

Dynamické vlastnosti kolejového roštu s Y pražci

Článek je věnován analýze chování kolejového roštu s Y pražci pod dynamickým zatížením od vlakových souprav na regionálních tratích v České republice. Základním cílem měření pražců Y v koleji bylo ověření přenosu svislého, podélného a příčného zatížení do kolejového lože, a s tím souvisejících posunů kolejového roštu. Současně byla realizována analýza přenosu vibrací do kolejového roštu a do kolejového lože. Celkové chování kolejového roštu s Y pražci bylo srovnáno s klasickou konstrukcí kolejnic upevněných k příčným betonovým pražcům. Realizovaná měření poskytla podklady pro matematické modelování. Závěr obsahuje zhodnocení a doporučení pro praxi.

Předmětem hlavních toků investičních prostředků do železniční infrastruktury České republiky se v průběhu devadesátých let minulého století staly především dálkové tratě s významným podílem mezinárodní dopravy, tzv. tranzitní železniční koridory. Regionální železnice byla doposud v tomto ohledu spíše zanedbávána. Sít regionální kolejové infrastruktury je přitom na území České republiky poměrně hustá. Dosahuje délky 3 200 km a dle poslední koncepce drážního správního úřadu je zřejmé, že i přes chystané rušení některých tratí dojde k jejímu znovuzřízení vlivem snížení současného počtu celostátních drah. Dříve či později tak bude muset být revitalizována na požadované technicko-provozní parametry a pro potřeby dopravní obslužnosti.

Charakteristikou regionálních drah bývá nižší traťová rychlost $V \leq 80 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$, přenos zatížení nápravovými tlaky do 20 t resp. nízké výsledné přepočtené provozní zatížení koleje (koleje 5. a 6. řádu). Tyto skutečnosti umožňují zavádět subtilnější komponenty do sestav železničního svršku, při zachování bezpečnostních, kvalitativních i komfortních parametrů koleje.

Alternativou k použití příčných kolejnicových podpor klasické konstrukce (tj. zpravidla betonových monoblokových pražců) je kolejový rošt s ocelovými pražci tvaru Y [6]. Pražce Y jsou v porovnání s příčnými pražci kratší, mají nižší konstrukční výšku a nižší hmotnost. Klíčovou výhodou je jejich vysoký příčný odpor. Ten může být v závislosti na příčném vysunutí pražce i více než dvojnásobný než odpor standardně používaných příčných betonových pražců [7]. Při zachování standardní šířky šterkového lože nebo jiných mimořádných opatření to umožňuje použití bezстыkové koleje i v méně příznivých poměrech. Při zúžení koruny kolejového lože by měly Y pražce zajistit srovnatelnou stabilitu bezстыkové koleje, jako kombinace betonových pražců a kolejového lože standardní šířky. Zúžený tvar kolejového lože navíc umožňuje zmenšení šířky pláňe tělesa železničního spodku. Podstatnou výhodou zúžené pláňe tělesa železničního spodku je možnost rekonstrukce regionálních tratí vedených v husté zástavbě, kde zřízení železničního spodku normových rozměrů není z hlediska prostorových poměrů možné. Další výhody kolejového roštu s pražci tvaru Y přináší použití v trati se stávající šířkou pláňe tělesa železničního spodku 6 000 mm. Zúžené kolejové lože zde přináší výraznou variabilitu při směrovém vyrovnání rekonstruované trasy v rámci zachování prostorové polohy pláňe tělesa železničního spodku. Možný radiální posun osy koleje se v takovém případě pohybuje kolem vzdálenosti cca $\pm 300 \text{ mm}$. Druhou možností je návrh většího poloměru směrového oblouku koleje při zachování tečnového polygonu, což může být zvláště efektivní při použití v obloucích o malém poloměru a malém středovém úhlu (tímto způsobem lze zlepšit hodnoty vybraných parametrů konstrukčního uspořádání koleje při zachování stejné traťové rychlosti nebo naopak).

ROZBOR DANÉ PROBLEMATIKY

Důležitým aspektem při rozhodování o výběru a použití nového konstrukčního prvku je teoretická analýza (modelování) podpořená laboratorními zkouškami na hotovém výrobku [1, 2]. U vybraných konstrukcí železničního svršku však ani laboratorní analýza nepřinese průkazné výsledky. Tehdy je nezbytné doplnit validační proces výrobku o měření in situ (v případě kolejového roštu tedy přímo na trati). Česká i evropská legislativa [3, 4, 5] v takovém případě vyžaduje dlouhodobé sledování testované konstrukce v minimálním trvání jednoho roku. Během této doby doporučuje průběžné sledování vybraných paramet-

rů a následně porovnání s referenční sestavou, která byla vložena do stejné koleje a ve stejném časovém období jako sestava testovaná.

Nejvěrněji lze parametry konstrukce definovat pomocí analýzy chování přímo pod dynamickým zatížením od vlakových souprav. Hodnocení dynamických účinků na železniční svršek příp. na jeho jednotlivé části je možné v zásadě rozdělit do tří základních oblastí:

- Analýzy posunů vyvolaných zatížením konstrukce,
- Analýzy šíření vibrací a jejich účinků na okolí trati,
- Analýzy silového působení a napětí v kolejovém roštu.

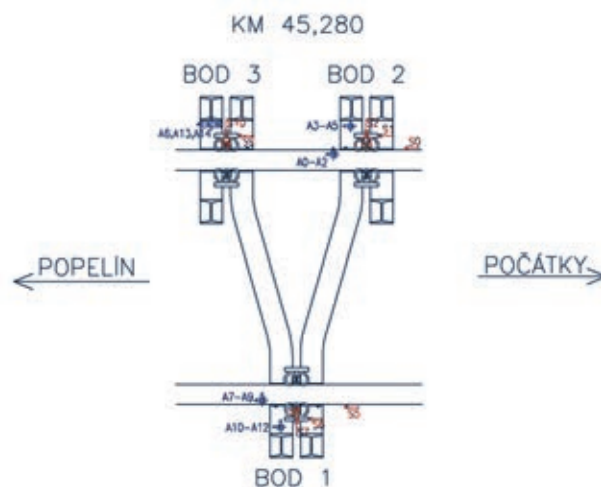
Jako nejvhodnější metody měření lze na základě předchozích úloh [9] doporučit přímé měření pohybu pražců relativně vůči pláni tělesa železničního spodku resp. měření zrychlení vibrací. V prvním případě je měřeno velikinou časový průběh výchylky kmitání na vybraných místech konstrukce kolejového roštu. V druhém případě je měřeno velikinou časový průběh zrychlení kmitání.

METODIKA MĚŘENÍ

Základním cílem měření bylo zjištění způsobu přenosu podélného, příčného a svislého zatížení od železniční dopravy do kolejového lože a s tím související posuny a vibrace kolejového roštu s ocelovými pražci tvaru Y v úseku s bezстыkovou kolejí a směrovým zakřivením. Pro účely experimentu byl vybrán kolejový rošt s Y pražci s rozevřením 650 mm. Konstrukce železničního svršku s Y pražci byla následně porovnána s referenčním kolejovým rostem s příčnými betonovými pražci. Vybrané sestavy železničního svršku vypadají následovně:

- **Ocelové Y pražce** – kolejnice UIC 60 (úklon 1:20), upevnění S 15, ocelový pražec Y (rozevření 650 mm), tvar kolejového lože,
- **Příčné betonové pražce** – kolejnice 60 E 1 (úklon 1:20), upevnění KS (svěrky Skl 12), betonový pražec SB 8P, tvar kolejového lože.

