

Simulace jízdy naklápěcí jednotky řady 680 na koridorových tratích ČD

Jaromír ZELENKA, Jiří IZER

Doc. Ing. Jaromír ZELENKA, CSc., Univerzita Pardubice Dopravní fakulta Jana Pernera,
Katedra dopravních prostředků

Prof. Ing. Jiří IZER, CSc., Univerzita Pardubice Dopravní fakulta Jana Pernera, Katedra
dopravních prostředků

Abstrakt

V příspěvku je popsána metoda počítačové simulace jízdy naklápěcí jednotky CDT 680 na vybraných úsecích koridorové trati ČD. Simulační výpočty jsou provedeny pro reálné vozidlo, které bude dodáno italskou firmou FeroFeroviaria, včetně modelování funkce naklápěcího mechanismu. Jsou prezentovány první výsledky simulace jízdy z hlediska silového působení vozidla na trať, jízdních vlastností a bezpečností jízdy vozidla, které jsou hodnoceny podle vyhlášky UIC 518.

1 Úvod

V době rozhodování Českých drah o nákupu vlaků ř. 680 s naklápěcími skříněmi, které jsou schopné projíždět oblouky kolejí významně zvýšenými rychlostmi, vyvstala i otázka, zda bude možné tyto vlaky takto dlouhodobě provozovat v podmínkách provozem postupného zhoršování parametrů geometrické polohy koleje. Zahraniční zkušenosti přitom svědčí o nutnosti věnovat velkou pozornost vzájemnému působení těchto vozidel s kolejí. Důvodem je snaha předcházet jednak možnému nebezpečí vykolejení, jednak nadměrnému dynamickému působení vozidel na kolej zejména v příčném směru. K tomu je na vozidlech této kategorie v současné době provozovaných určitá vybavenost diagnostickými prvky, které umožňují mít tyto účinky pod kontrolou. Je dokonce vyvíjena, zatím bezvýsledně, snaha vytvořit pro tyto účely referenční vozidlo, které by mohlo s rozsáhlým diagnostickým zařízením provádět pravidelné kontrolní jízdy.

Velikost těchto účinků souvisí mimo jiné i s hodnotou nedostatku převýšení, který 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. Ve skutečnosti jsou předpokládány hodnoty nedostatku převýšení významně nižší, a to z těchto důvodů:

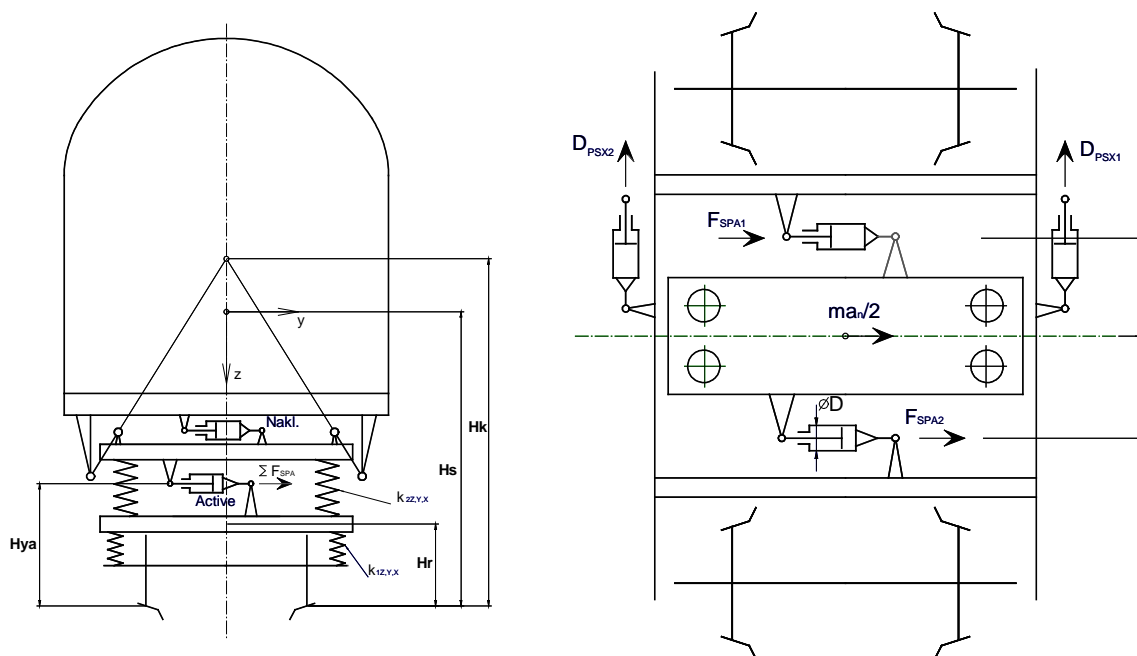
- V určitém traťovém úseku je stanovená rychlost určena buď s ohledem na jeden z oblouků (jeho poloměr a převýšení, délky vzestupnic), nebo s ohledem na jiné skutečnosti koleje či zabezpečovacího zařízení.
- Předpokládaná maximální rychlost vlaků na tratích ČD 160 km/h omezuje velikost nedostatku převýšení, a tím míru zvýšení rychlosti, v obloucích o větších poloměrech. Nemá proto význam posuzovat vlak ř. 680 z hlediska silových účinků v poloměrech nad 800 m. Při $V_{\max} = 160$ km/h a převýšení koleje $p = 150$ mm lze totiž nedostatek převýšení $I = 270$ mm využít jen do poloměru oblouku $R = 720$ m.
- Stanovená rychlost je odstupňována po 5 km/h, což v některých případech zejména malých poloměrů omezuje hodnotu I , protože při využití nejbližšího možného zvýšení rychlosti o 5 km/h by hodnota I překročila mez stanovenou na 270 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 Alstom-FiatFeroviaria.

2 Modelování jízdy jednotky

Základem této činnosti je:

- vytvoření dynamického a matematického modelu vozidla s naklápěcí skříní (zjednodušené funkční schéma je na *Obr. 1*),
- vytvoření modelů geometrické a adhezní vazby v kontaktu dvojkolí a koleje,
- vytvoření modelů koleje, jejichž zjednodušení se při obdobných studiích osvědčilo,
- vytvoření modelu regulace a řízení procesu naklápění skříně vozidla s cílem co nejvíce se přiblížit systému použitému na budoucím vozidle.



Obr. 1: Zjednodušený model jednotky řady 680

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

Ad a) V případě vozidla se jedná o:

- Hmotnostní parametry, jako jsou hmotnosti, momenty setrvačnosti ke všem souřadným osám, hlavních komponentů tj. skříně, rámu podvozků 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 dvojitými pneumatickými válci. Jejich úlohou je eliminovat kvazistatické deformace příčného vypružení skříně vyvolané účinkem vysoké hodnoty nevyrovnané odstředivé síly, která působí na skříně při jízdě obloukem koleje. Rovněž významnou roli hrají podélné tlumiče vlnivého pohybu podvozku, jejichž charakteristiky byly spolu s ostatními uvedenými parametry řešitelům výpočtů dodavatelem poskytnuty.
- Všechny důležité rozměrové parametry vozidla.

Ad b) Geometrickou vazbu dvojkolí ke koleji určují:

- Tvary jízdních obrysů dvojkolí, které se budou v provozu postupným opotřebením tvarově měnit a tak významně ovlivňovat chodové a vodící vlastnosti vozidla. Jako typické byly pro výpočty použity jízdní obrys UIC-ORE známý svými minimálními vodícími schopnostmi a jízdní obrys ZI-3 jako statisticky zjištěný opotřebený jízdní obrys v podmínkách ČD. Ten je

charakteristický poněkud zvýšenou hodnotou ekvivalentní kuželovitosti a delta-r funkce, jež ukazuje na vytváření spojitého růstu potřebného rozdílu v průměrech kol dvojkolí při jízdě obloukem.

