

UNIVERZITA PARDUBICE
DOPRAVNÍ FAKULTA JANA PERNERA

Interakce vozidla a koleje
v podmínkách zvýšených rychlostí

Ing. Aleš Hába

Disertační práce

2009

Prohlašuji:

Tuto práci jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Nesouhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně.

V České Třebové dne 09. 09. 2009

Aleš Hába

Poděkování

Úvodem děkuji svému školiteli doc. Ing. Jaromíru Zelenkovi, CSc. odborné vedení po dobu mého doktorského studia a při zpracovávání této disertační práce. Rovněž děkuji prof. Ing. Bohumilu Culkovi, CSc. a doc. Ing. Janu Koutovi, CSc. za cenné rady a věcné připomínky, které mi rovněž pomohly při zpracovávání práce. V neposlední řadě děkuji všem, kteří mi vytvořili vhodné pracovní podmínky pro sepsání disertační práce.

V České Třebové dne 09. 09. 2009

Aleš Hába

ANOTACE

Disertační práce se v první části zabývá rozborem přesnosti výpočtu charakteristik kontaktní geometrie dvojkolí-kolej. Zaměřuje se na vliv rotace dvojkolí okolo podélné osy koleje na výpočet ekvivalentní konicity. Druhá část disertační práce se zabývá vzájemným vztahem vozidla a koleje při průjezdu výhybkou. Je proveden teoretický rozbor průjezdu vozidla srdcovkou a analýza experimentálně zjištěných výsledků.

Klíčová slova: ekvivalentní konicita, výhybka, srdcovka, měření zrychlení,

SUMMARY

This doctoral thesis deals with an analysis of the calculation precision of the characteristics of the wheelset-track contact geometry in the first part. It concerns to influence of the wheelset rotation around the longitudinal track axis on the calculation of the equivalent conicity. The second part of this doctoral thesis deals with the interaction between the vehicle and the track in the course of passing over the turnout. There is carried out the analysis of passing of the vehicle over the turnout frog and the experimental analysis of the measured results.

Keywords: equivalent conicity, turnout, frog, acceleration measurement

O B S A H

1. ÚVOD	7
1.1. Technické požadavky na tratě provozované vyššími rychlostmi	7
1.2. Technické požadavky na vozidla pro vyšší rychlostí	7
1.3. Cíle disertační práce	8
2. SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY.....	9
2.1. Vzájemný vztah vozidla a koleje v přímé.....	9
2.1.1. <i>Poloha dotykových bodů</i>	9
2.1.2. <i>Delta-r funkce (Δr)</i>	9
2.1.3. <i>Tangens gama – funkce</i>	9
2.1.4. <i>Ekvivalentní konicita</i>	10
2.2. Vzájemný vozidla a koleje při průjezdu výhybkou	12
2.2.1. <i>Průjezd dvojkolí jednoduchou výhybkou</i>	12
2.3. Vzájemný kinematický vztah kola a kolejnice při průjezdu srdcovkou	13
3. PŘESNOST VÝPOČTU CHARAKTERISTIK KONTAKTNÍ GEOMETRIE DVOJKOLÍ-KOLEJ	15
3.1. Výsledky srovnávacích výpočtů charakteristik kontaktní geometrie dvojkolí- kolej podle ČSN EN 15302	15
3.2. Výsledky výpočtů charakteristik kontaktní geometrie dvojkolí-kolej pro různé kombinace v provozu se vyskytujících jízdních obrysů kol a příčných profilů hlav kolejnic.....	17
3.3. Důsledky vyplývající z provedeného rozboru	22
3.3.1. <i>Zjištění ekvivalentní konicity jako nezbytné doplňující informace při hodnocení jízdních a vodicích vlastností vozidla dle normy ČSN EN 14363</i>	22
3.3.2. <i>Zjištění vzájemného kinematického vztahu dvojkolí a koleje za účelem dalšího rozboru</i>	25
3.3.3. <i>Získání jedné z mnoha vstupních informací pro počítačové modelování jízdy vozidla po reálné koleji</i>	25
4. HODNOCENÍ KVALITY VÝHYBEK Z HLEDISKA DYNAMICKÉ ODEZVY PROJÍZDĚJÍCÍHO VOZIDLA	26
4.1. Metodika zjišťování dynamické odezvy vozidla při průjezdu výhybkou	26
4.1.1. <i>Princip měření</i>	26
4.1.2. <i>Zpracování naměřených dat</i>	29
5. ANALÝZA VZÁJEMNÉHO VZTAHU VOZIDLA A KOLEJE PŘI PRŮJEZDU SRDCOVKOU.....	36
5.1. Možnosti identifikace srdcovek.....	36
5.1.1. <i>Měření příčných profilů srdcovky</i>	37

5.1.2.	<i>Vzájemný vztah příčných profilů srdcovky a jízdního obrysu kola</i>	38
5.1.3.	<i>Tvar průběhu svislého zrychlení měřeného na ložiskové skříni dvojkolí při průjezdu srdcovkou.....</i>	40
5.2.	Základní vlastnosti srdcovek dvou porovnávaných výhybek z hlediska dynamické odezvy vozidla při jejich průjezdu.....	41
5.2.1.	<i>Výhybka č. 2 ve stanici Zaječí</i>	41
5.2.2.	<i>Výhybka č. 3 ve stanici Šakvice</i>	43
5.3.	Základní popis parametrů experimentálních vozidel projíždějících výhybkami při měření zrychlení na ložiskových skříních dvojkolí	45
5.3.1.	<i>Elektrická lokomotiva řady 263.....</i>	45
5.3.2.	<i>Hlavový vůz řady 681 elektrické jednotky řady 680 „Pendolino“</i>	46
5.3.3.	<i>Měřicí vůz pevných trakčních zařízení</i>	46
5.3.4.	<i>Odlišné principy snímání zrychlení na ložiskové skříni vozidla.....</i>	47
5.3.5.	<i>Odlišnost průběhů zrychlení na ložiskové skříni vozidla měřených za stejných podmínek.....</i>	49
5.3.6.	<i>Filtrace průběhů zrychlení na ložiskové skříni dvojkolí</i>	51
5.3.7.	<i>Analýza jednotlivých podmínek průjezdu vozidla srdcovkou.....</i>	57
6.	ČASOVÁ PROMĚNLIVOST GEOMETRICKÝCH PARAMETRŮ DVOJICE DVOJKOLÍ-KOLEJ	64
7.	PROMĚNLIVOSTI TVARU JÍZDNÍHO OBRYSU	67
8.	KONTAKTNÍ NAMÁHÁNÍ VE STYKU KOLO-KOLEJNICE	68
8.1.	Rozbor průběhu zrychlení měřeného ve svislém směru na ložiskové skříni vozidla při průjezdu srdcovkou	68
8.2.	Modelování dynamických dějů při průjezdu vozidla srdcovkou	70
8.2.1.	<i>Vstupní data podélné trajektorie pohybu kola stanovená na základě měření příčných profilů srdcovky.....</i>	71
8.2.2.	<i>Vstupní data podélné trajektorie pohybu kola stanovená na základě měření zrychlení n ložiskových skříních dvojkolí</i>	74
8.3.	Vyhodnocení teoretického modelování průjezdu vozidla srdcovkou	75
9.	SHRNUTÍ VÝSLEDKŮ – PŘÍNOSY PRO VĚDU A PRAXI	77
10.	LITERATURA.....	79

1. ÚVOD

Od roku 2001 se na Českých drahách začalo v některých modernizovaných úsecích I. koridoru pravidelně jezdit rychlostí 160 km/h. S výstavbou dalších částí nejen I. ale i II. koridoru se počet úseků, kde se dnes běžně jezdí 160 km/h, podstatně zvýšil a do budoucna se počítá v některých úsecích i s rychlostmi vyššími. Provoz železniční dopravy zvýšenými rychlostmi (160÷200 km/h) si však obecně žádá přísná technická a provozní opatření z důvodu zajištění dlouhodobé udržitelnosti bezpečného provozu. Nároky jsou kladeny jak na dopravní cestu, tak na všechna vozidla pohybující se po těchto tratích.

1.1. Technické požadavky na tratě provozované vyššími rychlostmi

Pokud má být osobní železniční doprava dostatečně konkurenceschopná, musí být provoz vyšší rychlostí zajištěn v co možná největší délce tratě. Z hlediska trasování je pro takové tratě nežádoucí existence oblouků malého poloměru. Pro úpravu železničního spodku v návaznosti na upevnění kolejového roštu se v současnosti používá na moderních železničních tratích mnoho technologických způsobů [1], z nichž každý je specifický pro určitý typ provozu a nelze jednoznačně rozhodnout o nejvhodnějším. Každý způsob má své výhody i nevýhody a je jen otázkou kompromisu při použití určité technologie úpravy železničního spodku a upevnění kolejového roštu pro zajištění dlouhodobé udržitelnosti geometrických parametrů koleje [18] (dále jen GPK) v provozu vyššími rychlostmi. Pro upevnění kolejnic v pražcích se jako nejvhodnější ukázalo jakékoliv pružné upevnění, které je nejlépe schopné zajistit stálost GPK po delší dobu v daných mezích.

Jednou s nejsložitějších, avšak nezbytnou částí dopravní cesty jsou výhybky, u nichž jsou technické požadavky z hlediska provozu vyššími rychlostmi mnohem složitější. V současné době jsou optimálním řešením pro provoz vysokými rychlostmi výhybky s pohyblivou srdcovkou. Jejich pořizovací náklady jsou však velmi vysoké, což při velkém počtu výhybek v průběžných kolejích hlavních tratí klade značné obtíže na možnost jejich uplatnění. Výhybky s pohyblivými srdcovkami se tedy používají zpravidla jen pro případy provozu zvýšenou rychlostí (100÷120 km/h) v odbočném směru výhybek. Udržení přijatelného provozního stavu výhybek s pevnými srdcovkami umístěných v průběžných kolejích tratí provozovaných vyššími rychlostmi je pak možné jen za podmínek častých oprav a obnovy jednotlivých výhybkových částí.

1.2. Technické požadavky na vozidla pro vyšší rychlosti

V souvislosti s vlaky provozovanými zvýšenými rychlostmi [24] se téměř automaticky chápe přeprava cestujících na velké vzdálenosti. Poněkud stranou všeobecného povědomí však zůstává fakt, že vyšší rychlostí by v budoucnu měly být provozovány i některé vlaky nákladní. U všech vozidel určených pro vyšší rychlosti je však limitujícím faktorem hmotnost připadající na jednu nápravu. Ta by měla být u rychlých vlaků co možná nejnižší – zejména pro namáhání tratě ale i vlastního pojezdu. Vyšší hmotnost na nápravu má při zvýšených

rychlostech nepříznivý vliv na namáhání součástí vozidel i tratě. V současné době se však provozu vyšší rychlostí týká jen doprava osobní, která se zpravidla nepotýká s problémem vysoké hmotnosti na nápravu, nicméně si klade požadavek pohodlí cestujících.

1.3. Cíle disertační práce

Práce je zaměřena na výzkum vzájemného vztahu vozidla a koleje v podmínkách zvýšených rychlostí, která je rozdělena do dvou základních oblastí.

První oblastí je jízda vozidla v přímé, kde se práce zaměřuje do oblasti výpočtu charakteristik kontaktní geometrie dvojkolí-kolej, které jsou důležitým parametrem z hlediska posuzování jízdních vlastností vozidla a v návaznosti na jízdu vyšší rychlostí pak analýza stability jízdy vozidla. Výpočty charakteristik kontaktní geometrie dvojkolí-kolej jsou sice výpočty zjednodušené beroucí v úvahu několik zjednodušujících předpokladů, avšak ne všechna zjednodušení bývají opodstatněná. Cílem této práce je **posouzení vlivu rotace dvojkolí kolem podélné osy při výpočtu charakteristik geometrické vazby dvojkolí-kolej pro různé kombinace provozně opotřebených dvojkolí a koleje.**

Druhou oblastí je průjezd vozidla výhybkou v přímém směru. Tato problematika je v současnosti v České republice velmi aktuální a je spojena s provozem národních koridorů, kde běžně jezdí vlaky přes výhybky v přímém směru rychlostí 160 km/h a na některých úsecích se počítá do budoucna i s rychlostmi vyššími. Řešení práce v této oblasti je provedeno experimentálně i teoreticky. V rámci experimentální části je cílem práce následující:

- **Hodnocení kvality chodu vozidla při průjezdu výhybkou zvýšenou rychlostí na základě dynamické odezvy vozidla v závislosti na různých parametrech výhybek za účelem posouzení vhodnosti některých úprav vybraných výhybkových částí.**
- **Posouzení vlivu proměnlivosti jízdních obrysů kol dvojkolí vozidel provozovaných vyššími rychlostmi na dynamické namáhání součástí výhybek.**
- **Posouzení vlivu časové proměnlivosti geometrických parametrů dvojice dvojkolí-kolej na spolupůsobení vozidla a koleje při průjezdu výhybkou.**

V rámci teoretické části se práce zaměřuje na studium **namáhání ve styku kolo-kolejnice provedené na základě realizovaných měření zrychlení na ložiskových skříních vozidla.**

2. SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY

2.1. Vzájemný vztah vozidla a koleje v přímé

Kontaktní geometrie ve vztahu dvojkolí-kolej, tedy kinematická vazba dvojkolí a koleje se určuje zpravidla formou počítačového zpracování na základě známých jízdních obrysů dvojkolí a příčných profilů hlav kolejnic charakteristiky [4], které udávají změnu zvolené veličiny při příčném posunutí dvojkolí z jeho střední polohy v koleji až po předem zvolenou situaci, která bývá až za dolehnutím okolku ke kolejnici v místech postupného šplhání okolku na hlavu kolejnice. Kolejnice jsou reprezentovány svými kolnými řezy a dvojkolí se zobrazuje svislým řezem vedeným osou nápravy. Geometrické pojmání problému se projevuje v tom, že se nepředpokládají pružné deformace povrchů, ale interakce kol a kolejnic se řeší jako bodové dotyky absolutně tuhých povrchů, respektive jako posouvání křivek jedné po druhé. Není přitom nutný předpoklad souměrnosti komponentů koleje a dvojkolí vůči jejich středům, naopak v obecných, provozem opotřebených jízdních obrysech kol i ploch hlav kolejnic jsou tyto komponenty nesymetrické, včetně odlišných hodnot poloměrů kol dvojkolí.

2.1.1. Poloha dotykových bodů

Základním úkolem kontaktní geometrie dvojkolí-kolej je zjišťování dotykových bodů kol a kolejnic. Tvarem jízdních obrysů kol dvojkolí a příčných profilů hlav kolejnic je přesně definován mechanický systém dvojkolí-kolej, kde pevným rámem je kolej a pohyblivým členem je dvojkolí.

Vztah dvojkolí a koleje nejlépe vystihují z geometrického pohledu 3 následující funkce, které jsou mimo polohy dotykových bodů dalšími charakteristikami kontaktní geometrie dvojkolí-kolej.

2.1.2. Delta-r funkce (Δr)

Tato charakteristika kontaktní geometrie dvojice dvojkolí-kolej vyjadřuje závislost velikosti rozdílu okamžitých valivých kružnic levého kola a pravého kola, které přísluší zjištěným dotykovým bodům, na postupné změně polohy dvojkolí vůči koleji. Získává se z výsledku výpočtu polohy dotykových bodů. Platí tedy

2.1.3. Tangens gama – funkce

Při výpočtu kontaktních bodů na kolech i kolejnicích jsou společnými parametry pro kritérium vzájemného dotyku obou těles i úhly dotykových rovin. Současně to znamená, že i úhly odklonu normál k dotykové rovině v dotykovém bodě musí být nabývat stejných velikostí. Na shodné nositelce jsou tudíž i normálová akce a reakce jedním z určujících parametrů pro silové zatížení dvojkolí, které určuje jeho pohybový stav v každém okamžiku

jízdy po koleji. Je proto hodnota úhlů dotykových rovin velmi důležitou veličinou pro posuzování charakteru vzájemného vztahu dvojkolí-kolej.

Význam funkce tangens gama spočívá především v tom, že ukazuje na intenzitu příčné silové vazby dvojkolí, která kromě vazby kinematické, vznikem rozdílu poloměrů okamžitých valivých kružnic, tvoří pružnou vazbu dvojkolí ke koleji.

2.1.4. Ekvivalentní konicita

Nejdůležitějším důsledkem kuželovitosti nebo obecného zakřivení jízdního obrysu železničních dvojkolí je vznik jeho vlnivého pohybu při jízdě po koleji, a to bez ohledu na to, jestli je, nebo není ideálně přímá.

Předpokládejme, že sledované dvojkolí s jízdním obrysem křivkovým na definované koleji při dosahování amplitudy y_0 vykazuje délku vlny L . Hledáme, jakou kuželovitost by muselo mít totéž dvojkolí s obrysem kuželovým, aby dosahovalo shodné délky vlny. Takto nalezená kuželovitost se označuje λ_{ekv} a nazývá se ekvivalentní konicita.

Přes omezenou vypovídající hodnotu této charakteristiky kontaktní geometrie dvojkolí – kolej, podává informaci pouze o charakteru vlnivého pohybu volného dvojkolí vázaného ke koleji jen kinematicky, je ekvivalentní konicita hlavní charakteristikou, s níž jsou spojovány jízdní vlastnosti celého vozidla. Je proto nezbytnou informací pro identifikaci podmínek, za nichž se provádí jízdní zkoušky vozidla, nebo simulační výpočty jeho jízdních vlastností na reálné koleji.

U skutečného vozidla se dvojkolí nachází ve značně odlišné situaci tím, že:

- je vázáno k rámu vozidla, nebo podvozku,
- se pohybuje na reálné koleji s jejími výškovými a směrovými odchylkami,
- v kontaktu kol s kolejnicemi vznikají podélné a příčné skluzy provázené vznikem skluzových sil, které jsou i silami tlumícími,
- dotykové body kol s kolejnicemi jsou ve skutečnosti dotykovými ploškami, které zejména svojí šířkou mění poněkud dosavadní představy o kinematické vazbě v kontaktu.

Je známo, že vozidla s dvojkolími vykazujícími vyšší hodnotu ekvivalentní konicity jsou více náchylná k nestabilnímu chodu. Jedná se však pouze o vozidla u nich již samotná konstrukce pojezdu tomuto jevu zadržává příčinu – poddajnost vazby dvojkolí k rámu podvozku v podélném směru.

Z tohoto důvodu je pro hodnocení jízdních vlastností vozidla podle normy ČSN EN 14363 [16] nezbytným podkladem znalost hodnoty ekvivalentní konicity. Pro kvantifikaci této charakteristiky byla stanovena amplituda $y_0 = 3$ mm. V případě pak, že by vozidlo vykazovalo při jízdní zkoušce nestabilní chod a zároveň nebyly překročeny mezní hodnoty ekvivalentní konicity stanovené zmíněnou normou (viz **Tab. 1**), pak úseky, kde k takové jízdě došlo jsou zahrnuty do vyhodnocení a vozidlo tím nemusí splnit požadavky na jízdní vlastnosti dané normou ČSN EN 14363. Mezní hodnoty ekvivalentní konicity při

amplitudě $y_0 = 3$ mm jsou stanoveny v závislosti na maximální provozní rychlosti zkoušeného vozidla (viz **Tab. 1**)

Tab. 1 Požadované hodnoty ekvivalentní konicity zkušebního vozidla [16]

Rychlostní pásmo	Ekvivalentní konicita
$V \leq 140$ km/h	≤ 0.5
140 km/h $< V \leq 200$ km/h	≤ 0.4
200 km/h $< V \leq 230$ km/h	≤ 0.35
230 km/h $< V \leq 250$ km/h	≤ 0.3
250 km/h $< V \leq 280$ km/h	≤ 0.25
280 km/h $< V \leq 350$ km/h	≤ 0.15

Obecně lze říci, že bez znalosti vzájemného kinematického vztahu dvojkolí a koleje není možné objektivně hodnotit jízdní vlastnosti vozidla. V praxi se tato skutečnost uplatňuje tím způsobem, že zadavatel zkoušek jízdních vlastností vozidla (dle ČSN EN 14363) si před uskutečněním těchto zkoušek nechá provést ještě výpočet kontaktní geometrie dvojkolí-kolej zkoušeného vozidla na koleji, kde bude následná jízdní zkouška provedena. Nebylo by totiž vhodné uskutečnit velmi nákladnou jízdní zkoušku s rizikem, že z důvodu vysoké hodnoty ekvivalentní konicity dvojkolí by nebylo možné vozidlo vůbec vyhodnotit.

Samotný výpočet ekvivalentní konicity není žádnou normou stanoven, existuje však postup hodnocení výpočtu pro stanovení ekvivalentní konicity, který je předepsán normou ČSN EN 15302 [17]. Pro dané kombinace referenčních jízdních obrysů kol a příčných profilů hlav kolejnic jsou stanoveny toleranční pásma křivek průběhů ekvivalentní konicity.

Základními předpoklady pro výpočet ekvivalentní konicity uvedené v ČSN EN 15302 jsou následující:

- Dvojkolí a kolej jsou považovány za tuhé.
- Dvojkolí je symetrické okolo své osy rotace.
- Neuvažuje se rotace dvojkolí kolem podélné osy koleje vlivem příčného pohybu dvojkolí ve volném jízdním kanálu.
- Dotykové roviny kola a kolejnice jsou rovnoběžné.

Výše uvedené zjednodušující předpoklady výpočtu vycházejí ze skutečnosti, že kontaktní geometrie dvojkolí kolej studuje vzájemný vztah dvojkolí a koleje pouze z jednoduchého kinematického hlediska.

Ekvivalentní konicita může být vypočítána různými metodami, které sice nejsou normou stanoveny ČSN EN 15302, avšak sama norma navrhuje možné metody výpočtu. Norma dále zahrnuje referenční jízdní obrysy kol a příčné profily hlav kolejnic, jejich kombinace včetně zohlednění různých průměrů kol na dvojkolí a referenční výsledky s tolerančními mezemi, na základě nichž lze posoudit vhodnost měřicího a výpočetního

systému i se zahrnutím náhodných a rastrových chyb měřicího systému. Tato norma však nepředepisuje meze ekvivalentní konicity a nestanovuje tolerance jízdního obrysu kola a příčného profilu hlavy kolejnice k dosažení vyhovujících výsledků ekvivalentní konicity.

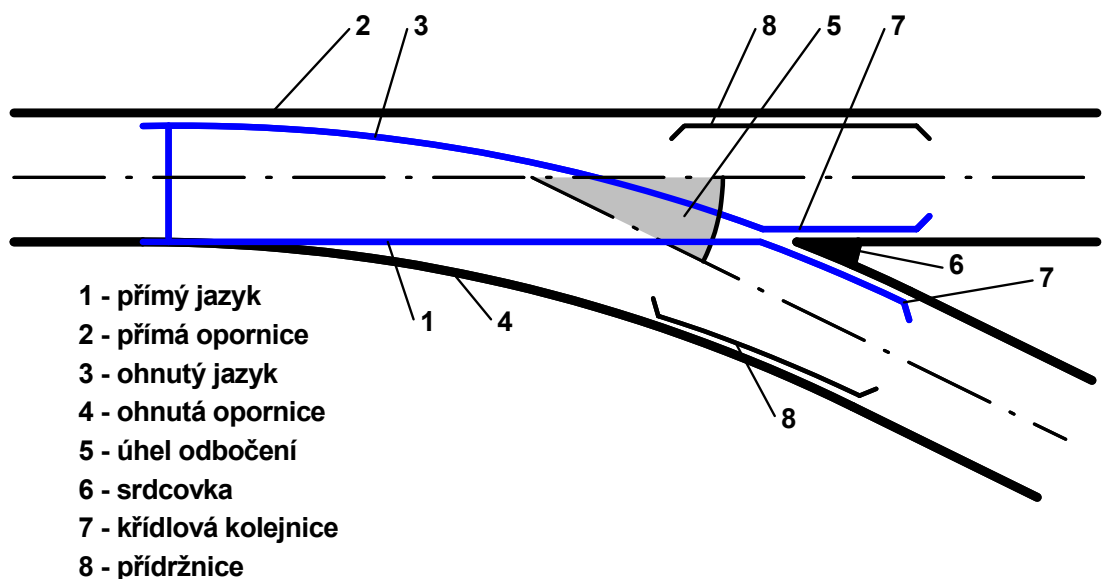
V textu normy je také výslovně uvedeno, že pro případy přesahující rámec této normy (např. v případě simulace jízdních vlastností vozidla) může být vhodné či dokonce nezbytné použít dokonalejší postupy.

2.2. Vzájemný vztah vozidla a koleje při průjezdu výhybkou

S ohledem na provoz vozidel vyššími rychlostmi je velký důraz kladen na průjezd vozidla jednoduchou výhybkou v přímém směru, kdy vozidlo projíždí výhybkou stejně vysokou rychlostí jako v mezistaničním úseku. Z hlediska konstrukcí výhybek pro tratě provozované vyššími rychlostmi je velký důraz kladen na dlouhodobou udržitelnost v provozu.

Problematika vzájemného vztahu vozidla a koleje při průjezdu výhybkou se navíc stává v posledních letech velmi aktuální. Se zvyšujícím se počtem koridorových úseků, kde vlaky projíždí výhybkami v přímém směru rychlostí až 160 km/h, se objevuje stále více závad na jedné z nejcitlivějších částí výhybky, kterou je srdcovka. Je známo, že průjezd vozidla vyšší rychlostí výhybkou je doprovázen zvýšenou dynamickou odezvou vozidla na nerovnost koleje ve svislém směru, a to právě při průjezdu přes srdcovku. Zdaleka se však nejedná o jediný palčivý problém koridorových výhybek, např. i časté jízdy těžkých nákladních vlaků do odbočných směrů (za účelem uvolnění průjezdné koleje vlakům osobní přepravy), které se dějí naopak při nízkých rychlostech, způsobují rovněž rozsáhlé poškození citlivých částí výhybek, a zde se jedná zejména o jazyky výhybek.

2.2.1. Průjezd dvojkolí jednoduchou výhybkou



Obr. 1 Schéma jednoduché výhybky [25]

Dvojkolí projíždějící přes výhybku [26] ve směru proti hrotu (**Obr. 1**) se nejdříve dostává do oblasti jazyku výhybky, kde levé kolo dvojkolí se odvaluje po přímé opornici, pravé kolo po opornici ohnuté, ale jen do té chvíle, než se pod tímto kolem postupně vynoří jazyk, který pak v určité části přebírá po ohnuté opornici úlohu nesení hmotnosti vozidla připadající právě na levé kolo tohoto dvojkolí. Po té se dvojkolí dostává do druhé kritické části výhybky – do oblasti srdcovky. Průjezd tímto místem je velmi komplikovaný a aby v průběhu přejezdu dvojkolí přes srdcovkovou část výhybky byla zajištěna bezpečná poloha kola projíždějícího přímo srdcovkou z hlediska jeho příčné polohy, je u přímé opornice v oblasti, kde levé kolo opouští křídlovou kolejnici a najíždí na hrot srdcovky, umístěna přídržnice výhybky. Ta se nachází u vnitřní strany kola a omezuje dvojkolí v jeho příčném pohybu v rámci volného jízdního kanálu tak, aby došlo k bezpečnému průjezdu dvojkolí srdcovkovou částí výhybky. Pokud by nebyla u opornice umístěna přídržnice, hrozilo by při nalehnutí okolku na křídlovou kolejnici riziko jeho tvrdého nárazu do hrotu srdcovky.

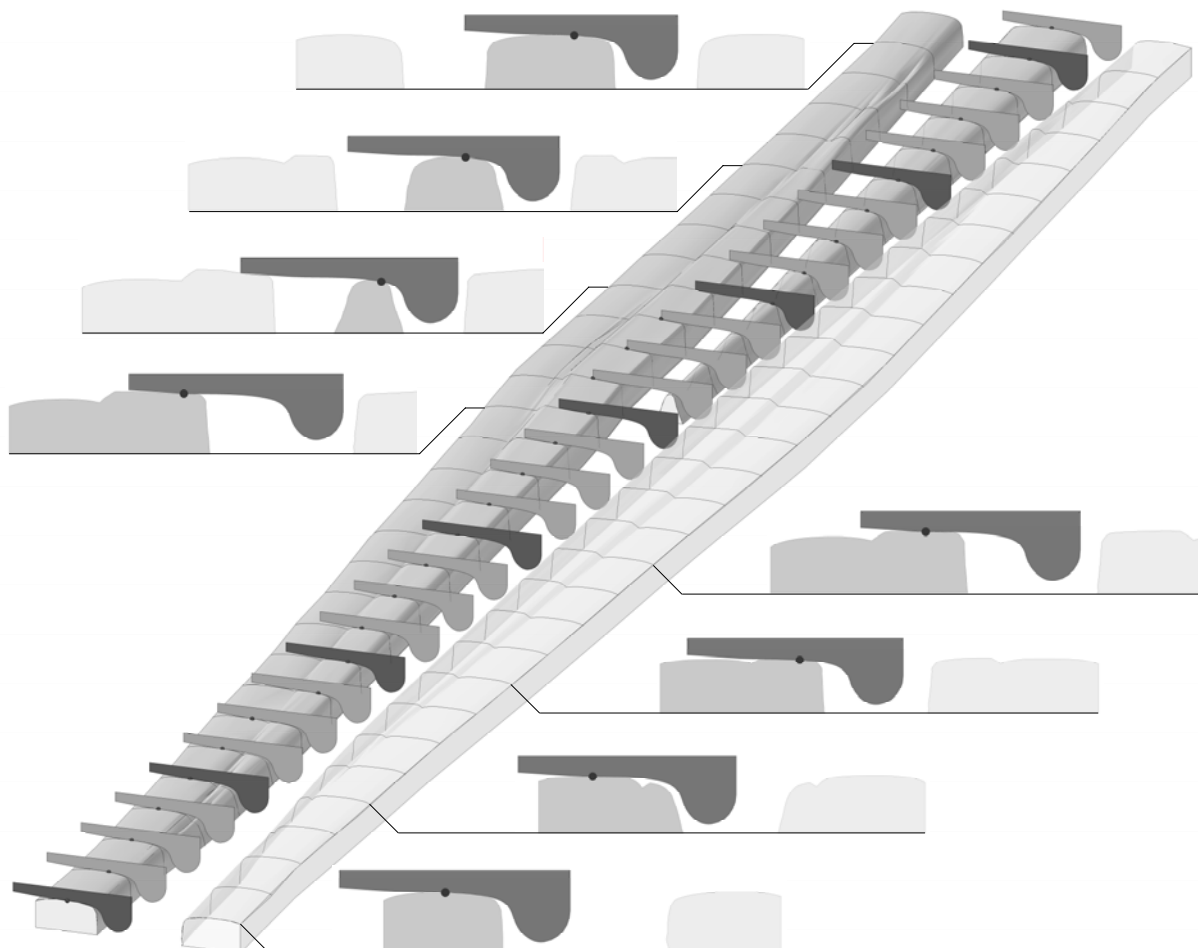
2.3. Vzájemný kinematický vztah kola a kolejnice při průjezdu srdcovkou

Základním principem průjezdu dvojkolí srdcovkou [26] je plynulé opuštění příslušného kola (záleží na odbočném směru výhybky) křídlové kolejnice a dosednutí na hrot srdcovky, přičemž je nežádoucí, aby docházelo k tvrdému nárazu kola na hrot srdcovky.

Průjezd dvojkolí srdcovkou je však vždy doprovázen svislým pohybem kola, jež je důsledkem proměnlivosti tvarů příčného profilu jednotlivých částí srdcovky. Různé tvary příčného profilu jednotlivých částí srdcovky (viz **Obr. 2**) pak ovlivňují svislou polohu kola jak svojí výškou, tak i příčnou polohou dotykového bodu kola s příslušnou částí srdcovky zejména ve vztahu k jízdnímu obrysu kola. Svislé nerovnosti křídlové kolejnice a hrotu srdcovky tedy nejsou v žádném případě obrazem svislého pohybu kola při průjezdu přes srdcovku. Naopak tyto svislé nerovnosti zabraňují tomu, aby docházelo k rychlým svislým pohybům kola v důsledku příčného pohybu jeho dotykového bodu s příslušnou částí srdcovky po jízdním obrysu kola. Při opuštění kola křídlové kolejnice se totiž onen dotykový bod posouvá směrem k vnější části jízdního obrysu kola, který je „kuželovitého“ tvaru, a tak při konstantní výšce křídlové kolejnice by kolo vykonávalo svislý pohyb směrem dolů. Z toho důvodu se konstruuje tzv. nadvýšení křídlové kolejnice, které má uvedenému svislému pohybu kola zabránit. Stejným principem pojíždí kolo i po hrotu srdcovky, kdy první dotyk kola s hrotem srdcovky je charakterizován polohou dotykového bodu blízko okolkové části jízdního obrysu a při postupném odvalování kola po hrotu srdcovky, jehož příčný profil narůstá ve všech směrech, postupuje tento dotykový bod po jízdním obrysu kola směrem k roztečné kružnici. Narůstání příčného profilu hrotu srdcovky, zejména ve svislém směru, je však výraznější než nadvýšování křídlové kolejnice, a to z toho důvodu, že oblast jízdního obrysu kola od konce okolkové části k roztečné kružnici je více „kuželovitá“.

Vzájemná poloha kola a příslušné části srdcovky včetně polohy dotykových bodů v jednotlivých řezech srdcovky je znázorněna na **Obr. 2**. Trojrozměrný model byl vytvořen na základě měřených příčných profilů srdcovky právě v těch místech, kde jsou tyto profily vyznačeny i s polohami jednotlivých dotykových bodů. Pro názornější představu o vzájemné

poloze kola a křídlové kolejnice, resp. hrotu srdcovky je **Obr. 2** ještě doplněn dvourozměrnými pohledy ve vybraných označených řezech.



Obr. 2 Vzájemný vztah jízdního obrysu kola s příslušnými částmi srdcovky

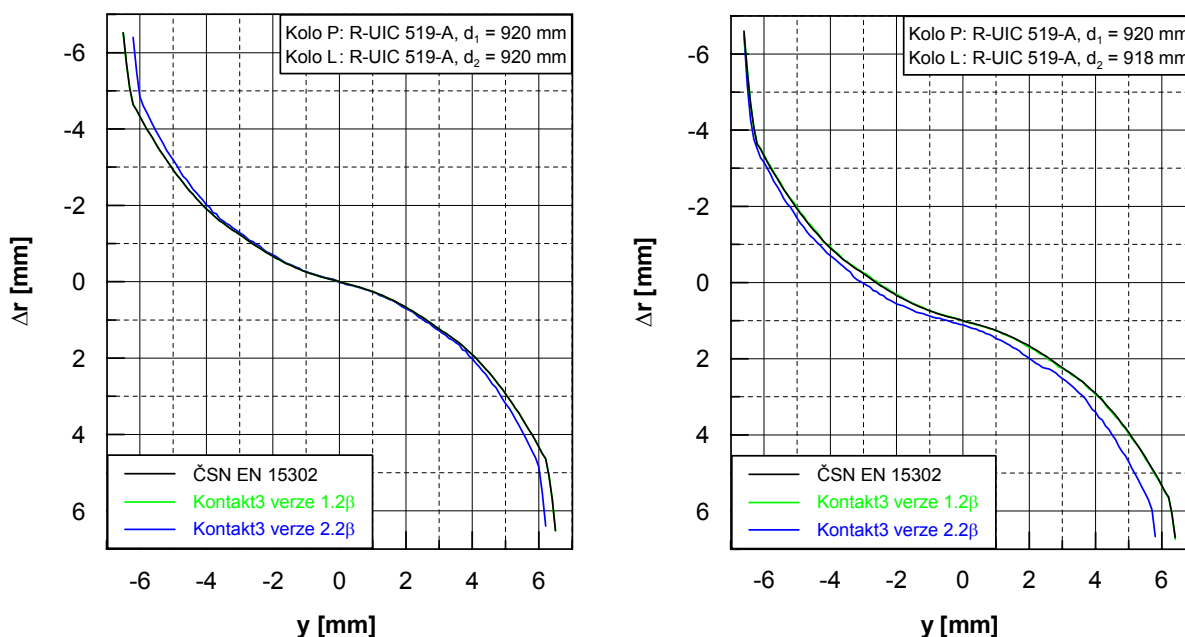
Průjezd dvojkolí srdcovkou může být ještě mírně ovlivněn v souvislosti se svislým pohybem kola i příčnou polohou dvojkolí ve volném jízdním kanálu. Ta je však omezena přídržnicí nacházející se u opornice a zabezpečující vhodnou polohu kola ve vztahu k hrotu srdcovky. Přídržnice zejména zabraňuje již zmíněné nežádoucí situaci tvrdého nárazu do srdcovky. Při pohledu na tvar příčných profilů srdcovky je však patrné, že mírná změna příčné polohy dvojkolí ve volném jízdním kanálu nebude mít zřejmě významný vliv na trajektorii pohybu kola promítnutou do vertikální roviny procházející osou koleje (dále jen podélná trajektorie pohybu kola). Zcela jistě se však bude se změnou příčné polohy kola směrem k ose koleje posouvat i místo jeho prvního dotyku s hrotem srdcovky, a to dále od počátku hrotu. Na **Obr. 2** je příčná poloha kola ve vztahu k příslušným částem srdcovky zvolena konstantní a to taková, kdy opotřebení hrotu srdcovky svým tvarem odpovídalo tvaru příslušné části jízdního obrysu kola, která je v tomto místě v kontaktu s hrotem srdcovky. Právě s ohledem na ono opotřebení hrotu srdcovky se jedná zřejmě o nejčastější polohu kola ve vztahu k příslušným částem srdcovky.

3. PŘESNOST VÝPOČTU CHARAKTERISTIK KONTAKTNÍ GEOMETRIE DVOJKOLÍ-KOLEJ

Při zavedení a použití zjednodušujících předpokladů je vždy nutné důkladně ověřit, že tyto nemají skutečně významný vliv na výsledky výpočtu. Pokud se jedná o výše uvedené předpoklady výpočtu ekvivalentní konicity, diskutabilním z hlediska vlivu na výsledek je předposlední zmíněný předpoklad týkající se zanedbání rotace dvojkolí kolem podélné osy koleje v důsledku příčného pohybu dvojkolí ve volném jízdním kanálu. Není totiž nereálné tuto skutečnost do výpočtu zahrnout, byť je výpočet mnohem náročnější a z hlediska časového pak probíhá i pochopitelně delší dobu, což je však v dnešní době vysoce výkonných počítačů zcela nepodstatné.

3.1. Výsledky srovnávacích výpočtů charakteristik kontaktní geometrie dvojkolí-kolej podle ČSN EN 15302

V příloze 1.1 této práce proveden srovnávací výpočet dle normy ČSN EN 15302 pro oba způsoby výpočtu ekvivalentní konicity (se zohledněním i bez zohlednění rotace dvojkolí kolem podélné osy koleje v důsledku příčného pohybu dvojkolí ve volném jízdním kanálu). Pro výpočty byly využity stávající programy Kontakt3 version 1.2 β a 2.2 β vyvinuté na DFJP v 90. letech minulého století. List 1 této přílohy obsahuje grafické průběhy Δr funkcí v závislosti na příčném posunutí dvojkolí v koleji, list 2 obsahuje grafické průběhy ekvivalentní konicity v závislosti na amplitudě příčného pohybu dvojkolí ve volném jízdním kanálu.

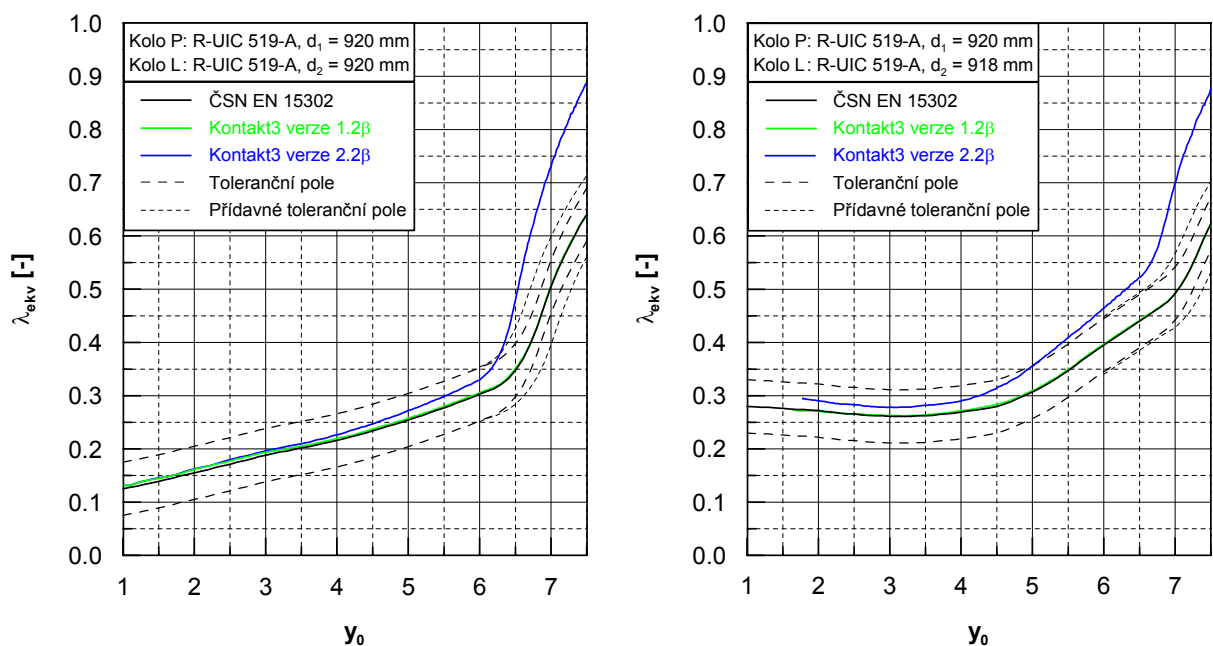


Obr. 3 Průběh Δr funkce u dvou vybraných kombinací jízdního obrysu kola a příčného profilu hlavy kolejnice srovnávacího výpočtu podle ČSN EN 15302

Všechny prezentované výpočty byly provedené pro normou stanovené kombinace jízdních obrysů kol a příčných profilů hlav kolejnic. Výpočet Δr funkce pomocí programu Kontakt3 version 1.2 β (bez zohlednění rotace dvojkolí kolem podélné osy koleje v důsledku příčného pohybu dvojkolí ve volném jízdním kanálu) se shoduje s referenčním výpočtem daným normou ČSN EN 15302 (viz **Obr. 3**). Lze tedy konstatovat, že algoritmus výpočtu programu Kontakt3 version 1.2 β je z hlediska požadavků normy ČSN EN 15302 zcela vyhovující. Je tomu tak zejména z toho důvodu, že v tomto algoritmu není zohledněna rotace dvojkolí kolem podélné osy koleje vlivem příčného pohybu dvojkolí ve volném jízdním kanálu.

Pokud by byl při výpočtu tento pohyb zohledněn – výpočet pomocí programu Kontakt3 version 2.2 β budou se výsledky již znatelně lišit, a navíc, jak je patrné z prezentovaných grafických průběhů v příloze 1.1, tato odchylka se ještě zvýší při nestejném průměru kol na dvojkolí. U výpočtu bez zohlednění rotace dvojkolí kolem podélné osy koleje v důsledku příčného pohybu dvojkolí ve volném jízdním kanálu (Kontakt 1.2 β) je totiž Δr funkce pouze posunuta ve svislé ose o příslušnou hodnotu (viz **Obr. 3**).

Mnohem významnější jsou však výsledky srovnávacích výpočtů ekvivalentní konicity (**Obr. 4**). Zde je daleko více patrná odchylka obou způsobů výpočtu. Výsledky výpočtu se zohledněním rotace dvojkolí kolem podélné osy koleje v důsledku příčného pohybu dvojkolí ve volném jízdním kanálu jsou akceptovatelné v rámci dovolených tolerancí stanovených v ČSN EN 15302 v případě stejných poloměrů obou kol do amplitudy příčného pohybu dvojkolí v koleji 6 mm. Pro 2mm rozdíl průměrů kol jsou tyto výsledky v oblasti tolerančního pole pouze do amplitudy 4.5÷5 mm. I v grafických průbězích ekvivalentní konicity je patrný vliv rozdílu poloměrů kol na dvojkolí na přesnost výpočtu.



Obr. 4 Průběh ekvivalentní konicity u dvou vybraných z kombinací jízdního obrysu kola a příčného profilu hlavy kolejnice srovnávacího výpočtu podle ČSN EN 15302

Z provedených srovnávacích výpočtů charakteristik kontaktní geometrie dvojkolí-kolej lze konstatovat, že výpočet ekvivalentní konicity pomocí programu Kontakt3 version 1.2β (bez zohlednění rotace dvojkolí kolem podélné osy koleje v důsledku příčného pohybu dvojkolí ve volném jízdním kanálu) je v souladu s požadavky normy ČSN EN 15302. Naopak je nutné také konstatovat, že výpočet ekvivalentní konicity pomocí programu Kontakt3 version 2.2β (se zohledněním rotace dvojkolí kolem podélné osy koleje v důsledku příčného pohybu dvojkolí ve volném jízdním kanálu) sice není v souladu s požadavky normy ČSN EN 15302, jelikož odchylka výsledků ekvivalentní konicity není v plném rozsahu požadované amplitudy příčného pohybu dvojkolí v koleji v rámci dovolených tolerancí.

Při amplitudě vlnivého pohybu dvojkolí ve volném jízdním kanálu $y_0 = 3$ mm, která je z hlediska jednoznačného posouzení vzájemného kinematického vztahu dvojkolí a koleje v souvislosti s jízdni zkouškou vozidla, jsou výsledky výpočtu ekvivalentní konicity pomocí programu Kontakt3 version 2.2β v tolerančním poli stanoveném normou ČSN EN 15302.

Přestože výpočet ekvivalentní konicity pomocí programu Kontakt3 version 2.2β není v celém rozsahu amplitudy vlnivého pohybu dvojkolí ve volném jízdním kanálu v souladu s požadavky normy ČSN EN 15302, poskytují tyto výsledky mnohem přesnější popis vzájemného kinematického vztahu dvojkolí a koleje.

Je vhodné tento rozbor provést také pro reálné jízdni obrysy kol a příčné profily hlav kolejnic a to jak nové, tak i provozně opotřebené.

V souvislosti s použitím výsledků jako informace o vzájemném kinematickém vztahu dvojkolí a koleje vozidla v souvislosti s realizací jeho jízdni zkoušky podle ČSN EN 14363 pak bude dále pozornost zaměřena zejména na hodnoty ekvivalentní konicity při amplitudě příčného pohybu dvojkolí ve volném jízdním kanále $y_0 = 3$ mm.

3.2. Výsledky výpočtů charakteristik kontaktní geometrie dvojkolí-kolej pro různé kombinace v provozu se vyskytujícími jízdni obrysy kol a příčných profilů hlav kolejnic.

Do hodnocení byly vzaty v úvahu následující dva případy možných tvarů jízdni obrysu kol na dvojkolích s různými parametry:

- **jmenovitý** jízdni obrys ORE S1002,
- **výrazně provozně opotřebený** jízdni obrys, který je zastoupen průměrovaným jízdni obrysem vytvořeným na základě změřených jízdni obrysu dvojkolí několika nákladních vozů vykazující nejvyšší stupeň opotřebenosti z celkového počtu 60 měřených nákladních vozů. Vozy byly kategorizovány do celkem 6 tříd podle stavu opotřebenosti jízdni plochy, jehož měřítkem byla výška okolku.

Analogická vyhodnocení k srovnávacím výpočtům dle normy ČSN EN 15302 uvedeným v příloze 1.1 jsou provedena pro jmenovitý jízdni obrys ORE S1002 v příloze 1.2 a pro výrazně provozně opotřebený jízdni obrys v příloze 1.3. Z důvodu snazší vzájemné porovnatelnosti všech výsledků jsou ve všech grafech zvolena totožná měřítko os. Všechny

výpočty jejichž výsledky jsou uvedeny v přílohách 1.2 a 1.3 byly provedeny pouze na teoretické koleji UIC 60 lots 136 a to z toho důvodu, že charakteristiky kontaktní geometrie dvojkolí-kolej se stanovují pro přímou kolej a oblouky velkých poloměrů, kde je opotřebením tvaru kolejnice minimální. Vliv tvaru příčného profilu hlavy kolejnice byl tedy zanedbán, nicméně různá hodnota rozchodu koleje přípustná v provozu je uvažována.

Pro analýzu vlivu zohlednění rotace dvojkolí kolem podélné osy koleje v důsledku příčného pohybu dvojkolí ve volném jízdním kanálu na výsledky ekvivalentní konicity byly výpočty provedeny pro následující kombinace rozkolí a rozchodu koleje:

- rozkolí 1357 mm, rozchod koleje 1440 mm (maximální přípustný volný jízdní kanál) – listy č. 1 v přílohách 1.2 a 1.3,
- rozkolí 1360 mm, rozchod koleje 1435 mm (jmenovité hodnoty) – listy č. 2 v přílohách 1.2 a 1.3,
- rozkolí 1363 mm, rozchod koleje 1432 mm (minimální přípustný volný jízdní kanál) – listy č. 3 v přílohách 1.2 a 1.3,

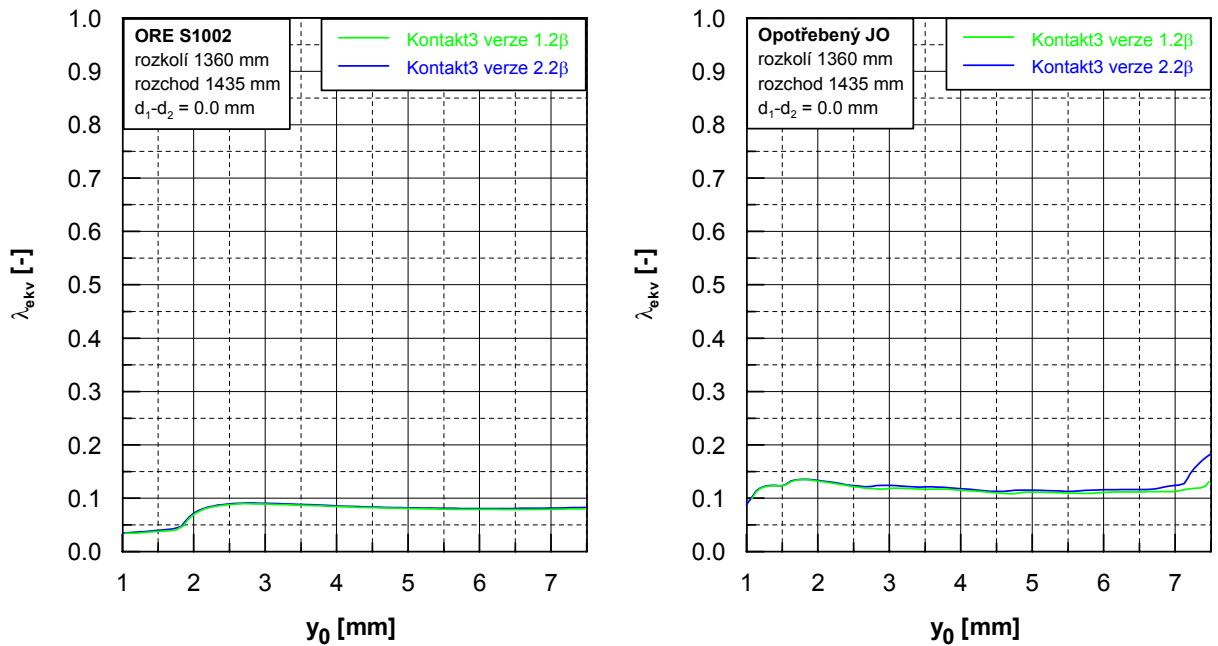
Vzhledem k tomu, že již srovnávací výpočty ukázaly významný vliv rotace dvojkolí kolem podélné osy koleje v důsledku příčného pohybu dvojkolí ve volném jízdním kanálu na výsledky ekvivalentní konicity při nestejných hodnotách průměrů kol na jednom dvojkolí, byly navíc pro všechny tři uvedené kombinace rozkolí a rozchodu koleje provedeny výpočty rovněž při různých hodnotách rozdílů průměrů kol na jednom dvojkolí a to pro rozdíly 0, 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5, 3, 3.5 mm. Maximální hodnota 3.5 mm byla stanovena na základě v provozu změřené maximální hodnoty rozdílů průměrů kol na jednom dvojkolí z celkového počtu 60 měřených nákladních vozů V udržovacích předpisech ČD V25 (pro osobní vozy a hnací vozidla) a V62 (pro nákladní vozy) není totiž stanovena mezní hodnota maximálně přípustného rozdílů průměrů kol na nápravě, je pouze stanovena maximální přípustná hodnota rozdílů průměrů kol na jednom dvojkolí po reprofilaci jízdního obrysu. Na příslušných listech v přílohách 1.2 a 1.3 je pak pro každou hodnotu rozdílů průměrů kol vyhotoven samostatný graf.

Při vzájemném porovnání výsledků výpočtů pro jmenovitý (příloha 1.2) a provozně opotřebený (příloha 1.3) jízdní obrys nejsou zřetelné výrazné rozdíly (viz **Obr. 5**).

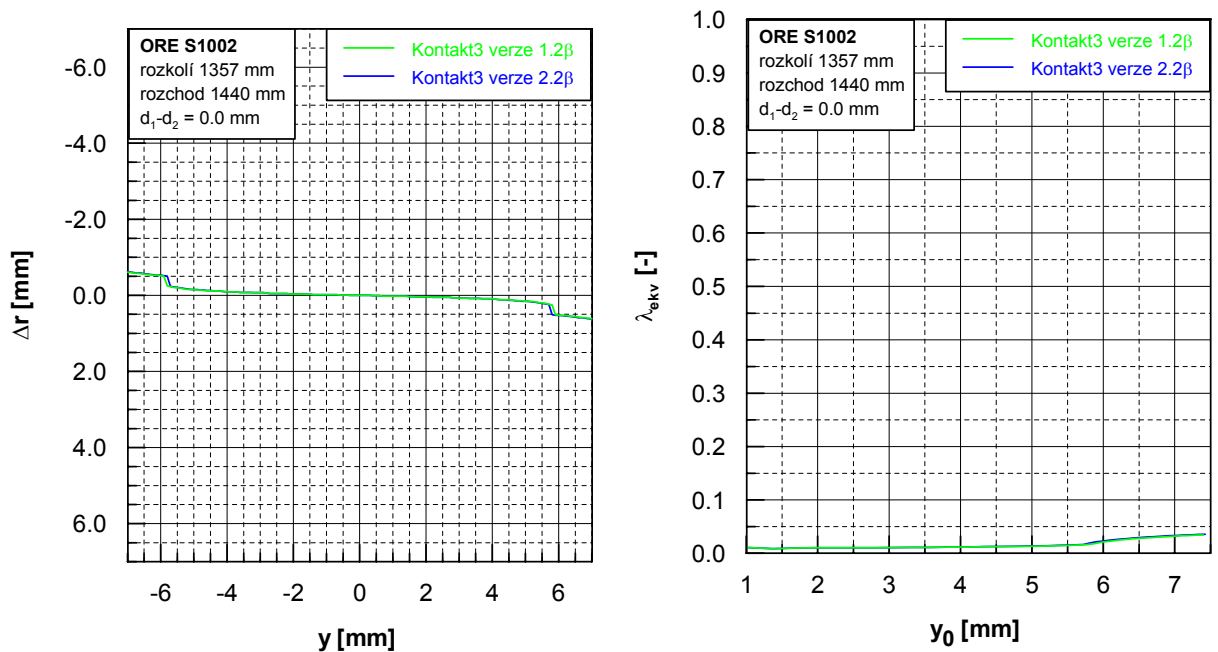
V kombinaci rozkolí a rozchodu koleje pro nejširší volný jízdní kanál je z důvodu kontaktu kol v místech s nízkou efektivní kuželovitostí Δr funkce velmi málo strmá a dvojkolí má v takové situaci rovněž až extrémně nízkou ekvivalentní kuželovitost (viz **Obr. 6**).

