



INŽENÝRSKÁ MECHANIKA 2005

NÁRODNÍ KONFERENCE

s mezinárodní účastí

Svratka, Česká republika, 9. - 12. května 2005

ELIMINATION OF UNSTABLE RUNNING BEHAVIOUR OF MOTOR WORKING CAR MPV 22 AT CZECH RAILWAYS CORRIDOR LINES

J. Zelenka*

Summary: *The paper deals with the running properties of the working Diesel rail car MPV 22, reconstructed from the former machine of the DGKU-5 type, by the Track Machine Station of the Czech Railways in Pardubice. The problem concerning the running behaviour of the car had been occurred during its run on the Czech Railways Corridore tracks and, the difficulties were eliminated after a treatment of the clearances in the former wheel set guide. There were carried out a measuring of the acceleration on the bearing boxes of the car before the elimination of the clearances, when the non-smooth running on the Czech Railways Corridore was recorded. After the repeated measurement when the mentioned treatment was realized, the non-smooth running was wholly eliminated. The measured results are presented and will be complemented with the short video-illustration by presentation.*

1. Úvod

V roce 2003 byla provedena Traťovou strojní stanicí (dále jen TSS) Hradec Králové rozsáhlá rekonstrukce motorového pracovního vozu DGKu-5 sovětské výroby na motorový pracovní vůz MPV 22 (viz obr. 1). Z původního vozidla byl převzat hlavní rám a pojezd vozidla. Ostatní komponenty byly vyrobeny nově. V průběhu zkoušek prvního rekonstruovaného vozidla MPV 22.01 byl zjištěn značně neklidný chod, který se projevoval výrazným rozkmitáním celého vozidla v příčném směru a to pouze při jízdě v přímé koleji na koridorových tratích (kolejnice UIC60, úklon 1:40, na koridorových úsecích přebroušena do tvaru Iots 136) při opačném postavení vozidla vzhledem ke směru jízdy. Při jízdě v přímé koleji na trati se starším typem svršku (kolejnice R65, úklon 1:20) nebyl neklidný chod takového charakteru zaznamenán.

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

2. Problematika neklidného chodu v podmínkách ČD

Problém neklidného chodu některých vozidel se v podmínkách Českých drah začal objevovat s postupnou rekonstrukcí koridorových tratí. Jedná se zejména o vozidla s volnou vazbou dvojkolí ke skříní vozidla nebo podvozku, která je charakterizována velkými vůlemi v podélném a příčném směru ve vedení dvojkolí. Tyto vůle jsou u některých vozidel předepsány nebo mohou vzniknout nadměrným opotřebením jednotlivých dílů vedení dvojkolí. Vozidla, která se na tratích se starším typem svršku chovala relativně klidně, se při jízdě na koridorové trati vyznačující se výbornou geometrickou polohou koleje (dále GPK) příčně značně rozkmitala. I na základě řešení výzkumných úloh (viz např. [1]) bylo zjištěno, že důvod k takovému rozkmitání podvozku a v některých případech celého vozidla byla právě zvětšená hodnota vůlí ve vedení dvojkolí. Volné dvojkolí totiž vlivem kuželovitosti jízdních obrysů teoreticky vykonává vlnivý pohyb při jízdě v přímé koleji s dokonalou GPK (viz [2]). Pokud má vozidlo dostatečně pevnou vazbu dvojkolí k rámu podvozku, příp. k rámu skříně, pak se tento periodický pohyb nemůže při jízdě rozvinout. V opačném případě může dvojkolí rozvinout tento vlnivý pohyb, který při absenci dostatečného tlumení ve většině případů vede k příčnému rozkmitání podvozku nebo celého vozidla. Paradoxně se pak tato vozidla chovají na koridorových tratích s výbornou GPK hůře než na tratích se starším typem svršku. Starší traťové úseky se totiž nevyznačují takovou GPK, která by umožnila dvojkolí rozvinout tento vlnivý pohyb, naopak je pohyb dvojkolí ve volném kanálu koleje neustále narušován lokálními nerovnostmi jednotlivých kolejnicových pásů.



Obr. 1 Motorový pracovní vůz MPV 22.01

Stejná situace nastala i u vozidla MPV 22. Tento motorový pracovní vůz s rozsochovým vedením dvojkolí měl velké podélné a příčné vůle mezi ložiskovými skříněmi a rámem vozidla. Podélná vůle v tomto typu vedení dvojkolí je sice výhodná při průjezdu vozidla oblouky menších poloměrů, kdy dvojkolí má možnost se v takovém oblouku částečně radiálně stavět, čímž se zmenšuje opotřebení jízdních obrysů kol, avšak při jízdě v přímé koleji s výbornou GPK má velká podélná vůle ve vedení dvojkolí za následek rozvinutí netlumeného vlnivého pohybu volného dvojkolí v rámci vůlí v rozsochovém vedení a následně výrazné příčné rozkmitání celého vozidla. Tento jev je možné pozorovat i u některých nákladních vozů při jízdě na koridorových tratích. Jedná se zejména o dvounápravové nákladní vozy s rozsochovým vedením a čtyřnápravové nákladní vozy s podvozky 26.2-8, které se rovněž vyznačují rozsochovým vedením dvojkolí v rámu podvozku s velkými vůlemi.