- Tvary příčných profilů hlav kolejnic. Pro modelování jízdy vozidla v obloucích koleje byly použity jednak kolejnice UIC60 ukloněné 1:40 a přebroušené do tvaru podle Lots 136 z roku 1989, jednak mohou být použity kolejnice opotřeбенé charakteristicky pro oblouk, tedy do odlišného tvaru vnějšího a vnitřního pásu.
- 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.

Ad c) Modelování koleje spočívá:

- Ve vytvoření datových souborů z přehledu směrových poměrů ve vytypovaných obloukovitých traťových úsecích, které do počítačového programu přinášejí informace o přesné kilometrické poloze, délce a tvaru vzestupnic, jmenovitěm převýšení, poloměru, orientaci a délce oblouků i přímých úseků. V programu jsou obsaženy jak lineární, tak Blossova vzestupnice s jim přiřazenými tvary přechodnic.
- Ve vytvoření a přiřazení kilometrické polohy datových souborů svislých a směrových odchylek jednotlivých kolejnicových pásů od jmenovité polohy. 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.

Ad d) Modelování řízení a regulace procesu naklápění skříně vozidla zahrnuje (příklad průběhů níže jmenovaných veličin je na Obr. 2 jako součástí výsledků modelování):

- Při simulované jízdě modelu vozidla je sledován úhel naklonění rámu předního podvozku ξ_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 ξ_{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 omezení procesu naklápění je potřeba nepospíchat s naklápěním 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 naklápění skříně vytváří určitý nárůst pocíťovaného nedostatku naklápění 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 ξ_{NT} se ukončí přechodem do plného oblouku i v případě, kdy ještě tento úhel nedosáhl hodnoty 8° . 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 skříni Rpsy1,

(pohyb skříně vůči podvozku má znaménko obrácené),

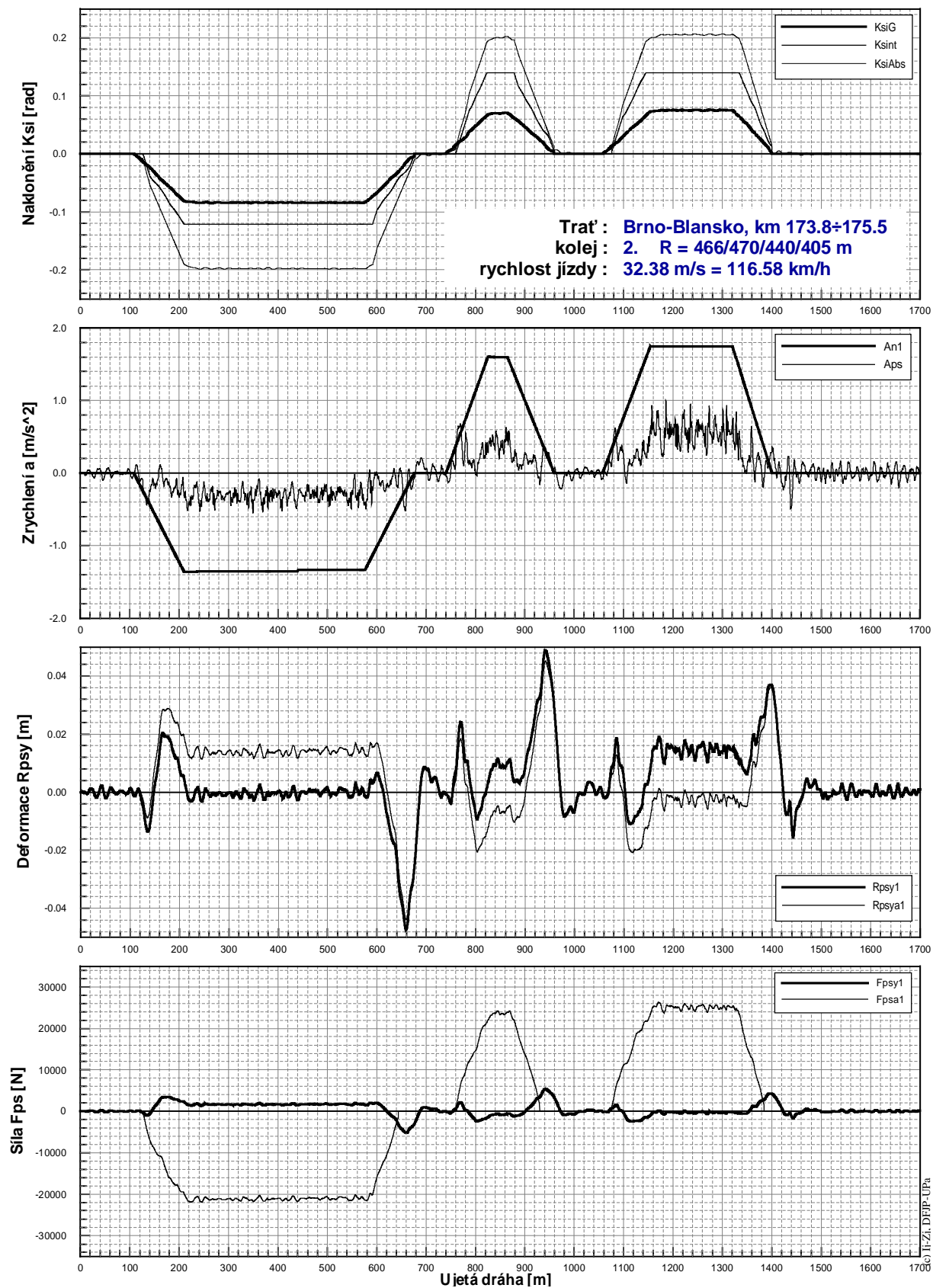
sílu v příčném vypružení působící z podvozku na skříň Fpsy1,

sílu v aktivním vypružení Fpsy1.

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 narážky.

- Současně s procesem naklápění je řízeno plnění vzduchových válců aktivního příčného vypružení tlakovým vzduchem tak, aby bylo na těchto válcích dosaženo výsledné síly F_{psa} , která se rovná nevyrovnané odstředivé síle působící na polovinu vozidlové skříně při maximálně stanovené hodnotě nedostatku převýšení. Tyto pneumatické válce přitom znamenají přiřazení přídavného příčného pneumatického vypružení, jehož tuhost vyplývá z objemu vzduchu přivedeného z řídicího ventilu pod píst válce, který se vysune o hodnotu R_{psy1} . 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 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 výpočtů

V rámci řešení úkolu technického rozvoje ČD [1] byly simulační výpočty prováděny na dvou traťových úsecích, na nichž mají být prováděny i první zkoušky prototypu. Jedná 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 dvojce 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 jízdními obrysy kol buď UIC-ORE, nebo ZI-3, který v podmínkách ČD představuje statisticky zjištěný opotřebený jízdní obrys kol. Dvojkolí s těmito jízdními obrysy vykazují na koleji s kolejnicemi UIC60 (1:40) přebroušenými do tvaru podle Lots 136 (7.89) ekvivalentní kuželovitost o hodnotách buď 0.127, nebo 0.200 pro ZI-3.

3.1 Úsek Blansko - Brno

Ve zmíněném relativně krátkém traťovém úseku jsou čtyři za sebou následující oblouky pojižděné 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 $I = 195$ 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 připouštěné hodnoty $I = 300$ mm.
- **125.1 km/h** je rychlost zkušební při nedostatku převýšení $I = 330$ mm.

Zdánlivě nízké využití zvýšené rychlosti ze stávajících 90 km/h na 105 km/h v tomto úseku, v jehož sousedství je úsek se stanovenou rychlostí 110 km/h, je použito patrně z toho důvodu, že přechodnice na výjezdu ze zmíněného oblouku o $R = 405$ m je kratší než přechodnice na vjezdu.

3.1.1 Kolej

Výškové a směrové odchylky v celém úseku jsou zpracovávány na základě měření měřicím vozem ČD na příslušném traťovém úseku. Kvalitativní statistické hodnocení tohoto úseku koleje podle UIC 518 konstatuje, že ve svislém směru je kvalita pojižděné koleje hodnocena poněkud hůře než QN2, v příčném směru též.