Při výběru měřicích stanišť rozhodovaly podmínky, aby sledované úseky tratě byly srovnatelné z hlediska geometrických parametrů koleje, traťové rychlosti, traťové třídy zatížení, řádu koleje a vztahu



Obr. 1 – Schéma uspořádání měřicího profilu ocelového pražce Y; KM 45,280

k okolnímu terénu, dále aby použitá konstrukce železničního svršku byla v totožné soustavě, srovnatelného stáří a v neposlední řadě také, aby v obou vybraných úsecích byla zřízena bezстыková kolej. Nakonec byly pro uskutečnění experimentu vybrány tyto úseky trati:

Ocelové Y pražce

Měřicí stanoviště leží v pravostranném oblouku jednokolejné celo-státní trati č. 225 v km 45,280 mezi železničními stanicemi Popelín a Počátky – Žirovnice. Směrový oblouk byl projektován jako kružnicový s následujícími parametry:

$R = 392 \text{ m}$; $V = 70 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$; $I = 48 \text{ mm}$; $n_1 = 9,72V$; $n_2 = 8,57V$; $D = 100 \text{ mm}$; $lp_1 = 68,05 \text{ m}$; $lp_2 = 60,04 \text{ m}$; $L_i = 131,71 \text{ m}$; *kubická parabola*;

Trať je zde vedena v zářezu, měřicí profil je vzdálen cca 45 m od železničního přejezdu silnice III. třídy a přibližně 10 m od trubního propustku. Trať sklonově stoupá +11,10 ‰ ve směru na Počátky – Žirovnice. Kolejový rošt s ocelovými pražci Y byl vložen v roce 2005, kdy zájmový úsek prošel kompletní rekonstrukcí. Trať je navržena pro traťovou třídu zatížení D4/70. Z hlediska provozního přepočteného zatížení pak hovoříme o koleji 4. řádu.

Příčné betonové pražce

Měřicí stanoviště leží rovněž v pravostranném oblouku totožné trati v km 38,120 mezi zastávkou Bednárec a výhybnou Kamenný Malíkov. Kružnicový oblouk má tyto parametry:

$R = 399 \text{ m}$; $V = 70 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$; $I = 60 \text{ mm}$; $n_1 = 9,41V$; $n_2 = 6,38V$; $D = 85 \text{ mm}$; $lp_1 = 56,00 \text{ m}$; $lp_2 = 38,00 \text{ m}$; $L_i = 360,19 \text{ m}$; *kubická parabola*;

Trať je zde vedena ve srovnatelném zářezu a vzdálenost měřicího stanoviště od nejbližší umělé stavby, tj. železničního přejezdu silnice II. třídy, je více než 300 m. Také v tomto případě trať stoupá, a sice +12,18 ‰ ve směru na Počátky – Žirovnice. Kolejový rošt s betonovými pražci SB 8P byl vložen v roce 2006 v rámci rekonstrukce daného úseku trati. Také tento úsek je navržen pro traťovou třídu zatížení D4/70 a z hlediska provozního přepočteného zatížení se jedná o kolej 4. řádu.

Výběr a umístění snímačů

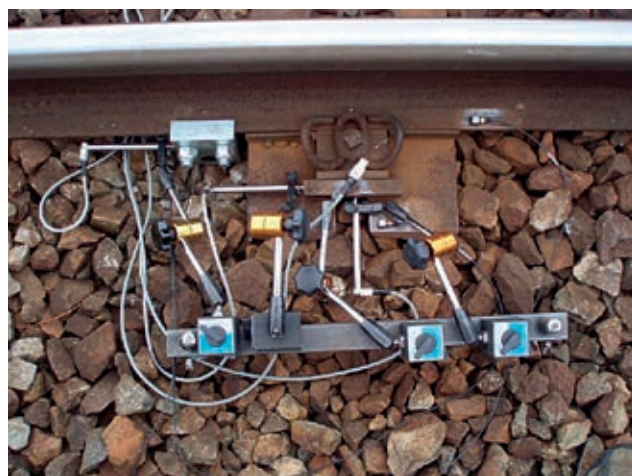
V návaznosti na předchozí měření [9] byly v rámci experimentu sledovány tyto veličiny (obr. 1 až 4):

- Podélné, příčné a svislé posuny kolejového roštu vyvolané účinky dynamického zatížení,
- Zrychlení vibrací od účinků kolejové dopravy v podélném, příčném a svislém směru.

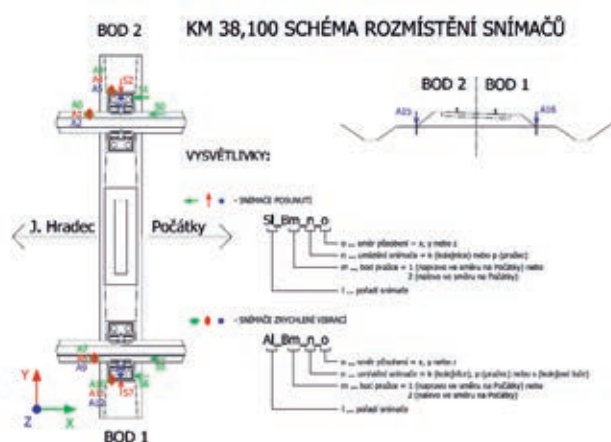
Snímače posunů kolejového roštu byly uchyceny přes magnetické držáky na speciální rámy. Rámy byly tvořeny dvěma ocelovými tyčemi zapuštěnými do konstrukčních vrstev tělesa železničního spodku a ocelovým příčnickem spojujícím obě tyče. Tímto způsobem byl vytvořen vtažný bod s nulovým posunem. Snímače posunutí byly umístěny pro podélný směr na speciálním přípravku upevněném k patě vnitřního i vnějšího kolejnicového pásu, u obou srovnávaných konstrukcí železničního svršku totožně. Snímače posunutí v transverzální rovině byly opřeny v případě pražce Y o příčná žebra umístěná na úložné ploše všech tří hlavových částí pražce. V případě betonového pražce byly tyto snímače zapřeny o hranu žebrové podkladnice na obou hlavách pražce. Snímače vertikálních posunů byly umístěny na příčných žebrech Y pražce v totožných místech jako snímače posunů příčných. U betonového pražce pak byly umístěny na horní ploše podkladnice v prostoru mezi vrtulemi na hlavách pražce. Celkově tak bylo použito v případě Y pražce jedenáct snímačů posunutí, z toho deset s odpruženým hrotem a jeden snímač s volným hrotem. V případě měření na betonovém pražci bylo pak použito

osm snímačů posunutí, všechny s odpruženým hrotem. Pro odizolování snímačů od vodivých částí srovnávaných konstrukcí byla mezi konstrukci a měřicí hrot snímače vložena destička z nevodivého materiálu. Tyto destičky byly přichyceny pomocí vteřinového lepidla k očištěným částem kolejového roštu. Každý kompletně přichystaný snímač délky byl před měřením kalibrován pomocí sady tzv. Johansonových kostek.

