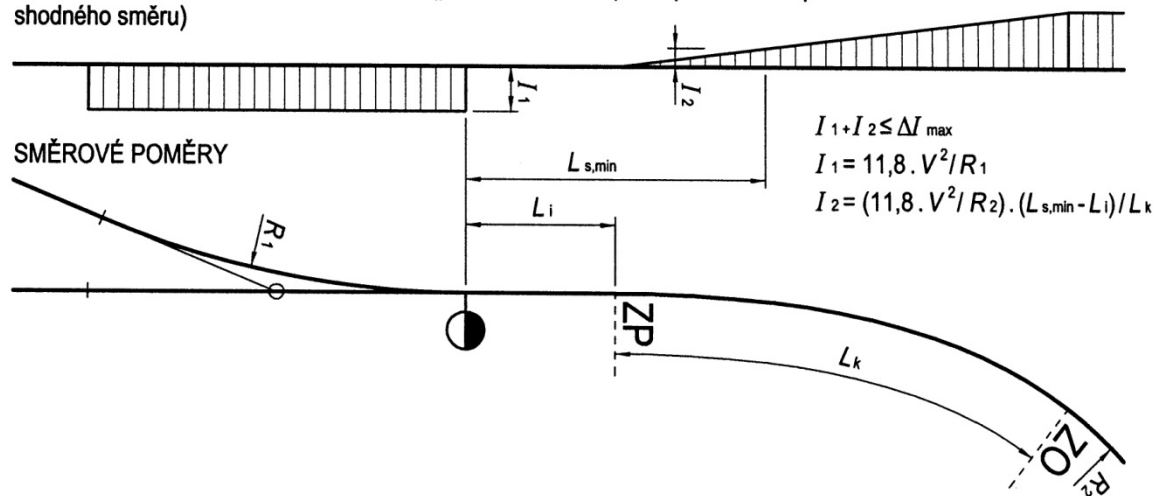
Obrázek 17 Protisměrné oblouky

Speciálním případem určení vzdálenosti dvou změn křivosti je situace, kdy přechodnice navazuje na náhlou změnu křivosti (typickou situací je navazující oblouk na kolejové rozvětvení viz obrázek 18).

Pokud alespoň v jedné přechodnici neleží vzestupnice a pro případ, kdy za sebou následuje kružnicový oblouk oddělený mezipřímou od začátku přechodnice (popř. přímá oddělená kružnicovým obloukem od konce přechodnice), není nejmenší délka směrového prvku stanovena, ale doporučuje se nenavrhopvat krátké mezipřímé a kružnicové části oblouku. Pokud je délka mezipřímé nebo kružnicové části oblouku v takovém případě kratší než podle tabulky 10, resp. 11, nesmí součet změn nedostatku (přebytku) převýšení působících stejným (opačným) směrem na délku $L_{s,min}$ podle tabulky 10, resp. 11 překročit hodnoty náhlé změny nedostatku (přebytku) převýšení podle tabulky 2 z ČSN 73 6360-1.

PRŮBĚH NEDOSTATKU PŘEVÝŠENÍ

- nedostatek převýšení se uvažuje v obou prvcích pro shodnou rychlost (nižší z přípustných rychlostí v oblouku a v přechodnici)
- působí-li v přechodnici přebytek převýšení (v místě přechodnice je vzestupnice), uvažuje se jeho působení směrem ke středu oblouku (pak se omezení uplatní pro oblouk a přechodnici shodného směru)



Obrázek 18 Vzdálenost posuzovaných míst náhlé změny nedostatku převýšení

1.1.8.4. Vzdálenost začátků a konců různých vzestupnic

Úseky koleje mezi jednotlivými vzestupnicemi mají být dostatečně dlouhé, aby umožnily utlumení příčného naklánění vozidel, vzniklého změnou vzájemného sklonu kolejnicových pásů. Pro jízdu vozidel a zejména pro provoz jednotek s naklápěcími skříněmi (viz příloha E) je vhodnější krátké mezipřímé nahrazovat přechodnicemi s bodem obratu, resp. krátkou mezipřímou mezi oblouky stejného směru nahrazovat složeným obloukem. Mezi lineární a nelineární vzestupnicí musí být úsek koleje s konstantním (i nulovým) převýšením vždy. Nejkratší délka úseku koleje mezi dvěma vzestupnicemi (lineárními nebo nelineárními) je stanovena s ohledem na takový požadavek, aby nedošlo k situaci, kdy je vozidlo každým svým podvozkem (resp. dvojkolím) v různých vzestupnicích vzestupnicí. V takovém případě by se mohl sčítat efekt pohybu podvozku po dvou různě zborcených jízdnicích. Potom je tedy nejkratší délka úseku koleje mezi dvěma vzestupnicemi stanovena takto:

- pro $V \leq 80$ km/h má být alespoň délky $L_{\lim} = 20$ m a musí být alespoň délky $L_{\min} = 15$ m,
- pro 80 km/h $< V \leq 200$ km/h má být alespoň délky $L_{\lim} = 0,2 \cdot V$ a musí být alespoň délky $L_{\min} = 20$ m,
- pro 200 km/h $< V \leq 300$ km/h musí být alespoň délky $L_{\lim} = L_{\min} = 0,25 \cdot V$.

Není vhodné využívat minimálních délek mezipřímých nebo kružnicových částí oblouku v kombinaci s maximálními hodnotami změn převýšení v čase v případě minimálních délek vzestupnic.

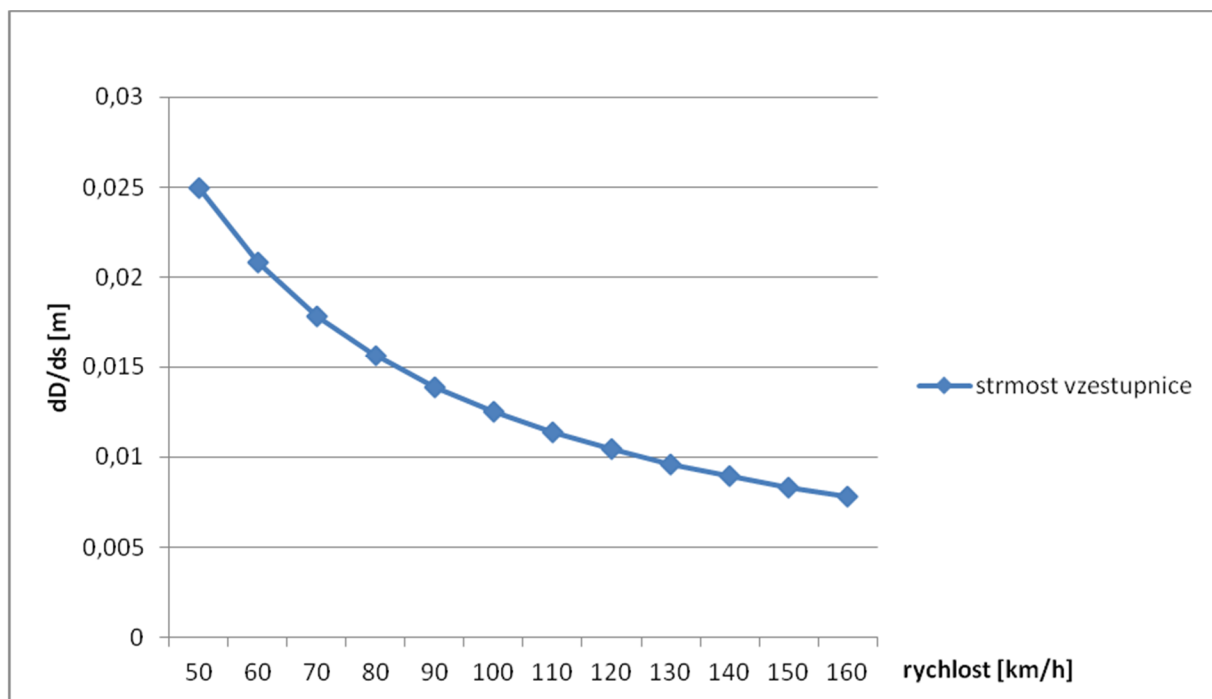
1.1.8.5. Vzájemná poloha vzestupnic a výhybek

Navrhování vzájemné polohy vzestupnic a výhybek se řídí článkem 8.4.3 normy ČSN 73 6360-1. Omezení minimální vzdálenosti vzestupnic a výhybkových konstrukcí je motivováno dvěma důvody. První z nich je spojen se způsobem zřízení koleje a výhybek – tj. zásada aby

do výhybky ani do oblasti společných pražců nezasahovalo zaoblení začátku nebo konce vzestupnice. Druhá motivace stanovení minimální vzdálenosti začátku/konce vzestupnice 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 vzestupnice (konec ve smyslu na přechodu z oblouku do přímé). Při pohybu vozidla ve směru klesajícího převýšení ve vzestupnici 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 vzestupnice 1:8V dodržení stanovené vzdálenosti začátku výhybky od začátku vzestupnice.

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. Úsek 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 vzestupnice $c_1 = 0,15 \cdot V$ 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 vzestupnici 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 vzestupnic typickými pro oblasti nižších rychlostí.
2. Dodržení minimální vzdálenosti vzestupnice a začátku výhybky je závislé na sklonu vzestupnice. To je vzhledem k míře nepříznivého ovlivnění vzájemného silového působení vozidla a koleje správné. Strmost vzestupnice lze vyjádřit v absolutní hodnotě sklonu vyjádřeném v mm/m nebo součinitelem „n“, který je učen násobkem rychlosti. Zatímco od absolutní hodnoty strmosti vzestupnice 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 vzestupnice 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 vzestupnice od výměnového styku výhybky pomocí parametru absolutního sklonu vzestupnice 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 vzestupnice jako indikace omezení lépe pokrývá oblasti nižších rychlostí, kde omezení vyjádřením dD/dt umožňuje návrh vzestupnic velké absolutní strmosti. Viz níže uvedený graf závislosti absolutní strmosti vzestupnice na rychlosti při sklonu 1:8.V.



Obrázek 19 Strmost vzestupnice v závislosti na rychlosti pro $dD/dt = 8V$

Východiskem je zachování rozhodovacího kritéria o uplatnění omezení na minimální vzdálenost vzestupnice 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 vzestupnice 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. Tato maximální hodnota byla zaznamenána v případě vloženého vozu 084 001-7. V ostatních případech (hlavové vozidlo, jiné rozsahy poloměrů) byly vždy zaznamenány hodnoty nižší. 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 .

4. V článku 8.4.3 normy ČSN 736360-1 jsou uvedeny zásady, které rozlišují vzdálenost od výměnového a koncového styku výhybky. Je však třeba zvážit odůvodněnost požadavku na stanovení minimální vzdálenosti vzestupnice od koncového styku výhybky, jelikož v tomto

místě se nenachází nepříznivá kombinace změny úhlu na styku kolo/kolejnice. Výsledně se tedy navrhuje dále pro vzdálenost vzestupnice od koncového styku výhybky pouze zásadu, že zaoblení začátku/konce vzestupnice nesmí zasahovat ani do dlouhých společných pražců.

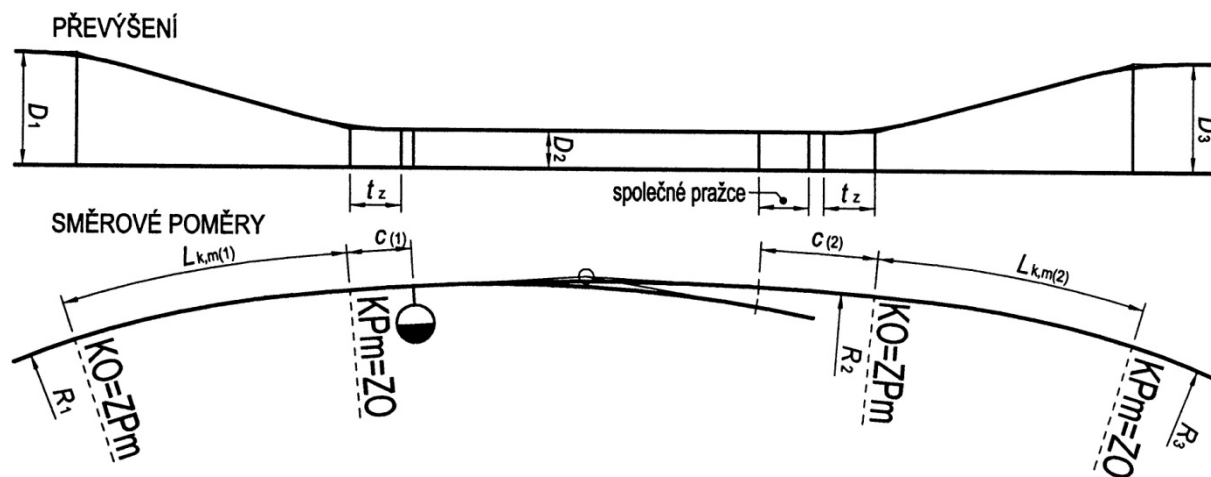
5. Mimo výše uvedené je třeba upřesnit podmínky aplikace vztahu (46) ČSN 73 6360-1. Zásada určení na povinné délky kružnicového oblouku před výhybkou v případě, že je hlavní dopravní směr veden výhybkovým obloukem, je třeba upřesnit, že se týká i výhybek v základním tvaru (ne jen čistě obloukových).

Pozn.: Podvozky jednotek 680 jsou řešeny zcela odlišně od klasických. Jsou více přizpůsobivé jízdě ve zborcené koleji z důvodu podélníkového uspořádání v rámu podvozku. Tato úprava byla sledována s ohledem na možnost zvýšení rychlosti na stávajících tratích bez nutnosti prodloužení vzestupnic/přechodnic.

Potom navržené znění čl. 8.4.3 bude následující:

(pozn.: čísla článků a vzorců se vztahují k původnímu znění ČSN 73 6360-1)

„Lineární krajní vzestupnice nebo mezilehlá vzestupnice složeného oblouku, do něhož je výhybka vložena, musí být od styku výhybky vzdálena tak, aby teoretické zaoblení lomu sklonu u krajního bodu vzestupnice nezasahovalo ani do výhybky (viz obrázek 3), ani do částí kolejí navazujících na srdcovku, v níž jsou použity dlouhé společné pražce.



Obrázek 3 - Oblouk se vzestupnicí u obloukové výhybky (zdroj ČSN 736360-1)

Nelineární vzestupnice se může s výhybkou stýkat bez mezipřímé, u koncových výhybkových styků nesmí zasahovat do částí kolejí, v nichž jsou dlouhé společné pražce.

Je-li sklon lineární krajní nebo mezilehlé vzestupnice složeného oblouku strmější než 1 : 8.V, nebo je-li maximální sklon uprostřed délky krajní nelineární vzestupnice strmější než 1 : 5.V, a zároveň pro $V \leq 80$ km/h přesahuje sklon vzestupnice absolutní hodnotu 1,5 mm/m musí být vzdálenost c mezi výměnovým stykem výhybky a vzestupnicí $c = 0,15V$ nejméně však 6 m.

Pokud je vzdálenost mezi vzestupnicí a výměnovým stykem výhybky menší než 6 m a zároveň je poloměr oblouku v odbočné větvi výhybky menší než 300 m omezí se sklon vzestupnice na hodnotu 2,0 mm/m.

Pro vzájemnou vzdálenost přechodnice a výhybky dále platí čl. 8.2.4.

Bez ohledu na sklon vzestupnice musí mít kružnicový oblouk před výměnovým stykem výhybky s vedlejší větví (tj. větví s menším poloměrem oblouku) v hlavním směru délku

$$c_1 = 0,10 \cdot V \quad (46)$$

kde V je největší dovolená rychlost v hlavním dopravním směru.

Nejmenší hodnota délky c_1 je 6 m.“

1.1.8.6. 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 vyložením 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. Dále je pro ilustraci uveden případ, kdy došlo k vykolejení vozidel z důvodu zaklesnutí nárazníků.

Ve dnech 1.4. a 4.4. 2009 vznikly v obvodu odstavného nádraží A žst. Brno hl. n. mimořádné události (MU) – vykolejení drážních vozidel. Příčinou vzniku obou MU bylo boční zaklesnutí nárazníků vozů v sunuté soupravě, které bylo způsobeno nevyhovující délkou mezipřímé mezi protisměrnými oblouky tvořené výhybkami č.26 a 28. V obou případech se jednalo o soupravu vozů řad Ampz, Bmz a WRmz, které jsou z hlediska svých konstrukčních vlastností ohroženy záklesem nárazníků větší měrou než jiné typy vozidel (rozměry, odpor vůči natáčení podvozků).

Chybná konfigurace kolejiště byla způsobena záměnou typu výhybky č. 28 (původní číslování 25) OXa 5° + 2° P, která byla obnovena v r. 1972 za tvar JT7° P. Délka přímé u výhybky Xa 5° + 2° byla původně v pravé větvi do úhlu odbočení 5° o délce 6,446 m. Tato délka mezipřímé mezi oblouky opačných směrů o poloměrech 200 m a 180 m byla v souladu s dříve platným předpisem ČSD S61 (1949). Po obnově výhybky č. 28 za tvar JT7° P (1972) a výhybky č. 26 za tvar JT7° L (1984) je možno považovat za délku přímé mezi oblouky o poloměru 180 m podle konstrukčního uspořádání dle vzorových listů $1,598 + 0,881 = 2,479$ m. Hodnota poloměru 180 m v teoretické ose odpovídá konstrukční hodnotě výhybkového oblouku JT7°, oblouk o poloměru 200 m v místě sečného uspořádání hrotu jazyka výhybky č. 26 lze zanedbat, popis stavu je určen posuny a zdvihy od teoretické osy). Při této úpravě zhlaví navíc vznikla nepříznivě směrová deformace výhybky č. 26, která sledovala zmenšení úklonu matečné koleje.

Dle následného výpočtu bylo stanoveno, že podle teoretického postupu, bez započítání dynamické složky jízdy vozidel, došlo v nejméně příznivé poloze k úplnému vyčerpání vůle přesahu nárazníků.



Obrázek 20 Matečná kolej odstavného nádraží A v obvodu žst. Brno hl.n. - odbočení na kolej č. 667

1.1.8.7. Posouzení délky směrového prvku konstantní křivosti podle metodiky přílohy A.2 prEN 13803-1:2007

1.1.8.7.1. Metodika výpočtů

Soustava vozidlo kolej je pružnou soustavou. Hlavní pružné prvky jsou: kolejový rošt, vypružení podvozků a vypružení vozové skříně. Místa náhlé změny křivosti trasy působí změnu naklánění vozidla, kdy se tento pohyb může stát kmitavým, který je třeba před dalším místem náhlé změny křivosti uklidnit. Zjednodušeně lze říci, že kmitání příčného naklánění vozidla je jeho odezvou na změnu křivosti dráhy ve svislém nebo příčném směru. Vozová skříně 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 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.

Silová odezva vozidla v oblasti změny křivosti jízdní dráhy závisí (krom jiného) na délce směrového prvku konstantní křivosti ve smyslu shody fáze kmitání příčného naklánění vozové skříně a změnou křivosti dráhy. Obecně by bylo vhodné navrhnout takovou délku směrového prvku konstantní křivosti, aby došlo k úplnému útlumu kmitání příčného naklánění vozové skříně, nebo alespoň aby vozidlo v místě náhlé změny křivosti bylo ve fázové shodě se smyslem změny této křivosti. Ve smyslu zásad přílohy A.2 prEN 13803-1:2007 lze vyjádřit příčné naklánění vozidla následující rovnicí:

$$\ddot{\theta} + 2 \cdot \xi \cdot \omega_0 \cdot \dot{\theta} + \omega_0^2 \cdot \theta = \omega_0^2 \cdot (D/b - s \cdot I/b) + 2 \cdot \xi \cdot \omega_0 \cdot \dot{D}/b \quad (1-66a)$$

Kde se v rovnici uplatní:

θ : úhel, který je tvořen rovinou podlahy vozu a vodorovnou rovinou

s : koeficient příčného naklonění vozidla vlivem tuhosti vypružení.

ξ : tlumení (*relative shock damping*) systému odpružení označovaný jako kritická hodnota kapacity (*absorbance*). ξ je malé číslo ($\xi \leq 0,2$).

$\omega_0 = 2\pi f$, kde f je frekvence naklánění podél podélné osy vozu.

D : převýšení koleje

I : nedostatek převýšení koleje

b : vzdálenost styčných kružnic

$$\omega_0^2 = g \cdot h / \left[s \cdot (\rho^2 + h^2) \right] \quad (1-66b)$$

kde:

g : gravitační zrychlení

h : vzdálenost těžiště vozu a podélné osy natáčení vozidla

ρ : poloměr setrvačnosti vozové skříně vztahen k ose procházející těžištěm vozu(celého).

Řešením diferenciální rovnice bude úhlová výchylka (amplituda) pohybu ve tvaru:

$$A = \left| \Delta \dot{D} - s \cdot \Delta \dot{I} \right| / (b \cdot \omega_0) \quad (1-66c)$$

Kde $\Delta\dot{D}$ a $\Delta\dot{I}$ jsou změny \dot{D} a \dot{I} (zrychlení změny parametrů) na tečných bodech mezi dvěma směrovými prvky.

V závislosti na čase, tedy v periodě (τ), amplituda bude

$$A(\tau) = A \cdot e^{-\xi \cdot \omega_0 \cdot \tau} \quad (1-66d)$$

Doplněním vztahu (1-66c) do (1-66d) vznikne předpis charakterizující útlum kmitání příčného naklání:

$$A(\tau) = \left| \Delta\dot{D} - s \cdot \Delta\dot{I} \right| / (b \cdot \omega_0) \cdot e^{-\xi \cdot \omega_0 \cdot \tau} \quad (1-66e)$$

jehož první část $\left| \Delta\dot{D} - s \cdot \Delta\dot{I} \right| / (b \cdot \omega_0)$ vyjadřuje velikost počáteční amplitudy a část $e^{-\xi \cdot \omega_0 \cdot \tau}$

charakterizuje funkci útlumu kmitání příčného naklání. Z první části vztahu (1-66e) lze interpretovat jako (podíl změny rychlosti příčného náklonu vozidla vlivem sklonu kolejnicových pásů)/(rychlostí náklonu vozové skříně). Čitatel tohoto podílu vyjadřuje dvě protisměrně působící změny rychlosti, jednak směrem vzhůru působící zdvih kola vlivem přírůstku převýšení a proti tomu působící rychlost nárůstu nedostatku převýšení působící dolů, proto se tyto veličiny odečítají. (úvaha brána při pohybu po vzesupnici směrem shodným s nárůstem převýšení). Jmenovatel vztahu je vyjádření rychlosti náklonu vozové skříně obecně.

Dle předchozí rovnice by bylo možno stanovit průběh příčného rozkmitání skříně vozidla, hodnota výchylky v závislosti na čase (L_i/V) bude počítána podle :

$$A_0(L_i/V) = \left[\left| \dot{D}_0 - s \cdot \dot{I}_0 \right| / (b \cdot \omega_0) \right] \cdot e^{-\xi \cdot \omega_0 \cdot L_i/V} \quad (1-66f)$$

kde:

L_i/V délka ujeté dráhy/ rychlost vozidla – průběh funkce A_0 v čase

Ze stanovené výchylky kmitu, která by byla odpovídající utlumené hodnotě, by bylo možné spočítat délku, na které bude útlum realizován. Problém této metodiky spočívá v tom, že by výpočet musel být realizován pro každý případ změny křivosti (závislost výchylky na $\Delta\dot{D}$ a $\Delta\dot{I}$) a pro každé vozidlo zvlášť nebo přinejmenším pro skupiny vozů a případů změn geometrie koleje.

1.1.8.7.2. Ověření metodiky přílohy A.2 prEN 13803-1:2007 teoretickým výpočtem

1.1.8.7.2.1. Motorový osobní vůz Dm 12

Tento podvozkový čtyřnápravový osobní vůz konstrukčně vychází z vozů ČD 842 a 843, výrobcem je vagónka Ostrava a byl dodáván Finským drahám.



Obrázek 21 Vozidlo Dm 12 (foto K. Hlavsa, ŽZO Cerhenice)

Vstupní data:

Následující data jsou pro prázdný vůz Dm12 s funkčním vzduchovým vypružením:

- hmotnost prázdného vozu: **49 300 kg**
- výška těžiště celého vozu od TK: **1,37 m**
- výška podélné osy natačení vozidla (výška pólu náklonu) **0,8 m** od TK
- poloměr setrvačnosti vozové skříně k ose procházející těžištěm skříně (výška těžiště skříně od TK: 1,72 m): **70 300 kgm²**
- hmotnost skříně: **35 865 kg**
- s : koeficient příčného naklonění vozidla tuhosti vypružení $s = \mathbf{0,238}$
- ξ : tlumení pro kolébání a příčný pohyb skříně $\xi = \mathbf{0,19}$
- b : vzdálenost styčných kružnic dvojkolí vozidla $b = \mathbf{1,5 m}$
- vzdálenost otočných čepů vozidla **17,30 m**

Vypočtená data:

- h : vzdálenost těžiště vozu a podélné osy natačení vozidla $h = 1.37 - 0.8 = \mathbf{0,57 m}$
- přepočtení poloměru setrvačnosti pro osu procházející těžištěm celého vozu: $70\,300 + (1,72 - 1,37)^2 \cdot 35\,865 = \mathbf{78\,911 kgm^2}$
- ρ : poloměr setrvačnosti vozové skříně vztahované k ose procházející těžištěm vozu (celého) $\rho = 78\,911 kgm^2 / 35\,865 = \mathbf{2,2 m}$

Předpis pro funkci útlumu kmitů příčného naklání vozové skříně spočívá v řešení diferenciální rovnice kmitání příčného naklání vozidla – amplituda úhlu náklonu vozidla – je zapsáno ve tvaru:

$$A(\tau) = \left[\left| \Delta \dot{D}_0 - s \cdot \Delta \dot{I}_0 \right| / (b \cdot \omega_0) \right] \cdot e^{-\xi \cdot \omega_0 \cdot \tau} \quad (1-66g)$$

Výpočet úhlové rychlosti náklonu vozové skříně je proveden dle vztahu:

$$\omega_0^2 = g \cdot h / [s \cdot (\rho^2 + h^2)] \quad (1-66h)$$

což po dosazení výše uvedených veličin bude:

$$\omega_0^2 = \frac{9,81 \cdot 0,57}{0,238 \cdot (2,2^2 + 0,57^2)} = 4,549 \text{ (rad/s)}^2 \quad (1-66i)$$

Po dosazení (9) do (7) bude předpis pro výpočet amplitudy příčných kmitů:

$$A(\tau) = \left[\frac{\left| \Delta \dot{D}_0 - 0,238 \cdot \Delta \dot{I}_0 \right|}{3,1995} \right] \cdot e^{-0,405 \cdot \tau} \quad (1-66j)$$

Průběh funkce útlumu příčných kmitů v jednotlivých případech směrových poměrů:

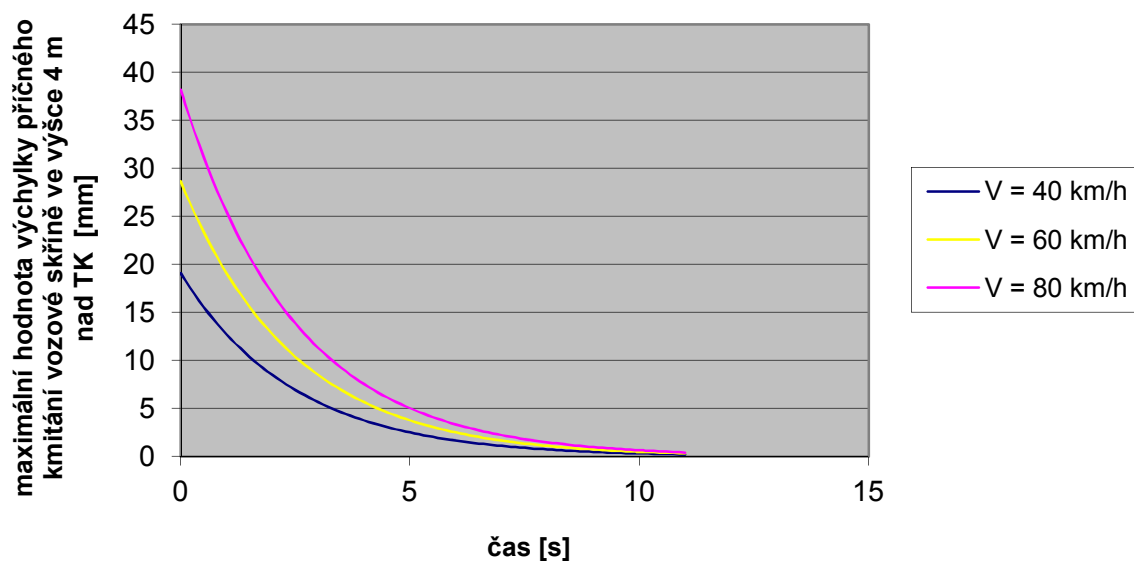
Výpočtový vzorec (1-66j) je založen na principu posouzení rozdílu časové změny převýšení a nedostatku převýšení, které jsou obecně na každou stranu do tečného bodu různé. Situace směrových poměrů lze rozdělit do několika skupin:

1. Přechod z přímé do kružnicové části oblouku bez převýšení

Z hlediska směrových poměrů je nejjednodušším případem přímá napojená na kružnicový oblouk bez přechodnic a bez převýšení. V tomto případě je $\Delta \dot{D}$ nulové a jedinou možností jak určit $\Delta \dot{I}$ je přepočíst náhlou změnu nedostatku převýšení na délku rozvoru vozidla pro každou rychlost. Jako příklad je uvedena situace napojení kružnicového oblouku na tečnu, kde náhlá změna nedostatku převýšení je $\Delta I = 100$ mm. Pro přepočet ΔI na rozvor vozu byly zvoleny tři stupně rychlostí:

- $V = 40$ km/h $\Delta I / \Delta t = 64,23$ mm/s
- $V = 60$ km/h $\Delta I / \Delta t = 96,34$ mm/s
- $V = 80$ km/h $\Delta I / \Delta t = 128,45$ mm/s

Výše uvedené hodnoty ΔI jsou použity pro charakteristiku změny časové změny nedostatku převýšení $\Delta \dot{I}_0$ uvedených ve vztahu (1-66j). Nižší uvedený obrázek č.190 znázorňuje průběh funkcí tlumení příčných kmitů podle vztahu (1-66j).



Obrázek 22 Funkce tlumení kmitání příčného náklonu vozové skříně. Parametrem znázorňující příčné kmity je výchylka vozové skříně ve výšce 4 m nad TK

Relativní útlum je pro všechny křivky obrázku č.22 stejný. Porovnání relativního útlumu s vyjádřením dráhy v závislosti na rychlosti uvádí tabulka 12.

Počátek	0 %
V/4	30,56 %
V/2	51,78 %
V	76,75 %
2V	92,52 %
3V	98,84 %

Tabulka 12 Relativní útlum kmitání příčného naklání

Z výše uvedených výpočtů vyplývá, že při obvykle užitém kritériu délky mezilehlého směrového prvku V/4 dochází k útlumu kmitání příčného naklání pouze ze 30,5 %.

2. Přechod z lineární přechodnice do kružnicové části oblouku

Nejběžnějším případem tečného bodu je začátek a konec přechodnice, neboť v těchto místech (zjednodušeně) dochází ke změně uvedených parametrů z hodnoty určité (konstantní pro lineární přechodnice) do hodnoty nulové. (v kružnicovém oblouku stálého převýšení nebo přímé jsou $\dot{D}a\dot{I}$ nulové). V těchto případech lze $\Delta\dot{D}$ a $\Delta\dot{I}$ určit jako prostou hodnotu $\dot{D}a\dot{I}$ v lineární přechodnici. Začátky a konce přechodnice se však zaoblují, což bude mít vliv na buzení příčného kmitání vozidla, v tomto případě však tento jev zanedbáme.

Existuje nekonečně mnoho kombinací různého nárůstu převýšení a nedostatku převýšení v závislosti na čase, nicméně těmito kombinacemi by byla podle vztahu (3-10) ovlivněna pouze počáteční výchylka příčného náklonu.

Vztah (3-10) lze vyjádřit zjednodušeně na součin:

$$A(\tau) = B \cdot C,$$

kde

(3-11)

$$B = \left[\frac{\dot{\Delta D}_0 - 0,238 \cdot \dot{\Delta I}_0}{3,1995} \right] \quad a \quad C = e^{-0,405 \cdot \tau}$$

Z rozkladu (3-11) vyplývá výše uvedená skutečnost, že pro různou počáteční výchylku „B“ bude dle části „C“ vždy stejný relativní útlum vyjádřený tabulkou 21.

1.1.8.7.2.2. Měřicí vůz VÚKV, a.s.

Níže uvedená data platí pro měřicí vůz VUKV, který má podvozky GP 200 a skříň klasické stavby s délkou přes nárazníky 26,4 m. Údaje lze přibližně použít pro rychlíkové vozy s podvozky GP 200 a stejnou hmotností skříně – např. pro vozy WLABmee – v prázdném stavu Bdt 279, Bmee – v obsazeném stavu Bdmtee, Bdmpee – při cca 2/3 obsazení.



Obrázek 23 Měřicí vůz VUKV a.s. (foto VUKV a.s.)

Vstupní data:

- hmotnost prázdného vozu: **44 500 kg**
- výška těžiště celého vozu od TK: **1,46 m**
- výška podélné osy natáčení vozidla (výška pólu náklonu) **0,63 m** od TK
- poloměr setrvačnosti vozové skříně k ose procházející těžištěm skříně (výška těžiště skříně od TK: 1,8 m): **48 500 kgm²**
- hmotnost skříně: **31 525 kg**
- s: koeficient příčného naklonění vozidla tuhosti vypružení s = **0,24**
- ξ: tlumení pro kolébání a příčný pohyb skříně ξ = **0,21**
- b: vzdálenost styčných kružnic dvojkolí vozidla b = **1,5 m**
- vzdálenost otočných čepů vozidla **19,00 m**

Vypočtená data:

- h: vzdálenost těžiště vozu a podélné osy natáčení vozidla h = 1.46 - 0.63 = **0,83 m**
- přepočtený poloměr setrvačnosti pro osu procházející těžištěm celého vozu: 48 500 + (1,8 - 1,46)² * 31 525 = **52 145 kgm²**

- ρ : poloměr setrvačnosti vozové skříně vztažené k ose procházející těžištěm vozu (celého) $\rho = 52\,145 \text{ kgm}^2 / 31\,525 = \mathbf{1,65 \text{ m}}$

Předpis pro funkci útlumu kmitů příčného náklonu spočívá v řešení diferenciální rovnice příčného kmitání vozidla – amplituda úhlu náklonu vozidla – je zapsáno ve tvaru:

$$A(\tau) = \left[\left| \Delta \dot{D}_0 - s \cdot \Delta \dot{I}_0 \right| / (b \cdot \omega_0) \right] \cdot e^{-\xi \cdot \omega_0 \cdot \tau} \quad (3-12)$$

Výpočet úhlové rychlosti náklonu vozové skříně je proveden dle vztahu:

$$\omega_0^2 = g \cdot h / \left[s \cdot (\rho^2 + h^2) \right] \quad (3-13)$$

což po dosazení výše uvedených veličin bude:

$$\omega_0^2 = \frac{9,81 \cdot 0,83}{0,24(1,65^2 + 0,83^2)} = 9,945 \text{ (rad/s)}^2 \quad (3-14)$$

Po dosazení (3-14) do (3-12) bude předpis pro výpočet amplitudy příčných kmitů:

$$A(\tau) = \left[\frac{\left| \Delta \dot{D}_0 - 0,24 \cdot \Delta \dot{I}_0 \right|}{4,73} \right] \cdot e^{-0,662 \cdot \tau} \quad (3-15)$$

Průběh funkce útlumu příčných kmitů v jednotlivých případech směrových poměrů:

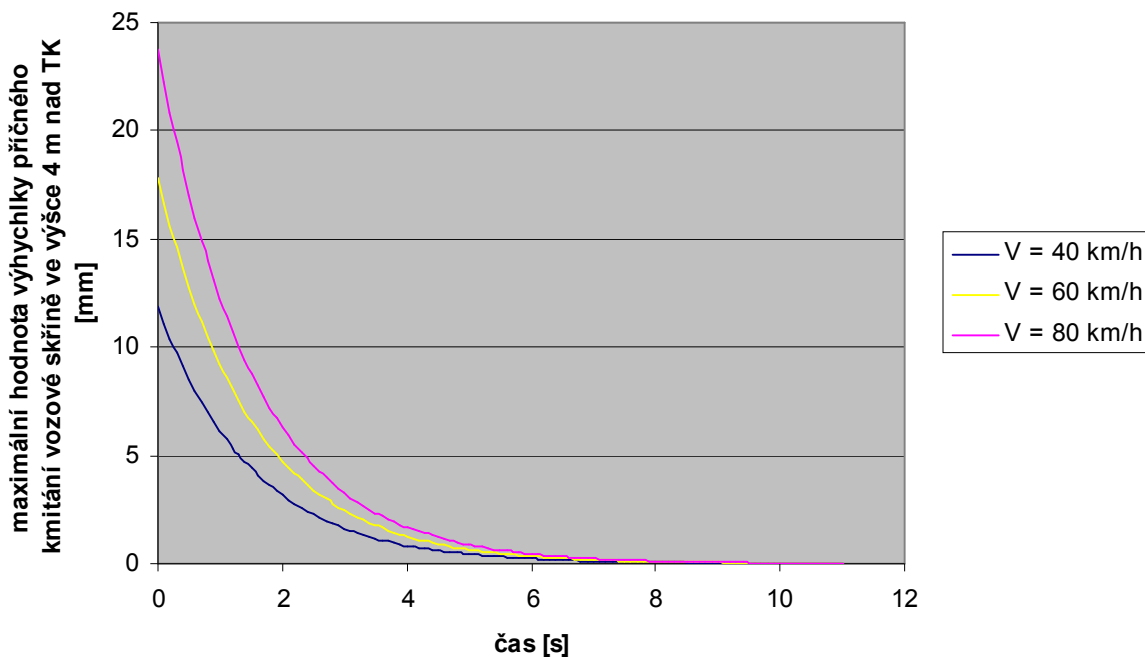
Výpočtový vzorec (3-15) je založen na principu posouzení rozdílu časové změny převýšení a nedostatku převýšení, které jsou obecně na každou stranu do tečného bodu různé. Situace směrových poměrů lze rozdělit do několika skupin:

1. Přechod z přímé do kružnicové části oblouku bez převýšení

Podobně jako v pro předchozí typ vozidla určíme pro tento případ $\Delta I / \Delta t$ pro jednotlivé stupně rychlosti (opět náhlá změna nedostatku převýšení je $\Delta I = 100 \text{ mm}$):

- $V = 40 \text{ km/h}$ $\Delta I / \Delta t = 58,48 \text{ mm/s}$
- $V = 60 \text{ km/h}$ $\Delta I / \Delta t = 87,72 \text{ mm/s}$
- $V = 80 \text{ km/h}$ $\Delta I / \Delta t = 116,96 \text{ mm/s}$

Výše uvedené hodnoty ΔI jsou použity pro charakteristiku změny časové změny nedostatku převýšení $\Delta \dot{I}_0$ uvedených ve vztahu (3-15). Níže uvedený obrázek č.192 znázorňuje průběh funkcí tlumení kmitání příčného naklání podle vztahu (3-15).



Obrázek 24 Funkce tlumení kmitání příčného naklánění vozové skříně. Parametrem znázorňující příčné kmity je výchylka vozové skříně ve výšce 4 m nad TK

Relativní útlum je pro všechny křivky obrázku č.24 stejný. Porovnání relativního útlumu s vyjádřením dráhy v závislosti na rychlosti uvádí tabulka 13.

Počátek	0 %
V/4	44,90 %
V/2	69,64 %
V	90,78 %
2V	98,56 %
3V	99,93 %

Tabulka 13 Relativní útlum kmitání příčného naklánění

Z výše uvedených výpočtů vyplývá, že při obvykle užitém kritériu délky mezilehlého směrového prvku V/4, dochází k útlumu příčného kmitání pouze ze 45 %.

Přechod z lineární přechodnice do kružnicové části oblouku lze definovat obdobným způsobem jako v odstavci o předchozím vozidle. Relativní útlum příčných kmitů vozové skříně se bude řídit dle tabulky 13, přičemž vždy bude jiná počáteční amplituda vzhledem ke konkrétní situaci.

1.1.8.7.3. Zhodnocení teoretických výpočtů

Vyjádření příčného kmitání naklánění vozidla (dále jen kmitání) při přechodu tečného bodu směrového řešení dle vztahu (1-66e) bylo ověřeno pro konkrétní vozidla Dm 12 a měřicí vůz VUKV. Výpočtové simulace prokazují, že pro každé konkrétní vozidlo bude relativní útlum kmitů stejný, pouze s jinou počáteční hodnotou. Tato počáteční hodnota závisí na kombinaci nárůstu převýšení a nedostatku převýšení v závislosti na čase, což je veličina funkčně závislá na rychlosti vozidla.

Byly hodnoceny dvě situace směrového uspořádání: přechod z přímé do kružnicové části oblouku bez převýšení a bez přechodnic a přechod z přechodnice do kružnicové části

oblouku. Oba tečné body jsou hodnoceny se zjednodušením. V prvním případě byla nahrazena náhlá změna nedostatku převýšení vyjádřením nárůstu tohoto nedostatku převýšení na délce rozvoru vozu, v druhém případě bylo zanedbáno zaoblení lomu sklonu vzestupnice. Je otázkou, jakým způsobem tyto skutečnosti ovlivní velikost a fázový posuv kmitání.

Z výsledků výše uvedeného rozboru je nejdůležitější tabulka č. 12 a tabulka č. 13 uvádějící relativní útlum kmitů. Hodnoty v nich obsažených odpovídají rekonstruovaným vozidlům co do jízdních vlastností a vlastností příčného vypružení poměrně kvalitního.

Dm 12		Měř. vůz VUKV	
Počátek	0 %	Počátek	0 %
V/4	30,56 %	V/4	44,90 %
V/2	51,78 %	V/2	69,64 %
V	76,75 %	V	90,78 %
2V	92,52 %	2V	98,56 %
3V	98,84 %	3V	99,93 %

Tabulka 14 Porovnání průběhu tlumení kmitání příčného naklání zkoumaných vozidel

Z funkce útlumu kmitání (část „C“ ze vztahu 1-66k) vyplývá, že pro obvykle používaná kritéria délky mezipřímých a kružnicových částí oblouků V/4 a V/2 dojde k útlumu kmitání podle druhu vozidla na 30% (resp. 45%) a 50% (resp. 70%). Rychlost útlumu přímo nezávisí na rychlosti vozidla (dle části „C“ ze vztahu 1-66k), nicméně rychlost vozidla ovlivní, jak dlouhou dráhu stihne vozidlo během útlumu kmitů ujet. Z dvou uvedených případů vyplývá, že se funkce útlumu pro každý typ vozidla nezanedbatelně odlišuje.

O této problematice se zmiňuje Prof. Jirsák v publikaci [89] str. 94 a 115, kdy předpokládá útlum během tří kmitů, z čehož dochází k hodnotě odpovídající délky V/2. Hodnotit tento odhad je obtížné, vzhledem k tomu, že není zřejmé, jaké byly uvažovány vlastnosti vozidel.

Celkově lze danou úvahu vyhodnotit ve smyslu vhodnosti posuzovat délku směrového prvku konstantní křivosti nejen v závislosti na rychlosti, ale i v závislosti na velikosti změn $\dot{D}a\dot{I}$ na tečných bodech směrového řešení.

Všechny výše uvedené úvahy a výpočty jsou provedeny za předpokladu ideální polohy kolejnicových pásů bez deformací. Je třeba stanovit, do jaké míry vzhledem k počítanému chování vozidla na tečných bodech bude pohyb železničního vozidla ovlivněn odchylkami polohy kolejnicových pásů. Této problematice se věnuje kapitola 3.4 této práce.

1.1.9. Přechodnice

1.1.9.1. Obecně

Přechodnice tvoří plynulý směrový přechod mezi úseky koleje s odlišnou křivostí, to znamená mezi přímou a kružnicovým obloukem (krajní přechodnice) nebo mezi dvěma kružnicovými oblouky stejného směru (mezilehlá přechodnice). Mezi oblouky opačných směrů se projektují dvě krajní přechodnice, které za určených podmínek navazují bez mezipřímé.

Začátek přechodnice je pro účely definice pro nárůst křivosti a převýšení dán bodem, kde začíná projektovaná změna křivosti (kde křivost dosahuje nejmenší hodnoty - poloměr dotykové kružnice je největší). Konec přechodnice je bod, kde projektovaná změna křivosti dosahuje největší hodnoty. Délka přechodnice má být ve shodě s délkou vzestupnice zaokrouhlena na celý metr nahoru.

Lineárnímu průběhu křivosti přechodnice by měl v celé její délce odpovídat stejný lineární průběh převýšení vzestupnice. Potom délka přechodnice s lineárním nárůstem křivosti u oblouku s převýšením má souhlasit s délkou vzestupnice. Ve stísněných poměrech lze připustit rozdílnou délku lineární vzestupnice a přechodnice pouze do rychlosti $V \leq 80$ km/h (viz ustanovení platné pro vzestupnice). U přechodnic s nelineárním nárůstem křivosti se zřizuje odpovídajícím způsobem nelineární vzestupnice, která musí v každém místě svým převýšením odpovídat dané hodnotě křivosti. Délka přechodnice s nelineárním nárůstem křivosti musí souhlasit s délkou vzestupnice.

Přechodnice musí být vložena mezi kružnicový oblouk a přímou nebo mezi dvě části kružnicového oblouku s rozdílným poloměrem tehdy, jestliže rozdíl nedostatku převýšení by byl větší, než připouští tabulka 2 z ČSN 73 6360-1:2008. Přechodnice dále musí být navržena v místě nelineární vzestupnice. Je žádoucí navrhovat přechodnice v místech lineárních vzestupnic, v nezbytných případech je možné je zde vypustit, ale pouze v mezích kdy je možné navrhnout vzestupnici v přímé – viz pravidla pro návrh vzestupnice. Přechodnice je vhodné navrhovat i v případech oblouků v ostatních dopravních kolejích a při rychlostech vyšších než 60 km/h. Přechodnice krajní a mezilehlá se obvykle nevkládají v kolejovém spojení a rozvětvení a u krátkého oblouku za odbočením z přímé koleje s podmínkou dodržení mezní hodnoty ΔI_{lim} podle tabulky 2 z ČSN 73 6360-1:2008. V odůvodněných případech a nebo pokud je projektovaná rychlost větší než 100 km/h lze přechodnici krajní i mezilehlou v kolejovém spojení a rozvětvení vložit. Pro vysoké rychlosti $V > 160$ km/h se takové řešení upřednostňuje, zároveň se však sleduje optimální prostorové uspořádání koleje, především s ohledem na délku jednotlivých směrových prvků.

Přechodnice s lineárním nárůstem křivosti kratší než stanovují mezní hodnoty nárůstu nedostatku převýšení v čase/po délce je možné navrhnout jen v případě, že změna nedostatku převýšení v délce přechodnice nepřekročí hodnoty náhlé změny nedostatku převýšení podle tabulky 2 z ČSN 73 6360-1:2008. Délka této přechodnice musí být alespoň taková, aby vyhovovala délce úseku koleje oddělující dvě místa náhlé změny křivosti podle tabulky 8 z ČSN 73 6360-1:2008. Vložením přechodnice kratší délky se sleduje zmírnění účinků náhlé změny nedostatku převýšení, přičemž je třeba uvážit vhodnost takového řešení z hlediska následné údržby trati. Uplatnění přechodnic zmírňující náhlou změnu křivosti ve všech druzích kolejí dochází v případě, kdy je geometrická kvalita koleje v dobrém stavu (SDO_{SK} a $VK < 1,5$), v jinak výhoda zmírnění náhlé změny křivosti zaniká s tím více, čím horší je stav GPK.

Krajní i mezilehlá přechodnice u soustředných kružnicových oblouků se vypočítá pro kolej o menším poloměru a v sousední koleji se projektuje ekvidistantní křivka nebo se vypočítá pro každou kolej samostatně. Na vícekolejných tratích se sleduje přednostně zachování stejné osové vzdálenosti v kružnicové části oblouku.

Pro oblouky opačných směrů s přechodnicemi následujícími za sebou s lineární a Blossovou vzestupnicí nesmí být projektována konstrukce s inflexním bodem ani s bodem dotyku. Vzdálenost začátků přechodnic musí v těchto případech splnit požadavky vzdálenosti dvou náhlých změn křivosti.

1.1.9.2. Volba typu přechodnice

Tento odstavec bude věnován problematice vhodnosti přechodnic a volby jejich typu z hlediska nárůstu křivosti po délce přechodnice. Přechodnice jsou pro účely tohoto odstavce rozděleny na přechodnice s lineárním a nelineárním nárůstem křivosti (dále pouze lineární a

nelineární přechodnice). Problematika popisu konkrétních tvarů lineárních přechodnic je více rozvedena v původní práci autora této disertační práce viz [71].

Hlavní charakteristikou lineárních přechodnic je konstantní změna převýšení při konstantní změně křivosti (tím i konstantní nárůst nevyrovnaného bočního zrychlení). Přechod z přímé do přechodnice a z přechodnice do oblouku není z hlediska změny převýšení plynulý, její skokový nárůst způsobí teoreticky nekonečnou hodnotu svislého rivu a teoreticky nekonečnou hodnotu změny bočního zrychlení. Tyto veličiny ve skutečnosti vlivem zaoblení lomu sklonu vzesstupnice nabývají konkrétních hodnot. Tyto zaoblení se projeví konečnou hodnotou vertikálního zrychlení, která je úměrná poloměru takového zaoblení. V případě nelineárních přechodnic je tento problém řešen plynulým nárůstem převýšení i křivosti koleje. Míra změny bočního i svislého zrychlení lineárních přechodnic je závislá na velikosti změny převýšení po délce přechodnice (sklonu přechodnice). Lze prokázat, že je-li sklon vzesstupnice dostatečně velký, pak je lineární přechodnice uplatnitelná pro libovolnou rychlost (v rámci běžného provozu $V \leq 320$ km/h).

1.1.9.3. Pravidla pro navrhování přechodnic - přechodnice s lineárním nárůstem křivosti

Přechodnice s lineárním nárůstem křivosti se projektují ve tvaru klotoidy. Přechodnice s lineárním nárůstem křivosti tvaru kubické paraboly je možno ponechat do následující rekonstrukce koleje. V případech, kdy nebude možné tvar přechodnice z kubické paraboly na klotoidu změnit, je možné přechodnici tvaru kubické paraboly ponechat trvale. V takovém případě musí délka l_p plnit ty podmínky, které jsou stanoveny pro L_k .

S ohledem na podmínku omezení časové změny nedostatku převýšení, jejíž hodnoty je nutné dodržet podle tabulky 15, se délka přechodnice posuzuje podle následujících případů:

- a) Délka krajní přechodnice musí vyhovovat vztahu:

$$L_k \geq \frac{n_I \cdot I}{1000} \quad \text{nebo} \quad L_k \geq \frac{V \cdot I}{3,6 \cdot \frac{dI}{dt}} \quad [\text{m}] \quad (1-67)$$

- b) Délka mezilehlé přechodnice musí vyhovovat vztahu:

$$L_{k,m} \geq \frac{n_I \cdot \Delta I}{1000} \quad \text{nebo} \quad L_{k,m} \geq \frac{V \cdot \Delta I}{3,6 \cdot \frac{dI}{dt}} \quad [\text{m}] \quad (1-68)$$

kde:

$$\Delta I = \left| \left(\frac{11,8 \cdot V^2}{R_2} - D_2 \right) - \left(\frac{11,8 \cdot V^2}{R_1} - D_1 \right) \right| \quad [\text{mm}] \quad (1-69)$$

POZNÁMKA: U oblouků s přechodnicemi s bodem obratu se vzesstupnicemi se postupuje podle čl. 7.2.2 normy ČSN 736360-1 Doporučuje se dodržet v obou přechodnicích shodnou hodnotu n_I , a to i v případě, kdy jeden z oblouků nemá převýšení.

Hodnoty součinitele změny nedostatku převýšení n_I a ekvivalentní hodnoty časové změny nedostatku převýšení dI/dt jsou uvedeny v tabulce 15.

Tabulka 15 Hodnoty součinitele změny nedostatku převýšení n_1 a časové změny nedostatku převýšení dI/dt pro lineární přechodnice

Rychlost [km/h]	Standardní hodnota		Mezní hodnota		Maximální / minimální hodnota	
	$n_{1,n}$	$(dI/dt)_n$	$n_{1,lim}$	$(dI/dt)_{lim}$	$n_{1,min}$	$(dI/dt)_{max}$
$V \leq 160$	10.V	27,78	4.V	69,44	4.V	69,44
$160 < V \leq 300$			8.V	34,72	6.V	46,30

POZNÁMKA: Vztah součinitele změny nedostatku převýšení n_1 a hodnoty dI/dt , je-li $n_1 = k \cdot V$, je:

$$k = \frac{277,8}{dI/dt} \quad [-] \quad (1-70)$$

S ohledem na hospodárnost údržby a možnosti zřízení má mít přechodnice s lineární vzestupnicí délku větší než:

$$L_k = 0,7 \cdot \sqrt{R} \quad [\text{m}] \quad (1-71)$$

Kratší přechodnice se mají prodloužit na tuto délku, minimálně však má být pro rychlost $V > 60$ km/h 20 m.

1.1.9.4. Přechodnice s nelineárním nárůstem křivosti

Přechodnice s nelineárním nárůstem křivosti se projektují ve tvaru podle Blosse (viz příloha C.3 z ČSN 73 6360-1:2008). Přechodnice s nelineárním nárůstem křivosti se zpravidla neprojektuje u oblouků bez převýšení.

S ohledem na podmínku omezení časové změny nedostatku převýšení, jejíž hodnoty je nutné dodržet podle tabulky 16, musí délka přechodnice s nelineárním nárůstem křivosti vyhovovat vztahu:

$$L_k \geq \frac{1,5 \cdot n_1 \cdot I}{1000} \text{ nebo } L_k \geq \frac{V \cdot I}{2,4 \cdot dI/dt} \quad [\text{m}] \quad (1-72)$$

kde hodnoty součinitele změny nedostatku převýšení n_1 a ekvivalentní hodnoty časové změny nedostatku převýšení dI/dt jsou uvedeny v tabulce 16.

Tabulka 16 Hodnoty součinitele změny nedostatku převýšení n_1 a časové změny nedostatku převýšení dI/dt pro nelineární přechodnice ve středu její délky

Rychlost [km/h]	Standardní hodnota		Mezní hodnota		Maximální / minimální hodnota	
	$n_{1,n}$	$(dI/dt)_n$	$n_{1,lim}$	$(dI/dt)_{lim}$	$n_{1,min}$	$(dI/dt)_{max}$
$V \leq 300$	5,3.V	52,41	4.V	69,44	3.V	92,59

POZNÁMKA: Vztah součinitele změny nedostatku převýšení n_l a hodnoty dI/dt , je-li $n_l = k \cdot V$, je:

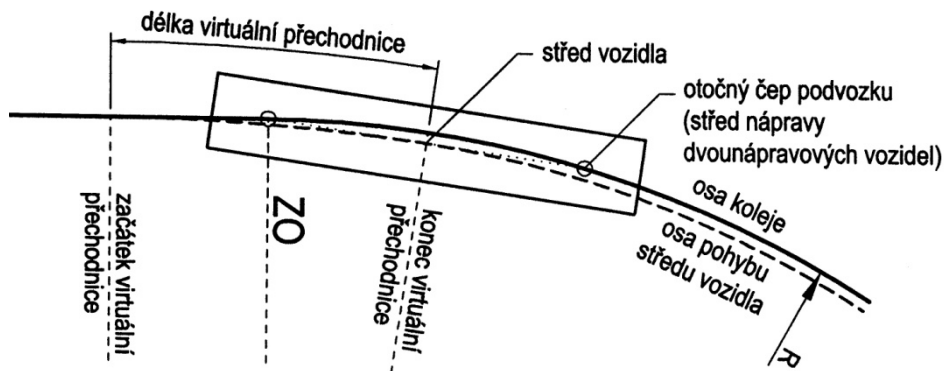
$$k = \frac{277,8}{dI/dt} \quad [-] \quad (1-73)$$

1.1.10. Princip virtuální přechodnice

1.1.10.1. Metodika

Pohybující se vozidla v koleji jsou ovlivněna změnami nevyrovnaného bočního zrychlení (změny působícího nedostatku převýšení) na ně působícími. Standardní posouzení dovolené změny nedostatku převýšení a minimální délky přímých a kružnicových částí oblouku (viz kapitola 7 a 8 z [14]) je založeno na idealizaci vozidla hmotným bodem a na předpokladu útlumu příčného rozkmitání ve třech kmitech (viz odstavec 1.1.8.7. této práce). Minimální délky přímých a kružnicových částí oblouku lze z hlediska velikosti a rychlosti změny nedostatku převýšení posoudit dle principu virtuální přechodnice.

Princip virtuální přechodnice je založen na předpokladu idealizace vozidla jako tuhého tělesa, přičemž působení nevyrovnaného příčného zrychlení je vztaženo k těžišti vozidla (střed vozu, tedy v polovině rozvoru vozu). Při průjezdu vozidla přes místo náhlé změny křivosti se střed vozidla pohybuje po křivce definované jako virtuální přechodnice. Počátek této virtuální přechodnice je $L_b/2$ před místem náhlé změny křivosti a konec $L_b/2$ za místem náhlé změny křivosti, neboť se uvažuje, že střed vozu opouští osu koleje v místě kdy přední podvozek (nebo náprava) vlivem zakřivení od počátku náhlé změny křivosti najede do oblouku a skříň vozidla se začne natáčet. Natáčení skříň vozidla vzhledem k ose koleje končí při vstupu zadního podvozku (nápravy).



Obrázek 24 Zobrazení principu virtuální přechodnice

Od místa konce virtuální přechodnice se už střed vozu pohybuje v oblouku konstantní křivosti, tudíž na něj již dále působí časově neproměnné boční zrychlení (s příslušným zjednodušením). Na délce přechodnice, která je v souladu s výše uvedenými úvahami, rovná vzdálenosti středů podvozků (nebo rozvoru vozu) se realizuje změna nevyrovnaného bočního zrychlení a tomu změna nedostatku převýšení.

Rychlost náhlé změny nedostatku převýšení ($\Delta I/\Delta t$) je vyjádřena rovnicí:

$$\frac{\Delta I}{\Delta t} = \frac{\Delta I}{L_b} \cdot \frac{V}{3,6} \quad [\text{mm/s}] \quad (1-74)$$

Počítaná rychlost náhlé změny nedostatku převýšení je závislá na vzdálenosti otočných čepů vozidla (případně na rozvoru vozidla). Z tohoto důvodu nejsou hodnoty $\Delta I/\Delta t$ porovnatelné s rychlostí změny nedostatku převýšení (dI/dt) v přechodnici stanovenou v kapitole 7 a 8 z [14].

Z výše uvedeného vztahu je zřejmé, že ve výhodnější pozici jsou delší vozidla, neboť se změna nedostatku převýšení teoreticky rozloží na větší délku. Proto je účelné při použití tohoto principu zvážit specifikace provozovaných vozidel ve spojitosti s jejich provozní rychlostí.

Dále je ze vztahu [1-74] zřejmé, že při použití jednotných hodnot $\Delta I/\Delta t$ pro velká spektra rychlostí dochází zároveň se zvyšováním rychlosti ke snižování možné změny nedostatku převýšení ΔI_{lim} .

Limitní hodnoty pro rychlost náhlé změny nedostatku převýšení ($\Delta I/\Delta t$) jsou dány v tabulce F.1 z ČSN 73 6360-1:2008.

Odpovídající hodnoty pro ΔI (viz 8.2 ČSN 73 6360-1) pro danou rychlost V , danou délkou L_b a danou hodnotu $\Delta I/\Delta t$ jsou vyjádřeny následující rovnicí:

$$\Delta I = \frac{3,6}{V} \cdot \frac{\Delta I}{\Delta t} \cdot L_b \quad [\text{mm}] \quad (1-76)$$

Vztahy (1-74) a (1-76) platí pro případy, kdy je mezi sousedními místy náhlé změny křivosti koleje vzdálenost větší než je vzdálenost mezi středy podvozků (otočnými čepy vozidla nebo rozvoru vozu).

Virtuální přechodnice v krátkém mezilehlém úseku mezi dvěma náhlými změnami křivosti se posuzuje podle následujících ustanovení.

Tam, kde jsou náhlé změny křivosti oddělené úsekem, který je kratší než vzdálenost otočných čepů (případně rozvoru) charakteristického vozidla (L_b), a kde druhá náhlá změna křivosti vzájemně působí s první náhlou změnou křivosti ve smyslu zvýšení celkové změny křivosti přes tyto dva tečné body, pak je délka (L_s) mezilehlého prvku(ů) stanovena výpočtem rychlosti náhlé změny nedostatku převýšení ($\Delta I/\Delta t$) pomocí této rovnice:

$$\frac{\Delta I}{\Delta t} = \frac{\Delta I_1 + \Delta I_2}{L_b + L_s} \cdot \frac{V}{3,6} \quad [\text{mm/s}] \quad (1-77)$$

kde

POZNÁMKA 1 Obě změny křivosti by měly být také vyhodnoceny podle F.1 a F.2 z ČSN 73 6360-1:2008.

Výpočet rychlosti náhlé změny nedostatku převýšení je závislý na vzdálenosti otočných čepů vozidla (případně rozvoru vozu). Z tohoto důvodu nejsou hodnoty $\Delta I/\Delta t$ porovnatelné s rychlostí změny nedostatku převýšení v čase (dI/dt) v přechodnici podle 8.2 z ČSN 73 6360-1.

Limitní hodnoty pro rychlost náhlé změny nedostatku převýšení $\Delta I/\Delta t$ jsou dány v F.1 z ČSN 73 6360-1:2008.

Limitní hodnoty pro L_s pro danou rychlost V , danou kombinaci ΔI_1 a ΔI_2 , a danou hodnotu $(\Delta I/\Delta t)_{\text{lim}}$ jsou vyjádřeny následující rovnicí:

$$L_{\text{slim}} = \frac{\Delta I_1 + \Delta I_2}{\left(\frac{\Delta I}{\Delta t}\right)_{\text{lim}}} \cdot \frac{V}{3,6} - L_b \quad [\text{m}] \quad (1-78)$$

POZNÁMKA 2 Záporné hodnoty pro L_{slim} znamenají, že mezilehlý prvek není vyžadován, a proto může mít podle principu virtuální přechodnice jakoukoliv délku.

Hodnota pro mezilehlou délku L_s , pokud je stanovena na základě principu virtuální přechodnice, by měla také vyhovovat limitní hodnotě dané ustanoveními 8.2 a 8.3 z ČSN 73 6360-1:2008. Shoda s těmito požadavky musí být vždy kontrolována, tj. také pro případ kde $L_s > L_b$.

1.1.10.2. Odvození a ověření vztahů pro virtuální přechodnici

Pro ověření platnosti výše uvedených vztahů (1-74 až 1-78) je třeba vyjít z důkazu úměrnosti vztahů pro změnu úhlové rychlosti natáčení vozu ve vodorovné poloze ku vztahům změny nedostatku převýšení za čas dle principu virtuální přechodnice. Z odvozeného vztahu (1-78) pro změnu úhlového zrychlení vozu ve vodorovné rovině:

$$\frac{d^2\psi}{dt^2} \approx \frac{\Delta I}{11,8 \cdot 3,6^2 \cdot L_b} = \frac{\Delta I}{152,928 \cdot L_b} \quad (1-79)$$

je zřejmé, že jeho změna nezávisí na rychlosti vozidla. Hodnota úhlového zrychlení vozu ve vodorovné rovině je úměrná náhlé změně nedostatku převýšení, ale ne časové změně nedostatku převýšení při náhlé změně křivosti na stanovenou vzdálenost L_b .

Je prokázáno, že míra změny nedostatku převýšení je úměrná míře změny nevyrovnaného bočního zrychlení. Byly prováděny simulace průjezdu vozidla přes místo náhlé změny křivosti, kdy byla sledována odezva ve formě míry velikosti bočního rívu viz. [84]. Testy byly provedeny pro vozy „Eurofirma“ a švédského „SJ X2“ hnacího vozidla. Z níže uvedených výsledků vyplývá, že s přibývajícím rychlostí roste předpokládaná změna $\Delta I/\Delta t$ lineárně, kdežto průběh hodnot bočního rívu se pro rychlosti od cca 100 km/h ustálí na konstantní hodnotě. Z této simulace vyplývá, že posuzování změny nedostatku převýšení na stanovenou délku L_b je pro vysoké rychlosti silně konzervativní.

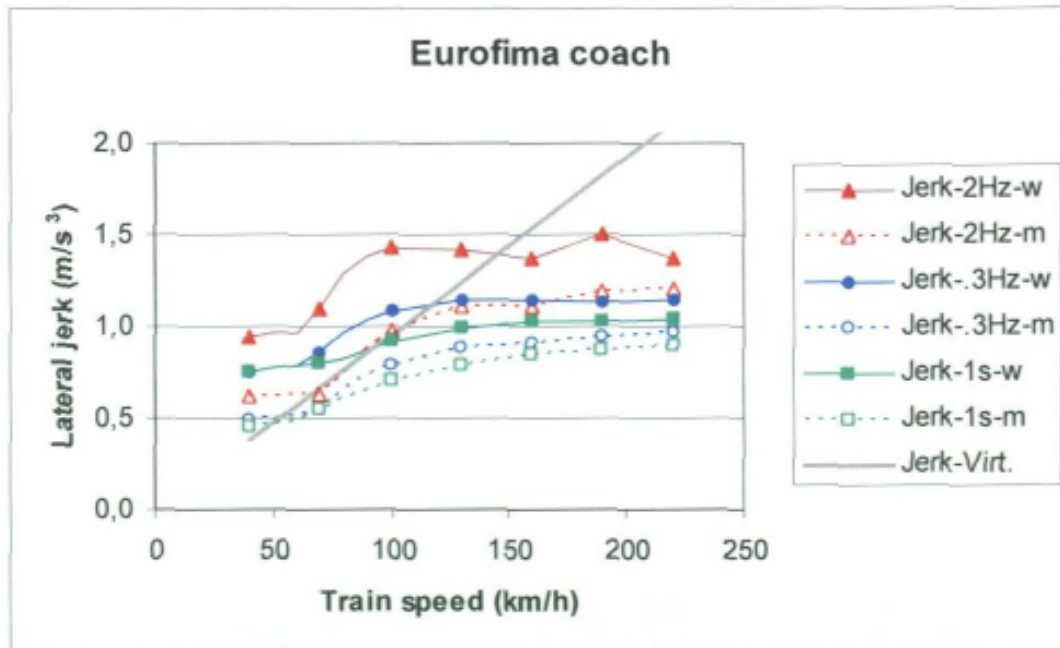


Figure 5: Lateral jerk for the Eurofima coach as a function of vehicle speed. From Kufver & Förstberg (2004).

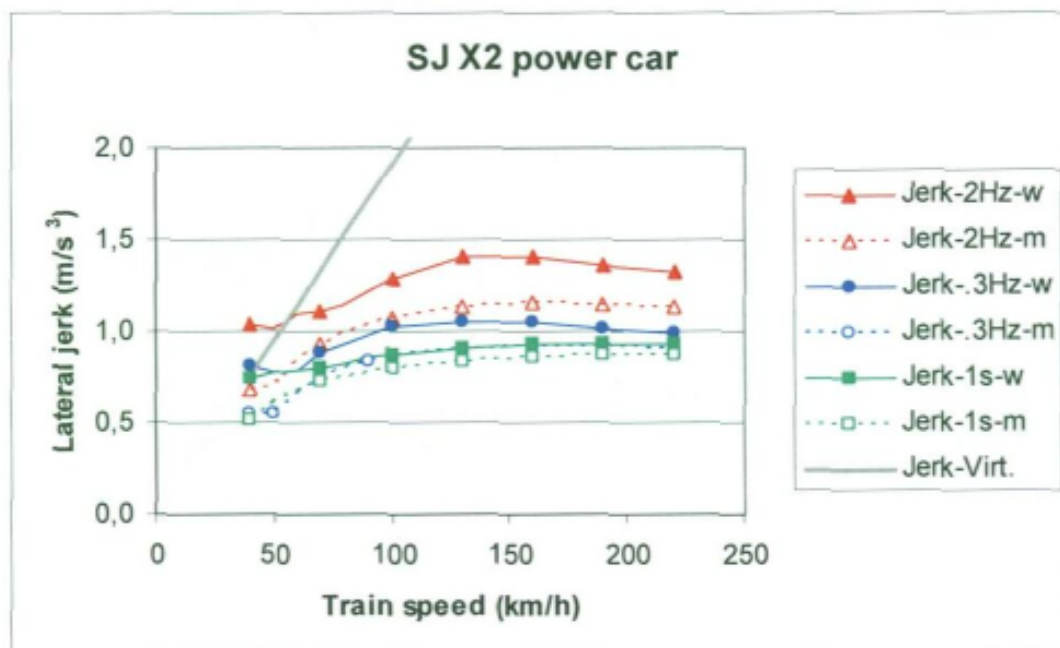


Figure 6: Lateral jerk for the SJ X2 power car (non-tilting vehicle) as a function of vehicle speed. From Kufver & Förstberg (2004).

Obrázek 25 Porovnání výsledků vyhodnocení bočního rivu pomocí principu virtuální přechodnice a simulačních výpočtů Zdroj: Dr Björn Kufver, Kinematic on virtual Transition; 2005, London; „Obrázek 5 Boční riv pro vůz Eurofima v závislosti na rychlosti vozidla, Kufver&Forstberg (2004)“; „Obrázek 6 Boční riv pro hnací vůz SJ X2 v závislosti na rychlosti vozidla, Kufver&Forstberg (2004)“

Účelnost posouzení místa náhlé změny křivosti by tedy teoreticky mohla připadat v úvahu pro situace s návrhovou rychlostí do 70 km/h. Výhoda metody virtuální přechodnice se projeví v případě posouzení délky mezipřímé (která odděluje dvě místa s náhlou změnou křivosti) pro oblouky jejichž křivosti, respektive náhlé změny nedostatku převýšení úměrné návrhové rychlosti se neblíží limitním hodnotám. Dle principu virtuální přechodnice je možno v těchto případech vložit kratší mezipřímou než dle klasických pravidel koeficientu rychlosti.

1.1.10.3. Limitní hodnoty vycházející z principu virtuální přechodnice

Provozovaná vozidla v síti železničních drah různé konstrukční charakteristiky, tedy i vzdálenosti mezi středy podvozků L_b (otočnými čepy vozidla nebo rozvoru vozu) jsou různé. Nárůst daného nedostatku převýšení je pro danou rychlost pro větší hodnoty L_b menší. Podle vztahu (1-78) bude pro vozidla menšího rozvoru možná menší změna nedostatku převýšení při dané limitní hodnotě $\Delta l/\Delta t$. Jako reprezentativní hodnotu rozvoru vozu (resp. vzdálenosti otočných čepů) je brána hodnota 20 m, neboť posouzení náhlé změny křivosti je kritériem komfortu, 20 m reprezentuje rozvor většiny osobních vozů.

Hodnoty $\Delta l/\Delta t$ jsou uvedeny jako mezní a výjimečné. Standardní hodnoty nejsou definovány, neboť princip virtuální přechodnice představuje úlevové řešení, tedy standardně by se mělo navrhovat podle kapitol 7 a 8 z ČSN 73 6360-1.

Mezní hodnoty pro rychlost změny nedostatku převýšení na náhlé změně křivosti jako funkce času ($\Delta l/\Delta t$) pro charakteristické vozidlo s rozměrem 20 m mezi otočnými čepy vozu (rozvoru vozu) jsou dány tabulkou 17.

Tabulka 17 mezní hodnoty změny nedostatku převýšení principu virtuální přechodnice

	Kolejová rozvětvení	Běžná kolej
Doporučená limitní hodnota (mm/s)	125	-
Maximální limitní hodnota (mm/s)	150	55

1.2. Principy hodnocení GPK ve vztahu k vzájemnému silovému působení vozidla a koleje

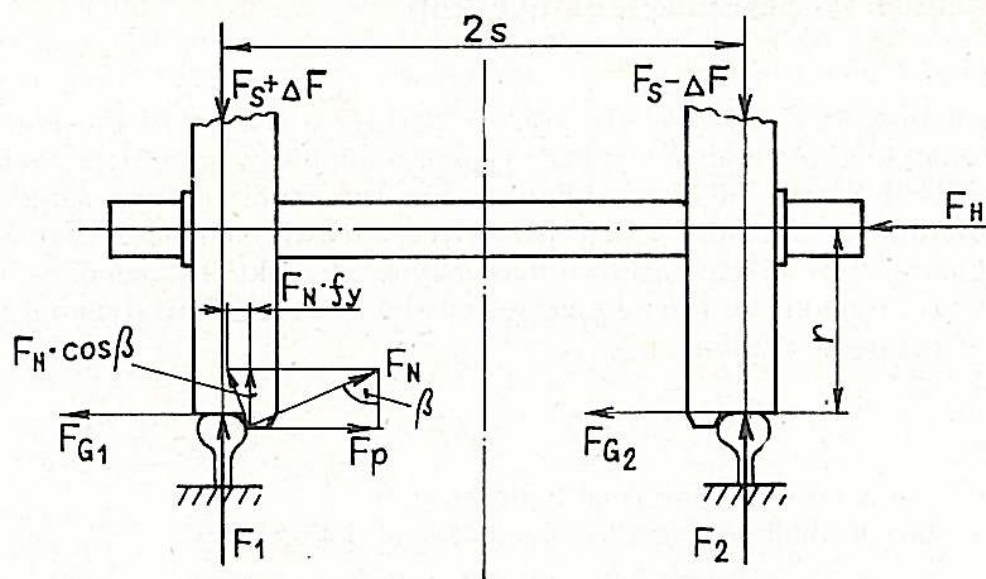
1.2.1. Úvod do problematiky

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 ΣY . 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

verifikací tratí (verifikace trati není periodickou kontrolou). V době zavádění do provozu jednotek s naklápěcí skříní byla diskutována vhodnost provádění periodických kontrol tratí metodou měření silových účinků jednotky řady 680 (viz také technická zpráva [54]). Výsledně nebylo přistoupeno ani k provádění tohoto provozního hodnocení kvality GPK pro případ rychlosti V_k , tedy rychlosti pro naklápěcí jednotky. Mezní hodnoty jsou určeny příslušnými vyhláškami a normami (UIC 518 a ČSN EN 14363). Vzájemné silové působení vozidla a trati je dané především konstrukčními vlastnostmi vozidla a geometrickým uspořádáním tratě. Odchytkami a nepravidelnostmi jsou postiženy jak geometrie trati, tak také dvojkolí vozidla.

V provozních podmínkách se měří a vyhodnocují relativní odchytky v geometrii koleje podle metodiky přepočtu do skutečné geometrie a provozní odchytky 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 hnačí 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 26a Silové poměry ve styku kolo - kolejnice (Dynamické jevy, namáhání a porušování pojezdů lokomotiv, NADAS 1986)

1.2.2. Silové působení svislou kolovou silou (Q)

Působení svislou kolovou silou je přímo úměrné nápravovému zatížení vozidla. Vlivem požadavku maximálního trakčního výkonu hnačích vozidel dosahují hmotnosti na nápravu dovoleným mezím. Je zřejmé, že dynamické působení, zvláště pro vyšší rychlosti bude dále ještě vyšší. Výjimku tvoří elektrické nebo motorové jednotky s výkyvnou skříní, neboť pro ně platí již konstrukční požadavek na nižší nápravovou hmotnost z důvodu vyšších povolených hodnot nedostatku převýšení. Překročení mezních hodnot svislých kolových sil stanovených normou ČSN EN 14363 ovlivňuje spíše než bezpečnost provozu namáhání koleje a s ním spojené opotřebování. Především se jedná o přenos zatížení a vibrací do kolejového lože

a železničního spodku. Nepříznivý účinek na stabilitu jízdy vozidla mají změny svislých sil na jednotlivých kolech způsobující kolébání skříně vozidla.

Rozlišuje se svislá síla dynamická Q_{dyn} , svislá síla kvazistatická Q_{qst} a svislá síla statická Q_{qst} .

Dynamická (resp. kvazistatická) kolová síla je dána algebraickým součtem statické kolové síly a jednotlivých změn kolové síly podle vztahu:

$$Q_{DYN} = Q_0 + \Delta Q_F + \Delta Q_{\Sigma Y} + \Delta Q_N + \Delta Q_T + \Delta Q_a \quad (1-80)$$

kde:

Q_0 statická kolová síla (hmotnost vypružených a nevypružených částí vozidel)

ΔQ_F ... změna kolové síly způsobená deformací svislého vypružení

$\Delta Q_{\Sigma Y}$... změna kolové síly způsobená součtem vodících sil

ΔQ_N ... změna kolové síly způsobená setrvačným účinkem neodpružených hmot

ΔQ_T ... změna kolových sil od tažné síly (v případě HDV)

ΔQ_a ... přitížení vzniklého průjezdem oblouku a bočního tlaku větru

Rozdíl mezi silou svislou dynamickou a svislou kvazistatickou spočívá rázech způsobených nerovnostmi koleje. Z hlediska měření silových účinků ve smyslu EN 14363 je rozdíl mezi kvazistatickou a dynamickou silou určen hodnocením reaktivních kumulativních četností (tj. v zásadě způsob statistického vyhodnocení) signálu svislých sil.

Mezní hodnota dynamické kolové síly ve vztahu k zatížení koleje je stanovena podle EN 14363 v závislosti na statické kolové síle a maximální rychlosti vozidla. Mezní hodnota pro kvazistatické silové působení kolovou silou je stanovena na 145 kN.

Kvazistatická složka je na přímé koleji prakticky rovna statické kolové síle (při jízdách zkouškách se nehodnotí). V oblouku je kvazistatická síla střední hodnota kolové síly v úseku, tedy na vnějším kole je navýšena o složky plynoucí z nevyrovnaného příčného zrychlení, náklonu skříně a momentu na dvojkolí od výslednice příčných sil.

1.2.3. Silové působení příčnou kolovou silou (Y)

Vodící síla (Y) je příčná silová reakce působící na nabíhající dvojkolí, která je dána výslednicí řídicí síly (vodorovná složka normálové síly v místě kontaktu kolo/kolejnice) a sil třecích a dynamických.

Na velikosti vodících sil se zásadním způsobem podílí poloměr oblouku, úhel náběhu dvojkolí a tuhost podvozku v příčném natáčení. Tyto faktory spolu s faktorem rychlosti vozidla, resp. velikostí nevyrovnaného příčného zrychlení se navzájem ovlivňují. V současné době je řešeným problémem omezení velikosti kvazistatických příčných sil, které vyplývají z vyšší tuhosti podvozků v natáčení, která je žádoucí pro stabilitu podvozku při vyšších rychlostech v přímých úsecích trati.

Úměrně zvyšování rychlosti provozu a nápravové hmotnosti se zvyšují i příčné síly působící na koleje. Význam působení těchto sil se zvyšuje s klesajícím poloměrem oblouků. Rozlišujeme hodnocení příčné síly kvazistatické (Y_{qst}) a sumy příčných sil $(\Sigma Y)_{2m}$. Působící kvazistatické síly ovlivňují především opotřebení kolejnic, příčný odpor kolejnic a jejich svarů, styků a upevnění a při kombinaci působení Y a Q také odolnost vůči napětí z ohybu a jsou tedy parametrem ovlivňující hospodárnost údržby koleje. Při překročení meze únosnosti kolejového roštu vlivem příčných sil $(\Sigma Y)_{2m}$, se již jedná o parametr bezpečnostní.

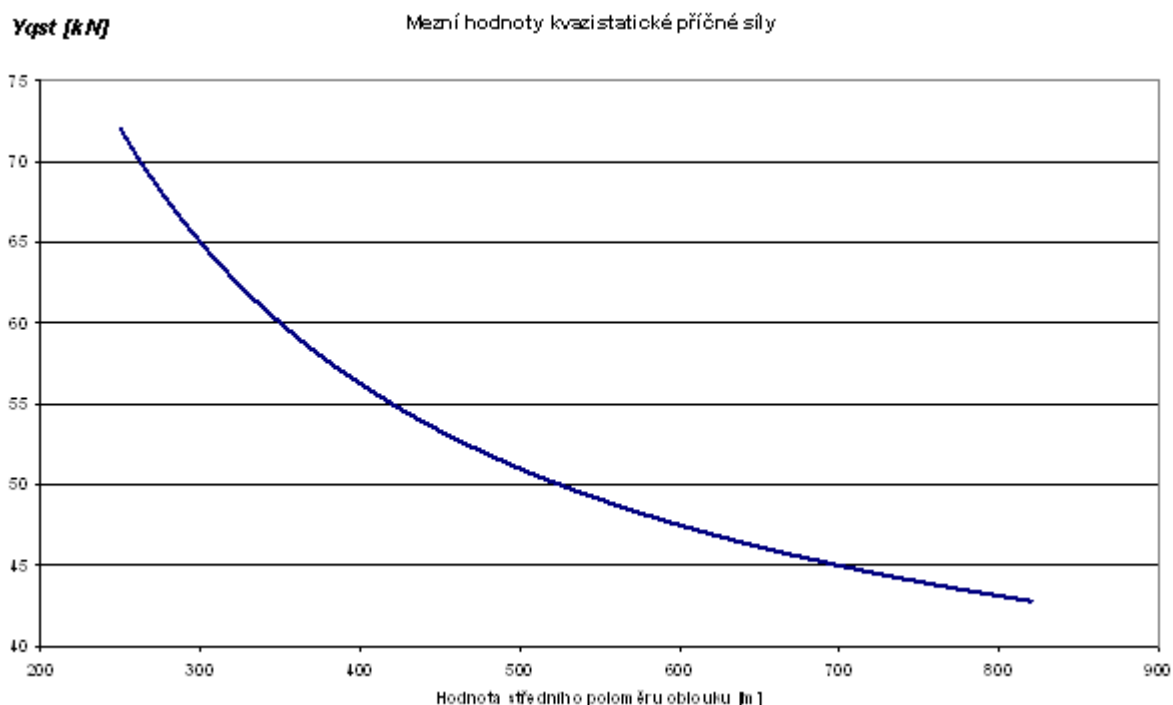
Náběžný úhel dvojkolí ke kolejnici je ovlivněn proměnným souhrnem ovlivňujících veličin, kdy jsou při jakémkoliv změně směru poježdění (orientace náběžného úhlu) vynuceny

příčné skluzu. Odpor proti příčnému skluzu závisí na součiniteli tření mezi kolem a kolejnicí, který u většiny pojezdů představuje převažující podíl kvazistatických vodících sil. Kvůli závislostem mezi ovlivňujícími veličinami a výrazně statickému charakteru kontaktu mezi kolem a kolejnicí lze skutečnou velikost vodících sil určit pouze na základě reprezentativních jízdních zkoušek s měrnými dvojkolými a statické analýzy výsledků měření.

