

# EXPERIMENTÁLNÍ STANOVENÍ 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 stanovení dalšího parametru bezстыkové koleje na betonových mostech používaných na vysokorychlostních tratích. Stanovení tohoto parametru bude docíleno opět experimentální měření na reálném modelu bezстыkové koleje a jeho následným numerickým vyhodnocením. Parametry experimentální bezстыkové koleje budou dále porovnány s aktuálně používanými normami a předpisy pro návrh bezстыkové koleje na mostě, případně se srovnatelnými experimenty provedenými v zahraničí. V práci bude popsán rozdíl mezi normovými a experimentálními parametry, jeho vliv na chování bezстыkové na mostech a zváženy možnosti změn parametrů popsaných v normách a předpisech a s tím související možnosti změny návrhu a možnosti používání bezстыkové koleje na mostech.

## KLÍČOVÁ SLOVA

Bezстыková kolej odpor experiment

## ABSTRACT

The aim of this article is to determine the next parameter of continuously welded rails on concrete bridges used for high-speed railways. 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 parameters of the experimental rail will be compared with current standards and regulations used to design actual continuously welded rails on the bridge. 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 welded rail resistance experiment

## 1. ÚVOD

Vzhledem k rozvoji železniční dopravy po celém světě a zároveň k celkové tendenci stavět větší a složitější konstrukce překračující stále větší a delší překážky je nesmírně důležité pro návrh bezстыkové koleje na takovýchto konstrukcích znát přesně její parametry chování. V současných normách a předpisech je použití bezстыkové koleje omezeno buď maximální délkou dilatačních celků vycházející 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 bezстыkové 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 snadno zdůvodnitelná. Omezení posunů nosné konstrukce však pravděpodobně vychází z jakéhosi historického požadavku a v současné době není jasné, 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 šterkového lože, odporem šterkového 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 bezстыkové koleje na mostech. Získané parametry budou porovnány s aktuálně používanými normovými parametry pro návrh bezстыkové 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 bezстыkové koleje.

## 2. EXPERIMENTÁLNÍ MĚŘENÍ

---

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

Předmětem tohoto odborného článku je popis posledního experimentálního měření modelu bezстыkové koleje a jeho vyhodnocení. Dříve provedená měření a jejich vyhodnocení budou součástí kompletní disertační práce, v této publikaci již nebudou podrobně popisována, ale bude na ně pouze odkazováno.

## 2.1. Popis měřené konstrukce

V Kloknerově výzkumném ústavu ČVUT byla postavena betonová konstrukce umožňující zřízení a zatěžování úseku koleje ve štěrkovém loži za podmínek simulující mostní konstrukci. Jedná se o betonovou vanu z 6 středních a ze dvou krajních železobetonových prefabrikovaných dílů, která je přes krajní díly sepnuta předpínacími tyčemi; po zhotovení koleje byly 4 předpínací tyče umístěny i nad pražce z obou stran levé i pravé kolejnice, na obě čela byl namontován roznášecí práh složený ze svařených „U“ profilů a celá konstrukce tak byla sepnuta i v její horní části.

Tato konstrukce byla opatřena natavitelnými asfaltovými izolačními pásy, na něž byla zhotovena vrstva z litého asfaltu, aby podkladní vrstvy tuhostí i strukturou co nejvíce korespondovaly s reálnou mostní konstrukcí.

Následně bylo zřízeno štěrkové kolejové lože, do něž byly uloženy pražce B91 S/1 se svorkami Vossloh W14 upevňující kolejnice UIC 60 E1. Konstrukce koleje byla řádně podbita tak, aby odpovídala parametrům skutečně provedené koleje.

Na výše popsaném experimentálním modelu bezстыkové koleje na mostě byl v rámci předchozího zkoumání měřen podélný odpor vertikálně nezátěžené i zatěžené koleje. Popis měření a vyhodnocení experimentu je součástí [20] a nebude zde již uváděn.

Za účelem získání komplexního přehledu chování a parametrů bezстыkové koleje na mostech bylo přistoupeno k měření příčného odporu vertikálně nezátěžené koleje. Vzhledem k nejasnostem o celkové velikosti výsledné příčné působící síly a předejití možnému poškození bočních částí železobetonových dílů byla konstrukce pomocí svařených U profilů a předpínacích tyčí příčně zajištěna proti vzniku nadměrných deformací a trhlin nebo jinému poškození konstrukce.

