

ZAHRANIČNÍ EXPERIMENTY ZAMĚŘENÉ NA PARAMETRY KOLEJOVÉHO LOŽE BEZSTYKOVÉ KOLEJE

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

Tento článek se zabývá shrnutím zahraničních experimentů a měření zabývajících se výzkumem parametrů bezстыkové koleje. Popsaná měření byla provedena in-situ a nebo na modelu výseku koleje.

Experimenty a měření se zabývaly dílčími parametry bezстыkové koleje. Jedná se o vstupní parametry pro výpočet interakce bezстыkové koleje na mostě a dále pak parametry ovlivňující příčnou stabilitu bezстыkové koleje. Základními parametry analýzy interakce koleje a mostu je podélný odpor vertikálně nezatížené i zatížené koleje. V rámci měření byl zkoumán podélný odpor kolejového lože, příného upevnění a kolejnicového upevňovačla. Z hlediska stability koleje byl zkoumán příčný odpor koleje a příčný odpor jednotlivého pražce.

KLÍČOVÁ SLOVA

Bezстыková • Kolej • Odpor • Experiment • Vyhodnocení

ABSTRACT

This article is a summaries foreign experiments and measurements dealing with the investigation of the parameters of continuously welded rail. The described measurements were carried out in-situ or on a track model.

The experiments and measurements dealt with parameters of continuously welded rail. These are the input parameters for analysis of the track-structure interaction and then the parameters affecting the transverse stability of the continuously welded rail. The input parameters for the calculations of the interaction between the rail and the bridge are the longitudinal resistance of the vertically unloaded and loaded rail. As part of the measurement, the longitudinal resistance of the rail ballast, direct fastening and rail fastener was investigated. From the point of view of track stability, the transverse resistance of the track and the transverse resistance of an individual sleeper were investigated.

KEYWORDS

Continuously • Rail • CWR • Experiment • Evaluation

1. ÚVOD

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

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

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 šterkového lože, odporem šterkového lože před čely pražců a dále z ohybové tuhosti kolejnic a torzní tuhosti kolejnicových upevňovačel. Ani jeden ze výše uvedených parametrů součástí celkového příčného odporu mezinárodní norma UIC v současnosti vůbec nespecifikuje.

2. EXPERIMENTÁLNÍ MĚŘENÍ

2.1. Interakce pražce a šterkového lože v podélném a příčném směru (De Iorio Antonio et.al.) [1]

Test proběhl blízko centrální železniční stanice v Neapoli. Byl testován cca 200 m dlouhý přímý úsek koleje s 237 kg FSV35P pražci v osové vzdálenosti 0,6 m a kolejnicemi UIC60. Pražce FSV35P jsou 2,42 m dlouhé, v patě jsou široké 280 mm a mají výšku 190 mm. Tloušťka šterkového lože pod pražcem byla 40 cm a celková výška lože byla 55 cm. Trať byla rozdělena do 7 úseků – na 4 úsecích mělo probíhat měření příčného odporu a na 3 úsecích měření podélného odporu.

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

Nejprve byla strojní podbíječkou upravena trať v délce cca 300 m. Následně byl cca 200 m dlouhý úsek oddělen přeříznutím kolejnic a vytvořením mezery cca 1 m. Dále byly povoleny a znovu dotaženy všechny upevnění. Každý úsek byl oddělen 2 „neaktivními“ pražci, aby bylo zabráněno vzájemné interakci.

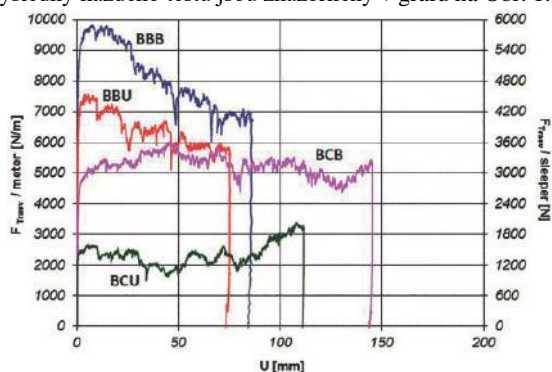
Celkem byly provedeny 4 příčné testy:

