

## **THE COMPUTER SIMULATION OF RUNNING OF RAILWAY VEHICLE WITH TILTING BODY CASE TYPE 680 AT MODERNIZED LINES**

**J. Zelenka\***

**Summary:** *This article describes the method of modelling the operation of a unit of the 680 series on a concrete section of the corridor of the Czech Railways and the height and direction divergences of the railway tracks. It presents the results of computer simulations, focusing on the interactions between the car and the rail at different speeds leading to the values of insufficient super-elevation within the range 195÷330 mm. It alternates the driving contours of the wheels and the parameters of the coupling of the wheel set in the undercarriage frame.*

### **1. Úvod**

Hlavním cílem použití moderních železničních vozidel je optimalizace osobní dopravy z hlediska zkrácení jízdních dob, zlepšení komfortu jízdy se zřetelem na bezpečnost jízdy vozidel a stabilitu koleje. Pro zvýšení traťové rychlosti v oblouku koleje se proto v posledních několika desetiletí začaly u některých železničních zpráv v Evropě používat jednotky s naklápěcími skříněmi, které jsou schopny projíždět oblouky kolejí významně zvýšenými rychlostmi. Naklápěcí vozidla musí splňovat různé základní požadavky, jako jsou bezpečnost jízdy, bezpečnost proti vykolejení, síly působící na příčný posun koleje, maximální namáhání koleje od příčných a svislých sil, stabilitu jízdy vozidla, chodové vlastnosti a komfort jízdy vozidla, omezení opotřebení jízdního obrysu kola a profilu hlavy kolejnice a všechna provozní pravidla.

Již v roce 1995 se České dráhy rozhodly, že budou investovat do zlepšení vlastností 1. koridoru a do nákupu skupiny naklápěcích vlaků, které by byly schopny ztraktivnit pro cestující železniční dopravu mezi Berlínem, Prahou a Vídní. Cílem bylo hlavně zkrátit dobu nutnou pro cestu a zlepšit komfort cestování. Tím také vyvstala i otázka, zda bude možné tyto vlaky dlouhodobě provozovat v podmínkách provozem postupného zhoršování parametrů geometrické polohy koleje. Zahraniční zkušenosti totiž ukazují, že je nutné věnovat velkou pozornost vzájemnému působení těchto vozidel a koleje. K tomuto účelu je na vozidlech této

---

\* Doc. Ing. Jaromír Zelenka, CSc.: Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera, Dislokované pracoviště DFJP Česká Třebová; Slovanská 452; 560 02 Česká Třebová; tel. fax: +420.465 533 006; e-mail: [jaromir.zelenka@upce.cz](mailto:jaromir.zelenka@upce.cz)

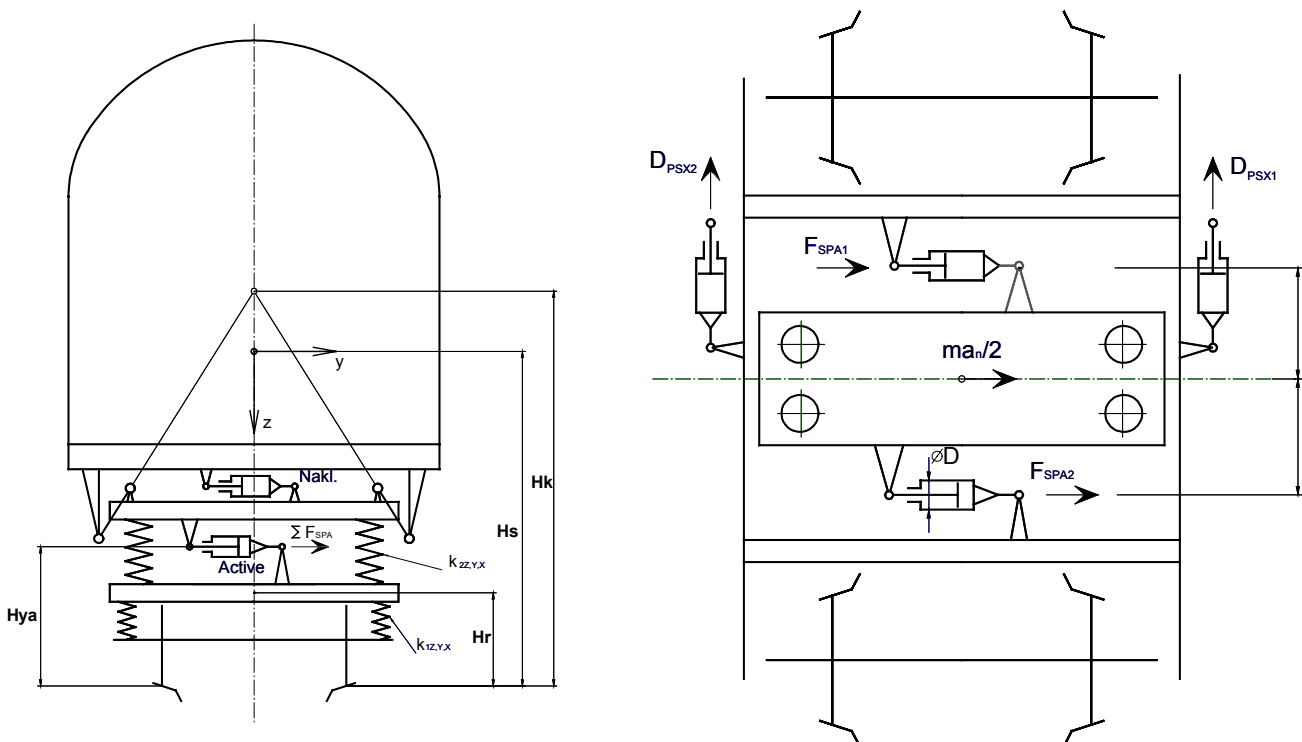
kategorie v současné době provozovaných vybavenost diagnostickými prvky, které umožňují tyto účinky v provozu monitorovat a včas upozornit na dosažení mezních přípustných hodnot.