Hodnocení Y_{qst} se provádí podle metodiky uvedené v ČSN EN 14363 a UIC 518, přičemž ČSN EN 14363 uvádí mezní hodnotu 60 kN s poznámkou možné úlevy pro rozsah oblouků poloměrů 250 m až 400 m a novelizovaná UIC 518:2009 stanovuje mezní hodnotu na základě vztahu:

$$(Y_{qst})_{lim} = (30 + 10500 / R_m) \text{ kN} \quad (1-82)$$

kde R_m je střední hodnota poloměru oblouku hodnoceného traťového úseku.



Graf 3 Mezní hodnoty kvazistatické příčné síly (osa y v kN) podle metodiky UIC 518:2009

Z výše uvedeného vztahu vyplývají závislosti mezních hodnot Y_{qst} na hodnotě středního poloměru: 250 m – 72 kN; 300 m – 65 kN; 400 m – 56,25 kN.

Velikost příčné kvazistatické síly (Y_{qst}) je velmi závislá na podmínkách tření. Změny koeficientu tření mezi 0,35 – 0,55 mohou celkově změnit výslednou hodnotu Y_{qst} řádově o 10 kN. Obecně koeficient tření není přímo měřitelný. Pro kvantifikaci vlivu třecích sil na velikost příčných sil se využívá poměr $(Y/Q)_i$ pro vnitřní kolejnicový pás. Bylo rozhodnuto do UIC 518 zavést omezení Y_{qst} při naměření vysokých hodnot $(Y/Q)_i$ (tedy tam kde překročí $(Y/Q)_i > 0,40$) a provést nový výpočet Y_{qst} .

Tato metodika hodnocení Y_{qst} je podporována Technickými specifikacemi pro interoperabilitu subsystému vozidla [7] (4.2.3.4.2.2).

Pro eliminaci napětí z ohybu bylo v [52] zavedeno omezení pro kombinaci zatížení příčnou a svislou silou:

$$B_{qst} = Y_{qst} + 0,83Q_{qst} + [a - (30 + 10500/R_m)] \quad [kN] \quad (1-83)$$

kde $a = 53,3$ pro oblouky velmi malých poloměrů ($R < 400$ m)

$a = 67,5$ pro oblouky malých poloměrů ($R > 400$ m)

Výše uvedené pomocné kritérium však nebylo přeneseno do žádného dokumentu legislativního či normativního charakteru viz [6] nebo [11].

Mezní hodnota sumy příčných sil $(\sum Y)_{2m}$ je stanovena na základě PrudHomeova kritéria:

$$(\sum Y)_{2m} = k_2(10 + 2Q_0/3) \quad [kN] \quad (1-84)$$

součinitel k_2 : 0,9 pro lokomotivy, hnací vozidla, vícenásobné jednotky a osobní vozy, zvláštní vozidla; 0,75 nákladní vozy prázdné; 0,80 nákladní vozy ložené. Součinitel k_2 odpovídá dynamickému chování dvojkolí v příčném směru.

Tato kritéria bylo odvozena s předpokladem sestavy železničního svršku:

- klasické kolejové lože právě po podbití;
- dřevěné pražce s maximálním rozdělením 650 mm;
- kolejnice o hmotnosti minimálně 46 kg/m.

Při zjednodušených zkouškách se vyhodnocuje příčné zrychlení pojezdu a skříně vozidla \ddot{y}_s^+ a \ddot{y}_s^* [mm/s²] s mezní hodnotou pro \ddot{y}_s^+ ($12 - M_b/5$), kde M_b je hmotnost podvozků v tunách.

1.2.4. Poměr sil svislých a příčných (Y/Q)

Jak již bylo předesláno, tento parametr je zásadním ovlivňujícím bezpečnost. Poměr těchto sil určuje bezpečnost proti vykolejení. Na základě všeobecně respektované výzkumné zprávy ORE B55 RP8 byl stanoven mezní dotykový úhel 70° (při $\mu = 0,36$), který odpovídá hodnotě poměru $Y/Q = 1,2$. Mezní hodnota $Y/Q = 1,2$ byla odvozena pro statické zkoušky, kdy jsou navozeny extrémní podmínky zborcení koleje. Při jízdách zkouškách ve vybraných úsecích trati se za mez bezpečnosti považuje hodnota poměru $Y/Q = 0,8$. Tento poměr ovlivňuje okamžitá hmotnost na nápravu (Q , Y), stav okolku (úhel dotyku).

Z obou sil (Q a Y) dochází v případě těch příčných (Y) v průběhu jízdy vozidla k větším relativním změnám (z nulových hodnot až po hodnoty maximální), kdežto v případě sil kolových se zpravidla z ustálené hodnoty svislé síly dané vlastní hmotností vozidla při jízdě tyto svislé síly mění relativně méně. Proto mají výsledně na velikost poměru Y/Q relativně větší vliv změny příčných sil. Velikost vzájemného poměru Y/Q ovlivňuje i velikost působícího nevyrovnaného příčného zrychlení, více je tato problematika rozvedena v kapitole 3.3 této práce.

Mezní hodnota $(Y/Q)_{lim}$ pro vyšplhání okolku je ovlivněna úhlem okolku a třecími silami mezi okolkem a kolejnicí (podrobně v kapitole 1.2.5.5 „Zborcení koleje“). Tyto síly jsou dány charakteristikami povrchů kola a kolejnice v bodě styku a úhlem náběhu mezi kolem a kolejnicí. Ke šplhání okolku na temeno kolejnice ve zborcené koleji napomáhá zmenšení kolové síly nabíhajícího kola. Zmenšení kolové síly je ovlivněno následujícími účinky:

- kroucení na rozvor kol podvozku;
- kroucení na vzdálenost středů podvozků nebo vzdálenost náprav u bezpodvozkových vozidel;
- torzní hystereze během klopení;

- vyosení těžiště a kroucení podvozku a skříně vozidla v rámci tolerancí;
- kývavý krotící moment příčných sil v ložiskové skříně nápravy.

Hodnota meze 0,8 je velmi konzervativní a představuje situaci, kdy dojde ke šplhání okolků na temeno hlavy kolejnice při nejméně příznivé kombinaci (málo pravděpodobné) všech působících vlivů.

1.2.5. Vlivy odchylek v průběhu jednotlivých parametrů GPK na jízdu vozidla

1.2.5.1. 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.

Jmenovitá hodnota rozchodu koleje je 1435 mm s tím, že zřízená hodnota rozchodu koleje se může lišit. Rozchod koleje může být podle stanovených pravidel rozšířen až o hodnotu 16 mm v obloucích malých poloměrů. Nad to se u některých železničních správ využívá jmenovité hodnoty 1436 mm nebo 1437 mm jako základní zřizované hodnoty i pro oblouky větších poloměrů a přímé.

Rozchod koleje má být za provozu měřen jako nejmenší vzdálenost pojížděných hran kolejnicových pásů a to v rozsahu od spojnice temen kolejnicových pásů do 14 mm pod ní. Tato definice zohledňuje i výskyt převalků hlavy kolejnicového pásu v uvedeném rozsahu hloubky pod spojnicí temen kolejnicových pásů.

Odchytky rozchodu koleje, úklonu kolejnic a profilu hlavy kolejnice vyvolávají změny v kontaktní geometrii mezi kolem a kolejnicí a způsobují výrazný rozptyl kvazistatických vodících sil. Při hodnocení kvality geometrie koleje v parametru rozchodu koleje rozlišujeme odchytky lokálního charakteru a střední hodnotu rozchodu koleje.

A. Lokální odchytky rozchodu koleje

V provozních podmínkách se vyskytuje rozchod koleje s kladnými a zápornými odchytkami. Stanovená bezpečnostní mez pro maximální hodnotu kladné odchytky (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 opotřebování 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 odchytky záporného rozchodu koleje jsou stanoveny -9 mm (ČSN 73 6360-2, TSI INF CR) resp. -11 mm (ČSN EN 13848-5+A1). Záporná odchytky pro lokální závady rozchodu koleje je stanovena s ohledem na geometrické parametry dvojkolí, kdy maximální hodnota rozchodu okolků je stanovena na 1426 mm. Záporné odchytky pro lokální závady rozchodu koleje mají vliv na chodové vlastnosti vozidla (stabilitu podvozku, délku vlny sinusového pohybu...). Bezpečnost provozu je ovlivněna spíše než absolutní zápornou hodnotou

odchylky rozchodu koleje změnou rozchodu koleje. Vždy musí být posouzena míra spolupůsobení tohoto parametru na případném vzniku mimořádné události nebo jen riziku vzniku. Naproti tomu snížený rozchod koleje negativně ovlivňuje míru opotřebení profilu kol/kolejnic, především s klesajícím poloměrem oblouku. Zúžením volného kanálu pro pohyb dvojkolí dochází ke zvýšení odporu vůči natáčení podvozku, což se projevuje zvýšením třecích sil, tedy opotřebení kontaktních ploch kolo/kolejnice. Z tohoto důvodu není vhodné ponechávat v koleji s malými hodnotami poloměrů oblouků (přibližně $R < 400$ m) zápornou odchylku rozchodu koleje, i když je to podle ČSN 73 6360-2 teoreticky dovoleno (maximální odchylky rozchodu koleje +35 mm, -9 mm se vztahují k nominální hodnotě rozchodu koleje 1435 mm, a to i v případě projektovaného rozšíření rozchodu koleje).

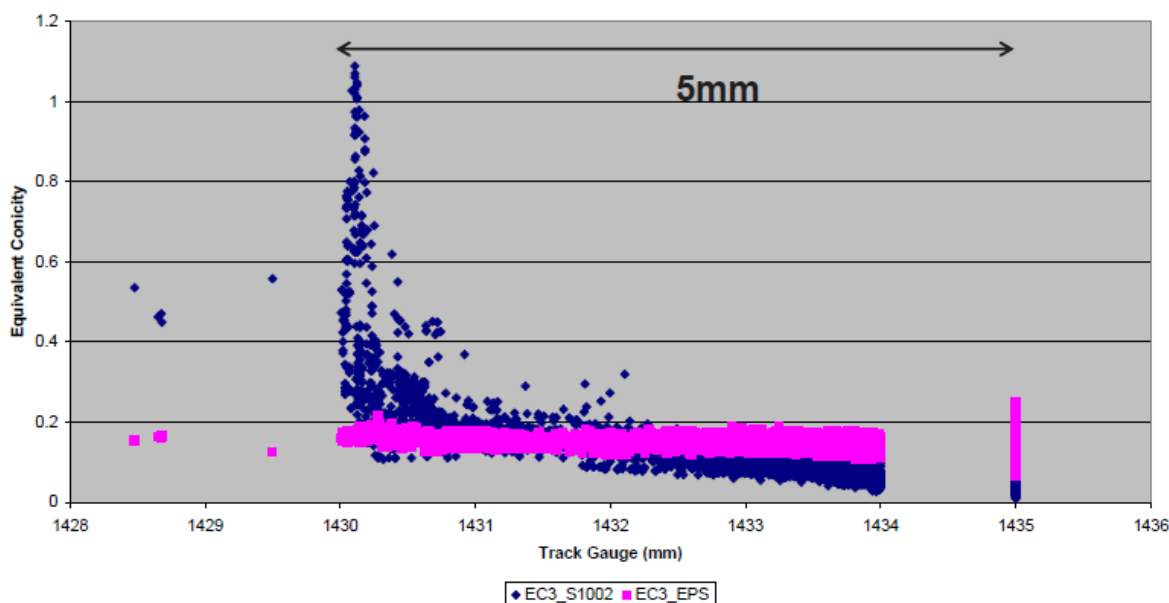
Změna rozchodu koleje (ZR) může mít smysl změny z většího do menšího rozchodu koleje nebo opačně. Dále může být způsobena změnou polohy vodícího kolejnicového pásu v oblouku, vnitřního kolejnicového pásu v oblouku nebo obojí. Tyto charakteristiky vzhledem ke směru pohybu vozidla v koleji jsou důležitými pro posouzení míry závažnosti a vlivu změny rozchodu koleje. Nepříznivý způsob změny rozchodu koleje je v případě jeho zúžení při změně polohy vodícího kolejnicového pásu. Obecně se změny rozchodu koleje nepříznivě projevují na stabilitě chodu vozidla. Příklad, kdy došlo k nepříznivému spolupůsobení závady ve změně rozchodu koleje, je dokumentován ve zprávě [62]. V tomto případě byl v oblasti místa vykolejení zjištěno překročení mezní provozní hodnoty změny rozchodu koleje 10 mm/2m záporným smyslem ve směru jízdy současně s prosedlým kolejnicovým pásem na vnější straně oblouk (-23 mm), ovšem v rozhodujících délkách základěn bez překročení mezní provozní hodnoty zborcení koleje. Podrobně jsou uvedeny v [62].

V přímé koleji se odchylky změny rozchodu koleje nepříznivě projeví na plynulosti jízdy při vyšších rychlostech. V oblouku při jízdě s přilehlým dvojkolím k vnějšímu kolejnicovému pásu se nepříznivý vliv změny rozchodu tolik neuplatní. V provozu se vyskytují nejčastěji větší hodnoty změny rozchodu v obloukové větvi výhybek před srdcovkou (při větší hodnotě rozšíření rozchodu před a za srdcovkou), kde je zpravidla přilehlá poloha vodícího dvojkolí k vnějšímu kolejnicovému pásu, ale může se situace nepříznivě projevit v nájezdu dvojkolí na vodící hranu přídržnice. Při prohlídkách výhybek se má kontrolovat dostatečná vzdálenost místa dotyku okolků na vodící hraně přídržnice od začátku přídržnice.

V případě tohoto parametru je důležité rozlišovat měření bez a pod zatížením, neboť vlivem vodících sil je kolejnice vychylována ze své polohy a to tím více, čím horší je drážebnost upevňovadel, a tím je hodnota rozchodu pod zatížením zvětšena. Lze se setkat s případy, kdy měřící vůz vyhodnotí závadu v RK, přičemž ručním měřením závadu stejné velikosti nelze nalézt.

B. 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 27b 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 ≤ 200 km/h, osa [x] – rozchod koleje, osa [y] ekvivalentní konicita, zdroj [60]

K překročení stanovených záporných středních hodnot rozchodu koleje (- RK100) dochází v souvislosti s nižší roztečí upevnění na betonových pražcích (v ČR: série pražců SB8 v letech 1981–85 a B91S/5; u DB dlouhodobě zřizován rozchod koleje 1432 mm).

V případě rekonstrukcí koleje pražci umožňující bezpodkladnicové upevnění již tento problém není tak tíživý jako v případě podkladnicového upevnění. Podkladnicové upevnění je v tomto ohledu charakteristické mnoha součástmi (především šrouby a vrtulemi), které mají své jednotlivé výrobní odchylky, a tím tedy celek má vyšší.

Vysoké hodnoty ekvivalentní konicity jsou spojeny s nestabilitou podvozku, je tedy důležité stanovit horní přípustnou mez ekvivalentní konicity. V dolních pásmech ekvivalentní konicity je omezujícím faktorem kombinace pohybu skříně a podvozku – označována jako nestabilita skříně. Pokud je nízkofrekvenční pohyb podvozku spojený s pohybem skříně, může být v případě málo tlumených kmitů skříně nebo nestability skříně pozorováno zhoršení komfortu jízdy v příčném směru. Ve srovnání s kmitáním podvozku může být nestabilita skříně potlačena s rostoucí rychlostí.

Dvoukolí se při jízdě vozidla v přímé koleji z důvodu absence dostatečného tlumení v příčném směru rozkmitá a třecí síly v dotykové ploše mezi kolem a kolejnicí jsou překonávány rostoucími hodnotami vodících sil. Při vyšších hodnotách rychlostí dochází po prvním malém impulsu v příčném směru k postupnému narůstání amplitudy pohybu dvoukolí vedoucí až k postupnému vyčerpání volného kanálu koleje. Tento razantní nárůst amplitudy pohybu dvoukolí je příznačný pro vyšší hodnoty ekvivalentní konicity dvojkolí-kolej.

Konstrukčně jsou vozidla vyráběná s velmi tuhou vazbou podvozku k rámu vozidla v podélném směru. Tato vazba zaručí prodloužení délky vlny vlnivého pohybu podvozku než by mělo měkce vedené dvojkolí a tím klidný chod podvozku pro vysoké rychlosti (problematické pásmo rychlostí je nad 140 km/h) v přímém směru. Nevýhodou této konstrukční charakteristiky je menší vůle v radiálním stavění podvozku v oblouku a tím zvýšené opotřebení vnějšího kolejnicového pásu a vznik skluzových vln na vnitřním kolejnicovém pásu.

Při jízdě v přímé jsou namáhány části hlavy kolejnice mezi jejím temenem a pojížděnou hranou. Pojížděná hrana je deformována jen minimálně. Toto opotřebení je odpovídající kontaktu kolo – kolejnice v oblasti mezi temenem a jízdni hranou kolejnice. V obloucích se vnitřní kolejnice výrazně zplošťuje a to vlivem prokluzu kol. Vnější kolejnice je silně opotřebována v oblasti od temene kolejnice k pojížděné hraně ve smyslu rozšiřování rozchodu.

1.2.5.2. Směr koleje

Prof. Schramm v [89] udává pro kritickou rychlost v obloucích bez převýšení a bez přechodnice přibližný vztah, kdy nastane mezní poměr řídicí síly a kolového tlaku při vyšínutí:

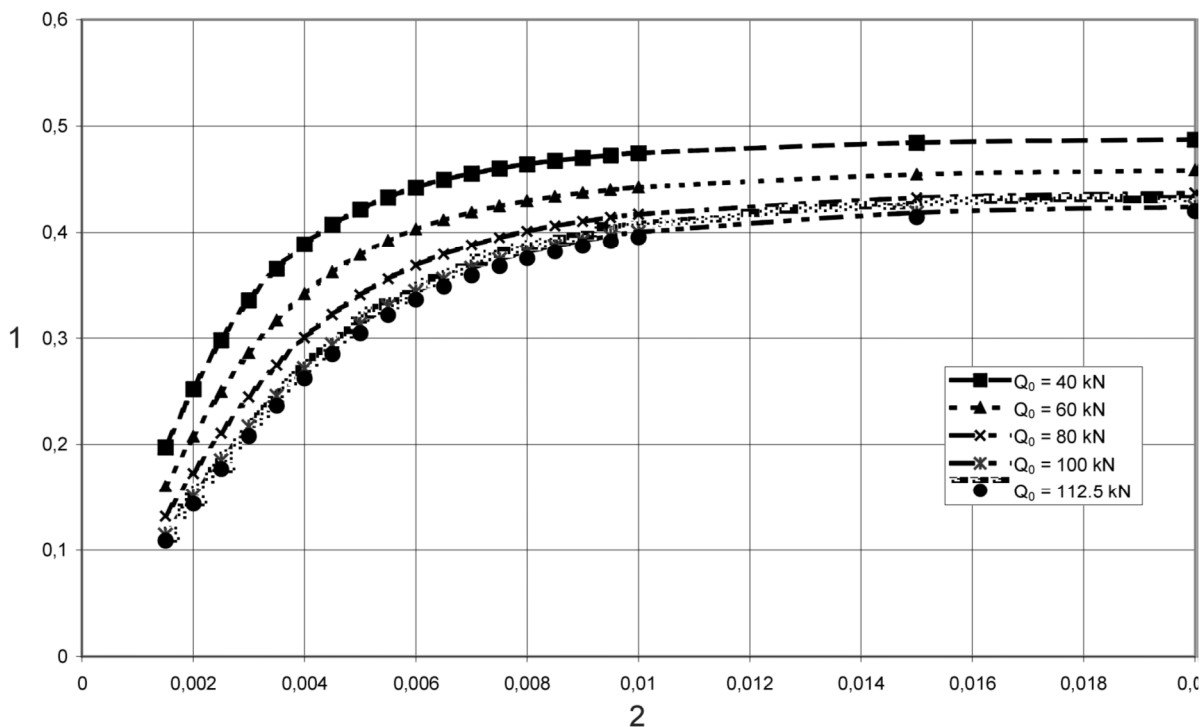
$$V = 5\sqrt{r} \quad (1-85a)$$

Tomuto výrazu odpovídá nevyrovnané boční zrychlení:

$$a = \frac{V^2}{13R} = \frac{25R}{13R} = 1,92 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \quad (1-85b)$$

a stejně tak i změna bočního zrychlení na začátku oblouku bez přechodnice. Současně se udává hodnota nedostatku převýšení, kdy hrozí nebezpečí vykolejením ztrátou kolové síly na vnitřním kole hodnotu mezi 500 a 550 mm. Běžně se v případě naklápěcích jednotek využívá nedostatek převýšení až do hodnot 300 mm.

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 ΣY . 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, protože 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.



Obrázek 28 Graf závislosti úhlu náběhu vodícího dvojkolí [rad] (2 – osa x) a poměru svislých a příčných sil (1 – osa y) pro různé hodnoty zatížení (graf převzat z ČSN EN 14363)

Příkladem výše uvedené závislosti byly okolnosti vzniku mimořádné události (MU) mezi dopravnami Vyšší Brod klášter – Rožmberk nad Vltavou ze dne 8. 5. 2011. K vykolejení došlo na vnější stranu oblouku o poloměru $R = 150 \text{ m}$ a převýšení $D = 55 \text{ mm}$. Ve vztahu k rychlosti vlaku při vzniku MU 28 km/h (max. traťová rychlost 30 km/h) byla hodnota nedostatku převýšení $l = 7 \text{ mm}$, tedy převýšení bylo téměř teoretické. Na základě měření GPK byly zjištěny pouze závady ve směru koleje (tedy bez vlivu ZK). Pomocí odchylek vzepětí na 10 m těživě bylo v kritickém místě zjištěno snížení poloměru oblouku na hodnoty v oblasti $110 \text{ m} - 120 \text{ m}$. Přestože byla změna křivosti koleje odpovídající změně příčného zrychlení v oblasti $0,15 \text{ m/s}^2$, tedy s velkou bezpečnostní rezervou oproti limitní hodnotě pro projektování $\Delta a_q = 0,65 \text{ m/s}^2$ došlo vlivem značného snížení skutečného poloměru oblouku k překročení mezního poměru příčných a svislých sil ve vztahu k zvětšení úhlu náběhu vodícího dvojkolí, ovlivnění třecích podmínek na styku kolo – kolejnice a zvýšení příčné síly z důvodu přičení podvozku bez současného zvýšení kolové síly (například působením vyšší hodnoty nedostatku převýšení) k vykolejení. (vykolejený vůz Bdt^{279} je přechodný traťovou rychlostí v obloucích o poloměru $R \geq 150 \text{ m}$).

Odchylky ve směru koleje ovlivňují komfort jízdy lokálními hodnotami příčných zrychlení vozové skříně.

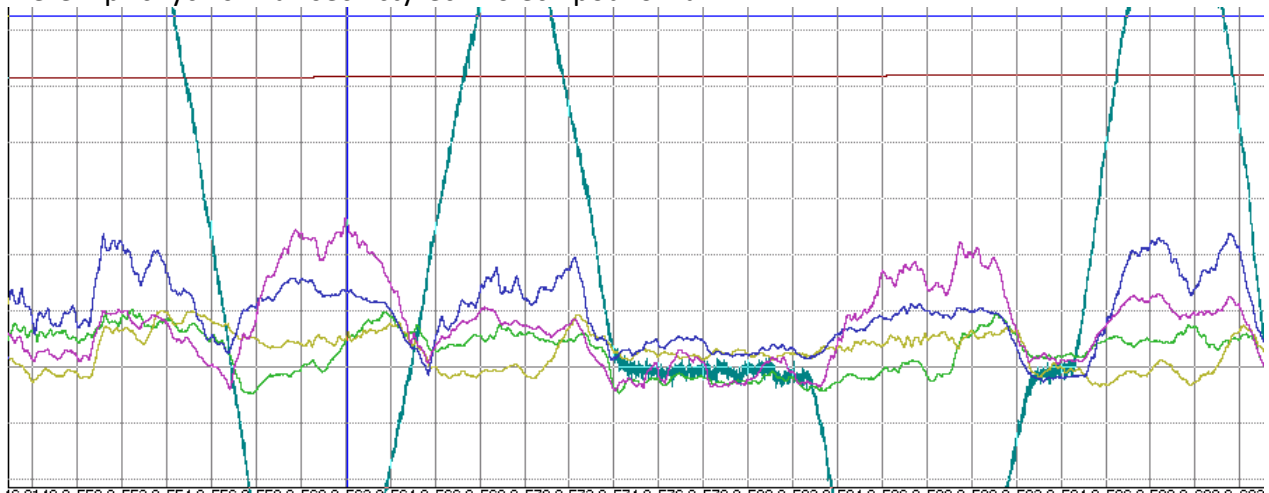
Odchylky směru koleje se výrazně projevuje v kombinaci s jinými lokálními závadami zejména v parametru zborcení koleje. Kombinace lokálních závad je hodnocena měřicími vozy (MVŽSv a MD), které jsou vybaveny systémem hodnocení odezvy vozidla na základě počítaných sil Y a Q pro určení bezpečnostních hodnot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

Odchylky parametru směr koleje jsou hodnoceny v oblasti vlnových délek $D1: 3 \text{ m} < \lambda \leq 25 \text{ m}$ jako odchylky levého a pravého kolejnicového pásu (SL a SP), v oblasti vlnových délek $D2: 25 \text{ m} < \lambda \leq 70 \text{ m}$ se hodnotí směr v ose koleje. V případě oblouku je

rozhodujícím vlivem z hlediska bezpečnosti koleje plynulost vnějšího vodícího kolejnicového pásu, tedy odpovídající odchyšky SL nebo SP . Komfortu cestujících může být narušován krom odchyškami krom vnějšího, tak i vnitřního kolejnicového pásu. Míra ovlivnění ze strany vnitřního kolejnicového pásu je dána mírou kontaktu okolku zadní nápravy podvozku vzhledem ke směru jízdy, tedy na poloze podvozku v oblouku. Ty mohou být:

- těživová poloha – oba vnější okolky přimknuté ke vnějšímu kolejnicovému pásu – typické pro velmi vysoké hodnoty nedostatku převýšení při vysokých rychlostech;
- poloha vzpříčená – nabíhající okolek první nápravy je v kontaktu s vnějším kolejnicovým pásem a okolek zadní nápravy na straně do středu oblouku přiléhá k vnitřnímu kolejnicovému pásu. V tomto případě nastává maximální hodnota náběžného úhlu okolku. Při této poloze podvozku také dochází k nejvyšší míře ovlivnění jízdních vlastností vozidla;
- statická poloha – obecná poloha – okolek nabíhající nápravy sleduje vnější kolejnicový pás a okolky následující nápravy ve směru jízdy zaujímají obecnou polohu ve volném kanálu daným rozchodem koleje. Tato poloha je zastoupena nejčastěji;
- oba okolky na vnitřní straně oblouku jsou přimknuty k vnitřnímu kolejnicovému pásu oblouku. Tento případ nastává ojediněle v případě velmi malých rychlostí.

U vozidla mají na vodící síly rozhodující vliv konstrukční vlastnosti použitého pojezdu. Za podstatné se přitom považují jízdní obrys kola, rozvor a vedení dvojkolí v podélném směru. Na níže uvedeném obrázku je vidět klasické chování podvozku v oblouku. Jedná se o záznam měření příčných sil na všech čtyřech kolech podvozku.



Obrázek 29 Příčné síly na jednotlivých kolech podvozku vozidla – nabíhající dvojkolí (Y_{21} – modrá, Y_{22} fialová) – zadní dvojkolí (Y_{11} – tmavě zelená, Y_{12} – světle zelená), z obrázku je dále patrná křivost koleje (černá); osa x – čas [s] reprezentující ujetou vzdálenost, osa y velikost sil [kN]

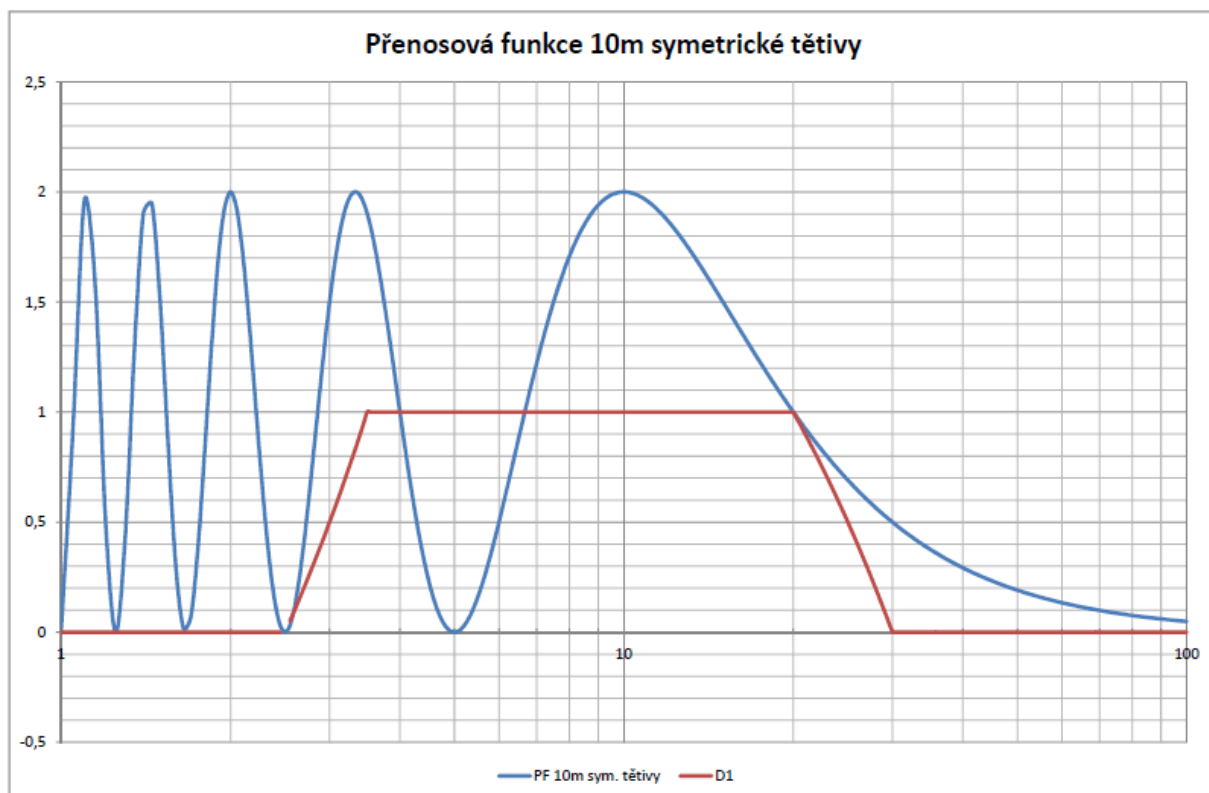
Měřené síly jsou z traťového úseku Letohrad – Lichkov, oblouky poloměrů 300 m, 400 m, 370 m, 380 m, a 385 m. Rychlost jízdy 70 km/h, tedy nedostatky převýšení v oblasti 70 mm – 90 mm. Y_{21} a Y_{22} jsou síly na nabíhající nápravě. Poměr jejich velikosti se střídá v závislosti na orientaci oblouku. Orientace sil je taková, že kladné jsou Y síly působící na dvojkolí směrem do středu koleje. Na nabíhajícím dvojkolí jsou v oblouku v naprosté většině případů kladné síly na obou dvojkolích – na vnějším kole je to zřejmé, na vnitřním vzniká síla tohoto směru v důsledku příčného posuvu dvojkolí (dvojkolí je vnějším kolem strkáno do středu oblouku a na vnitřním kole vzniká třecí síla proti směru tohoto pohybu. Pouze pokud

by bylo dvojkolí postaveno tak, že úhel náběhu by byl záporný, mohla by mít síla opačné znaménko).

Druhé dvojkolí v tomto případě jede v obecné poloze, bez výraznějšího dolehnutí k vnější či vnitřní kolejnici. Pokud by jel podvozek ve zcela vzpříčené poloze, měla by být na druhém dvojkolí větší síla na vnitřním kole než na vnějším (např. pokud je nabíhající kolo Y_{21} , modrá čára má tedy vyšší hodnotu než fialová, musela by být větší hodnota na kole Y_{12} než na kole Y_{11} . K tomu zde nedochází, podle toho se o vzpříčenou polohu nejedná. Nárůst síly na vnitřním kole druhého dvojkolí při výjezdu z přechodnice si vysvětlují tím, že na tomto kole vzniká síla, která přemáhá moment odporu proti natáčení podvozku při jeho návratu do střední polohy.

Z tohoto lze tedy odvodit, že při standardních podmínkách (nedostatek převýšení kolem 70-90 mm) ke vzpříčené poloze podvozku pravděpodobně nedochází. Lze ji očekávat spíše v obloucích ještě menších poloměrů, a spíše u prvního podvozku ve směru jízdy, kde tomuto postavení napomáhá i moment odporu proti natáčení (výrazněji ještě u podvozků s pružným vratným momentem) než u podvozku zadního. Obecně platí, že se vrůstajícím nedostatkem převýšení se mění poloha podvozku od vzpříčené k poloze těživové, tj. přilehlé na vnější pás.

Variantně lze ve smyslu čl. 7.4.2 ČSN 736360-2 hodnotit parametr směr koleje i pomocí měření vzepětí na symetrické těživě délky 10 m. Tento způsob měření a hodnocení je však velmi problematický s ohledem na přesnost samotného měření i způsoby interpretace změřených hodnot. Symetrická tětíva délky 10 m je sice pro měření dobře prakticky použitelná, nicméně z hlediska vlastností své přenosové funkce (zesilování/zeslabování závad) je dosti problematická. Výše uvedené se řídí přenosovou funkcí symetrické tětívy délky 10 m. Závady délek 4; 6,6 a 25 m jsou přenášeny cca 1:1 a závady v rozsahu vlnových délek 6,6 – 25 m jsou zesilovány (v případě závady 10 m až 2x), kdežto závady vlnových délek 4 – 6,6 m jsou zeslabovány až do té míry, že závada vlnové délky 5 m ani není zaznamenatelná (viz následující obrázek).



Obrázek 30 Přenosová funkce symetrické tětivy délky 10 m, osa x - délka závady, osa y - koeficient zeslabení/zesílení

Z těchto důvodů se v oblasti zajištění provozuschopnosti tohoto způsobu měření používá velmi omezeně pouze v odůvodněných případech orientačního zjišťování stavu směrových poměrů.

Souvisejícím problémem je chybné určení velikosti mezních provozních odchylek parametru směru koleje při hodnocení měření vzepětí podle tabulky 13 ČSN 73 6360-2 ve vztahu k základnímu hodnocení parametru směru koleje ve smyslu posuzování bezpečnosti provozu pro rychlosti $V \leq 160$ m, kterým je kontinuální měření obou kolejnicových pásů s přepočtem do skutečné geometrie v rozsahu vlnových délek $D1$: $3 \text{ m} < \lambda \leq 25 \text{ m}$ (viz ČSN EN 13848-1 a 5). Hodnoty mezních provozních odchylek pro tento parametr jsou stanoveny v tabulce 8 ČSN 73 6360-2. Jelikož je základním posouzením ve vztahu k bezpečnosti provozu hodnocení směru koleje metodou relativních odchylek ve skutečné geometrii, musí být hodnoty mezních provozních odchylek vzepětí určeny jako ekvivalentní. Vzhledem k principům měření vzepětí nad tětivou a hodnocení ve skutečné geometrii v rozsahu vlnových délek $D1$: $3 \text{ m} < \lambda \leq 25 \text{ m}$ má být vzájemný poměr odchylek 1,4:1. Z tohoto důvodu je nutné v tomto poměru hodnoty odchylek uvedených v tabulce 13 zvětšit. Odvození koeficientu 1,4 a 2,24 je uvedeno v samostatném souboru „Statistické vztahy příbuzných veličin GPK“ viz [61].

Nad to není korektně určena zásada hodnocení dvou po sobě následujících odchylek vzepětí, které již z fyzikálního principu měření a hodnocení musí být rozdílná od hodnoty odchyly od teoretických hodnot vzepětí. Při definovaném kroku měření poloviny délky tětivy tj. 5 m odpovídá rozdíl dvou sousedních odchylek od teoretického vzepětí (střední hodnoty) přibližně 2,24 násobku relativní odchyly SL , SP ve skutečné geometrii.

Výše provedené úpravy hodnocení parametru Směru koleje byly provedeny v rámci vydání Změny č.1 ČSN 73 6360-2:2013.

1.2.5.3. Podélná výška koleje (VL, VP a VK)

Závady v podélné výšce jsou jedny z nejběžněji se vyskytujících se. Při vyhodnocování v rozsahu vlnových pásem $D1: 3 \text{ m} < \lambda \leq 25 \text{ m}$ se rozlišují závady v podélné výšce levého (VL) a pravého (VP) kolejnicového pásu, při vyhodnocování v rozsahu vlnových pásem $D2: 25 \text{ m} < \lambda \leq 70 \text{ m}$ se hodnotí podélná výška v ose koleje (VK).

Vliv odchylek v podélné výšce na bezpečnost proti vykolejení se může projevit (zejména v oblouku) podle velikosti odchylky jen omezeně z důvodu odlehčení vodičího dvojkolí ve vztahu k odezvě vozidla v poměru příčné a svislé kolové síly Y/Q . Za určitých podmínek může při opakování této závady v podélné výšce dojít v závislosti na konstrukčních vlastnostech vypružení vozu k rezonančnímu jevu, který může vést k vyšší reakci na amplitudě podélné výšky omezené hodnoty.

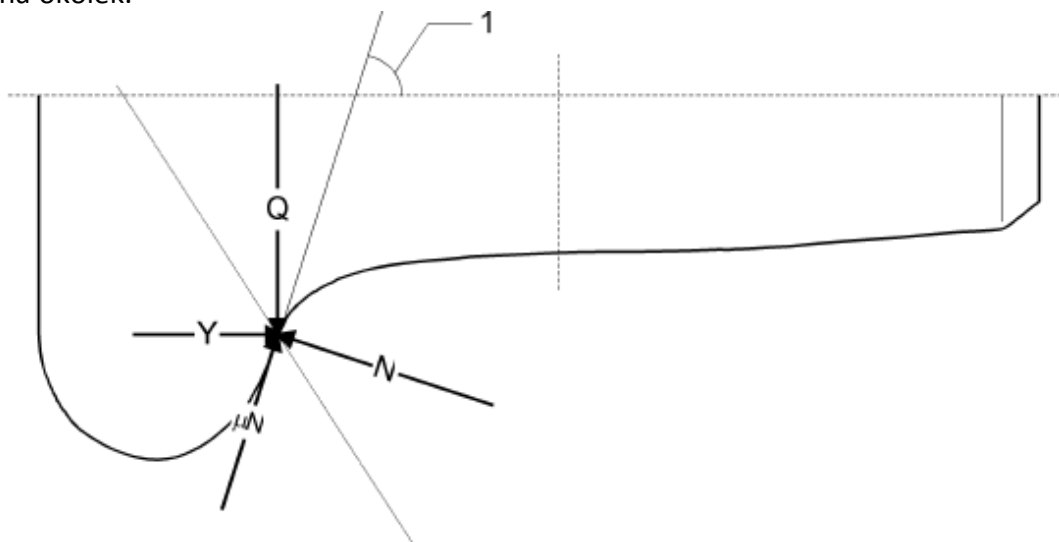
Zásadnějším problémem je, že kolej s většími provozními odchylkami v podélné výšce způsobuje rychlejší opotřebení částí pojezdu vozidel a zhoršení jejich jízdních vlastností.

Závady v podélné výšce koleje v přímé koleji ovlivňují obvykle průběh svislých sil Q menší měrou než závady v podélné výšce stejných amplitud a vlnových délek v oblouku v případě vodičího kolejnicového pásu z důvodu obvyklého přitížení vlivem působícího nevyrovnaného zrychlení.

Na rozdíl od závad směru koleje, kdy jsou ovlivněny svislé a příčné síly, tak v případě závad v podélné výšce jsou ovlivněny zpravidla pouze svislé síly, což je částečným důvodem jejich menšího významu vzhledem k bezpečnosti provozu.

1.2.5.4. Zborcení koleje (ZK)

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.



Obrázek 31 Síly na styku kola a kolejnice (obrázek převzat z ČSN EN 14363)

Na kolo působí příčná síla Y a svislá síla Q . Silami v oblasti styku jsou kolmá síla N a třecí síla μN . Rovnováhu sil v příčném a svislém směru dávají následující rovnice:

$$Y = N \cdot \sin \gamma \pm \gamma \cdot N \cdot \cos \gamma$$

$$Q = N \cdot \cos \gamma \pm \gamma \cdot N \cdot \sin \gamma$$

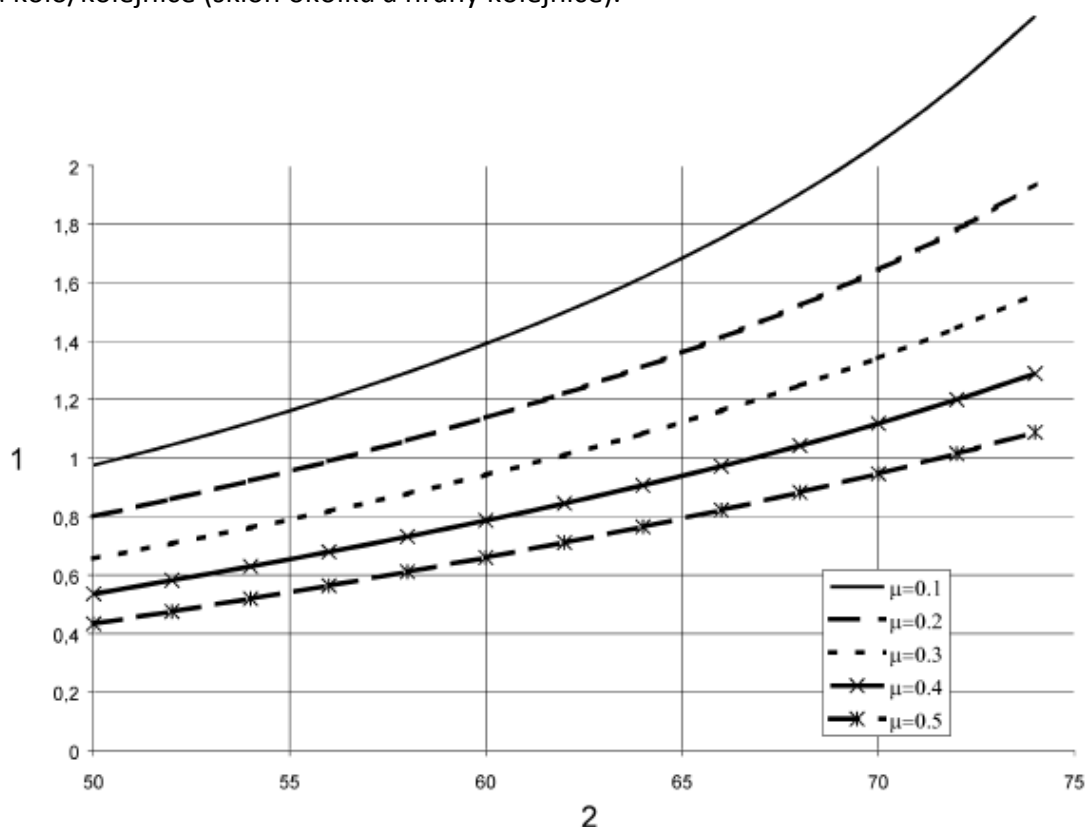
(1-86)

kde γ je úhel okolku, potom platí Nadalova rovnice rovnováhy:

$$\frac{Y}{Q} = \frac{\tan \gamma - \mu}{1 + \mu \tan \gamma}$$

(1-87)

Mezní poměr Y/Q je funkcí úhlu okolku a součinitele tření μ 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).

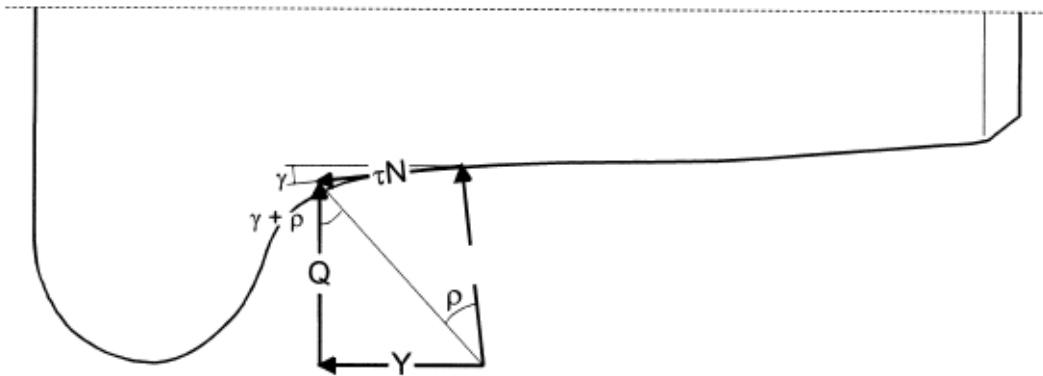


Obrázek 32 Graf závislosti hodnoty poměru Y/Q (osa y) na velikosti úhlu dotyku (sklon okoleku/pojížděné hrany kolejnice) γ (osa x) v závislosti na třecích poměrech (graf je převzatý z ČSN EN 14363)

Pomocí Nadalovy rovnice je určen minimální poměr Y/Q , při kterém může teoreticky dojít k vyšplhání okolku. Použití této teorie je vhodné zejména pro malé a záporné úhly náběhu vodícího dvojkolí z důvodu platnosti Nadalovy rovnice pouze pro prostý skluz okolku směrem dolů. Pokud dochází na styku kolo/kolejnice k podélným posunům, vznikají podélné síly od těchto posunů, a tím se sníží příčná posuvná síla (bude menší než $\mu \cdot N$). Z toho vyplývá, že je možné připustit vyšší hodnoty poměru Y/Q než jaké jsou určeny pomocí Nadalovy rovnice.

Podle níže uvedeného obrázku č.33 lze odvodit přepočítání třecích podmínek vnitřního kola nápravy na výslednou hodnotu příčných sil. Součinitel tření τ představuje vztah mezi

příčnou posuvnou silou a normálovou silou $\tau = \tan \rho$. Coulombova hodnota tření μ je maximální hodnotou τ .



Obrázek 33 Síly na vnitřním kole nabíhající nápravy při vzpříčené poloze podvozku při průjezdu obloukem (obrázek převzatý z ČSN EN 14363)

Vlivy odlehčení kola vozidla jsou tyto:

- torzní tuhost skříně vozidla spolu s torzní tuhostí vypružení;
- torzní tuhost rámu podvozku spolu s torzní tuhostí prvotního vypružení;
- vyosení těžiště vozidla (vliv se zvyšuje s rostoucí křivostí oblouku);
- torzní hystereze během kroucení;
- přebytek převýšení (v malých poloměrech při malé rychlosti);
- nadlimitní příčný sklon kolejnicových pásů.

Vlivy změny vodící síly jsou tyto:

- rozvor podvozku u podvozkových vozidel nebo rozvor náprav vozu u bezpodvozkových vozidel;
- odolnost proti natočení podvozku;
- podélná tuhost prvotního vypružení;
- poloměr oblouku koleje;
- kvalita geometrie koleje – parametr směr koleje;
- povětrnostní podmínky a maziva a nečistoty na kontaktním povrchu kola a kolejnice;
- profil kola, profil kolejnic, úklon kolejnice a vůle rozchodu kolej – dvojkolí.

Veličina zborcení koleje je nejzávažnější z hlediska posuzování bezpečnosti proti vykolejení. Při hodnocení se vychází ze zprávy UIC ORE B55 RP8 „Bezpečnost proti vykolejení nákladních vozidel na zborcené koleji“, podle které jsou uvedeny vztahy pro mezní provozní hodnoty zborcení ZK.

Hodnocení zborcení koleje se provádí s ohledem na poměr navrženého převýšení koleje ku poloměru oblouku. Výzkumná zpráva ORE B55 RP8 definuje dvě meze tohoto převýšení, přičemž tímto vznikají 3 pásma kombinací parametrů převýšení koleje a poloměru oblouku, kde jsou odlišně hodnoceny závady v ZK.

Dále se zohledňuje podmínka doby trvání závady alespoň 2 m z důvodů nutnosti působení vyšších hodnot Y/Q po určitou minimální dobu, neboť k vyšplhání okolku na temeno hlavy kolejnice nedochází z důvodu ZK rázem, ale postupným šplháním.

1.2.5.5. Převýšení koleje (PK)

Skupina parametrů podélné výšky, zborcení koleje a převýšení koleje patří do skupiny odchylek GPK s vlivem ve svislém směru. Nebezpečí vykolejení vlivem zborcení koleje je ověřováno hodnocením ZK, snížení bezpečnosti a hlavně komfortu jízdy je kontrolováno pomocí parametru VL, VP a VK, kdežto kontrola PK by měla být prováděna s ohledem na zvyšování bočních sil vlivem sníženého převýšení a dále s ohledem na riziko ovlivnění prostorové průchodnosti vlivem kvazistatického náklonu vozidel. Z tohoto důvodu je vhodné kontrolovat odchylky PK v absolutní hodnotě vzhledem k projektovaným hodnotám. Velikost příčných sil vzájemně působících mezi vozidlem a kolejí je ovlivněna velikostí nedostatku převýšení. Z tohoto důvodu je nejpřesnějším hodnocením kontrola odchylky nedostatku převýšení od jeho nominální hodnoty dané konkrétní rychlostí, poloměrem oblouku a převýšením koleje. Dovolené hodnoty nedostatku převýšení se musí vztahovat k nominálním dovoleným hodnotám nedostatku převýšení na která jsou vozidla konstruována.

Maximální hodnoty záporných odchylek $-PK$ ve vztahu k odvozeným hodnotám nedostatku převýšení podle tabulky 10.2 normy ČSN 73 6360-2 jsou definovány poměrně přísně. Při určení mezní hodnoty $-PK$ od limitní hodnoty projektovaného nedostatku převýšení 100 mm jen 7 mm, je dílčí rezerva z titulu zkoušek vozidla na hodnotu nedostatku převýšení o 10%, tj. minimálně 115 mm. V konkrétních případech se rezerva stanovuje právě s ohledem na velikost nedostatku převýšení, která bývá standardně nižší než limitní hodnota 100 mm nebo 130 mm. Více viz kapitola 3.3 této práce.

1.2.6. Měření a vyhodnocování

Optimálně by byly měřeny a vyhodnocovány přímo vzájemné silové účinky vozidla a koleje. Zásadní nevýhodou této metody je, že každé vozidlo působí jinými silami dle svých technických charakteristik. Měřit silové účinky pro každé vozidlo zvláště je technicky a organizačně nereálné. K měření silových účinků vozidla na kolej se používá měrné dvojkolí, které by tedy bylo třeba před každou takovou jízdou zavázat a tím také vyloučit trakční a brzdné účinky konkrétního dvojkolí. Vyhodnocovat stav tratí je pro zajištění bezpečnosti nutno provádět periodicky. Prakticky již od počátku železničního provozu jsou kontrolovány geometrické parametry koleje (GPK). Kontrolu GPK lze provádět buď zcela jednoduše (např. směr koleje kontrolou vzepětí nad tětivou) nebo pokročilejšími metodami pomocí (např. akcelerometrů, gyroskopů...atd.)

1.2.6.1. Vyhodnocování odchylek GPK v skutečné geometrii

Geometrické parametry koleje jsou přednostně vyhodnocovány ve skutečné geometrii. Toto měření a vyhodnocení je možné provádět s měřicími prostředky, jejichž kontinuálně pracující měřicí systémy mají známou přenosovou funkci v celém využívaném vlnovém rozsahu. Vyhodnocení ve skutečné geometrii je takové, které zachová nebo mění amplitudy měřených veličin tak, že přenosová bude funkce jednotková. To znamená, že naměřené amplitudy jednotlivých veličin budou úměrné vyhodnocovaným veličinám v grafice či na počítači. Ve skutečné geometrii lze vyhodnocovat všechny parametry GPK kromě křivosti.

Parametry podélná výška a směr koleje jsou vyhodnocovány v dvou pásmech vlnových délek, a to $D1: 3 \text{ m} < \lambda \leq 25 \text{ m}$ a $D2: 25 \text{ m} < \lambda \leq 70 \text{ m}$. Ve vlnovém pásmu $D1$ jsou vyhodnocovány veličiny SK, VK (VL a VP), PKD (pouze pro účely úsekového hodnocení) pro všechna rychlostní pásma. Ve vlnovém pásmu $D2$ jsou vyhodnocovány veličiny SK a VK pro rychlosti nad 120 km/h.

1.2.6.2. Klasifikace a označování veličin při jízdách zkoušek vozidel

Tato kapitola uvádí přehled uvažovaných veličin, které byly využity pro porovnání odpovídajících veličin silového působení vozidla a kvality geometrické polohy koleje.

Veličiny silového působení vozidla

Veličiny silového působení vozidla na kolej jsou uvedeny v tabulce 18.

tabulka 18 Veličiny silového působení vozidla na kolej

Označení měřené veličiny	Popis měřené veličiny	Poloha měřené veličiny na voze
Y_{11}	VODICÍ SÍLA	levé kolo – 1. dvojkolí
Y_{12}		pravé kolo – 1.dvojkolí
Y_{22}		levé kolo – 2.dvojkolí
Y_{22}		pravé kolo – 2.dvojkolí
Q_{11}	KOLOVÁ SÍLA	levé kolo – 1. dvojkolí
Q_{12}		pravé kolo – 1.dvojkolí
Q_{21}		levé kolo – 2.dvojkolí
Q_{22}		pravé kolo – 2.dvojkolí

Tyto změřené veličiny byly vyhodnoceny dle metodiky DB Ril 821.2002, kdy každý z níže uvedených stupňů udává příslušnou mezní hodnotu konkrétní veličiny. V tabulce 2 jsou uvedeny koeficienty jednotlivých stupňů mezních hladin pro jednotlivé měřené veličiny.

tabulka 19 Koeficienty použité při vyhodnocení silového působení vozidla na kolej při verifikacích tratí

Směr působení	Vyhodnocovaná veličina		Strojové vyhodnocení		Mezní hodnoty pro posouzení stavu koleje			
	označení	jednotky	charakteristiky četnosti na délce 50 m	referenční hodnota	koeficient k pro			
					SR_0	SR_A	SR_{100}	SR_{lim}
příčně	ΣY	kN	extr ΣY	$k.(10+2/3.Q_0)$	0,5	1,0	1,2	1,4
svisle	Q	ms^{-2}	max Q	$k.170$	0,8	1,0	1,3	1,5
			min Q	$k.Q_0$	0,5	0,25	0,18	0,1
příčně + svisle	Y/Q	-	extr Y/Q	$k.0,8$	0,5	0,8	0,9	1,0

Mezní hodnoty silového působení vozidla jsou dány koeficienty míry tohoto působení (SR_x) vzhledem ke vztažné hodnotě. Význam jednotlivých hladin je tento:

SR_0 základní hodnota

SR_A je hodnota, při jejíž překročení je nutné podrobné posouzení

SR_{100} je hodnota, která ve srovnání s mezí poškození obsahuje jistou technicko-ekonomickou rezervu.

SR_{lim} je hodnota, při jejímž překročení (pro Y/Q , min Q) lze očekávat nepřipustné negativní ovlivnění funkčnosti. Rychlost je nutné snížit o min. 25% pod zkušební rychlost.

Mezní hladiny hodnocení kvality GPK

Zavedenými charakteristikami pro hodnocení stavu tratí s ohledem na kvalitu GPK jsou dle technických specifikací interoperability, evropské normy ČSN EN 13848-5 a ČSN 73 6360-2 jsou tyto stupně:

- Provozní odchylky geometrických veličin od projektované nebo předepsané hodnoty a provozní hodnoty veličiny zborcení koleje jsou definované ve dvou stupních:

AL – mez sledování: pokud je stanovená hodnota překročena, je třeba stav GPK posoudit a vzít v úvahu při plánování udržovacích prací;

IL – mez zásahu (opravy): pokud je stanovená hodnota překročena, je třeba provést udržovací práce tak, aby před příští kontrolou nedošlo k překročení mezní provozní odchylky.

Tyto provozní odchylky vypovídají o stavu koleje a o nastavení jejich údržby. Je prokázáno, že včasný zásah opravy geometrie koleje významně prodlužuje cyklus obnov železničního svršku a pokud jsou odchylky AL a IL nastaveny příliš vysoko, stane se tak údržba GPK v souhrnu více ekonomicky náročnou.

- Mezní provozní odchylky geometrických veličin od projektované nebo předepsané hodnoty a mezní provozní hodnoty veličiny zborcení koleje jsou definované jako:

IAL – mez bezodkladného zásahu: pokud dojde k překročení stanovené hodnoty, je nutné provést bezodkladně opatření k zajištění bezpečnosti provozu.

Tyto odchylky jsou průkazem výrazného narušení komfortu cestujících a snížení bezpečnosti železničního provozu pod přijatelnou úroveň.

Pro úplnost je třeba uvést charakteristiky hodnocení kvality GPK dle ČSN EN 14363. Takto označované jednotlivé hladiny hodnot jsou v současně platných TSI. (Revize TSI počítá s označením AL, IL a IAL)

QN1 – úroveň kvality, která vyžaduje prohlídku úseku koleje nebo přijetí opatření pro údržbu v rámci běžného provozního časového plánu

QN2 – úroveň kvality, která vyžaduje přijetí krátkodobých opatření pro údržbu

QN3 – úroveň kvality, která charakterizuje úseky koleje, které nevykazují obvyklou kvalitu geometrie koleje. Úroveň kvality QN3 však nepředstavuje nejméně příznivý, ale ještě přípustný stav údržby.

Mezní hladiny AL = QN1, IL = QN2 lze srovnávat. Rozdíl mezi IAL a QN3 je z jejich definic patrný, tedy v hodnotě QN3 je určitá bezpečnostní rezerva oproti IAL. Mezní odchylky IAL ve vlnovém rozsahu D1 pro rychlosti nad 160 km/h byly stanoveny dle ČSN EN 14363, která zná hodnoty pro QN3. Z tohoto je patrné, že v současně platné ČSN 73 6360-2 jsou mezní hodnoty IAL stanoveny s bezpečnostní rezervou.

2. Cíle disertační práce

2.1. Výchozí podmínky

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.

Předpisy a normy tedy musí stanovovat odpovídající meze pro splnění výše uvedeného, avšak nesmí omezovat drážní dopravu i možnosti rozvoje ŽDC. Při tvorbě nových předpisů a norem nebo při jejich novelizaci musí být věnována výše uvedeným požadavkům žádoucí pozornost, přičemž je třeba, aby byl reflektován rozvoj a technický pokrok v souvisejících oblastech.

2.2. Hlavní a vedlejší cíle

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).

Konkrétní pozornost je v první řadě věnována stanovení požadavků na délku směrového prvku konstantní křivosti – mezipřímé a kružnicové části oblouku mezi dvěma změnami křivosti. Tato délka se v železničním stavitelství omezuje z důvodu narušení plynulosti jízdy vozidla v místě změny křivosti, a to dle míry těchto změn v závislosti na podmínkách navazujících úseků.

Motivace revize v současnosti využívaných principů vznikla na základě diskuse v rámci pracovní skupiny CEN/TC256/SC1/WG15 pro tvorbu evropských norem v oblasti navrhování GPK, kdy byly projednávány požadavky pro parametr délky prvku konstantní křivosti. Byla vznesena logická otázka na oprávněnost stávajících omezení, kdy při úmyslu zvyšování rychlosti bez výrazné změny polohy koleje vzniká požadavek na prodloužení délek kružnicových částí oblouků i délek mezipřímých. Je-li například oblouk s krajními přechodnicemi při nutnosti 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 vzestupnic se všemi důsledky z toho vyplývajícími. Je proto namísto otázka, zda-li je lépe nedodržet délku kružnicových částí oblouků, či zkracovat délky přechodnic a vzestupnic až k mezním hodnotám. V rámci států sdružených v EHS lze v současné době zaznamenat značné názorové rozdíly na tuto problematiku. Cílem autora této práce je objektivním způsobem tyto požadavky posoudit a doporučit pravidla pro omezení dotčeného parametru. Navrhované změny jsou posouzeny nejenom z hlediska teoretického posouzení pohybu vozidla v koleji o definované geometrii, ale také z hlediska měření a vyhodnocování skutečných silových účinků mezi vozidlem a kolejí. V této souvislosti je také možno analyzovat požadavky na kvalitu geometrie koleje za provozu, neboť její podíl na jízdních vlastnostech vozidla je rozhodující. Je tedy otázkou, jaké teoretické geometrie koleje by mělo být po zvážení všech okolností dosaženo, pokud se přihlédne k nutným mezím jejich provozních odchylek. Zjištění této práce budou sloužit jako podklady k novelizaci základní normy pro geometrii koleje ČSN 73 6360 Konstrukční a geometrické uspořádání koleje železničních drah a její prostorové polohy – Část 1: Projektování a Část 2: Stavba a přejímka, provoz a údržba, dále pak jako diskusní materiál při tvorbě EN 13803 Železniční aplikace – Kolej – Parametry návrhu polohy koleje – Kolej rozchodu 1435 mm a širšího a v neposlední řadě pro činnost autora v expertní skupině „Infrastruktura“ v rámci CER (The Community of European Railway and Infrastructure companies).

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 (předně zborcení koleje – výzkumná zpráva UIC ORE B55), ale také na základě zkušeností. Vliv těchto odchylek a v neposlední řadě vliv jejich kombinací by měl být ověřen, tak aby bylo možné stanovit zásady pro údržbu GPK s ohledem na prevenci vzniku mimořádných událostí, popřípadě zásad pro objektivní šetření příčin vzniku těchto MU.

3. Praktické posouzení silových účinků vozidla trať vzhledem k projektovaným parametrům a provozním odchylkám GPK

3.1. Použitá metodika

3.1.1. Princip ověřování jízdních vlastností vozidel vzhledem k GPK

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 velký rozsah měření co do délky zkušebních úseku (několik set km);
- velká různost směrových poměrů (oblouky poloměrů 175 m a větších);
- úseky koleje s oběma typy úklonu (1:40 a 1:20);
- velký rozptyl kvality geometrie koleje;
- detailní měření všech parametrů interakce vozidlo/kolej (měrná dvojkolí - síly na všech kolech podvozku, zrychlení v různých částech skříně vozidla i podvozku...)

Současně byly 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 naklání skříně vozu (standardně byla data využívána pro kompenzaci při výpočtu převýšení koleje).

V neposlední řadě se jako třetího vstupu využilo pasportních údajů železničního svršku, ve vybraných případech také v ještě větší podrobnosti výkresové dokumentace realizovaných staveb. Tímto způsobem byly získány informace popisující referenční (projektovaný) stav geometrických parametrů koleje.

Hodnocení míry vlivu projektovaných parametrů GPK a zároveň provozních odchylek GPK bylo provedeno ve dvou krocích. Na základě výše uvedených pasportních údajů byla vytypována místa výskytu délek prvků směrového uspořádání konstantní křivosti (oblouky a mezipřímé) $L < 1,0V$. V těchto místech byly analyzovány průběhy silových veličin příčných a svislých sil a jejich vzájemného poměru především z hlediska jejich kvalitativních a kvantitativních vlastností. Dále byla v druhém kroku do analýzy zařazena místa s anomáliemi v průbězích předmětných silových veličin, přičemž byly hodnoceny důvody těchto anomálních průběhů. Částečné posouzení vzájemného silového působení vozidla a koleje bylo rovněž provedeno pro kolejová rozvětvení.

3.1.2. Výchozí podklady

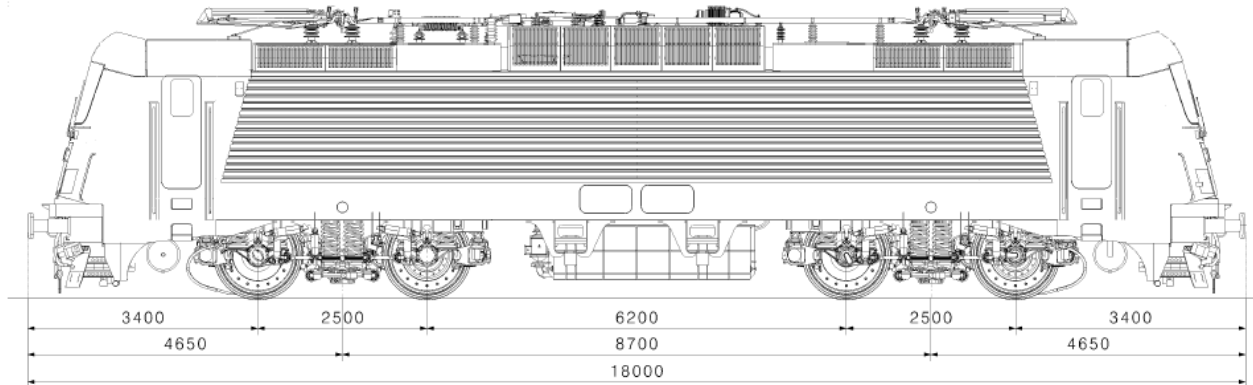
V průběhu roku 2009 a 2010 probíhaly na vybraných úsecích sítě tratí SŽDC jízdní zkoušky nákladního vozu Talns výrobce Tatravagónka Poprad a lokomotivy 109E výrobce ŠKODA Transportation (dále jen 109E).

Základní technické údaje Lokomotivy 109E (380006):

Hmotnost dle vážního listu	87,4 t
Maximální provozní rychlost	200 km/h
Rozvor podvozku	2500 mm
Vzdálenost otočných čepů	8700 mm

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

Délka přes nárazníky	18000 mm
Výkon	6400 kW
Průměr kol (nová)	1250 mm
Jízdní profil	EN 13715-S1002/h28/e32,5/6,67%



Obrázek 34 Lokomotiva 109E (autor obrázku VUKV a.s.)



Obrázek 35 Lokomotiva 109E (řada ČD 380 006-7) na malém zkušebním okruhu VUZ v Cerhenicích

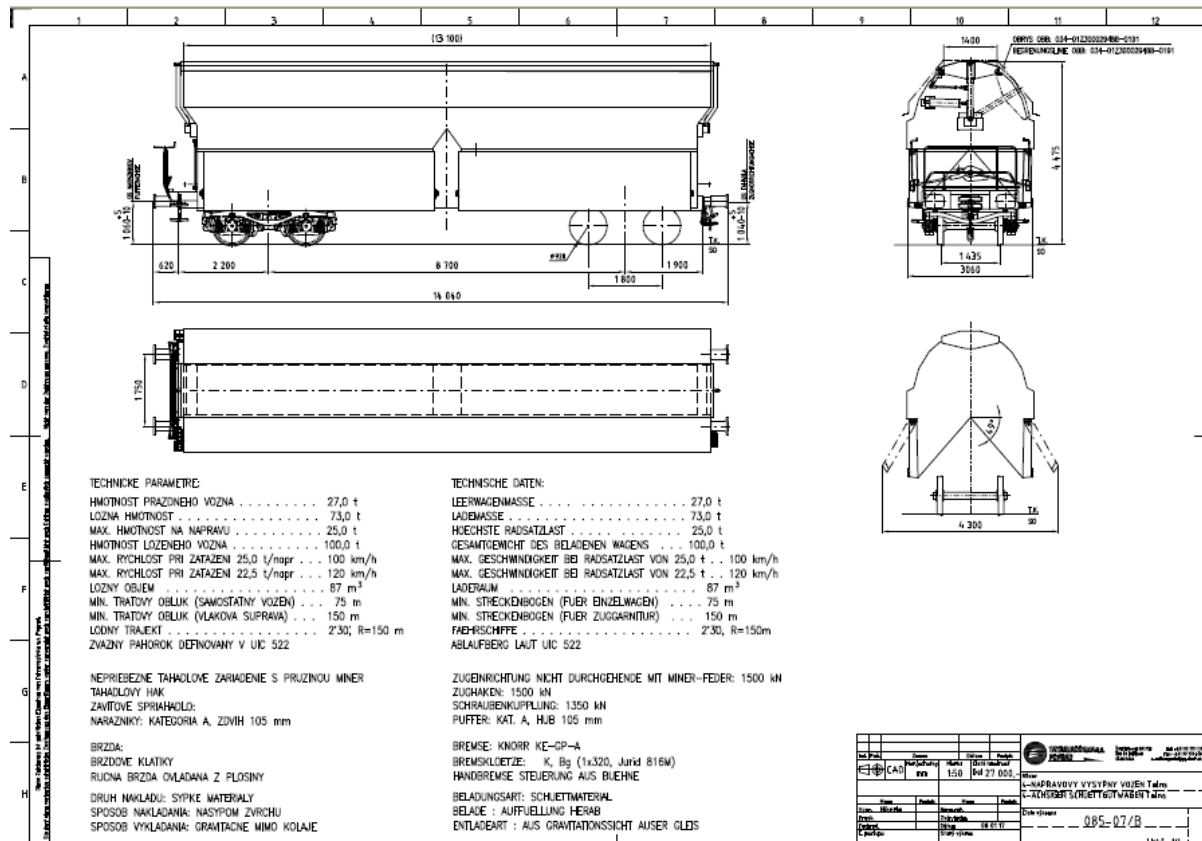
Základní technické údaje vozu Talns

Základní technické údaje vozu Talns jsou uvedené na typovém výkresu vozu:

Hmotnost prázdného/loženého vozu	27 t/100 t
Maximální provozní rychlost	120 km/h
Rozvor podvozku	1800 mm
Vzdálenost otočných čepů	8700 mm

Délka přes nárazníky
Průměr kol (nová)

14040 mm
920 mm



Obrázek 36 Typový výkres vozu Talns

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. Přešov – Prosenice

Výše uvedené úseky byly vybrány na základě požadavků platných pro ověřování jízdních vlastností vozidel při schvalování jejich nových typů. Využití změřených dat pro účely této práce bylo sekundární. Jízdní zkoušky vozidel byly prováděny podle metodiky ČSN EN 14363 a vyhlášky UIC 518:2009, kdy jsou mimo jiné měřeny hodnoty vzájemných silových účinků vozidla a koleje (jednotlivé veličiny viz tabulka 6 ČSN EN 14363). Vzorkovací frekvence byla v případě vozu Talns 250 Hz a v případě lokomotivy 109E 500 Hz. Pro hodnocení silových účinků vozidla se v této práci vychází z nefiltrovaného signálů z měřicích snímačů. Popis technologie měření a umístění snímačů je pro případ lokomotivy 109E uveden v technických zprávách z měření viz např. „Zpráva o zkoušce č. 11-C 010; Zkouška jízdních vlastností elektrické lokomotivy řady 380 ČD (typ Škoda 109E) na tratích SŽDC pro provozní rychlost 160 km/h“ ze dne 18.2.2011.

Směr působení	Vyhodnocovaná Veličina	
	označení	Jednotky
příčně	$Y_{1...4}$	kN
svisle	$Q_{1...4}$	kN
příčně + Svisle	Y/Q	-

Tabulka 20 Hodnocené veličiny silového působení vozidla

3.2. 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.

3.2.1. 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 užití, 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, mimo parametr rozchod koleje, kdy se objevily problémy s četnými zápornými odchylkami (v rozsahu do -3 mm). Vlivem opotřebení kolejnicových pásů tento problém v průběhu roku 2009 vymizel. Nad to zde byl v roce 2010 zřízen zkušební úsek s kolejnicovými mazníky typu Lubricurve50, které byly osazeny v km 96,398 a km 105,985. Níže uvedená tabulka 21 uvádí souhrn prvků směrového řešení konstantní křivosti, přičemž jejich délka je menší než jedenásobek traťové maximální rychlosti ($L_i \leq 1,0 \cdot V$).

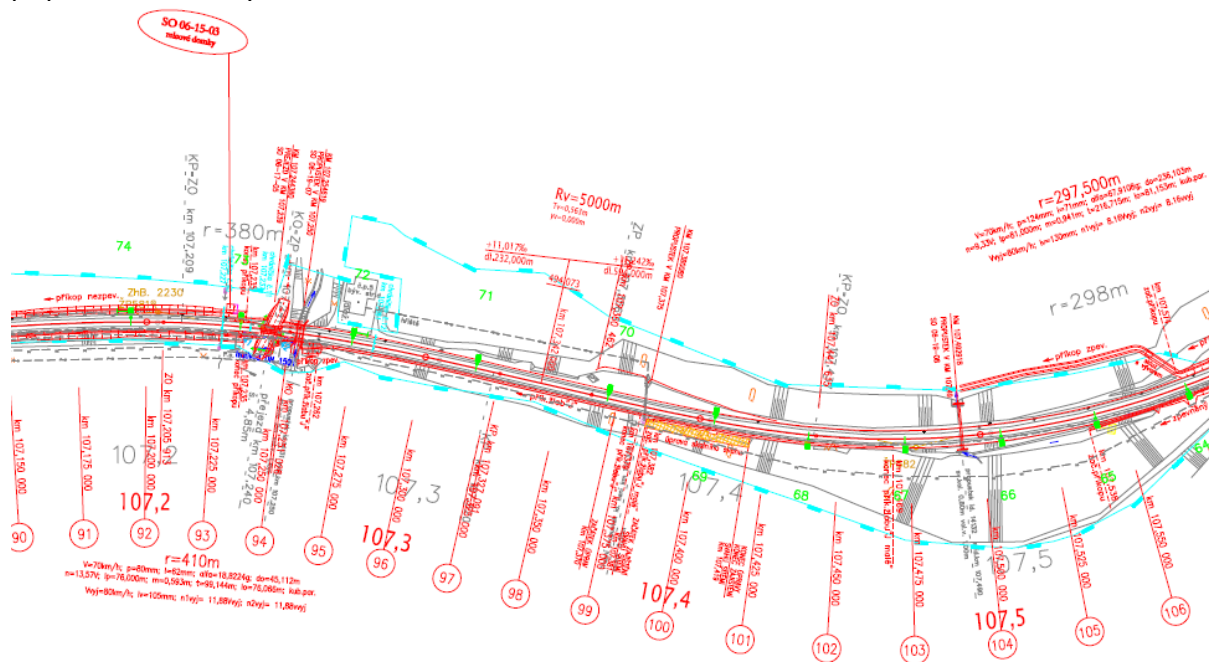
Tabulka 21 Výčet směrových prvků konstantní křivosti v traťovém úseku Letohrad - Lichkov

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

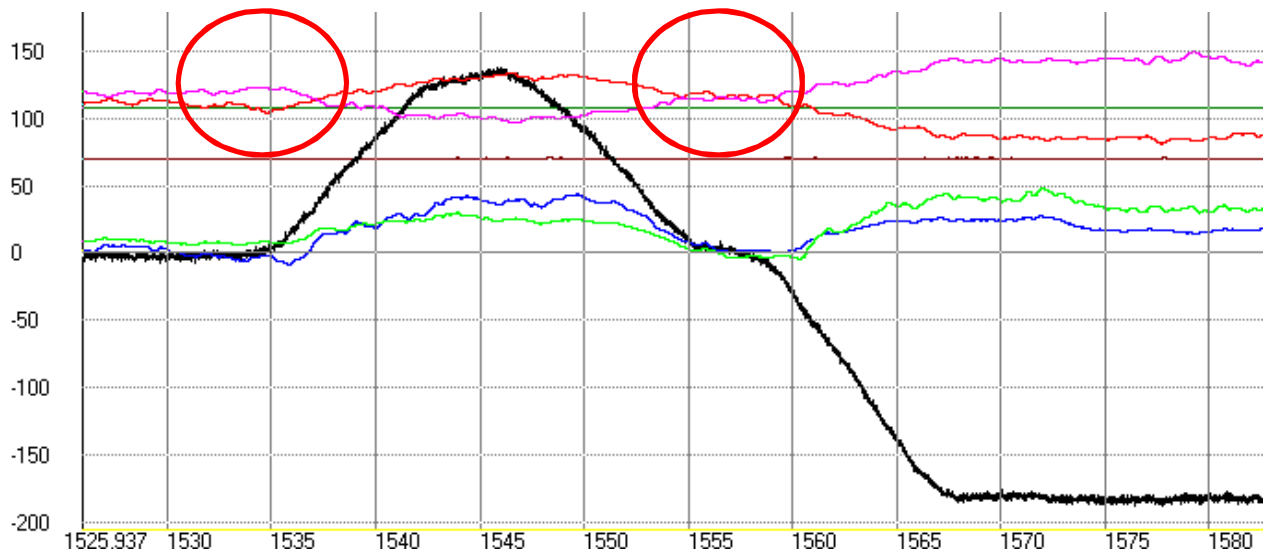
Dále budou uvedeny konkrétní případy hodnocení vlivu jednotlivých kombinací projektovaných parametrů GPK na silové působení vozidla v jednotlivých sledovaných úsecích.

Příklad 1

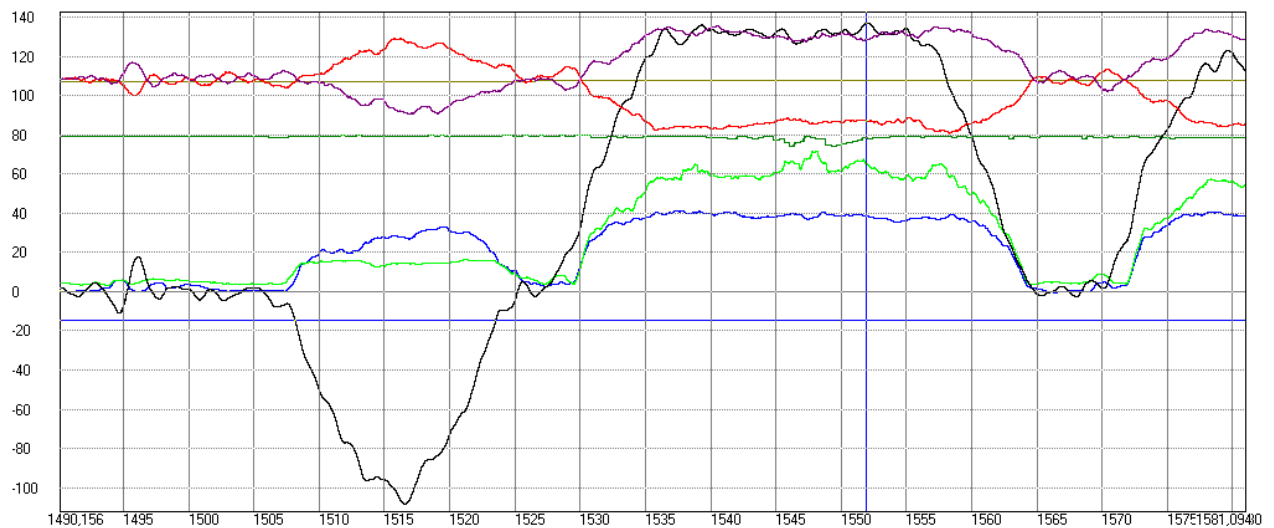
Z obrázku č. 38 v případě vozu Talns je patrná změna svislé kolové síly při přechodu mezi oblouky opačných směrů. Tato změna není plynulá s jednotným trendem. Změny velikostí kolových sil způsobují buzení příčného kývání vozidla. Zřetelněji se tento vliv projevuje v oblasti mezipřímé, nicméně se také projeví při přechodu z oblouku do přímé a to i při použití přechodnic. Z obrázku č. 39 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 vstoupnici (směrem klesajícího převýšení). Protože je tedy v jízdě podél vstoupnice 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 21.