- příčné zkoušky 4 pražců obsypanými do úrovně horního líce (BBB)
- 4 pražce s odstraněným štěrskem mezi pražci (BCB)
- 4 pražce s odstraněným štěrskem za čely pražců (BBU)
- 4 pražce s odstraněným štěrskem ze všech stran (BCU)

A dále byly provedeny 3 podélné zkoušky:

- zkoušky 6 pražců obsypanými do úrovně horního líce
- 6 pražců s odstraněným štěrskem za čely pražců
- 6 pražců s odstraněným štěrskem ze všech stran

Jak již bylo řečeno, měření příčného odporu proběhlo na 4 částech trati, kde se každá část skládala ze 4 pražců s různými, výše uvedenými, konfiguracemi štěrkového lože okolo pražců. Výsledky každého testu jsou znázorněny v grafu na Obr. 1.



Obrázek 1: Křivky z měření příčného odporu pražce

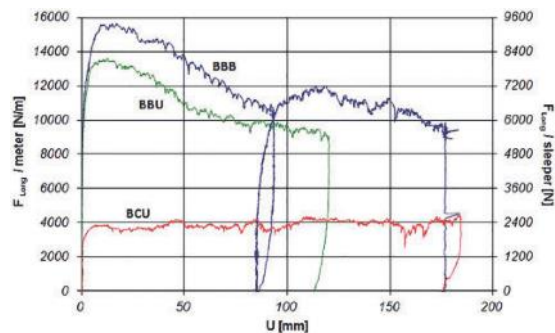
Měření podélného odporu bylo provedeno na 3 úsecích koleje a každý se skládal ze 6 pražců. Stejně jako u příčného odporu, i zde byly testovány různé konfigurace štěrkového lože v okolí pražce.

Nejprve byly odstraněny všechny pražce mezi zatěžovacím zařízením a prvním pražcem zkušebního úseku koleje. Kolejnice délky cca 1,2 m nad těmito pražci byly uříznuty.

Pro druhé měření, kolejnice z prvního měření byly odstraněny z upevňovadel a kolejnice druhého zkušebního úseku byly k zatěžovacímu zařízení připojeny dvěma řetězy.

V rámci prvního měření bylo zatěžování přerušeno a znovu obnoveno. To bylo provedeno za účelem ověření průběhu zatěžovací křivky a maximální síly v případě, že dojde k pozastavení plynulého posunu koleje.

Naměřené průběhy posunu v závislosti na působící síle jsou znázorněny v grafu na Obr. 2.



Obrázek 2: Křivky z měření podélného odporu pražce

V této studii byl stanoven vliv štěrkového lože na celkový odpor koleje. Bylo zjištěno, že, na celkovém příčném odporu pražce se jednotlivé složky odporu podílí následovně: vliv štěrku mezi pražci je 50 %, vliv štěrku pod pražcem je 25 % a vliv štěrku z čela pražce je zbylých 25 %.

Na celkovém podélném odporu pražce se jednotlivé složky odporu podílí následovně: vliv štěrku mezi pražci je 60 %, vliv štěrku pod pražcem je 30 % a vliv štěrku z čela pražce je zbylých 10 %.

2.2. Měření příčného a podélného odporu koleje ve štěrkovém loži (Saeed Mohammadzadeh, Morteza Esmaeili, Fatemeh Khatibi) [2]

Zkoušky byly provedeny na trati v železniční stanici Aprin jihozápadně od Teheránu v Íránu. Trať je dlouhá cca 70 m a je ohraničena dvěma betonovými podporami. Tyto podpory zabraňují podélným posunům a umožňují tak vytvořit v kolejnicích podélné tlakové napětí/síly. Jedna betonová zeď je zřízena na jednom konci koleje a speciální vložená betonová deska délky 5 m je provedena na opačné straně.

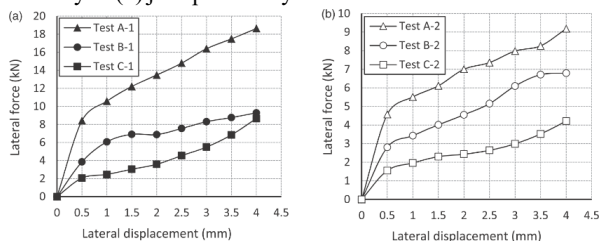
Obě betonové konstrukce jsou pevně spojeny se zemí pomocí hlubokých základů tak, aby byla zaručena jejich odolnost proti značným podélným silám v koleji. Důvod, proč je na jedné straně zřízena pouze betonová deska je ten, aby na kolej mohly stále vjíždět železniční vozidla – např. zkoušet trať po ztuhnutí štěrkového lože strojní podbíječkou či zkoušení vertikálně zatížené trati.

