VYHODNOCENÍ PŘÍČNÉHO ODPORU BEZSTYKOVÉ KOLEJE NA MOSTECH

*Filip Bláha, **

Katedra betonových a zděných konstrukcí, Fakulta stavební,
České vysoké učení technické v Praze, Thákurova 7/2077, 166 29 Praha 6, Česká republika.
Filip.blaha@fsv.cvut.cz

ABSTRAKT

Cílem této práce je vyhodnocení příčného odporu bezstykové koleje na betonových mostech. Stanovení tohoto parametru bylo docíleno experimentálním měřením na reálném modelu bezstykové koleje a jeho následným numerickým vyhodnocením. Ke stanovení tohoto příčného odporu bylo zapotřebí provést nejen experiment na samotné měření odporu kolejového roštu v příčném směru, ale bylo nutné provést i dílčí experiment na měření torzního odporu použitých kolejnicových upevňovadel.

Parametry experimentální bezstykové koleje budou dále porovnány s aktuálně používanými normami a předpisy pro návrh bezstykové koleje na mostě, případně se srovnatelnými experimenty provedenými v zahraničí. V práci bude popsán rozdíl mezi normovými a experimentálními parametry, jeho vliv na chování bezstykové na mostech a zváženy možnosti změn parametrů popsaných v normách a předpisech a s tím související možnosti změny návrhu a možnosti používání bezstykové koleje na mostech.

KLÍČOVÁ SLOVA

Bezstyková • Kolej • Odpor • Experiment • Vyhodnocení

ABSTRACT

The aim of this article is to determine the lateral resistance of continuously welded rails on concrete bridges. The determination of this parameter will be achieved again through experimental measurements on a continuously welded rail full-scale model and its subsequent numerical evaluation. The measurement of the lateral resistance of the rail was performed, but it was necessary to determine the torsional resistance of the rail fasteners in another experimental measurement.

The parameters of the experimental rail will be compared with current standards and regulations used to design actual continuously welded rails on the bridge or with foreign measurements performed abroad. The thesis will describe the difference between standard and experimental parameters, the influence of this difference on the characteristics of the continuously welded rail on the bridges and assess possible changes of the parameters described in the standards and regulations and the related possibilities of the design change and possibilities of using the continuously welded rail on the bridges.

KEYWORDS

Continuously • Rail • CWR • Experiment • Evaluation

1. ÚVOD

Vzhledem k rozvoji železniční dopravy po celém světě a zároveň k celkovým snahám stavět větší a složitější konstrukce překračující stále větší a delší překážky je nesmírně důležité pro návrh bezstykové koleje na takovýchto konstrukcích znát přesně její parametry chování.

V současných normách a předpisech je použití bezstykové koleje omezeno buď maximální délkou dilatačních celků vycházejí z dosavadních zkušeností, nebo musí být použití na daném mostě ověřeno statickým výpočtem. Kritérii pro posouzení je jednak napětí v kolejnicových pásech, jednak maximálními horizontální i vertikální posuny horního líce nosné konstrukce.

Z chování bezstykové koleje však vyplývá, že tyto požadavky jdou vzájemně proti sobě. Při větší tuhosti, tzn. větším podélném odporu, jsou posuny nosné konstrukce logicky menší, avšak zároveň se v kolejnicových pásech generuje větší normálové napětí. Naopak při nižším odporu koleje je situace analogicky opačná.

Další neznámou v této problematice je limitní velikost výše zmíněných kritérií. Omezení napětí vychází z materiálových vlastností kolejnicové oceli a jeho maximální či minimální velikost je tak jednoduše opodstatnitelná. Omezení posunů nosné konstrukce však pravděpodobně vychází z jakéhosi historického požadavku a v současné době není zřejmé, z čeho dané limity posunů vychází.