3. Problematika pohybu volného dvojkolí v přímé koleji

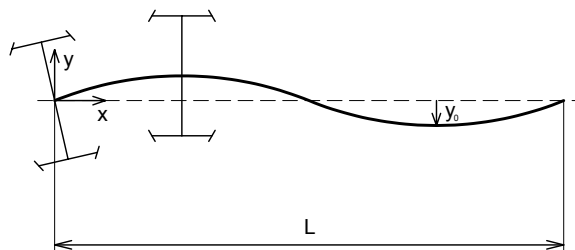
3.1 Teoretický rozbor vlnivého pohybu dvojkolí v přímé koleji

Volné dvojkolí, tedy ničím nevázané k rámu vozidla (pouze teoretický případ) vykonává v přímé koleji v rámci rozchodového kanálu periodický vlnivý pohyb. V případě kuželového jízdního obrysu kola dvojkolí je tento pohyb sinusový, který je popsán následující rovnicí (viz [1]):

$$y_d = y_0 \cdot \sin\left(\sqrt{\frac{\lambda}{s \cdot r}} \cdot x_d\right), \quad (1)$$

kde x_d, y_d ... souřadnice pohybu dvojkolí v přímé koleji,
 y_0 ... amplituda sinusového pohybu dvojkolí v přímé koleji,
 λ ... kuželovitost jízdních obrysů kol dvojkolí,
 s ... polovina vzdálenosti styčných kružnic kol dvojkolí,
 r ... poloměr kol dvojkolí.

Příčinou tohoto pohybu je kuželovitost jízdních ploch kol, na jejíž hodnotě je závislý charakter tohoto sinusového pohybu.



Obr. 2 Pohyb volného dvojkolí v přímé koleji

Ze vztahu (1) vyplývá délka vlny L tohoto pohybu:

$$L = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{s \cdot r}{\lambda}}. \quad (2)$$

Vztahy (1) a (2) platí tedy jen pro dvojkolí s kuželovým jízdním obrysem. Ten se však v současnosti v podmínkách ČD nepoužívá, výhradně se používají tzv. křivkové jízdní obrysy, jejichž tvar jízdní plochy je přesně definovaná křivka (ORE S1002, ZI-3, ZI-4) a pro tyto jízdní obrysy se zavádí pojem ekvivalentní kuželovitost λ_{ekv} . [2] Tento pojem necharakterizuje samostatně dvojkolí, ale vztah tohoto dvojkolí ke konkrétní koleji. Ekvivalentní kuželovitost je potom kuželovitost takového jízdního obrysu, který má při stejné amplitudě stejnou délku vlny jako daný obrys křivkový. Tato veličina je navíc závislá na amplitudě vlnivého pohybu dvojkolí v přímé koleji a tedy pro délku vlny vlnivého pohybu dvojkolí s křivkovým jízdním obrysem v přímé koleji platí:

$$L = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{s \cdot r}{\lambda_{ekv}}}, \quad L = f(\lambda_{ekv}) = f(y_0). \quad (3)$$

Ekvivalentní kuželovitost nezáleží tedy jen na daném dvojkolí, ale také na koleji charakterizované tvarem příčných profilů kolejnicových pásů. Je to zároveň jedna z výstupních veličin výpočtů charakteristik kontaktní geometrie dvojkolí-kolej, kdy jako porovnávací hodnota z těchto výpočtů byla stanovena ekvivalentní kuželovitost při amplitudě vlnivého pohybu $y_0 = 3 \text{ mm}$. Výpočty kontaktní geometrie dvojkolí-kolej generují závislost ekvivalentní kuželovitosti na amplitudě vlnivého pohybu volného dvojkolí v přímé koleji.

Souhrnně lze tedy říci, že pohyb obecného volného dvojkolí v přímé koleji charakterizují následující dvě veličiny:

- amplituda y_0 ,
- délka vlny pohybu L .

Pokud uvažujeme poloměr kol dvojkolí jako konstantní, potom ze vztahu (3) vyplývá, že délka vlny pohybu závisí na ekvivalentní kuželovitosti λ_{ekv} , která je tedy funkcí amplitudy vlnivého pohybu y_0 .

Při znalosti geometrických charakteristik dvojkolí (rozkolí, průměry kol, jízdní obrysy) a koleje (rozchod, příčné profily hlav kolejnic) je možné pomocí vztahu (1) a výpočtů kontaktní geometrie dvojkolí-kolej zjistit závislost teoretické délky vlny pohybu dvojkolí na amplitudě tohoto pohybu u konkrétního úseku koleje, který je charakterizovaný rozchodem a tvarem příčných řezů jednotlivých kolejnicových pásů.

Na základě provedeného měření dvojkolí vozidla MPV 22.01 a měření 2. traťové koleje v úseku Choceň–Zámrsrk byly provedeny výpočty kontaktní geometrie dvojkolí-kolej na 6-ti příčných řezech koleje.

Z charakteristik kontaktní geometrie dvojkolí-kolej a s pomocí vztahu (1) byla vypočítána pro každé dvojkolí vozidla MPV 22.01 ve všech 6-ti řezech koleje v úseku Choceň–Zámrsrk závislost teoretické délky vlny na amplitudě vlnivého pohybu volného dvojkolí v přímé koleji.

3.2 Výpočet podélných vůlí vázaného dvojkolí při vlnivém pohybu v přímé koleji

Na charakteru vlnivého pohybu v přímé koleji závisí i okamžitý úhel náběhu dvojkolí α , který je logicky největší při vystředěné poloze dvojkolí vůči ose koleje. Naopak při dosažení amplitudy vlnivého pohybu volného dvojkolí je úhel náběhu tohoto dvojkolí nulový (viz Obr. 3).