Na zkušebním úseku jsou použity kolejnice UIC60 s upevňovadly Pandrol e-clip. Na trati jsou použité betonové pražce B70 s osovou vzdáleností 600 mm, celkem je na zkušebním úseku 108 pražců. Tloušťka štěrkového lože pod pražcem je 35 cm a jeho šířka za čely pražce je 40 cm.

Na trati byly provedeny 3 vytlačovací zkoušky jednotlivých pražců s označením A, B a C.

Zkoušky A se týkaly pražce celého ve štěrkovém loži – standardní situace v koleji a byl tak měřen celkový příčný odpor. U zkoušek B byl odstraněn štěrk před čely pražců a byl měřen příčný odpor s působením dolního a bočního líce pražce. U zkoušek C byl odstraněn štěrk z čela i z boku pražců a byl tak měřen odpor závislý pouze na dolním líci pražce. V každé skupině byly provedeny minimálně 3 zkoušky na různých pražcích.

Jak bylo dříve popsáno, vytlačovací zkoušky jsou rozděleny do 3 skupin A, B a C dle varianty odstranění šterkového lože v okolí pražců. Na Obr. 3 jsou grafy z jednotlivých testů. Zkoušky -1 (a) jsou měřeny na zhutněném šterkovém loži a zkoušky -2 (b) jsou prováděny na rozvolněném šterkovém loži.



Obrázek 3: Experimentálně naměřená data z vytlačovací zkoušky pražce v případě (a) zhutněného šterkového lože a (b) rozvolněného šterk. lože

Naměřený příčný odpor na rozvolněném šterkovém loži je o cca 50 % nižší než ve zhutněném loži. Na základě jednotlivých průběhů byly dopočteny jednotlivé složky odporů - Ft (celkový odpor), Fc (odpor na bocích pražce), Fsh (odpor na čele pražce) a Fb (odpor na dolním líci pražce).

Křivka závislosti síly a posunu závisí na úrovni zhutnění šterkového lože. Když je šterkové lože dobře zhutněno, je na grafu vidět jasné maximum a s narůstající deformací působící síla klesá. V případě rozvolněného lože naopak síla postupně stoupá až do jisté úrovně a po jejím dosažení s narůstající deformací zůstává víceméně konstantní. Na testu 1 a 2 není jasný vrchol zřetelný, ovšem u testu 3 je vrchol cca 10 kN. Shrnutí působících sil při posunu 2 mm je v následující tabulce Tab. 1.

Za účelem dosažení větší deformace, která zpravidla nastává při ztrátě stability koleje, byly provedeny i vytahovací zkoušky jednotlivých pražců, při kterých mohlo být dosaženo posunu až 20 cm.

Tabulka 1: Srovnání výsledků vytlačovacích a vytahovacích zkoušek pražce

Zkouška	Měření	Ft [kN]	Průměrná Ft [kN]
Vytlačovací test	A-1	13,47	-
	A-2	7,00	
Vytahovací test	1	6,43	6,48
	2	7,97	
	3	5,55	

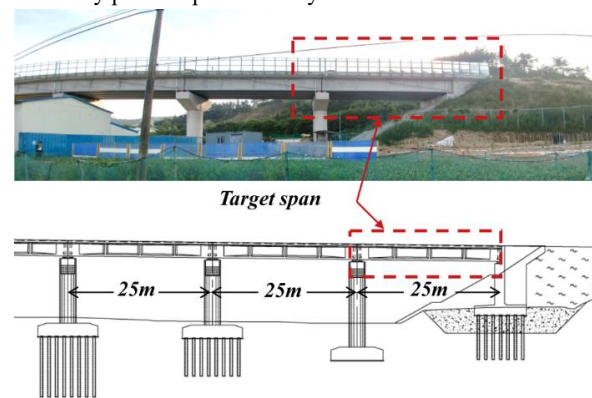
Zkušební úsek délky 70 m byl dále zatěžován v podélném směru. Aby nedošlo k vyboulení ve svislém směru z důvodu koncentrované síly před lisou, byly použity 2 betonové pražce s hmotností cca 400 kg umístěné na kolejnici. Na konce kolejnic byl umístěn tuhý ocelový rám, přes který byla přenášena podélná síla a bylo tak docíleno stejných posunů obou kolejnic.