K měření zrychlení vibrací byly použity piezoelektrické snímače zrychlení kmitání (tzv. akcelerometry). Jednotlivé snímače byly uchyceny do plastových úchytek firmy Brüel & Kjær a přilepeny k očištěnému povrchu měřené konstrukce. Tříosé akcelerometry byly takto umístěny na patě kolejnice srovnávaných konstrukcí (co nejbližší k hlavovým stranám uzlů upevnění) a zároveň na hlavách pražců. Na jedno rameno rozvěvené části Y pražce byly osazeny tři jednoosé snímače zrychlení vibrací, pro každý sledovaný směr jeden. Odpovídající pata kolejnice zůstala z důvodu nedostatku volných kanálů měřicí základny bez snímačů. Celkově tak byly osazeny v případě pražce Y čtyři tříosé akcelerometry (dva snímače typu B&K 4524B001 na patě kolejnice a dva snímače typu B&K 4524-B na hlavě pražce) a tři jednoosé akcelerometry typu B&K 4507 B 004 na hlavě jednoho ramene pražce na rozvěvené straně (obr. 1 a 2). Dotčené akcelerometry spočívaly vždy na hlavních nosících pražce. V případě měření betonového pražce byly celkově na kolejovém roštu použity čtyři tříosé akcelerometry (typy stejné s prvním měřením) dle obr. 3 a 4. Všechny akcelerometry byly před použitím v koleji kalibrovány.



Obr. 2 – Osazení snímačů v koleji; ocelový pražec Y; měřicí bod 2



Obr. 3 – Schéma uspořádání měřicího profilu betonového pražce; KM 38,120

Měřicí řetězec

K současnému měření posunů i vibrací byla použita měřicí ústředna DEWE 2502. Záznamy byly ukládány na pevném disku přímo v ústředně. Rychlosti všech drážních vozidel v místě přejezdu přes experimentální stanoviště byly měřeny radarovým zařízením Buschnell 10-1900.

VYHODNOCENÍ ZÍSKANÝCH DAT

Charakteristiky vybraných vyhodnocovaných vlaků jsou přehledně shrnuty v tabulce 1. Pro účely tohoto článku byla srovnávána pouze referenční vozidla. Rozhodujícím kritériem pro výběr byl průjezdem vyvolaný nedostatek převýšení a maximální kolová síla, resp. uspořádání náprav vlakové soupravy.

Po provedeném rozboru problematiky a realizaci vlastního měření v terénu byly k analýze naměřených dat použity metody a parametry:

- Časového zobrazení průběhu zrychlení kmitání a pohybů kolejového roštu, dále výpis extrémů zrychlení kmitání a pohybů kolejového roštu a nakonec výpis efektivní hodnoty RMS zrychlení kmitání,
- Frekvenční analýzy s využitím průběhu amplitudového spektra (pro přechod z časové do frekvenční oblasti byl využit algoritmus Fourierovy transformace).

Pro jednoznačné určení chování kolejového roštu z analýzy posunů bylo nezbytné stanovit znaménkovou konvenci. Konvence byla zvolena následujícím způsobem:

- Minus (-): pohyb kolejnice nebo pražce podélně proti vlaku, příčně dovnitř oblouku, resp. svisle směrem dolů (pokles),
- Plus (+): pohyb kolejnice nebo pražce podélně ve směru vlaku, příčně vně oblouku, resp. svisle směrem nahoru (zdvih).

ANALÝZA DYNAMICKÉHO CHOVÁNÍ

VYBRANÝCH KONSTRUKCÍ KOLEJOVÉHO ROŠTU

K práci s naměřenými signály včetně vyhodnocení vibrací byl použit software měřicí ústředny DeweSoft a autory příspěvku vytvořený program VibroDiagRail.

Posuny

Z globálních extrémů (maxima, minima, viz tabulky 2 až 5) je zřejmé, že největších výchylek dosahuje kolejový rošt srovnávaných konstrukcí ve svislém směru. Y pražec v tomto ohledu vykazuje o něco horší vlastnosti, kdy svislé posuny vycházejí zpravidla výraznější. Maximální poklesy pražce Y lze vidět na hlavě nerozšířené části pražce (bod Y1, nepřevýšená strana koleje). Pohybují se v rozmezí $1,38 \div 2,11$ mm. Na rozevřené straně pražce vycházejí svislé poklesy menší, mnohdy až poloviční. Zde platí, že větší poklesy byly vždy znamenány v bodě Y3, tedy v místě ve směru klesání trati, bez ohledu na směru jízdy měřené soupravy. To může souviset s tíhovým zatížením kolejového roštu, ale i s mírou homogenity kolejového lože pod jednotlivými částmi ramen Y pražce. Maximální vertikální zdvihy Y pražce se vyskytují v intervalu $0,10 \div 0,29$ mm a jsou podobné na všech ramenech. U betonového pražce SB 8 lze maximální poklesy znamenat bez výjimky na hlavě pražce na nepřevýšené straně koleje. Tyto jsou v intervalu $1,39 \div 1,75$ mm. Na převýšené straně pak poklesy



Obr. 4 – Osazení snímačů v koleji; betonový pražec; pohled z měřicího bodu 1

vycházejí zhruba třetinové. Také zdvihy jsou i více než trojnásobné v měřicím bodě B1 (nepřevýšená část). Pohybují se v rozmezí $0,11 \div 0,39$ mm.

V případě podélných posunů lze vypořádat, že posuny kolejnice jsou vždy výraznější, než posuny pražce. Tento fakt vypovídá o pružně deformačních vlastnostech použitých typů upevnění. V posunech působícím proti směru jízdy vlaku vychází lépe kolejový rošt s Y pražci. Ve směru jízdy vlaků vykazuje srovnání posunů opačný charakter, lépe vychází betonové pražce. Tato skutečnost by mohla poukazovat na větší hmotnost betonových pražců a s ní související vyšší setrvačnou sílu konstrukce. Podélné posuny kolejnice se pohybují v rozmezí $0,03 \div 0,65$ mm (směr proti jízdě vlaku) resp. $0,05 \div 0,88$ mm ve směru jízdy vlaků. Podélné posuny pražce jsou pak v intervalech $0,00 \div 0,49$ mm (proti směru) resp. $0,01 \div 0,79$ mm (ve směru). Z chování pražce Y lze vysledovat tendenci, jakoby se vždy nechal strhnout průjezdem soupravy. Posuny ve směru jízdy vlaku jsou bez rozdílu vyšší než posuny proti. Betonové pražce vykazují opačné chování, jako kdyby byly postupně „nasávány“ blížící se soupravou, a to i směrem stoupání trati! Podotkneme, že pro potvrzení uvedeného jevu by bylo potřeba analyzovat více vzorků (statistické zpřesnění). Ani u jedné konstrukce není patrné, že by převýšená strana koleje byla více namáhána podélnými silami než nepřevýšená a naopak.