V takovém případě při vyšších hodnotách rozdílů průměrů kol na jednom dvojkolí nedochází vůbec k vlnivému pohybu. Neexistuje totiž žádná centrovaná poloha dvojkolí a vlivem vyšší hodnoty rozdílů průměrů kol pak dvojkolí naléhá na kolejnicový pás po kterém se odvaluje kolo s menší hodnotou průměru. Protože nedochází k vlnivému pohybu dvojkolí, neexistuje ani amplituda tohoto pohybu a není možné pak stanovit pro tuto situaci ekvivalentní konicitu. V těchto případech jsou grafy ekvivalentních konicit v přílohách 1.2 a 1.3 prázdné. U jmenovitého jízdního obrysu k této situaci dochází již pro rozdíly průměrů kol od 1.5 mm a výše. Jedná se však o případ extrémní šířky volného jízdního kanálu, která nebývá v provozu příliš obvyklá. U volného jízdního kanálu, který je charakterizován

jmenovitými hodnotami rozkolí a rozchodu koleje nastává obdobná situace při rozdílném průměru kol jmenovitého jízdního obrysu až od 3 mm a výše. Z hlediska hodnoty rozdílu průměrů kol se opět nejedná o příliš obvyklý stav, avšak u dvojkolí provozních vozidel se i s takovými extrémními rozdíly průměrů kol přesto lze setkat.

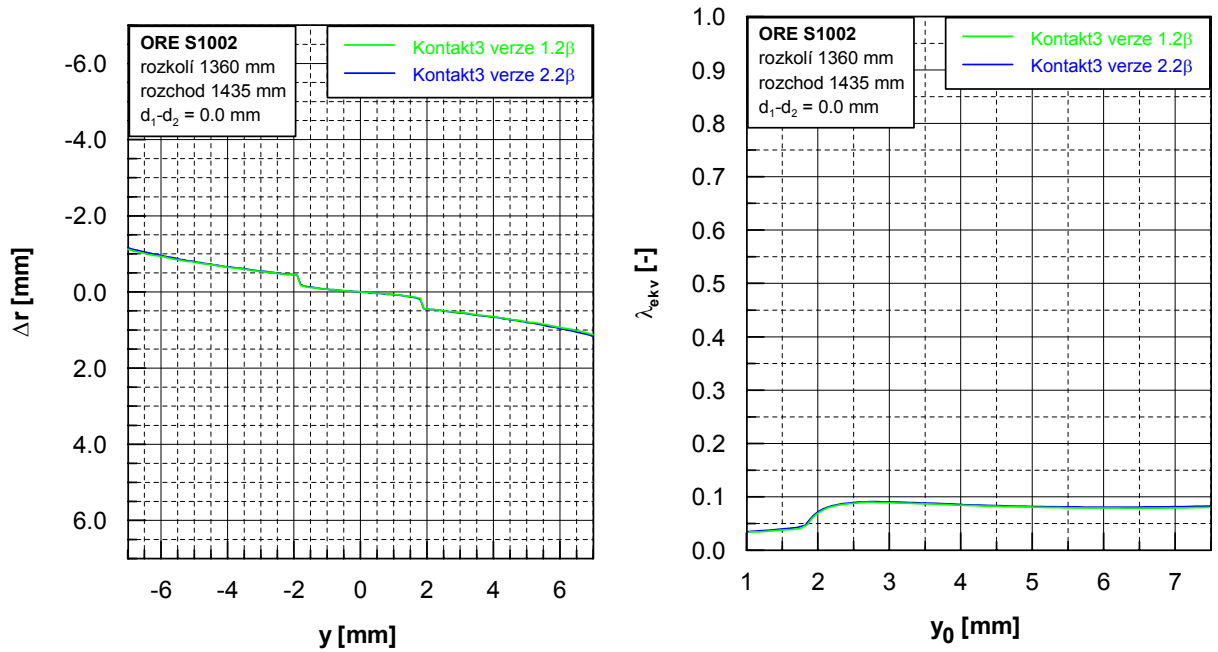


Obr. 5 Porovnání průběhů ekvivalentní konicity jmenovitého a výrazně provozně opotřebeného jízdního obrysu při jmenovitých hodnotách rozchodu koleje a rozkolí

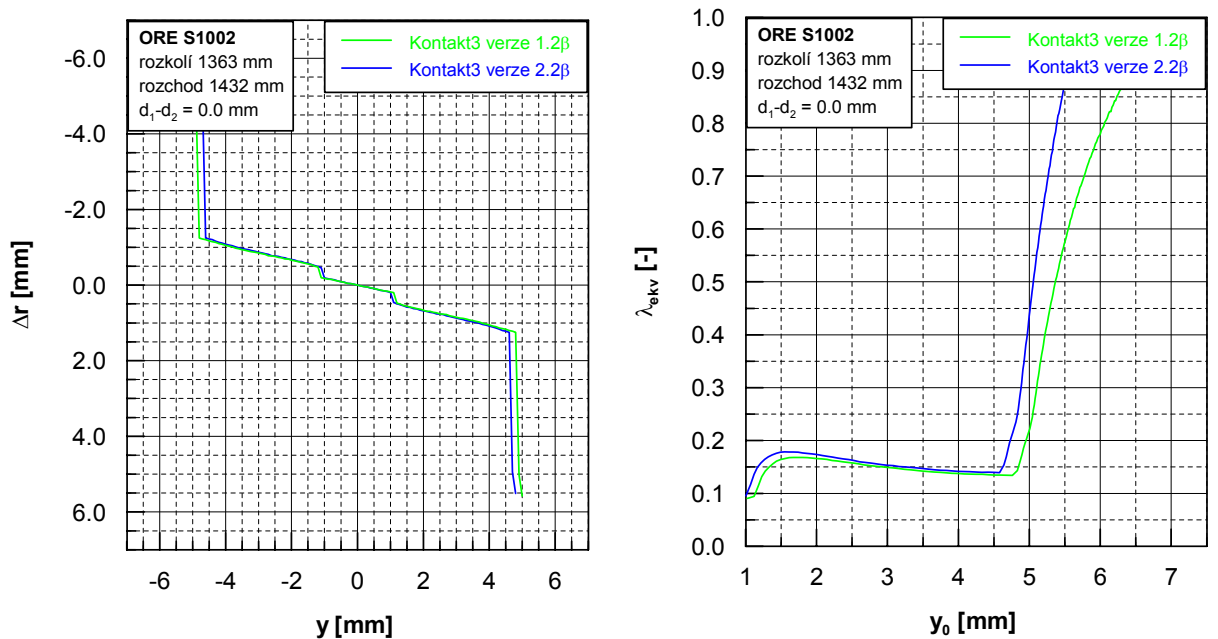


Obr. 6 Průběh Δr funkce a ekvivalentní konicity u jmenovitého jízdního obrysu ORE S1002 pro nejširší možný volný jízdní kanál

V kombinaci rozkolí a rozchodu koleje charakterizované jmenovitými hodnotami rozkolí a rozchodu koleje jsou výsledky výpočtů jak ekvivalentní konicity, tak i Δr funkce pro rozdíly průměrů kol do 1 mm srovnatelné pouze pro stejné průměry kol na dvojkolí (viz **Obr. 7**).



Obr. 7 Průběh Δr funkce a ekvivalentní konicity u jmenovitého jízdního obrysu ORE S1002 pro nejužší možný volný jízdní kanál



Obr. 8 Průběh Δr funkce a ekvivalentní konicity u jmenovitého jízdního obrysu ORE S1002 pro nejužší možný volný jízdní kanál

V kombinaci rozkolí a rozchodu koleje charakterizované nejužším volným jízdním kanálem jsou pak výsledky výpočtů vybraných dvou charakteristik kontaktní geometrie

dvojkolí-kolej oběma způsoby výpočtu srovnatelné pouze pro stejné průměry kol na dvojkolí, a to jen u Δr funkce. U průběhů ekvivalentní konicity jsou znatelné rozdíly bez ohledu na rozdílnost průměrů kol na dvojkolí (viz **Obr. 8**).

Na průbězích Δr funkce je v tomto případě dále zřetelně vidět snížená možnost příčného pohybu dvojkolí v koleji, kdy celková šířka volného jízdního kanálu se pohybuje kolem 8.5 mm. V průbězích Δr funkce je u obou druhů jízdních obrysů na rozdíl od předešlých situací s širším volným jízdním kanálem zřetelně vidět rozdíl průběhů těchto funkcí a to i v případě kol se stejným průměrem. Tento se pak znatelně zvětšuje s nárůstem rozdílu průměrů obou kol na dvojkolí. Rozdíl průběhů Δr funkcí má taktéž za následek pro oba způsoby výpočtu různou hodnotu šířky vymezeného prostoru pro pohyb dvojkolí v příčném směru. Šířka tohoto prostoru, která činí přibližně 0.2 mm se však s různou hodnotou průměrů kol výrazně nemění. Výsledky výpočtu ekvivalentní konicity pro hodnoty amplitud menších než je polovina příslušné hodnoty šířky volného jízdního kanálu provedené oběma způsoby jsou srovnatelné pouze pro stejné průměry kol. Již s 0.5mm rozdílem průměrů kol na dvojkolí je patrná odchylka výsledků obou způsobů výpočtu, pro extrémní hodnoty rozdílu průměrů kol 3 a 3.5 mm činí tato odchylka až 0.05 (viz Přílohy 1.2.1 a 1.3.1).

Na základě provedeného rozboru lze konstatovat následující:

- Výpočet charakteristik kontaktní geometrie dvojkolí-kolej se zohledněním rotace dvojkolí kolem podélné osy koleje v důsledku příčného pohybu dvojkolí ve volném jízdním kanálu nemá významný vliv na výsledky výpočtu ekvivalentní konicity v případě velké hodnoty šířky volného jízdního kanálu, kdy ekvivalentní konicita dosahuje extrémně nízkých hodnot. Tato skutečnost platí pro všechny zjišťované hodnoty rozdílu průměrů kol, i když právě z důvodu nízké ekvivalentní kuželovitosti je možné v tomto případě porovnávat výsledky pouze pro hodnoty rozdílu průměrů kol na dvojkolí 1.5 mm.
- Se zužujícím se volným jízdním kanálem klesá mezní hodnota rozdílu průměrů kol na dvojkolí, pro kterou ještě nemá zohlednění rotace dvojkolí kolem podélné osy koleje v důsledku příčného pohybu dvojkolí ve volném jízdním kanálu na výpočet vliv.
- Pro volný jízdní kanál charakterizovaný jmenovitými hodnotami rozkolí a rozchodu koleje pak nemá analyzované zohlednění vliv jen v případě stejných hodnot průměrů kol na dvojkolí.
- Při nejužším volném jízdním kanálu již toto zohlednění rotace dvojkolí kolem podélné osy koleje v důsledku příčného pohybu dvojkolí ve volném jízdním kanálu ovlivňuje výsledky výpočtu bez ohledu na hodnotu rozdílu průměrů kol na dvojkolí. Menší vliv lze pozorovat při stejných průměrech kol, zatímco pro extrémní rozdíly průměrů kol jsou pak je odchylka obou způsobů výpočtu znatelná a v takových případech je dokonce nutné konstatovat, že výpočet charakteristik kontaktní geometrie dvojkolí-kolej bez zohlednění rotace dvojkolí kolem podélné osy koleje vlivem příčného pohybu dvojkolí ve volném

jízdním kanálu, byť je proveden v souladu s normou ČSN EN 15302, neposkytuje dostatečně přesné informace o vzájemném kinematickém vztahu dvojkolí a koleje. Nutno však dodat, že sama norma ČSN EN 15302 toto konstatování nijak nevyvrací a výslovně uvádí, že pro specifické účely je nezbytné výpočet provést pomocí přesnějších metod, než jsou popsány v normě.

3.3. Důsledky vyplývající z provedení rozboru

Z výše uvedených závěrů vyplývajících z rozboru výpočtů pramení několik skutečností, jež je vždy nutné zohlednit v součinnosti s účely výpočtu charakteristik kontaktní geometrie dvojkolí-kolej, které jsou zpravidla následující:

- zjištění ekvivalentní konicity jako nezbytné doplňující informace při hodnocení jízdnicích a vodicích vlastností vozidla dle normy ČSN EN 14363,
- zjištění vzájemného kinematického vztahu dvojkolí a koleje jako podstatné informace k rozboru jízdnicích vlastností vozidla,
- zjištění vzájemného kinematického vztahu dvojkolí a koleje za účelem dalšího rozboru tohoto vztahu v souvislosti např. s návrhem jízdnicího obrysu kola nebo příčného profilu hlavy kolejnice,
- získání jedné z mnoha vstupních informací pro počítačové modelování jízdy vozidla po reálné koleji,

Znalost co nejpřesnějšího vzájemného vztahu vozidla a koleje je tedy velmi důležitá. Výpočet se zohledněním rotace dvojkolí kolem podélné osy koleje v důsledku příčného pohybu dvojkolí ve volném jízdnicím kanálu je v takových případech nezbytný.

3.3.1. Zjištění ekvivalentní konicity jako nezbytné doplňující informace při hodnocení jízdnicích a vodicích vlastností vozidla dle normy ČSN EN 14363

Jedná-li se o případ, kdy jsou důležité pouze hodnoty ekvivalentní konicity při amplitudě vlnivého pohybu dvojkolí ve volném jízdnicím kanálu $y_0 = 3$ mm, zpravidla je žádoucí, aby stanovení ekvivalentní konicity bylo dokladováno způsobnou metodou, nejlépe metodou normalizovanou, v tomto případě dle ČSN EN 15302. Pokud není užitá metoda normalizovaná, pak se předpokládá, že vlastní použitá metoda je řádně validována. Jak již bylo výše zmíněno uvedená norma ČSN EN 15302 nepředepisuje postup stanovení ekvivalentní konicity, ale zabývá se postupem hodnocení výpočtu pro stanovení ekvivalentní konicity. Výsledkem tohoto normalizovaného hodnocení je, zda zvolená metoda výpočtu splňuje požadavky této normy, či ne. Obecně se při zkoušce tohoto typu sice uvádí, že se jedná o zkoušku prováděnou v souladu s ČSN EN 15302, avšak jedná se pouze o skutečnost, že použitý algoritmus výpočtu vyhovuje požadavkům této normy.

Požadavky normy ČSN EN 15302 v plném rozsahu splňuje pouze algoritmu výpočtu programu Kontakt3 version 1.2 β (bez zohlednění rotace dvojkolí kolem podélné osy koleje v důsledku příčného pohybu dvojkolí ve volném jízdnicím kanálu). U druhého způsobu výpočtu

podle algoritmu programu Kontakt3 version 2.2 β (se zohledněním rotace dvojkolí kolem podélné osy koleje v důsledku příčného pohybu dvojkolí ve volném jízdním kanálu) jsou pro hodnoty amplitud vlnivého pohybu dvojkolí ve volném jízdním kanálu $y_0 = 5$ mm a více výsledky ekvivalentní konicity mimo tolerance normou stanovené. Není možné tedy tvrdit, že tento algoritmus výpočtu ekvivalentní konicity splňuje požadavky normy ČSN EN 15302, byť při amplitudě vlnivého pohybu dvojkolí ve volném jízdním kanálu $y_0 = 3$ mm, což je jediná v tomto případě závazná hodnota této amplitudy, jsou u všech devíti normou předepsaných srovnávacích výpočtů výsledky ekvivalentní konicity uvnitř stanoveného tolerančního pole. Při pohledu na průběhy ekvivalentní konicity pro všechny provedené srovnávací výpočty (příloha 1.1.2), je zcela zřetelné, že pro případy, kdy i při nejvyšších normou předepsaných hodnotách amplitudy vlnivého pohybu dvojkolí ve volném jízdním kanálu má ležet průběh ekvivalentní konicity uvnitř tolerančního pásma, budou odchylky jednotlivých způsobů výpočtů při amplitudě vlnivého pohybu dvojkolí ve volném jízdním kanálu $y_0 = 3$ mm zcela zanedbatelné. To je i důvod, proč není možné hodnotit výsledky pouze při amplitudě $y_0 = 3$ mm, ale je nutné brát zřetel na celý průběh ekvivalentní konicity. Normou stanovené kombinace jízdních obrysů kol a příčných profilů hlav kolejnic byly totiž vytvořeny jak už bylo výše zmíněno pouze a právě za účelem hodnocení tohoto výpočtu.

Je tedy zřejmé, že pro zkušební laboratoř, která bude takovou zkoušku realizovat je nejjednodušší provést ji způsobem výpočtu, který je v souladu s požadavky normy ČSN EN 15302 a to bez zohlednění rotace dvojkolí kolem podélné osy koleje v důsledku příčného pohybu dvojkolí ve volném jízdním kanálu. Zadavateli těchto zkoušek se tak poté do rukou dostane sice správně v souladu s uvedenou normou provedený výpočet, nicméně výsledky nejsou z hlediska vzájemného kinematického vztahu dvojkolí a koleje zcela přesné.

Pakliže se opět zaměříme na rozbor výsledků výpočtů ekvivalentní konicity pro dvojkolí s jmenovitými a opotřebenými jízdními obrysy kol různých průměrů a v různé kombinaci rozkolí s rozchodem koleje, z grafů je možné vysledovat, že hodnota ekvivalentní konicity vypočtená se zohledněním rotace dvojkolí kolem podélné osy koleje v důsledku příčného pohybu dvojkolí ve volném jízdním kanálu (program Kontakt3 version 2.2 β) je vždy vyšší než bez zohlednění tohoto pohybu. Není rozhodující o kolik, protože tato hodnota se v dané kombinaci jízdního obrysu a příčného profilu hlavy kolejnice vždy může vyskytnout v oblasti kritické hranice stanovené normou ČSN EN 14363 pro hodnocení jízdních vlastností (viz **Tab. 1**). V takovém případě mohou teoreticky nastat dvě sporné situace, které jsou charakterizovány provedeným způsobem výpočtu ekvivalentní konicity:

- 1) Při výpočtu ekvivalentní konicity v souladu s požadavky ČSN EN 15302 (bez zohlednění rotace dvojkolí okolo podélné osy koleje v důsledku příčného pohybu ve volném jízdním kanálu) bude výsledkem nepatrně nižší hodnota ekvivalentní konicity než limitní, zatímco při výpočtu přesnějším (se zohledněním rotace dvojkolí okolo podélné osy koleje v důsledku příčného pohybu ve volném jízdním kanálu), který ale proveden nebyl, bude výsledkem hodnota ekvivalentní konicity nepatrně vyšší než limitní, přičemž obě tyto hodnoty leží v jiném intervalu dle **Tab. 1**. Pokud je při jízdni zkoušce prováděné v souladu s ČSN EN 14363 identifikován nestabilní chod vozidla, není důvod nezahrnout do hodnocení úseky, kde uvedená hodnota ekvivalentní

konicity byla zjištěna, , byť na základě výsledků přesnějšího výpočtu ekvivalentní konicity by bylo možné tyto úseky z hodnocení vyloučit. V takovém případě i vozidlo nemusí jízdní zkoušce nevyhovět.

- 2) Před jízdní zkouškou bude proveden přesný výpočet charakteristik kontaktní geometrie dvojkolí-kolej (se zohledněním rotace dvojkolí okolo podélné osy koleje vlivem příčného pohybu dvojkolí ve volném jízdním kanálu). Ve větším počtu úseků bude zjištěna nepatrně vyšší hodnota ekvivalentní konicity než je některá z limitních uvedených v **Tab. 1**. Je zde tedy aktuální nebezpečí, že bude identifikován nestabilní chod vozidla při jízdní zkoušce dle ČSN EN 14363 a většina úseků bude muset být z hodnocení vyloučena. Dále předpokládejme situaci, že při výpočtu dle ČSN EN 15302 by byl výsledek naopak nepatrně nižší než je příslušná limitní hodnota. Pak zadavatel jízdních zkoušek stojí před otázkou, zda provést reprofilaci jízdních obrysů, která však nemusí mít v konečném důsledku ani na výsledky jízdní zkoušky z hlediska stability chodu vliv. Reprofilace jízdních obrysů vozidla by tak navýšila náklady na zkoušení, byť ne tolik jako případné opakování jízdní zkoušky.

Na tomto místě je třeba nejprve poznamenat, že obě výše popsané situace jsou ryze teoretické a jejich naplnění je v případě jízdních zkoušek nového vozidla málo pravděpodobné. Jízdní zkouška se totiž provádí s vozidlem, které má zpravidla velmi málo opotřeбенé jízdní obrysy a na koleji předepsaných parametrů, kde se nevyskytují v hojně míře extrémní hodnoty rozchodu koleje. Rozdíl průměrů kol na dvojkolí větší jak 1 mm by již samotný byl zcela jistě důvodem k reprofilaci dvojkolí. A v poslední řadě i při souhrě uvedených zřídka vyskytujících se skutečností provádí závěrečné zhodnocení vždy odborník na danou problematiku, proto při zjištění hodnot ekvivalentní konicity blízcím se výrazně limitním daných normou ČSN EN 14363 by jistě bylo dáno doporučení k přesoustružení jízdních obrysů kol v každém případě. Zadavatel zkoušek má totiž vždy zájem, aby vozidlo při jízdní zkoušce vykazovalo ty nejlepší výsledky a v případě, že by vozidlo nemělo vyhovět jízdní zkoušce, pak je nutné vždy znát objektivní příčiny dosílených výsledků zkoušky.

Může však nastat i situace, která se týká právě druhého zmiňovaného účelu výpočtu charakteristik kontaktní geometrie dvojkolí-kolej, a sice že jízdní zkouška se provádí u vozidla, které je již několik let v provozu např. za účelem právě identifikace jeho nestabilního chodu. V tomto případě by výše uvedené situace mohly najít uplatnění, avšak je nutné si rovněž uvědomit, že odchylky výsledků jednotlivých způsobů výpočtů ekvivalentní konicity byly shledány do maximální hodnoty 0.07 a to navíc u dvojkolí s extrémním rozdílem průměrů kol. V případě však, že i s takovým vozidlem bude prováděna jízdní zkouška, a extrémní rozdíl průměrů kol může být naopak záměrem pro hodnocení jízdních vlastností vozidla s takovými dvojkolími, pak už je nutné minimálně poznamenat, že při výpočtu ekvivalentní konicity v souladu s požadavky ČSN EN 15302 je tento výpočet z hlediska vzájemného kinematického vztahu dvojkolí a koleje nepřesný.

3.3.2. Zjištění vzájemného kinematického vztahu dvojkolí a koleje za účelem dalšího rozboru

Při zjišťování vzájemného kinematického vztahu dvojkolí a koleje za účelem dalšího rozboru tohoto vztahu v souvislosti např. s návrhem jízdního obrysu kola nebo příčného profilu hlavy kolejnice je nutné mít k dispozici co nejpřesnější výsledky charakteristik kontaktní geometrie dvojkolí-kolej a tedy je nesporné, že využití výpočtu se zohledněním rotace dvojkolí kolem podélné osy koleje v důsledku příčného pohybu dvojkolí ve vlném jízdním kanálu je nezbytné.

3.3.3. Získání jedné z mnoha vstupních informací pro počítačové modelování jízdy vozidla po reálné koleji

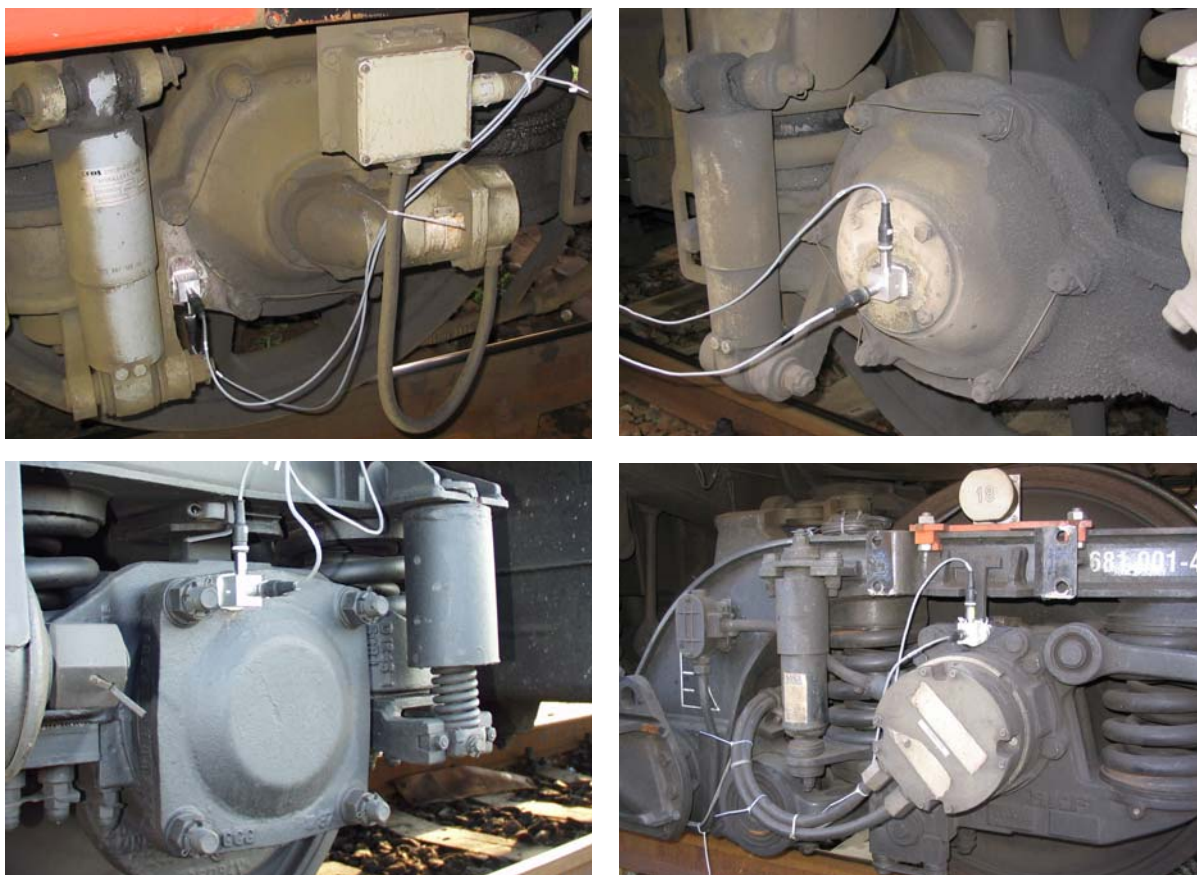
Pokud se jedná o stanovení vzájemného kinematického vztahu vozidla a koleje za účelem použití jako jednoho z mnoha vstupních údajů do počítačového modelování jízdy vozidla po reálné koleji, zde je snahou o zajištění dostatečně přesné identifikace. Již samotné modelování jízdy vozidla pomocí vícehmotového modelu vozidla a koleje v sobě zahrnuje spoustu zjednodušení bez kterých není možné výpočet provést a právě s ohledem na tato zjednodušení je pak také otázkou na kolik jiný, méně přesný, avšak i méně složitý způsob stanovení vzájemného kinematického vztahu vozidla a koleje ovlivní výsledky tohoto výpočtu. Právě proto, že modelování jízdy vozidla po reálné koleji je zjednodušeno, jeho výsledky jsou porovnatelné jen v určité míře s reálným procesem, je možné vliv přesnosti výpočtu sledovat pouze na základě posouzení kvality chodu vozidla. Jedním z klíčových faktorů, který se nabízí v tomto ohledu sledovat je stabilita jízdy a s ní přímo souvislá veličina - kritická rychlost. Stabilitu jízdy vozidla totiž velmi výrazným způsobem ovlivňuje vzájemný kinematický vztah vozidla a koleje. V tomto ohledu by tedy bylo možné sledovat jak se při daných parametrech dvojkolí a koleje v souvislosti s již oběma zmíněnými metodami výpočtu ekvivalentní konicity mění právě hodnota kritické rychlosti vozidla a jestli tato změna je i s ohledem na vůbec možnou přesnost stanovení této rychlosti výrazná. K tomu, aby bylo možné zmíněnou analýzu provést je však nutné mít k dispozici dynamický model vozidla a koleje, který je validován. Tedy výsledky simulačních výpočtů vybraných významných veličin, zejména těch, které se výrazným způsobem týkají stability chodu – příčná zrychlení dvojkolí, podvozku atp. se korelují s výsledky měření tohoto vozidla. Teprve poté je možné hodnotit pomocí simulačních výpočtů vlivy variability vstupních parametrů na jízdní vlastnosti tohoto modelu. Analýza takového druhu se do budoucna předpokládá s modelem lokomotivy řady 380, u které byly ve fázi projektu prováděny simulační výpočty, jež byly podkladem též při projektování pojezdové části vozidla. Tento sestavený model bude možné validovat po provedených jízdních zkouškách již vyrobeného vozidla na základě porovnání výsledků simulačních výpočtů a měření.

4. HODNOCENÍ KVALITY VÝHYBEK Z HLEDISKA DYNAMICKÉ ODEZVY PROJÍZDĚJÍCÍHO VOZIDLA

V této části se práce zaměřuje na vypracování metodiky hodnocení kvality výhybek na základě experimentálního výzkumu. Bylo provedeno měření dynamické odezvy vozidla při průjezdu výhybek pomocí snímačů zrychlení umístěných na ložiskových skříních vozidla.

4.1. Metodika zjišťování dynamické odezvy vozidla při průjezdu výhybkou

4.1.1. Princip měření



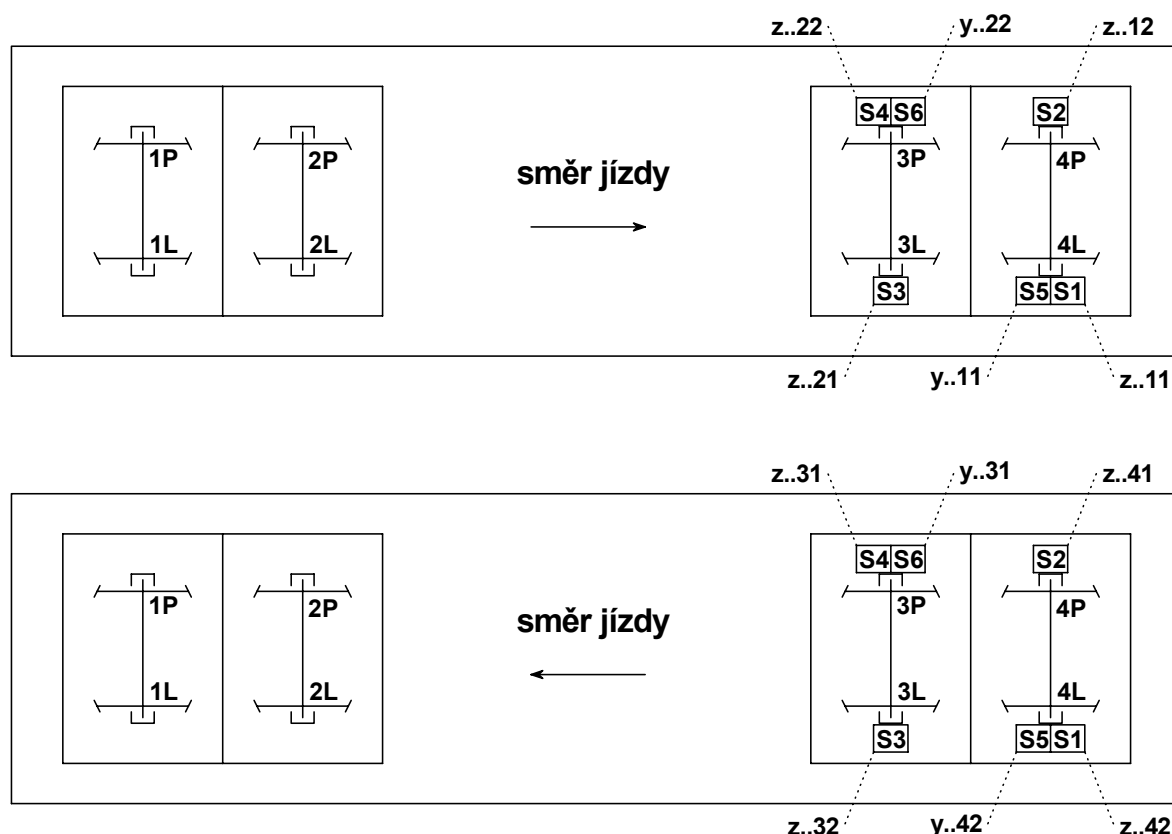
Obr. 9 Způsoby umístění snímačů na ložiskové skříně
(podvozek lokomotiv ŠKODA - 2. generace – nahoře vlevo i vpravo,
osobní podvozek typu GP 200 – vlevo dole, podvozek ALSTOM jednotky 680 – vpravo dole)

Při měření odezvy vozidla na průjezd výhybky byla uplatněna metoda měření na ložiskových skříních dvojkolí. Ložisková skříň je mechanicky vázána s dvojkolím a představuje nevypruženou hmotu, která je z hlediska instalace měřicí techniky (snímače, přívod kabelů) dobře dostupná. Při umístění snímačů je však vždy nutné vyhledat takové

místo, které je s ložiskovou skříní neodpruženě spojeno. Snímače navíc musí být v rámci možností. Příklady umístění snímačů na ložiskové skříně různých vozidel jsou na **Obr. 9**.

Další informace týkající se způsobu měření vychází z rozborů již naměřených dat právě za účelem vytvoření této metodiky. V následující části této kapitoly tedy bude stručně popsána metodika měření a hodnocení, bez důkladnějšího objasňování většiny zvolených postupů a metod. Tato vysvětlení budou provedena v rámci následující kapitoly jako odůvodnění jednotlivých principů této metodiky.

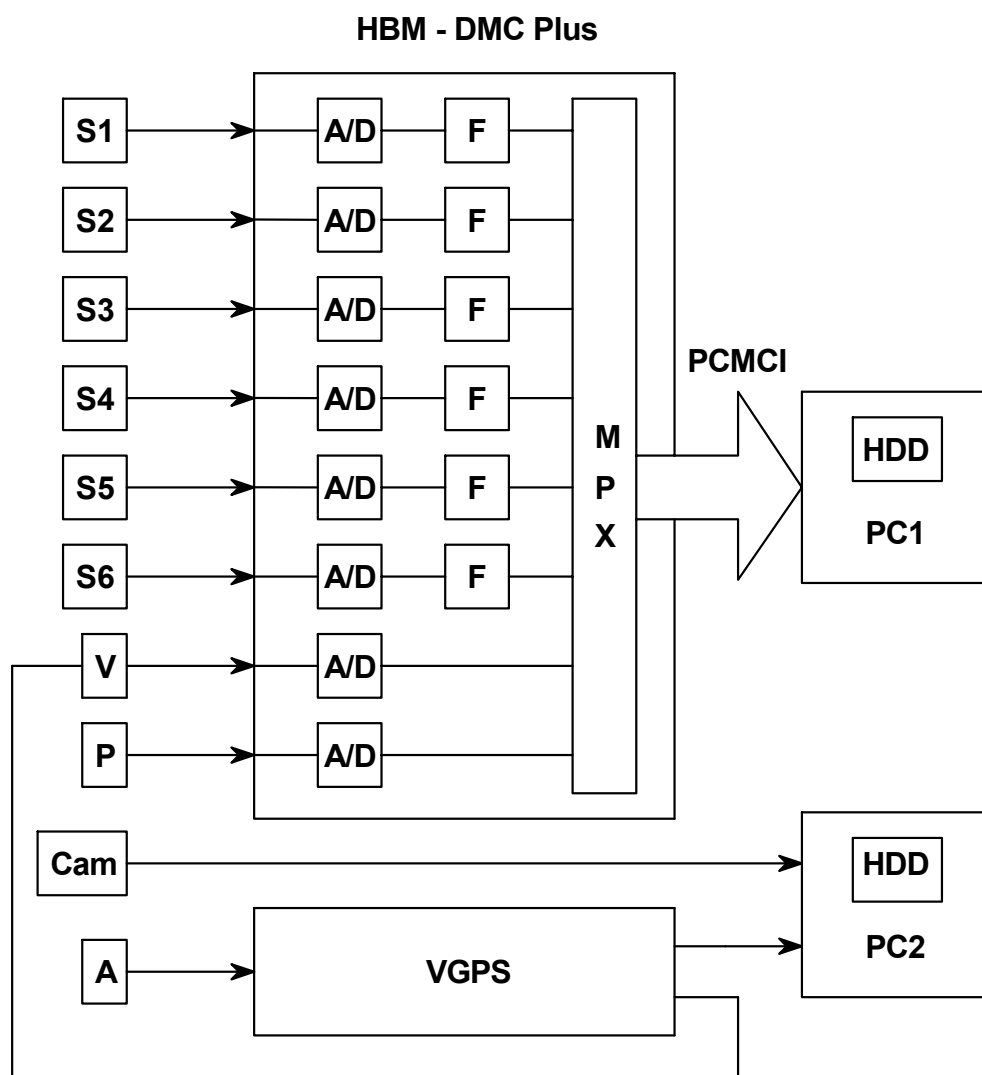
Na vozidlo jsou snímače umístěny vždy pouze na jednom podvozku, ale u obou dvojkolí. Snímače svislého zrychlení jsou umístěny na ložiskové skříně u všech kol podvozku, snímače příčného zrychlení vždy u jednoho z kol daného dvojkolí. Hlavním důvodem osazení snímači obou dvojkolí je zvýšení spolehlivosti měřicího řetězce zálohováním. Obecně používané schéma umístění snímačů zrychlení na vozidlo je na **Obr. 10**.



Obr. 10 Obecné schéma umístění snímačů zrychlení na vozidlo a měřené veličiny s ohledem na směr průjezdu vozidla výhybkou

Při měření je nutné použít pro záznam zrychlení ve svislém směru snímače zrychlení s vlastní frekvencí minimálně 500 Hz (snímače č. 1÷4 na **Obr. 10**) a pro záznam zrychlení v příčném směru snímače s vlastní frekvencí minimálně 200 Hz (snímače č. 5 a 6 na **Obr. 10**). Jelikož průjezd srdcovkou zejména při vyšších rychlostech je velmi rychlý děj, který je zapotřebí popsat co nejdůkladněji, signály zrychlení musí být zaznamenávány se vzorkovací frekvencí minimálně 1200 Hz, avšak s ohledem na frekvenční charakteristiky

použitých snímačů je nutné průběhy zaznamenaných signálů zrychlení filtrovat. V současnosti se pro tato měření využívá digitální měřicí systém HBM s indukivními snímači zrychlení a digitální měřicí ústřednou, která spolupracuje s měřicím počítačem prostřednictvím rozhraní GPIB-USB (schéma celého měřicího řetězce je uvedeno na **Obr. 11**) Celý proces měření a záznam naměřených dat je řízen a realizován softwarem Catman32. Pro snadnější identifikaci zhlaví jednotlivých stanic v měřeném úseku je synchronně se zrychleními zaznamenáván do zvláštního kanálu signál analogového přepínače, který je použit pro značení měřených signálů zrychlení. V průběhu měření jsou data on-line zobrazována na monitoru počítače a v digitální formě on-line zaznamenávána na harddisk. Výstupem programového vybavení Catman32 jsou naměřená data ve formě ASCII souboru.



Obr. 11 Schéma měřicího systému HBM ve spolupráci s měřicím systémem VGPS

Identifikace rychlosti se provádí pomocí k tomu určenému systému VGPS, který při měření pracuje nezávisle na systému HBM, avšak analogový výstup kanálu rychlosti ze systému VGPS je přiveden na jednu z karet měřicí ústředny HBM, čímž je provedena

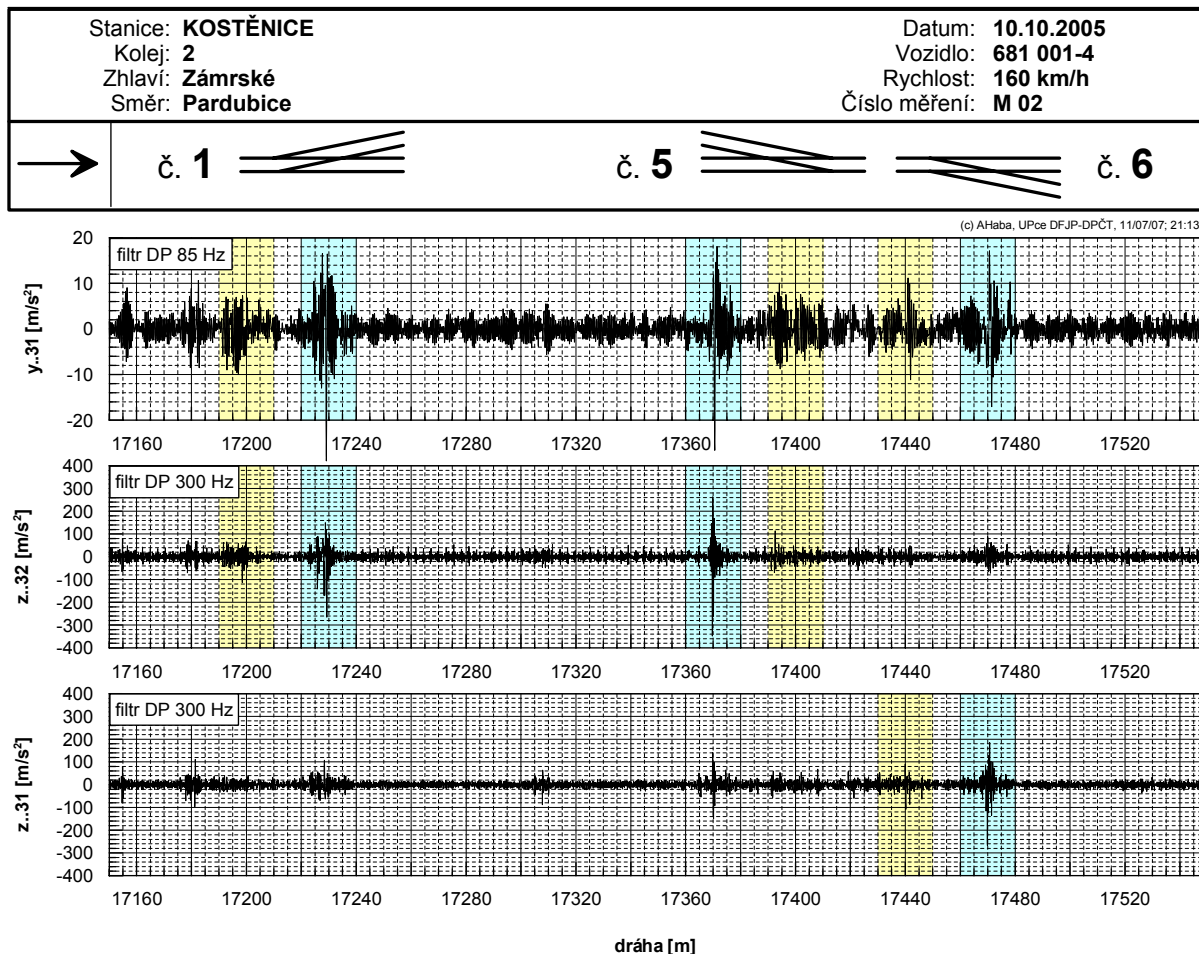
i synchronizace dat. Všechny veličiny zaznamenávané systémem VGPS (aktuální poloha v souřadnicích, ujetá dráha, aktuální směr, počet dostupných satelitů aj.) jsou rovněž v průběhu měření on-line zobrazována na monitoru řídicího počítače VGPS a v digitální formě on-line zaznamenávána na harddisk ve formě ASCII souboru.

Do budoucna se však z důvodu ukončení výroby induktivních snímačů s vyššími hodnotami vlastní frekvence předpokládá přechod na zcela jiný měřicí systém založený na piezoelektrických snímačích Kistler, jejichž vlastní frekvence je mnohem vyšší a spolu s výkonnější záznamovou technikou bude možné měření provádět i vyšší vzorkovací frekvencí a navíc plně synchronně se všemi veličinami měřenými systémem VGPS včetně videosignálu.

4.1.2. Zpracování naměřených dat

Z naměřeného záznamu při průjezdu určitým traťovým úsekem jsou z důvodu velkého objemu všech zaznamenaných dat odděleně uloženy záznamy průjezdu vozidla jednotlivými zhlavími kde se nacházejí hodnocené výhybky. Průběhy zrychlení při průjezdu vybranými zhlavími stanic jsou dále centrovány a filtrovány. Průběhy zrychlení ve svislém směru jsou filtrovány dolnoproputním filtrem s úrovní 150 Hz, průběhy zrychlení v příčném směru dolnoproputním filtrem s úrovní 85 Hz. Ukázka naměřených a následně filtrovaných průběhů zrychlení ve svislém a příčném směru na ložiskových skříních téhož dvojkolí při průjezdu zhlavím stanice je na **Obr. 12**. V jednotlivých grafech jsou podbarvením vyznačeny úseky, kdy dvojkolí projíždí oblastí jazyku (žluté podbarvení), resp. oblastí srdcovky (azurové podbarvení) každé výhybky. Podbarvené úseky měřených signálů zrychlení (vždy o délce 20 m) jsou zároveň vstupními údaji pro statistické hodnocení dynamických účinků vozidla při průjezdu výhybkou.

Z průběhů filtrovaných signálů zrychlení na **Obr. 12** je patrné, že při průjezdu přes oblast srdcovky jednotlivých výhybek jsou zaznamenávány zvýšené hodnoty zrychlení na ložiskových skříních v příčném, ale zejména ve svislém směru. Při porovnání obou průběhů signálů zrychlení ve svislém směru (veličiny z..32 a z..31) a schématu rozmístění výhybek na zhlaví stanice v záhlaví všech grafů jsou zcela patrné vyšší hodnoty zrychlení při průjezdu srdcovkovou částí výhybky zaznamenané na ložiskové skříně toho kola, které je bezprostředně v kontaktu se samotnou srdcovkou. Z toho důvodu nejsou úseky u průběhu zrychlení na ložiskové skříně ve svislém směru u opačného kola podbarveny a ani hodnoceny.



Obr. 12 Filtrované průběhy zrychlení v příčném a svislém směru na ložiskových skříních téhož dvojkolí při průjezdu zhlavím stanice

Jak již bylo výše naznačeno hodnocení velikosti dynamických účinků vozidla při průjezdu výhybkou vychází z hodnot filtrovaných měřených signálů zrychlení v jednotlivých úsecích představujících oblasti jazyků a srdcovek jednotlivých výhybek. Z hodnot zrychlení v těchto úsecích jsou vypočteny následující základní statistické charakteristiky:

- střední hodnota (**X_m**),
- směrodatná odchylka (**s**),
- minimální hodnota (**min**),
- 0,15% kvantil (**0.15%**),
- 2,5% kvantil (**2.50%**),
- 50% kvantil (**50.00%**),
- 97,5% kvantil (**97.50%**),
- 99,85% kvantil (**99.85%**),
- maximální hodnota (**max**).

Každý hodnocený úsek je pak charakterizován maticí hodnot, kde řádek představuje měřenou veličinu a sloupec statistickou charakteristiku (viz **Obr. 13**, kde jsou hodnoty statistických charakteristik pro úseky ze signálů zrychlení z **Obr. 12**).

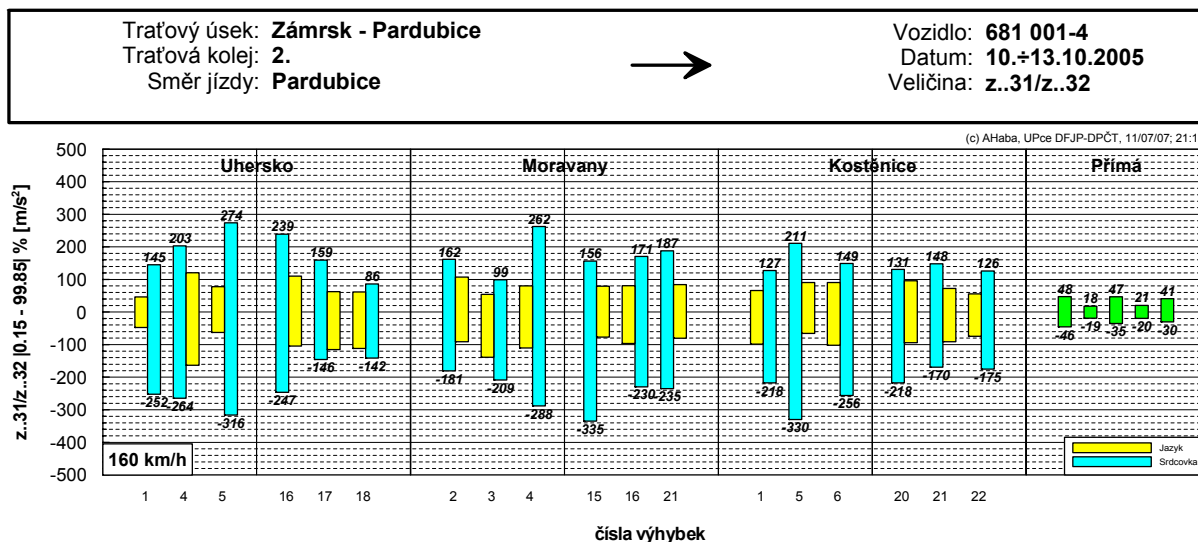
Veličina	Úsek	Xm	s	min	0.15%	2.50%	50.00%	97.50%	99.85%	max
č. 1 (doleva) - JAZYK (proti hrotu) 17190 + 17210										
y..31 [m/s ²]	1j+	-0.02	3.44	-9.98	-9.64	-8.02	0.26	6.40	7.26	7.32
z..32 [m/s ²]	1j+	0.08	21.51	-113.40	-98.12	-42.91	-0.09	44.57	65.65	67.14
z..31 [m/s ²]	1j+	0.09	14.03	-33.95	-33.70	-26.97	0.75	27.13	37.96	39.49
č. 1 (doleva) - SRDCOVKA (proti hrotu) 17220 + 17240										
y..31 [m/s ²]	1s+	-0.05	5.79	-28.95	-28.35	-11.07	-0.15	11.06	16.43	16.52
z..32 [m/s ²]	1s+	0.14	38.10	-264.77	-217.59	-108.23	1.30	78.62	127.19	149.89
z..31 [m/s ²]	1s+	0.19	22.66	-69.91	-64.43	-44.02	-0.60	47.55	106.62	107.38
č. 5 (zleva) - SRDCOVKA (po hrotu) 17360 + 17380										
y..31 [m/s ²]	5s-	-0.12	5.06	-26.63	-26.54	-8.66	-0.10	11.46	18.05	18.07
z..32 [m/s ²]	5s-	0.25	45.23	-347.69	-329.90	-74.95	1.60	79.05	210.88	263.16
z..31 [m/s ²]	5s-	0.12	24.95	-150.02	-145.73	-42.88	0.20	46.72	129.92	140.64
č. 5 (zleva) - JAZYK (po hrotu) 17390 + 17410										
y..31 [m/s ²]	5j-	0.04	3.72	-8.78	-8.63	-7.03	-0.09	7.05	9.61	10.02
z..32 [m/s ²]	5j-	0.08	19.68	-69.92	-65.60	-40.07	-0.18	39.92	90.48	114.13
z..31 [m/s ²]	5j-	-0.03	18.01	-57.22	-51.65	-33.42	-1.09	36.29	61.48	68.56
č. 6 (doprava) - JAZYK (proti hrotu) 17430 + 17450										
y..31 [m/s ²]	6j+	-0.08	3.03	-11.15	-10.90	-5.12	-0.35	6.47	10.73	11.14
z..32 [m/s ²]	6j+	0.02	14.68	-47.46	-44.54	-28.50	-0.46	35.47	47.11	49.66
z..31 [m/s ²]	6j+	-0.06	20.67	-107.97	-101.81	-40.52	-0.28	37.82	90.44	91.40
č. 6 (doprava) - SRDCOVKA (proti hrotu) 17460 + 17480										
y..31 [m/s ²]	6s+	0.09	4.46	-17.08	-16.86	-8.18	0.02	9.54	16.88	17.15
z..32 [m/s ²]	6s+	0.02	20.32	-72.05	-66.01	-39.45	-0.92	46.27	79.99	88.95
z..31 [m/s ²]	6s+	0.29	37.43	-267.22	-256.14	-75.56	1.32	73.69	148.95	185.47

Obr. 13 Hodnoty statistických charakteristik vypočtených z vyznačených úseků filtrovaných signálů zrychlení na ložiskových skříních téhož dvojkoľi

Jak je již z **Obr. 12** podle podbarvených hodnot některých statistických charakteristik patrné, pro hodnocení velikosti dynamických účinků byly obdobně jako je tomu u hodnocení jízdních vlastností vozidla podle metodiky ČSN EN 14363 vybrány dvě důležité statistické charakteristiky – 0.15% kvantil a 99.85% kvantil. Hodnoty uvedených dvou statistických charakteristik jsou dále graficky zpracovávány za účelem hodnocení velikosti dynamických účinků vozidla při průjezdu výhybkami, které se provádí zejména porovnáváním při různých rychlostech a směrech průjezdu, časových obdobích, vozidlech a dále jednotlivých výhybek mezi sebou a rovněž s jízdou za srovnatelných provozních podmínek mimo výhybky. Pomocí grafického zpracování vybraných dvou statistických charakteristik je možné např. porovnat jednotlivé výhybky mezi sebou za srovnatelných provozních podmínek.

Na **Obr. 14** je sloupcový graf, kde každý sloupec představuje jazyk nebo srdcovku výhybky, kdy spodní hladina sloupce odpovídá hodnotě 0.15% kvantilu a horní hladina hodnotě 99.85% kvantilu zrychlení. V pravé části tohoto grafu je uvedeno 5 úseků reprezentujících jízdu mimo výhybky za srovnatelných provozních podmínek jako je průjezd výhybkami ve stanicích. Společným kritériem pro porovnání byla v tomto případě vybrána

rychlost, tzn. všechny výhybky, včetně úseků mimo výhybky byly projížďeny stejnou rychlostí. Při hodnocení dynamické odezvy vozidla při průjezdu obloukových výhybek však zpravidla nestačí jako společné kritérium pro hodnocení pouze rychlost, ale rovněž je nutné přihlídnout na další faktory, kterými jsou např. nedostatek převýšení, typ výhybky (oboustranná, jednostranná) nebo též poloměr oblouku.

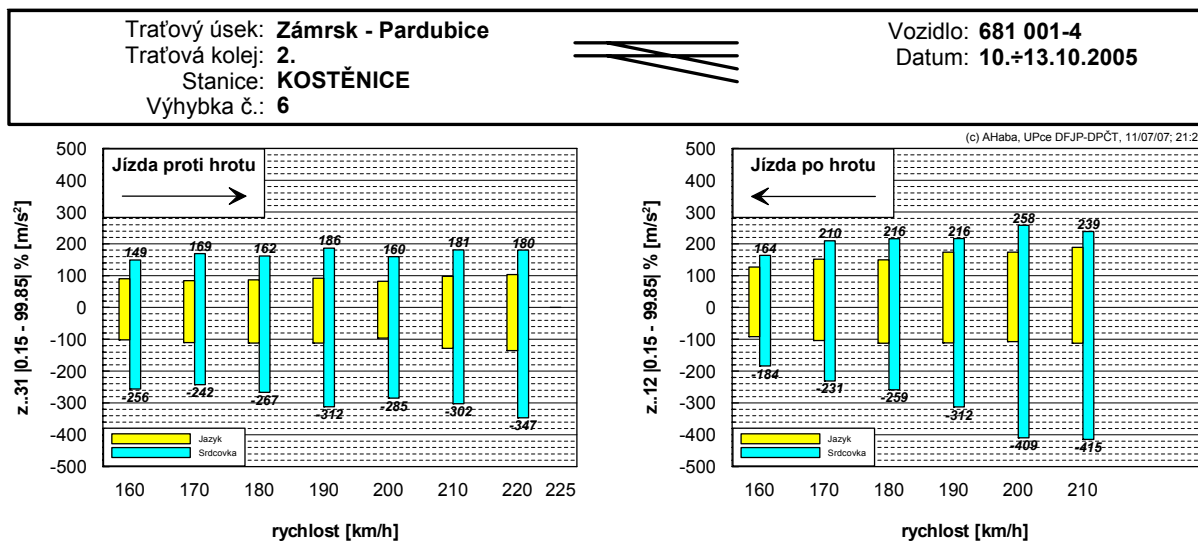


Obr. 14 Porovnání dynamické odezvy vozidla při průjezdu všech výhybek v daném úseku včetně jízdy mimo výhybku stejnou rychlostí

Při tomto způsobu vyhodnocení měření a následného grafického zpracování lze odhalit výhybky, které vykazují zvýšenou dynamickou odezvu vozidla při dané rychlosti v porovnání s ostatními a rovněž také v porovnání s jízdou mimo výhybky. Nelze však z tohoto zobrazení usoudit na velikost nárůstu dynamické odezvy vozidla s rostoucí rychlostí průjezdu výhybkou.