Poté, co byla kolej několik minut zatížena maximální silou, byla rychle odtížena. V průběhu celého zatěžování i odtižení byly měřeny podélné a příčné posuny na vybraných místech podél koleje.

Jednotlivé posuny při působící síle jsou 9,61 mm, 5,07 mm a 4,36 mm. Rozdíly v posunech mezi jednotlivými snímači mohou být vlivem rozdělení podélné síly po délce koleje a proto mají posuny snižující se charakter od místa působení zatížení. Jako výsledný podélný odpor byla zvolena dosažená síla při posunu 10 mm. Při rozdělení této síly 1040 kN na 108 pražců získáme podélný odpor 1 pražce 9,63 kN.

2.3. Kvantifikace interakce bezстыkové koleje na mostě v Jižní Koreji vlivem kolísání teplot (Yun Kyung-Min et.al.) [3]

Měření proběhlo in-situ na mostě s bezстыkovou kolejí zobrazeném na Obr. 4. Jedná se o novostavbu a na mostě před a během měření neprobíhal žádný oficiální železniční provoz. Z toho důvodu není nutné uvažovat vliv dopravy na změny šterkového lože. V tomto experimentu byly měřeny a vyhodnocovány pouze teplotní účinky.



Obrázek 4: Fotografie měřeného mostu včetně zjednodušeného schématu se znázorněním měřeného pole

Měřené prosté pole se skládá z prefabrikovaných předpjatých betonových nosníků. Na mostě je zřízeno šterkové lože s betonovými pražci, svorkami Pandrol e-clip a kolejnicemi UIC60. V rámci experimentu byla v trati byla měřena teplota kolejnic, napětí v kolejnicích a relativní posuny mezi kolejí (pražci) a nosnou konstrukcí. V rámci měření posunu koleje bylo uvažováno, že kolejnice a pražec se posouvají shodně vzhledem k tomu, že podélný odpor pražce ve šterkovém loži je menší než odpor v upevňovadle mezi kolejnicí a pražcem. Na mostní části byla měřena teplota nosné konstrukce, relativní posuny nosné konstrukce a natočení konců nosné konstrukce. Odečty dat probíhaly v intervalu 30 minut po dobu 4 měsíců.

Pro stanovení koeficientu teplotní roztažnosti se vycházelo z rovnice $\Delta L = \alpha \cdot \Delta T \cdot L$, kde ΔL jsou změřené posuny nosné konstrukce, L je známá dilatační délka nosné konstrukce, ΔT jsou změny efektivní teploty a α je právě hledaný součinitel. Posuny nosné konstrukce byly stanoveny ze snímačů u opěry u horního a dolního líce nosné konstrukce. Uvážením obou snímačů byl zohledněn vliv natočení konstrukce nosné konstrukce.

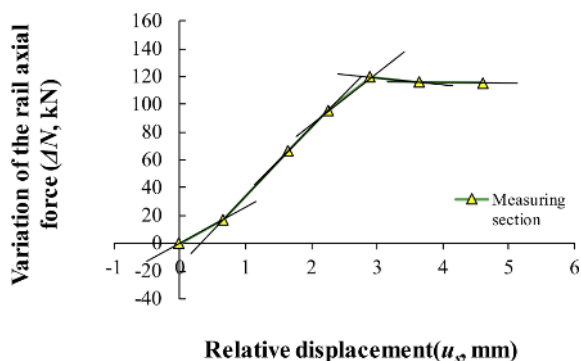
Stanovení efektivní teploty se zohledněním všech měřených teplot v daných bodech příčného řezu by mohlo vést ke značným chybám, neboť teplotní rozložení bylo jiné pro každý nosník. Ke stanovení součinitele teplotní roztažnosti byla zvolena lineární regrese s metodou nejmenších čtverců.

Sklon křivky závislosti teploty a posuny vyjadřuje součinitel teplotní roztažnosti. Regresní analýzou byl tento součinitel stanoven jako $1,01 \times 10^{-5}$, což koresponduje s hodnotou udávanou v předpisu UIC.

