

# Obsah příloh

<b>1</b>	<b>Výsledky simulací jízdně-technických zkoušek</b>	<b>4</b>
1.1	Účinky na trať	4
	Poddajný spodek vozu s Coulombovským modelem tření ve svislém vypružení (Model 2A)	4
	Tuhý spodek vozu s Coulombovským modelem tření ve svislém vypružení (Model 1A)	4
	Poddajný spodek vozu se stick-slip modelem tření ve svislém vypružení (Model 2B)	5
	Tuhý spodek vozu se stick-slip modelem tření ve svislém vypružení (Model 1B)	5
1.2	Bezpečnost jízdy	6
	<b>1.2.1 Průběh příčného zrychlení na rámu vozu nad dvojkolím - nerovnosti koleje 1:1</b>	<b>6</b>
	<b>1.2.2 Průběh příčného zrychlení na rámu vozu nad dvojkolím - nerovnosti koleje 1:5</b>	<b>7</b>
	<b>1.2.3 Průběh příčného zrychlení na rámu vozu nad dvojkolím - nerovnosti koleje 1:10</b>	<b>8</b>
	<b>1.2.4 Suma maximálních hodnot vodících sil na dvojkolí</b>	<b>9</b>
	<b>1.2.5 Střední kvadratická hodnota součtu vodících sil dvojkolí</b>	<b>10</b>
	<b>1.2.6 Střední kvadratická hodnota příčného zrychlení v ložiskové komoře</b>	<b>11</b>
1.3	Nestabilní chod zadního dvojkolí u Modelu 2B	12
1.4	Jízdní vlastnosti	13
	<b>1.4.1 Příčné zrychlení na spodku vozu nad dvojkolím</b>	<b>13</b>
	Maximální hodnoty - NK 1:1 - posouzení z průběhu $a_y$	13
	Maximální hodnoty - NK 1:5 - posouzení z průběhu $a_y$	14
	Maximální hodnoty - NK 1:10 - posouzení z průběhu $a_y$	15
	Střední kvadratická hodnota	16
	<b>1.4.2 Vyhodnocení zrychlení ve svislém směru na spodku vozu nad dvojkolím</b>	<b>17</b>
	Průběh zrychlení ve svislém směru nad předním dvojkolím - NK 1:1	17
	Průběh zrychlení ve svislém směru nad předním dvojkolím - NK 1:5	18
	Průběh zrychlení ve svislém směru nad předním dvojkolím - NK 1:10	19
	Průběh zrychlení ve svislém směru nad zadním dvojkolím - NK 1:1	20
	Průběh zrychlení ve svislém směru nad zadním dvojkolím - NK 1:5	21
	Průběh zrychlení ve svislém směru nad zadním dvojkolím - NK 1:10	22
	Střední kvadratická hodnota	23
	Maximální hodnota	23

Výkonová spektrální hustota zrychlení ve svislém směru nad předním dvojkolím . . . . .	24
Výkonová spektrální hustota zrychlení ve svislém směru nad zadním dvojkolím . . . . .	25
Vyhodnocení . . . . .	26
<b>1.4.3 Vyhodnocení svislého zrychlení uprostřed spodku vozu . . . . .</b>	<b>27</b>
Průběh zrychlení uprostřed spodku - NK 1:1 . . . . .	27
Průběh zrychlení uprostřed spodku - NK 1:5 . . . . .	28
Průběh zrychlení uprostřed spodku - NK 1:10 . . . . .	29
Střední kvadratická hodnota . . . . .	30
Maximální hodnota . . . . .	30
Výkonová spektrální hustota . . . . .	31
Vyhodnocení . . . . .	32
<b>1.4.4 Vyhodnocení svislého zrychlení na čelnících v místech nárazníků .</b>	<b>33</b>
Průběh zrychlení - PP nárazník - NK 1:1 . . . . .	33
Průběh zrychlení - PP nárazník - NK 1:5 . . . . .	34
Průběh zrychlení - PP nárazník - NK 1:10 . . . . .	35
Průběh zrychlení - LZ nárazník - NK 1:1 . . . . .	36
Průběh zrychlení - LZ nárazník - NK 1:5 . . . . .	37
Průběh zrychlení - LZ nárazník - NK 1:10 . . . . .	38
Střední kvadratická hodnota . . . . .	39
Maximální hodnota . . . . .	39
Výkonová spektrální hustota zrychlení v místě PP nárazníku . . . . .	40
Výkonová spektrální hustota zrychlení v místě LZ nárazníku . . . . .	41
Vyhodnocení . . . . .	42
<b>2 Výsledky ze simulace zkruvací zkoušky . . . . .</b>	<b>44</b>
2.1 Model 1A . . . . .	44
2.2 Model 1B . . . . .	45
2.3 Model 2A . . . . .	46
2.4 Model 2B . . . . .	48
<b>3 Stabilita jízdy v přímě koleji . . . . .</b>	<b>51</b>
3.1 Model 1A . . . . .	51
3.2 Model 1B . . . . .	52
3.3 Model 2A . . . . .	53
3.4 Model 2B . . . . .	54
<b>4 Výpočet úhlu natočení závěsek . . . . .</b>	<b>56</b>
<b>5 Výpočet parametrů podélného vypružení . . . . .</b>	<b>59</b>

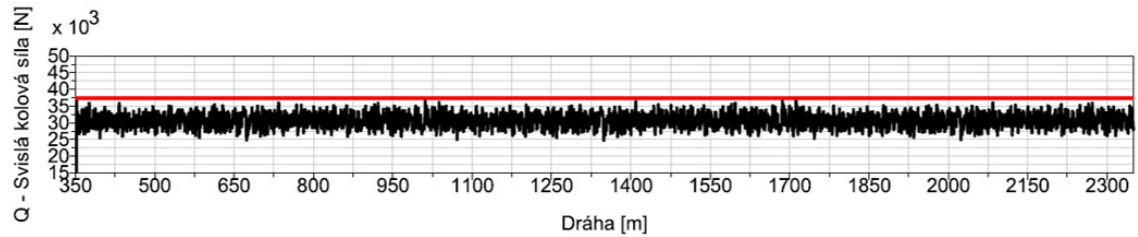
# Příloha č.1

## **Výsledky simulací jízdně-technických zkoušek**

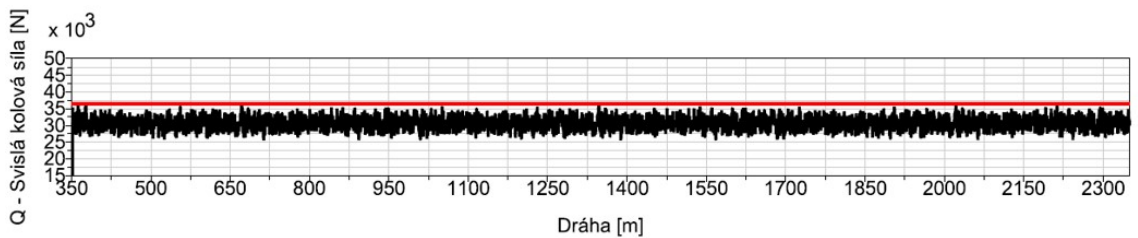
# 1 Výsledky simulací jízdně-technických zkoušek

## 1.1 Účinky na trať

### Poddajný spodek vozu s Coulombovským modelem tření ve svislém vypružení (Model 2A)

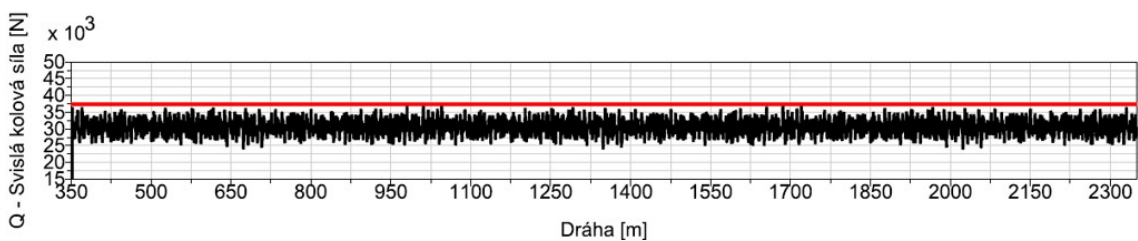


PP kolo

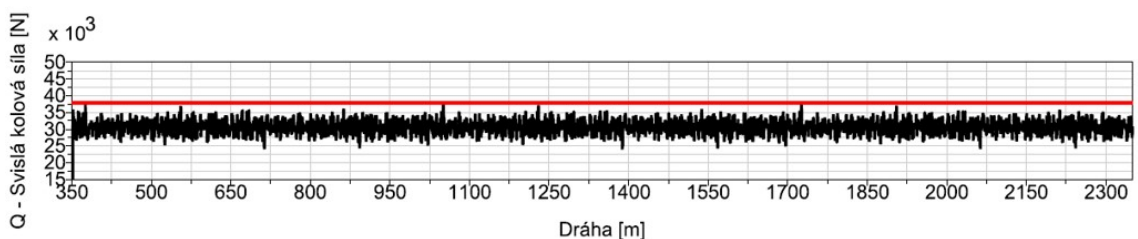


LZ kolo

### Tuhý spodek vozu s Coulombovským modelem tření ve svislém vypružení (Model 1A)

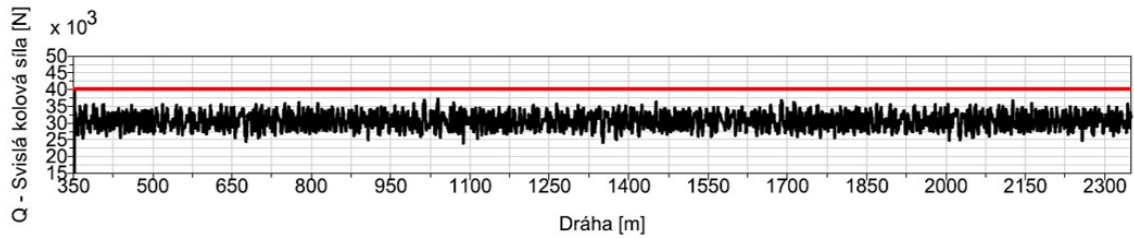


PP kolo

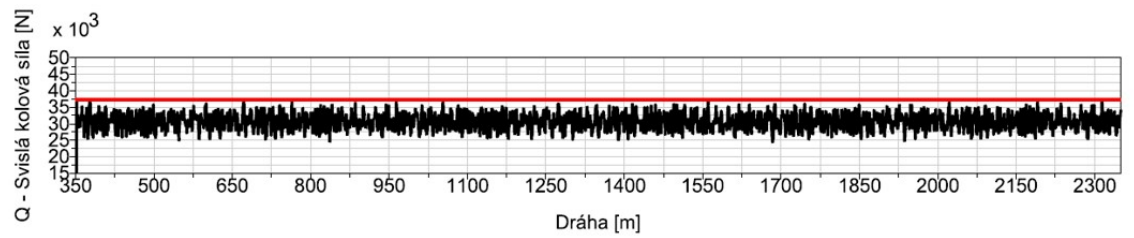


LZ kolo

## Poddajný spodek vozu se stick-slip modelem tření ve svislém vypružení (Model 2B)

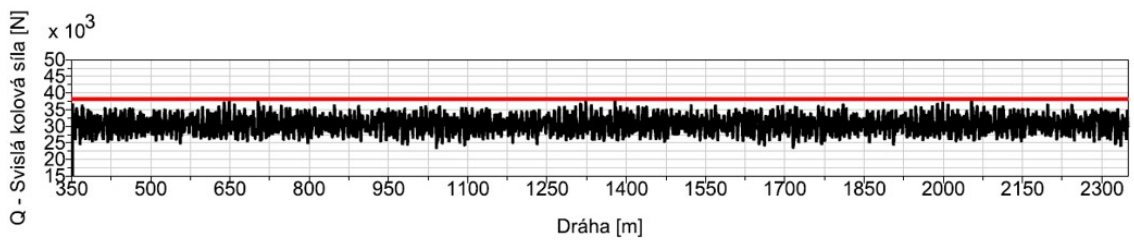


PP kolo

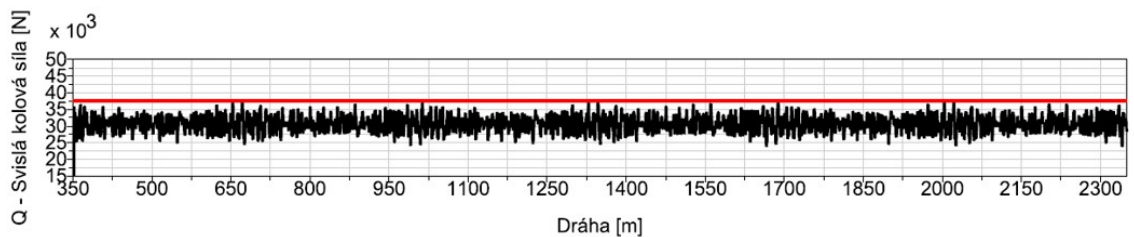


LZ kolo

## Tuhý spodek vozu se stick-slip modelem tření ve svislém vypružení (Model 1B)



PP kolo

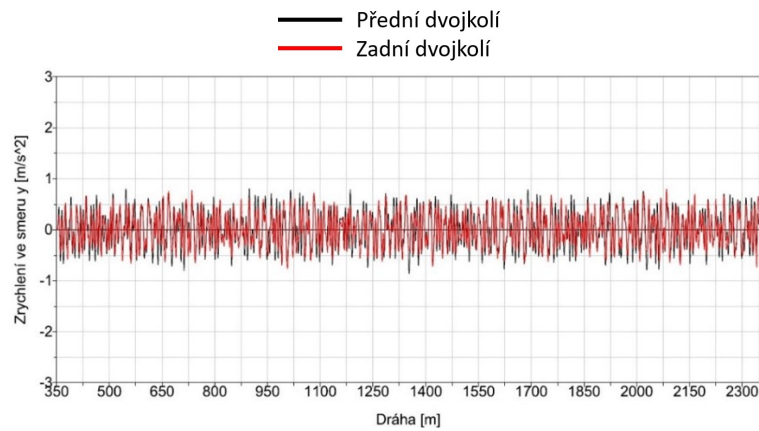


LZ kolo

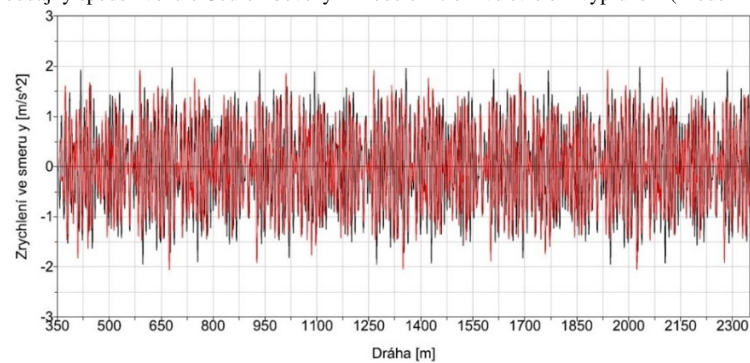
Na grafech svislé kolové síly je červeně vyznačena maximální hodnota kolové síly, vidíme že žádný ze simulačních modelů ani z daleka nepřekračuje limitní hodnotu  $Q_{max} = 120,6 kN$ . Všechny modely vyhovují z hlediska zatížení koleje. Jsou zde zobrazeny pouze grafy pro nerovnosti koleje 1:1. Hodnoty svislých kolových pro ostatní velikosti nerovností jsou nižší a není důvod je zde zobrazovat. Zajímavostí je také velice podobná hodnota maximální svislé kolové síly u všech měřených modelů.

## 1.2 Bezpečnost jízdy

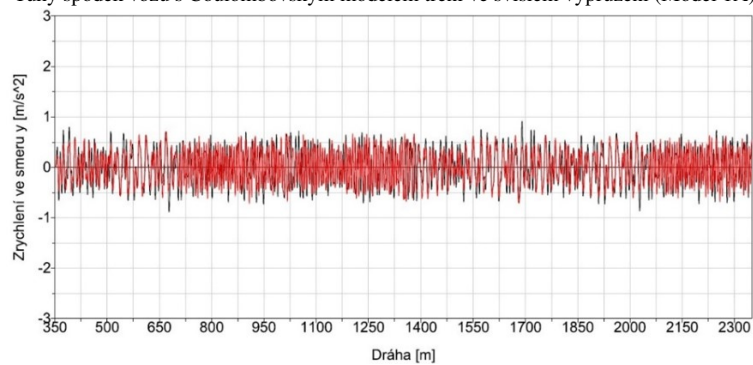
### 1.2.1 Průběh příčného zrychlení na rámu vozu nad dvojkolím - nerovnosti koleje 1:1



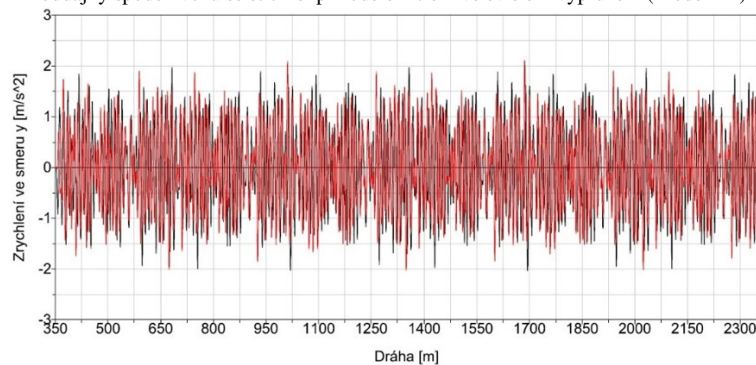
Poddajný spodek vozu s Coulombovským modelem tření ve svislém vypružení (Model 2A)



Tuhý spodek vozu s Coulombovským modelem tření ve svislém vypružení (Model 1A)

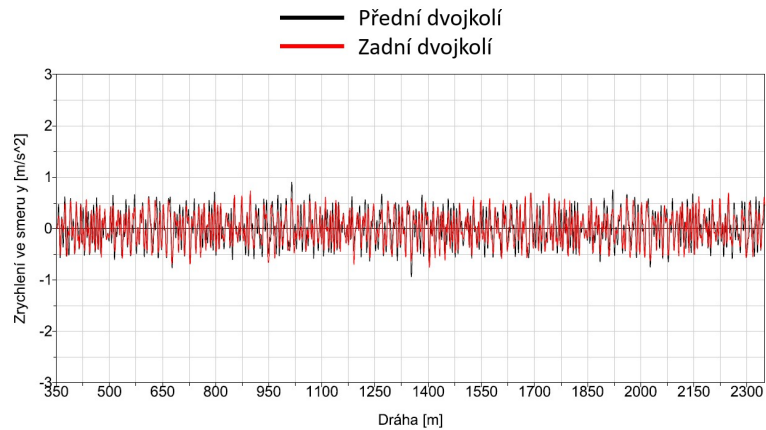


Poddajný spodek vozu se stick-slip modelem tření ve svislém vypružení (Model 2B)

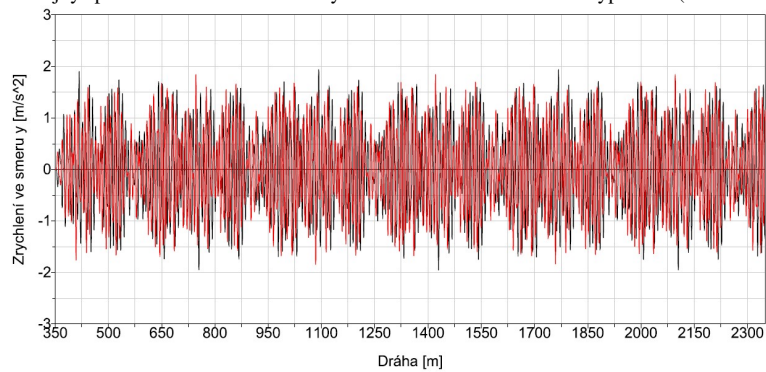


Tuhý spodek vozu se stick-slip modelem tření ve svislém vypružení (Model 1B)

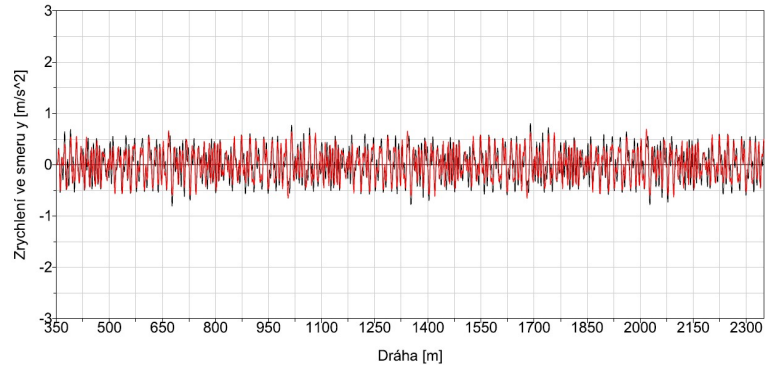
## 1.2.2 Průběh příčného zrychlení na rámu vozu nad dvojkolím - nerovnosti koleje 1:5



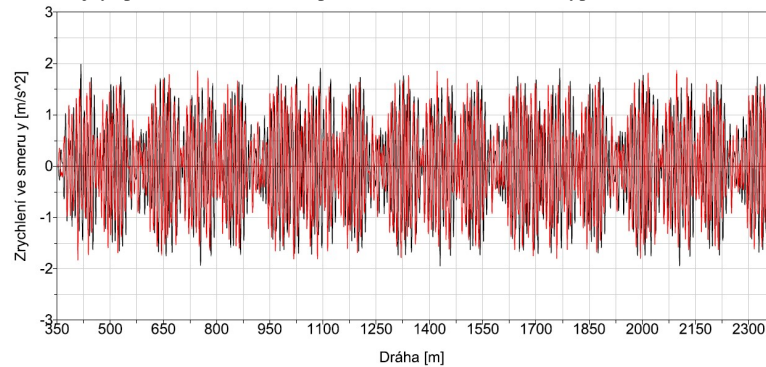
Poddajný spodek vozu s Coulombovským modelem tření ve svislém vypružení (Model 2A)



Tuhý spodek vozu s Coulombovským modelem tření ve svislém vypružení (Model 1A)

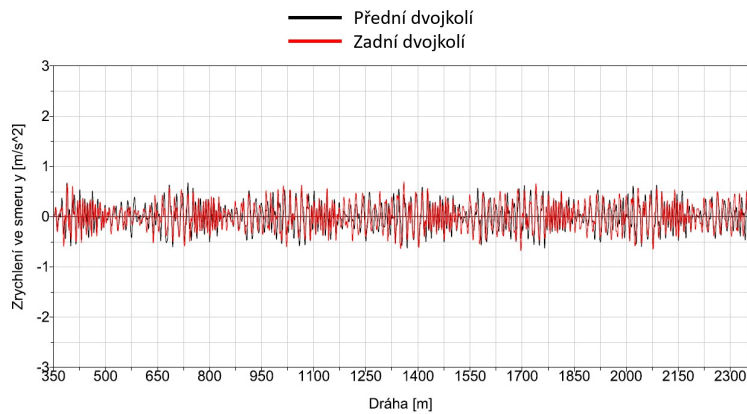


Poddajný spodek vozu se stick-slip modelem tření ve svislém vypružení (Model 2B)

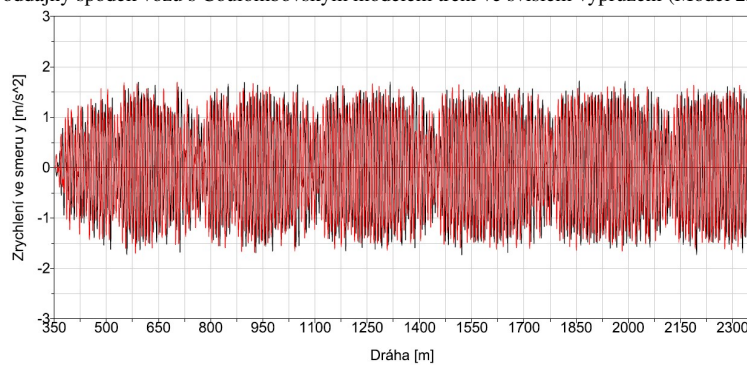


Tuhý spodek vozu se stick-slip modelem tření ve svislém vypružení (Model 1B)

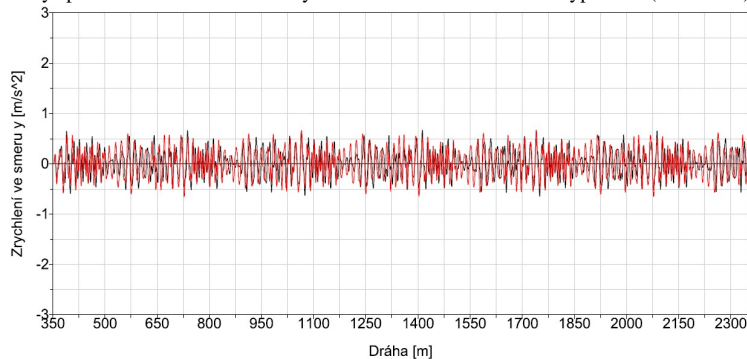
### 1.2.3 Průběh příčného zrychlení na rámu vozu nad dvojkolím - nerovnosti koleje 1:10



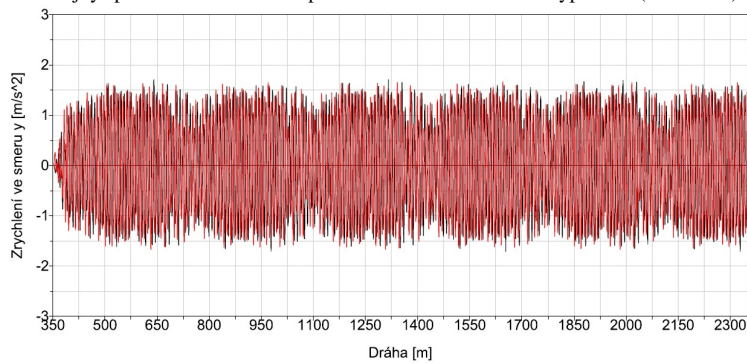
Poddajný spodek vozu s Coulombovským modelem tření ve svislém vypružení (Model 2A)



Tuhý spodek vozu s Coulombovským modelem tření ve svislém vypružení (Model 1A)



Poddajný spodek vozu se stick-slip modelem tření ve svislém vypružení (Model 2B)

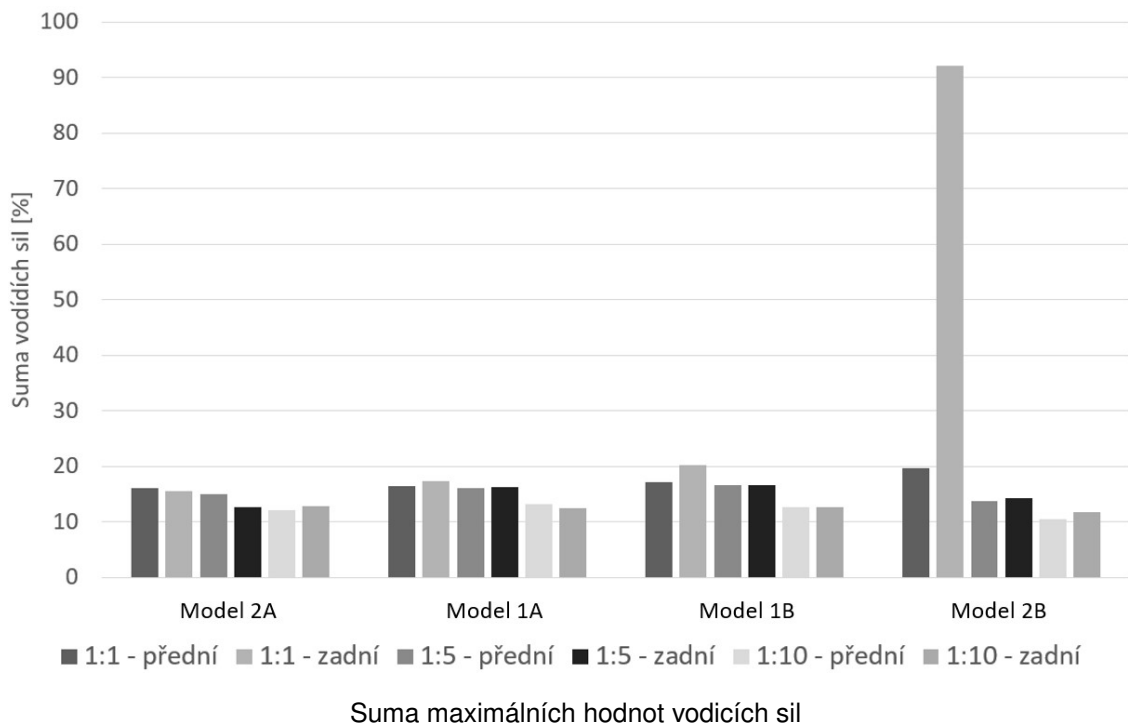


Tuhý spodek vozu se stick-slip modelem tření ve svislém vypružení (Model 1B)

Z průběhů příčného zrychlení nad dvojkolím je vidět, že nedochází k překročení mezní hodnoty  $4 \text{ m/s}$ .