Dalším ze způsobů grafického zpracování vybraných dvou statistických charakteristik je porovnání dynamické odezvy vozidla při průjezdu toutéž výhybkou různými rychlostmi a směry průjezdu – viz **Obr. 15**. Grafické zpracování obou statistických charakteristik je analogické k předchozímu případu.

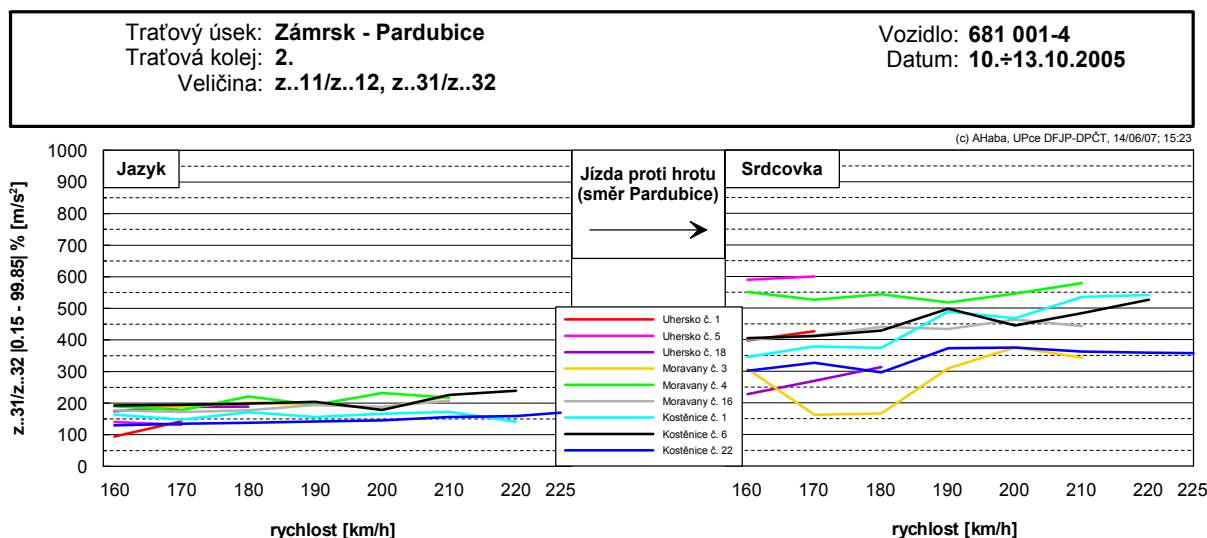
V tomto způsobu grafického zpracování nelze sice porovnávat dynamickou odezvu vozidla při průjezdu různými výhybkami mezi sebou, lze však v tomto zobrazení sledovat velikost nárůstu dynamických účinků s rostoucí rychlostí průjezdu výhybkou, ale pouze jednotlivě pro každou výhybku.



Obr. 15 Dynamická odezva vozidla při různých rychlostech průjezdu výhybkou

Kombinací obou předešle uvedených způsobů grafického zpracování vybraných dvou statistických charakteristik je porovnání nárůstu dynamické odezvy vozidla při průjezdu jednotlivými výhybkami, avšak při společném zobrazení všech výhybek. Každá výhybka je reprezentována křivkou, která je spojnicí bodů, jejichž hodnota je dána rozdílem 99.85% a 0.15% kvantilu zrychlení. Je zde analogie se statistickou charakteristikou zvanou „Variační rozpětí“ a jedná se o hodnotu absolutní výšky sloupců z předchozích dvou grafických zpracování. Pro přehlednost jsou křivky reprezentující jednotlivé výhybky barevně odlišeny a hodnocena je vždy jen jedna z kritických částí výhybky – jazyk nebo srdcovka.

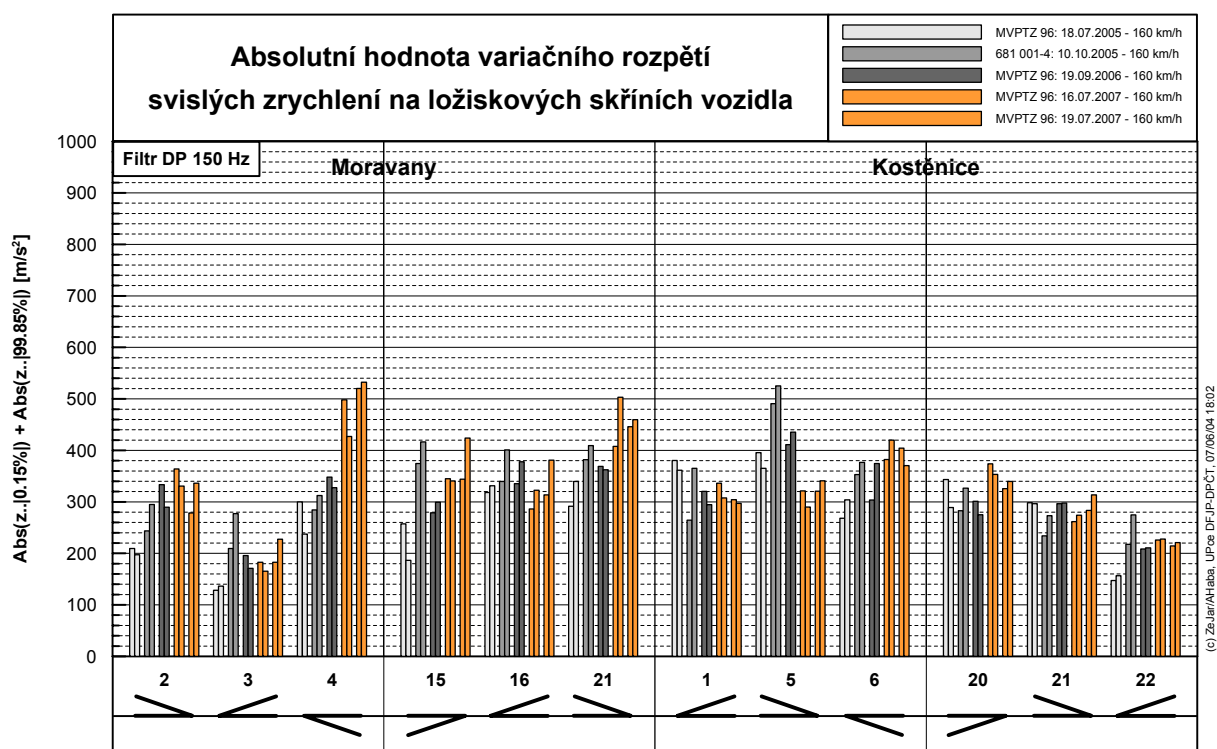
Pro účely dalších rozborů a analýz zejména v souvislosti se statistickým hodnocením průběhu signálu zrychlení při průjezdu srdcovkou je tato používaná statistická charakteristika nazvána v dalších částech práce jako „Variační rozpětí kvantilů“.



Obr. 16 Porovnání dynamické odezvy vozidla při různých rychlostech průjezdu všemi výhybkami

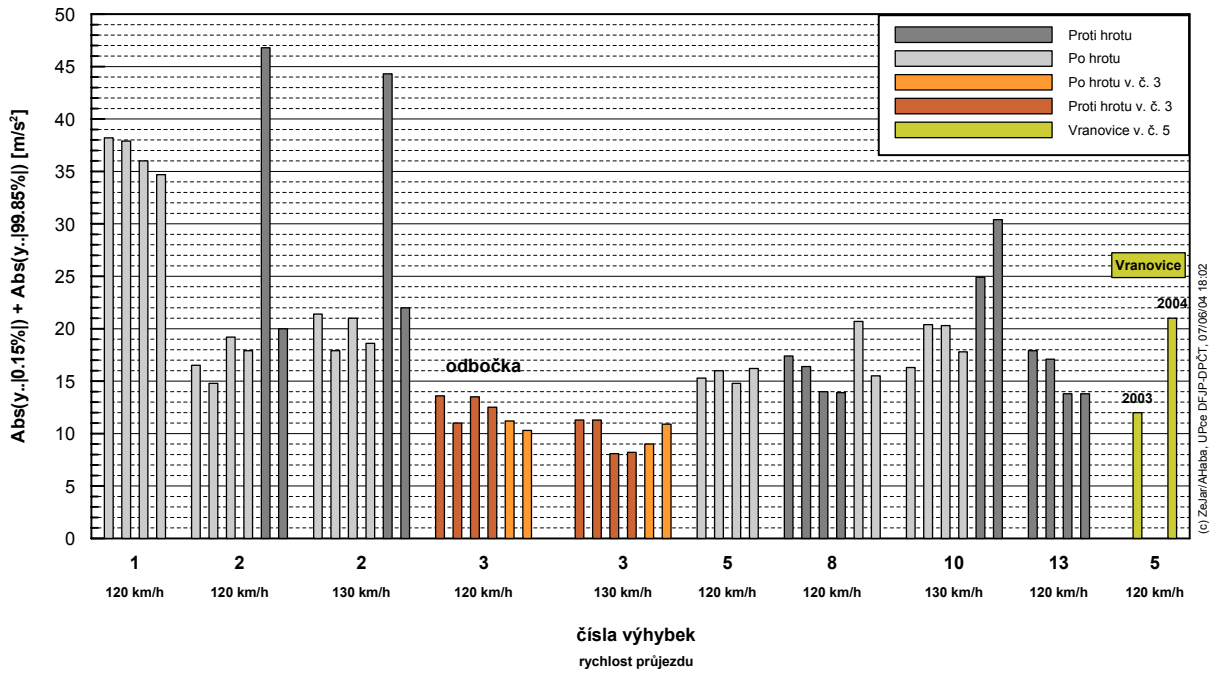
Grafickým zpracováním dle **Obr. 16** lze odhalit výhybky, které vykazují prudký nárůst dynamických účinků vozidla s rostoucí rychlostí průjezdu v porovnání s ostatními výhybkami. Přestože se jedná o souhrnné grafické zpracování zahrnující několik vlivů najednou, je pro jakékoliv jiné hodnocení dynamické odezvy vozidla při průjezdu výhybkou velmi nepřehledné.

Při porovnávání dynamické odezvy vozidla při průjezdu jazykem nebo srdcovkou třeba i více výhybek v různém časovém období a případně i různými vozidly se nejlépe uplatňuje v zobrazení klasického sloupcového grafu, který vychází z analogie zobrazení statistických charakteristik v předchozím případě. Zde se však graf, u kterého výška jednotlivých sloupců je dána rozdílem 99.85% a 0.15% kvantilu zrychlení (viz **Obr. 17**).



Obr. 17 Porovnání dynamické odezvy různých vozidel v různém časovém období při průjezdu srdcovkami výhybek v daném traťovém úseku

Tato zobrazení umožňují provést i souhrnné porovnání dynamické odezvy vozidla při průjezdu různých výhybek různou rychlostí a za různých podmínek (viz **Obr. 18**).



Obr. 18 Porovnání dynamické odezvy vozidla při průjezdu přes jazyky daných výhybek různými směry a různou rychlostí s doplněním informace o dynamické odezvě při průjezdu vozidla výhybkou v jiné lokalitě a jiném časovém období

5. ANALÝZA VZÁJEMNÉHO VZTAHU VOZIDLA A KOLEJE PŘI PRŮJEZDU SRDCOVKOU

Zatímco při průjezdu oblastí jazyku není zřetelná zvýšená dynamická odezva vozidla na nerovnost způsobenou přechodem jedné kolejnice v druhou, u srdcovky je zejména ve svislém směru zcela jednoznačně u každé výhybky pozorovatelná zvýšená dynamická odezva vozidla projevující se na průběhu zrychlení zřetelným rozkmitem. Veškeré další rozbory a analýzy v této práci dále provedené se proto budou týkat právě dynamické odezvy vozidla při průjezdu srdcovkou ve svislém směru. V této kapitole bude proveden podrobný rozbor průběhu tohoto zrychlení, jehož výsledky vysvětlují použité principy v předchozích kapitolách uvedené metodiky měření a způsobu hodnocení naměřených dat a rovněž tak potvrzují vhodnost použití této metodiky.

Pro účely tohoto rozboru byly vybrány dvě konkrétní výhybky, které byly měřeny v průběhu let 2004÷2007 z hlediska dynamické odezvy vozidla při jejich průjezdu a rovněž bylo v roce 2004 provedeno měření příčných profilů jejich srdcovek. Jedná se o výhybku č. 2 ve stanici Zaječín a výhybku č. 3 ve stanici Šakvice.

Pro důkladnější analýzu dotykových bodů kola a příslušné části srdcovky by však bylo nutné uvažovat též možnou změnu příčné polohy dvojkolí ve volném jízdním kanálu během průjezdu srdcovkou. Výrazné změny dotykových bodů kola s příslušnými částmi srdcovky ve vztahu k jízdnímu obrysu kola totiž jak známo značně ovlivňují charakter příčného pohybu dvojkolí ve volném jízdním kanálu. Vzhledem k tomu, že tento pohyb, je jak již bylo výše uvedeno, omezen přídržnicí a navíc příčná poloha kola zřejmě nemá významný vliv na jeho pohyb ve svislém směru při průjezdu srdcovkou, bude vliv tohoto pohybu v dalších rozborech zanedbán.

5.1. Možnosti identifikace srdcovek

Budeme-li chtít hodnotit dynamickou odezvu vozidla při průjezdu srdcovkou výhybky a následně odhalovat příčiny velikosti této odezvy, je nutné výhybku identifikovat i jinými dalšími parametry než je jen hodnotou udávající rozdíl příslušných kvantilů zrychlení měřeného na ložiskové skříni dvojkolí při průjezdu vozidla přes srdcovku. Zejména tvar jednotlivých částí srdcovky (křídlová kolejnice, hrot srdcovky) je v tomto ohledu velmi významným parametrem, který ovlivňuje způsob průjezdu kola přes srdcovku. Právě vzájemný geometrický vztah kola a jednotlivých částí srdcovky je tím dalším významným parametrem, jehož obrazem je trajektorie pohybu kola promítnutá do vertikální roviny procházející osou koleje (dále jen podélná trajektorie pohybu kola). V neposlední řadě i samotný tvar průběhu zrychlení měřeného na ložiskové skříni dvojkolí při průjezdu vozidla danou srdcovkou je také zajímavým parametrem, ne tolik však z hlediska amplitudy, jelikož ta je z části prezentována právě hodnotící statistickou charakteristikou.

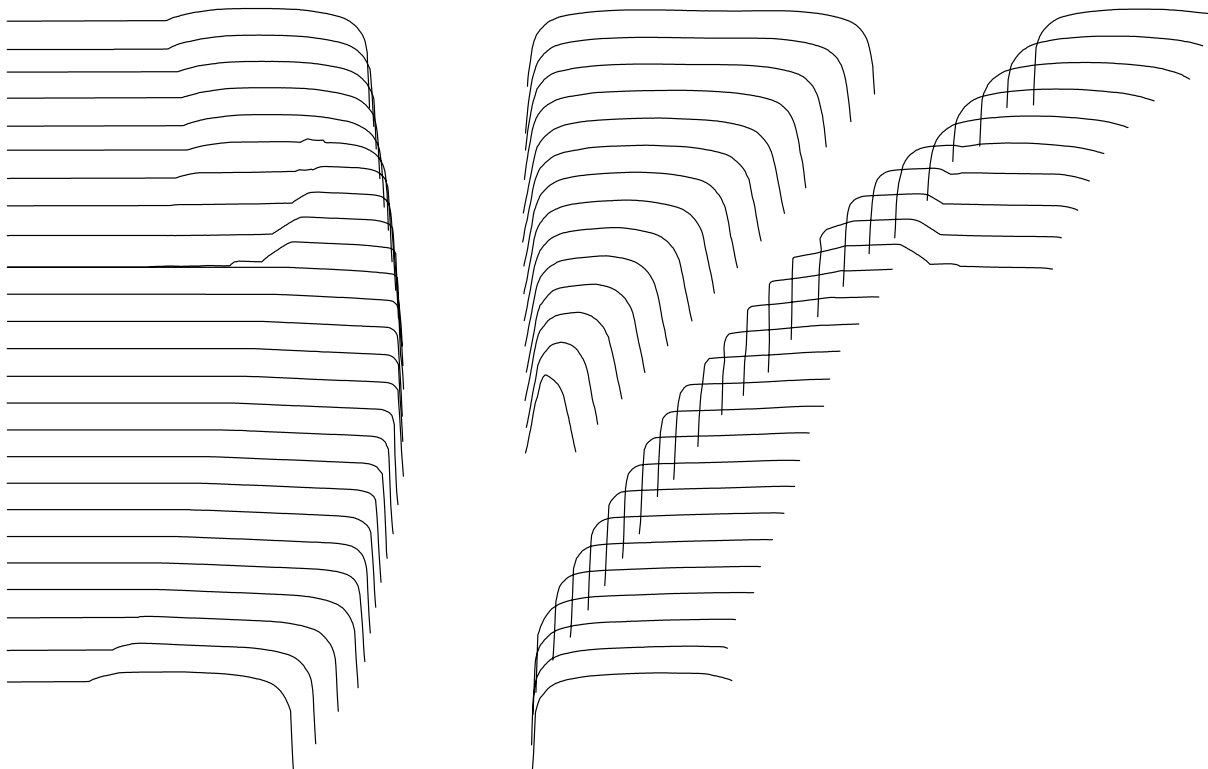
5.1.1. Měření příčných profilů srdcovky

Měření příčných profilů srdcovek se provádí pomocí profiloměru pro měření srdcovek umístěného na speciálním rámu ukotveném k srdcovce. Profiloměr je uchycen k tomuto rámu tak, aby se mohl pohybovat ve směru osy koleje za účelem měření profilů srdcovky v několika řezech. Zároveň je však zajištěno, aby svislá poloha profiloměru ve všech místech měřených profilů byla stejná. Tento měřicí systém vyvinula firma KŽV na základě podkladů z OKV KDP DFJP UPa. Samotný profiloměr pro měření srdcovek, komerční výrobek firmy KŽV, s.r.o. se používá při údržbě výhybek pro zjednodušené zjišťování opotřebení srdcovek v daných řezech. Umístění celého měřicího systému při měření je na **Obr. 19**.



Obr. 19 Systém pro měření příčných profilů srdcovek

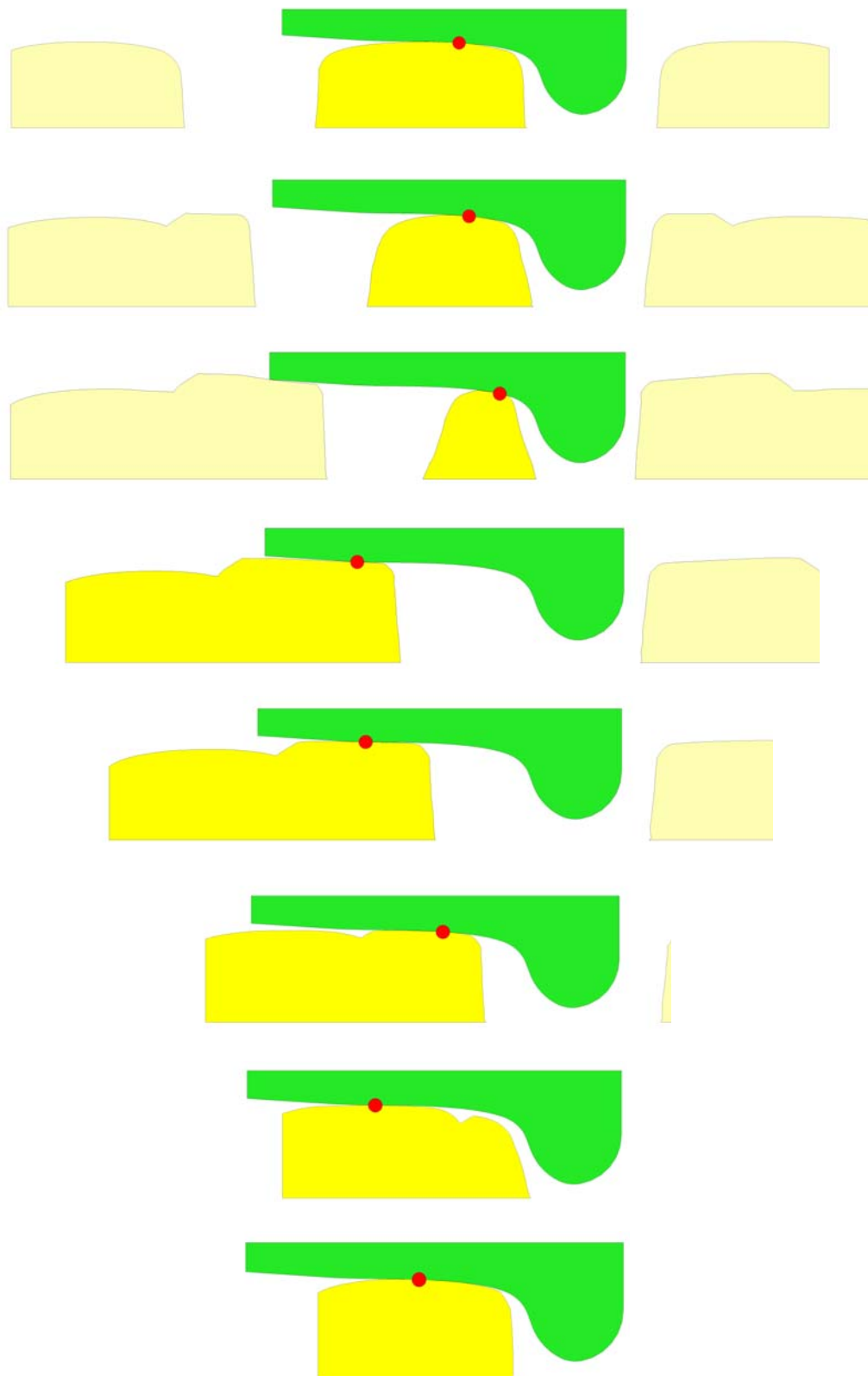
Jednotlivé příčné profily kolejnic srdcovky jsou měřeny ve vzájemné vzdálenosti 100 mm, přičemž měřeny jsou pouze v hlavní části srdcovky, kde dochází k výrazným změnám jejich tvarů. Jedná se v závislosti na typu srdcovky o úsek délky 2.5÷3 m, kde je pak naměřeno 25÷30 jednotlivých profilů. Výsledkem je tedy příslušný počet ASCII souborů se souřadnicemi bodů charakterizujícími tvar daného profilu. Na **Obr. 20** jsou po ukázkou všechny profily srdcovky změřené u jedné ze sledovaných výhybek zobrazeny ve formě neproporcionálního prostorového modelu srdcovky.



Obr. 20 Zobrazení změřených příčných profilů srdcovky

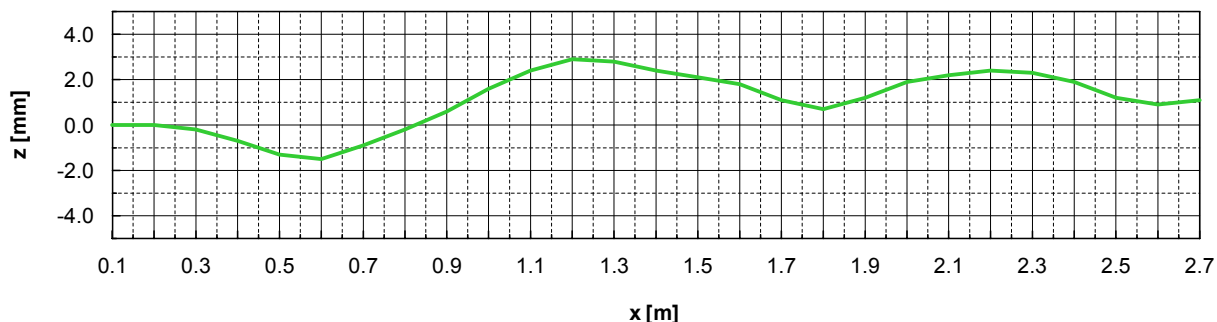
5.1.2. Vzájemný vztah příčných profilů srdcovky a jízdního obrysu kola

Právě tvarem srdcovky je dán její vzájemný kinematický vztah s kolem, přesněji řečeno jeho jízdním obrysem. Na základě svislé polohy kola vzhledem k jednotlivým příčným profilům srdcovky lze stanovit již zmíněnou podélnou trajektorii kola při průjezdu srdcovkou, která je průkazným obrazem vzájemného vztahu srdcovky a daného jízdního obrysu z hlediska svislé dynamické odezvy vozidla. Na **Obr. 21** je zobrazeno několik nebezprostředně po sobě jdoucích příčných profilů srdcovky ve vztahu k jízdnímu obrysu kola. Zřetelně je zde vidět posun dotykového bodu kola s kolejnicí po jízdním obrysu kola.



Obr. 21 Vztah jízdního obrysu kola a jednotlivých částí srdcovky

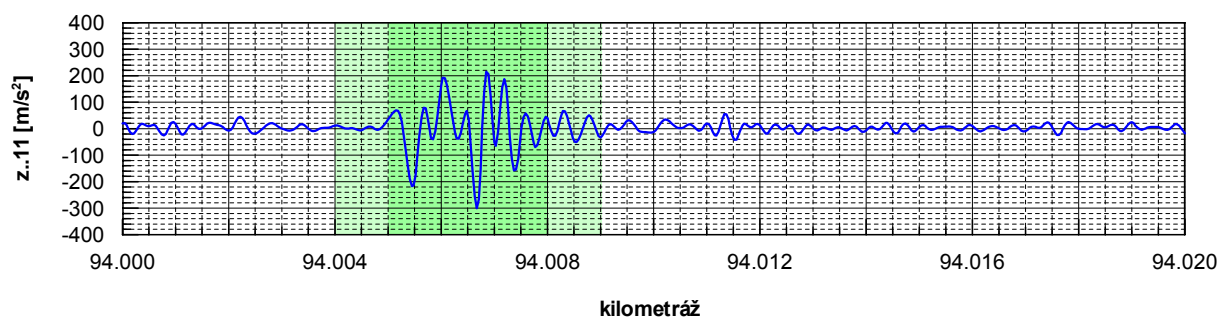
Příklad stanovené podélné trajektorie kola při průjezdu srdcovkou jedné ze sledovaných výhybek je na **Obr. 22**.



Obr. 22 Příklad podélné trajektorie kola při průjezdu srdcovkou

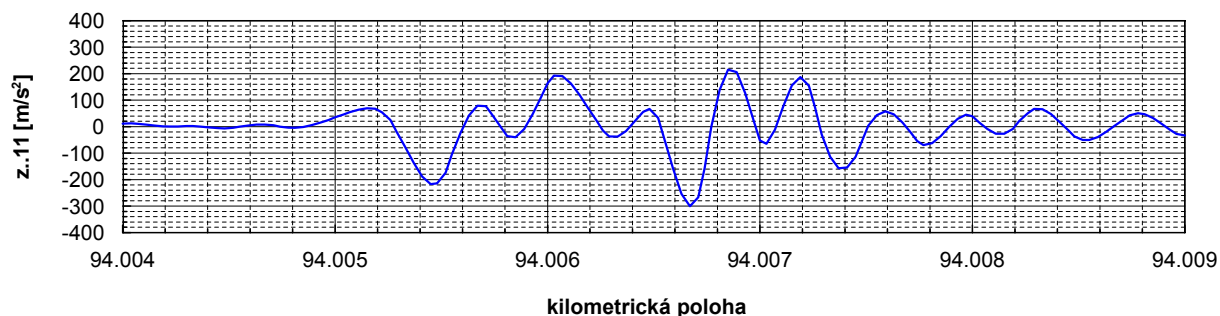
5.1.3. Tvar průběhu svislého zrychlení měřeného na ložiskové skříní dvojkolí při průjezdu srdcovkou.

Jak již bylo výše zmíněno v popisu metodiky měření a hodnocení dynamické odezvy vozidla při průjezdu výhybkami, statisticky je hodnocen 20m úsek příslušného průběhu zrychlení, který obsahuje hodnocenou kritickou část výhybky (jazyk nebo srdcovku). V případě srdcovky lze vždy ve svislém směru v tomto 20m úseku sledovat kmity o vyšších hodnotách amplitudy, které jsou způsobeny rychlými změnami svislého pohybu kola, které projíždí přes srdcovku. Princip tohoto průjezdu z hlediska kinematických podmínek ve vertikální rovině rovnoběžné s osou koleje i s možnými nepříznivými důsledky na změnu rychlou změnu svislé polohy kola byl objasněn v **kap. 0**. Při bližším pohledu na zmíněný 20m úsek průběhu zrychlení u obou sledovaných výhybek (viz **Obr. 23**) lze vypořádat, k oněm kmitům o vyšších hodnotách amplitudy dochází na dráze dlouhé 2,5÷3 m, což plně koresponduje se zjištěnými prudkými změnami svislého pohybu kola při průjezdu srdcovkou (viz obr. v kap.). Jedná se právě o úsek, kde dochází k výraznému změně příčných profilů kolejnic v srdcovce.



Obr. 23 Příklad hodnoceného průběhu zrychlení při průjezdu přes srdcovku

Pro další rozbor průběhů zrychlení na ložiskové skříní vozidla budou tedy všechny průjezdy přes srdcovku reprezentovány průběhem zrychlení na úseku o celkové délce 5 m a to z toho důvodu, aby zde bylo vždy prokazatelně zřetelné zvýšení právě amplitudy při průjezdu přes srdcovku. Zobrazení obou průběhů z **Obr. 23** na kratším 5m úseku je na **Obr. 24**.



Obr. 24 Příklad podstatné části průběhu zrychlení při průjezdu přes srdcovku (z **Obr. 23**)

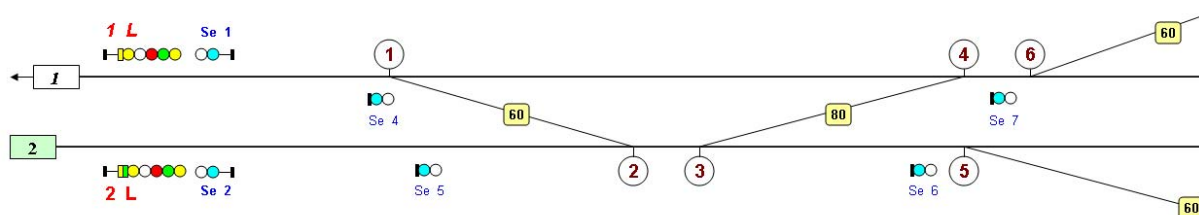
Experimentálně bylo zjištěno, že tvar průběhu svislého zrychlení měřeného na ložiskové skříní dvojkolí při průjezdu srdcovkou je pro každou srdcovku unikátní, zřejmě právě proto, že je významně závislý na vzájemném kinematickém vztahu jízdního obrysu kola a příčných profilů srdcovky. Opakovným měřením bylo dokázáno, že při průjezdu stejného vozidla za stejných podmínek stejnou srdcovkou se tento tvar téměř vůbec nemění (viz **kap. 5.3.5**).

5.2. Základní vlastnosti srdcovek dvou porovnávaných výhybek z hlediska dynamické odezvy vozidla při jejich průjezdu

V obou případech se jedná o výhybky umístěné v 2. traťové koleji břeclavských zhlaví stanic úseku I. národního koridoru Břeclav – Brno. Obě výhybky jsou přímé, v běžném provozu plnou traťovou rychlostí 160 km/h projížděné v přímém směru. Jejich odbočné větve spojují obě hlavní koleje.

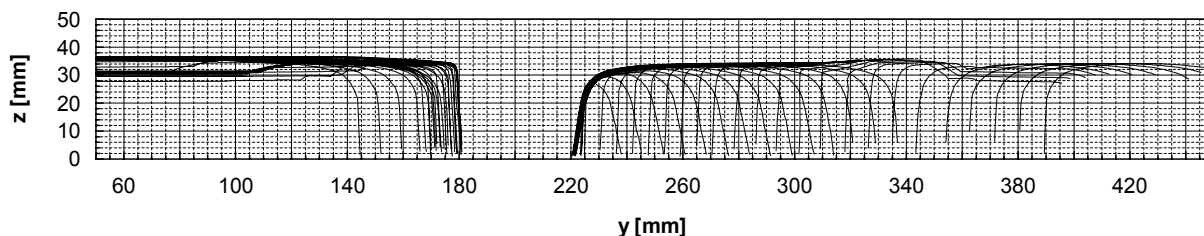
5.2.1. Výhybka č. 2 ve stanici Zaječří

Jedná se o výhybku umístěnou jako první v pořadí průjezdu po 2. staniční koleji břeclavského zhlaví ve správném směru, kdy je výhybka pojížděna po hrotu. Srdcovka je typu insert, rychlost jízdy odbočnou větví je 60 km/h. Při zkušebních jízdách jednotky 680 ve dnech 15.+19.11.2004 byla tato výhybka projížděna po hrotu maximální rychlostí 205 km/h, proti hrotu maximální rychlostí 230 km/h. Schéma umístění výhybky v břeclavském zhlaví stanice Zaječří je na **Obr. 25**.

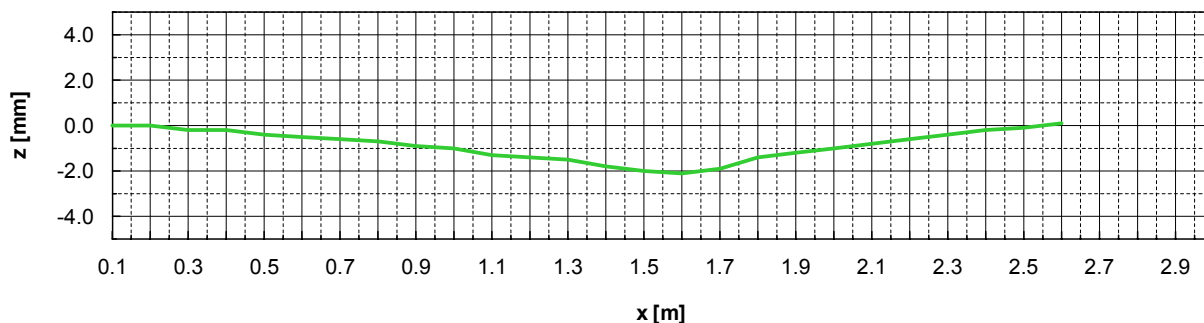


Obr. 25 Umístění výhybky č. 2 v břeclavském zhlaví stanice Zaječří

Na **Obr. 26** jsou přes sebe vykresleny příčné profily srdcovky této výhybky, na základě vzájemného kinematického vztahu s jízdním obrysem kola pak vzniká na **Obr. 27** vykreslená podélná trajektorie pohybu kola při průjezdu srdcovkou.



Obr. 26 Příčné profily srdcovky výhybky č. 2 ve stanici Zaječí

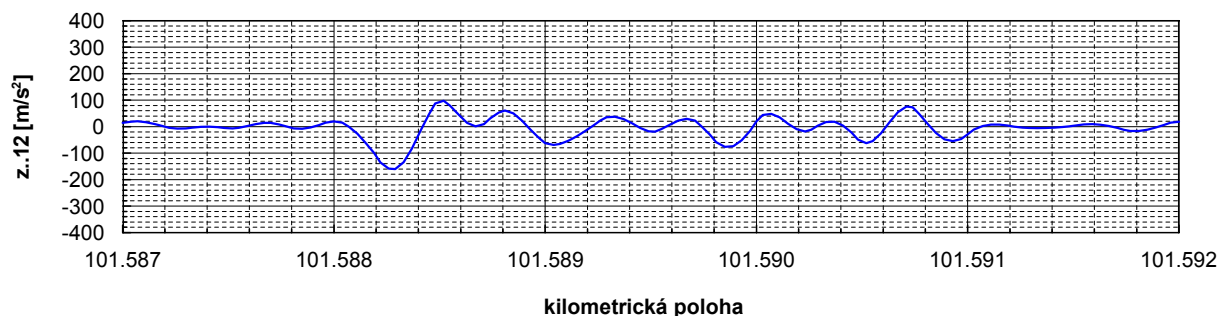


Obr. 27 Podélná trajektorie kola při průjezdu srdcovkou výhybky č. 2 ve stanici Zaječí

Porovnáním průběhu podélné trajektorie pohybu kola (viz **Obr. 27**) se vzájemným vztahem jízdního obrysu kola s jednotlivými příčnými profily srdcovky výhybky č. 2 ve stanici Zaječí lze konstatovat následující skutečnosti:

- V první fázi jízdy po křídlové kolejnici kolo velmi pomalu klesá (asi o 2 mm na celkové délce 1.5 m) vlivem pomalého postupu dotykového bodu kola s křídlovou kolejnicí po jízdním obrysu kola směrem k jeho vnější části.
- Po dotyku kola a hrotu srdcovky, pak je kolo opět díky příznivým kontaktním podmínkám s narůstajícím hrotem srdcovky velmi pomalu vyneseno do původní svislé polohy.
- Jak bude později z provedených rozborů průběhů zrychlení dokázáno, tento způsob pohybu kola při průjezdu srdcovkou je téměř ideální z hlediska požadavku na co nejmírnější dynamickou odezvu vozidla při průjezdu srdcovkou výhybky.

Podstatná část průběhu signálu svislého zrychlení měřeného na ložiskové skříni dvojkolí při průjezdu srdcovkou této výhybky je uveden na **Obr. 28**. Jedná se o zrychlení měřené na vozidle 681 001-4 při průjezdu srdcovkou rychlostí 160 km/h dne 15.11.2004. tyto údaje však v tuto chvíli nejsou podstatné jelikož se zde jedná pouze o charakter průběhu zrychlení.

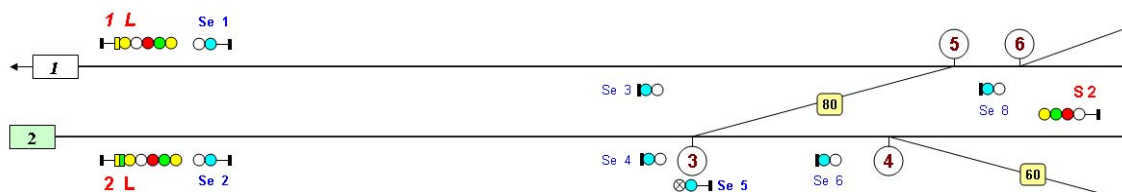


Obr. 28 Podstatná část průběhu signálu svislého zrychlení měřeného na ložiskové skříni dvojkolí při průjezdu srdcovkou výhybky č. 2 ve stanici Zaječří

Uvedená tvrzení týkající se výše uvedených optimálních kontaktních podmínek kola a příslušných částí srdcovky, které jsou pak důsledkem velmi klidného průjezdu dvojkolí srdcovkou z hlediska jeho svislého pohybu plně korespondují s průběhem svislého zrychlení měřeného na ložiskové skříni dvojkolí při průjezdu srdcovkou této výhybky, kde se objevuje pouze jeden větší kmit s rozkmitem zdaleka nedosahujícím hodnot u srdcovek jiných výhybek.

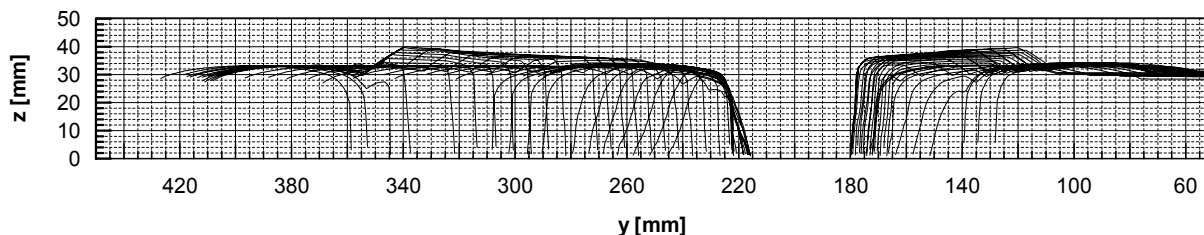
5.2.2. Výhybka č. 3 ve stanici Šakvice

Jedná se o výhybku umístěnou jako první v pořadí průjezdu po 2. staniční koleji břeclavského zhlaví ve správném směru, kdy je výhybka pojížděna proti hrotu. Srdcovka je typu insert, rychlost jízdy odbočnou větví je 80 km/h. Při zkušebních jízdách jednotky 680 ve dnech 15.+19.11.2004 byla tato výhybka projížděna po hrotu maximální rychlostí 228 km/h, proti hrotu maximální rychlostí 224 km/h. Schéma umístění výhybky v břeclavském zhlaví stanice Šakvice je na **Obr. 29**.

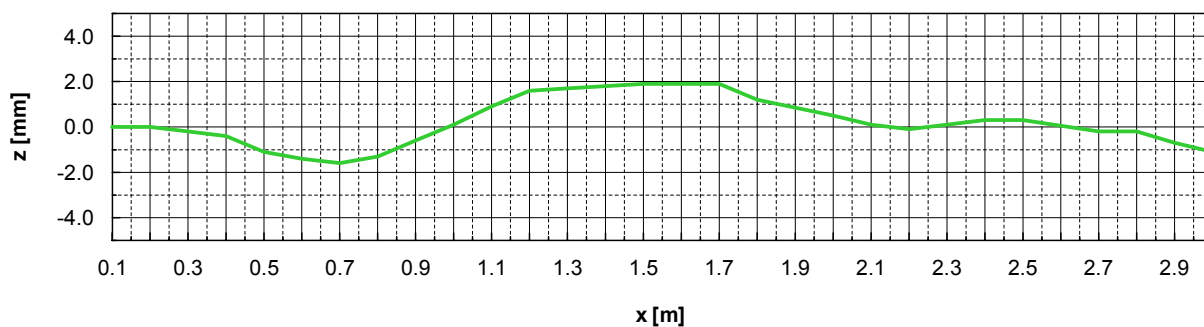


Obr. 29 Umístění výhybky č. 3 v břeclavském zhlaví stanice Šakvice

Na **Obr. 30** jsou přes sebe vykresleny příčné profily srdcovky této výhybky, na **Obr. 31** je pak vykreslená podélná trajektorie pohybu kola při průjezdu srdcovkou.



Obr. 30 Příčné profily srdcovky výhybky č. 3 ve stanici Šakvice

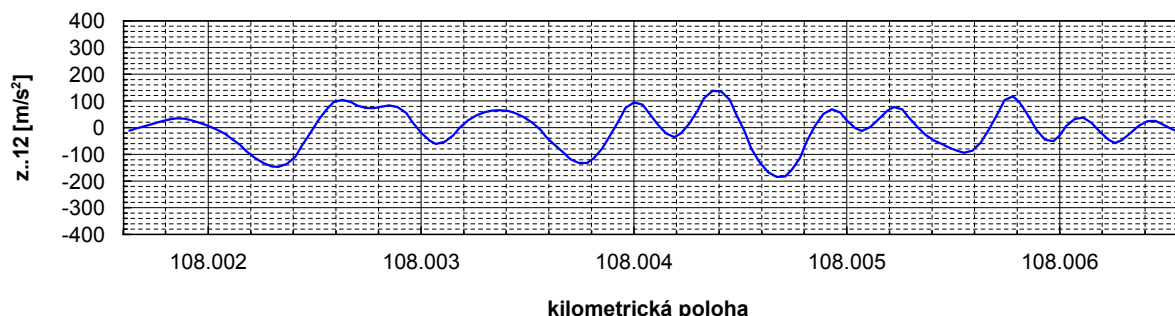


Obr. 31 Podélná trajektorie kola při průjezdu srdcovkou výhybky č. 3 ve stanici Šakvice

Porovnáním průběhu podélné trajektorie pohybu kola (viz **Obr. 31**) se vzájemným vztahem jízdního obrysu kola s jednotlivými příčnými profily srdcovky výhybky č. 3 ve stanici Šakvice lze konstatovat následující skutečnosti:

- V první fázi jízdy po křídlové kolejnici kolo poklesne asi o 1.5 mm vlivem postupu dotykového bodu kola s křídlovou kolejnicí po jízdním obrysu kola směrem k jeho vnější části.
- Následně dochází k poměrně prudkému vynesení kola (asi o 3 mm na dráze 0.5 m), které je zapříčiněno prudkým posunem dotykového bodu v opačném směru po jízdním obrysu kola. Tento prudký posun je důsledkem nástupu zřetelně viditelného nadvýšení křídlové kolejnice (viz obr. 1), přičemž právě díky následně postupně narůstajícímu nadvýšení křídlové kolejnice nedochází v další fázi k prudkému poklesu kola vlivem postupu dotykového bodu po jeho jízdním obrysu směrem vně. To platí ale jen do určitého místa, což již je zřejmě způsobeno opotřebením křídlové kolejnice.
- Nicméně kontakt kola s hrotem srdcovky je přesto plynulý, stejně jako následná jízda po hrotu srdcovky při nárůstu jeho příčného profilu doprovázeném opět posunem dotykového bodu po jízdním obrysu, a to od konce jeho okolkové části směrem k roztečné kružnici.

Podstatná část průběhu signálu svislého zrychlení měřeného na ložiskové skříně dvojkolí při průjezdu srdcovkou této výhybky je uveden na **Obr. 32**.



Obr. 32 Podstatná část průběhu signálu svislého zrychlení měřeného na ložiskové skříni dvojkolí při průjezdu srdcovkou výhybky č. 3 ve stanici Šakvice

Jak je patrné z průběhu signálu svislého zrychlení měřeného na ložiskové skříni dvojkolí při průjezdu srdcovkou této výhybky, v důsledku poměrně neklidného svislého pohybu kola při průjezdu srdcovkou je i vyšší hodnota rozkmitů, jichž je v tomto případě při průjezdu přes srdcovku hned několik.

5.3. Základní popis parametrů experimentálních vozidel projíždějících výhybkami při měření zrychlení na ložiskových skříních dvojkolí

Měření zrychlení za účelem zjištění dynamických účinků vozidla při průjezdu sledovanými výhybkami byla v letech 2004+2007 byla realizována na několika typech vozidel. Právě variabilita a tím různorodost klíčových parametrů měřených vozidel dávají možnost sledovat dynamické účinky vozidla při průjezdu výhybkou i z tohoto hlediska. Jedná se zejména o parametry přímo související se vzájemným vztahem vozidla a koleje jakými jsou nápravové zatížení, stav dvojkolí (základní míry a tvar jízdních obrysů kol) a též koncepce pojezdu vozidla. Z hlediska dynamických účinků vozidla ve svislém směru pak bude hrát zřejmě nejvýznamnější roli nápravové zatížení.

5.3.1. Elektrická lokomotiva řady 263

Jedná se o čtyřnápravovou lokomotivu o výkonu 3060 kW určenou pro provoz na tratích elektrifikovaných střídavou soustavou 25 kV 50 Hz. Byla vyrobena v roce 1984 pod továrním označením 70 E 0 a patří k tzv. II. generaci lokomotiv vyrobených v podniku ŠKODA Plzeň v osmdesátých letech minulého století spolu s lokomotivami řad 162, 163, 362 a 363, čemuž odpovídá i koncepce pojezdu lokomotivy – vypružení prostřednictvím šroubových pružin v primárním i sekundárním vypružení, vedení ložiskových skříní dvojicí svislých čepů, uložení skříně na podvozcích pomocí podvlečeného



Obr. 33 Elektrická lokomotiva 263001-0

příčniku. Služební hmotnost lokomotivy je 84.2 t, což činí nápravovou hmotnost 21 t, maximální rychlost 120 km/h. Měření bylo realizováno na lokomotivě 263 001-0.

5.3.2. Hlavový vůz řady 681 elektrické jednotky řady 680 „Pendolino“

Jedná se o jeden ze dvou hlavových vozů sedmivozové třísystemové elektrické jednotky o výkonu 4000 kW s hydraulicky poháněným naklápěcím mechanismem. Jednotka určená pro provoz na tratích elektrifikovaných střídavými soustavami 25 kV 50 Hz, 15 kV 16 $\frac{2}{3}$ Hz a stejnosměrnou soustavou 3 kV byla vyrobena v roce 2003 firmou ALSTHOM Ferroviaria. Její služební hmotnost je 377 t a maximální rychlost 230 km/h. Služební hmotnost hlavového vozu 681 je 56.4 t, což činí přibližně 14 t na nápravu.



Obr. 34 Jednotka řady 680

Vyjma trakčních komponentů a součástí brzdy mají všechny podvozky jednotky shodnou koncepci – vypružení prostřednictvím šroubových pružin v duplexním uspořádání v primárním i sekundárním stupni vypružení, vedení ložiskových skříní dvojicí podélných ojníc, bezkolébkové uložení skříně na podvozcích prostřednictvím čtveřice flexicoil pružin. Měření bylo realizováno na hlavovém vozidle 681 001-4.

5.3.3. Měřicí vůz pevných trakčních zařízení

Jedná se měřicí vůz TÚČD Praha, sekce elektrotechniky a energetiky se sídlem v Bohumíně. Vůz, který nese označení MVPTZ 96/ Bdmee 84 vznikl v roce 1991 rekonstrukcí osobního vozu řady BDbmsee vyrobeného závodem WEB Wagonbau Bautzen v roce 1987. Maximální rychlost vozu je 160 km/h a jeho služební hmotnost 44 t, což činí 11 t na nápravu. Skříně typu X je uložena prostřednictvím kolébků na podvozcích typu GP 200,

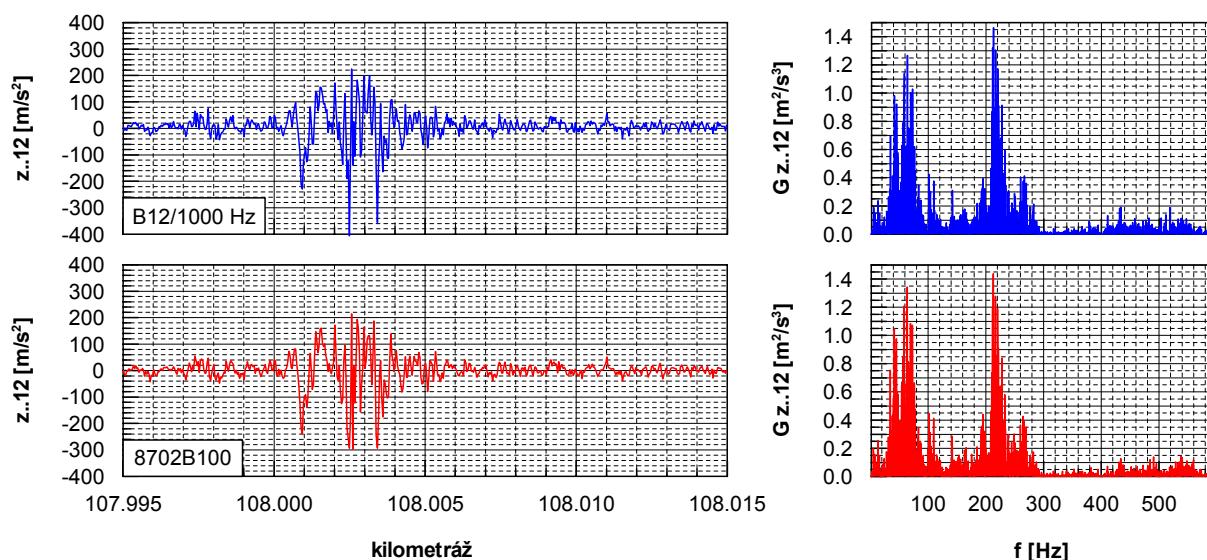


Obr. 35 Měřicí vůz pevných trakčních zařízení

jež mají vypružení prostřednictvím šroubových pružin v duplexním uspořádání v primárním i sekundárním stupni vypružení a vedení ložiskových skříní vnitřním sklolaminátovým pasem.)

5.3.4. Odlišné principy snímání zrychlení na ložiskové skříní vozidla

Nejen za účelem možnosti již zmíněné náhrady měřicího systému HBM s induktivními snímači zrychlení, ale též z důvodu potvrzení nezávislosti použité metody měření na druhu měřicí techniky bylo v rámci jednoho z mnoha realizovaných měření zrychlení na ložiskových skříních dvojkolí za účelem zjištění dynamické odezvy vozidla při průjezdu výhybkami provedeno porovnávací měření dvou odlišných systémů měření se zaměřením na použitý typ snímače. Na stejný přípravek upevněný k ložiskové skříní byl v opačném směru k induktivnímu snímači HBM B12/1000 Hz umístěn snímač Kistler 8702B100. Tímto způsobem bylo otestováno několik měřicích míst. Snímače Kistler byly připojeny přes vlastní zesilovače do měřicí ústředny HBM.

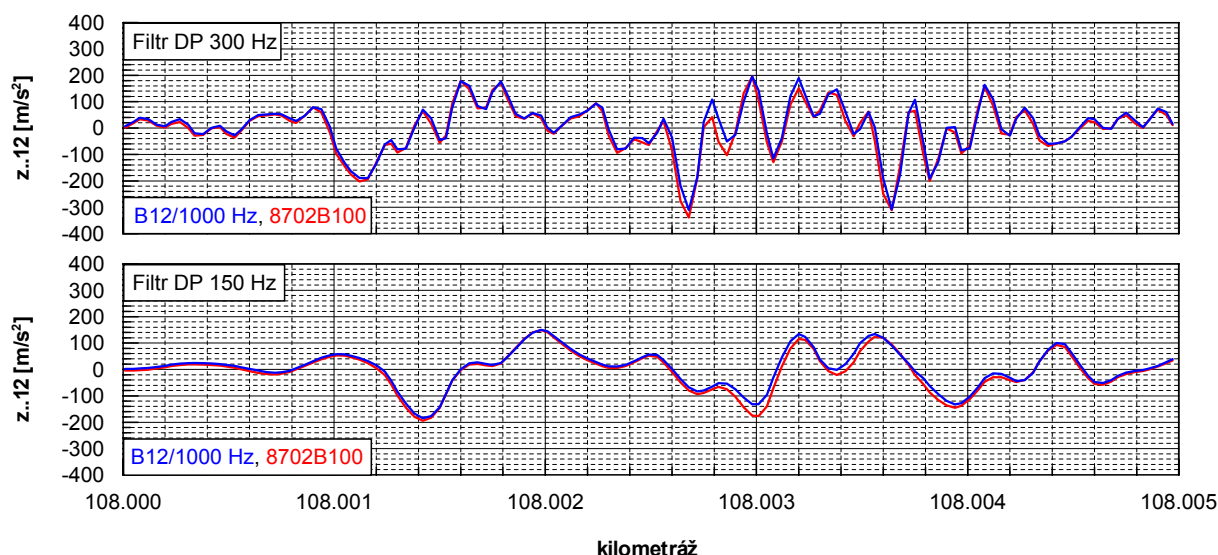


Obr. 36 Porovnání průběhů zrychlení a spektrální výkonové hustoty tohoto zrychlení měřených na stejném místě ložiskové skříně dvěma různými typy snímačů při průjezdu srdcovkou

Na **Obr. 36** jsou zobrazeny v levé části průběhy zrychlení zaznamenané oběma typy snímačů při průjezdu 20m úsekem, kde se nachází oblast srdcovky. V pravé části je pak vykreslen průběh spektrální výkonové hustoty zrychlení vypočtené právě ze zobrazeného úseku. Právě průběh spektrální výkonové hustoty zrychlení je velmi důležitým porovnávacím měřítkem z toho důvodu, že snímače Kistler mají o řád vyšší vlastní frekvenci v porovnání se snímači B12. Pakliže totiž na základě frekvenční charakteristiky snímače HBM je možné dále studovat děje s maximální frekvencí 300 Hz, což je i limitujícím faktorem pro filtraci tohoto signálu, pak právě průběh spektrální výkonové hustoty je závazný také pouze do 300 Hz. Děje s frekvencemi nad 300 Hz, v případě, že byly nastavenou vzorkovací frekvencí zaznamenány nejsou popsány z hlediska průběhu zrychlení přesně. Jak je možné si však

z **Obr. 36** povšimnout, největší výkon je zaznamenán v obou případech u frekvencí do 300 Hz a i skutečnost, že snímač HBM B12/1000 Hz zkresluje děje vyšších frekvencí se neprojevuje v odlišnosti obou průběhů spektrálních výkonových hustot, jelikož výkon těchto frekvencí je minimální.