3.1.2 Hodnocení výsledků

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 obrys UIC-ORE a ZI-3. Jedná se o veličiny:

- Součet vodicích sil SY_i , samotných vodicích sil Y_i a kolových sil Q_i na jednotlivých nápravách.
- Poměr 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 rámmů podvozků nad jednotlivými nápravami jsou pro oblouk o poloměru $R = 405$ m následně statisticky vyhodnoceny.

Na *Obr. 3* a *Obr. 4* jsou v závislosti na hodnotě nedostatku převýšení uvedeny hodnoty silových účinků jednotlivých náprav na kolej $SY_{i(2m)}$ a síly Y_i , oboje v intervalu spolehlivosti $0.15 \div 99.85$ % s vyznačením 50% tj. kvazistatických hodnot.

Síly $SY_{i(2m)}$ (*Obr. 3*).

V tomto obrázku jsou čárkovaně vyznačeny vypočtené hodnoty pro tuhost vedení dvojkolí v podélném a příčném směru, která byla původně zadána pracovníky firmy FeroFeroviaria. 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.

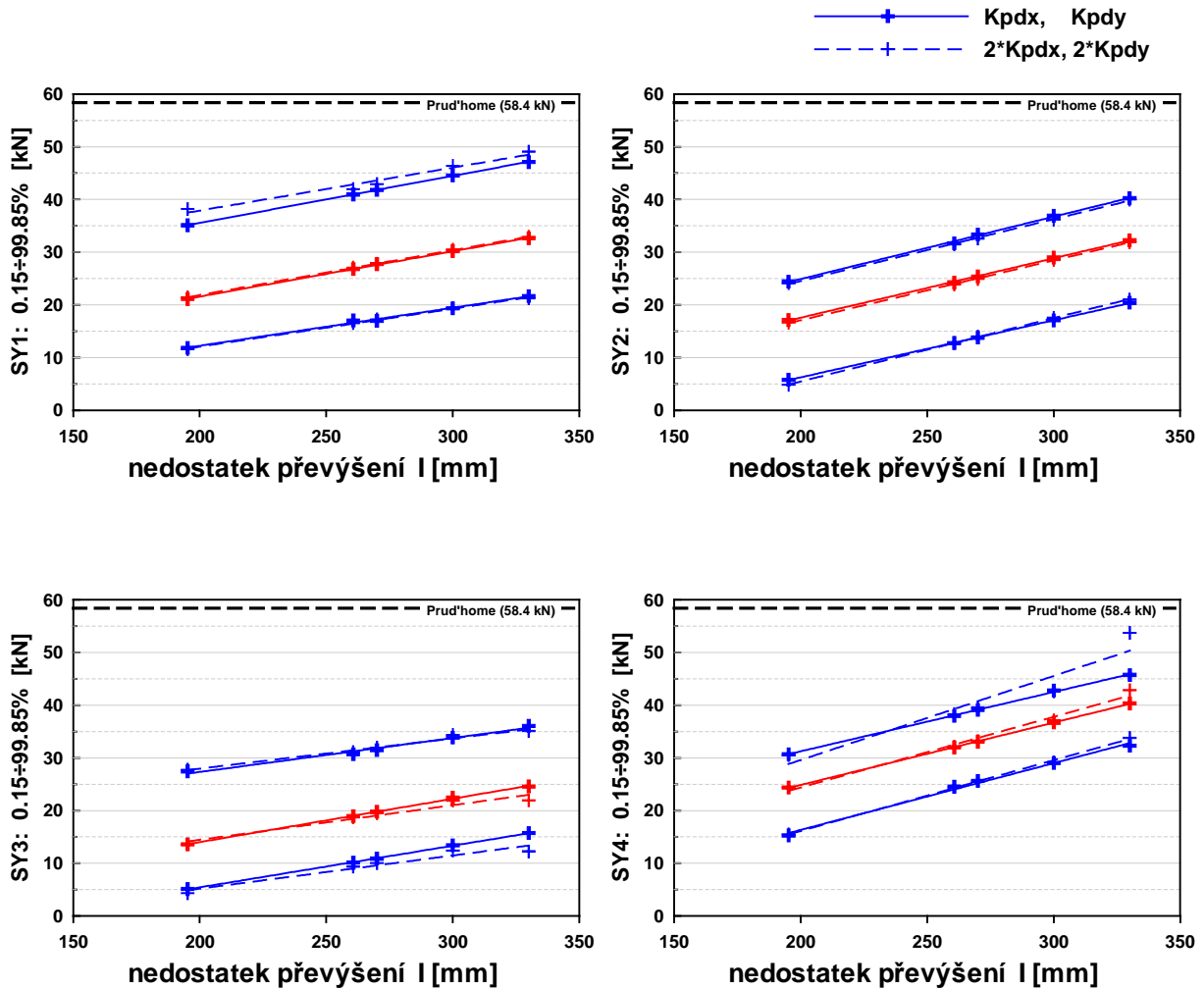
Síly Y (*Obr. 4*).

V případě vodících sil Y na vnějších kolech jednotlivých náprav, jsou největší hodnoty na prvním nabíhající kole a druhých největších hodnot dosahuje třetí náprava. Významněji se v tomto případě ukazuje zvýšená hodnota tuhosti vazby vedení dvojkolí.

Suma vodících sil na jednotlivých nápravách
jízdni obrys: **UIC-ORE** kolejnice: **UIC60 lots136**

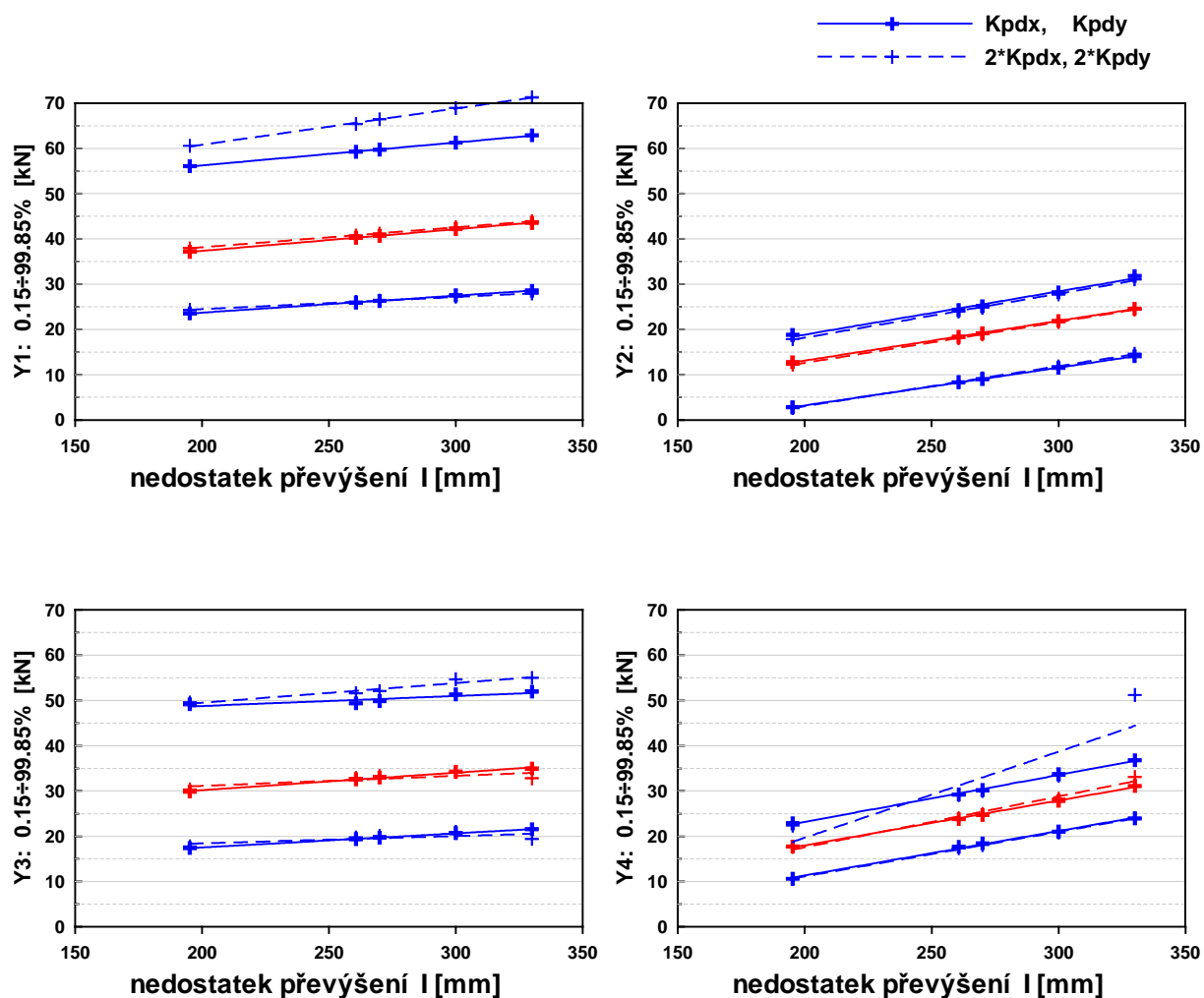
Trat': **Brno-Blansko, km 174.976 ÷ 175.120**
Kolej: **2. R = 405 m**
Rychlost jízdy: **105 ÷ 125 km/h**
Kontaktní soubor: **UIC-U136 (Le=0.127)**