Z pohledu příčného namáhání jsou obě konstrukce pražců srovnatelné. Příčné posuny pražců jsou v rozmezí $0,01 \div 0,78$ mm. Z levé části grafů záznamů (grafy 1 a 2) je patrný větší silový účinek, a tedy větší příčný posun, vždy pod vodícím dvojkolím jednotlivých vozů soupravy R 662. Z obou grafů i tabulek globálních extrémů je názorně vidět, že zatímco nepřevýšená část pražců se pohybuje směrem do oblouku, převýšená část pražců vně oblouku. To by mohlo souviset s vypoulením úložné plochy pražce, způsobeným ohybem pražce přes jeho středovou část. Takový případ nastává obvykle v koleji za provozu, kdy pražec v kolejovém loži přestává být podepřen pouze v části svojí délky v mís-

Tabulka 1 – Výpis hodnocených vlaků a jejich charakteristiky

Y pražce					Betonové pražce SB8				
Čas	Hnací vozidlo	Kategorie vlaku	Délka [m]	Rychlost [km·h ⁻¹]	Čas	Hnací vozidlo	Kategorie vlaku	Délka [m]	Rychlost [km·h ⁻¹]
12:33	242+6v	R 662	163,44	73	13:34	242+4v	R 662	114,44	71
12:02	810	Os 8316	13,97	70	14:40	814+914	Os 8362	28,44	68
10:51	242+6v	R 660	163,44	68	11:40	242+5v	R 669	138,94	65
11:37	242+6v	R 669	163,44	63	14:27	242+5v	R 664	138,94	60
11:04	210+2v	Os 8317	44,60	53	13:16	210+2v	Os 8319	43,40	56
13:21	240+240+25v	N	X	30	12:16	240+240+25v	N	X	54

Tabulka 2 – Y pražec; minimální posuny

Vlak; rychlost [km . h ⁻¹]	Y pražec; minimální posuny [mm]										
	snímač S5, kolejnice, bod 1, podélně	snímač S6, pražec, bod 1, podélně	snímač S7, pražec, bod 1, příčné	snímač S8, pražec, bod 1, svisle	snímač S0, kolejnice, bod 2, podélně	snímač S1, pražec, bod 2, podélně	snímač S2, pražec, bod 2, příčné	snímač S3, pražec, bod 2, svisle	snímač S9, pražec, bod 3, podélně	snímač S10, pražec, bod 3, příčné	snímač S4, pražec, bod 3, svisle
R 662; 73	-0,04	-0,01	-0,26	-1,86	0,03	0,02	-0,12	-1,04	0,03	-0,04	-1,50
Os 8316; 70	-0,23	-0,20	-0,15	-1,38	-0,03	0,01	-0,04	-0,58	-0,08	-0,01	-1,08
R 660; 68	-0,13	-0,16	-0,18	-1,73	-0,14	-0,28	-0,30	-1,04	-0,03	-0,06	-1,34
R 669; 63	-0,44	-0,33	-0,26	-1,92	-0,06	0,04	-0,14	-0,94	-0,12	-0,05	-1,48
Os 8317; 53	-0,04	-0,05	-0,17	-1,75	-0,06	-0,03	-0,10	-0,82	0,00	-0,18	-1,14
N 13:21; 30	0,06	0,05	-0,27	-2,11	0,01	0,01	-0,11	-0,99	0,02	-0,08	-1,51

Tabulka 3 – Y pražec; maximální posuny

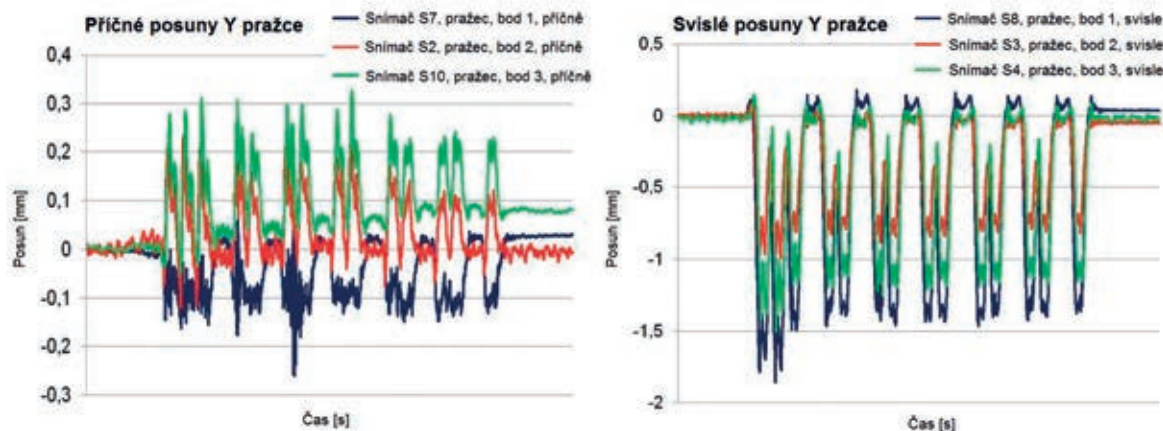
Vlak; rychlost [km . h ⁻¹]	Y pražec; maximální posuny [mm]										
	snímač S5, kolejnice, bod 1, podélně	snímač S6, pražec, bod 1, podélně	snímač S7, pražec, bod 1, příčné	snímač S8, pražec, bod 1, svisle	snímač S0, kolejnice, bod 2, podélně	snímač S1, pražec, bod 2, podélně	snímač S2, pražec, bod 2, příčné	snímač S3, pražec, bod 2, svisle	snímač S9, pražec, bod 3, podélně	snímač S10, pražec, bod 3, příčné	snímač S4, pražec, bod 3, svisle
R 662; 73	0,45	0,39	0,07	0,18	0,35	0,23	0,23	0,11	0,39	0,33	0,15
Os 8316; 70	0,18	0,08	0,04	0,22	0,10	0,13	0,20	0,29	0,08	0,20	0,26
R 660; 68	0,41	0,33	0,78	0,11	0,47	0,08	0,20	0,23	0,45	0,51	0,16
R 669; 63	0,38	0,31	0,13	0,17	0,46	0,49	0,34	0,11	0,46	0,37	0,16
Os 8317; 53	0,43	0,30	0,03	0,12	0,18	0,10	0,16	0,10	0,18	0,09	0,13
N 13:21; 30	0,88	0,79	0,20	0,13	0,65	0,58	0,24	0,18	0,65	0,22	0,29

Tabulka 4 – Betonový pražec; minimální posuny

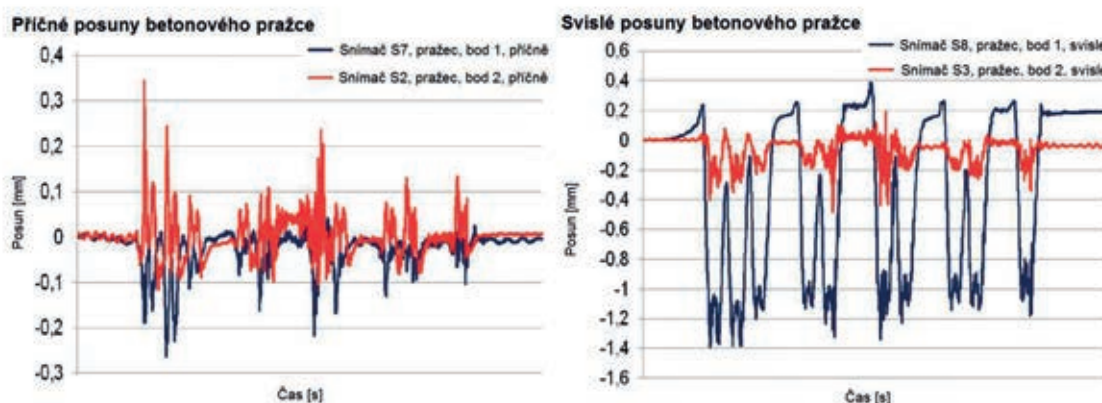
Vlak; rychlost [km . h ⁻¹]	Betonový pražec; minimální posuny [mm]								
	snímač S5, kolejnice, bod 1, podélně	snímač S6, pražec, bod 1, podélně	snímač S7, pražec, bod 1, příčné	snímač S8, pražec, bod 1, svisle	snímač S0, kolejnice, bod 2, podélně	snímač S1, pražec, bod 2, podélně	snímač S2, pražec, bod 2, příčné	snímač S3, pražec, bod 2, svisle	
R 662; 71	-0,39	-0,25	-0,26	-1,39	-0,28	-0,28	-0,12	-0,48	
Os 8362; 68	-0,06	-0,04	-0,19	-1,43	-0,08	-0,04	-0,04	-0,19	
R 669; 65	-0,65	-0,07	-0,24	-1,44	-0,13	-0,12	-0,22	-0,45	
R 664; 60	-0,23	-0,26	-0,35	-1,39	-0,14	-0,05	-0,09	-0,31	
Os 8319; 56	-0,17	-0,34	-0,26	-1,40	-0,18	-0,03	-0,06	-0,28	
N 12:16; 54	-0,06	-0,49	-0,40	-1,75	-0,21	-0,23	-0,21	-0,57	