I přes výše uvedené skutečnosti je možné porovnávat pouze průběhy signálů, které jsou zaručeně měřeny s deklarovanou přesností. S ohledem na frekvenční charakteristiku snímače HBM B12/1000 Hz, je nutné oba průběhy zrychlení filtrovat dolnoproputným filtrem s maximální úrovní 300 Hz (viz horní graf na **Obr. 37**), ale vzhledem k tomu, že pro hodnocení jsou tyto průběhy filtrovány dolnoproputným filtrem s maximální úrovní 150 Hz je vhodné provést porovnání průběhů i pro takto filtrované průběhy (viz spodní graf na **Obr. 37**),



Obr. 37 Porovnání průběhu zrychlení měřeného dvěma odlišnými typy snímačů při průjezdu srdcovkou výhybky

Zcela průkazné pokud se jedná o posouzení vlivu různého typu měřicí techniky na výsledky dynamické odezvy vozidla při průjezdu výhybkou je pak porovnání konečných výsledků, tedy hodnot statistických charakteristik vypočtených z průběhů signálů, které je pro uvedené signály filtrované dolnoproputným filtrem 300 Hz i 150 Hz v **Tab. 2**.

Tab. 2 Porovnání variačního rozpětí kvantilů obou druhů snímačů při průjezdu přes srdcovku

Typ snímače	Filtr DP 300 Hz	Filtr DP 150 Hz
Induktivní B12/1000 Hz	504 m/s ²	333 m/s ²
Piesoelektrický 8702B100	526 m/s ²	339 m/s ²

Na základě výše uvedených skutečností lze tedy konstatovat, že výsledky zjišťování dynamické odezvy vozidla při průjezdu výhybkou nelze ovlivnit typem použitého snímače

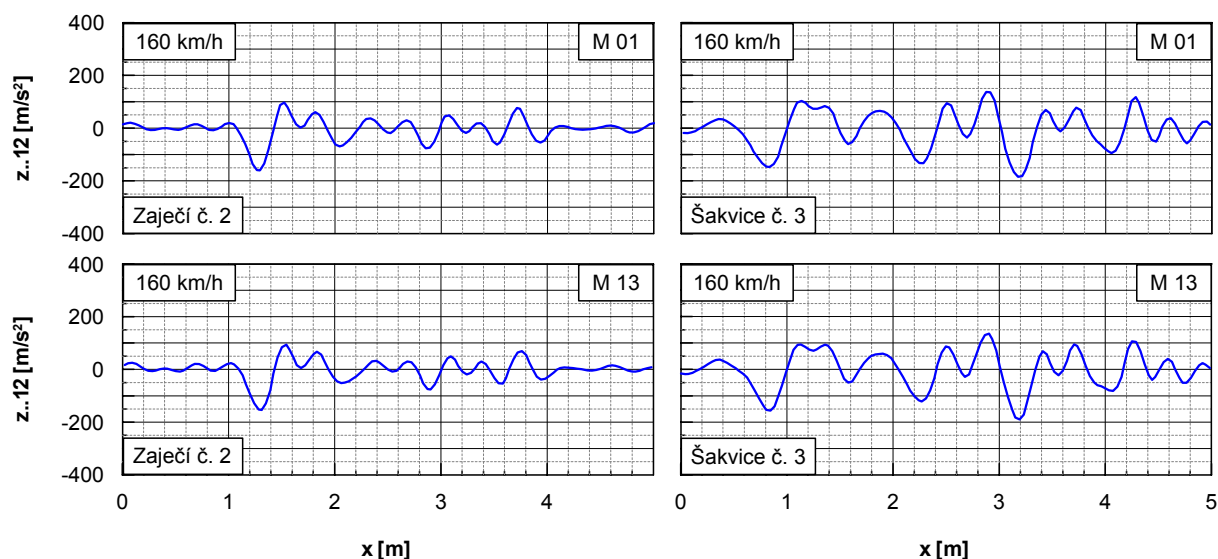
zrychlení jak z hlediska jeho principu snímání této veličiny, tak i z hlediska frekvenční charakteristiky snímače.

5.3.5. Odlišnost průběhů zrychlení na ložiskové skřini vozidla měřených za stejných podmínek

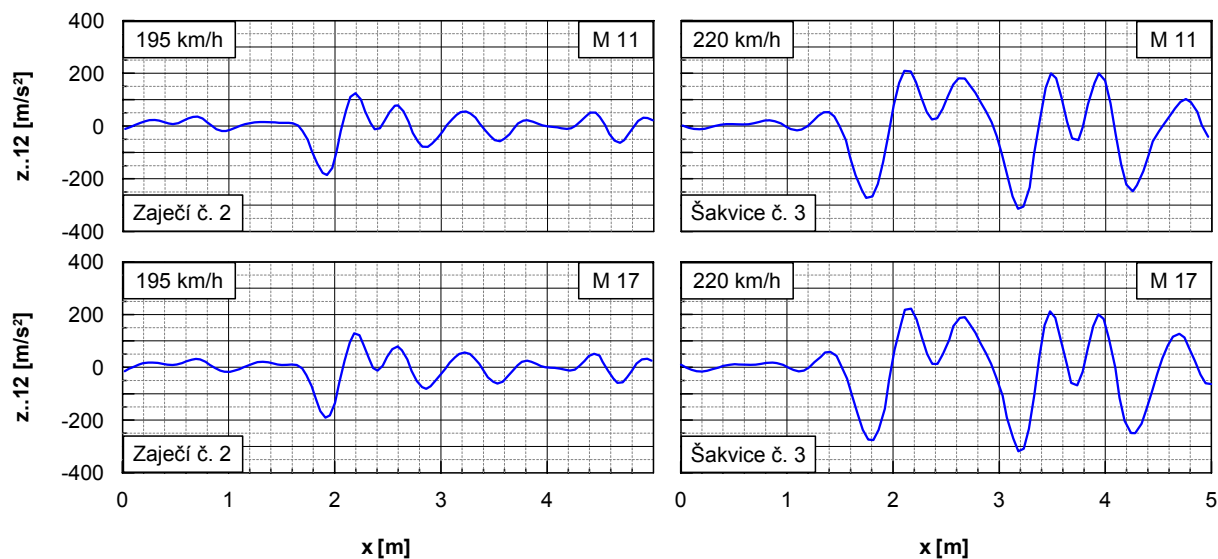
Dříve než budou provedeny rozsáhlejší rozborů vlivů různě odlišných podmínek průjezdu srdcovkou na průběh signálu zrychlení, je nutné analyzovat proměnlivost průběhu zrychlení při průjezdu toutéž srdcovkou za dodržení stejných podmínek (vozidlo, směr, rychlost). Bylo-li by zjištěno, že při každém průjezdu je tvar průběhu signálu zrychlení odlišný (např. z důvodu již zmiňované různé příčné polohy kola vzhledem k srdcovce), pak by nemělo smysl ani analyzovat vlivy další, jelikož bychom nebyli schopni odstranit prvotní příčinu různorodosti tohoto průběhu. Tato analýza bude provedena pro obě již charakterizované výhybky a to zároveň i v závislosti na různé rychlosti jejich průjezdu.

Zrychlení ve svislém směru

Na **Obr. 38** jsou vyobrazeny vždy dva průběhy signálů zrychlení měřených na ložiskové skřini vozidla při průjezdu oběma výhybkami rychlostí 160 km/h, na **Obr. 39** pak rychlostí 195 km/h (v případě výhybky č. 2 ve stanici Zaječí) a 220 km/h (v případě výhybky č. 3 ve stanici Šakvice) při opakovaných jízdách za dodržení stejných podmínek.



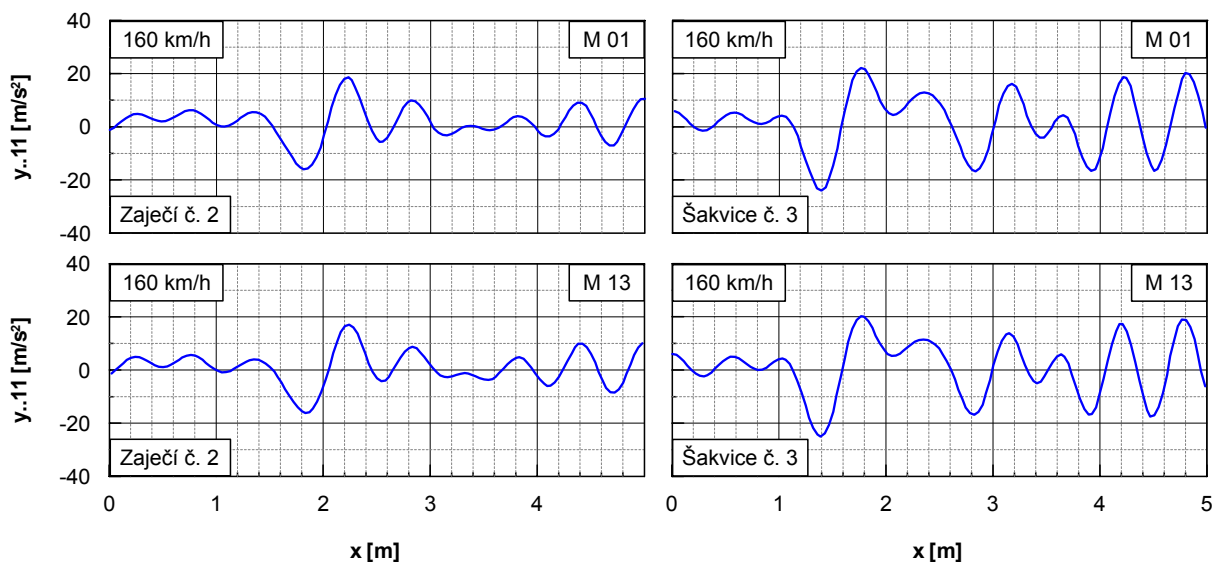
Obr. 38 Průběhy zrychlení měřeného na ložiskové skřini dvojkolí v svislém směru při opakovaném průjezdu vozidla srdcovkou rychlostí 160 km/h za stejných podmínek



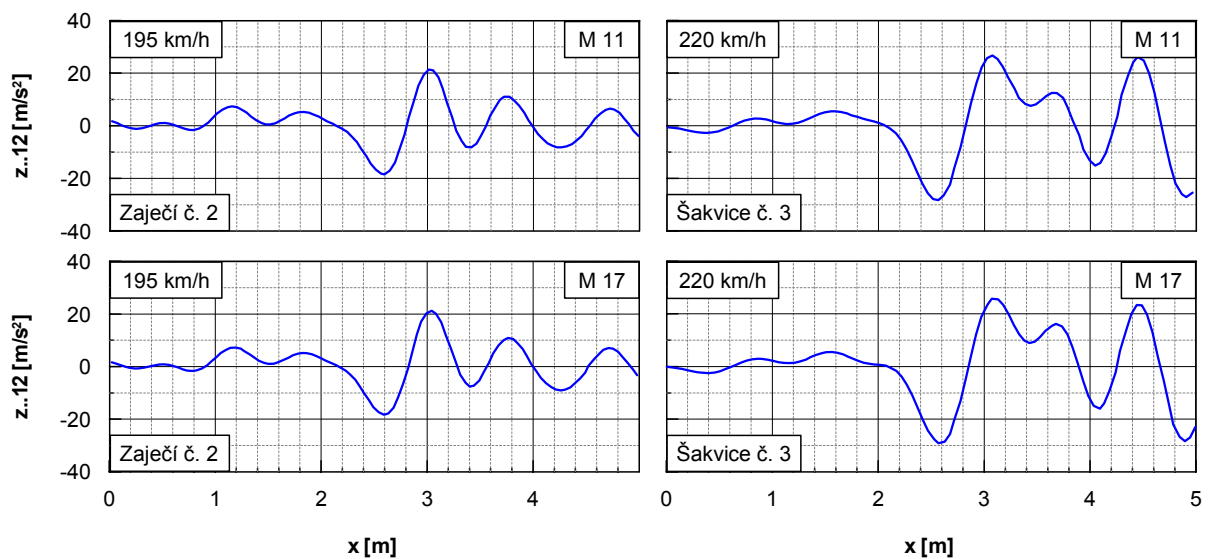
Obr. 39 Průběhy zrychlení měřeného na ložiskové skříni dvojkolí v svislém při opakovaném průjezdu vozidla srdcovkou rychlostmi 195 km/h a 220 km/h za stejných podmínek

Zrychlení v příčném směru

Na **Obr. 40** jsou vyobrazeny vždy dva průběhy signálů zrychlení měřených na ložiskové skříni vozidla při průjezdu oběma výhybkami rychlostí 160 km/h, na **Obr. 41** pak rychlostí 220 km/h při opakovaných jízdách za dodržení stejných podmínek.



Obr. 40 Průběhy zrychlení měřeného na ložiskové skříni dvojkolí v příčném směru při opakovaném průjezdu vozidla srdcovkou rychlostí 160 km/h za stejných podmínek



Obr. 41 Průběhy zrychlení měřeného na ložiskové skříni dvojkolí v příčném směru při opakovaném průjezdu vozidla srdcovkou rychlostmi 195 km/h a 220 km/h za stejných podmínek

Z grafů na **Obr. 38**, **Obr. 39**, **Obr. 40** a **Obr. 41** je patrné, že průběh zrychlení měřený na ložiskové skříni vozidla je velmi spolehlivý parametr pro hodnocení dynamické odezvy vozidla při průjezdu srdcovkou, jelikož při opakování procesu se nemění a není tak zatížen žádnými dalšími náhodnými procesy, a to bez ohledu na rychlost průjezdu srdcovkou jak dokazují oba uvedené obrázky.

Na základě uvedených výsledků rozboru odlišnosti průběhů zrychlení při stejných podmínkách průjezdu srdcovkou je možné pokračovat v dalších analýzách vlivu ostatních podmínek průjezdu na průběh zrychlení.

5.3.6. Filtrace průběhů zrychlení na ložiskové skříni dvojkolí

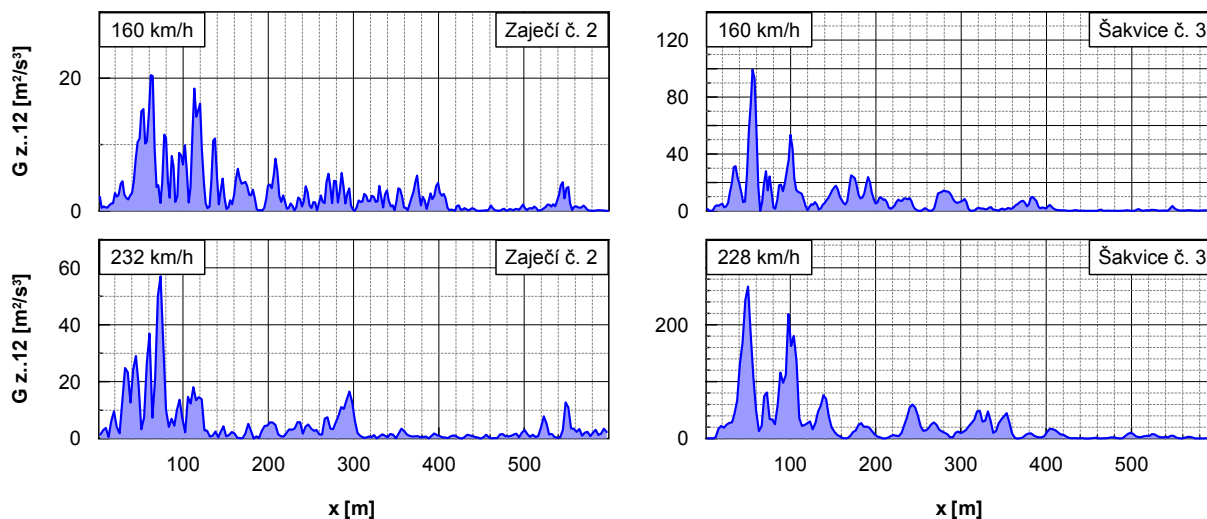
Při volbě hodnoty úrovně použitého filtru je základním kritériem k posuzování průběhů spektrální výkonové hustoty dané veličiny. Tato je vždy stanovena z nefiltrovaného průběhu signálu, který však s ohledem na frekvenční charakteristiku použitého snímače nemusí být pro průběh dané veličiny směrodatný, pak i průběh spektrální výkonové hustoty stanovený ze záznamu této veličiny může být zejména v oblasti vyšších frekvencí zkreslen. Vzhledem k tomu, že pro měření ve svislém a příčném směru jsou používány odlišné typy snímačů z hlediska jejich frekvenční charakteristiky a navíc charaktery průběhu obou veličin jsou odlišné bude dále analýza za účelem volby vhodného filtru provedena zvlášť pro průběh zrychlení ve svislém směru a zvlášť ve směru příčném.

Zrychlení ve svislém směru

U svislého zrychlení na ložiskové skříni dvojkolí při průjezdu výhybkou měřeného snímači typu HBM B12 je tento jev téměř nepozorovatelný, jak bylo prezentováno v **kap. 5.3.4**. Je tedy v tomto případě možné se spolehnout na průběh spektrální výkonové hustoty zrychlení měřeného na ložiskové skříni dvojkolí snímači HBM typu B12 v plném

rozsahu frekvenčního spektra. Pro stanovení úrovně filtru je však nezbytné zjistit průběhy spektrální výkonové hustoty zrychlení měřeného na ložiskové skříni dvojkolí za odlišných podmínek měření, které by mohly mít na tento průběh vliv. Jedná se zejména o různou rychlost průjezdu výhybkou a různé výhybky lišící se právě charakterem průběhu zrychlení měřeného na ložiskové skříni vozidla. Porovnání průběhů spektrální výkonové hustoty zrychlení při průjezdu dvěma výhybkami dvěma různými rychlostmi a vozidly zároveň je na **Obr. 42**. Další průběhy spektrální výkonové hustoty zjištěné při průjezdu těmito výhybkami např. opačným směrem či jinými vozidly jsou uvedeny v **příloze č. 2.1**.

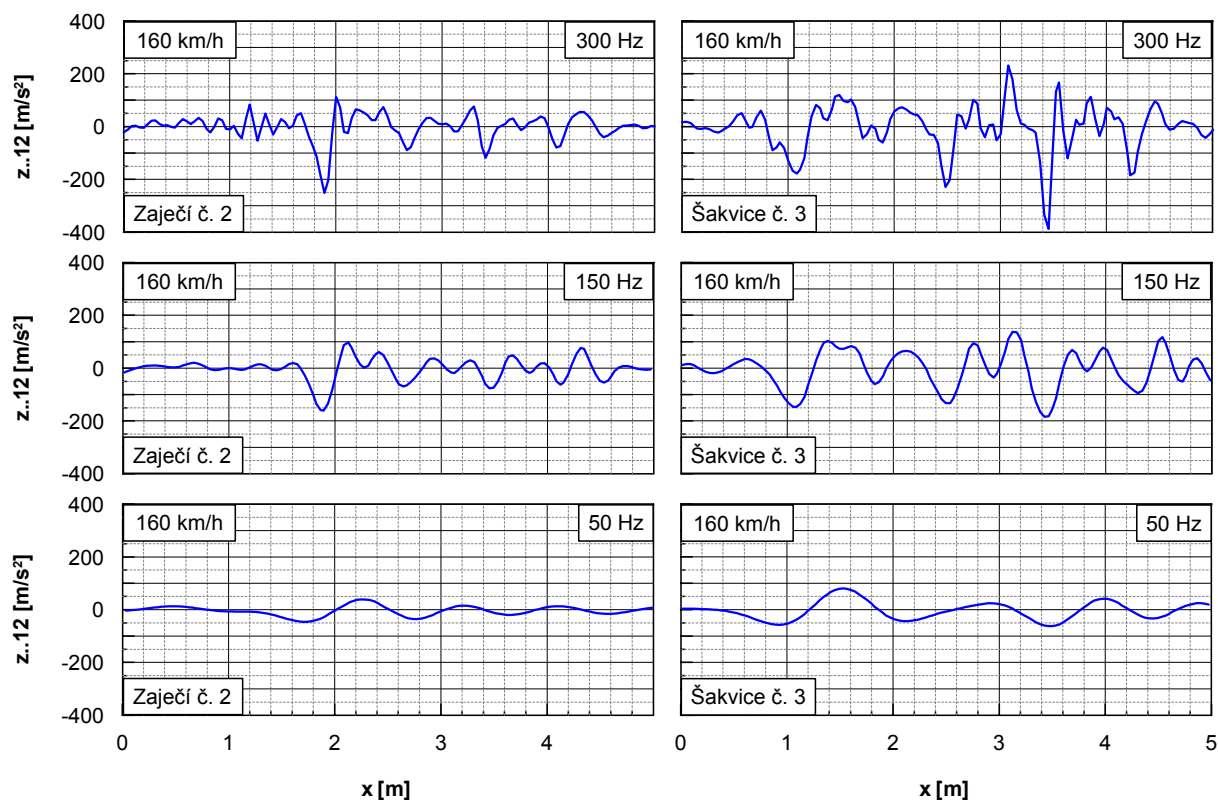
V souvislosti s různou rychlostí a stále stejnou vzorkovací frekvencí záznamu dat je nutné však ještě brát v úvahu další skutečnost. Z hlediska vzorkování dat při měření v závislosti na ujeté vzdálenosti se počet vzorků zaznamenaných na stejné vzdálenosti s rostoucí rychlostí zmenšuje, jinými slovy se prodlužuje vzdálenost mezi jednotlivými vzorky. Při rychlosti 160 km/h je vzdálenost jednotlivých vzorků 37 mm, při rychlosti 200 km/h je to již 46 mm a při maximální rychlosti 232 km/h, která je hodnocena pak 54 mm. Tato skutečnost může rovněž ovlivnit nejen tvar průběhu zrychlení, protože při průjezdu srdcovkou se velmi rychle mění kontaktní podmínky, ale rovněž je nutno toto uvážit při výběru vhodného filtru. Významné frekvence, které jsou při nižší rychlosti pod úrovní tohoto filtru mohou být při vyšší rychlosti již nad touto úrovní a tedy odfiltrovány. Pak by případné hodnocení dynamické odezvy vozidla v souvislosti se zvyšující se rychlostí mohlo být velmi zkreslené a zavádějící.



Obr. 42 Porovnání průběhů spektrální výkonové hustoty svislého zrychlení měřeného na ložiskové skříni dvojkolí při průjezdu srdcovkou

Na základě všech průběhů spektrální výkonové hustoty na **Obr. 42** lze konstatovat, že u všech případů je frekvence vykazující největší výkony v pásmu do 150 Hz a frekvence nad 300 Hz jsou pak již z hlediska svého výkonu téměř bezvýznamné. Hodnota úrovně filtru 300 Hz navíc odpovídá i nejvyšší možné úrovni z hlediska frekvenční charakteristiky snímače HBM B12/1000 Hz, hodnota 150 Hz zase odpovídá nejvyšší možné úrovni z hlediska frekvenční charakteristiky snímače HBM B12/500 Hz. Obecně lze na základě těchto výsledků konstatovat, že pro měření zrychlení ve svislém směru na ložiskové skříni vozidla při průjezdu výhybkou je žádoucí provádět pomocí snímačů zrychlení, jejichž

frekvenční charakteristika dovoluje filtrovat měřené signály dolnoproputním filtrem s hodnotou úrovně minimálně 300 Hz. Při nižší úrovni zde vzniká riziko ztráty popisu dějů, které mají v měřeném signálu znatelný výkon.

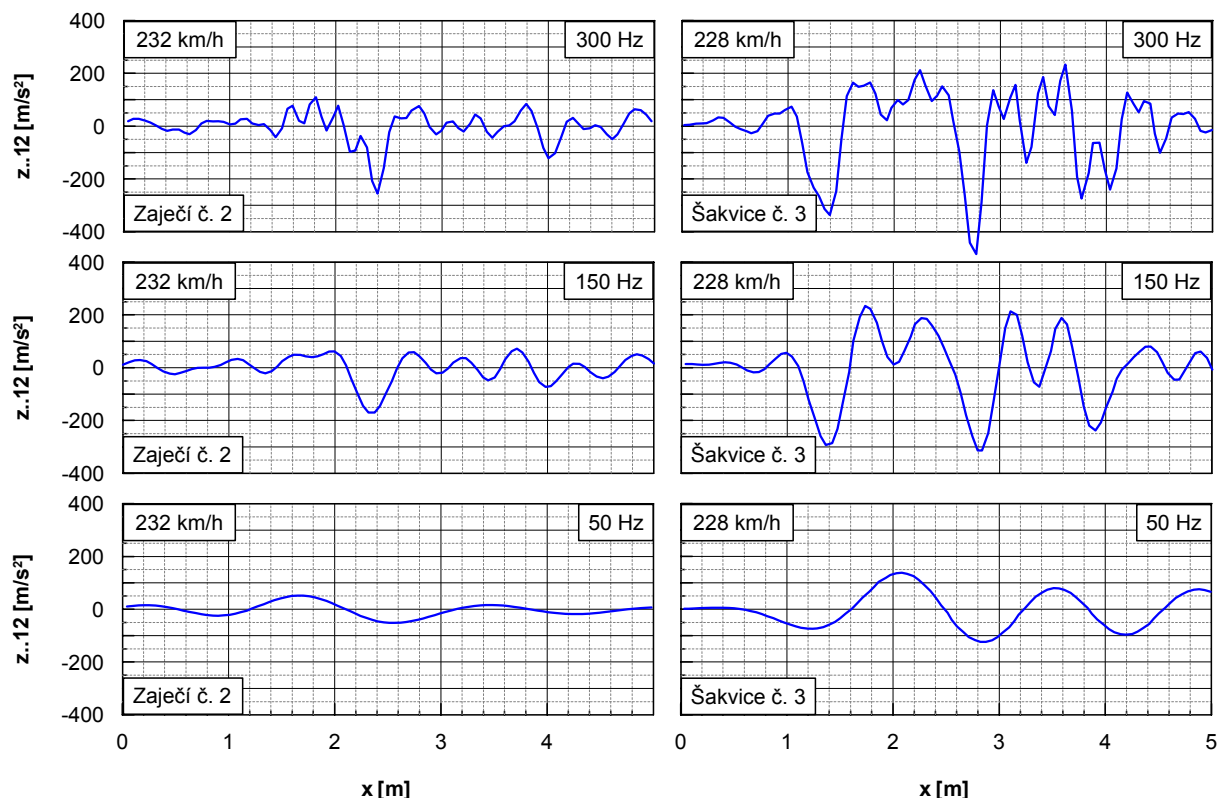


Obr. 43 Porovnání filtrovaných průběhů zrychlení s různou hodnotou úrovně filtru při průjezdu srdcovkou rychlostí 160 km/h

Pro důkladnou analýzu vedoucí ke stanovení optimální hodnoty filtru je nutné rovněž posoudit tvar křivek průběhů signálů zrychlení vzniklých po filtraci různou hodnotou dolnoproputního filtru. Na obr. **Obr. 43** jsou zobrazeny průběhy zrychlení na ložiskové skříni dvojkolí při průjezdu vozidla sledovanými srdcovkami filtrované různou hodnotou úrovně filtru 300, 150 a 50 Hz, a to rovněž při různých rychlostech.

Zde se projevuje další skutečnost, jež nelze ze spektrální výkonové hustoty odhalit a to je vyhlazenost signálu. Obecně platí pravidlo, že pro dostatečně podrobný popis děje s danou frekvencí je nutné tento děj zaznamenávat se vzorkovací frekvencí $8 \div 10 \times$ vyšší. Tuto podmínku však nespĺňuje filtr DP 300 Hz, jelikož vzorkovací frekvence je pouhým čtyřnásobkem hodnoty úrovně filtru. A právě tato skutečnost se projeví na tvaru signálu, který pak není dostatečně vyhlazený a tedy děje s frekvencemi vyššími ($150 \div 300$ Hz) nejsou dostatečně podrobně popsány.

Naopak příliš nízká filtrovací frekvence (50 Hz – **Obr. 43** spodní grafy) zase způsobí ztrátu specifického tvaru průběhu zrychlení při průjezdu srdcovkou, kdy v průběhu zůstanou pouhé jednoduché téměř harmonické kmity, což je z hlediska analýzy dynamické odezvy vozidla při průjezdu různými typy výhybek zcela nevhodné, protože jednotlivé průběhy by již od sebe nebylo možné odlišit.



Obr. 44 Porovnání filtrovaných průběhů zrychlení s různou hodnotou úrovně filtru při průjezdu srdcovkou rychlostí cca 230 km/h

Jako optimální se tedy jeví hodnota úrovně dolnoproústního filtru 150 Hz, kdy průběh je již díky dostatečně nízké úrovni s ohledem na vzorkovací frekvenci dostatečně vyhlazen, ale zároveň si zachovává svůj specifický průběh.

Do budoucna v souvislosti s přechodem na nový měřicí systém s vysokofrekvenčními snímači Kistler a výkonnější měřicí ústřednou je možné se též zabývat přínosem zvýšení vzorkovací frekvence na 3000 Hz, čímž bude možné obdržet optimálně vyhlazený průběh zrychlení filtrovaný dolnoproústním filtrem s úrovní o hodnotě 300 Hz.

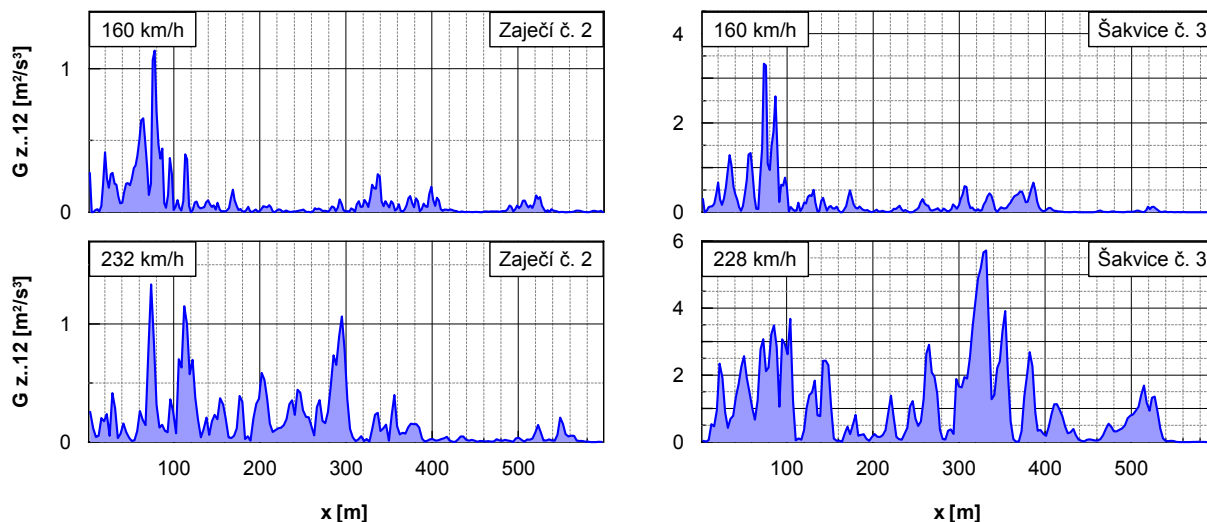
Podrobnější analýza použitých typů filtrů na stejný průběh zrychlení při průjezdu těmito dvěma výhybkami je uvedena v rámci **přílohy 2.2** zejména v souvislosti s různou rychlostí průjezdu.

Zrychlení v příčném směru

Zrychlení v příčném směru jsou v současnosti měřena prostřednictvím indukčních snímačů B12/200 Hz, které jsou z hlediska jejich vlastní frekvence vhodné pro zaznamenávání dějů do frekvence 85 Hz. Filtrací průběhu příčného zrychlení měřeného na ložiskové skříní dvojkolí dolnoproústním filtrem s úrovní o hodnotě 85 Hz je možné obdržet optimálně vyhlazený průběh signálu, jelikož vzorkovací frekvence 1200 Hz je více než desetinásobkem této hodnoty. Je však nutné analyzovat průběh tohoto signálu z hlediska jeho spektrální výkonové hustoty. Vzhledem k tomu, že děje s frekvencemi nad 85 Hz jsou

těmito snímači zaznamenávají zkresleně, je nutné též ověřit průběh spektrální výkonové hustoty příčného zrychlení v oblasti nad 85 Hz.

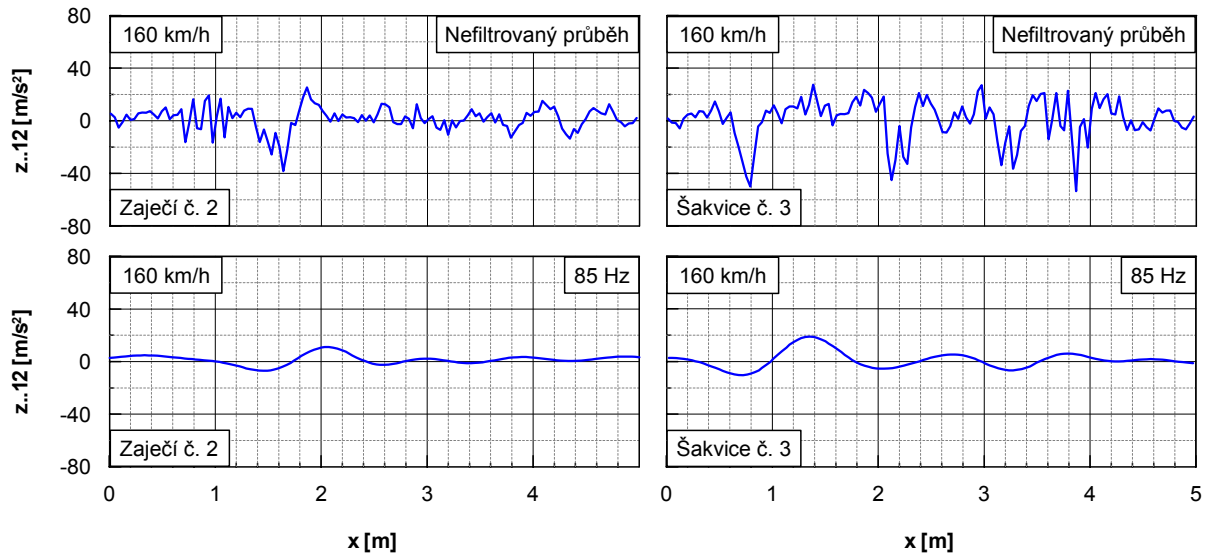
Na **Obr. 45** jsou zobrazeny průběhy spektrální výkonové hustoty zrychlení při průjezdu srdcovkami sledovaných výhybek různými vozidly a různými rychlostmi.



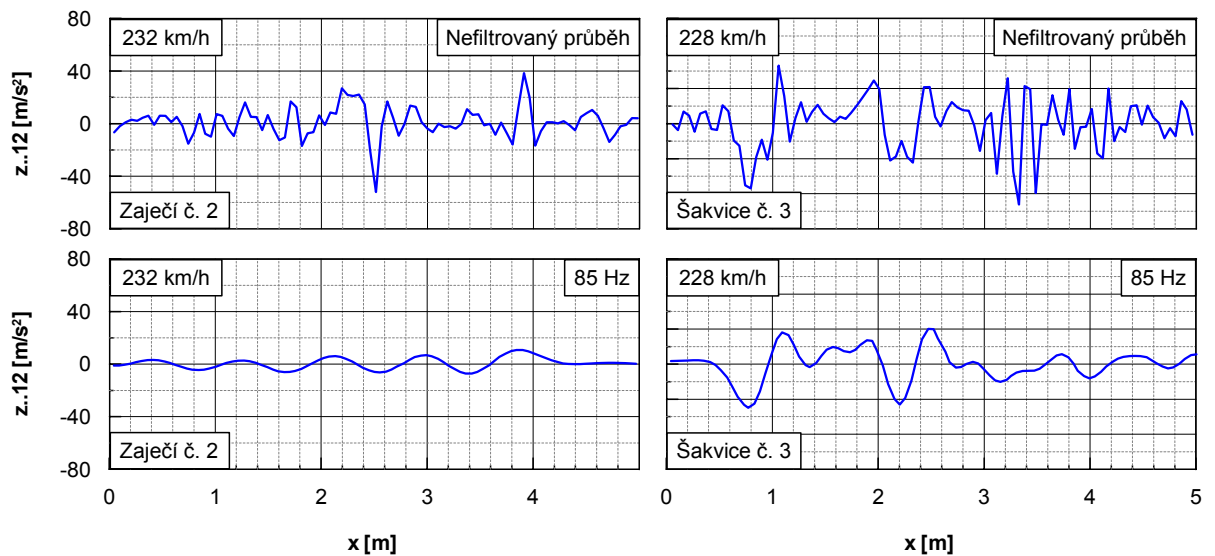
Obr. 45 Porovnání průběhů spektrální výkonové hustoty zrychlení vypočtené z uvedených průběhů

Na základě porovnání průběhů spektrální výkonové hustoty na **Obr. 45** lze konstatovat, že na rozdíl od průběhů zrychlení ve svislém směru nevykazuje spektrální výkonová hustota podobnost při různých podmínkách průjezdu srdcovkou. Právě proto, že průběhy spektrálních výkonových hustot zaznamenaných různými snímači jsou odlišné, nelze dále usuzovat, zda při vyšších rychlostech nejsou skutečně výkony oněch vyšších frekvencí tak vysoké. Hodnocení příčné dynamické odezvy vozidla při průjezdu srdcovkou prostřednictvím zrychlení měřeného na ložiskové skříni vozidla filtrovaného hodnotou úrovně dolnoproústního filtru 85 Hz není tedy zcela správné právě proto, že zatím není důkaz o tom, že tak nízkou frekvencí nejsou odfiltrovány frekvence jejichž výkon je z hlediska hodnocení signálu významný. Právě již zmíněný impulsní kontakt vnitřního čela kola s opornicí může hrát v příčném zrychlení velkou roli.

Přestože zatím není možné objektivně rozhodnout o optimální hodnotě úrovně filtru nápomocno k tomu nebude ani posouzení tvaru křivek průběhů signálů zrychlení vzniklých po filtraci různou hodnotou dolnoproústního filtru, alespoň pro úplnost tento rozbor bude uveden. Na obr. **Obr. 46** jsou zobrazeny průběhy zrychlení na ložiskové skříni dvojkolí při průjezdu vozidla sledovanými srdcovkami filtrované různou hodnotou úrovně filtru 300, 150 a 50 Hz a to rovněž při různých rychlostech.



Obr. 46 Porovnání filtrovaných průběhů zrychlení s různou hodnotou úrovně filtru při rychlosti průjezdu srdcovkou 160 km/h



Obr. 47 Porovnání filtrovaných průběhů zrychlení s různou hodnotou úrovně filtru při rychlosti jízdy cca 230 km/h

Na základě porovnání nefiltrovaných průběhů zrychlení s průběhy filtrovanými dolnoproputným filtrem s úrovní 85 Hz lze konstatovat, že po filtraci signálu s tak nízkou hodnotou úrovně filtru ztrácí průběh ve většině případů svůj typický charakter a degeneruje téměř v harmonické kmity. Jedinou výjimkou, až paradoxní, je průběh naměřený při průjezdu výhybkou č. 3 ve stanici Šakvice při rychlosti 228 km/h. Je však také nutné poznamenat, že průběhy zrychlení nefiltrované nejsou pro popis děje v žádném případě rozhodující – použité snímače totiž nejsou schopné měřit s dostatečnou přesností při tak vysoké vzorkovací frekvenci, která je v tomto případě až šestinásobná v porovnání s maximální frekvencí pro jakou je snímač určen.

5.3.7. Analýza jednotlivých podmínek průjezdu vozidla srdcovkou

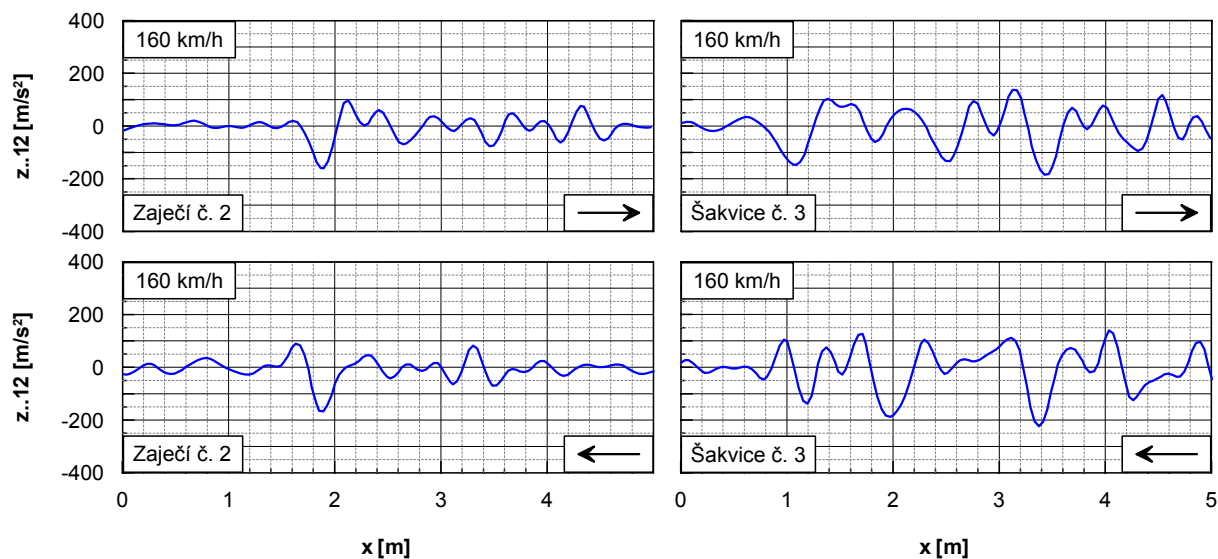
Za účelem stanovení vlivu jednotlivých podmínek průjezdu vozidla srdcovkou na tvar průběhu svislého zrychlení měřeného na ložiskové skříni dvojkolí při průjezdu vozidla srdcovkou bude provedena důkladná analýza pro každou podmínku zvlášť, ale bude-li to žádoucí i v součinnosti s podmínkami ostatními. Pro tuto analýzu budou využity dvě již výše specifikované výhybky vykazující zcela odlišné průběhy zrychlení při průjezdu jejich srdcovkami. Analýza bude zaměřena jak na ovlivnění tvaru průběhů zrychlení tak i na ovlivnění hodnoty variačního rozpětí kvantilů.

Každá z následujících podkapitol se bude týkat následujících podmínek průjezdu vozidla srdcovkou:

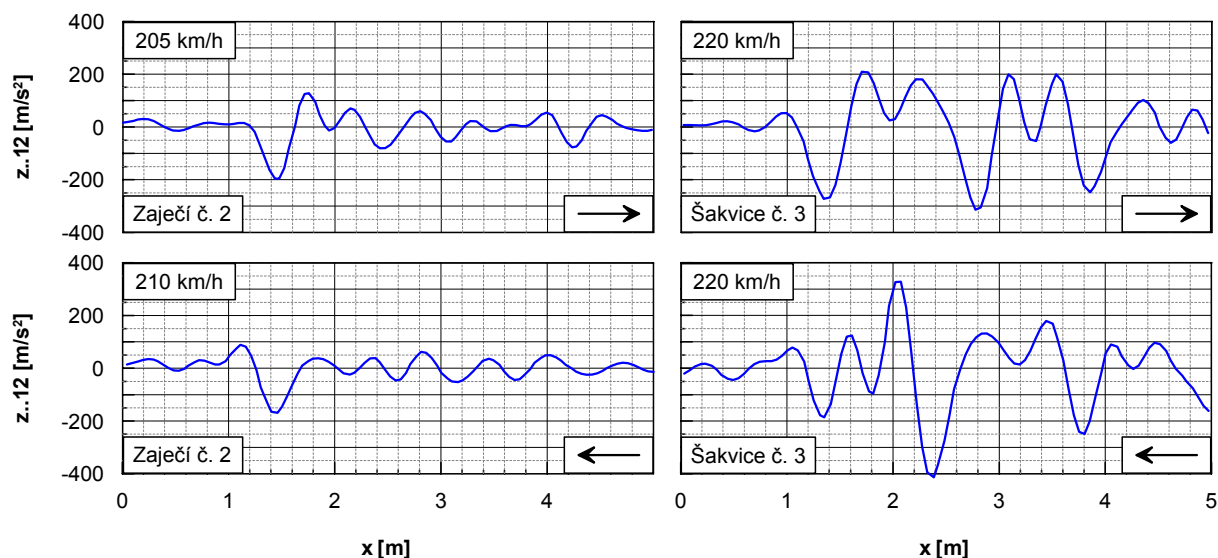
- Směr průjezdu srdcovkou (po hrotu, proti hrotu),
- Rychlost průjezdu srdcovkou,
- pozice měřeného dvojkolí vzhledem ke směru jízdy vozidla (1., 2., 3. nebo 4.),
- Typ měřeného vozidla (vliv nápravové hmotnosti),
- Časový odstup jednotlivých měření (vliv časové proměnlivosti parametrů – opotřebení).

Směr průjezdu vozidla srdcovkou

Směrem průjezdu kola srdcovkou je velmi výrazně ovlivněn vzájemný vztah kola a jednotlivých částí srdcovky. Vlivem proměnlivosti příčného profilu srdcovky mohou v obou případech směrů průjezdu pořadí jednotlivých profilů nastat jiné skutečnosti. Obecně se považuje jízda po hrotu srdcovky v souvislosti s dynamickou odezvou vozidla za méně problematickou z toho důvodu, že nemůže dojít k tvrdému nárazu do hrotu srdcovky či pádu na ni při případné nevhodné příčné poloze kola. Stejně tak však může docházet k rázovému ději při přejíždění kola z hrotu srdcovky na křídlovou kolejnici. V každém případě lze předpokládat, že zde zřejmě bude hrát velkou roli tvar podélné trajektorie kola při průjezdu srdcovkou, který pokud bude vykazovat určitou symetrii od libovolně zavedené svislé osy (jako je tomu např. u srdcovky sledované výhybky č. 2 ve stanici Zaječčí – viz **Obr. 27**), pak lze i předpokládat nezávislost dynamické odezvy vozidla na směru jeho průjezdu takovou srdcovkou. Významným parametrem zde však může být i rychlost s jejíž vzrůstající velikostí by bylo možné očekávat i zvýraznění případného rozdílu mezi oběma průběhy. Proto i tento parametr byl do porovnání zahrnut. Na **Obr. 48** je uvedeno porovnání průběhů zrychlení při průjezdu srdcovkou výhybky č. 2 ve stanici Zaječčí oběma směry a různými rychlostmi, stejné porovnání pro výhybku č. 3 ve stanici Šakvice je provedeno na **Obr. 49**.



Obr. 48 Porovnání průběhů zrychlení měřených na ložiskové skříni dvojkolí při průjezdu srdcovkami sledovaných výhybek oběma směry rychlostí 160 km/h



Obr. 49 Porovnání průběhů zrychlení měřených na ložiskové skříni dvojkolí při průjezdu srdcovkami sledovaných výhybek oběma směry rychlostí 200-220 km/h

Na základě provedených porovnání průběhů zrychlení měřených na ložiskové skříni dvojkolí při průjezdu srdcovkami dvou odlišných výhybek v obou směrech a různou rychlostí lze konstatovat, že z hlediska velikosti dynamické odezvy vozidla ve svislém směru posuzované prostřednictvím variačního rozpětí kvantilů není rozhodující zda je srdcovka projížděna po nebo proti hrotu. Směr průjezdu srdcovkou však ovlivňuje průběh signálu zrychlení.

U výhybky č. 2 ve stanici Zaječí pouze nepatrně zřejmě z důvodu již zmíněné symetrie podélné trajektorie pohybu kola. Odlišný tvar kmitu je pak logicky dán právě směrem jízdy kdy kolo je v určitém (u každého průjezdu jiném) místě kinematicky vybuzeno při nájezdu do

srdcovky, načež reaguje celý systém kmitáním, než je utlumen. Toto se děje v obou případech průjezdu, avšak vždy v opačném směru jak je možné si na **Obr. 49** povšimnout.

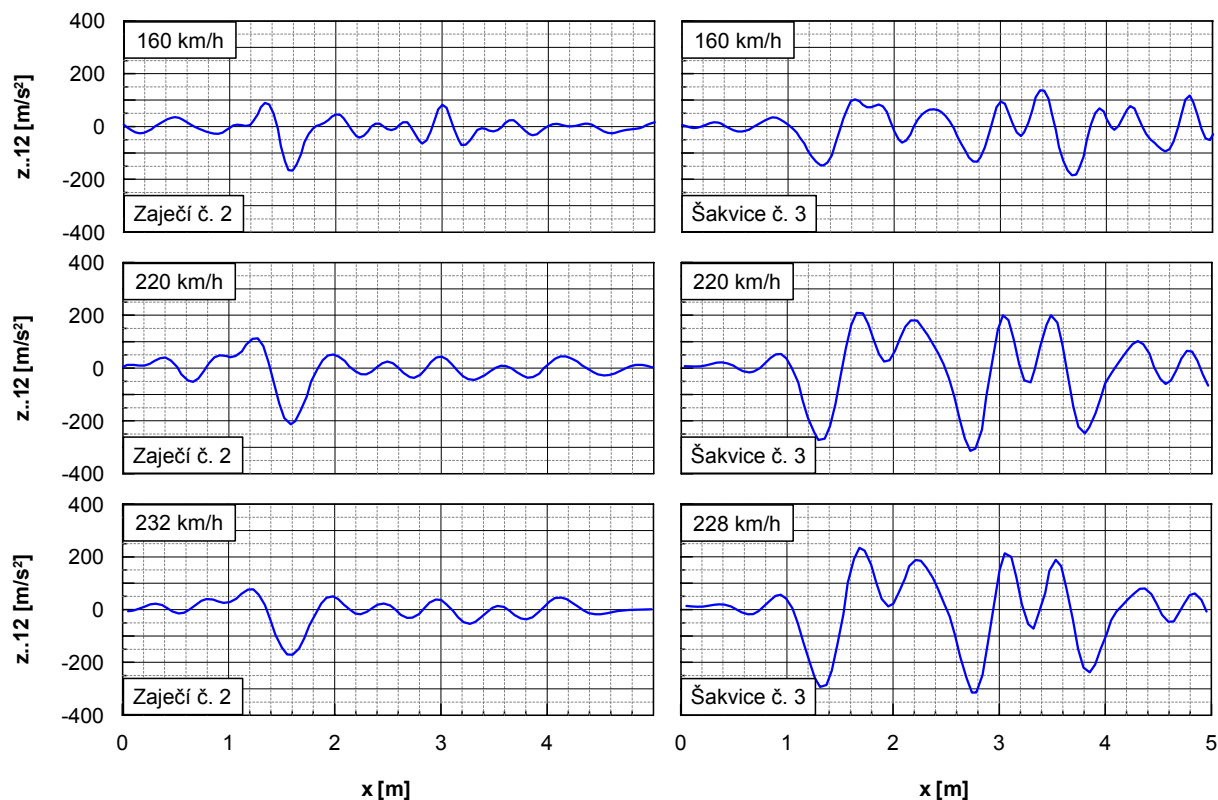
U výhybky č. 3 ve stanici Šakvice je průběh obou průběhů poněkud odlišný, i když jisté podobnosti lze i zde najít. Každopádně rozkmit obou průběhů je srovnatelný, ale právě vzhledem k tomu, že trajektorie pohybu kola vykazuje rychlé změny svislého pohybu kola u této srdcovky, reaguje i celý mechanický systém vozidla na buzení nerovností srdcovky v opačných směrech rozdílně.

Při vyšší rychlosti se již začíná však tento vliv projevovat a u obou hodnocených srdcovek je vyšší dynamická odezva zaznamenána při jízdě po hrotu srdcovky.

Obecně lze konstatovat, že z hlediska metodiky hodnocení dynamické odezvy vozidla při průjezdu srdcovkou nebyl shledán významný vliv směru průjezdu srdcovkou na výsledky hodnocení.

Rychlost průjezdu vozidla srdcovkou

Již z výše uvedené analýzy, kdy byla rychlost zahrnuta jako možný parametr ovlivňující průběh signálu zrychlení měřeného na ložiskové skříni dvojkolí při průjezdu srdcovkou odlišnými směry je patrné a zcela logické, že se zvyšující se rychlostí se bude i zvyšovat dynamická odezva vozidla, avšak je nutné také důkladněji analyzovat jak se vyvíjí samotný tvar průběhu signálu. Porovnání průjezdů jedním směrem stejného vozidla při různých rychlostech je pro obě sledované výhybky uvedeno na **Obr. 50**.

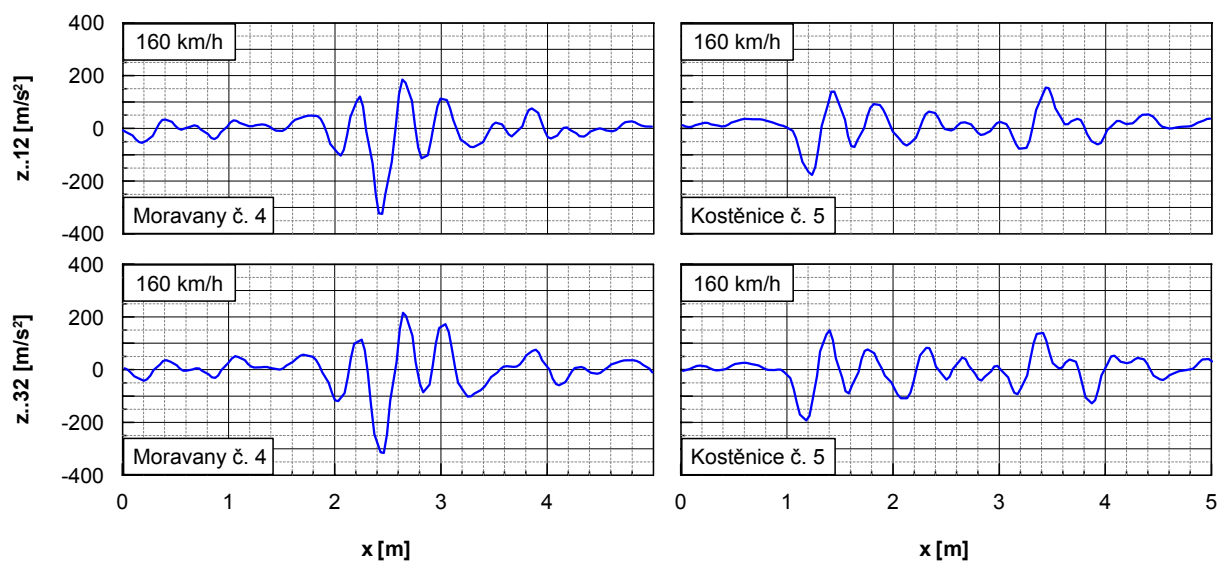


Obr. 50 Porovnání průběhů zrychlení měřených na ložiskové skříni dvojkolí při průjezdu stejného vozidla srdcovkami sledovaných výhybek stejným směrem různými rychlostmi

Při pohledu na průběhy zrychlení měřené na ložiskové skříni dvojkolí při průjezdu stejného vozidla srdcovkami sledovaných výhybek stejným směrem třemi různými rychlostmi je patrné, že se zvyšující se rychlostí se tvar průběhu zrychlení výrazně nemění a to ani při vysokých rychlostech, dochází pouze ke zvětšování amplitudy se zvyšující se rychlostí, jak bylo předpokládáno a výhybka č. 3 ve stanici Šakvice tento předpoklad splňuje v plné míře.

Na základě rozboru průběhu zrychlení měřeného na ložiskové skříni dvojkolí při průjezdu srdcovkou různými rychlostmi lze potvrdit předpoklad zvyšující se amplitudy zrychlení se vzrůstající rychlostí, přičemž rychlost růstu amplitudy je dána typem srdcovky, přesněji řečeno jejím stavem, který lze též charakterizovat prostřednictvím podélné trajektorie pohybu kola. Podstatným závěrem provedeného rozboru však je skutečnost, že se vzrůstající rychlostí průjezdu srdcovkou se nemění výrazným způsobem tvar průběhu zrychlení, čímž jednotlivé výsledky statistického vyhodnocení jsou porovnatelné.