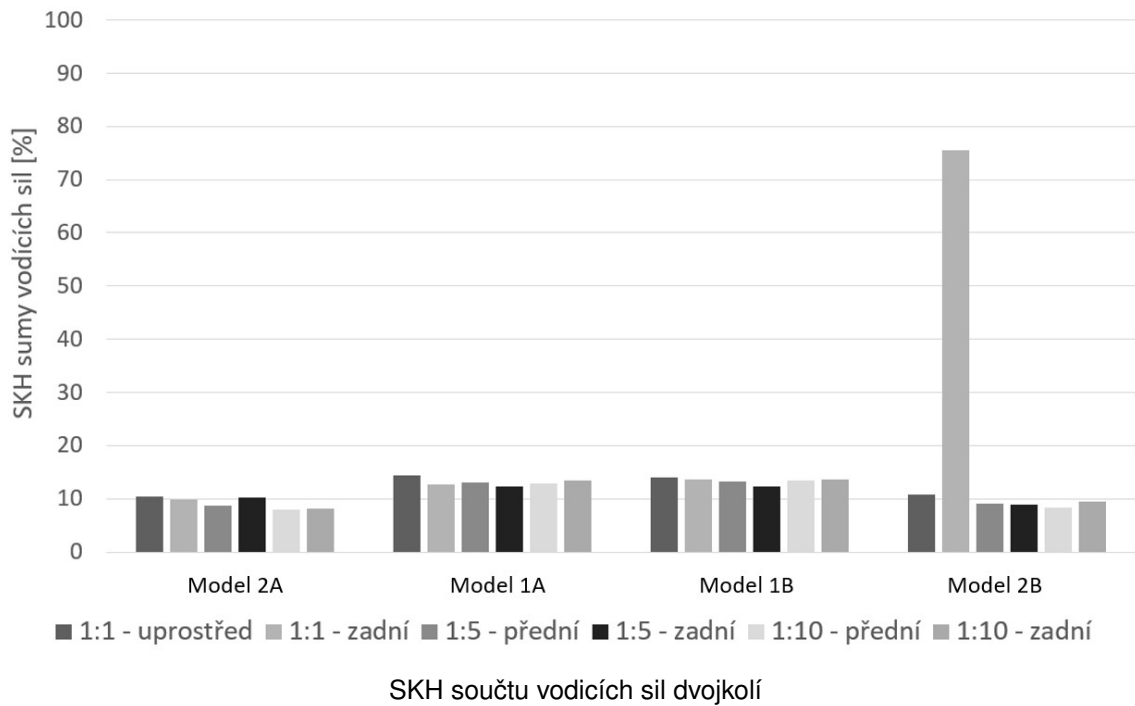
### 1.2.4 Suma maximálních hodnot vodících sil na dvojkolí



Graf je rozdělen do čtyř oblastí, každá oblast je přiřazena jednomu simulačnímu modelu. Oblasti jsou rozděleny podle toho, zda se jedná o přední nebo zadní dvojkolí a také podle velikosti nerovností koleje. Sloupce grafu jednotlivých oblastí jsou seřazeny podle legendy. Pro přehlednost jsou zobrazeny procentuální hodnoty vodících sil vzhledem k mezní hodnotě  $\sum Y_{max\ lim} = 25,84\ kN$ .

Z grafu vidíme výrazně vysokou hodnotu sumy max. hodnot vodících sil u Modelu 2B na zadním dvojkolí při jízdě po trati s velikostmi nerovností 1:1, což je způsobeno nestabilním chodem dvojkolí - dochází k nárazům okolků na hlavu kolejnice a ke vzniku vysokých špiček hodnot vodících sil. U ostatních modelů dosahují hodnoty podobných velikostí a nepřekračují hranici 20 %.

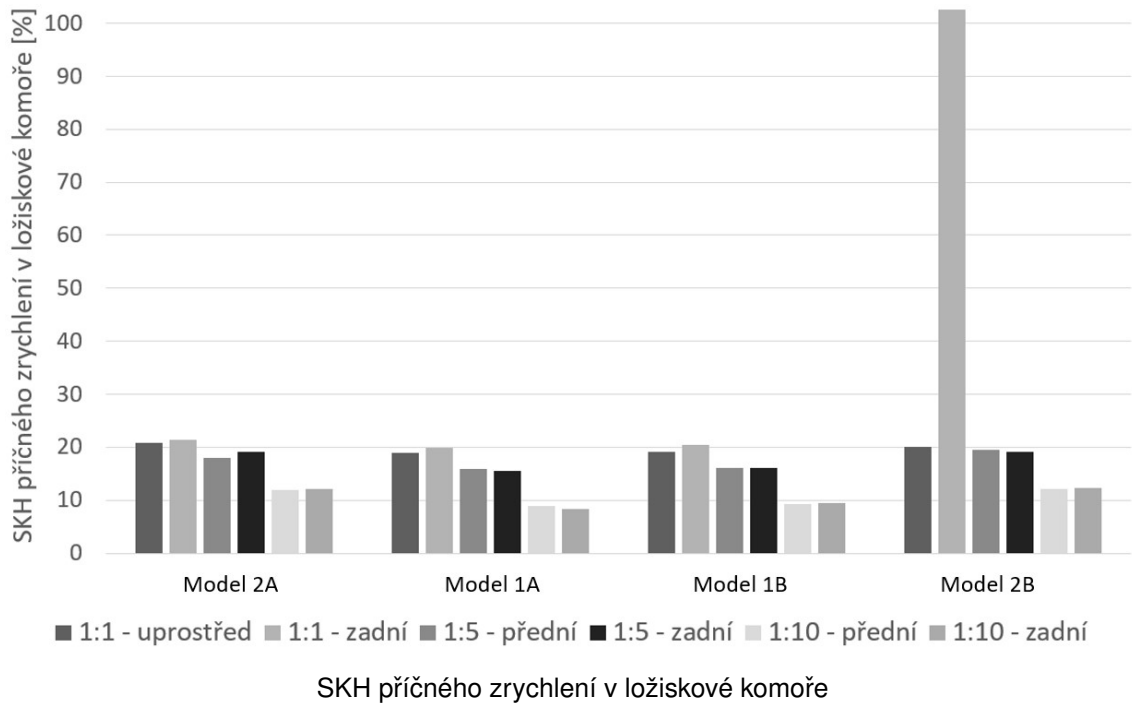
### 1.2.5 Střední kvadratická hodnota součtu vodicích sil dvojkolí



Graf je rozdělen do čtyř oblastí, každá oblast je přiřazena jednomu simulačnímu modelu. Oblasti jsou rozděleny podle toho, zda se jedná o přední nebo zadní dvojkolí a také podle velikosti nerovností tratě. Sloupce grafu jednotlivých oblastí jsou seřazeny podle legendy. Pro přehlednost jsou zobrazeny procentuální hodnoty SKH vodicích sil vzhledem k mezní hodnotě  $\sum Y_{rms\ lim} = 12,92\ kN$ .

Znovu vidíme dosažení vysoké hodnoty u Modelu 2b při jízdě po trati s velikostmi nerovností 1:1 způsobenou nestabilním chodem zadního dvojkolí. V ostatních případech jsou hodnoty u všech modelů velice podobné a není překročena limitní hodnota.

### 1.2.6 Střední kvadratická hodnota příčného zrychlení v ložiskové komoře



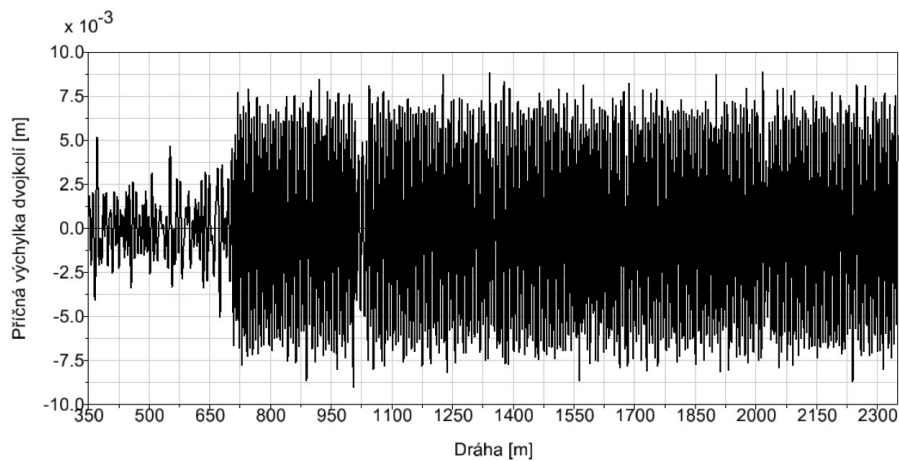
Graf je rozdělen do čtyř oblastí, každá oblast je přiřazena jednomu simulačnímu modelu. Oblasti jsou rozděleny podle toho, zda se jedná o přední nebo zadní dvojkolí a také podle velikosti nerovností tratě. Sloupce grafu jednotlivých oblastí jsou seřazeny podle legendy. Pro přehlednost jsou zobrazeny procentuální hodnoty SKH příčného zrychlení v ložiskové komoře vzhledem k mezní hodnotě  $\ddot{y}_{rms\ lim} = 5\ m/s$ .

U Modelu 2B při jízdě po trati s velikostmi nerovností 1:1 vidíme překročení limitní hodnoty  $\ddot{y}_{rms\ lim}$  způsobenou nestabilním chodem zadního dvojkolí. V ostatních případech jsou hodnoty u všech modelů velice podobné a není překročena limitní hodnota.

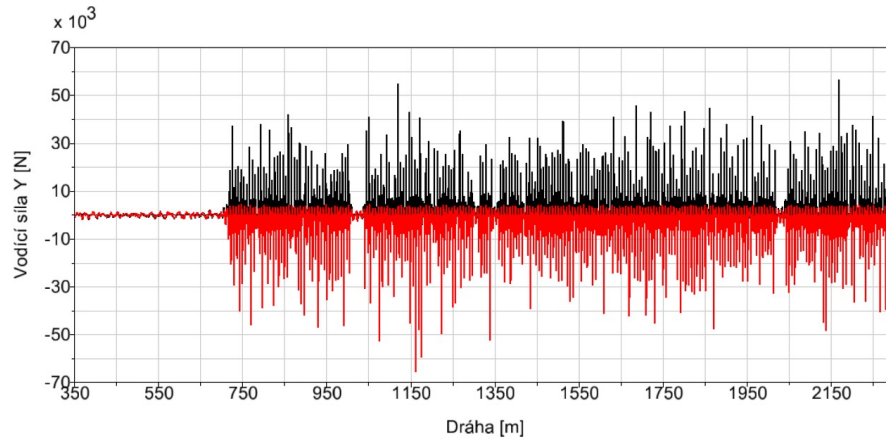
### 1.3 Nestabilní chod zadního dvojkolí u Modelu 2B

Na grafech výše byly patrné značně vysoké hodnoty způsobené nestabilním chodem zadního dvojkolí u Modelu 2B při jízdě po nerovnostech koleje 1:1. Níže jsou uvedeny průběhy příčné výchylky dvojkolí a vodicích sil dvojkolí potvrzující tento jev. Červenou barvou je zobrazen průběh vodicí síly na levém kole a černou barvou na kole pravém.

Na průběhu příčné výchylky vidíme, že dochází k ostrému vymezení vůle v kolejovém kanále, což potvrzují i hodnoty špiček vodicích sil, kdy dochází k nárazu okolku na hlavu kolejnice.



Průběh příčné výchylky dvojkolí Modelu 2B

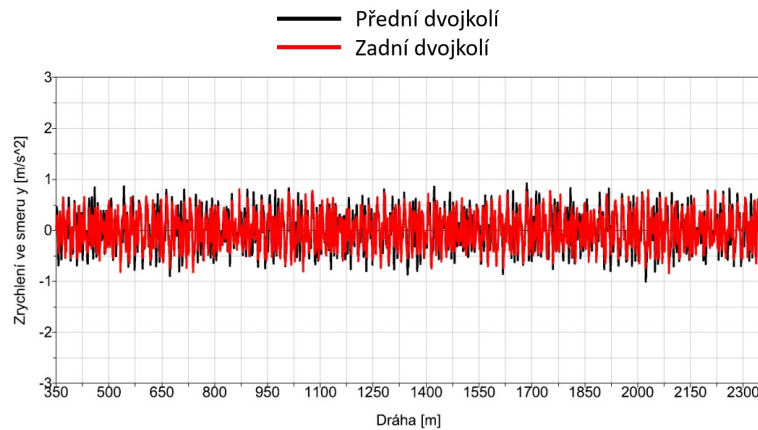


Průběh vodicích sil na zadním dvojkolí Modelu 2B

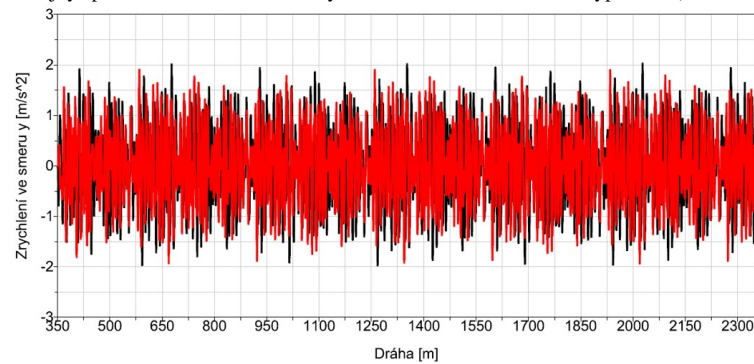
## 1.4 Jízdní vlastnosti

### 1.4.1 Příčné zrychlení na spodku vozu nad dvojkolím

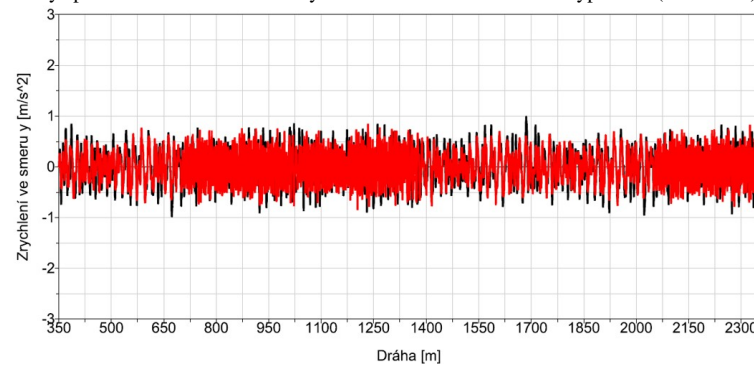
#### Maximální hodnoty - NK 1:1 - posouzení z průběhu $a_y$



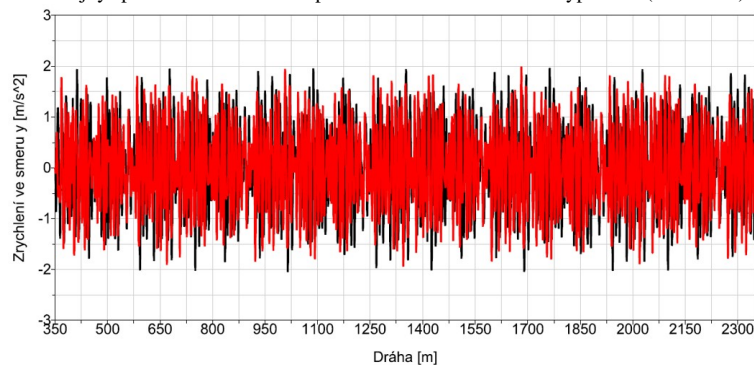
Poddajný spodek vozu s Coulombovským modelem tření ve svislém vypružení (Model 2A)



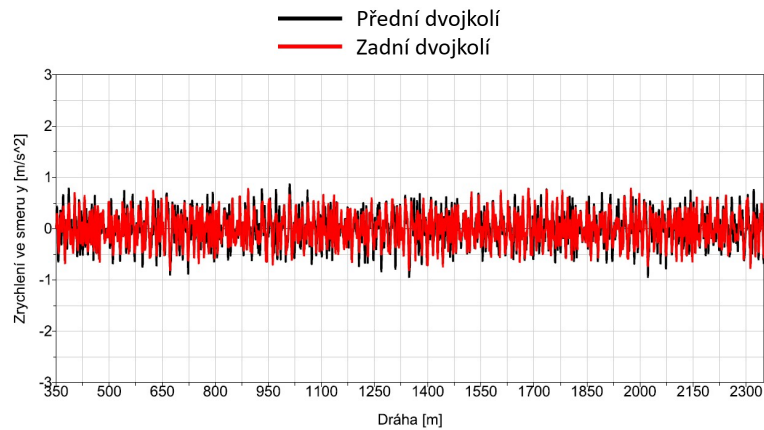
Tuhý spodek vozu s Coulombovským modelem tření ve svislém vypružení (Model 1A)



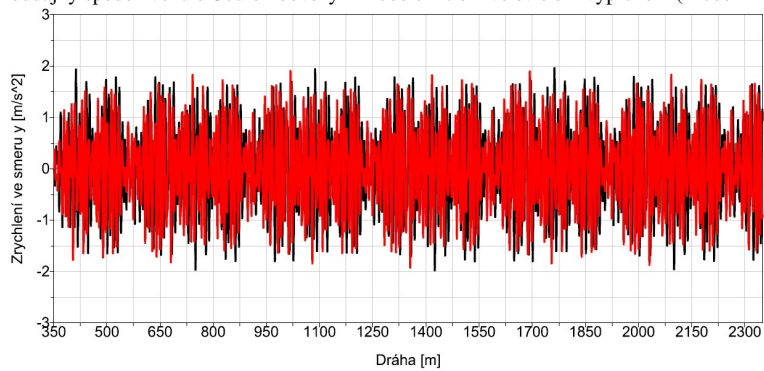
Poddajný spodek vozu se stick-slip modelem tření ve svislém vypružení (Model 2B)



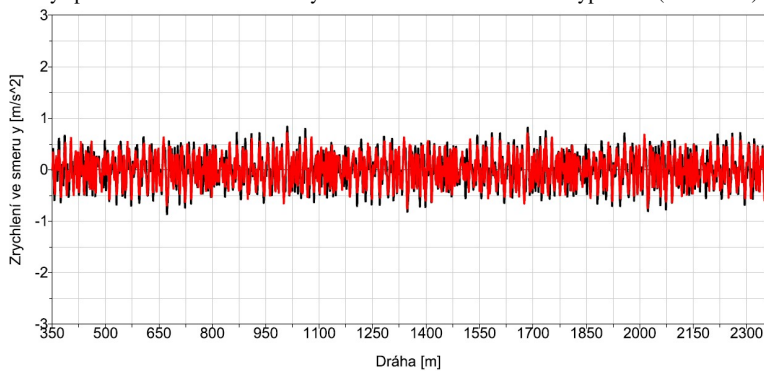
Tuhý spodek vozu se stick-slip modelem tření ve svislém vypružení (Model 1B)

**Maximální hodnoty - NK 1:5 - posouzení z průběhu  $a_y$** 

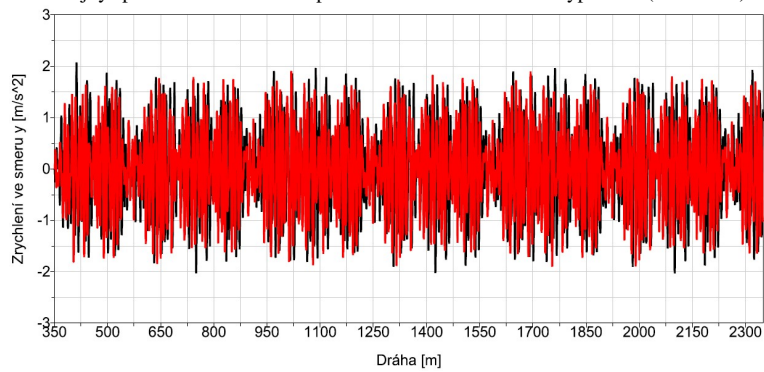
Poddajný spodek vozu s Coulombovským modelem tření ve svislém vypružení (Model 2A)



Tuhý spodek vozu s Coulombovským modelem tření ve svislém vypružení (Model 1A)

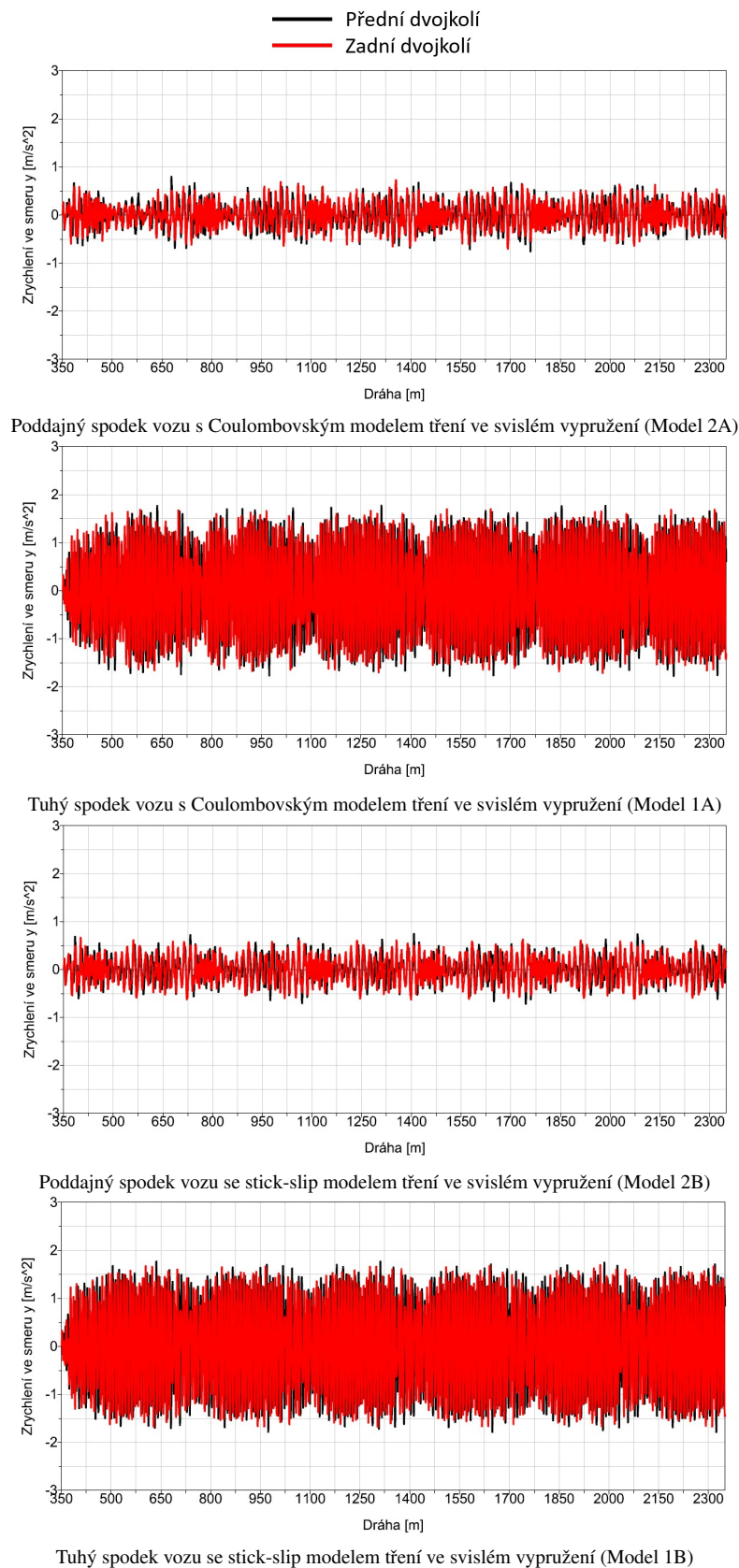


Poddajný spodek vozu se stick-slip modelem tření ve svislém vypružení (Model 2B)