Pro možnost příčného zatěžování byl do 1/2 délky koleje, tzn. mezi 4. a 5. pražec, umístěn hydraulický lis. Přenos síly z hydraulického lisu do bočního líce kolejnice byl zprostředkován pomocí ocelového hranolu uloženého na teflonových podložkách. Pohled na zkoušený model bezстыkové koleje před začátkem měření příčného odporu je na Obrázek 1.



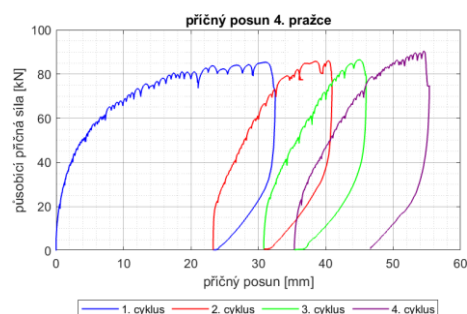
Obrázek 1: Pohled na model bezстыkové koleje před měřením příčného odporu

## 2.2. Průběh experimentálního měření

Experimentální měření bylo prováděno manuálním zvyšováním tlaku v hydraulické sestavě, tzn. zvyšováním působící tlačné síly osazeného hydraulického lisu. Vývoj síly a deformací z vybraných snímačů v čase byl sledován na monitoru během zatěžování. Touto vizuální kontrolou bylo kontrolováno, zda bylo v každém zatěžovacím cyklu dosaženo plastické větve pracovního diagramu koleje.

Kolej byla zatěžována z vnějšího líce pravé kolejnice mezi 4. a 5. pražcem, tj. symetricky v 1/2 délky koleje. Na konstrukci byly měřeny posuny celkem ve 20 bodech koleje. Příčný posun byl měřen na každém z osmi pražců, dále na obou kolejnicích nad přilehlými pražci od místa zatěžování, na obou kolejnicích nad krajními pražci a poslední 4 snímače měřily podélný posun a natočení kolejnice vzhledem ke krajním pražcům.

Celkem byly provedeny 4 zatěžovací cykly. V každém cyklu byla síla přidávána v krocích cca 5 10 kN až do vizuálního dosažení plastického posunu koleje. V této části pracovního diagramu nebylo měření ukončeno, ale hydraulický lis byl ještě mírně vysouván, aby byl plastický posun spolehlivě potvrzen. Posuny byly měřeny i během odtěžování koleje. Zatěžovací křivky ze všech 4 cyklů měřené na 4. pražci (nejbližší pražec ose symetrie) jsou zobrazeny na Obrázek 2.



Obrázek 2: Zatěžovací křivky měřené na 4. pražci

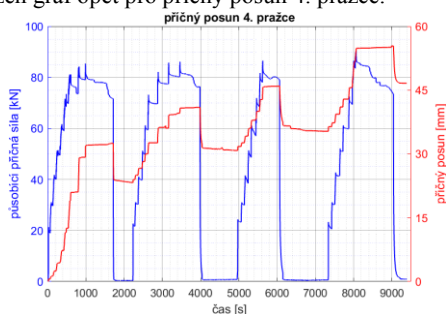
## 3. VYHODNOCENÍ PŘÍČNÉHO ODPORU

Pro vyhodnocení experimentu bylo vytvořeno velké množství grafů, aby bylo lépe pochopeno celé chování kolejového roštu. Následující kapitoly budou rozděleny podle zaměření na

zkoumání konkrétního grafu a pro ilustraci bude přiložen příslušný graf.

### 3.1. Průběh měření v čase

Nejprve byla pozornost zaměřena na mírně se lišící maximální hodnoty působící síly a skoky v působící síle v oblasti plastické části diagramu. Za tímto účelem byl vytvořen jednoduchý graf, který má na vodorovné ose „x“ časový průběh experimentu. Na svislou osu „y“ byly nanášeny dvě veličiny, jednak aktuální velikost působící síly, jednak velikost posunu daného měřeného bodu. Pro přehlednost je na Obrázek 3 přiložen graf opět pro příčný posun 4. pražce.