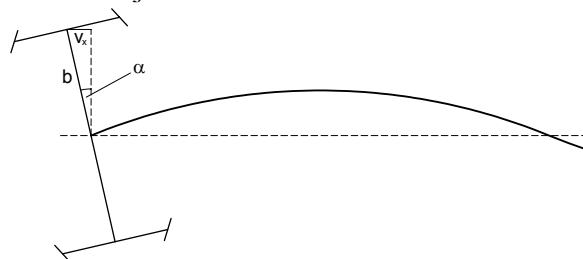
Na základě tohoto okamžitého úhlu náběhu lze vztahu vypočítat potřebnou podélnou vůli ve vedení dvojkolí (v případě dvojkolí zavázaného v rámu vozidla), která by umožnila takovou volnost dvojkolí, aby mohlo v rámci těchto vůlí vykonávat vlnivý pohyb:

$$v_x = b \cdot \operatorname{tg} \alpha. \quad (4)$$

kde v_x ... podélná vůle ve vedení dvojkolí potřebná k rozvinutí vlnivého pohybu dvojkolí,

b ... polovina vzdálenosti ložiskových čepů nápravy,

α ... úhel náběhu dvojkolí.



Obr. 3 Odvození podélné vůle potřebné k vlnivému pohybu dvojkolí v přímé koleji

Výraz $\operatorname{tg} \alpha$ je směrnice tečny křivky vlnivého pohybu v počáteční fázi, kdy $x_d = 0$. Potom tedy platí:

$$\operatorname{tg} \alpha = y_d (x_d = 0) . \quad (5)$$

Obecná 1. derivace rovnice vlnivého pohybu volného dvojkolí v přímé koleji je:

$$y_d = y_0 \cdot \sqrt{\frac{\lambda_{ekv}}{s \cdot r}} \cdot \cos \left(\sqrt{\frac{\lambda_{ekv}}{s \cdot r}} \cdot x_d \right) . \quad (6)$$

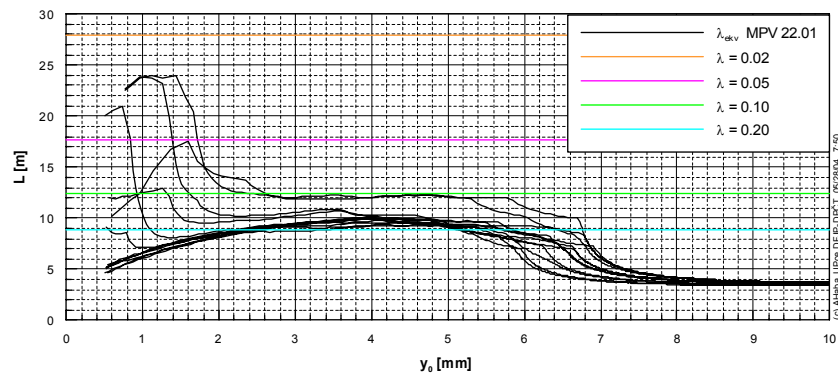
Rovnice (6) vyjadřuje směrnici tečny vlnivého pohybu a v počátku (pro $x_d = 0$) bude závislá pouze na amplitudě tohoto pohybu a na ekvivalentní kuželovitosti podle vztahu:

$$y_d(x_d = 0) = y_0 \cdot \sqrt{\frac{\lambda_{ekv}}{s \cdot r}} = f(y_0) . \quad (7)$$

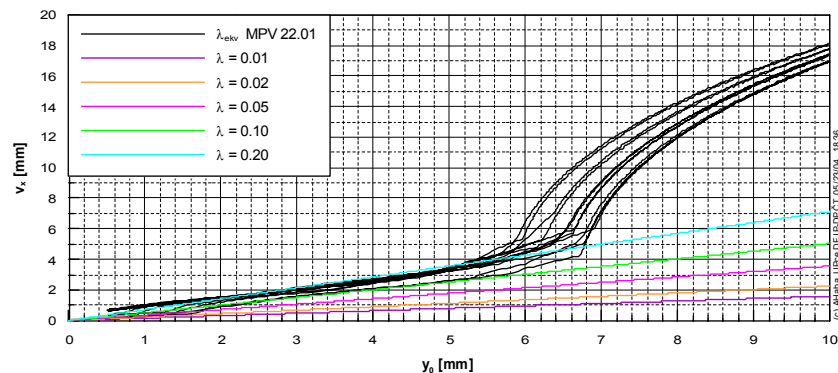
Potom podélná vůle, která umožňuje dvojkolí ve vedení rozvinout vlnivý pohyb bez kontaktu na vodící plochy rozsochového vedení, se vypočítá podle následujícího vztahu (viz Obr. 3):

$$v_x = b \cdot y_0 \cdot \sqrt{\frac{\lambda_{ekv}}{s \cdot r}} . \quad (8)$$

Na Obr. 4 jsou shrnuty výsledky výpočtů délky vlny v závislosti na amplitudě vlnivého pohybu a na Obr. 5 jsou výsledky výpočtů podélné vůle ve vedení dvojkolí v závislosti na amplitudě vlnivého pohybu. Navíc jsou zde ještě zobrazeny závislosti těchto vůlí pro kuželový jízdní obrys s konkrétními zvolenými hodnotami kuželovitostí.



Obr. 4 Závislost délky vlny na amplitudě vlnivého pohybu dvojkolí v přímé koleji



Obr. 5 Závislost podélné vůle potřebné k vlnivému pohybu dvojkolí na amplitudě tohoto pohybu

4. Návrh úpravy vedení dvojkolí MPV 22

Na rekonstruovaném vozidle MPV 22.01 bylo pracovníky TSS Hradec Králové provedeno v únoru 2004 měření vůlí ve vedení dvojkolí (viz *Tab. 1*):

Tab. 1 Měřené vůle v rozsochovém vedení dvojkolí MPV 22.01

	podélné vůle		příčné vůle	
	levá strana	pravá strana	levá strana	pravá strana
1. dvojkolí	7,5 mm	8,0 mm	5,0 mm	5,0 mm
2. dvojkolí	6,5 mm	7,0 mm	6,0 mm	5,0 mm

Podélné vůle v rozsochovém vedení dvojkolí vozidla MPV 22.01 v hodnotách $6,5 \div 8,0$ mm a absence jakéhokoliv tlumení pohybu dvojkolí umožňují na koridorových úsecích tratí (charakterizovaných výbornou GPK) rozvinutí přirozeného vlnivého pohybu téměř volného dvojkolí v rámu vozidla, jehož důsledkem je vyčerpání podélných vůlí mezi ložiskovou skříní a rámem vozidla.