V rámci monitoringu byla sledována i napětí v kolejnicových pásech. Výsledná síla v kolejnicích byla pak stanovena jako součin měřeného poměrného přetvoření, plochy kolejnice a modulu pružnosti kolejnicové oceli.

Skutečný průběh podélného odporu je předpokládán jako nelineární křivka, zatímco předpis UIC 774-3R křivku zjednodušuje na ideální pružnoplastický průběh.

Pro vyhodnocení podélného odporu koleje byla použita zjištěna, resp. přepočtená síla v kolejnicových pásech, relativní posuny mezi nosnou konstrukcí a pražci a průběh efektivní teploty. Stanovení podélného odporu bylo provedeno opět pomocí lineární regrese. Úpravou a zjednodušením skutečného průběhu (Obr. 5) byl vyhodnocen pružnoplastický podélný odpor koleje s maximální hodnotou 11,7 kN na pražec se začátkem plastické části při posunu 2,7 mm.



Obrázek 5: Stanovený podélný odpor koleje

2.4. Podélný odpor koleje ve šterkovém loži se zohledněním 4 různých typů pražců (Rudney C. Queiroz) [4]

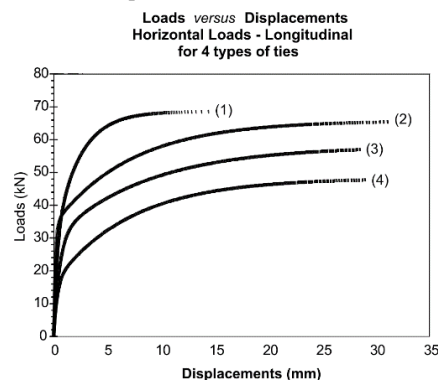
Tento experiment byl proveden univerzitou v Sao Paulo v Brazílii a zabývá se porovnáním odporů koleje ve šterkovém loži se 4 různými typy pražců. Jedná se o ocelové pražce, dřevěné pražce, předpjaté betonové pražce a dvoublokové betonové pražce. Pro tento experiment byly použity modely koleje s rozchodem 1600 mm s kolejnicemi TR-68 uchycenými k 7 pražcům s osovou vzdáleností 600 mm pružnými svorkami Pandrol s podkladnicemi. Všechny pražce byly uloženy ve šterkovém loži tloušťky 35 cm uloženém na 30 cm vrstvě ztuhlé zemině.

Hlavním cílem tohoto měření bylo stanovení podélného odporu pražců na základě změřených posunů. S uvážením zjištěných podélných odporů může být následně stanovena délka dýchajícího konce koleje. V souvislosti s touto délkou je pak možné stanovit nutnou dilatační kapacitu kolejového dilatačního zařízení při dané upínací teplotě.

Pro dané pražce byly v rámci měření získány posuny při dosažení maximální podélné síly:

- Dřevěné pražce 28 mm
- Betonové předpjaté pražce 15 mm
- Betonové dvoublokové pražce 21 mm

• Ocelové pražce 29 mm



Obrázek 6: Srovnání křivek síly v závislosti na podélném posunu pro 4 typy pražců (1) – betonový pražec, (2) – dvoublokový pražec, (3) dřevěný, (4) ocelový

V rámci vyhodnocení bylo ověřeno, že předpjaté betonové pražce a betonové dvoublokové pražce vykazují větší odpory než zbylé dva typy pražců. Betonové předpjaté pražce dosáhly maximálního zatížení 69 kN při posunu 10 mm.

Při uvážení limitního posunu 15 mm pro kolejová dilatační zařízení bylo zjištěno, že betonové dvoublokové pražce dosahují síly cca 62 kN a betonové předpjaté pražce dokonce cca 69 kN. Pro tento 15 mm posun je zatěžovací síla u dřevěných pražců cca 53 kN a u ocelových pražců cca 45 kN. V následující tabulce (Tab. 2) jsou stanoveny odporové síly vztažené na 1 pražec pro 15 mm posun.