Obrázek 3: Vývoj působící příčné síly a příčného posunu 4. pražce v průběhu experimentálního měření

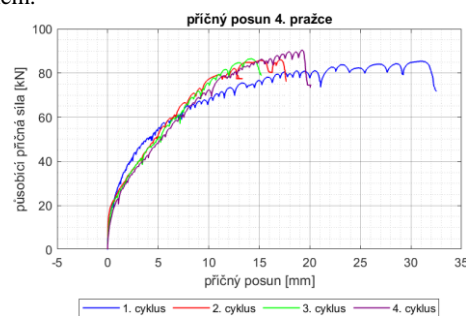
Z grafu je patrné, že čím rychleji byla celá soustava zatěžována, tím větší bylo možno dosáhnout síly. Vysvětlení toho jevu je možné pomocí mechaniky. Soustavu kolejnic, upevňovačel, pražců a zejména zrn kameniva šterkového lože v tomto časově závislém průběhu není možné simulovat pouze soustavou lineárních či nelineárních pružin. Tím, jak dochází k postupnému dohutňování jednotlivých zrn kameniva, je možné si v celé mechanické soustavě představit i zapojení vazkého (viskózního) článku = tlumiče. Čím rychleji je tedy kolej zatěžována, tím se stává tlumič tužším a je tak možné dosáhnout větší působící síly. Na grafech je viditelné, že se jedná pouze o špičky průběhu síly, tedy situaci, kdy byl sepnutý spínač hydraulického čerpadla a docházelo tak k aktuálnímu působení příčné síly.

S tímto tématem souvisí další jev viditelný na grafu, a to sice mírný pokles za koncem špičky působící síly. Tento pokles není tak razantní jako prudké snižování síly z jejího maxima, ovšem byl zaznamenán i u zkoušek podélného odporu koleje při minulých experimentech [20]. Jelikož jsou na grafu znázorněny jak křivky působící síly, tak příčného posunu, je vidět, že k tomuto mírnému snižování působící síly dochází současně s mírným nárůstem příčného posunu. K vysvětlení je opět nutné použít soustavu pružin a tlumičů. Po uzavření hydraulického ventilu je v celé soustavě natlačována hydraulická kapalina – olej, který působí na píst a ten působí na kolej příčnou silou. Kolej, v tomto případě představitelná jako soustava pružin a tlumičů, této působící síle vzdoruje. V časovém průběhu se však snižuje odpor tlumiče a příčný posun mírně narůstá. S tímto nárůstem souvisí i výsuv lisu, čímž dochází k zvětšování vnitřního objemu hydraulické soustavy, čímž logicky klesá tlak oleje a působící příčná síla. Pokud by tento stav byl zachován dostatečně dlouho, došlo

by k plnému dohutnění zrn kameniva a k vyrovnání obou sil. Z časových důvodů však bylo vyčkáno na relativní ustálení a poté již byla kolej plně odtížena.

### 3.2. Porovnání jednotlivých zatěžovacích cyklů

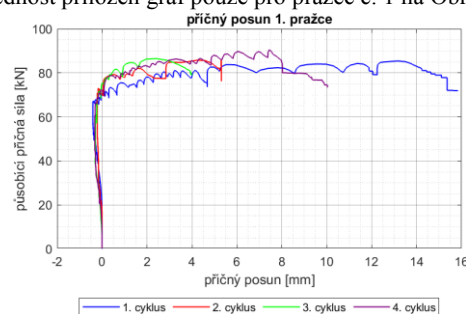
Již v předchozí kapitole je na Obrázek 2 patrné, že první zatěžovací cyklus se liší od následujících 3, již víceméně ustálených průběhů zatěžovacích křivek. Za tímto účelem, aby porovnání bylo zcela jasné, byl pro každý měřený bod vytvořen graf, který obsahuje vzestupné větve všech zatěžovacích cyklů srovnané do společného nulového počátku. Nejprve je na Obrázek 4 přiložen opět graf pouze pro příčný posun 4. pražce., tzn. měřené místo s největším příčným posunem.