Převýšení: **126 mm**
Rozchod: **1435 mm**



Obr. 3

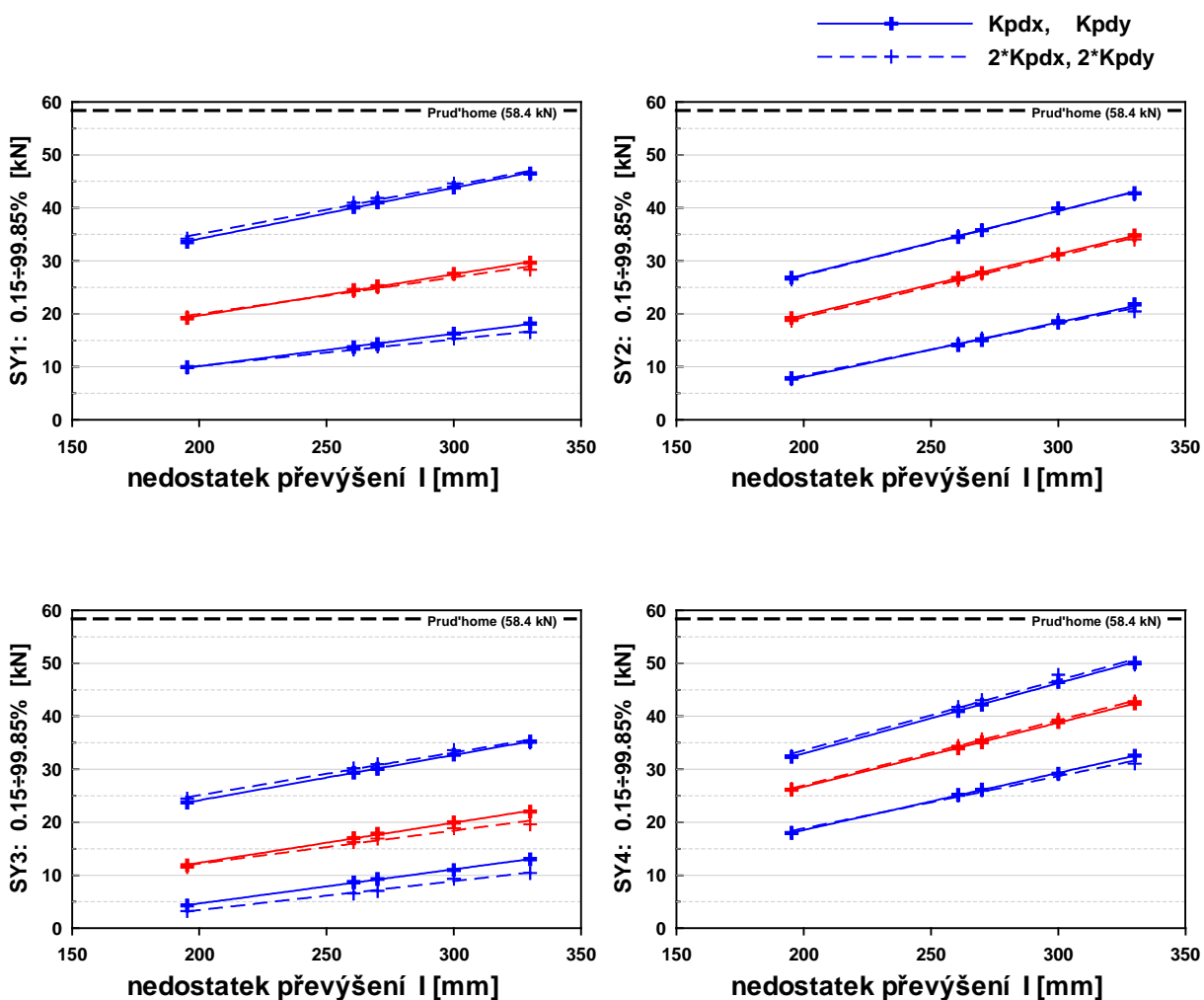
Dopravní fakulta JP Univerzita Pardubice DiP Česká Třebová	NAKLÁPĚČÍ JEDNOTKA ŘADY 680 výsledky simulačních výpočtů	Příloha č. Obr. 6 List č. Zpráva č. DP 02/01
Vodící síly na vnějších kolech Jízdní obrys obrys: UIC-ORE kolejnice: UIC60 lots136		
Trať: Brno-Blansko, km 174.976 ÷ 175.120 Kolej: 2. R = 405 m Rychlost jízdy: 105 ÷ 125 km/h Kontaktní soubor: UIC-U136 (Le=0.127)		Převýšení: 126 mm Rozchod: 1435 mm