Obrázek 37 Směrové poměry - mezipřímá délky 33 m (0,4.V) mezi oblouky opačných směrů s přechodnicemi, km 107,3



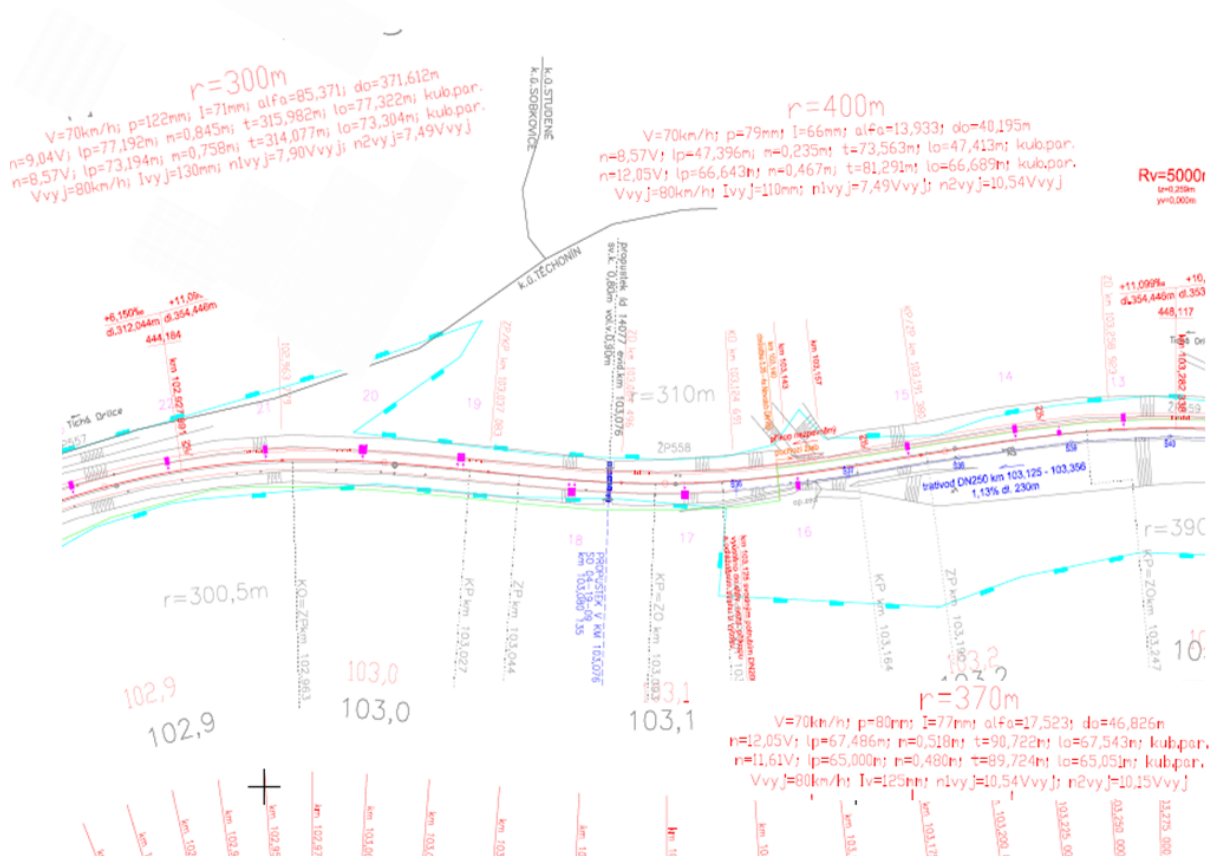
Obrázek 38 – Průběh kolových sil vozidla Talns, km 106,9 - km 107,9; Q_{11} - červená, Q_{12} fialová, Y_{11} - zelená, Y_{12} modrá, křivost osy koleje - černá; osa y: kolové síly [kN], osa x: čas [s];



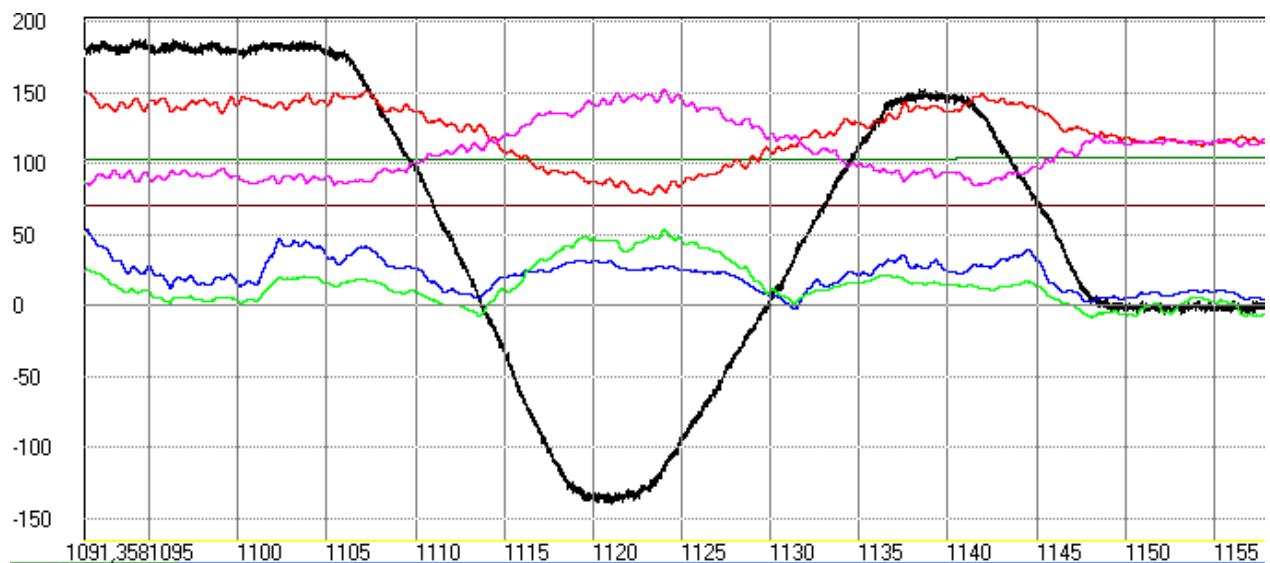
Obrázek 39 Průběh kolových sil vozidla 109E, km 106,9 - km 107,9; Q_{11} - červená, Q_{12} fialová, Y_{22} - zelená, Y_{21} modrá, křivost osy koleje - černá; osa y: kolové síly [kN], osa x: čas [s];

Příklad 2

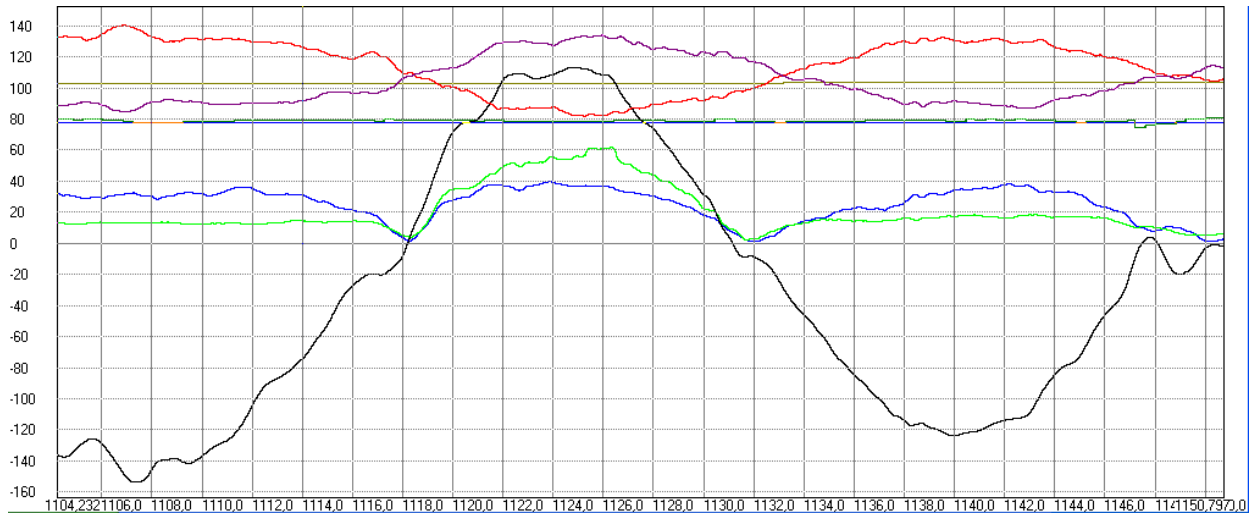
Následné obrázky č. 41 a č. 42 uvádějí situaci napojení přechodnic protisměrných oblouků bez mezipřímé – inflexní řešení. Z průběhu působení kolové síly je zřejmý její jednotný trend bez rušivých výchylek v případě obou vozidel.



Obrázek 40 Sled oblouků s navazujícími přechodnicemi bez mezipřímých $R = 300\text{ m}$; 400 m ; 370 m a $D = 122\text{ mm}$; $D = 79\text{ mm}$; $D = 80\text{ mm}$, km 103,0 – km 103,3



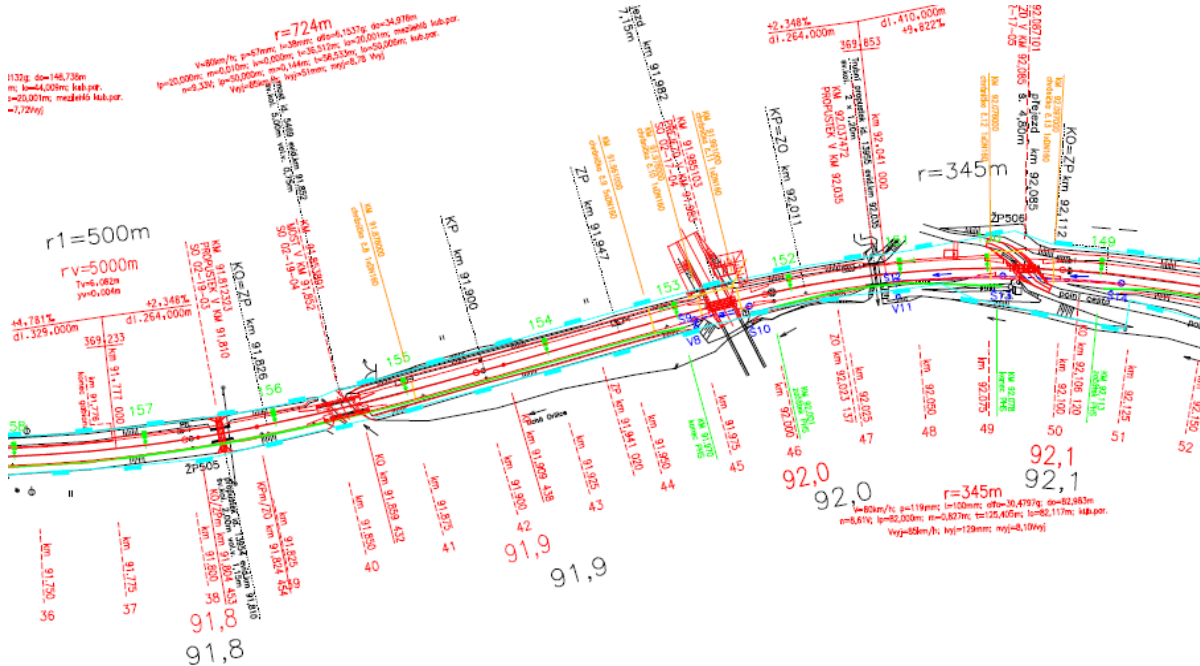
Obrázek 41 – Průběh kolových sil vozidla Talns, km 102,9 – km 103,4; Q_{11} – červená, Q_{12} fialová, Y_{11} – zelená, Y_{12} modrá, křivkost osy koleje - černá; osa y: kolové síly [kN], osa x: čas [s];



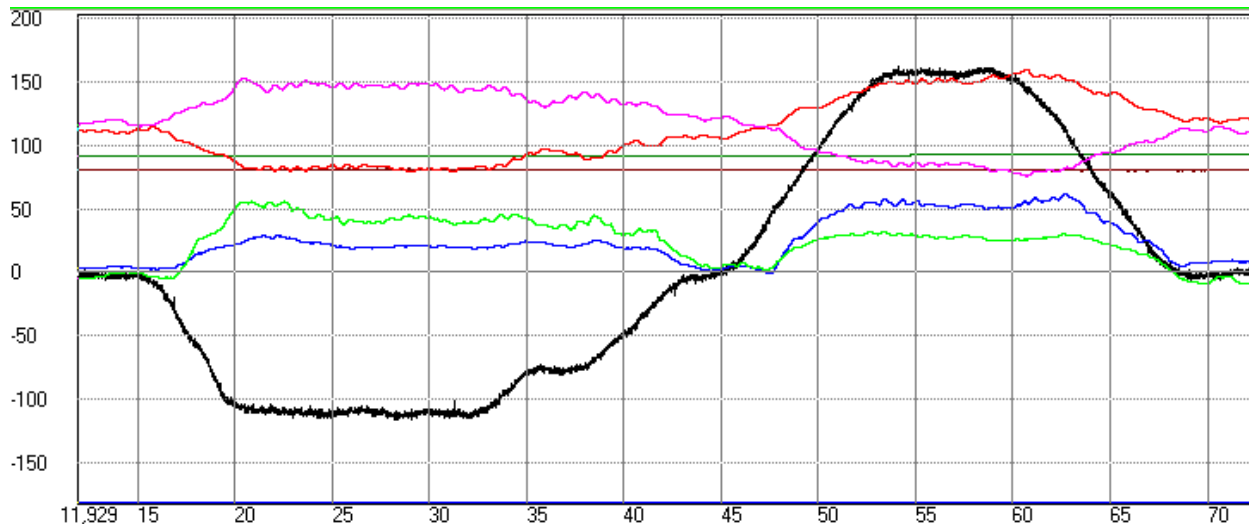
Obrázek 42 – Průběh kolových sil vozidla 109E, km 102,9 - km 103,4; Q_{11} - červená, Q_{12} fialová, Y_{22} - zelená, Y_{21} modrá, křivost osy koleje - černá; osa y: kolové síly [kN], osa x: čas [s];

Příklad 3

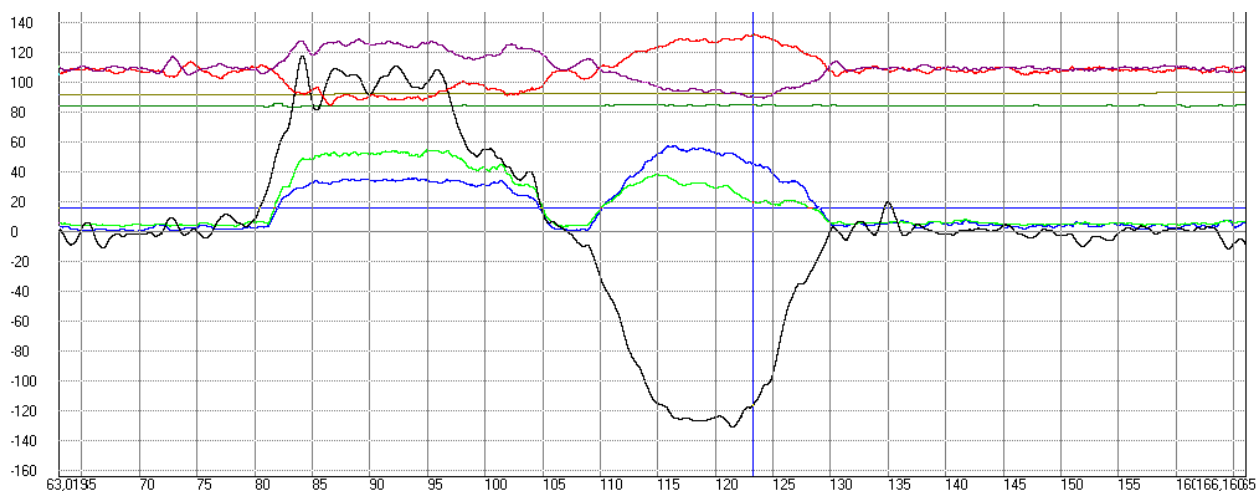
Obrázek č. 44 a č. 45 dokumentuje stejnou problematiku jako obrázek č.38 a 39. Míra vyvolané změny kolové síly souvisí s rychlostí úbytku a následného nárůstu převýšení v čase (dD/dt). Tyto obrázky dokumentují průběh příčných sil v situaci směrových poměrů popisovaných obrázkem č.43. Zajímavé je, že na velikosti příčných sil se vliv mezilehlé vstoupnice v případě vozidla Talns téměř neprojevil, v případě vozidla 109E je vliv mezilehlé přechodnice na snížení příčných sil patrný (mezilehlá přechodnice s vstoupnicí je patrná z průběhu křivosti – modrá barva). Z obrázku č.44 a obrázku č.45 je dále patrné, že na mezipřímé mezi přechodnicemi k žádnému zásadnímu kmitání v tomto případě nedošlo. Průběhy příčných sil mají pro vozidla Talns a 109E velmi podobný charakter.



Obrázek 43 Sled oblouků s mezipřímou délky 31 m, $R = 724$ m, $D = 67$ mm; $R = 345$ m; km 91,8 – km 92,2



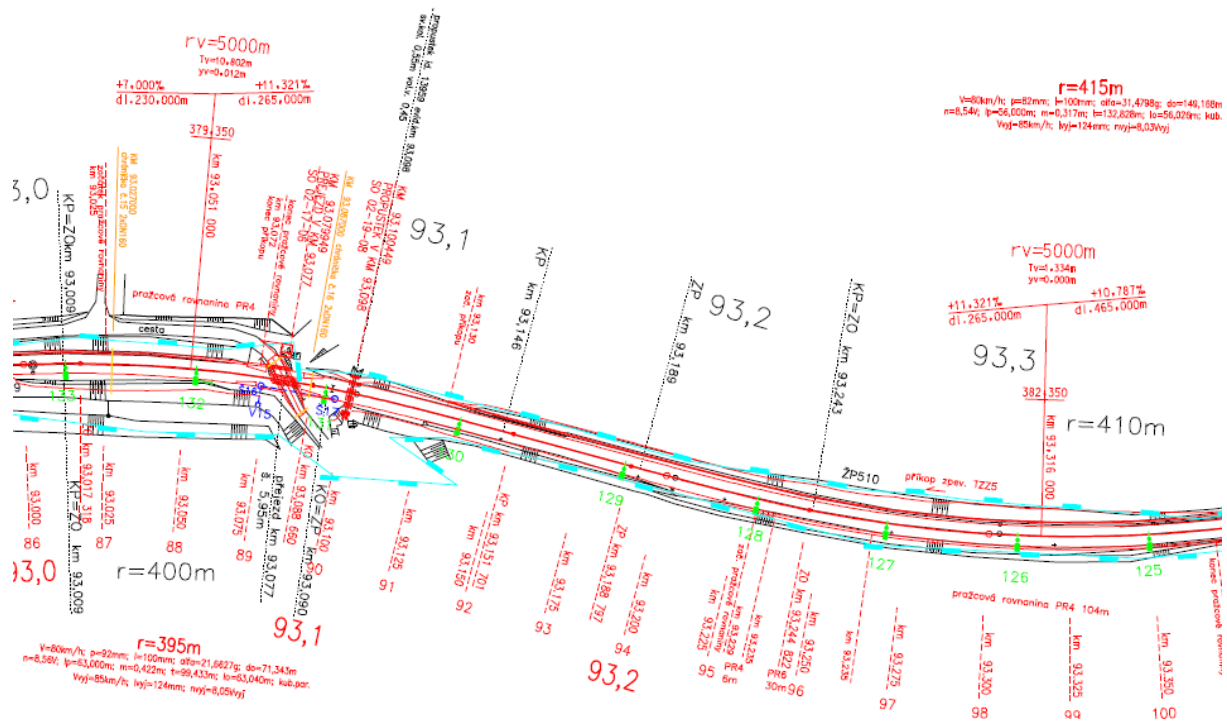
Obrázek 44 - Průběh kolových sil vozidla Talns, km 91,8 – km 92,2; Q_{11} - červená, Q_{12} fialová, Y_{11} - zelená, Y_{12} modrá, křivost osy koleje - černá; osa y: kolové síly [kN], osa x: čas [s];



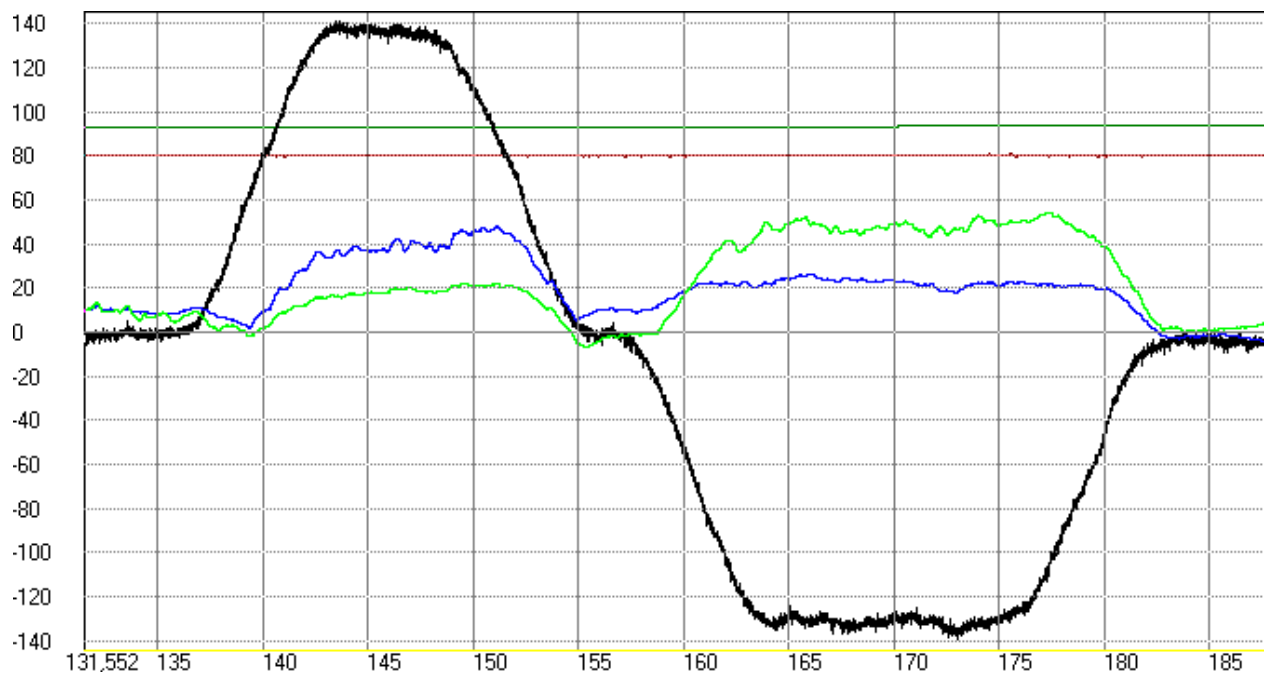
Obrázek 45 - Průběh kolových sil vozidla 109E, km 91,8 – km 92,2; Q_{11} - červená, Q_{12} fialová, Y_{22} - zelená, Y_{21} modrá, křivost osy koleje - černá; osa y: kolové síly [kN], osa x: čas [s];

Příklad 4

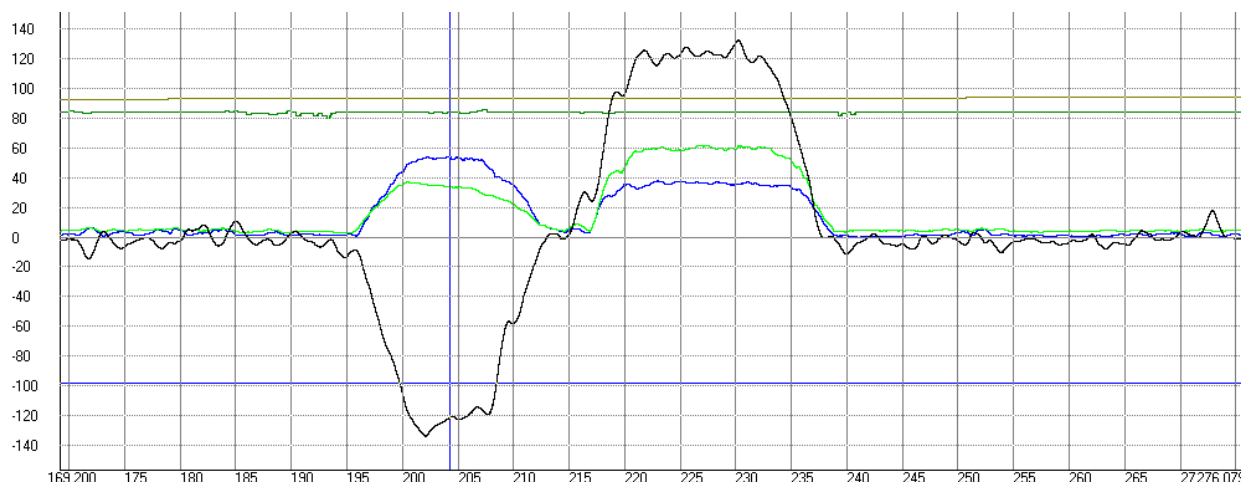
Obrázek č. 46 zobrazuje podobné směrové poměry jako na obrázku č. 43. Je patrné, že v případě vozu Talns je průběh poklesu příčných sil bez výrazného kmitání. Je patrné, že v případě vozidla 109E (obrázek 48) dochází k narušení jednotného charakteru průběhu poklesu příčných sil. K tomuto narušení stejného charakteru dochází i v případě následujících mezipřímých (např. km 97,3; km 98,0; km 99,9; km 101,3; km 103,7; km 104,8)



Obrázek 46 Sled oblouků s mezipřímou délkou 38 m $R = 395$ m, $D = 92$ mm; $R = 415$ m, $D = 82$ mm; km 93,0 – km 93,4



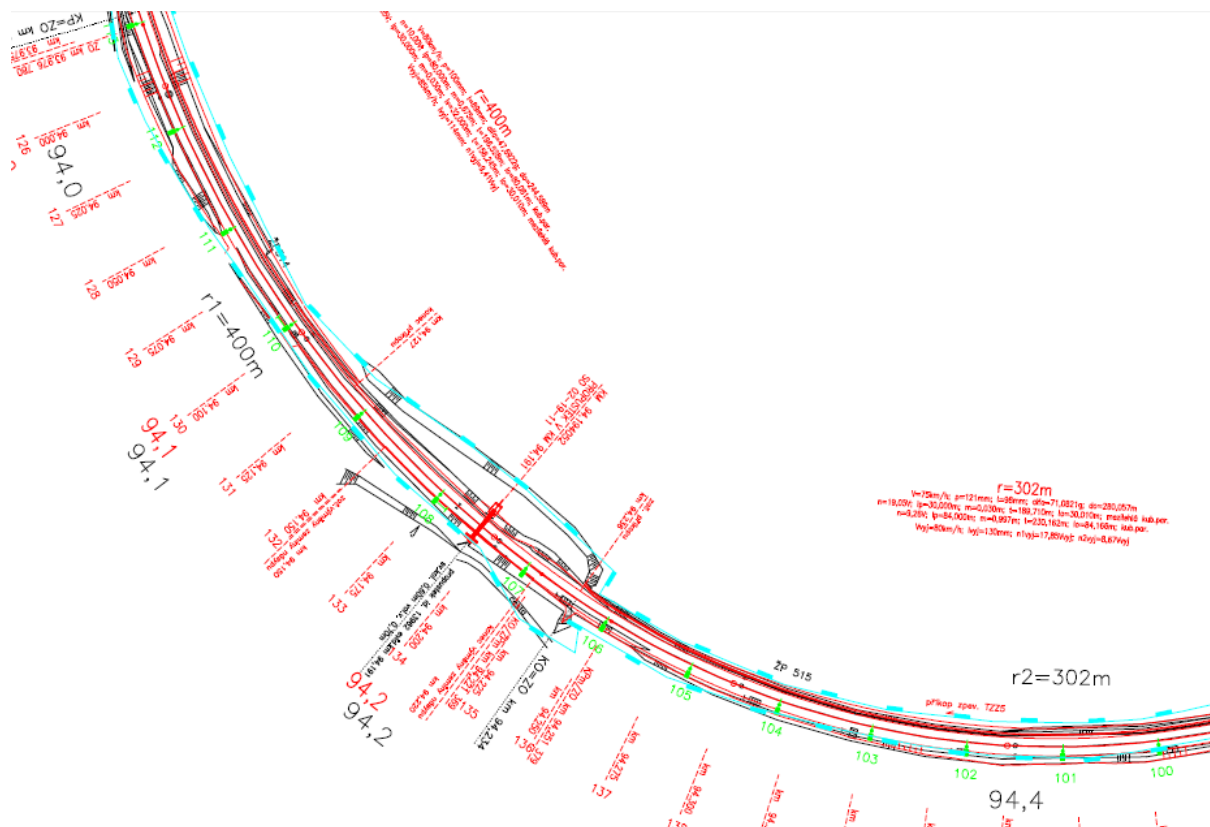
Obrázek 47 - Průběh kolových sil vozidla Talns, km 92,9 – km 93,5; Y_{11} - zelená, Y_{12} modrá, křivost osy koleje - černá; osa y: kolové síly [kN], osa x: čas [s];



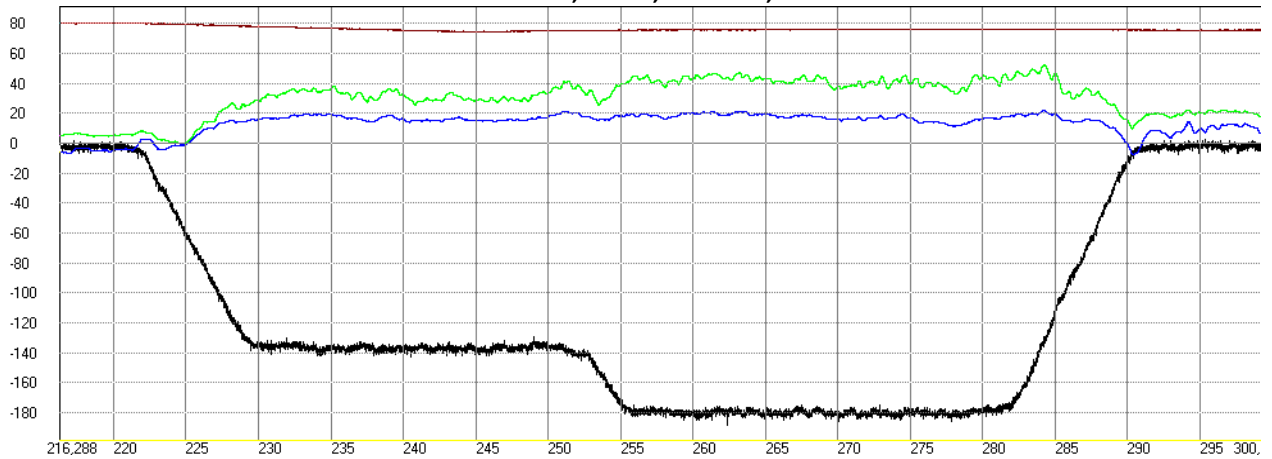
Obrázek 48 Průběh vodících sil vozidla 109E, km 92,9 - km 93,5; Y_{22} - zelená, Y_{21} modrá, křivost osy koleje - černá; osa y: kolové síly [kN], osa x: čas [s];

Příklad 5

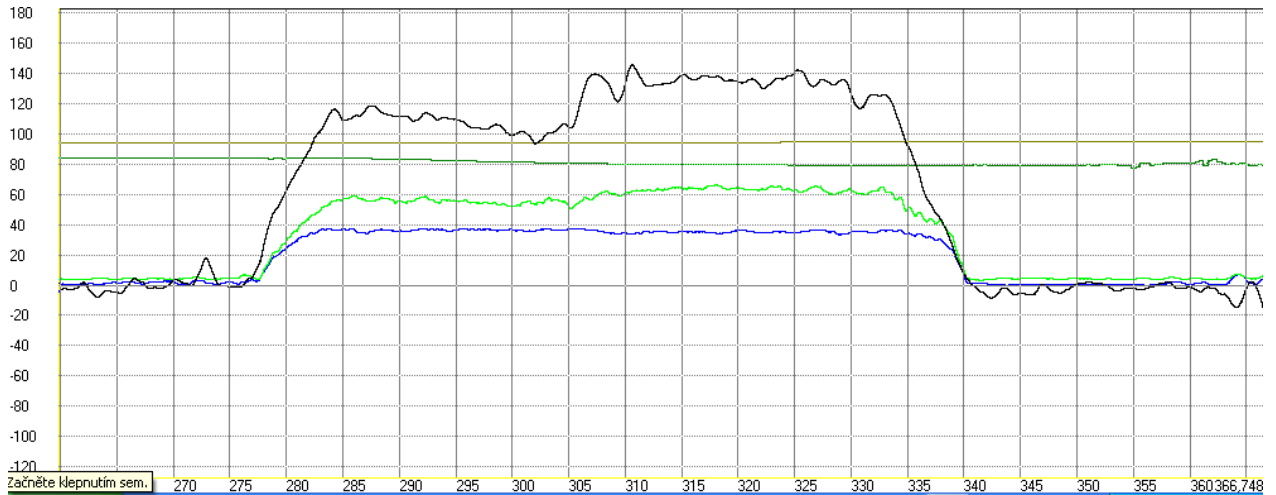
Obrázek č. 50 a obrázek č. 51 dokumentuje funkčnost mezilehlé přechodnice s vzestupnicí, kdy se zde průběh sil mění bez výrazných výchylek, zřejmě z důvodu malého rozdílu mezi absolutními hodnotami velikostí příčných sil. Pro případ vozu Talns jsou hodnoty průměrných příčných sil v první části oblouku při $I = 88$ mm je $Y_{22} = 32$ kN a $Y_{21} = 16$ kN a v druhé části oblouku při $I = 99$ mm je $Y_{22} = 40$ kN a $Y_{21} = 20$ kN. Pro případ vozidla 109E jsou hodnoty průměrných příčných sil v první části oblouku při $I = 100$ mm $Y_{22} = 56$ kN a $Y_{21} = 36$ kN a v druhé části oblouku při $I = 133$ mm $Y_{22} = 63$ kN a $Y_{21} = 35$ kN.



Obrázek 49 Sled stejnosměrných oblouků s vloženou vzestupnicí $R = 400$ m, $D = 100$ mm; $R = 302$ m, $D = 121$ mm; km 94,0 – km 94,5



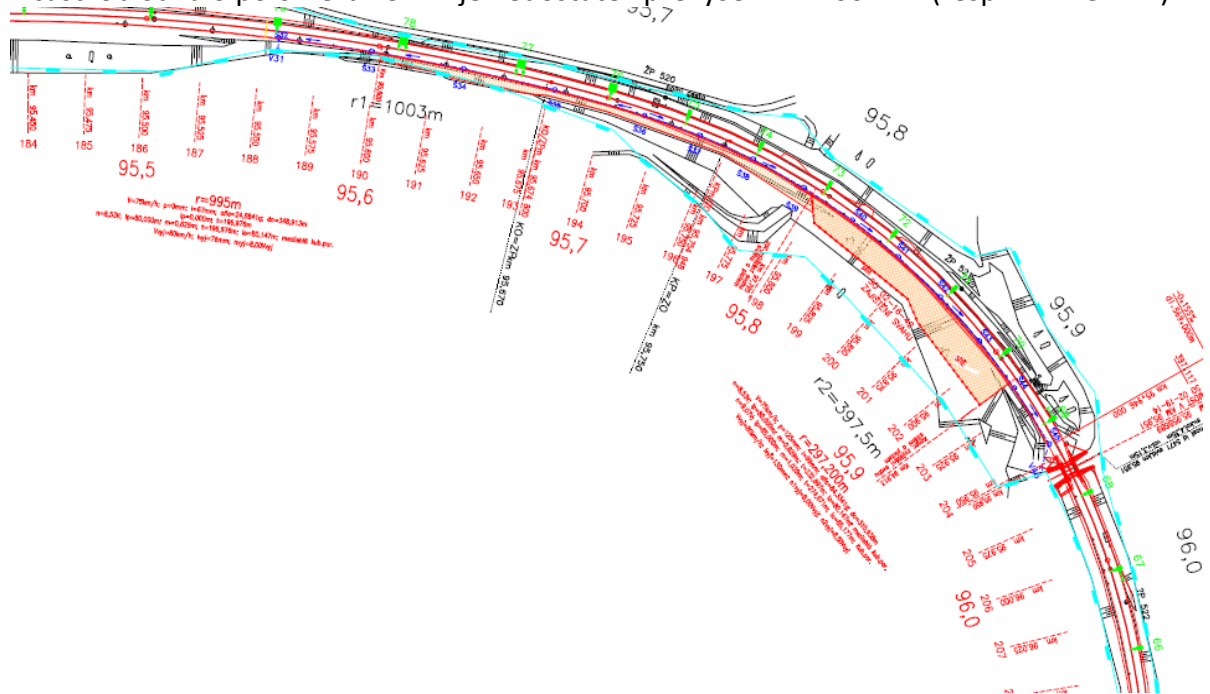
Obrázek 50 - Průběh kolových sil vozidla Talns, km 94,0 - km 94,5; Y_{11} - zelená, Y_{12} modrá, křivost osy koleje - černá; osa y: kolové síly [kN], osa x: čas [s];



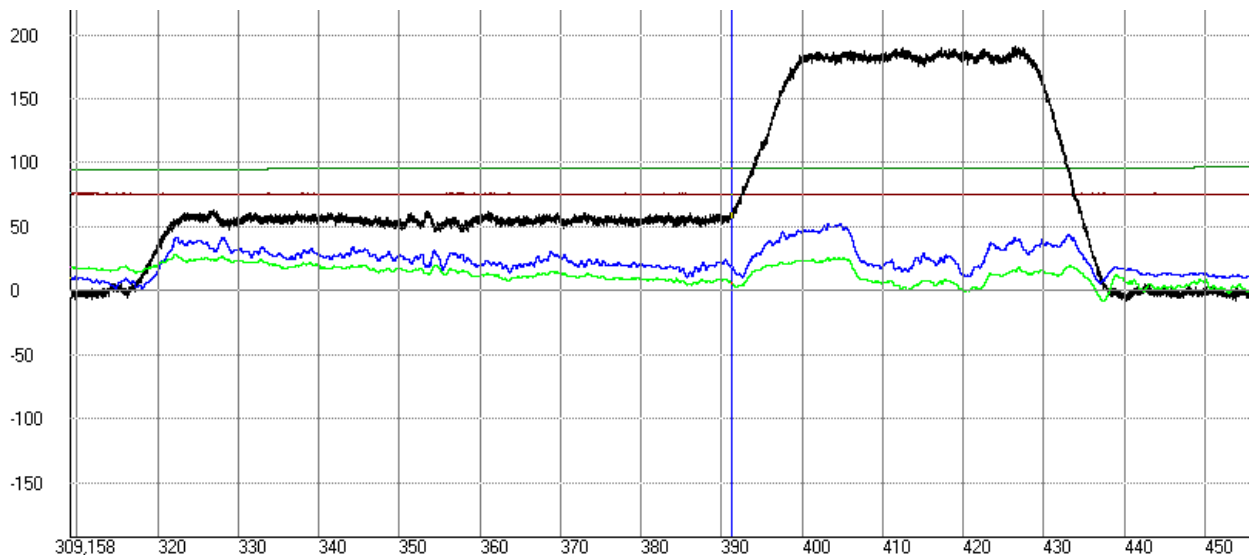
Obrázek 51 síly Průběh vodících sil vozidla 109E, km 94,0 - km 94,5; Y_{22} - zelená, Y_{21} modrá, křivost osy koleje - černá; osa y: kolové síly [kN], osa x: čas [s];

Příklad 6

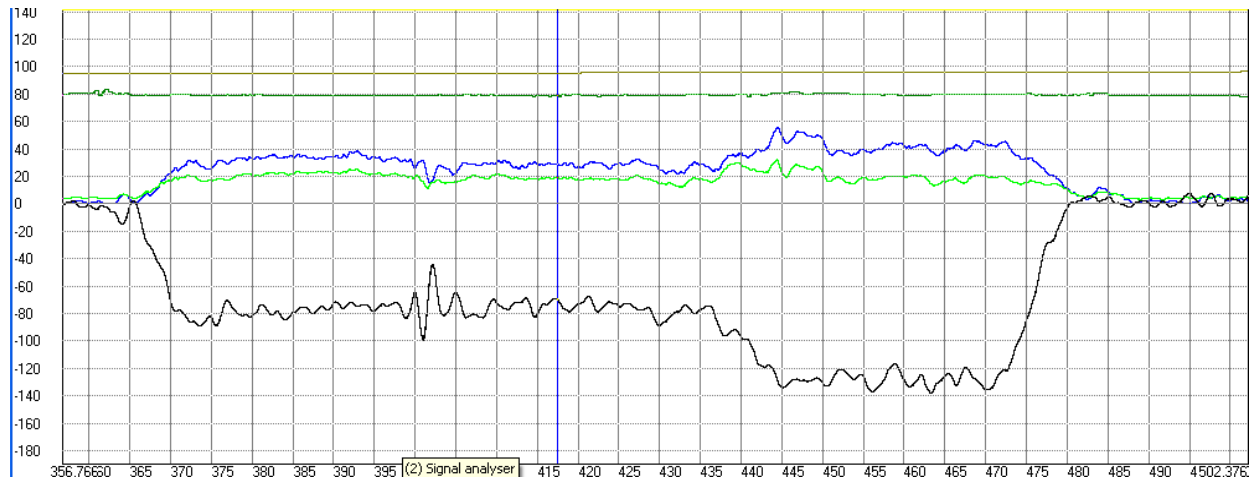
Na obrázku č. 52 je zobrazen složený oblouk ve kterém dochází k nárůstu příčné síly ve vzestupnici poněkud méně vyrovnaně (viz obr. 53, 54). V části složeného oblouku s poloměrem 995 m je nedostatek převýšení pro Talns (resp. 109E) 67 mm (resp. 70 mm) a v části oblouku o poloměru 297 m je nedostatek převýšení $I = 100$ mm (resp. $I = 125$ mm).



Obrázek 52 Sled stejnosměrných oblouků s vloženou vzestupnicí $R = 995$ m, $D = 0$ mm; $R = 297$ m, $D = 125$ mm; km 95,5 – km 96,0



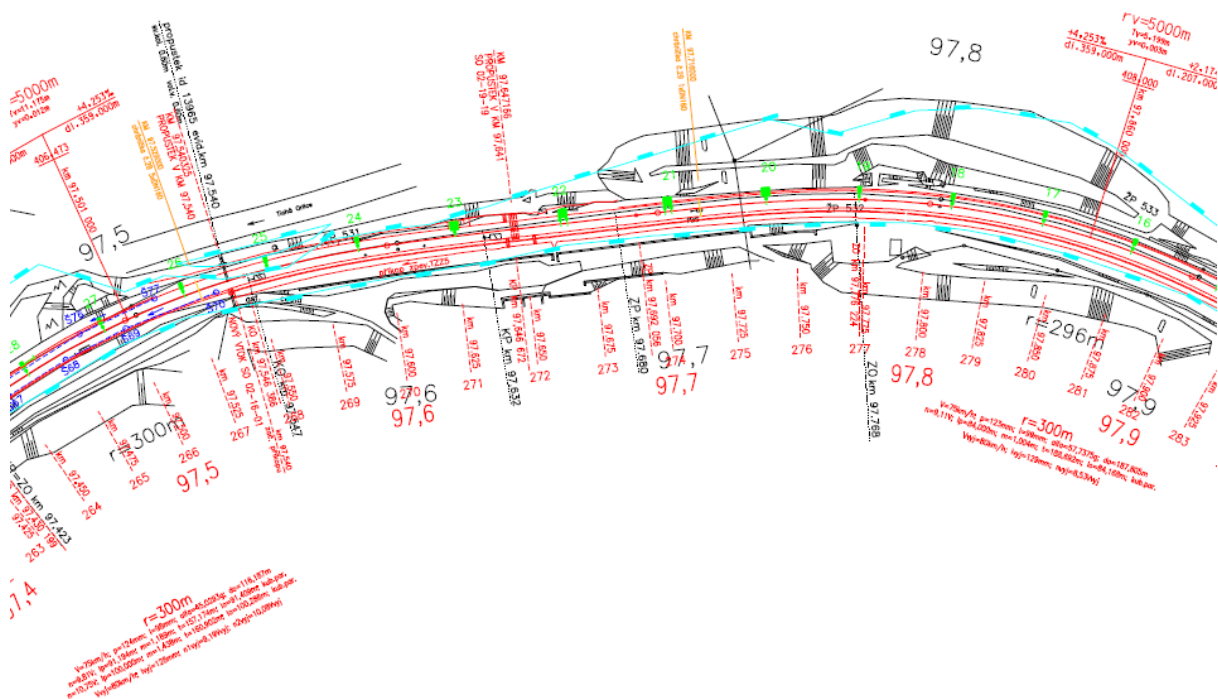
Obrázek 53 - Průběh kolových sil vozidla Talns, km 95,0 - km 96,3; Y_{11} - zelená, Y_{12} modrá, křivost osy koleje - černá; osa y: kolové síly [kN], osa x: čas [s];



Obrázek 54 Průběh vodičích sil vozidla 109E, km 95,0 - km 96,3; Y_{22} - zelená, Y_{21} modrá, křivost osy koleje - černá; osa y: kolové síly [kN], osa x: čas [s];

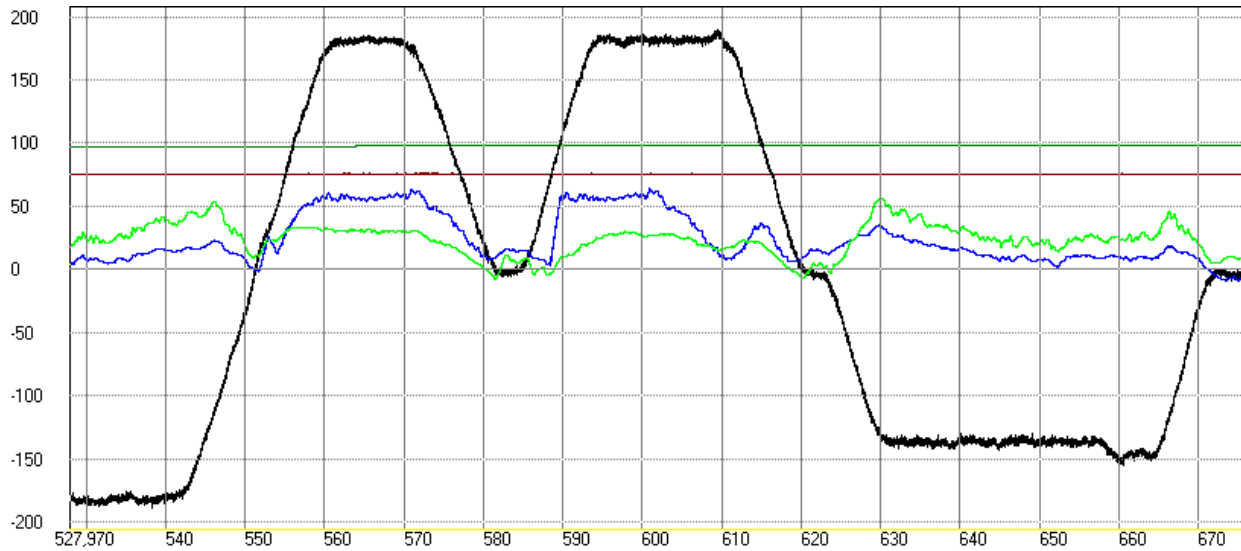
Příklad 7

Obrázek č. 55 zachycuje dva oblouky stejného směru mezi nimiž je 46 m dlouhá mezipřímá. V případě vozu Talns (obrázek č.56) se zde vyskytuje netypický nárůst příčné síly na druhé vzestupnici ($n = 9,11V$). Nedostatek převýšení v prvním oblouku $I = 98$ mm a nedostatek převýšení v druhém oblouku je $I = 99$ mm. V případě vozidla 109E (obrázek 57) je nárůst/pokles příčných sil plynulý.

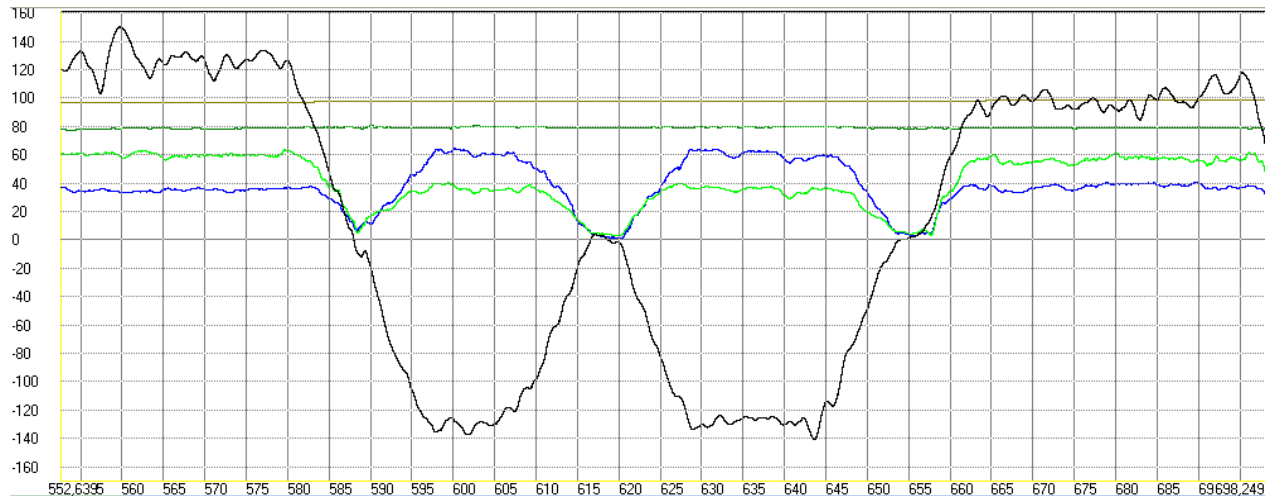


Obrázek 55 Sled oblouků stejných směrů s mezipřímou délky 46 m; km 97,4 – km 97,9

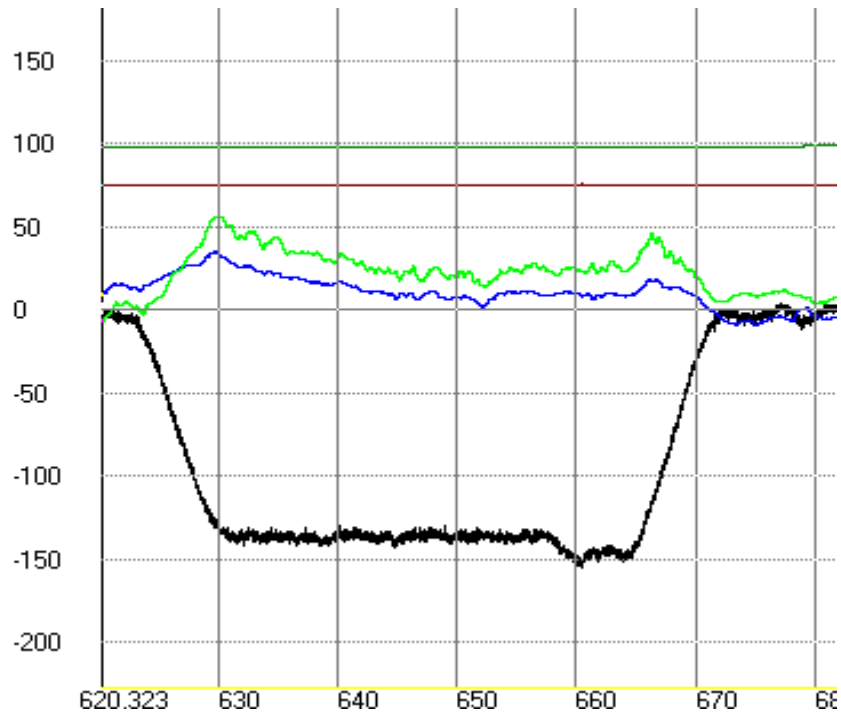
Požadavky na projektovaný a provozní stav geometrických parametrů koleje ve vztahu k vzájemnému silovému působení vozidla a koleje



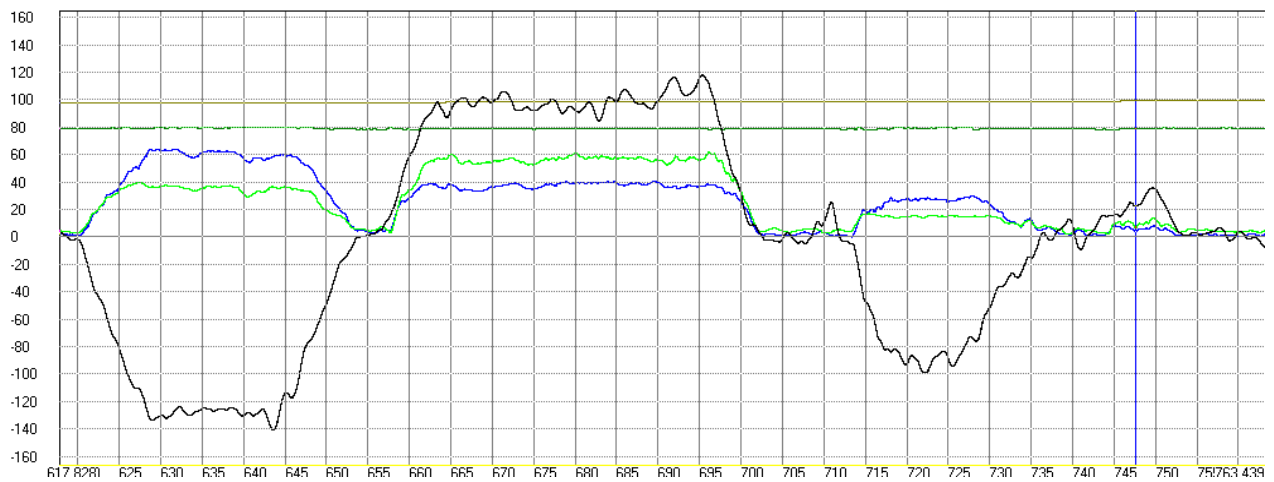
Obrázek 56 - Průběh kolových sil vozidla Talns, km 97,3 – km 98,2; Y_{11} - zelená, Y_{12} modrá, křivost osy koleje - černá; osa y: kolové síly [kN], osa x: čas [s];



Obrázek 57 Průběh vodících sil vozidla 109E, km 97,0 - km 98,5; Y_{22} - zelená, Y_{21} modrá, křivost osy koleje - černá; osa y: kolové síly [kN], osa x: čas [s];



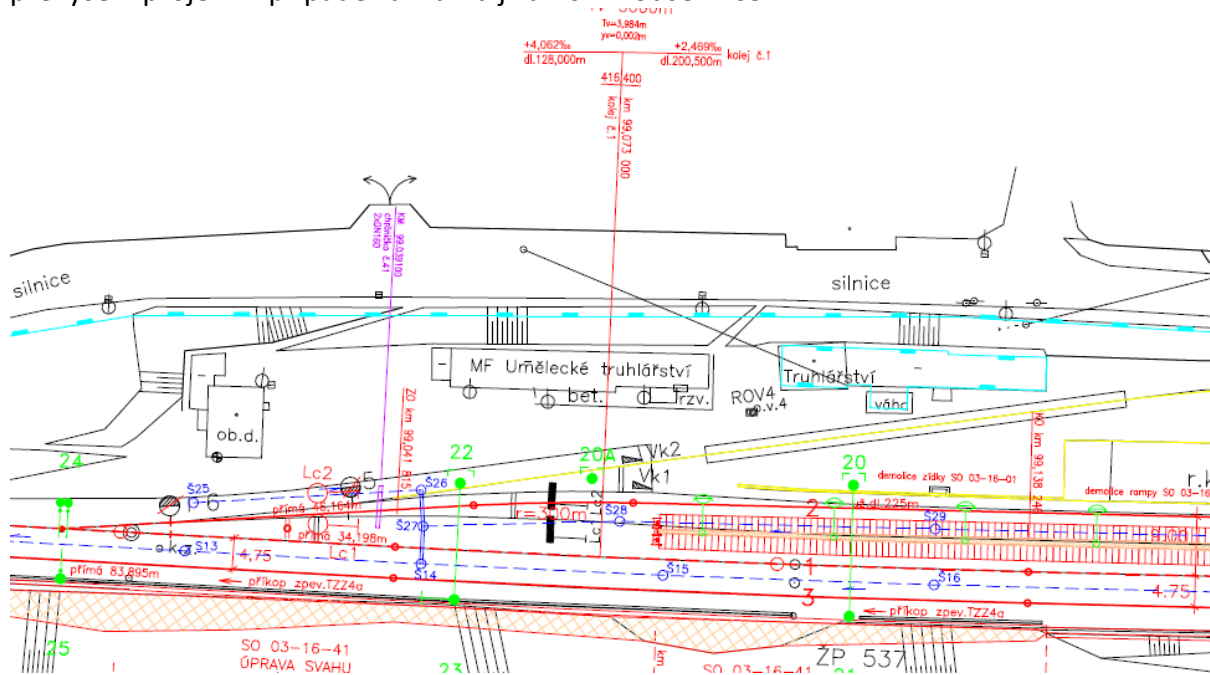
Obrázek 59 - Průběh kolových sil vozidla Talns, km 98,1 - 98,7; Y_{11} - zelená, Y_{12} modrá, křivost osy koleje - černá; osa y: kolové síly [kN], osa x: čas [s];



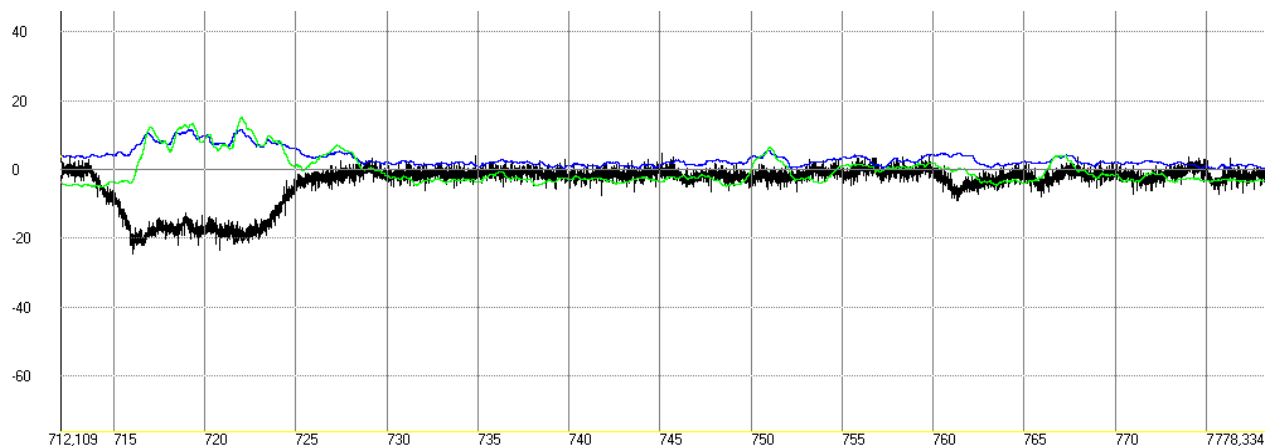
Obrázek 60 Průběh vodících sil vozidla 109E, km 97,7 - km 99,0; Y_{22} - zelená, Y_{21} modrá, křivost osy koleje - černá; osa y: kolové síly [kN], osa x: čas [s];

Příklad 9

Obrázek č.61 (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.

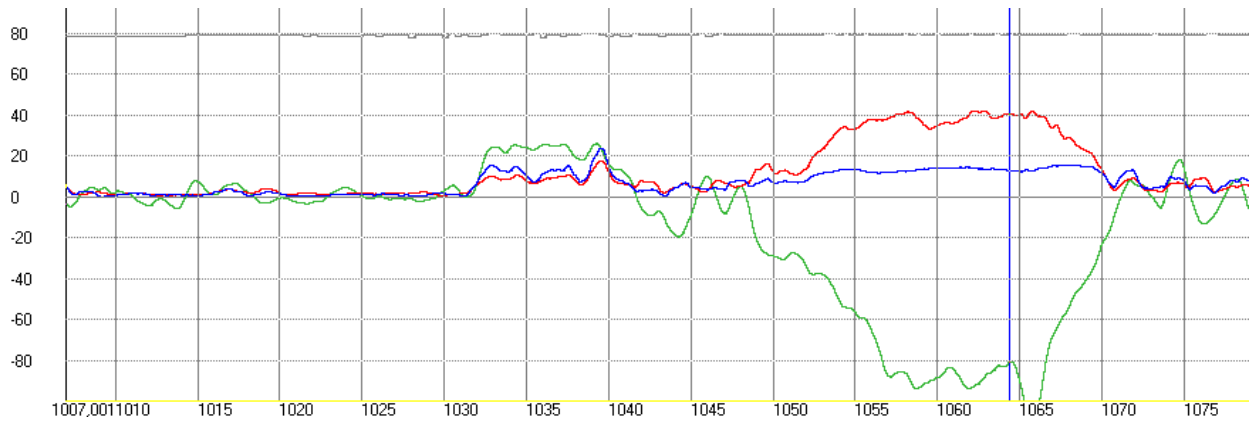


Obrázek 61 Směrový oblouk bez přechodnic $R = 3250$, $d_o = 96$ m žst. Jablonné nad Orlicí km 99,1



Obrázek 62 - 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];

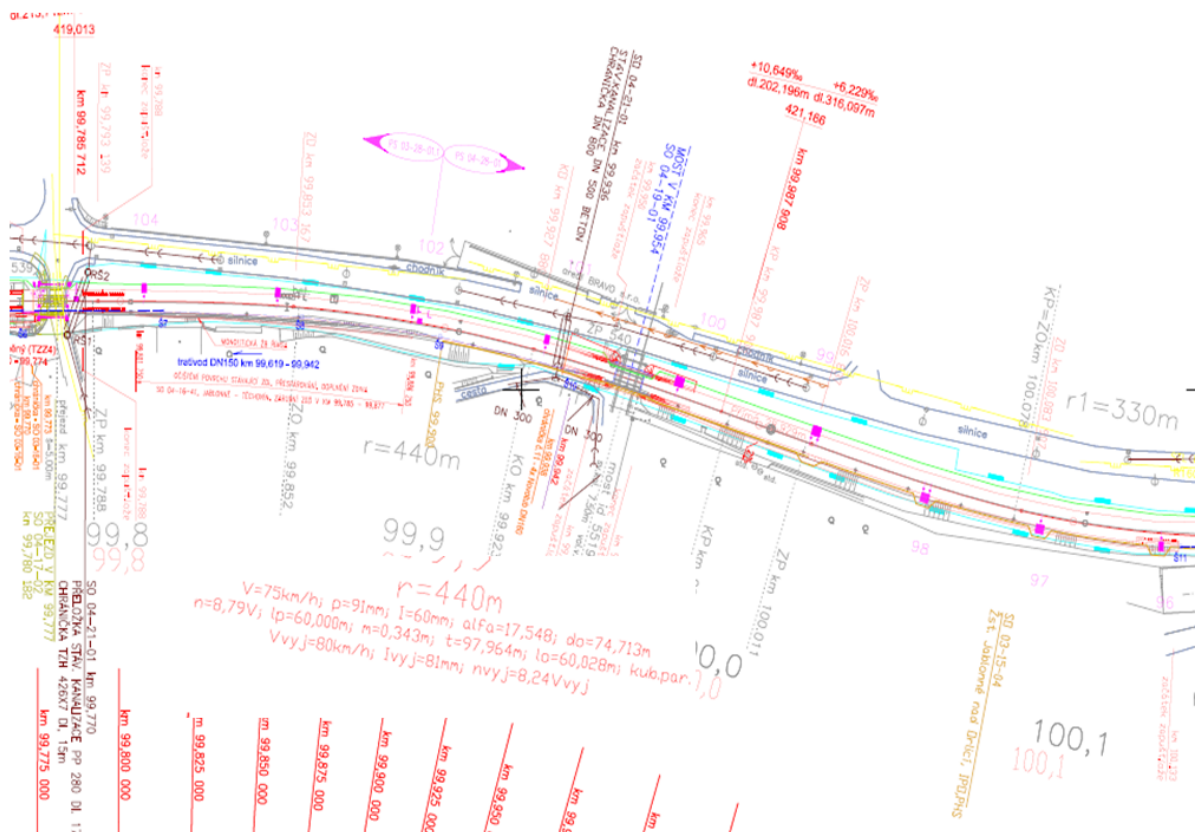
Požadavky na projektovaný a provozní stav geometrických parametrů koleje ve vztahu k vzájemnému silovému působení vozidla a koleje



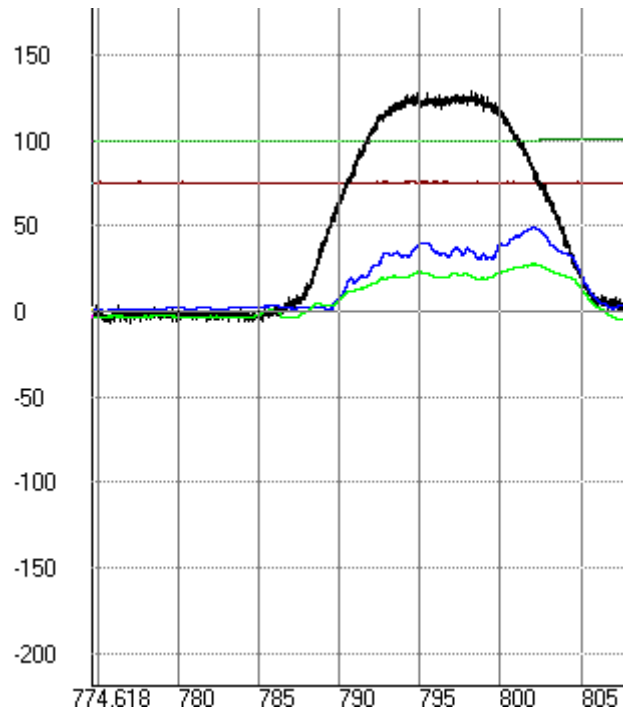
Obrázek 63 Průběh vodících sil vozidla 109E, km 98,7 - km 99,3; Y22 - zelená, Y21 modrá, křivost osy koleje - černá; osa y: kolové síly [kN], osa x: čas [s];

Příklad 10

Na obrázku č.65 (Talns) je znázorněn průběh příčných sil, který je zřejmě ovlivněn vyšší tuhostí koleje v zapuštěném kolejovém loži na mostě, kdy ve výstupní přechodnici dochází ke značnému zvětšení příčné síly nabíhajícího kola dvojkolí. Rychlost v daném úseku byla konstantní. V případě vozidla 109E se toto zvýšení příčné síly projevilo v relativně menší míře (není vyobrazeno).



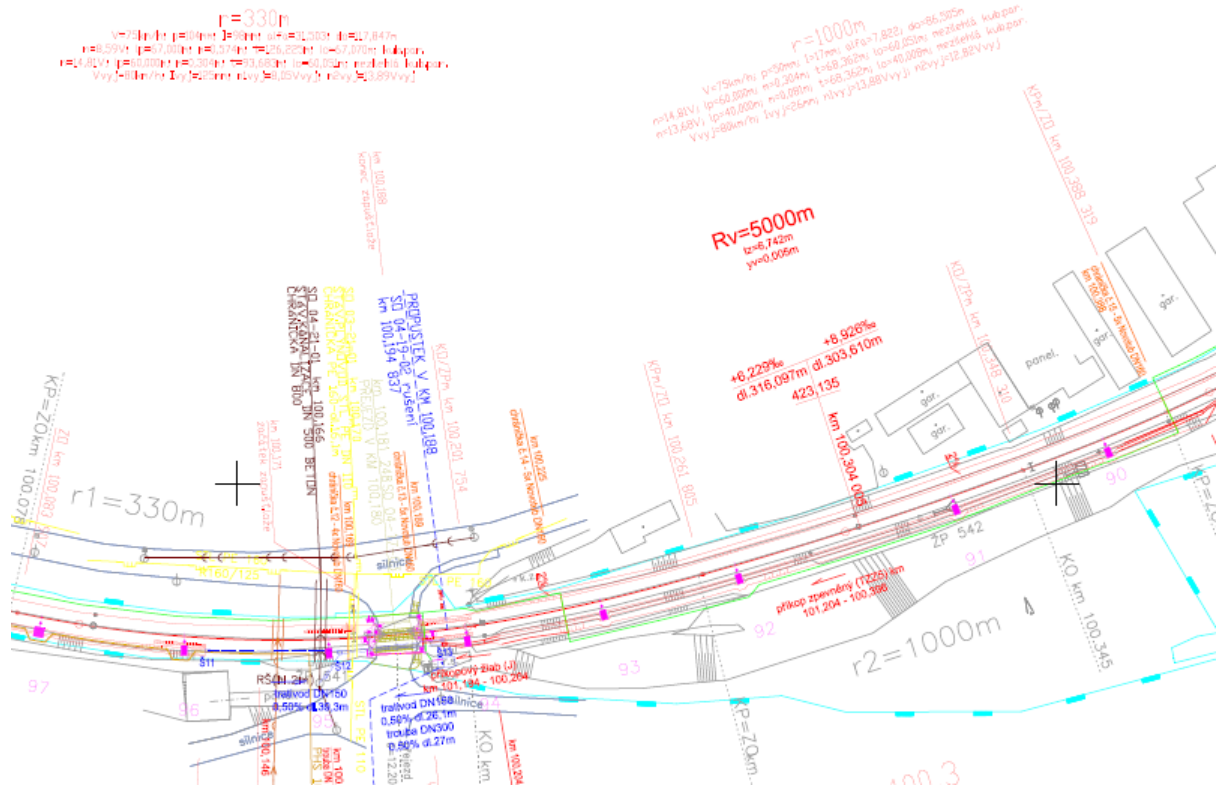
Obrázek 64 Situace protisměrných oblouků km 99,8 - 100,1



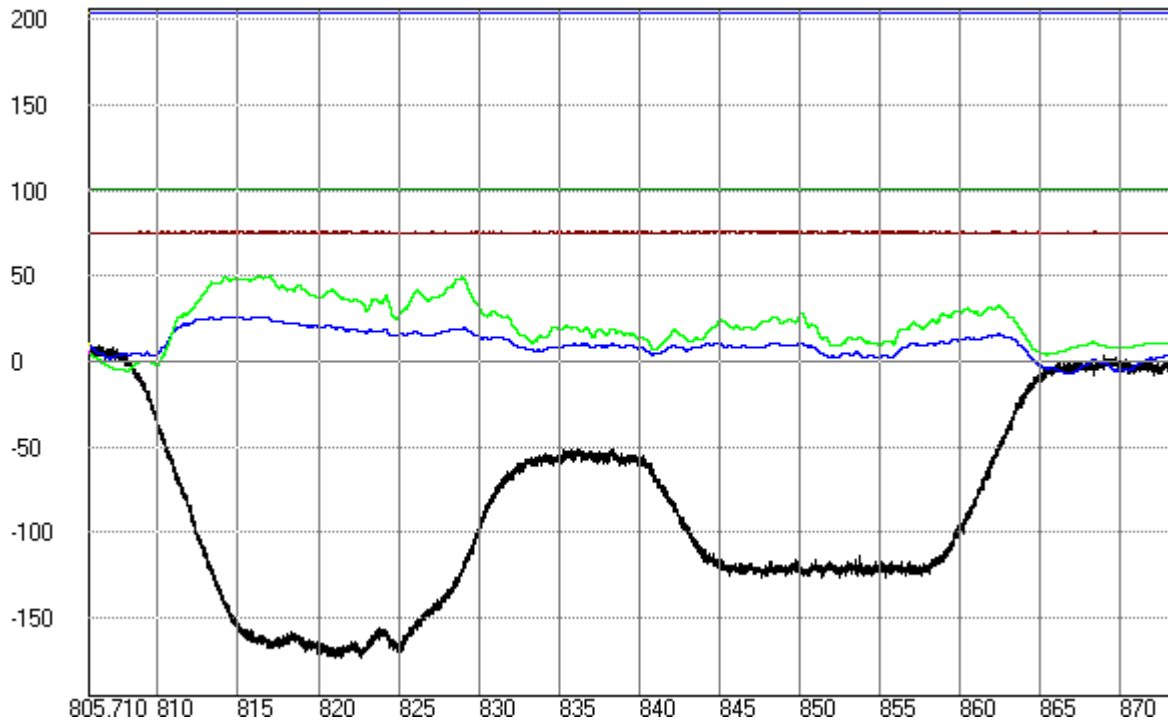
Obrázek 65 - Průběh kolových sil vozidla Talns, km 99,8 - 100,1; Y_{11} - zelená, Y_{12} modrá, křivost osy koleje - černá; osa y: kolové síly [kN], osa x: čas [s];

Příklad 11

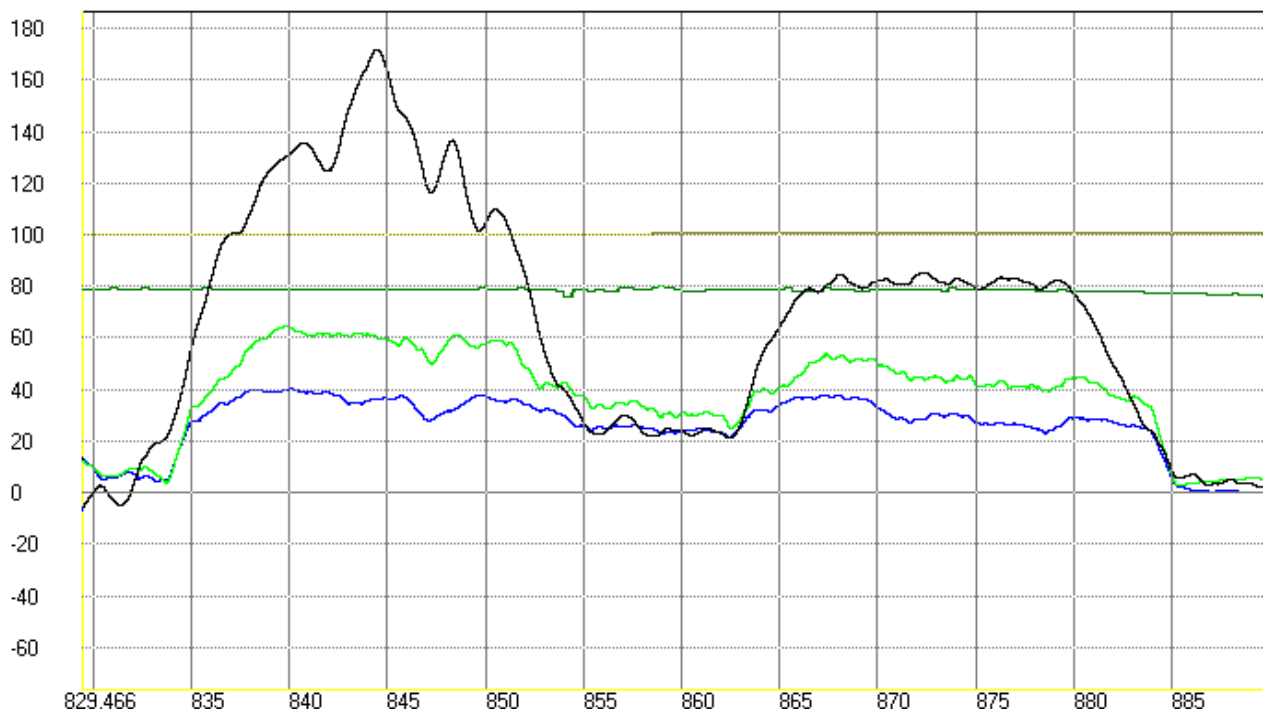
Na obrázku č.67 (Talns) lze sledovat typické zvětšení příčných sil při výjezdu vozidla z oblouku v přechodnici. Nenaplnuje se předpoklad, že s klesající křivostí osy koleje by měly i plynule klesat příčné síly. Obrázek č.68 (109E) zobrazuje stejný případ s tím, že je zelenou místo křivosti vyznačen průběh nedostatku převýšení, který má odpovídající průběh vzhledem k příčným silám. Podle záznamu MV se odchylky GPK v parametru *PKD* ani *SL*, *SP* s touto charakteristikou nemění. Tento jev se vyskytuje u oblouků délky 100 m a větší.



Obrázek 66 Složený oblouk km 100,1 - 100,6



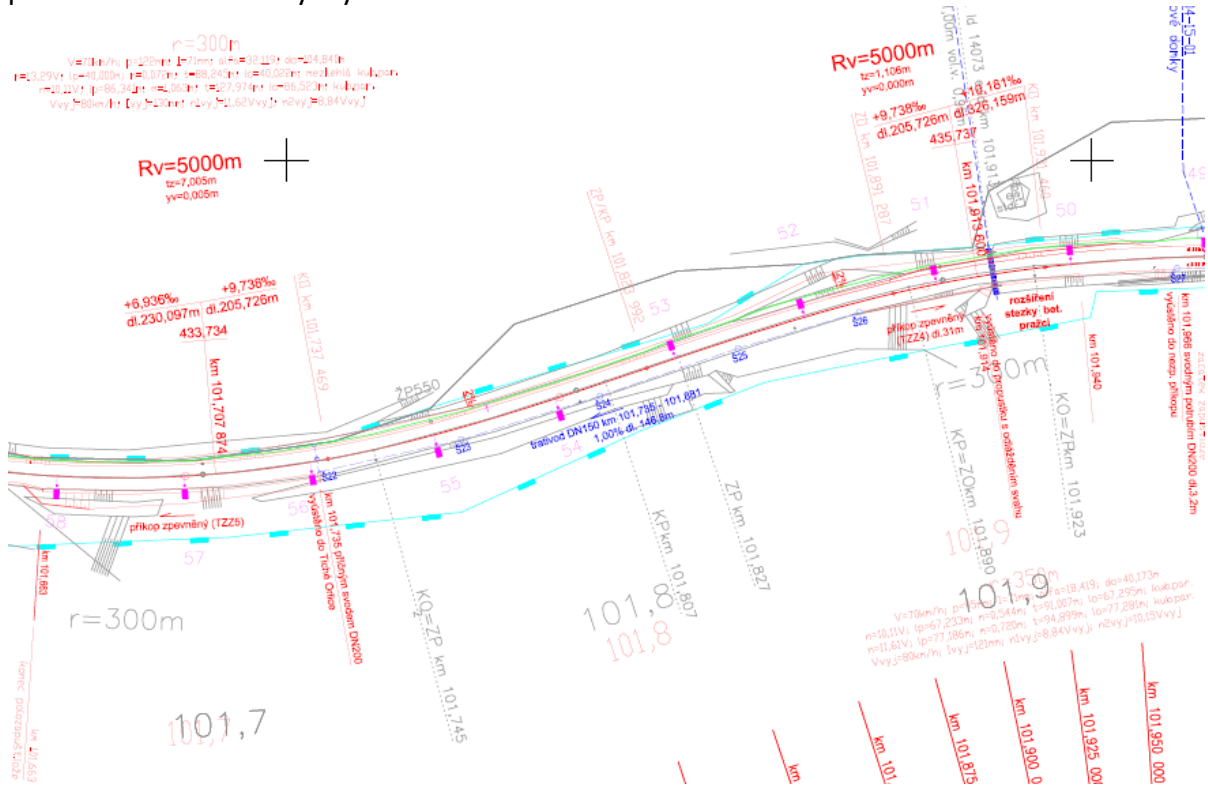
Obrázek 67 - Průběh kolových sil vozidla Talns, km 100,1 - 100,6; Y_{11} - zelená, Y_{12} modrá, křivost osy koleje - černá; osa y: kolové síly [kN], osa x: čas [s];



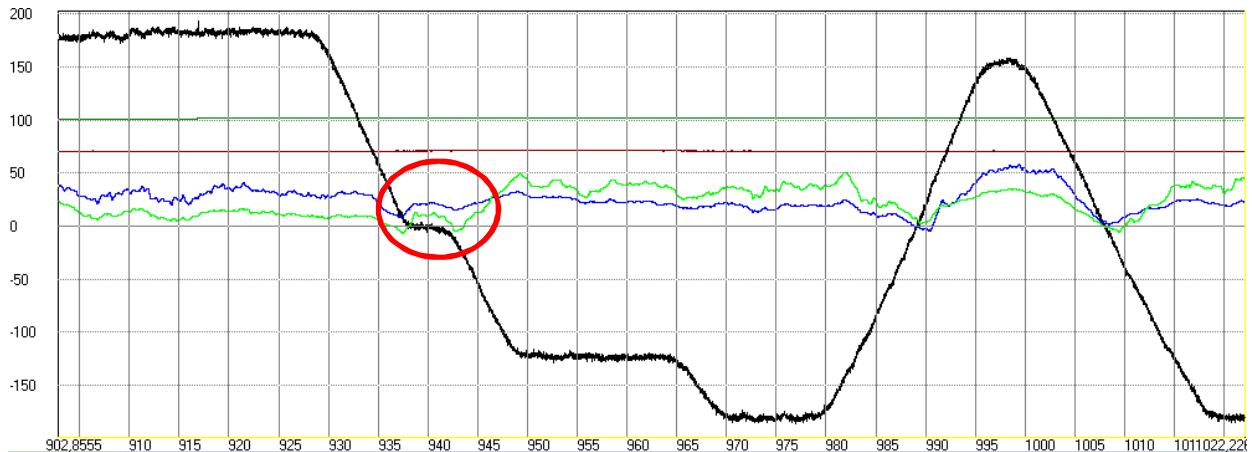
Obrázek 68 Průběh vodících sil vozidla 109E, km 100,1 - km 100,6; Y_{22} - zelená, Y_{21} modrá, křivost osy koleje - černá; osa y: kolové síly [kN], osa x: čas [s];

Příklad 12

Detail na obrázku č.70 (vůz Talns) uvádí neobvyklý průběh příčných sil na mezipřímé délky 46 m. V této oblasti se nenachází žádná konstrukční změna tuhosti jízdní dráhy, přesto se však příčná síly nestandardně zvyšuje. Nejsou zde zaznamenány ani neobvyklé odchylky GPK. Stejný detail jako v obrázku č.70 je zachycen na obrázku č.71 pro případ vozidla 109E. I zde je patrné nestandardní vychýlení.