Velikost těchto účinků souvisí mimo jiné i s hodnotou nedostatku převýšení, které vzniká při zvýšené rychlosti jízdy v oblouku koleje. V podmínkách ČD se počítá s využitím nedostatku převýšení jen do hodnoty 270 mm i když např. u DB AG je to hodnota 300 mm.

Současná vybavenost Českých drah velmi moderním měřicím vozem pro železniční svršek umožňuje v pravidelných intervalech diagnostikovat parametry koleje a jejich vývoj v čase. Ve snaze zajistit určitou připravenost zodpovědných pracovníků na provoz těchto vozidel na tratích ČD, bylo rozhodnuto v předstihu, tedy ještě před fyzickou existencí objednaných vlaků u ČD, provést modelování jízdy jednotky ř. 680 na konkrétních traťových úsecích 1. koridoru pomocí simulačních výpočtů na počítači. Předpokladem tohoto kroku však bylo získat co nejpodrobnější soubor technických parametrů projektované jednotky od výrobce, kterým je ALSTHOM Ferroviaria.

## 2. Modelování jízdy vozidla s naklápěcí skříní

Základem této činnosti je vytvoření dynamického a matematického modelu vozidla s naklápěcí skříní dle *obr. 1*, dále vytvoření modelů geometrické a adhezní vazby v kontaktu dvojkolí a koleje, vytvoření modelů koleje, jejichž zjednodušení je pro tento účel vyhovující a při obdobných studiích se osvědčilo a v neposlední řadě vytvoření modelu regulace a řízení procesu naklápění skříně vozidla s cílem co nejvíce se přiblížit systému použitému na budoucím vozidle.



*Obr. 1 Zjednodušený dynamický model jednotky řady 680*

Všechny tyto komponenty celého dynamického systému vozidla a koleje bylo nutné co nejpodrobněji v duchu reality popsat v následujících parametrech:

- Hmotnostní parametry vozidla, jako jsou hmotnosti, momenty setrvačnosti ke všem souřadným osám, hlavních komponentů tj. skříně, rámu podvozku a dvojkolí.
- Umístění a charakteristiky pružných vazeb mezi uvedenými částmi, kde významnou roli hrají především pružné vazby dvojkolí k rámu podvozku a charakteristika aktivního vypružení tvořeného na každém podvozku dvěma dvojjádrovými pneumatickými válci. Jejich úlohou je eliminovat kvazistatické deformace příčného vypružení skříně vyvolané účinkem vysoké hodnoty nevyrovnané odstředivé síly, která působí na skříň při jízdě obloukem koleje. Rovněž významnou roli hrají podélné tlumiče vlnivého pohybu podvozku, jejichž charakteristiky byly spolu s ostatními uvedenými parametry poskytnuty dodavatelem vozidel.
- Všechny důležité rozměrové parametry vozidla.
- Geometrická vazba dvojkolí ke koleji. Ta je určena tvarem jízdních obrysů dvojkolí, které se budou v provozu postupným opotřebením tvarově měnit a tak významně ovlivňovat chodové a vodící vlastnosti vozidla, a dále tvary příčných profilů hlav kolejnic. V kontaktních rovinách kol s kolejnicemi působí skluzové síly včetně spinových účinků (vrtného tření), jejichž velikosti jsou určeny ze skluzových charakteristik odpovídajících zkušenostem v zahraničí na bázi poznatků Kalkerových. Tyto síly jsou tak v každém časovém okamžiku řešení matematického modelu jízdy počítány na základě výpočtem zjištěných kontaktních poměrů, hodnot kolových sil, relativních skluzů v kontaktních rovinách a zvolené meze adheze.
- Modelování koleje spočívá ve vytvoření datových souborů z přehledu směrových poměrů ve vytypovaných obloukovitých traťových úsecích, které do počítačového programu přináší informace o přesné kilometrické poloze, délce a tvaru vzestupnic, jmenovitém převýšení, poloměru, orientaci a délce oblouků i přímých úseků. K takto vytvořenému modelu koleje je potřeba přiřadit kilometrickou polohu datových souborů svislých a směrových odchylek jednotlivých kolejnicových pásů od jmenovité polohy, které tvoří kinematické buzení celé dynamické soustavy. Tyto hodnoty jsou získány z diskrétních údajů traťového měřicího vozu v délkových intervalech 0.5 m a následně jsou zpracovány do spojitých spline funkcí, aby bylo možné v každém časovém intervalu řešení dynamiky systému vozidla a koleje přiřadit konkrétní hodnotu polohy kolejnicových pásů.
- Modelování řízení a regulace procesu naklápění skříně vozidla zahrnuje (příklad průběhů níže jmenovaných veličin je na *obr. 2* jako součást výsledků modelování):
  - Při simulované jízdě modelu vozidla je sledován úhel naklonění rámu předního podvozku  $\xi_g$  vůči svislici, jako součet úhlu teoretického naklonění roviny koleje uprostřed podvozku a úhlu naklonění rámu podvozku vůči kolmici k této rovině koleje, čímž se modeluje údaj o převýšení získávaný z gyroskopu umístěného na skutečném vozidle. Tento údaj, při dosažení - v přepočtu na převýšení koleje - hodnoty 13 mm, dává pokyn k začátku naklápění vozidlové skříně. Skutečný začátek naklápění se oproti uvedenému okamžiku dosažené hodnoty 13 mm převýšení záměrně zpožďuje o další 0.2 s, což odpovídá podle doporučení dodavatele technickým možnostem naklápěcího mechanismu.  
Vozidlová skříň se začne naklánět kolem určeného bodu na ose symetrie zvolenou rychlostí 5° za sekundu vůči rámu podvozku o úhel  $\xi_{NT}$  a přitom se sleduje, aby hodnota

dosaženého naklonění skříně vůči normále ke koleji v místě předního podvozku nepřesáhla 80% hodnoty naklonění odpovídajícího nedostatku převýšení koleje na této úrovni. Důvodem k tomuto omezování procesu naklání je potřeba nespíchat s nakláním skříně, pokud je dostatečná délka vzestupnice k tomu, aby nebylo dosaženo plného naklonění vozidlové skříně příliš brzy. Velikost úhlu naklonění v mechanismu je přitom omezena hodnotou  $\xi_{NT} = 8^\circ$ . Tím se v procesu pomalejšího naklání skříně vytváří určitý nárůst pociťovaného nedostatku naklání a tudíž nevyrovnaného zrychlení rovnoběžného s podlahou vozidla  $a_{ps}$ . Po dokončení příliš rychlé funkce naklápěcího mechanismu spojeného s plnou kompenzací nevyrovnaného zrychlení by totiž následoval mnohem rychlejší nárůst tohoto nevyrovnaného zrychlení až na hodnotu předpokládanou v plném oblouku o hodnotě  $a_{ps} = 0.65 \text{ ms}^{-2}$  působícího na cestující.