Obrázek 4: Zatěžovací křivky 4. pražce ze všech zatěžovacích cyklů

Na tomto grafu je první cyklus znázorněn modrou čarou. Z grafu je patrné, jak má první cyklus zpočátku větší tuhost oproti později provedeným zatěžovacím cyklům. Při celkové působící příčné síle cca 60 kN a příčném posunu 4. pražce cca 6 mm se křivka prvního běhu a zbývajících 3 protínají a první cyklus v této části grafu vykazuje naopak menší tuhost oproti zbývajícím zatěžováním. Při prvním zatěžování byl vyvozen největší příčný posun, aby bylo jisté, že skutečně dochází k plastickému posunu koleje. Při porovnání křivek je možné si všimnout, že na konci prvního zatěžování je velikost působící příčné síly srovnatelná s ustálenými hodnotami během 2. a 3. cyklu. Pouze při posledním cyklu bylo dosaženo větší síly, což úzce souvisí s rychlostí zatěžování popsané v předchozí kapitole 4.1.

Další graf se naopak týká pražce s nejmenšími posuny, tzn. krajního pražce. Vzhledem k symetrii zatížení bude pro přehlednost přiložen graf pouze pro pražec č. 1 na Obrázek 5.



Obrázek 5: Zatěžovací křivky 1. pražce ze všech zatěžovacích cyklů

Na grafu je vidět opět rozdíl mezi prvním a zbývajícimi zatěžovacími cykly, ačkoliv tento rozdíl není tak markantní jako u pražce s největšími posuny. U tohoto krajního pražce rozdíl spočívá víceméně „pouze“ v tom, že posun začne narůstat již při nižší působící síle.

Na grafu krajního pražce se však nachází další velice důležitý jev. Jedná se o záporné posuny zpočátku nárůstu síly během každého cyklu. Jelikož se jedná přibližně o 0,5 mm, byl nejprve tento fakt připisován odchylce měření. Jelikož byl záporný posun naměřen i u druhého krajního pražce, a i obou kolejnic na obou stranách kolejového roštu, chyba měření byla vyloučena. Navíc byl tento jev zjištěn i na výsledcích z výpočetního modelu koleje.

Při správné kombinaci tuhosti jednotlivých upevňovadel a tuhosti příčného odporu nastává situace, kdy se kolejový rošt nechová jako prostý nosník, ale jako nosník s převislými konci zatížený osamělou silou uprostřed rozpětí. Proto při zatěžování dochází k největším posunům v 1/2 délky koleje, z hlediska měřených bodů nad 4. a 5. pražcem. Tyto posuny se skládají jednak z posunu kolejového roštu, jednak z průhybu kolejnic. A právě vlivem průhybu kolejového roštu se „převislé konce“ posunují opačným směrem, než je směr výsuvu hydraulického lisu.

### 3.3. Stanovení příčného odporu na výpočtovém modelu

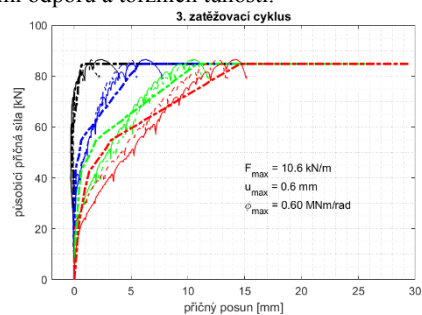
Na rozdíl od podélného odporu, kde docházím ke stejným posunům po celé délce kolejnic a k víceméně rovnoměrnému posunu všech pražců, zde do vyhodnocení příčného odporu vstupuje ohybová tuhost kolejového roštu ve vodorovném příčném směru. Tato ohybová tuhost se skládá jednak z ohybové tuhosti jednotlivých kolejnic, dále pak z torzní tuhosti jednotlivých upevňovadel. Pokud by torzní tuhost upevňovadel byla nulová, pak by celý kolejový rošt měl tuhost rovnou ohybové tuhosti dvou samotných kolejnic. V opačném případě, kdy by jednotlivá upevňovadla fungovala jako větknutí, kolejový rošt by se choval jako Vierendeelův nosník s takovou ohybovou tuhostí, že by docházelo pouze k minimálnímu ohybu a celý kolejový rošt by se posouval jako celek.

Skutečná torzní tuhost se nachází někde mezi těmito limitními případy. Jako prvotní údaj byla použita torzní tuhost z dostupného pracovního diagramu upevňovadla. Tato tuhost je udávána jako 0,77 kNm/°, což odpovídá tuhosti cca 0,044 MNm/rad. Při vyzkoušení této tuhosti však docházelo k nadměrnému vzájemnému „rozevírání“ křivek, proto byla torzní tuhost upevňovadla účelově zvýšena.