Tabulka 5 – Betonový pražec; maximální posuny

Vlak; rychlost [km . h ⁻¹]	Betonový pražec; maximální posuny [mm]								
	snímač S5, kolejnice, bod 1, podélně	snímač S6, pražec, bod 1, podélně	snímač S7, pražec, bod 1, příčné	snímač S8, pražec, bod 1, svisle	snímač S0, kolejnice, bod 2, podélně	snímač S1, pražec, bod 2, podélně	snímač S2, pražec, bod 2, příčné	snímač S3, pražec, bod 2, svisle	
R 662; 71	0,24	0,12	0,07	0,39	0,13	0,17	0,34	0,19	
Os 8362; 68	0,36	0,24	0,04	0,27	0,14	0,04	0,13	0,05	
R 669; 65	0,05	0,25	0,13	0,11	0,21	0,10	0,26	0,03	
R 664; 60	0,08	0,12	0,04	0,35	0,16	0,12	0,11	0,07	
Os 8319; 56	0,09	0,01	0,04	0,17	0,17	0,12	0,11	0,06	
N 12:16; 54	0,06	0,16	0,04	0,24	0,22	0,16	0,26	0,07	



Graf 1 – Y pražec; R 662: lokomotiva 242 + 6 vozů; časový záznam posunů na pražci; příčný a svislý směr



Graf 2 – Betonový pražec; R 662: lokomotiva 242 + 4 vozy; časový záznam posunů na pražci; příčný a svislý směr

tech pod kolejnicovými pásy, jak je tomu dle teoretických předpokladů v období krátce po podbití. Dochází k podepření pražce v celé délce ložné plochy a s ní související změně působení vnitřních sil v pražci. Postupem času dochází vlivem působení nápravových tlaků ke ztrátě ostrohranosti a následné redistribuci zrn kolejového lože v oblastech počátečního podepření pražců. Neméně zajímavým poznatkem vyplývajícím z analýzy posunů jsou vyšší příčné pohyby vzdálenějšího ramene rozevřené části Y pražce z hlediska směru jízdy vlaků. Tato skutečnost napovídá o určitém kroucení pražce v horizontální rovině.

Vibrace

Tabulky 6 a 7 uvádějí efektivní hodnoty zrychlení vibrací RMS určené pro výřezy signálů odpovídající dané rychlosti a délce vlaku. Na základě těchto hodnot je patrné, že u Y pražce dochází k předpokládanému rozložení hmoty na rozevřené straně na přibližně dvě stejné poloviny. Ze srovnání obou konstrukčních typů lze konstatovat až dvojnásobně větší zrychlení příčných a svislých vibrací na kolejnici upevněné k betonovému pražci. Podélná zrychlení vibrací na kolejnici plus zrychlení působící ve všech třech sledovaných směrech na pražci však vycházejí pro kolejový rošt s betonovými pražci výrazně lépe. Jsou mnohdy až pětinásobně nižší než zrychlení na ocelovém pražci Y. Uvedené skutečnosti poukazují na výrazně horší tlumící schopnosti uzlu upevnění S15 použitého na Y pražci, což je dobře patrné ze srovnání RMS na kolejnici a na pražci ve stejném měřicím bodě.

Vzhledem k omezenému rozsahu článku byla k frekvenční analýze zrychlení vibrací obou konstrukcí vybrána pouze jedna vlaková souprava. Jedná se o rychlík R 662, který v obou případech projížděl sledova-

ným úsekem nejrychleji. Při průjezdu soupravy měřicími stanovišti by tak mělo vlivem nedostatku převýšení teoreticky dojít ke zvětšení zatížení vnějšího kolejnicového pásu nárůstem vodící a svislé kolové síly. Z tohoto důvodu byla pro účely vyhodnocení vybrána právě převýšená strana kolejového roštu. Bod Y2 na ocelovém pražci je přednostně vyhodnocen, protože v bodě Y3 nebyla akcelerometry osazena pata kolejnice. Frekvenční analýza je s ohledem k předchozím měřením provedena v pásmu frekvencí $0 \div 1\,000$ Hz. Vyšší frekvence než 1 000 Hz se projevují především ve formě hluku.

Z časového průběhu jízdy soupravy R 662 přes měřicí profil s Y pražci lze snadno definovat jednotlivé podvozky šesti osobních vozů i obě dvounápravy hnacího vozidla řady 242. V těchto místech jsou totiž podélné i všechny ostatní vibrace vyvolané účinky dynamického zatížení logicky největší. V extrémních případech dosahují hodnot až $150 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ (pata kolejnice), resp. $65 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ (hlava pražce). To je vzhledem k rychlosti vlaku a zkušenostem s jinými měřeními [10] poměrně hodně. Také efektivní hodnota podélných zrychlení kmitání RMS je vůči jiným typům železničního svršku v těchto místech a tomto směru působení nadprůměrná. Z hlediska časového průběhu se maximální zrychlení vibrací na kolejovém roštu s betonovými pražci pohybují okolo $80 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ (kolejnice), resp. $35 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ (pražec). Rozpoznání vozové skladby jedoucího vlaku je v tomto případě složitější, než u Y pražce. Z frekvenční analýzy uzlu upevnění je zřejmé, že v případě ocelového pražce se nejdůležitější složky podélného zrychlení kmitání nacházejí v pásmu frekvencí $500 \div 700$ Hz. Amplitudy zrychlení vibrací zde dosahují na kolejnici hodnot až $0,55 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$, na pražci pak hodnot cca $0,25 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$. V tomto okamžiku je nutné po-

znamenat, že se zrychlení vibrací s rostoucí frekvencí snižují jen nepatrně. V oblasti frekvence 1 000 Hz totiž dosahují amplitudy na kolejnici stále hodnot kolem $0,40 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ (na pražci cca $0,13 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$). Tyto kmitočty výrazně zasahují do nejlépe slyšitelného pásma lidského ucha a mohou tak umocnit subjektivní vnímání hlukové zátěže z trati. V případě betonového pražce se nejvýraznější kmitočtové složky nacházejí rovněž v pásmu $500 \div 700 \text{ Hz}$. Amplitudy dosahují v těchto místech maximálně $0,45 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ (kolejnice) a $0,35 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ (pražec). Hodnoty na pražci však mohou být výrazně ovlivněny jevem, který nastal v čase 1,5 s a jenž lze přisoudit jistě nestandardnosti v translačním pohybu zadní lokomotivní nápravy.