Pozice měření – umístění snímače na dvojkolí



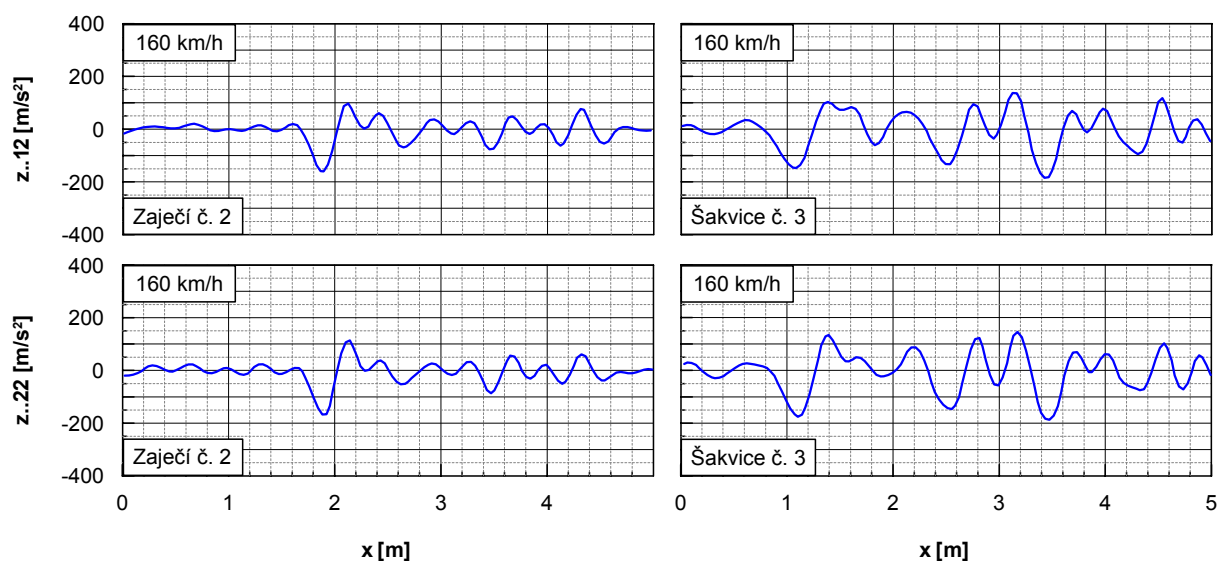
Obr. 51 Porovnání průběhů zrychlení měřených na ložiskové skříni dvojkolí při průjezdu stejného vozidla srdcovkami uvedených výhybek stejným směrem, stejnou rychlostí avšak s různou pozicí snímače zrychlení vzhledem k vozidlu

Cílem této podkapitoly je analyzovat vliv umístění snímače na průběh zrychlení. Zejména je v tomto vždy nejdůležitější pozice dvojkolí v podvozku. Vliv pořadí podvozku na měřený průběh zrychlení, tedy zda se průběhy zrychlení měřené na nabíhající kole 1. a 2. podvozku liší není možné pro sledované výhybky provést z toho důvodu, že při žádném z měření nenastala situace, při které by byla výhybka projížděna jedním vozidlem ve stejném období stejným směrem a stejnou rychlostí ale s měřícím podvozkem vždy na jiné pozici vzhledem ke směru jízdy vozidla. Jediná taková situace nastala při zjišťování dynamické odezvy vozidla při průjezdu výhybkami v roce 2007 v úseku Choceň – Pardubice, kde v rámci rozsáhlých zkušebních jízd v úsecích I. a II. národního koridoru byl mezi některými jízdami měřící vůz pevných trakčních zařízení otočen, čímž se podařilo provést opakované měření v uvedeném úseku rychlostí 160 km/h s měřicí technikou umístěnou vždy na jiném

podvozku s ohledem na směr jízdy. Porovnání obou průběhů pro výhybku č. 4 ve stanici Moravany a výhybku č. 5 ve stanici Kostěnice je uvedeno na **Obr. 51**.

Při porovnání obou průběhů zrychlení při průjezdu oběma srdcovkami lze vysledovat shodu tvaru průběhu zrychlení, i když jsou zde jisté odlišnosti, které však mohou být dány i odlišným tvarem jízdního obrysu kola, či právě jinou pozicí podvozku. Nutno také dodat, že obě zaznamenaná zrychlení byla snímána různými typy snímačů. V obou případech se sice jednalo o snímače typu HBM B12, avšak jednou s odlišnými frekvenčními rozsahy 500 a 1000 Hz. Tato skutečnost by však neměla průběh výrazně ovlivňovat jak bylo dokázáno v **kap 5.3.4**, kde byla výrazná shoda shledána dokonce u principiálně odlišných snímačů. Je možné tedy konstatovat, že na velikost dynamické odezvy vozidla při průjezdu srdcovkou nemá pořadí měřeného podvozku vliv. Tento dílčí závěr plně potvrzuje i porovnání průjezdu srdcovkou různými směry, kde ač to v příslušné podkapitole nebylo uvedeno, bylo zrychlení snímáno vždy na jiném podvozku, ale stejném dvojkolí s ohledem na podvozek.

Další analýza se bude zaměřovat na možný vliv pořadí měřeného dvojkolí v jednom podvozku. Obecně lze při dynamických měření sledovat odlišné chování nabíhajícího dvojkolí, avšak v přímé koleji by se tato skutečnost projevit neměla. Na **Obr. 52** je nyní už pro sledované výhybky ve stanici Zaječí a Šakvice provedeno porovnání průběhů zrychlení měřených na obou dvojkolích prvního podvozku.

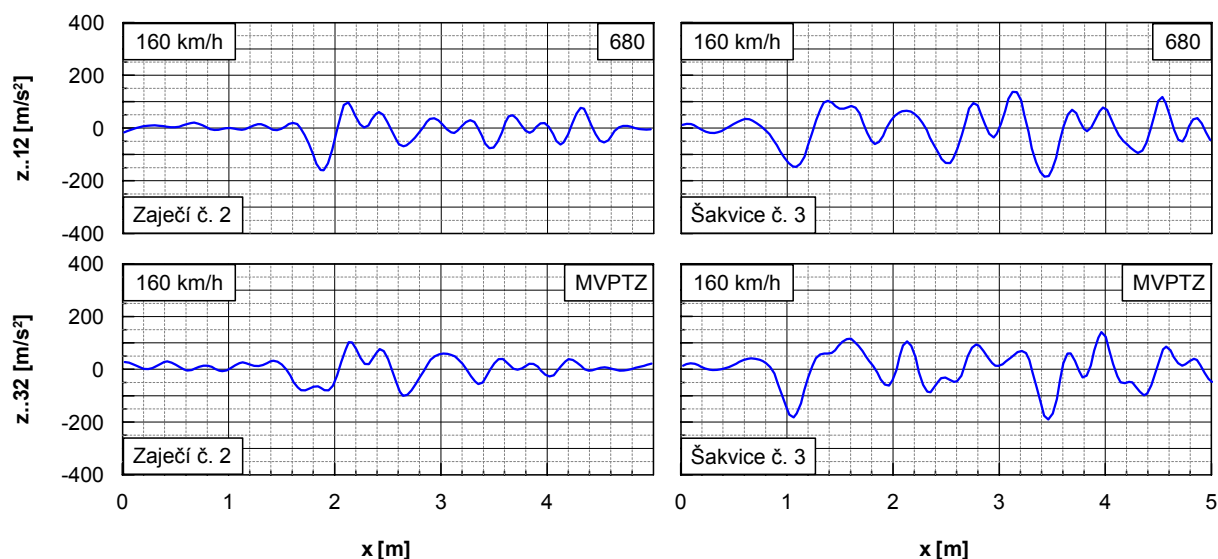


Obr. 52 Porovnání průběhů zrychlení měřených na obou ložiskových skříních dvojkolí prvního podvozku stejného vozidla při průjezdu srdcovkami uvedených výhybek stejným směrem a stejnou rychlostí

Z porovnání průběhů zrychlení měřených na ložiskových skříních obou dvojkolí jednoho podvozku při průjezdu přes srdcovku na **Obr. 52** je patrné, že nedochází k podstatné změně průběhu zrychlení a lze konstatovat, že nezáleží na ložiskové skříně kterého kola bude svislé zrychlení měřeno. Osazení obou dvojkolí snímači však není v žádném případě zbytečné, jelikož toto zdvojení měřicí techniky zvyšuje spolehlivost celého měřicího systému.

Typ experimentálního vozidla

Je všeobecné známo, že konstrukce vozidla výrazným způsobem ovlivňuje jízdní vlastnosti vozidla. Navíc v souvislosti s různou nápravovou hmotností je pak o to více ovlivněno chování dvojkolí při průjezdu srdcovkou. V rámci této podkapitoly je provedena analýza vlivu rozdílných typů vozidel s různou nápravovou hmotností i koncepcí pojezdu na průběh svislého zrychlení měřeného na ložiskové skříni dvojkolí při průjezdu srdcovkou. Na **Obr. 53** je provedeno porovnání průběhů těchto zrychlení pro obě sledované výhybky při průjezdu rychlostí 160 km/h. Horní grafy reprezentují hlavový vůz 681 elektrické naklápěcí jednotky řady 680 „Pendolino“ s nápravovou hmotností 14 t, spodní grafy reprezentují měřicí vůz pevných trakčních zařízení s nápravovou hmotností 11 t. Obě měření byla provedena v přibližně stejném časovém období.

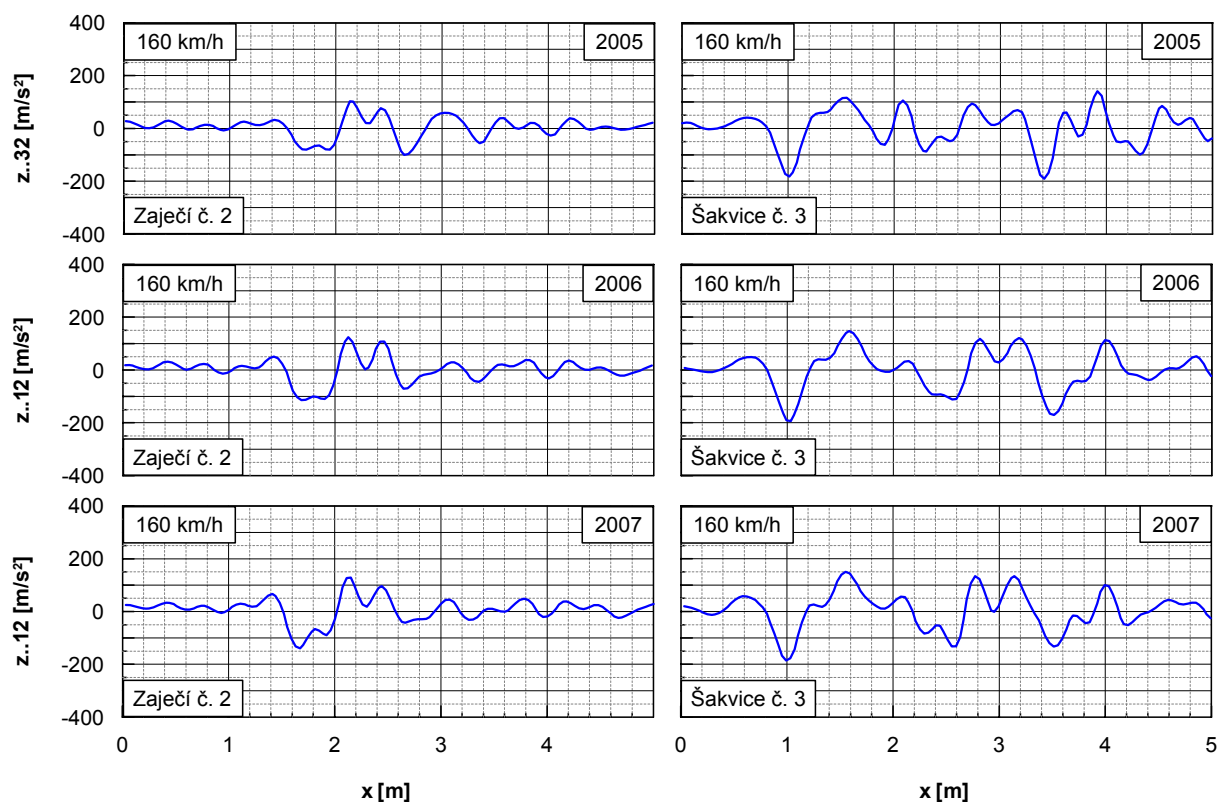


Obr. 53 Porovnání průběhů zrychlení měřených na ložiskové skříni dvojkolí při průjezdu různých vozidel srdcovkami uvedených výhybek stejným směrem a stejnou rychlostí

Při porovnání průběhů obou vozidel při průjezdu oběma výhybkami lze zcela jednoznačně konstatovat, že amplitudy zrychlení jsou u obou vozidel přibližně na stejné úrovni, pouze u výhybky č. 2 ve stanici Zaječí je zřetelný větší rozkmit u jednotky 680, výhybka č. 3 ve stanici Šakvice však nevykazuje v amplitudě téměř žádnou změnu. Nutno poznamenat, že rozdíl nápravových hmotností vozidel není příliš velký, mnohem průkaznější ověření tohoto vlivu by zabezpečilo porovnání dvou vozidel s výrazně odlišnou nápravovou hmotností (např. osobní vůz a traťová elektrická lokomotiva). Podstatným závěrem vyplývajícím z tohoto rozboru však je podobnost tvaru obou průběhů zrychlení měřených na vozidlech odlišné nápravové hmotnosti i koncepce pojezdu při průjezdu srdcovkou v obou případech. Důsledkem obou zjištěných skutečností je pak plná porovnatelnost výsledků měření na různých typech vozidel s málo se lišící nápravovou hmotností.

Časová změna parametrů srdcovky

Extrémně namáhané součásti vždy podléhají časové změně svých funkčních parametrů. Ne jinak je tomu i u srdcovek výhybek, kde dochází k opotřebování jak hrotu srdcovky, tak křídlových kolejnic. Tato podkapitola má za cíl analyzovat do jaké míry ovlivňuje dynamickou odezvu vozidla stav srdcovky. Na **Obr. 54** je porovnání průběhů zrychlení měřených na ložiskové skříni dvojkolí při průjezdu stejného vozidla stejnou srdcovkou v časovém odstupu 2 let.



Obr. 54 Porovnání průběhů zrychlení měřených na ložiskové skříni dvojkolí při průjezdu stejného vozidla srdcovkami uvedených výhybek stejným směrem stejnou rychlostí v časovém odstupu dvou let

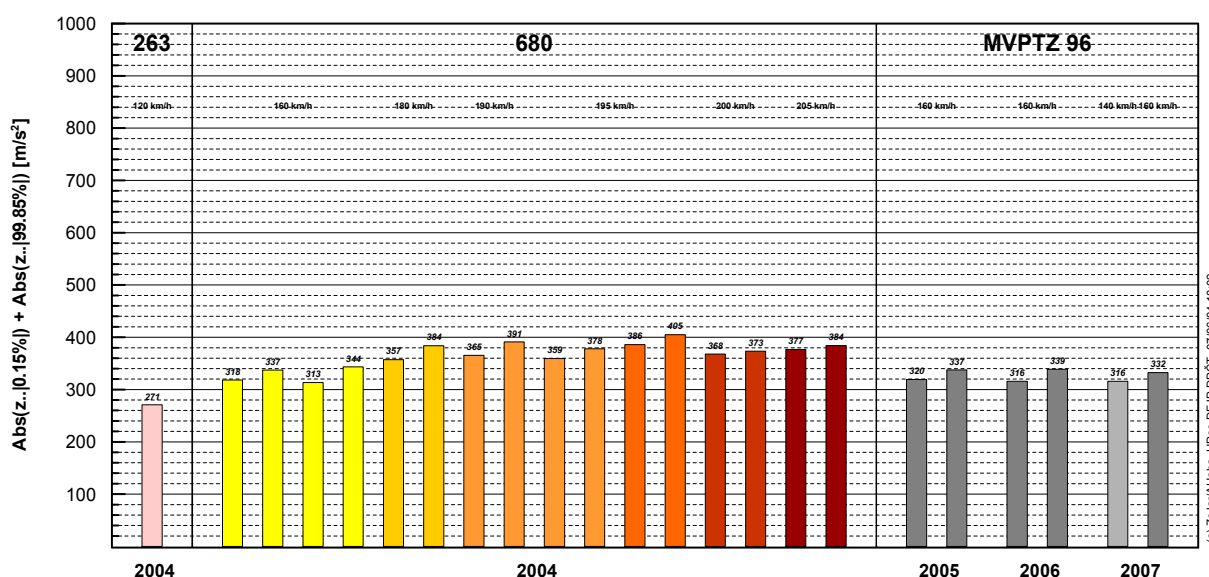
Z grafického porovnání výsledků dynamické odezvy vozidla při průjezdu srdcovkou v různém časovém období je sice u výhybky č. 2 ve stanici Zaječí zřetelně vidět zvýšení amplitudy průběhu, ale pokud se jedná o výhybku č. 3 ve stanici Šakvice, zde jsou oba průběhy co do amplitudy srovnatelné. Z prezentovaných porovnání tedy nelze jednoznačně usoudit na vliv časové změny parametrů na průběh zrychlení. Za tímto účelem je tedy nutné provést hlubší analýzu právě velikosti variačního rozpětí s ohledem na časovou změnu parametrů. Tato analýza bude provedena v následující kapitole.

6. ČASOVÁ PROMĚNLIVOST GEOMETRICKÝCH PARAMETRŮ DVOJICE DVOJKOLÍ-KOLEJ

Vzhledem k tomu, že prezentovaná a analyzovaná metodika zjišťování dynamické odezvy vozidla při průjezdu srdcovkou slouží zejména k ověřování stavu srdcovkových částí výhybek, klíčovou roli v tomto hraje vývoj dynamické odezvy vozidla při průjezdu srdcovkou z časového hlediska. Pro obě sledované výhybky bylo provedeno vyhodnocení všech doposud realizovaných měření zrychlení na ložiskových skříních dvojkolí. Základním posuzovaným parametrem bylo právě variační rozpětí kvantilů jako míra dynamické odezvy vozidla při průjezdu srdcovkou. Na obou sledovaných srdcovkách nebyly v průběhu let 2004 ÷ 2007 prováděny žádné opravné práce. Výsledky jsou tedy pouze obrazem změny jejich stavu vlivem provozu.

Výhybka č. 2 ve stanici Zaječí

Jedná se o výhybku, která vykazuje v porovnání s ostatními velmi nízké hodnoty variačního rozpětí kvantilů, a to i při vyšších rychlostech. Statistické vyhodnocení dynamické odezvy vozidla při průjezdu srdcovkou této výhybky je na **Obr. 55**.



Obr. 55 Vyhodnocení dynamické odezvy vozidla při průjezdu srdcovkou výhybky č. 2 ve stanici Zaječí

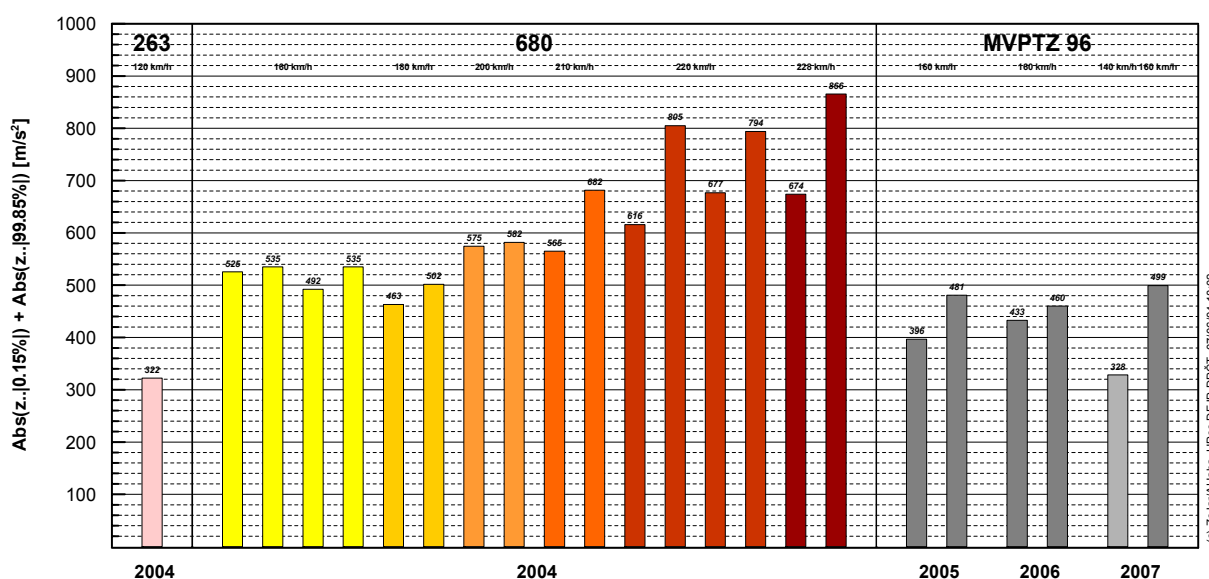
Z vyhodnocení variačního rozpětí kvantilů při průjezdu srdcovkou výhybky č. 2 ve stanici Zaječí vyplývají následující skutečnosti:

- Těžká elektrická lokomotiva vykazuje při jízdě rychlostí 120 km/h srovnatelné hodnoty variačního rozpětí kvantilů jako lehčí elektrická jednotka při rychlosti 160 km/h.

- Se zvyšující se rychlostí průjezdu této výhybky se dynamická odezva vozidla při průjezdu srdcovkou nijak dramaticky nezvyšuje. Rozdíl při rychlosti 160 a 205 km/h není příliš významný.
- Výsledky měření na měřicím voze MVPTZ 96 potvrzují již dříve vyřčené předpoklady o souvislosti dynamické odezvy vozidla a jeho nápravové hmotnosti. Jen o málo lehčí osobní vůz vykazuje i o rok později při průjezdu srdcovkou zřetelně nižší dynamickou odezvu, která se však z postupujícím časem pomalu zvyšuje a už za dva roky je hodnota variačního rozpětí kvantilů srovnatelná s hodnotou u těžší elektrické jednotky při stejné rychlosti. V průběhu dvou let tedy zjevně dochází ke zhoršení vzájemného vztahu vozidla a koleje z hlediska svislé dynamické odezvy, avšak tato změna není nikterak závažná.

Výhybka č. 3 ve stanici Šakvice

Jedná se o výhybku, která vykazuje vyšší hodnoty variačního rozpětí kvantilů v porovnání s ostatními. Statistické vyhodnocení dynamické odezvy vozidla při průjezdu srdcovkou této výhybky je na **Obr. 56**.



Obr. 56 Vyhodnocení dynamické odezvy vozidla při průjezdu srdcovkou výhybky č. 3 ve stanici Šakvice

Z vyhodnocení variačního rozpětí kvantilů při průjezdu srdcovkou výhybky č. 3 ve stanici Šakvice vyplývají následující skutečnosti:

- Dynamická odezva těžké elektrické lokomotivy při rychlosti jízdy 120 km/h je jen o málo větší než u výhybky č. 2 ve stanici Zaječí. Podle této skutečnosti v žádném případě nelze usuzovat, zda je tato výhybka z hlediska vzájemného vztahu vozidla a koleje dobrá nebo špatná. To je ostatně známá zkušenost ze zjišťování dynamické odezvy vozidla při průjezdu výhybkami. Při rychlosti

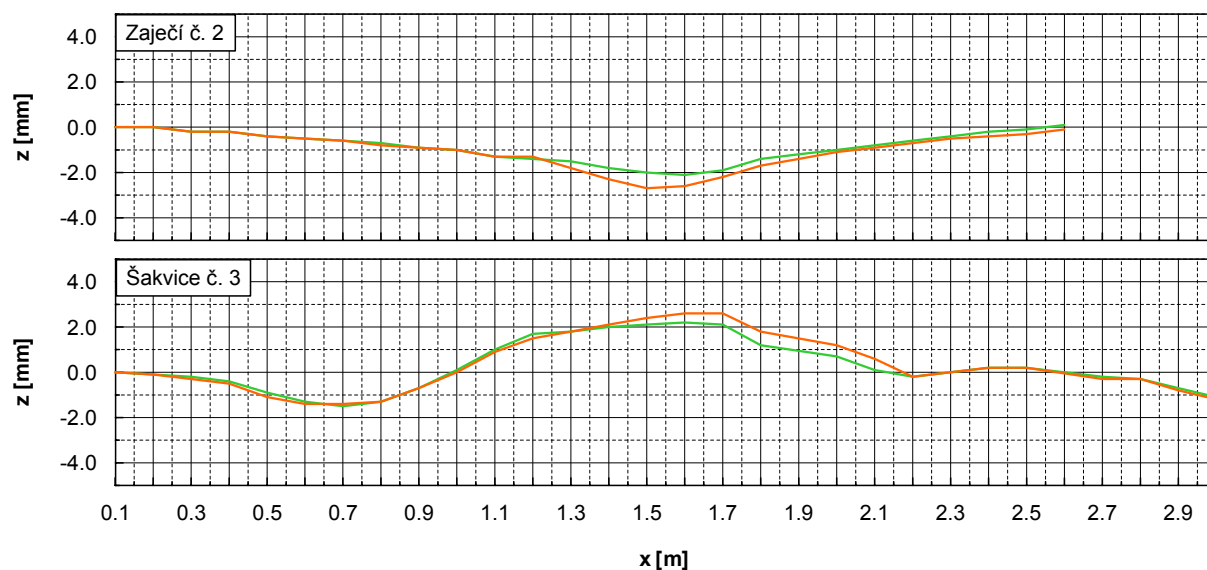
120 km/h se zpravidla neprojevují žádné výrazné změny mezi jednotlivými výhybkami.

- Pak výrazně lehčí vozidlo (elektrická jednotka) vykazuje vyšší hodnoty variačního rozpětí kvantilů zrychlení při rychlosti jízdy 160 km/h a se zvyšující se rychlostí se tyto hodnoty prudce zvyšují tak, že průjezd srdcovkou rychlostí 220 km/h se odehrává s dynamickou odezvou vozidla téměř o dvě třetiny vyšší než při rychlosti jízdy 160 km/h. Zajímavostí je, že rozdíl rychlostí 220 a 228 km/h je téměř nulový. Tento jev však není jak už bylo výše uvedeno ojedinělý.
- Výsledky měření na měřicím voze MVPTZ 96 korespondují s výše uvedenými skutečностями o nevýznamnosti měření při rychlosti jízdy 120 km/h. I zde jsou u lehkého osobního vozu při rychlosti jízdy 160 km/h jen rok po jízdě těžké elektrické lokomotivy zaznamenány vyšší hodnoty variačního rozpětí kvantilů. Zajímavostí však u této výhybky je i fakt, že s časovou změnou parametrů (opotřebením) se dynamická odezva vozidla při průjezdu touto srdcovkou nemění. U měření provedeného v roce 2007 je pak zřetelně vidět velmi výrazný rozdíl hodnot variačního rozpětí kvantilů při rychlosti průjezdu srdcovkou 140 a 160 km/h.

7. PROMĚNLIVOSTI TVARU JÍZDNÍHO OBRYSU

Dynamické namáhání součástí výhybek, které má přímou souvislost s měřeným zrychlením na ložiskových skříních vozidla ovlivňuje právě podélná trajektorie pohybu kola. Ta je stanovena při vzájemném vztahu jmenovitého jízdního obrysu kola ORE S1002 a příslušných měřených příčných profilů srdcovek. Přičemž příčná poloha kola ve vztahu k příslušným částem srdcovky byla zvolena konstantní a to taková, kdy opotřebení hrotu srdcovky svým tvarem odpovídá tvaru příslušné části jízdního obrysu kola, která je v tomto místě v kontaktu s hrotem srdcovky. Právě s ohledem na ono opotřebení hrotu srdcovky se jedná zřejmě o nejčastější polohu kola ve vztahu k příslušným částem srdcovky. Je však také nutné vyšetřit vliv tvaru jízdního obrysu a příčné polohy kola vzhledem ke kolejnici na průběh podélné trajektorie kola. Oba uvedené jevy budou analyzovány a demonstrovány v následujících podkapitolách na výše specifikovaných srdcovkách dvou výhybek.

Pro analýzu možného vlivu tvaru jízdního obrysu na průběh podélné trajektorie pohybu kola bylo provedeno porovnání podélných trajektorií pohybu kola při průjezdu kola srdcovkou se jmenovitým jízdním obrysem ORE S1002 a s nejvíce provozně opotřebeným jízdním obrysem zjištěným u vozidla řady 680. Na **Obr. 57** je uvedeno výše zmíněné porovnání zjištěných trajektorií pro různé tvary jízdního obrysu a to pro obě sledované výhybky.



Obr. 57 Podélné trajektorie pohybu kola při průjezdu srdcovkou pro různé tvary jízdního obrysu

Z obou grafů je zřetelně patrné, že při průjezdu kola srdcovkou s výrazně opotřebeným jízdním obrysem (vykreslen oranžovou barvou) se podélná trajektorie výrazně nemění, nicméně je nutné konstatovat, opotřebený jízdní obrys ve vzájemném vztahu se srdcovkou způsobuje nepatrně větší změny svislého pohybu kola při jejím průjezdu než jízdní obrys jmenovitý, které mají vliv na velikost dynamické odezvy vozidla při průjezdu výhybkou.

8. KONTAKTNÍ NAMÁHÁNÍ VE STYKU KOLO-KOLEJNICE

Při řešení velkého množství technických problémů se často přistupuje k časově i finančně výrazně méně nákladným postupům, jakými jsou např. počítačové modelování daných dějů za účelem nalezení optimálního způsobu řešení technického problému. Aby bylo možné daný děj modelovat s postačující přesností, je nutné v první fázi použitý model ověřit. Optimálním způsobem ověření modelu je porovnání výsledků výpočtů klíčových veličin s výsledky jejich měření při reálném procesu. Ne vždy je totiž možné ty nejvýznamnější veličiny i nepřímo měřit. Při ověřování modelu jsou tedy porovnávány alespoň ty veličiny, které významným způsobem ovlivňují právě jiné veličiny, jejichž průběh je z hlediska popisu daného děje nejvýznamnější. Je-li nutné stanovit např. sílu působící na dvojkolí ve svislém směru, je vhodné porovnat výsledky zrychlení měřeného na ložiskové skříni vozidla ve svislém směru s výsledky zrychlení vypočteného pomocí použitého modelu. Pakliže porovnávané výsledky vykazují v přijatelné míře shodu, lze předpokládat, že i skutečná velikost působící síly bude v přijatelné míře odpovídat velikosti síly vypočtené prostřednictvím použitého modelu.

Tato kapitola se bude zabývat možnostmi teoretického modelování svislé dynamické odezvy vozidla při průjezdu srdcovkou výhybky se zaměřením na kontaktní namáhání ve styku kolo-kolejnice. Veškeré rozborů a výpočty budou provedeny na příkladu skutečného tvaru srdcovky již analyzované výhybky č. 3 ve stanici Šakvice. Následné vyhodnocení bude provedeno pro obě sledované výhybky – č. 2 ve stanici Zaječí a č. 3 ve stanici Šakvice

Modelování dynamické odezvy vozidla ve svislém směru při průjezdu srdcovkou bude zjednodušeně provedeno jako průjezd vozidla úsekem přímé, kdy jeden z kolejnicových pásů (představujících srdcovku) bude vykazovat svislou nerovnost odpovídající svislému pohybu kola při průjezdu srdcovkou. Je tedy nutné dostatečně přesným způsobem zjistit podélnou trajektorii pohybu kola při průjezdu srdcovkou. V této kapitole budou prezentovány dvě zcela odlišné metody stanovení zmíněné trajektorie, z nichž první je založena na statické analýze vzájemného vztahu jízdního obrysu kola s jednotlivými příčnými profily srdcovky měřenými od stejné základny. Druhá metoda vychází z matematického rozboru měřeného průběhu zrychlení ve svislém směru na ložiskové skříni dvojkolí, kdy dvojitou časovou integrací je vypočten průběh dynamické výchylky kola.

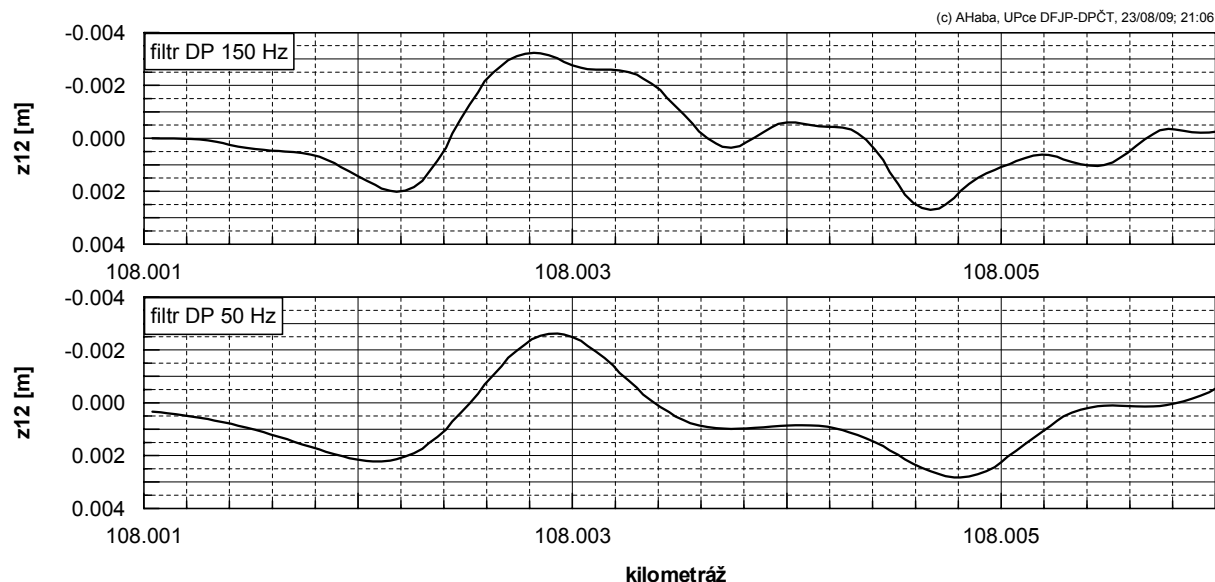
8.1. Rozbor průběhu zrychlení měřeného ve svislém směru na ložiskové skříni vozidla při průjezdu srdcovkou

Jak již bylo výše naznačeno, podélnou trajektorii pohybu kola při průjezdu srdcovkou je možné též stanovit na základě matematického rozboru měřeného průběhu zrychlení ve svislém směru na ložiskové skříni dvojkolí. Po dvojnásobném provedení numerické časové integrace měřeného průběhu zrychlení lze obdržet průběh dynamické výchylky kola, která však, jak už bylo výše zmíněno, je ovlivněna průběhem deformace vazby kolej-podloží. Vzhledem k tomu, že tuhost této vazby je v srdcovce mnohem vyšší než v koleji mimo tuto oblast, lze předpokládat, že průběh uvedené deformace má výrazně nižší rozkmit vzhledem k svislým

výchylkám kola. Pak dvojitou časovou integrací stanovený průběh výchylky kola lze považovat přibližně za podélnou trajektorii pohybu kola.

Pro matematický rozbor měřeného signálu je však nutné, aby jeho průběh byl co nejdůkladněji popsán. Průběh tedy musí být filtrován, a to takovou úrovní filtru, aby po provedené filtraci byl dostatečně vyhlazen. Zároveň však přitom nesmí dojít ke ztrátě specifického charakteru průběhu zrychlení. Obecně platí, že úroveň filtru by měla být asi 8÷10x menší než je vzorkovací frekvence signálu. Tím lze docílit vyhlazeného průběhu, jelikož tento po filtraci obsahuje již jen kmity ve frekvenčním rozsahu do hodnoty úrovně filtru. Takové kmity jsou pak s danou vzorkovací frekvencí (8÷10x vyšší než je hodnota úrovně filtru) popsány dostatečně podrobně. Aby nedošlo po filtraci ke ztrátě specifického charakteru průběhu zrychlení, je nutné úroveň filtru nastavit zároveň ale na takovou hodnotu, aby frekvence vykazující v průběhu spektrální výkonové hustoty vyšší výkon nebyly za touto úrovní.

Na horním grafu **Obr. 58** je pak již vykreslen průběh výchylky kola projíždějícího srdcovkou stanovený dvojitou časovou integrací průběhu zrychlení ve svislém směru měřeném na ložiskové skříni dvojkolí a filtrovaném dolnopropustním filtrem s úrovní o hodnotě 150 Hz. Jak již bylo výše zmíněno takto stanovený průběh výchylky kola při průjezdu srdcovkou je možné za předpokladu zanedbatelné deformace vazby kolej-podloží považovat přímo za podélnou trajektorii pohybu kola.



Obr. 58 Podélná trajektorie pohybu kola při průjezdu srdcovkou vzniklá dvojitou integrací v čase z průběhu zrychlení ve svislém směru měřeného na ložiskové skříni dvojkolí

Na tomto místě se nabízí možnost porovnat takto zjištěnou podélnou trajektorii pohybu kola s trajektorií stanovenou na základě měřených příčných profilů srdcovky v jednotlivých řezech a jejich vzájemného vztahu s jízdním obrysem kola (viz **kap. 5.2.2, Obr. 31**). Dříve než bude takové porovnání uskutečněno, je nutné vyšetřit za jakých podmínek jsou vůbec oba výsledky porovnatelné, zejména pokud se jedná o přesnost jejich stanovení. U podélné trajektorie pohybu kola stanovené z průběhu zrychlení ve svislém směru měřeném na

ložiskové skříní dvojkolí byl zápis měřených dat byl proveden se vzorkovací frekvencí 1200 Hz, což při rychlosti 160 km/h odpovídá zápisu s krokem 37 mm. Příčné profily srdcovky byly měřeny v řezech s podstatně větším krokem – 100 mm. Tento krok by odpovídal při rychlosti jízdy 160 km/h zápisu se vzorkovací frekvencí přibližně 444 Hz, což je v porovnání s použitou vzorkovací frekvencí při měření zrychlení téměř třetinová hodnota. V takovém případě je možné důkladně popsat děje s frekvencí přibližně jen do 50 Hz. Mělo-li by být provedeno vzájemné porovnání podélné trajektorie pohybu kola stanovené oběma výše uvedenými metodami, je nutné průběh zrychlení ve svislém směru měřeném na ložiskové skříní dvojkolí filtrovat hodnotou úrovně filtru maximálně 50 Hz. Byť již bylo výše uvedeno, že tak nízká hodnota úrovně filtru je z důvodu ztráty svého charakteru pro průběh zrychlení nevhodná, přesto alespoň za účelem možnosti důkladnějšího ověření výsledků bude v další části tohoto příspěvku i tomuto rozboru věnována pozornost.

Nicméně na základě výše uvedených skutečností lze konstatovat, že zjišťování podélné trajektorie pohybu kola za pomoci měření příčných profilů srdcovky v řezech od sebe vzdálených 100 mm není z hlediska podrobnosti popisu této trajektorie vyhovující. Pro dostatečně podrobný popis podélné trajektorie pohybu kola by bylo nutné měřit příčné profily srdcovky v řezech od sebe vzdálených maximálně 40 mm, což by ale zřejmě vzhledem k velké náročnosti tohoto měření bylo velmi komplikované.

Průběh výchytky kola projíždějícího srdcovkou stanovený dvojí časovou integrací průběhu zrychlení ve svislém směru měřeného na ložiskové skříní dvojkolí a filtrovaného dolnoproputním filtrem s úrovní o hodnotě 50 Hz je vykreslen na spodním grafu v **Obr. 58**. Při porovnání tohoto průběhu s průběhem v grafu na **Obr. 31** v **kap. 5.2.2** je možné konstatovat, že charakter obou průběhů podélných trajektorií pohybu kola je obdobný, ovšem rozkmit trajektorie stanovené ze signálu zrychlení je podstatně větší. Avšak již pouhá podobnost charakteru oběma metodami stanovené podélné trajektorie pohybu kola při průjezdu srdcovkou je velmi významným poznatkem z toho důvodu, že právě na základě podobnosti obou průběhů trajektorií je možné v měřeném průběhu zrychlení zpětně přesně identifikovat polohu kola v podélném směru vzhledem k srdcovce.

Další rozbor oběma metodami stanovených podélných trajektorií pohybu kola při průjezdu srdcovkou budou provedeny v následující kapitole v rámci rozboru výsledků simulačních výpočtů.

8.2. Modelování dynamických dějů při průjezdu vozidla srdcovkou

Jak již bylo výše uvedeno, modelování dynamické odezvy vozidla ve svislém směru při průjezdu srdcovkou bude zjednodušeně provedeno jako průjezd vozidla úsekem přímé, kdy jeden z kolejnicových pásů (představujících srdcovku) bude vykazovat svislou nerovnost odpovídající podélné trajektorii pohybu kola při průjezdu srdcovkou.

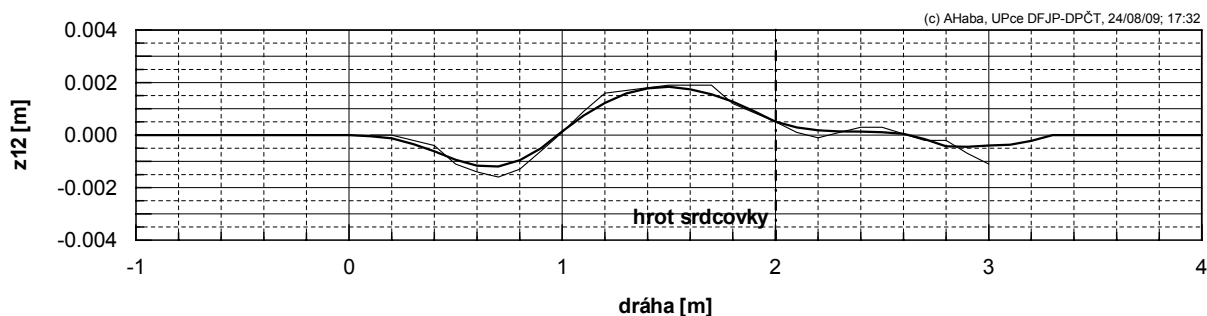
Použitým modelem je programový systém „Pendolino“. Jedná se o vícehmotový dynamický model vozidla a koleje, který byl vytvořen v roce 2000 za účelem výpočtu předpokládaných účinků vozidla na kolej při průjezdu oblouky zvýšenými rychlostmi. Náplní

této kapitoly je zjistit, zda a za jakých podmínek je možné tento programový systém použít též pro modelování dynamické odezvy vozidla při průjezdu srdcovkou.

V následně provedeném rozboru bude klíčovým vstupním parametrem informace o nerovnosti kolejnicového pásu představujícího srdcovku. Výpočty byly provedeny s trajektoriemi stanovenými oběma výše uvedenými metodami a jejich výsledky budou následně porovnány s výsledky měření na vozidle, které svými parametry odpovídá použitému modelu.

8.2.1. Vstupní data podélné trajektorie pohybu kola stanovená na základě měření příčných profilů srdcovky

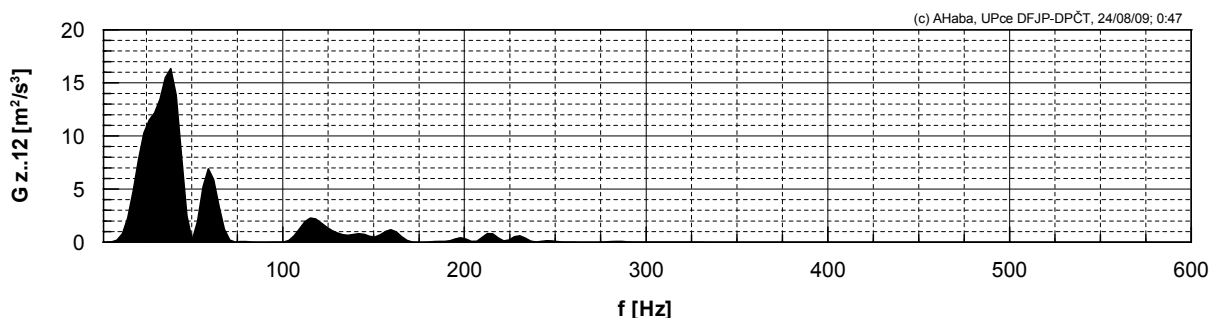
Jako vstupní informace o svislé nerovnosti kolejnicového pásu představujícího srdcovku bude v tomto případě využita podélná trajektorie pohybu kola stanovená na základě měření příčných profilů srdcovky v jednotlivých řezech a následné analýzy jejich vzájemného vztahu s jízdním obrysem kola (viz **Obr. 31**). Jak již bylo výše uvedeno, tímto způsobem stanovená trajektorie není vzhledem k velké vzájemné vzdálenosti jednotlivých řezů popsána pro daný účel dostatečně podrobně, což je i zřetelné z jejího průběhu (viz **Obr. 31**) a je tedy nutné trajektorii pro výpočet vyhladit. Průběh vyhlazené trajektorie pohybu kola z **Obr. 31** je uveden na **Obr. 59** (nevyhlazená trajektorie je v tomto grafu vykreslena slabší čarou). Při porovnání **Obr. 59** s **Obr. 58** si lze povšimnout, že získaná vyhlazená trajektorie odpovídá více trajektorii stanovené z průběhu zrychlení filtrovaného dolnoproputním filtrem s úrovní o hodnotě 50 Hz, což je však plně v souladu s výše uvedenými požadavky na porovnatelnost výsledků zjištěných na základě různých měřicích postupů.



Obr. 59 Vyhlazená křivka podélné trajektorie pohybu kola při průjezdu srdcovkou

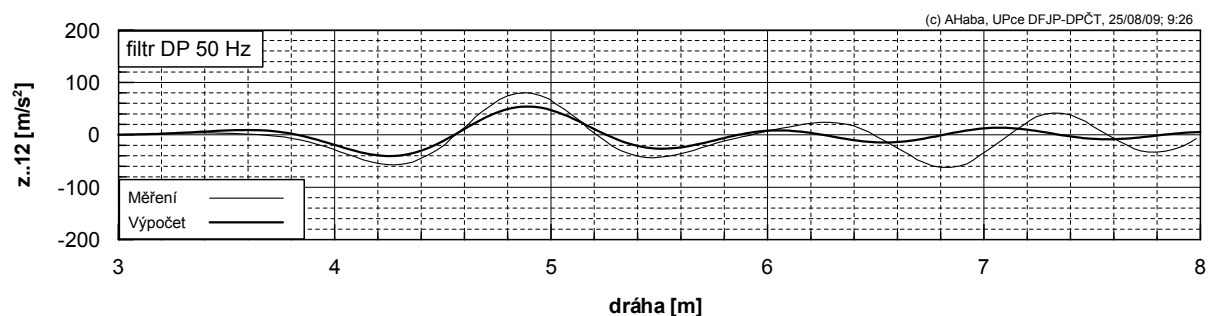
Výsledky výpočtu průjezdu přes srdcovku budou porovnávány s výsledky reálného měření za předpokladu dodržení stejných podmínek (rychlost, směr jízdy, apod.). Jak již bylo výše uvedeno, z důvodu nedostatečně podrobného popisu vstupní informace o podélné trajektorii pohybu kola je možné výsledky tohoto výpočtu porovnávat pouze s průběhem zrychlení ve svislém směru měřeném na ložiskové skříni dvojkolí filtrovaného dolnoproputním filtrem s úrovní o hodnotě maximálně 50 Hz. Pokud však budou výsledky simulačních výpočtů porovnávány s výsledky měření filtrovaného takto nízkou hodnotou úrovně filtru, je nutné právě z důvodu porovnatelnosti, aby i výsledky simulačních výpočtů byly ve srovnatelné frekvenční oblasti. Průběh spektrální výkonové hustoty vypočteného

průběhu zrychlení na ložiskové skříni dvojkolí ve svislém směru při průjezdu srdcovkou je uveden na **Obr. 60**. Je patrné a logické, že výsledky výpočtu pomocí více-motového systému se nachází ve frekvenční oblasti do 300 Hz, přičemž největší výkon je zaznamenán u frekvencí přibližně do 70 Hz. Každopádně lze konstatovat, že pro porovnání těchto výsledků s výsledky měření filtrovanými dolnopropustním filtrem s úrovní o hodnotě 50 Hz, je nutné i výsledky simulačních výpočtů filtrovat stejnou hodnotou úrovně filtru.



Obr. 60 Spektrální výkonová hustota vypočteného zrychlení ve svislém směru na ložiskové skříni dvojkolí při průjezdu srdcovkou

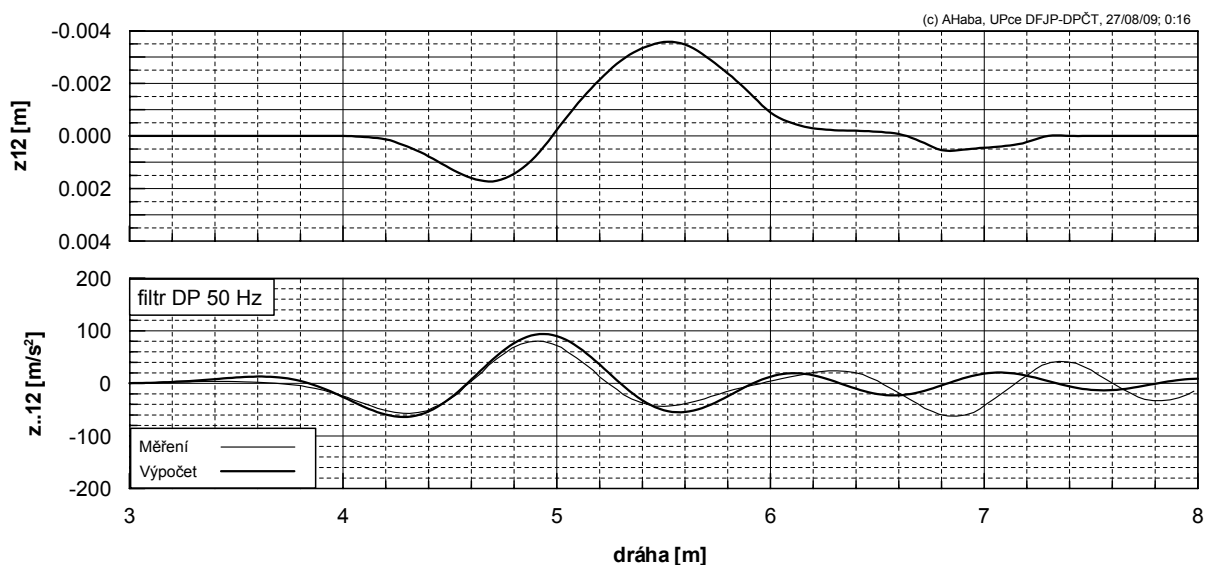
Vypočtený průběh zrychlení ve svislém směru na ložiskové skříni dvojkolí při průjezdu srdcovkou filtrovaný dolnopropustním filtrem s úrovní o hodnotě 50 Hz je vykreslen silnější čarou na **Obr. 61**. Slabší čarou je zde vykreslen průběh měřeného zrychlení filtrovaný stejnou hodnotou úrovně filtru. Z **Obr. 61** je zřetelné, že charakter obou průběhů zrychlení je alespoň v prvních dvou třetinách zobrazeného úseku stejný, avšak měřené zrychlení vykazuje mírně vyšší hodnotu rozkmitu.



Obr. 61 Vypočtené a měřené zrychlení ve svislém směru na ložiskové skříni dvojkolí při průjezdu srdcovkou

Vzhledem k tomu, že v minulosti byly vysloveny jisté pochybnosti o dosahované přesnosti použitého způsobu zjišťování podélné trajektorie pohybu kola, je možné, že mírná neshoda vypočteného a měřeného průběhu zrychlení je právě zapříčiněna touto skutečností. Zásadní připomínky se týkaly zejména existence průhybu rámu, na kterém je usazen měřicí přístroj a tím vliv tohoto jevu na svislou polohu měřeného příčného řezu. V důsledku této nepřesnosti je pak ovlivněn i tvar křivky, která představuje podélnou trajektorii pohybu kola. Za předpokladu platnosti této hypotézy o nepřesnosti měření příčných profilů srdcovky, by pak skutečná trajektorie měla mít větší rozkmit, avšak charakter jejího průběhu by měl zůstat

zachován. Bude-li navíc možné alespoň přibližně stanovit vliv onoho průhybu, pak nepřesně stanovená podélná trajektorie pohybu kola může být korigována. Vzhledem k tomu, že charakter podélné trajektorie pohybu kola zjištěné dvěma výše uvedenými rozdílnými metodami je podobný, průběhy se výrazně liší jen s ohledem na jejich rozkmit, nabízí se zde možnost přibližně vypočítat průběh průhybové čáry nosníku tak, aby obě podélné trajektorie byly co možná nejvíce podobné. Pak se vypočtený průběh průhybové čáry přičte k průběhu nepřesně stanovené trajektorie, čímž vznikne korigovaná trajektorie se kterou bude proveden opravný výpočet. Takto získaná korigovaná podélná trajektorie pohybu kola včetně výsledku opravného výpočtu průběhu zrychlení na ložiskové skříni dvojkolí při průjezdu srdcovkou je uvedena na **Obr. 62**. Rozkmit vypočteného průběhu zrychlení je již vyšší než v předchozím případě a v prvních dvou třetinách zobrazeného úseku jsou zde již oba průběhy zrychlení (vypočtený i měřený/opět vykreslen slabší čarou/) velmi podobné. Neshoda průběhů v třetí třetině zobrazeného úseku je zřejmě dána nedostatečným popisem svislé nerovnosti. Jak je možné si povšimnout z grafů na **Obr. 31** a **Obr. 59**, závěrečná část vyhlazené podélné trajektorie pohybu kola zřejmě neodpovídá její skutečné podobě. Za posledním měřeným řezem se zřejmě ještě nachází svislá nerovnost, která již není prostřednictvím použitého způsobu stanovení podélné trajektorie pohybu kola identifikována. Tuto skutečnost potvrzuje i tvar této trajektorie stanovené dvojitou časovou integrací průběhu zrychlení ve svislém směru měřeném na ložiskové skříni dvojkolí – viz spodní graf na **Obr. 58**.



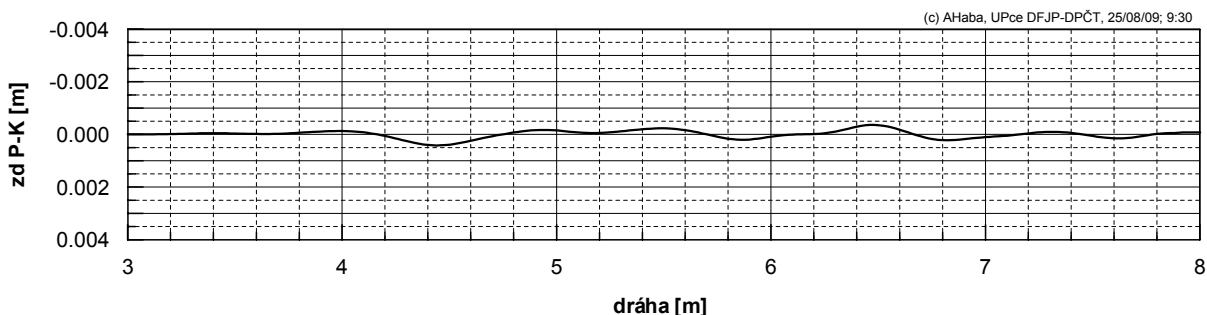
Obr. 62 Korigovaná podélná trajektorie pohybu kola (horní graf) a porovnání vypočteného a měřeného zrychlení na ložiskové skříni dvojkolí při průjezdu srdcovkou (spodní graf)

Na základě výše provedeného rozboru výsledků simulačních výpočtů dynamické odezvy vozidla ve svislém směru na nerovnost koleje při průjezdu srdcovkou lze konstatovat, že simulační výpočet poskytuje prokazatelně v tomto ohledu srovnatelné výsledky s měřením. Aby však bylo možné vůbec porovnávat výsledky simulačních výpočtů s výsledky měření, bylo nutné z výše zmíněných důvodů provést filtraci obou průběhů zrychlení ve svislém směru na ložiskové skříni dvojkolí velmi nízkou hodnotou úrovně dolnoproústupního

filtru – 50 Hz. Tím však ztratil průběh zrychlení svůj specifický charakter, typický pro danou výhybku a došlo tak zároveň ke ztrátě schopnosti porovnatelnosti výsledků zjištěných u srdcovek různých výhybek. Je totiž zjištěno, že při tak nízké úrovni filtru je průběh signálu zrychlení u srdcovek se zjevně různou podélnou trajektorií pohybu kola velmi podobný.