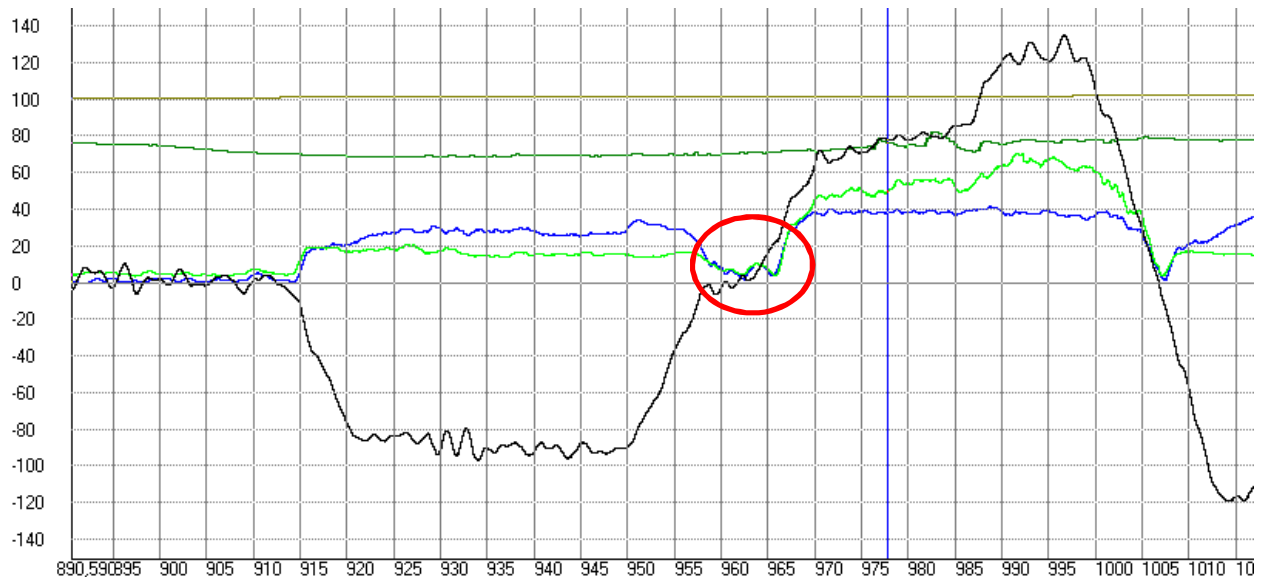


Obrázek 69 Situace z km 101,6 – 101,9 mezipřímá délky 46 m



Obrázek 70 - Průběh kolových sil vozidla Talns, km 101,1 - 102,3; Y₁₁ - zelená, Y₁₂ modrá, křivost osy koleje - černá; osa y: kolové síly [kN], osa x: čas [s];

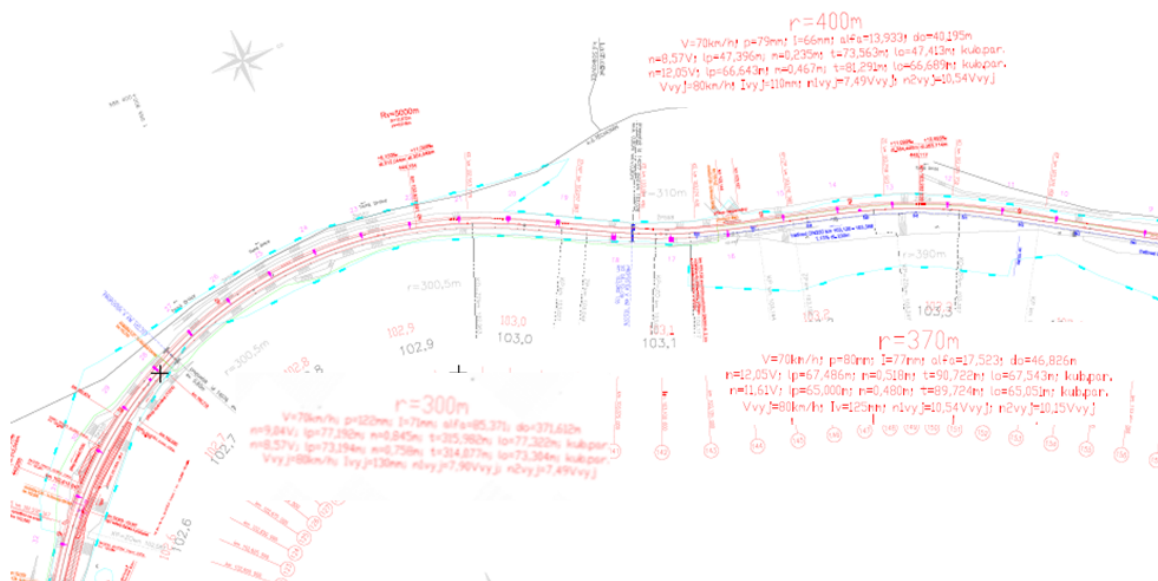
Požadavky na projektovaný a provozní stav geometrických parametrů koleje ve vztahu k vzájemnému silovému působení vozidla a koleje



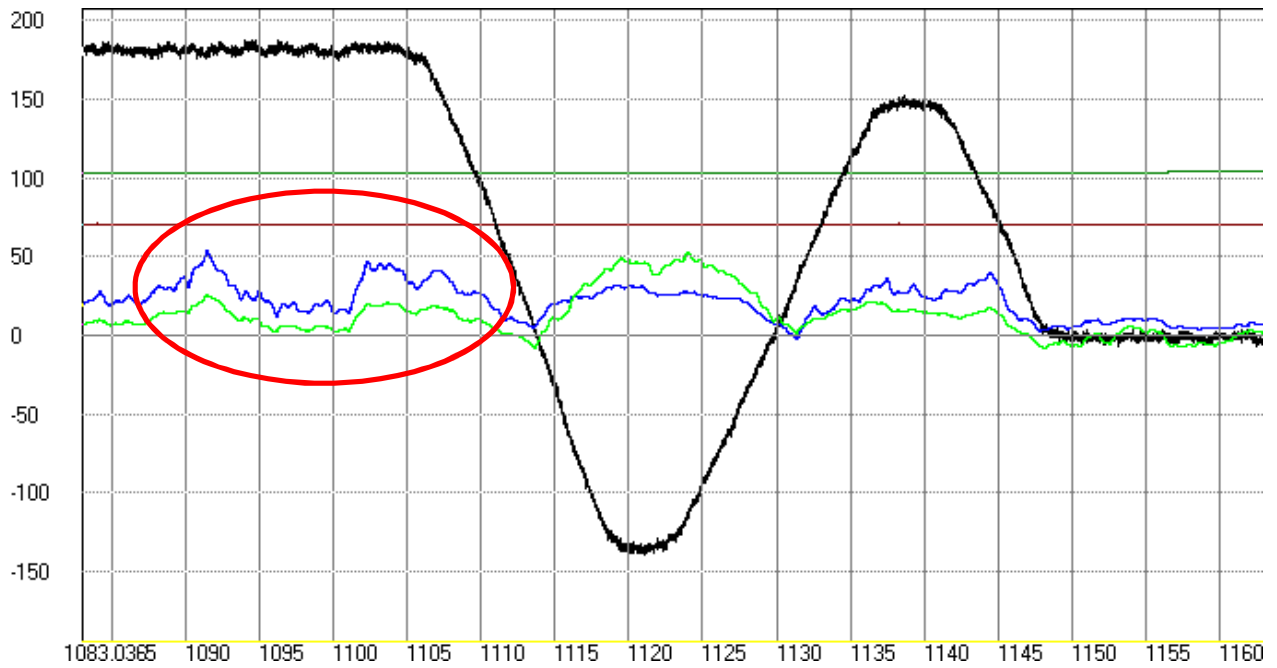
Obrázek 71 Průběh vodících sil vozidla 109E, km 100,9 - km 101,9; Y22 - zelená, Y21 modrá, křivost osy koleje - černá; osa y: kolové síly [kN], osa x: čas [s];

Příklad 13

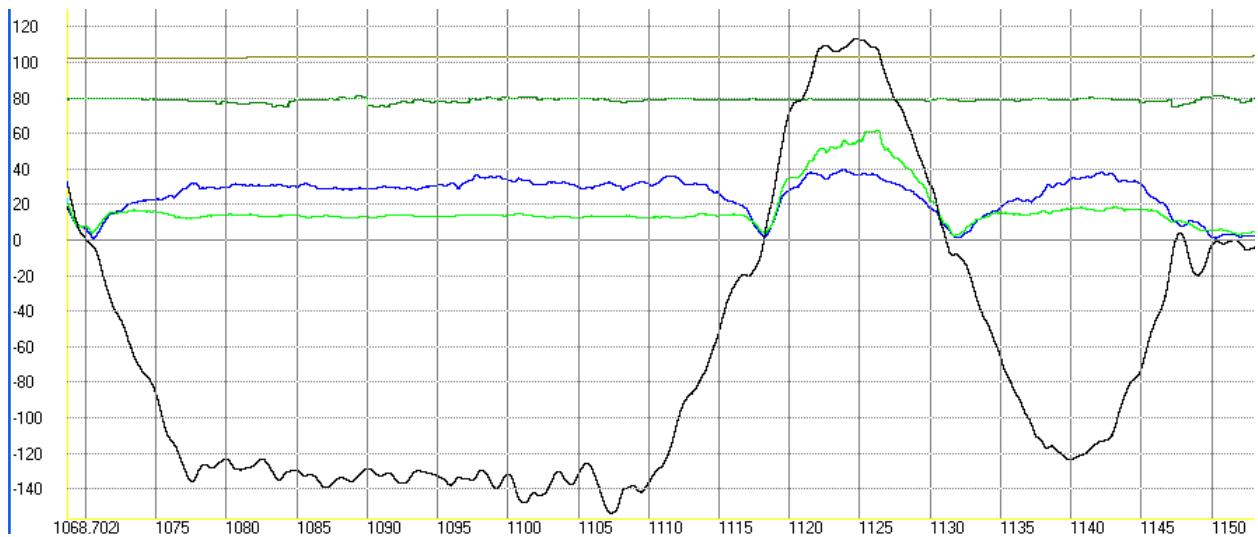
Na následujícím obrázku č.73 je uveden typický průběh příčných sil na přechodu protisměrných oblouků s přechodnicemi. V místě inflexního bodu dosáhnou příčné síly minima, nicméně je zřejmé, že v případě vozu Talns stejně velká výchylka příčné síly jako se vyskytuje z konstrukčních důvodů na inflexním bodě se vyskytuje i v kružnicové části oblouku, přičemž odchylky SK a VK jsou obvyklé výše v řádu do několika mm. V případě vozidla 109E (obrázek č.74) je průběh příčných sil v navazujících obloucích vyrovnanější.



Obrázek 72 Situace oblouků bez mezipřímých km 102,5 - km 103,5

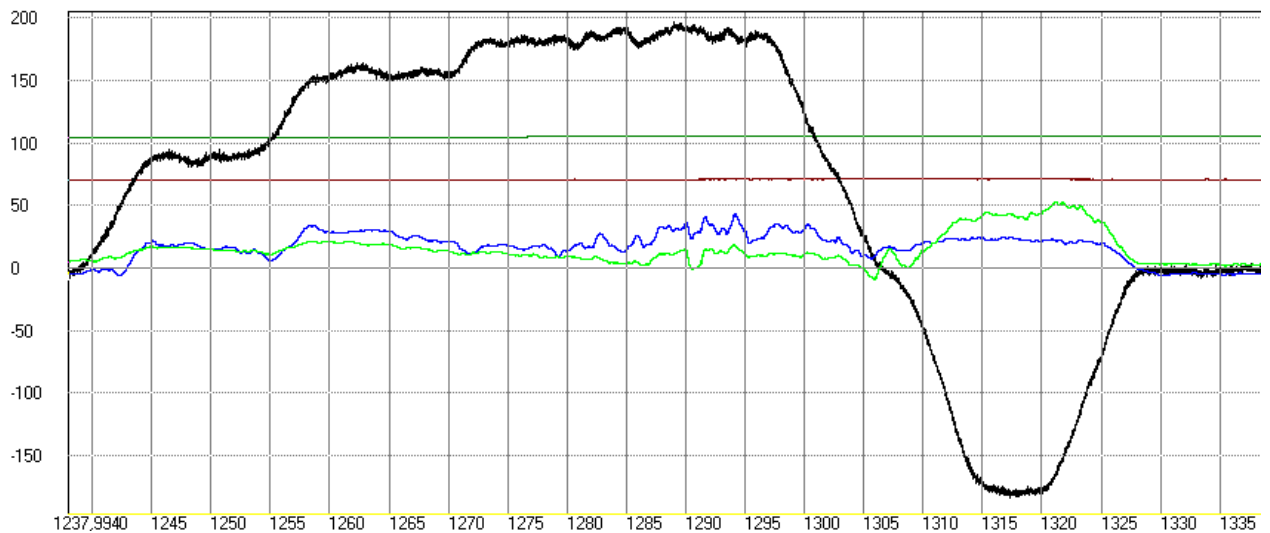


Obrázek 73 - Průběh kolových sil vozidla Talns, km 102,8 - 103,6; Y_{11} - zelená, Y_{12} modrá, křivost osy koleje - černá; osa y: kolové síly [kN], osa x: čas [s];

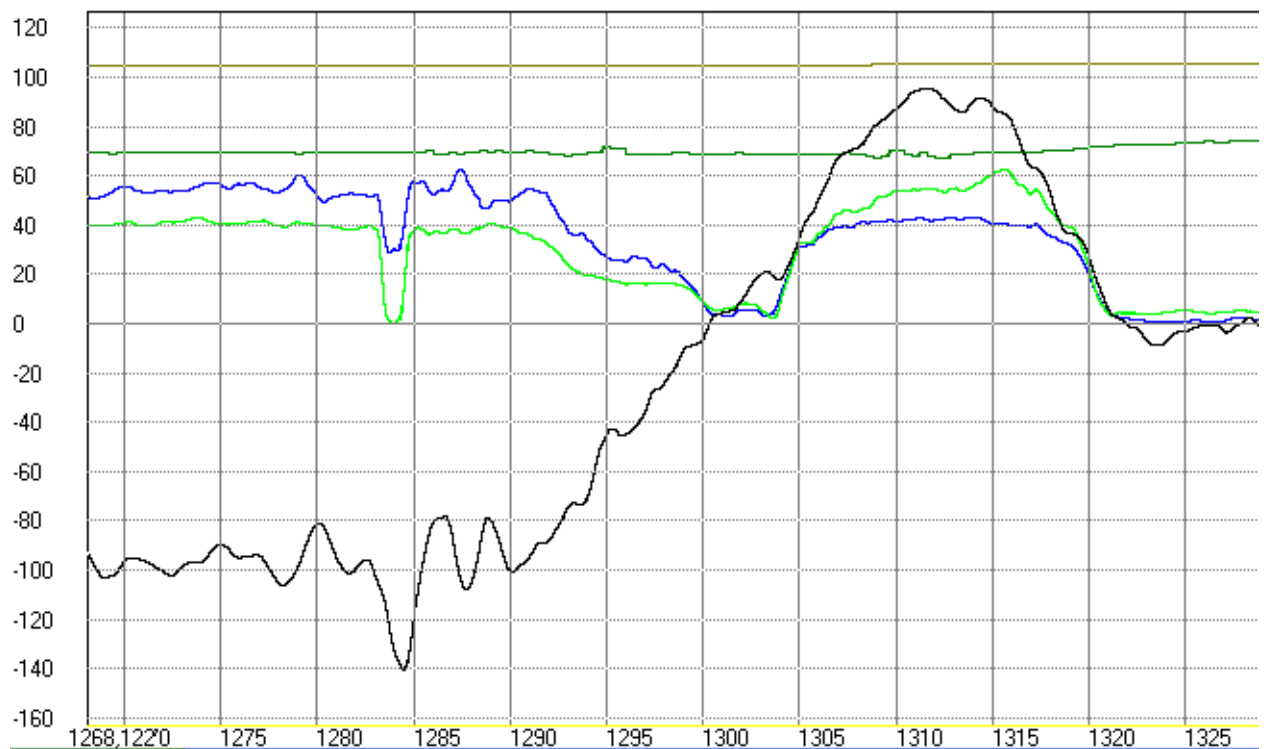


Obrázek 74 Průběh vodících sil vozidla 109E, km 102,5 - km 103,4; Y_{22} - zelená, Y_{21} modrá, křivost osy koleje - černá; osa y: kolové síly [kN], osa x: čas [s];

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



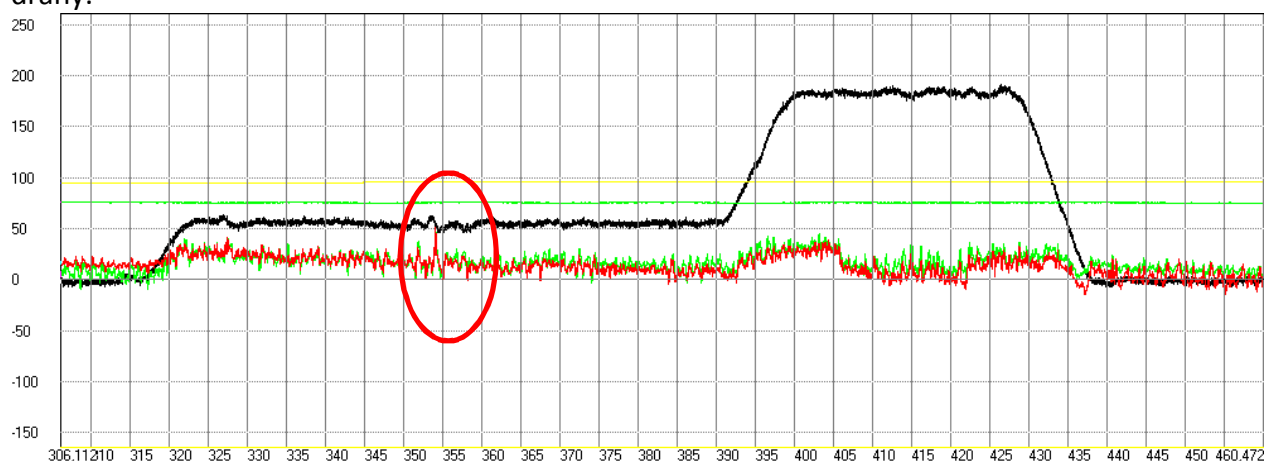
Obrázek 76 - Průběh kolových sil vozidla Talns, km 104,4 – 105,3; Y_{11} - zelená, Y_{12} modrá, křivost osy koleje - černá; osa y: kolové síly [kN], osa x: čas [s];



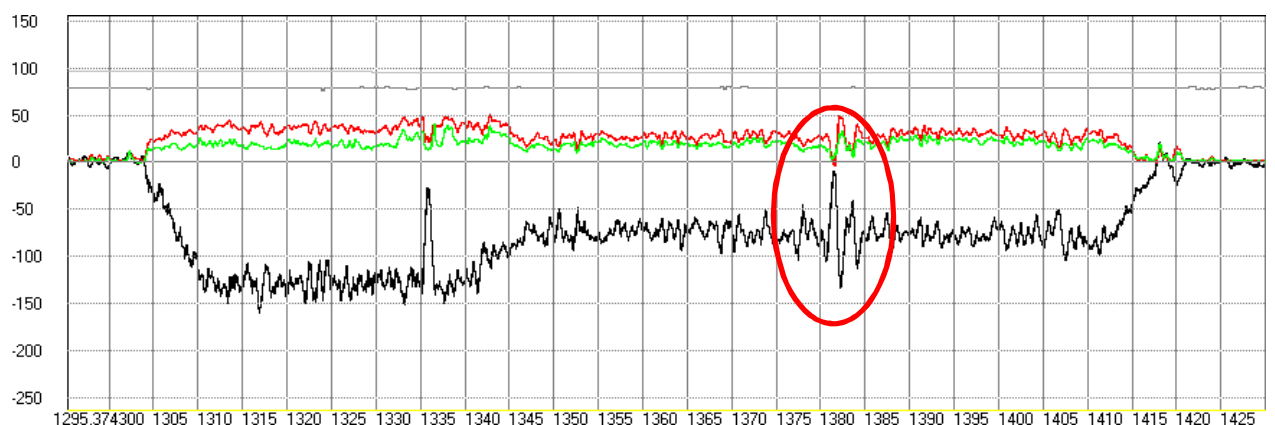
Obrázek 77 Průběh vodících sil vozidla 109E, km 104,6 - km 105,2; Y_{22} - zelená, Y_{21} modrá, křivost osy koleje - černá; osa y: kolové síly [kN], osa x: čas [s];

Příklad 15

Následující grafy znázorňují průběh pro bezpečnost provozu směrodatný poměr příčných sil a svislých Y/Q . Tento poměr významně signalizuje místa s 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 jízdni dráhy.

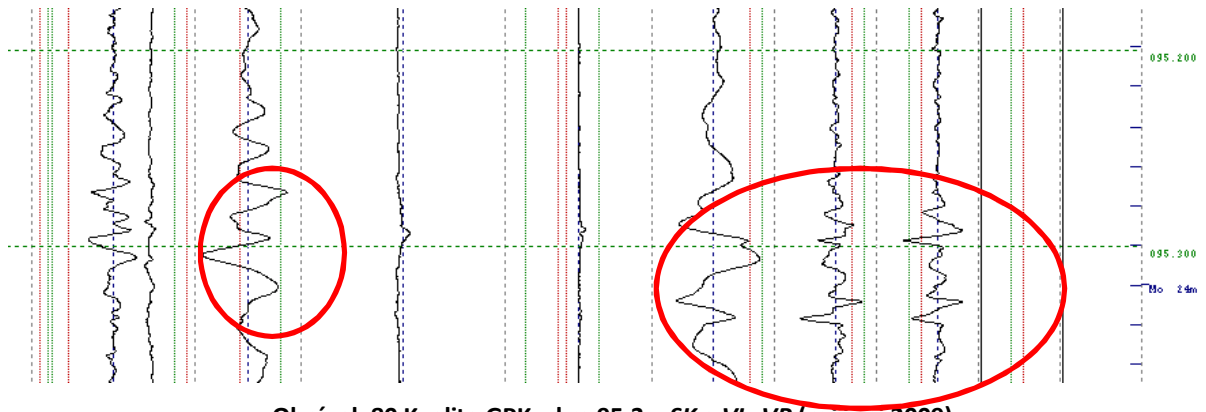


Obrázek 78 Průběh poměru vodících a kolových sil vozidla Talns, km 94,8 - km 96,1; Y_{22}/Q_{22} - červená, Y_{21}/Q_{21} - zelená, křivost osy koleje - černá; osa y: $Y/Q \cdot 100$ [kN], osa x: čas [s];

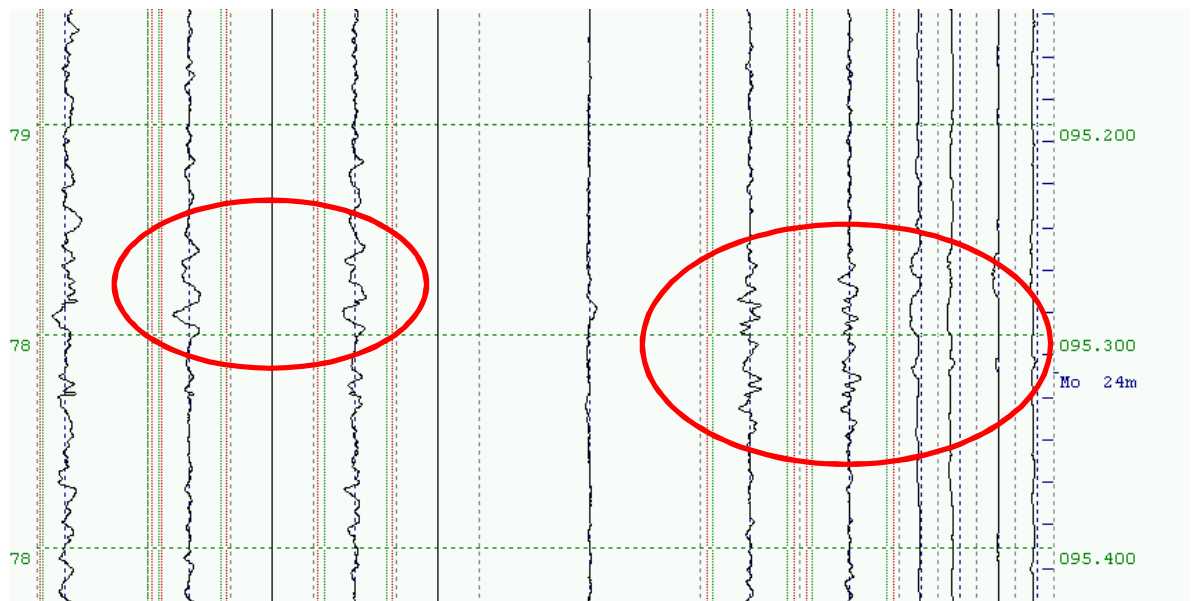


Obrázek 79 Průběh poměru vodících a kolových sil vozidla 109E, km 94,8 - km 96,1; Y_{11}/Q_{11} - červená, Y_{12}/Q_{12} - zelená, křivost osy koleje - černá; osa y: $Y/Q \cdot 100$ [kN], osa x: čas [s];

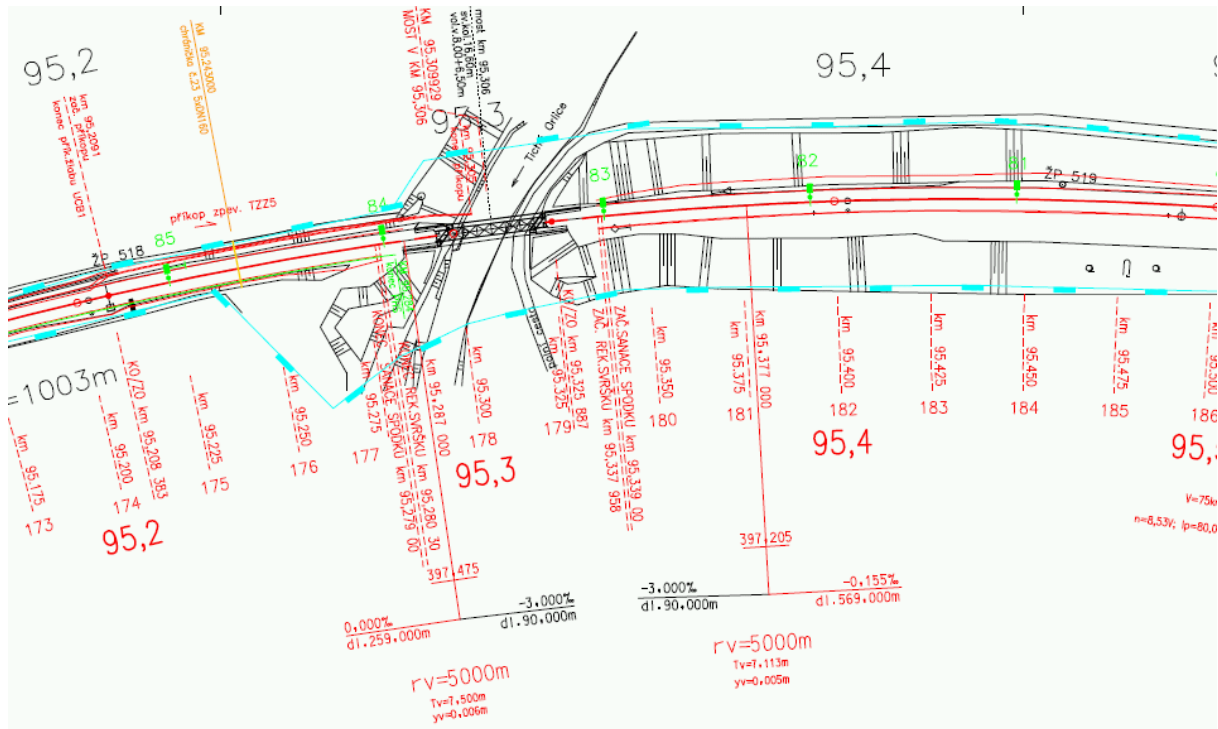
Požadavky na projektovaný a provozní stav geometrických parametrů koleje ve vztahu k vzájemnému silovému působení vozidla a koleje



Obrázek 80 Kvalita GPK v km 95,3 – SK a VL, VP (měření 2009)



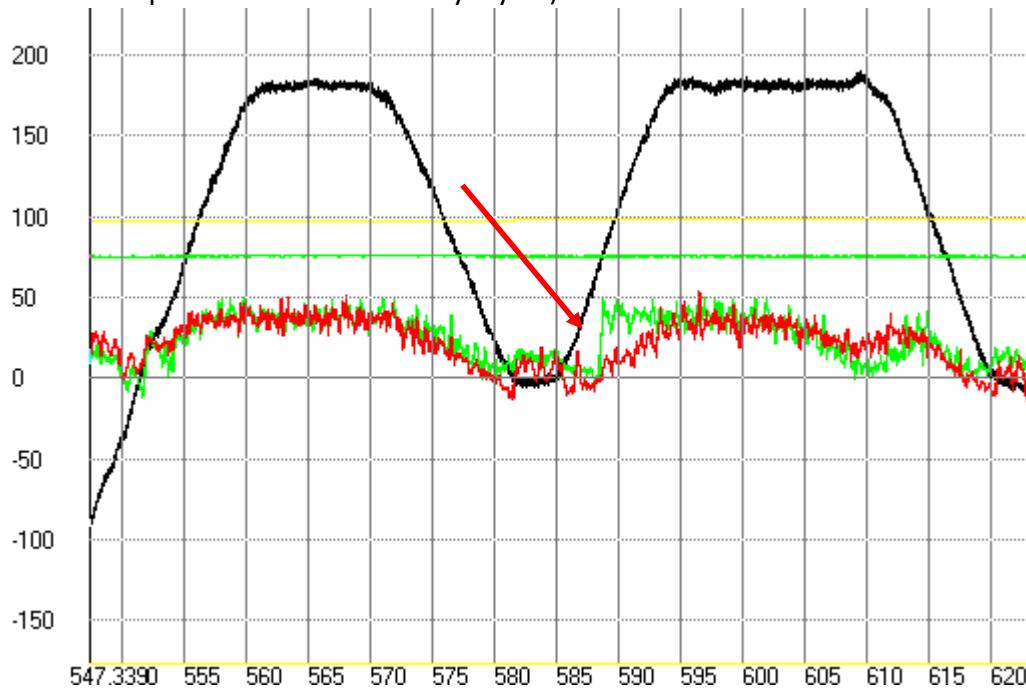
Obrázek 81 Kvalita GPK v km 95,3 – SK a VL, VP (měření 2010)



Obrázek 82 Situace v km 95,3 most s prvkovou mostovkou

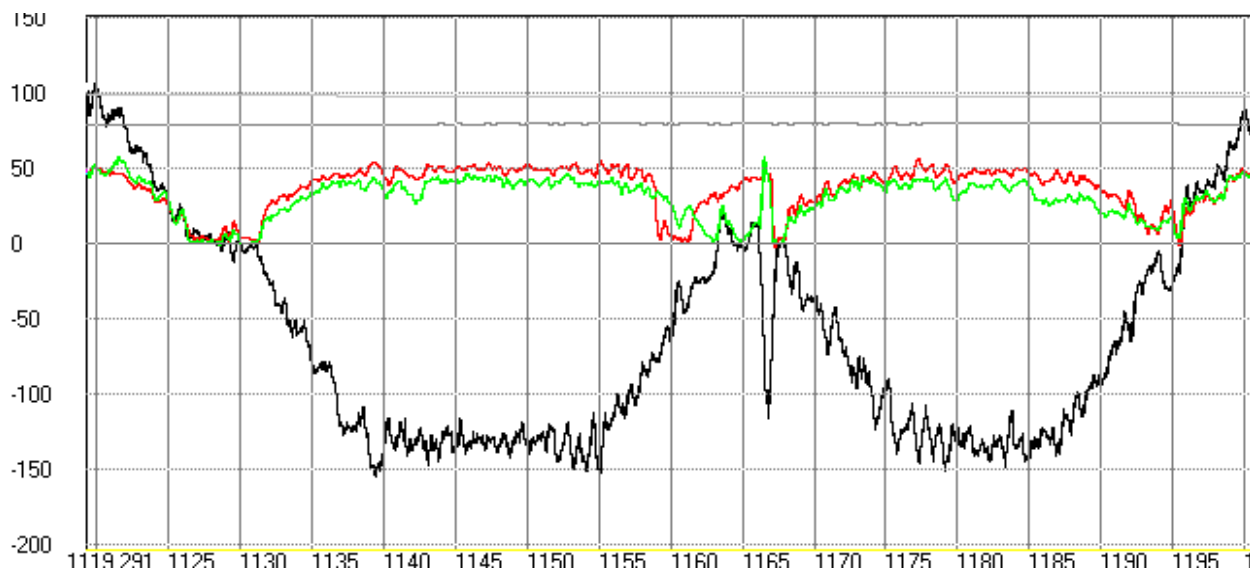
Příklad 16

V případě obrázku č.83 se projevuje náhlý nárůst Y/Q v přechodnici za mezipřímou, který je ovlivněný značným nárůstem příčné síly, přičemž kolová síla i odchytky GPK zůstávají ve standardních hodnotách. V místě konce druhé přechodnice se nachází propustek (SO 02-19-19 - km 97,641), který by však na tento jev neměl mít vliv, jelikož změnou je ovlivněna složka příčné síly (síla kolová – svislá, která by byla odezvou změny tuhosti se svislým směru má standardní průběh bez zásadních výchylek).

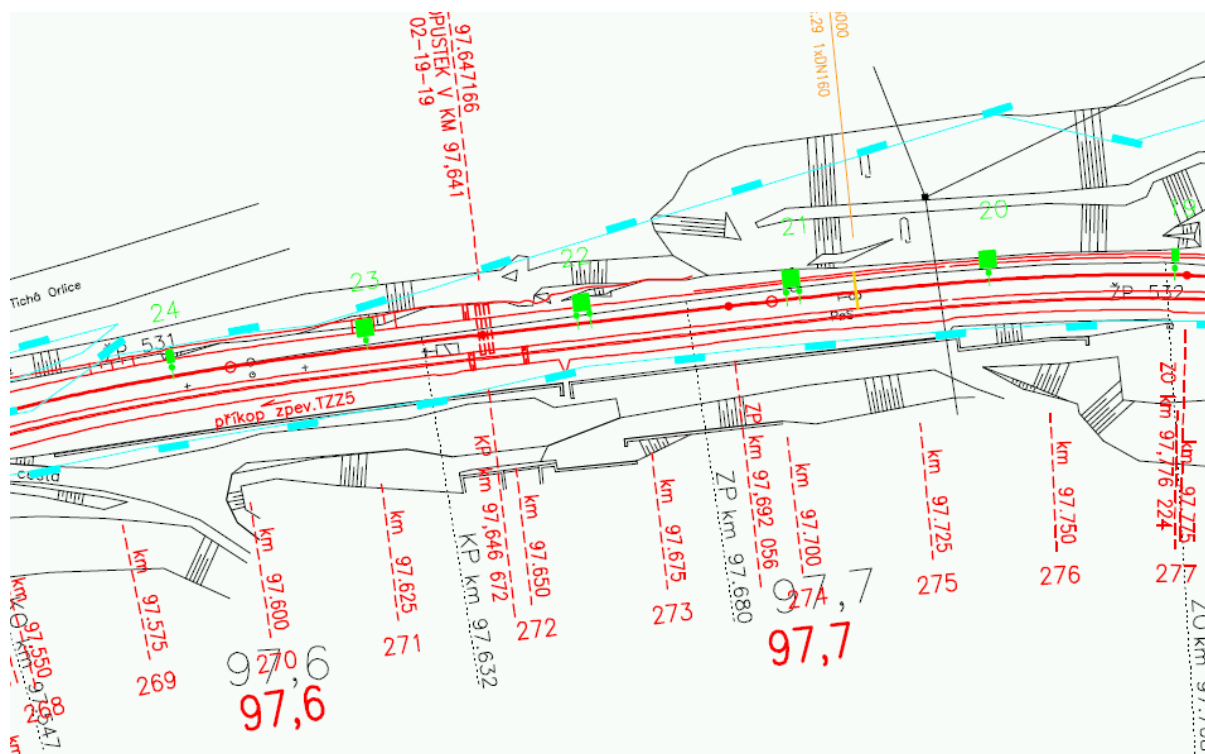


Obrázek 83 Průběh poměru vodících a kolových sil vozidla Talns, km 97,4 - km 98,1; Y_{22}/Q_{22} - červená, Y_{21}/Q_{21} - zelená, křivost osy koleje - černá; osa y: $Y/Q \cdot 100$ [kN], osa x: čas [s];

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

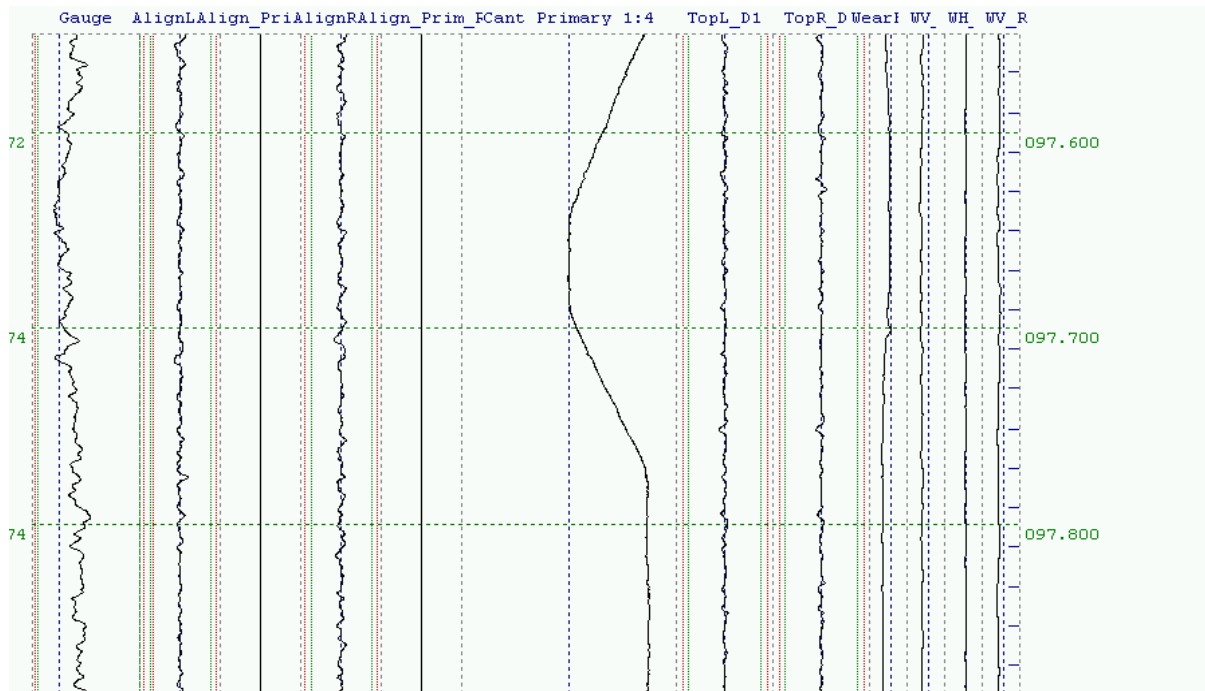


Obrázek 84 Průběh poměru vodících a kolových sil vozidla 109E, km 97,4 - km 98,1; Y_{11}/Q_{11} - červená, Y_{12}/Q_{12} zelená, křivost osy koleje - černá; osa y: $Y/Q.100$ [kN], osa x: čas [s];



Obrázek 85 Situace v km 97,7

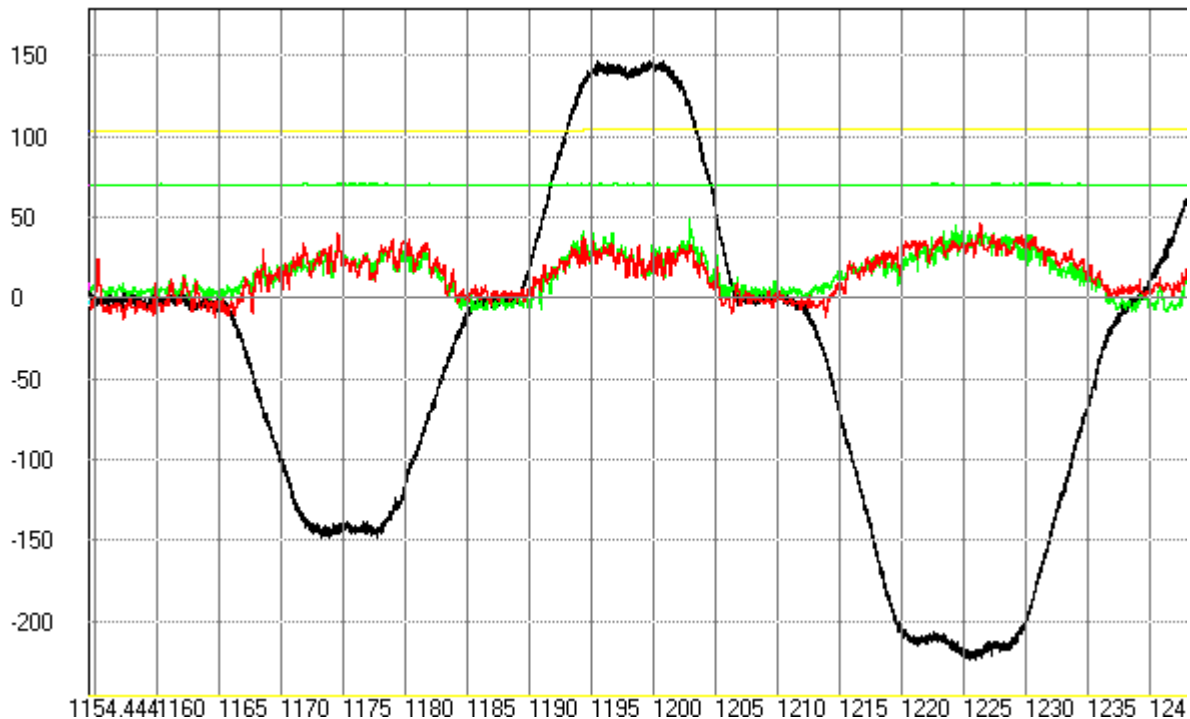
Požadavky na projektovaný a provozní stav geometrických parametrů koleje ve vztahu k vzájemnému silovému působení vozidla a koleje



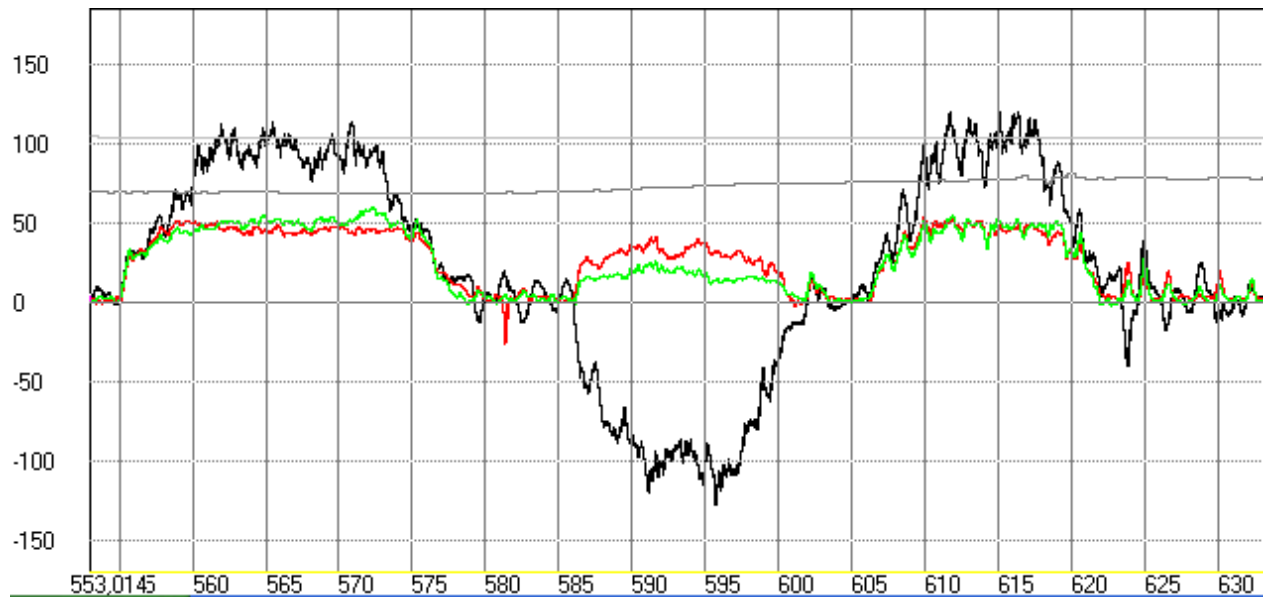
Obrázek 86 Kvalita GPK v km 97,6 – 97,8 (měření 2010)

Příklad 17

Následující obrázek č.87 ukazuje typický průběh poměru Y/Q na sérii oblouků s přechodnicemi s mezipřímými. ($R_1 = 380$ m; $R_2 = 385$ m; $R_3 = 250$ m). Poměr Y/Q roste v obloucích s klesajícím poloměrem. Vliv nedostatku převýšení na nárůst hodnoty poměru Y/Q se podle oblasti velikosti poloměrů oblouků liší. Obrázek č.88 (vozidlo 109E) dokumentuje případ, kdy jsou oblouky projížďeny se shodným nedostatkem převýšení cca $I = 100$ mm, jsou ale různých parametrů, čemuž odpovídají průběhy poměrů Y/Q . V oblouku R_2 významným způsobem klesají příčné síly. Poloměry oblouků R_1 a R_2 se liší pouze o 5 m, převýšení se snižuje o 25 mm. V oblouku R_2 je mírně snížen poměr Y/Q což je způsobeno jak třecími podmínkami, tak rychlejším nárůstem kolové síly než síly příčné.



Obrázek 87 Průběh poměru vodících a kolových sil vozidla Talns, km 103,5 – km 104,4; 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];

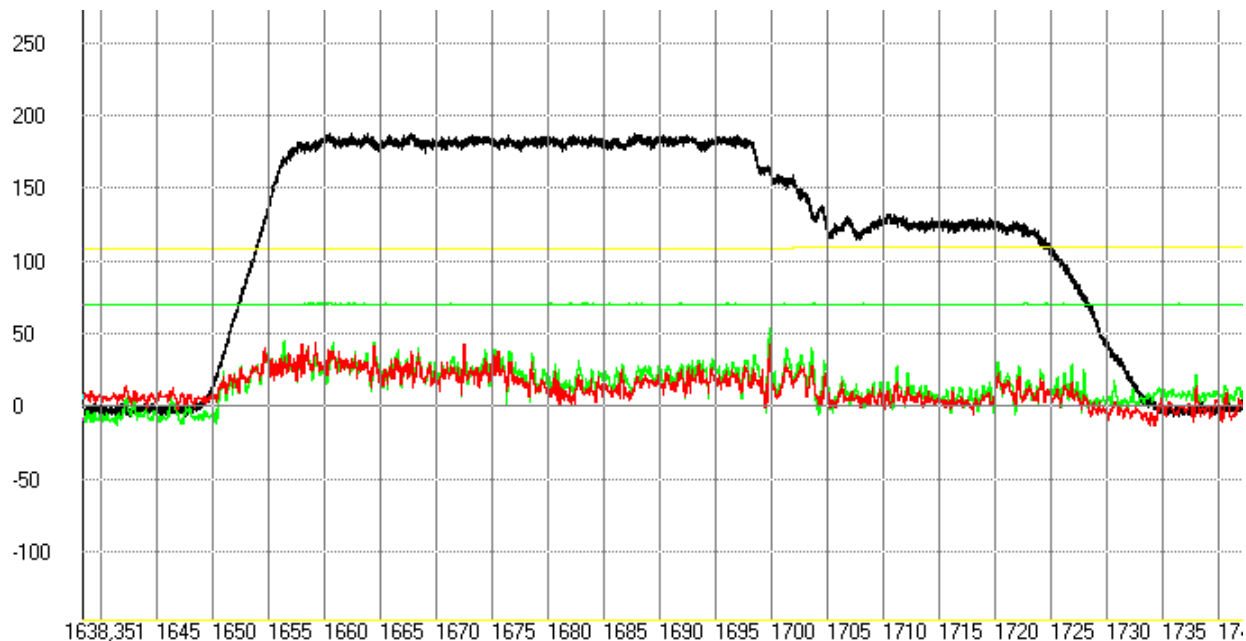


Obrázek 88 Průběh poměru vodících a kolových sil vozidla 109E, km 103,5 – 104,4; Y11/Q11 - červená, Y12/Q12 zelená, křivost osy koleje - černá; osa y: Y/Q.100 [kN], osa x: čas [s];

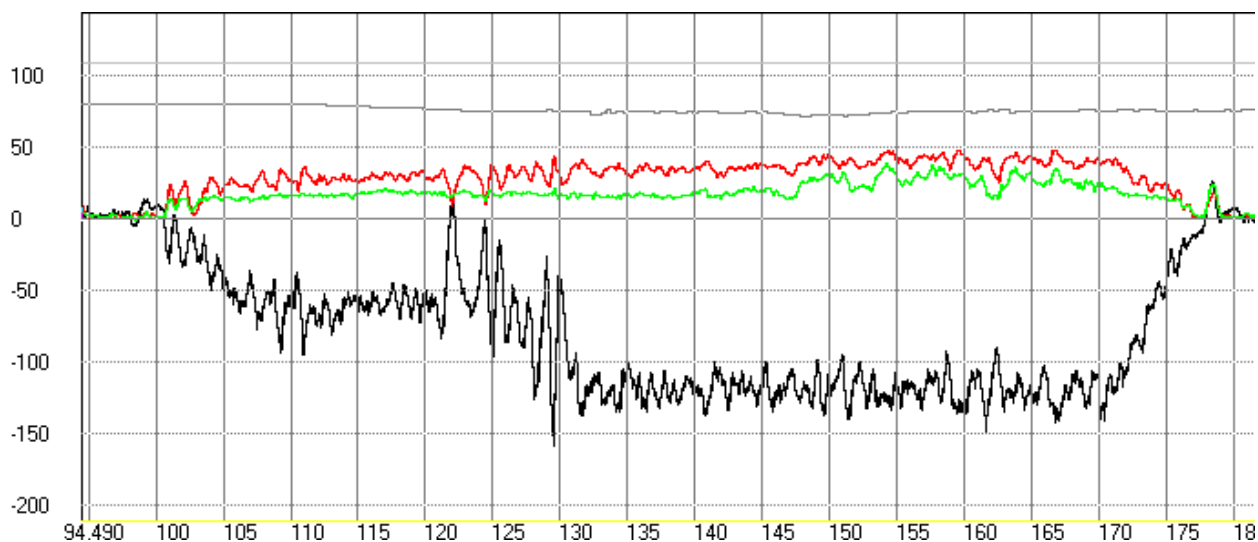
Příklad 18

Obrázek č. 89 (vůz Talns) dokumentuje situaci směrových poměrů složeného oblouku s mezilehlou přechodnicí a vzestupnicí. Snížení poměru Y/Q plyne ze zvýšení poloměru z 300 m na 437 m a zároveň ze snížení nedostatku převýšení z 93 mm na 33 mm. V případě obrázku č.90 (vozidlo 109E) je zaznamenána obdobná změna hodnoty poměru Y/Q , nicméně míra změny (v čase, po dráze) je pozvolnější, v zásadě určitým způsobem odstupňovaná. Mezilehlá přechodnice (bez vzestupnice – převýšení koleje se nemění $D = 100$ mm) je situována na mostě s prvkovou mostovkou (pozn. v úseku koleje s prvkovou mostovkou je $I \leq 100$ mm).





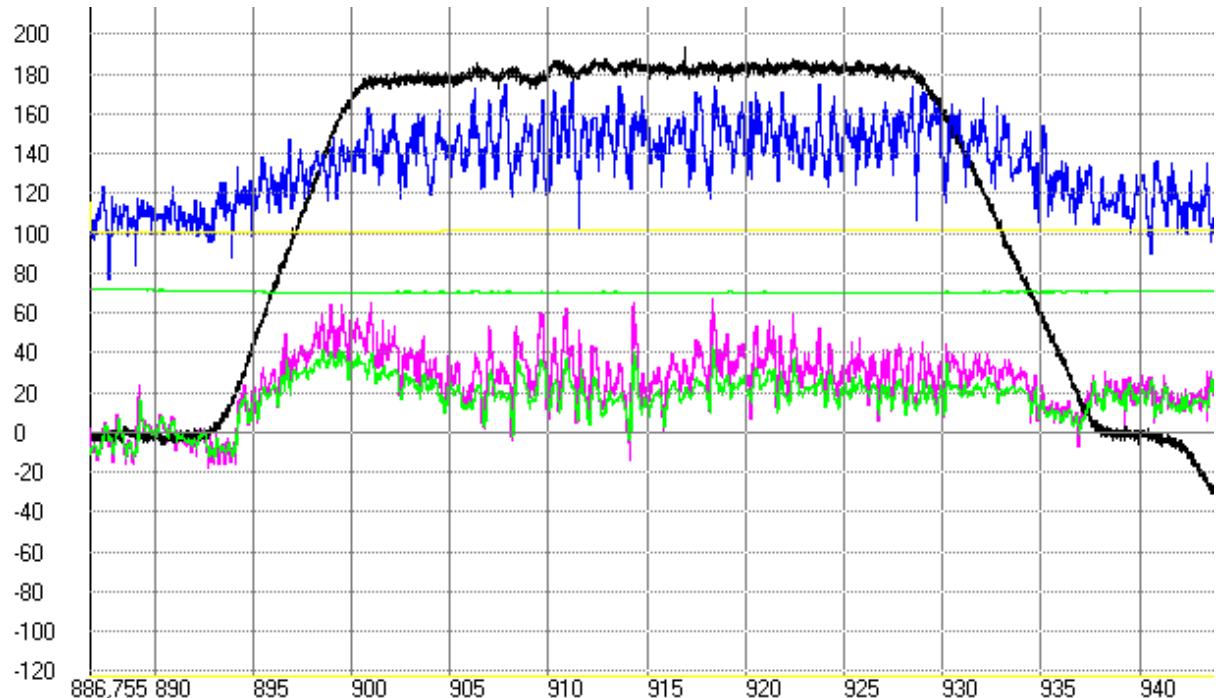
Obrázek 89 Průběh poměru vodících a kolových sil vozidla Talns, km 108,2 – km 109,0; Y_{22}/Q_{22} - červená, Y_{21}/Q_{21} - zelená, křivost osy koleje - černá; osa y: $Y/Q \cdot 100$ [kN], osa x: čas [s];



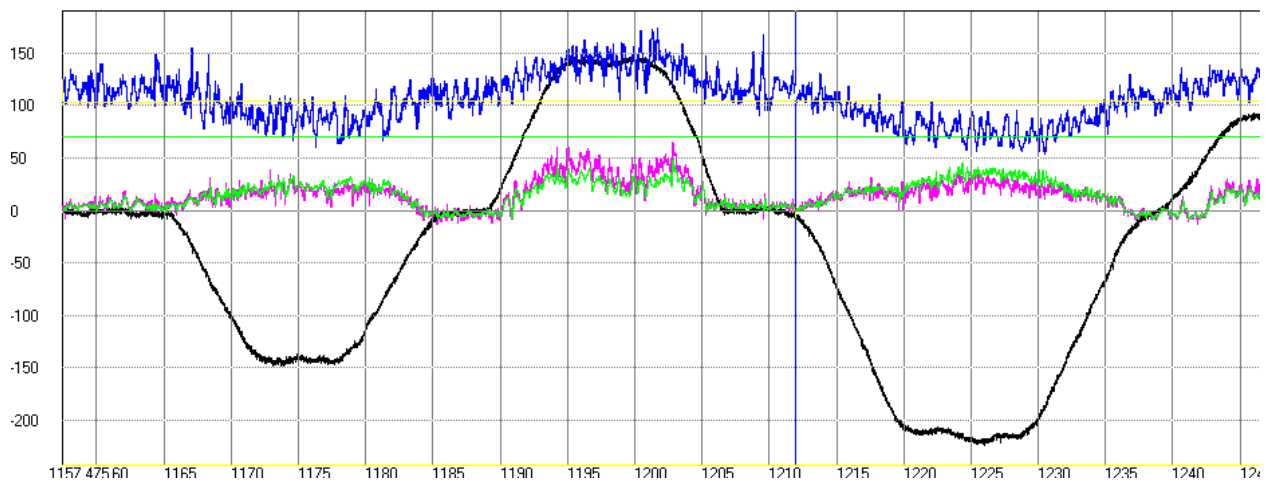
Obrázek 90 Průběh poměru vodících a kolových sil vozidla 109E, km 108,2 – km 109,0; Y_{11}/Q_{11} - červená, Y_{12}/Q_{12} zelená, křivost osy koleje - černá; osa y: $Y/Q \cdot 100$ [kN], osa x: čas [s];

Příklad 19

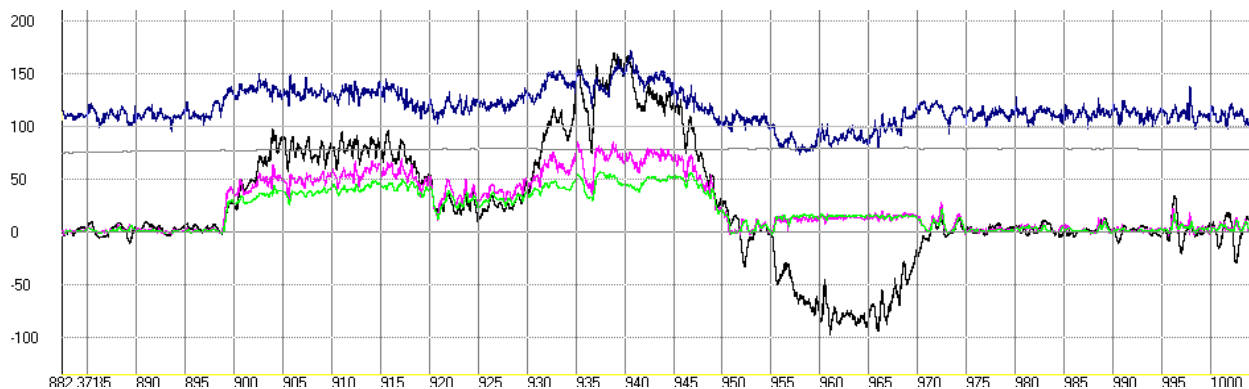
Z následujících obrázků č.91, č.92 a č.93 je patrné, že poměr Y/Q je ovlivněn především průběhem Y , kolová síla Q má stabilnější průběh. Nicméně ve vazbě na nedostatek převýšení se mění kolová síla a příčná síla úměrně velikostem svých absolutních hodnot.



Obrázek 91 Průběh poměru vodících a kolových sil vozidla Talns, km 101,1 – km 101,4; Y_{21}/Q_{21} - zelená, Y_{21} - fialová, Q_{21} modrá, křivost osy koleje - černá; osa y: $Y/Q.100$ [kN], osa x: čas [s];



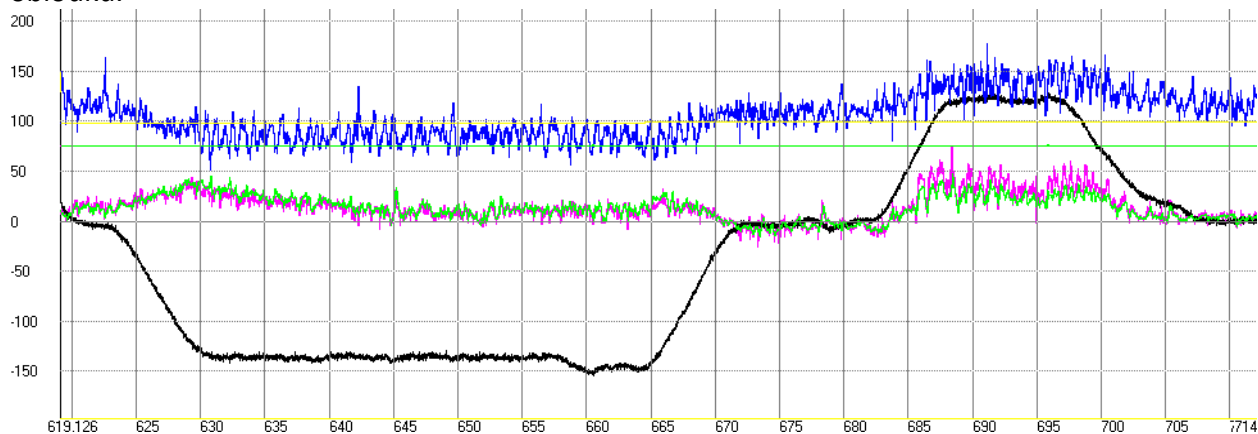
Obrázek 92 Průběh poměru vodících a kolových sil vozidla Talns, km 103,6 – km 104,5; Y_{21}/Q_{21} - zelená, Y_{21} - fialová, Q_{21} modrá, křivost osy koleje - černá; osa y: $Y/Q.100$ [kN], osa x: čas [s];



Obrázek 93 Průběh poměru vodících a kolových sil vozidla 109E, km 99,5 – km 100,7; Y_{12}/Q_{12} - zelená, Y_{12} fialová, Q_{12} modrá, křivost osy koleje - černá; osa y: $Y/Q.100$ [kN], osa x: čas [s];

Příklad 20

Následující obrázek č.94 dokumentuje pro vůz Talns typický průběh poměru sil Y/Q respektive příčné síly Y v oblouku – v přechodnicích mírně zvýšené hodnoty, a pokud je oblouk dostatečně dlouhý, tak zpravidla dochází ke snížení Y , resp. Y/Q ve střední kružnicové části oblouku. Tento jev je způsobem konstrukčními vlastnostmi sekundárního vypružení vozu tj. jejich reakcí na vzrůstající natočení podvozku a jeho ustálení v kružnicové části oblouku.



Obrázek 94 Průběh poměru vodících a kolových sil vozidla Talns, km 98,1 – km 99,0; Y_{21}/Q_{21} - zelená, Y_{21} fialová, Q_{21} modrá, křivost osy koleje - černá; osa y: $Y/Q.100$ [kN], osa x: čas [s];

3.2.2. Traťový úsek Leština u Světlé – Kolín

Tento traťový úsek je reprezentantem středně zatížené trati s provozním zatížením 12-13 mil. hr.t., kdy traťové koleje spadají do 4. řádu. Kvalita geometrie koleje odpovídá stupni opotřebení koleje vzhledem k datu poslední obnovy, tedy v zásadě se pohybuje na mezi dovolených provozních odchylek (převážně do meze AL) dle ČSN 73 6360-2. Geometrické parametry koleje odpovídají normě ČSN 73 6360-1:1997 a starší. Součásti konstrukce železničního svršku se mění podle toho, kdy byly konkrétní úseky obnovovány, nejčastěji se jedná o úseky z 80. let se soustavou železničního svršku S 49 na betonových prazcích SB 6 a SB 8. V případě lokomotivy 109E jsou k dispozici pouze data z úseku Golčův Jeníkov – Čáslav km 268,000 – km 278,000.

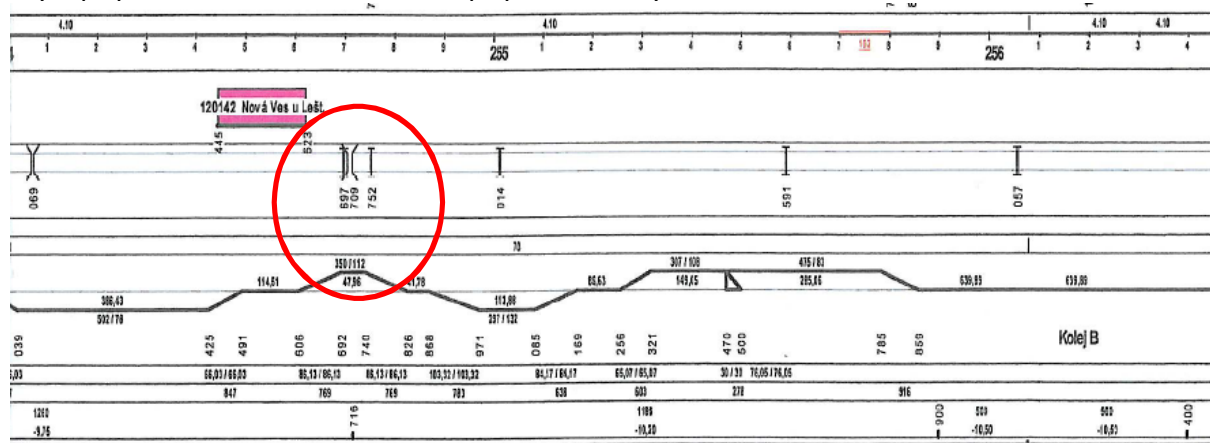
Tabulka 22 Výčet směrových prvků konstantní křivosti v traťovém úseku Leština u Světlé - Kolín

<u>Mezipřímé $L < 1,0.V$</u>					Navazující poloměry
km	km	L [m]	V [km/h]	$q = L/V$	R_1/R_2 [m]
252,654	252,724	69	70	0,98	286/272
254,819	254,862	43	70	0,61	354/285
258,462	258,515	53	70	0,76	285/300
260,204	260,255	51	70	0,73	286/295
262,353	262,405	52	70	0,74	404/300
264,467	264,528	61	70	0,87	314/295
265,668	265,695	27	70	0,39	287/286
271,247	271,318	71	100	0,71	473/2580
277,689	278,753	64	80	0,80	370/800
<u>Kružnicové části oblouků $L < 1,0.V$</u>					
km	km	L [m]	V [km/h]	$q = L/V$	R [m]
271,353	271,423	70	100	0,70	2580
277,593	277,614	21	80	0,26	370
280,452	280,515	63	100	0,63	900

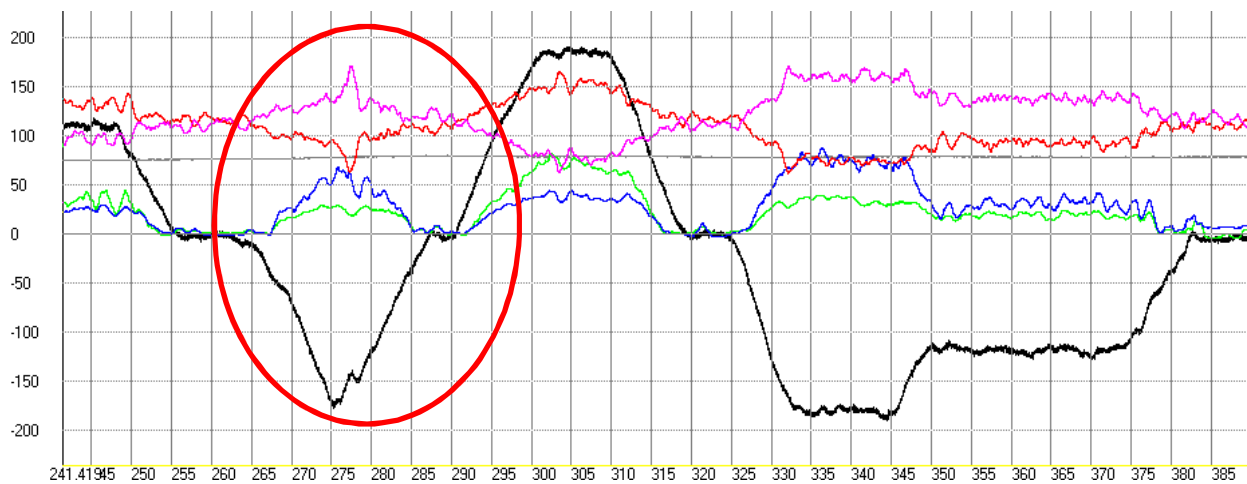
Dále budou uvedeny konkrétní případy vlivu jednotlivých kombinací parametrů GPK.

Příklad 21

Následující obrázky č.96 a č.100 ukazují souvislost provozních odchylek SK s průběhem příčných sil a zároveň souvislost provozních odchylek VK s průběhem kolových sil. Plynulost jízdy zde zřejmě ovlivňuje změna tuhosti jízdní dráhy - nadjezd umístěný v krátkém oblouku. Tomu koresponduje i v tomto místě zvýšená odchylka SK a VK viz obrázek 98 resp. 99. Nepříznivý vliv krátkého oblouku na průběh kolových sil, kdy v případě krátkého oblouku dochází k projevu zvýšené kolové síly na krátkém úseku, má za následek neklidný chod vozidla. Opačně vzhledem k průběhu poměru Y/Q nedochází k celkově nepříznivé situaci, jelikož se zvyšují oba parametry (Y, Q), čímž jejich poměr zůstává přibližně stejný (v závislosti na poměru velikosti závad). Pro názornost obrázek č. 98 uvádí porovnání míry změny kolové síly v případě krátkého oblouku a v případě závady ve VL a VP.



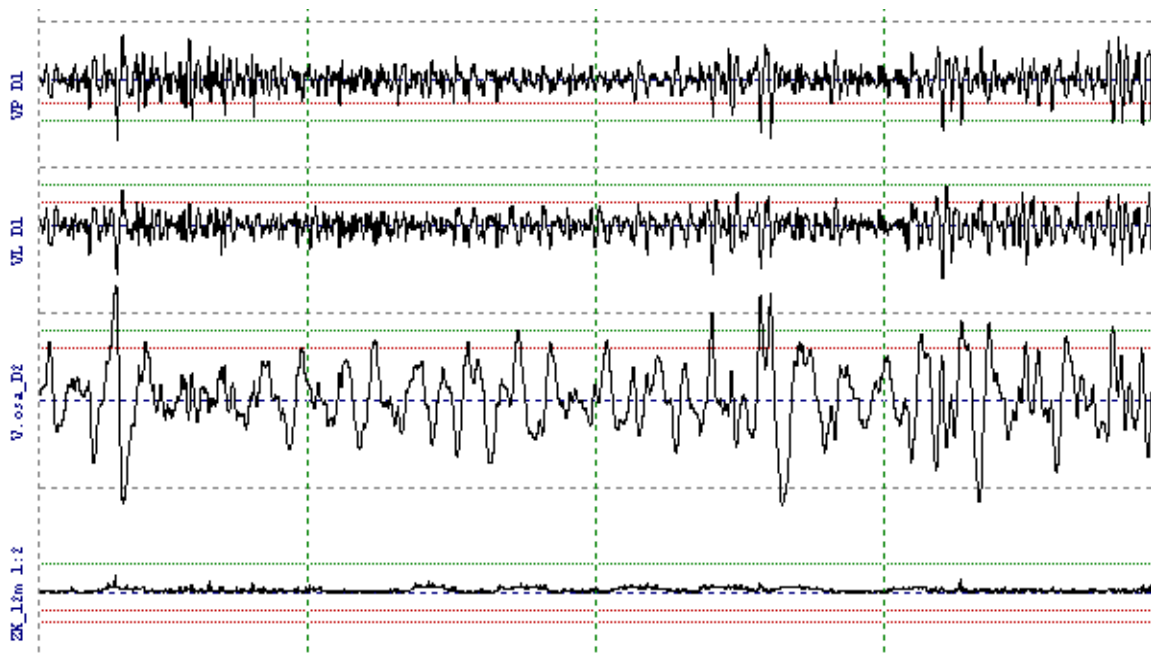
Obrázek 95 Směrové poměry km 254 - 256



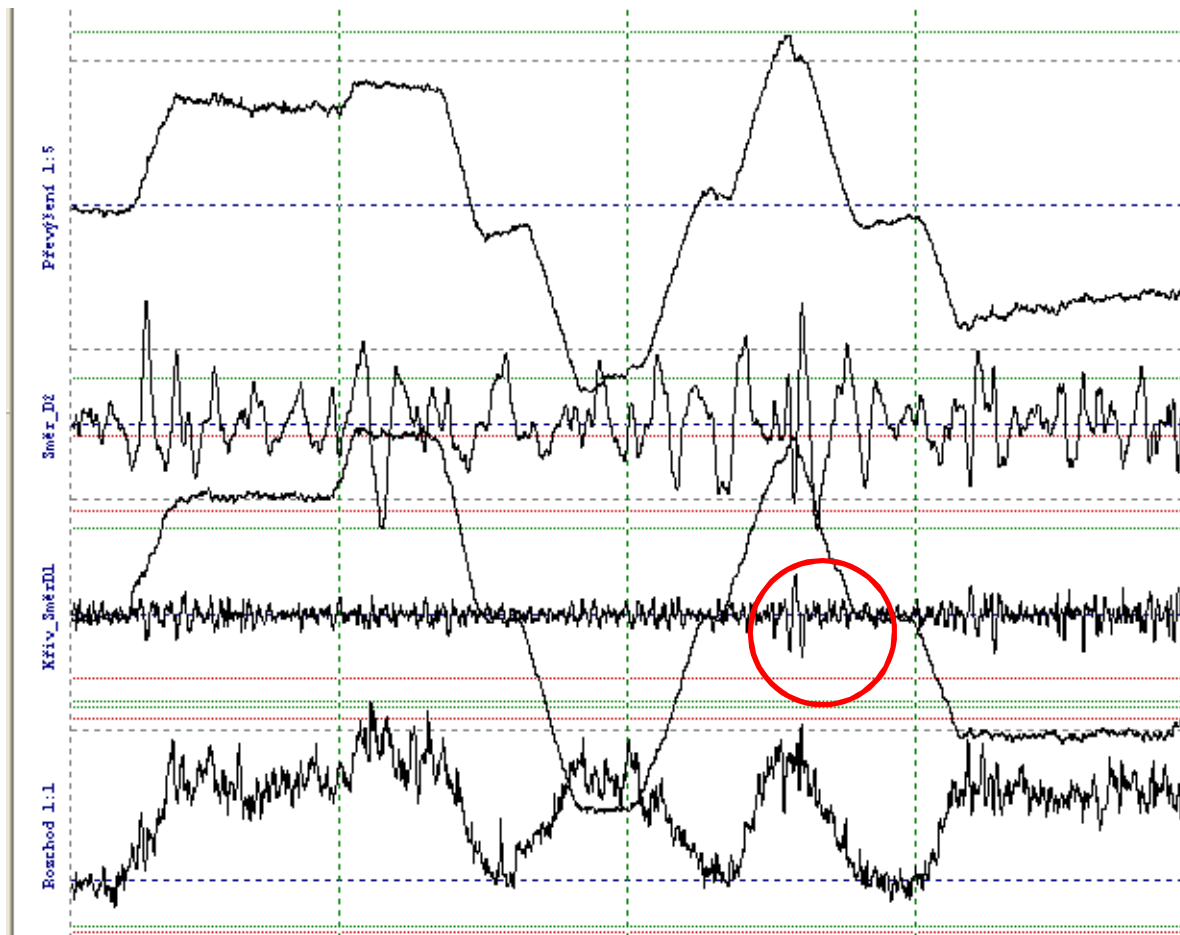
Obrázek 96 Průběh vodících a kolových sil vozidla Talns, km 254,4 – km 256,0; Q_{11} - červená, Q_{12} fialová, Y_{22} - zelená, Y_{21} modrá, křivost osy koleje - černá; osa y: kolové síly [kN], osa x: čas [s];



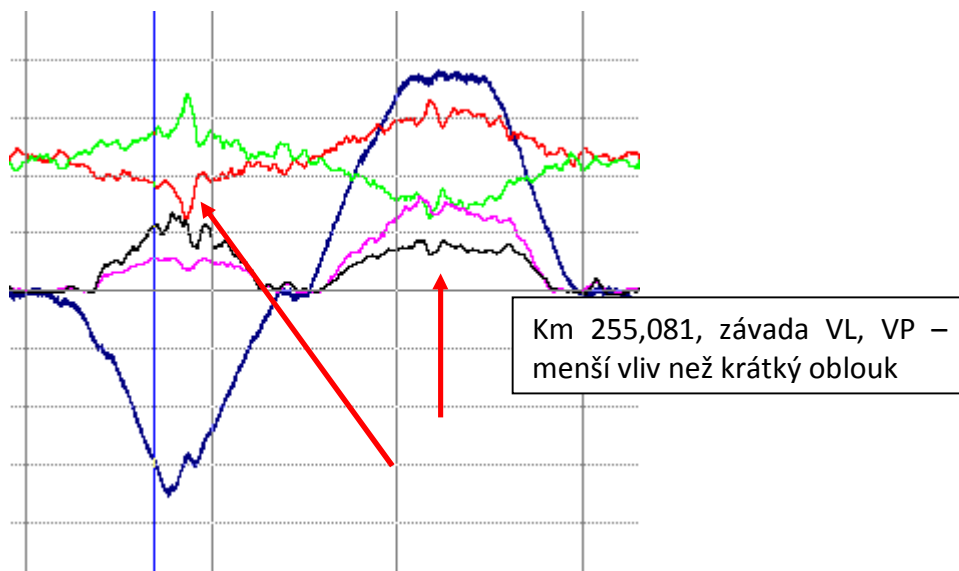
Obrázek 97 Detail situace v km 254,7



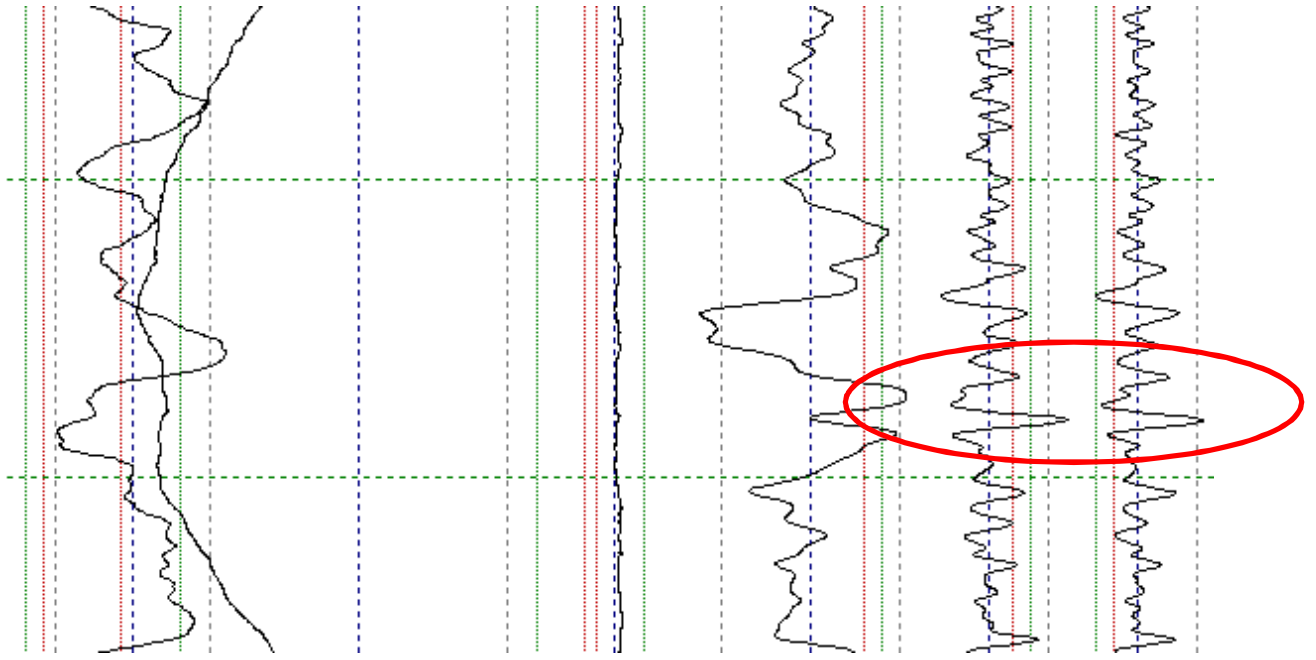
Obrázek 98 Hodnocení kvality GPK úseku km 254,0 – 256,0 část a (ZK a VL, VP)



Obrázek 99 Hodnocení kvality GPK úseku km 254,0 – 256,0 část b (RK, SK, PK)



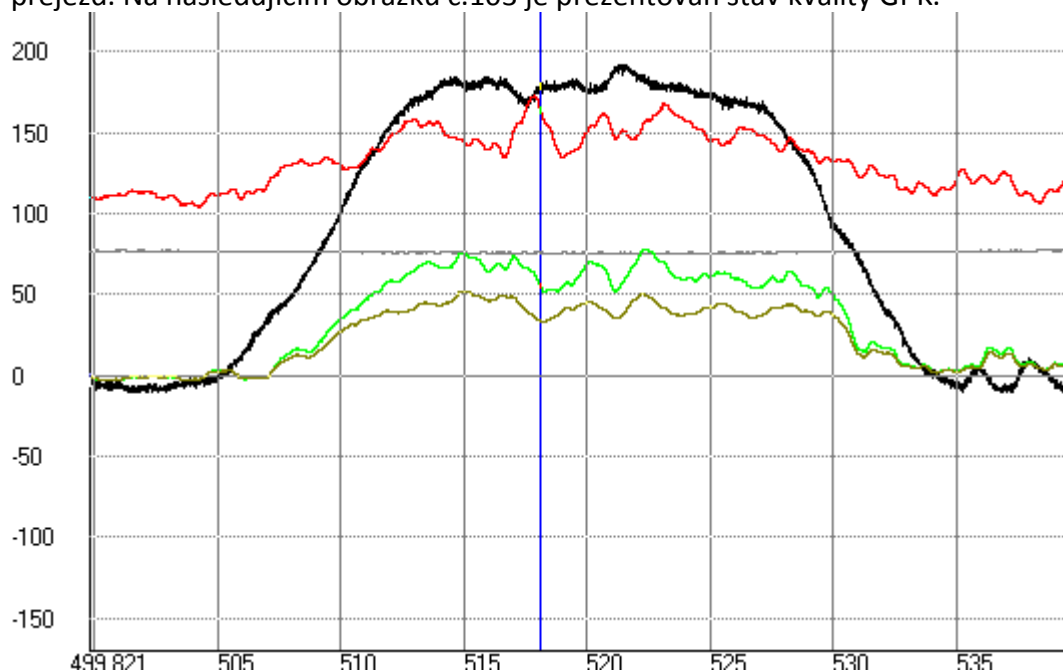
Obrázek 100 Detail průběhu kombinace sil Talns Y_{12} černá, Y_{11} fialová, Q_{11} červená a Q_{12} zelená, km 254,7



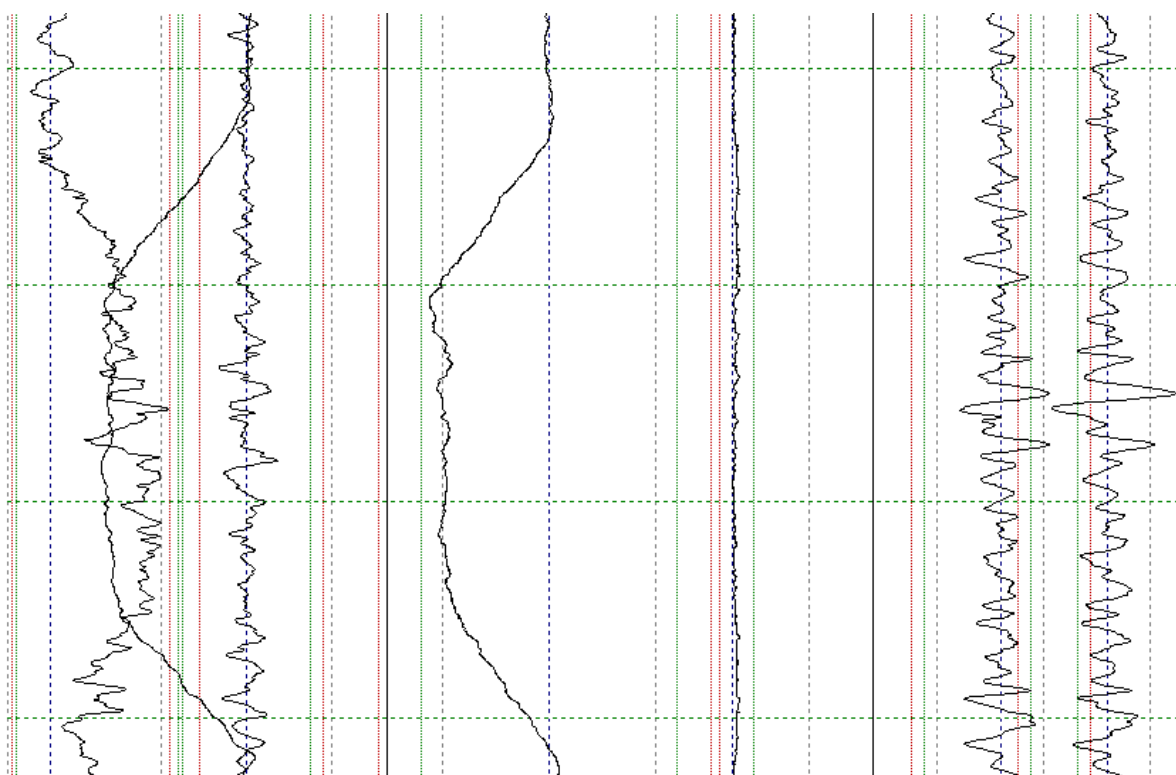
Obrázek 101 Detail závady ve VL, VP z km 255,081 velikosti 13,27 mm a 11,04 mm

Příklad 22

Níže uvedený obrázek č. 102 ukazuje méně obvyklou kombinaci sil – pokles síly příčné a nárůst síly kolové, tedy bezpečnost vyjádřená Y/Q se zvýší. V místě závady je situován přejezd. Na následujícím obrázku č.103 je prezentován stav kvality GPK.