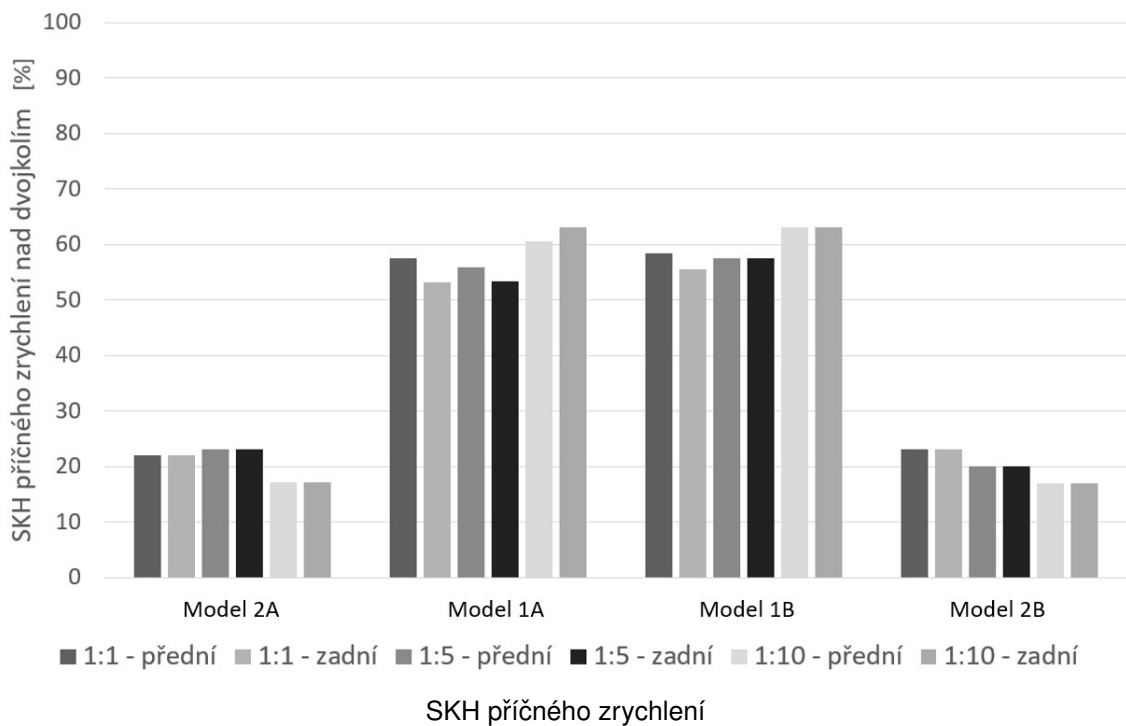
Tuhý spodek vozu se stick-slip modelem tření ve svislém vypružení (Model 1B)

## Maximální hodnoty - NK 1:10 - posouzení z průběhu $a_y$



Z průběhu příčného zrychlení na spodku vozu nad dvojkolím vidíme, že u žádného z modelů nedochází k překročení limitní hodnoty  $\ddot{y}_{max\ lim} = 4,0\ ms^{-2}$

## Střední kvadratická hodnota



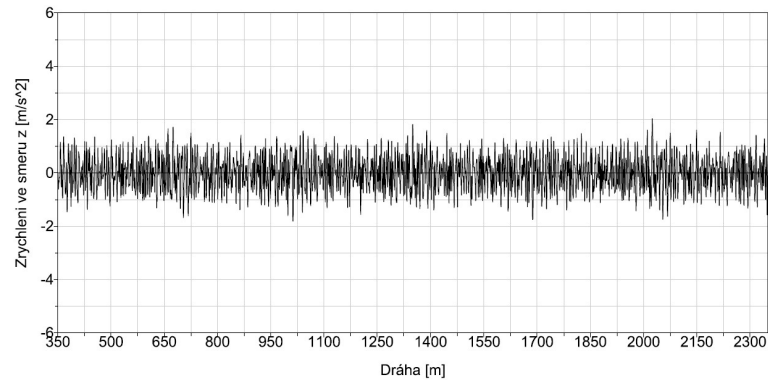
Graf je rozdělen do čtyř oblastí, každá oblast je přiřazena jednomu simulačnímu modelu. Oblasti jsou rozděleny podle toho, zda se jedná o přední nebo zadní dvojkolím a také podle velikosti nerovností tratě. Sloupce grafu jednotlivých oblastí jsou seřazeny podle legendy. Pro přehlednost jsou zobrazeny procentuální hodnoty SKH příčného zrychlení na spodku vozu nad dvojkolím vzhledem k mezní hodnotě  $\ddot{y}_{rms\ lim} = 1,5\ m/s$ .

K výrazně vyšším hodnotám zrychlení dochází u modelů s tuhým spodkem (Model 1A, 1B), zatímco u modelů s poddajným spodkem (Model 2A, 2B) dosahuje zrychlení nižších hodnot. Docházíme k závěru, že poddajnost spodku má výrazný vliv na velikost zrychlení v příčném směru na spodku vozu nad dvojkolím. Zajímavé je, že u modelů s tuhým spodkem dosahuje SKH zrychlení nejvyšších hodnot pro trať s nejmenšími hodnotami nerovností.

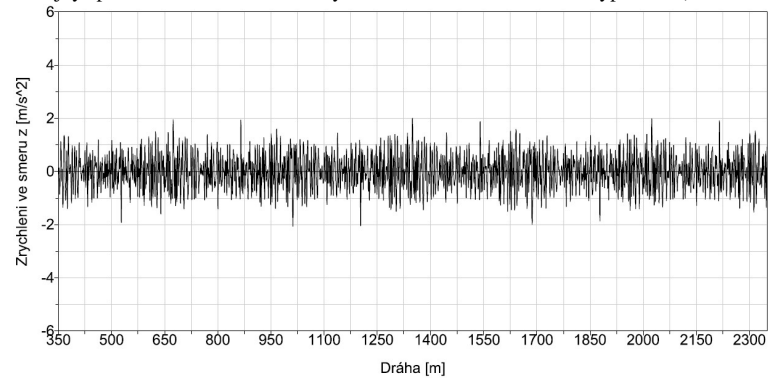


## 1.4.2 Vyhodnocení zrychlení ve svislém směru na spodku vozu nad dvojkolím

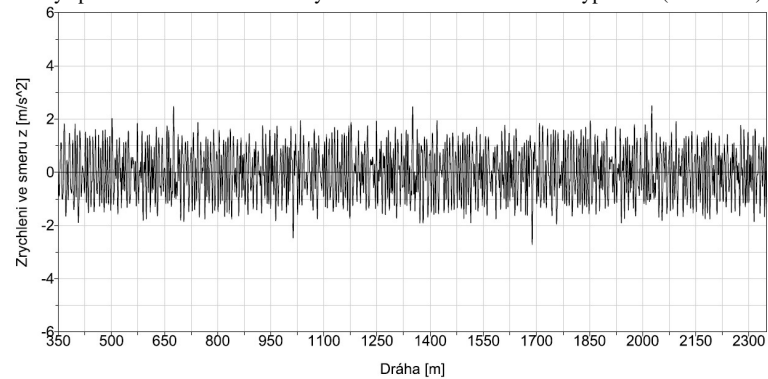
### Průběh zrychlení ve svislém směru nad předním dvojkolím - NK 1:1



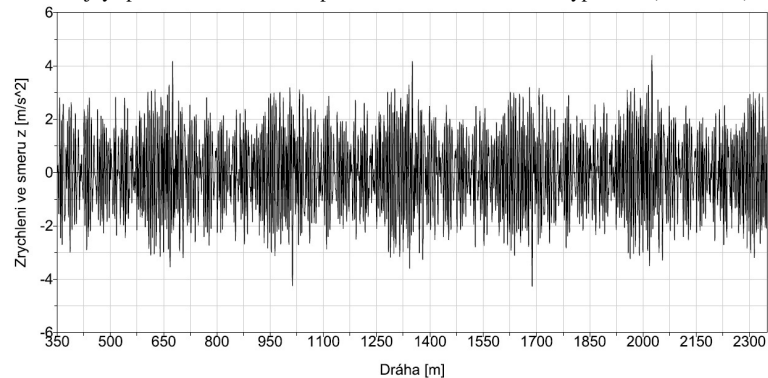
Poddajný spodek vozu s Coulombovským modelem tření ve svislém vypružení (Model 2A)



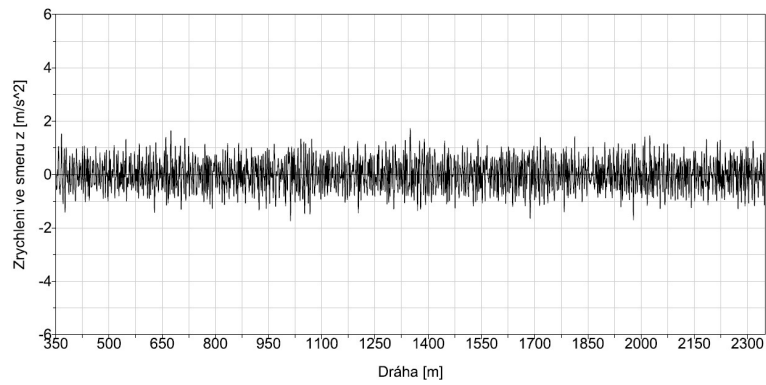
Tuhý spodek vozu s Coulombovským modelem tření ve svislém vypružení (Model 1A)



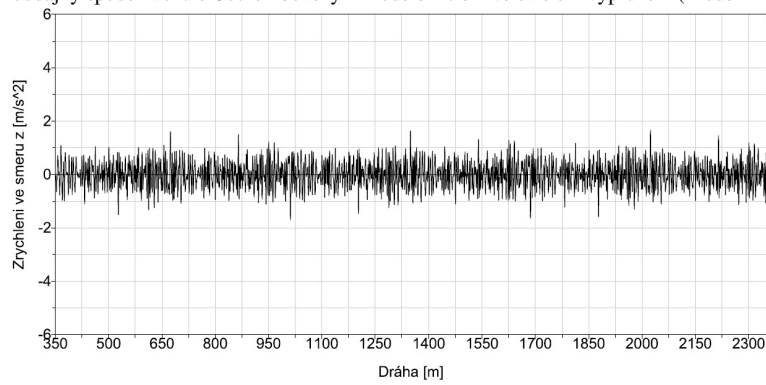
Poddajný spodek vozu se stick-slip modelem tření ve svislém vypružení (Model 2B)



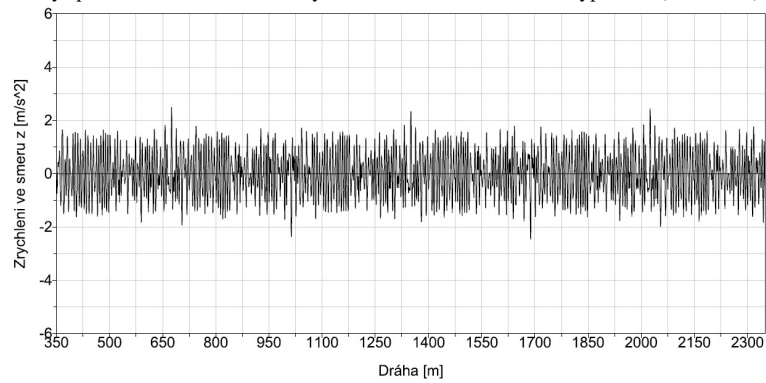
Tuhý spodek vozu se stick-slip modelem tření ve svislém vypružení (Model 1B)

**Průběh zrychlení ve svislém směru nad předním dvojkolím - NK 1:5**

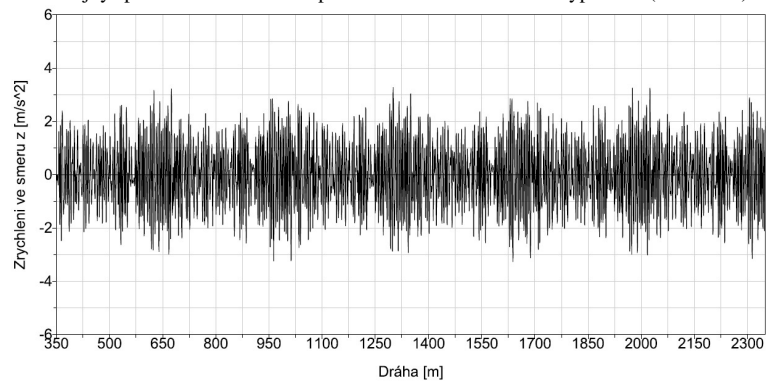
Poddajný spodek vozu s Coulombovským modelem tření ve svislém vypružení (Model 2A)



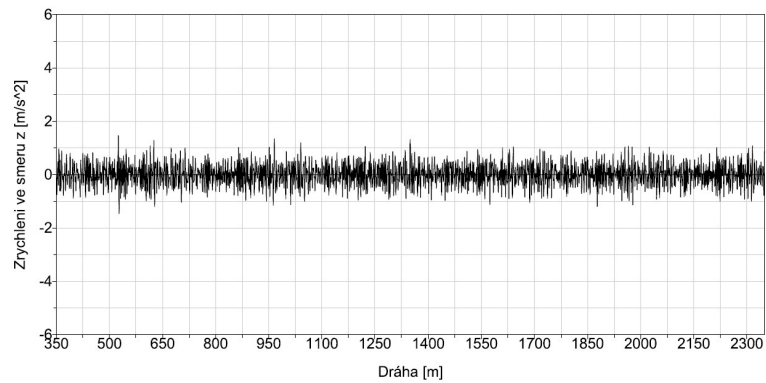
Tuhý spodek vozu s Coulombovským modelem tření ve svislém vypružení (Model 1A)



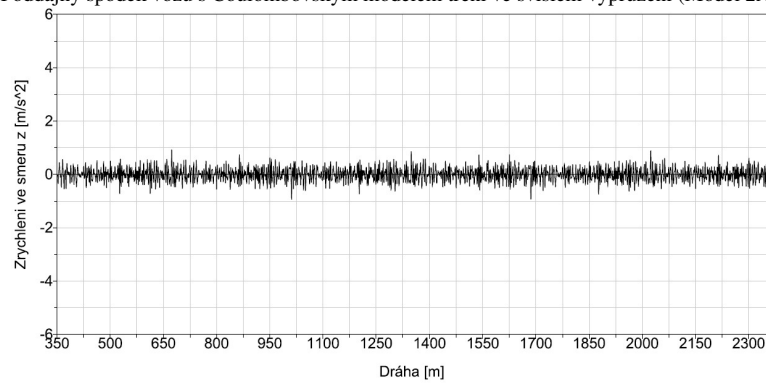
Poddajný spodek vozu se stick-slip modelem tření ve svislém vypružení (Model 2B)



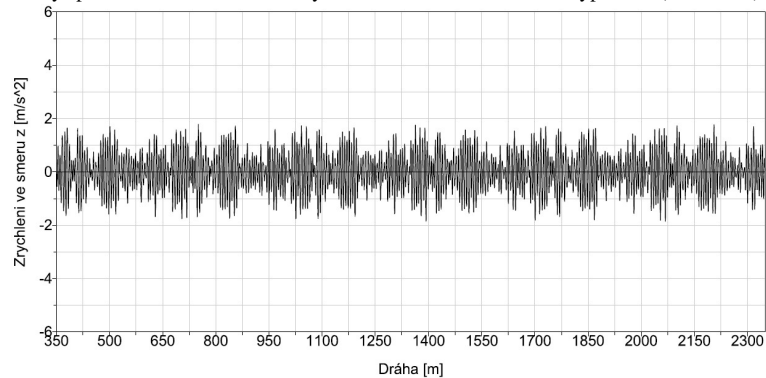
Tuhý spodek vozu se stick-slip modelem tření ve svislém vypružení (Model 1B)

**Průběh zrychlení ve svislém směru nad předním dvojkolím - NK 1:10**

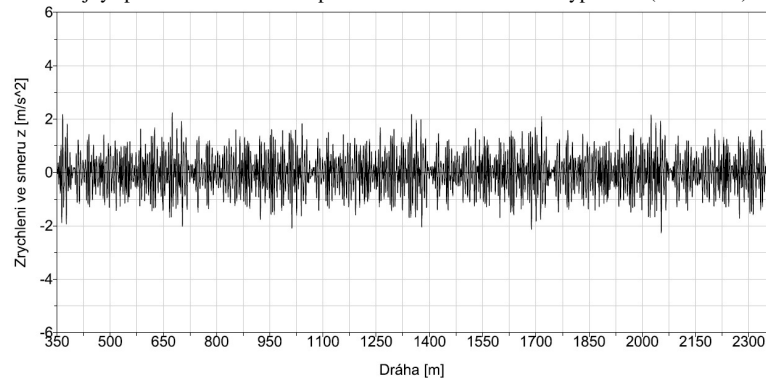
Poddajný spodek vozu s Coulombovským modelem tření ve svislém vypružení (Model 2A)



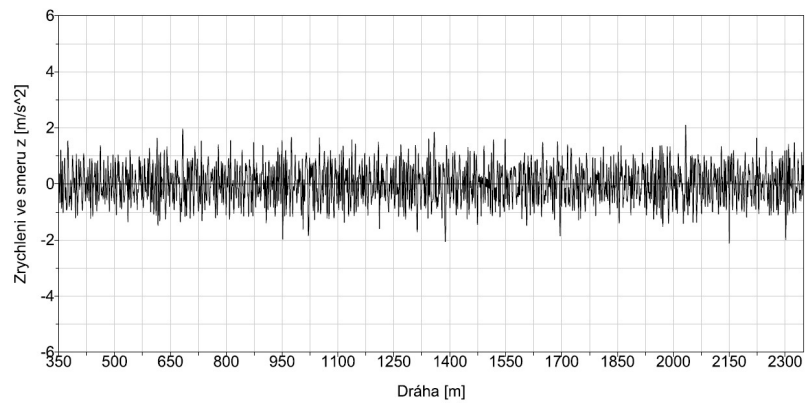
Tuhý spodek vozu s Coulombovským modelem tření ve svislém vypružení (Model 1A)



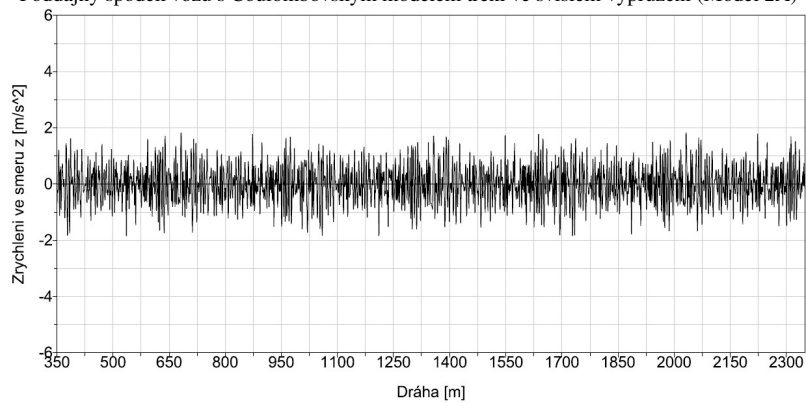
Poddajný spodek vozu se stick-slip modelem tření ve svislém vypružení (Model 2B)



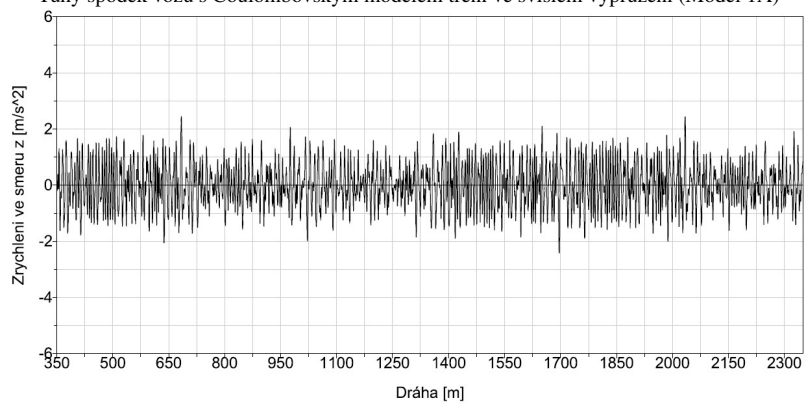
Tuhý spodek vozu se stick-slip modelem tření ve svislém vypružení (Model 1B)

**Průběh zrychlení ve svislém směru nad zadním dvojkolím - NK 1:1**

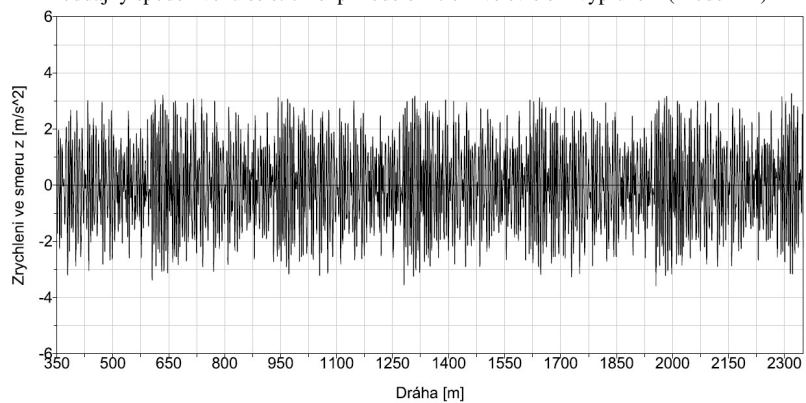
Poddajný spodek vozu s Coulombovským modelem tření ve svislém vypružení (Model 2A)



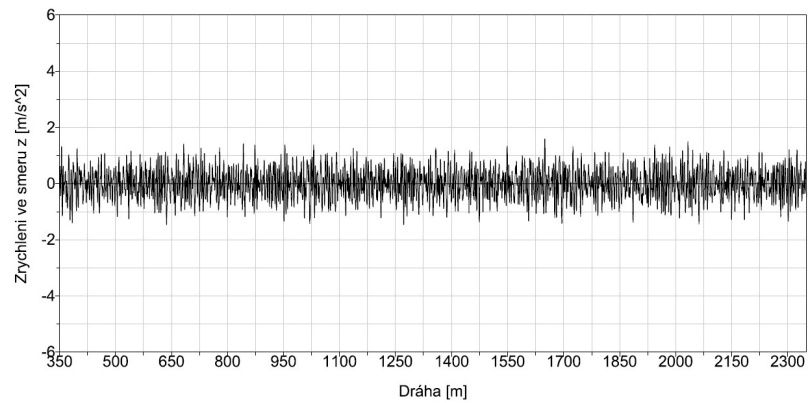
Tuhý spodek vozu s Coulombovským modelem tření ve svislém vypružení (Model 1A)



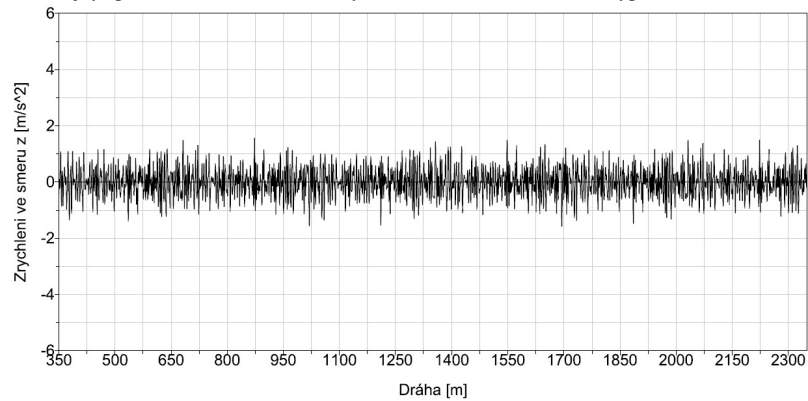
Poddajný spodek vozu se stick-slip modelem tření ve svislém vypružení (Model 2B)



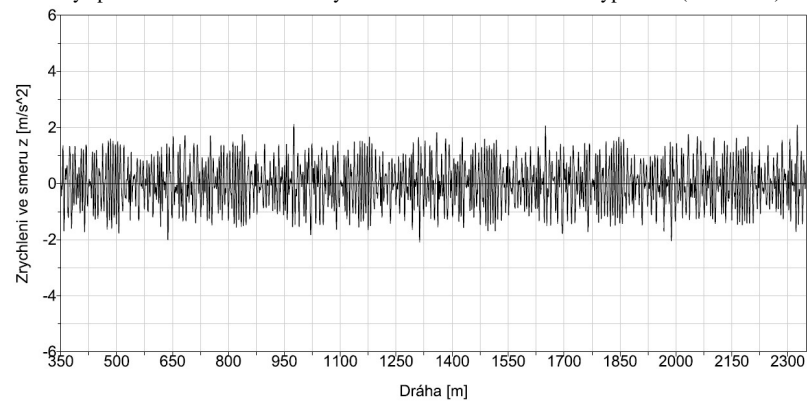
Tuhý spodek vozu se stick-slip modelem tření ve svislém vypružení (Model 1B)

**Průběh zrychlení ve svislém směru nad zadním dvojkolím - NK 1:5**

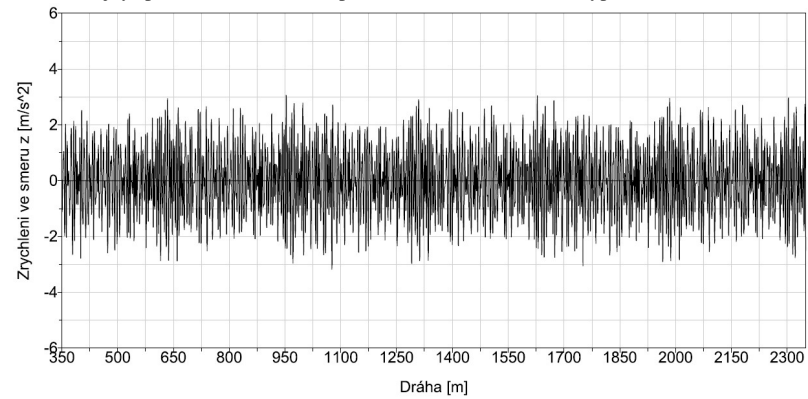
Poddajný spodek vozu s Coulombovským modelem tření ve svislém vypružení (Model 2A)