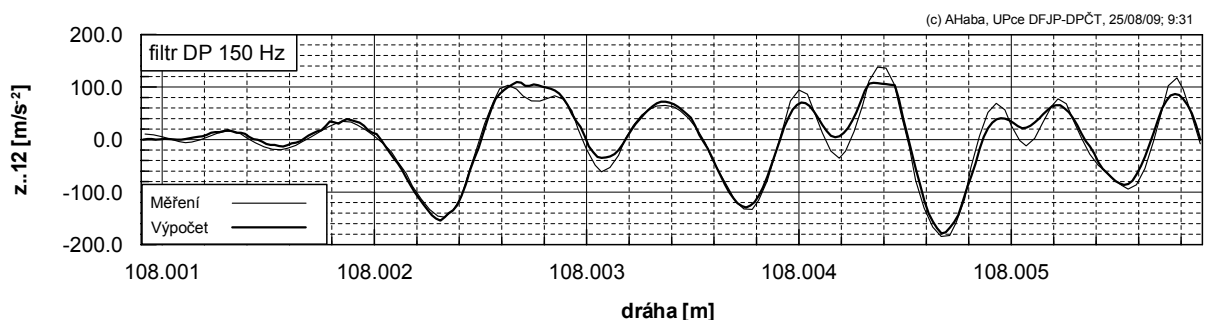
8.2.2. Vstupní data podélné trajektorie pohybu kola stanovená na základě měření zrychlení n ložiskových skříních dvojkolí

Jako vstupní informace o svislé nerovnosti kolejnicového pásu představujícího srdcovku bude v tomto případě využita podélná trajektorie pohybu kola stanovená dvojitou časovou integrací průběhu zrychlení ve svislém směru měřeném na ložiskové skříně dvojkolí při průjezdu srdcovkou. Jak již bylo výše uvedeno, aby bylo vůbec možné průběh výchylnosti kola považovat přímo za podélnou trajektorii jeho pohybu, je nutné předpokládat, že deformace vazby podložní-kolej je vzhledem ke svislým výchylnostem kola zanedbatelná. Splnění tohoto předpokladu dokazuje průběh deformace vazby podložní-kolej vykreslený na **Obr. 63** ve stejném měřítku jako všechny doposud prezentované podélné trajektorie pohybu kola.



Obr. 63 Deformace vazby podložní-kolej vypočtená při průjezdu vozidla přes srdcovku

Na **Obr. 64** je pak v grafu vykreslen vypočtený průběh zrychlení (silnější čarou) spolu s průběhem měřeným (slabší čarou). Zřetelně je vidět, že oba průběhy vykazují velmi výraznou podobnost nejen svým charakterem ale i rozkmitem a to v celém rozsahu zobrazeného úseku.



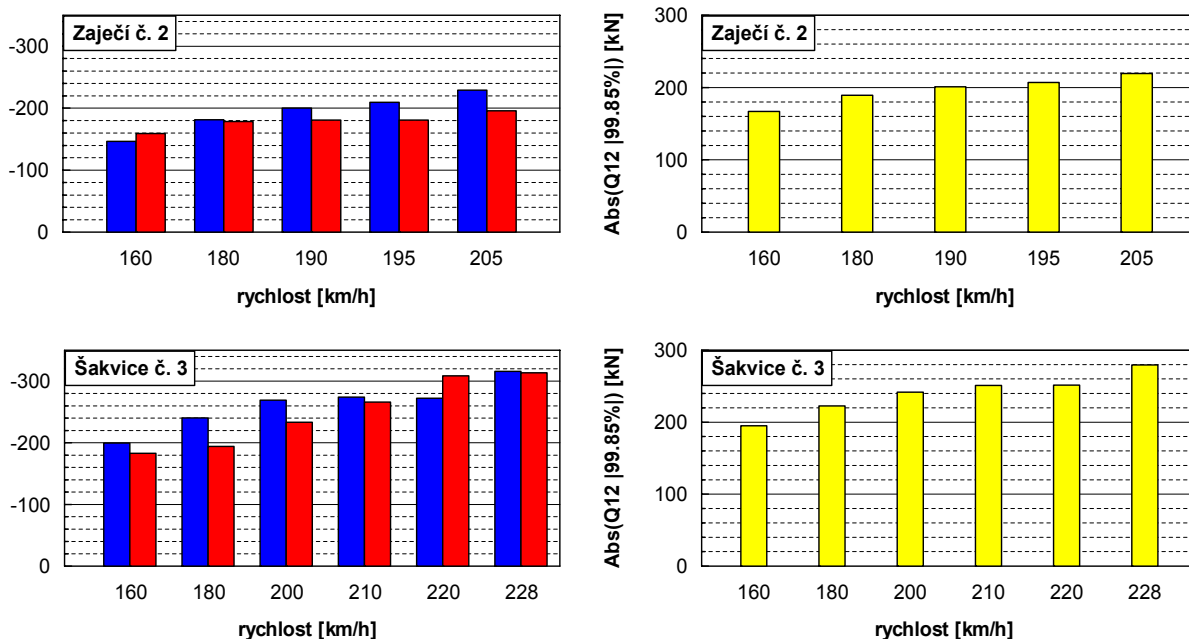
Obr. 64 Vypočtené a měřené zrychlení ve svislém směru na ložiskové skříně dvojkolí při průjezdu srdcovkou

Na základě výše provedeného rozboru výsledků simulačních výpočtů dynamické odezvy vozidla ve svislém směru na nerovnost koleje při průjezdu srdcovkou lze stejně jako v předchozím případě v kap. 5.1 konstatovat, že simulační výpočet poskytuje v tomto ohledu srovnatelné výsledky s měřením. Navíc zde nebylo nutné filtrovat výsledky natolik nízkou úrovní filtru, při kterém by došlo ke ztrátě specifického charakteru průběhu zrychlení.

8.3. Vyhodnocení teoretického modelování průjezdu vozidla srdcovkou

Na základě výsledků provedených simulačních výpočtů lze konstatovat, že vícehmotový dynamický model vozidla a koleje je použitelný pro modelování dynamických dějů při průjezdu vozidla srdcovkou, ovšem jen za předpokladu, že zadaná nerovnost koleje představující průběh svislého pohybu kola bude popsána dostatečně podrobně. Tuto podmínku je možné splnit v případě stanovení podélné trajektorie pohybu kola dvojitou časovou integrací měřeného průběhu zrychlení. Avšak ani statické zjištění této trajektorie pomocí měřených příčných profilů srdcovky a jejich vzájemného vztahu s jízdním obrysem kola není v rámci uvedených rozborů nevýznamné. Na základě podobnosti charakterů oběma metodami stanovených podélných trajektorií pohybu kola lze totiž určit v průběhu měřeného zrychlení např. okamžik, kdy v srdcovce dochází ke kontaktu kola s jejím hrotem. Podobnost obou trajektorií v neposlední řadě prokazuje též vhodnost použití matematicky zpracovaného měřeného průběhu signálu zrychlení jako vstupní informace do simulačních výpočtů. Obecně lze též konstatovat, že prezentovaná metodika analýzy experimentálně zjištěné dynamické odezvy vozidla na nerovnost koleje při průjezdu výhybkou může posloužit i identifikaci stavu opotřebení příslušných částí srdcovek.

Podrobnější analýza v souvislosti s vyšší rychlostí je provedena v příloze 3 pro obě sledované výhybky. Z porovnání průběhů signálů zrychlení je však nutné konstatovat, že plně je použitelná prezentovaná metoda pro srdcovky vykazující pomalé změny svislého pohybu kola (výhybka č. 2 ve stanici Zaječí). méně odpovídající výsledky jsou pak dosaženy u srdcovek s razantní změnou svislého pohybu kola (výhybka č. 3 ve stanici Šakvice), zejména z toho důvodu, že při vyšších rychlostech u takových srdcovek dochází na velmi krátký okamžik ke ztrátě kolové síly, což není použitým systémem možné zohlednit. Tato skutečnost však, jak ukazují výsledky nemá vliv na maximální hodnoty kolové síly, ke kterým dochází na základě ověřeného výpočetního modelu. Navíc uvedená metoda modelování průjezdu vozidla přes srdcovku dokáže i spolehlivě identifikovat ve kterých místech je srdcovka takto velkou i když impulsní kolovou silou namáhána. Právě z tohoto důvodu je pak vhodné provést porovnání simulačních výpočtů s měřením pro 0.15% kvantil zrychlení a nikoliv pro variační rozpětí kvantilů. Na **Obr. 65** je provedeno v pravé části porovnání 0.15% kvantilů zrychlení vypočtených a měřených a v levé části jsou zobrazeny 99.85% kvantily vypočtené kolové síly při průjezdu srdcovkou. Vzhledem k tomu, že uvedené hodnoty kolových sil se v průběhu kolové síly vyskytnou na velmi krátkou dobu, jedná se o impulsní charakter kolové síly.



Obr. 65 Statistické vyhodnocení modelování průjezdu vozidla přes srdcovku

Ověření správnosti použitého modelu i jeho chování při modelovaných dějích je velmi významnou a nepostradatelnou součástí počítačového modelování jízdy vozidla. Poskytuje totiž záruku o správnosti průběhu jiných veličin, jejichž vypočtený průběh není možné s měřeným průběhem porovnat, jelikož se jedná např. o veličiny ne snadno měřitelné. Mimo to spočívá význam věrohodného modelování jízdy vozidla po reálné koleji také v možnosti realizace rozsáhlých rozborů na základě provedených výpočtů s širokou škálou variability vstupních parametrů, což je při měření z časového hlediska nemožné. Dále je navíc při výpočtech možné modelovat i jízdu za podmínek, které jsou při měření v provozu jen těžko dosažitelné. Pokud se jedná konkrétně o průjezd vozidla srdcovkou, je v souvislosti se všeobecným trendem zvyšování traťových rychlostí v současnosti velmi aktuální otázka dynamické odezvy vozidla při průjezdu srdcovkou vyšší rychlostí. Za pomoci výpočtového modelování těchto dějů je pak možné mnohem důkladněji analyzovat vzájemný vztah vozidla a koleje při jízdě zvýšenými rychlostmi, které např. není možné v provozu reálně dosáhnout.

9. SHRnutí VÝSLEDKŮ – PŘÍNOSY PRO VĚDU A PRAXI

Z provedeného rozboru zaměřeného na **posouzení vlivu rotace dvojkolí kolem podélné osy při výpočtu charakteristik geometrické vazby dvojkolí-kolej** pro různé kombinace provozně opotřebených dvojkolí a koleje mohou konstatovat následující poznatky v daném vědním oboru:

- Zohlednění rotace dvojkolí kolem podélné osy koleje v důsledku jeho příčného pohybu ve volném jízdním kanálu ovlivňuje výsledky výpočtu ekvivalentní konicity.
- Ovlivnění výpočtu zohledněním zmíněného jevu je znatelné zejména pro vyšší hodnoty amplitudy a odchylka obou typů výpočtů se pak zvyšuje u opotřebených jízdních obrysů a při rozdílném průměru kol na dvojkolí.
- Na amplitudě $y_0 = 3$ mm je pro jmenovitý tvar jízdního obrysu tato odchylka zanedbatelná, byť by teoreticky při souhře mnoha okolností mohla vzniknout situace, kdy rozdílnými způsoby výpočtu budou výsledky ekvivalentní konicity ležet v rozdílných intervalech daných ČSN EN 14363.

Z výše uvedených závěrů této práce plynou následující doporučení pro praxi:

- Při výpočtu charakteristik kontaktní geometrie dvojkolí-kolej pro účely dokonalé identifikace vzájemného vztahu vozidla a koleje je nezbytné výpočet, který je v souladu s ČSN EN 15302 doplnit ještě o výpočet přesnější se zohledněním rotace dvojkolí kolem podélné osy koleje v důsledku jeho příčného pohybu ve volném jízdním kanálu, a to právě za účelem přesné identifikace vzájemného vztahu dvojkolí a koleje tohoto vozidla. Zejména u neobvyklých typů jízdních zkoušek (např. za účelem důkazu nestabilního chodu vozidla ve špatném technickém stavu) je tato skutečnost nezbytná.
- Pro účely vstupních údajů do simulačních výpočtů jízdy vozidla po reálné koleji bude vhodné po verifikaci modelu lokomotivy řady 380 provést analýzu tohoto vlivu na výsledky simulačních výpočtů.

Na základě rozsáhlého rozboru týkajícího se problematiky **průjezdu vozidla srdcovkovou částí výhybky** zaměřeného na teoretické i experimentální studium tohoto problému mohou konstatovat následující poznatky v daném vědním oboru:

- Navržená metoda měření zrychlení ve svislém směru na ložiskové skříni dvojkolí při průjezdu výhybkou je přínosem z hlediska získání informace o svislé dynamické odezvě vozidla na nerovnost způsobenou právě přejezdem kola přes srdcovku a vhodně zpracované výsledky měření lze také konfrontovat s teoretickým modelováním tohoto problému.
- Analýza vlivu proměnlivého jízdního obrysu na dynamické namáhání součástí srdcovky, prokázala, že u značně opotřebeného jízdního obrysu dochází k většímu rozptylu tohoto pohybu, který má, jak bylo později dokázáno při analýze vstupních údajů pro modelování průjezdu vozidla srdcovkou, následek ve zvýšené dynamické odezvě vozidla při průjezdu srdcovkou.

- Při aplikaci uvedené metodiky hodnocení dynamické odezvy vozidla při průjezdu srdcovkou lze velmi zřetelně odhalit nejen výhybky jejichž srdcovky jsou s ohledem na vysoké rychlosti příznivé vzhledem ke svislé dynamické odezvě vozidla při jejich průjezdu, ale též změnu této svislé dynamické odezvy s rostoucím opotřebením srdcovky a to nezávisle na použitém měřicím vozidle.
- Teoretickým rozbořem možností modelování průjezdu vozidla srdcovkovou částí výhybky byla prokázána schopnost modelovat průjezd vozidla výhybkou pomocí víceřadové soustavy vozidla a koleje jako jízdu po koleji, kdy jeden z kolejnicových pásů vykazuje svislou nerovnost odpovídající svislému pohybu kola při průjezdu srdcovkou. Plně je použitelná prezentovaná metoda pro srdcovky vykazující pomalé změny svislého pohybu kola, méně odpovídající výsledky jsou pak dosaženy u srdcovek s razantní změnou svislého pohybu kola, zejména z toho důvodu, že při vyšších rychlostech u takových srdcovek dochází na velmi krátký okamžik ke ztrátě kolové síly, což není použitým systémem možné zohlednit. Tato skutečnost však, jak ukazují výsledky nemá vliv na maximální hodnoty kolové síly, ke kterým dochází na základě ověřeného výpočetního modelu. Navíc uvedená metoda modelování průjezdu vozidla přes srdcovku dokáže i spolehlivě identifikovat ve kterých místech je srdcovka takto velkou kolovou silou namáhána.

Z výše uvedených závěrů této práce plynou následující doporučení pro praxi:

- Zejména pro vysoké rychlosti je však vhodné se ještě dále zabývat možnostmi záznamu dat s vyšší vzorkovací frekvencí.
- Přestože se ukazuje problematika příčné dynamické odezvy vozidla při průjezdu srdcovkou jako méně významná (z důvodu ne příliš vysokých dosahovaných hodnot zrychlení) s odkazem na průběh spektrální výkonové hustoty příčného zrychlení při průjezdu srdcovkou je rovněž nutné se zabývat možnostmi zohlednění jevů s vyšší frekvencí, které by mohly spolehlivěji zaznamenat např. kontakt kola s přídržnicí, což je zejména aktuální u oboustranných obloukových výhybek.
- Pro přesnější identifikaci dějů probíhajících při průjezdu dvojkolí oblastí srdcovky, je do budoucna nezbytné doplnit měřicí řetězec o vysokorychlostní synchronní videozáznam kontaktu kola s kolejnicí a to nejen kola, které právě projíždí srdcovkou ale i opačného kola, které může přijít do kontaktu s přídržnicí. V tomto ohledu však bude nutné vyřešit dva zásadní problémy s tímto spojené, kterými jsou dostatečné nasvícení vysokorychlostního videozáznamu, při kterém je otevřená závěrka kamery až 8x kratší dobu než u běžného záznamu a spolehlivý přenos velkého objemu dat zaznamenávaných vysokorychlostní kamerou do měřicího počítače.

10. LITERATURA

- [1] PLÁŠEK, O.; ZVĚŘINA, P.; SVOBODA, R.; MOCKOVČIAK, M.: *Železniční stavby - železniční spodek a svršek*, Brno, 2004, 291 s., ISBN 20-2314-2621-7.
- [2] IZER, J., ZELENKA, J.: *Řešení dynamiky kolejových vozidel*. Sborník prací DFJP VŠCHT, Pardubice, 1993, s. 49-58, ISBN 80-85113-59-7.
- [3] IZER, J., ZELENKA, J.: *Výzkum dynamických vlastností železničních vozidel*. Sborník prací DfJP VŠCHT, Pardubice, 1993, s. 49-58, ISBN 80-85113-59-7.
- [4] IZER, J., ZELENKA, J.: *Charakteristiky kontaktní geometrie*. Scientific papers of the University of Pardubice Series B, Pardubice, 1996, s. 39-62, ISSN 1211-6610.
- [5] MARUNA, Z.: *Základy pohybu po koleji*. Scientific papers of the University of Pardubice Series B, Pardubice, 1996, s. 23-38, ISSN 1211-6610.
- [6] IZER, J., ZELENKA, J.: *Specializované pracoviště pro měření a vyhodnocování kontaktní geometrie*. Vědeckotechnický sborník ČD – č. 2, Praha, 1996, s. 75-91, ISSN 1211- 2321.
- [7] IZER, J., ZELENKA, J.: *Simulační výpočty jízdy kolejových vozidel po reálné koleji*. Conference engineering mechanics 97.
- [8] IZER, J.: *Počítačové modelování dynamiky jízdy kolejového vozidla po reálné koleji*. Profesorská přednáška 1998.
- [9] IZER, J., ZELENKA, J., LATA, M., MUSIL, M., KAVÁN, P., ŽDÁRSKÝ, J.: *Vozidlo a kolej na modernizovaných železničních tratích*. 1. etapa řešení. Sml. č.: S403/310/001/96, č. zpr.: DP-01/96. Česká Třebová, 1996.
- [10] IZER, J., a kol.: *Vozidlo a kolej na modernizovaných železničních tratích*. Zprávy z řešení výzkumného úkolu S403/310/001/96 z let 1997 ÷ 2000, Univerzita Pardubice, DFJP.
- [11] FREIBAUER, L., RUS, L., ZAHŘÁDKA, J.: *Dynamika kolejových vozidel*. NADAS, Praha, 1991.
- [12] KISIŁOWSKI, J., KNOTHE, K.: *Advanced Railway Vehicle System Dynamics*, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warsaw 1991, ISBN 83-204-1348-6.

- [13] IZER, J., JANDA, J., MARUNA, Z., ZDRŮBEK, S.: *Kolejové vozy*. Skripta, ALFA, Bratislava, 1986.
- [14] IZER, J., a kol.: *Výzkum bezpečnosti vedení vozidla kolejí*. Zprávy VÚ III-4-6/04.E01, VŠDS Žilina, KKVMZ, 1987, 1989, 1990.
- [15] ZELENKA, J., IZER, J.: *Geometrické vztahy systému dvojkolí – kolej*. Strojnický časopis, 41, 1990, č.6, str. 661-675.
- [16] ČSN EN 14363: *Železniční aplikace - Přejímací zkoušky jízdních charakteristik železničních vozidel - Zkoušení jízdních vlastností a stacionární zkoušky*, ČNI, 2006.
- [17] ČSN EN 15302: *Železniční aplikace - Metoda stanovení ekvivalentní konicity*, ČNI, 2006.
- [18] IZER, J., ZELENKA, J.: *Vliv parametrů GPK na interakci s kolejovými vozidly*. Seminář Geometrická poloha koleje, Olomouc, 1995, s. 79-88.
- [19] MAHR, A., POPPE, D.: *Auswertung von Rad/Schiene – Profilmessungen zur fahrdynamischen Bewertung der Fahrzeug Baureihe 481/482 der Berliner S-Bahn*. ZEVRAIL Glasers Annalen 2002.
- [20] IZER, J., ZELENKA, J., DOLEŽEL, P.: *Příspěvek k problematice charakteristik kontaktní geometrie ve vztahu dvojkolí kolej*. Vědeckotechnický sborník ČD – č. 1, Praha, 1995, s. 51-68.
- [21] ZELENKA, J., IZER, J., MUSIL, M., LACK, T.: *Simulační výpočty jízdy vozu ř. Gbgs po nerovné kolejí*. Zpráva pro objednatele VÚŽ Praha dle smlouvy č. V03-11/94. Pardubice, Nadace Jana Pernera UP 1994.
- [22] IZER, J., ZELENKA, J., BORECKÝ, S.: *Simulace pohybu vozidla po reálné kolejí*. Zpráva pro objednatele ÚŘ ČSD Praha dle HZ č. 3/92. Žilina, VŠDS 1992.
- [23] NOVOTNÝ, C., HEJZLAR, L.: *Modernizované osobní vozy ČD s upravenými podvozky Görlitz V z hlediska jejich chodových vodících vlastností*. Vědeckotechnický sborník ČD – č. 14, Praha, 2002, s. 49-77.
- [24] JELEN, J., SELLNER, K.: *Svět rychlých kolejí*. NADATUR, Praha, 1997, ISBN 80-85884-76-3.
- [25] VLASÁK, J. a kol.: *Výhybky a výhybková spojení*. NADAS, Praha, 1983.

- [26] ZELENKA, J.: *Geometrický vztah železničního dvojkolípři průjezdu výhybkami koridorových tratí ČD*, 5. odborný seminář Svařování v železniční dopravě, 18.-19.2.2003, Česká Třebová, ISBN 80-7194-525-0.
- [27] DROZDZIÉL J.: *Modelling and Numerical Analysis of Vehicle Lateral Motion Influenced by the Switch Design*. The Archives of Transport No. 4 Volume 2, Warsaw 1990, ISSN 0866-9546.
- [28] ZELENKA, J.: *Chodové vlastnosti motorového pracovního vozu MPV 22 na koridorových tratích ČD*. 12. mezinárodní seminář Traťové stroje v teorii a praxi - SETRAS 2004, 13.-14.10.2004, Žilina, Slovenská republika, s. 209-220, ISBN 80-969465-1-3.
- [29] HÁBA, A., ZELENKA, J., MUSIL, M: *Vliv nového tvaru hlavy kolejnice ve výhybce UIC 60 1:12-500 PHS na dynamické účinky elektrické lokomotivy*. 12. mezinárodní seminář Traťové stroje v teorii a praxi - SETRAS 2004, 13.-14.10.2004, Žilina, Slovenská republika, s. 63-68, ISBN 80-969465-1-3.
- [30] HÁBA, A., ZELENKA, J., MUSIL, M: *Determination of Railway Vehicle Dynamic Forces Running Through Switches at I. Corridor of ČD*. Advanced Manufacturing Technologies in Vehicle Industry - 21th International Colloquium, 17-19.5.2004, Balatonfüred, Hungary, s. 134-138, ISBN 963 420 796 0.
- [31] HÁBA, A., ZELENKA, J., MUSIL, M: *Measurement of Railway Vehicle Dynamic Forces Passing over Switches*. 2nd international PhD Conference on Mechanical Engineering - PhD 2004, 8.-10.11.2004, Srní, Česká republika, s. 29-30, ISBN 80-7043-330-2.
- [32] HÁBA, A., ZELENKA, J., KOHOUT, M: *Chodové vlastnosti vozidel na vybraných úsecích železničních tratí*. Zpráva č. FRVŠ 696/G1/2004, Univerzita Pardubice, DP DFJP, Česká Třebová, prosinec 2004.
- [33] HÁBA A., ZELENKA J., KOHOUT M., MUSIL M.: *Experimentální zjišťování dynamické odezvy kolejového vozidla na nerovnosti koleje*. 3. setkání uživatelů PULSE , 3-6.5.2005, Hotel Praděd – Velké Losiny, Spectris Praha spol. s.r.o., s. 17-23, ISBN 80-239-4909-8.
- [34] HÁBA A., ZELENKA J., KOHOUT M., MUSIL M.: *Vliv tvaru srdcovkové části výhybky na dynamické účinky vozidla při zvýšených rychlostech*. Současné problémy v kolejových vozidlech - XVII. Konference s mezinárodní účastí, 12.-13.9.2005, Česká Třebová, s. 43-50, ISBN 80-7194-780-6.

- [35] HÁBA A., ZELENKA J.: *Dynamic effects of railway vehicle running over the turnout in high-speed condition*. 3rd international PhD Conference on Mechanical Engineering - PhD 2005, 7.-9.11.2005, Srní, Česká republika, s. 57-58, ISBN 80-7043-414-7.
- [36] HÁBA A., ZELENKA J.: *Možnosti experimentálního ověření provozního stavu výhybek*. 4. mezinárodní vědecká konference – Nové výzvy pro dopravu a spoje, 14.-15.09.2006, Pardubice, Česká republika.
- [37] HÁBA A., ZELENKA J.: *Railway vehicle passing over a curved turnout*. 9th International Scientific Conference APPLIED MECHANICS 2007, 16.-19.04.2007, Malenovice, Česká republika, s. 89-90, ISBN 978-80-248-1389-9.
- [38] ZELENKA J., HÁBA A., KOHOUT M.: *Vehicle-Track Interaction by Passing through Turnouts*. 7th International Conference on Railway Bogies and Running Gears – BOGIE 07, 3.-6.9.2007, Budapest, Hungary, s. 161-170, ISBN 978-963-420-977-5.
- [39] ZELENKA J., HÁBA A.: *Dynamické účinky jednotky řady 680 při průjezdu výhybkami na koridorových tratích*. 18. mezinárodní konference „Súčasný problémy v koľajových vozidlách - PRORAIL 2007, 19.-21.9.2007, Žilina, Slovenská republika, s. 395-401, ISBN 978-80-89273-07-3.
- [40] HÁBA A., ZELENKA J.: *Způsob zjišťování dynamických účinků vozidla při průjezdu výhybkou*. 18. mezinárodní konference „Súčasný problémy v koľajových vozidlách - PRORAIL 2007, 19.-21.9.2007, Žilina, Slovenská republika, s. 181-188, ISBN 978-80-89276-06-6.
- [41] HÁBA A., ZELENKA J., KOHOUT M.: *Experimental and theoretical analysis of wheel-rail contact in the course of passing over turnout frog*, 8th International Conference on Contact Mechanics and Wear of Rail/Wheel System, 15.-18.09.2009, Florencie, Itálie, s. 969-976, AB Editore, Florencie 2009, ISBN 978-88-904370-0-7.
- [42] HÁBA A., ZELENKA J.: *Možnosti modelování dynamických dějů při průjezdu vozidla přes srdcovku*, XIX. konference s mezinárodní účastí – Současné problémy v kolejových vozidlech, 21.-22.09.2009, Česká Třebová, Česká republika, s. 305-316, ISBN 978-80-7395-199-3.

SEZNAM PŘÍLOH

- 1. Rozbor vlivu zohlednění rotace dvojkolí okolo podélné osy koleje v důsledku příčného pohybu ve volném jízdním kanálu na výsledky charakteristik kontaktní geometrie dvojkolí-kolej**
 - 1.1 Srovnávací výpočty charakteristik kontaktní geometrie dvojkolí-kolej dle ČSN EN 15302*
 - 1.1.1 Dr funkce
 - 1.1.2 Ekvivalentní konicita
 - 1.2 Průběhy charakteristik kontaktní geometrie dvojkolí-kolej pro různé kombinace parametrů kontaktní dvojice jmenovitého jízdního obrysu ORE S1002 a jmenovitého tvaru příčného profilu hlavy kolejnice UIC60.*
 - 1.2.1 Dr funkce
 - 1.2.2 Ekvivalentní konicita
 - 1.3 Průběhy charakteristik kontaktní geometrie dvojkolí-kolej pro různé kombinace parametrů kontaktní dvojice provozně opotřebovaného jízdního obrysu ORE S1002 a jmenovitého tvaru příčného profilu hlavy kolejnice UIC60.*
 - 1.3.1 Dr funkce
 - 1.3.2 Ekvivalentní konicita
- 2 Experimentální zjišťování dynamické odezvy při průjezdu vozidla výhybkou**
 - 2.1 Nefiltrované průběhy zrychlení ve svislém směru při průjezdu výhybkou a spektrální výkonová hustota*
 - 2.1.1 Zaječí – výhybka č. 2
 - 2.1.2 Šakvice – výhybka č. 3
 - 2.2 Rozbor výsledků filtrace signálů zrychlení s různou hodnotou úrovně filtru*
 - 2.3.1 Zaječí – výhybka č. 2
 - 2.3.2 Šakvice – výhybka č. 3
- 3 Modelování dynamické odezvy vozidla ve svislém směru při průjezdu srdcovkou**
 - 3.1 Výsledky simulačních výpočtů – Zaječí – výhybka č. 2*
 - 3.2 Výsledky simulačních výpočtů – Šakvice – výhybka č. 3*

Příloha č. 1

Rozbor vlivu zohlednění rotace dvojkolí okolo podélné osy koleje v důsledku příčného pohybu ve volném jízdním kanálu na výsledky charakteristik kontaktní geometrie dvojkolí-kolej

- 1.1 Srovnávací výpočty charakteristik kontaktní geometrie dvojkolí-kolej dle ČSN EN 15302**
- 1.2 Rozbor přesnosti výpočtu charakteristik kontaktní geometrie dvojkolí-kolej pro jmenovitý jízdni obrys ORE S1002**
 - 1.2.1 Δr funkce
 - 1.2.2 Ekvivalentní konicita
- 1.3 Rozbor přesnosti výpočtu charakteristik kontaktní geometrie dvojkolí-kolej pro provozně opotřebený jízdni obrys ORE S1002**
 - 1.3.1 Δr funkce
 - 1.3.2 Ekvivalentní konicita

Δr funkce

Jízdní obrys: -
Průměr kol: **920 mm**
Rozkolí: **1360 mm**
Rozdíl průměrů kol: -

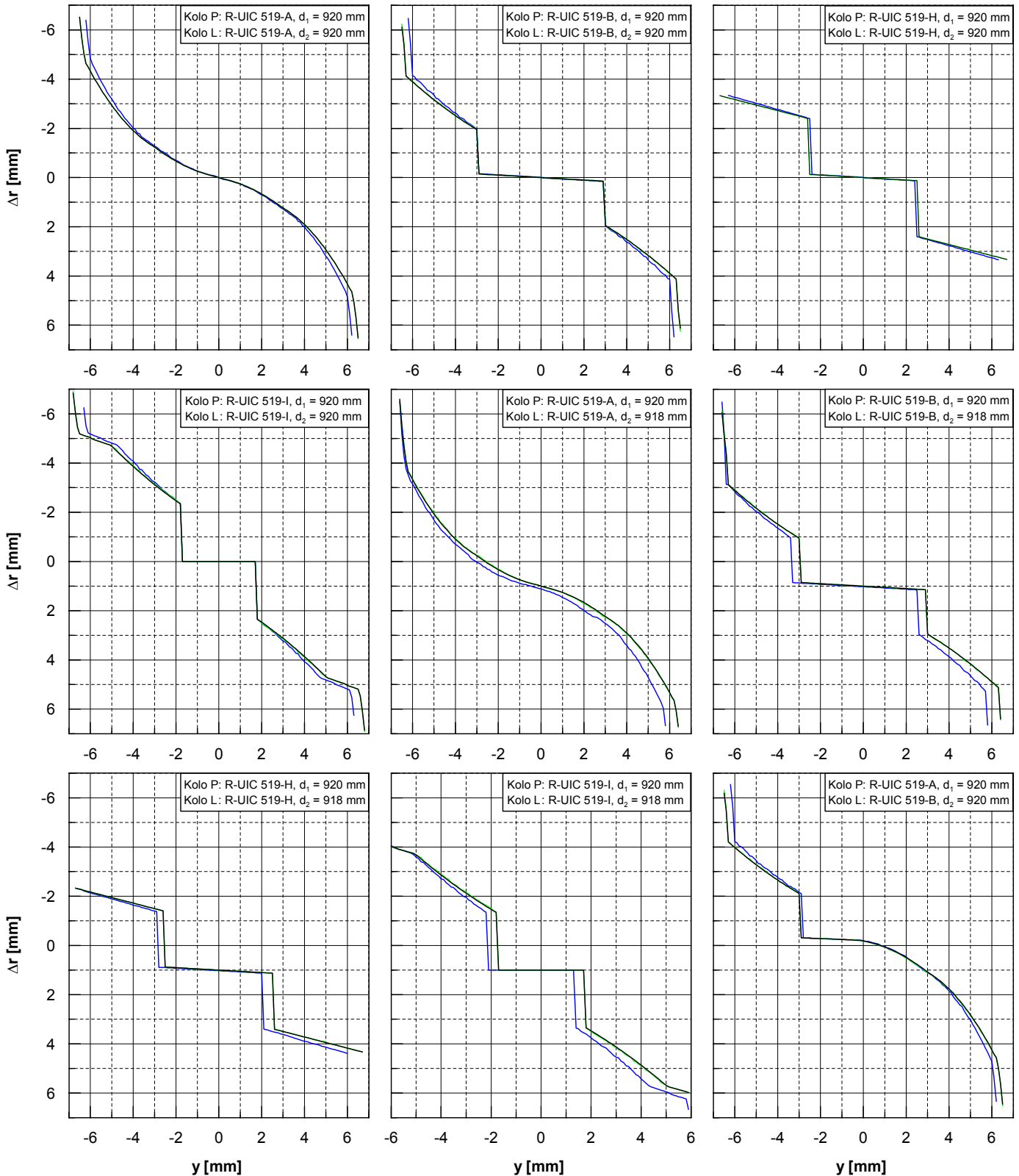
Kolejnice: **S-UIC 519-A**
Úklon: -
Rozchod koleje: **1435.16 mm**

— ČSN EN 15302

— Kontakt3 verze 1.2 β

— Kontakt3 verze 2.2 β

(c) AHaba, UPce DFJP-DPČT, 12/01/10; 15:54



Ekvivalentní konicita

Jízdní obrys: -
Průměr kol: **920 mm**
Rozkolí: **1360 mm**
Rozdíl průměrů kol: -

Kolejnice: **S-UIC 519-A**
Úklon: -
Rozchod koleje: **1435.16 mm**

— Referenční výpočet

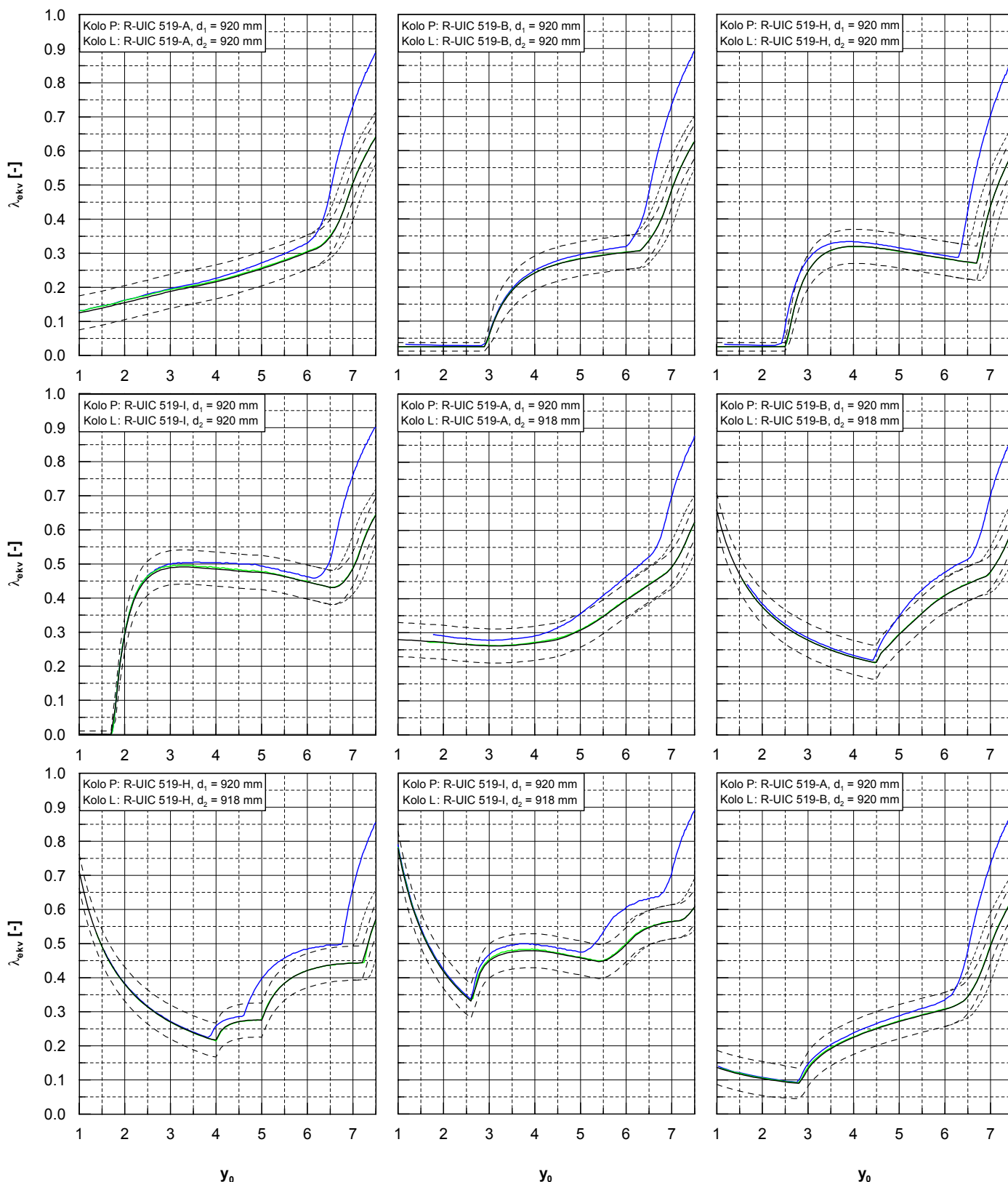
- - - Toleranční pole

— Kontakt3 verze 1.2β

- - - Přidavné toleranční pole

— Kontakt3 verze 2.2β

(c) AHaba, UPce DFJP-DPČT, 12/01/10; 15:55



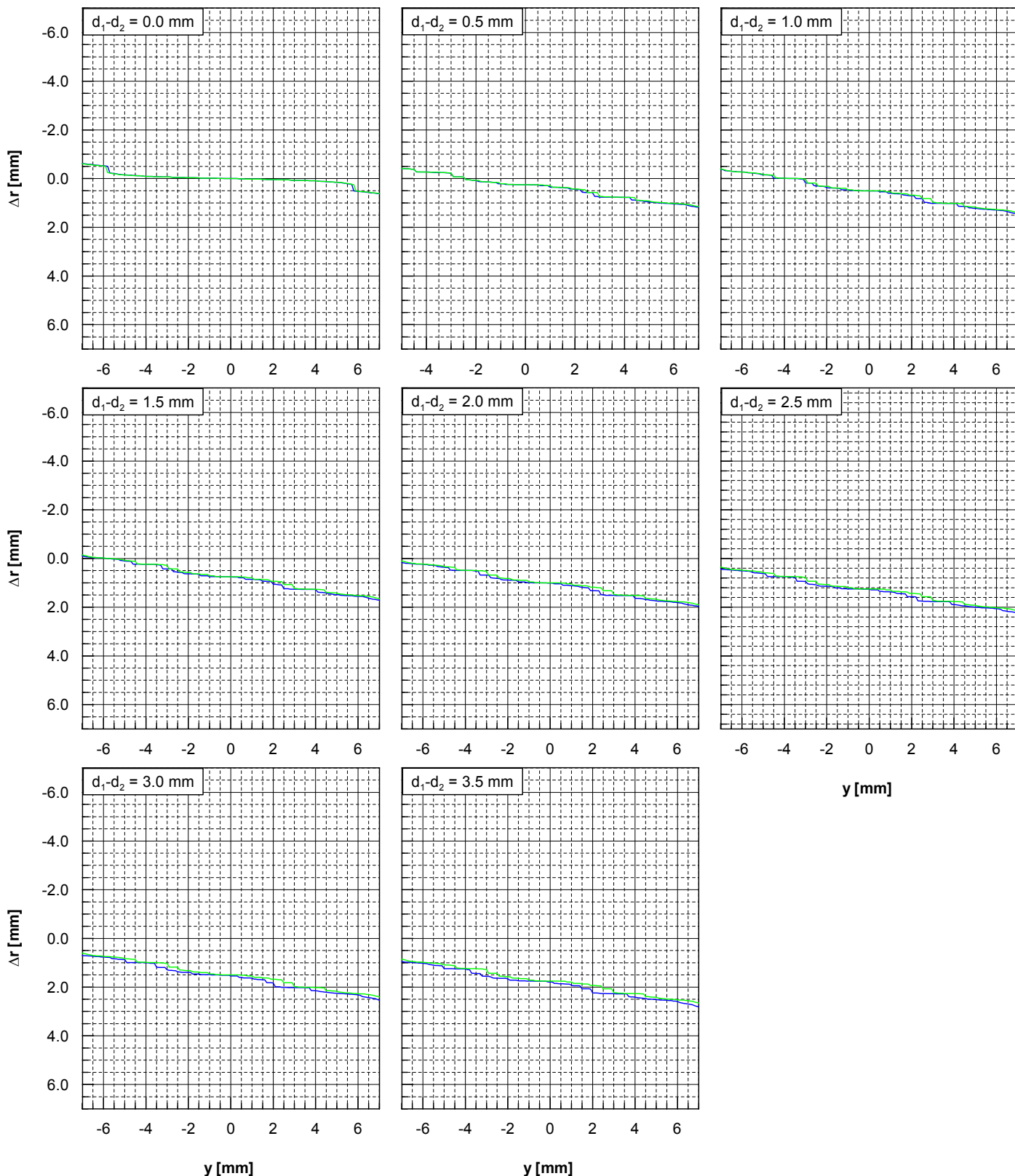
Průběh Δr funkce pro rozdílné průměry kol

Jízdní obrys: **Jmenovitý ORE S1002**
Průměr kol: **920 mm**
Rozkolí: **1357 mm**
Rozdíl průměrů kol: -

Kolejnice: **UIC60 lots 136**
Úklon: **1:40**
Rozchod koleje: **1440 mm**

———— Kontakt3 verze 1.2 β ———— Kontakt3 verze 2.2 β

(c) AHaba, UPce DFJP-DPČT, 12/01/10; 16:00



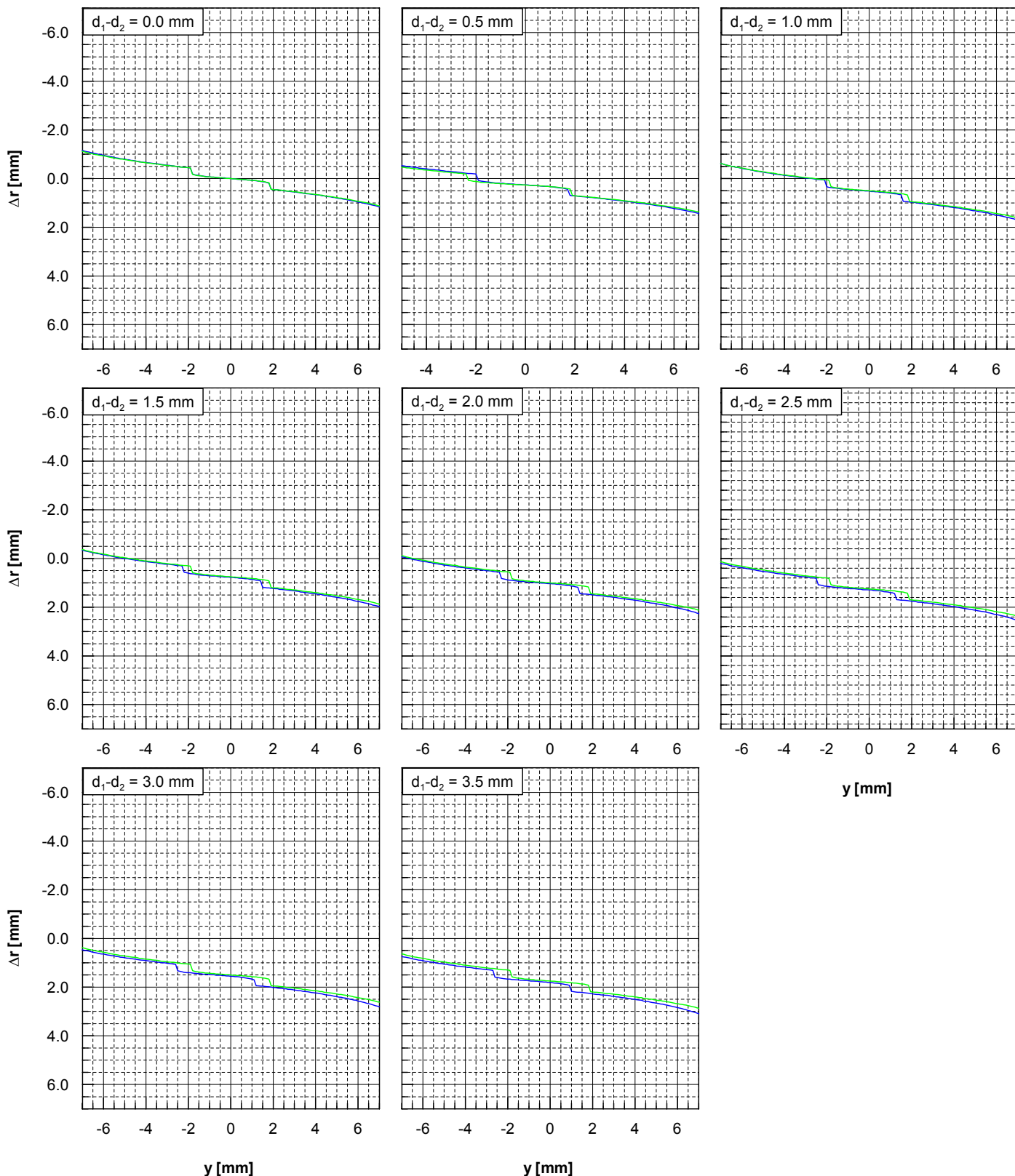
Průběh Δr funkce pro rozdílné průměry kol

Jízdní obrys: **Jmenovitý ORE S1002**
Průměr kol: **920 mm**
Rozkolí: **1360 mm**
Rozdíl průměrů kol: -

Kolejnice: **UIC60 lots 136**
Úklon: **1:40**
Rozchod koleje: **1435 mm**

———— Kontakt3 verze 1.2β ———— Kontakt3 verze 2.2β

(c) AHaba, UPce DFJP-DPČT, 12/01/10; 15:59



Průběh Δr funkce pro rozdílné průměry kol

Jízdní obrys: **Jmenovitý ORE S1002**

Průměr kol: **920 mm**

Rozkolí: **1363 mm**

Rozdíl průměrů kol: -

Kolejnice: **UIC60 lots 136**

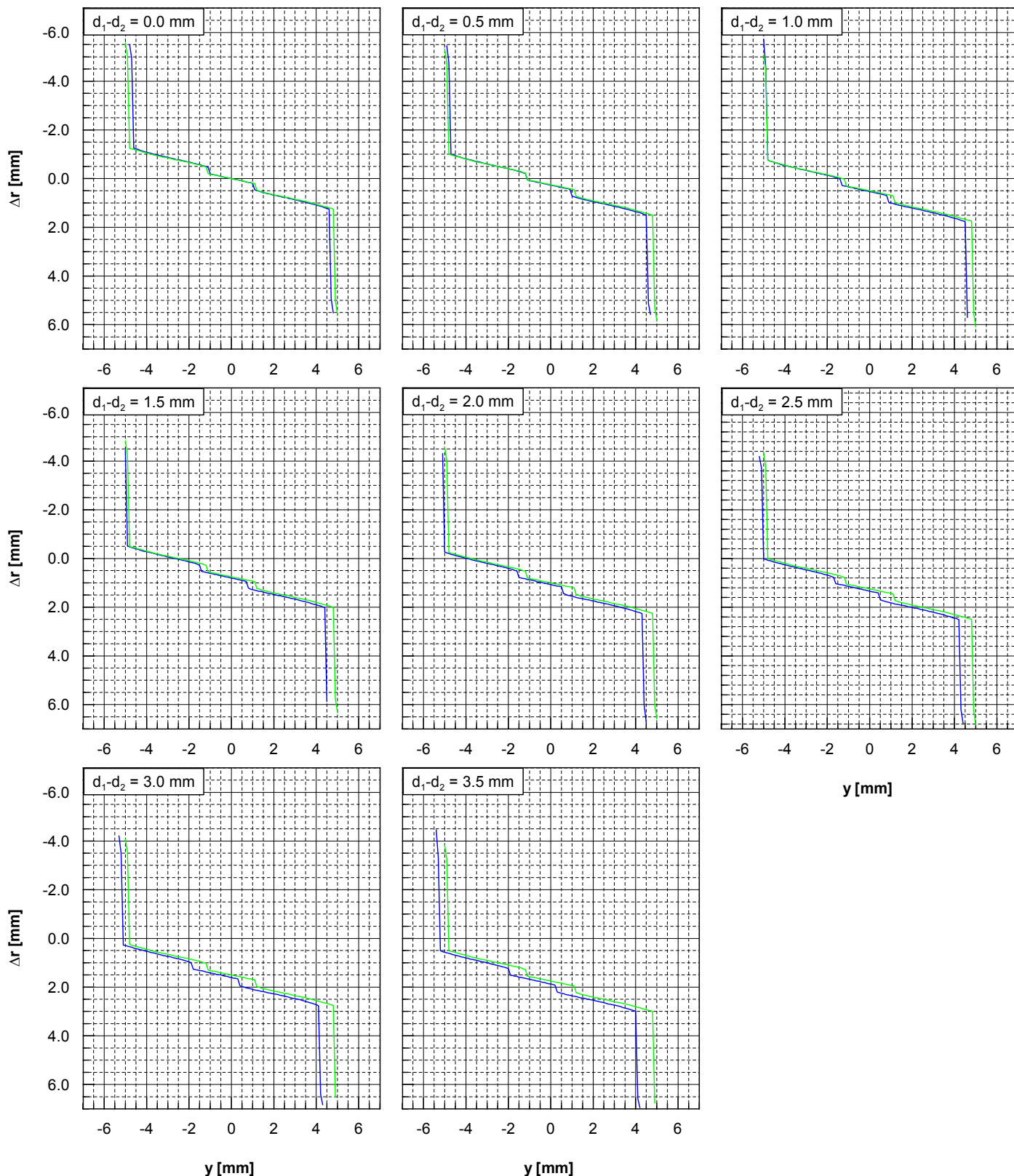
Úklon: **1:40**

Rozchod koleje: **1432 mm**

— Kontakt3 verze 1.2 β

— Kontakt3 verze 2.2 β

(c) AHaba, UPce DFJP-DPČT, 12/01/10; 15:58



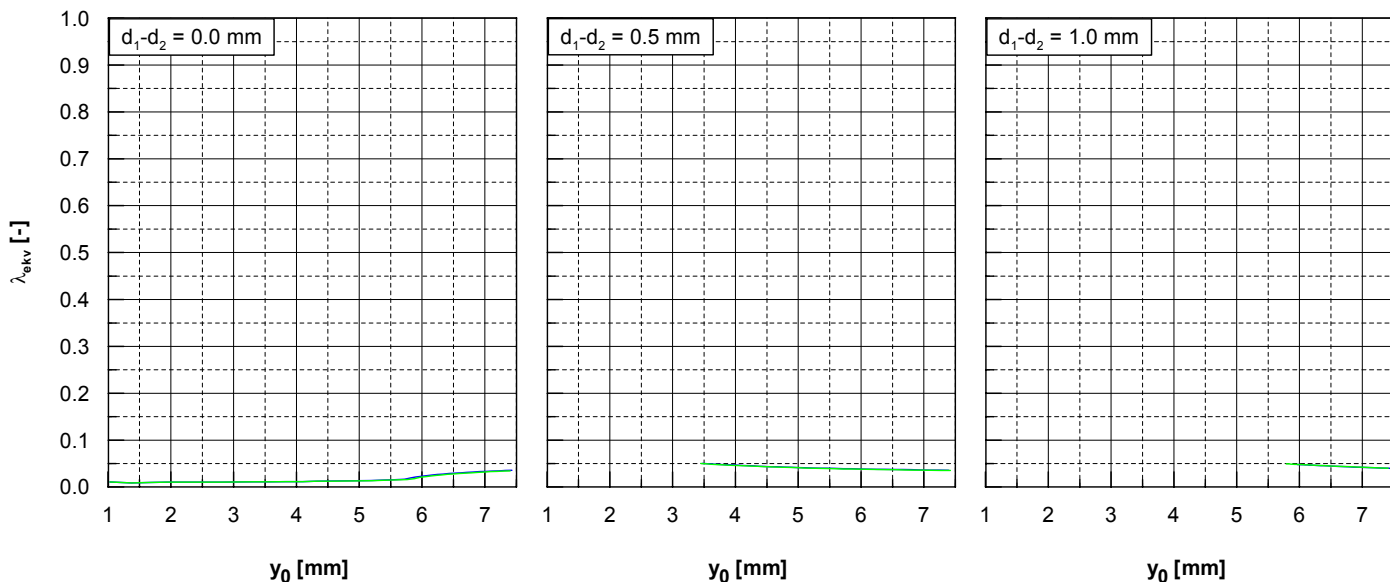
Průběh ekvivalentní konicity pro rozdílné průměry kol

Jízdní obrys: **Jmenovitý ORE S1002**
Průměr kol: **920 mm**
Rozkolí: **1357 mm**
Rozdíl průměrů kol: **0.0±3.5 mm**