Obr. 4

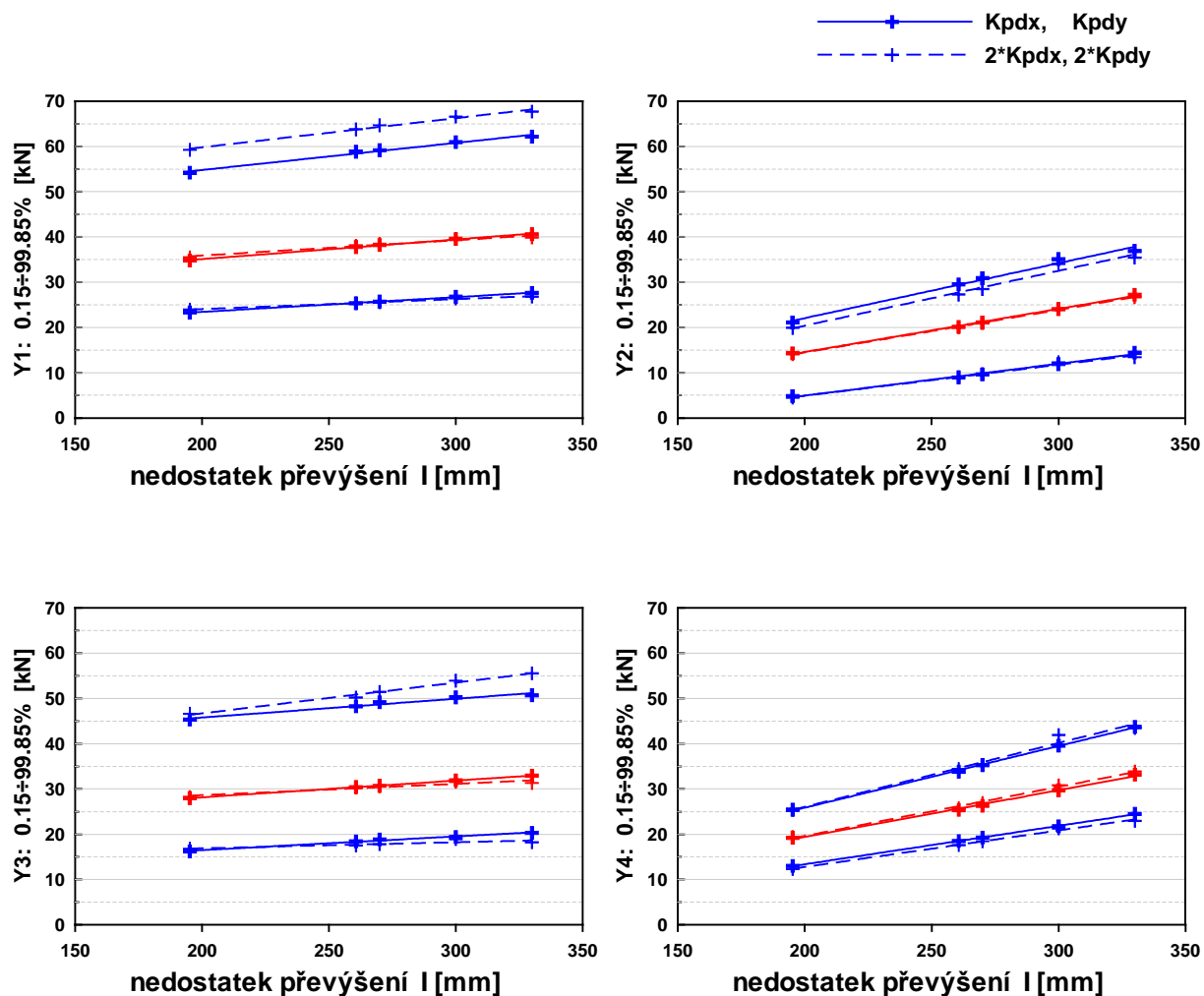
Obdobně dosažené výsledky pro jízdní obrys ZI-3, charakterizovaném hodnotou ekvivalentní kuželovitosti $\lambda_{ekv} = 0.2$, jsou na *Obr.5 a 6* v daném úseku ukázkou menší závislosti hodnot sil SY_i i Y_i na tuhosti vazby vedení dvojkolí. Ukazuje se, že s „opotřebením jízdního obrysu klesají hodnoty sil SY na prvních nápravách podvozků, ale u druhé a zejména čtvrté nápravy naopak tyto síly rostou“.

Dopravní fakulta JP Univerzita Pardubice DiP Česká Třebová	NAKLÁPĚČÍ JEDNOTKA ŘADY 680 výsledky simulačních výpočtů	Příloha č. Obr. 7 List č. Zpráva č. DP 02/01
Suma vodících sil na jednotlivých nápravách jízdni obrys: ZI-3 kolejnice: UIC60 lots136		
Trat': Brno-Blansko, km 174.976 ÷ 175.120 Kolej: 2. R = 405 m Rychlost jízdy: 105 ÷ 125 km/h Kontaktní soubor: ZI3-U136 (Le=0.200)		Převýšení: 126 mm Rozchod: 1435 mm



Obr. 5

Dopravní fakulta JP Univerzita Pardubice DiP Česká Třebová	NAKLÁPĚČÍ JEDNOTKA ŘADY 680 výsledky simulačních výpočtů	Příloha č. Obr. 8 List č. Zpráva č. DP 02/01
Vodící síly na vnějších kolech Jízdní obrys obrys: ZI-3 kolejnice: UIC60 lots136		
Trať: Brno-Blansko, km 174.976 ÷ 175.120 Kolej: 2. R = 405 m Rychlost jízdy: 105 ÷ 125 km/h Kontaktní soubor: ZI3-U136 (Le=0.200)		Převýšení: 126 mm Rozchod: 1435 mm



Obr. 6

3.2 Úsek Lovosice - Ústí n./I.

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, jeden (5. úsek) má dokonce Blossovy vzestupnice nestejných délek. 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
- 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 $I = 213 \text{ , } 254 \text{ mm}$ a v druhé skupině čítající 20 oblouků v rozmezí $I = 134 \text{ , } 254 \text{ mm}$.

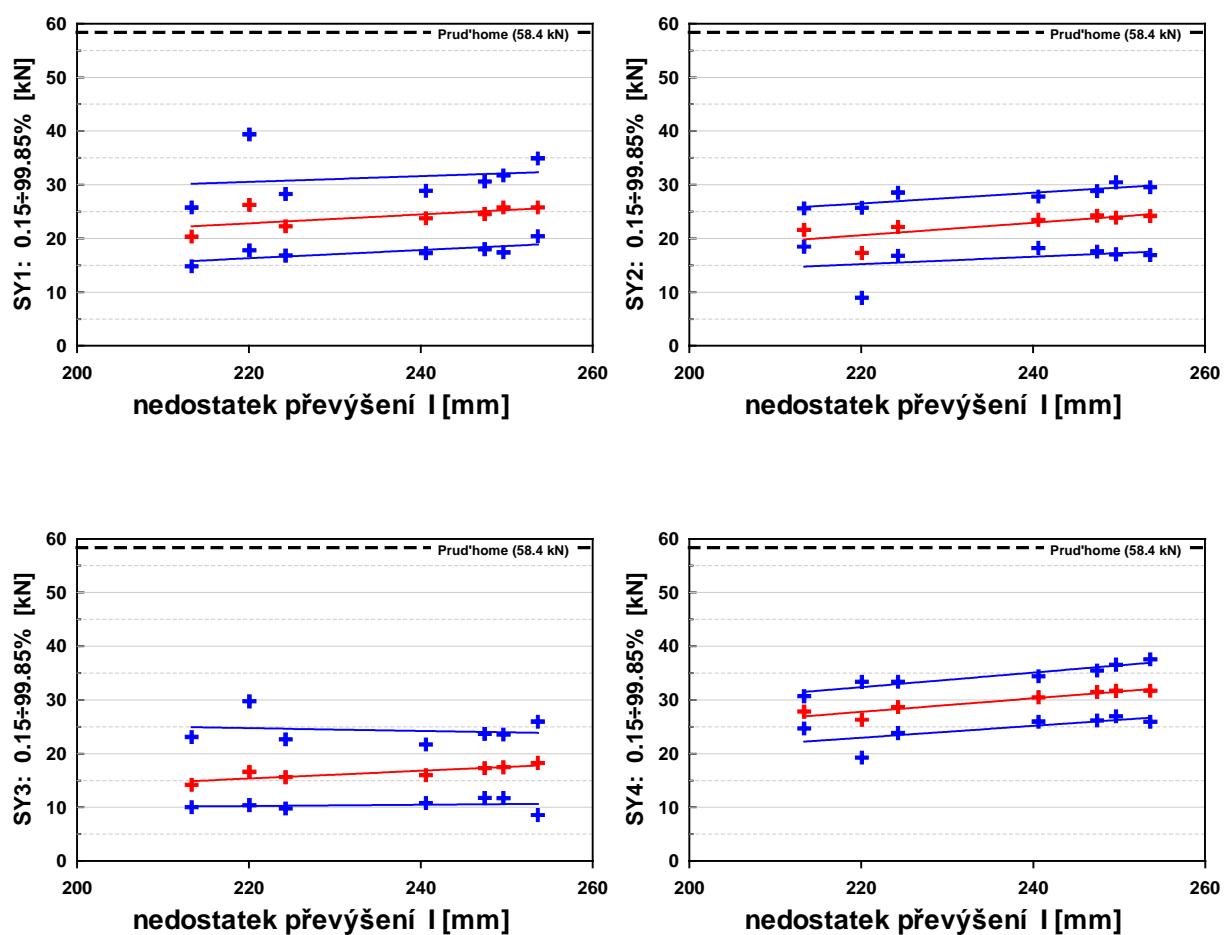
3.2.1 Hodnocení výsledků

Výsledky simulačních výpočtů byly hodnoceny na jednotlivých deseti úsecích znázorněním průběhů vypočtených veličin podél ujeté dráhy pro stanovené rychlosti jízdy, a to odděleně pro jízdní obrys UIC-ORE ($\lambda_{ekv} = 0.127$), ZI-3 ($\lambda_{ekv} = 0.200$) a jízdní obrys provozně opotřebený v kombinaci provozně opotřebenou kolejnicí s $\lambda_{ekv} = 0.400$, a to pro obě skupiny oblouků.