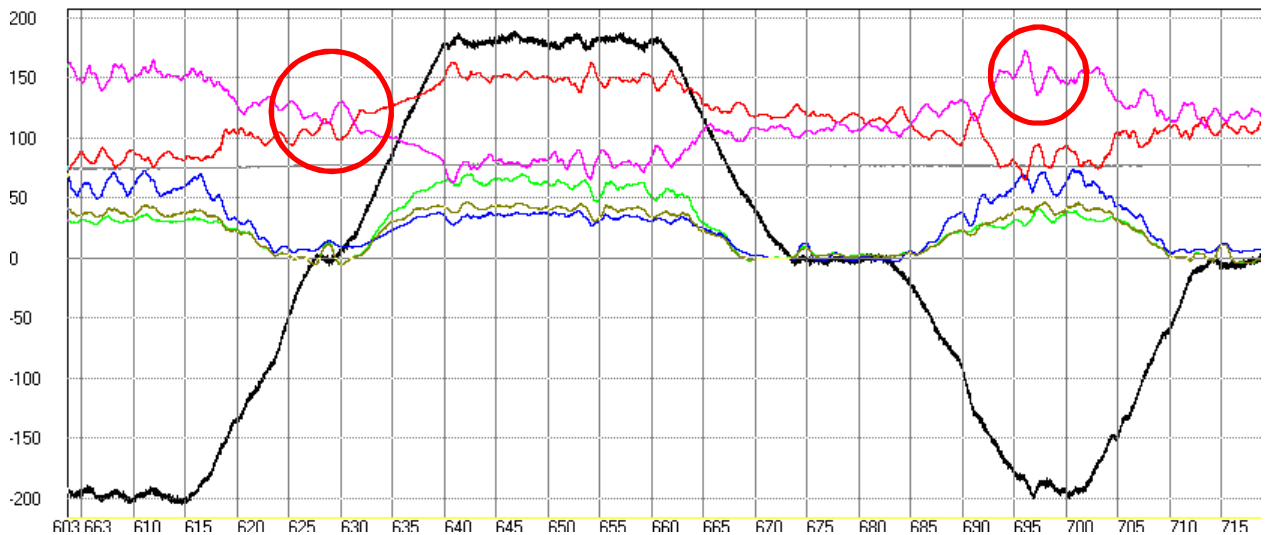
Obrázek 102 Průběh kolových sil vozidla Talns, km 257,2 – km 257,6; Q_{11} - červená, Y_{11} - zelená, Y_{11}/Q_{11} olivová křivost osy koleje - černá; osa y: kolové síly [kN], osa x: čas [s];



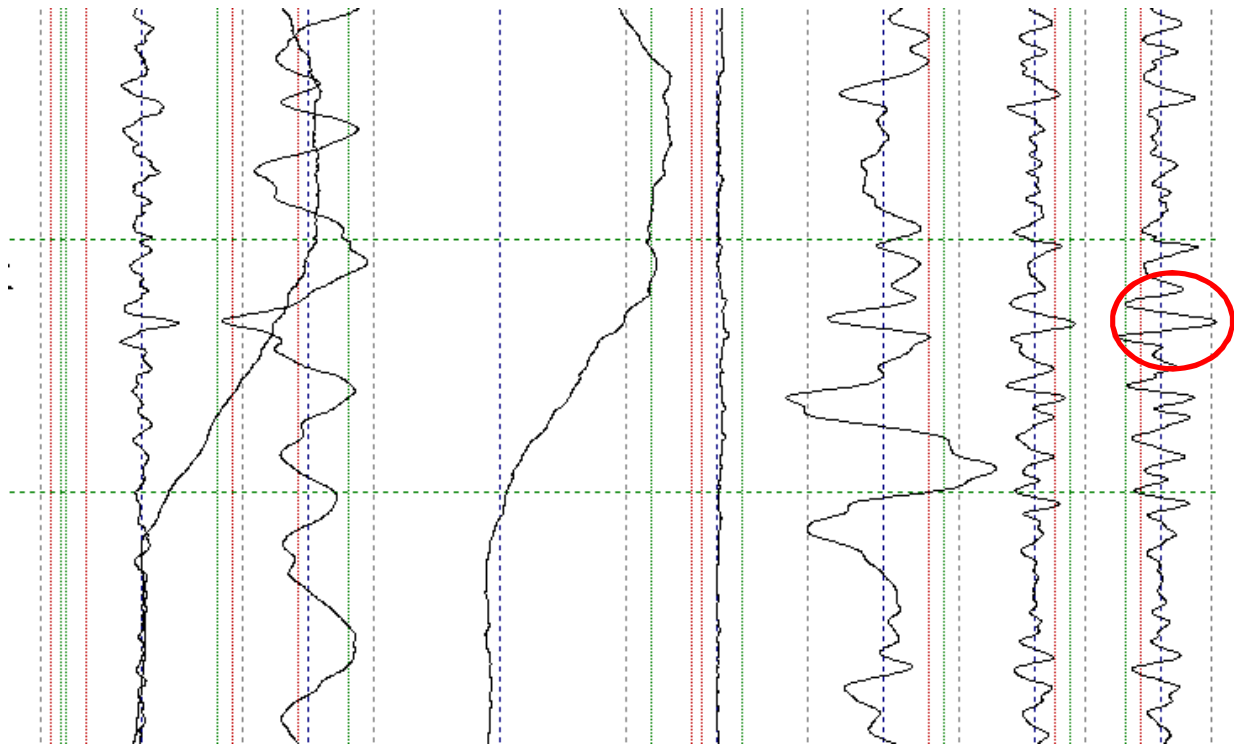
Obrázek 103 Závady GPK odpovídající výše uvedenému obrázku km 257,350

Příklad 23

Na následujícím obrázku č.104 je uvedeno srovnání vlivu mezipřímé a závady GPK na průběh kolových sil. Závada v podélné výšce dosahuje maximální hodnoty 11 mm a je zřejmé, že její vliv na průběh kolových sil je podstatnější než mezipřímá délky 54 m. Při srovnání vlivu krátké mezipřímé a závad v podélné výšce na průběh kolových sil je zřejmá vyšší podstatnost závad ve VL a VP, nicméně je třeba uvažovat, že vliv mezipřímé je stálý z podstaty projektovaného stavu, naproti tomu závady VL a VP jsou odstranitelné. Navíc zde existuje riziko výskytu obou vlivů ve stejném místě a tím podstatné zhoršení odezvy vozidla.



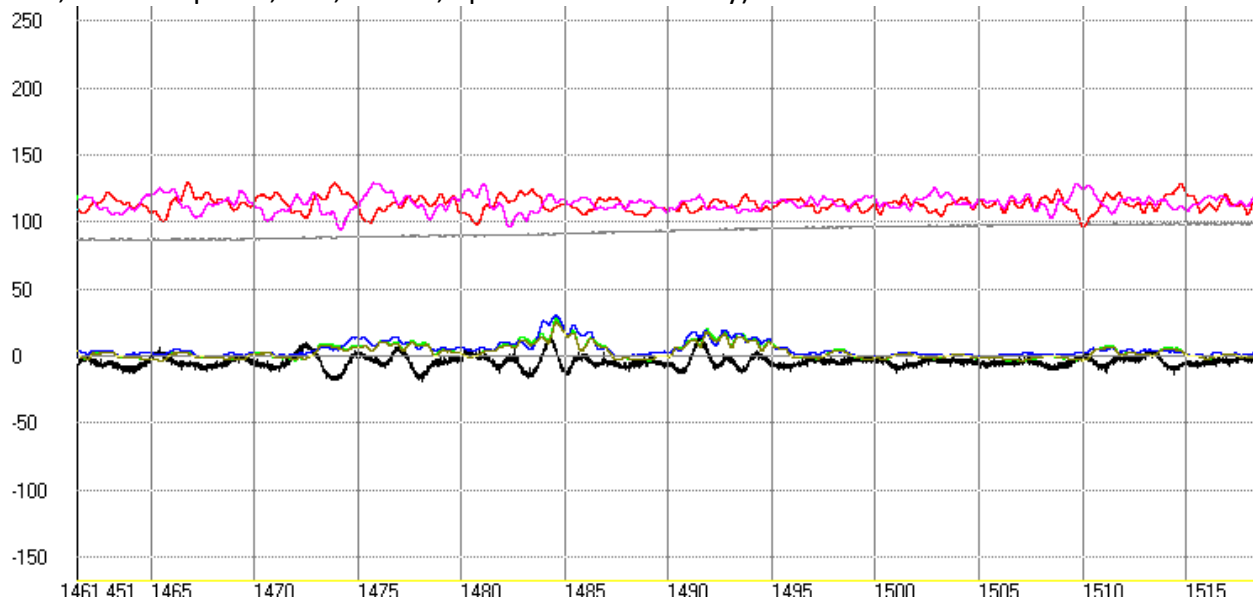
Obrázek 104 Průběh kolových sil vozidla Talns, km 258,34 – km 259,53; Q_{11} - červená, Q_{12} fialová, Y_{22} - zelená, Y_{21} modrá, křivost osy koleje - černá; osa y: kolové síly [kN], osa x: čas [s];



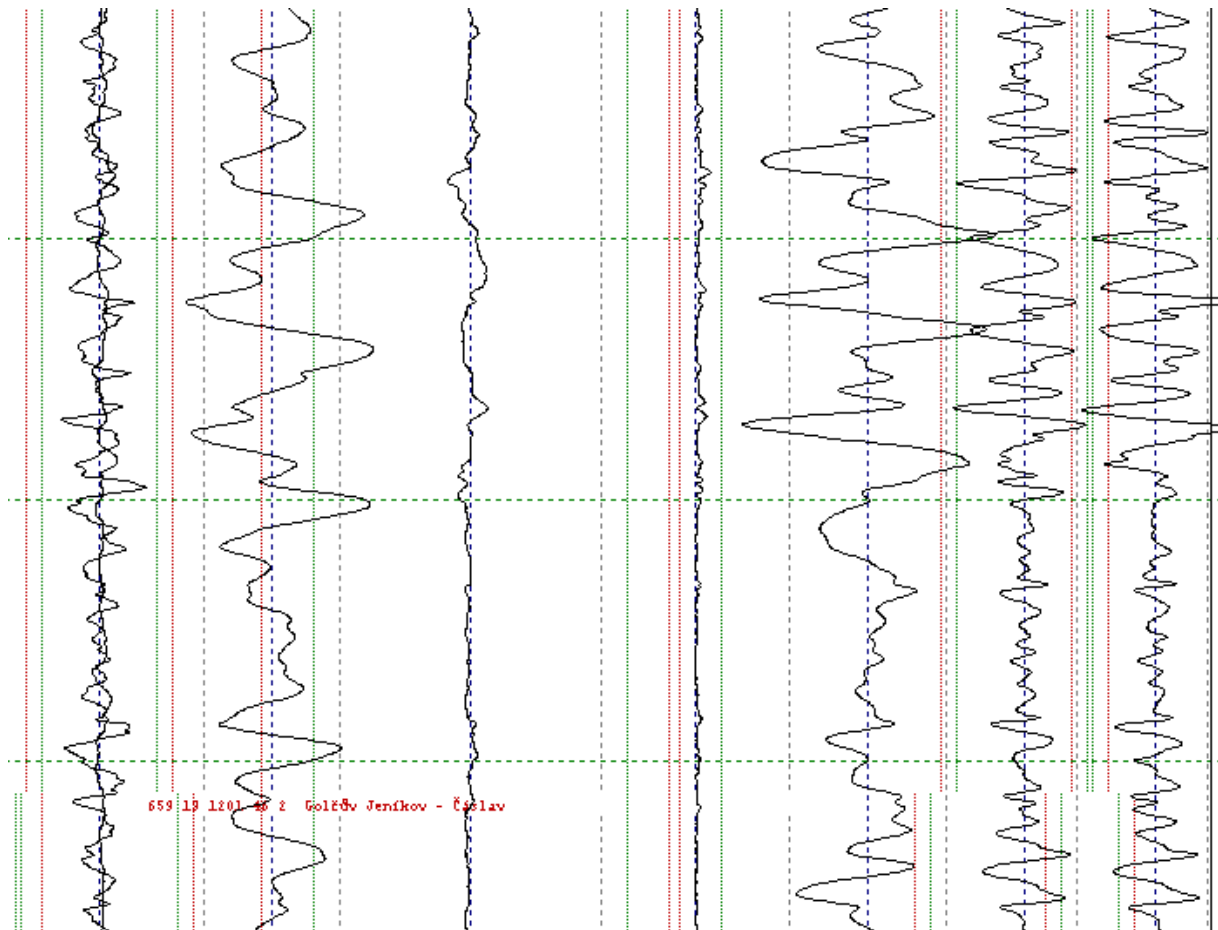
Obrázek 105 Závady GPK odpovídající výše uvedenému obrázku km 259,29

Příklad 24

Z následujícího obrázku č.106 je zřejmý vliv odchylek ve směru a v podélné výšce v obloucích velmi velkého poloměru ($R = 7400$ m) v úseku zhlaví v přímé a obloucích vyrovnávacích změnu osové vzdálenosti kolejí. Zde zřejmě i přes významný výskyt závad v podélné výšce není průběh kolových sil příliš ovlivněn, větší měrou jsou ovlivněny síly příčné pod vlivem odchylek ve směru koleje a z diskontinuit pojezděné hrany kolejnicového pásu. (km 267,4 – 267,6 zhlaví v přímé, 267,6 – 267,8 protisměrné oblouky).



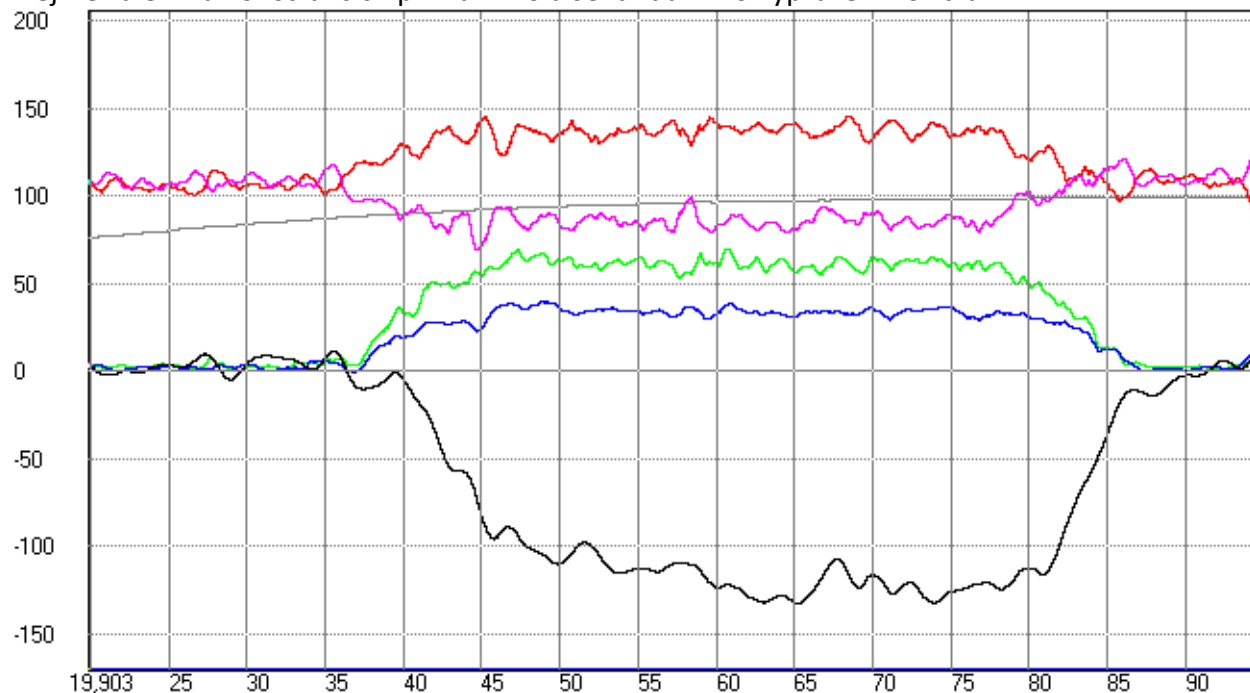
Obrázek 106 Průběh kolových sil vozidla Talns, km 267,4 – km 268,0; Q_{11} - červená, Q_{12} fialová, Y_{22} - zelená, Y_{21} modrá, křivost osy koleje - černá; osa y: kolové síly [kN], osa x: čas [s];



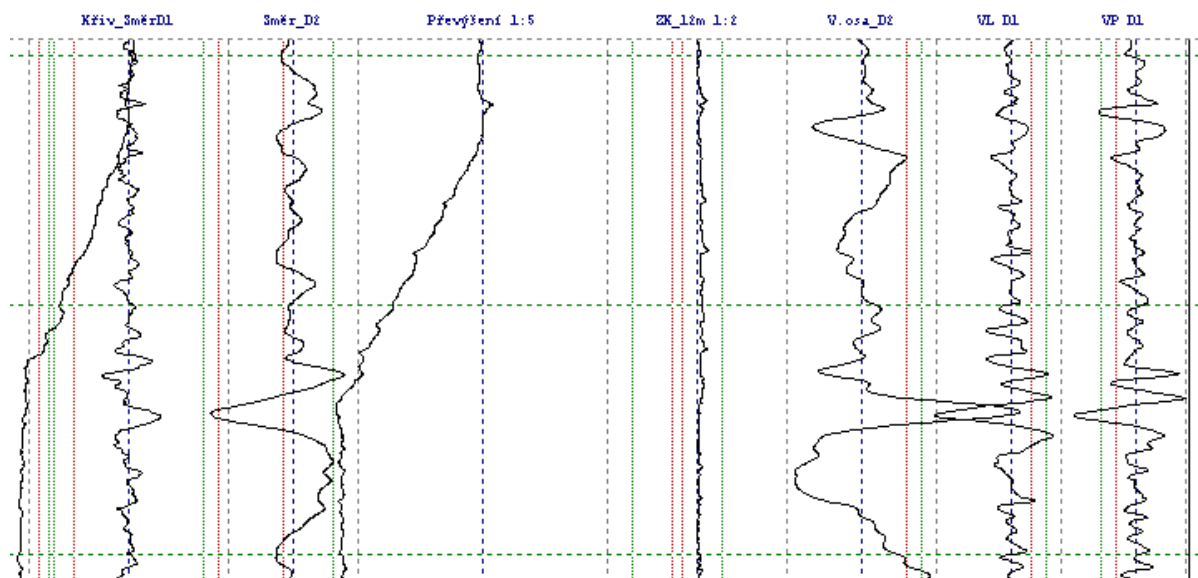
Obrázek 107 Závady GPK odpovídající výše uvedenému obrázku km 267,73 (RK, SK, PK, ZK, VK, VL, VP)

Příklad 25

Níže uvedené obrázky č. 107 až č.111 uvádějí situace závad v podélné výšce a jejich reakce v kolových silách vozidla. Z grafů lze odvodit, že i přes oscilace kolových sil, nedochází k podstatnému narušování poměru Y/Q , z důvodu poměrně nízkého referenčního poměru v oblouku. Závady v podélné výšce v této míře (mezi IL a IAL) tedy mohou ovlivnit spíše chod vozidel v návaznosti na komfort cestujících. Do jaké míry bude komfort cestujících narušen zřejmě záleží na konstrukcích primárního a sekundárního vypružení vozidla.

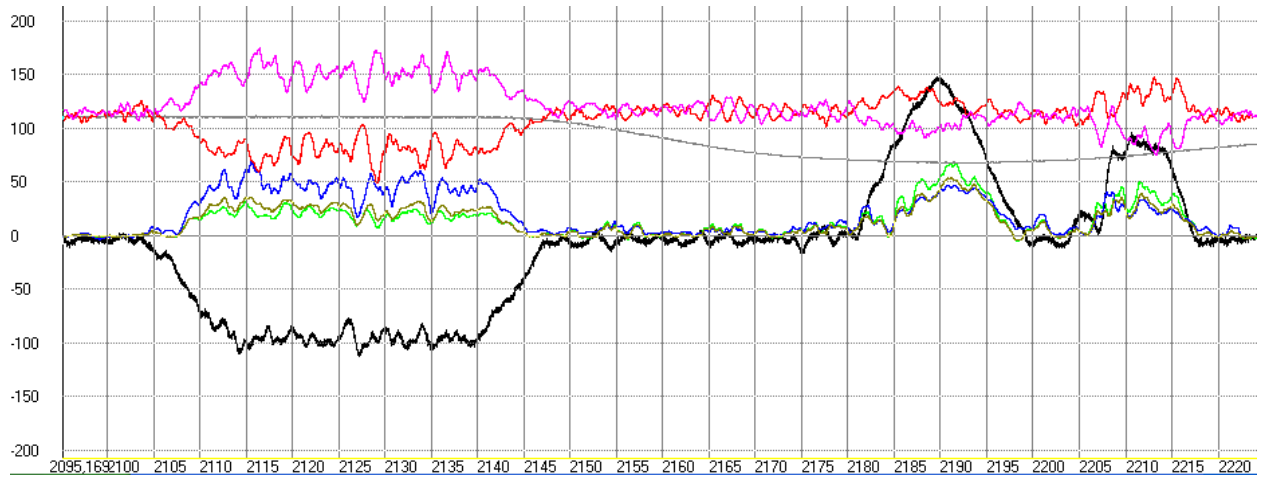


Obrázek 108 Průběh kolových sil vozidla 109E, km 268,1 – km 269,0; Q_{11} - červená, Q_{12} fialová, Y_{22} - zelená, Y_{21} modrá, křivost osy koleje - černá; osa y: kolové síly [kN], osa x: čas [s];

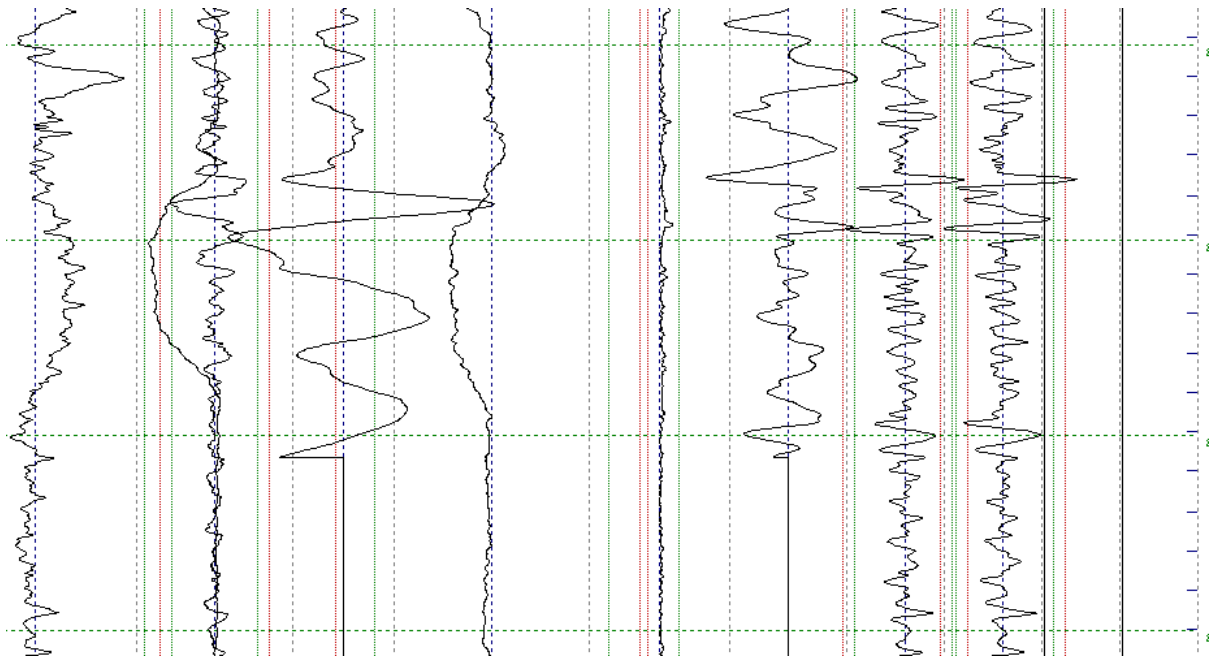


Obrázek 109 Závady GPK odpovídající výše uvedenému obrázku km 268,3

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



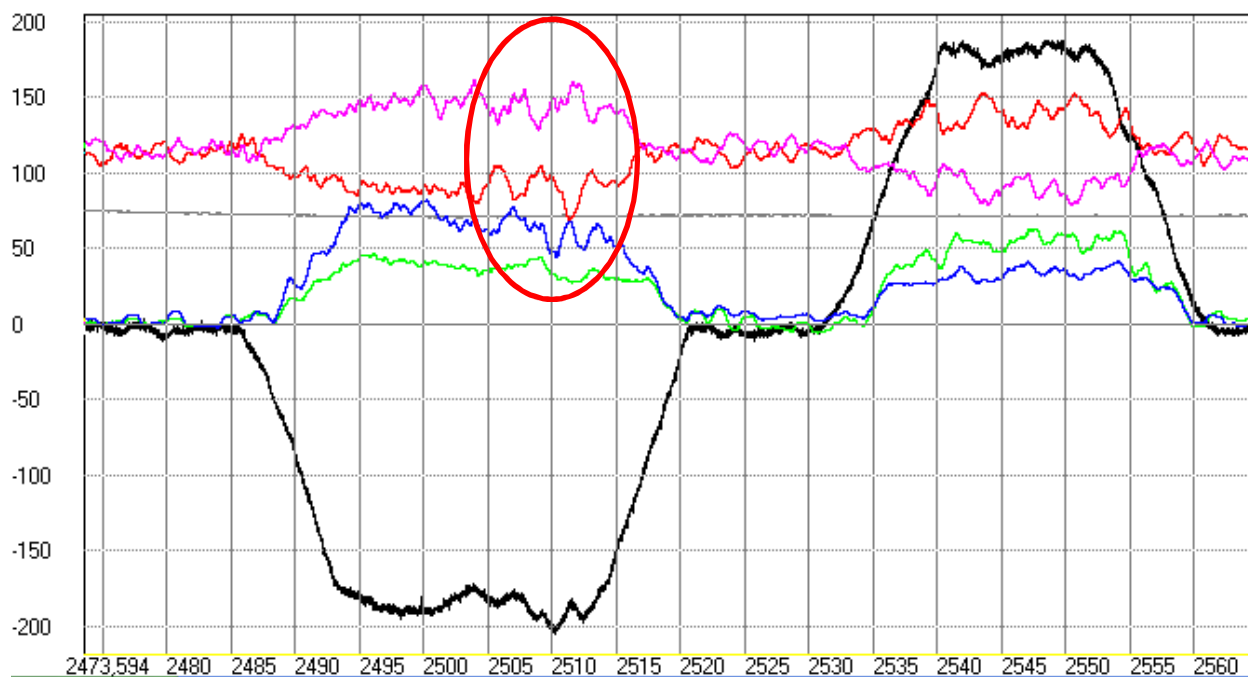
Obrázek 110 Průběh kolových sil vozidla Talns, km 276,5 – km 278,1; Q_{11} - červená, Q_{12} fialová, Y_{22} - zelená, Y_{21} modrá, křivost osy koleje - černá; osa y: kolové síly [kN], osa x: čas [s];



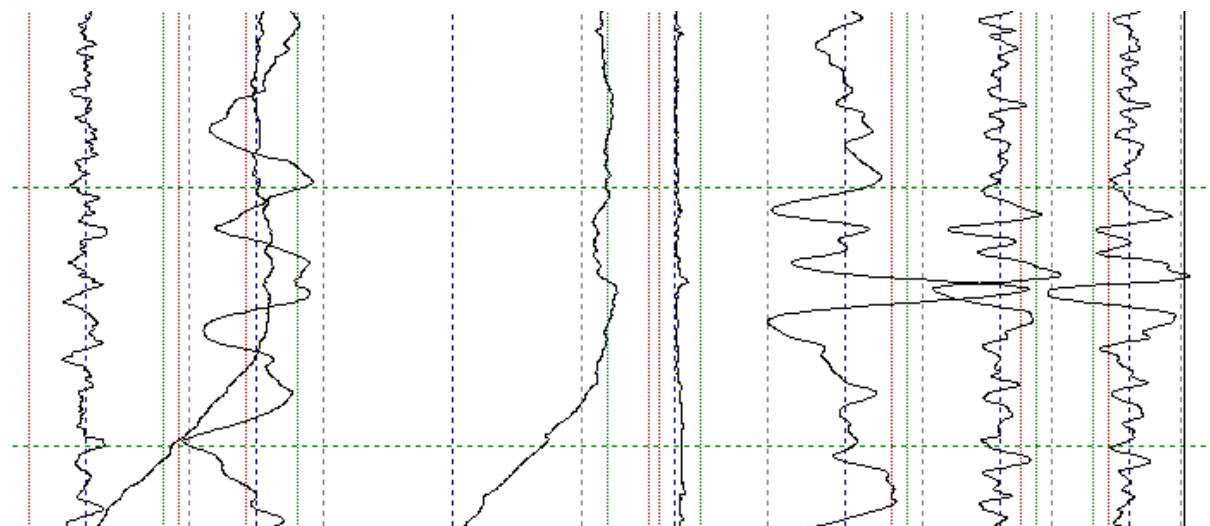
Obrázek 111 Závady GPK odpovídající výše uvedenému obrázku km 277,3 (RK, SK, PK, ZK, VK, VL, VP)

Příklad 26

Na obrázku č.112 je zaznamenán průběh sil Y a Q v podmínkách reprezentující závady v podélné výšce v hodnotách $VL \approx 13$ mm a $VP \approx 16$ mm), závady ve směru koleje jsou v řádu do 3 mm. Tento další případ ozřejmuje, že závady v podélné výšce bez kombinací se závadami ostatních parametrů v této míře nepůsobí zásadně na bezpečnost provozování drážní dopravy.



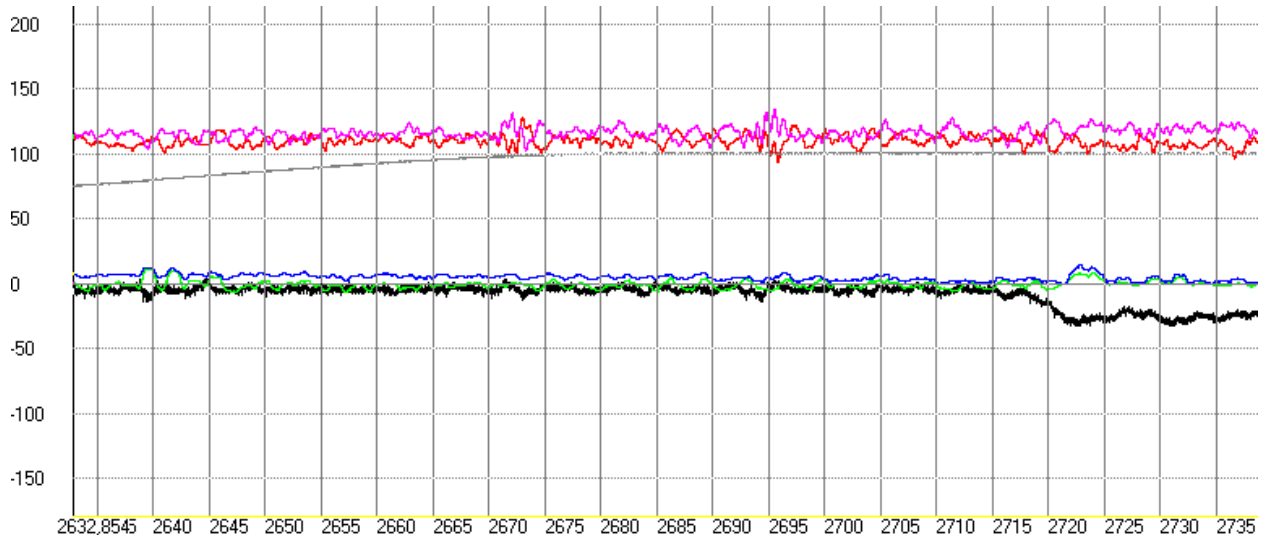
Obrázek 112 Průběh kolových sil vozidla Talns, km 281,5 – km 282,3; Q_{11} - červená, Q_{12} fialová, Y_{22} - zelená, Y_{21} modrá, křivost osy koleje - černá; osa y: kolové síly [kN], osa x: čas [s];



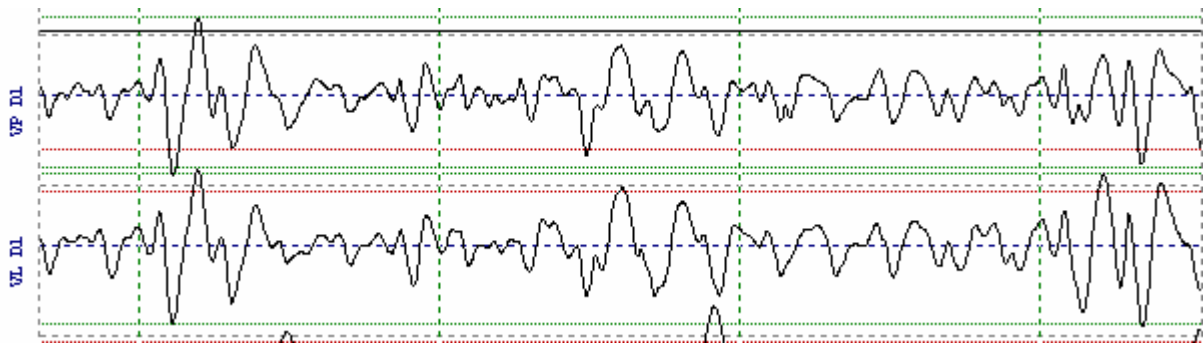
Obrázek 113 Závady GPK odpovídající výšce uvedenému obrázku km 281,650

Podobně jako v případě obrázku č.106 i z obrázku č.112 je zřejmá situace závad podélné výšky v oblasti AL, které speciálně v přímé nemají zásadní vliv na chod vozidla. Podmínka absence podstatných závad ve směru koleje je opět splněna.

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



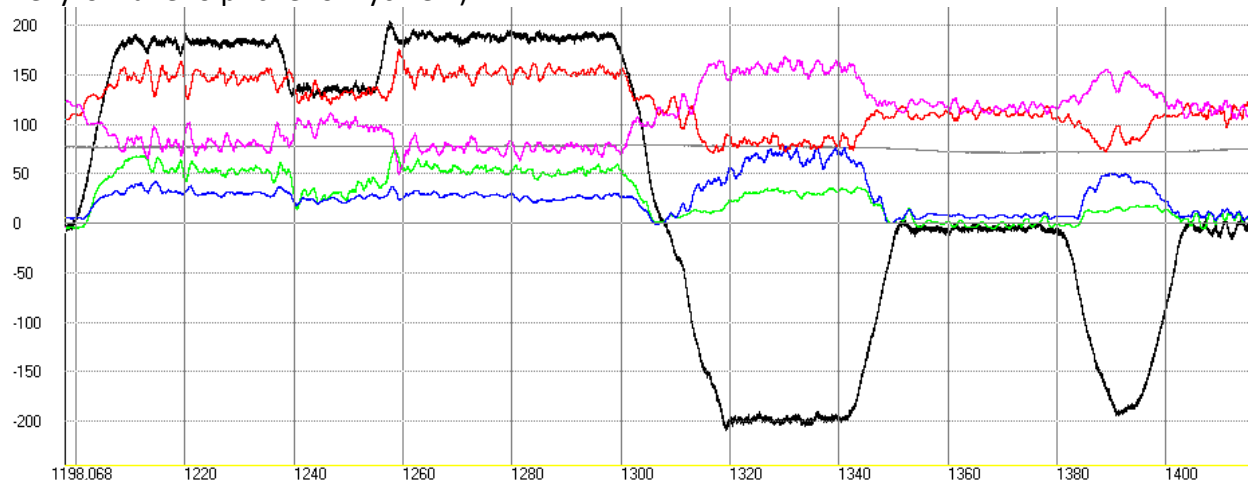
Obrázek 114 Průběh kolových sil vozidla Talns, km 283,1 – km 284,4; Q_{11} - červená, Q_{12} fialová, Y_{22} - zelená, Y_{21} modrá, křivost osy koleje - černá; osa y: kolové síly [kN], osa x: čas [s];



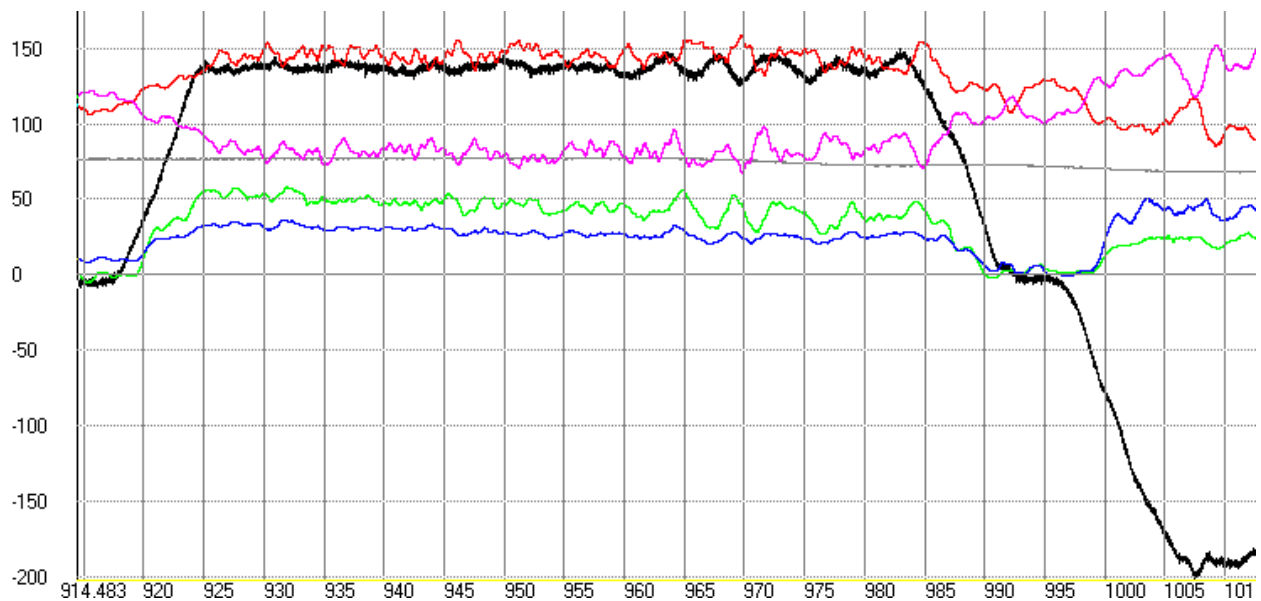
Obrázek 115 Závady VL,VP odpovídající výše uvedenému obrázku km 283,3 a km 283,8

Příklad 27

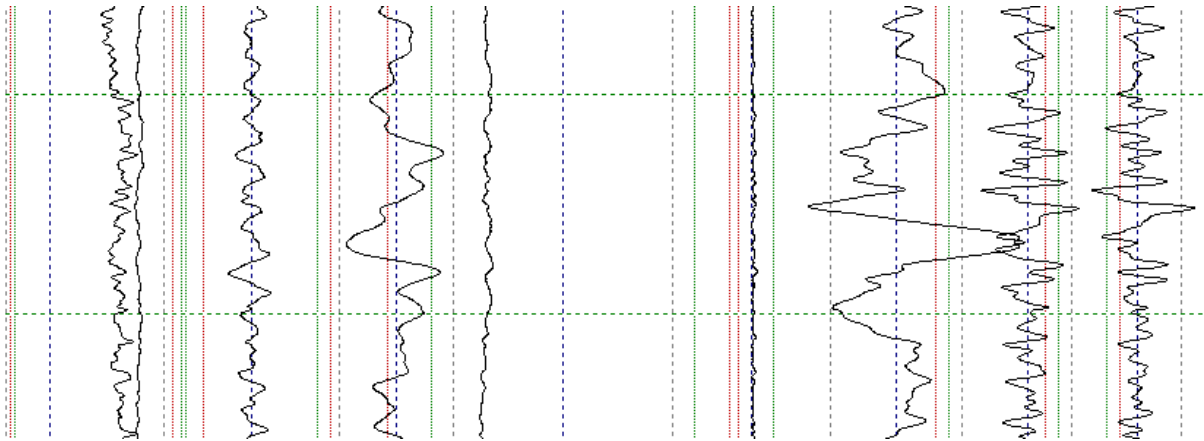
Následující obrázek č. 116 a č.117 uvádějí případy, kdy změny v křivosti koleje dobře korespondují se změnami svislých sil (ve smyslu přitížení způsobeným změnou nevyrovnaného příčného zrychlení).



Obrázek 116 Průběh kolových sil vozidla Talns, km 264,6 – km 266,9; 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];



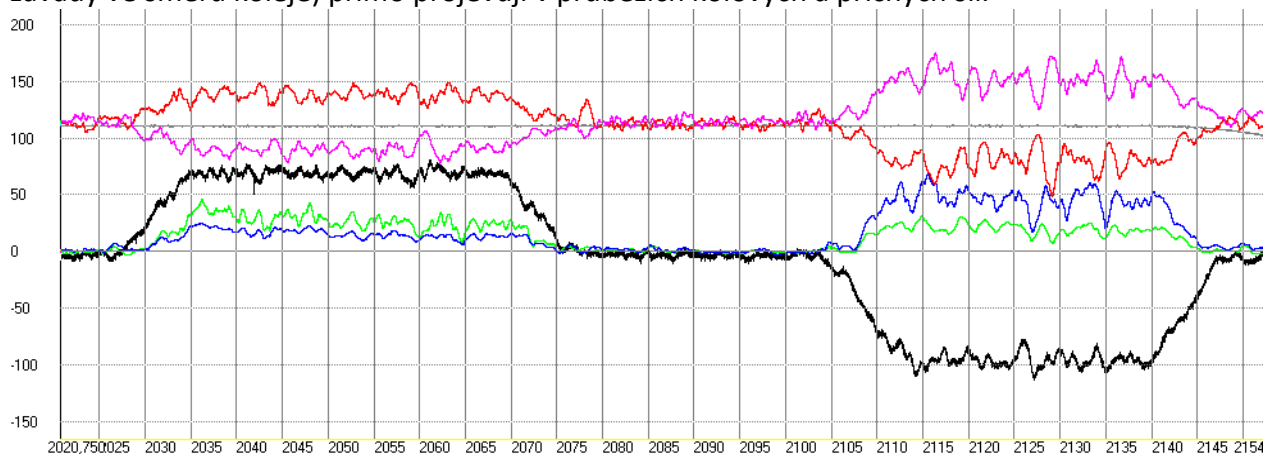
Obrázek 117 Průběh kolových sil vozidla Talns, km 261,66 – km 262,68; Q_{11} - červená, Q_{12} fialová, Y_{22} - zelená, Y_{21} modrá, křivost osy koleje - černá; osa y: kolové síly [kN], osa x: čas [s];



Obrázek 118 Hodnocení kvality GPK úseku km 261,7 - km 262,7

Příklad 28

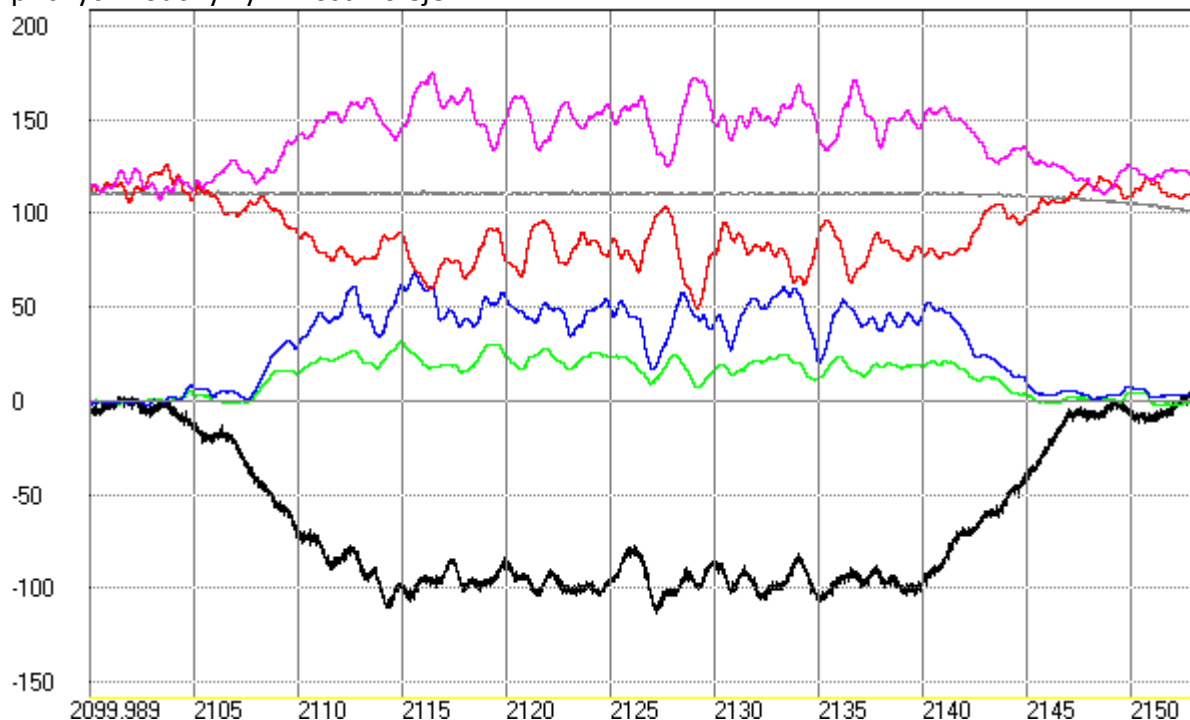
Obrázek č.119 ukazuje typický průběh příčných sil, kdy se odchylky křivosti koleje (tedy závady ve směru koleje) přímo projevují v průbězích kolových a příčných sil.



Obrázek 119 Průběh kolových sil vozidla Talns, km 275,4 – km 277,4; 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 29

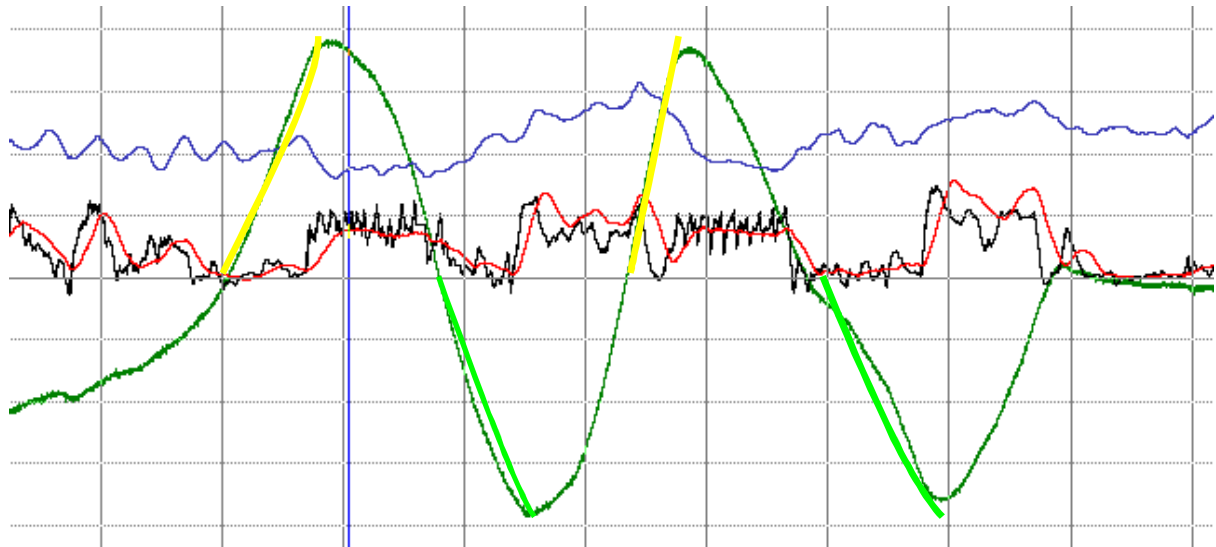
Na následujícím obrázku č.120 lze pozorovat průběh sil Y a Q nabíhajícího kola v oblouku. Jedná se o vliv závad ve směru koleje, protože průběh kolových sil kopíruje průběh sil příčných i odchylny křivosti koleje.



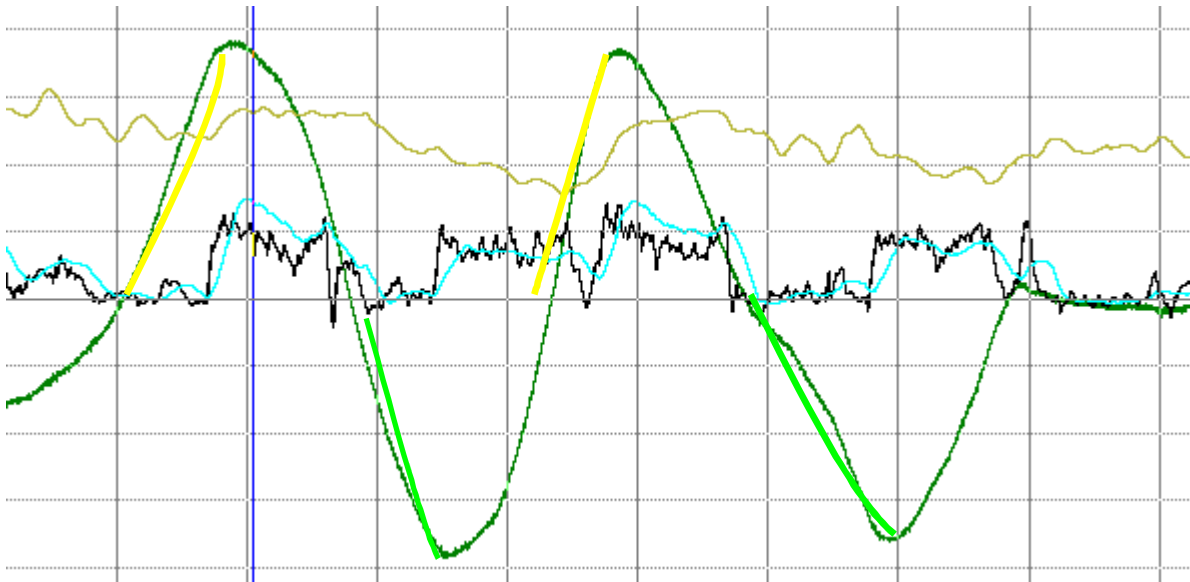
Obrázek 120 Průběh kolových sil vozidla Talns, km 276,5 – km 277,4; Q_{11} - červená, Q_{12} fialová, Y_{22} - zelená, Y_{21} modrá, křivost osy koleje - černá; osa y: kolové síly [kN], osa x: čas [s];

Příklad 30

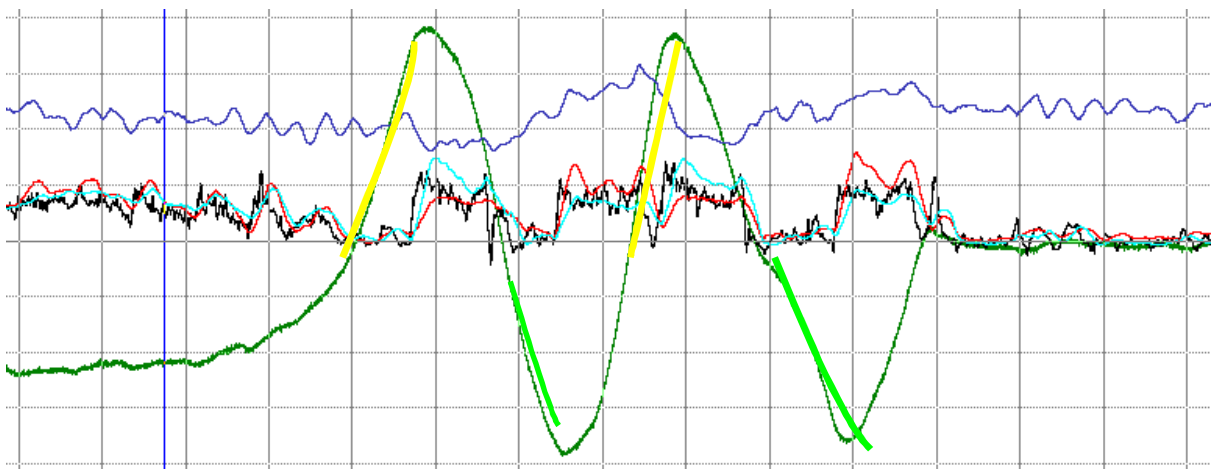
Obrázek č. 121 až obrázek č.123 znázorňuje průjezd kolejovým rozvětvením podle schématu z obrázku č.122. Z obrázků lze vysledovat tendenci ne příliš měnící se kolové síly oproti výrazně se měnící síle příčné, která je ve výsledku směrodatná i pro poměr Y/Q . Další charakteristikou je zaznamenané výrazné zvýšení příčné síly v oblasti jazyku a srdcovky výhybky při směru průjezdu proti i po hrotu (v grafech je fázový posuv mezi křivostí a zaznamenanými silami Y a Q). V obrázcích jsou znázorněny oblasti jazyků při pohybu vozidla proti hrotu žlutou barvou a při pohybu po hrotu zelenou barvou. Rychlost průjezdu kolejovým rozvětvením byla konstantní 40 km/h, výhybky jsou typu 1:9-300 a 1:11-300, tedy maximální nedostatek převýšení a hodnota jeho absolutní hodnoty náhlé změny je 63 mm. Maximální amplitudy příčných sil se pohybují v rozmezí 65 – 80 kN pro plovoucí průměr 300; 90 – 94 kN pro plovoucí průměr 25, což jsou síly, kterých není běžně dosahováno ani v obloucích s využitým nedostatkem převýšení mezi 100 mm – 130 mm, kde se obvyklé hodnoty pohybují v rozmezí 45 – 55 kN (pro plovoucí průměr 300). Obrázky 121 a 122 znázorňují vždy síly na jednom kole nápravy, obrázek 123 je pro srovnání složený ze všech silových reakcí. Důvodem zvýšených příčných sil bude nejen náhlá změna nedostatku převýšení, ale zřejmě podstata konstrukčního uspořádání hrotu jazyka přiléhajícího k opornici a srdcovky.



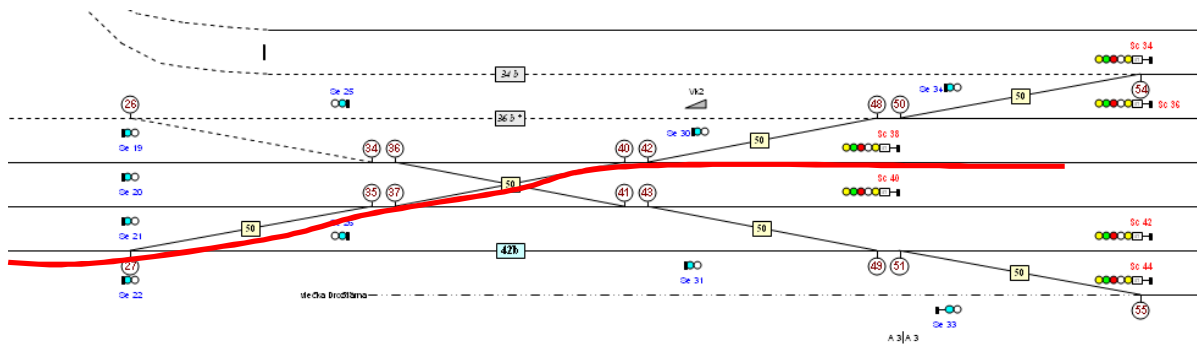
Obrázek 121 Výhybkové oblouky z km 296,9 - km 297, Q_{12} modrá, Y_{12} červená, Y_{12}/Q_{12} černá



Obrázek 122 Výhybkové oblouky z km 296,9 - km 297, Q_{11} oranžová, Y_{11} modrá, Y_{11}/Q_{11} černá



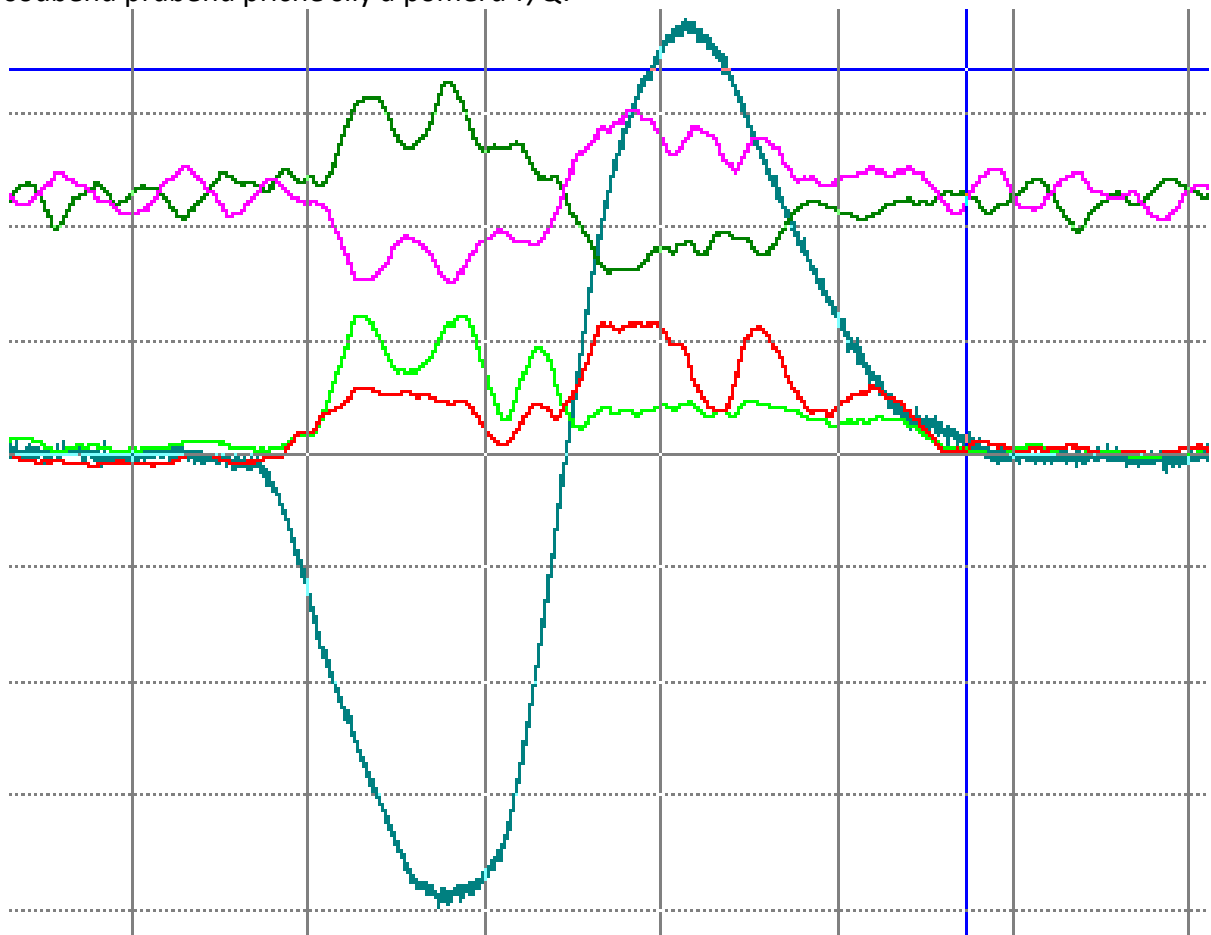
Obrázek 123 Výhybkové oblouky z km 296,9 - km 297, Q_{12} modrá, Y_{12} červená, Y_{12}/Q_{12} černá, Y_{11} modrá



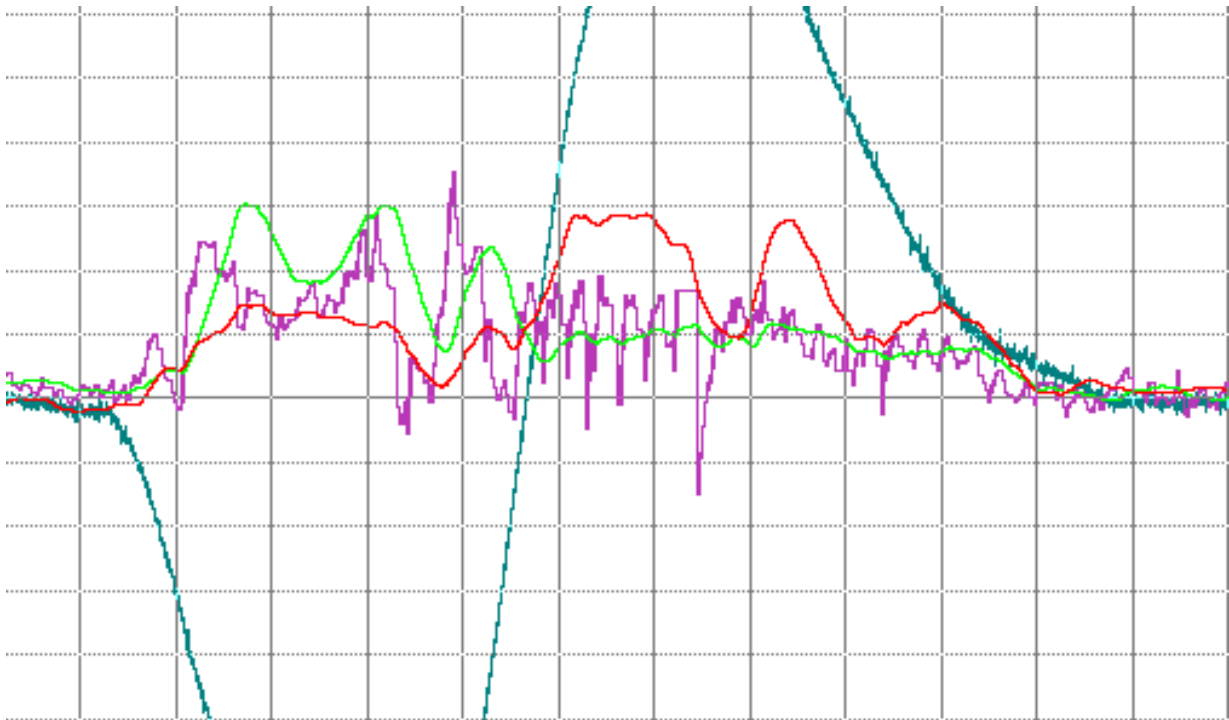
Obrázek 124 Schéma kolejového rozvětvení žst. Kolín km 297, červeně průjezd vlakové soupravy

Příklad 31

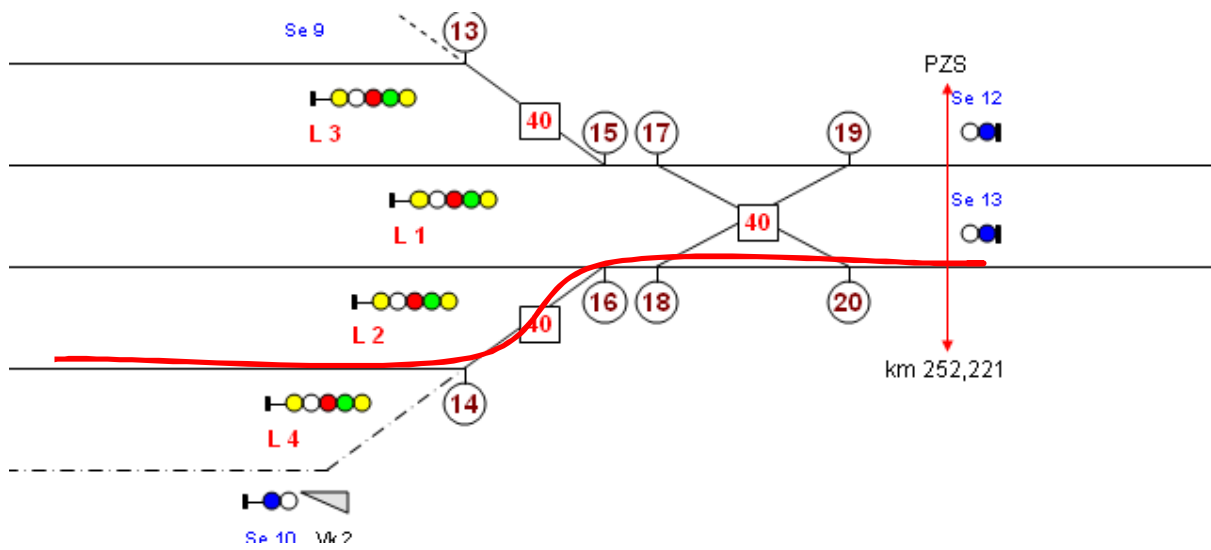
Následující obrázek č.125 a obrázek č.126 dokumentují jízdu z 2 traťové koleje přes výhybky č. 16 (1:9-300) a 14 (1:7,5-190 (1350/416)) na 4 dopravní kolej žst. Leština u Světlé konstantní rychlostí 39 km/h. Maximální amplitudy pro plovoucí průměr 300 vzorků parametru Y_{22-300} jsou 61 kN a Y_{21-300} jsou 58 kN. Dalším zajímavým jevem je určité sedlo v místě střední části výhybky. Při konstantním poloměru jsou hodnoty příčných sil zvýšené v oblasti hrotů jazyku a srdcovkové části výhybky. Obrázek č.126 dobře reprezentuje jev souběhu průběhu příčné síly a poměru Y/Q .



Obrázek 125 Výhybkové oblouky z km 252, Q_{22} tmavě zelená, Y_{22} světle zelená, Y_{21} červená, Q_{21} fialová



Obrázek 126 Výhybkové oblouky z km 252, Y_{22} světle zelená, Y_{21} červená, Y_{22}/Q_{22} fialová

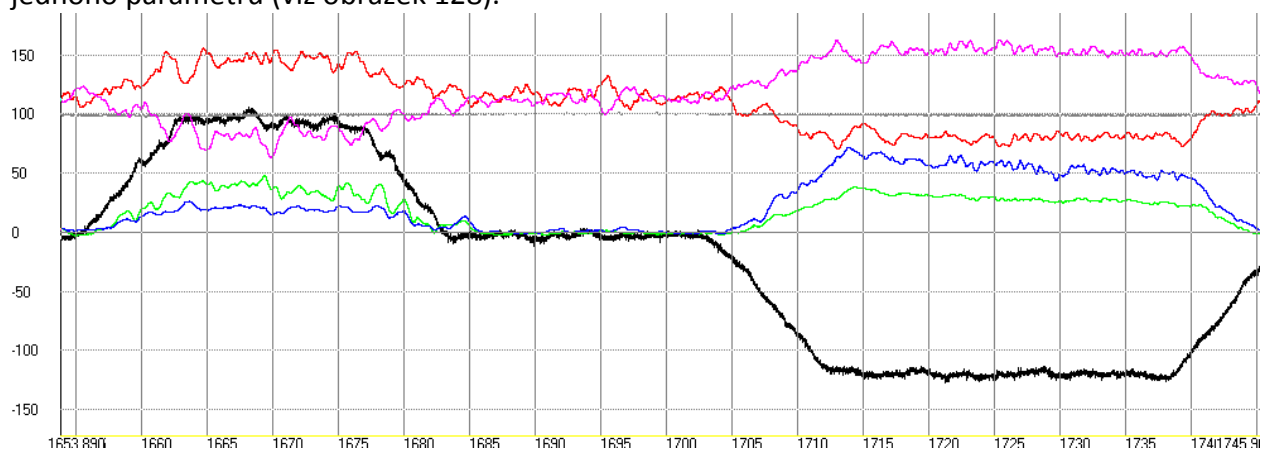


Obrázek 127 Schéma kolejového rozvětvení žst. Leština u Světlé km 252, červeně průjezd vlakové soupravy

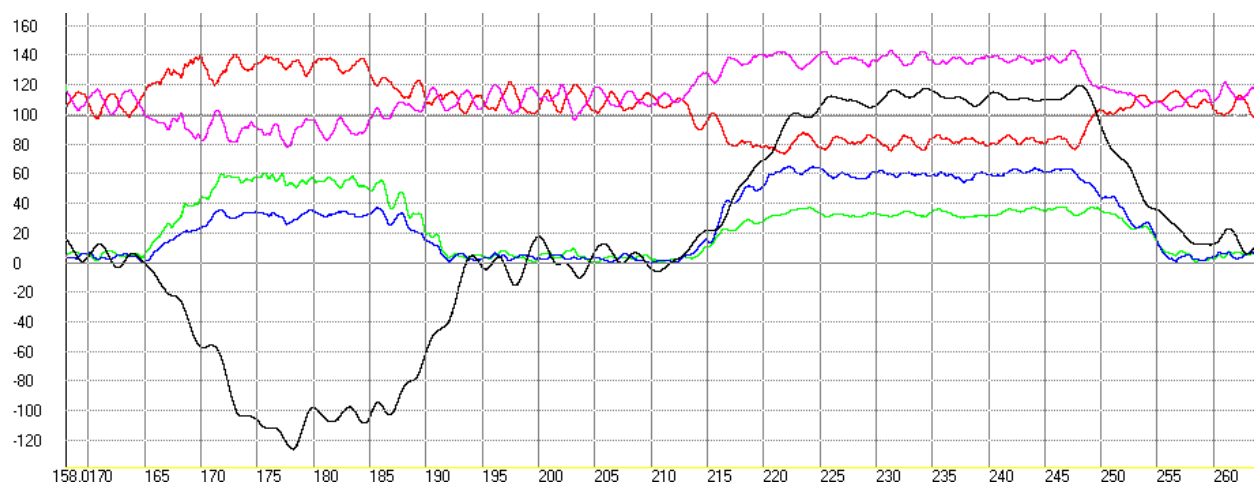
Příklad 32

Následující obrázek č.128 reprezentuje průběh Y/Q z první nápravy ve směru jízdy. Při srovnání s výsledky lokomotivy 109E v traťovém úseku Letohrad – Lichkov je zřejmé, že zde na horší kvalitě GPK dochází k výraznějšímu nestabilitě průběhu poměru Y/Q , který při nižších absolutních hodnotách nedostatků převýšení dosahují ve svých výchylkách vyšších hodnot. Obvykle se maxima amplitud Y/Q pohybují v oblasti 0,5 – 0,6, přičemž poměrně konzervativní mez bezpečnosti je daná hodnotou 0,8. Obrázek č.129 ukazuje dva oblouky s odlišnou kvalitou GPK. Z obrázku č.131 je patrné, že oblouk km 270,6 – km 271,2 (druhý v pořadí) dosahuje takřka kvality úrovně odchylek přejímky prací, což se značně projeví na průběhu Y/Q .

Obrázky č.128 a č.129 ukazují, že podobných účinků na svislé a příčné síly je dosaženo odchylkami podélné výšky v prvním oblouku a směru koleje vodicího kolejnicového oblouku v druhém oblouku. V obou obloucích jsou zaznamenány významnější odchylky GPK pouze jednoho parametru (viz obrázek 128).

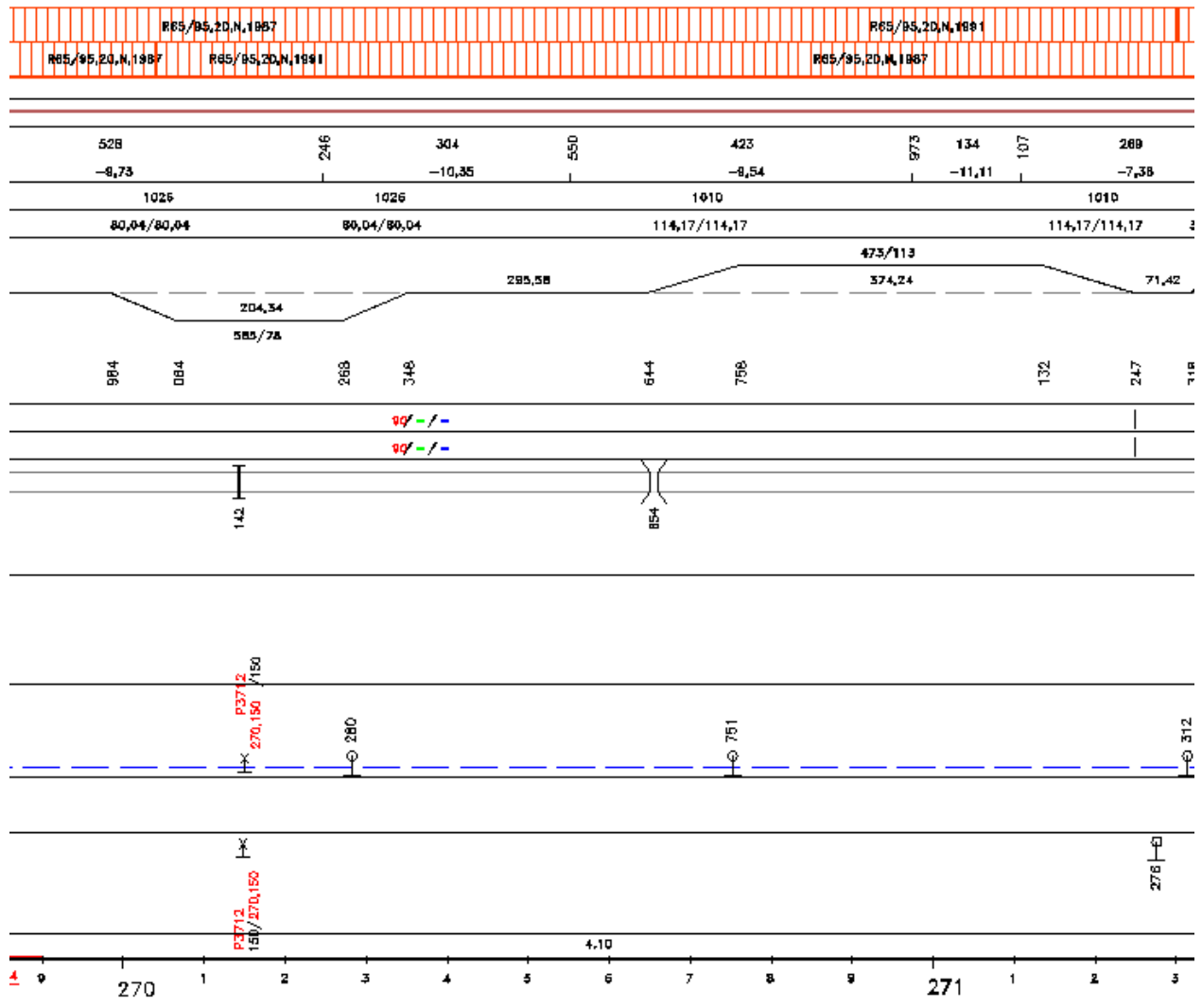


Obrázek 128 Průběh kolových sil vozidla Talns, km 270,0 – km 271,3; Q_{11} - červená, Q_{12} fialová, Y_{22} - zelená, Y_{21} modrá, křivost osy koleje - černá; osa y: kolové síly [kN], osa x: čas [s];

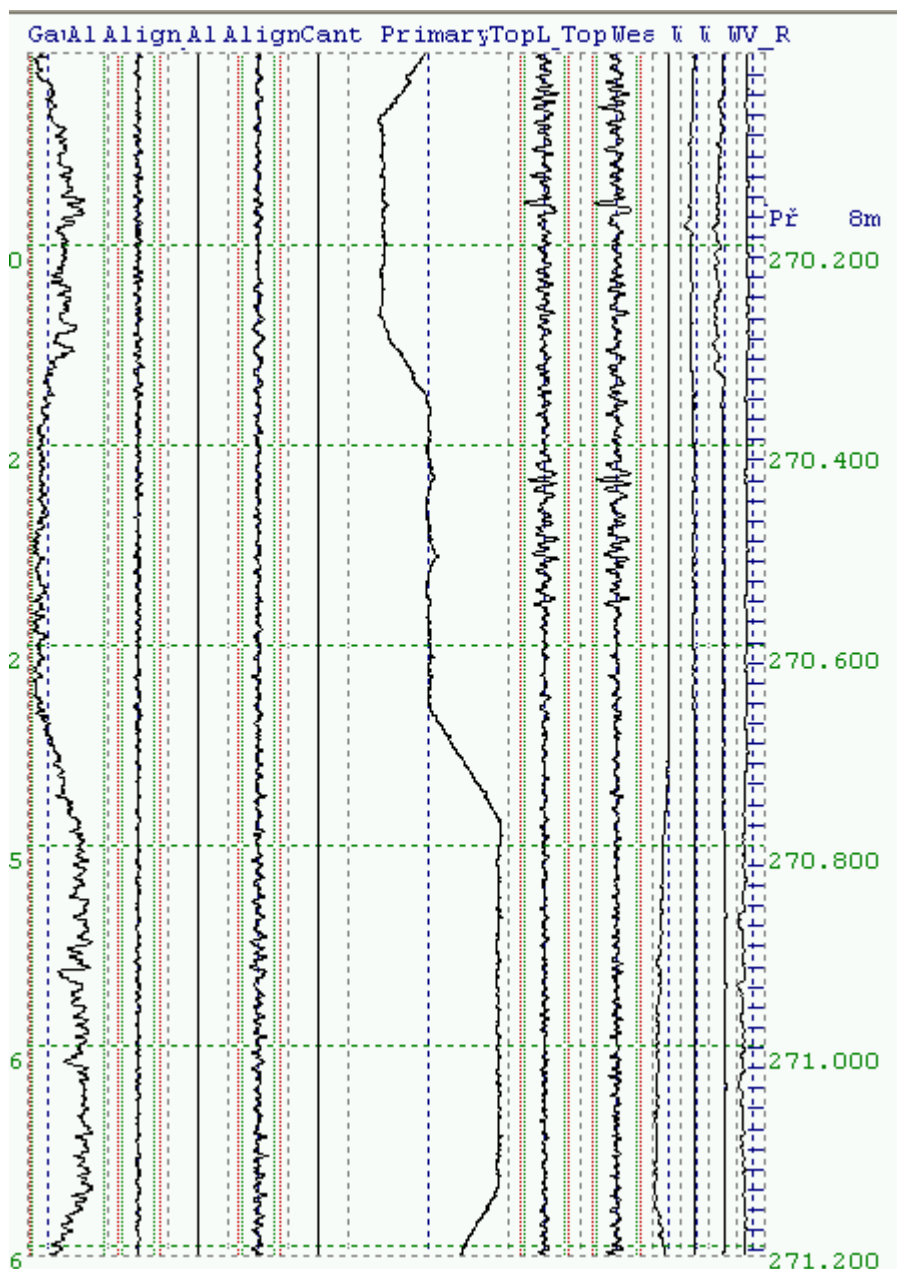


Obrázek 129 Průběh kolových sil vozidla 109E, km 270,0 – km 271,3; Q_{11} - červená, Q_{12} fialová, Y_{22} - zelená, Y_{21} modrá, nedostatek převýšení - černá; osa y: kolové síly [kN], osa x: čas [s];

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



Obrázek 130 Parametry GPK a konstrukce žel. svršku v km 270,0 - km 271,3



Obrázek 131 Záznam MV - stav GPK km 270,0-271,2

3.2.3. Traťový úsek Praha – Děčín

Zkušební jízdy vozidla 109E byly prováděny v úseku Lovosice (km 495) – Ústí nad Labem (km 516). Zkušební jízdy vozidla Talns byly prováděny v úseku Vraňany (km 450) – Děčín (km 538).

Jedná se o část I. tranzitního železničního koridoru modernizovaného v letech 1998 – 2007, který je v částech zkušebních úseků veden v přímé a v části v obloucích středních poloměrů.

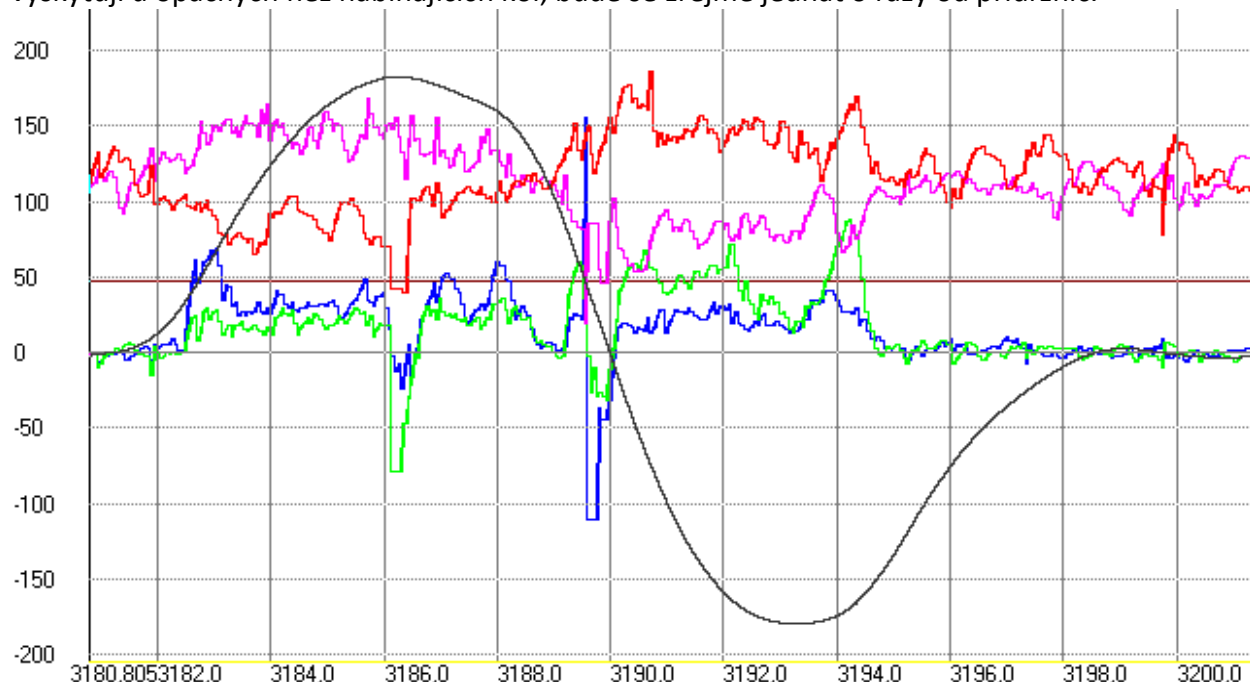
Tabulka 23 Výčet směrových prvků konstantní křivosti v traťovém úseku Vraňany – Děčín

Mezipřímé $L < 1,0 \cdot V$					Navazující poloměry
km	km	L [m]	V [km/h]	$q = L/V$	R_1/R_2 [m]
468,742	468,805	43	130	0,33	750/950
469,604	469,675	71	130	0,55	950/930
501,127	501,204	77	100	0,77	585/435
501,975	502,030	55	100	0,55	800/735
509,602	509,638	36	110	0,33	543/781
509,964	510,037	73	110	0,66	781/1100
Kružnicové části oblouků $L < 1,0 \cdot V$					
km	km	L [m]	V [km/h]	$q = L/V$	R [m]
477,123	477,164	41	140	0,29	1454
501,339	501,422	83	100	0,83	435
501,820	501,882	62	100	0,62	800
503,029	503,124	95	100	0,95	540
509,436	509,485	49	110	0,45	543
513,441	513,522	81	100	0,81	343
514,601	514,661	45	100	0,45	2300

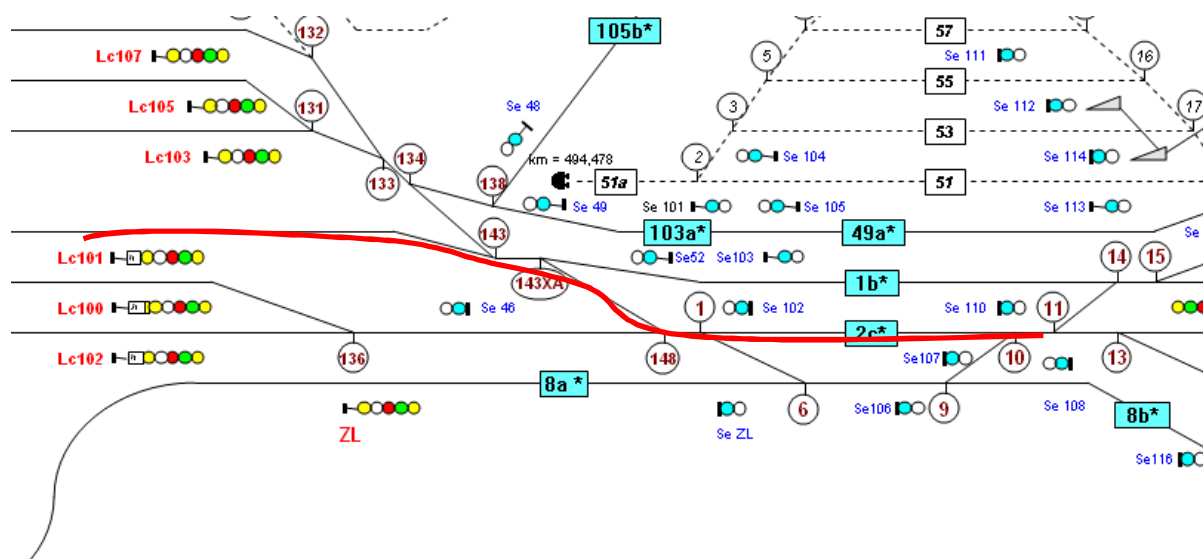
Dále budou uvedeny konkrétní případy vlivu jednotlivých kombinací parametrů GPK.