Po vyčerpání podélných vůlí následují tvrdé nárazy ložiskových skříní na rozsochu, tím vozidlo dostává pravidelné impulzní síly, v důsledku kterých se celé vozidlo rozkmitá a jede v přímé koleji velmi neklidně. Tento neklidný pohyb není v důsledku absence tlumicích sil ničím tlumen. Ve vypružení použítá pružnice působí vzhledem k vysoké tuhosti jen jako ocelový trámec bez schopnosti tlumení. Svislé vypružení vozidla je tak realizováno pouze prostřednictvím vinutých pružin (viz *Obr. 6*).



Obr. 6 Rozsochové vedení a vypružení dvojkolí vozidla MPV 22

Na základě teoretického rozboru pohybu volného dvojkolí a na základě změřených vůlí ve vedení dvojkolí byla navržena jedna ze základních úprav ve vedení dvojkolí a to vymezení podélných vůlí v rozsochovém vedení dvojkolí na hodnoty $0,5 \div 0,8$ mm.

Pro ověření správnosti navrhované konstrukční úpravy v rozsochovém vedení vozidla byla v rámci spolupráce s TSS Hradec Králové provedena dvě měření zrychlení na ložiskových skříních dvojkolí a to před navrhovanou úpravou a po provedené úpravě ve vedení dvojkolí. Měření bylo provedeno v traťovém úseku Česká Třebová – Pardubice.

5. Měření zrychlení na dvojkolí vozidla MPV 22

Při měření byly při měřicí jízdě umístěny snímače zrychlení na ložiskových skříních vozidla následujícím způsobem:

1. příčné zrychlení na ložiskové skříně pravého kola 1. dvojkolí - y..11,
2. svislé zrychlení na ložiskové skříně pravého kola 1. dvojkolí - z..11,
3. příčné zrychlení na ložiskové skříně pravého kola 2. dvojkolí - y..21,
4. svislé zrychlení na ložiskové skříně pravého kola 2. dvojkolí - z..21.

Měřicí systém, který byl využíván při měření zrychlení na ložiskových skříních vozidla, je založen na digitální technologii firmy HBM. Hlavní součástí měřicího řetězce je měřicí ústředna DMC Plus Hottinger. Jedná se o plně digitální měřicí systém spolupracující s PC prostřednictvím sběrnice GPIB-USB 2.0. Celý proces měření i záznam naměřených dat je řízen a realizován příslušným softwarem - Catman32 verze 4.52 (HBM). Měřicí systém DMC Plus umožňuje 18-kanálové měření ve statickém a dynamickém režimu, přičemž je možno využít vzorkovací frekvence až 9600 Hz. Měřicí systém umožňuje využít on-line i off-line digitální zpracování měřených signálů.

V průběhu měření jsou data v digitální formě zaznamenávána na harddisk řídicího počítače, výstupem programového vybavení Catman32 jsou naměřená data ve formě ASCII souboru. Catman32 kromě této základní funkce umožňuje i následnou digitální filtraci signálů i analýzu naměřených dat v časové i frekvenční oblasti, jedná se zejména o výpočet výkonové spektrální hustoty signálů. Výstupní ASCII formát naměřených dat umožňuje jejich následné zpracování libovolným softwarem (v našem případě programovým systémem LabView).

Pro účely analýzy naměřených signálů zrychlení byla použita vzhledem k charakteru dynamického děje vzorkovací frekvence 1200 Hz. Takto uložené signály měřeného zrychlení byly následně zpracovávány.

Po důkladné analýze naměřených signálů byla pro účely porovnání obou měření stanovena frekvence filtrování 100 Hz s filtrem typu dolní propust. Při této úrovni filtru jsou odstraněny parazitní vysoké frekvence a zároveň jsou zachovány naměřené špičky impulsů kmitavého pohybu vozidla při měření před navrhovanou úpravou ve vedení dvojkolí.

Pro hodnocení jízdních vlastností podle metodiky vyhlášky UIC 518 byly pak výsledky měření ještě filtrovány 20 Hz.

Z jednotlivých měřených úseků při jízdě vozidla z České Třebové do Pardubic a zpět byly vybrány vždy 500 metrové úseky různého charakteru. Jednotlivé záznamy jsou zobrazeny v podobě průběhu signálu jednotlivých snímačů v závislosti na ujeté dráze (ta byla stanovena výpočtem z rychlosti jízdy lokomotivy a časové základny měřicí ústředny). Ze všech signálů zrychlení ve vyhodnocovaných 500 metrových úsecích byla provedena frekvenční analýza (spektrální výkonová hustota zrychlení). Vše je prezentováno zvlášť pro obě měření, tj. před úpravou a po úpravě ve vedení dvojkolí.

5.1 Měření před navrhovanou úpravou ve vedení dvojkolí

Na úseku trati 1. koridoru Česká Třebová – Pardubice bylo dne 8.4.2004 provedeno měření zrychlení na ložiskových skříních vozidla MPV 22.01 s původní konstrukcí vedení dvojkolí.