Vozová skladba vlakové soupravy je dobře identifikovatelná také z časových průběhů příčných zrychlení vibrací, a to jak na ocelovém pražci Y, tak i na betonovém pražci. Z pohledu extrémních hodnot zrychlení se obě konstrukce jeví jako srovnatelné. Na kolejnici dosahují tato zrychlení hodnot cca $120 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$, na pražci pak hodnot do $0,55 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ (Y pražec) resp. do $0,45 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ (betonový pražec). Tyto hodnoty, s přihlédnutím k aktuálnímu rychlostem a efektivním hodnotám zrychlení, nikterak nevybočují z běžného průměru [10]. Na základě frekvenční analýzy lze konstatovat lepší vlastnosti ocelového pražce. Ten dosahuje maximálních zrychlení vibrací v příčném směru na kolejnici v širokém pásmu frekvencí $400 \div 550 \text{ Hz}$ (cca $0,50 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$), na pražci pak v pásmu $300 \div 700 \text{ Hz}$ hodnot do $0,17 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$. Pro kolejový rošt s betonovými pražci lze z pohledu příčných vibrací v kolejnici stanovit jako charakteristické kmitočty $330 \div 400 \text{ Hz}$ ($0,80 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$) a $580 \div 680 \text{ Hz}$ ($1,00 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$). Na pražci jsou zásadní amplitudy rozdě-

leny do pásem kmitočtů cca $150 \div 250 \text{ Hz}$ resp. $800 \div 900 \text{ Hz}$. Ve vyšším frekvenčním pásmu se extrémní hodnoty amplitudového spektra blíží k $0,25 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$. Příčná zrychlení působící na vyšších kmitočtech kolem $1 000 \text{ Hz}$ jsou u obou konstrukcí srovnatelná.

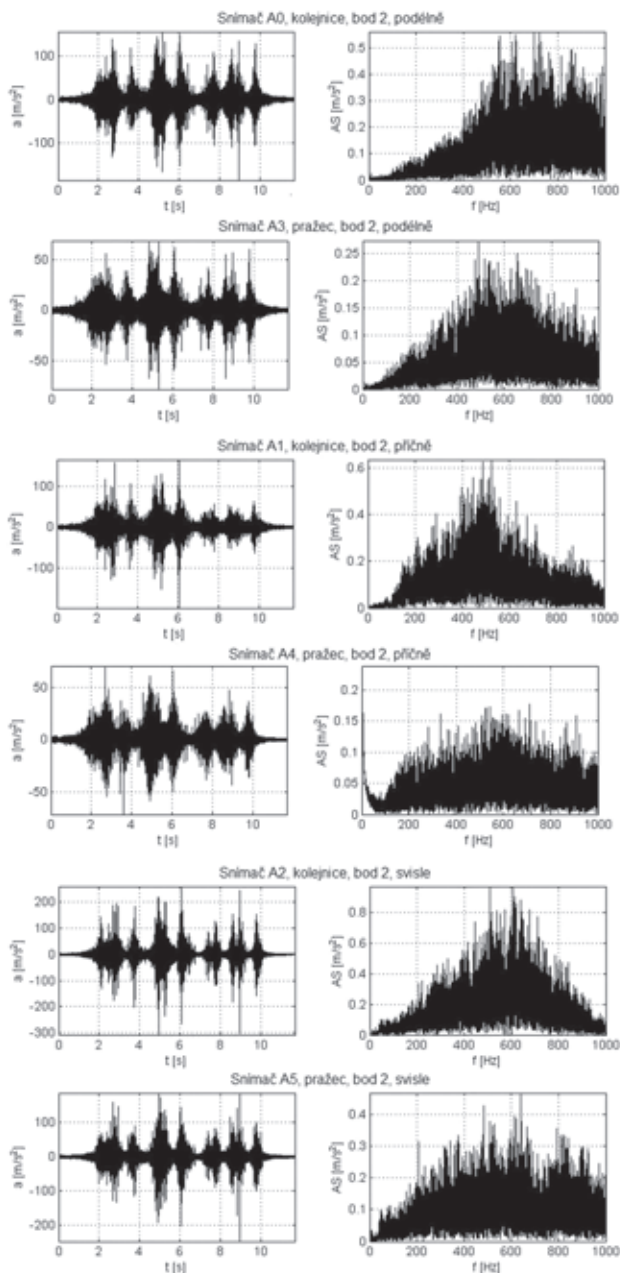
Nejvýrazněji se účinky dynamického namáhání kolejového roštu projevují standardně ve vertikální rovině působení. Zrychlení na kolejnici dosahují v případě konstrukce s Y pražci hodnot nad $200 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$, na pražci pak hodnot kolem $150 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$. Z hlediska frekvenční analýzy je amplitudové spektrum zrychlení kmitání na kolejnici nejvýraznější v oblasti $500 \div 630 \text{ Hz}$, kde amplitudy dosahují hodnot až $0,90 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$. Na pražci je pak dosahováno v totožném kmitočtovém pásmu hodnot až $0,40 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$. U konstrukce s betonovými pražci lze z časového průběhu vyčíst extrémní hodnoty zrychlení vibrací na kolejnici až $400 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ a na pražci asi $60 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$. Vysoké hodnoty odečtené z kolejnice lze na základě grafu (graf 4) přisoudit vlivu pokročilé poruchy křivosti oběžné plochy kola dvou či více náprav nacházejících se v zadní části vlakové soupravy. Tyto poruchy se pravděpodobně projevují také velikostmi amplitudového spektra kolejnice (zrychlení až $2,30 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$) při kmitočtech $550 \div 700 \text{ Hz}$ resp. zrychlení na pražci v hodnotách až $0,75 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ a pásmu frekvencí kolem 200 Hz . Přes zvýšené hodnoty zrychlení svislých vibrací na konstrukci s betonovými pražci je evidentní, že upevnění kolejnic s betonovými pražci vykazují lepší útlumové vlastnosti, než kolejnicové upevnění Y pražce. V této oblasti lze opět vyzdvihnout také amplitudy na frekvencích blízko $1 000 \text{ Hz}$, které jsou v případě Y pražce až desetinásobné ve srovnání s referenční konstrukcí s betonovými pražci.