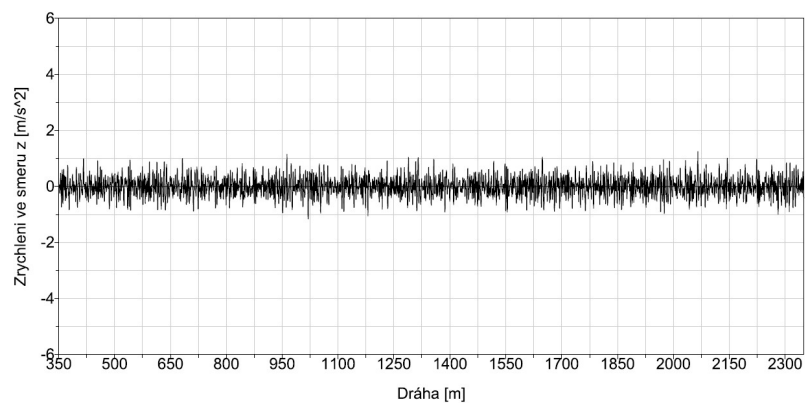
Tuhý spodek vozu s Coulombovským modelem tření ve svislém vypružení (Model 1A)



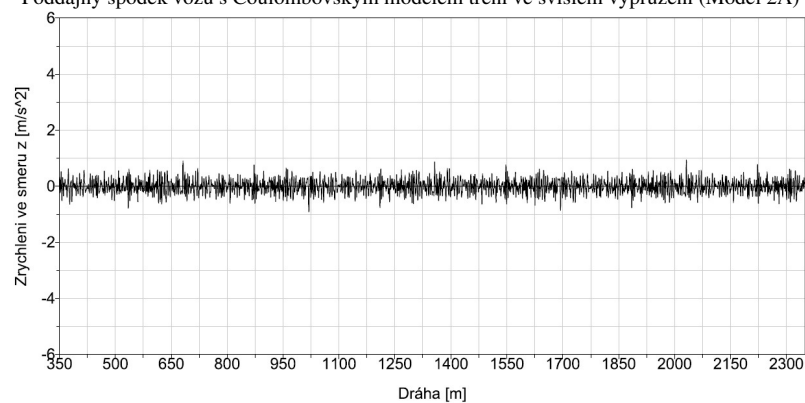
Poddajný spodek vozu se stick-slip modelem tření ve svislém vypružení (Model 2B)



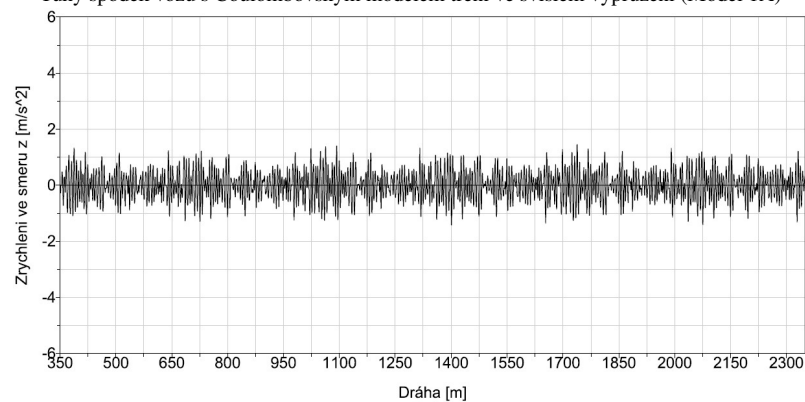
Tuhý spodek vozu se stick-slip modelem tření ve svislém vypružení (Model 1B)

**Průběh zrychlení ve svislém směru nad zadním dvojkolím - NK 1:10**

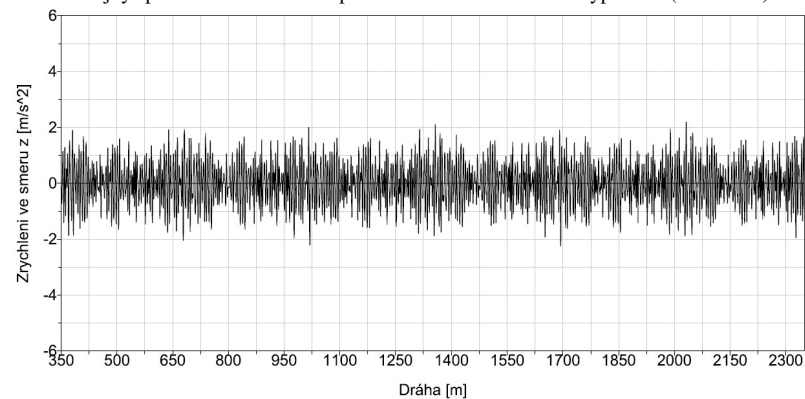
Poddajný spodek vozu s Coulombovským modelem tření ve svislém vypružení (Model 2A)



Tuhý spodek vozu s Coulombovským modelem tření ve svislém vypružení (Model 1A)

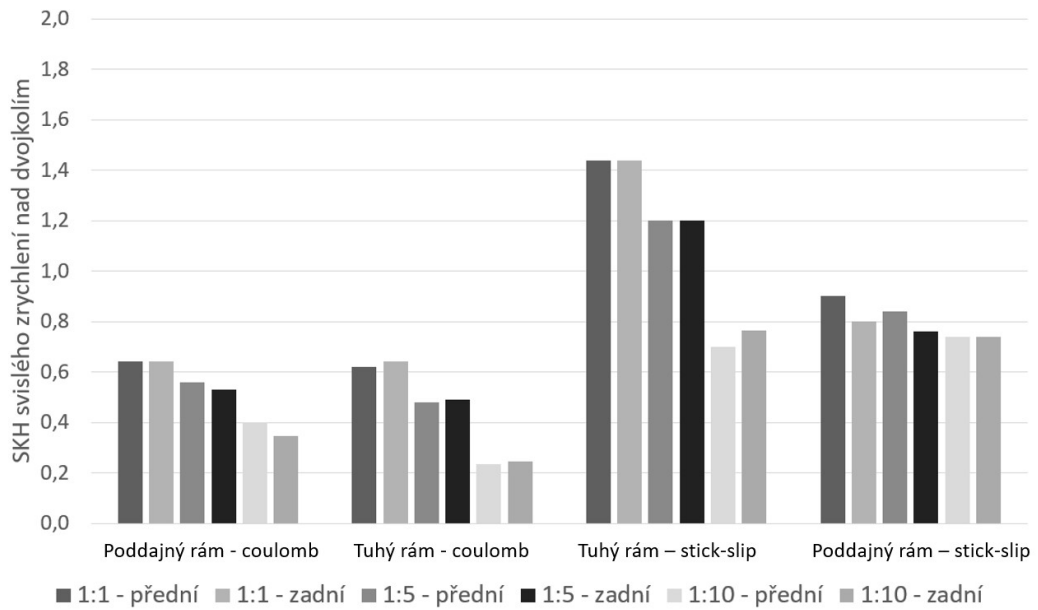


Poddajný spodek vozu se stick-slip modelem tření ve svislém vypružení (Model 2B)



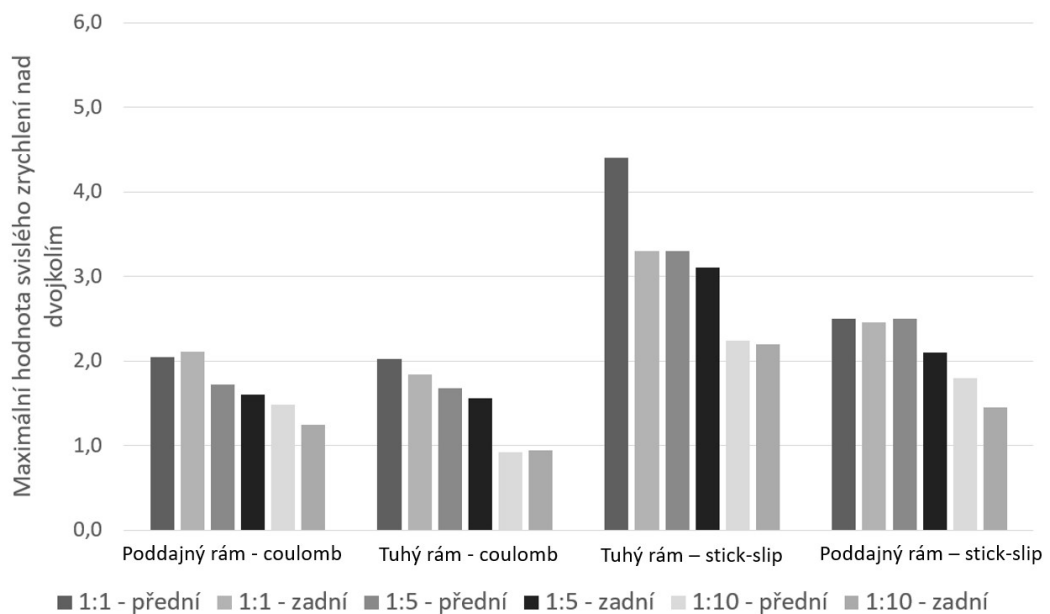
Tuhý spodek vozu se stick-slip modelem tření ve svislém vypružení (Model 1B)

## Střední kvadratická hodnota



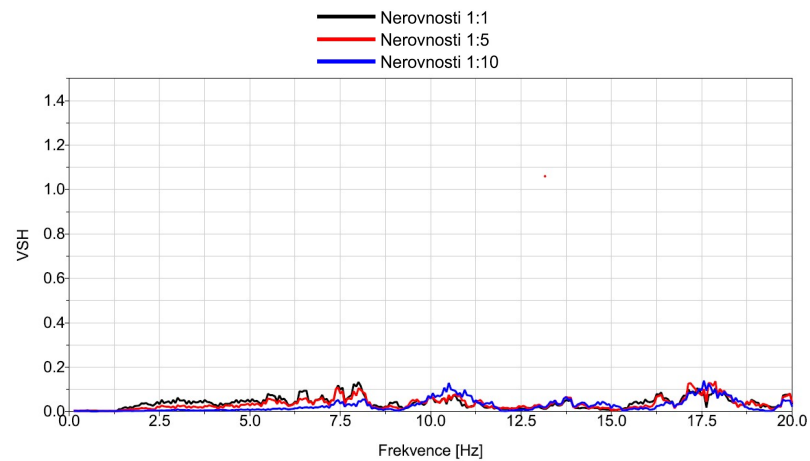
SKH zrychlení na spodku vozu nad dvojkolím ve svislém směru

## Maximální hodnota

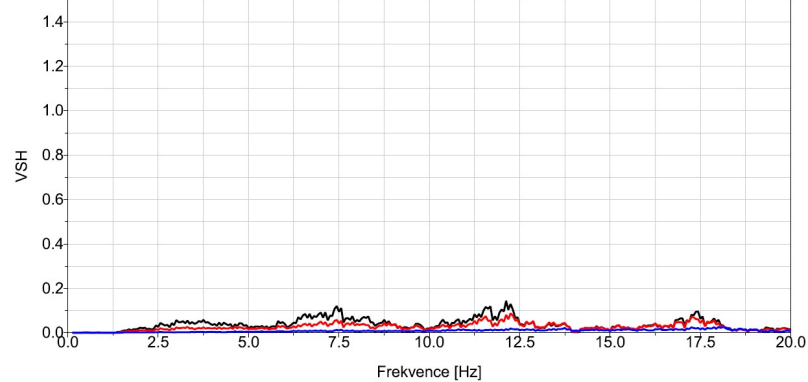


Maximální hodnota zrychlení na spodku vozu nad dvojkolím ve svislém směru

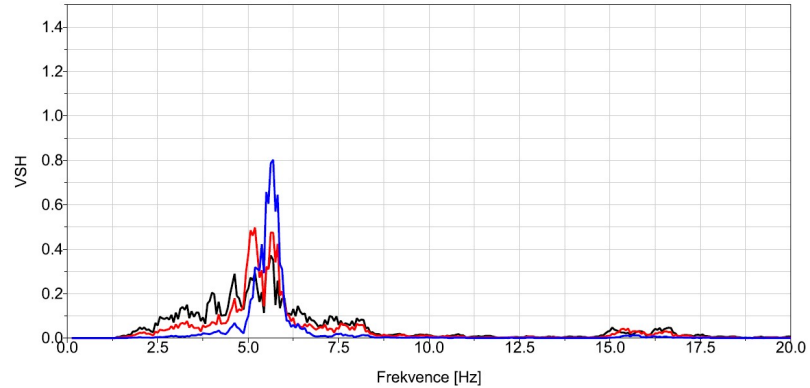
## Výkonová spektrální hustota zrychlení ve svislém směru nad předním dvojkolím



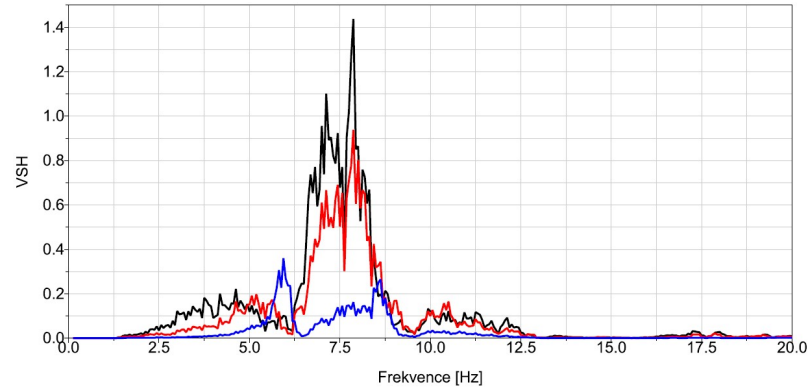
Poddajný spodek vozu s Coulombovským modelem tření ve svislém vypružení (Model 2A)



Tuhý spodek vozu s Coulombovským modelem tření ve svislém vypružení (Model 1A)



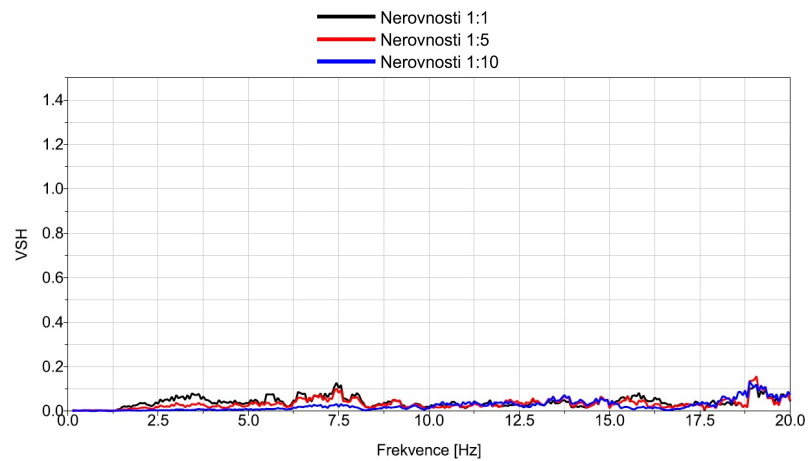
Poddajný spodek vozu se stick-slip modelem tření ve svislém vypružení (Model 2B)



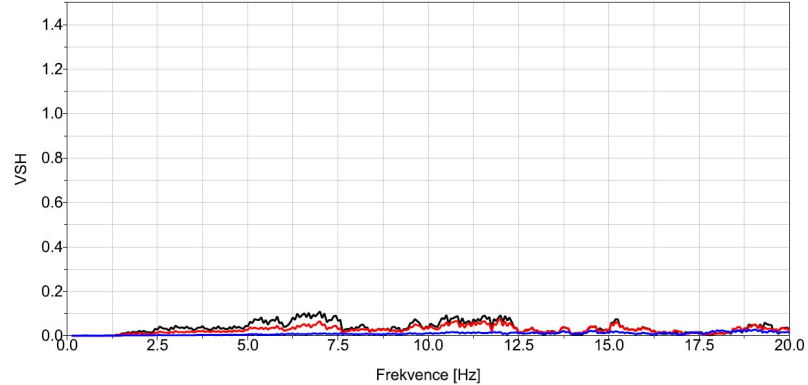
Tuhý spodek vozu se stick-slip modelem tření ve svislém vypružení (Model 1B)



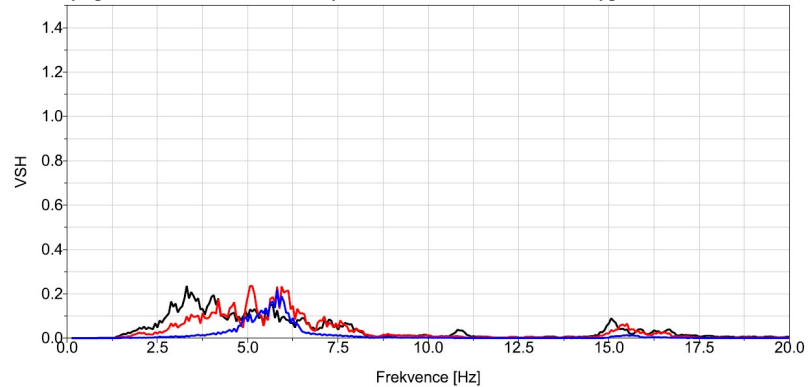
## Výkonová spektrální hustota zrychlení ve svislém směru nad zadním dvojkolím



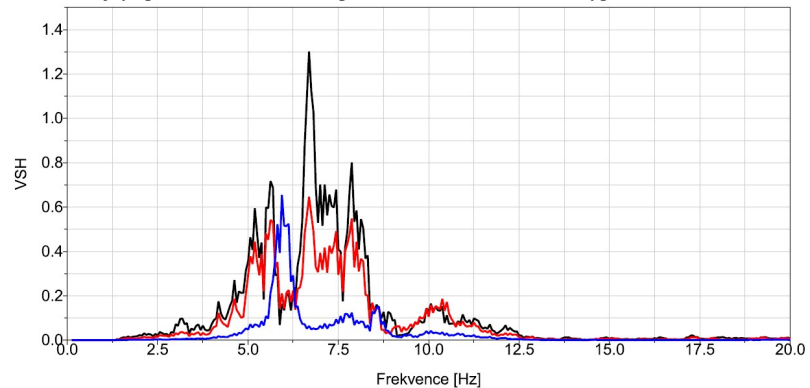
Poddajný spodek vozu s Coulombovským modelem tření ve svislém vypružení (Model 2A)



Tuhý spodek vozu s Coulombovským modelem tření ve svislém vypružení (Model 1A)



Poddajný spodek vozu se stick-slip modelem tření ve svislém vypružení (Model 2B)



Tuhý spodek vozu se stick-slip modelem tření ve svislém vypružení (Model 1B)

## Vyhodnocení

### Posouzení výsledků vzhledem k mezním hodnotám

Střední kvadratická hodnota zrychlení má mezní hodnotu  $2 \text{ m/s}$ , vidíme, že této hodnoty nedosahuje žádný z modelů; nejvyšších hodnot dosahuje Model 1B. Maximální hodnotu  $5 \text{ m/s}$  také nedosahuje žádný z modelů a nejvyšších hodnot opět dosahuje Model 1B na spodku vozu nad dvojkolím.

### Vliv poddajnosti spodku - Coulombovský model tření ve svislém vypružení

Z grafů SKH i max. hodnot vidíme velice podobné chování u modelu s tuhým a poddajným spodkem.

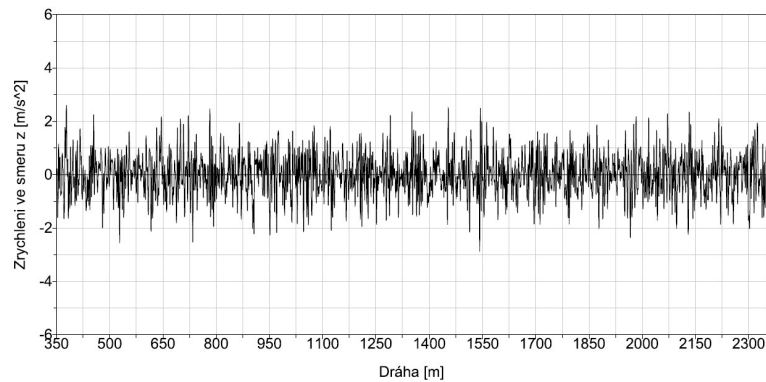
### Vliv poddajnosti spodku - stick-slip model tření ve svislém vypružení

Z grafů SKH a max. hodnot vidíme výrazně vyšší hodnoty u modelu s tuhým spodkem, což můžeme pozorovat i na průběhu VSH. Pozorujeme-li přední dvojkolí, tak u poddajného rámu vidíme špičky v oblasti  $5 \div 6 \text{ Hz}$ , které odpovídají vlastním frekvencím kývání spodku společně s natáčivým pohybem dvojkolí - nutno poznamenat, že dochází i k deformaci spodku, což je patrné u velikosti NK 1:10, kdy nedochází tak často k uvolnění třecího tlumení a právě zde nacházíme nejvyšší hodnotu. Špičky u modelu s tuhým rámem jsou v oblasti okolo  $7,5 \text{ Hz}$ , které jsou v blízkosti vlastních frekvencí houpání a kývání spodku - tento jev je výrazný u velikosti NK 1:1 a 1:5, zatímco u NK 1:10 je již výrazně nižší.

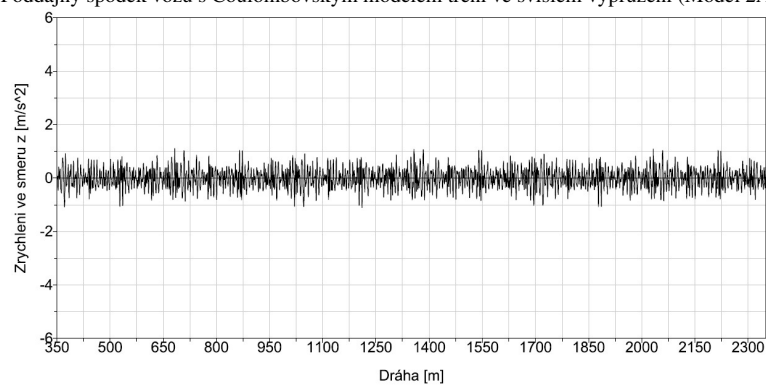
Srovnáme-li zadní dvojkolí, tak energie kmitání u Modelu 2B je již výrazně nižší, zatímco u Modelu 1B jsou vysoké špičky u velikosti NK 1:1; u velikosti NK 1:5, resp. 1:10 vidíme již nižší hodnoty špiček.