Kolejnice: **UIC60 lots 136**
Úklon: **1:40**
Rozchod koleje: **1440 mm**

———— Kontakt3 verze 1.2β ————— Kontakt3 verze 2.2β

(c) AHaba, UPce DFJP-DPČT, 12/01/10; 16:24



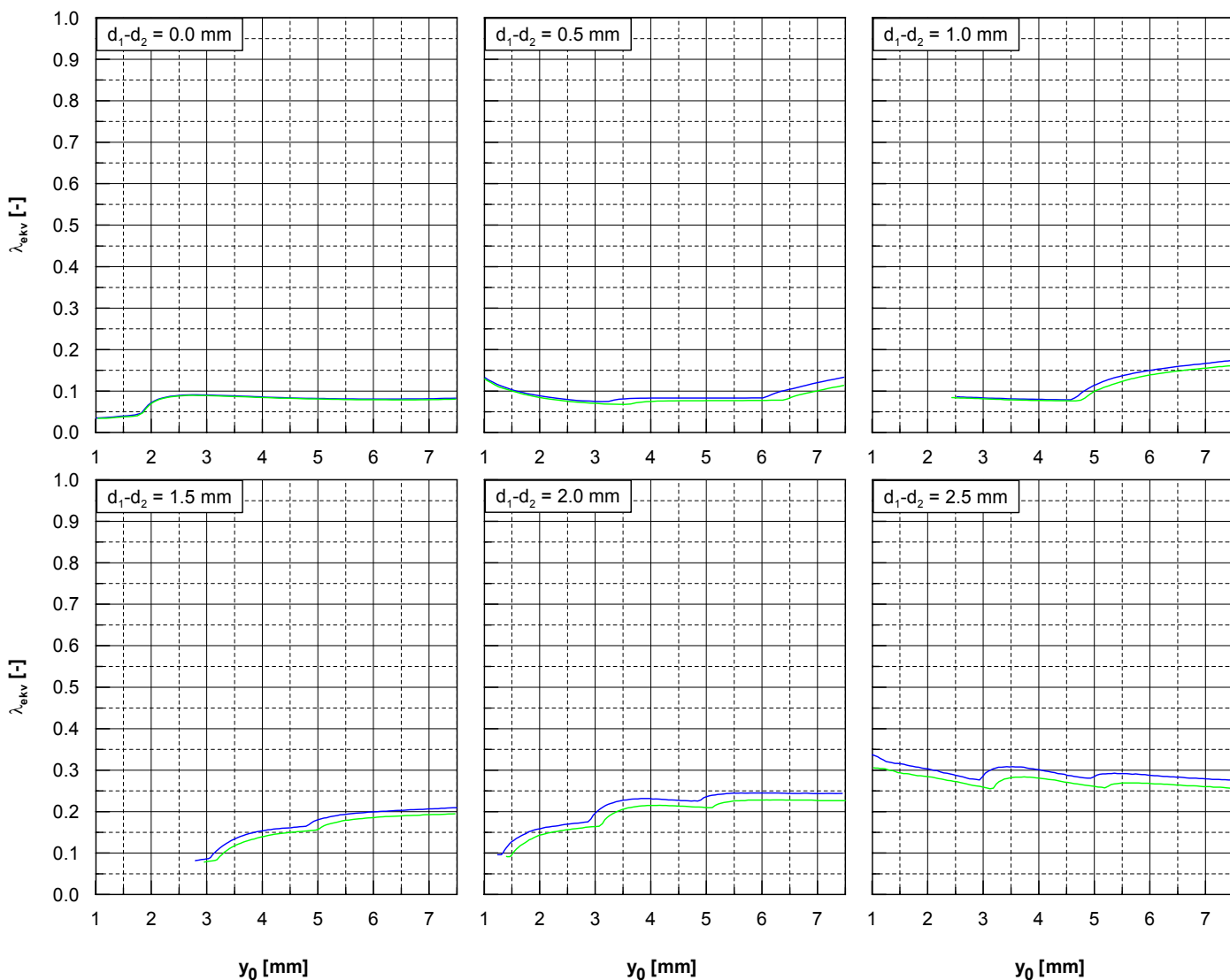
Průběh ekvivalentní konicity pro rozdílné průměry kol

Jízdní obrys: **Jmenovitý ORE S1002**
Průměr kol: **920 mm**
Rozkolí: **1360 mm**
Rozdíl průměrů kol: **0.0±3.5 mm**

Kolejnice: **UIC60 lots 136**
Úklon: **1:40**
Rozchod koleje: **1435 mm**

———— Kontakt3 verze 1.2β ————— Kontakt3 verze 2.2β

(c) AHaba, UPce DFJP-DPČT, 12/01/10; 16:23



Průběh ekvivalentní konicity pro rozdílné průměry kol

Jízdní obrys: **Jmenovitý ORE S1002**

Průměr kol: **920 mm**

Rozkolí: **1363 mm**

Rozdíl průměrů kol: -

Kolejnice: **UIC60 lots 136**

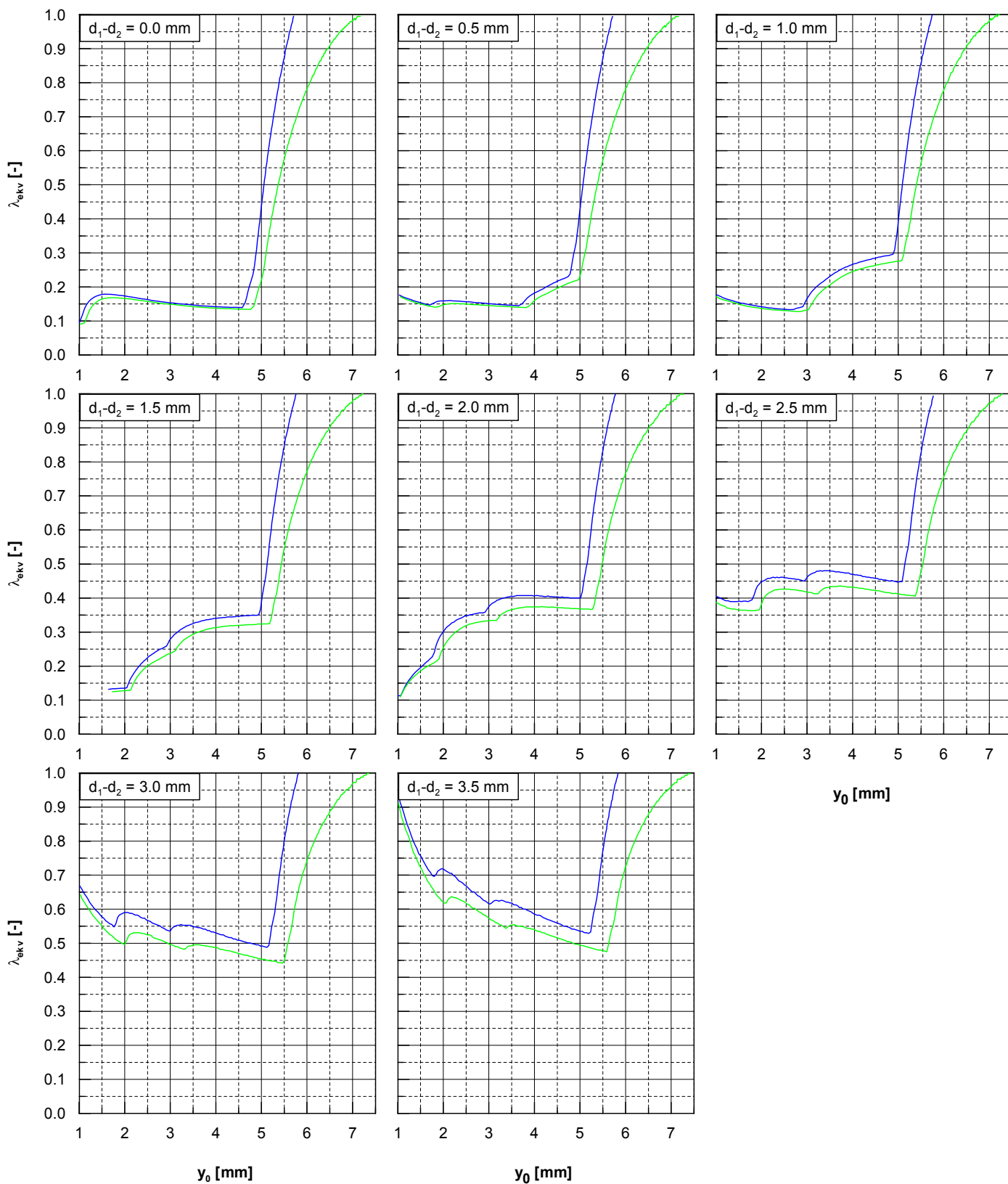
Úklon: **1:40**

Rozchod koleje: **1432 mm**

— Kontakt3 verze 1.2β

— Kontakt3 verze 2.2β

(c) AHaba, UPce DFJP-DPČT, 12/01/10; 16:18



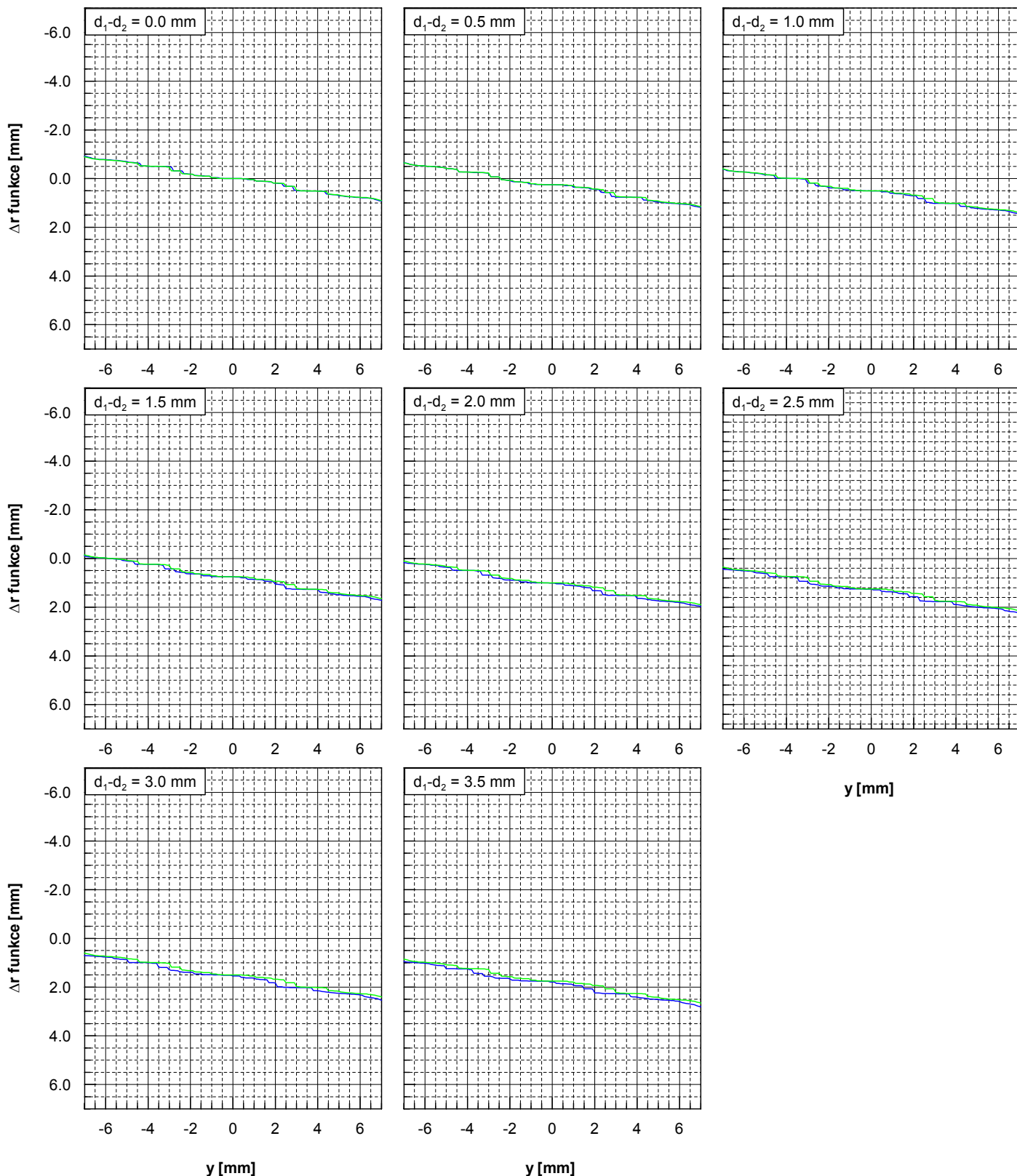
Průběh Δr funkce pro rozdílné průměry kol

Jízdní obrys: **Opotřebený ORE S1002**
Průměr kol: **920 mm**
Rozkolí: **1357 mm**
Rozdíl průměrů kol: -

Kolejnice: **UIC60 lots 136**
Úklon: **1:40**
Rozchod koleje: **1440 mm**

———— Kontakt3 verze 1.2 β ———— Kontakt3 verze 2.2 β

(c) AHaba, UPce DFJP-DPČT, 12/01/10; 15:58



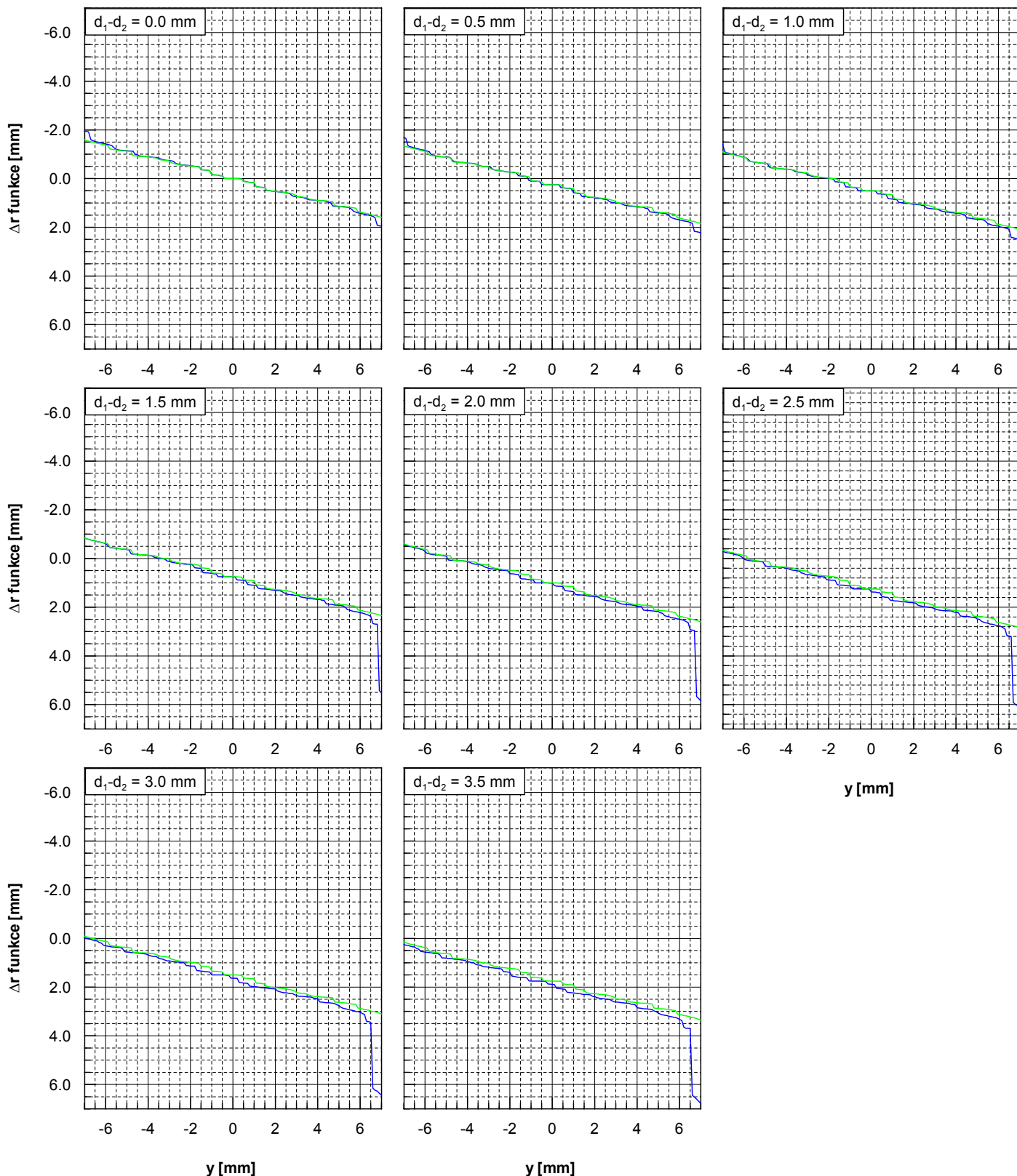
Průběh Δr funkce pro rozdílné průměry kol

Jízdní obrys: **Opotřebený ORE S1002**
Průměr kol: **920 mm**
Rozkolí: **1360 mm**
Rozdíl průměrů kol: -

Kolejnice: **UIC60 lots 136**
Úklon: **1:40**
Rozchod koleje: **1435 mm**

———— Kontakt3 verze 1.2 β ————— Kontakt3 verze 2.2 β

(c) AHaba, UPce DFJP-DPČT, 12/01/10; 15:57



Průběh Δr funkce pro rozdílné průměry kol

Jízdní obrys: **Opotřebený ORE S1002**

Průměr kol: **920 mm**

Rozkolí: **1363 mm**

Rozdíl průměrů kol: -

Kolejnice: **UIC60 lots 136**

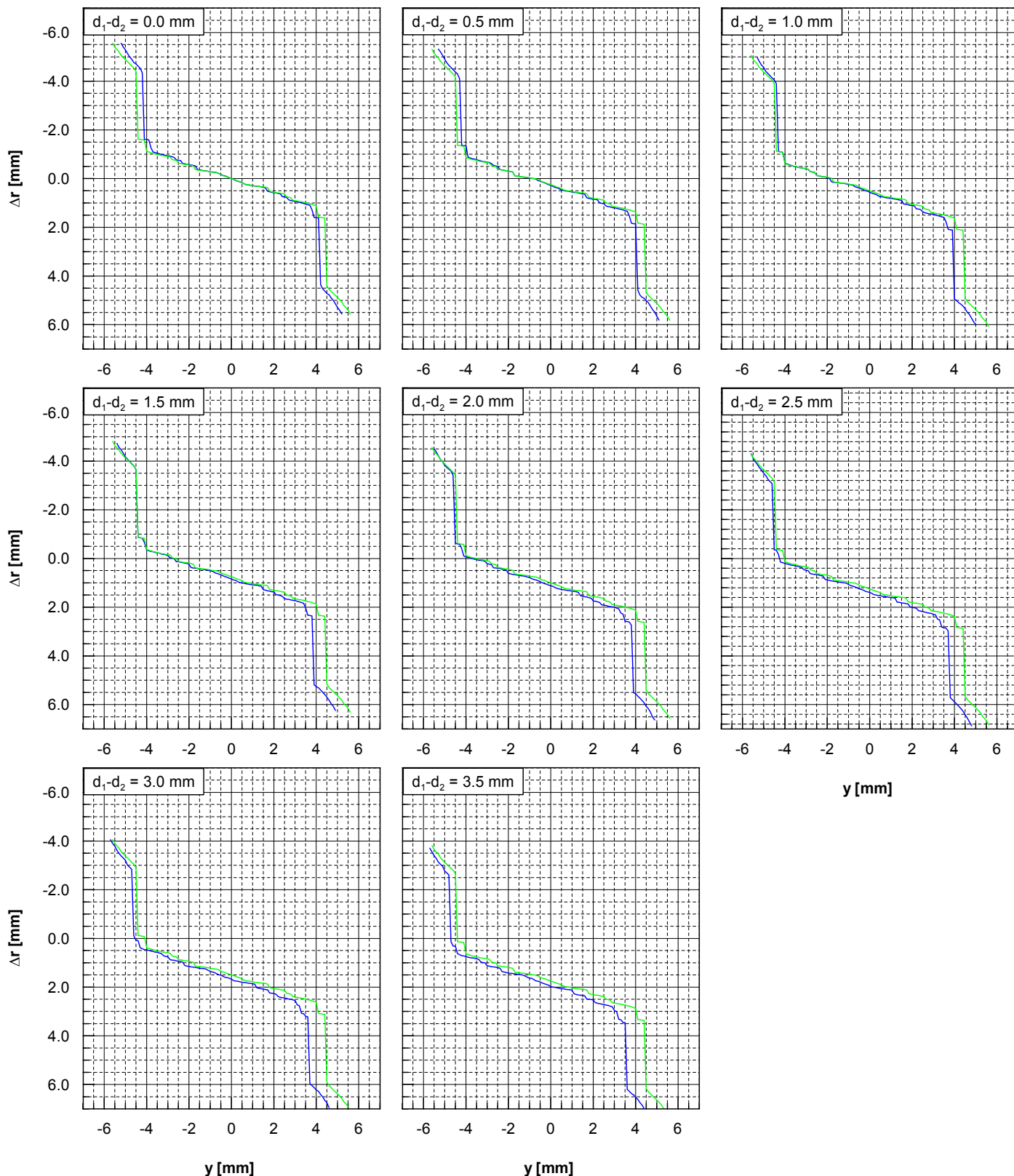
Úklon: **1:40**

Rozchod koleje: **1432 mm**

— Kontakt3 verze 1.2 β

— Kontakt3 verze 2.2 β

(c) AHaba, UPce DFJP-DPČT, 12/01/10; 15:57



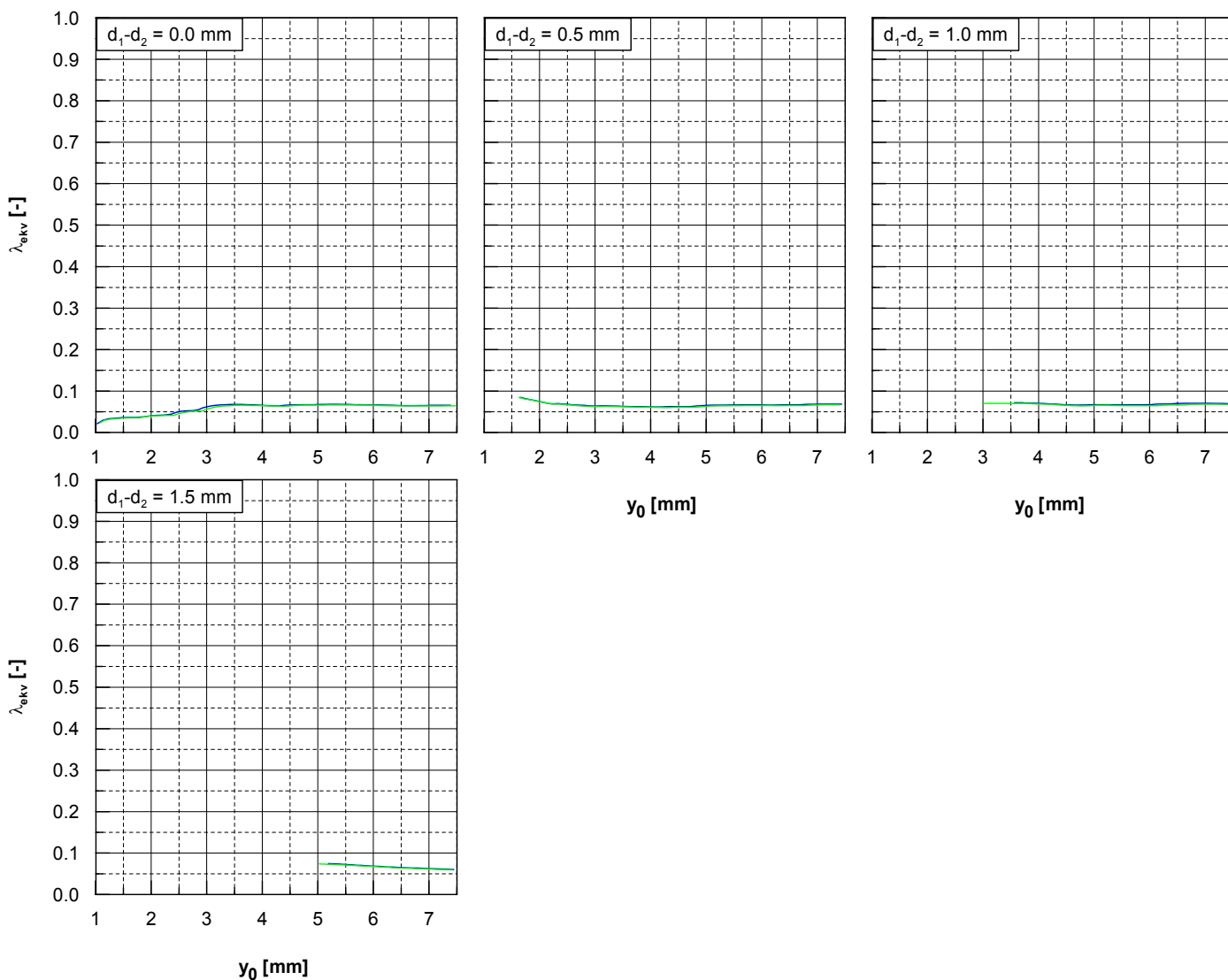
Průběh ekvivalentní konicity pro rozdílné průměry kol

Jízdní obrys: **Opatřebený ORE S1002**
Průměr kol: **920 mm**
Rozkolí: **1357 mm**
Rozdíl průměrů kol: **0.0±3.5 mm**

Kolejnice: **UIC60 lots 136**
Úklon: **1:40**
Rozchod koleje: **1440 mm**

———— Kontakt3 verze 1.2β ————— Kontakt3 verze 2.2β

(c) AHaba, UPce DFJP-DPČT, 12/01/10; 16:16



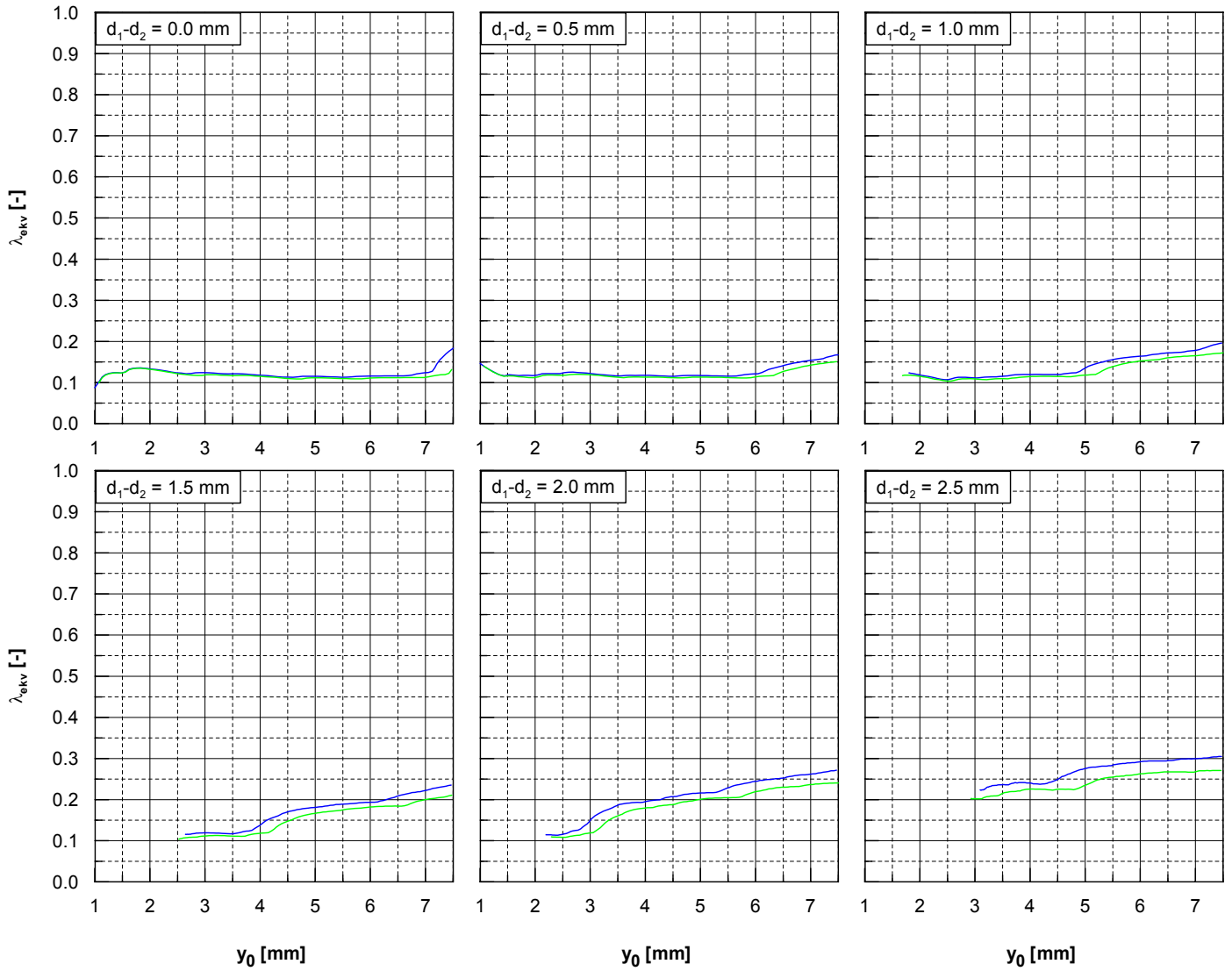
Průběh ekvivalentní konicity pro rozdílné průměry kol

Jízdní obrys: **Opotřebený ORE S1002**
Průměr kol: **920 mm**
Rozkolí: **1360 mm**
Rozdíl průměrů kol: **0.0±3.5 mm**

Kolejnice: **UIC60 lots 136**
Úklon: **1:40**
Rozchod koleje: **1435 mm**

———— Kontakt3 verze 1.2β ————— Kontakt3 verze 2.2β

(c) AHaba, UPce DFJP-DPČT, 12/01/10; 16:02



Průběh ekvivalentní konicity pro rozdílné průměry kol

Jízdní obrys: **Opotřebený ORE S1002**

Průměr kol: **920 mm**

Rozkolí: **1363 mm**

Rozdíl průměrů kol: -

Kolejnice: **UIC60 lots 136**

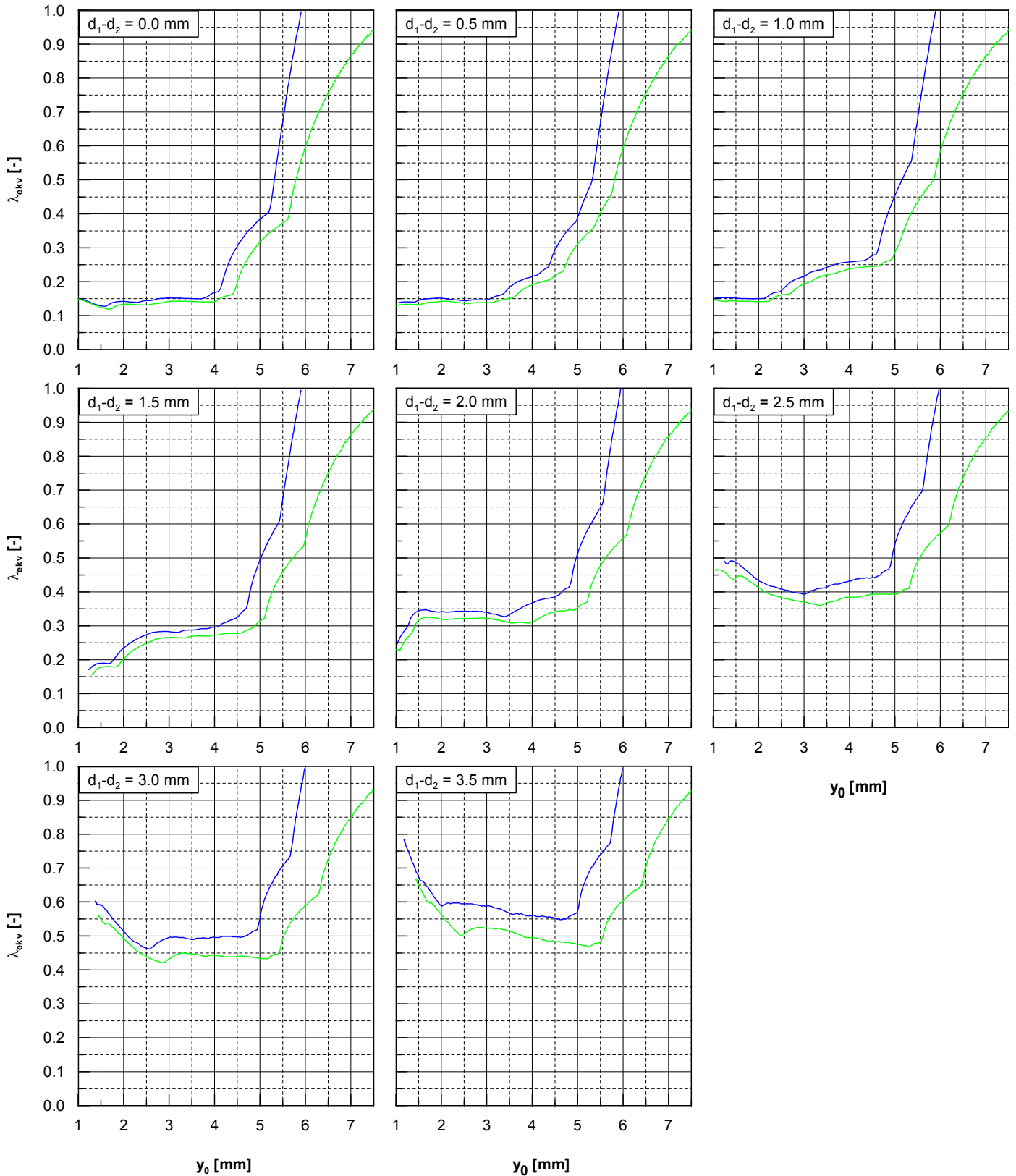
Úklon: **1:40**

Rozchod koleje: **1432 mm**

———— Kontakt3 verze 1.2β

———— Kontakt3 verze 2.2β

(c) AHaba, UPce DFJP-DPČT, 12/01/10; 16:00



Příloha č. 2

**Experimentální zjišťování dynamické odezvy při
průjezdu vozidla výhybkou**

Příloha č. 2.1

Nefiltrované průběhy zrychlení ve svislém směru při průjezdu výhybkou a spektrální výkonová hustota

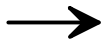
2.1.1 Výhybka č. 2 ve stanici ZAJEČÍ

2.1.2 Výhybka č. 3 ve stanici ŠAKVICE

Filterované průběhy signálů zrychlení na ložiskových skříních vozidla

Stanice: **ZAJEČÍ - srdcovka výhybky č. 2**
Kolej: **2.**
Zhlaví: **Břeclavské**
Směr: **Brno**

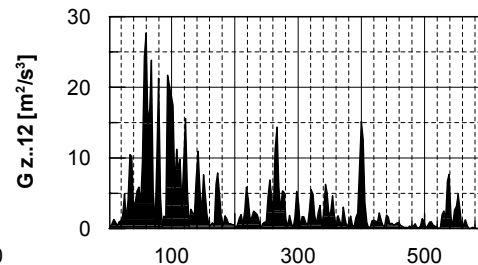
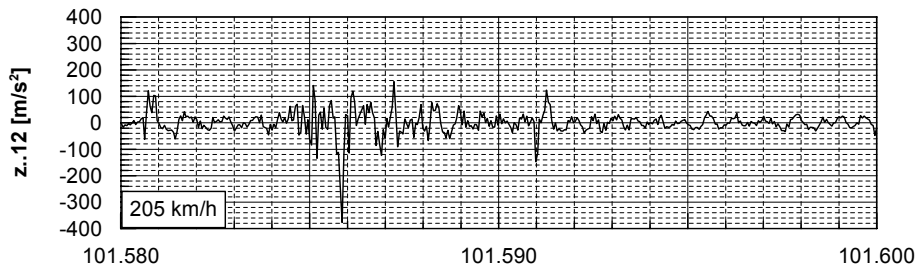
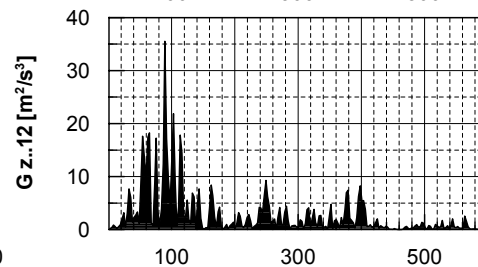
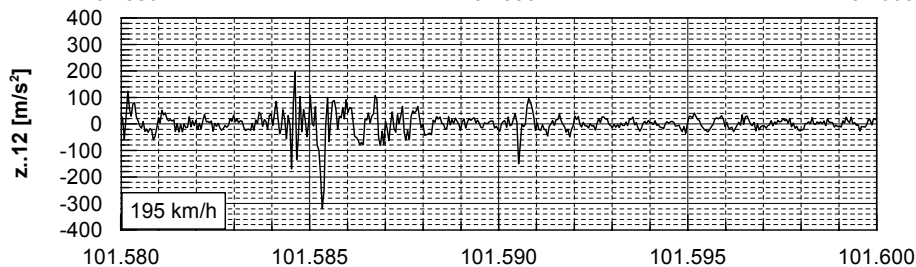
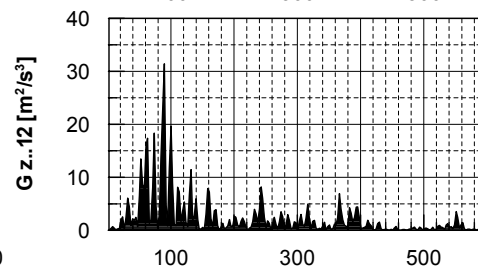
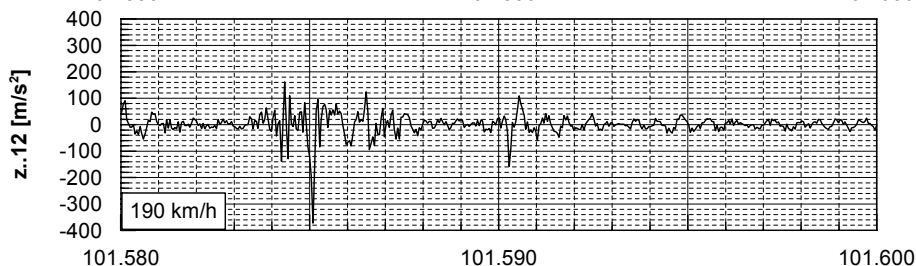
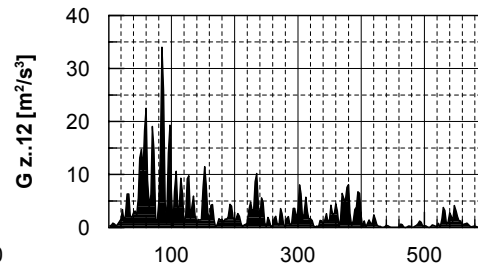
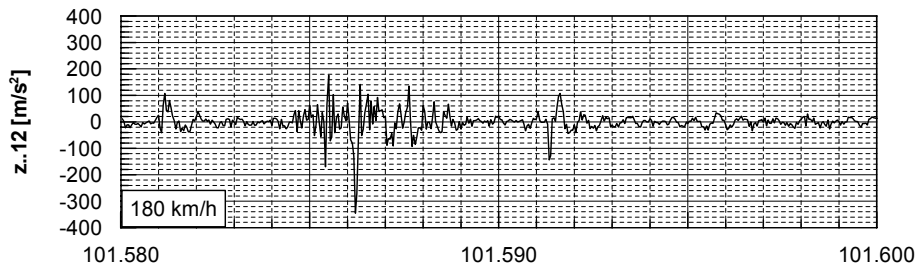
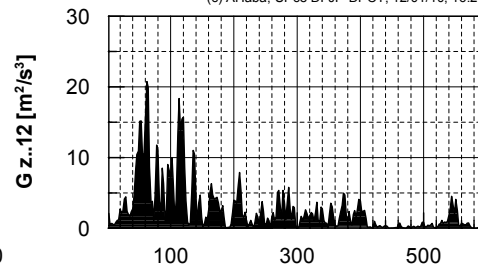
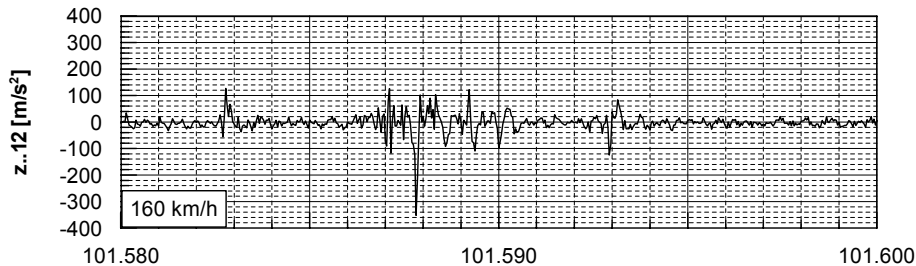
Datum: **15÷18.11.2004**
Vozidlo: **681 001-4**
Rychlost: **160÷205 km/h**
Číslo měření: **M01÷M15**



č. 2



(c) AHaba, UPce DFJP-DPČT, 12/01/10; 16:29



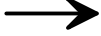
kilometrůž

f [Hz]

Filterované průběhy signálů zrychlení na ložiskových skříních vozidla

Stanice: **ZAJEČÍ** - srdcovka výhybky č. 2
Kolej: 2.
Zhlaví: **Břeclavské**
Směr: **Brno**

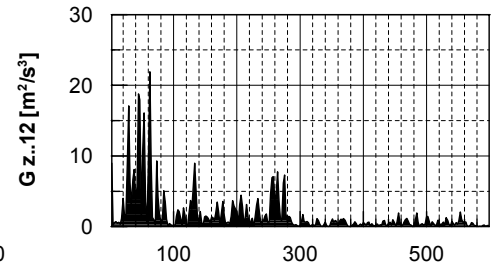
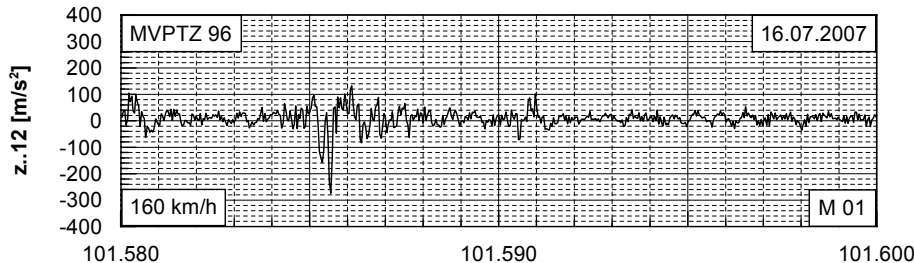
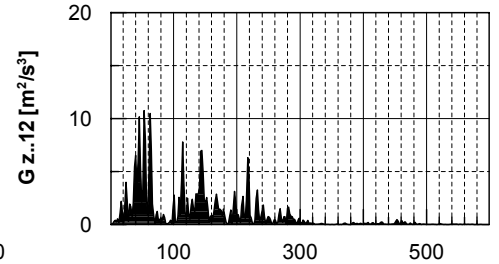
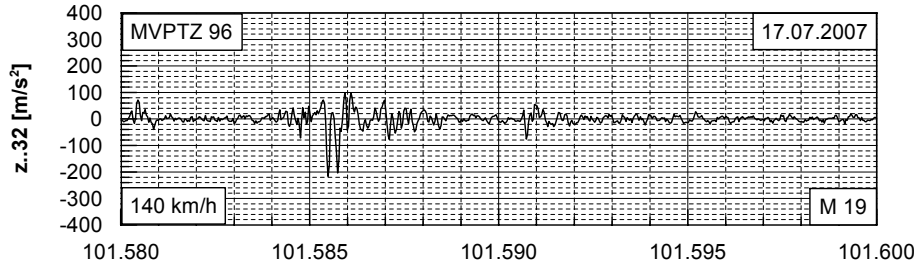
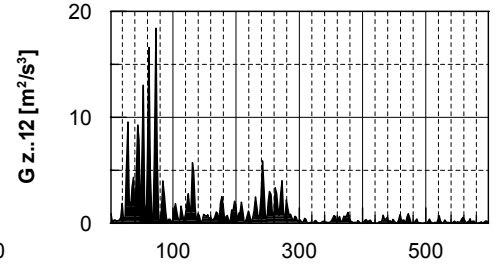
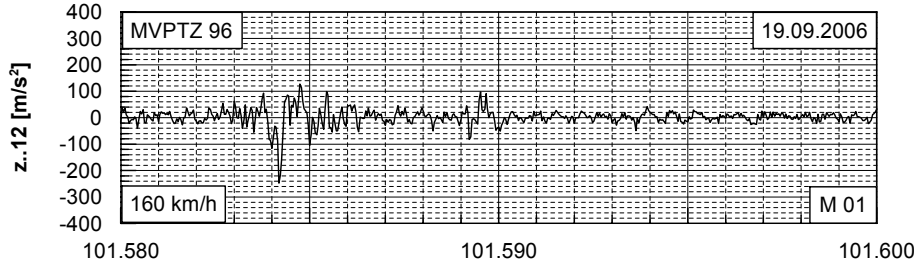
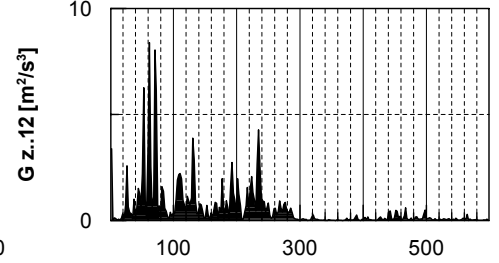
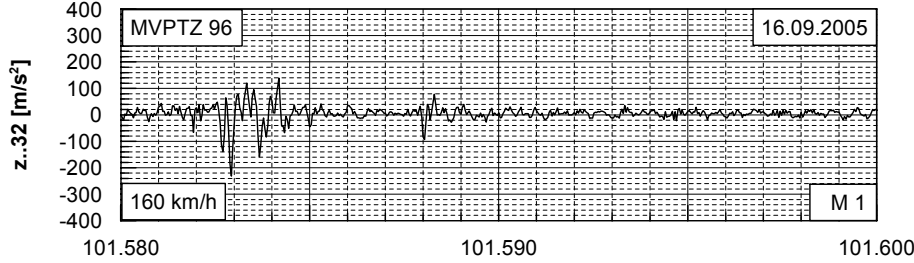
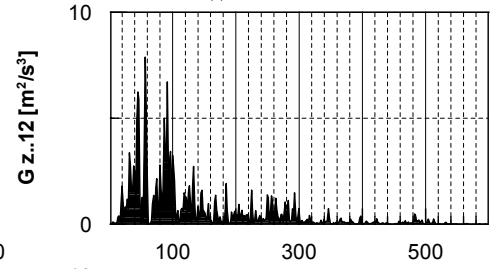
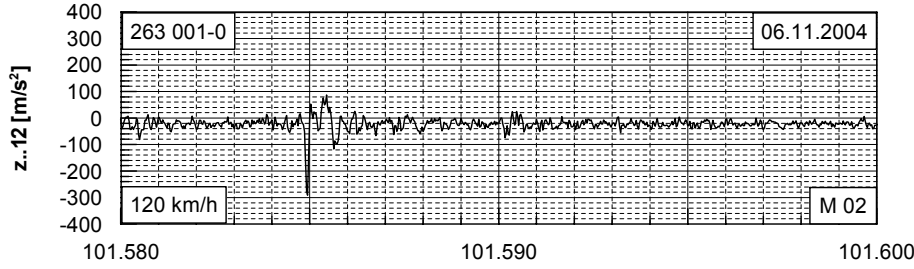
Datum: -
Vozidlo: -
Rychlost: -
Číslo měření: -



č. 2



(c) AHaba, UPce DFJP-DPČT, 12/01/10; 16:27



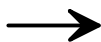
kilometrůž

f [Hz]

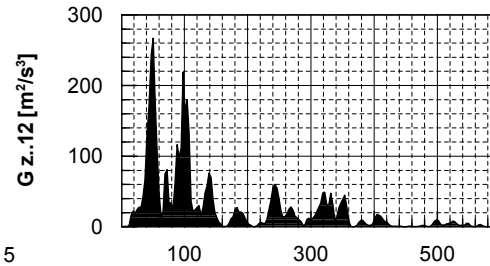
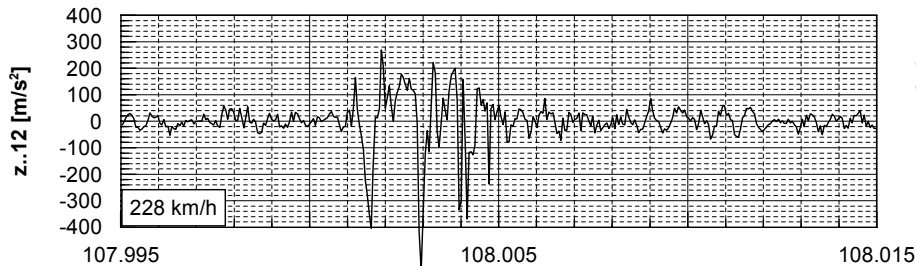
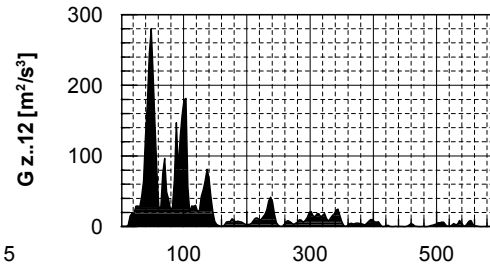
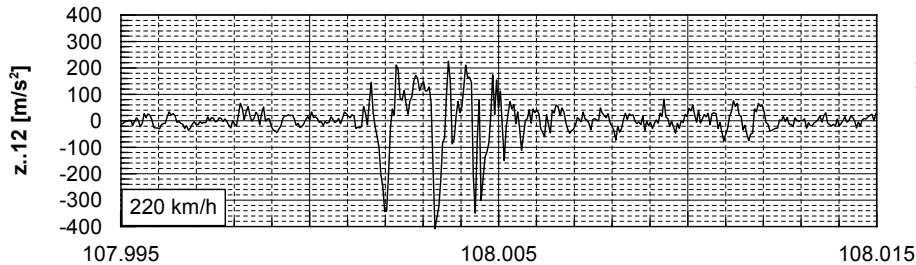
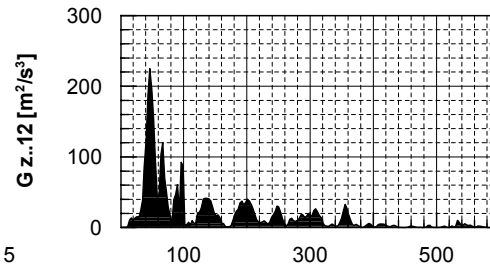
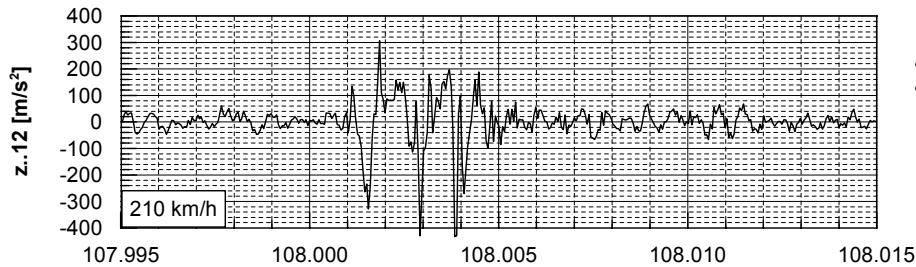
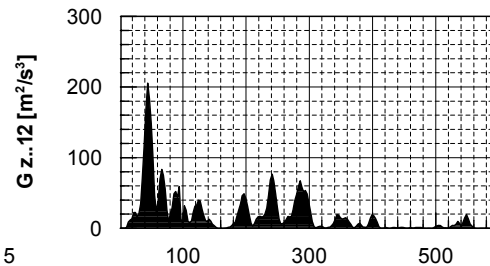
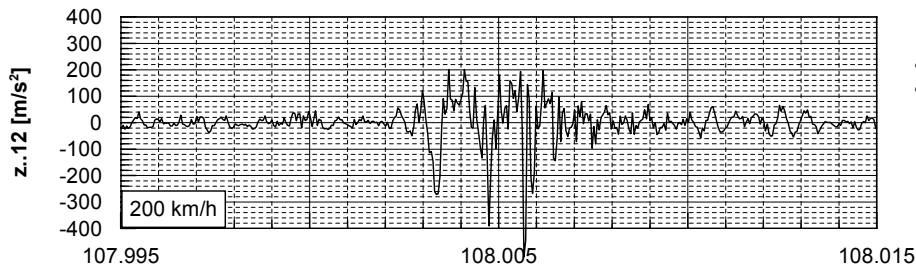
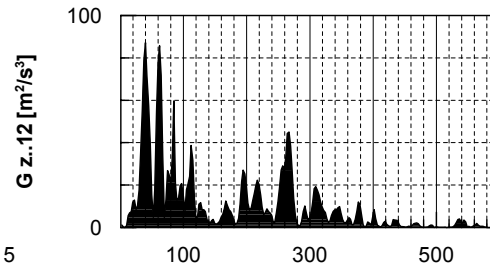
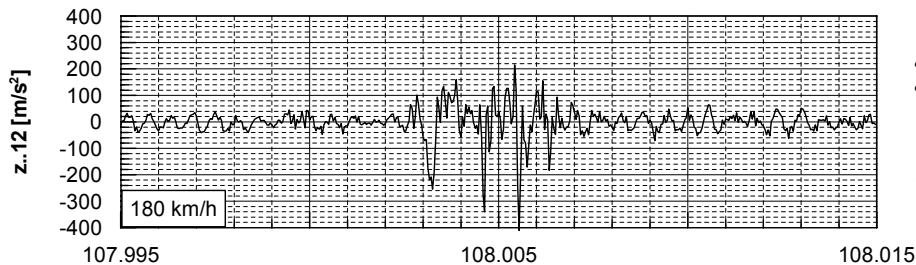
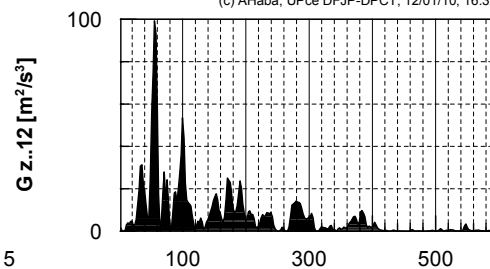
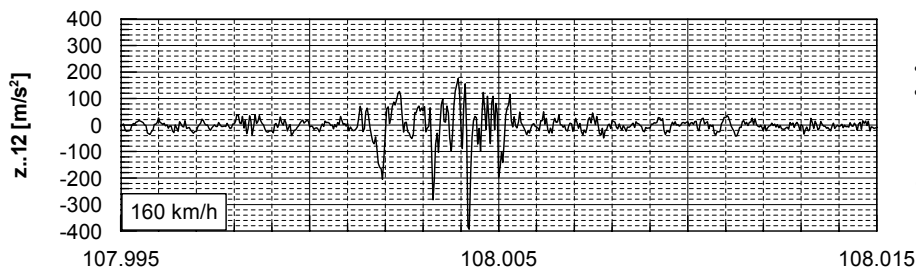
Filterované průběhy signálů zrychlení na ložiskových skříních vozidla

Stanice: **ŠAKVICE - srdcovka výhybky č. 3**
Kolej: **2.**
Zhlaví: **Břeclavské**
Směr: **Brno**

Datum: **15÷18.11.2004**
Vozidlo: **681 001-4**
Rychlost: **160÷228 km/h**
Číslo měření: **M01÷M15**



(c) AHaba, UPce DFJP-DPČT, 12/01/10; 16:32



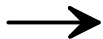
kilometrůž

f [Hz]