Dalším parametrem, s kterým přímo souvisí příčná stabilita (odolnost proti vybočení) kolejového roštu, je příčný odpor. Příčný odpor se skládá z odporu vlivem třením mezi pražci a kamenivem štěrkového lože, odporem štěrkového lože před čely pražců a dále z ohybové tuhosti kolejnic a torzní tuhosti kolejnicových upevňovadel. Ani jeden ze výše uvedených parametrů součástí celkového příčného odporu mezinárodní norma UIC vůbec nespecifikuje.

Cílem mé disertační práce je experimentálně stanovit a komplexně popsat chování bezstykové koleje na mostech. Získané parametry budou porovnány s aktuálně používanými normovými parametry pro návrh bezstykové koleje a snahou celé disertační práce a souvisejících publikací bude používané parametry aktualizovat či doplnit, aby bylo možné při návrhu železničního mostu využít plného potenciálu bezstykové koleje.

* Školitel: doc. Ing. Marek Foglar, Ph.D.

2. EXPERIMENTÁLNÍ MĚŘENÍ

V rámci několikaletého výzkumu bezstykové koleje na mostech bylo v rámci diplomové práce a během doktorského studia provedeno množství experimentálních měření na modelu bezstykové koleje.

Model bezstykové koleje byl zhotoven v měřítku 1:1 a skládal se z železobetonové vany, jejíž povrchová úprava byla provedena tak, aby co nejvíce korespondovala s reálnou mostní konstrukcí. V této vaně bylo zřízeno štěrkové kolejové lože s celkem 8 betonovými pražci. Lože bylo řádně upraveno dle standardů používaných na železničních tratích. Pražce byly osazeny běžně používanými upevňovadly Vossloh, v nichž byly upevněny dvě kolejnice UIC60. Pohled na celý experimentální model včetně umístěných zatěžovacích lisů a používaných snímačů je na Obrázku 1.

Obrázek 1: *Model bezstykové koleje při měření kolejového roštu v příčném směru*

Během měření příčného odporu kolejového roštu byl do osy symetrie umístěn hydraulický lis, který přes ocelový hranol působil do středu smyku krajní kolejnice. Touto vyvolanou silou byl kolejový rošt posouván v příčném směru.

Vyvozené deformace byly na několika místech měřeny snímači posunu. Podrobnějším popisem experimentu se zabýval dřívější článek na workshopu doktorandů FSv ČVUT.

3. VYHODNOCENÍ EXPERIMETU

Vyhodnocení naměřených experimentálních dat nebylo možné provést pouze numericky, neboť při působení příčné síly na kolejový rošt nedochází pouze k jeho posunům (jako v případě měření podélného odporu), ale velkou roli hraje i jeho ohybová tuhost v horizontální rovině.

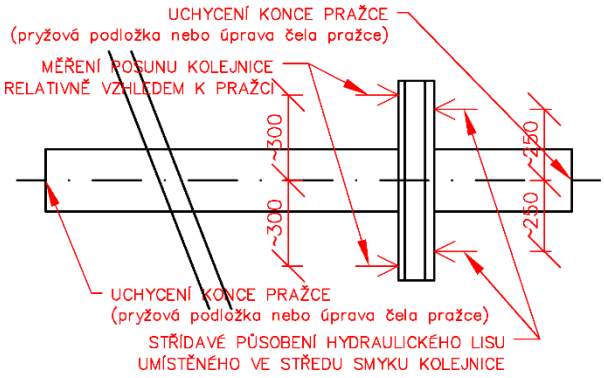
Zmíněná vodorovná tuhost kolejového roštu se skládá nejen z ohybové tuhosti dvou ocelových kolejnic, ale v rámci vyhodnocování bylo zjištěno, že vliv má i torzní tuhost kolejnicových upevňovadel. V případě, že by byla nulová, ohybová tuhost kolejnicového roštu by se skládala skutečně jen z ohybové tuhosti kolejnic. Naopak v případě, že by torzní tuhost byla absolutní a bylo tak zabráněno jakýmkoliv natočením kolejnic v upevňovadlech, celý rošt by se choval podobně jako tzv. Vierendeelův nosník a jeho tuhost v horizontální rovině by byla značná.