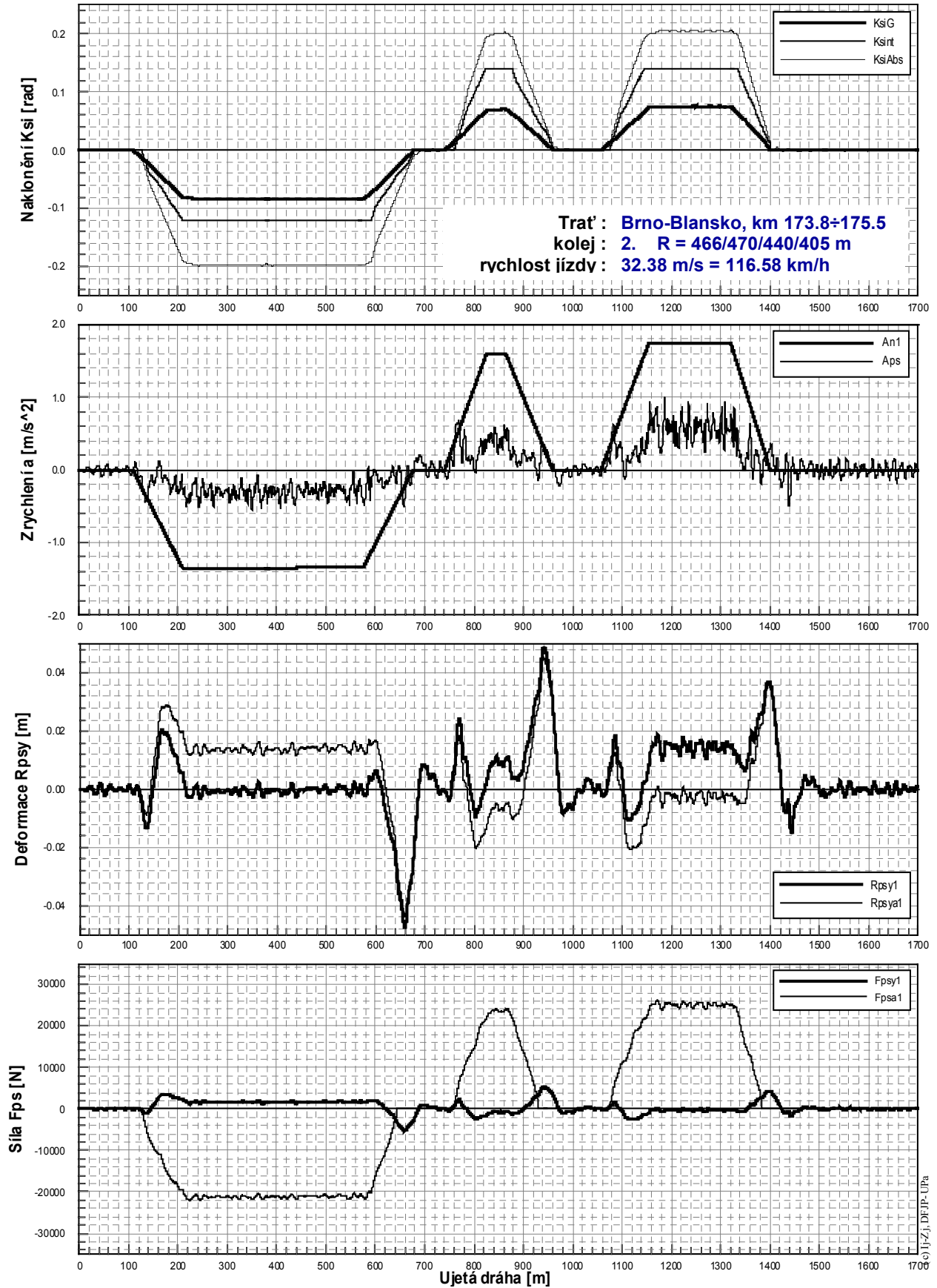
Vytvářené naklonění skříně úhlem  $\xi_{NT}$  se ukončí přechodem do plného oblouku i v případě, kdy ještě tento úhel nedosáhl hodnoty  $8^\circ$ . Jeho hodnota je však přiměřená již dosažené hodnotě nedostatku převýšení, který již v plném úseku zůstává na dosažené úrovni.

Na ukázce z prováděných simulačních výpočtů *obr. 2* jsou znázorněny při rychlosti 116.8 km/h v níže sledovaném úseku Brno-Blansko průběhy následujících veličin podél ujeté dráhy (kladnou orientaci jednotlivých veličin ukazuje souřadný systém v *obr. 1*):

- úhel naklonění rámu 1. podvozku  $KsiG$  vůči svislici,*
- úhel naklonění naklápěcího mechanismu  $KsiNT$ ,*
- úhel naklonění skříně vůči svislici  $KsiAbs$ ,*
- nevyrovnané zrychlení nad první nápravou  $An1$ ,*
- příčné zrychlení na podlaze skříně nad zadním podvozkem  $Aps$ ,*
- relativní výchylka v příčném vypružení prvního podvozku vůči skříně  $Rpsy1$ ,*
- relativní výchylka v místě aktivního vypružení prvního podvozku  $Rpsyal$ ,*
- síla v příčném vypružení působící z podvozku na skříně  $Fpsy1$ ,*
- síla v aktivním vypružení  $Fpsyal$ .*

V případě veličin souvisejících s funkcí aktivního příčného vypružení jsou patrné významné přechodové jevy při vjezdu a výjezdu z jednotlivých oblouků spojené až s maximálními pohyby v příčném vypružení při nárazu na omezující nárážky.