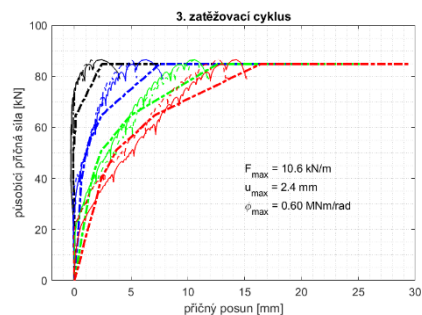
Jako výpočetní model byl vytvořen prutový model, kde byl kolejový rošt pro zjednodušení tvořen pouze jedním prutem – kolejnicí. Všechny parametry, které se týkají dvou prvků koleje, byly v modelu zdvojeny. Jelikož na konci zatěžovacích cyklů docházelo k plastickým posunům, při zatěžování osamělou silou by na konci výpočtu docházelo k nestabilitě výpočetního programu a výsledky by nebyly dopočítány. Z tohoto důvodu bylo zvoleno opačné zatěžování předepsaným posunem v místě působení hydraulického lisu. Celková síla byla následně dopočítána ze získaných reakcí v místě jednotlivých pražců. Správná vzájemná analogie obou výpočtů

byla ověřena při zatížení silou, která ještě nezpůsobuje celkový plastický posun kolejového roštu.

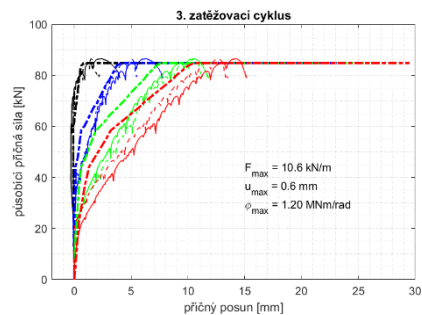
Pro vyhodnocení příčného odporu bylo celkem vytvořeno 130 kombinací průběhů příčného odporu a torzních tuhostí upevňovadel. Průběhy příčných odporů byly tvořeny pružnoplastickými funkcemi. Začátek plastické větve byl zvolen v rozmezí 0,6 až 2,4 mm v krocích 0,2 mm, všechny při stejné síle 10,6 kN. Tato síla vychází z celkové maximální příčné síly při plastickém posunu celého kolejového vztažené na 8 pražců, neboť při plastickém posunu na každém pražci je celková síla rozdělena rovnoměrně. Všechny tyto příčné tuhosti byly kombinovány s torzní tuhostí od 0,60 MNm/rad do 1,20 MNm/rad v krocích po 0,05 MNm/rad. Ve výsledku tak bylo skombinováno 10 variant příčného odporu se 13 variantami torzní tuhosti upevňovadel, odtud výše zmíněných 130 kombinací. Výsledky z výpočetního modelu pro každou ze 130 kombinací byly vloženy do grafu pro každý ze 4 zatěžovacích cyklů. Tímto způsobem bylo vytvořeno 520 grafů pro porovnání výpočetních hodnot s experimentálně naměřenými daty. Na následujících 4 grafech na Obrázek 6 až na Obrázek 9 jsou zobrazeny kombinace s extrémními variantami odporů a torzních tuhostí.



Obrázek 6: Kombinace nejtěžšího příčného posunu s nejmenší torzní tuhostí

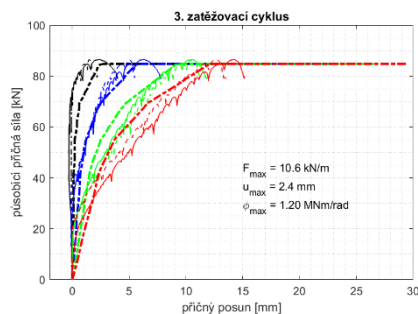


Obrázek 7: Kombinace nejméně tuhého příčného posunu s nejmenší torzní tuhostí



Obrázek 8: Kombinace nejtěžšího příčného posunu s největší torzní tuhostí





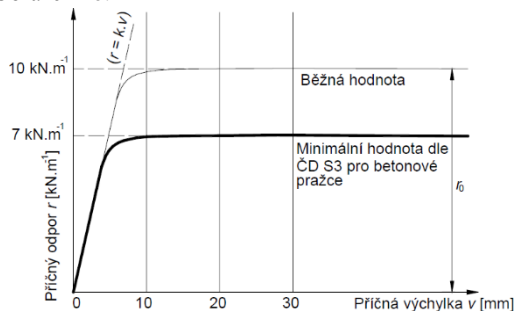
Obrázek 9: Kombinace nejméně tuhosti příčného posunu s největší torzní tuhosti