### 1.4.3 Vyhodnocení svislého zrychlení uprostřed spodku vozu

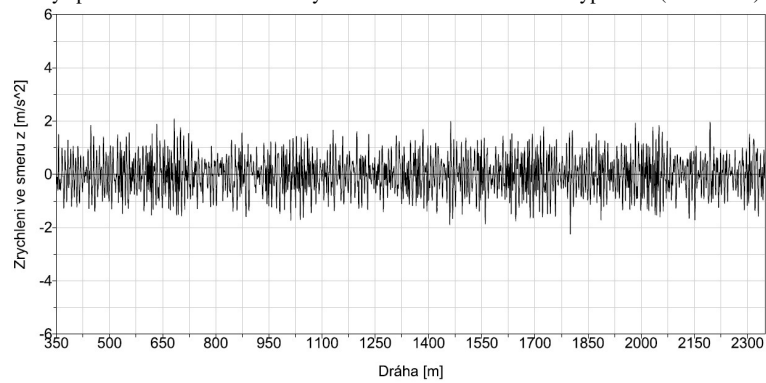
#### Průběh zrychlení uprostřed spodku - NK 1:1



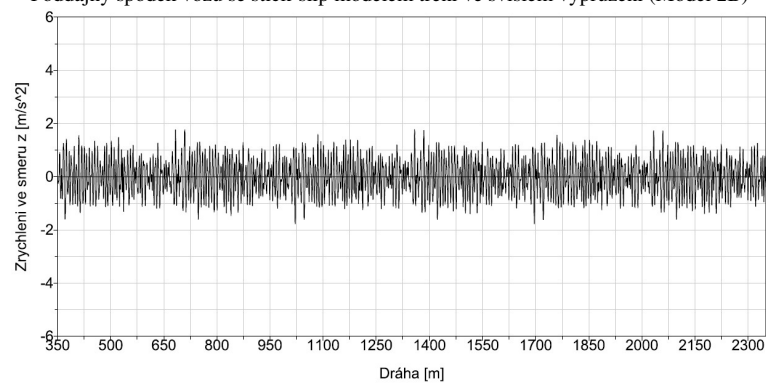
Poddajný spodek vozu s Coulombovským modelem tření ve svislém vypružení (Model 2A)



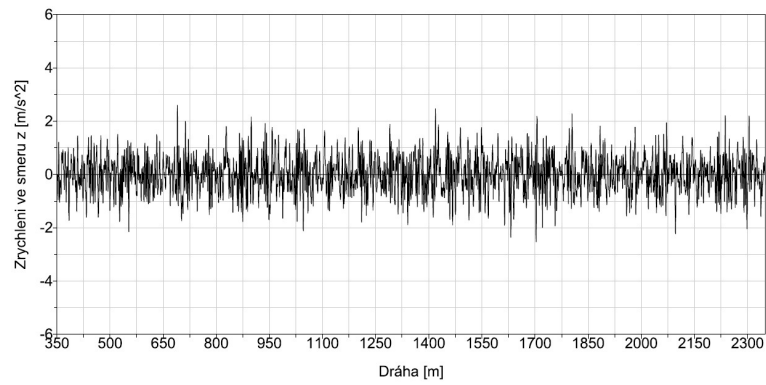
Tuhý spodek vozu s Coulombovským modelem tření ve svislém vypružení (Model 1A)



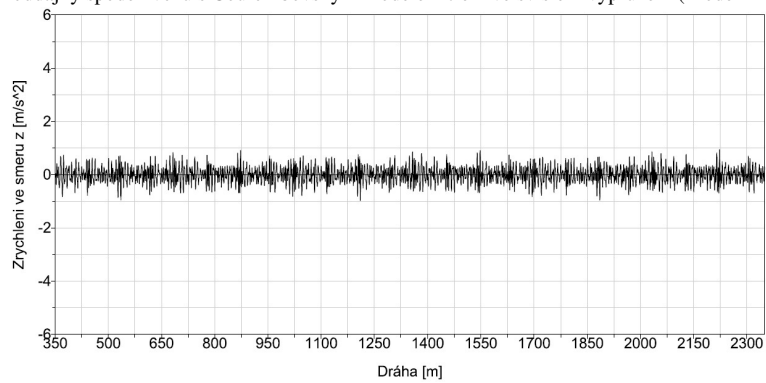
Poddajný spodek vozu se stick-slip modelem tření ve svislém vypružení (Model 2B)



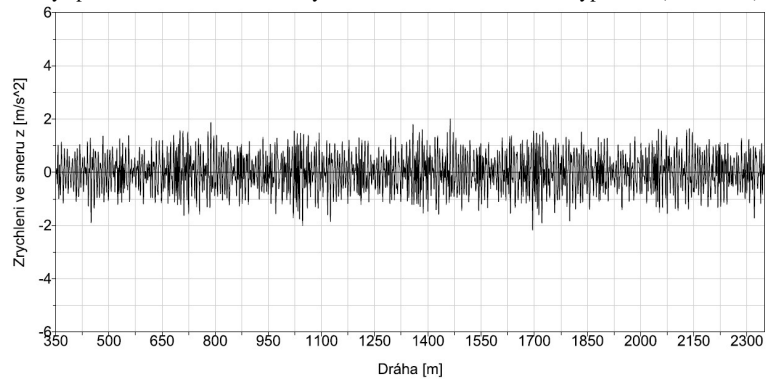
Tuhý spodek vozu se stick-slip modelem tření ve svislém vypružení (Model 1B)

**Průběh zrychlení uprostřed spodku - NK 1:5**

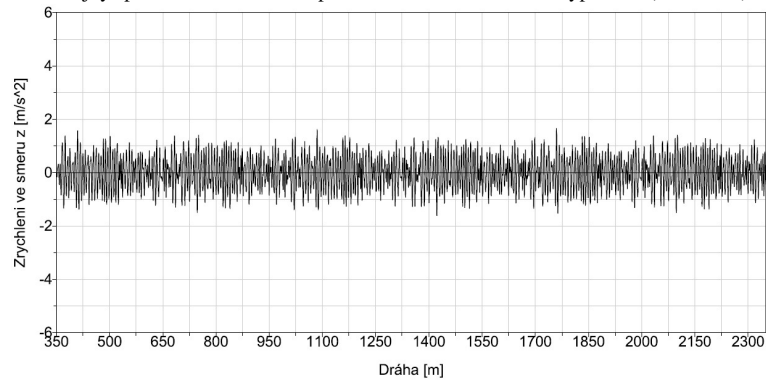
Poddajný spodek vozu s Coulombovským modelem tření ve svislém vypružení (Model 2A)



Tuhý spodek vozu s Coulombovským modelem tření ve svislém vypružení (Model 1A)

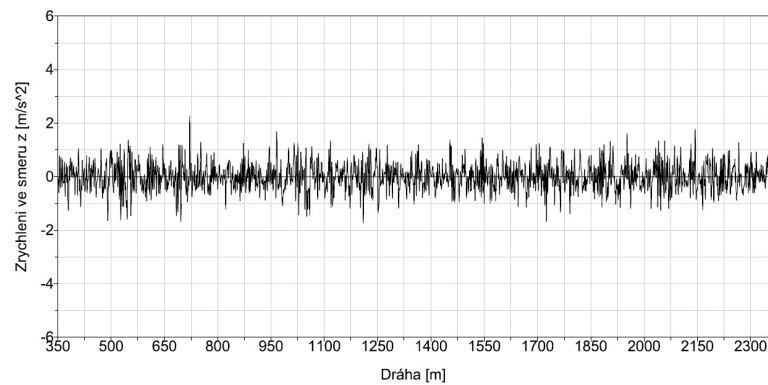


Poddajný spodek vozu se stick-slip modelem tření ve svislém vypružení (Model 2B)

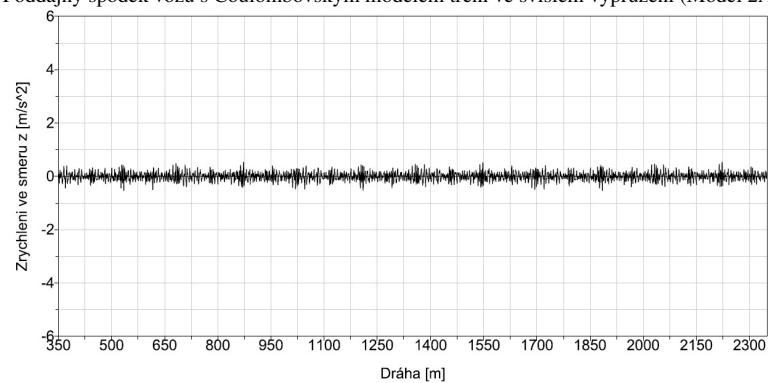


Tuhý spodek vozu se stick-slip modelem tření ve svislém vypružení (Model 1B)

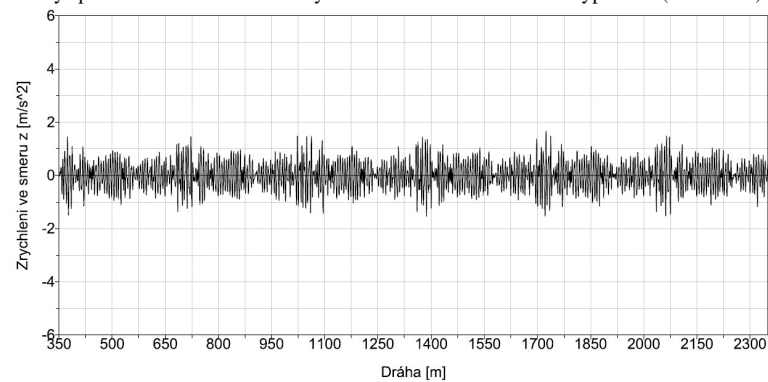
## Průběh zrychlení uprostřed spodku - NK 1:10



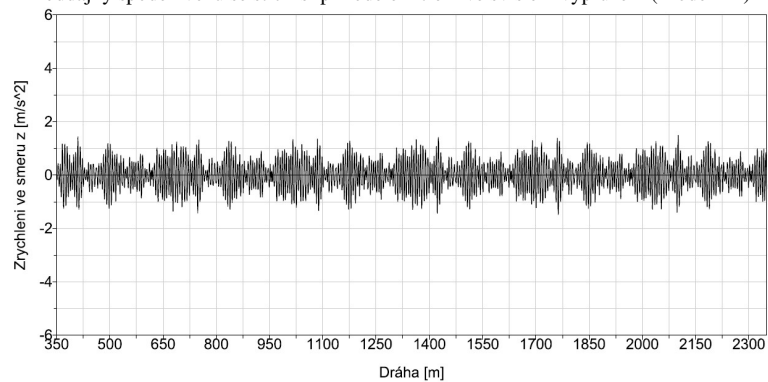
Poddajný spodek vozu s Coulombovským modelem tření ve svislém vypružení (Model 2A)



Tuhý spodek vozu s Coulombovským modelem tření ve svislém vypružení (Model 1A)

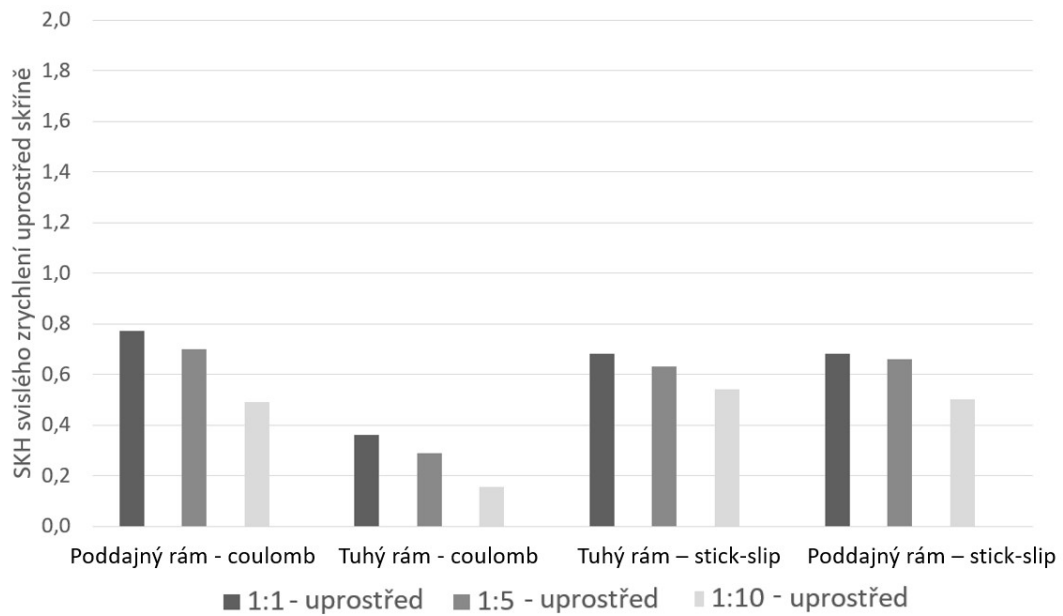


Poddajný spodek vozu se stick-slip modelem tření ve svislém vypružení (Model 2B)



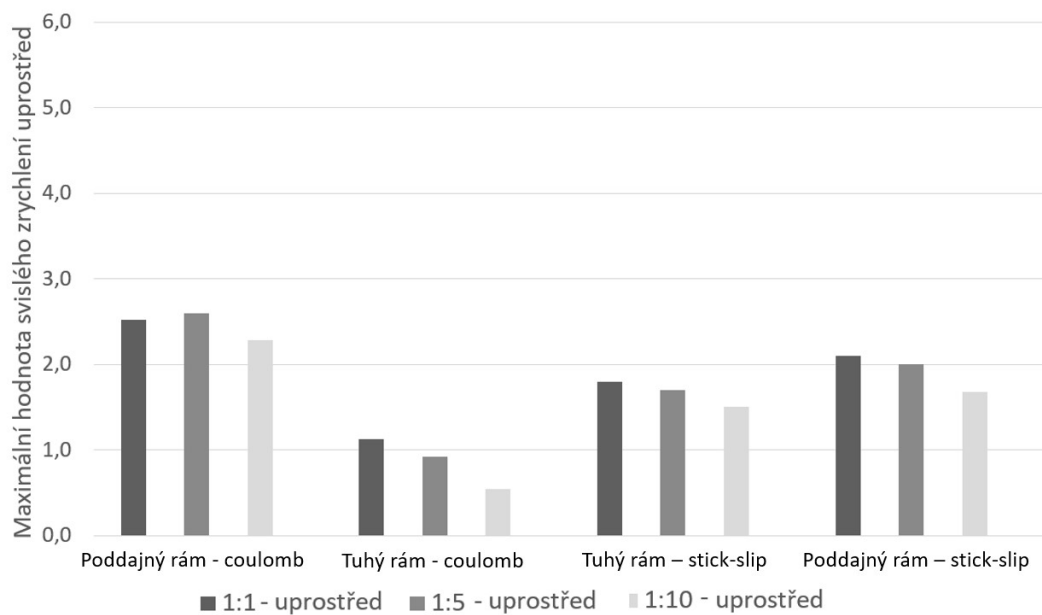
Tuhý spodek vozu se stick-slip modelem tření ve svislém vypružení (Model 1B)

## Střední kvadratická hodnota



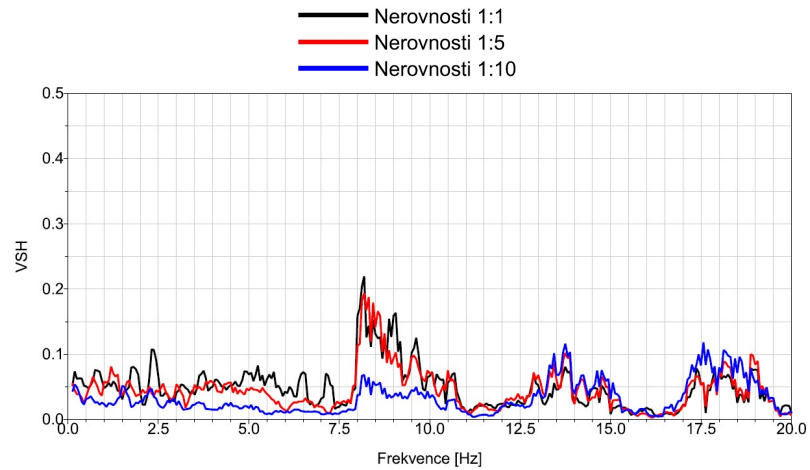
SKH zrychlení ve svislém směru uprostřed spodku vozu

## Maximální hodnota

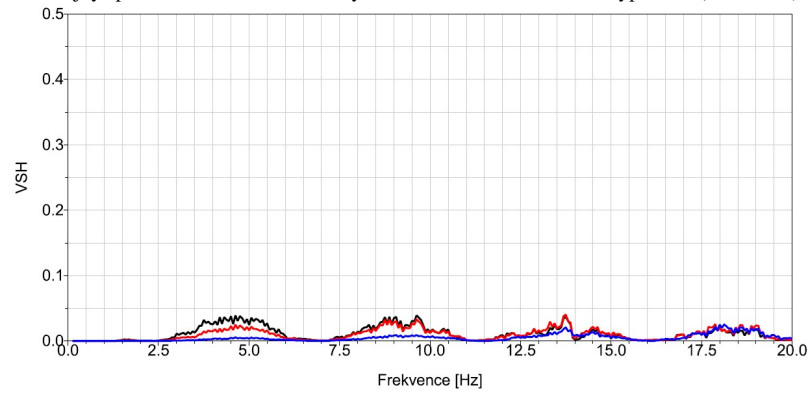


Maximální hodnota zrychlení ve svislém směru uprostřed spodku vozu

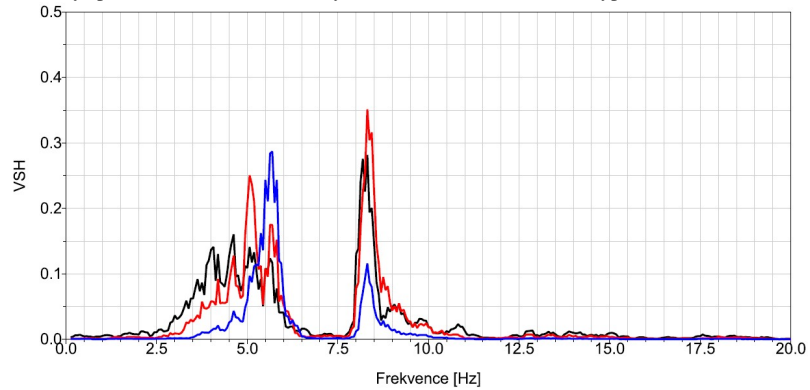
## Výkonová spektrální hustota



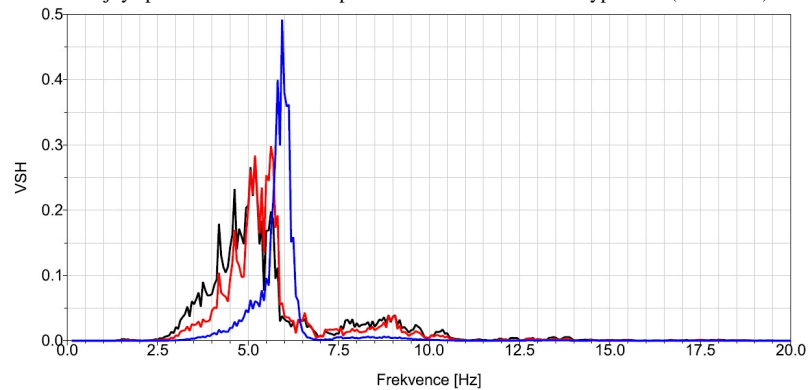
Poddajný spodek vozu s Coulombovským modelem tření ve svislém vypružení (Model 2A)



Tuhý spodek vozu s Coulombovským modelem tření ve svislém vypružení (Model 1A)



Poddajný spodek vozu se stick-slip modelem tření ve svislém vypružení (Model 2B)



Tuhý spodek vozu se stick-slip modelem tření ve svislém vypružení (Model 1B)

## Vyhodnocení

### Vliv poddajnosti spodku - Coulombovský model tření ve svislém vypružení

U SKH i u maximální hodnoty zrychlení uprostřed spodku vozu vidíme výrazný rozdíl mezi tuhým (Model 1A) a poddajným modelem spodku (Model 2A).

U VSH vidíme výraznou špičku u modelu s poddajným spodkem (Model 2A) v oblasti  $7,5 \div 8,5 \text{ Hz}$ , které odpovídají vlastním frekvencím ohybového kmitání spodku vozu. Dále špička v oblasti  $14 \text{ Hz}$  odpovídá druhému tvaru ohybových kmitů spodku a špička v oblasti  $17,5 \div 18,5 \text{ Hz}$  odpovídá také vlastní frekvenci kmitání spodku vozu.

### Vliv poddajnosti spodku - stick-slip model tření ve svislém vypružení

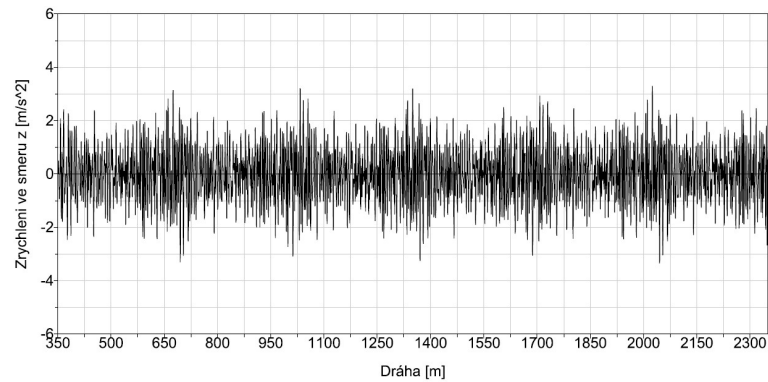
Můžeme si všimnout velice podobných hodnot SKH u obou modelů, které jsou velmi podobné i s Modelem 2A. Stejně tak maximální hodnoty jsou pro oba modely velice podobné, avšak zde již Model 2A dosahuje výrazně vyšších hodnot.

VSH modelu s poddajným spodkem (Model 2B) dosahuje špiček v oblasti  $5 \div 6 \text{ Hz}$ , které jsou patrné i u VSH nad dvojkolím. Dále je zde patrná špička v oblasti  $7,5 \div 8,5 \text{ Hz}$ , která odpovídá vlastním frekvencím ohybového kmitání spodku vozu. Při porovnání VSH Modelu 2B a Modelu 1B je patrná nepřítomnost špičky v oblasti  $7,5 \div 8,5 \text{ Hz}$ . U Modelu 1B je patrná nejvýraznější špička v oblasti  $5 \div 6 \text{ Hz}$  pro velikost NK 1:10, která odpovídá vlastní frekvenci kývání spodku společně s podélným kmitáním dvojkolí.

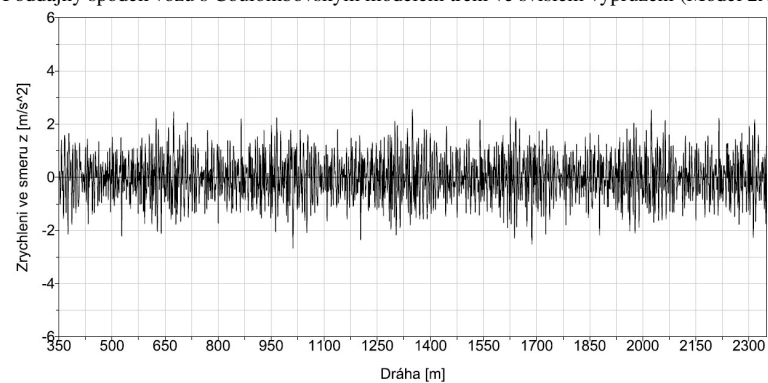


## 1.4.4 Vyhodnocení svislého zrychlení na čelnících v místech nárazníků

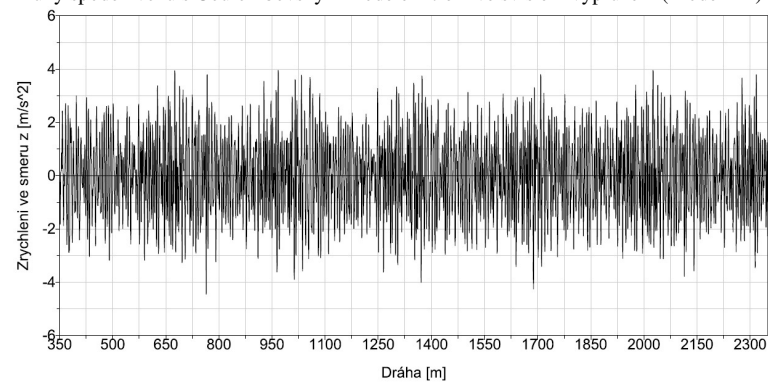
### Průběh zrychlení - PP nárazník - NK 1:1



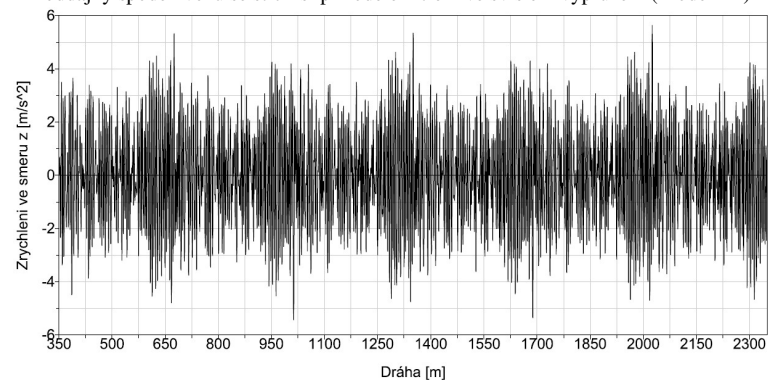
Poddajný spodek vozu s Coulombovským modelem tření ve svislém vypružení (Model 2A)



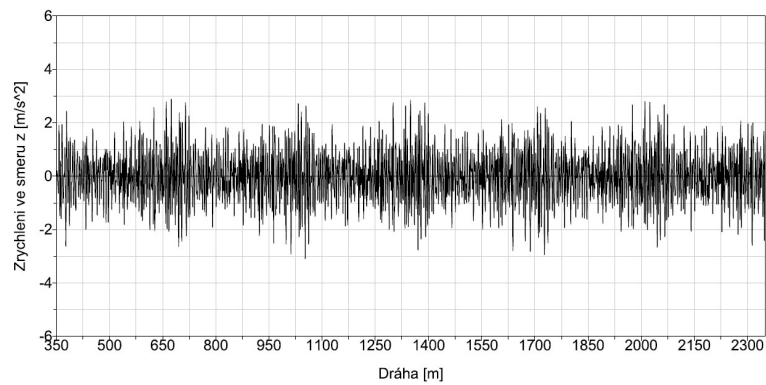
Tuhý spodek vozu s Coulombovským modelem tření ve svislém vypružení (Model 1A)



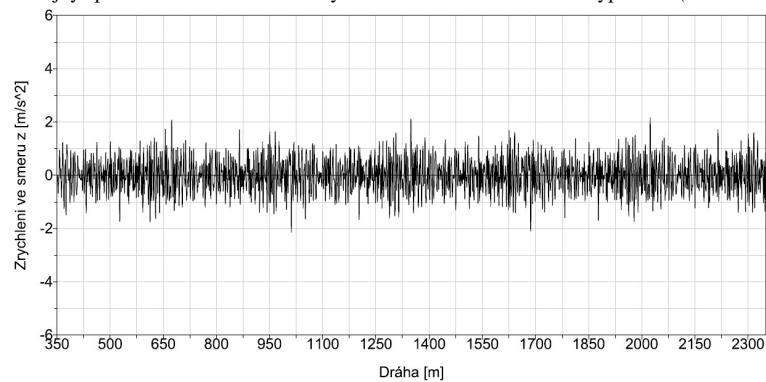
Poddajný spodek vozu se stick-slip modelem tření ve svislém vypružení (Model 2B)



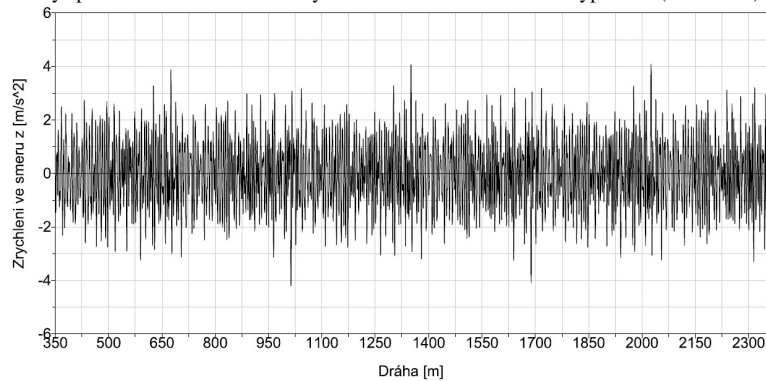
Tuhý spodek vozu se stick-slip modelem tření ve svislém vypružení (Model 1B)

**Průběh zrychlení - PP nárazník - NK 1:5**

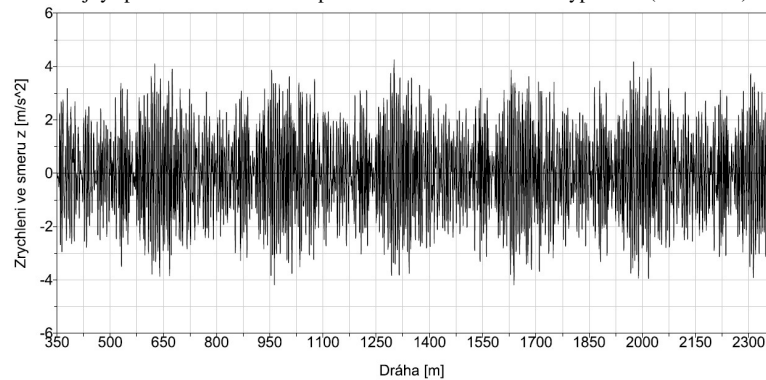
Poddajný spodek vozu s Coulombovským modelem tření ve svislém vypružení (Model 2A)