- Současně s procesem naklání je řízeno plnění vzduchových válců aktivního příčného vypružení tlakovým vzduchem tak, aby bylo na těchto válcích dosaženo výsledné síly  $Fpsa$ , která se rovná nevyrovnané odstředivé síle působící na polovinu vozidlové skříně při maximálně stanovené hodnotě nedostatku převýšení. Tyto pneumatikové válce přitom znamenají přiřazení přidavného příčného pneumatikového vypružení, jehož tuhost vyplývá z objemu vzduchu přivedeného z řídicího ventilu pod píst válce, který se vysune o hodnotu  $Rpsyal$ . Tato hodnota má při jízdě na reálné koleji svou kvazistatickou složku a samozřejmě i významnou složku dynamickou zejména v přechodových situacích vozidla.
- Podobně se při výjezdu z oblouku v závislosti na zjištěném poklesu úhlu nevyrovnaného zrychlení o  $0.1 \text{ ms}^{-2}$  odpovídajícím hodnotě snížení převýšení o více než 13 mm začne proces snižování naklonění vozidlové skříně a vypouštění vzduchu z aktivního vypružení. Oboje opět s technickým zpožděním 0.2 s.



Obr. 2 Parametry naklápění – výsledky simulačního výpočtu

### 3. Výsledky simulačních výpočtů

V rámci řešení úkolu technického rozvoje ČD byly simulační výpočty prováděny na dvou traťových úsecích, na nichž mají být prováděny i první zkoušky prototypu jednotky. Jednalo se o úseky:

- **Blansko - Brno** s čtenými oblouky o menších poloměrech. Z tohoto úseku byla vybrána část v km 173.8 až 175.5 (2.TK) pro první testovací simulační výpočty. K tomuto úseku byly získány již dvoje po sobě následující měření geometrické polohy koleje.
- **Lovosice - Ústí n./Labem** o celkové délce 19.2 km (obě traťové koleje) s různými poloměry oblouků a velmi rozdílnými hodnotami nedostatku převýšení při rychlostech jízdy stanovených pro vozidla s naklápěcími skříněmi.

Pro oba úseky byly simulační jízdy prováděny s různými jízdními obrysy kol (UIC-ORE, ZI-3), které představují různé provozní podmínky.

#### 3.1 Úsek Blansko - Brno

Ve zmíněném relativně krátkém traťovém úseku jsou čtyři za sebou následující oblouky pojížděné konstantní rychlostí. První z oblouků je složený ze dvou poloměrů a je levostranný. Zbývající dva oblouky jsou pravostranné s patřičnou mezipřímou. V posledním z těchto oblouků je s ohledem na jeho poloměr ( $R = 405$  m) a převýšení ( $p = 126$  mm) dosahováno největší hodnoty nedostatku převýšení. Při těchto simulačních jízdách byl testován vliv rozdílných hodnot nedostatku převýšení, takže výpočty byly opakovány pro různé rychlosti jimž v posledním z uvedených oblouků odpovídaly různé hodnoty **I**. Rychlosti jízdy byly pak následující:

- 105 km/h je stanovená rychlost v tomto úseku pro vlaky s naklápěcími skříněmi. Této rychlosti odpovídá nedostatek převýšení  $I = 195$  mm.
- 115 km/h je to ve stupnici používaných rychlostí nejvyšší možná rychlost, při které se nepřekračuje nedostatek převýšení 270 mm. Ve zmíněném oblouku se tak dosahuje  $I = 260$  mm.
- 116.8 km/h je rychlost, při níž by se dosáhlo  $I = 270$  mm.
- 120.9 km/h je rychlost, kterou by se jezdilo u DB AG při uplatnění tam přípouštěné hodnoty  $I = 300$  mm.
- 125.1 km/h je rychlost zkušební při nedostatku převýšení  $I = 330$  mm.

#### 3.2 Hodnocení výsledků simulačních výpočtů v úseku Blansko - Brno

Výsledky simulačních výpočtů na tomto úseku jsou vyhodnocovány znázorněním průběhů vypočtených veličin podél ujeté dráhy pro všechny uvedené rychlosti jízdy, a to odděleně pro jízdní obrysy UIC-ORE a ZI-3. Jedná se o veličiny:

- Součet vodicích sil  $\Sigma Y_i$ , samotných vodicích sil  $Y_i$  a kolových sil  $Q_i$  na jednotlivých nápravách.
- Bezpečnost proti vykolejení daná poměrem sil  $Y/Q$  na všech kolech.
- Příčný pohyb středů jednotlivých dvojkolí vůči ideální ose koleje zahrnující i příčnou deformaci pružně uložené kolejnice.
- Úhly náběhu jednotlivých dvojkolí.

Všechny tyto a další veličiny, jako jsou příčná a svislá zrychlení na skříní vozidla nad oběma podvozky, příčná zrychlení rámu podvozků nad jednotlivými nápravami jsou pro oblouk o poloměru  $R = 405$  m následně statisticky vyhodnoceny.

Jako ukázka jsou na *obr. 3* v závislosti na hodnotě nedostatku převýšení uvedeny **hodnoty silových účinků jednotlivých náprav na kolej  $SY_{i(2m)}$**  v intervalu spolehlivosti 0.15÷99.85 % s vyznačením 50% tj. kvazistatických hodnot. V tomto obrázku jsou čárkovaně vyznačeny vypočtené hodnoty pro tuhost vedení dvojkolí v podélném a příčném směru, která byla alternována. Z těchto hodnot lze sledovat, že s rostoucí hodnotou nedostatku převýšení rostou i příčné účinky na trať. Kvazistatické hodnoty  $SY_i$  jsou největší u první a čtvrté nápravy, v podstatě vzájemně srovnatelné úrovně do  $I = 270$  mm. Pro vyšší hodnoty  $I$  (až 330 mm) se tyto účinky rychleji zvětšují na nápravě čtvrté, zejména pak maximální statisticky významné hodnoty. V případě definitivní verze tuhosti vazby vedení dvojkolí dosahují maximální hodnoty 92% hodnoty mezní, zatímco při  $I = 270$  mm jen 70% této mezní hodnoty. Největší dynamický rozkmit síly  $SY_i$  je zaznamenán u nápravy první. Je to pochopitelné, neboť tato náprava nabíhá na vnější kolejnicový pás, zatímco u čtvrté nápravy je hodnota síly  $SY_4$  součtem obou příčných skluzových sil kol dvojkolí, které se pohybuje blízko osy koleje.