Při jízdě vozidla MPV 22.01 došlo před úpravou ve vedení dvojkolí v přímé koleji koridorového typu k výraznému neklidnému chodu vozidla projevujícím se v rozkmitání celého vozidla s frekvencí kmitů cca $1,5 \div 1,6$ Hz při rychlosti 80 km/h (viz Obr. 7). Při

analýze videozáznamu vedení dvojkolí z měření je patrné, že dvojkolí vlivem velkých podélných vůlí vykonává vlnivý pohyb a po vyčerpání těchto vůlí ložisková skříň v pravidelných intervalech naráží na rozsochu. Zajímavé je, že zmíněné vyčerpání podélných vůlí se děje pouze na jedné straně rozsochového vedení, na druhé straně již nedochází k tak intenzivním nárazům (zřejmě vlivem působení hnacího krouťícího momentu). Vlivem těchto nárazů se pak celé vozidlo rozkmitá do velmi neklidného chodu. Na základě výše uvedeného lze z průběhů naměřeného signálu identifikovat zřetelné rázy vzniklé nárazem ložiskové skříně na jednu stranu rozsochového vedení a rovněž jsou patrné mnohem menší zvlnění signálu při nevyčerpání vůlí na druhé straně rozsochového vedení dvojkolí. Z teorie vlnivého pohybu volného dvojkolí v přímé koleji pak můžeme usoudit, že vzdálenost rázů na jedné straně rozsochového vedení je rovna délce vlny pohybu částečně volného dvojkolí v přímé koleji. Z vyhodnocených dat je patrné, že délka vlny pohybu částečně volného dvojkolí je cca 12÷14 m. Délka vlny vypočtená na základě měření jízdních obrysů dvojkolí a příčných profilů kolejnicových pásů v daném úseku koleje a následných výpočtů kontaktní geometrie dvojkolí-kolej je však závislá na amplitudě tohoto pohybu. Tato závislost je vyobrazena na Obr. 4. Při pohledu na tuto závislost můžeme usoudit, že teoretické volné dvojkolí může při určitých amplitudách vlnivého pohybu dosáhnout vlnové délky, která byla vypočtena na základě měření reálných dvojkolí. Dvojkolí s rozsochovým vedením takového typu se skutečně chová jako téměř volné, při jízdě v koleji s dokonalou GPK není ničím tlumené a svým pohybem vybuzuje při vyšších rychlostech neklidný chod celého vozidla.

5.2 Měření po úpravě ve vedení dvojkolí

Ze všech vyhodnocovaných průběhů měřených zrychlení je patrné, že po úpravě ve vedení dvojkolí vymezením podélných vůlí rozsochového vedení došlo na koridorových úsecích tratě zcela zásadně k uklidnění chodu dvojkolí v rozchodovém kanále koleje a tím i ke zcela zásadnímu uklidnění chodu celého vozidla (viz Obr. 8). Po odfiltrování signálů zrychlení frekvencí 20 Hz se jedná o nepatrné hodnoty zrychlení nepřesahující hodnotu v příčném směru $1,5 \text{ m/s}^2$, v podélném směru nepřesahující hodnotu zrychlení $1,0 \text{ m/s}^2$ a ve svislém směru jen ojediněle byla překročena hodnota 2 m/s^2 . Z frekvenčních analýz signálů zrychlení není patrná žádná dominantní frekvence pohybu, jedná se ve všech případech o téměř monofrekvenční děje.

Bylo provedeno i měření zrychlení při rychlosti jízdy vozidla 90 km/h. Ani při této rychlosti jízdy nedošlo k žádnému rozkmitání dvojkolí ani skříně vozidla. I při této rychlosti jízdy se jedná na koridorových úsecích tratě o zcela klidný chod.

6. Vyhodnocení měření zrychlení dle metodiky UIC 518

Ve vyhlášce UIC 518 (2. vydání) [4] a ve vyhlášce prEN 14363 [5] je uvedeno měření příčných zrychlení na dvojkolí při zjednodušeném postupu pro nápravová vozidla (bezpodvozková), přičemž se na základě tohoto měření zjišťuje bezpečnost chodu vozidla. Mezní hodnota pro příčné zrychlení na dvojkolí není v těchto vyhláškách uvedena. Nestabilita chodu vozidla je posuzována na základě měření příčných zrychlení na rámu vozidla.

Protože nebylo prováděno měření zrychlení na rámu vozidla, hodnocení neklidného chodu je provedeno jen na základě měření zrychlení na dvojkolí (neodpružená hmota vozidla). Z výsledků frekvenční analýzy měřených signálů zrychlení na ložiskových skříních v příčném

směru vyplývá, že před provedenou úpravou v rozsochovém vedení se dvojkolí na všech úsecích koridorové tratě výrazně rozkmitalo frekvencí $1,5 \div 1,6$ Hz. Tento neklidný pohyb dvojkolí měl za následek rozkmitání celého vozidla stejnou frekvencí, což bylo zjištěno i vyhodnocením videozáznamů pořizovaných na stanovišti strojvedoucího při měřicích jízdách. K rozkmitání celého vozidla docházelo již při překročení rychlosti jízdy nad 70 km/h. Tato dominantní frekvence $1,5 \div 1,6$ Hz se vyskytuje ve všech vyhodnocovaných signálech zrychlení na dvojkolí měřených před provedenou úpravou ve vedení dvojkolí.

Na základě výše uvedeného lze vyslovit závěr, že hodnota frekvence $1,5 \div 1,6$ Hz je frekvencí kritickou, při které vozidlo vykazuje zcela neklidný chod. Tento názor podporuje i porovnání s kritériem nestability uvedeným v UIC 518 [4], hodnoceným na základě měření příčných zrychlení na rámu vozidla.