Příklad 33

Následující obrázek č.132 až dokumentuje jízdu z 2. traťové koleje přes výhybky č.148 (1:9-300) a 143A (1:11-300) a 143 (1:9-300 (6850/314)) na 1 hlavní kolej žst. Lovosice konstantní rychlostí 47 km/h. Maximální amplitudy parametru Y_{22} pro vozidlo Talns jsou 87 kN a Y_{21} jsou 67 kN. Poměrně vysoká hodnoty parametru Y_{22} a Y_{21} jsou zaznamenány na hrotech jazyků. Hodnota nedostatku převýšení je $I = 87$ mm. V prvním výhybkovém oblouku a v přechodu mezi výhybkami jsou patrné vysoké hodnoty opačných směrů příčných sil – jelikož se vyskytují u opačných než nabíhajících kol, bude se zřejmě jednat o rázy od přídržnic.



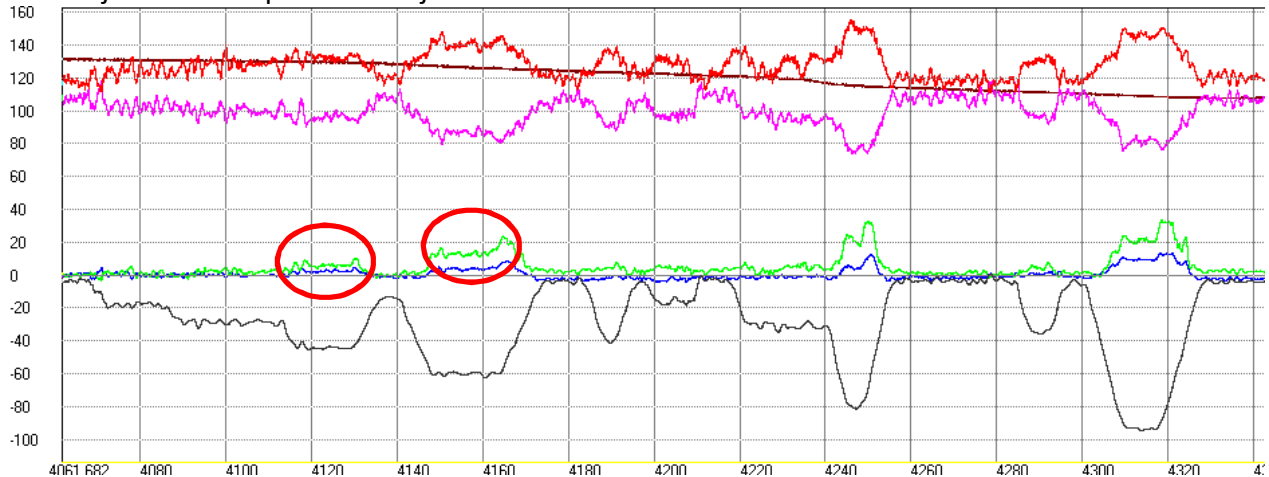
Obrázek 132 Průběh kolových sil vozidla Talns – plovoucí průměr 25 vzorků, km 494,3 – km 494,4; Q_{22} - červená, Q_{21} fialová, Y_{22} - zelená, Y_{21} modrá, křivost osy koleje - černá; osa y: kolové síly [kN], osa x: čas [s];



Obrázek 133 Schéma kolejového rozvětvení žst. Lovosice km 494,5, červeně průjezd vlakové soupravy

Příklad 34

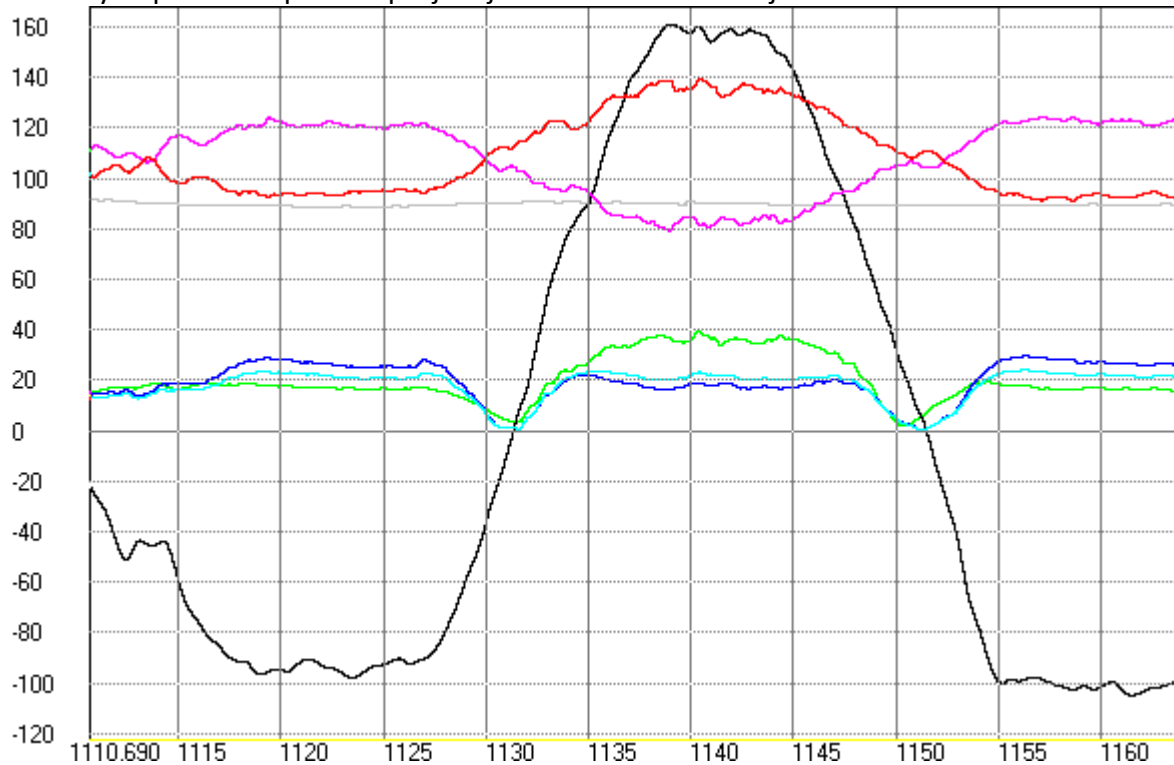
Na níže uvedeném obrázku č.134 je zřejmý pro vozidlo Talns typický průběh příčných sil při přechodu přečodnice – kružnicový oblouk. Tento stav je zřejmě určen působením setrvačných sil v rámci systému vypružení vozu, jelikož na přechodu KP=ZO dochází ke změně působení vektoru svislého zrychlení způsobené nárůstem převýšení a nedostatkem převýšení a dále s ohledem na konstrukční vlastnosti sekundárního vypružení vozu tj. jejich reakcí na vzrůstající natočení podvozku a jeho ustálení v kružnicové části oblouku.



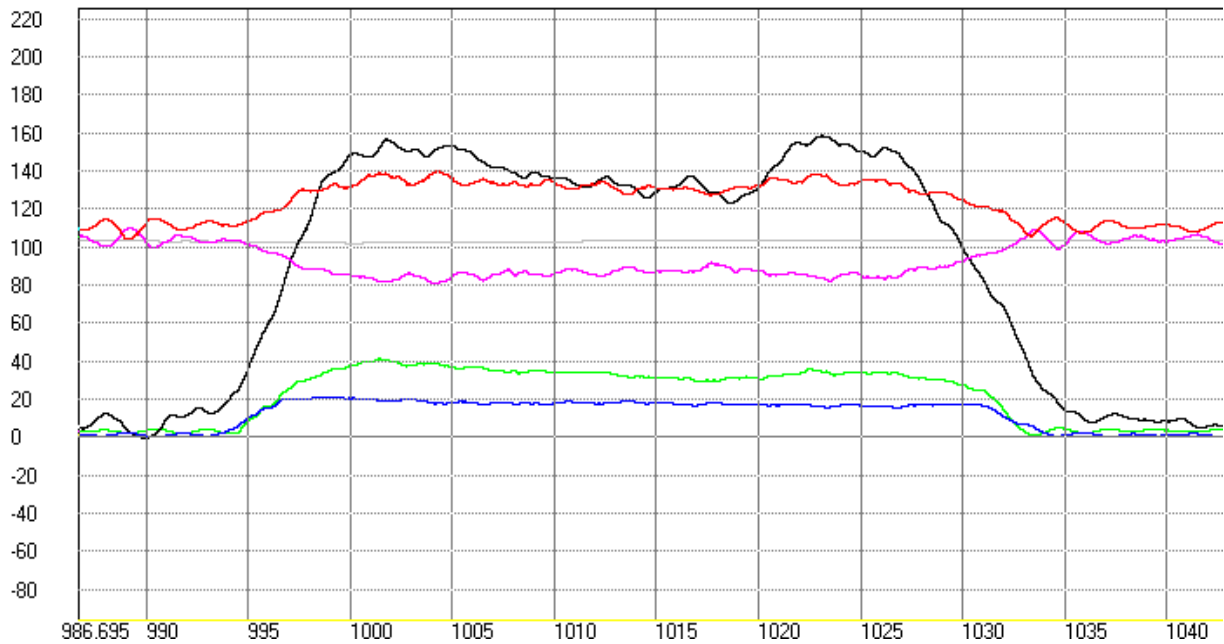
Obrázek 134 Průběh kolových sil vozidla Talns, km 475,31 – km 479,22; Q_{22} - červená, Q_{21} - fialová, Y_{22} - zelená, Y_{21} modrá, Y_{21}/Q_{21} tyrkysová, křivost osy koleje - černá; osa y: kolové síly [kN], osa x: čas [s];

Příklad 35

Níže uvedené obrázky č. 135 a č. 136 dokumentují obecně platný princip, že trend nárůstu/snižování příčných sil je strmější než v případě sil kolových. Vlivem větších relativních změn příčných sil kopíruje průběh Y/Q ve většině případů průběh příčných sil. Obrázek č. 136 dokumentuje tento problém globálně pro celý oblouk (jedná se o složený oblouk o třech poloměrech s mezilehlou přechodnicí mezi R_1 a R_2). Strmější pokles příčných sil ve výstupní vzestupnici se projevuje u vodícího kola dvojkolí.



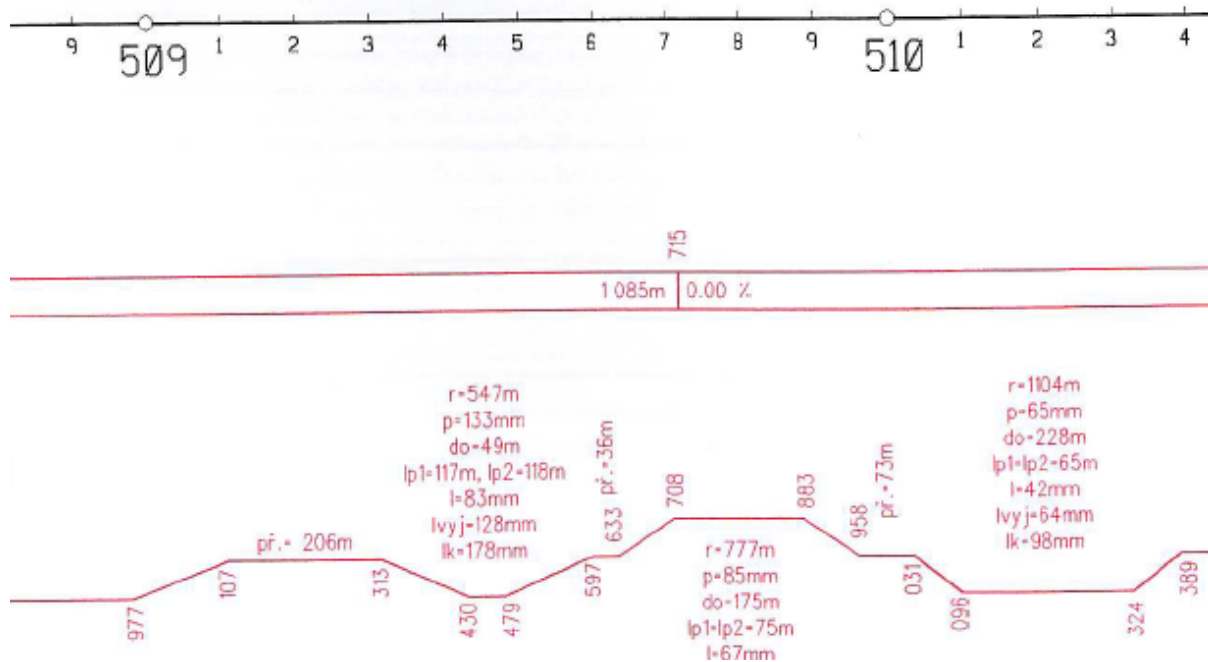
Obrázek 135 Průběh kolových sil vozidla 109E, km 513,10 – km 513,82; Q_{22} - červená, Q_{21} fialová, Y_{22} - zelená, Y_{21} modrá, Y_{21}/Q_{21} tyrkysová, křivost osy koleje - černá; osa y: kolové síly [kN], osa x: čas [s];



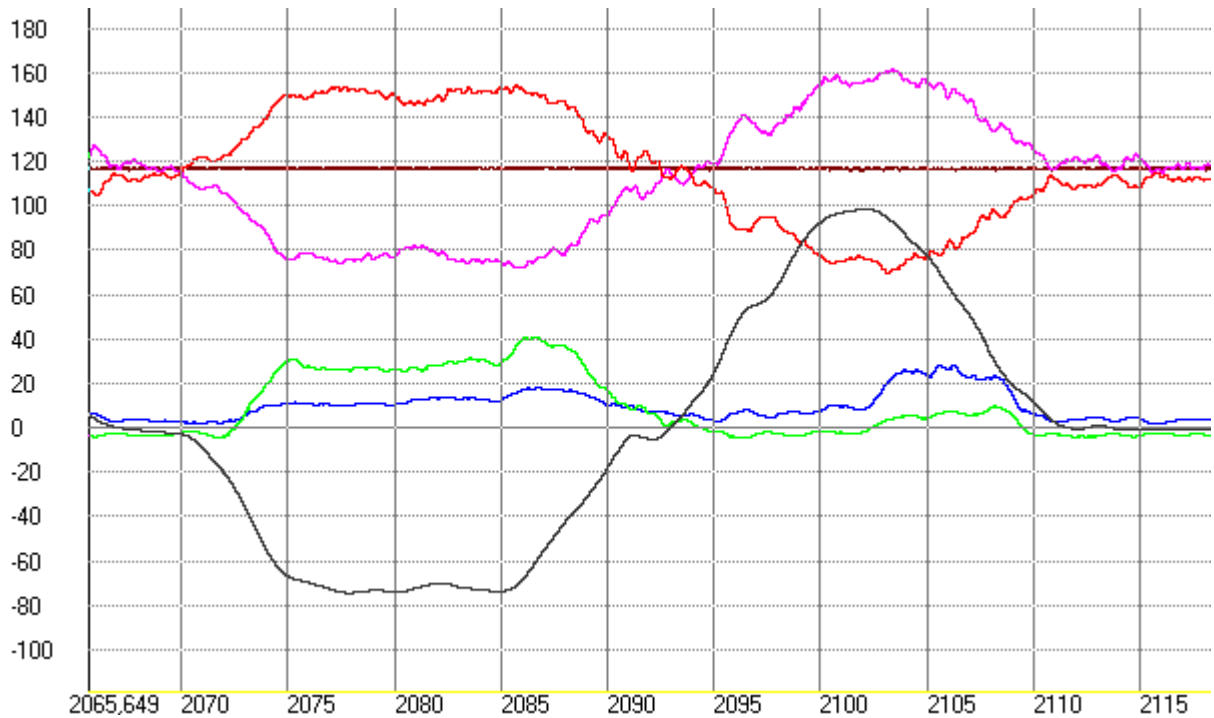
Obrázek 136 Průběh kolových sil vozidla 109E, km 511,41 – km 512,18; Q_{11} - červená, Q_{12} fialová, Y_{22} - zelená, Y_{21} modrá, křivost osy koleje - černá; osa y: kolové síly [kN], osa x: čas [s];

Příklad 36

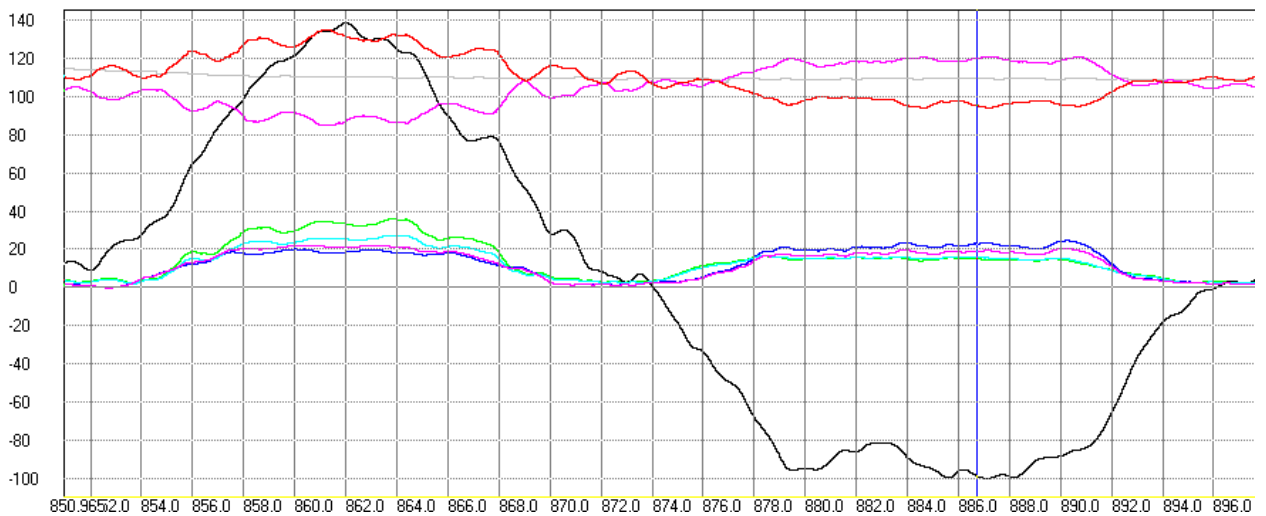
Na následujícím obrázcích č.138 a č.139 je uveden průběhy svislých a příčných sil v oblasti mezpřímé délky $L = 36$ m. Narušení příčných i svislých sil není ve velké míře zaznamenáno. V obou případech zkušebních jízd vozidel Talns i 109E je při měření křivosti i nedostatku převýšení (resp. nevyrovnané příčné zrychlení) tato mezipřímá zaznamenána. Vliv na průběhy silových veličin mají i poměrně příznivé parametry vzestupnic a přechodnic dD/dt a dI/dt .



Obrázek 137 Směrové poměry km 509 - 510



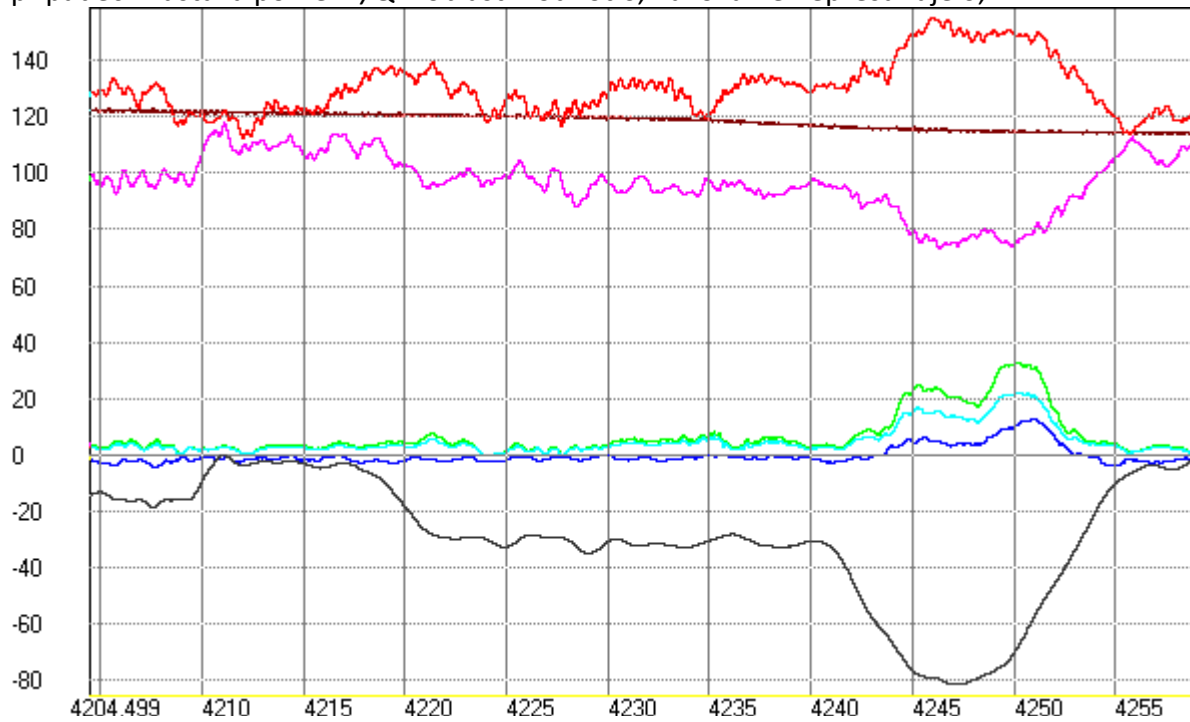
Obrázek 138 Průběh kolových sil vozidla Talns, km 509,35 – km 510,05; Q_{11} - červená, Q_{12} fialová, Y_{22} - zelená, Y_{21} modrá, křivost osy koleje - černá; osa y: kolové síly [kN], osa x: čas [s];



Obrázek 139 Průběh kolových sil vozidla 109E, km 509,35 – km 510,05; Q_{11} - červená, Q_{12} fialová, Y_{22} - zelená, Y_{21} modrá, Y_{22}/Q_{22} tyrkysová, křivost osy koleje - černá; osa y: kolové síly [kN], osa x: čas [s];

Příklad 37

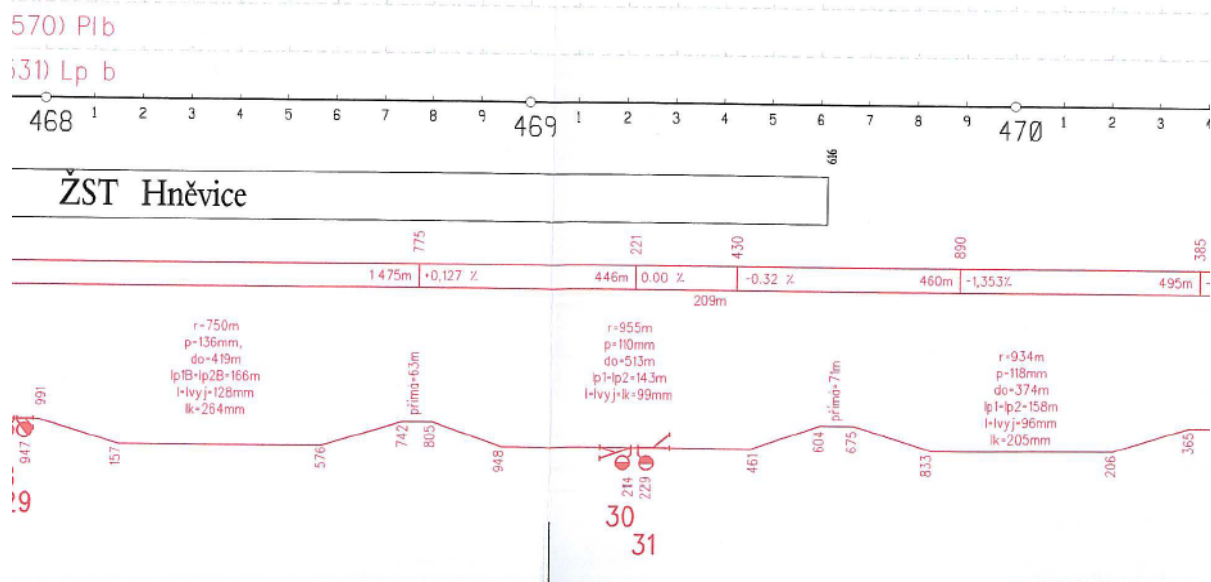
Obrázek č.140 dokumentuje průběh Y/Q v oblasti geometrie koleje s kvalitativními charakteristikami pohybujícími se v řádu provozních odchylek AL. V těchto konkrétních případech zůstává poměr Y/Q v oblasti hodnot 0,2 a lokálně nepřesahuje 0,4.



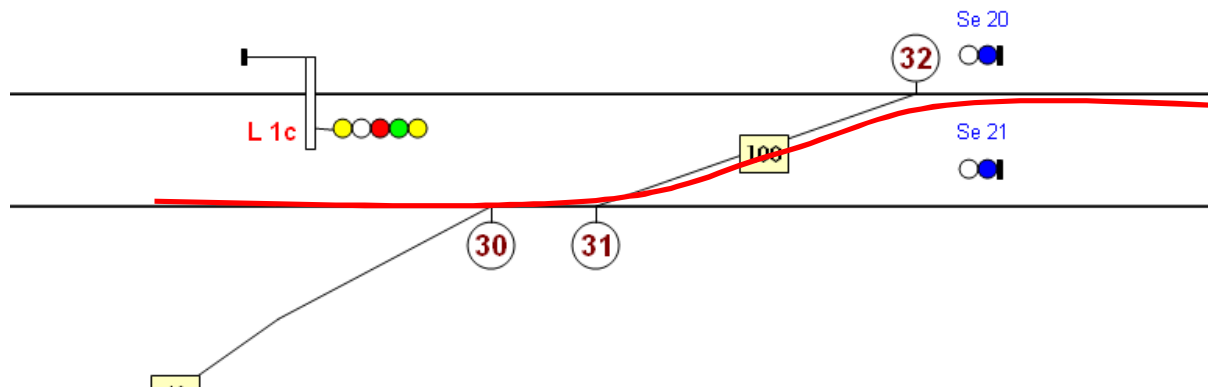
Obrázek 140 Průběh kolových sil vozidla Talns, km 475,79 - km 476,69; Q_{11} - červená, Q_{12} fialová, Y_{22} - zelená, Y_{21} modrá, Y_{22}/Q_{22} tyrkysová, křivost osy koleje - černá; osa y: kolové síly [kN], osa x: čas [s];

Příklad 38

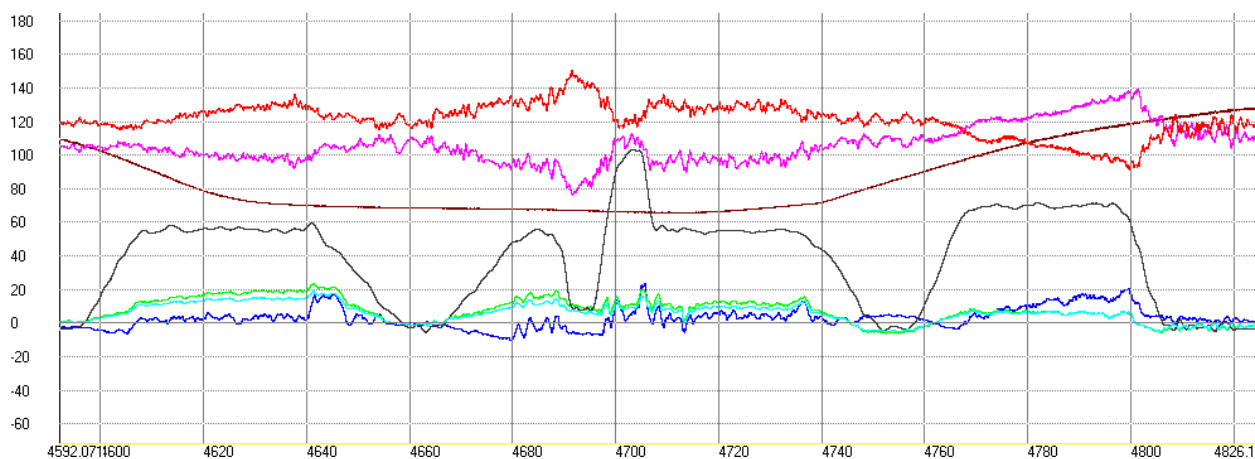
Z obrázku č.143 lze sledovat standardní trendy nárůstu příčné síly v průběhu oblouků. Průběh poměru Y/Q se v podstatě shoduje s průběhem příčné síly Y . Tento případ se od ostatních odlišuje průjezdem kolejovou spojkou vyšší rychlostí, přičemž kolejová spojka je umístěna do převýšení 110 mm, je konstruována z transformovaných výhybek tvaru 1:18,5-1200 a v průběhu jízdy se mění orientace působení příčných sil. (Průjezd spojkou z 1 TK na 2 TK souvisí s opačnou změnou koleje v žst. Lovosice). Průjezd obloukovou spojkou se geometricky skládá ze stejnosměrných oblouků $R_{1TK} = 950$ m ($E = 55$ mm), $R_{Vyh32} = 4656$ m ($E = 100$ mm), $R_{Vyh32} = 530$ m ($E = 10$ mm) a $R_{2TK} = 954$ m ($E = 55$ mm). Jelikož nedochází ke změně orientace příčného působení, měl by být průběh příčných sil také bez podstatných změn a to především ve smyslu změny poměru $Y_{22} > Y_{21}$. Zvýšené hodnoty Y_{21} lze zaznamenat v oblasti přídržnic (křídlových kolejnic), kdy jsou relativně velké – cca trojnásobné, nicméně v absolutních hodnotách nedosahují zásadních velikostí ($Y_{21max1} = 22$ kN, $Y_{21max2} = 46$ kN).



Obrázek 141 Celková situace oblouků v km 467 - 470 žst Hněvice



Obrázek 142 Schéma kolejového rozvětvení žst. Hněvice km 467, červeně průjezd vlakové soupravy

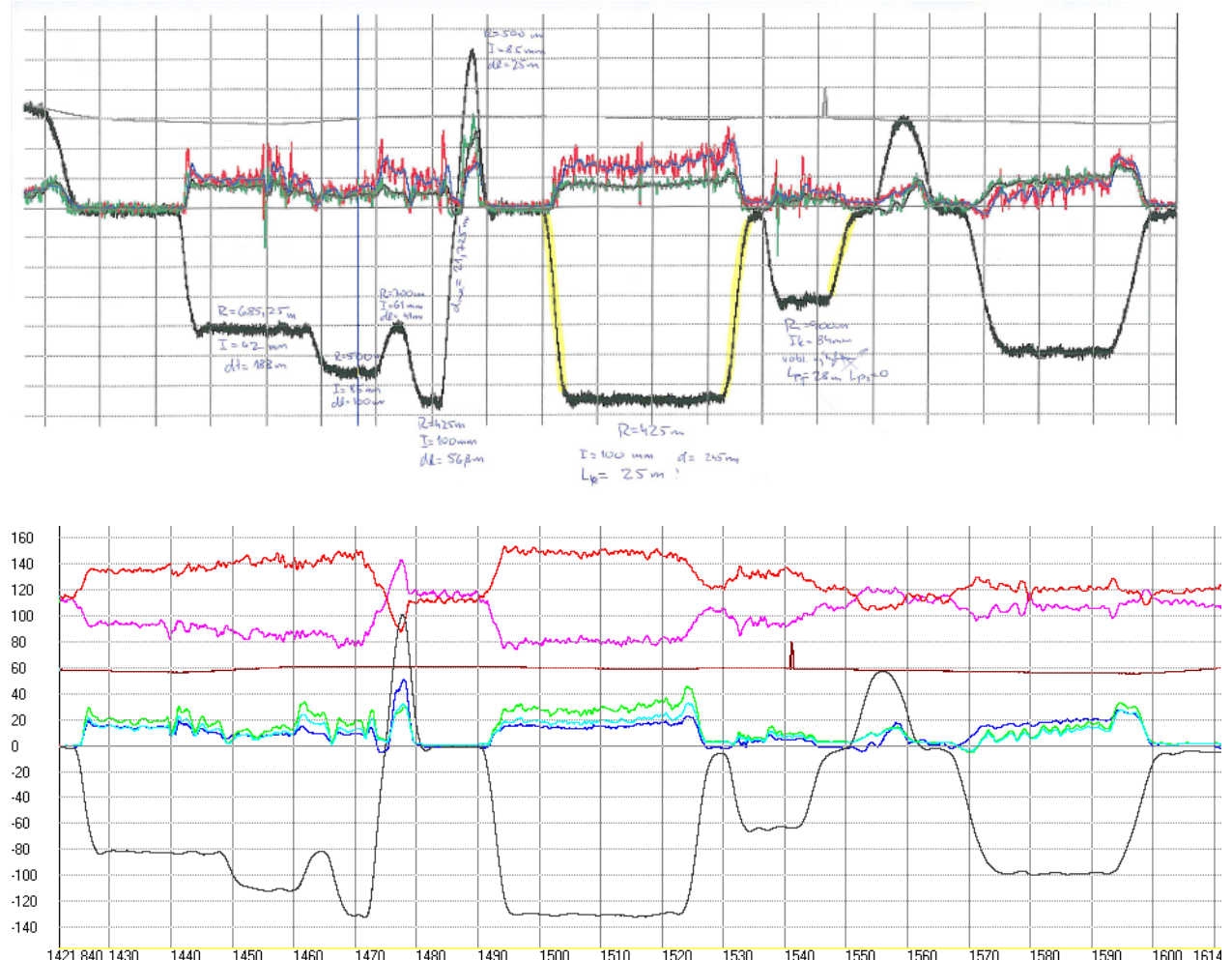


Obrázek 143 Průběh kolových sil vozidla Talns, km 467,01 - km 470,10; Q_{11} - červená, Q_{12} fialová, Y_{22} - zelená, Y_{21} modrá, Y_{22}/Q_{22} tyrkysová, křivost osy koleje - černá; osa y: kolové síly [kN], osa x: čas [s];

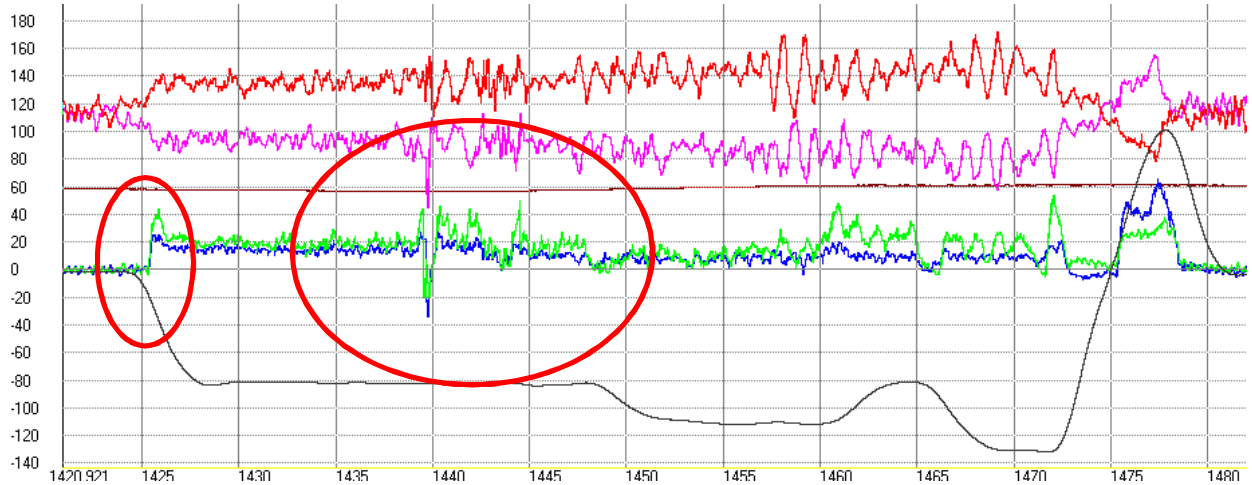
Příklad 39

Na obrázku č.144 jsou dokumentovány průběhy silových veličin v obvodu žst. Ústí nad Labem – hlavní nádraží. Tento obrázek zachycuje celkovou situaci jsou žlutě vyznačeny místa přechodnic. Ze záznamu křivosti osy koleje je patrné, že přechodnice délek 25 m a 28 m jsou prakticky shodně zobrazeny jako v případě oblouků bez přechodnic. Rozdíl je v průběhu příčných sil, kdy oblouky bez přechodnic s náhlou změnou nedostatků převýšení vyšší než cca 50 mm mají její poměrně prudký vzestup. Na obrázku č.145 je zvýrazněn zřejmý prudký nárůst příčné síly v oblasti začátku oblouku (oblouk je bez přechodnic, bez převýšení s $I = 62 \text{ mm}$). Dalším zvýrazněným místem je označená část v druhé polovině oblouku. Zde se na náhlých vyšších hodnotách příčných sil podílí výhybka č.16 (1:12-500-I (1854,767; 685,250)), jejíž přerušování poježděné hrany se nachází na vnější straně oblouku. Příčná síla na nabíhající kole se zde vychyluje o dvojnásobek ($20 \text{ kN} \rightarrow 40 \text{ kN}$). Ke klidnosti jízdy by přispěla nepřerušovaná poježděná hrana.

Poměrně nepříznivý průběh příčných sil lze pozorovat v místě protisměrných oblouků bez přechodnic s mezipřímou délky 21,725 m. Průběh křivosti tuto mezipřímou téměř nezaznamenává, nicméně z průběhu příčných sil je zřejmé, že na vozidlo na obě náhlé změny křivosti reaguje samostatně a zřejmě tedy nedochází k ovlivnění průběhu sil v tomto smyslu.



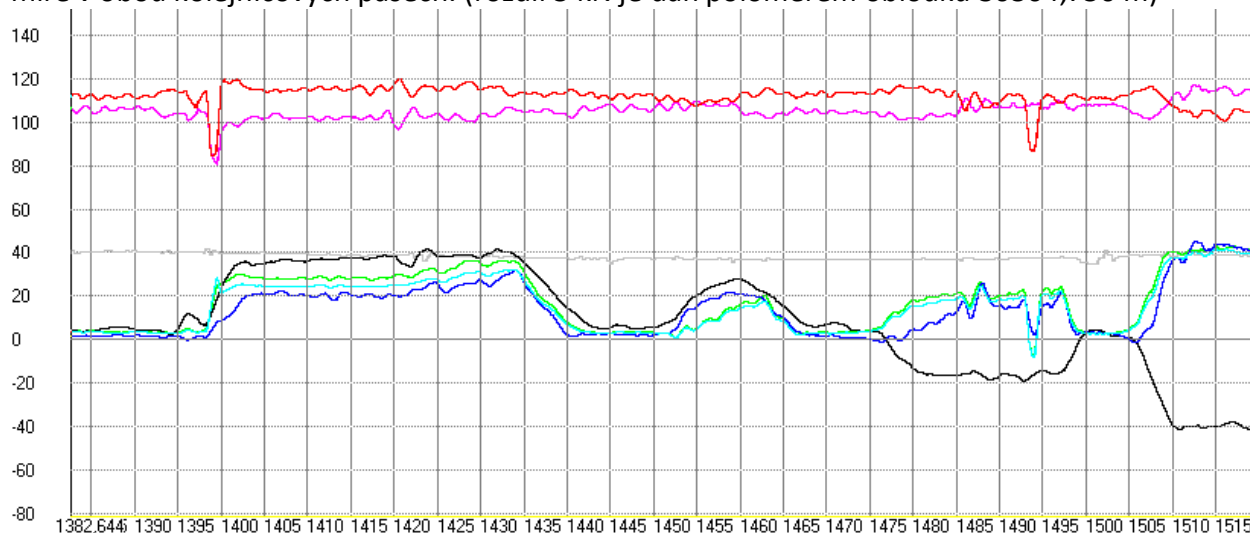
Obrázek 144 Celková situace průjezd uzlu Ústí nad Labem - část děčínského zhlaví hlavního nádraží - Průběh kolových sil vozidla Talns, km 515,9 - km 517,3; Q_{11} - červená, Q_{12} fialová, Y_{22} - zelená, Y_{21} modrá, Y_{22}/Q_{22} tyrkysová, křivost osy koleje - černá; osa y: kolové síly [kN], osa x: čas [s];



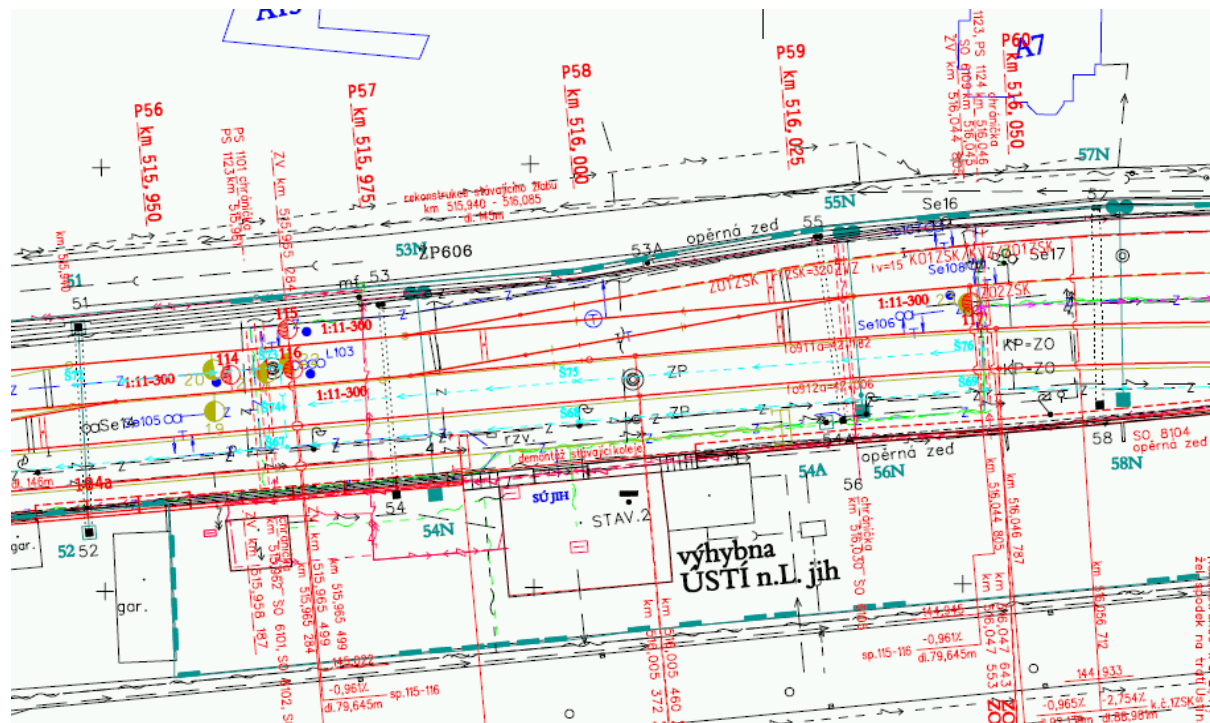
Obrázek 145 Detail průběhu kolových a příčných sil – jejich dynamických složek vozidla Talns, km 516,8 - km 517,28; Q_{11} - červená, Q_{12} fialová, Y_{22} - zelená, Y_{21} modrá, Y_{22}/Q_{22} tyrkysová, křivost osy koleje - černá; osa y: kolové síly [kN], osa x: čas [s];

Příklad 40

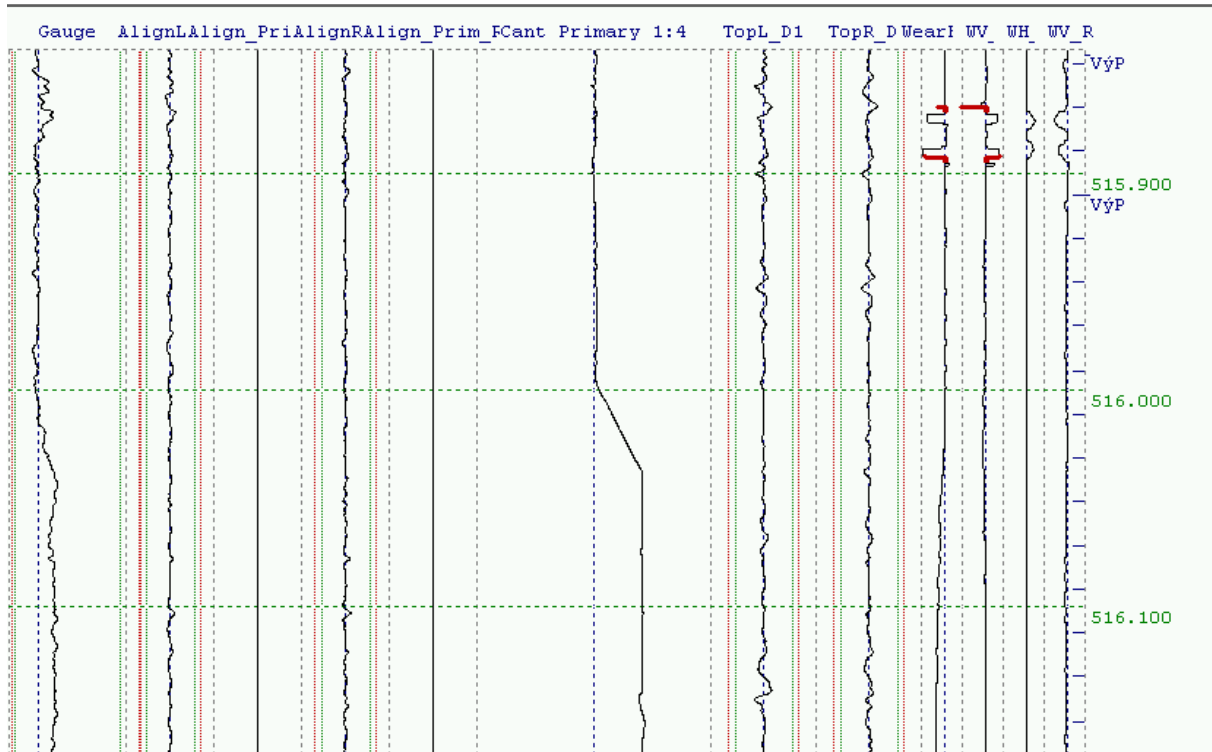
Na obrázku č.146 je uveden průběh příčných a svislých sil a jejich kombinace v oblasti výhybny Ústí nad Labem jih. Podle záznamu ze zkoušek jízda proběhla po koleji ve směru Lovosice – Ústí nad Labem (ve správném směru) – tedy po koleji č.2. V km 516 dochází krátkodobě k nárůstu příčných sil a současnému poklesu kolových sil, což vede k výraznému nárůstu jejich poměru Y/Q . Dle níže uvedeného záznamu grafu MV se zde nenachází výrazné závady v jednotlivých parametrech. Zajímavé je, že dochází k poklesu svislých sil ve stejné míře v obou kolejnicových pásech. (rozdíl 5 kN je dán poloměrem oblouku 30504,750 m)



Obrázek 146 Průběh kolových sil vozidla 109E, km 516,00 – km 516,7; Q_{11} - červená, Q_{12} fialová, Y_{22} - zelená, Y_{21} modrá, Y_{22}/Q_{22} tyrkysová, křivost osy koleje - černá; osa y: kolové síly [kN], osa x: čas [s];



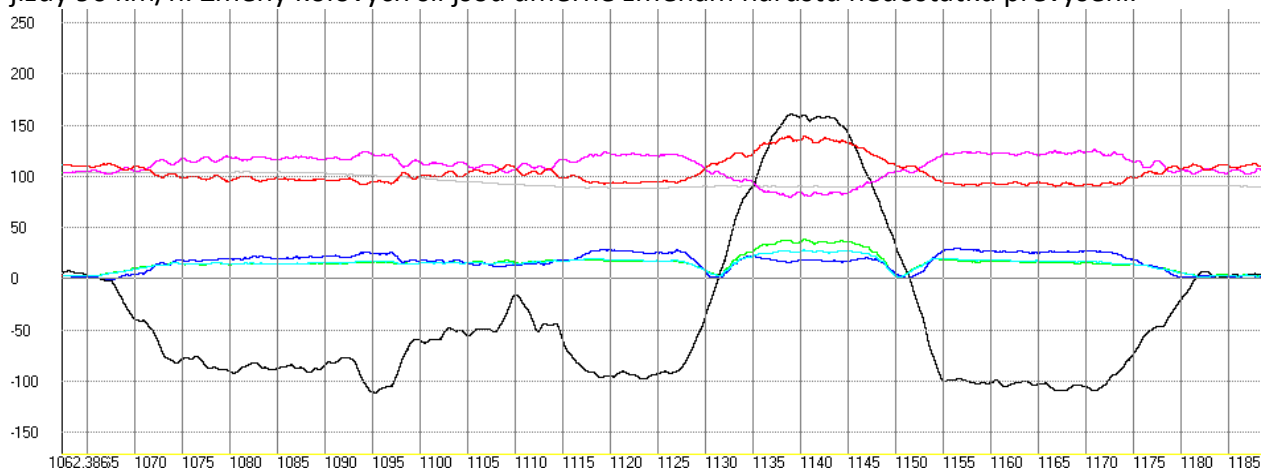
Obrázek 147 Situace v km 516,000 výchybna Ústí nad Labem jih



Obrázek 148 Graf záznamu MV km 515,9 – km 516,1

Příklad 41

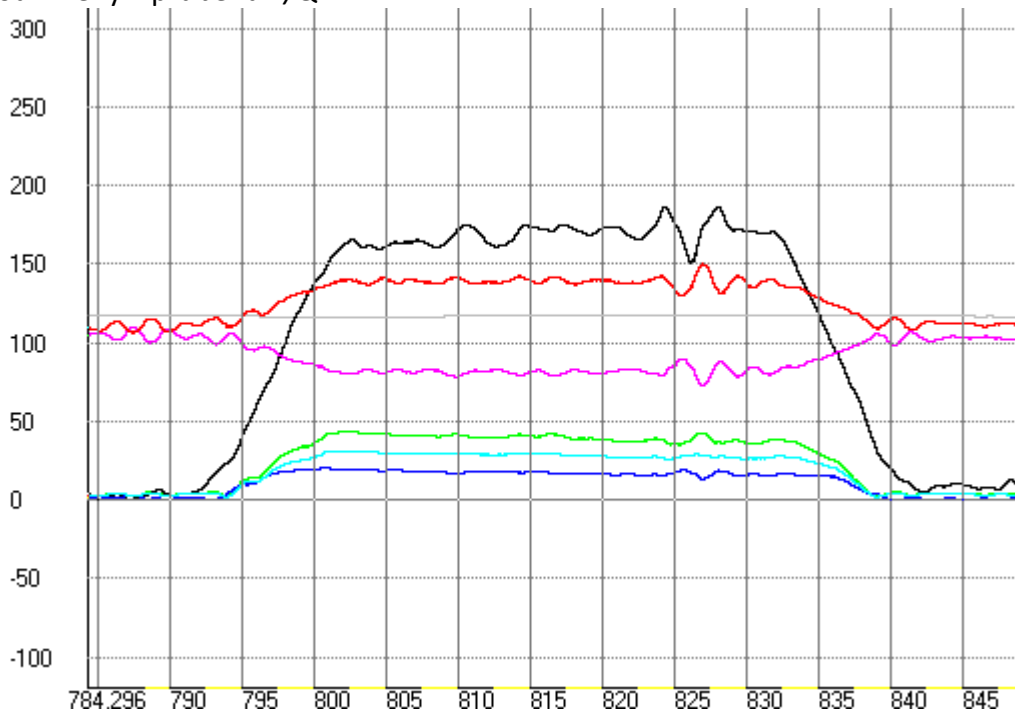
Na níže uvedeném obrázku č.150 jsou znázorněny poměrně komplikované směrové poměry složeného oblouku s mezilehlou přechodnicí (převýšení konstantní) a dále dva protisměrné oblouky vždy s inflexními přechodnicemi. Rychlost se mění ze 105 km/h na 90 km/h (v místě přechodnic je konstantní). V prvním inflexním motivu se objevuje změna v trendu nárůstu nedostatku převýšení bez zjevné příčiny. V druhém inflexním motivu dochází k jevu, kdy není jednotný trend pro pokles/nárůst kolových sil typický pro motiv s mezipřímou. Parametry přechodnic jsou $n_{D,1} = 7,3$ a $n_{I,1} = 5,8$ a $n_{D,2} = 7,3$ a $n_{I,2} = 5,8$. Ve vztahu k rychlosti zkušební jízdy 90 km/h. Změny kolových sil jsou úměrné změnám nárůstu nedostatku převýšení.



Obrázek 149 Průběh kolových sil vozidla 109E, km 512,51 – km 514,00; Q_{11} - červená, Q_{12} fialová, Y_{22} - zelená, Y_{21} modrá, Y_{22}/Q_{22} tyrkysová, křivost osy koleje - černá; osa y: kolové síly [kN], osa x: čas [s];

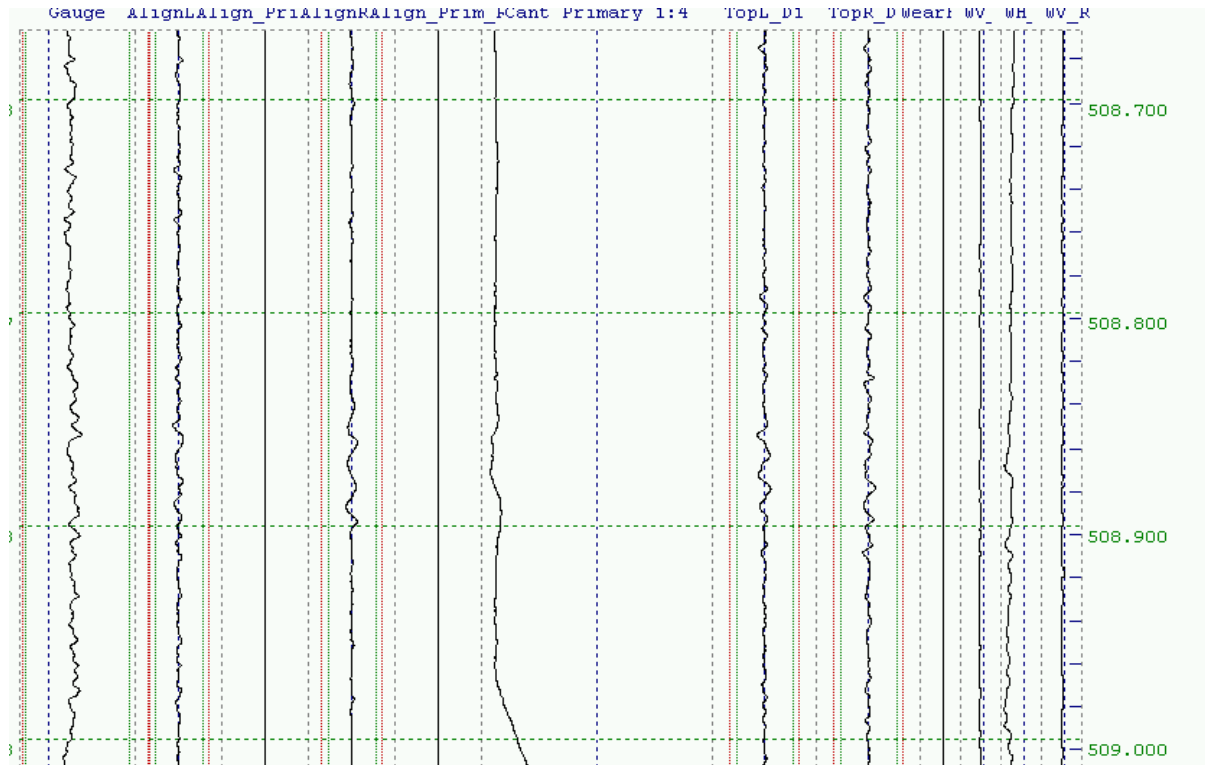
Příklad 42

Na obrázku č.151 je zřejmý vliv kombinace odchylek GPK na průběh nedostatku převýšení. V daném místě (km 508,9) se dle záznamu MV (viz obrázek 141) se zde vyskytuje odchylka ve směru koleje – amplitudy cca 3 mm a závada v převýšení koleje cca 7 mm, což vede i k odchylce podélné výšky – amplitudy cca 4 mm. Dané místo je situováno v oblouku poloměru $R = 523$ m a převýšení $D = 145$ mm. V km 508,870 se nachází most. Vozidlo jelo rychlostí odpovídající střední hodnotě nedostatku převýšení $I = 175$ mm. Z 52 je patrný vliv kombinace závad na silové veličiny. Změny nedostatku převýšení se s útlumem přenášejí do změn kolových sil a dále se spolupůsobením závad v GPK na průběh Y z čehož následně vyplynou změny v průběhu Y/Q .



Obrázek 151 Průběh kolových sil vozidla 109E, km 512,51 – km 514,00; Q_{11} - červená, Q_{12} fialová, Y_{22} - zelená, Y_{21} modrá, Y_{22}/Q_{22} tyrkysová, křivost osy koleje - černá; osa y: kolové síly [kN], osa x: čas [s];

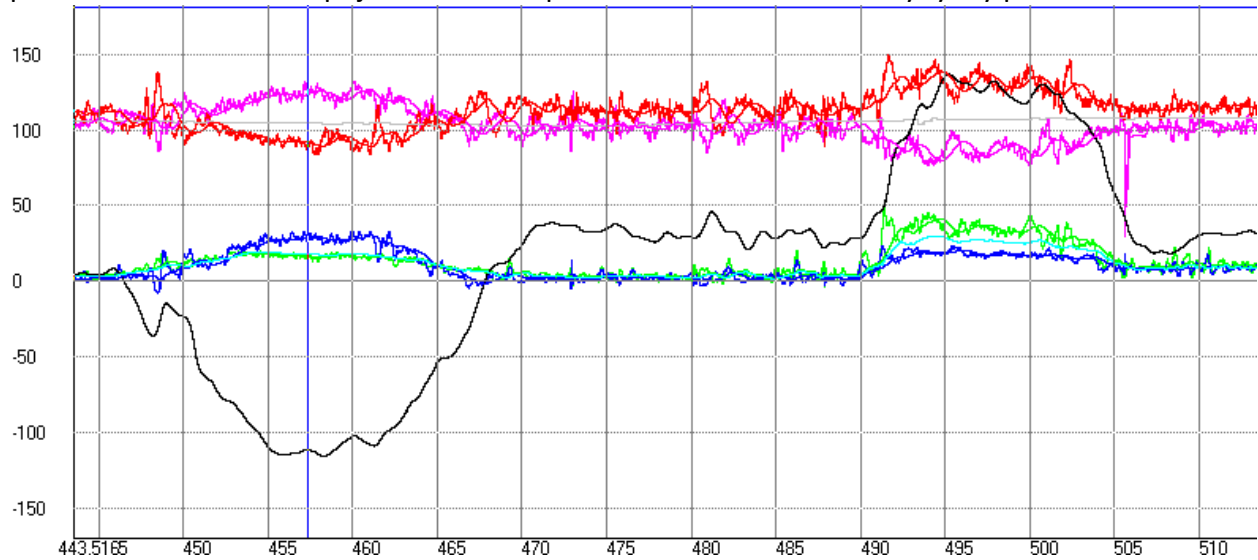
Požadavky na projektovaný a provozní stav geometrických parametrů koleje ve vztahu k vzájemnému silovému působení vozidla a koleje



Obrázek 152 Graf záznamu MV

Příklad 43

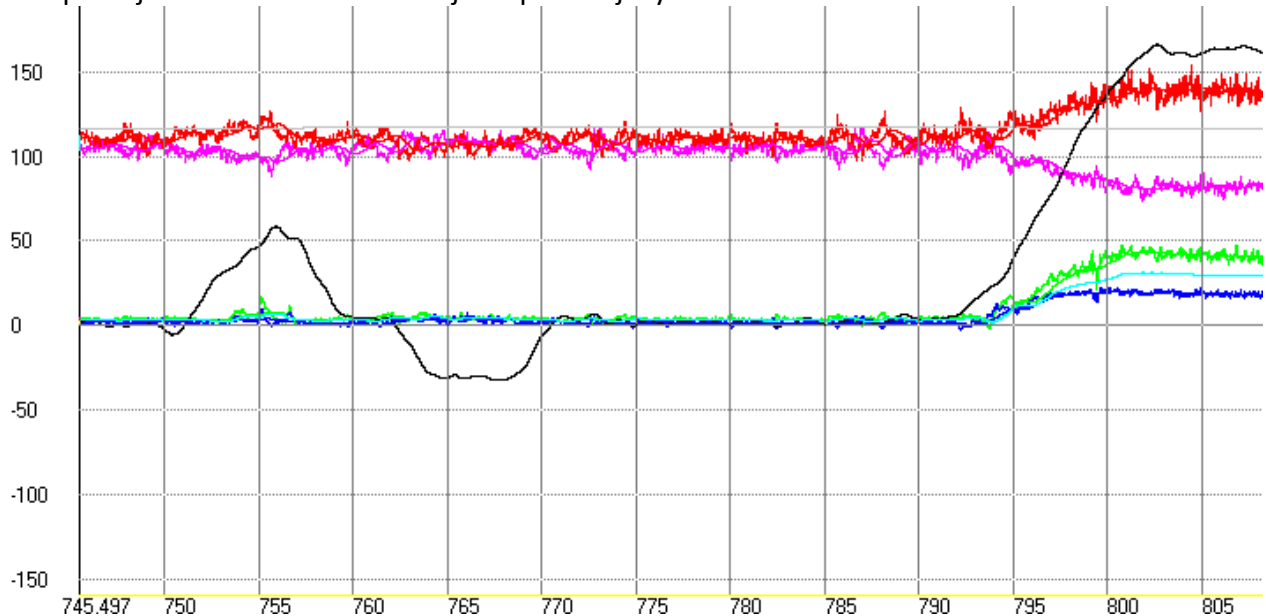
Na níže uvedeném obrázku č. 153 je chování silového působení v zajímavých směrových poměrech Prackovic. Napojení oblouku s přechodnicí na obloukové výhybky protisměrně.



Obrázek 153 Průběh kolových sil vozidla 109E, km 502,90 – km 503,88; Q_{11} - červená, Q_{12} fialová, Y_{22} - zelená, Y_{21} modrá, Y_{22}/Q_{22} tyrkysová, křivost osy koleje - černá; osa y: kolové síly [kN], osa x: čas

Příklad 44

Z níže uvedeného obrázku č.154 km 507,8 je zřejmé, že oblouky velkých poloměrů, kterými se upravuje osová vzdálenost kolejí nezpůsobují významnou odezvu.



Obrázek 154 Průběh kolových sil vozidla 109E, km 507,69 – km 508,06; Q_{11} - červená, Q_{12} fialová, Y_{22} - zelená, Y_{21} modrá, Y_{22}/Q_{22} tyrkysová, křivost osy koleje - černá; osa y: kolové síly [kN], osa x: čas

3.2.4. Traťový úsek Brno – Česká Třebová

Zkušební jízdy vozidla 109E a Talns byly prováděny v úseku Brno, Židenice (km 160) – Svitavy (km 229).

Jedná se o část I. tranzitního železničního koridoru rekonstruovaného v letech devadesátých letech 20. století, z velké části je tento zkušební úsek veden v obloucích širokého spektra poloměrů.

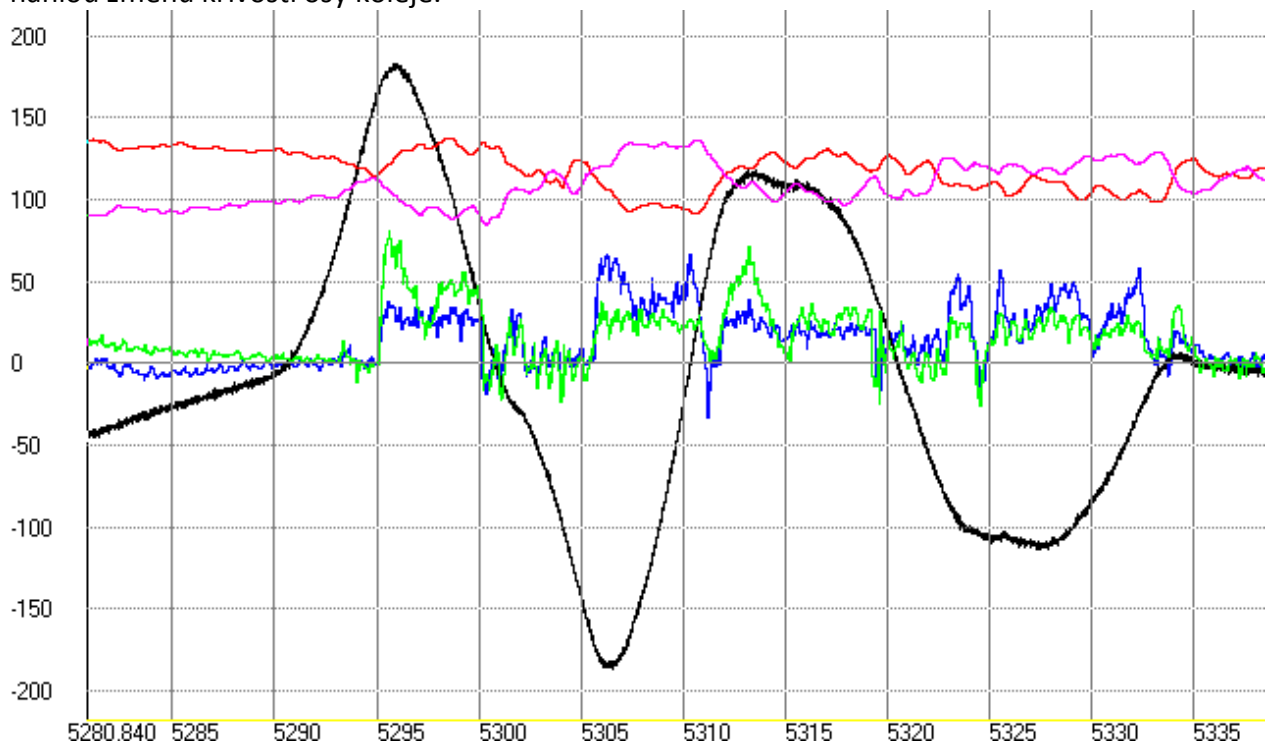
Tabulka 24 Výčet směrových prvků konstantní křivosti v traťovém úseku Brno – Česká Třebová

Mezipřímé $L < 1,0 \cdot V$					Navazující poloměry
km	km	L [m]	V [km/h]	$q = L/V$	R_1/R_2 [m]
162,644	162,664	20	75	0,27	310/261
163,224	163,252	28	75	0,37	297/361
164,033	164,066	33	75	0,44	424/2996
175,786	175,807	21	90	0,23	520/460
177,562	177,587	25	75	0,33	364/336
206,325	206,379	54	105	0,51	472/567
214,895	214,930	35	90	0,39	376/364
Kružnicové části oblouků $L < 1,0 \cdot V$					
km	km	L [m]	V [km/h]	$q = L/V$	R [m]
165,044	165,073	29	75	0,39	270
165,497	165,532	35	75	0,47	321
167,209	167,246	43	75	0,57	464
168,301	168,356	55	80	0,69	359
169,385	169,453	68	80	0,85	734
175,786	175,807	39	90	0,43	460
177,562	177,587	46	75	0,61	336
194,680	194,726	46	100	0,46	500
203,872	203,908	36	105	0,34	605
204,772	204,805	33	105	0,31	494
207,625	207,697	72	120	0,60	2004
213,390	213,433	43	90	0,48	348
215,031	215,108	77	90	0,86	368
216,638	216,719	81	90	0,90	896
222,593	222,631	38	105	0,36	993
226,101	226,155	54	125	0,43	900

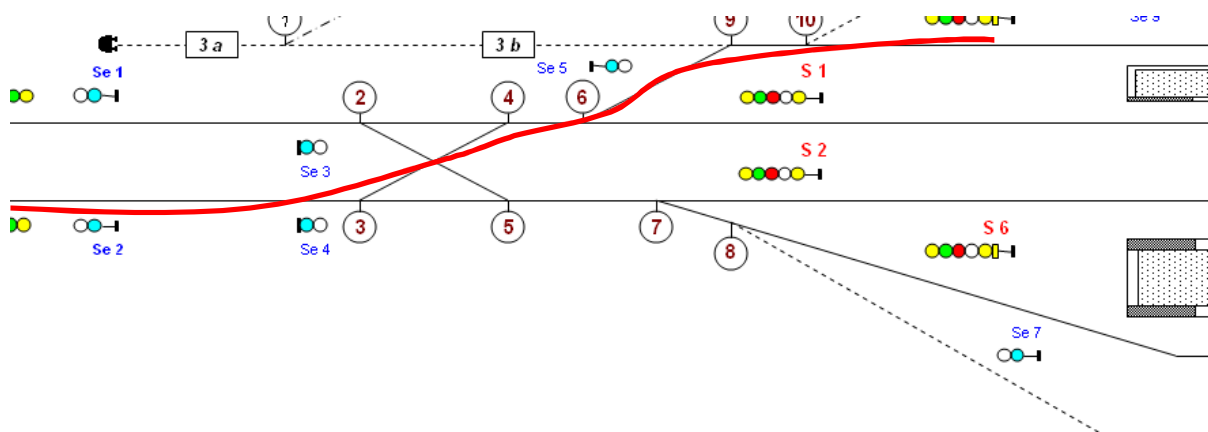
Dále budou uvedeny konkrétní případy vlivu jednotlivých kombinací parametrů GPK.

Příklad 45

Následující obrázek č.155 dokumentuje jízdu z druhé traťové koleje přes výhybku č. 3 (1:11-300), SDKS, č.4 (1:11-300), výhybku č.6 (1:12-500) a č.9 (1:12-500) na kolej č. 3 dopravní kolej žst. Svitavy rovnoměrně se snižující rychlostí z 37 km/h v km 229,285 (začátek výhybky č.3) na 34 km/h v km 229,506 (konec výhybky č.9). Maximální amplitudy parametru Y_{11-25} (plovoucí průměr 25 vzorků) jsou 80 kN na výhybce č. 3 a Y_{21-25} na výhybce č.6 jsou 67 kN. Z rozdílu těchto hodnot lze vyvodit rozdíl působení na výhybce tvaru 1:11-300 a 1:12-500 s rozdílem cca 10 kN – 15% nižší hodnoty. Vliv snižující se rychlosti (rozdíl 2 - 3 km/h) není zásadní, nicméně se v tomto případě může projevit vliv brždění. Výhodou štíhlejších výhybek je krom většího poloměru oblouku i jeho větší délka, kdy je optimálnější reakce vozidla na náhlou změnu křivosti osy koleje.



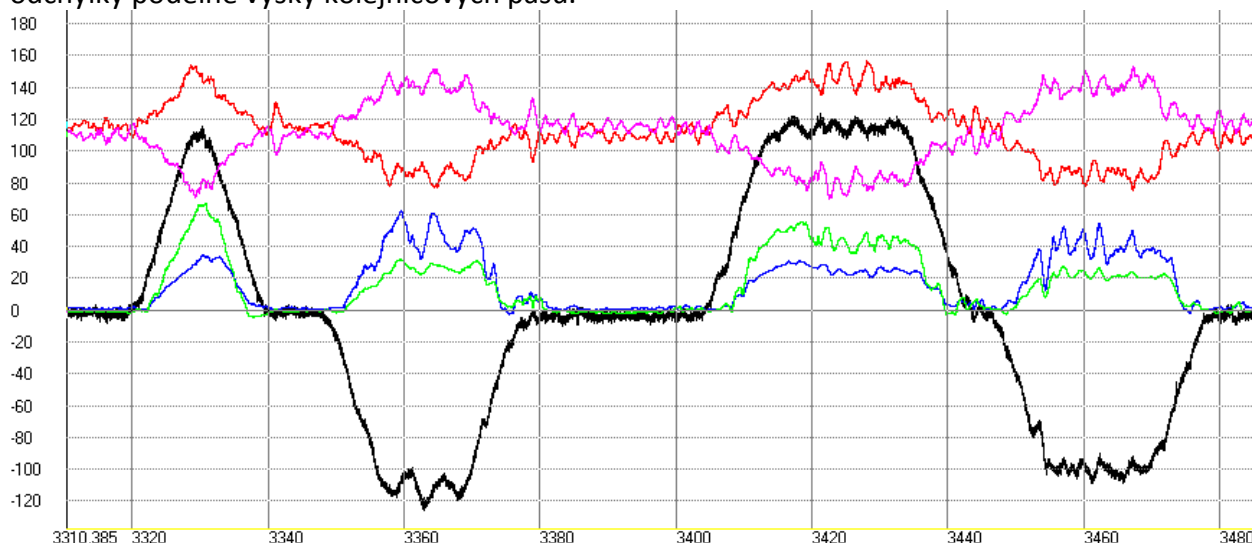
Obrázek 155 Průběh kolových sil vozidla Talns, km 229,28 – km 229,50; Q_{11} - červená, Q_{12} fialová, Y_{11} - zelená, Y_{12} modrá, křivost osy koleje - černá; osa y: kolové síly [kN], osa x: čas



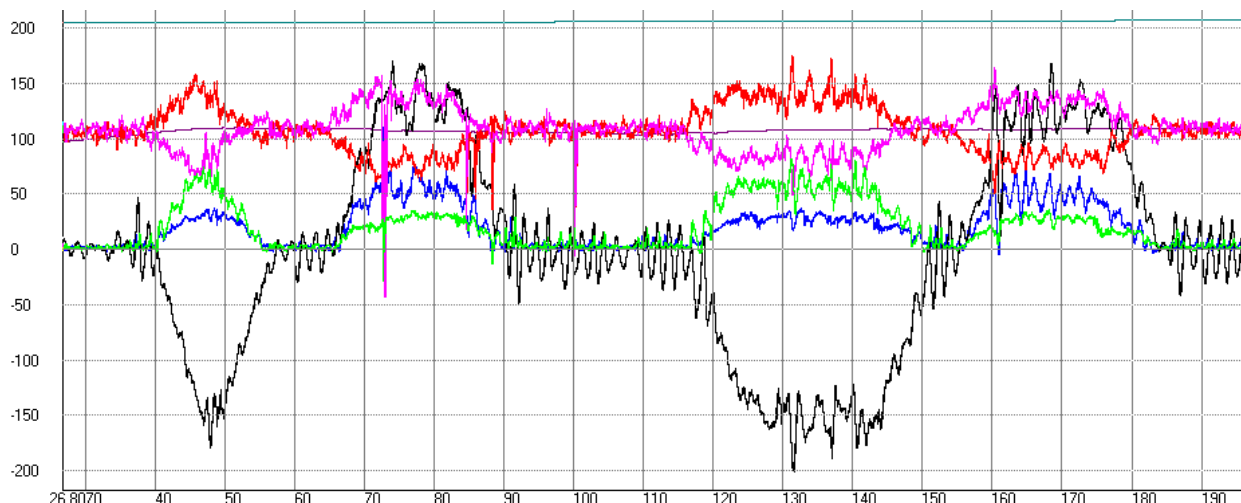
Obrázek 156 Schéma kolejového rozvětvení žst. Svitavy km 229 červeně průjezd vlakové soupravy

Příklad 47

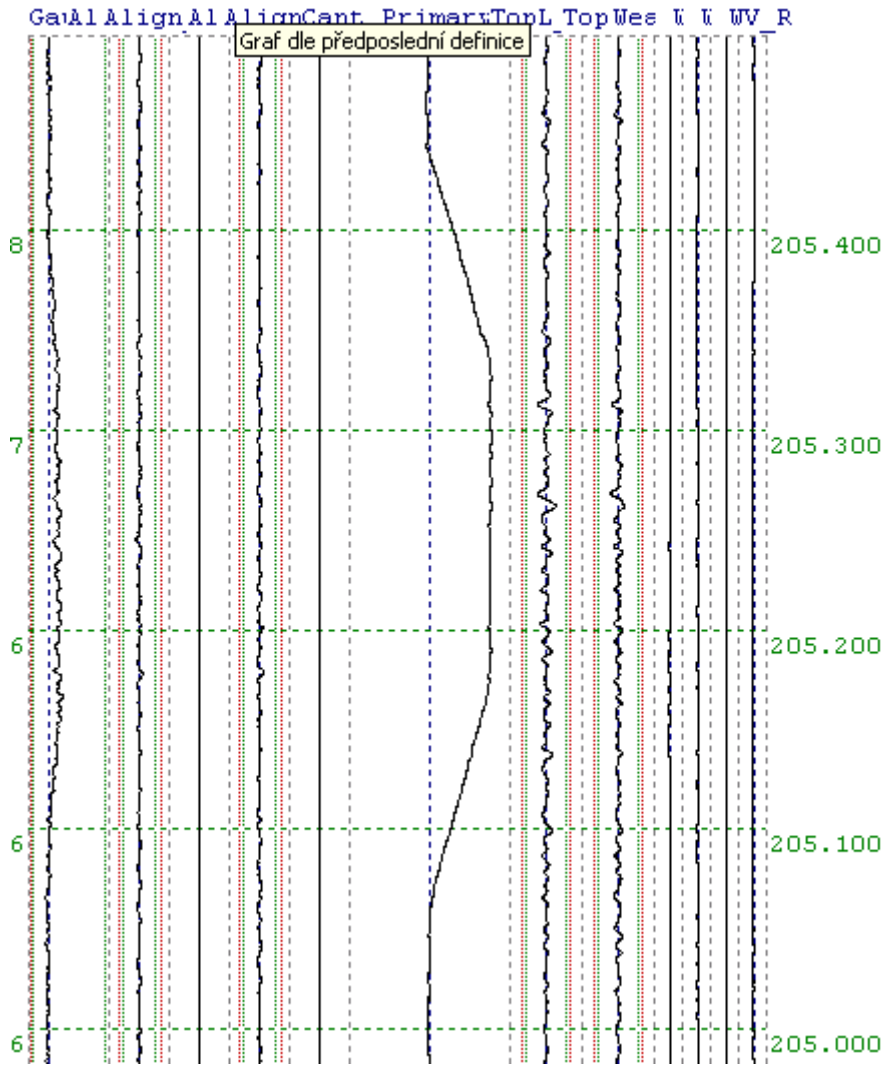
Na níže uvedených obrázcích 157 a 158 je uvedena situace průběhu příčných sil. Na jejich změnách vyplývajících ze změn nedostatku převýšení (černá) se dle záznamu MV podílely odchylky podélné výšky kolejnicových pásů.



Obrázek 157 Průběh kolových sil vozidla Talns, km 204,85 – km 207,20; Q_{11} - červená, Q_{12} fialová, Y_{11} - zelená, Y_{12} - modrá, křivost osy koleje - černá; osa y: kolové síly [kN], osa x: čas



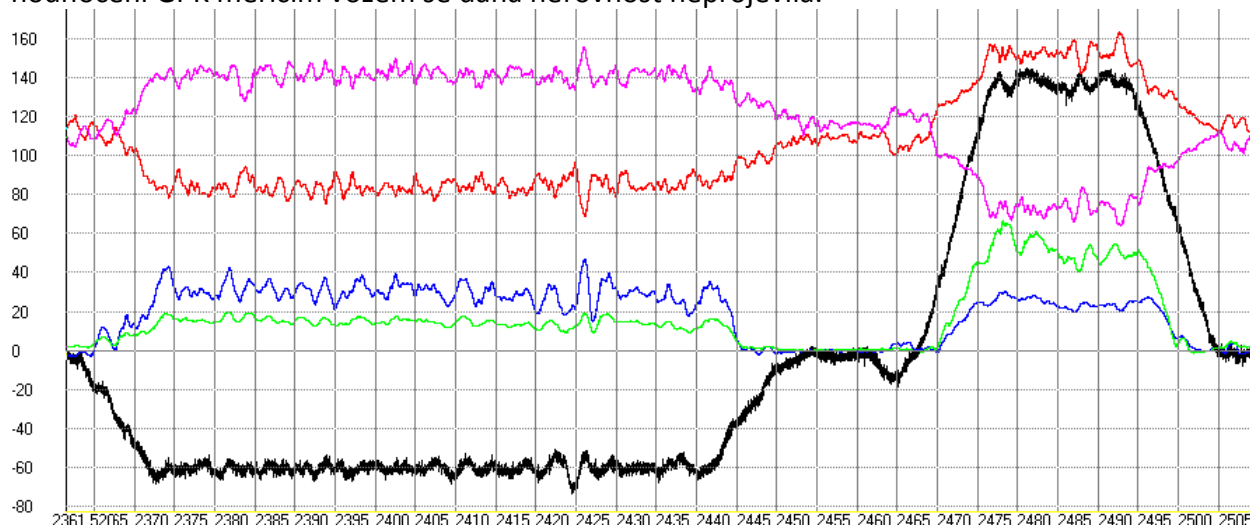
Obrázek 158 Průběh kolových sil vozidla 109E, km 204,85 – km 207,20; Q_{11} - červená, Q_{12} fialová, Y_{11} - zelená, Y_{12} modrá, křivost osy koleje - černá; osa y: kolové síly [kN], osa x: čas



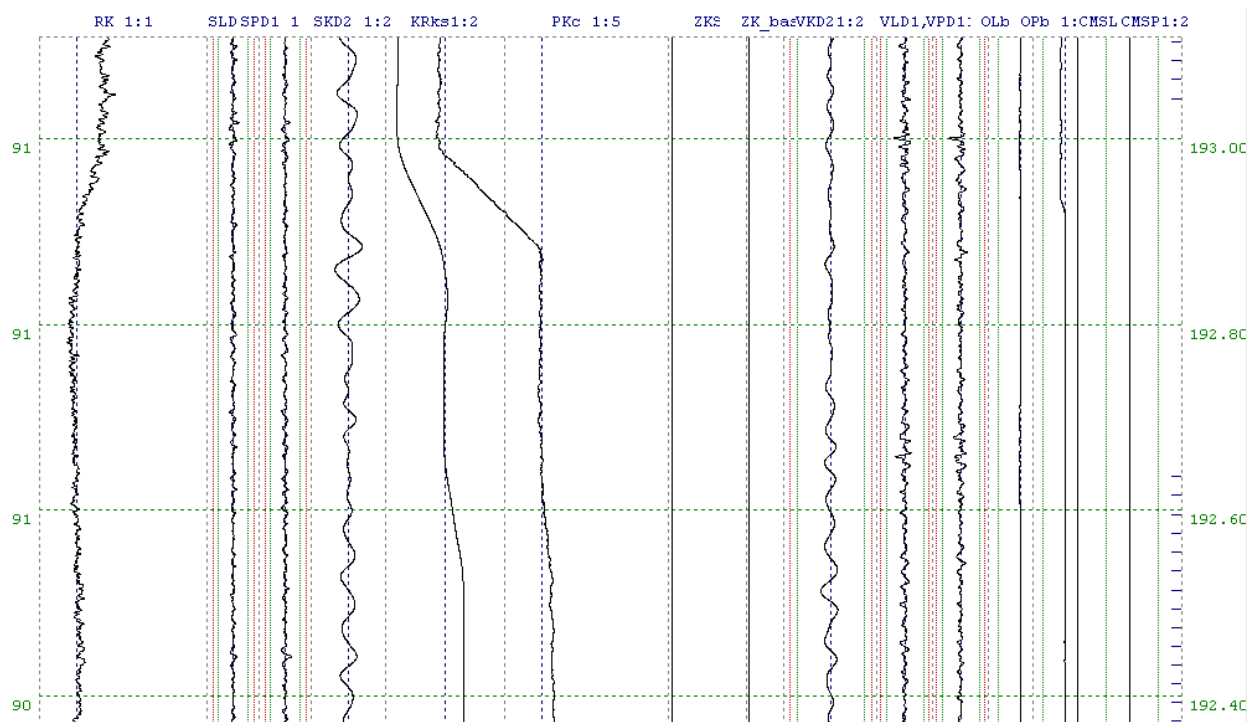
Obrázek 159 Záznam MV - první oblouk km 205,1 - 205,4

Příklad 48

Na obrázku č.160 je zobrazena neobvyklá výchylka v průběhu signálu křivosti oblouku (černá) měřená v průběhu zkušebních jízd v místě začátku přechodnice, kdy došlo k ovlivnění průběhu svislých sil a v řádově menší intenzitě došlo k ovlivnění průběhu příčných sil. Při hodnocení GPK měřicím vozem se daná nerovnost neprojevila.