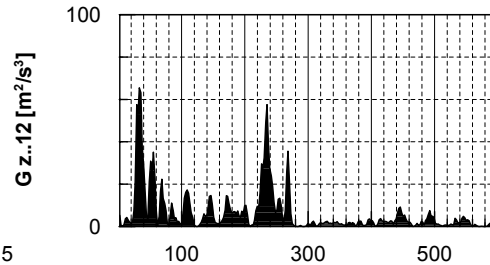
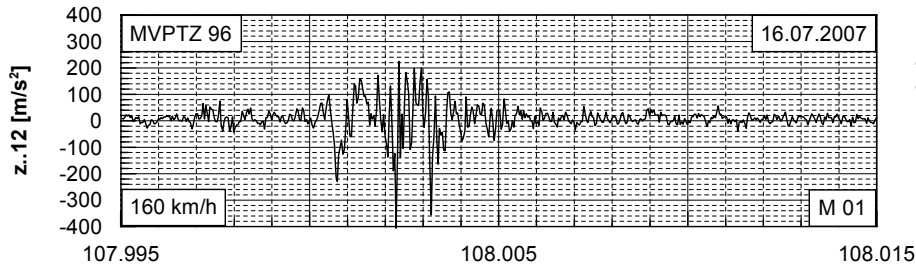
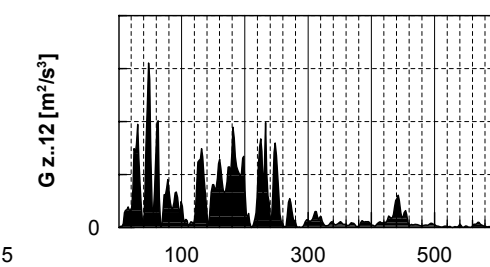
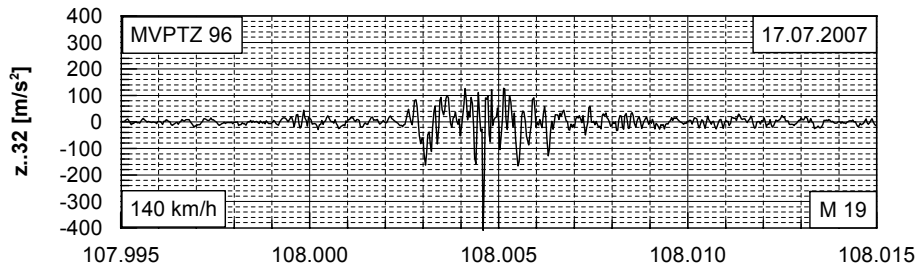
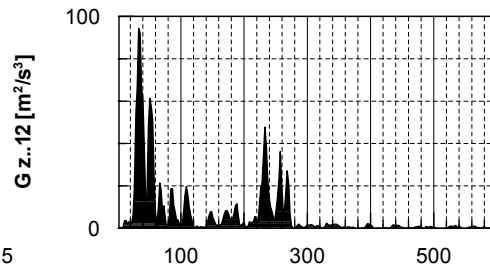
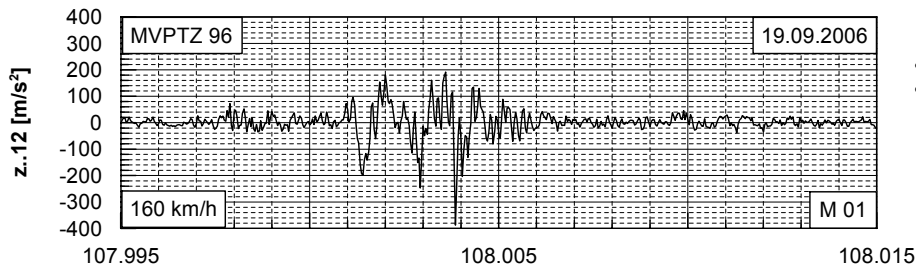
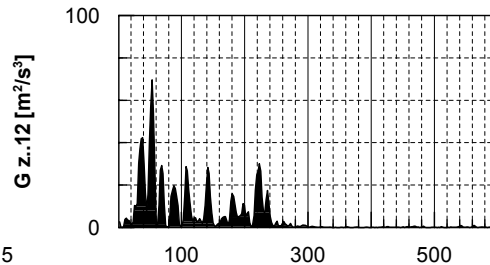
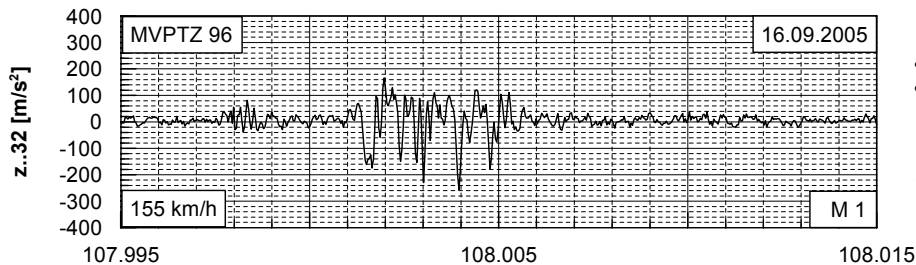
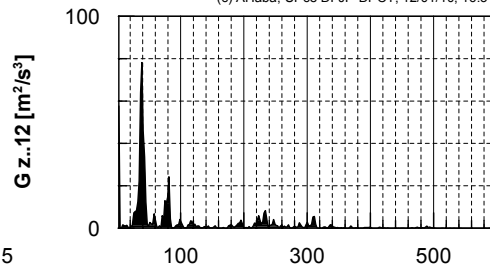
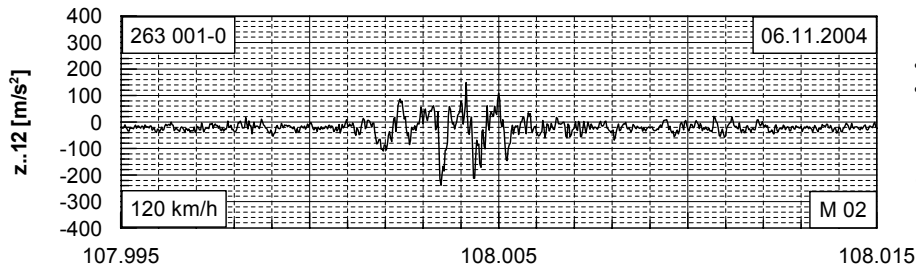
Filterované průběhy signálů zrychlení na ložiskových skříních vozidla

Stanice: **ŠAKVICE - srdcovka výhybky č. 3**
Kolej: **2.**
Zhlaví: **Břeclavské**
Směr: **Brno**

Datum: -
Vozidlo: -
Rychlost: -
Číslo měření: -



(c) AHaba, UPce DFJP-DPČT, 12/01/10; 16:31



kilometrůž

f [Hz]

Příloha č. 2.2

Rozbor výsledků filtrace průběhů zrychlení s různou hodnotou úrovně filtru

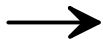
2.2.1 Výhybka č. 2 ve stanici ZAJEČÍ

2.2.2 Výhybka č. 3 ve stanici ŠAKVICE

Filterované průběhy signálů zrychlení na ložiskových skříních vozidla

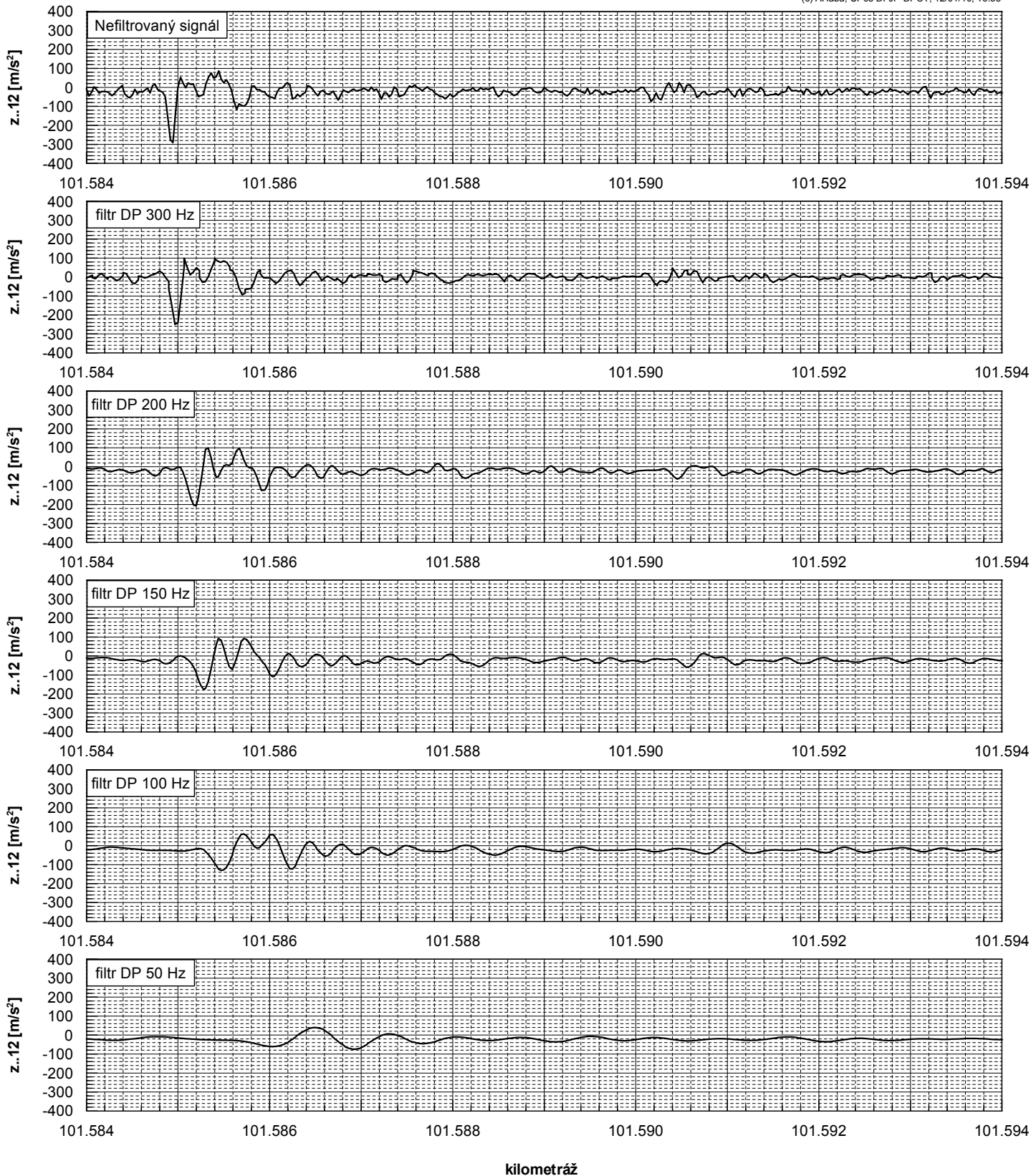
Stanice: **ZAJEČÍ - srdcovka výhybky č. 2**
Kolej: **2.**
Zhlaví: **Břeclavské**
Směr: **Brno**

Datum: **06.11.2004**
Vozidlo: **263 001-0**
Rychlost: **120 km/h**
Číslo měření: **M 02**



č. 2

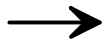
(c) AHaba, UPce DFJP-DPČT, 12/01/10; 16:38



Filtrované průběhy signálů zrychlení na ložiskových skříních vozidla

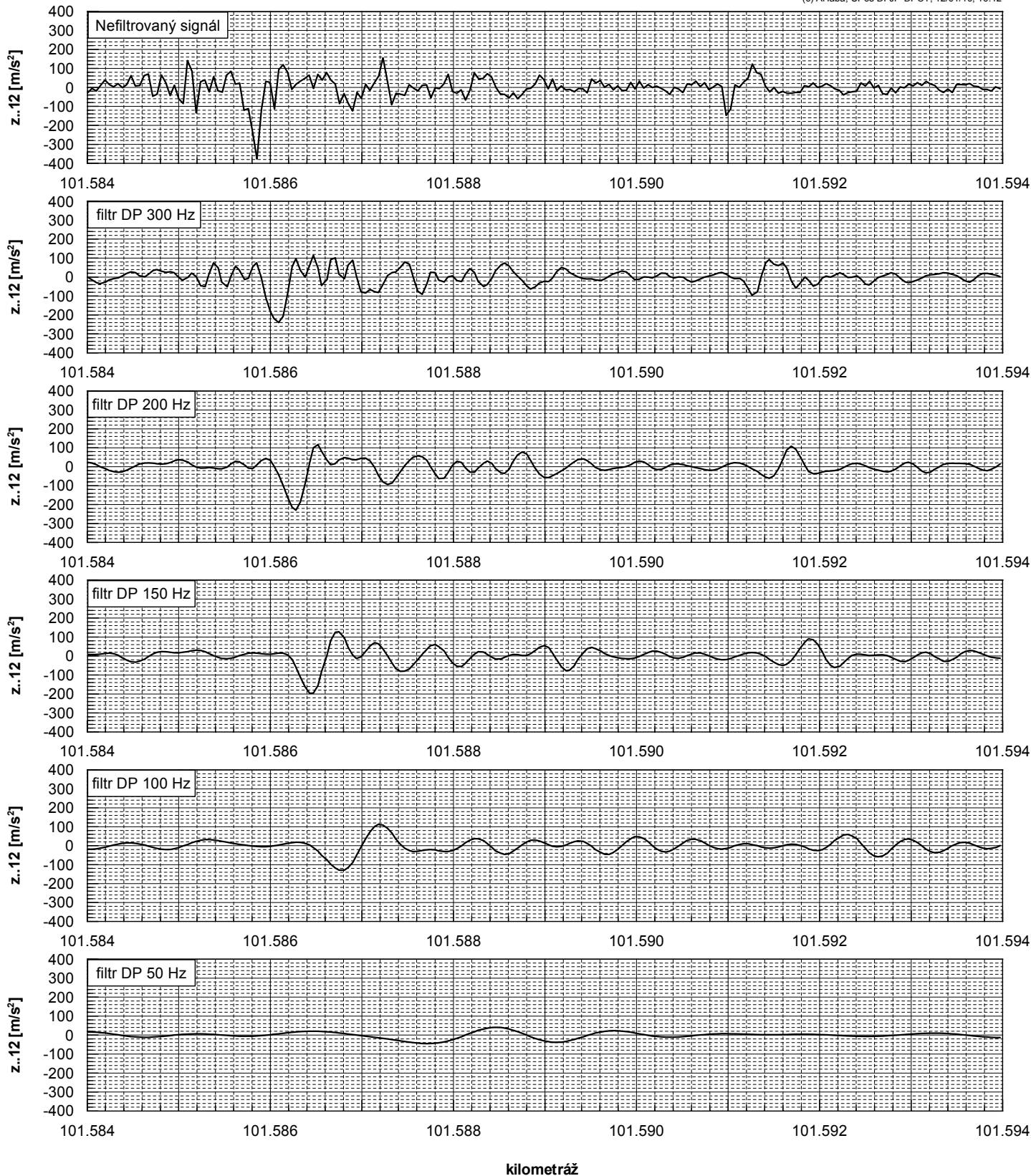
Stanice: **ZAJEČÍ - srdcovka výhybky č. 2**
Kolej: **2.**
Zhlaví: **Břeclavské**
Směr: **Brno**

Datum: **18.11.2004**
Vozidlo: **681 001-4**
Rychlost: **205 km/h**
Číslo měření: **M 15**



č. 2

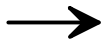
(c) AHaba, UPce DFJP-DPČT, 12/01/10; 16:42



Filterované průběhy signálů zrychlení na ložiskových skříních vozidla

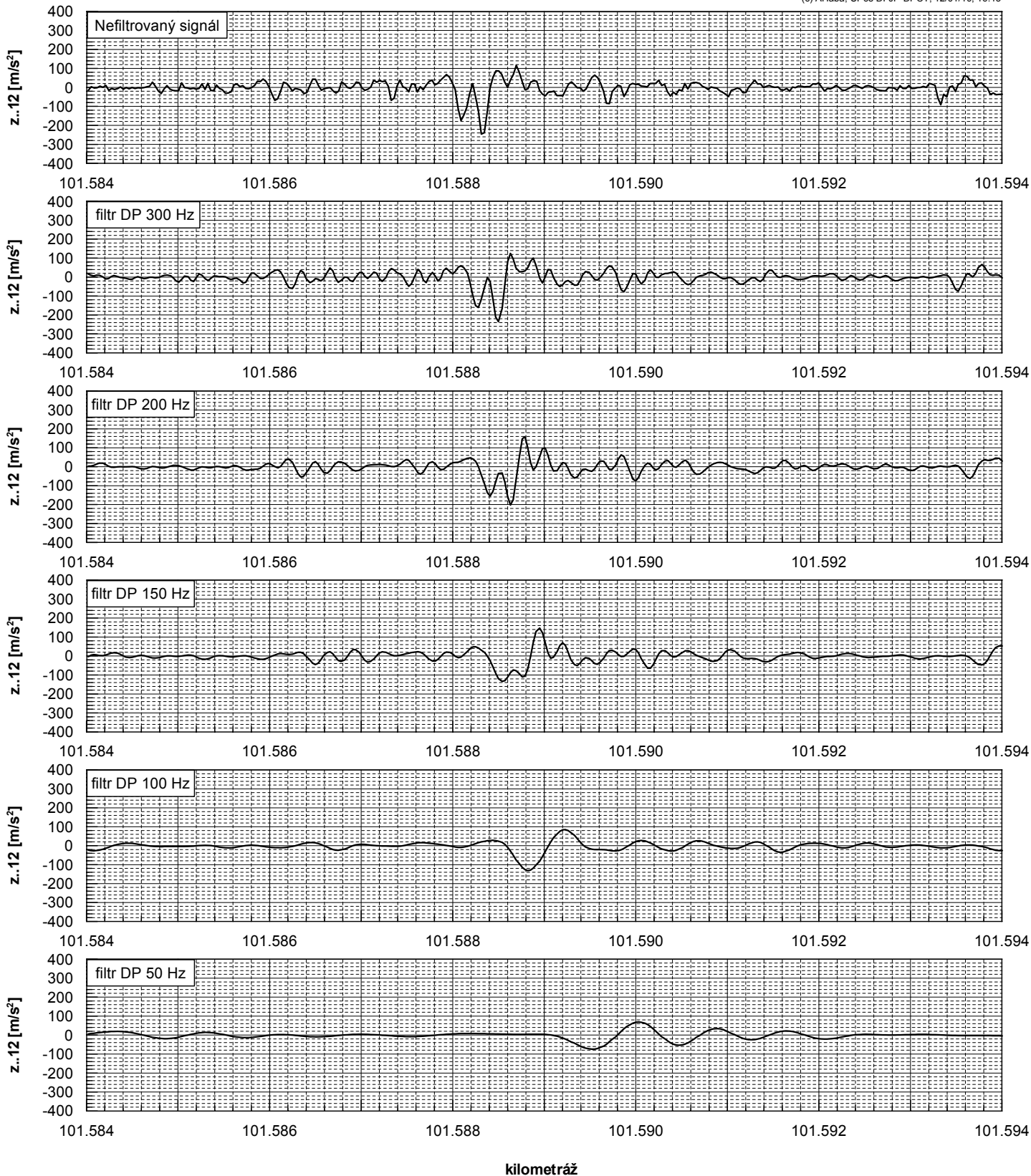
Stanice: **ZAJEČÍ - srdcovka výhybky č. 2**
Kolej: **2.**
Zhlaví: **Břeclavské**
Směr: **Brno**

Datum: **17.07.2007**
Vozidlo: **MVPTZ 96**
Rychlost: **140 km/h**
Číslo měření: **M 19**



č. 2

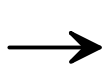
(c) AHaba, UPce DFJP-DPČT, 12/01/10; 16:43



Filtrované průběhy signálů zrychlení na ložiskových skříních vozidla

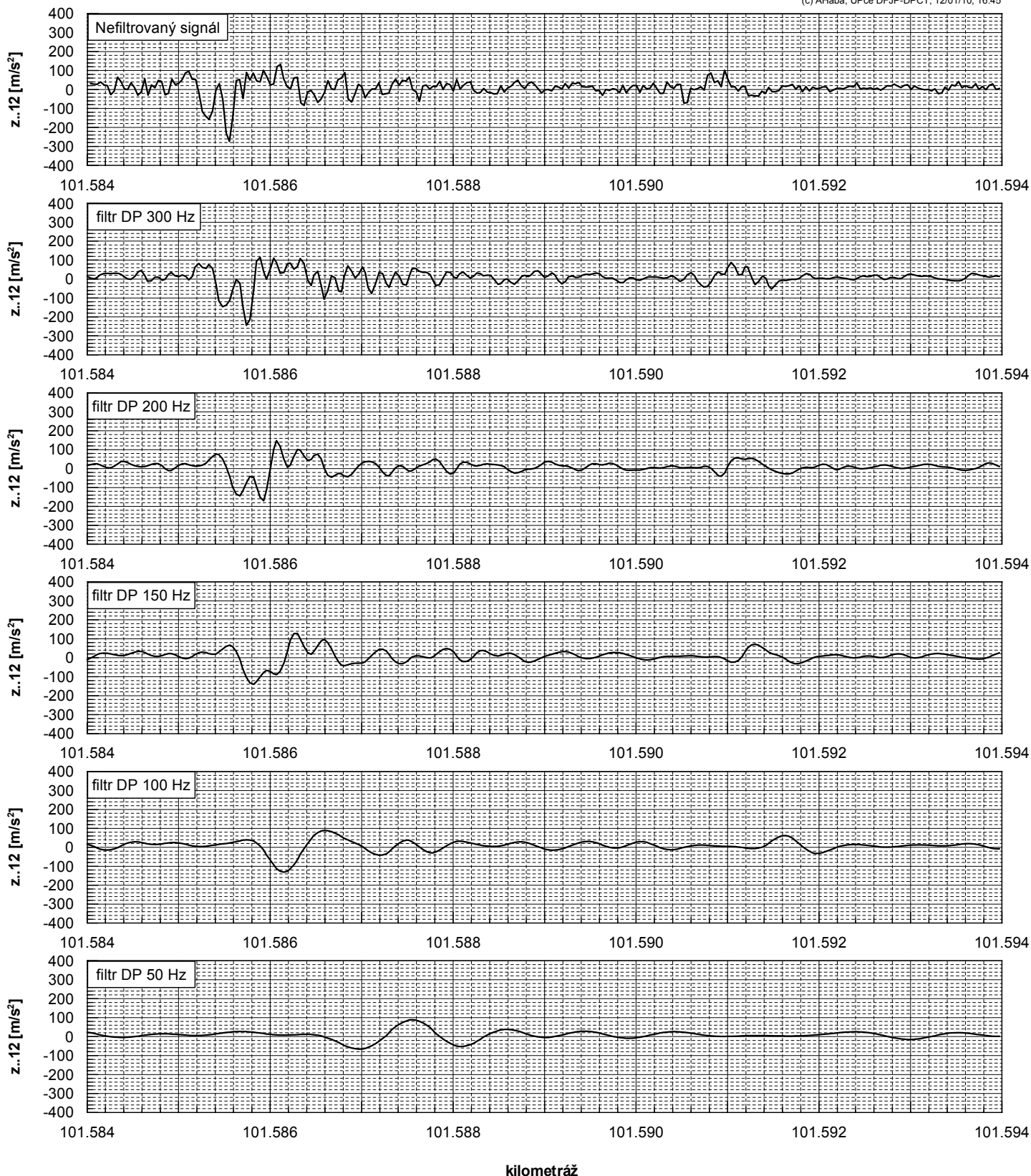
Stanice: **ZAJEČÍ - srdcovka výhybky č. 2**
Kolej: **2.**
Zhlaví: **Břeclavské**
Směr: **Brno**

Datum: **16.07.2007**
Vozidlo: **MVPTZ 96**
Rychlost: **160 km/h**
Číslo měření: **M 01**



č. 2

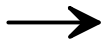
(c) AHaba, UPce DFJP-DPČT, 12/01/10; 16:45



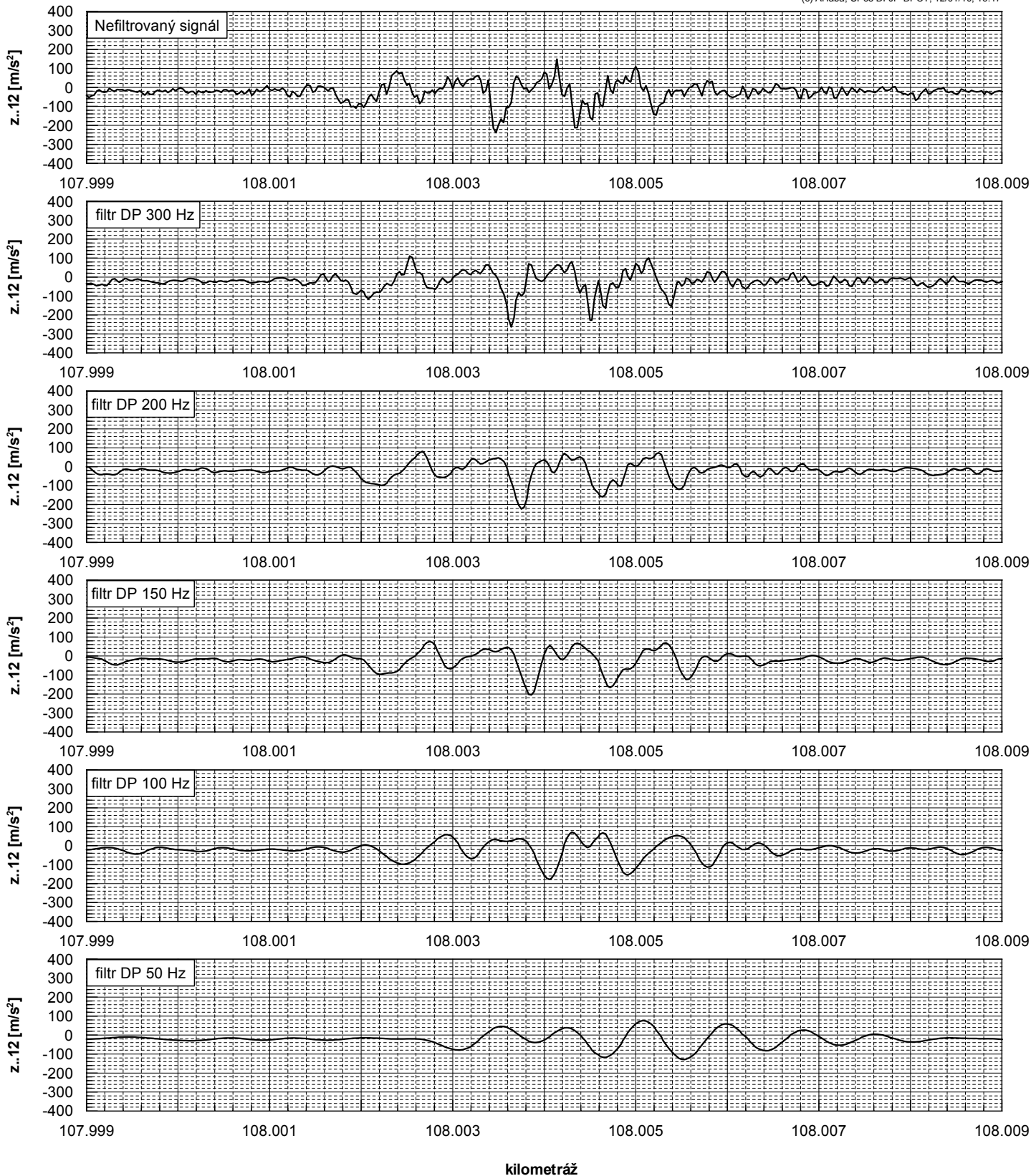
Filtrované průběhy signálů zrychlení na ložiskových skříních vozidla

Stanice: **ŠAKVICE - srdcovka výhybky č. 3**
Kolej: **2.**
Zhlaví: **Břeclavské**
Směr: **Brno**

Datum: **06.11.2004**
Vozidlo: **263 001-0**
Rychlost: **120 km/h**
Číslo měření: **M 02**



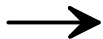
(c) AHaba, UPce DFJP-DPČT, 12/01/10; 16:47



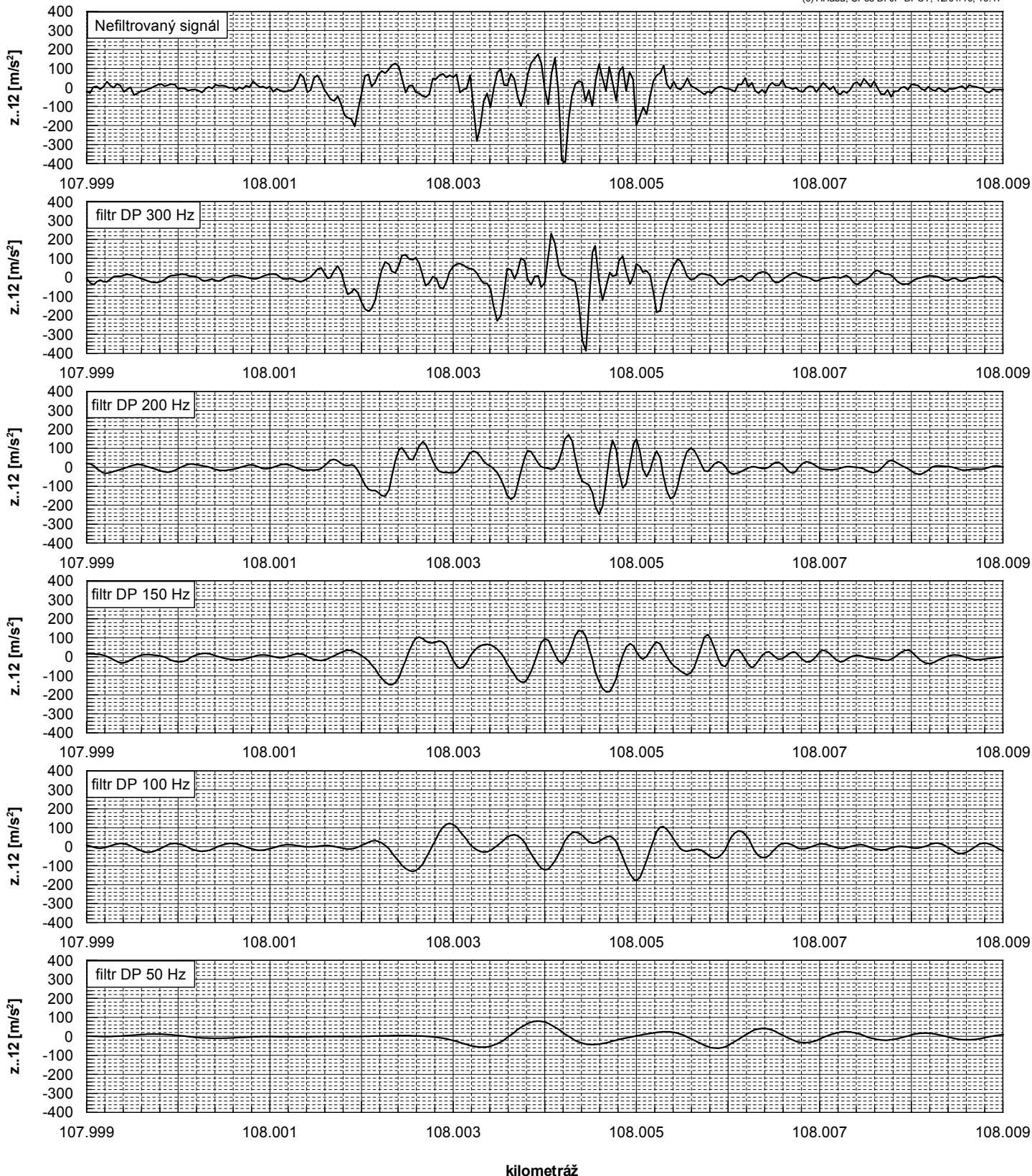
Filterované průběhy signálů zrychlení na ložiskových skříních vozidla

Stanice: **ŠAKVICE - srdcovka výhybky č. 3**
Kolej: **2.**
Zhlaví: **Břeclavské**
Směr: **Brno**

Datum: **15.11.2004**
Vozidlo: **681 001-4**
Rychlost: **160 km/h**
Číslo měření: **M 01**



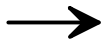
(c) AHaba, UPce DFJP-DPČT, 12/01/10; 16:47



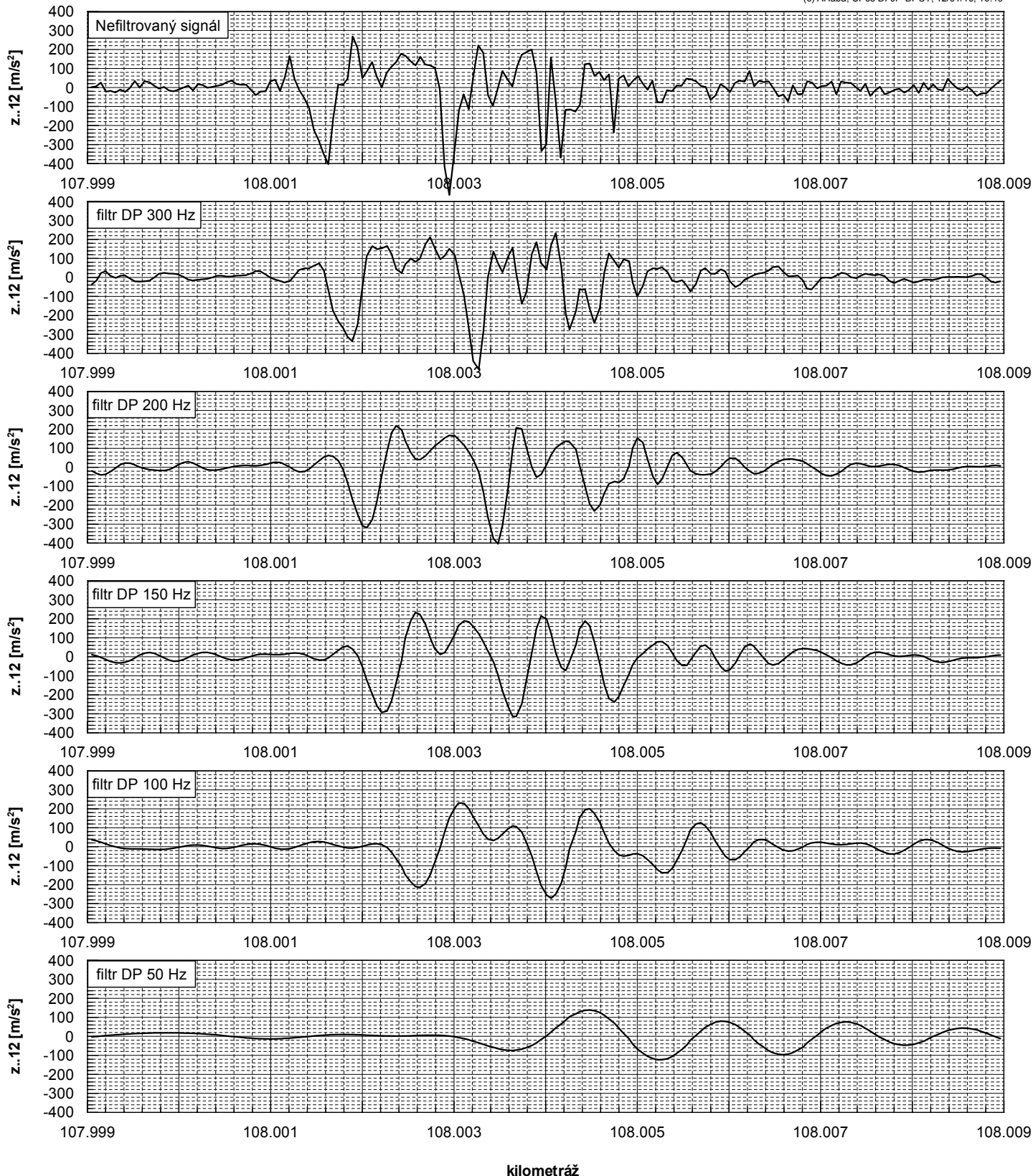
Filterované průběhy signálů zrychlení na ložiskových skříních vozidla

Stanice: **ŠAKVICE - srdcovka výhybky č. 3**
Kolej: **2.**
Zhlaví: **Břeclavské**
Směr: **Brno**

Datum: **18.11.2004**
Vozidlo: **681 001-4**
Rychlost: **228 km/h**
Číslo měření: **M 15**



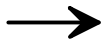
(c) AHaba, UPce DFJP-DPČT, 12/01/10; 16:49



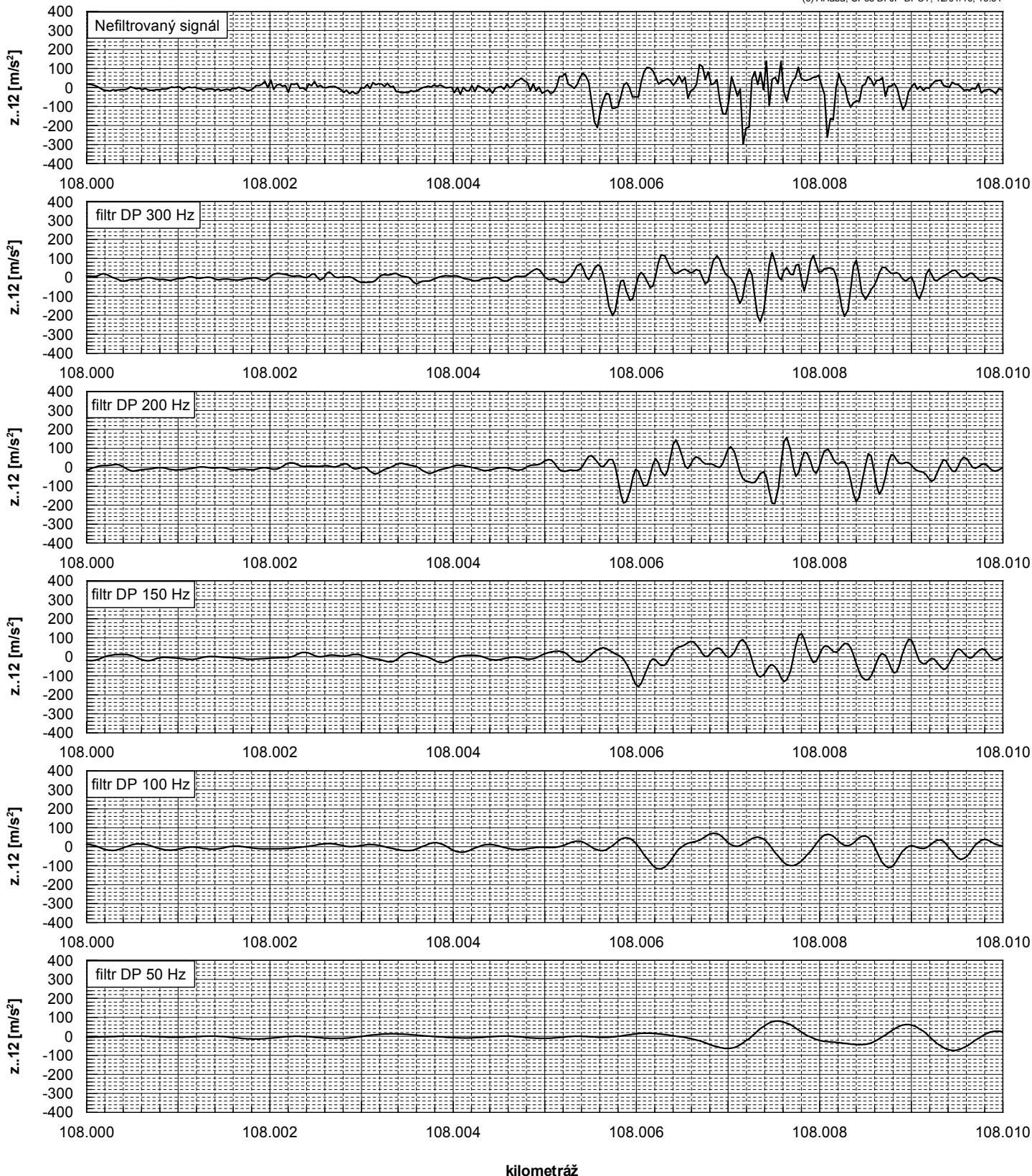
Filterované průběhy signálů zrychlení na ložiskových skříních vozidla

Stanice: **ŠAKVICE - srdcovka výhybky č. 3**
Kolej: **2.**
Zhlaví: **Břeclavské**
Směr: **Brno**

Datum: **17.07.2007**
Vozidlo: **MVPTZ 96**
Rychlost: **140 km/h**
Číslo měření: **M 19**



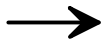
(c) AHaba, UPce DFJP-DPČT, 12/01/10; 16:51



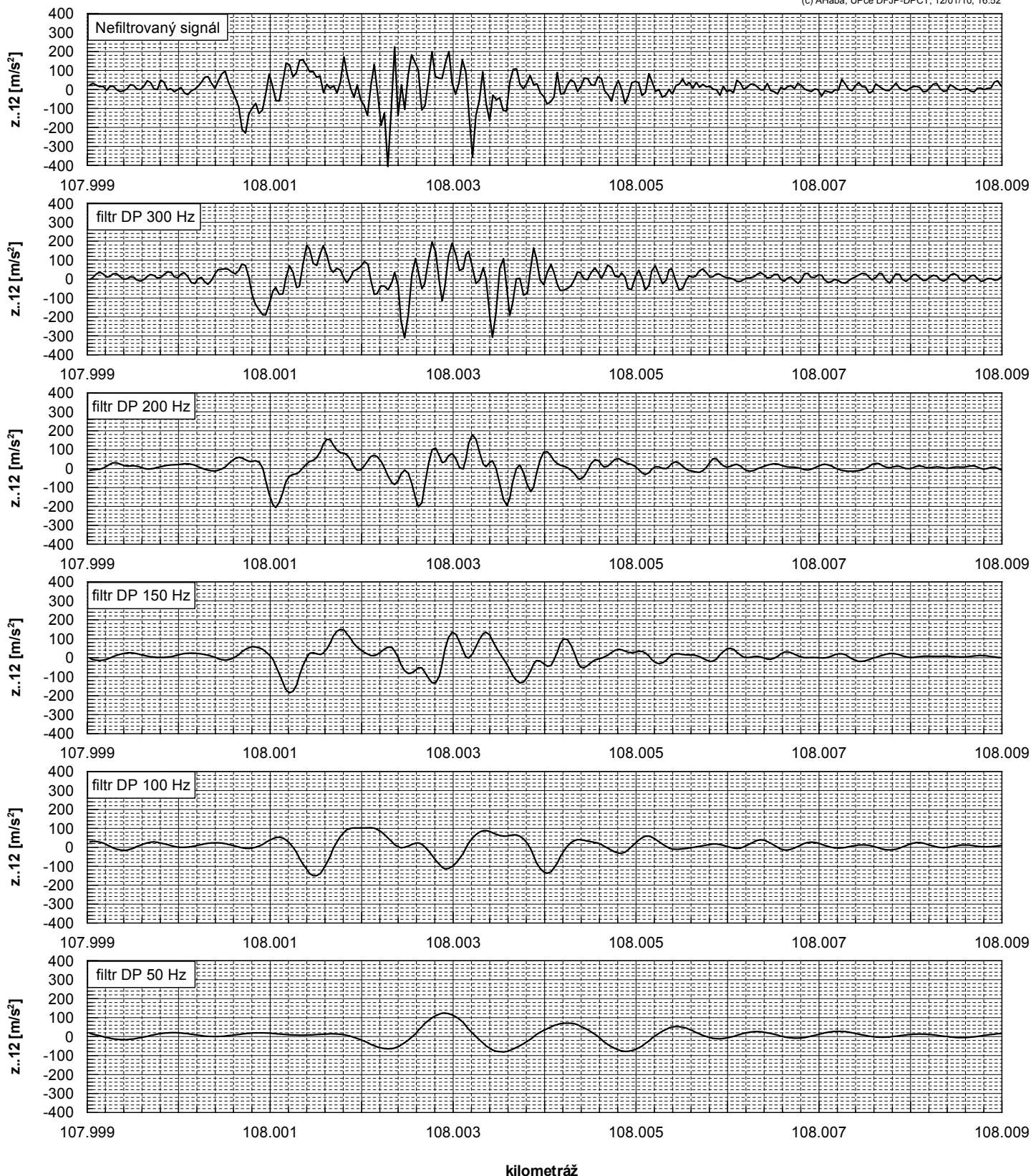
Filterované průběhy signálů zrychlení na ložiskových skříních vozidla

Stanice: **ŠAKVICE - srdcovka výhybky č. 3**
Kolej: **2.**
Zhlaví: **Břeclavské**
Směr: **Brno**

Datum: **16.07.2007**
Vozidlo: **MVPTZ 96**
Rychlost: **160 km/h**
Číslo měření: **M 01**



(c) AHaba, UPce DFJP-DPČT, 12/01/10; 16:52



Příloha 3

Modelování dynamické odezvy vozidla ve svislém směru při průjezdu srdcovkou

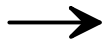
3.1 Výhybka č. 2 ve stanici ZAJEČÍ

3.2 Výhybka č. 3 ve stanici ŠAKVICE

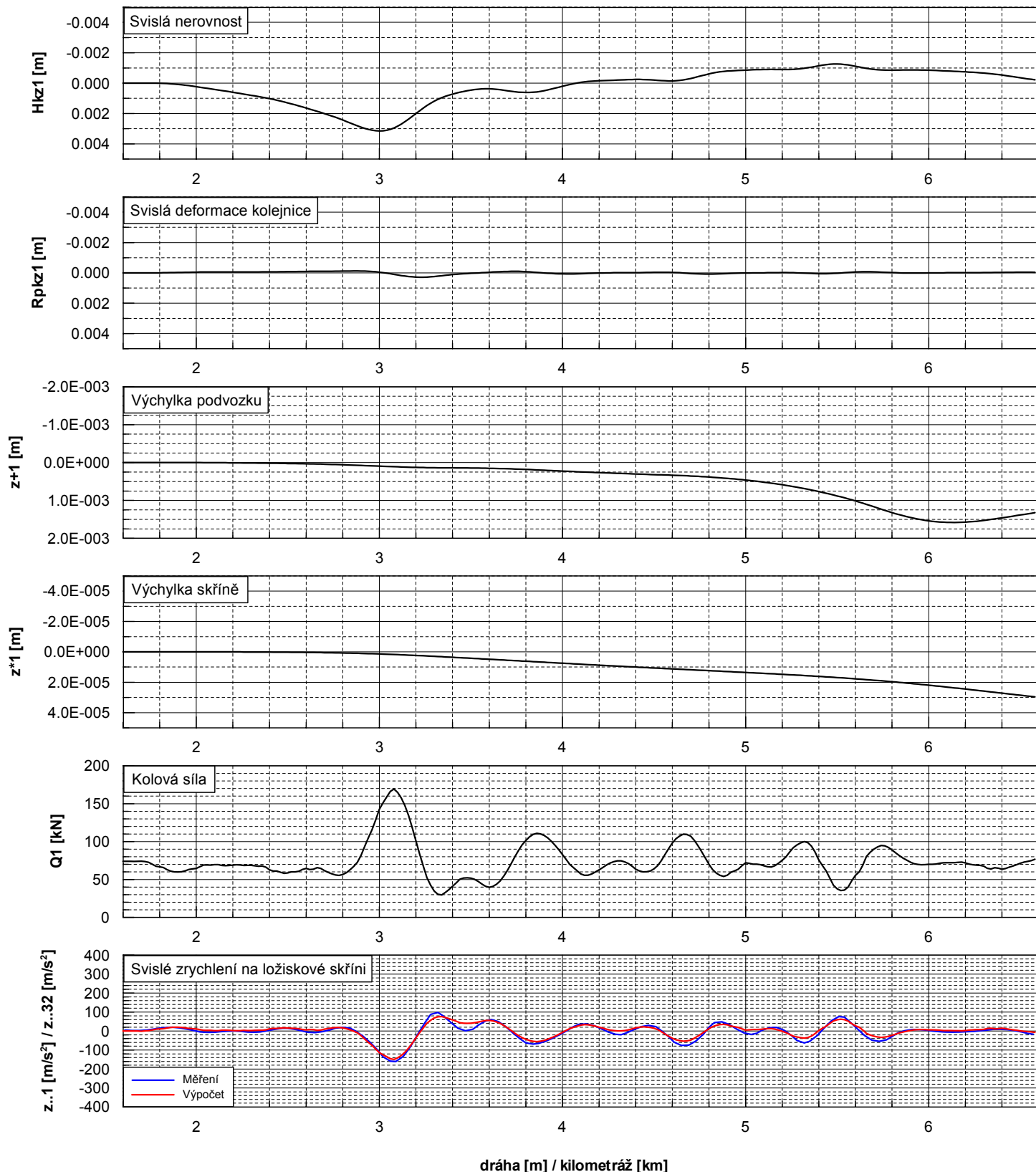
Zrychlení na ložiskové skříni 1. dvojkolí vozidla ve svislém směru

Nerovnost: ZAJEČÍ - srdcovka výhybky č. 2
Kolej: Vypočtená nerovnost z měření M01f150

Vozidlo: 681001-4
Rychlost: 160 km/h
Jízdní obrys: ORE S1002
Porovnávací měření: 15.11.2004, M01



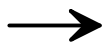
(c) AHaba, UPce DFJP-DPČT, 12/01/10; 16:58



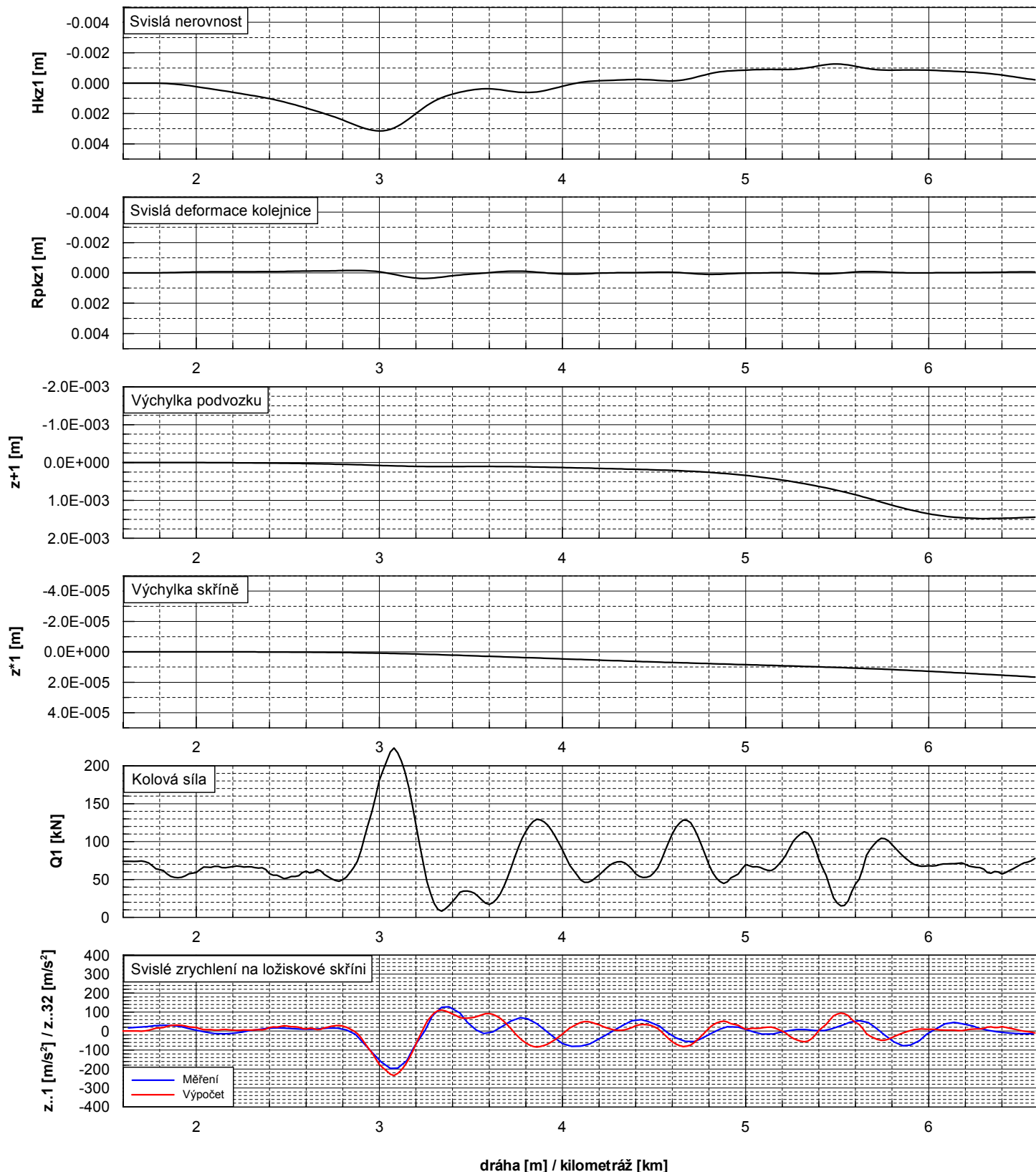
Zrychlení na ložiskové skříní 1. dvojkolí vozidla ve svislém směru

Nerovnost: **ZAJEČÍ - srdcovka výhybky č. 2**
Kolej: **Vypočtená nerovnost z měření M01f150**

Vozidlo: **681001-4**
Rychlost: **205 km/h**
Jízdní obrys: **ORE S1002**
Porovnávací měření: **18.11.2004, M15**



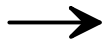
(c) AHaba, UPce DFJP-DPČT, 12/01/10; 17:00



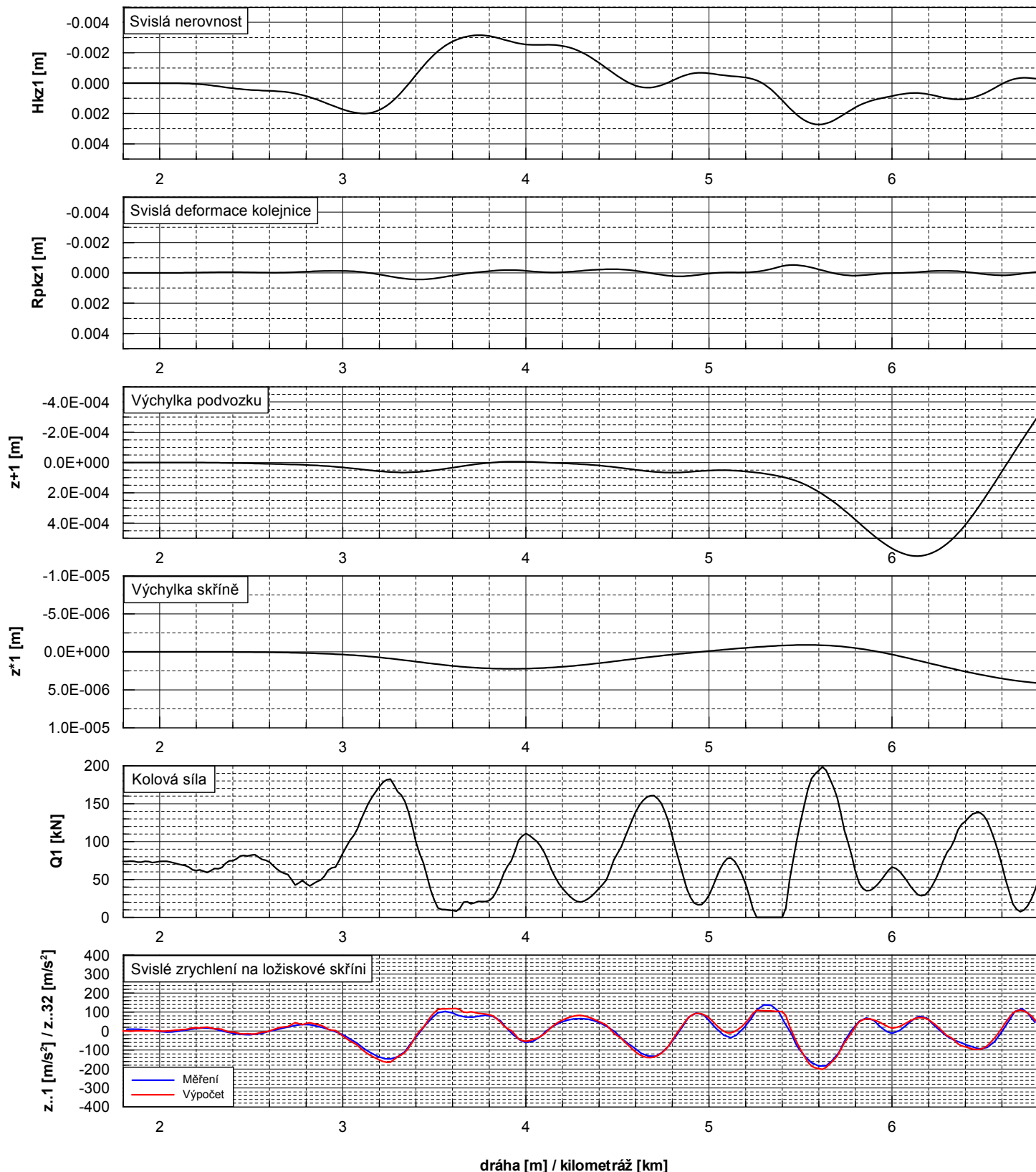
Zrychlení na ložiskové skříně 1. dvojkolí vozidla ve svislém směru

Nerovnost: **ŠAKVICE - srdcovka výhybky č. 3**
Kolej: **Vypočtená nerovnost z měření M01f150**

Vozidlo: **681001-4**
Rychlost: **160 km/h**
Jízdní obrys: **ORE S1002**
Porovnávací měření: **15.11.2004, M01**



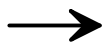
(c) AHaba, UPce DFJP-DPČT, 12/01/10; 17:01



Zrychlení na ložiskové skříní 1. dvojkolí vozidla ve svislém směru

Nerovnost: **ŠAKVICE - srdcovka výhybky č. 3**
Kolej: **Vypočtená nerovnost z měření M01f150**

Vozidlo: **681001-4**
Rychlost: **228 km/h**
Jízdní obrys: **ORE S1002**
Porovnávací měření: **18.11.2004, M15**



(c) AHaba, UPce DFJP-DPČT, 12/01/10; 17:02