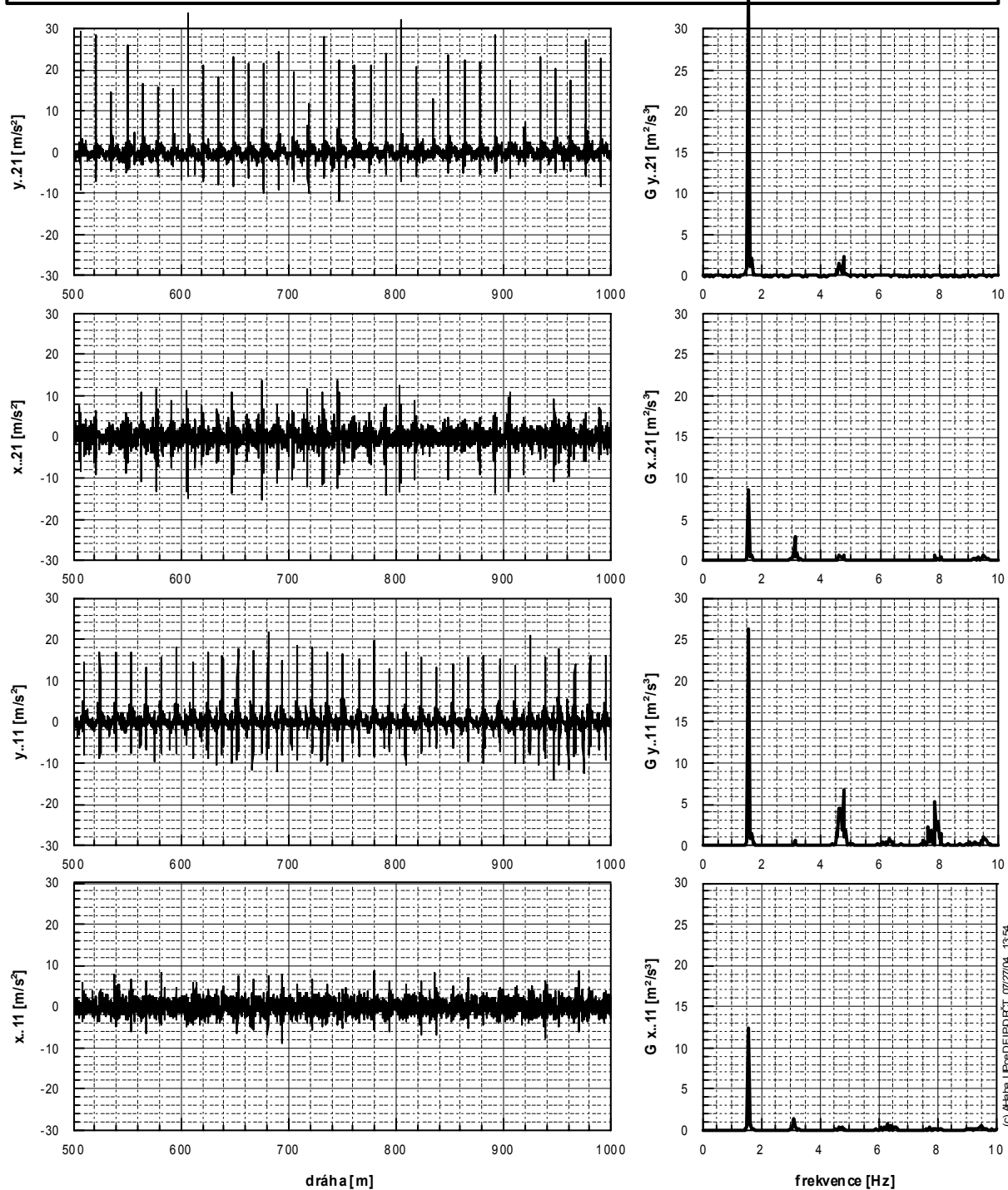
Dále bylo pro porovnání velikosti dosahovaných zrychlení při měření před úpravou vůlí ve vedení dvojkolí a po úpravě provedeno vyhodnocení signálů zrychlení následujícím způsobem:

- byly vyhodnocovány signály měřených zrychlení v příčném a svislém směru filtrované frekvencí 20 Hz,
- na základě statistického hodnocení měřených úseků tratí v délce 250 m byly vypočteny kvantily charakterizující maximální dosahované hodnoty zrychlení (0,15 % a 99,85 % kvantil),
- z příslušných kvantilů zrychlení byla vypočtena střední hodnota a směrodatná odchylka zrychlení, jednotlivé hodnoty jsou uvedeny v *Tab. 2*. Na *Obr. 9* je celkové zhodnocení dosahovaného zrychlení v příčném a svislém směru měřeném na ložiskových skříních vozidla.

Ze statisticky zpracovaných výsledků měření uvedených v *Tab. 2* je možné konstatovat:

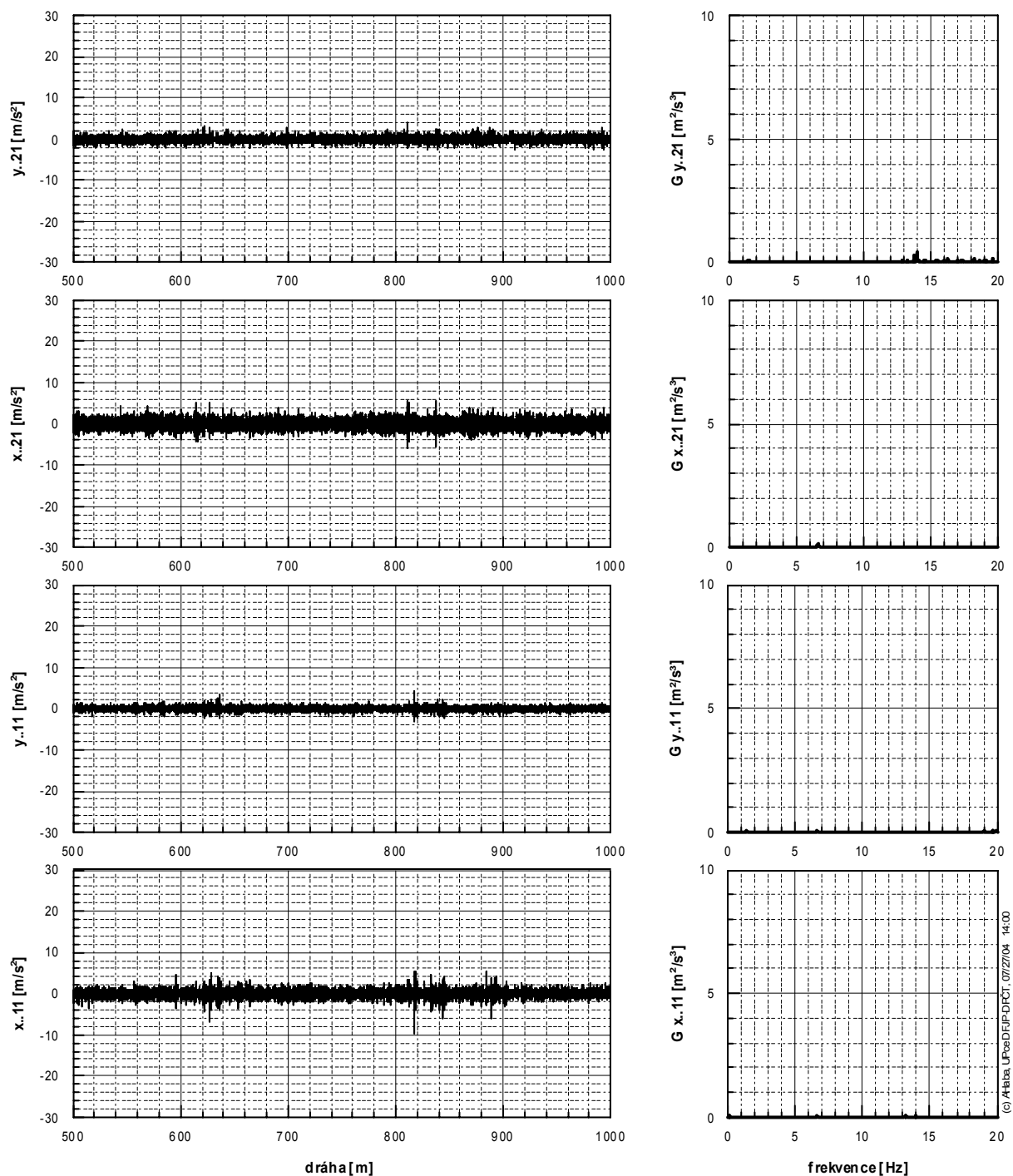
- Neklidný chod vozidla MPV 22 je charakterizován příčným rozkmitáním dvojkolí s dosahovaným zrychlením $3,6 \div 4,1$ m/s². Směrodatná odchylka tohoto zrychlení je $0,5 \div 1,2$ m/s².
- Po provedené úpravě ve vedení dvojkolí došlo zcela k uklidnění chodu dvojkolí i celého vozidla. Velikost příčných zrychlení na dvojkolí dosahovaných při rychlosti jízdy 80 km/h se zmenšily téměř na jednu čtvrtinu, t.j. $1,0 \div 1,1$ m/s². Směrodatná odchylka těchto zrychlení se také výrazně snížila a to na hodnotu 0,3 m/s².
- Při zvýšení rychlosti jízdy na 90 km/h se hodnoty příčných zrychlení nezvýšily ($0,7 \div 1,2$ m/s², směrodatná odchylka 0,2 m/s²), což svědčí o zcela klidném chodu dvojkolí a tedy i celého vozidla při této rychlosti.
- Hodnoty dosahovaných svislých zrychlení se úpravou ve vedení dvojkolí nezměnily, při zvýšení rychlosti jízdy na 90 km/h došlo k mírnému poklesu hodnot zrychlení a nárůstu směrodatné odchylky těchto zrychlení.

Dopravní fakulta JP AL DFJP - SP4 Univerzita Pardubice	MPV 22.01 výsledky měření zrychlení - <i>před úpravou vedení dvojkolí</i>	Příloha č. Obr. 7 List č. Zpráva č.
Průběhy a frekvenční analýza signálů zrychlení na ložiskových skříních		
Traťový úsek: Pardubice - Česká Třebová Kolej: 1 Směr: Česká Třebová Lokalita: přímá v úseku Pardubice - Kostěnice (UIC 60, 1:40, lots 136)		Datum: 08. 04. 2004 Vozidlo: MPV 22.01 Rychlost: 80 km/h Číslo měření: M 05 (filtr 100 Hz)



Obr. 7 Výsledky měření zrychlení před úpravou vedení dvojkolí

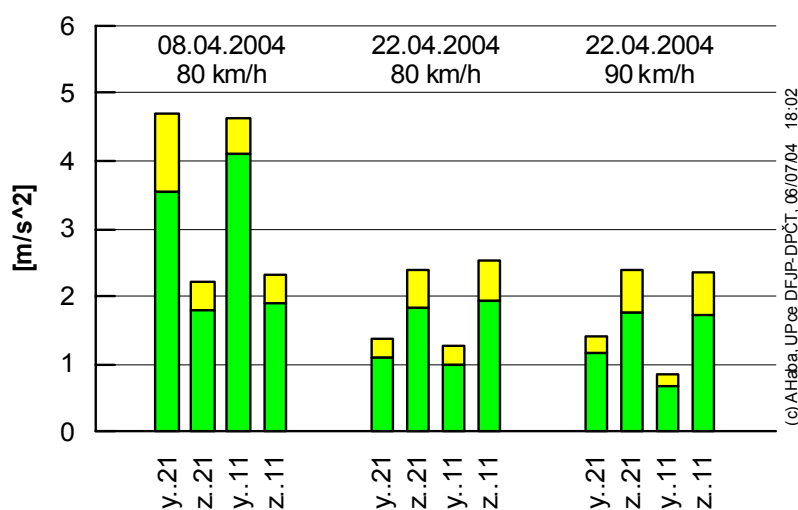
Dopravní fakulta JP AL DFJP - SP4 Univerzita Pardubice	MPV 22.01 výsledky měření zrychlení - <i>po úpravě vedení dvojkolí</i>	Příloha č. Obr. 8 List č. Zpráva č.
Průběhy a frekvenční analýza signálů zrychlení na ložiskových skříních		
Traťový úsek: Pardubice - Česká Třebová Kolej: 1 Směr: Česká Třebová Lokalita: přímá v úseku Pardubice - Kostěnice (UIC 60, 1:40, lots 136)		Datum: 22. 04. 2004 Vozidlo: MPV 22.01 Rychlost: 80 km/h Číslo měření: M 16 (filtr 100 Hz)