Skutečná torzní tuhost se však nachází mezi těmito limitními případy. Pro stanovení tohoto parametru byl naplánoval a proveden dílčí experiment.

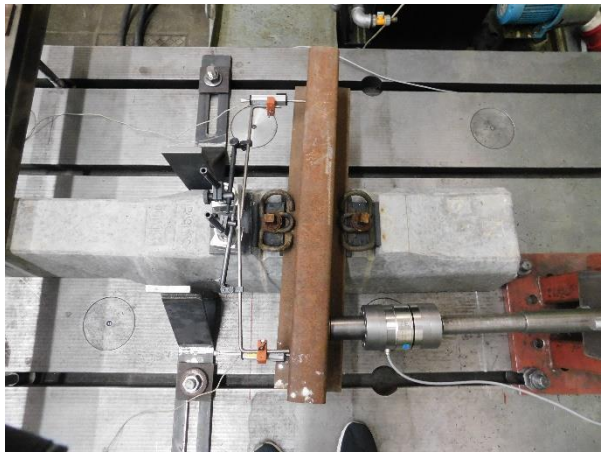
4. DÍLČÍ EXPERIMENT PRO STANOVENÍ TORZNÍ TUHOSTI POUŽITÝCH UPEVŇOVADEL

Pro potřeby tohoto experimentu byl použit samotný pražec, do jehož upevňovadel byly uchyceny kusy kolejnic. Tyto kolejnice byly z jedné strany zatěžovány pístem hydraulického lisu, čímž docházelo k natáčení kolejnice.

Z hlediska měření nebylo možné měřit přímo natočení v úhlových jednotkách, proto bylo přistoupeno k měření posunů konců kolejnic. Umístění hydraulického lisu a snímačů je zobrazeno na schématu měření na Obrázku 2 a zároveň na fotografii ze samotného měření na Obrázku 3.



Obrázek 2: *Schéma uspořádání experimentu na stanovení torzní tuhosti upevňovadla*



Obrázek 3: *Schéma uspořádání experimentu na stanovení torzní tuhosti upevňovadla*

V rámci tohoto měření bylo provedeno celkem 8 zatěžovacích cyklů, tj. 4 zatěžovací cykly na každé upevňovadlo. Tyto 4 cykly probíhaly ve střídavém režimu, takže bylo střídáno zatěžování ve směru a proti směru hodinových ručiček.

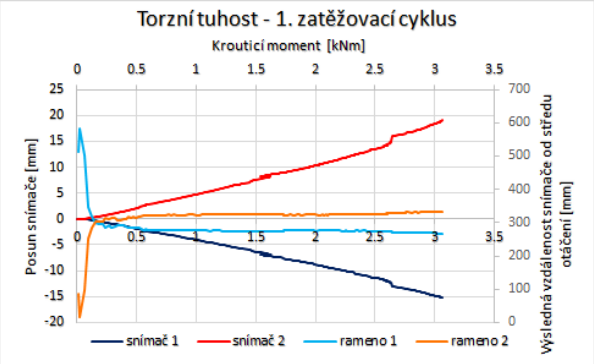
Pro stanovení torzní tuhosti upevňovadla bylo v rámci vyhodnocení nutné převést působící sílu na krouticí moment a

posuny na natočení. Během vyhodnocování dat však bylo zjištěno, že posuny z obou snímačů nejsou stejné. To je způsobeno primárně tím, že kolejnice se neotáčí kolem středu upevňovadla, ale vlivem působících sil se střed otáčení posouvá blíže ke kraji upevňovadla. Tento jev je viditelný i na Obrázku 3.

Tento problém byl jednoduše odstraněn tak, že bod otáčení byl pomyslně přesunut pod krajní snímač, hodnoty posunů byly sečteny v absolutní hodnotě a vzdálenost bodu otáčení a měření byla použita suma obou ramen snímačů. Tímto způsobem byl přesně stanoven úhel natočení kolejnice.