### 3.3 Úsek Lovosice - Ústí nad Labem

V tomto 19.2 km dlouhém úseku bylo nutno provést jeho rozdělení na celkem 10 částí zejména s ohledem na velikost stanovené rychlosti, aby bylo možné při simulačním výpočtu udržovat konstantní rychlost. V tomto úseku se nacházejí oblouky s významněji rozdílnými poloměry. Vzhledem k větší rozmanitosti poloměrů oblouků bylo proto vyhodnocování silových účinků v intervalech spolehlivosti 0.15÷99.85% rozděleno do dvou skupin podle velikosti poloměrů, a to na: oblouky skupiny A s poloměry  $R < 500$  m a oblouky skupiny B s poloměry  $R = 500\div 800$  m.

V první skupině oblouků (celkem v počtu 7) se při stanovené rychlosti s ohledem na vozidla s naklápěcími skříněmi dosahuje nedostatků převýšení v rozmezí  $I = 213\div 254$  mm a v druhé skupině čítající 20 oblouků v rozmezí  $I = 134\div 254$  mm.

### 3.4 Hodnocení výsledků simulačních výpočtů v úseku Lovosice - Ústí nad Labem

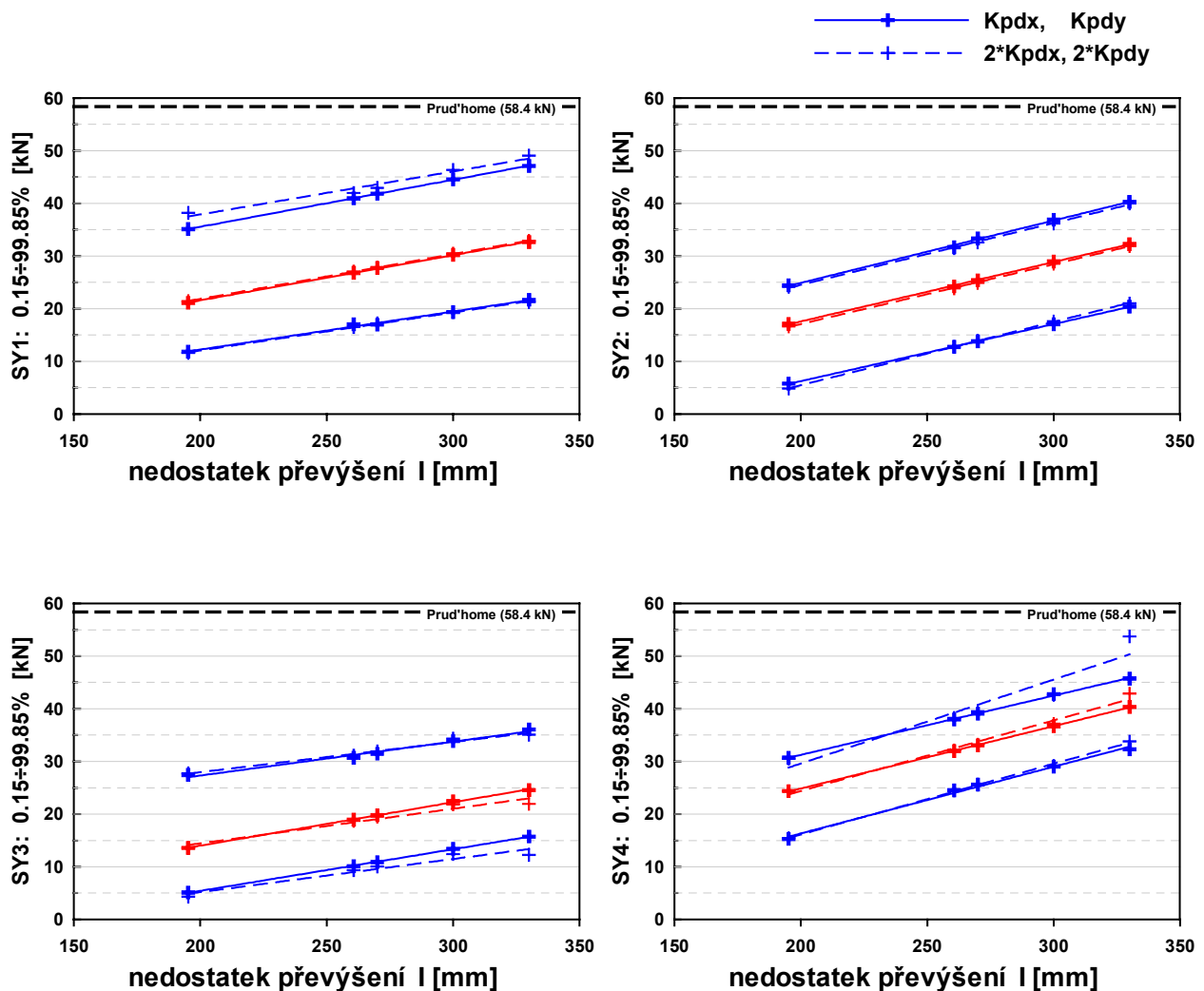
Výsledky simulačních výpočtů byly hodnoceny na jednotlivých úsecích znázorněním průběhů vypočtených veličin podél ujeté dráhy pro stanovené rychlosti jízdy, a to odděleně pro použitý jízdní obrys UIC-ORE, ZI-3 a jízdní obrys provozně opotřebený v kombinaci provozně opotřebenou kolejnicí, a to pro obě skupiny oblouků.