### 3.4. Vyhodnocení experimentu

Při podrobném zkoumání průběhů deformací z výpočetního modelu s jednotlivými křivkami z experimentálního měření bylo zjištěno, že žádná ze získaných křivek neodpovídá v celém svém rozsahu experimentálnímu měření. U několika křivek byla nalezena vysoká míra shody, ovšem pouze v kratším úseku. Dále byly nalezeny křivky, které svým průběhem velmi identicky kopírovaly experimentální průběh, ovšem měly rozdílný výchozí bod – s experimentální křivkou byly pouze rovnoběžné.

Z dosavadních výsledků tak vyplývá, že přesný průběh příčného odporu pražce nelze přesně stanovit. Průběh torzního odporu je totiž neznámý, takže veškeré kombinace jsou pouze odhadem. Z experimentu lze zatím stanovit pouze maximální hodnotu příčného odporu. Ta vychází k předpokladu, že nejprve dochází k posunu jednotlivých pražců a k ohybu kolejnic. Až poté, co se celková příčná síla přenesou pomocí ohybové tuhosti kolejového roštu i do krajních pražců v takové míře, že se i krajní pražec posouvá po plastické části průběhu příčné tuhosti, až nyní dochází k plastickému posunu celého kolejového roštu a každý pražec vzdoruje totožnou silou.

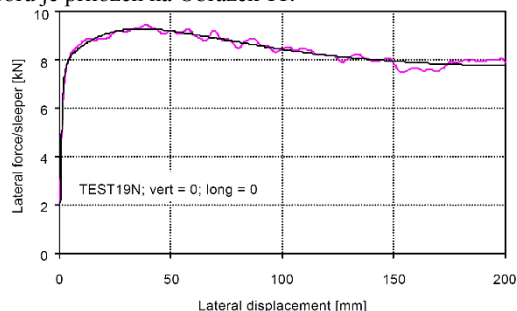
Můžeme tak říct, že maximální příčný odpor betonového pražce je cca 10,6 kN. Přesný průběh odporu a ani maximální posun na začátku plastické větve nelze prozatím stanovit. Vzhledem k tomu, že předpis UIC 774-3 a ani ČSN EN 1991-2 neuvádí hodnoty příčného odporu bezстыkové koleje, musíme porovnání hledat v národních předpisech. Předpis SŽDC S3/2 uvádí minimální odpor koleje ve šterkovém loži s betonovými pražci 7 kN/bm, což při rozdělení „u“ (osová vzdálenost pražců 600 mm) odpovídá hodnotě 4,2 kN na jeden pražec. Průběh příčného odporu předpis SŽDC S3/2 též neuvádí. Stejný předpis je zmíněn i v publikaci [21] v grafu na Obrázek 10.



Obrázek 10: Průběh příčného odporu koleje (1 bm) dle SŽDC S3/2 a dle [21]

### 3.5. Porovnání se zahraničním experimentem

Dalším možným porovnáním je srovnání výsledků s experimentem na TU Delfty. V publikaci [1] je uveden graf příčného odporu modelu koleje. Výsledný graf příčného odporu je přiložen na Obrázek 11.



Obrázek 11: Výsledek příčného odporu modelu bezстыkové koleje na TU Delft

Na výsledném grafu je patrné, že během měření na TU Delfty bylo dosaženo menší maximální síly na jeden pražec a zároveň této síly bylo dosaženo při násobně větším posunu. Maximální síla byla stanovena na 9,012 kN/pražec při posunu cca 30 mm. V [1] jsou uvedeny rovnice pro příčný odpor pražce v závislosti na svislé působící síle. V souvislosti s tímto grafem závislosti jsou stejné rovnice uvedené i pro další zdroje:

- BR (British Railways)  $F_p = 0,665V + 8,978$
- US (United States)  $F_p = 0,860V + 6,851$
- DB (Deutsche Bahn)  $F_p = 0,872V + 11,204$