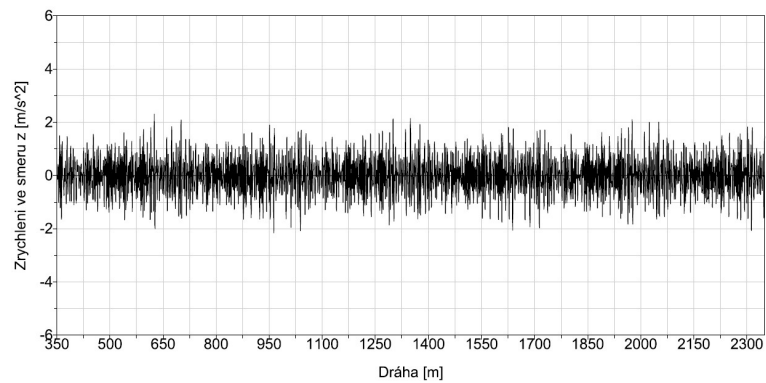
Tuhý spodek vozu s Coulombovským modelem tření ve svislém vypružení (Model 1A)



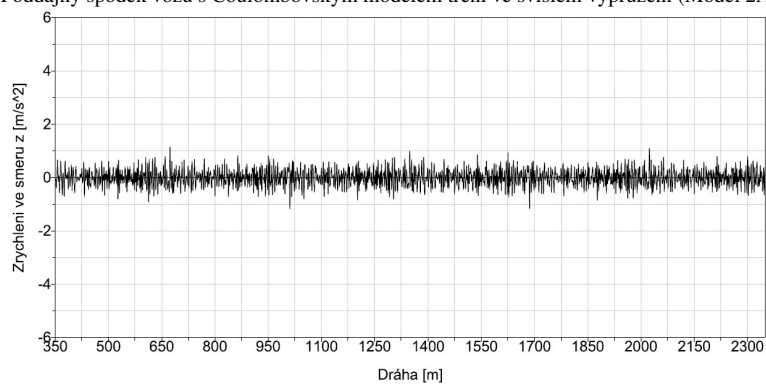
Poddajný spodek vozu se stick-slip modelem tření ve svislém vypružení (Model 2B)



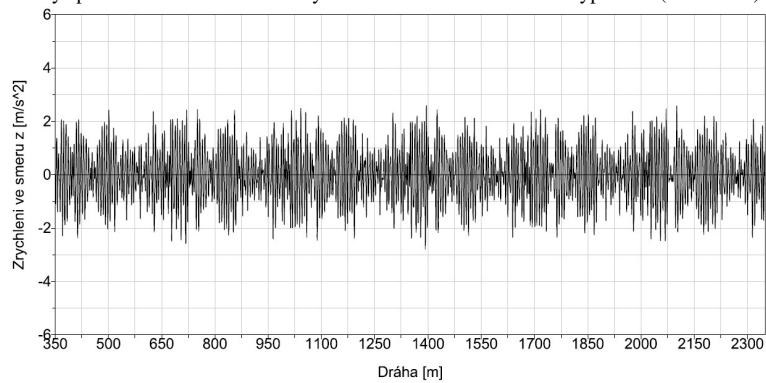
Tuhý spodek vozu se stick-slip modelem tření ve svislém vypružení (Model 1B)

**Průběh zrychlení - PP nárazník - NK 1:10**

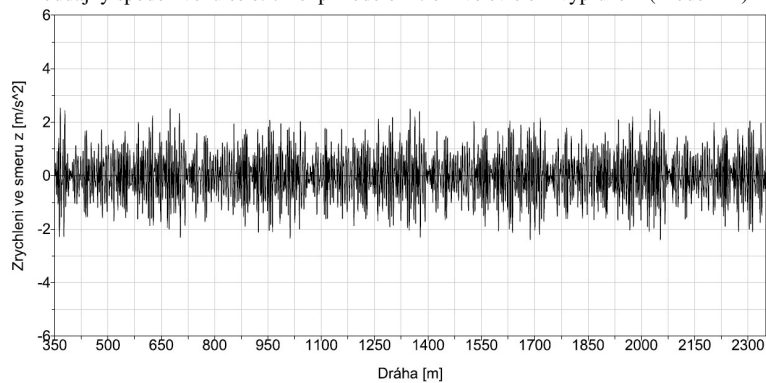
Poddajný spodek vozu s Coulombovským modelem tření ve svislém vypružení (Model 2A)



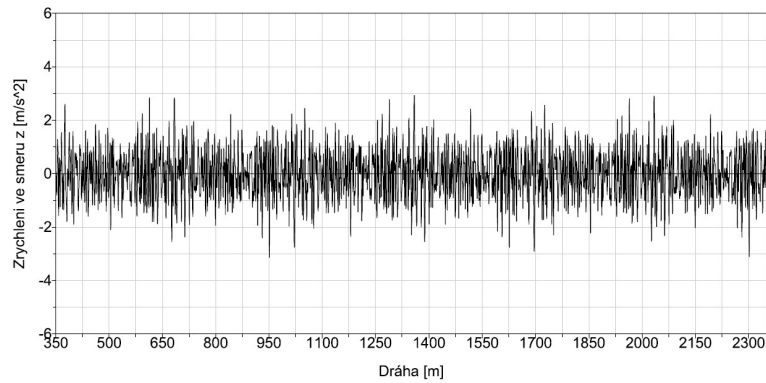
Tuhý spodek vozu s Coulombovským modelem tření ve svislém vypružení (Model 1A)



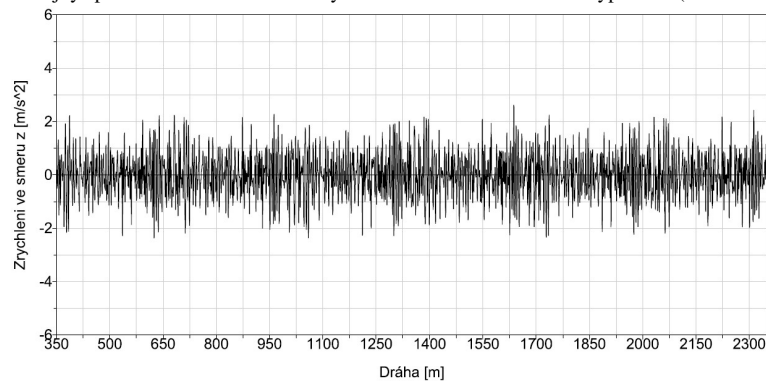
Poddajný spodek vozu se stick-slip modelem tření ve svislém vypružení (Model 2B)



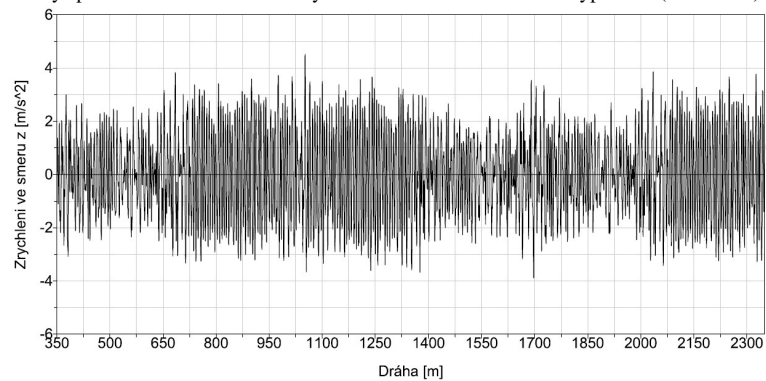
Tuhý spodek vozu se stick-slip modelem tření ve svislém vypružení (Model 1B)

**Průběh zrychlení - LZ nárazník - NK 1:1**

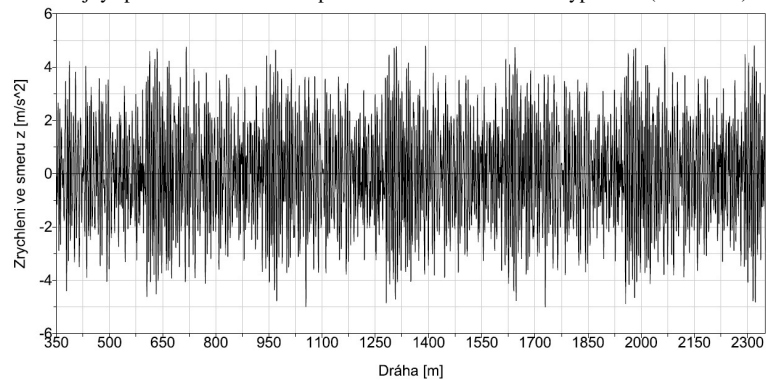
Poddajný spodek vozu s Coulombovským modelem tření ve svislém vypružení (Model 2A)



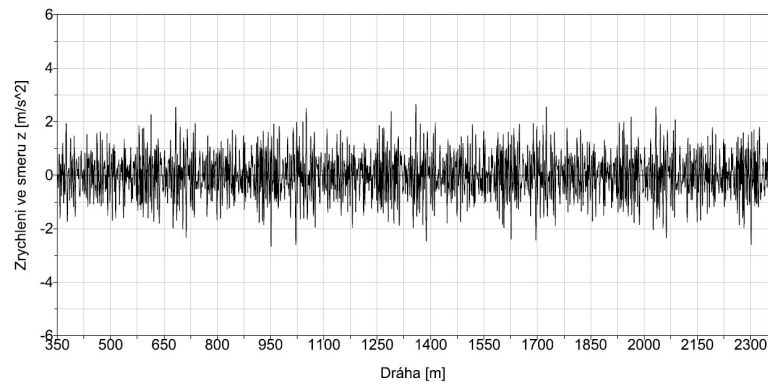
Tuhý spodek vozu s Coulombovským modelem tření ve svislém vypružení (Model 1A)



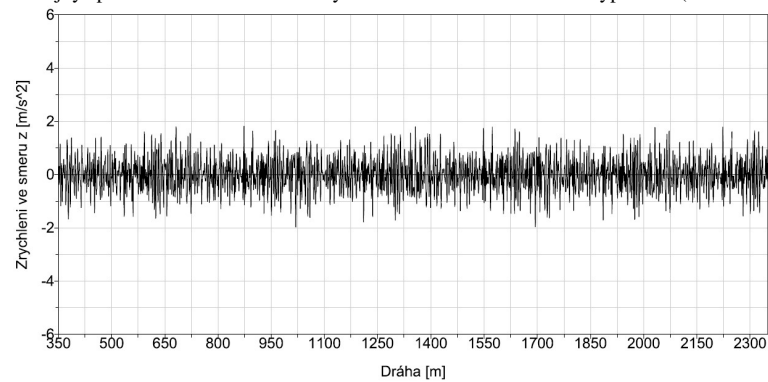
Poddajný spodek vozu se stick-slip modelem tření ve svislém vypružení (Model 2B)



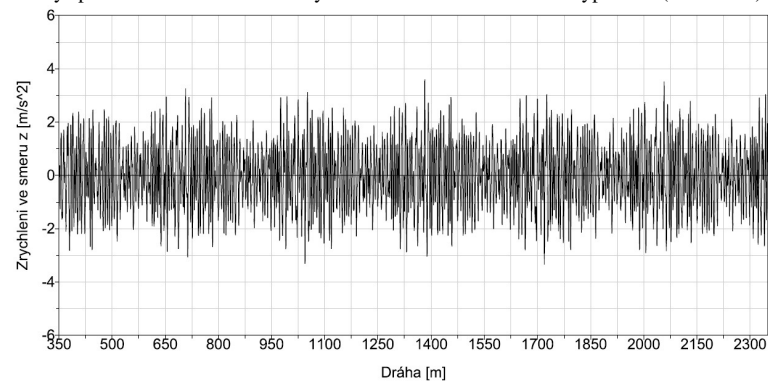
Tuhý spodek vozu se stick-slip modelem tření ve svislém vypružení (Model 1B)

**Průběh zrychlení - LZ nárazník - NK 1:5**

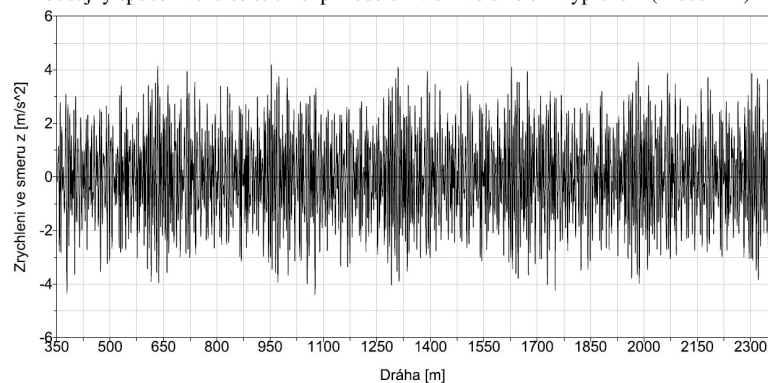
Poddajný spodek vozu s Coulombovským modelem tření ve svislém vypružení (Model 2A)



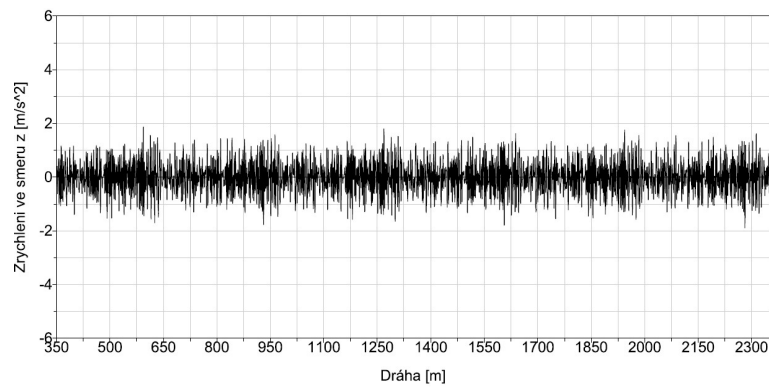
Tuhý spodek vozu s Coulombovským modelem tření ve svislém vypružení (Model 1A)



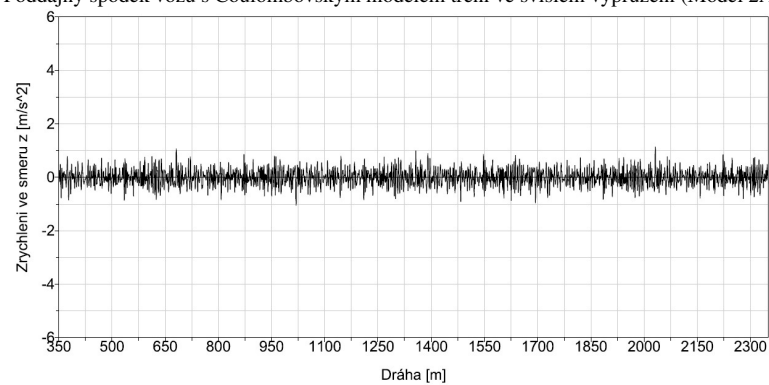
Poddajný spodek vozu se stick-slip modelem tření ve svislém vypružení (Model 2B)



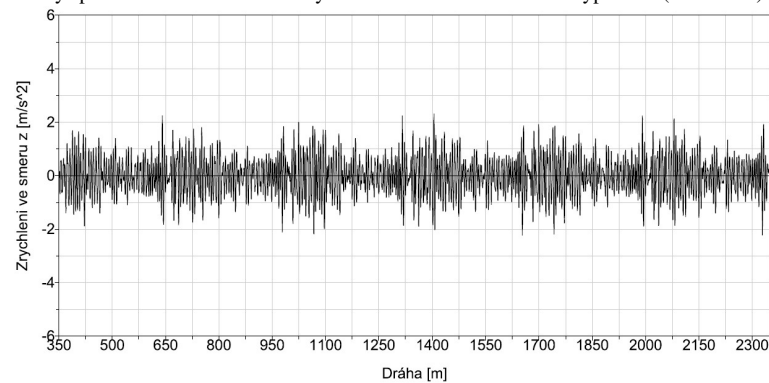
Tuhý spodek vozu se stick-slip modelem tření ve svislém vypružení (Model 1B)

**Průběh zrychlení - LZ nárazník - NK 1:10**

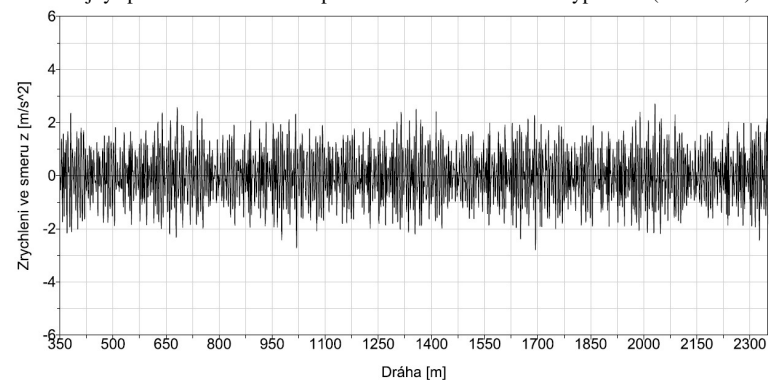
Poddajný spodek vozu s Coulombovským modelem tření ve svislém vypružení (Model 2A)



Tuhý spodek vozu s Coulombovským modelem tření ve svislém vypružení (Model 1A)

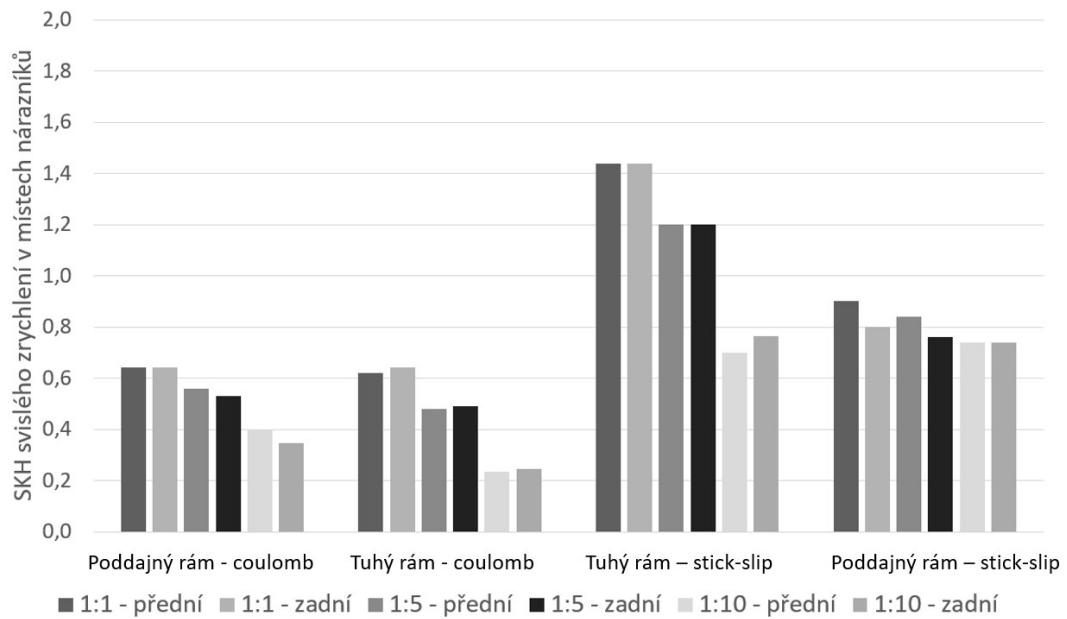


Poddajný spodek vozu se stick-slip modelem tření ve svislém vypružení (Model 2B)



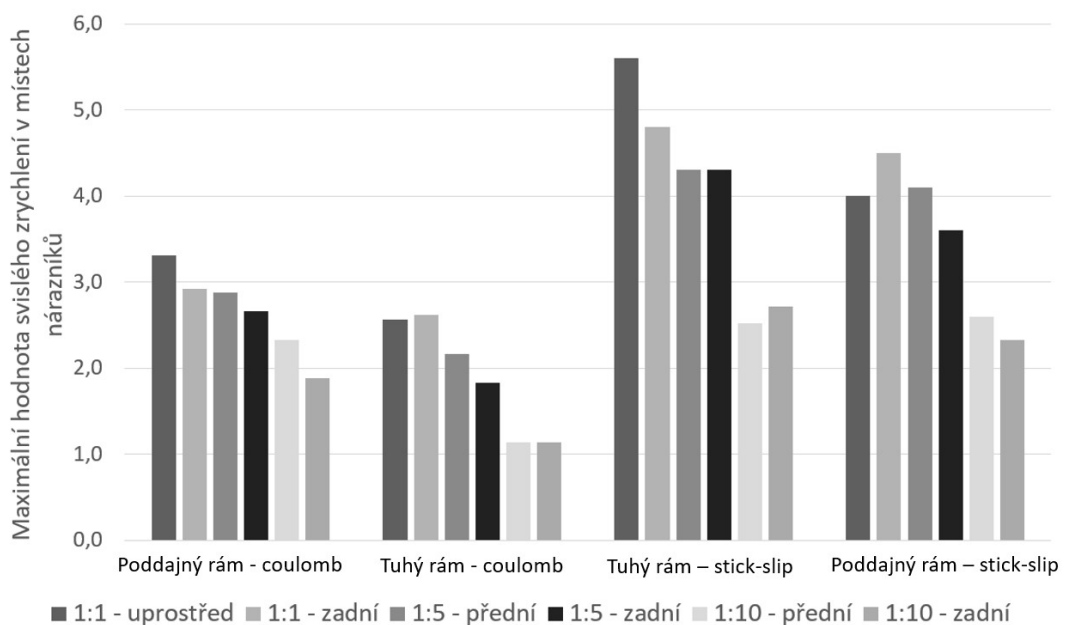
Tuhý spodek vozu se stick-slip modelem tření ve svislém vypružení (Model 1B)

## Střední kvadratická hodnota



SKH zrychlení ve svislém směru na čelnících v místech nárazníků

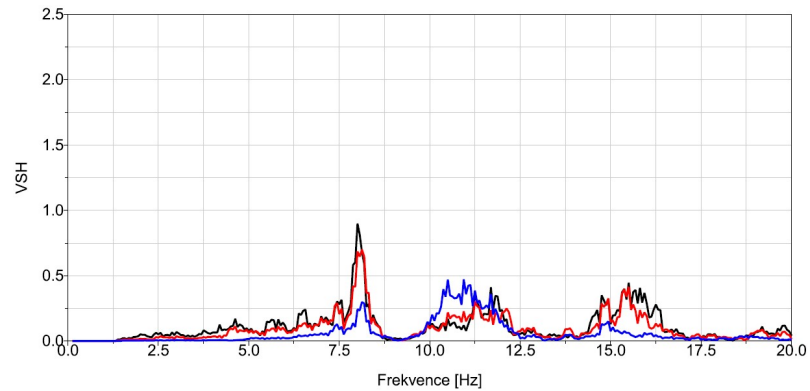
## Maximální hodnota



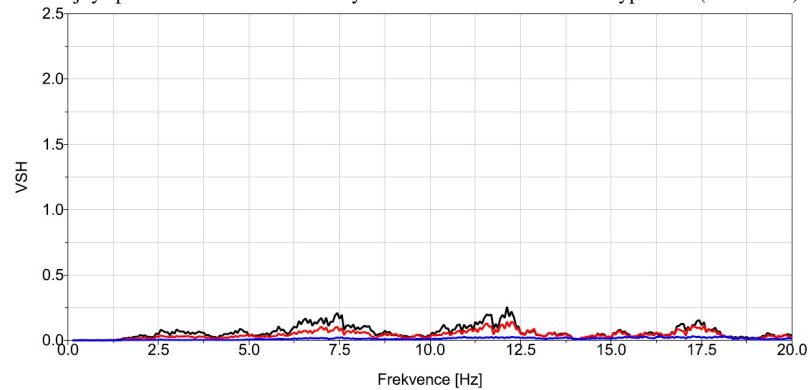
Maximální hodnota zrychlení ve svislém směru na čelnících v místech nárazníků

## Výkonová spektrální hustota zrychlení v místě PP nárazníku

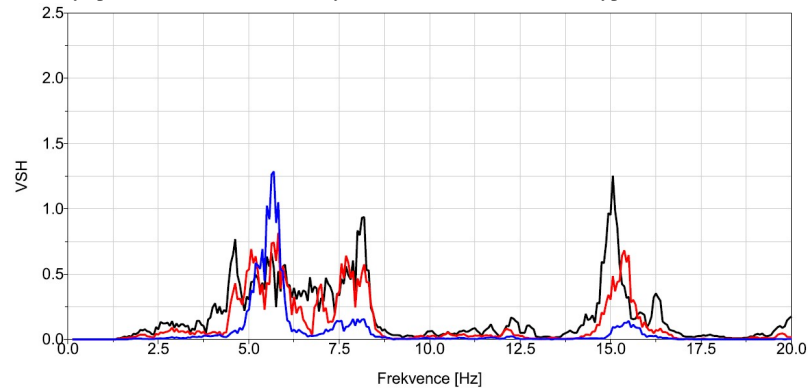
— Nerovnosti 1:1  
— Nerovnosti 1:5  
— Nerovnosti 1:10



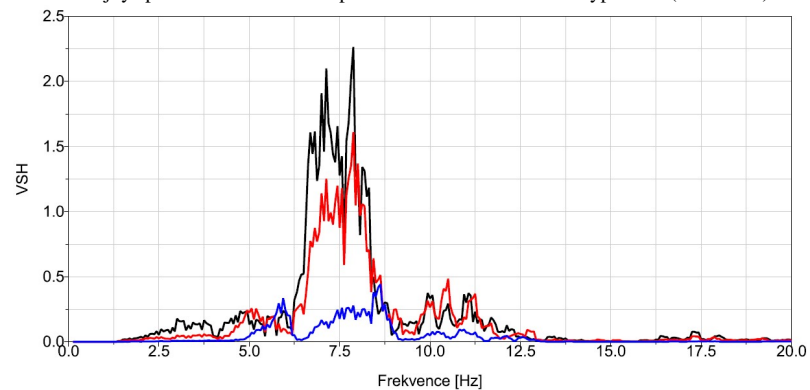
Poddajný spodek vozu s Coulombovským modelem tření ve svislém vypružení (Model 2A)



Tuhý spodek vozu s Coulombovským modelem tření ve svislém vypružení (Model 1A)



Poddajný spodek vozu se stick-slip modelem tření ve svislém vypružení (Model 2B)