Obr. 8 Výsledky měření zrychlení po úpravě vedení dvojkolí

Tab. 2 Vyhodnocení dosahovaného zrychlení na ložiskové skříni vozidla

	před úpravou rychlost 80 km/h		po úpravě rychlost 80 km/h		po úpravě rychlost 90 km/h	
	střední hodnota m/s ²	směrodatná odchylka m/s ²	střední hodnota m/s ²	směrodatná odchylka m/s ²	střední hodnota m/s ²	směrodatná odchylka m/s ²
y..11	4.10	0.54	0.98	0.27	0.66	0.19
y..21	3.55	1.15	1.11	0.27	1.17	0.24
z..11	1.90	0.41	1.94	0.58	1.74	0.63
z..21	1.81	0.41	1.84	0.54	1.75	0.62



Obr. 9 Vyhodnocení dosahovaného zrychlení na ložiskové skříni vozidla

7. Závěr

Na základě teoretického rozboru a na základě vyhodnocení měření zrychlení na ložiskových skříních vozidla MPV 22.01 lze vyslovit tyto závěry:

- Motorový pracovní vůz MPV 22 s rozsochovým vedením dvojkolí s vůlemi v podélném směru **6÷8 mm** vykazuje na koridorových tratích typický neklidný chod způsobený pohybem téměř volného dvojkolí v rámu vozidla bez jakéhokoliv tlumení.
- Tento děj je charakterizovaný rozvinutím přirozeného vlnivého pohybu volného dvojkolí v přímé koleji s výbornou geometrickou polohou koleje (koridorová trať), jehož důsledkem je velmi rychlé vyčerpání podélných vůlí mezi ložiskovou skříní a rámem vozidla.
- Následují tvrdé nárazy ložiskových skříní na rozsochu, tím vozidlo dostává pravidelné impulzní síly, v důsledku kterých se celé vozidlo rozkmitá a jede v přímé koleji velmi neklidně. Tento neklidný pohyb není v důsledku absence tlumících sil ničím tlumen. Ve vypružení použita pružnice působí vzhledem k vysoké tuhosti jen jako ocelový trámec bez schopnosti tlumení. Svislé vypružení vozidla je tak realizováno pouze prostřednictvím vinutých pružin.

- Na základě výše uvedených skutečností bylo navrženo konstrukční opatření, kterým se vymezily podélné vůle ve vedení dvojkolí na hodnotu $0,5 \div 0,8$ mm. Teoretickým výpočtem byl proveden rozbor pohybu dvojkolí, které při takto stanovených podélných vůlích nebude mít možnost rozvinout periodický vlnivý pohyb a tím dát impuls k rozkmitání celého vozidla.
- Jízda vozidla s vymezenými podélnými vůlemi je zcela klidná, nedochází k žádnému periodickému pohybu dvojkolí, který by vedl k rozkmitání celého vozidla. Průběhy zrychlení vykazují jen impulzy vyvolané lokálními nerovnostmi.
- Výsledky frekvenční analýzy průběhů zrychlení svědčí o monofrekvenčním ději bez jakékoliv výraznější frekvence.
- Jedná se tedy o zcela klidný chod vozidla.
- V úseku trati Kostějnice – Moravany byla provedena jízda rychlostí 90 km/h, výsledky měření zrychlení svědčí o zcela klidném chodu vozidla.

Na základě výše uvedených skutečností je možno konstatovat, že po provedených úpravách v rozsochovém vedení dvojkolí je motorový pracovní vůz MPV 22 způsobilý provozu na koridorových tratích bez náchylnosti k neklidnému chodu pro rychlost 90 km/h.

Literatura

- [1] Izer J. a kol.: *Vozidlo a kolej na modernizovaných železničních tratích*. Výzkumné zprávy z jednotlivých etap řešení projektu MD ČR S403/310/001/096. Univerzita Pardubice, Dislok. pracoviště DFJP. Česká Třebová, 1996-2000.
- [2] Izer J.; Zelenka J.: *Charakteristiky kontaktní geometrie*. Scientific papers of the University of Pardubice, Pardubice, 1996, str. 39-62.
- [3] Zelenka, J.: *Geometrické charakteristiky systému dvojkolí-kolej vybraných vozidel ČD*. Habilitační práce. Univerzita Pardubice, 1999.
- [4] *UIC-KODEX 518 VE: Fahrtechnische Prüfung und Zulassung von Eisenbahnfahrzeugen - Fahrsicherheit, Fahrwegbeanspruchung und Fahrverhalten*, 2. Ausgabe, Januar 2003.
- [5] *prEN 14363: European standard, Technical Committee CEN/TC 256*, June 2002.
- [6] Zelenka, J. a kol.: *Jízdní vlastnosti motorového pracovního vozu MPV 22*. Výzkumná zpráva č. AL DFJP-SP4-01/04, Zkušební laboratoř AL DFJP, Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera, Specializované pracoviště SP4, Dislokované pracoviště DFJP, Česká Třebová, červen 2004.