Z výše uvedených rovnic získáváme po dosazení nulové svislé síly maximální příčný odpor nezátíženého pražce u německých železnic (DB) a to sice 11,2 kN/pražec. Všechny ostatní příčné odpory jsou menší oproti odporu našeho experimentálního modelu koleje. Jednotlivé průběhy odporů bohužel nejsou známy, stejně tak velikost a uspořádání zkušebních modelů, způsob zatěžování a ani způsob měření. Ačkoliv oproti měření koleje na TU Delfty je náš stanovený příčný odpor pražce tužší a dosahuje větší mezní síly, je nutné porovnat i uspořádání koleje a způsob zatěžování. Primárně na TU Delfty se jednalo o otevřené kolejové lože, tzn. před čelem pražce byl šterk posouván, nikoliv tlačén mezi čelem pražce a betonovou bočnicí uzavřeného kolejového lože. Dále byl kolejový rošt tažen, nikoliv tlačén. To však není tak zásadní rozdíl, výraznější rozdíl je, že byl tažen ve 2 bodech, což zaručovalo posun roštu jako celku. Dle uspořádání experimentu tak pravděpodobně nedocházelo k horizontálnímu či pouze minimálnímu průhybu kolejového roštu.

## 4. DISCUSSION

Při celkovém shrnutí dosavadních výsledků můžeme s jistotou říci, že maximální příčný odpor koleje v uzavřeném šterkovém loži na betonovém mostě je výrazně větší než minimální požadovaná hodnota dle předpisu SŽDC S3/2.

Maximální odpor je větší i než běžně udává hodnota dle literatury.

Vzhledem k absenci přesně známé torzní tuhosti v současné chvíli není možné stanovit průběh odpor a ani limitní posun na začátku plastické deformace.

Z těchto důvodů je nezbytně nutné provést plánovaný experiment na měření torzní tuhosti použitých upevňovačů.

S těmito kompletními vstupními údaji bude možné teračním způsobem zjistit průběh odporu betonových prazců bez vlivu ohybové tuhosti kolejnic a torzní tuhosti upevňovačů. S tímto odporem je v plánu dále posuzovat příčnou stabilitu koleje v rizikových oblastech, jako jsou přechodové oblasti před a za železničním mostem bez kolejnicových dilatačních zařízení.

## 5. CONCLUSIONS

Z doposud provedených experimentů (výše popsané měření + měření podélného odporu nezatižené i zatížené koleje) vychází všechny měřené odpory větší než normami či lokálními předpisy požadované minimální hodnoty.

Z výše popsaných výsledků jasně vyplývá nezbytnost naplánovaného experimentu na měření torzní tuhosti upevňovačů. Z důvodu, že při měření příčného odporu nedochází pouze k příčným posunům, ale i horizontálnímu průhybu kolejového roštu, nelze přesný průběh příčného odporu bez znalosti přesného průběhu torzního odporu použitých upevňovačů stanovit.

Po provedení zkoušky torzní tuhosti upevňovačů budeme tak znát všechny potřebné parametry bezстыkové koleje (vyjma svislé tuhosti koleje, ta ovšem případné napětí či posuny nosné konstrukce při interakci koleje a mostu ovlivňuje zcela zanedbatelně) a bude možné provést nové podrobnější vyhodnocení provedeného měření koleje na mostě Chabařovice.

Se získanými parametry se dále předpokládá provedení série výpočtů bezстыkové koleje na reálných mostních konstrukcích. Zde je cílem posoudit normová kritéria pro použití bezстыkové koleje. Na základě těchto výsledků je cílem celé série měření a výpočtů stanovit míru konzervativnosti aktuálně používaných norem a případně iniciovat změnu některých limitních kritérií.

Cílem celé disertační práce by tak mělo být usnadnění a zpřesnění výpočtu bezстыkové koleje na mostech a taktéž případné rozšíření možností použití bezстыkové koleje na mostech.

## ACKNOWLEDGEMENTS

Uvedte poděkování projektu, v rámci kterého vznikl váš příspěvek. Případně se domluve s vaším školitelem. Příspěvek vznikl za finanční podpory...

## 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. Bezстыková 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/TA0303109-9-Met\\_komb\\_od\\_kce\\_kol.pdf](http://concrete.fsv.cvut.cz/vystupy/download/TA0303109-9-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](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 bezстыkové 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/ind ex.php?dir=Skripta/BN02-Zeleznicni%20stavby%20II/&file=M06-Bezstykova%20kolej.pdf>