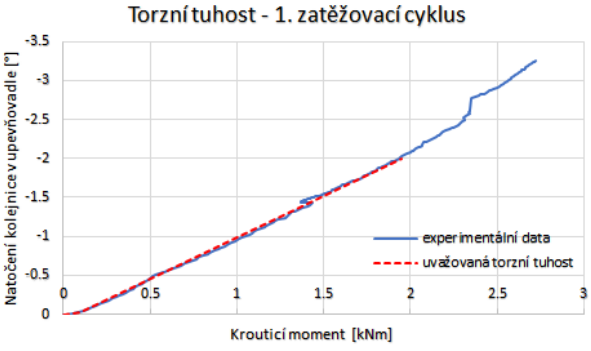
S posunem bodu otáčení souvisí další problém, a to sice stanovení ramena působení síly potřebného ke stanovení krouticího momentu. Zde byl použit poměr absolutních hodnot posunů z obou snímačů. Tím bylo možné stanovit velikost posunu středu otáčení od původního středu. Proměnné rameno bylo použito pro stanovení průběhu krouticího momentu.

Hodnoty posunů obou snímačů v závislosti na kroutícím momentu z 1. zatěžovacího cyklu jsou znázorněny v grafu na Obrázku 4. Ve stejném grafu jsou pro ilustraci znázorněna stanovená ramena – vzdálenosti od posunutého středu otáčení k příslušným snímačům.



Obrázek 4: *Průběh posunů jednotlivých snímačů a průběh jejich vzdáleností od posunutého středu otáčení v průběhu 1. zatěžovacího cyklu*

Z výše popsaných vyhodnocených dat byl stanoven průběh torzní tuhosti použitých upevňovadel. Tento průběh slouží jako vstupní parametr ve výpočetním modelu pro stanovení příčného odporu samotného kolejového roštu bez vlivu kolejnic. Pro potřeby vyhodnocení byl použit 1. zatěžovací cyklu, neboť při ohybu kolejového roštu dochází pouze k malým natočením. Průběh uvažované torzní tuhosti je na Obrázku 5.

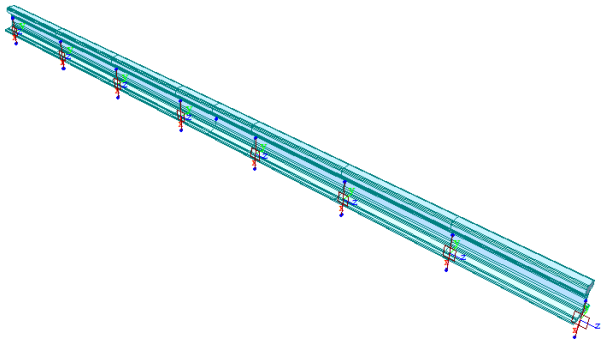


Obrázek 5: *Uvažovaná torzní tuhost upevňovadel*

5. SHRUTÍ VYHODNOCENÍ PŘÍČNÉHO ODPORU

Pro stanovení příčného odporu kolejového roštu byl v programu Midas Civil vytvořen jednoduchý výpočetní model (Obrázek 6). Tento model se skládal z jednoho prutu, ovšem s parametry dvou kolejnic UIC 60. Tento prut byl podepřen pružnými podporami v místech pražců. U podpor byl zabráněn svislý posun a natočení kolem podélné osy kolejnice. Torzní tuhost byla zvolena nelineární dle průběhu na Obrázku 5.