Pro **oblouky A** jsou pro jízdní obrys UIC-ORE na *obr. 4* v závislosti na hodnotě nedostatku převýšení uvedeny hodnoty silových účinků jednotlivých náprav na kolej  $SY_{i(2m)}$  v intervalu spolehlivosti 0.15÷99.85% s vyznačením 50%, tj. kvazistatických hodnot.

Z *obr. 4* lze sledovat, že s rostoucí hodnotou nedostatku převýšení rostou i příčné účinky na kolej. Kvazistatické hodnoty  $SY_i$  jsou největší u čtvrté nápravy, toto odlišení hodnot sil od hodnot u ostatních náprav je v celém spektru této skupiny oblouků a nedostatků převýšení. U první a druhé nápravy jsou tyto síly zcela srovnatelné. Pouze u jednoho z oblouků se jejich hodnoty výrazně odlišují od všeobecného trendu regresního vyrovnání. Při podrobném prozkoumání směrových odchylek úseku koleje, v němž k této nespojitosti došlo (*obr. 5*),

byla nalezena zjevná příčina v náhlém poklesu křivosti koleje zejména na vnějším pásu (odchylka  $H_{kyL}$ ) v úseku 284÷288 m pravotočivého oblouku o  $R = 345$  m směrovou odchylkou do středu oblouku A7 o 5 mm vzniklou na délce asi 3 m.

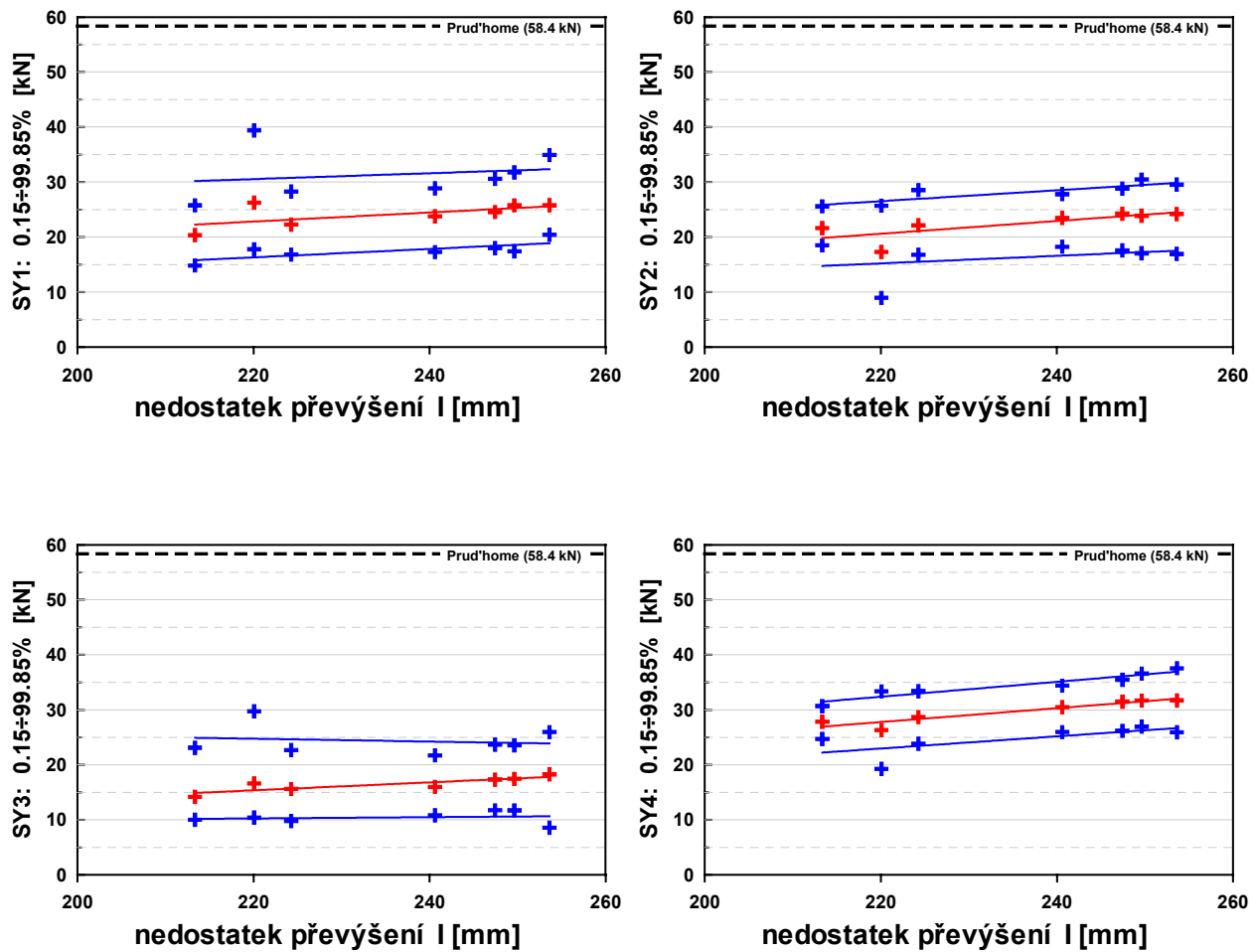
Dopravní fakulta JP Univerzita Pardubice DiP Česká Třebová	<b>NAKLÁPĚCÍ JEDNOTKA ŘADY 680</b> výsledky simulačních výpočtů	Příloha č. List č. Zpráva č.	Obr. 5 DP 02/01
<b>Suma vodicích sil na jednotlivých nápravách</b> jízdni obrys: <b>UIC-ORE</b> kolejnice: <b>UIC60 lots136</b>			
Trať: Brno-Blansko, km 174.976 ÷ 175.120 Kolej: 2. R = 405 m Rychlost jízdy: 105 ÷ 125 km/h Kontaktní soubor: UIC-U136 (Le=0.127)		Převýšení: Rozchod:	126 mm 1435 mm