Tabulka 6 – Y pražec; efektivní hodnoty zrychlení vibrací RMS

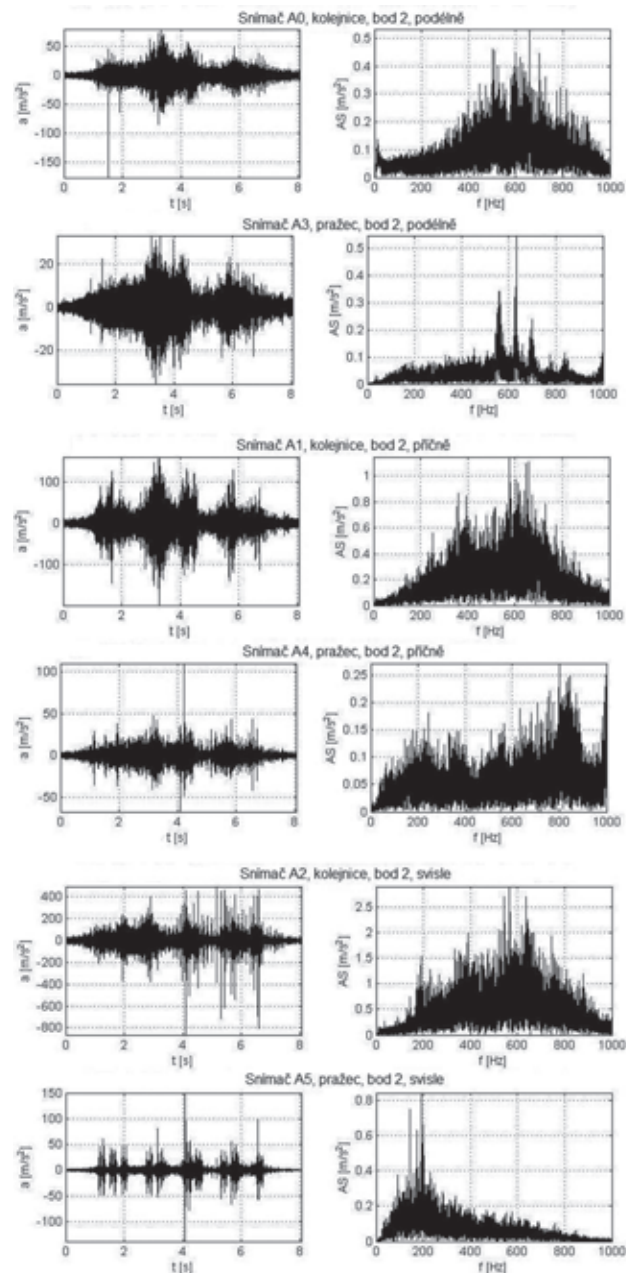
Měřicí bod	Y pražec; efektivní hodnota zrychlení vibrací RMS [$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$]					
	R 662	Os 8316	R 660	R 669	Os 8317	N 13:21
	V = $73 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$	V = $70 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$	V = $68 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$	V = $63 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$	V = $53 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$	V = $30 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$
Snímač A7, kolejnice, bod 1, podélně	47	70	36	34	27	14
Snímač A10, pražec, bod 1, podélně	53	72	55	16	15	6
Snímač A8, kolejnice, bod 1, příčně	31	45	22	25	22	10
Snímač A11, pražec, bod 1, příčně	27	47	30	8	7	2
Snímač A9, kolejnice, bod 1, svisle	63	101	46	44	35	15
Snímač A12, pražec, bod 1, svisle	47	62	46	31	24	8
Snímač A0, kolejnice, bod 2, podélně	20	23	16	11	20	5
Snímač A3, pražec, bod 2, podélně	19	24	26	16	18	5
Snímač A1, kolejnice, bod 2, příčně	22	25	18	12	21	7
Snímač A4, pražec, bod 2, příčně	8	10	14	11	6	2
Snímač A2, kolejnice, bod 2, svisle	34	37	30	19	29	9
Snímač A5, pražec, bod 2, svisle	18	21	38	15	15	5
Snímač A13, pražec, bod 3, podélně	16	18	13	9	15	4
Snímač A14, pražec, bod 3, příčně	11	14	9	6	9	3
Snímač A6, pražec, bod 3, svisle	28	34	27	15	23	6

Tabulka 7 – Betonový pražec; efektivní hodnoty zrychlení vibrací RMS

Měřicí bod	Betonový pražec; efektivní hodnota zrychlení vibrací RMS [$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$]					
	R 662	Os 8362	R 669	R 664	Os 8319	N 12:16
	V = $71 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$	V = $68 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$	V = $65 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$	V = $60 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$	V = $56 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$	V = $54 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$
Snímač A7, kolejnice, bod 1, podélně	30	66	20	23	20	25
Snímač A10, pražec, bod 1, podélně	7	12	5	5	4	6
Snímač A8, kolejnice, bod 1, příčně	43	71	30	28	24	29
Snímač A11, pražec, bod 1, příčně	7	11	5	5	5	6
Snímač A9, kolejnice, bod 1, svisle	77	151	56	162	38	86
Snímač A12, pražec, bod 1, svisle	10	11	7	8	6	12
Snímač A0, kolejnice, bod 2, podélně	15	20	8	8	17	9
Snímač A3, pražec, bod 2, podélně	6	7	3	3	5	3
Snímač A1, kolejnice, bod 2, příčně	30	39	15	16	29	20
Snímač A4, pražec, bod 2, příčně	7	11	4	5	5	5
Snímač A2, kolejnice, bod 2, svisle	137	62	89	27	47	27
Snímač A5, pražec, bod 2, svisle	9	9	4	4	5	8



Graf 3 – Y pražec; R 662: lokomotiva 242 + 6 vozů; časový záznam průběhu zrychlení vibrací a (vlevo) a frekvenční průběh amplitudového spektra (vpravo); bod Y2; signály odshora: A0; A3; A1; A4; A2; A5



Graf 4 – Betonový pražec; R 662: lokomotiva 242 + 4 vozy; časový záznam průběhu zrychlení vibrací a (vlevo) a frekvenční průběh amplitudového spektra (vpravo); bod B2; signály odshora: A0; A3; A1; A4; A2; A5

ZÁVĚR A DOPORUČENÍ

Provozní dynamická měření, provedená na vybraných zkušebních úsecích, prokázala vysokou deformační odolnost obou testovaných konstrukcí. Průhyby konstrukce vyvolané účinky provozované dopravy jsou nejvýraznější ve svislé rovině. Ani zde však nepřekračuje pokles kolejového roštu hodnoty 2,00 mm. Zdvihy jsou v tomto ohledu asi o řád nižší. Z posunů působících ve směru osy koleje lze vypočítat dobré pružné deformační vlastnosti použitých systémů upevnění, které jsou vhodným předpokladem pro zřízení bezстыkové koleje. Z provedené analýzy lze rovněž stanovit závěr, že kolejový rošt s betonovými pražci vykazuje lepší setrvačné vlastnosti z pohledu projíždějícího drážního vozidla, než konstrukce s ocelovými pražci. Tato vlastnost má pravděpodobně příčinu ve vyšší hmotnosti betonových podpor. Z velikosti a orientace příčných posunů srovnávaných kon-

strukcí lze identifikovat příčné působení vodicích dvojkolí kolejových vozidel, stejně jako průhyb jednotlivých pražců přes jejich střed, který je charakteristický pro železniční svrsek v provozu (nikoli ihned po podbití). Velikosti podélných a příčných posunů jsou velice nízké, nepřekračují hodnoty do 1,00 mm.

Z vibrační analýzy je zřejmé, že kolejnicové upevnění S 15 na Y pražci nevykazuje tak dobré útlumové vlastnosti, jako pružné upevnění KS na betonových pražcích. Toto lze vypočítat zejména u svislého a částečně i podélného zrychlení kmitání, které je způsobeno translačním pohybem železničního dvojkolí. Amplitudové spektrum Y pražce vykazuje vysoké hodnoty zrychlení vibrací zejména v oblasti kmitočtů 1 000 Hz, které již výrazně zasahuje do nejlépe slyšitelného pásma lidského ucha. Tato skutečnost může vést k intenzivnějšímu vjemu hlukové zátěže vyvolané provozem

na trati s Y pražci. Ve směru kolmém na osu koleje se na základě analyzovaných dat potvrzují prvotní předpoklady týkající se výhodnějších vlastností ocelových pražců Y (a to i v případě zúženého profilu kolejového lože).