Tabulka 2: Porovnání sil při dosažení posunu 15 mm pro 4 typy pražců

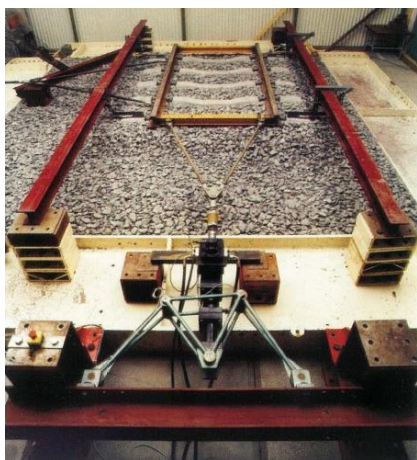
Pražec	Zatížení na 1 pražec [kN] při posunu 15 mm
Dřevěný	7,57
Betonový předpjatý	9,86
Betonový dvoublok	8,86
Ocelový	6,43

2.5. Měření podélného a příčného odporu na TU Delft (Zand, J. van 't, Moraal, J) [5]

Na Technické univerzitě v Delftu proběhla série experimentů na modelu nahrazujícím reálnou kolej na zemním tělese. Samotná konstrukce koleje se skládala ze dvou kolejnic UIC54, které byly upevněny na 5 pražcích NS90 na podložkách Fc9 pomocí svěrek Vossloh Skl 1. Pražce byly uloženy ve šterkovém loži frakce 30/63 s mocností 300 mm pod spodním lícem pražce. Celý kolejový svršek ležel na betonových deskách.

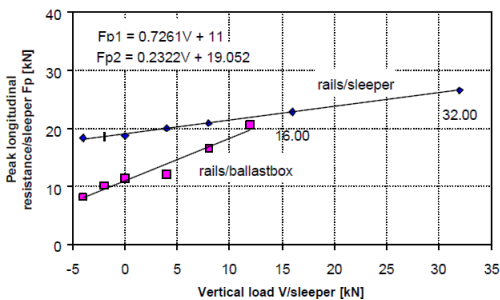
Jelikož každý zatěžovací krok je destruktivní zkouškou, pro získání reprezentativních výsledků bylo šterkové lože vždy před novým zatěžovacím cyklem upraveno a ztuhněno na standardní hodnoty. Před prvním pražcem (ve směru tahu kolejového roštu) byla odstraněna část kolejového lože odpovídající pražci, který by v případě kontinuální koleje ležel před tímto pražcem. Pokud by toto opatření nebylo provedeno, bylo by před pražcem „nahrnuto“ nadměrné množství kameniva, které by zvyšovalo reálné podélné odpory.

Zatížení na kolejový rošt bylo přenášeno pomocí trojúhelníkového mechanismu (fotografie na Obr. 7), kde se tahové síly z hydraulických pístů roznášejí rovnoměrně do dvou bodů. Jeden píst je umístěn v přední části koleje a umožňuje podélný posun, druhý píst je umístěn vedle koleje a zajišťuje možnost příčného posunu. Z důvodu příčného zatěžování jsou obě kolejnice ve dvou místech vzájemně spojeny ocelovými nosníky, aby bylo zaručeno rovnoměrné zatížení obou kolejnic. Také z důvodu příčných posunů je přední hydraulický píst připevněn ke speciálnímu zařízení, které umožňuje „kopírovat“ příčný posun bez toho, aniž by se píst musel jakkoliv natáčet. Při simulaci zatíženého kolejového lože byly na kolejnice naskládány betonové desky o rozměrech 2000x1500x100 mm, každá působící silou 9,95 kN.



Obrázek 7: Fotografie z experimentu na TU Delfty

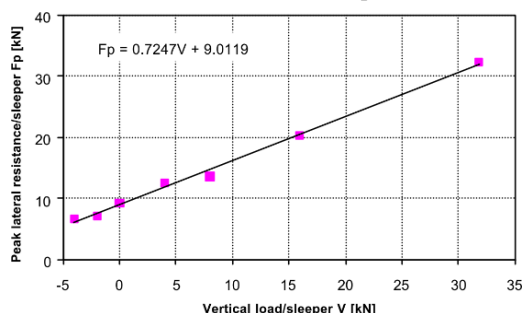
Dále bylo podélné zatížení měřeno také jako funkce podélného posunu kolejnice vzhledem k pražci. Stejný typ uchycení kolejnice k pražci a stejné podmínky zatížení byly aplikovány na model koleje. Zajímavé je pak vzájemné porovnání výsledků z obou experimentů. Podle všeho, pro relativně nízké svislé zatížení je odpor upevňovadel (modré body) větší než odpor koleje (růžové body) ve štěrkovém loži. Nicméně, pokud jednotlivá maxima spojíme lineární funkcí jejich trendu, jak je patrné na Obr. 8, jednotlivé funkce se protnou okolo hodnoty svislého zatížení 15 kN na pražec. To znamená, že u koleje s větším svislým zatížením je rozhodující odpor v upevňovadlech, ne ve štěrkovém loži. Je důležité zmínit, že u obou experimentů působilo svislé zatížení pouze svisle na hlavu kolejnice a nevznikaly žádné podélné třecí síly, jak by tomu bylo ve skutečnosti. Pro nezatíženou kolej je odpor v upevňovadle 1,73x větší než odpor ve štěrkovém loži.