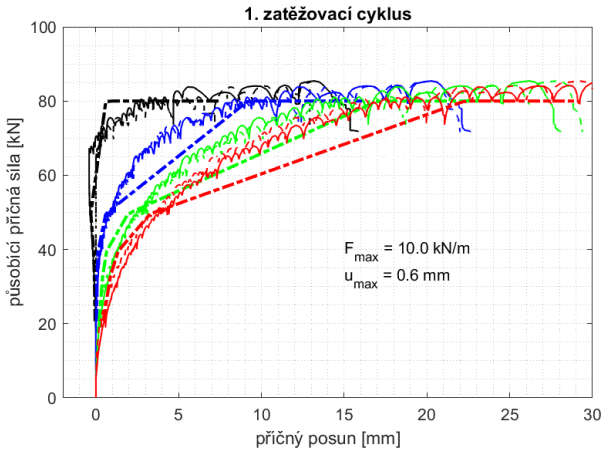
Průběh příčného odporu byl volen pružnoplasticky. Jelikož na konci zatěžování se celý kolejový rošt posunoval již plasticky, byla maximální působící síla 80 kN rozdělena na všech 8 pražců. Tím byla stanovena hodnota plastické větve na 10 kN/pražec. U těchto pružnoplastických pružin tak už byl měněn pouze posun, při kterém je této plastické větve dosaženo. Volen byl od 0,2 mm do 2,4 mm v krocích 0,2 mm.



Obrázek 6: *Zjednodušené modelování kolejového roštu ve výpočetním programu Midas Civil*

Zatěžování prutu neprobíhalo „standardně“ silou, neboť by při dosažení plné plasticity všech pražců model vykazoval nereálně hodnoty posunů. Z toho důvodu byl náhradní prut zatěžován vynuceným posunem v místě působení hydraulického lisu a celková působící sila byla brána jako suma reakcí jednotlivých podpor.

Celkem bylo vždy počítáno 60 zatěžovacích stavů, přičemž v každém následujícím byla vynucená deformace zvětšena o 0,5 mm. Celkem byl tedy počítán rozsah 0-30 mm. Ze všech variant průběhu příčného odporu byl vytvořen graf v programu Matlab, který byl porovnán s experimentálním průběhem příčných posunů. Při celkovém srovnání skutečnému průběhu nejlépe odpovídal průběh, při kterém plastický posun nastával při 0,6 mm (Obrázek 7).



Obrázek 7: *Porovnání experimentální a výpočtového průběhu posunů v závislosti na příčné síle*

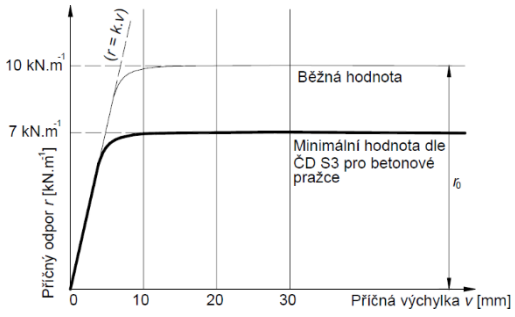
Na průbězích je však viditelné, že v jedné části se od experimentálního průběhu mírně odchylují. To je pravděpodobně způsobeno tím, že průběh nebude pouze pružnoplasticky, ale uvažovaná pružná větev pracovního diagramu bude po částech bilineární. Tento průběh bude nadále zkoumán a upřesněn.

6. ZÁVĚR

V rámci vyhodnocení příčného odporu byla z dílčího experimentu stanovena torzní tuhost použitých upevňovadel. Tento průběh byl použit jako vstupní parametr do výpočetního modelu pro stanovení příčného odporu samotného kolejového roštu, tj. bez vlivu ohybu kolejnic a vlivu krouticí tuhosti upevňovadel.

Z dosavadního zjištění lze konstatovat, že v rámci experimentu byl zjištěn příčný odpor s maximální hodnotou 10 kN na pražec a začátkem plastické části do 1 mm. V rámci dalšího zkoumání bude přesněji definována pružná větev pracovního diagramu, aby bylo dosaženo shody v plném rozsahu.

Jak již bylo řečeno, předpis UIC se parametry příčného odporu vůbec nezajímá. Vyhodnocený odpor je tedy srovnán s tuzemskou literaturou, která uvádí minimální odpor 7 kN/m a běžný odpor 10 kN/m, což při stejném rozdělní pražců odpovídá 4,2 kN/pražec, resp. 6 kN/pražec. To vše při výrazně větších posunech (Obrázek 8).