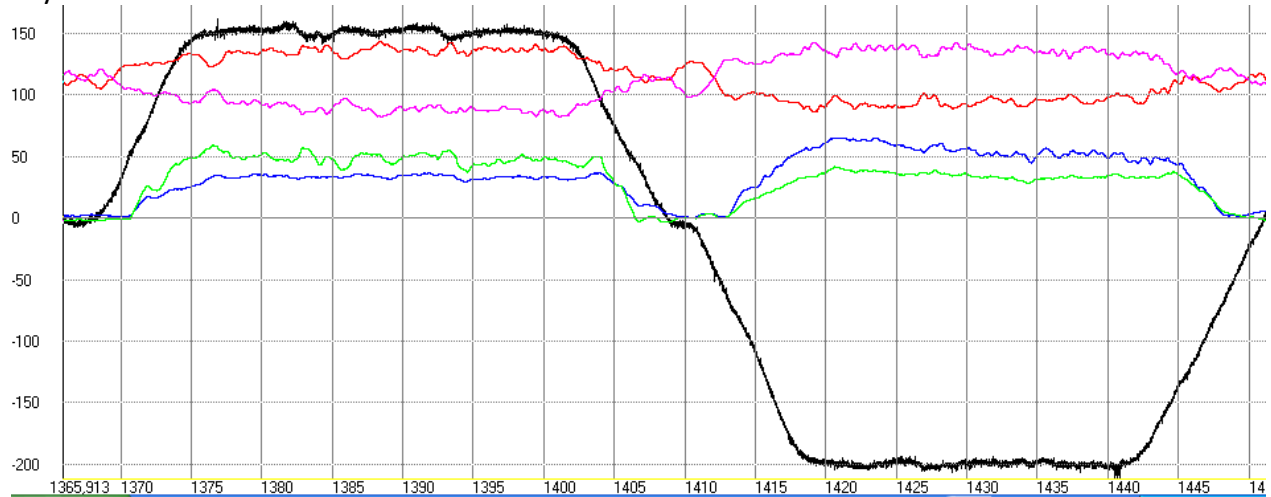
Obrázek 160 Průběh kolových sil vozidla Talns, km 191,66 – km 193,62; Q11 - červená, Q12 fialová, Y11 - zelená, Y12 modrá, křivost osy koleje - černá; osa y: kolové síly [kN], osa x: čas



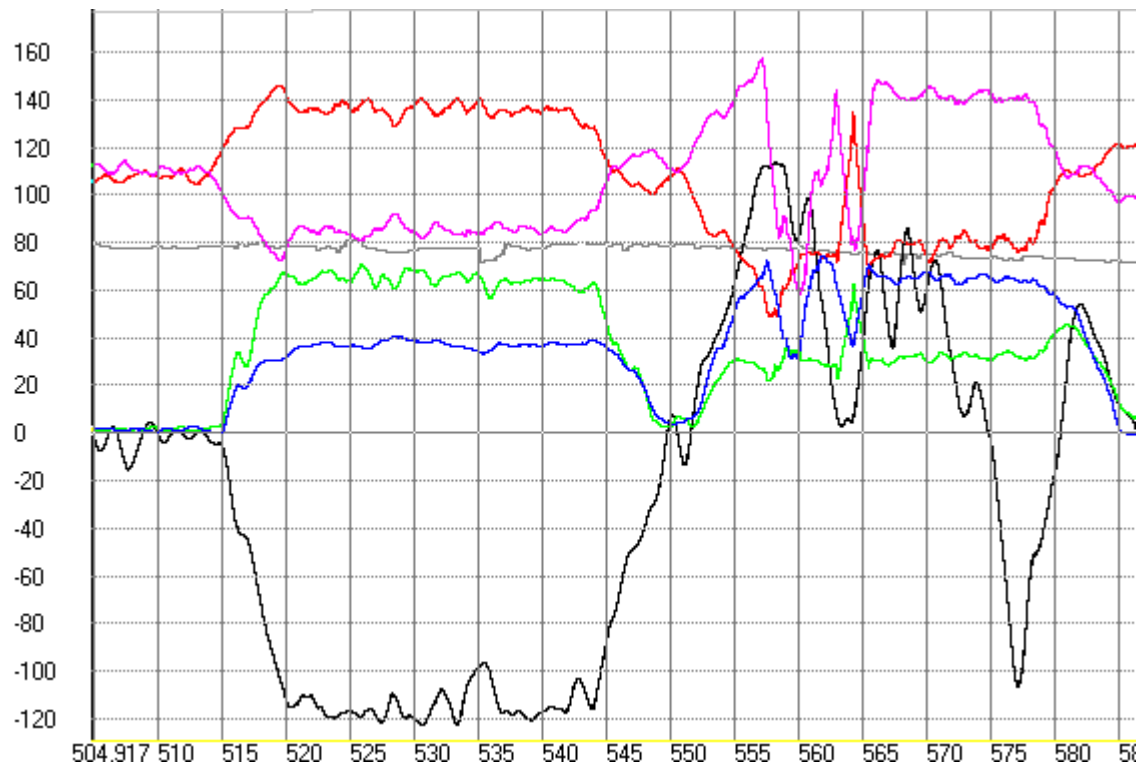
Obrázek 161 Hodnocení kvality GPK km 192,4 - km 193,0

Příklad 49

Následující obrázek č.162 reprezentuje situaci krátké mezipřímé 22,0 m, kdy průběh příčných sil oproti průběhu sil kolových není podstatným způsobem ovlivněn. Změny v průbězích sil a křivosti osy koleje v obrázku č.163 v druhém oblouku po směru koleje jsou způsobeny chybami v měření.

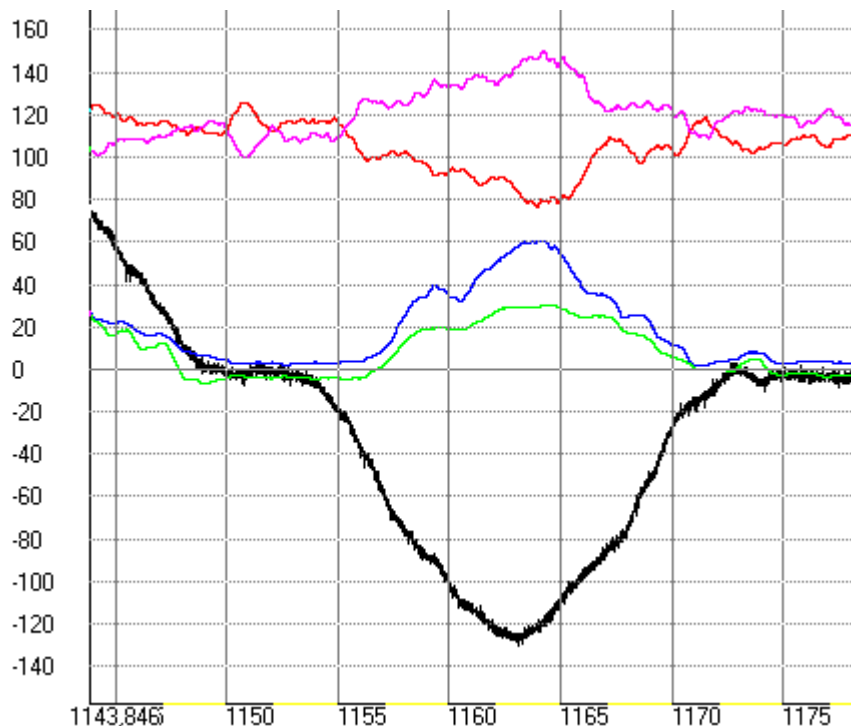


Obrázek 162 Průběh kolových sil vozidla Talns, km 177,30 – km 178,08; Q11 - červená, Q12 fialová, Y11 - zelená, Y12 modrá, křivost osy koleje - černá; osa y: kolové síly [kN], osa x: čas

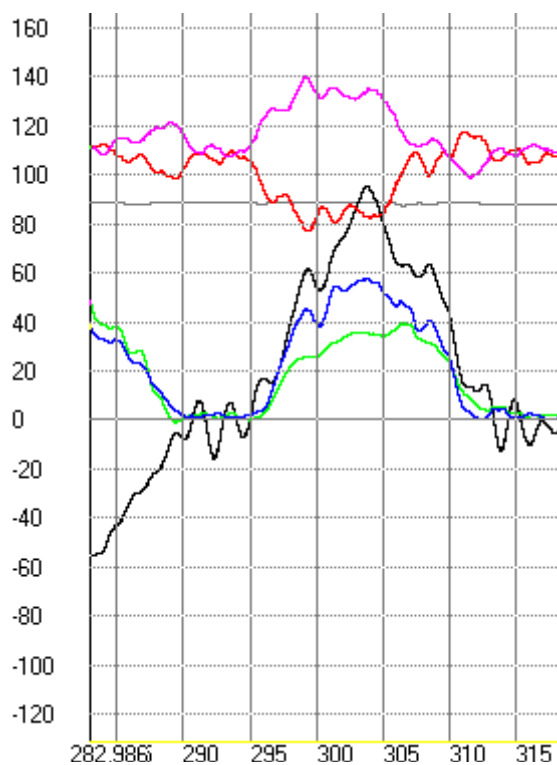


Obrázek 163 Průběh kolových sil vozidla 109E, km 177,30 – km 178,08; Q11 - červená, Q12 fialová, Y11 - zelená, Y12 modrá, křivost osy koleje - černá; osa y: kolové síly [kN], osa x: čas

Obrázek č. 164, 165 reprezentuje situaci krátkého oblouku mezi přechodnicemi km 174,7 délka 60,24 m. Z průběhu příčných sil je zřejmé, že na takto krátké délce oblouku (cca 0,4 – 0,5V) dochází k nárůstu a opětovnému poklesu příčných sil bez časového ustálení.



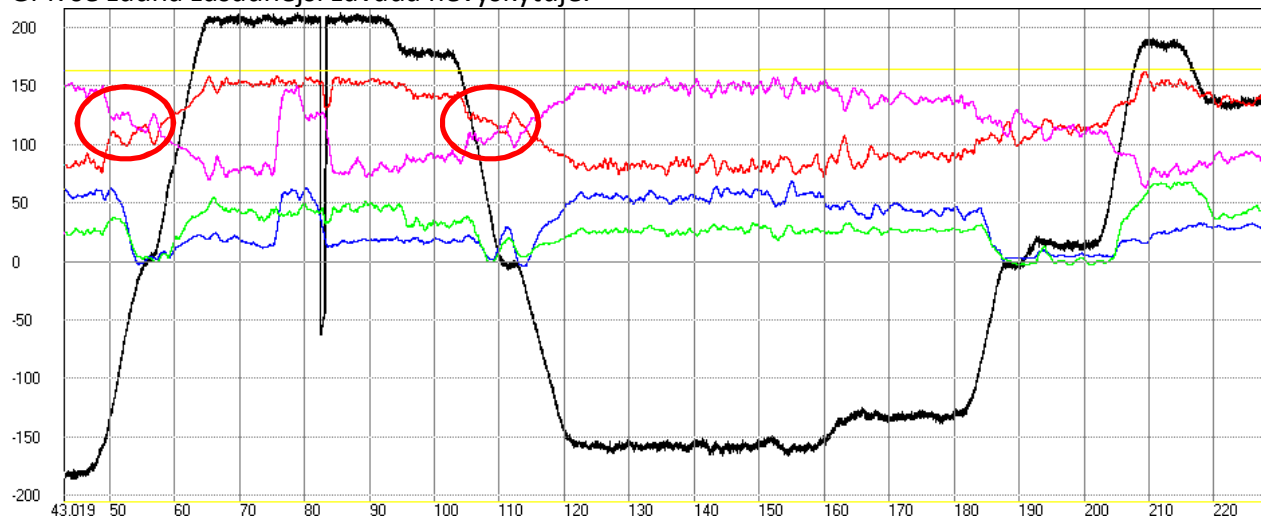
Obrázek 164 Průběh kolových sil vozidla Talns, km 174,50 – km 174,89; Q_{11} - červená, Q_{12} fialová, Y_{11} - zelená, Y_{12} modrá, křivost osy koleje - černá; osa y: kolové síly [kN], osa x: čas



Obrázek 165 Průběh kolových sil vozidla 109E, km 174,50 – km 174,89; Q_{11} - červená, Q_{12} fialová, Y_{11} - zelená, Y_{12} modrá, křivost osy koleje - černá; osa y: kolové síly [kN], osa x: čas

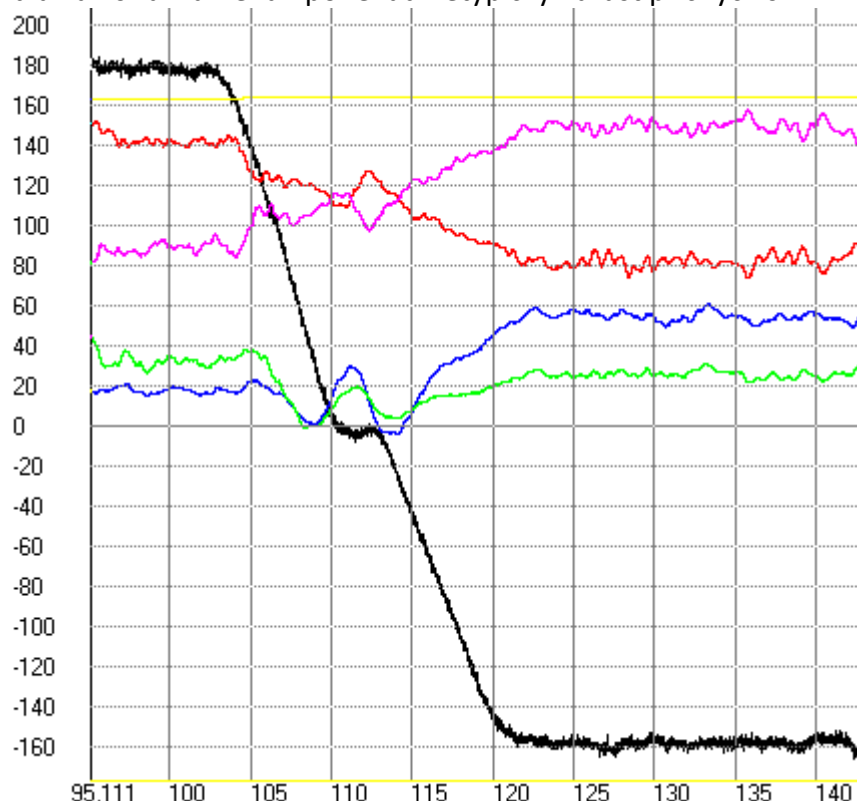
Příklad 50

Na následujícím obrázku č.166 je znázorněn průběh svislých sil se zvýrazněnými místy krátkých mezipřímých, které vyvolávají neplynulosti v průbězích svislých sil. Uprostřed oblouku je nespojitost signálu křivosti koleje, přičemž zde dochází i k prudkému nárůstu kolové síly na vnitřním kole nápravy. Opět se jedná o chybu měření, neboť v hodnocení stavu GPK se žádná zásadnější závada nevyskytuje.

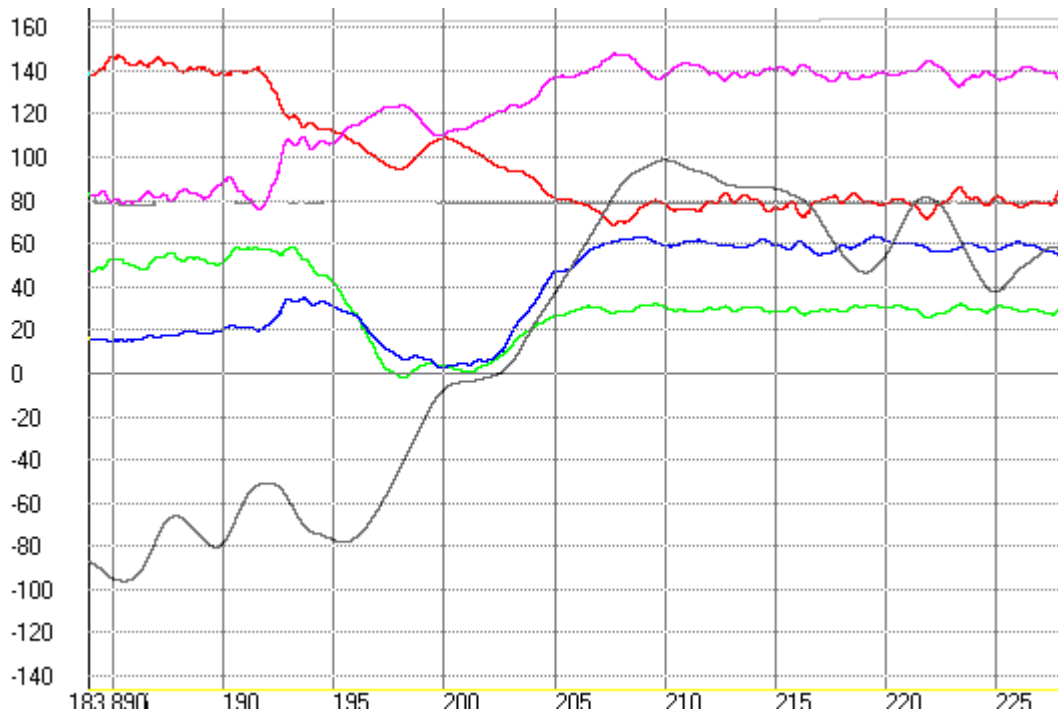


Obrázek 166 Průběh kolových sil vozidla Talns, km 174,050 – km 174,89; Q_{11} - červená, Q_{12} - fialová, Y_{11} - zelená, Y_{12} - modrá, křivost osy koleje - černá; osa y: kolové síly [kN], osa x: čas

Dále na obrázku č.167 je detailem mezipřímé km 163,224 – 163,252. Na mezipřímé je v případě vozidla Talns zaznamenán poněkud netypický nárůst příčných sil.



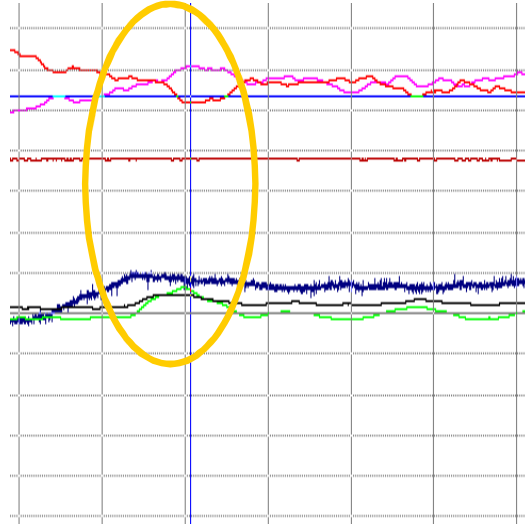
Obrázek 167 Průběh kolových sil vozidla Talns, km 163,13 – km 163,66; Q_{11} - červená, Q_{12} - fialová, Y_{11} - zelená, Y_{12} - modrá, křivost osy koleje - černá; osa y: kolové síly [kN], osa x: čas



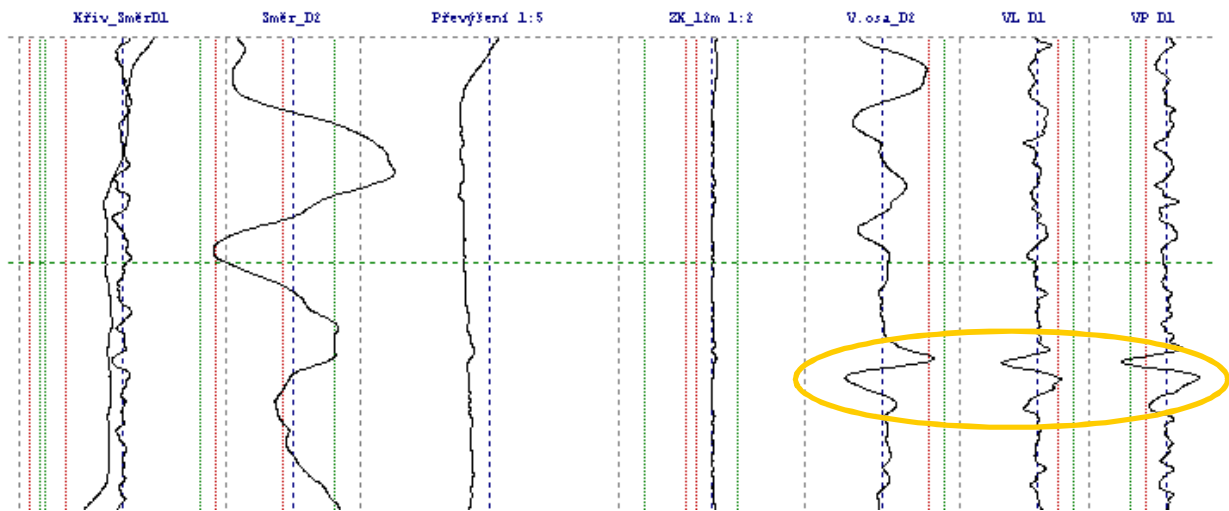
Obrázek 168 Průběh kolových sil vozidla 109E, km 163,00 – km 163,50; Q_{11} - červená, Q_{12} fialová, Y_{11} - zelená, Y_{12} - modrá, křivost osy koleje - černá; osa y: kolové síly [kN], osa x: čas

Příklad 51

Na následujícím obrázku č.169 je záznam příčných a svislých sil s dokumentovaným průběhem odchylek GPK dle MV (viz. obrázek č.170). Z tohoto záznamu je patrné, že v daném místě došlo k závadě pouze v podélné výšce (VP D1 IAL, VK D2 IL) s vlivem na kolové síly (114 kN → 121 kN a 103 kN) a příčné síly (8 kN → 12,5 kN a 9 kN).



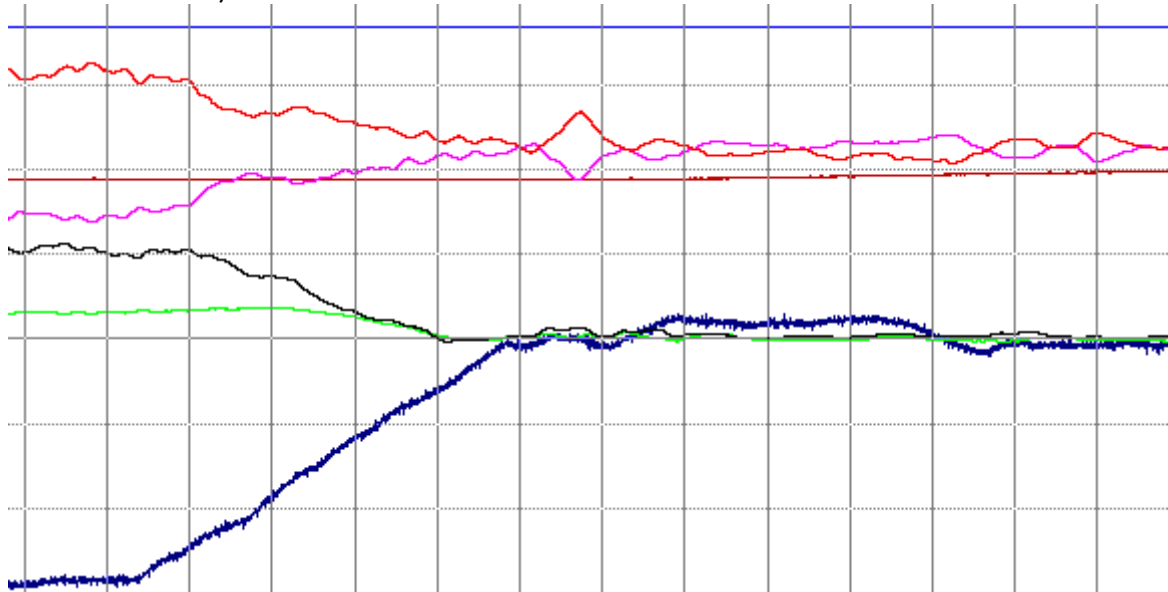
Obrázek 169 Průběh kombinace sil Y_{12} černá, Y_{11} zelená, Q_{11} fialová a Q_{12} červená (průměr vzorků 300) závada ve výšce bez závady ve směru viz následující graf (km 164,17) (Tals) osa y: kolové síly [kN], osa x: čas



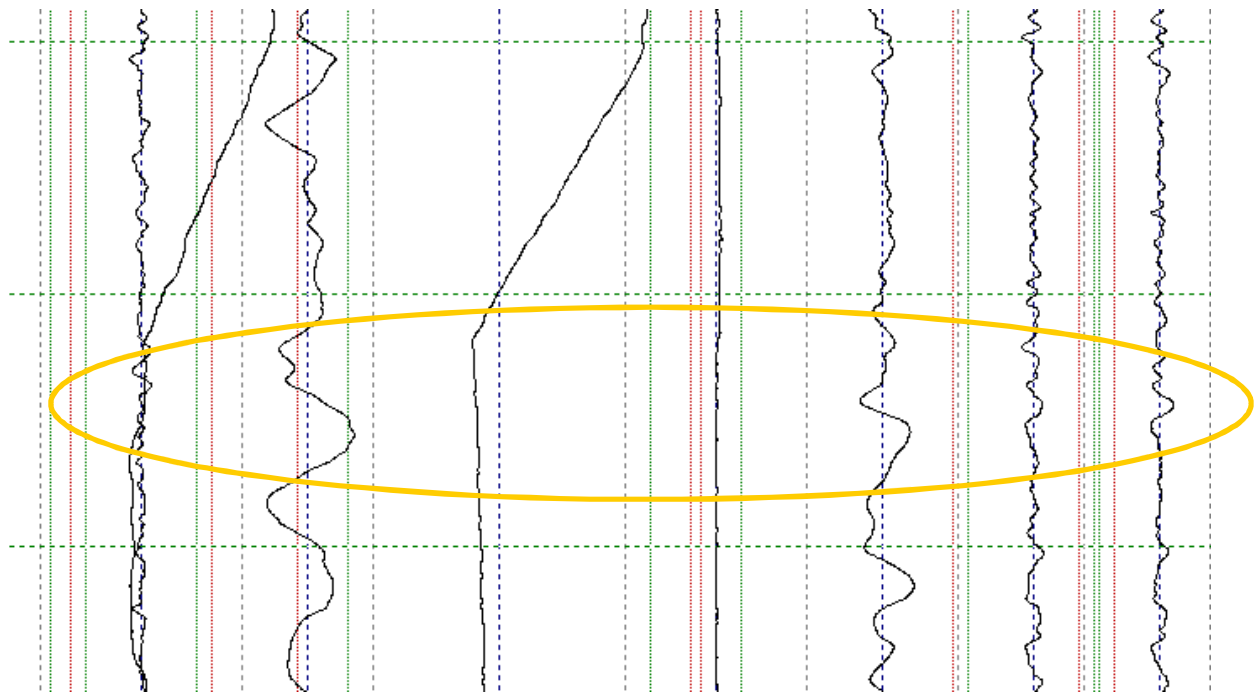
Obrázek 170 Graf MV pro km 164,17

Příklad 52

Další obrázek č.171 ilustruje případ vlivu krátké mezipřímé na výchylky kolových sil (113 kN → 134 kN a 95 kN).



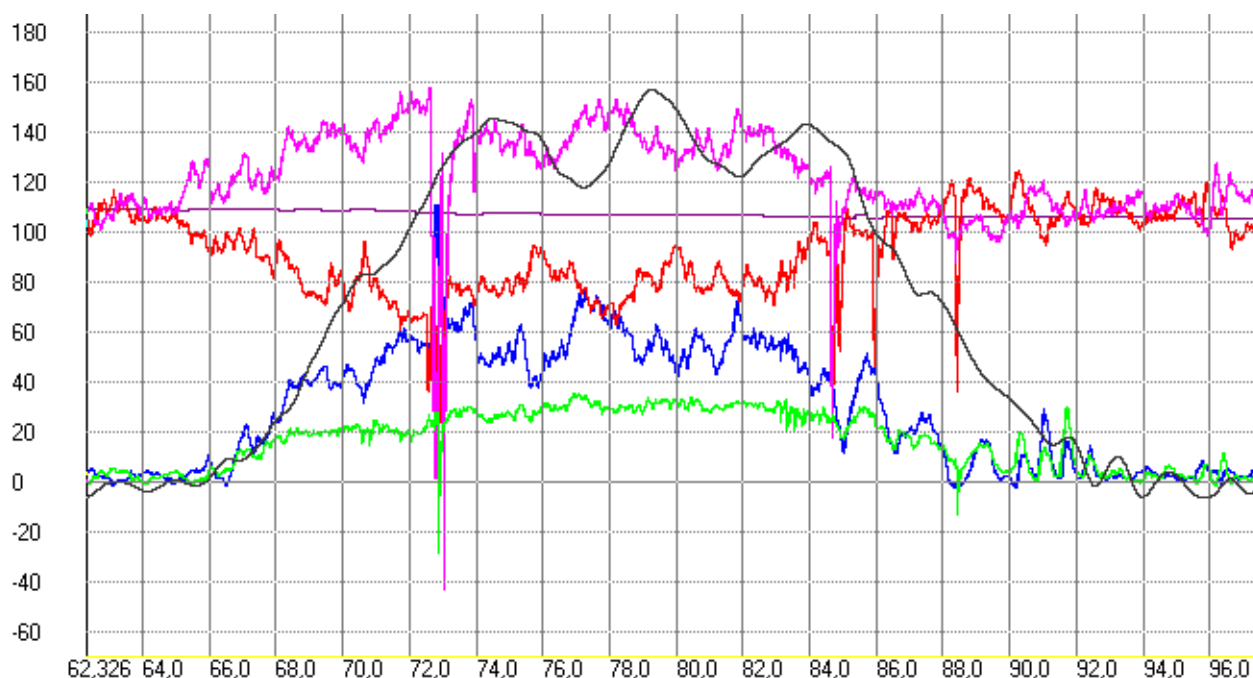
Obrázek 171 Průběh kombinace sil Y_{12} černá, Y_{11} zelená, Q_{11} fialová a Q_{12} červená (Talns) km 220,3 - km 220,7 osa y: kolové síly [kN], osa x: čas



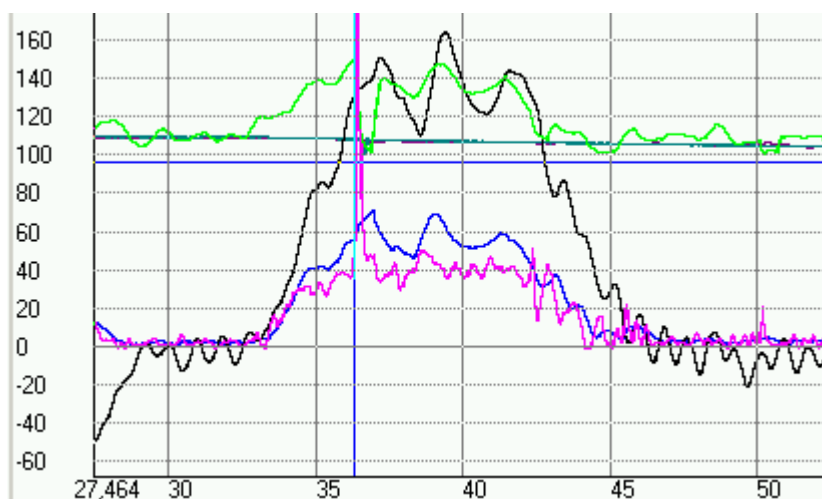
Obrázek 172 Graf MV pro km 220,6

Příklad 53

Na obrázcích č.173 a č.174 je patrný průběh silového působení v levostranném oblouku, kdy dochází k výraznému poklesu kolové síly nabíhajícího kola a zároveň dochází k nárůstu příčné síly. Souhrnně to tedy vede na významný nárůst poměru sil Y/Q . Z obrázku č.175 a č.176 je zřejmé, že v daném místě nedochází k abnormalitám v oblasti projektovaného stavu GPK i v oblasti provozního stavu GPK. Průběh příčné síly kopíruje proběh nedostatku převýšení, zatímco průběh kolové síly nestandardně klesá. Tento jev se vyskytl při jízdách zkouškách obou typů vozidel, proto se nebude jednat o náhodnou chybu měření.

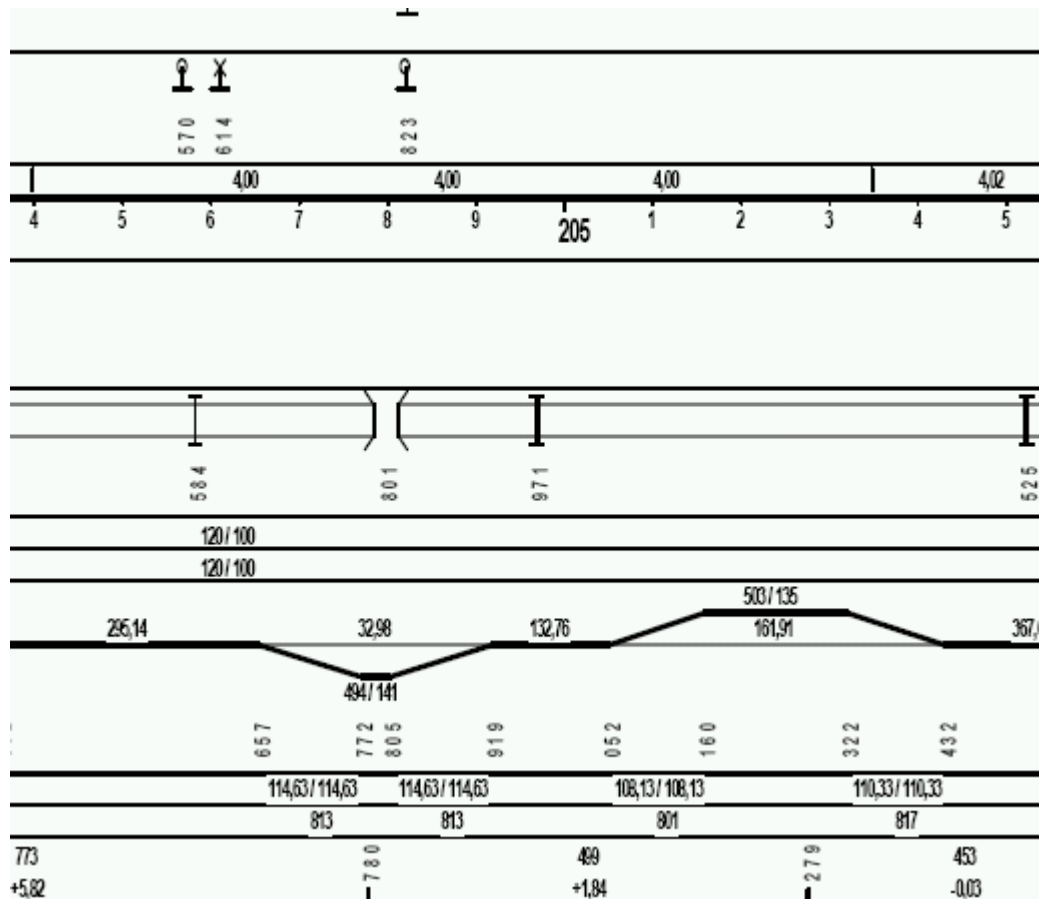


Obrázek 173 Průběh kolových sil vozidla Talns, km 205,00 – km 205,41; Q_{11} - červená, Q_{12} fialová, Y_{11} - zelená, Y_{12} modrá, křivost osy koleje - černá; osa y: kolové síly [kN], osa x: čas



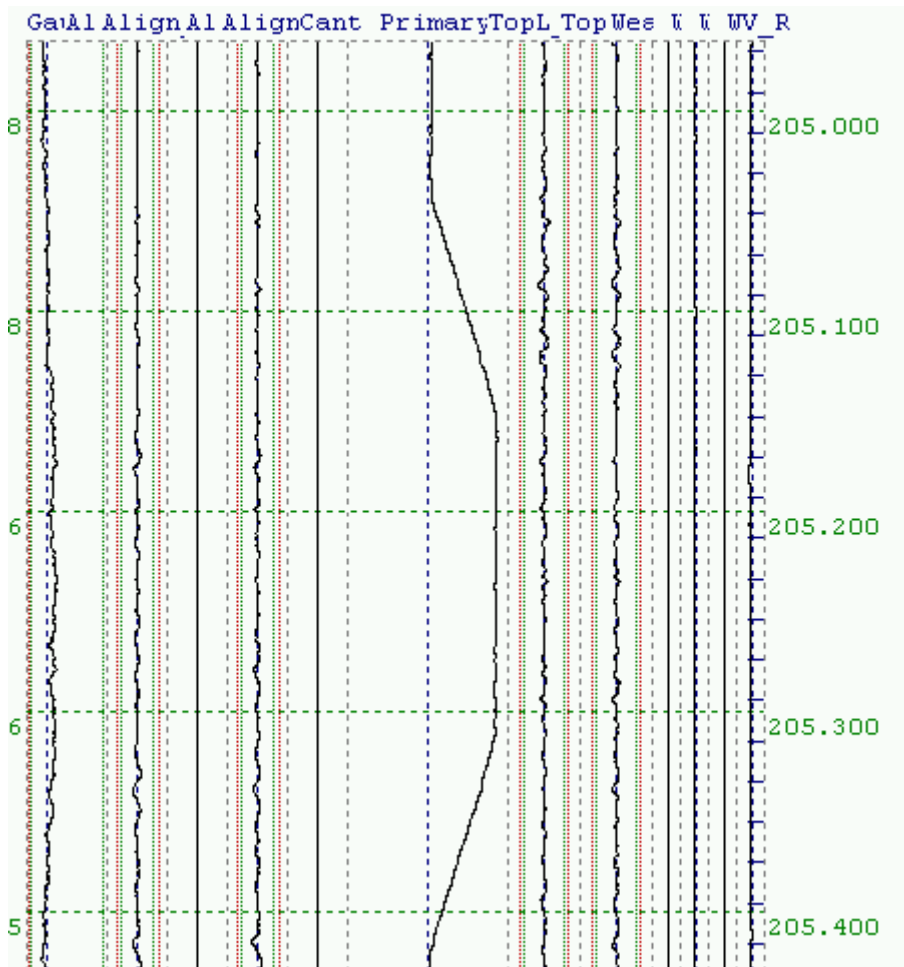
Obrázek 174 Průběh silového působení Y/Q fialová, Y_{11} modrá, Q_{11} zelená, nedostatek převýšení – černá 205-205,4 (109E) osa y: kolové síly [kN], osa x: čas

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



Obrázek 175 Směrové poměry kolej č.2 Letovice - Svitavy km 205

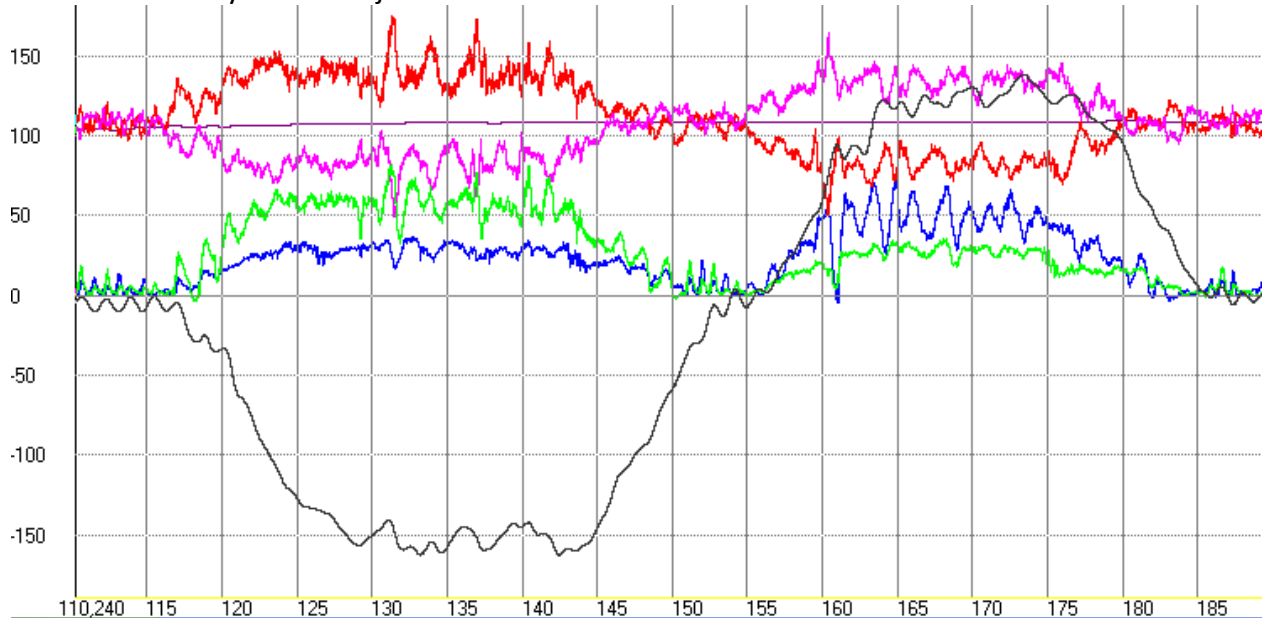
Požadavky na projektovaný a provozní stav geometrických parametrů koleje ve vztahu k vzájemnému silovému působení vozidla a koleje



Obrázek 176 Záznam MV km 205,0 - 205,4

Příklad 54

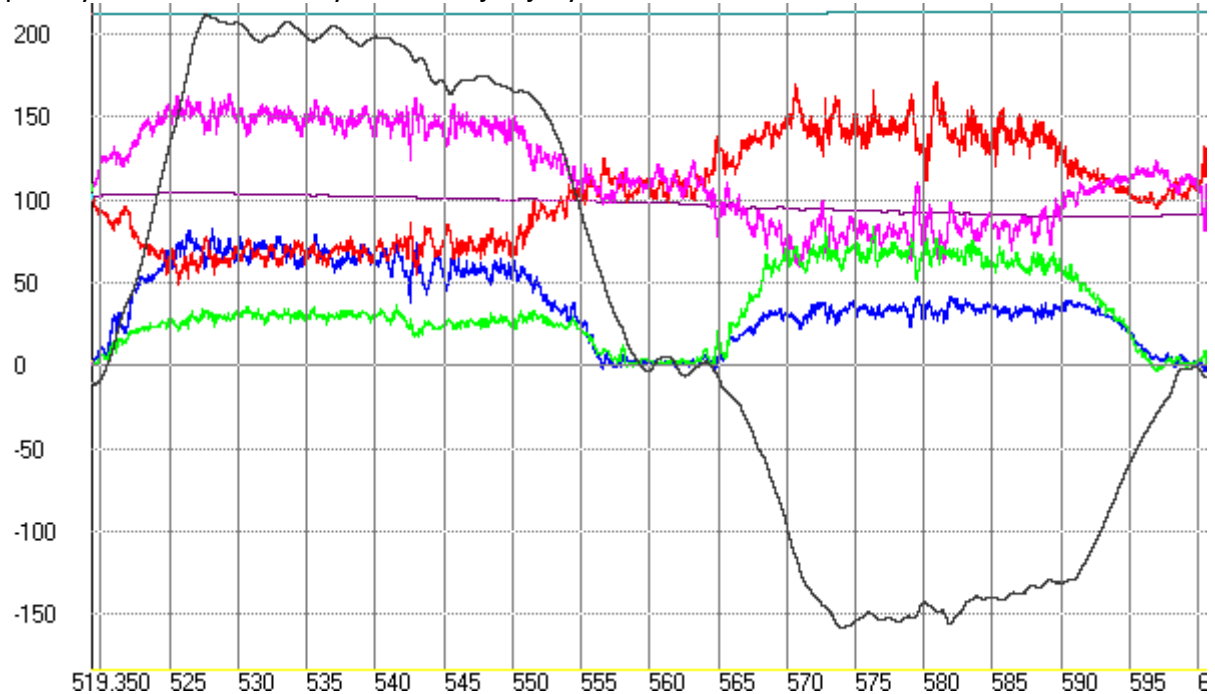
Na obrázku č. 177 je analyzována situace mezipřímé mezi přechodnicemi délky 54,68 m (0,5V). Ze záznamu průběhu signálu křivosti je zřejmé, že na krátké mezipřímé nedochází k ustálení, ale k jeho pozvolné změně jako by se jednalo o případ inflexních přechodnic. Příčné a svislé síly nedosahují zásadních abnormalit.



Obrázek 177 Průběh kolových sil vozidla 109E, km 205,83 – km 206,85; Q_{11} - červená, Q_{12} fialová, Y_{11} - zelená, Y_{12} modrá, křivost osy koleje - černá; osa y: kolové síly [kN], osa x: čas

Příklad 55

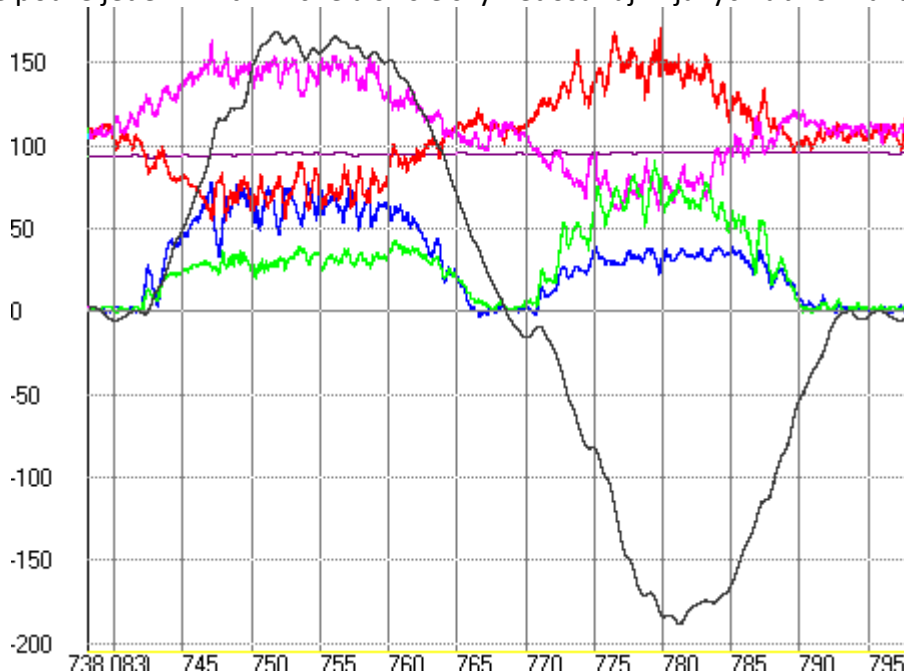
Na obrázku č.178 je analyzována situace mezipřímé mezi přečhodnicemi délky 92,14 m (1,0.V). Ze záznamu průběhu nedostatku převýšení je zřejmé, že na krátké mezipřímé dochází k oscilaci skutečných hodnot nedostatku převýšení kolem nulové rovnovážné polohy. Příčné a svislé síly nedosahují nijakých abnormalit.



Obrázek 178 Průběh kolových sil vozidla 109E, km 211,69 – km 212,78; Q_{11} - červená, Q_{12} fialová, Y_{11} - zelená, Y_{12} modrá, křivost osy koleje - černá; osa y: kolové síly [kN], osa x: čas

Příklad 56

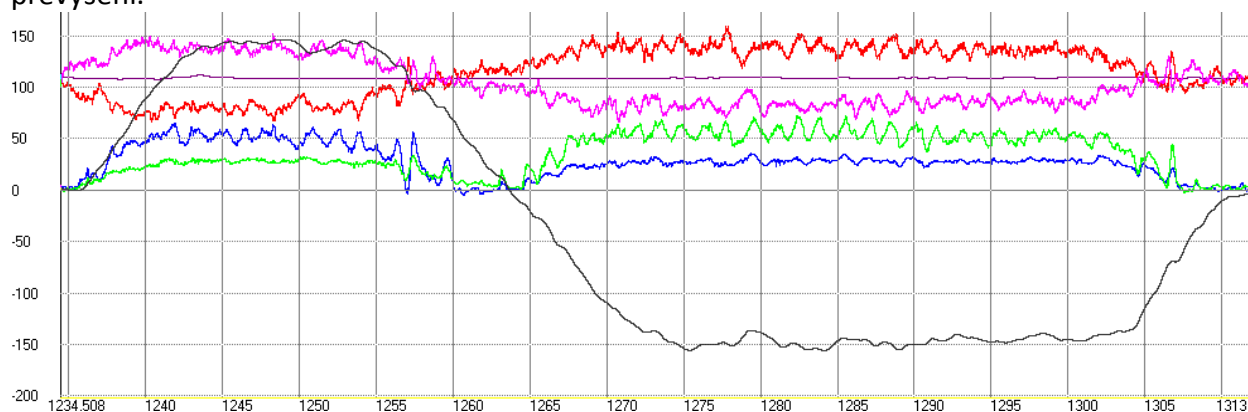
Na obrázku č.179 je analyzována situace mezipřímé mezi přechodnicemi délky 35,72 m (0,3.V). Ze záznamu průběhu nedostatku převýšení je zřejmé, že na krátké mezipřímé dochází k oscilaci skutečných hodnot nedostatku převýšení kolem nulové rovnovážné polohy. Zde pouze jeden kmit. Příčné a svislé síly nedosahují nijakých abnormalit.



Obrázek 179 Průběh kolových sil vozidla Talns, km 211,69 – km 212,78; Q_{11} - červená, Q_{12} fialová, Y_{11} - zelená, Y_{12} modrá, křivost osy koleje - černá; osa y: kolové síly [kN], osa x: čas

Příklad 57

Na obrázku č.180 je analyzována situace inflexních přechodnic bez mezipřímých. Ze záznamu průběhu nedostatku převýšení je zřejmé, že zde dochází ke standardnímu průběhu poklesu/nárůstu nedostatku převýšení. Na odchylkách od střednice trendu se podílí odchylky GPK. Zajímavé je, že k vyrovnání kolových sil dochází 13 m před místem nulového nedostatku převýšení.



Obrázek 180 Průběh kolových sil vozidla 109E, km 221,28 – km 222,45; Q_{11} - červená, Q_{12} fialová, Y_{11} - zelená, Y_{12} modrá, křivost osy koleje - černá; osa y: kolové síly [kN], osa x: čas

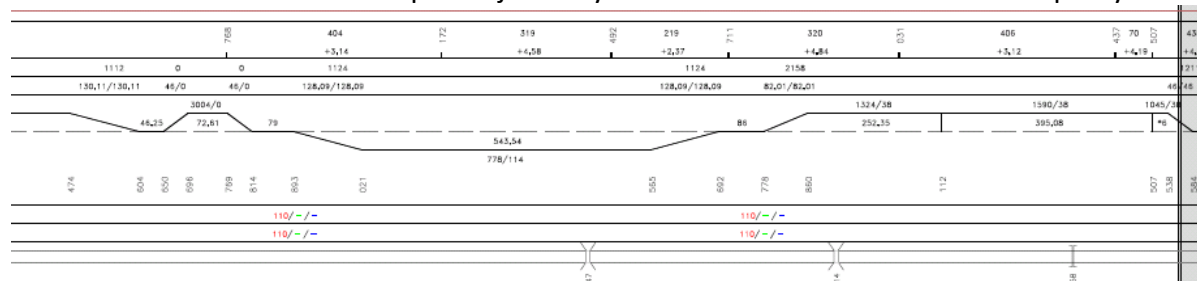
3.2.5. Traťový úsek Přerov – Prosenice

Tento zkušební úsek je vzhledem ke svému charakteru označen jednotně jako:

Příklad 58

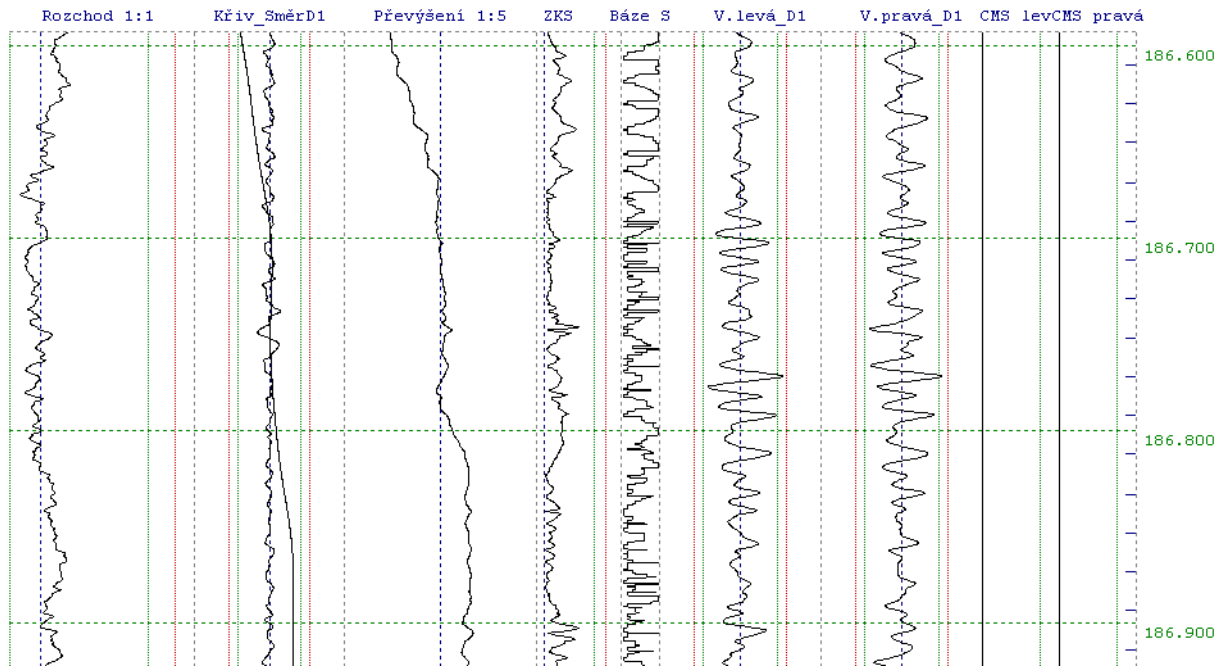
Ověření chodových vlastností vozidla řady 380 (109E) bylo vykonáno také ve spojovací koleji železničního uzlu Přerov, konkrétně 2. TK Přerov - Prosenice. Ověření vzájemného silového působení vozidla a koleje zde bylo provedeno z důvodu šetření příčin vzniku opakované MU ze dnů 21.1.2010 a následně 8.12.2010, kdy došlo k vykolejení prázdných vozů řady Laekks a Laaers. Přestože jsou tyto vozy v porovnání s lokomotivou 109E značně konstrukčně rozdílné, bylo snahou ověřit interakci vozidla a koleje alespoň pro případ hnacího vozidla, které bylo v té době v uvedeném úseku vystrojené měřicí technikou k dispozici. Dané místo vykolejení se nacházelo v oblasti mezipřímé mezi protisměrnými oblouky s přechodnicemi standardní délky (cca 1,0V). Na níže uvedeném obrázku č. 181 jsou uvedeny směrové poměry ve zkušebním úseku. Místo opakovaného vykolejení se nacházelo v místě přechodu konce mezipřímé do přechodnice km 186,780. V daném místě byly zaznamenány na grafu MV opakující se závady v podélné výšce koleje VL, VP, avšak v absolutních hodnotách nepřekračující meze bezpečnosti dané normou ČSN 73 6360-2. V případě hodnocení silového působení vozidla 109E (viz obrázek č.183, 184) nejsou v tomto místě zaznamenány ani v případě příčných, ani svislých sil abnormální výchylky.

Z uvedených obrázků jsou zřejmé změny vodících sil (a tím úměrně Y/Q) v oblasti konce oblouku (km 187,5), které jsou způsobeny ne příliš vhodně krátkou délkou poslední části kružnicového oblouku (cca 0,3V) při změně nedostatku převýšení cca $\Delta I = 33$ mm. Zde se potvrzuje nevhodnost malých délek kružnicových částí oblouků konstantní křivosti. V ostatních částech oblouku odpovídají změny křivosti naměřenému nedostatku převýšení

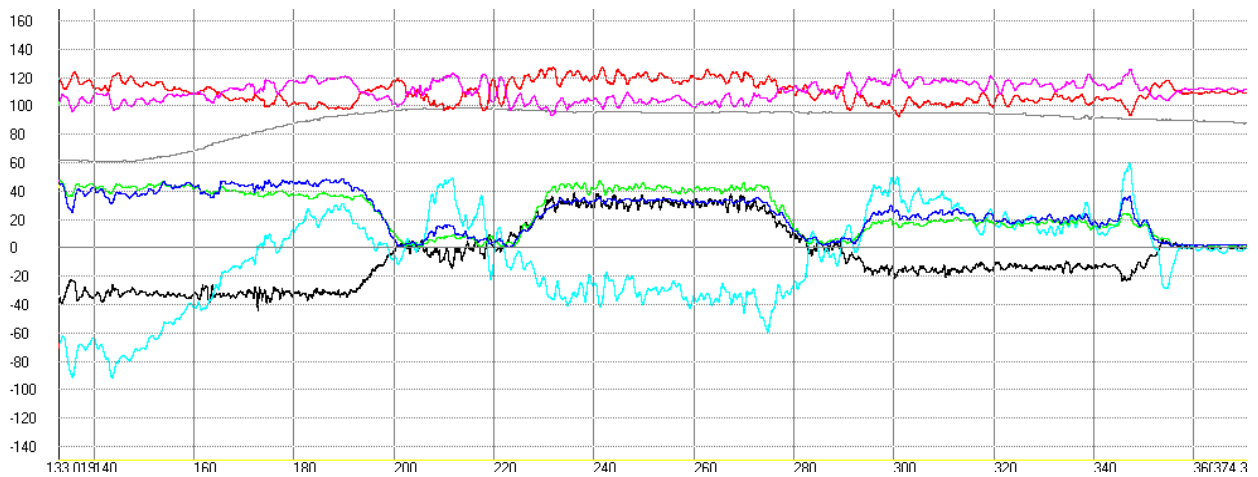


Obrázek 181 Směrové poměry ve zkušebním úseku (zdroj NPŽSv)

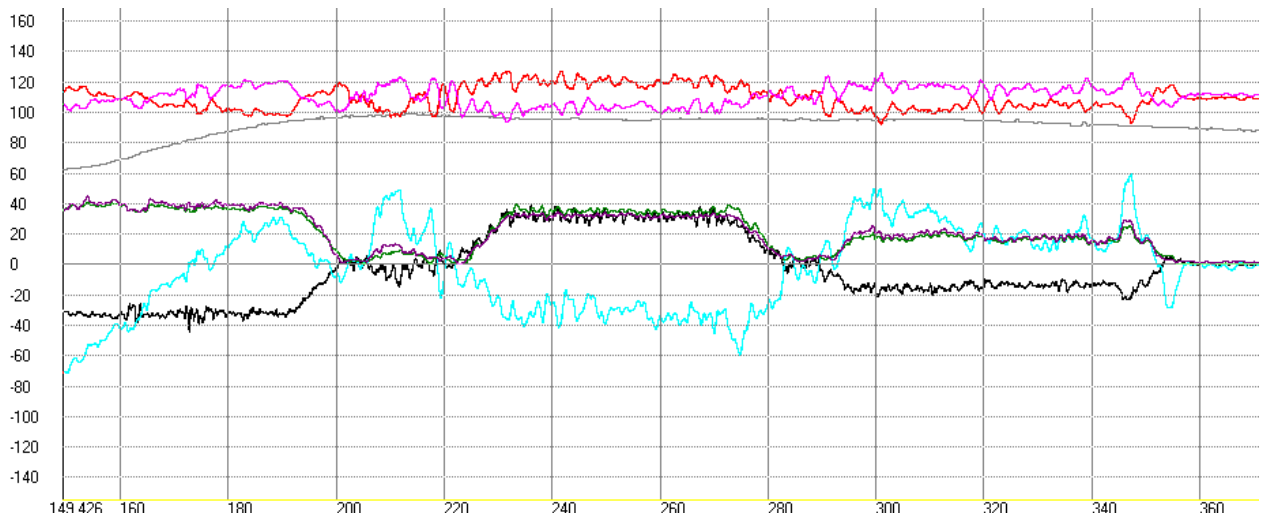
Požadavky na projektovaný a provozní stav geometrických parametrů koleje ve vztahu k vzájemnému silovému působení vozidla a koleje



Obrázek 182 Záznam hodnocení GPK z MV

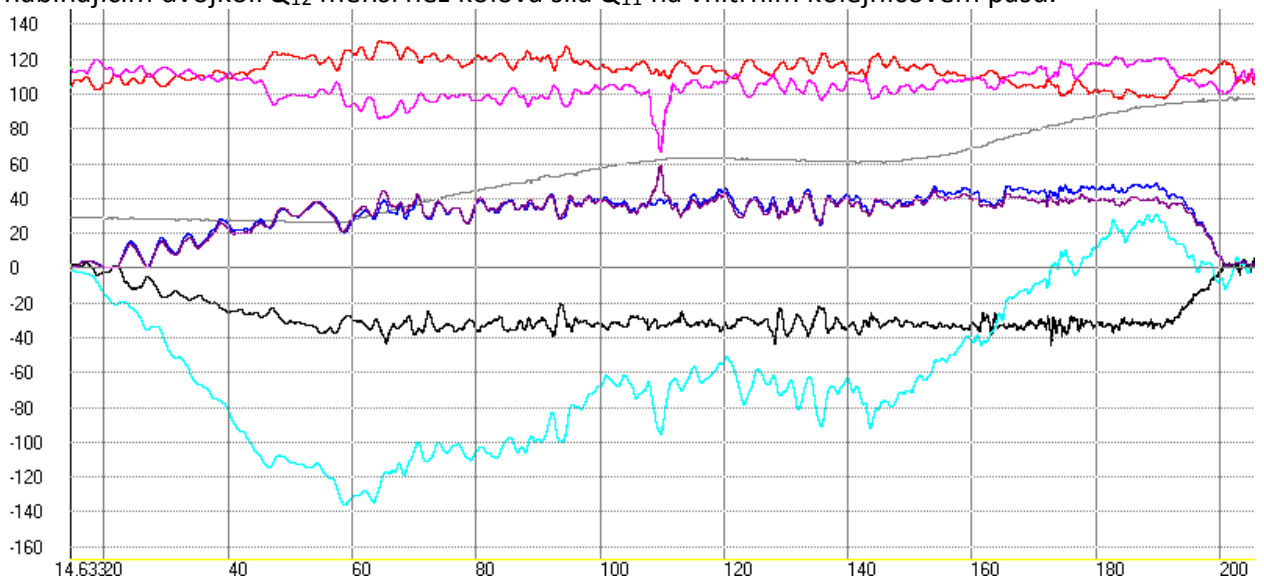


Obrázek 183 Průběh kolových a příčných sil vozidla 109E, km 184,95 – km 187,88; Q_{11} - červená, Q_{12} - fialová, Y_{11} - zelená, Y_{12} - modrá, křivost osy koleje - černá; nedostatek převýšení – tyrkysová; osa y: kolové síly [kN], osa x: čas [s]

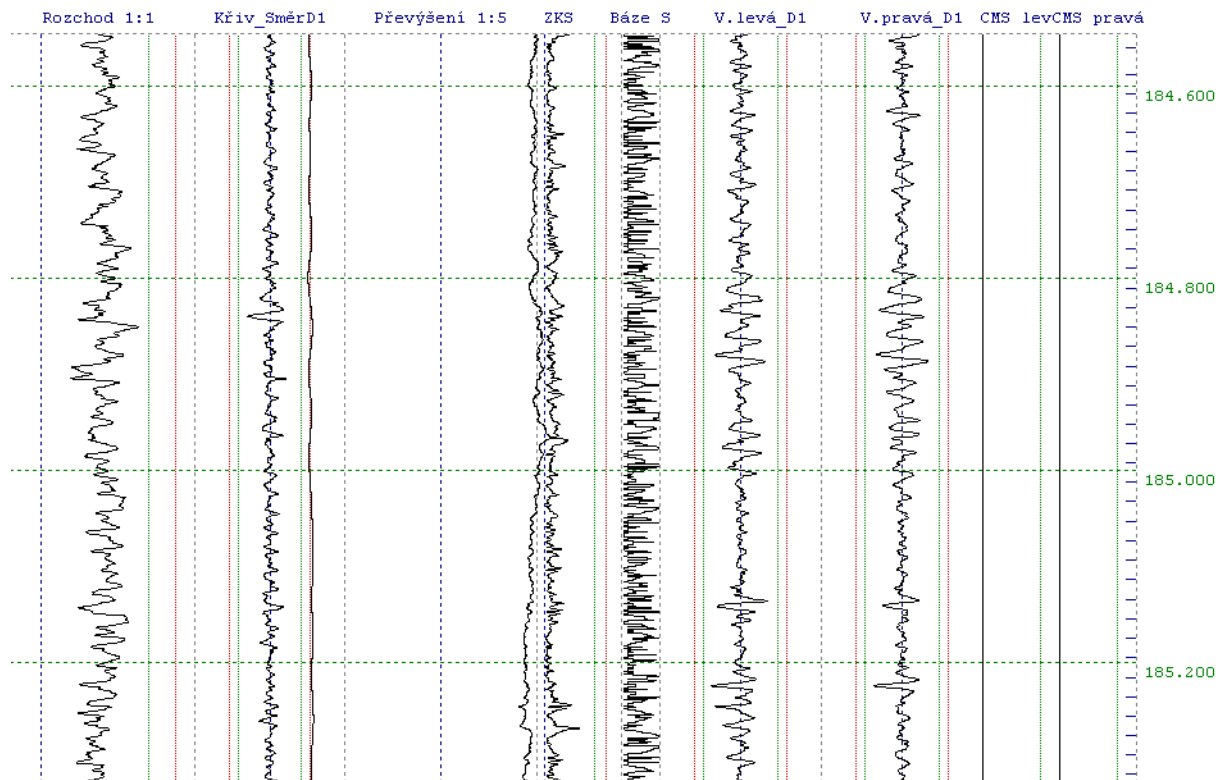


Obrázek 184 Průběh kolových a příčných sil vozidla a jejich kombinace 109E, km 184,95 – km 187,88; Q_{11} - červená, Q_{12} fialová, Y_{11}/Q_{11} - tmavě zelená, Y_{12}/Q_{12} tmavě fialová, křivost osy koleje - černá; nedostatek převýšení – tyrkysová; osa y: kolové síly [kN], osa x: čas [s]

V km 184,7 se objevuje propad kolové síly Q_{12} , který způsobuje odpovídající nárůst poměru Y/Q_{12} . Příčná síla se z kvazistatického stavu abnormálně nevychyluje. Není zřejmé, co způsobuje tento propad v průběhu kolové síly (na grafu MV nejsou v této oblasti zřejmé významné závady v podélné výšce nebo zborcení koleje). Zajímavé také je, že síla Q_{11} zůstává bez výrazných vychylek. Tento případ reprezentuje méně obvyklý případ ovlivnění poměru Y/Q poklesem kolové síly. Na obrázku č.187 je rovněž červenou barvou znázorněna rychlost, která je ve vztázném místě 63 km/h, což při parametrech oblouku $R = 708$ m a převýšení $D = 112$ mm znamená vyvozený přebytek převýšení $E = 46$ mm. Z tohoto důvodu je kolová síla na nabíhající dvojkoř Q_{12} menší než kolová síla Q_{11} na vnitřním kolejnicovém pásu.



Obrázek 185 Průběh kolových a příčných sil vozidla a jejich kombinace 109E, km 184,95 – km 187,88; Q_{11} - červená, Q_{12} fialová, Y_{12} - modrá, Y_{12}/Q_{12} tmavě fialová, křivost osy koleje - černá; nedostatek převýšení – tyrkysová; osa y: kolové síly [kN], osa x: čas [s]



Obrázek 186 Graf MV km 184,6 - km 185,200

3.3. Vyhodnocení míry změny vzájemného silového působení vozidla a koleje v závislosti na velikosti nedostatku převýšení (resp. na velikosti nevyrovnaného příčného zrychlení)

Velikost působícího nedostatku převýšení (tj. nevyrovnaného bočního zrychlení) se přirozeně projevuje na vzájemném silovém působení vozidla a koleje. Následující pojednání je věnováno vyhodnocení tohoto vlivu na silové působení v závislosti na směrových poměrech koleje. Podkladem pro toto hodnocení jsou výsledky jízdních zkoušek dvou konstrukčně podobných vozidel – HDV řady 380 ČD (tovární označení 109E výrobce Škoda Transportation) a HDV řady 1216 OBB (tovární označení ES64U4 výrobce Siemens AG Bereich Transportation Systems).

Ve smyslu článku 1.2.1 této práce je vzájemné silové působení vozidla a koleje (první náprava ve směru jízdy) hodnoceno zvláště pro kolové síly a pro příčné síly a jejich kombinace. Výsledky jsou hodnoceny ve smyslu metodiky pro provádění jízdních zkoušek vozidel, tedy zvláště pro každou ze 4 oblastí podle rozsahů poloměrů oblouku.

Pozn.: Rozsah poloměrů oblouků $175\text{ m} < R \leq 250\text{ m}$ je uveden nad rámec zásad ČSN EN 14363 na základě požadavků OBB.

Oblast poloměrů oblouků $175\text{ m} < R \leq 250\text{ m}$

HDV 380

Kvazistatická složka příčných sil (Y_{qst}) narůstá v závislosti na nárůstu nedostatku převýšení (I) (např. při $I_{zkuš} = 0\text{ mm}$ je $Y_{qst} = 69\text{ kN}$, při $I_{zkuš} = 130\text{ mm}$ je $Y_{qst} = 77,5\text{ kN}$, tj. nárůst o $\Delta Y_{qst} = 8,5\text{ kN}$).

Kvazistatická složka svislých sil Q_{qst} narůstá v závislosti na nárůstu nedostatku převýšení (I) se střední intenzitou, avšak hodnotově více než v případě Y_{qst} , při $I_{zkuš} = 0\text{ mm}$ je $Q_{qst} = 117\text{ kN}$, při $I_{zkuš} = 130\text{ mm}$ $Q_{qst} = 134\text{ kN}$, tj. nárůst o $\Delta Q_{qst} = 17\text{ kN}$.

Z důvodu hodnotově vyššího nárůstu svislé složky síly hodnoty poměru Y/Q rozhodné pro posuzování jízdní bezpečnosti klesají. Např. při $I_{zkuš} = 0$ mm je $Y/Q = 0,62$, při $I_{zkuš} = 130$ mm je $Y/Q = 0,59$.

ΣY_{2m} narůstá v závislosti na velikosti nedostatku převýšení (I) přibližně v trendu nárůstu Y_{qst} . Např. při $I_{zkuš} = 0$ mm je $\Sigma Y_{2m} = 42$ kN, při $I_{zkuš} = 130$ mm je $\Sigma Y_{2m} = 60$ kN, tj. nárůst o $\Delta \Sigma Y_{2m} = 18$ kN.

HDV 1216

Kvazistatická složka příčných sil (Y_{qst}) narůstá v závislosti na nárůstu nedostatku převýšení (I) (např. při $I_{zkuš} = 0$ mm je $Y_{qst} = 63$ kN, při $I_{zkuš} = 153$ mm je $Y_{qst} = 72$ kN, tj. nárůst o $\Delta Y_{qst} = 9$ kN).

Kvazistatická složka svislých sil Q_{qst} narůstá v závislosti na nárůstu nedostatku převýšení (I) se střední intenzitou, avšak hodnotově více než v případě Y_{qst} , při $I_{zkuš} = 0$ mm je $Q_{qst} = 135$ kN, při $I_{zkuš} = 153$ mm $Q_{qst} = 168$ kN, tj. nárůst o $\Delta Q_{qst} = 33$ kN.

Z důvodu hodnotově vyššího nárůstu svislé složky síly hodnoty poměru Y/Q rozhodné pro posuzování jízdní bezpečnosti klesají. Např. při $I_{zkuš} = 0$ mm je $Y/Q = 0,58$, při $I_{zkuš} = 153$ mm je $Y/Q = 0,55$.

ΣY_{2m} narůstá v závislosti na velikosti nedostatku převýšení (I) přibližně v trendu nárůstu Y_{qst} . Např. při $I_{zkuš} = 0$ mm je $\Sigma Y_{2m} = 20$ kN, při $I_{zkuš} = 153$ mm je $\Sigma Y_{2m} = 58$ kN, tj. nárůst o $\Delta \Sigma Y_{2m} = 38$ kN.

Oblast poloměrů oblouků $250 < R \leq 400$ m

HDV 380

Kvazistatická složka příčných sil (Y_{qst}) narůstá v závislosti na nárůstu nedostatku převýšení (I) velmi zvolna (např. při $I_{zkuš} = 105$ mm je $Y_{qst} = 59$ kN, při $I_{zkuš} = 165$ mm je $Y_{qst} = 63$ kN, tj. nárůst o $\Delta Y_{qst} = 4$ kN).

Kvazistatická složka svislých sil Q_{qst} narůstá v závislosti na nárůstu nedostatku převýšení (I) velmi zvolna, avšak hodnotově více než v případě Y_{qst} , při $I_{zkuš} = 105$ mm je $Q_{qst} = 130$ kN, při $I_{zkuš} = 165$ mm $Q_{qst} = 140$ kN, tj. nárůst o $\Delta Q_{qst} = 10$ kN.

Z důvodu hodnotově vyššího nárůstu svislé složky síly hodnoty poměru Y/Q rozhodné pro posuzování jízdní bezpečnosti klesají. Např. při $I_{zkuš} = 105$ mm je $Y/Q = 0,52$, při $I_{zkuš} = 165$ mm je $Y/Q = 0,49$.

ΣY_{2m} narůstá v závislosti na velikosti nedostatku převýšení (I) přibližně v trendu nárůstu Y_{qst} . Např. při $I_{zkuš} = 105$ mm je $\Sigma Y_{2m} = 42$ kN, při $I_{zkuš} = 165$ mm je $\Sigma Y_{2m} = 50$ kN, tj. nárůst o $\Delta \Sigma Y_{2m} = 8$ kN.

HDV 1216

Kvazistatická složka příčných sil (Y_{qst}) narůstá v závislosti na nárůstu nedostatku převýšení (I) (např. při $I_{zkuš} = 30$ mm je $Y_{qst} = 57$ kN, při $I_{zkuš} = 200$ mm je $Y_{qst} = 66$ kN, tj. nárůst o $\Delta Y_{qst} = 9$ kN).

Kvazistatická složka svislých sil Q_{qst} narůstá v závislosti na nárůstu nedostatku převýšení (I) velmi zvolna, avšak hodnotově více než v případě Y_{qst} , při $I_{zkuš} = 30$ je $Q_{qst} = 132$ kN, při $I_{zkuš} = 200$ mm $Q_{qst} = 166$ kN, tj. nárůst o $\Delta Q_{qst} = 34$ kN.

Z důvodu hodnotově vyššího nárůstu svislé složky síly hodnoty poměru Y/Q rozhodné pro posuzování jízdní bezpečnosti klesají. Např. při $I_{zkuš} = 30$ mm je $Y/Q = 0,51$, při $I_{zkuš} = 200$ mm je $Y/Q = 0,49$.

ΣY_{2m} narůstá v závislosti na velikosti nedostatku převýšení (I) přibližně v trendu nárůstu Y_{qst} . Např. při $I_{zkuš} = 30$ mm je $\Sigma Y_{2m} = 20$ kN, při $I_{zkuš} = 200$ mm je $\Sigma Y_{2m} = 45$ kN, tj. nárůst o $\Delta \Sigma Y_{2m} = 25$ kN.

Oblast poloměrů oblouků $400 < R \leq 600$ m

HDV 380

Kvazistatická složka příčných sil (Y_{qst}) narůstá v závislosti na nárůstu nedostatku převýšení (I) velmi zvolna (např. při $I_{zkuš} = 105$ mm je $Y_{qst} = 51$ kN, při $I_{zkuš} = 165$ mm je $Y_{qst} = 54$ kN, tj. nárůst o $\Delta Y_{qst} = 4$ kN).

Kvazistatická složka svislých sil Q_{qst} narůstá v závislosti na nárůstu nedostatku převýšení (I) velmi zvolna, avšak hodnotově více než v případě Y_{qst} , při $I_{zkuš} = 105$ mm je $Q_{qst} = 130$ kN, při $I_{zkuš} = 165$ mm $Q_{qst} = 140$ kN, tj. nárůst o $\Delta Q_{qst} = 10$ kN.

Z důvodu hodnotově vyššího nárůstu svislé složky síly hodnoty poměru Y/Q rozhodné pro posuzování jízdní bezpečnosti klesají. Např. při $I_{zkuš} = 105$ mm je $Y/Q = 0,47$, při $I_{zkuš} = 165$ mm je $Y/Q = 0,43$.

ΣY_{2m} narůstá v závislosti na velikosti nedostatku převýšení (I) přibližně v trendu nárůstu Y_{qst} . Např. při $I_{zkuš} = 105$ mm je $\Sigma Y_{2m} = 32$ kN, při $I_{zkuš} = 165$ mm je $\Sigma Y_{2m} = 42$ kN, tj. nárůst o $\Delta \Sigma Y_{2m} = 10$ kN

HDV 1216

Kvazistatická složka příčných sil (Y_{qst}) narůstá v závislosti na nárůstu nedostatku převýšení (I) velmi zvolna (např. při $I_{zkuš} = 30$ mm je $Y_{qst} = 46$ kN, při $I_{zkuš} = 165$ mm je $Y_{qst} = 57$ kN, tj. nárůst o $\Delta Y_{qst} = 13$ kN).

Kvazistatická složka svislých sil Q_{qst} narůstá v závislosti na nárůstu nedostatku převýšení (I) velmi zvolna, avšak hodnotově více než v případě Y_{qst} , při $I_{zkuš} = 30$ mm je $Q_{qst} = 138$ kN, při $I_{zkuš} = 165$ mm $Q_{qst} = 163$ kN, tj. nárůst o $\Delta Q_{qst} = 25$ kN.

Z důvodu hodnotově vyrovnaného nárůstu svislé složky, síly hodnoty poměru Y/Q rozhodné pro posuzování jízdní bezpečnosti zůstávají konstantní. Např. při $I_{zkuš} = 30$ mm je $Y/Q = 0,47$, při $I_{zkuš} = 165$ mm je $Y/Q = 0,47$.

ΣY_{2m} narůstá v závislosti na velikosti nedostatku převýšení (I) přibližně v trendu nárůstu Y_{qst} . Např. při $I_{zkuš} = 30$ mm je $\Sigma Y_{2m} = 16$ kN, při $I_{zkuš} = 165$ mm je $\Sigma Y_{2m} = 40$ kN, tj. nárůst o $\Delta \Sigma Y_{2m} = 24$ kN

Oblast poloměrů oblouků $R > 600$ m

HDV 380

Kvazistatická složka příčných sil (Y_{qst}) narůstá v závislosti na nárůstu nedostatku převýšení (I) strměji ve srovnání s nižšími pásmy poloměrů oblouků, avšak z nízkých počátečních hodnot (např. při $I_{zkuš} = 105$ mm je $Y_{qst} = 10$ kN, při $I_{zkuš} = 165$ mm je $Y_{qst} = 40$ kN, tj. nárůst o $\Delta Y_{qst} = 30$ kN).

Kvazistatická složka svislých sil Q_{qst} narůstá v závislosti na nárůstu nedostatku převýšení (I) velmi zvolna (ještě mírněji než v nižších pásmech oblouků, např. při $I_{zkuš} = 105$ je $Q_{qst} = 130$ kN, při $I_{zkuš} = 165$ mm je $Q_{qst} = 138$ kN, tj. nárůst o $\Delta Q_{qst} = 8$ kN).

Z důvodu hodnotově vyššího nárůstu příčné složky síly hodnoty poměru Y/Q rozhodné pro posuzování jízdní bezpečnosti mírně stoupají, nicméně pohybují se v nižších hodnotách. Např. při $I_{zkuš} = 105$ mm je $Y/Q = 0,2$, při $I_{zkuš} = 165$ mm je $Y/Q = 0,4$.

ΣY_{2m} narůstá v závislosti na velikosti nedostatku převýšení (I) přibližně v trendu nárůstu Y_{qst} . Např. při $I_{zkuš} = 105$ mm je $\Sigma Y_{2m} = 20$ kN, při $I_{zkuš} = 165$ mm je $\Sigma Y_{2m} = 43$ kN, tj. nárůst o $\Delta \Sigma Y_{2m} = 23$ kN.

HDV 1216

Kvazistatická složka příčných sil (Y_{qst}) narůstá v závislosti na nárůstu nedostatku převýšení (I) strměji ve srovnání s nižšími pásmy poloměrů oblouků, avšak z nízkých počátečních hodnot

(např. při $I_{zkuš} = 0$ mm je $Y_{qst} = 36$ kN, při $I_{zkuš} = 165$ mm je $Y_{qst} = 52$ kN, tj. nárůst o $\Delta Y_{qst} = 16$ kN.

Kvazistatická složka svislých sil Q_{qst} narůstá v závislosti na nárůstu nedostatku převýšení (I) velmi zvolna (ještě mírněji než v nižších pásmech oblouků, např. při $I_{zkuš} = 0$ mm je $Q_{qst} = 119$ kN, při $I_{zkuš} = 165$ mm $Q_{qst} = 150$ kN, tj. nárůst o $\Delta Q_{qst} = 31$ kN.

Z důvodu hodnotově vyššího nárůstu příčné složky síly hodnoty poměru Y/Q rozhodně pro posuzování jízdní bezpečnosti mírně stoupají, nicméně pohybují se v nižších hodnotách. Např. při $I_{zkuš} = 0$ mm je $Y/Q = 0,28$, při $I_{zkuš} = 165$ mm je $Y/Q = 0,31$.

ΣY_{2m} narůstá v závislosti na velikosti nedostatku převýšení (I) přibližně v trendu nárůstu Y_{qst} . Např. při $I_{zkuš} = 0$ mm je $\Sigma Y_{2m} = 6$ kN, při $I_{zkuš} = 165$ mm je $\Sigma Y_{2m} = 30$ kN, tj. nárůst o $\Delta \Sigma Y_{2m} = 24$ kN.

Shrnutí:

Z výsledků jízdních zkoušek vozidel lze sledovat tyto trendy pro rozhodně bezpečnostně relevantní parametry Y/Q a ΣY :

Y/Q – V oblastech poloměrů oblouků nižších hodnot ($R \leq 600$ m) paradoxně dochází při zvyšování nedostatku převýšení ke zvýšení jízdní bezpečnosti vyjádřené snížením koeficientu Y/Q . V oblastech oblouků větších poloměrů ($R > 600$ m) sice dochází k mírnému nárůstu hodnot koeficientů Y/Q v závislosti na rostoucím nedostatku převýšení, avšak vlivem celkově nižších hodnot příčných sil zůstávají hodnoty Y/Q poměrně nízké.