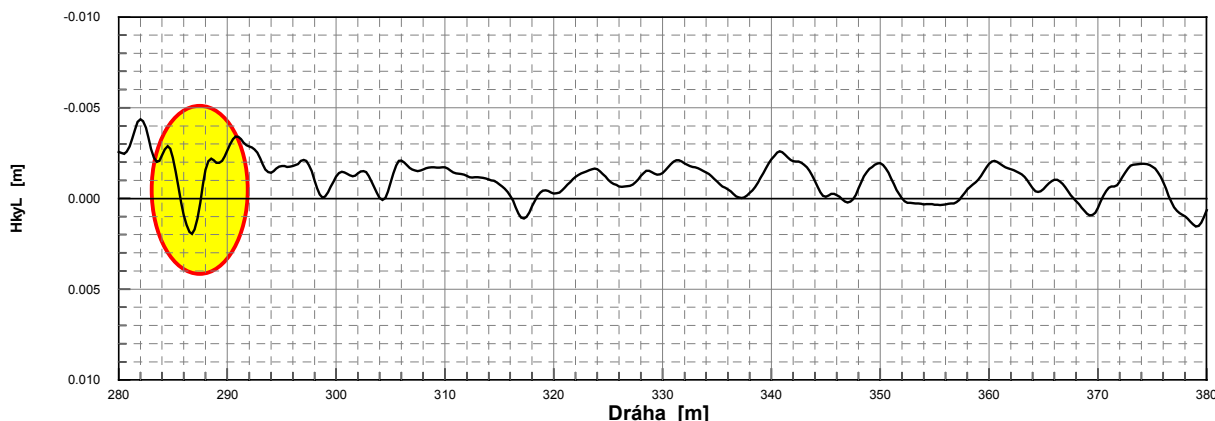
Obr. 3 Příčné silové působení jednotky řady 680 na kolej



Dopravní fakulta JP Univerzita Pardubice DiP Česká Třebová	<b>NAKLÁPĚČÍ JEDNOTKA ŘADY 680</b> výsledky simulačních výpočtů	Příloha č. Obr. 9 List č. Zpráva č. DP 02/01
<b>Suma vodičích sil na jednotlivých nápravách</b> jízdni obrys: <b>UIC-ORE</b> kolejnice: <b>UIC60 lots136</b>		
Trat': Lovosice-Ústí n.L., km 495.6 ÷ 514.8 Kolej: 2. oblouky R < 500 m Rychlost jízdy: 120 ÷ 130 km/h Kontaktní soubor: UIC-U136 (Le=0.127)		Převýšení: mm Rozchod: mm



Obr. 4 Příčné silové působení jednotky řady 680 na kolej v obloucích malých poloměrů



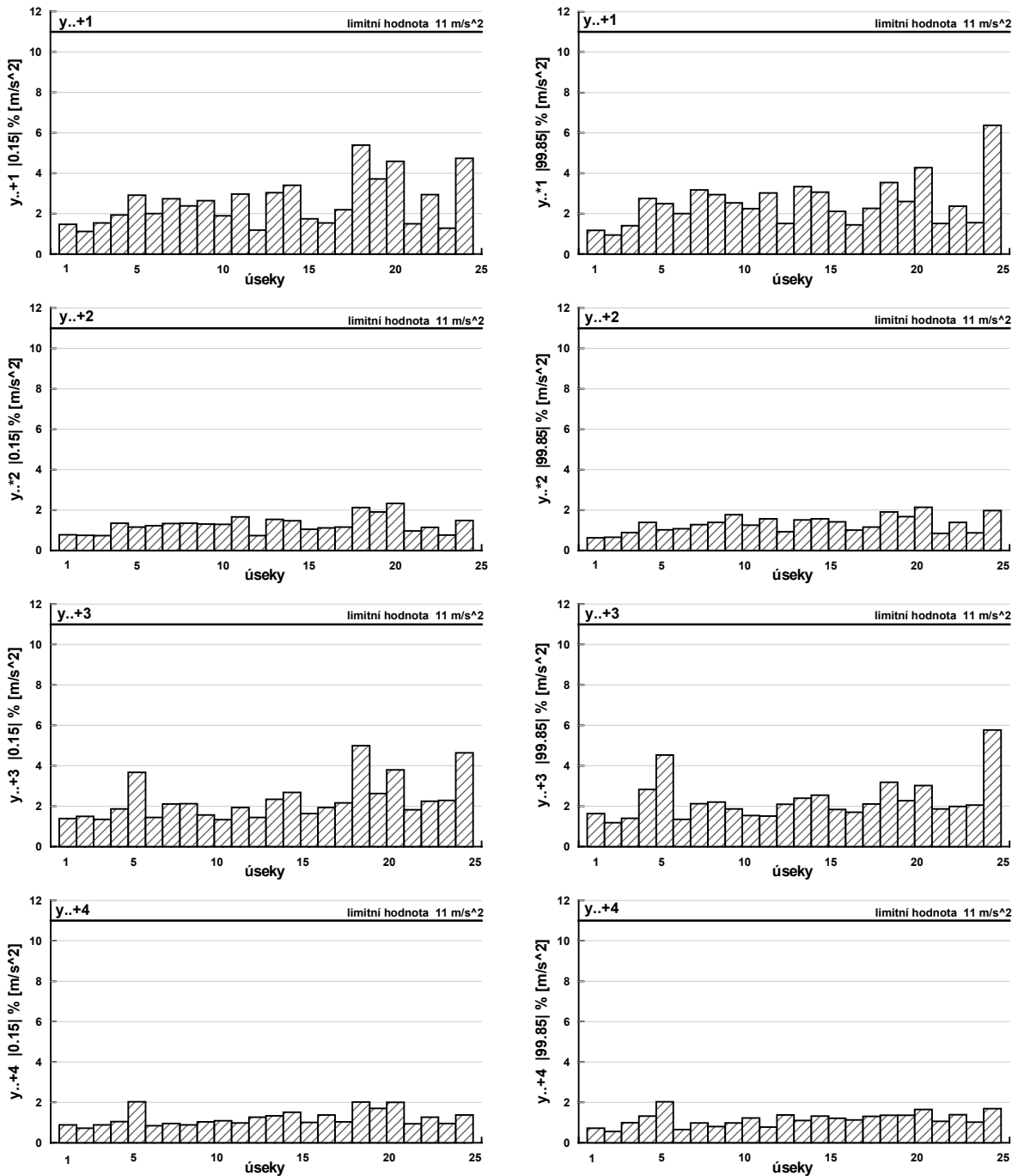
Obr. 5 Směrová odchylka vnějšího kolejnicového pásu v oblouku  $R = 345$  m.