Pro oblouky A jsou pro jízdní obrys UIC-ORE ($\lambda_{ekv} = 0.127$) na *Obr. 7* v závislosti na hodnotě nedostatku převýšení uvedeny hodnoty silových účinků jednotlivých náprav na kolej $SY_{i(2m)}$ a na *Obr. 8* síly Y_i , oboje v intervalu spolehlivosti $0.15 \div 99.85\%$ s vyznačením 50%, tj. kvazistatických hodnot.

Z obrázků 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. 9*), byla nalezena zjevná příčina v náhlém poklesu křivosti koleje zejména na vnějším pásu (odchylka H_{kyl}) v úseku $284 \div 288 \text{ m}$ pravotočivého oblouku o $R = 345 \text{ m}$ směrovou odchylkou do středu oblouku A7 o 5 mm vzniklou na délce asi 3 m .

Dopravní fakulta JP Univerzita Pardubice DiP Česká Třebová	NAKLÁPĚČÍ JEDNOTKA ŘADY 680 výsledky simulačních výpočtů	Příloha č. Obr. 9 List č. Zpráva č. DP 02/01
Suma vodících sil na jednotlivých nápravách jízdni obrys: UIC-ORE kolejnice: UIC60 lots136		
Trať: 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



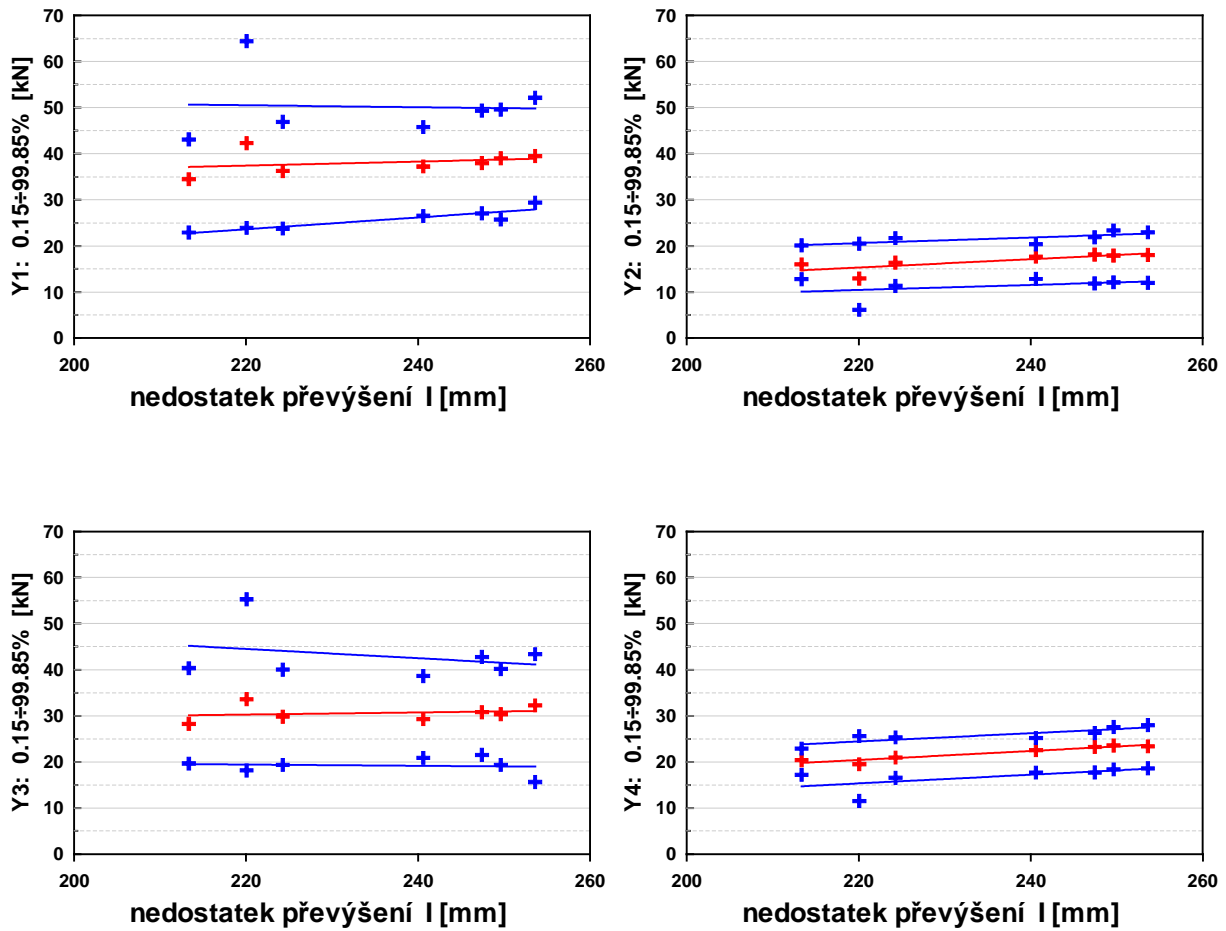
Obr. 7

Vodící síly na vnějších kolech

Jízdní obrys obrys: **UIC-ORE** kolejnice: **UIC60 lots136**

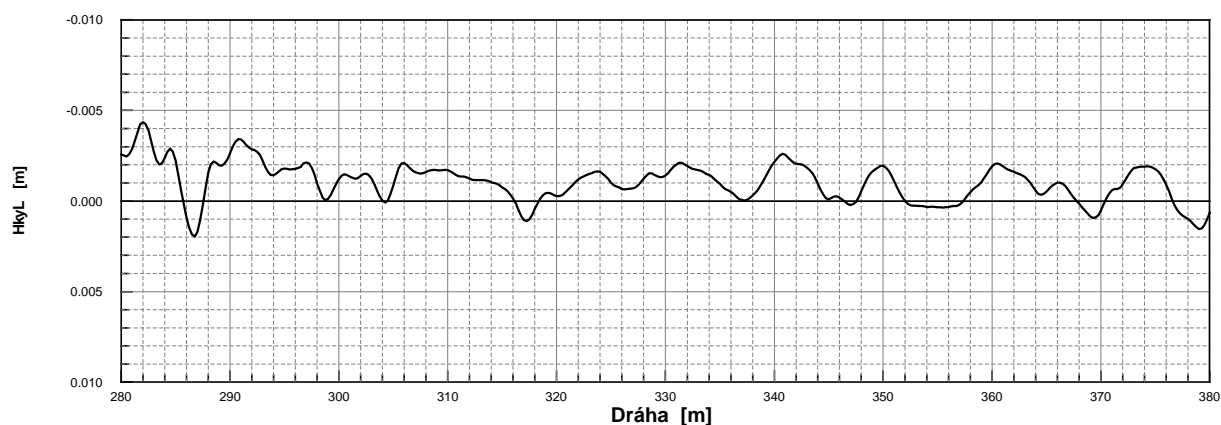
Trat': **Lovosice-Ústí n.L., km 495.6 ÷ 514.8**
Kolej: **2. oblouky R < 500 m**
Rychlost jízdy: **120 ÷ 130 km/h**
Kontaktní soubor: **UIC-U136 (Le=0.127)**

Převýšení: **mm**
Rozchod: **mm**



Obr. 8

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.



Obr. 9 Směrová odchylka vnějšího kolejnicového pásu v oblouku $R = 345$ m (oblouk A7).