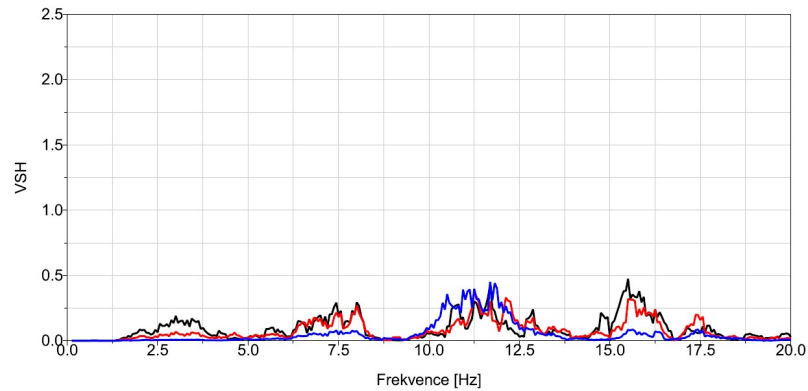


Tuhý spodek vozu se stick-slip modelem tření ve svislém vypružení (Model 1B)

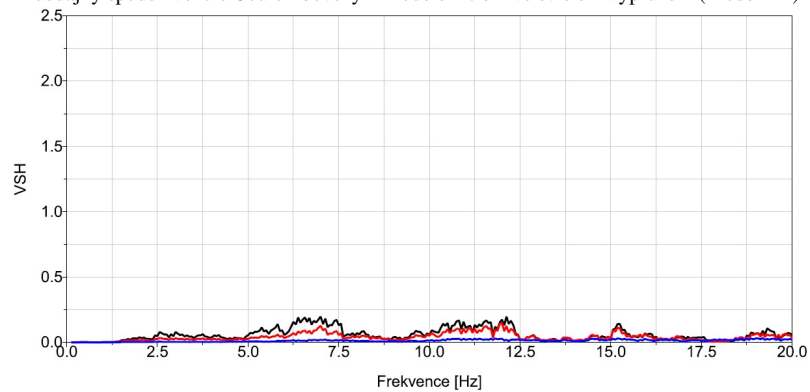


## Výkonová spektrální hustota zrychlení v místě LZ nárazníku

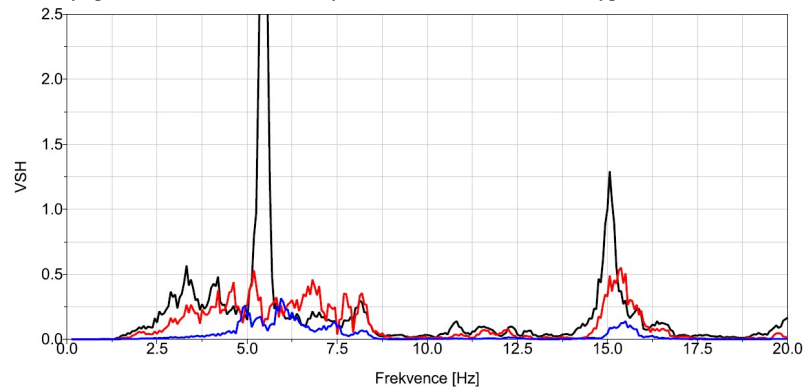
— Nerovnosti 1:1  
— Nerovnosti 1:5  
— Nerovnosti 1:10



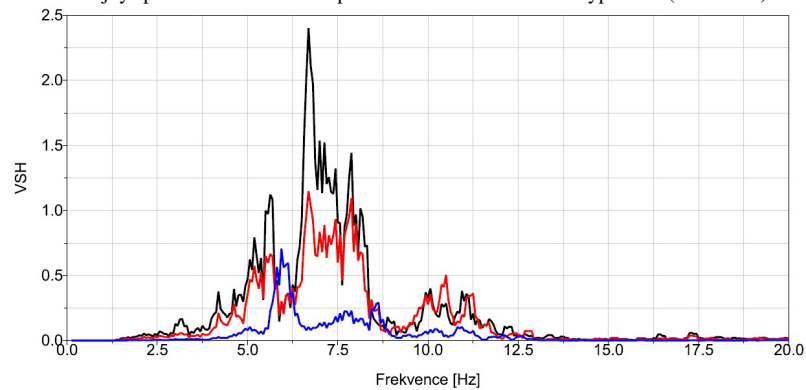
Poddajný spodek vozu s Coulombovským modelem tření ve svislém vypružení (Model 2A)



Tuhý spodek vozu s Coulombovským modelem tření ve svislém vypružení (Model 1A)



Poddajný spodek vozu se stick-slip modelem tření ve svislém vypružení (Model 2B)



Tuhý spodek vozu se stick-slip modelem tření ve svislém vypružení (Model 1B)

## Vyhodnocení

U modelů s tuhým spodkem si můžeme všimnout téměř totožných hodnot a průběhů VSH jako v místě nad dvojkolím, což není nijak překvapivý závěr. Porovnáme-li SKH v místech nárazníků se SKH nad dvojkolím u poddajných modelů spodku, neuvidíme také téměř žádný rozdíl. Ovšem pokud porovnáme maximální hodnoty, uvidíme výrazný nárůst. U výkonové spektrální hustoty vidíme také nárůst energie, což opět potvrzuje, že skutečně dochází k deformacím poddajného modelu spodku.

Zaměříme-li se na Poddajný spodek vozu s Coulombovským modelem tření ve svislém vypružení (Model 2A), uvidíme špičku mezi  $7,5 \div 8,5 Hz$ , odpovídající ohybovému kmitání spodku. Další dvě patrné špičky odpovídají vlastním frekvencím kroucení spodku.

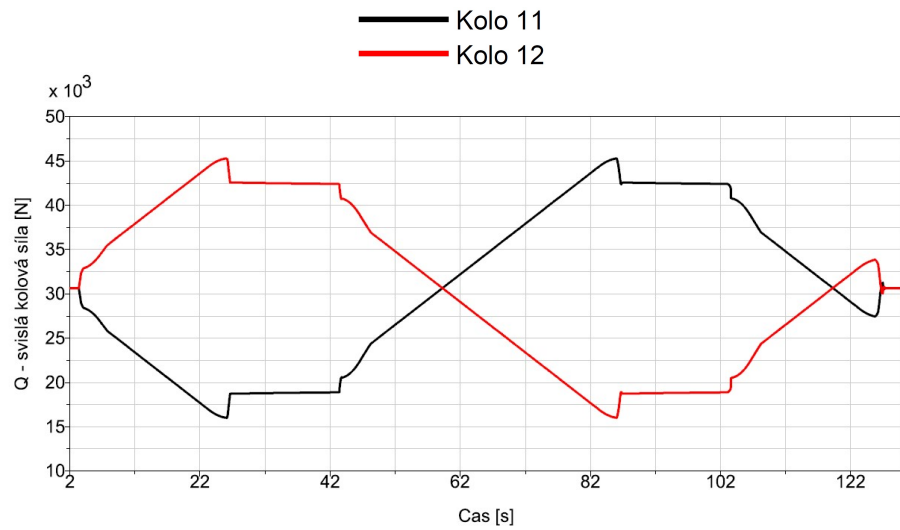
Pozorujeme-li Model 2B, vidíme nejvýraznější špičku v místě LZ nárazníku mírně nad  $5 Hz$ , která je v blízkosti vlastní frekvence kývání spodku společně s natáčivým pohybem dvojkolí a je způsobena nestabilním chodem zadního dvojkolí. Špička v oblasti  $15 Hz$  odpovídá druhému tvaru ohybového kmitání spodku vozu.

## Příloha č.2

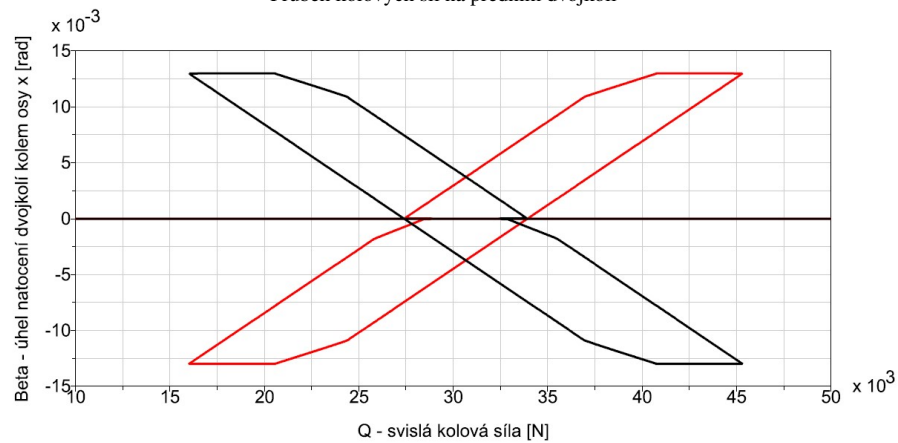
### **Výsledky ze simulace zkrucovací zkoušky**