Na tomto příkladu lze poukázat na možnosti simulačních výpočtů odhalovat příčiny nežádoucích jevů při jízdě zvýšenými rychlostmi v obloucích. V daném místě bylo jistě poněkud příznivější okolností skutečnost, že zmíněný oblouk byl projížděn jen s nedostatkem převýšení  $I = 220$  mm při rychlosti  $V = 100$  km/h.

Výsledky simulačních výpočtů v jednotlivých úsecích tratí podle stanovené rychlosti jsou podle mezinárodní vyhlášky UIC 518 navíc ještě hodnoceny dalšími veličinami. Hodnotí se tak i v grafech znázorněné hodnoty příčných a svislých zrychlení na podlaze skříně vozidla nad jednotlivými podvozky jako veličiny charakterizující jízdní vlastnosti vozidla a hodnoty příčných zrychlení rámu podvozku nad jednotlivými nápravami. Tato zrychlení charakterizují bezpečnost jízdy vozidla.

Na obr. 6 jsou jako ukázka znázorněné hodnoty zrychlení určující bezpečnost jízdy vozidla. Tyto průběhy svědčí o tom, že ani z průběhu zrychlení na rámu podvozku nelze soudit na síly mezi dvojkolím a kolejí i když jsou hodnoceny celé intervaly významnosti jejich hodnot.

Dopravní fakulta JP Univerzita Pardubice DiP Česká Třebová	<b>NAKLÁPĚČÍ JEDNOTKA ŘADY 680</b> výsledky simulačních výpočtů	Příloha č. List č. Zpráva č. DP 02/01
<b>Bezpečnost jízdy</b> zrychlení na podvozku y..+		
Trat': Ústí n.L.-Lovosice, km 514.8 ÷ 495.6 Kolej: 1. oblouky R = 500 ÷ 800 m Rychlost jízdy: 120 ÷ 130 km/h Kontaktní soubor: Z13-U136 (Le=0.200)		Převýšení: mm Rozchod: mm Vůz:



Obr. 6

#### 4. Závěr

Na základě hodnocení prvních provedených simulačních výpočtů jízdy naklápačcí jednotky CDT 680 na reálných úsecích tratí 1. koridoru ČD v úsecích Brno-Blansko a Lovosice-Ústí nad Labem je možno konstatovat:

- Na vyhodnocovaných úsecích 1. koridoru určených k prvním zkouškám vlaku s naklápačcí skříní CDT 680 nebylo dosaženo mezních hodnot v žádné z hodnotících veličin.
- Při simulačních výpočtech nepřesáhly maximální dosažené hodnoty bezpečnosti proti vykolejení danou poměrem  $Y/Q$  hodnotu **0.6** (limitní hodnota je **0.8**).
- Maximální hodnoty sil **SY** dosáhly v malých poloměrech oblouků hodnot do **73%** mezní hodnoty síly podle Prud'homa. Při zaznamenaných rázech dosáhly tyto hodnoty až k **80%** této hodnoty.
- Maximální hodnoty sil **SY** v obloucích o větších poloměrech dosáhly **68%** a při rázech až na **77%** hodnoty mezní.
- Zmíněné vyšší hodnoty příčných sil vznikly vždy na lokalizovatelných místech se směrovými odchylkami vnějších kolejnicových pásů od **4.5 do 6 mm** jsoucích na poměrně krátkých délkách kolejnice. K těmto „rázům“ došlo při hodnotách do **I = 240 mm**.
- *Tímto lze konstatovat, že ani statistické vyhodnocení odchylek koleje, ani hodnocení maximálních hodnot těchto odchylek nelze použít k odhalení kritických míst na koleji.*
- Vzniklé zvýšené hodnoty příčných účinků nebyly zaznamenány obdobně výraznými hodnotami příčných zrychlení byť měřených na rámu podvozku.
- *Bude tedy možné ze změřených odchylek koleje soudit na nebezpečná místa koleje z jejich velikosti a délky, pokud se tato zkušenost prokáže při jízdách zkouškových prvního vozidla.*
- Při porovnávání účinků vozidla se třemi jízdními obrysy, které se liší parametrem charakteristiky kontaktní geometrie dvojkolí-kolej, tedy hodnotou ekvivalentní kuželovitosti (0.127, 0.2 a 0.4) lze konstatovat, že s rostoucí hodnotou kuželovitosti rostou příčné účinky zadní nápravy. Tento jev, zaznamenaný i v podmínkách vyšších hodnot nedostatku převýšení než 270 mm, bude vyžadovat sledování vývoje opotřebení jízdního obrysu vozidla v provozu ČD.
- Použití simulačních výpočtů prokázalo jejich podpůrné možnosti ve vyhledávání kritických míst na trati, která nelze odhalit subjektivním posuzováním při jízdě na stanovišti strojvedoucího ani měřením příčných zrychlení na vozidle.

#### 5. Literatura

- Izer, J., Zelenka, J., Lata, M., Chaloupecký, T. (2001) *Interakce koleje a vozidel s naklápačcí skříní při různém provozním stavu*. Zpráva DP-02/01, Univerzita Pardubice, DFJP, Česká Třebová.
- Izer, J., Zelenka, J., Lata, M., Musil, M. (1997-2000) *Vozidlo a kolej na modernizovaných železničních tratích*. Výroční zprávy a závěrečná zpráva řešení výzkumného úkolu pro MDS ČR, Univerzita Pardubice, DFJP, Česká Třebová.
- Izer, J., Zelenka, J. (2002) *Modelování chování vozidla řady 680 na trati 1. národního koridoru*. Vědeckotechnický sborník ČD, 13/2002, ČD VÚŽ Praha, pp. 115-130.