Obrázek 8: Dostupný podklad o průběhu příčného odporu bezstykové koleje

Při porovnání podkladů a experimentální dat je zřejmé, že bezstyková kolej v uzavřeném štěrkovém loži na mostě na větší příčný odpor, navíc jeho maximální hodnoty je dosaženo při menších příčných deformacích.

Tyto parametry budou výhledově použity v celkovém modelu bezstykové koleje, kde bude zkoumán jejich vliv na příčnou stabilitu koleje. Cílem je stanovit maximální využití koleje a maximální deformace nosné konstrukce mostu tak, aby byla zaručena bezpečnost použití, ale zároveň byl plně vyčerpán potenciál bezstykové koleje.

PODĚKOVÁNÍ

Příspěvek vznikl za finanční podpory SGS21/042/OHK1/1T/11, Českého Vysokého učení technického v Praze.

References

VAN'T ZAND, J.; MORAAL, J. Ballast resistance under three dimensional loading. ERRI D, 1997, 202. [online]. Available from: http://www.esveld.com/Download/TUD/Ballast%20tests.pdf

UIC 774–3. Track/bridge Interaction: Recommendations for Calculations. 2.vydání. Paříž: UIC, 2001.

ČD S3/2. Bezstyková kolej. Praha: České dráhy, 2002.

ČSN EN 1991-2. Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 2: Zatížení mostů dopravou. Praha: Český normalizační institut, 2005.

ESVELD, Coenraad. Modern railway track. 2nd ed. Zaltbommel: MRTProductions, 2001, 654 s. ISBN 90-800324-3-3.

ESVELD, C. DESIGN OF HIGH SPEED TRACK ON LONG BRIDGES [online]. , 7 [cit. 2016-01-15]. Dostupné z: http://www.esveld.com/Download/TUD/bridges.pdf

LICHTBERGER, Bernhard. Track compendium: track system, substructure, maintenance, economics. Hamburg: DVV Media Group, 2011, 621 s. ISBN 978-3-7771-0421-8.

HAMBLY, Edmund C. Bridge deck behaviour. 2nd ed. New York: Chapman and Hall, 1991, xx, 313 s. ISBN 0-419-17260-2.

DAI, Gong–lian a Wen–shuo LIU. Applicability of small resistance fastener on long–span continuous bridges of high–speed railway.Journal of Central South University [online]. 2013, 20(5), 1426–1433 [cit. 2016–01–14]. DOI: 10.1007/s11771–013–1631–7. ISSN 2095–2899. Dostupné z: http://link.springer.com/10.1007/s11771–013–1631–7

VLASÁK, Martin, FOGLAR Marek. Metodika řešení kombinované odezvy konstrukce a koleje (metodický základ mvl 150). Praha 2015. [online]. Dostupné z: http://concrete.fsv.cvut.cz/vystupy/download/TA03031099-Met_komb_od_kce_kol.pdf

LEE, HyeYeon. Rail structure Interaction Analysis. [online]. Dostupné z: http://www.idea-rs.com/wp-content/uploads/2015/05/Czech-mbm_Rail-Structure-Interaction-Analysis.pdf

CALÇADA Rui, DELGADO Raimundo & MATOS António Campos e, GOICOLEA José & GABALDÓN Filipe.

Track-bridge interaction on high-speed railways. London: CRC Press, 2009. ISBN 978-0-415-45774-3.

BLÁHA, Filip. Experimentální stanovení podélného odporu bezstykové koleje na mostech. Praha, 2014. Diplomová práce. ČVUT v Praze. Vedoucí práce Doc. Ing. Marek Foglar, Ph.D.

PLÁŠEK O., ZVĚŘINA P., SVOBODA R., LANGER V., ŽELEŽNIČNÍ STAVBY II, MODUL 6 BEZSTYKOVÁ KOLEJ, [online], Brno 2006, Dostupné dne 5. 4. 2015 z: http://lences.cz/domains/lences.cz/skola/neprihlaseny/index.php?dir=Skripta/BN02-Zeleznicni%20stavby%20II/&file=M06-Bezstykov%C3%A1%20kolej.pdf