Předložená měření prokázala, že chování konstrukce kolejového roštu s ocelovými pražci Y a s rozvětvením 650 mm je odlišné od chování klasické konstrukce s příčnými podporami. Zároveň je možno konstatovat, že pro oblast provedených provozních měření je konstrukce stabilní a vhodná pro použití na regionálních tratích. V tomto okamžiku je potřeba připomenout, že experiment nebyl prováděn za úplně krajních dovolených podmínek, co se týče limitních geometrických parametrů koleje na regionálních tratích. Z hlediska bezpečnosti byl ovšem tento fakt částečně vyrovnán zvýšeným provozním zatížením koleje zkušebního úseku, vyšší traťovou třídou zatížení a z ní vycházejícími vyššími nápravovými tlaky měřených vozidel, než je obvyklé u standardních regionálních tratí, pro které jsou Y pražce přednostně určeny.

V započatých měřeních doporučuje kolektiv autorů pokračovat a doplnit je o aplikaci akcelerometrů na vhodně zvoleném místě v kolejovém loži. Tím by se dala zachytit energetická složka vibrací ve šterku, která je důležitá z hlediska určení dlouhodobé stability testované konstrukce. Měřicí stanoviště by bylo rovněž vhodné doplnit aparaturou pro měření akustického tlaku, neboť je předpoklad, že v této oblasti bude konstrukce s Y pražci vykazovat horší vlastnosti. Opakovaným měřením dále budou již získaná data statisticky zpřesněna. Zpřesněné výsledky měření pak mohou s výhodou posloužit jako vstupní hodnoty k různým matematickým modelům [8].

Publikovaných výsledků bylo dosaženo za podpory výzkumného záměru MSM 0021630519, Progresivní spolehlivé a trvanlivé nosné stavební konstrukce.

prof. Ing. Jaroslav Smutný, Ph.D.,
 smutny.j@fce.vutbr.cz,
Ing. Vladimír Tomandl,
 tomandl.v@fce.vutbr.cz,
Ing. Ivan Vukušič,
 vukusic.i@fce.vutbr.cz,
Ústav železničních konstrukcí a staveb,
Fakulta stavební VUT v Brně

LITERATURA:

[1] Česká technická norma ČSN EN 13481-1. Železniční aplikace – Kolej – Požadavky na vlastnosti systémů upevnění – Část 1: Definice. Listopad 2007

[2] Česká technická norma ČSN EN 13481-4. Železniční aplikace – Kolej – Požadavky na vlastnosti systémů upevnění – Část 4: Systémy upevnění pro ocelové pražce. Listopad 2007

[3] Česká technická norma ČSN EN 13146-8. Železniční aplikace – Trať – Metody zkoušení systémů upevnění – Část 8: Provozní ověřování. Srpen 2003. Změna A1

[4] Vyhláška Ministerstva dopravy ČR č. 177/1995 Sb., kterou se vydává stavební a technický řád drah. Ve znění pozdějších předpisů

[5] Předpis SŽDC S 3. Železniční svršek. Správa železniční dopravní cesty, státní organizace. Praha. 2008



prof. Ing. Jaroslav Smutný, Ph.D.

Je absolventem Fakulty elektrotechnické VUT v Brně. Od roku 1990 je zaměstnán na Fakultě stavební VUT v Brně. V roce 2009 byl jmenován profesorem pro obor Konstrukce a dopravní stavby. Je členem významných profesních společností, např. České akustické společnosti, České asociace pro geoinformace a společnosti sdružující aktivní uživatele časově frekvenčních metod signálové analýzy Time & frequency user club National Physical Laboratory. Je odborníkem v oblasti měřících metod a techniky, dále v problematice hluku a vibrací od dopravy. Zabývá se také problematikou aplikace umělé inteligence, dopravní telematiky a GIS. V rámci svého zaměření spolupracuje s průmyslovými podniky působícími v oblasti silniční a železniční dopravy.



Ing. Vladimír Tomandl

Je absolventem oboru Konstrukce a dopravní stavby prezenční formy magisterského studia Fakulty stavební VUT v Brně., kde od roku 2008 pokračuje v postgraduálním studiu na Ústavu železničních konstrukcí a staveb. V roce 2007 vstoupil do Výzkumného Ústavu Železničního, kde pracuje jako specialista pro železniční infrastrukturu. Těžištěm jeho práce je železniční interoperabilita a posudková činnost.



Ing. Ivan Vukušič

Je absolventem oboru Konstrukce a dopravní stavby prezenční formy magisterského studia Fakulty stavební VUT v Brně, kde od roku 2007 pokračuje v postgraduálním studiu na Ústavu železničních konstrukcí a staveb. V roce 2007 vstoupil do Výzkumného Ústavu Železničního, a. s., kde na pracovišti v Brně zastává funkci specialisty pro železniční infrastrukturu.

[6] Technické podmínky dodací č. 3/2008. Ocelové pražce Y fi. ThyssenKrupp. 12. ledna 2010

[7] VUT v Brně, FAST, Ústav železničních konstrukcí a staveb. Provedení zkoušek příčného odporu ocelových pražců tvaru Y ve zkušebním traťovém úseku Liberec – Tanvald a jejich vyhodnocení. Výzkumná zpráva. Říjen 2008. 77 str.

[8] VUT v Brně, FAST, Ústav železničních konstrukcí a staveb. Vypracování matematického modelu simulujícího chování bezстыkové koleje. Výzkumná zpráva. Prosinec 2008. 30 str.

[9] VUT v Brně, FAST, Ústav železničních konstrukcí a staveb. Měření dynamického chování kolejového roštu s ocelovými pražci tvaru Y ve zkušebním traťovém úseku Liberec – Tanvald a jeho vyhodnocení. Výzkumná zpráva. Únor 2009. 95 str.

[10] Smutný, J., Tomandl, V., Pazdera, L.: Dynamické působení železniční dopravy na kolejový rošt s pružným upevněním kolejnic při průjezdu obloukem. Časopis SILNICE ŽELEZNICE 1/2010. KONSTRUKCE Media, s. r. o. Ostrava-Vítkovice. 2010. 9 str.

The dynamic behaviour of the track length provided with Y sleepers

The paper deals with the analysis of the behaviour of the track length provided with Y-type sleepers under the dynamic load by sets of carriages on czech railway lines. The fundamental aim of the measurement of Y-type sleepers in the rail was the verification of the transfer of vertical and transverse loads to the top ballast and the interconnected shifts of the track length. Simultaneously, the analysis of the transfer of vibrations to the track length and to the railway bed was made. The global behaviour of track skeleton with application Y-type sleeper was compared with standard construction transverse concrete sleepers. The paper also includes the description and application of the methods of measuring and the selection of a suitable mathematical apparatus for the evaluation of the measured parameters. The methods both in the time, and especially in the frequency regions were utilized. The measuring carried out offered data for mathematical modelling. The conclusion comprises the evaluation and recommendations for the practice.