ΣY_{2m} – Mezní hodnota pro výše popsany případ je 81,4 kN, z čehož je zřejmé, že střední odhad hodnoty ΣY_{2m} nedosahuje ani ze dvou třetin mezní hodnoty.

Zajímavostí rovněž je, že nárůst svislé složky sil Q_{qst} není poloměrem oblouku téměř ovlivněn (pro stejnou hodnotu nedostatku převýšení s klesajícím poloměrem oblouku mírně roste).

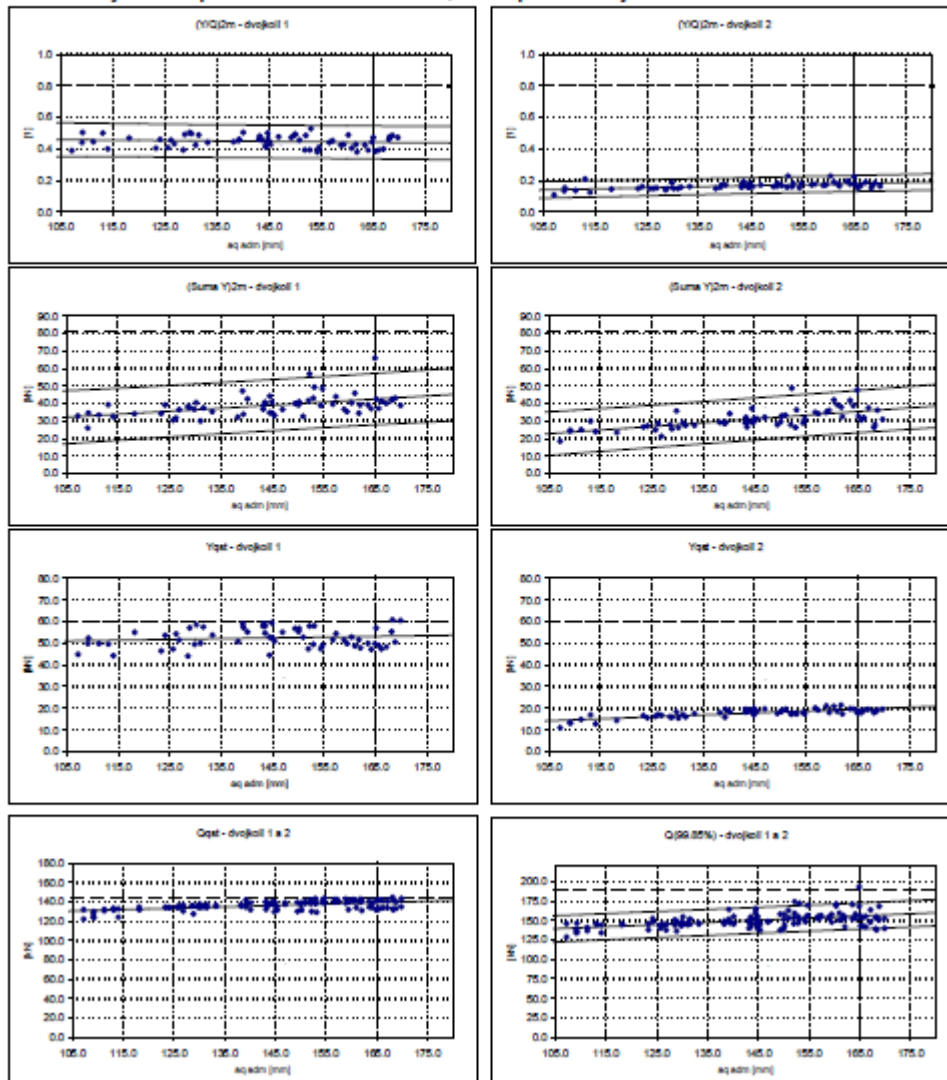
Tabulka 25 Souhrnná tabulka relativních hodnot nárůstů směrodatných veličin jízdní dynamiky

Rozsah poloměrů [m]	ΔI (380) [mm]	Y/Q (380) -	ΣY (380) [kN]	ΔI (1216) [mm]	Y/Q (1216) -	ΣY (1216) [kN]
$175 < R \leq 250$	0-130	-4,8%	+42,8%	0-153	-5,2%	+190%
$250 < R \leq 400$	105 - 165	-5,8%	+19,0%	30-200	-3,9%	+125%
$400 < R \leq 600$	105 - 165	-8,5%	+31,2%	30-165	0%	+150%
$600 > R$	105 - 165	+100%	+115%	0 - 165	+10,7%	+400%

Poznámka: Značný relativní rozdíl mezi výsledky HDV řad 380 a 1216 je dán odlišnými výchozími podmínkami zkoušení (hodnocený rozsah nedostatku převýšení).

	Zkušební vzorek	Typ	Číslo protokolu	Příloha číslo	2
	Lokomotiva ř. 380 (ČD)	ŠKODA 103E	11 - C 010	Změna číslo	0
				List	7 z 22

Lokomotiva ř.380 (ČD), „vpřed“ (podv. s měrnými dv. 1. ve směru jízdy), kolové síly Y a Q
 Oblouky o malém poloměru: 400 m $\leq R \leq 600$ m, sklon upevnění kolejnic 1/40



Obrázek 187 Příklad hodnocení silových účinků vozidla dle metodiky ČSN EN 14363 pro oblast oblouků středních poloměrů lokomotiva řady 380 ČD

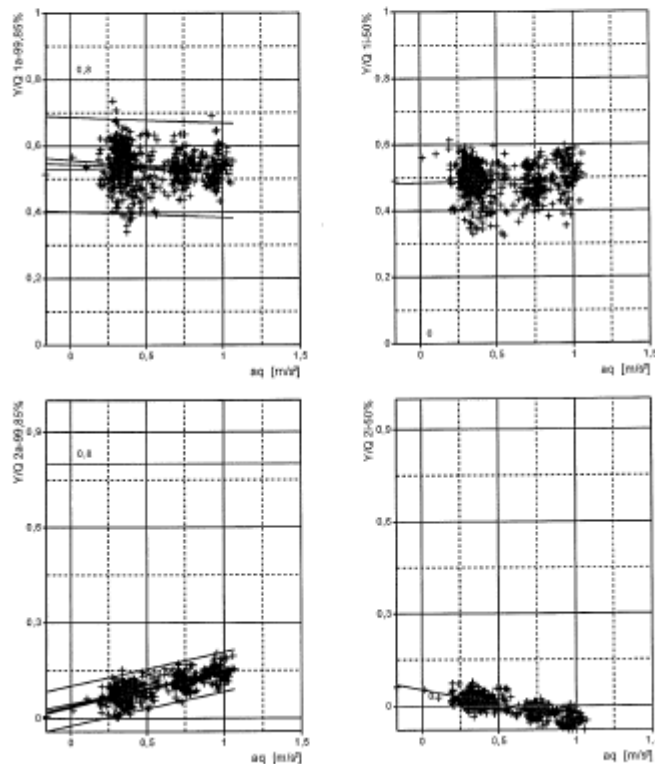
OBB TRAKTION GmbH Service	VERSUCHSBERICHT Lauftechnische Untersuchung ES64U4 1216 003-4	Versuch: M 1300 Beilage: 12 Seite: 3
--	---	--

Messstrecke: Airolo – Biasca km 87,0 – 131,0

Trassierung: Gleisbögen 250m < R < 400m

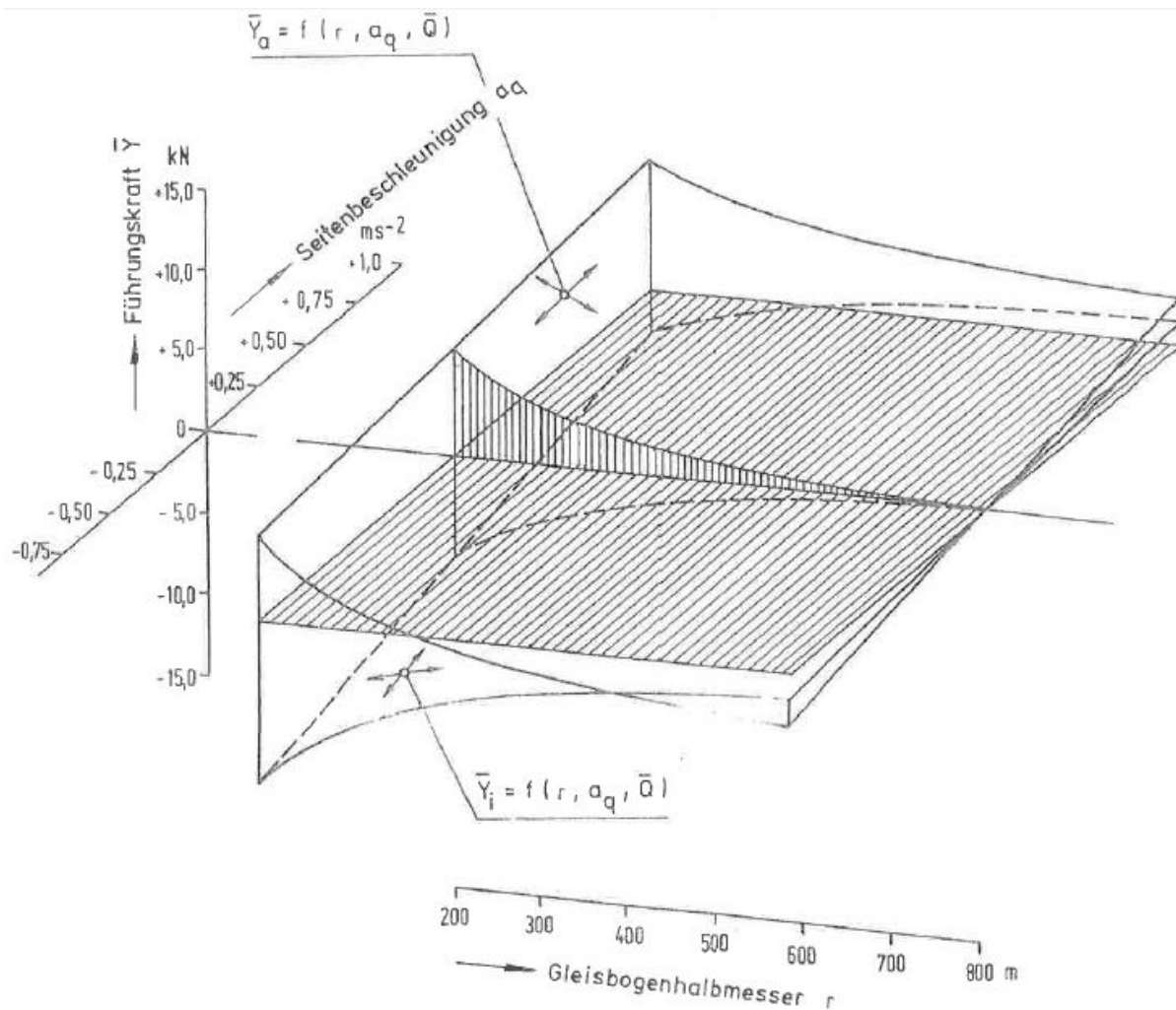
Messrichtung: vorlaufend

Anmerkung: Normalbetrieb



Obrázek 188 Příklad hodnocení silových účinků vozidla dle metodiky ČSN EN 14363 pro oblast oblouků velmi malých poloměrů lokomotiva řady 1216 OBB

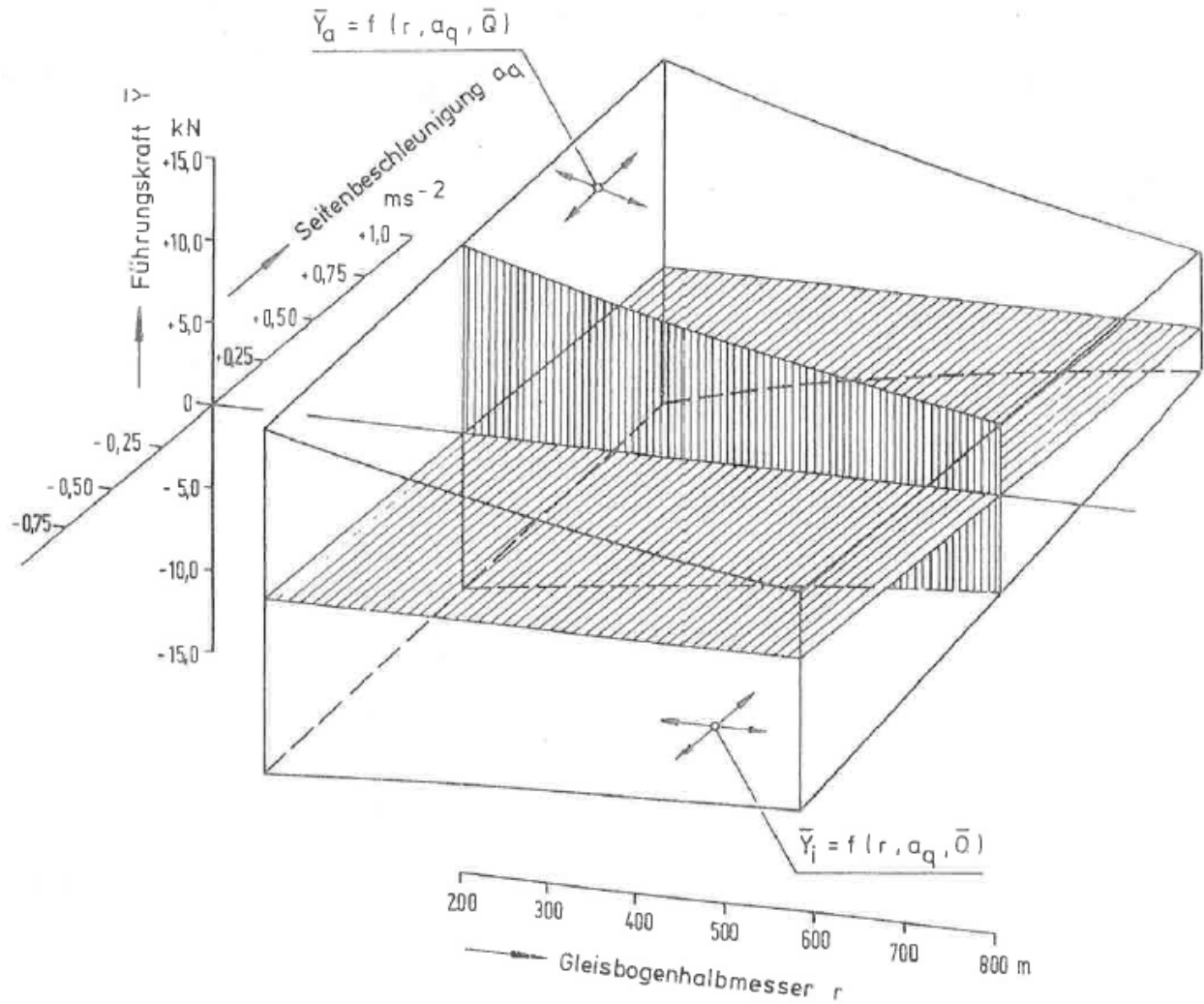
Z obou níže uvedených grafů závislosti velikosti příčných sil je zřejmé, že dominantním faktorem funkční závislosti $Y = f(R; a_q)$ je právě složka poloměru oblouku (grafy viz UIC ORE B55 RP8).



Vysvětlivky:

- osa x – Gleisbogenhalbmesser - poloměr oblouku;
- osa y – Seitenbeschleunigung – nevyrovnané příčné zrychlení;
- osa z - Führungskraft – příčná síla.

Obrázek 189 Závislost velikosti příčných sil na poloměru oblouku a nedostatku převýšení (zdroj UIC ORE B55), typ 661 DB



Vysvětlivky:

- osa x – Gleisbogenhalbmesser - poloměr oblouku;
- osa y – Seitenbeschleunigung – nevyrované příčné zrychlení;
- osa z - Führlungskraft – příčná síla.

Obrázek 190 Závislost velikosti příčných sil na poloměru oblouku a nedostatku převýšení (zdroj UIC ORE B55), typ Y25 SNCF

3.4. Posouzení délky směrového prvku konstantní křivosti podle metodiky přílohy A.2 prEN 13803-1:2007 – ověření měřením pohybů skříňě měřicího vozu pro železniční svršek

Níže uvedené ověření stanovení délky mezipřímé podle metodiky přílohy A.2 prEN 13803-1:2007 navazuje na teoretické výpočty uvedené v kapitole 1.1.8.7 této práce.

Tento zkušební úsek je vzhledem ke svému charakteru označen jednotně jako:

Příklad 59

Pro ověření správnosti výše uvedených výsledků bylo přistoupeno hodnocení chování reálného vozu v konkrétním traťovém úseku. K tomuto účelu je vhodný Měřicí vůz pro železniční svršek (TÚDC).



Obrázek 191Měřicí vůz TUDC (foto SŽDC TÚDC)

Pro hodnocení chování měřicího vozu pro železniční svršek bylo využito primárních dat ze záznamu jeho vlastních měření. Zaznamenaná data jsou ze dvou lineárních čidel snímajících pohyb skříně ve svislém směru, každé vůči ložiskovému domku. Zkušební jízda byla provedena na trati Jaroměř – Česká skalice (TU: 1651) km 0,200 – 12,000. Záznam je doplněn rychlostí jízdy, polohou, rozchodem, převýšením celkovým a nefiltrovanou křivostí. Zároveň jsou tyto data vyhodnocena běžným způsobem (podle předpisu SŽDC SR 103/4 (S)) a tím jsou získány odpovídající odchylky geometrie koleje ve skutečné geometrii.

V oblasti analyzovaného úseku se vyskytují směrové poměry těchto parametrů:

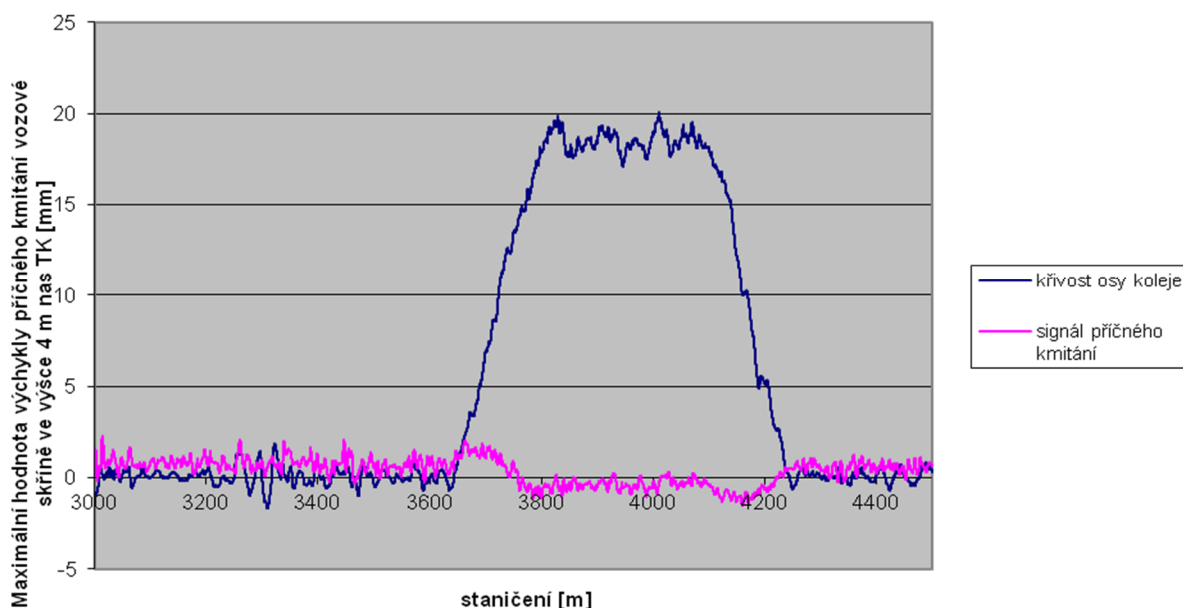
Tabulka 26 Směrové poměry zkušebního úseku trati Jaroměř - Česká Skalice

Staničení [km]	R [m]	V [km/h]	D [mm]	I [mm]	dD/dt [mm/s]	dI/dt [mm/s]	poznámka
0,296 – 0,581	360	70	76	85	16	17,8	Mezipř. 115 m
0,695 – 0,879	290	70	99	100	28,3(45,8)	28,7(46,5)	
1,411 – 1,589	425	70	66	70	19,46	20,63	Mezipř. 70 m
1,659 – 1,978	280	70	136	70	33,47	17,35	Mezipř. 93 m
2,071 – 2,141	760	100	70	86	27,7	33,8	
3,207 – 3,786	548	100	130	86	27,7	15,24	
5,130 – 5,571	375	80	131	71	33,1	17,7	Mezipř. 92
5,663 – 5,963	360	80	140	70	33,8	16,85	
6,324 – 6,523	700	100	84	24	27,7	27,9	
7,345 – 7,553	950	100	54	70	27,7	36,12	
8,690 – 9,022	570	100	107	100	34,16	31,2	
10,745 – 10,816	252 0	100	0	47	0	-	Délka 71 m
11,518 – 11,818	535	80	57	84	34,3	69,3	$L_v \neq L_k$

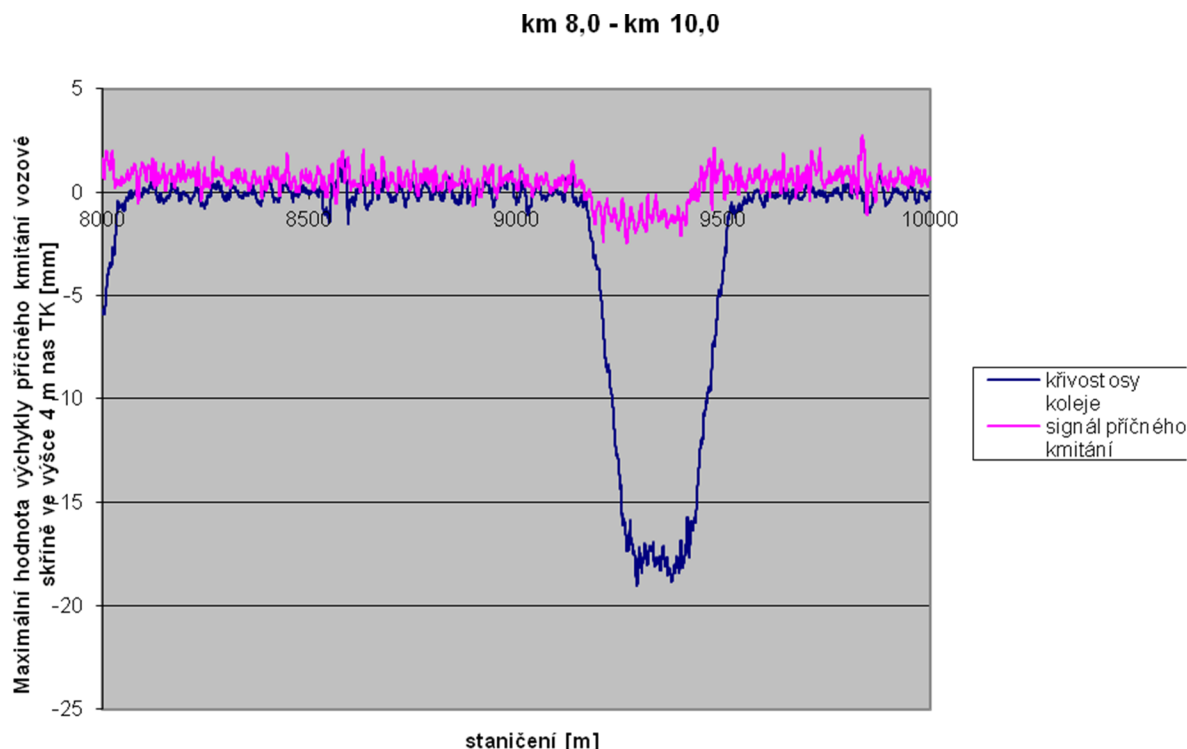
Poznámka: Údaje o směrových poměrech jsou převzaty z nákrešného přehledu železničního svršku. Měřicí systém byl zapnut před staniční budovou, staničení měřeného úseku je tedy oproti pasportní údajům posunuto o cca 400 m.

Z výše uvedených údajů je zřejmé, že směrové poměry jsou poměrně příznivé, kromě posledního oblouku kde je zvýšený nárůst nedostatku převýšení v čase. Ze signálu snímače svislého pohybu skříně je zřejmé, že frekvence a amplitudy tohoto kmitání se v místech změn dD/dt a dI/dt nemění, pouze se mění střední hodnota polohy kmitání. Typický průběh rovnovážné polohy v oblouku s krajními přechodnicemi je zřejmý z obrázku č.192 „km 3,0 – km 4,5“ a obrázku č.193 „km 8,0 – km 10,0“.

km 3,0 - km 4,5

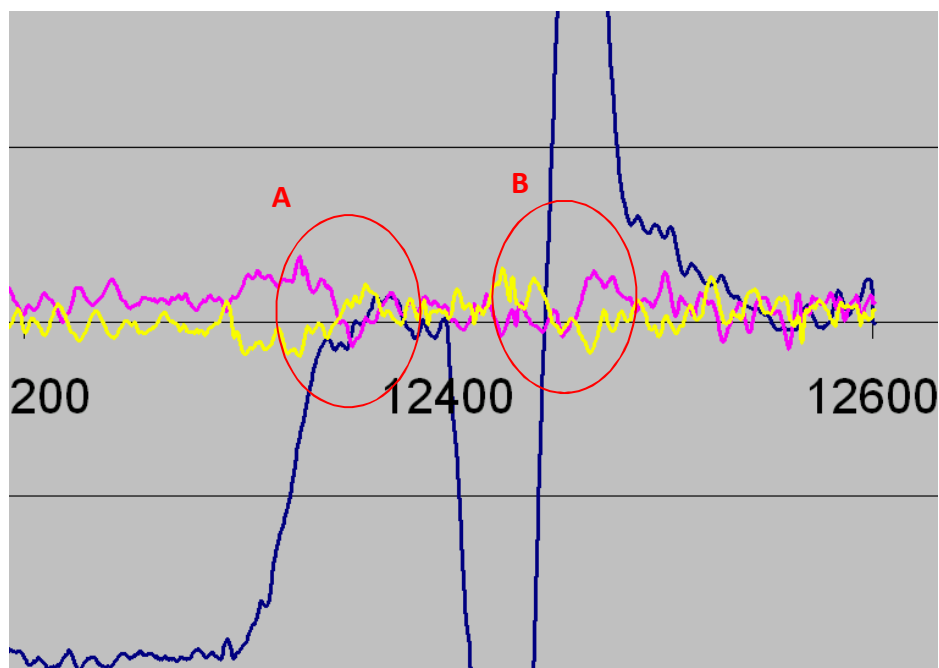


Obrázek 192 Průběh kmitání vozové skříně v úseku trati km 3,0 - km 4,5



Obrázek 193 Průběh kmitání vozové skříně v úseku trati km 8,0 - km 10,0

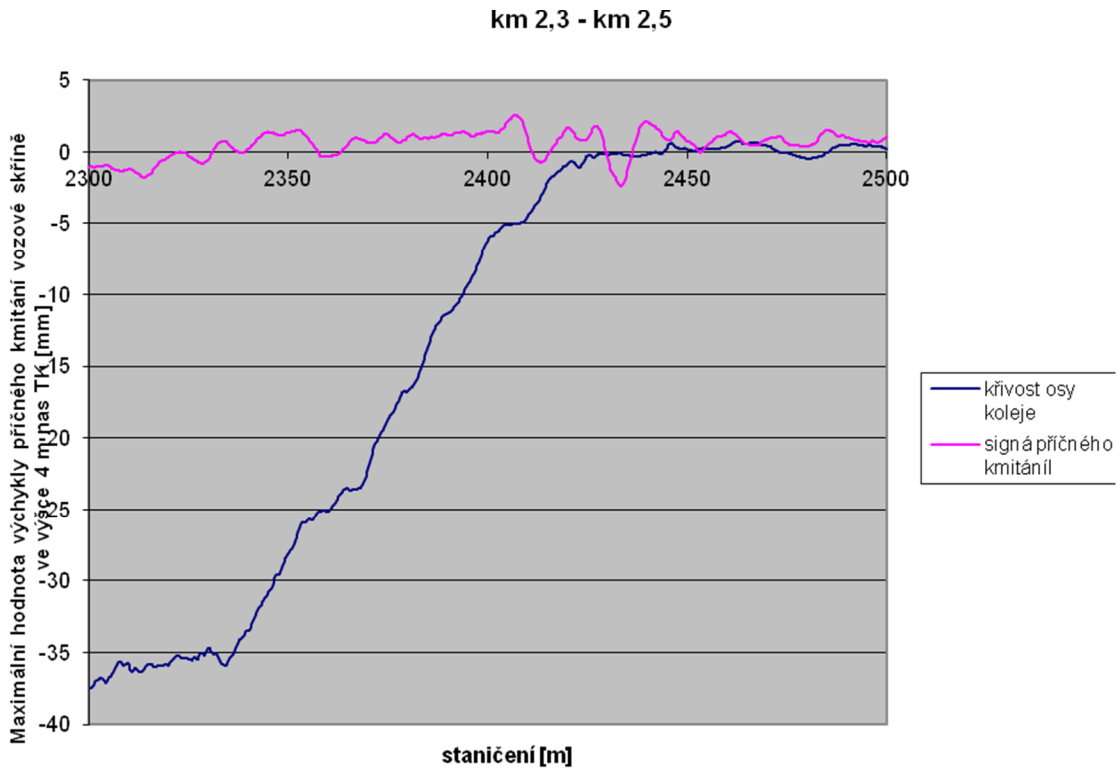
Pokud bychom hodnotili pohyb rovnovážné polohy kmitání vozové skříně, pak se jedná o celkové natáčení vozové skříně na délce přechodnice, což má také přímou souvislost s nárůstem dD/dt a dI/dt , nicméně se již nejedná o příčné kmitání.



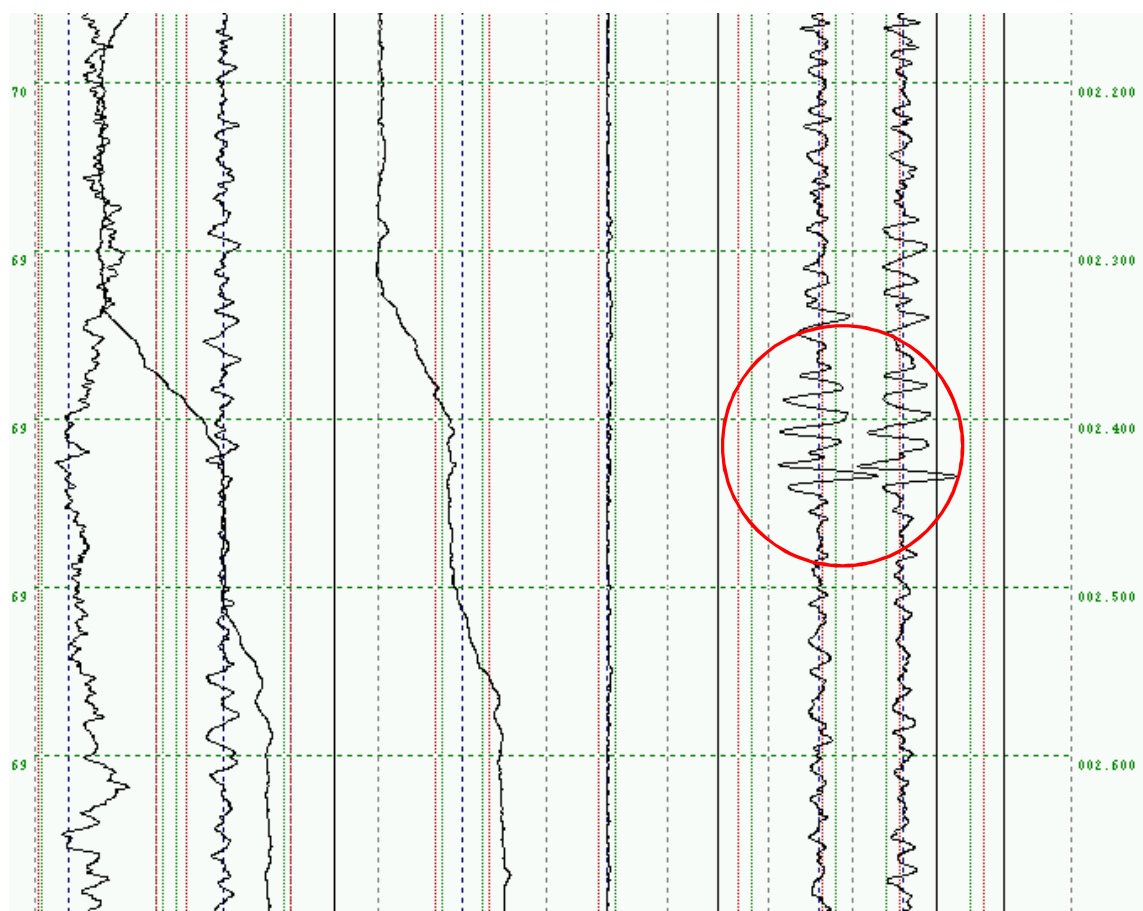
Obrázek 194 Detail grafu km 11,6 – 12,6 (modrá - křivost, žlutá a fialová je hodnocený signál)

Na předchozím obrázku č.194 je znázorněn detail grafu „km 11,6 – km 12,6“, kde je patrná změna rovnovážné polohy kmitání (A), nicméně je zajímavé, že při průjezdu výhybkou (B) do odbočky k výraznému rozkmitání nedochází. Vzhledem k zastavování měřícího vlaku však bylo toto místo projížďeno sníženou rychlostí.

Z obrázku č.195 „km 2,3 – km 2,5“ lze pozorovat nepravidelné rozkmitání rovnovážné polohy. Při prověření odchylek GPK v ostatních parametrech však bylo zjištěno, že v tomto konkrétním místě jsou zvýšené odchylky v podélné výšce (viz obr. č. 196).



Obrázek 195 Průběh kmitání vozové skříně v úseku trati km 2,3 - km 2,5



Obrázek 196 Graf hodnocení odchylek GPK

Z výše uvedeného zjištění vyplývá, že mnohem větší vliv na kmitavý příčný pohyb mají odchylky v převýšení a podélné výšce, oproti vlivu nespojitosti průběhu dD/dt a dI/dt . Výchyly kmitání vozové skříňe jsou stejné v oblouku i přímé. V hodnoceném úseku se nachází náhlá změna křivosti $\Delta I = 47$ mm. Maximální hodnota $dD/dt = 34,3$ mm/s a $dI/dt = 69,3$ mm/s. Hodnoty dD/dt jsou z hlediska ČSN 73 6360-1 pouze zvýšené, hodnota $dI/dt = 69,3$ mm/s je již hodnotou maximální. Aktuální hodnota dI/dt však byla přiměřená poloviční, neboť v tomto úseku již měřící vlak snižoval rychlost (aktuální rychlost 10,33 m/s) před zastavením.

Metodika stanovení limitní délky mezipřímé na základě výpočtu útlumu příčného kmitání uvedená v příloze A.2 normy prEN 13803-1:2007 byla prověřena z hlediska její správnosti a věrohodnosti. Výchozí vztah pro výpočet útlumu kmitání příčného náklonu vozové skříňe je nepřijatelně zjednodušený, a tím metodika výpočtu neposkytuje správné výsledky.

4. Souhrn výsledků

První řešenou oblastí této disertační práce je hodnocení vlivu délek vybraných prvků směrového uspořádání koleje na průběh vzájemného silového působení vozidla a koleje. První skupinou hodnocených prvků jsou délky mezipřímých a kružnicových částí oblouků u oblouků s přechodnicemi. Tyto situace jsou v traťových kolejích nejrozšířenější. Další hodnocenou skupinou jsou mezipřímé a kružnicové části oblouků v případě oblouků bez přechodnic. Tyto situace jsou naopak běžné v případě kolejových rozvětvení a staničních kolejí.

Dále je uvedeno zhodnocení zvýšení silového působení vozidla v závislosti na míře působení nevyrovnaného příčného zrychlení (resp. nedostatku převýšení).

Druhou řešenou oblastí této disertační práce je hodnocení vlivu odchylek jednotlivých parametrů GPK a jejich vzájemných kombinací na průběh silových veličin charakterizujících bezpečnost jízdy drážního vozidla.

4.1. Vliv projektovaných parametrů GPK na jízdní vlastnosti vozidel

Hodnocené silové působení bylo převzato z podkladů k typovým zkouškám nákladního vozu – Talns (výrobce Tatravagónka Poprad) a lokomotivy 109E (výrobce ŠKODA Transportation). Množství hodnocených vozidel není zcela vyčerpávající, nicméně obecné zákonitosti chování železničních vozidel odvozovat lze.

Převážná většina hodnocených dat pochází z úseků mimo výhybky a výhybkové konstrukce. Hodnocení ovlivnění jízdních vlastností vozidel délkami jednotlivých směrových prvků v kolejových rozvětveních se liší od běžné koleje vlivem přerušení pojižděné hrany, nespojitosti křivosti osy koleje a průběhu změn rozchodu koleje ve výměnové části při přechodu kola z opornice na jazyk.

4.1.1. Mezipřímé mezi oblouky s přechodnicemi a kružnicové části oblouků s přechodnicemi

Na základě provedené analýzy se prokázalo, 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. Tento jev závisí na typu vypružení vozidla a na rozdělení odpružených a neodpružených hmot.

Průběh výchylek svislých sil je v oblasti mezipřímé závislý na konstrukčnímu uspořádání vozidla. Tento nepříznivý vliv se projevuje i v případě mezipřímých délek 0,5 V (minimální doporučená hodnota dle ČSN 73 6360-1 až do rychlosti 230 km/h). V případě mezipřímé mezi protisměrnými oblouky se výše popsaný jev projevuje silněji než v případě oblouků stejnosměrných. Naopak mezipřímé na hranici minimálních dovolených hodnot délek (0,2 – 0,25 V, např. 20 m pro 90 km/h) se vlivem provozu mění na úseky s proměnnou křivostí (ve smyslu inflexních přechodnic), kde je výše uvedený jev ovlivnění průběhu svislých sil tlumen.

Obecně lze konstatovat nevhodné působení krátkých mezipřímých mezi oblouky s přechodnicemi oproti řešení napojení oblouků s vyloučením mezipřímé, nicméně míra jejich negativního působení nepřevyšuje z hlediska svislých kolových sil hranici provozních odchylek pro posuzování kvality GPK hladiny AL. Přestože tato místa nemají zásadní vliv na chod vozidla, je žádoucí tato místa eliminovat, a to i z důvodu možné kumulace vlivů vyplývajících z konstrukce koleje a vlivů vyplývajících z kvality GPK. 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.

Omezení stanovená normou ČSN 73 6360-1:2008 by měla více rozlišovat mezi požadavky na délku kružnicové části oblouku a mezipřímé v případě oblouků s přechodnicemi. Z výše uvedeného je zřejmé, že požadavky na omezení délky kružnicové části oblouku mezi přechodnicemi jsou podstatnější než v případě mezipřímých mezi přechodnicemi, kde působí obecně menší příčné síly a zároveň zde není takový vliv rozdílu kolových sil. 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.

4.1.2. Mezipřímé mezi náhlými změnami křivosti, délky kružnicových oblouků bez přechodnic

Z přímých měření nevyrovnaného příčného zrychlení na podvozku vozidel se prokázala přibližně lineární změna nedostatku převýšení v oblasti náhlé změny křivosti i v případě oblouku bez přechodnic. Tento jev je způsoben omezenou příčnou tuhostí koleje,

kdy se osa koleje vlivem provozu částečně přizpůsobí a tak dochází i v místech teoretické náhlé změny nedostatku převýšení k vytvoření krátké přechodové křivky. Tento jev je omezen na běžnou kolej, v případě výhybkových oblouků k tomuto jevu z konstrukčních důvodů nedochází.

Většina případů posouzení mezipřímé mezi oblouky bez přechodnic se vyskytuje v kolejových rozvětveních, kde se vzhledem k průběhu silového působení mezi vozidlem a kolejí uplatňují vlivy nespojitosti pojížděných hran kolejnicových pásů v srdcovkách. Tyto situace byly zachyceny především na začátku a koncích zkušebních jízd (jízda na předjízdnu kolej) nebo pokud byla mimořádně projedena jízda po spojkách mezi hlavními dopravními kolejemi. Pro situace charakteristické průjezdem výhybkami a výhybkovými konstrukcemi je typický velmi strmý nárůst příčné síly. To je dáno poměrně tuhou konstrukcí výhybek a výhybkových konstrukcí oproti konstrukci běžné koleje. Z důvodu zásadního vlivu průběhu příčných sil Y na poměr příčných a svislých sil Y/Q se tento faktor negativně projevuje na možnosti šplhání okolku na temeno kolejnice.

4.1.3. Vliv zvýšení hodnoty nedostatku převýšení na výsledné silové působení vozidla

Bylo prokázáno, že míru vzájemného kvazistatického silového působení vozidla a koleje ovlivňuje ve vyšší míře působící nedostatek převýšení než samotná směrová křivost koleje.

Z výsledků jízdních zkoušek vozidel lze sledovat tyto trendy pro rozhodně bezpečnostně relevantní parametry Y/Q a ΣY :

Y/Q – V oblastech poloměrů oblouků nižších hodnot ($R \leq 600$ m) paradoxně dochází při zvyšování nedostatku převýšení ke zvýšení jízdní bezpečnosti vyjádřené snížením koeficientu Y/Q . V oblastech oblouků větších poloměrů ($R > 600$ m) sice dochází k mírnému nárůstu hodnot koeficientů Y/Q v závislosti na rostoucím nedostatku převýšení, avšak vlivem celkově nižších hodnot příčných sil zůstávají hodnoty Y/Q poměrně nízké.

ΣY_{2m} – Pro zkoumané případy je charakteristické, že střední odhady hodnoty ΣY_{2m} nedosahují ani ze dvou třetin mezních hodnot.

Zajímavostí rovněž je, že nárůst svislé složky sil Q_{qst} není poloměrem oblouku téměř ovlivněn (pro stejnou hodnotu nedostatku převýšení s klesajícím poloměrem oblouku mírně roste).

4.1.4. Metodika výpočtu příloha A.2 prEN 13803-1:2007

Metodika stanovení limitní délky mezipřímé na základě výpočtu útlumu příčného kmitání uvedená v příloze A.2 normy prEN 13803-1:2007 byla prověřena z hlediska její správnosti a věrohodnosti. Výchozí vztah pro výpočet útlumu kmitání příčného náklonu vozové skříně je nepříjemně zjednodušený, a tím metodika výpočtu neposkytuje správné výsledky. Pokud by měla být tato metodika uplatněna, bylo by třeba stanovit dalšími výpočty potřebná zpřesnění daného vztahu. Praktické uplatnění v projektování GPK bude dosaženo jen velmi obtížně, neboť by při odpovídající přesnosti byla metodika výpočtu velmi obsáhlá, zdouhavá a složitá. Podrobné výpočty by bylo možné provádět v případě verifikací mezních řešení. Velkou nevýhodou popisované metody je její vazba na konkrétní typ vozidel, což je proti podstatě zavádění interoperability evropského železničního systému. Z výše uvedených důvodů byla na základě rozhodnutí pracovní skupiny CEN/TC256/SC1/WG15 (pracovní skupina odpovědná za tvorbu EN 13803-1) tato metodika posuzování z výsledného návrhu normy odstraněna.

4.2. Vliv jednotlivých odchylek parametrů GPK na bezpečnost provozu

V oblasti hodnocení provozní kvality GPK ve vztahu k bezpečnosti provozu se podařilo potvrdit přiměřenost mezních provozních odchylek jednotlivých parametrů stanovených ČSN 73 6360-2. Dále bylo provedeno hodnocení vlivu jednotlivých odchylek na bezpečnost provozu včetně kombinací odchylek jednotlivých parametrů GPK. Tyto zásady byly aplikovány do předpisů provozovatele dráhy především služební rukověti SŽDC SR 103/8(S) „Komentář ČSN 73 6360 Konstrukční a geometrické uspořádání koleje železničních drah a její prostorová poloha“.

Vlivy odchylek GPK lze rozdělit do dvou skupin, a to vliv na bezpečnost jízdy drážních vozidel a dále pak vliv na chodové vlastnosti vozidla ve smyslu ovlivnění komfortu cestujících a namáhání koleje/vozidel.

4.2.1. Rozchod koleje

V případě odchylek rozchodu koleje lokálního charakteru v běžné koleji je ovlivněna bezpečnost provozu pouze v případě velkého rozšíření, kdy dojde k propadnutí vozidla mezi kolejnicové pásy. K ovlivnění bezpečnosti provozu vlivem záporné hodnoty rozchodu koleje lokálního charakteru až na extrémní případy nedochází. Komfort cestujících zásadním způsobem ovlivňují odchylky v odvozených parametrech – změny rozchodu koleje a střední hodnoty rozchodu koleje, neboť změnou rozchodu koleje se mění parametry kontaktní geometrie dvojkolí. Tento jev je směrodatný v přímé a obloucích velkého poloměru. V obloucích menších poloměrů se klidnost jízdy zpravidla řídí kvalitou směru koleje vozícího kolejnicového pásu. Snížení střední hodnoty rozchodu koleje způsobuje nárůst ekvivalentní konicity, která je přímo spojená se stabilitou jízdy vozidla. Ve vzácných případech dochází z tohoto důvodu k ohrožení bezpečnosti jízdy vozidel, ve většině případů tato snížená stabilita způsobuje omezení komfortu jízdy a vyšší zatížení koleje.

4.2.2. Převýšení koleje

V případě odchylek v převýšení koleje je ovlivněna bezpečnost provozu pouze ve vztahu k změnám převýšení koleje – tedy odvozenému parametru zborcení koleje. Míra ovlivnění bezpečnosti vzhledem k vlivu odchylky převýšení koleje na nedostatek převýšení je v zásadě teoretická, neboť při překročení hodnot nedostatků převýšení udávaných normami dochází ke zvýšení působení příčných a svislých sil na vnější kolejnicový pás, přičemž k nebezpečné ztrátě kolové síly na vnitřním kolejnicovém pásu – riziku převržení – by došlo až při natolik extrémní hodnotě nedostatku převýšení, že tato situace prakticky nenastává. I v případě popisného kritéria ztráty stability kolejového roštu je ve velikosti působení kombinace sil Y a Q ve smyslu PrudHomeova kritéria dostatečná rezerva. Naopak na bezpečnostní poměr Y/Q se zvyšování nedostatku převýšení projevuje spíše pozitivně, především v menších poloměrech, kde je rychlejší nárůst rozdílů kolových sil než příčné síly. Tento jev lze sledovat v poloměrech oblouků pod $R < 600$ m.

S ohledem na výše uvedené skutečnosti byla provedena úprava mezních odchylek převýšení koleje ve vztahu k nedostatku převýšení, které byly v ČSN 736360-2:2009 (tabulka 10.2) nastaveny neodůvodněně přísně s velkým dopadem do systému zajištění provozuschopnosti ŽDC.

4.2.3. Zborcení koleje

Zborcení koleje je klíčovým parametrem ovlivňující riziko vyšplhání okolku na temeno kolejnice a následné vykolejení. Tato problematika byla široce popsána a zkoumána. Základní rozhraní mezi vozidlem a kolejí je dáno křivkami dovoleného zborcení koleje v závislosti na délce jeho základny. V současné době se začínají objevovat názory, že kritéria daná zprávou UIC ORE B55 jsou vzhledem k současným konstrukčním řešením pojezdů vozidel překonaná a příliš konzervativní, nicméně zatím nejsou známy výsledky nových výzkumů.

4.2.4. Směr koleje

Vliv odchylek ve směru koleje se může projevit na bezpečnosti 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 ΣY . 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, protože 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. Jelikož však změny příčných sil jsou v oblouku oproti změnám svislých sil relativně větší, sleduje průběh poměru Y/Q průběh příčných sil.

V závislosti na projektované křivosti osy koleje se mění riziko vykolejení, jelikož s rostoucí křivostí roste obecně i úhel náběhu dvojkolí, a tím vlivem příčení podvozku vzrůstají vodící síly včetně změny třecích poměrů na styku kolo/kolejnice. Problematika hodnocení příčných sil s ohledem na bezpečnost provozu se týká převážně jízdy v oblouku, neboť v přímé koleji oscilují počáteční hodnoty Y kolem nulových hodnot, tedy jejich zvýšení zpravidla nezpůsobí podstatný nárůst Y/Q .

V rámci analýzy vlivu směru koleje na jízdní vlastnosti vozidel byl vyhodnocen i způsob ověřování geometrické kvality vzhledem k mezním provozním odchylkám. Na základě tohoto hodnocení byla upravena metodika a velikosti mezních provozních odchylek pro měření symetrickou tětivou délky 10 m. (viz tabulky 13a a 13b Změny 1 ČSN 73 6360-2:2013).

4.2.5. Podélná výška koleje

Vliv odchylek v podélné výšce na bezpečnost proti vykolejení se může projevit (zejména v oblouku) podle velikosti odchylky jen omezeně z důvodu odlehčení vodícího dvojkolí ve vztahu k odezvě vozidla v poměru příčné a svislé kolové síly Y/Q . Je to způsobeno tím, že výchylky svislých kolových sil nejsou relativně tak velké (úměrně síle samotné), tak jako v případě příčných sil Y . Z tohoto důvodu ovlivňují průběh poměru Y/Q zásadním způsobem výchylky kolové síly Y , které vzhledem ke své velikosti dosahují relativně velkých hodnot. Za určitých podmínek může při opakování této závady v podélné výšce dojít v závislosti na konstrukčních vlastnostech vypružení vozu k rezonančnímu jevu, který může vést k vyšší reakci na amplitudě podélné výšky omezené hodnoty. Zásadnějším problémem je, že kolej s většími provozními odchylkami v podélné výšce způsobuje rychlejší opotřebení částí pojezdu vozidel a zhoršení jejich jízdních vlastností.

Nejnepříznivější situace kombinace závad GPK nastává v případě spolupůsobení ZK a SK, kdy ZK ovlivní snížení kolové síly a SK ovlivní zvýšení příčné síly tak, než jejich vzájemný poměr Y/Q překročí mez pro vyšplhání okolku na temeno kolejnice.

Poměr Y/Q značně osciluje v případě oscilace skutečného nedostatku převýšení, který je ovlivněn skutečnou křivostí (průběh SL , SP), skutečným převýšením (průběh VL , VP , PK).

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 nebo navrhnout jejich opravu. Z výsledků disertační práce vyplynulo, že by mělo být kladen větší důraz na rozdílnost požadavků na délku mezipřímé a požadavků na délku kružnicového oblouku. Důvodem je, že v kružnicových obloucích, na rozdíl od mezipřímých, se vyskytuje výraznější působení kolové síly Q a vodící síly Y , což zároveň klade vyšší požadavky na jejich ustálení do kvazistatického stavu. Dále bylo poukázáno na neodůvodněnost a nekonceptnost stanovených požadavků kladených na vzájemnou polohu výhybek a přilehlých vzestupnic, jelikož jsou obdobné pro obě strany výhybky (výměnový a koncový styk), i když se obě situace svými parametry rozhraní kolo/kolejnice zásadně odlišují. Nad to použití parametru časové změny převýšení dD/dt jako jediného rozhodného parametru rovněž není zvláště v oblasti nízkých rychlostí vhodné.

Konkrétní doporučení pro opravu jednotlivých ustanovení normy ČSN 73 6360-1 jsou uvedena v kapitole 6 – Souhrn výsledků. Výše uvedené ověření bylo provedeno pro vozidla konstruovaná tak, aby vyhověla zásadám stanoveným legislativou a standardy 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.).

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 je rychlejší nárůst svislých sil oproti nárůstu sil příčných v obloucích nižších poloměrů, a tím se výsledně projevuje poklesem 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 spíše než faktor nevyrovnaného příčného zrychlení. Na základě výše uvedeného ověření byla 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 hodnoty poměru vodících a kolových sil vedoucí ke šplhání okolku na temeno kolejnice.

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

V neposlední řadě byla 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).

6. Literatura

6.1. 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

6.2. 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 ganges 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.

6.3. 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 odchýlným řešením od normy ČSN 73 6360-1*. Praha: SŽDC, čj. 45129/2012-OTH ze dne 19.10.2012.
- [40] SŽDC (ČD) S3/2. *Bezстыková kolej*. Praha: SŽDC, čj. 58644/200-O13, 2002.
- [41] – [48] Neobsazeno

6.4. 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/Infrastrukture 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 zpráva *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

6.5. 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 Žilíně*. Bratislava: Nakladateľstvo ALFA, 1971. Fakulta prevádzky a ekonomiky dopravy, Zväzok 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 conference 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 Nedvěď; 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.
- [93] ESVELD, C. *Modern Railway Track*. Netherlands, 2001. ISBN 90-800324-3-3.

7. Značky a zkratky

CEN	Centrum evropské normalizace (European comitte for standardization)
ČNI	Český normalizační institut (do roku 2009)
ČSN	česká technická norma
DB	německé dráhy (Deutsche bahn)
EN	evropská norma
ETCS	evropský zabezpečovací systém (European train control system)
HDV	hnací drážní vozidlo
GPK	geometrické parametry koleje
GUK	geometrické uspořádání koleje
KUK	konstrukční uspořádání koleje
KŽV	Komerční železniční výzkum
MU	mimořádná událost
PD	přípravná dokumnetace
PHS	pohyblivý hrot srdcovky
PJD	pevná jízdní dráha
OBB	Österreichische Bundesbahnen (Rakouské spolkové dráhy)
SDO	směrodatné odchytky
SŽDC	Správa železniční dopravní cesty
TK	temeno kolejnice
TSI	technické specifikace interoperability
TTP	Tabulky traťových poměrů
TUDC	Technická ústředna pro dopravní cestu
UNMZ	Ústav pro technickou normalizace, metrologii a státní zkušebnictví
VUKV a.s.	Výzkumný ústav kolejových vozidel
VUZ a.s.	Výzkumný ústav železniční
ŽDC	železniční dopravní cesta

8. Seznam symbolů

A	parametr klotoidy	(-)
AL	mez sledování	(-)
a_q	nevyrovnané příčné zrychlení působící na vozidla v úrovni ložiskových skříní dvojkolí(m/s ²)	
a_v	vertikální kvazistatické zrychlení	(m/s ²)
b	délka symetrické tětiny	(m)
B_{qst}	veličina kombinace mezních svislých a příčných sil	(kN)
c	délka koleje	(m)
e	vzdálenost styčných kružnic dvojkolí	(mm)
dD/dt	časová změna převýšení	(mm/s)
dI/dt	časová změna nedostatku převýšení	(mm/s)
D	převýšení koleje	(mm)
D_{eq}	teoretické převýšení	(mm)
$D_{N(1,2,3)}$	doporučené převýšení	(mm)
$D_{1,2}$	převýšení v přilehlých částech složeného oblouku	(mm)
$D1$	rozsah; pásmo vlnových délek $3\text{ m} < \lambda \leq 25\text{ m}$	(m)
$D2$	rozsah; pásmo vlnových délek $25\text{ m} < \lambda \leq 70\text{ m}$	(m)
E	přebytek převýšení	(mm)
f	vzepětí	(mm)
g	tíhové zrychlení: $9,80665\text{ m/s}^2$	(m/s ²)
H_{lim}	mezní hodnota (projektování viz ČSN 736360-1)	(-)
$H_{max/min}$	maximální/minimální hodnota (projektování viz ČSN 736360-1)	(-)
H_n	standardní hodnota (projektování viz ČSN 736360-1)	(-)
H_M	skutečná výška libovolného bodu nivelety TK	(m)
GPK	geometrické parametry koleje	(-)
I	nedostatek převýšení	(mm)
IAL	mez bezodkladného zásahu	(-)
IL	mez zásahu (opravy)	(-)
I_k	nedostatek převýšení pro jednotky s naklápěcími skříněmi	(mm)
k_i	y-ová souřadnice koncového bodu přechodnice tvaru kubické paraboly	(m)
k_x	rozdíl y-ových souřadnic koncových bodů mezilehlé přechodnice tvaru kubické paraboly	(m)

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

KO	konec oblouku	(-)
KP	konec přechodnice	(-)
KPm	konec přechodnice mezilehlé	(-)
KZO	koncový bod zaoblení lomu sklonu	(-)
ℓ	vzdálenost libovolného bodu přechodnice tvaru klotoidy a tvaru podle Blosse od jejího začátku měřená v její ose	(m)
L_b	délka virtuální přechodnice	(m)
L_d	délka krajní vzestupnice měřená v ose koleje	(m)
$L_{d,bo}$	celková délka vzestupnice přilehlé k bodu obratu (inflexní motiv) měřená v ose koleje	(m)
$L_{d,m}$	délka mezilehlé vzestupnice měřená v ose koleje	(m)
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)
$L_{k,m}$	délka mezilehlé přechodnice tvaru klotoidy měřená v ose koleje	(m)
L_n	délka svislého průmětu vloženého přímkového sklonu do vodorovné	(m)
l_p	délka přechodnice tvaru kubické paraboly měřená v tečně procházející počátkem přechodnice	(m)
L_r	délka výběhové rampy	(m)
L_u	délka výběhu rozšíření rozchodu koleje	(m)
l_{vz}	délka průmětu vzestupnice do tečny	(m)
L_z	délka průmětu zakružovacího oblouku	(m)
l_0	délka přechodnice tvaru kubické paraboly měřená v ose koleje	(m)
LN	lom sklonu koleje	(-)
m	odsazení kružnicového oblouku od tečny přechodnice v jejím počátku	(m)
m	hmotnost	(kg)
m_m	vzájemné odsazení kružnicových oblouků o poloměrech R_1 a R_2 u mezilehlé přechodnice	(m)
n	součinitel sklonu vzestupnice	(-)
n_l	součinitel změny nedostatku převýšení	(-)
n_k	součinitel sklonu vzestupnice pro jednotky s naklápěcími skříněmi	(-)
n_v	součinitel poměru odbočení výhybky	(-)
σ_R	měrný odpor ze zakřivení koleje	(‰)
σ_s	měrný odpor ze stoupání	(‰)
σ_t	měrný odpor z jízdy tunelem	(‰)
PK	převýšení koleje	(mm)

PKD	převýšení koleje dynamické	(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	(-)
R_v	poloměr zaoblení lomu sklonu	(m)
R_x	náhradní poloměr	(m)
s	podélný sklon koleje	(‰)
SK	směr koleje v geometrické ose koleje	(mm)
SKa	absolutní příčná odchylna od projektovaných souřadnic osy koleje	(mm)
SL, SP	směr levého, pravého kolejnicového pásu	(mm)
t_z	délka tečny zaoblení lomu sklonu	(m)
TK	temeno (nepřevýšeného) kolejnicového pásu	(-)
u	rozchod koleje	(mm)
v	rychlost	(m/s)
V	rychlost	(km/h)
V_k	rychlost pro jednotky s naklápěcími skříněmi	(km/h)
VK	podélná výška koleje v ose	(mm)
VKa	absolutní výšková odchylna nepřevýšeného kolejnicového pásu od projektované výšky koleje	(mm)
VL, VP	podélná výška temene levého, pravého kolejnicového pásu	(mm)
VZO	střed zaoblení lomu sklonu	(-)
X_k	x-ová souřadnice koncového bodu přechodnice tvaru klotoidy a tvaru podle Blossé	(m)
X_s	vzdálenost středu odsazeného kružnicového oblouku od normály k ose koleje v počátku přechodnice	(m)
x_0	délka části přechodnice měřená v ose koleje u přechodnice tvaru kubické paraboly	(m)
y_c	y-ová souřadnice kružnicového oblouku s větším poloměrem navazujícího na mezilehlou přechodnici tvaru kubické paraboly	(m)
Y_k	y-ová souřadnice koncového bodu přechodnice tvaru klotoidy a tvaru podle Blossé	(m)
y_v	y-ová souřadnice vrcholu zaoblení lomu sklonu	(m)
Y	příčná síla	(kN)
\ddot{y}	svislé zrychlení	(m/s)
ZK	zborcení koleje	(mm/m)
ZO	začátek oblouku	(-)

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

ZP	začátek přechodnice	(-)
ZPm	začátek přechodnice mezilehlé	(-)
ZR	změna rozchodu koleje na stanovené délce (1 m, případně 2 m délky koleje)(mm/m, mm/2m)	
ZZO	počáteční bod zaoblení lomu sklonu	(-)
Δu_i	rozšíření rozchodu koleje	(mm)
Δf	odchylka vzepětí	(mm)
λ	úhel tečny v koncovém bodě přechodnice tvaru kubické paraboly	(grad, rad)
β	úhel tečny v libovolném bodě přechodnice tvaru kubické paraboly	(grad, rad)
τ	úhel tečny v libovolném bodě přechodnice tvaru klotoidy a tvaru podle Blossse(grad, rad)	
τ_k	úhel tečny v koncovém bodě přechodnice tvaru klotoidy a tvaru podle Blossse(grad, rad)	
γ	opravný součinitel pro výpočet přechodnice tvaru kubické paraboly	(-)
ψ	úhel mezi výslednicemi sil působící na těžiště vozidla v oblouku	(grad, rad)
μ	součinitel tření	(-)
$2a$	interval platnosti měřické základny pro vyhodnocení zborcení koleje	(m)

9. Seznam obrázků

Obrázek 1 Působení sil ve vztahu k bočnímu zrychlení kompenzovaném převýšením (podle Modern Railway Track viz [100])	Chyba! Záložka není definována.
Obrázek 2 Nomogram součinitelů převýšení	22
Obrázek 3 Stavění podvozku v oblouku v závislosti na rychlosti - poloměr 650 m pro jednotku APT-E.....	25
Obrázek 4 Detail uložení betonového přejezdového dílce zajišťující nižší ovlivnění tuhosti jízdní dráhy (zdroj ŽPSV a.s.).....	29
Obrázek 5 Zvýšená hodnota nedostatku převýšení v případě větší délky vzestupnice než přechodnice	32
Obrázek 6 Jedna z variant návrhu obloukového zhlaví žst. Čerčany	34
Obrázek 7 Vybrané situace změny křivosti osy koleje se znázorněnou změnou nedostatku převýšení (zdroj ČSN EN 13803-2:2006).....	35
Obrázek 8 Situace změny nedostatku převýšení do přebytku převýšení	37
Obrázek 9a Provozní hodnoty zborcení koleje ve smyslu ČSN 73 6360-2	40
Obrázek 10 Detail směrového uspořádání v žst. Kroměříž	46
Obrázek 11 Ilustrace problémů zvyšování požadavků na délku kružnicové části oblouku při zvýšení rychlosti	49
Obrázek 12 Ilustrace problémů zvyšování požadavků na délku mezipřímé při zvýšení rychlosti	49
Obrázek 13 Výsledné relativní působení silových veličin v případě různých délek kružnicového oblouku	50
Obrázek 14 Příčné zrychlení a rychlost úhlového natáčení v případě různých délek kružnicového oblouku	51
Obrázek 15 Boční riv v případě různých délek kružnicového oblouku	51
Obrázek 16 Schéma působení vektorů dI/dt a dD/dt ve vzestupnici.....	52
Obrázek 17 Protisměrné oblouky	54
Obrázek 18 Vzdálenost posuzovaných míst náhlé změny nedostatku převýšení.....	55
Obrázek 19 Strmost vzestupnice v závislosti na rychlosti pro $dD/dt = 8V$	57
Obrázek 20 Matečná kolej odstavného nádraží A v obvodu žst. Brno hl.n. - odbočení na kolej č. 667.....	60
Obrázek 21 Vozidlo Dm 12	63
Obrázek 22 Funkce tlumení kmitání příčného náklonu vozové skříně.	65
Obrázek 23 Měřicí vůz VUKV a.s.	66
Obrázek 24 Zobrazení principu virtuální přechodnice.....	73
Obrázek 25 Porovnání výsledků vyhodnocení bočního rivu pomocí principu virtuální přechodnice a simulačních výpočtů	76
Obrázek 26a Silové poměry ve styku kolo - kolejnice.....	78
Obrázek 27b Vliv rozchodu koleje na ekvivalentní konicitu.....	84
Obrázek 28 Graf závislosti úhlu náběhu vodícího dvojkolí a poměru svislých a příčných sil...86	
Obrázek 29 Příčné síly na jednotlivých kolech podvozku vozidla.....	87
Obrázek 30 Přenosová funkce symetrické tětiny délky 10 m.....	89
Obrázek 31 Síly na styku kola a kolejnice	90
Obrázek 32 Graf závislosti hodnoty poměru Y/Q na velikosti úhlu doteku	91
Obrázek 33 Síly na vnitřním kole nabíhající nápravy při vzpříčené poloze podvozku při průjezdu obloukem	92

Obrázek 34 Lokomotiva 109E	99
Obrázek 35 Lokomotiva 109E (řada ČD 380 006-7) na malém zkušebním okruhu VUZ v Cerhenicích	99
Obrázek 36 Typový výkres vozu Talns	100
Obrázek 37 Směrové poměry - mezipřímá délky 33 m (0,4.V) mezi oblouky opačných směrů s přechodnicemi, km 107,3	103
Obrázek 38 Průběh kolových sil vozidla Talns, km 106,9 - km 107,9	105
Obrázek 41 Průběh kolových sil vozidla Talns, km 102,9 - km 103,4	105
Obrázek 42 Průběh kolových sil vozidla 109E, km 102,9 - km 103,4	106
Obrázek 44 Průběh kolových sil vozidla Talns, km 91,8 – km 92,2	108
Obrázek 47 Průběh kolových sil vozidla Talns, km 92,9 – km 93,5	109
Obrázek 48 Průběh vodících sil vozidla 109E, km 92,9 - km 93,5	109
Obrázek 49 Sled stejnosměrných oblouků s vloženou vzestupnicí	110
Obrázek 50 Průběh kolových sil vozidla Talns, km 94,0 - km 94,5	110
Obrázek 51 Průběh vodících sil vozidla 109E, km 94,0 - km 94,5	110
Obrázek 52 Sled stejnosměrných oblouků s vloženou vzestupnicí $R = 995$ m, $D = 0$ mm; $R = 297$ m, $D = 125$ mm; km 95,5 – km 96,0	111
Obrázek 53 Průběh kolových sil vozidla Talns, km 95,0 - km 96,3	111
Obrázek 54 Průběh vodících sil vozidla 109E, km 95,0 - km 96,3	112
Obrázek 55 Sled oblouků stejných směrů s mezipřímou délky 46 m	112
Obrázek 56 Průběh kolových sil vozidla Talns, km 97,3 – km 98,2	113
Obrázek 57 Průběh vodících sil vozidla 109E, km 97,0 - km 98,5	113
Obrázek 58 Složený oblouk v km 98,1 - 98,7	114
Obrázek 59 Průběh kolových sil vozidla Talns, km 98,1 - 98,7	115
Obrázek 60 Průběh vodících sil vozidla 109E, km 97,7 - km 99,0	115
Obrázek 61 Směrový oblouk bez přechodnic $R = 3250$, $d_o = 96$ m žst. Jablonné nad Orlicí km 99,1	116
Obrázek 62 Průběh kolových sil vozidla Talns, km 99,1 - 99,8	116
Obrázek 63 Průběh vodících sil vozidla 109E, km 98,7 - km 99,3	117
Obrázek 64 Situace protisměrných oblouků km 99,8 - 100,1	117
Obrázek 65 Průběh kolových sil vozidla Talns, km 99,8 - 100,1	118
Obrázek 66 Složený oblouk km 100,1 - 100,6	119
Obrázek 67 Průběh kolových sil vozidla Talns, km 100,1 - 100,6	120
Obrázek 68 Průběh vodících sil vozidla 109E, km 100,1 - km 100,6	120
Obrázek 69 Situace z km 101,6 – 101,9 mezipřímá délky 46 m	121
Obrázek 70 Průběh kolových sil vozidla Talns, km 101,1 - 102,3	121
Obrázek 71 Průběh vodících sil vozidla 109E, km 100,9 - km 101,9	122
Obrázek 72 Situace oblouků bez mezipřímých km 102,5 - km 103,5	123
Obrázek 73 Průběh kolových sil vozidla Talns, km 102,8 - 103,6	124
Obrázek 74 Průběh vodících sil vozidla 109E, km 102,5 - km 103,4	124
Obrázek 75 Situace v km 105 mezipřímá mezi přechodnicemi je délky 21,59 m	125
Obrázek 76 Průběh kolových sil vozidla Talns, km 104,4 – 105,3	126
Obrázek 77 Průběh vodících sil vozidla 109E, km 104,6 - km 105,2	126
Obrázek 78 Průběh poměru vodících a kolových sil vozidla Talns, km 94,8 - km 96,1	127
Obrázek 80 Kvalita GPK v km 95,3 – SK a VL, VP (měření 2009)	128
Obrázek 81 Kvalita GPK v km 95,3 – SK a VL, VP (měření 2010)	128
Obrázek 82 Situace v km 95,3 most s prvkovou mostovkou	129

Obrázek 83	Průběh poměru vodících a kolových sil vozidla Talns, km 97,4 - km 98,1.....	130
Obrázek 85	Situace v km 97,7.....	130
Obrázek 86	Kvalita GPK v km 97,6 – 97,8.....	131
Obrázek 87	Průběh poměru vodících a kolových sil vozidla Talns, km 103,5 – km 104,4	132
Obrázek 88	Průběh poměru vodících a kolových sil vozidla 109E, km 103,5 – 104,4	133
Obrázek 89	Průběh poměru vodících a kolových sil vozidla Talns, km 108,2 – km 109,0	135
Obrázek 90	Průběh poměru vodících a kolových sil vozidla 109E, km 108,2 – km 109,0	135
Obrázek 91	Průběh poměru vodících a kolových sil vozidla Talns, km 101,1 – km 101,4	136
Obrázek 92	Průběh poměru vodících a kolových sil vozidla Talns, km 103,6 – km 104,5	136
Obrázek 93	Průběh poměru vodících a kolových sil vozidla 109E, km 99,5 – km 100,7	137
Obrázek 94	Průběh poměru vodících a kolových sil vozidla Talns, km 98,1 – km 99,0.....	137
Obrázek 95	Směrové poměry km 254 - 256	139
Obrázek 96	Průběh vodících a kolových sil vozidla Talns, km 254,4 – km 256,0	139
Obrázek 97	Detail situace v km 254,7	140
Obrázek 98	Hodnocení kvality GPK úseku km 254,0 – 256,0 část a (ZK a VL, VP).....	140
Obrázek 99	Hodnocení kvality GPK úseku km 254,0 – 256,0 část b (RK, SK, PK)	141
Obrázek 100	Detail průběhu kombinace sil Talns km 254,7	141
Obrázek 101	Detail závady ve VL, VP z km 255,081	142
Obrázek 102	Průběh kolových sil vozidla Talns, km 257,2 – km 257,6.....	143
Obrázek 104	Průběh kolových sil vozidla Talns, km 258,34 – km 259,53.....	144
Obrázek 105	Závady GPK odpovídající výše uvedenému obrázku km 259,29	144
Obrázek 106	Průběh kolových sil vozidla Talns, km 267,4 – km 268,0.....	145
Obrázek 107	Závady GPK odpovídající výše uvedenému obrázku km 267,73	146
Obrázek 108	Průběh kolových sil vozidla 109E, km 268,1 – km 269,0	147
Obrázek 109	Závady GPK odpovídající výše uvedenému obrázku km 268,3	147
Obrázek 110	Průběh kolových sil vozidla Talns, km 276,5 – km 278,1.....	148
Obrázek 111	Závady GPK odpovídající výše uvedenému obrázku km 277,3	148
Obrázek 112	Průběh kolových sil vozidla Talns, km 281,5 – km 282,3.....	149
Obrázek 113	Závady GPK odpovídající výše uvedenému obrázku km 281,650	149
Obrázek 114	Průběh kolových sil vozidla Talns, km 283,1 – km 284,4.....	150
Obrázek 115	Závady VL, VP odpovídající výše uvedenému obrázku km 283,3 a km 283,8 ...	150
Obrázek 116	Průběh kolových sil vozidla Talns, km 264,6 – km 266,9.....	151
Obrázek 117	Průběh kolových sil vozidla Talns, km 261,66 – km 262,68.....	151
Obrázek 118	Hodnocení kvality GPK úseku km 261,7 - km 262,7	152
Obrázek 119	Průběh kolových sil vozidla Talns, km 275,4 – km 277,4.....	152
Obrázek 120	Průběh kolových sil vozidla Talns, km 276,5 – km 277,4.....	153
Obrázek 121	Výhybkové oblouky z km 296,9 - km 297	154
Obrázek 122	Výhybkové oblouky z km 296,9 - km 297	154
Obrázek 123	Výhybkové oblouky z km 296,9 - km 297	154
Obrázek 124	Schéma kolejového rozvětvení žst. Kolín km 297	155
Obrázek 125	Výhybkové oblouky z km 252.....	155
Obrázek 126	Výhybkové oblouky z km 252.....	156
Obrázek 127	Schéma kolejového rozvětvení žst. Leština u Světlé km 252.....	156
Obrázek 128	Průběh kolových sil vozidla Talns, km 270,0 – km 271,3.....	157
Obrázek 129	Průběh kolových sil vozidla 109E, km 270,0 – km 271,3	157
Obrázek 130	Parametry GPK a konstrukce žel. svršku v km 270,0 - km 271,3	158
Obrázek 131	Záznam MV - stav GPK km 270,0-271,2.....	159

Obrázek 132	Průběh kolových sil vozidla Talns, km 494,3 – km 494,4.....	161
Obrázek 133	Schéma kolejového rozvětvení žst. Lovosice km 494,5.....	161
Obrázek 134	Průběh kolových sil vozidla Talns, km 475,31 – km 479,22.....	162
Obrázek 135	Průběh kolových sil vozidla 109E, km 513,10 – km 513,82.....	163
Obrázek 136	Průběh kolových sil vozidla 109E, km 511,41 – km 512,18.....	164
Obrázek 137	Směrové poměry km 509 - 510.....	164
Obrázek 138	Průběh kolových sil vozidla Talns, km 509,35 – km 510,05.....	165
Obrázek 139	Průběh kolových sil vozidla 109E, km 509,35 – km 510,05.....	165
Obrázek 140	Průběh kolových sil vozidla Talns, km 475,79 - km 476,69.....	166
Obrázek 141	Celková situace oblouků v km 467 - 470 žst Hněvice.....	167
Obrázek 142	Schéma kolejového rozvětvení žst. Hněvice km 467.....	168
Obrázek 143	Průběh kolových sil vozidla Talns, km 467,01 - km 470,10.....	168
Obrázek 144	Celková situace průjezd uzlu Ústí nad Labem - část děčínského zhlaví hlavního nádraží - Průběh kolových sil vozidla Talns, km 515,9 - km 517,3.....	169
Obrázek 145	Detail průběhu kolových a příčných sil – jejich dynamických složek vozidla Talns, km 516,8 - km 517,28.....	170
Obrázek 146	Průběh kolových sil vozidla 109E, km 516,00 – km 516,7.....	171
Obrázek 147	Situace v km 516,000 výhybna Ústí nad Labem jih.....	171
Obrázek 148	Graf záznamu MV km 515,9 – km 516,1.....	172
Obrázek 149	Průběh kolových sil vozidla 109E, km 512,51 – km 514,00.....	172
Obrázek 150	Schéma GPK km 512,5 – 514.....	173
Obrázek 151	Průběh kolových sil vozidla 109E, km 512,51 – km 514,00.....	175
Obrázek 152	Graf záznamu MV.....	175
Obrázek 153	Průběh kolových sil vozidla 109E, km 502,90 – km 503,88.....	175
Obrázek 154	Průběh kolových sil vozidla 109E, km 507,69 – km 508,06.....	176
Obrázek 155	Průběh kolových sil vozidla Talns, km 229,28 – km 229,50.....	178
Obrázek 156	Schéma kolejového rozvětvení žst. Svitavy km 229.....	178
Obrázek 157	Průběh kolových sil vozidla Talns, km 204,85 – km 207,20.....	179
Obrázek 158	Průběh kolových sil vozidla 109E, km 204,85 – km 207,20.....	179
Obrázek 159	Záznam MV - první oblouk km 205,1 - 205,4.....	180
Obrázek 160	Průběh kolových sil vozidla Talns, km 191,66 – km 193,62.....	181
Obrázek 161	Hodnocení kvality GPK km 192,4 - km 193,0.....	181
Obrázek 162	Průběh kolových sil vozidla Talns, km 177,30 – km 178,08.....	182
Obrázek 163	Průběh kolových sil vozidla 109E, km 177,30 – km 178,08.....	182
Obrázek 164	Průběh kolových sil vozidla Talns, km 174,50 – km 174,89.....	183
Obrázek 165	Průběh kolových sil vozidla 109E, km 174,50 – km 174,89.....	183
Obrázek 166	Průběh kolových sil vozidla Talns, km 174,050 – km 174,89.....	184
Obrázek 167	Průběh kolových sil vozidla Talns, km 163,13 – km 163,66.....	184
Obrázek 168	Průběh kolových sil vozidla 109E, km 163,00 – km 163,50.....	185
Obrázek 169	Průběh kombinace sil, km 164,17.....	186
Obrázek 170	Graf MV pro km 164,17.....	186
Obrázek 171	Průběh kombinace sil (Talns) km 220,3 - km 220,7.....	187
Obrázek 172	Graf MV pro km 220,6.....	187
Obrázek 173	Průběh kolových sil vozidla Talns, km 205,00 – km 205,41.....	188
Obrázek 174	Průběh silového působení (109E).....	188
Obrázek 175	Směrové poměry kolej č.2 Letovice - Svitavy km 205.....	189
Obrázek 176	Záznam MV km 205,0 - 205,4.....	190

Obrázek 177	Průběh kolových sil vozidla 109E, km 205,83 – km 206,85	191
Obrázek 178	Průběh kolových sil vozidla 109E, km 211,69 – km 212,78	192
Obrázek 179	Průběh kolových sil vozidla Talns, km 211,69 – km 212,78	193
Obrázek 180	Průběh kolových sil vozidla 109E, km 221,28 – km 222,45	193
Obrázek 181	Směrové poměry ve zkušebním úseku	194
Obrázek 182	Záznam hodnocení GPK z MV	195
Obrázek 183	Průběh kolových a příčných sil vozidla 109E, km 184,95 – km 187,88	195
Obrázek 184	Průběh kolových a příčných sil vozidla a jejich kombinace 109E, km 184,95 – km 187,88	196
Obrázek 185	Průběh kolových a příčných sil vozidla a jejich kombinace 109E, km 184,95 – km 187,88	196
Obrázek 186	Graf MV km 184,6 - km 185,200	197
Obrázek 187	Příklad hodnocení silových účinků vozidla dle metodiky ČSN EN 14363 pro oblast oblouků středních poloměrů lokomotiva řady 380 ČD.....	201
Obrázek 188	Příklad hodnocení silových účinků vozidla dle metodiky ČSN EN 14363 pro oblast oblouků velmi malých poloměrů lokomotiva řady 1216 OBB.....	202
Obrázek 189	Závislost velikosti příčných sil na poloměru oblouku a nedostatku převýšení (zdroj UIC ORE B55), typ 661 DB	203
Obrázek 190	Závislost velikosti příčných sil na poloměru oblouku a nedostatku převýšení (zdroj UIC ORE B55), typ Y25 SNCF.....	204
Obrázek 191	Měřicí vůz TUDC (foto SŽDC TÚDC)	205
Obrázek 192	Průběh kmitání vozové skříně v úseku trati km 3,0 - km 4,5	206
Obrázek 193	Průběh kmitání vozové skříně v úseku trati km 8,0 - km 10,0	207
Obrázek 194	Detail grafu km 11,6 – 12,6	207
Obrázek 195	Průběh kmitání vozové skříně v úseku trati km 2,3 - km 2,5	208
Obrázek 196	Graf hodnocení odchylek GPK.....	209

10. Seznam grafů

Graf č. 1 Rozdělení četnosti výskytu odchylek rozchodu koleje – parametr RK100.....	12
Graf č. 2 Závislost převýšení koleje na její křivosti.....	17
Graf č.3 Mezní hodnoty kvazistatické příčné síly (osa y v kN) podle metodiky UIC 518:2009.....	78

11. Seznam tabulek

Tabulka 1 Koeficienty pro návrh převýšení koleje	20
Tabulka 2 Koeficienty pro návrh převýšení koleje	22
Tabulka 3 Hodnoty standardního, mezního a maximálního nedostatku převýšení I_n , I_{lim} , I_{max}	28
Tabulka 4 Hodnoty nedostatků převýšení pro vozidla s naklápěcími skříněmi	30
Tabulka 5 Omezení traťové rychlosti (v kolejích traťových a hlavních staničních) pro hnací vozidla zařazené z hlediska příčných účinků do kategorie „3“	31
Tabulka 6 Mezní I_{lim} a maximální I_{max} hodnoty pro nedostatek převýšení v kolejích hlavních staničních a průběžných traťových s výhybkami a výhybkovými konstrukcemi	33
Tabulka 7 Hodnoty náhlé změny nedostatku převýšení	36
Tabulka 8 Hodnoty součinitele „ n “ určujícího sklon lineární vzestupnice a časové změny převýšení dD/dt	39
Tabulka 9 Hodnoty součinitele „ n “ určujícího sklon nelineární vzestupnice a časové změny převýšení dD/dt ve středu její délky	44
Tabulka 10 Minimální délka mezipřímé nebo kružnicové části oblouku pro koleje průběžné traťové a hlavní staniční	52
Tabulka 11 Minimální délka mezipřímé nebo kružnicové části oblouku pro ostatní dopravní koleje	53
Tabulka 12 Relativní útlum kmitání příčného naklání	65
Tabulka 13 Relativní útlum kmitání příčného naklání	68
Tabulka 14 Porovnání průběhu tlumení kmitání příčného naklání zkoumaných vozidel	69
Tabulka 15 Hodnoty součinitele změny nedostatku převýšení n_1 a časové změny nedostatku převýšení dI/dt pro lineární přechodnice	72
Tabulka 16 Hodnoty součinitele změny nedostatku převýšení n_1 a časové změny nedostatku převýšení dI/dt pro nelineární přechodnice ve středu její délky	72
Tabulka 17 Mezní hodnoty změny nedostatku převýšení principu virtuální přechodnice	77
Tabulka 18 Veličiny silového působení vozidla na kolej	94
Tabulka 19 Koeficienty použité při vyhodnocení silového působení vozidla na kolej při verifikacích tratí	94
Tabulka 20 Hodnocené veličiny silového působení vozidla	101
Tabulka 21 Výčet směrových prvků konstantní křivosti v traťovém úseku Letohrad - Lichkov	102
Tabulka 22 Výčet směrových prvků konstantní křivosti v traťovém úseku Leština u Světlé - Kolín	138
Tabulka 23 Výčet směrových prvků konstantní křivosti v traťovém úseku Vraňany – Děčín	160
Tabulka 24 Výčet směrových prvků konstantní křivosti v traťovém úseku Brno – Česká Třebová	177
Tabulka 25 Souhrnná tabulka relativních hodnot nárůstů směrodatných veličin jízdní dynamiky	200
Tabulka 26 Směrové poměry zkušebního úseku trati Jaroměř - Česká Skalice	206