V případě vodících sil Y na vnějších kolech jednotlivých náprav, jsou největší hodnoty na prvním nabíhající kole a druhých největších hodnot dosahuje třetí náprava. Interval hodnot těchto sil u zadních náprav podvozků je zřetelně úzký, což svědčí o nízké úrovni dynamiky těchto náprav v těchto obloucích. U prvních náprav podvozků je tomu naopak v důsledku pevného nalehnutí okolků na vnější kolejnicový pás a sledování jeho směrových odchylek.

Obdobným způsobem byly hodnoceny výsledky výpočtů pro jízdní obrys ZI-3 ($\lambda_{ekv} = 0.200$) a jízdní obrys provozně opotřebený v kombinaci provozně opotřebenou kolejnicí s $\lambda_{ekv} = 0.400$. Dále byly hodnoceny výsledky simulačních výpočtů pro oblouky skupiny B s poloměry $R = 500\text{--}800$ m.

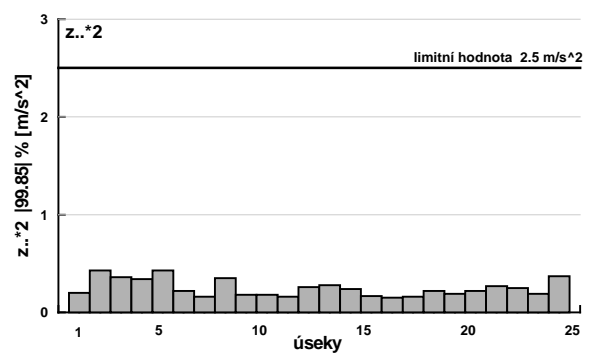
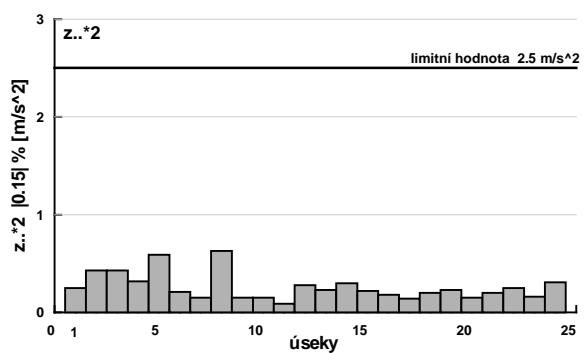
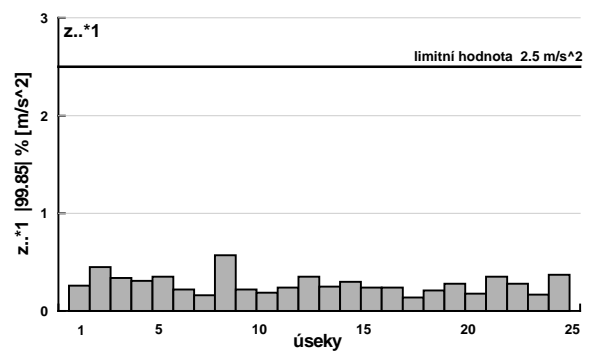
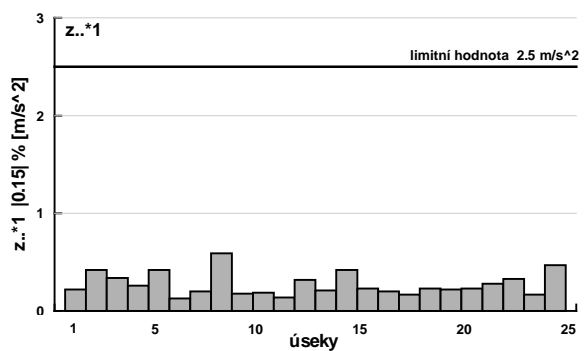
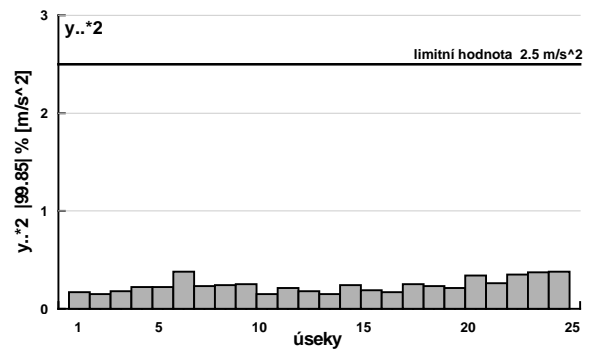
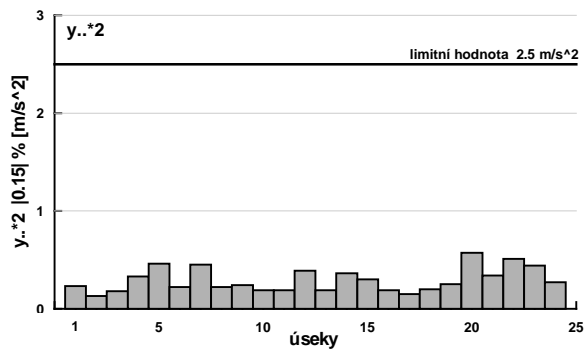
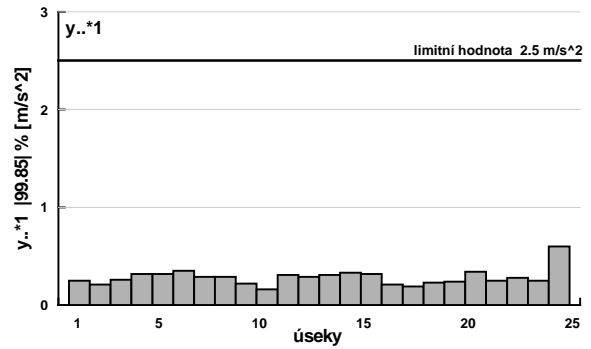
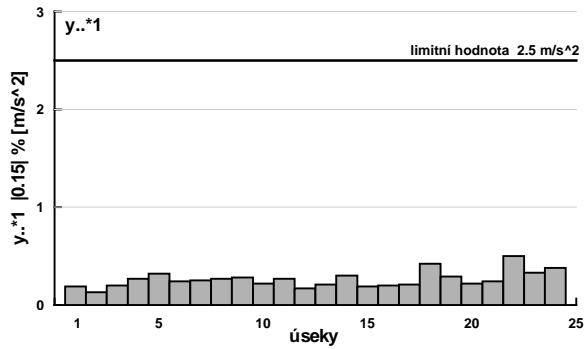
Výsledky simulačních výpočtů v jednotlivých úsecích tratí podle stanovené rychlosti jsou podle UIC 518 navíc ještě hodnoceny dalšími veličinami. Hodnotí se tak i v grafech znázorněné hodnoty příčných a svislých zrychlení na podlaze skříně vozidla nad jednotlivými podvozků jako veličiny charakterizující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

Na *Obr. 10 a Obr. 11* jsou jako ukázka znázorněné hodnoty zrychlení určující jízdní vlastnosti a 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.