## 2 Výsledky ze simulace zkrucovací zkoušky

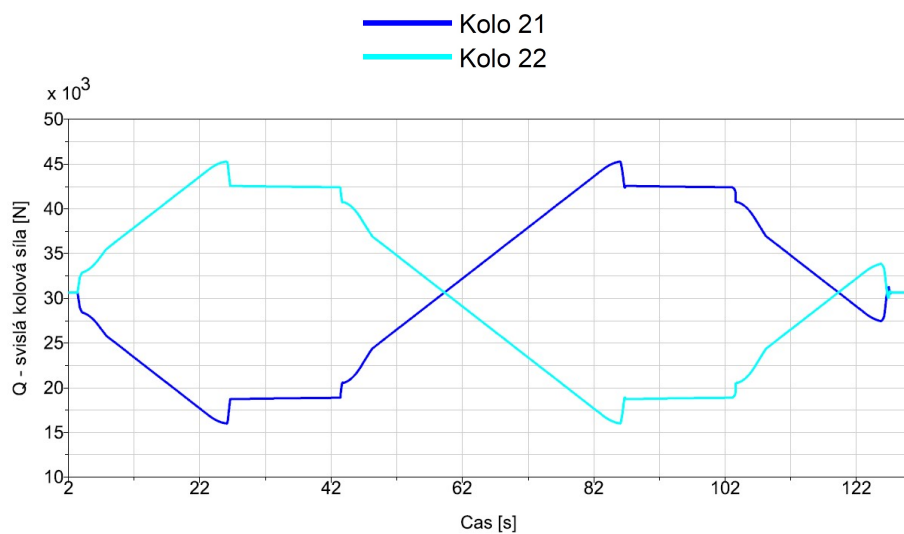
### 2.1 Model 1A



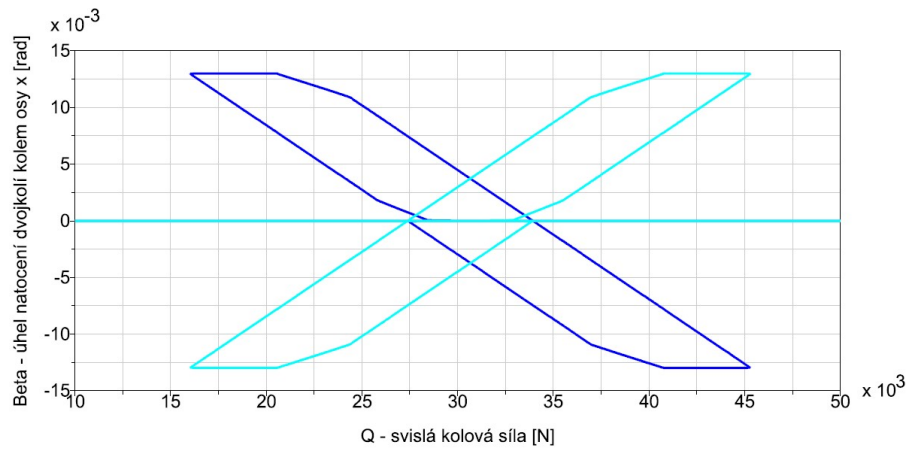
Průběh kolových sil na předním dvojkolí



Průběh kolových sil předního dvojkolí v závislosti na zkušební zborcení

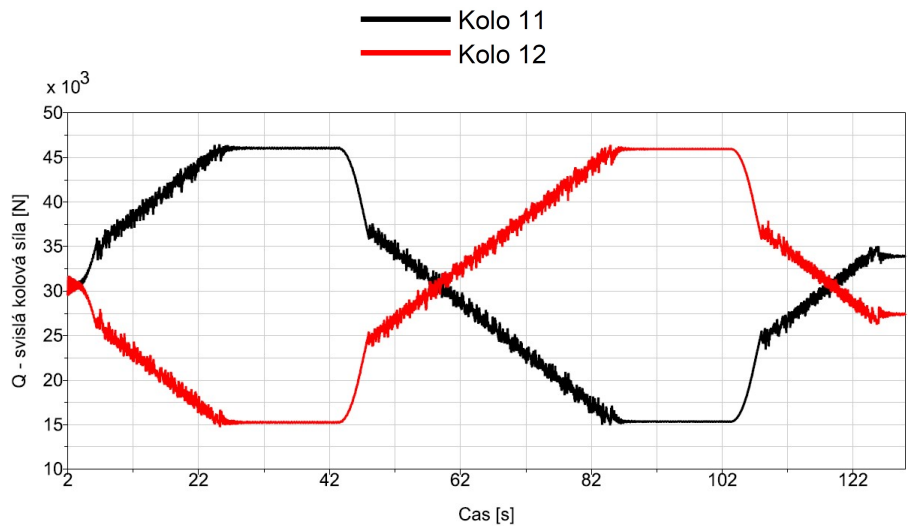


Průběh kolových sil na zadním dvojkolí

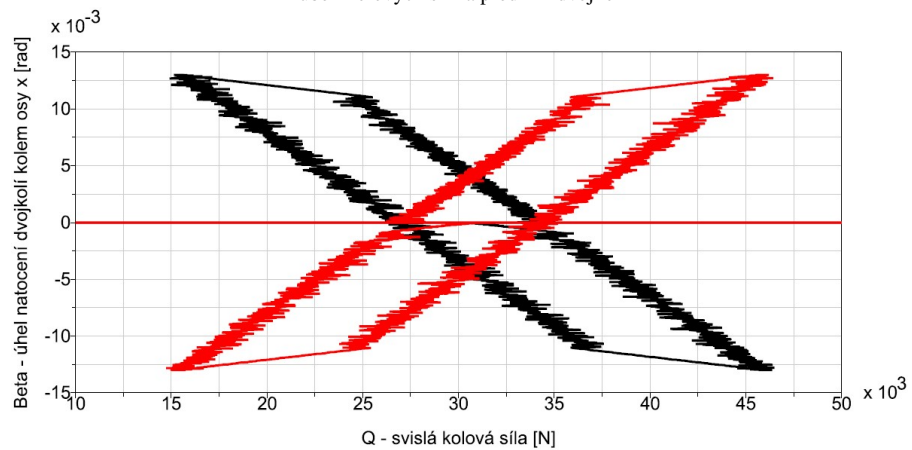


Průběh kolových sil zadního dvojkolí v závislosti na zkušebním zborcení

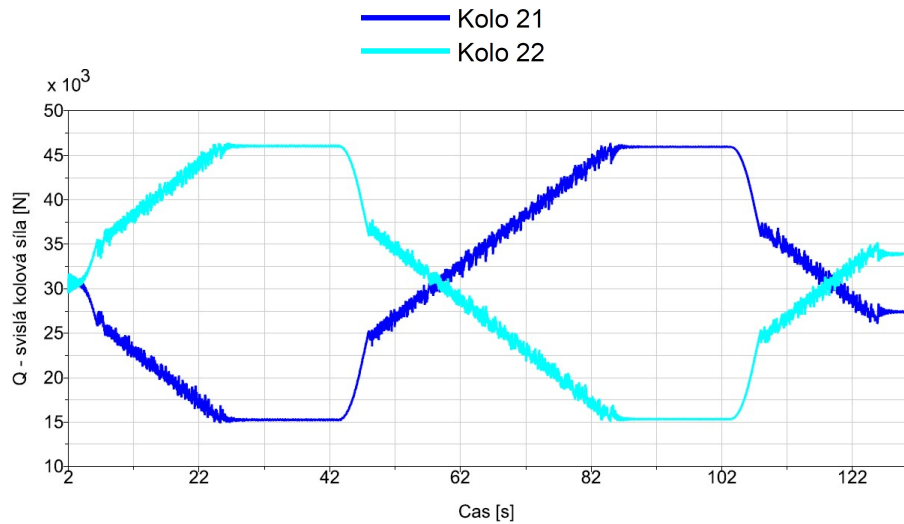
## 2.2 Model 1B



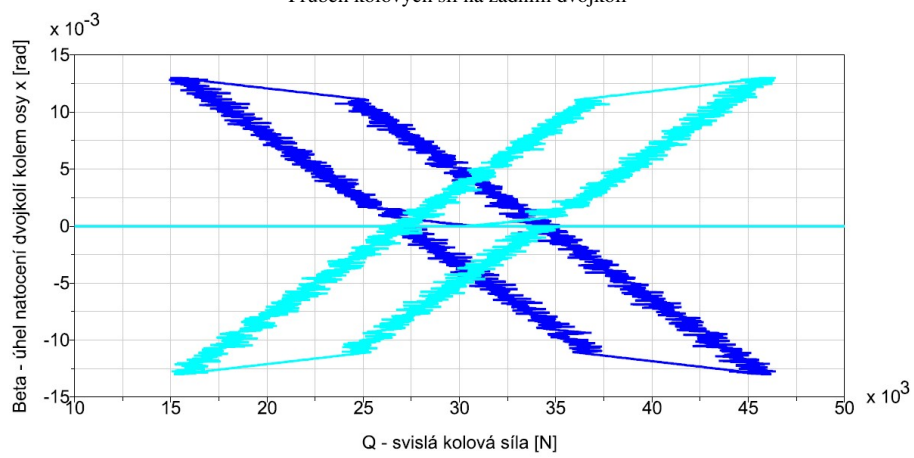
Průběh kolových sil na předním dvojkolí



Průběh kolových sil předního dvojkolí v závislosti na zkušebním zborcení

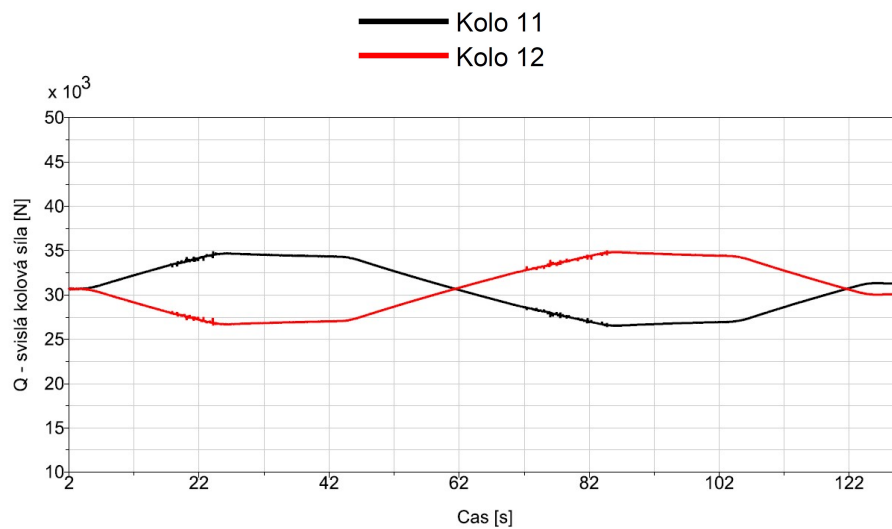


Průběh kolových sil na zadním dvojkolí

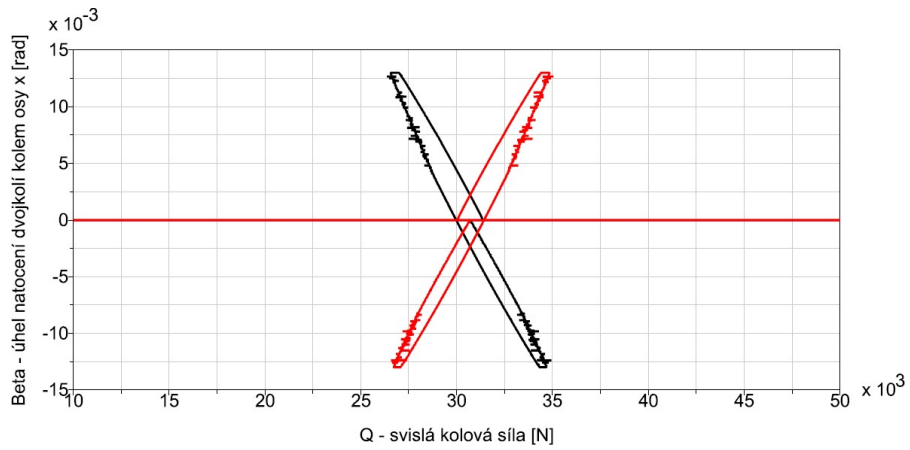


Průběh kolových sil zadního dvojkolí v závislosti na zkušebním zborcení

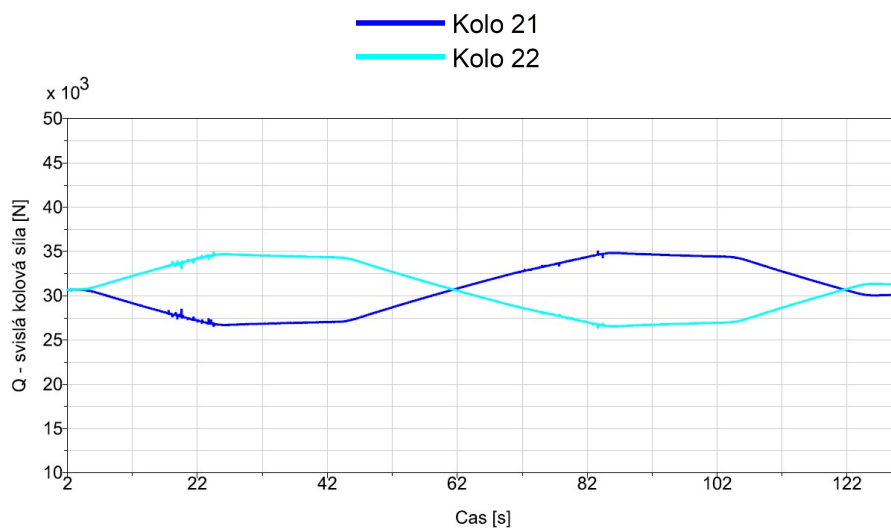
## 2.3 Model 2A



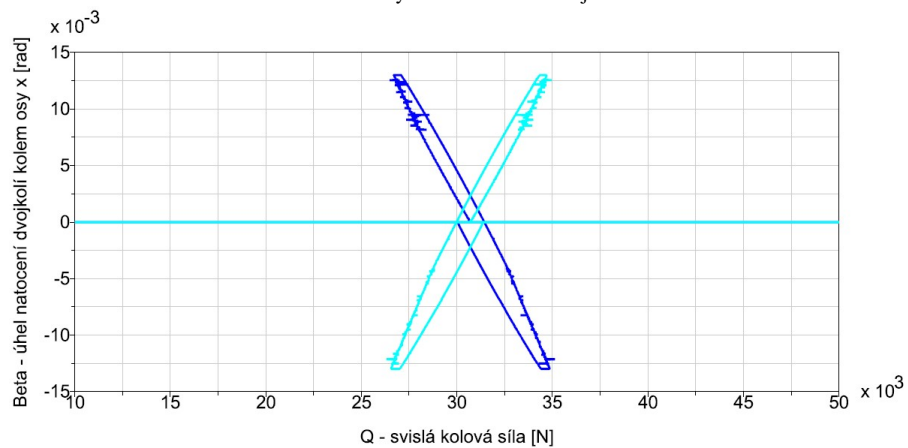
Průběh kolových sil na předním dvojkolí



Průběh kolových sil předního dvojkolí v závislosti na zkušebním zborcení

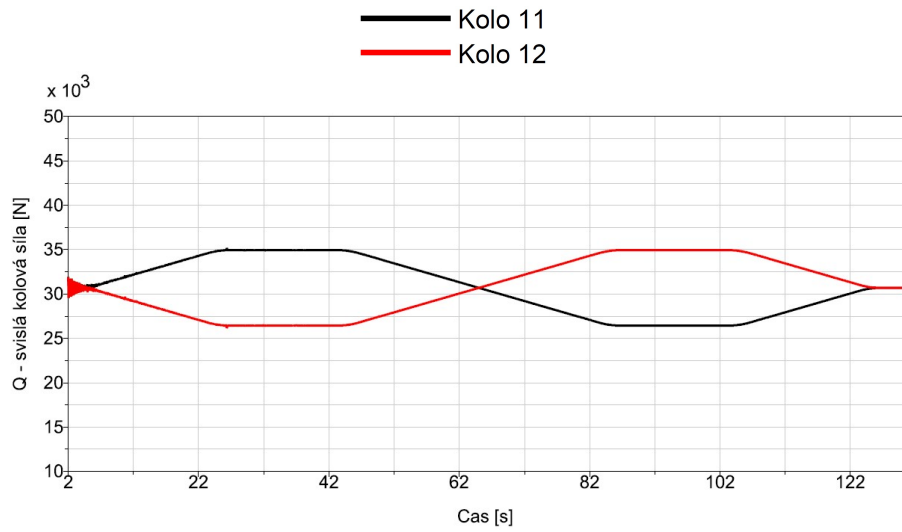


Průběh kolových sil na zadním dvojkolí

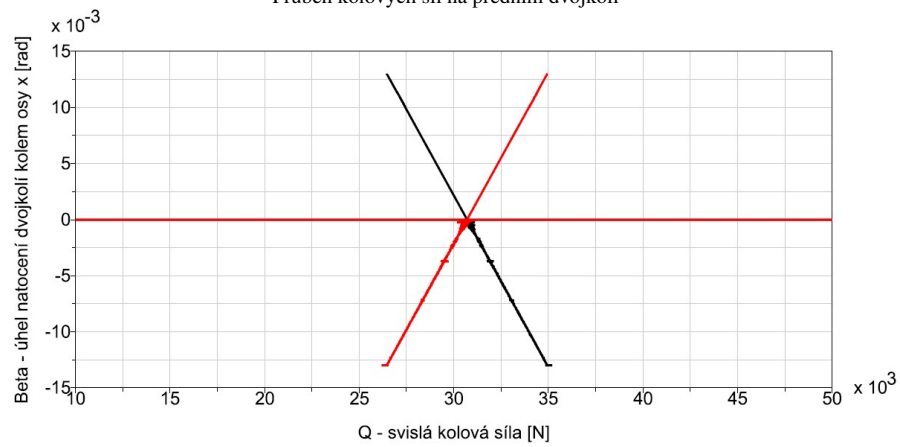


Průběh kolových sil zadního dvojkolí v závislosti na zkušebním zborcení

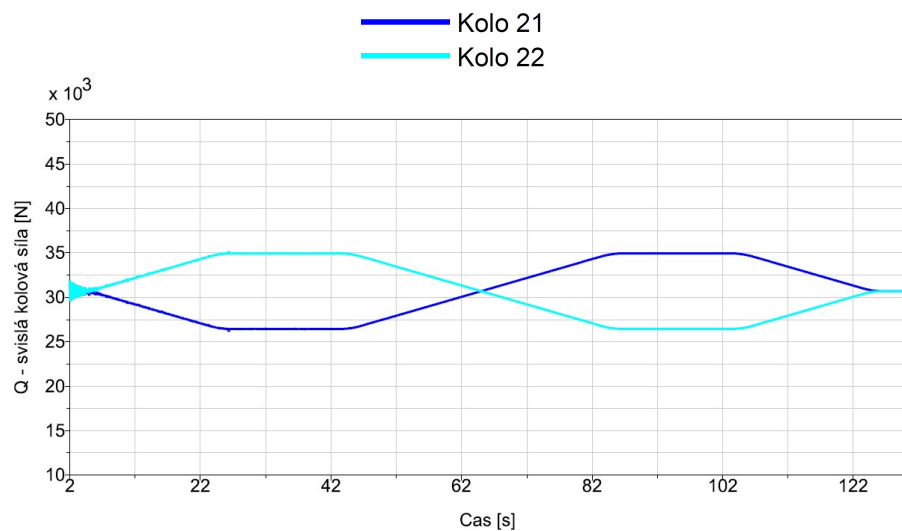
## 2.4 Model 2B



Průběh kolových sil na předním dvojkolí

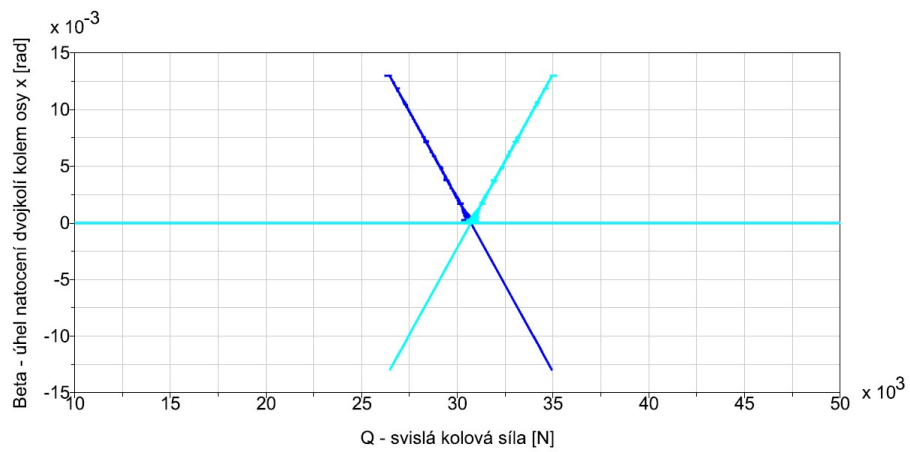


Průběh kolových sil předního dvojkolí v závislosti na zkušebním zborcení



Průběh kolových sil na zadním dvojkolí





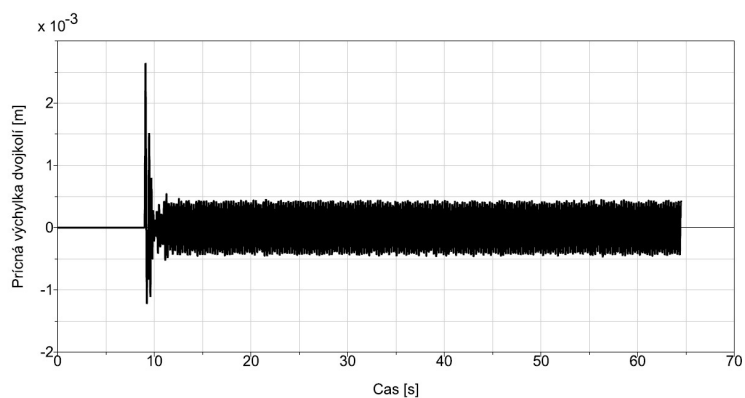
Průběh kolových sil zadního dvojkolí v závislosti na zkušebním zborcení

## Příloha č.3

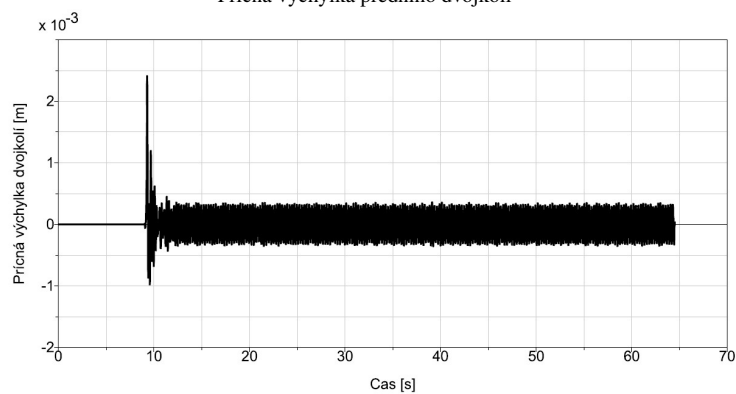
### **Stabilita jízdy v přímě koleji**

## 3 Stabilita jízdy v přímě koleji

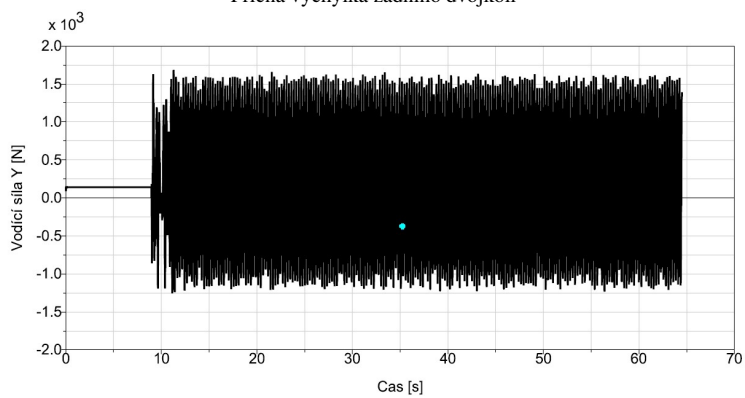
### 3.1 Model 1A



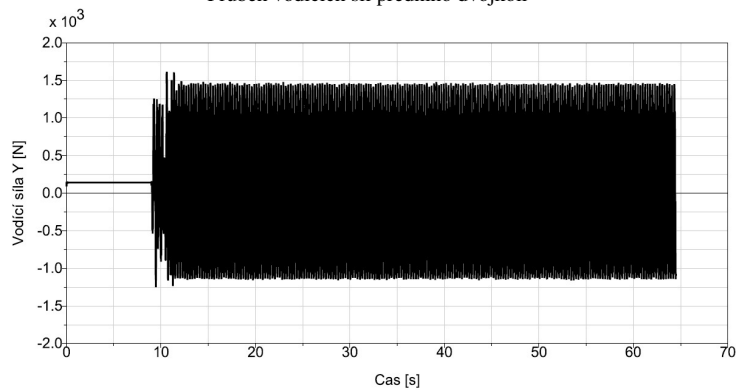
Příčná výchylka předního dvojkolí



Příčná výchylka zadního dvojkolí

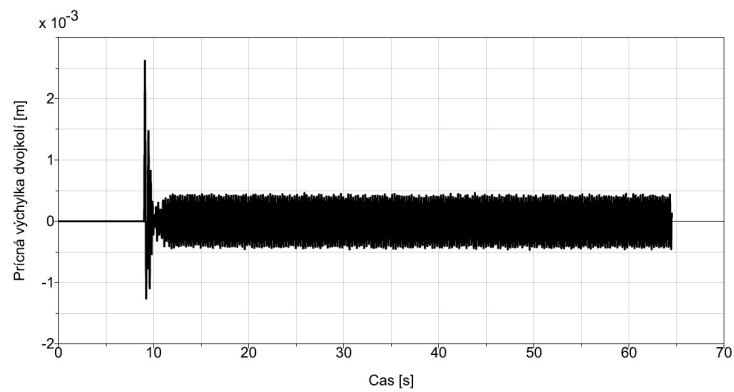


Průběh vodících sil předního dvojkolí

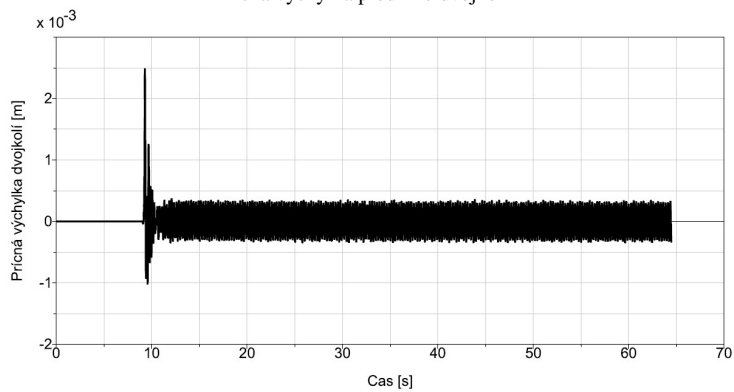


Průběh vodících sil zadního dvojkolí

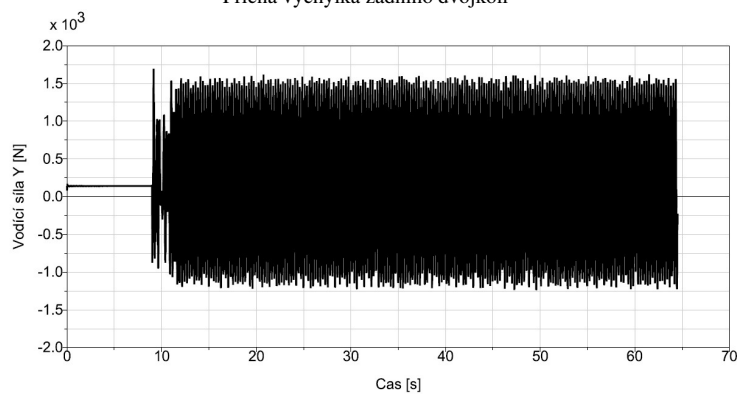
## 3.2 Model 1B



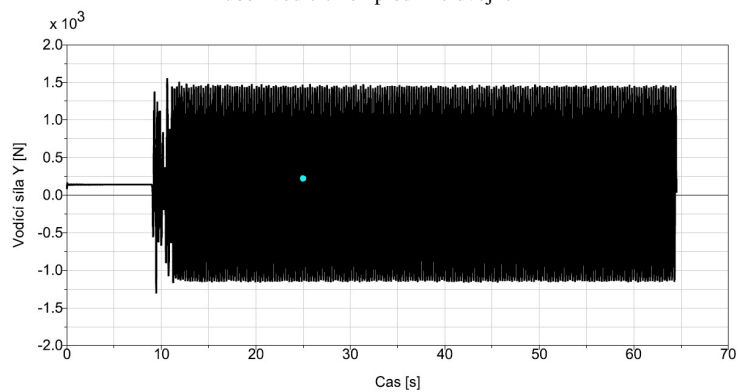
Příčná výchylka předního dvojkolí



Příčná výchylka zadního dvojkolí

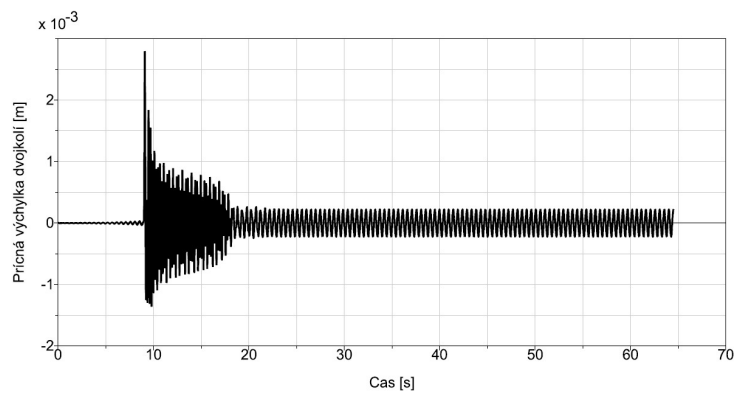


Průběh vodících sil předního dvojkolí

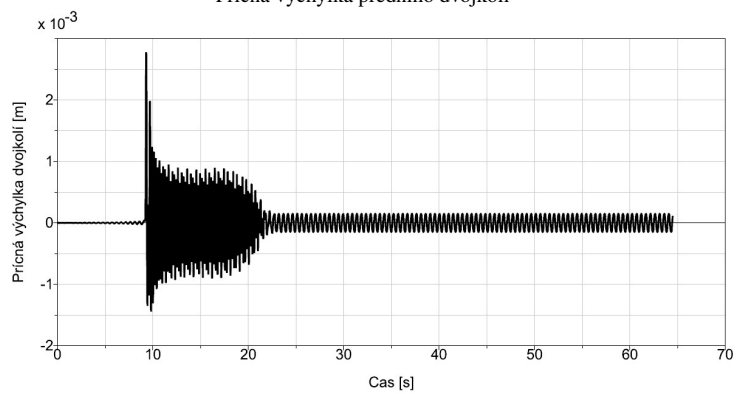


Průběh vodících sil zadního dvojkolí

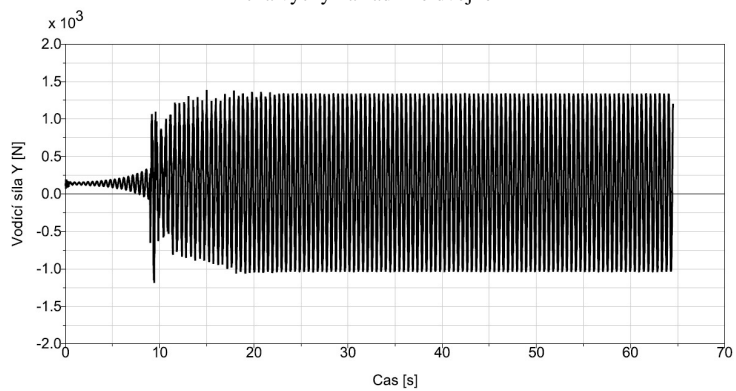
### 3.3 Model 2A



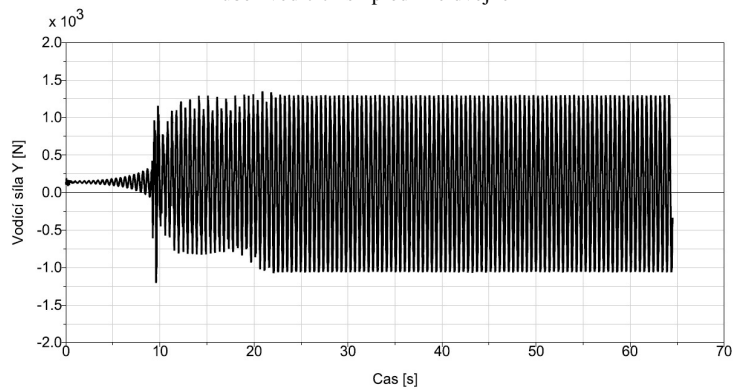
Příčná výchylka předního dvojkolí



Příčná výchylka zadního dvojkolí

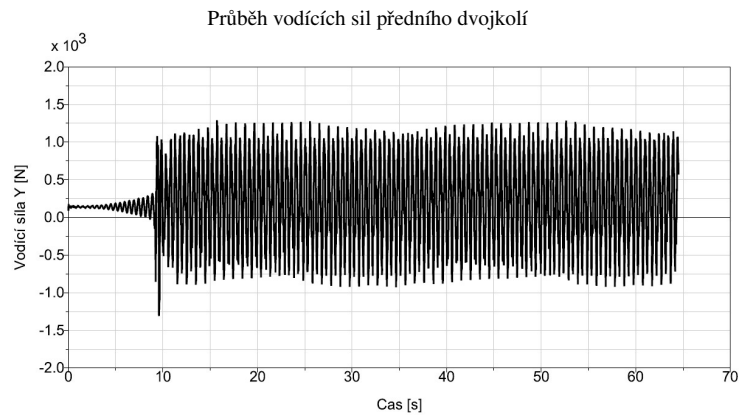
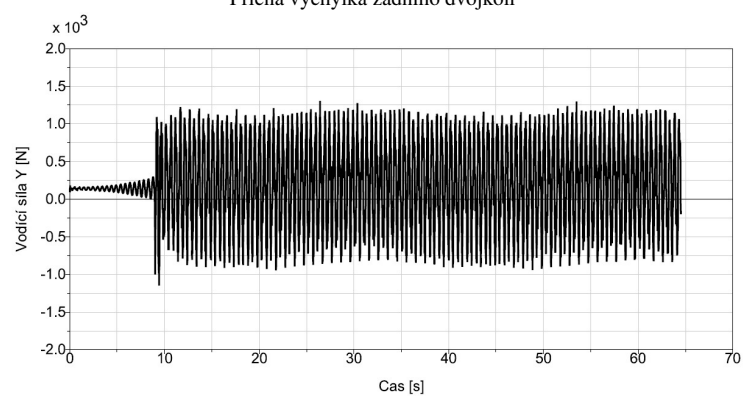
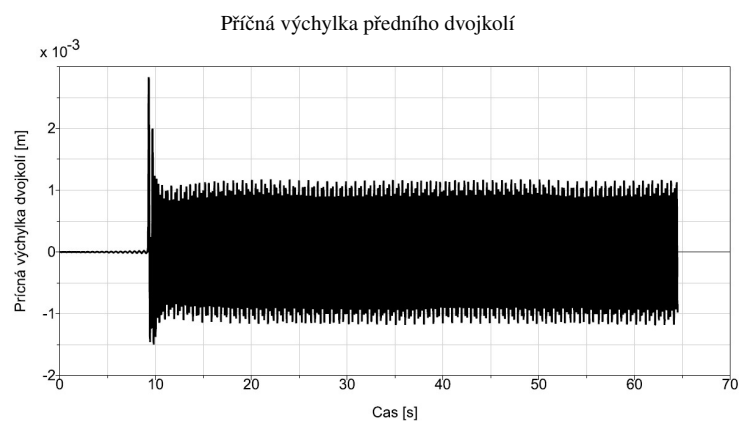
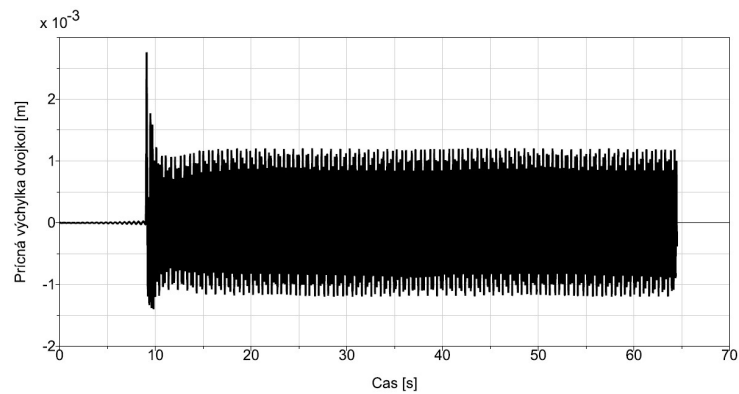


Průběh vodících sil předního dvojkolí



Průběh vodících sil zadního dvojkolí

### 3.4 Model 2B



## Příloha č.4

### **Výpočet úhlu natočení závěsek**

## 4 Výpočet úhlu natočení závěsek

```
clc
clear all

%% vstupy
5 Ls = 600;           %mm      - polovina roztece ok v nezatizenem stavu
  e = 19.25;         %mm      - polomer oka v pruznici
  p = 87.769;       %mm      - hodnota p v nezatizenem stavu
  l = 289;          %mm      - delka zavesek
  L0 = 1500/2;      %mm      - delka uchyceni zavesu
10

%% vypocet delky oblouku
  r = (Ls^2-e^2+p^2)/(2*p-2*e);
  fi = asin(Ls/(r-e));
  L = r*fi;
15 px = p-e*cos(fi);

%%vypocet vzdalenosti ok a uhlu zavesu
  a=px;
  P = a+e*cos(2*a/L);
20 Ls = L^2*sin(2*a/L)/(2*a)-e*sin(2*a/L);
  LS=[Ls];
  Alfa = [asin((L0-Ls)/l)];           %uhel natoceni v radianech
  alfas = Alfa*180/pi;               %uhel natoceni ve stupnich

25 %% vypocetni iterace pro konvexni pruznici
  for px=a:-1:-19.25
    P = [P,px+e*cos(2*px/L)];
    Ls = L^2*sin(2*px/L)/(2*px)-e*sin(2*px/L);
    LS = [LS,Ls];
30    Alfa =[Alfa,asin((L0-Ls)/l)];
  end

%% KONKAVNI PRUZNICE

35 Ls = LS(end);
  LSS = [Ls];
  Alfaa = [Alfa(end)];
  p = P(end);
  r = (Ls^2-e^2+p^2)/(2*p+2*e);
40 PP=P(end);
```



```
fi = asin(Ls/(r+e));  
L = r*fi;px = p+e*cos(fi);  
  
%% vypočetni iterace pro konkavni pruznici  
45 for px=px:1:77  
    PP = [PP,px-e*cos(2*px/L)];  
    Ls = L^2*sin(2*px/L)/(2*px)+e*sin(2*px/L);  
    LSS = [LSS,Ls];  
    Alfaa =[Alfaa,asin((L0-Ls)/l)];  
50 end
```

## Příloha č.5

### **Výpočet parametrů podélného vypružení**

## 5 Výpočet parametrů podélného vypružení

```
clc
clear

%% VSTUP
5  m_pv=9980; % kg
   n=4; %POCET PRUZNIC
   g=9.81; %GRAVITACNI ZRYCHLENI
   Mg=m_pv*g/n; % N %SVISLE ZATIZENI PRUZNICE
   a1=29.50137*pi/180; % rad
10  b=607.662e-3;
   h=0.336; % m
   L=0.289; % m
   R=0.0275; % m
   r=0.027; % m
15  f=0.3; % -
   %% VYPOCET
   be1=0; % rad
   be2=0; % rad
   be3=0; % rad
20  be4=0; % rad
   Be1=[be1]; % rad
   Be2=[be2]; % rad
   Be3=[be3]; % rad
   Be4=[be4]; % rad
25  Ga1=[0]; % rad
   Ga2=[0]; % rad
   PL=[0]; % N
   X=[0]; % m
   f1=0; % - pomocna promena
30  f2=0; % - pomocna promena
   f3=0; % - pomocna promena
   f4=0; % - pomocna promena
   pl=0;

35  for fi1=0:0.00001:0.0615
   fi2=fi1+2*sin(a1)*(cos(fi1)-1)/cos(a1-fi1);
   te=L*(cos(a1-fi1)-cos(a1+fi1))/(2*b);
   x=L*(sin(a1+fi1)-sin(a1))+h*te;
   X=[X;x];
40  ga1=atan((L*sin(a1+fi1)+R*sin(a1+be1)+R*sin(a1+be2))/(L*cos(a1+fi1))
```

```
+R*cos (al+be1))+R*cos (al+be2));
ga2=atan ( (L*sin (al-fi2)+R*sin (al-be3)+R*sin (al-be4)) / (L*cos (al-fi2)
+R*cos (al-be3))+R*cos (al-be4));
45 Ga1=[Ga1;ga1];
Ga2=[Ga2;ga2];
dga1=Ga1 (end)-Ga1 (end-1);
dga2=Ga2 (end)-Ga2 (end-1);


%podminka odvalovani na cepu 1


50 if (tan (be1+al-ga1)<f) && (f1==0)
be1=r*fi1/ (R-r);
F3=pl;
X3=x;
else
55 be1=be1+dga1;
f1=tan (be1+al-ga1);
end

%podminka odvalovani na cepu 2


60 if (tan (be2+al-ga1)<f) && (f2==0)
be2=r* (fi1+te) / (R-r);
F1=pl;
X1=x;
else
be2=be2+dga1;
65 f2=tan (be2+al-ga1);
end

%podminka odvalovani na cepu 3


70 if (tan (be3-al+ga2)<f) && (f3==0)
be3=r*fi2/ (R-r);
F2=pl;
X2=x;
else
be3=be3+dga2;
75 f3=tan (be3-al+ga2);
end

%podminka odvalovani na cepu 4


80 if (tan (be4-al+ga2)<f) && (f4==0)
be4=r* (fi2-te) / (R-r);
F4=pl;
X4=x;
else
```

```
be4=be4+dga2;
f4=tan (be4-a1+ga2); end
Be1=[Be1;be1];
85 Be2=[Be2;be2];
Be3=[Be3;be3];
Be4=[Be4;be4];
b1=b*cos (te)-r*sin (a1+be2);
b2=b*cos (te)-r*sin (a1-be4);
90 h1=b*sin (te)-r*cos (a1+be2);
h2=b*sin (te)+r*cos (a1-be4);
D=(b1+b2)*cos (ga1)*cos (ga2)+h2*cos (ga1)*sin (ga2)-h1*sin (ga1)
*cos (ga2)+h*sin (ga1+ga2);
p1=Mg*(h*sin (ga2)+b2*cos (ga2)+h2*sin (ga2)-h*te*cos (ga2))/D;
95 p2=Mg*(h*sin (ga1)+b1*cos (ga1)-h1*sin (ga1)-h*te*cos (ga1))/D;
p1=Mg*(b2*sin (ga1)*cos (ga2)-b1*sin (ga2)*cos (ga1)+(h1+h2)*sin (ga1)
*sin (ga2)-h*te*sin (ga1+ga2))/D;
PL=[PL;p1];
F5=p1;
100 X5=x;
end
S5=(F5-F4)/(X5-X4);
S4=(F4-F3)/(X4-X3);
S3=(F3-F2)/(X3-X2);
105 S2=(F2-F1)/(X2-X1);
S1=F1/X1;
kx=S5
kx4=S4-S5
kx3=S3-S4
110 kx2=S2-S3
kx1=S1-S2
Tx1=kx1*X1
Tx2=kx2*X2
Tx3=kx3*X3
115 Tx4=kx4*X4

plot (X,PL)
```