Jízdní vlastnosti
zrychlení na skříní y..*, z..*

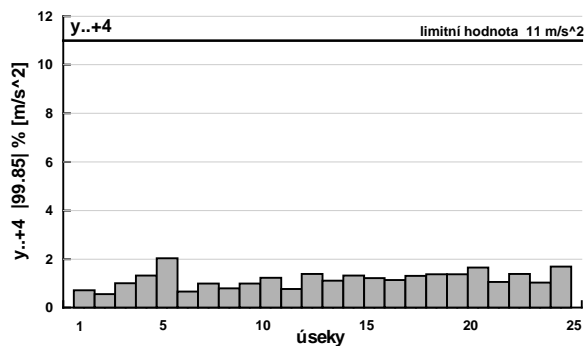
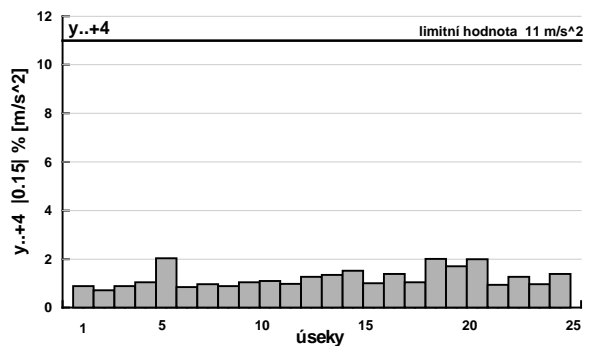
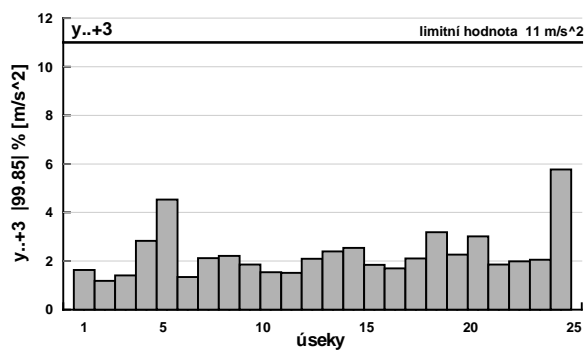
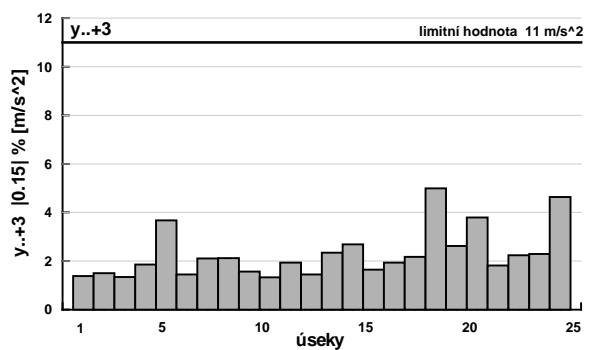
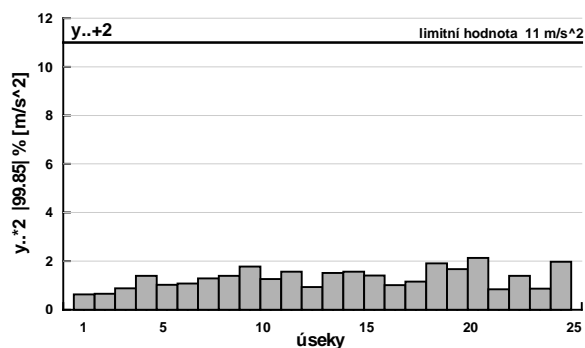
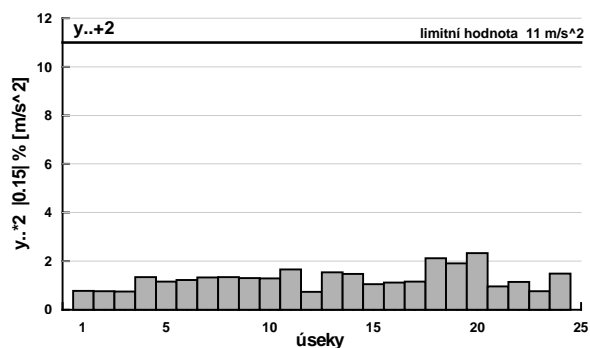
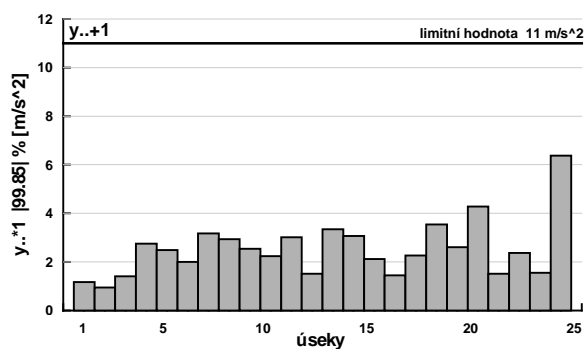
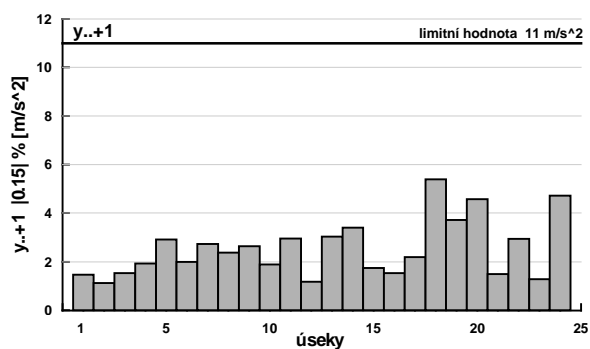
Trať: Ústí n.L.-Lovosice, km 514.8 ÷ 495.6
Kolej: 1. oblouky R = 500 ÷ 800 m
Rychlost jízdy: 120 ÷ 130 km/h
Kontaktní soubor: UIC-U136 (Le=0.127)

Převýšení: mm
Rozchod: mm
Vůz:



Obr. 10

Dopravní fakulta JP Univerzita Pardubice DiP Česká Třebová	NAKLÁPĚČÍ JEDNOTKA ŘADY 680 výsledky simulačních výpočtů	Příloha č. List č. Zpráva č. DP 02/01
Bezpečnost jízdy zrychlení na podvozku y..+		
Trať: 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. 11

4 Závěr

Na základě hodnocení prvních provedených simulačních výpočtů jízdy naklápěcí 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 CDT 680 nebylo dosaženo mezních hodnot v žádné z hodnotících veličin.
- Při simulačních výpočtech nepřesáhly maximální dosažené hodnoty poměru Y/Q hodnotu 0.6.
- Maximální hodnoty sil SY dosáhly v malých poloměrech oblouků hodnot do 73% mezní hodnoty síly podle Prud'homme. 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 $l = 240$ 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 byt 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 zkoušek prvního vozidla.***
- Při porovnávání účinků vozidla se třemi jízdními obrysy, které se liší hodnotou ekvivalentní kuželovitosti (0.127, 0.2 a 0.4) a z toho vyplývající rozdílnou hodnotou delta-r funkce lze konstatovat, že s rostoucí hodnotou kuželovitosti rostou příčné účinky zadní nápravy. Ukázkou mohou být výsledky v oblouku A4 v úseku č. 9 kde z původního rozdílu maximálních hodnot sil $SY4$ a $SY1$ o hodnotě 5 kN vznikl rozdíl 10 kN. ***Síla $SY4$ je tak o 30 % vyšší proti síle $SY1$ při značně opotřebeném jízdním obrysu s $l_{ekv} = 0.4$.*** Tento jev, zaznamenaný i v podmínkách vyšších hodnot nedostatku převýšení než 270 mm, bude vyžadovat sledování vývoje jízdního obrysu vozidla v provozu ČD a podle toho sledovat možnost vyšších silových účinků tohoto dvojkolí na kolej než u dvojkolí prvního.
- Z průběhu svislých kolových sil ve vzetupnici podle Blossie lze konstatovat, že tento průběh je ztelně rovnoměrnější. Průběh výškových odchylek však toto může znehodnotit.
- 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.

Literatura

- [1] IZER, J., ZELENKA, J., LATA, M., CHALOUPECKÝ, T.: *Interakce koleje a vozidel s naklápěcí skříň při různém provozním stavu*. Zpráva DP-02/01, Univerzita Pardubice, DFJP, Česká Třebová 2001.
- [2] IZER, J., ZELENKA, J., LATA, M., MUSIL, M.: *Vozidlo a kolej na modernizovaných železničních tratích*. Výroční zprávy a závěrečná zpráva řešení výzkumného úkolu pro MDS ČR, Univerzita Pardubice, DFJP, Česká Třebová 1997÷2000.
- [3] ZELENKA, J., IZER, J., CHALOUPECKÝ, T., MUSIL, M.: *Servisní činnost a výzkum specializovaného pracoviště "dvojkolí-kolej"*. Zpráva DP-02/00, Univerzita Pardubice, DFJP, Česká Třebová 2000.