Obrázek 8: Srovnání maxima podélného odporu měřeného na modelu koleje a v samostatném testu upevňovadla

V rámci měření příčného odporu pražce na TU Delfty bylo dosaženo menší maximální síly 9,012 kN/pražec při posunu cca 30 mm. V grafu na Obr. 9 jsou uvedeny dílčí výsledky měření příčného odporu pražce při různých velikostech působící svislé síly na pražec. Z jednotlivých bodů je patrné, že vztah mezi velikostí svislé síly a výsledného odporu pražce je víceméně lineární. Na základě této skutečnosti je na Obr. 9 uvedena rovnice pro tento lineární vztah. V jsou uvedeny další rovnice pro příčný odpor pražce v závislosti na svislé působící síle 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) $F_p = 0,872V + 11,204$

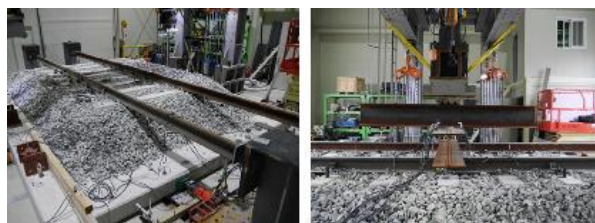


Obrázek 9: Závislost příčného odporu pražce na působícím vertikálním zatížení

2.6. Experimentální studie podélného odporu koleje ve štěrkovém loži na mostě (Kyung-Hwan Min, Kyung-Min Yun) [6]

V rámci experimentálního měření byl vytvořen model koleje ve štěrkovém loži tl. 350 mm pod pražci s 5 betonovými pražci s osovou vzdáleností 600 mm s kolejnicemi UIC60. Betonová deska pod štěrkovým ložem nahrazující desku mostovky umožňovala posuny až 30 mm. V rámci měření byly pevně uchyceny konce kolejnic a hydraulickými lisami byla posouvána betonová deska pod kolejí po teflonových podložkách. Na koncích kolejnic ve směru výsuvu byla měřena podélná síla - reakce, která odpovídá podélné síle přenesené do kolejnic vlivem interakce mostu a koleje. Zároveň byly měřeny podélné posuny desky.

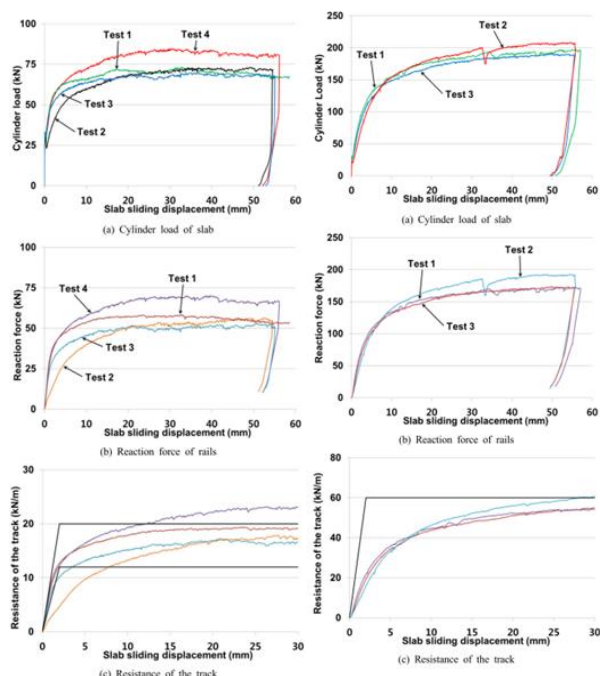
V rámci experimentu byla měřena i varianta s vertikálně zatíženou kolejí. Pro tyto účely byl nad kolej umístěn hydraulický lis (Obr. 10 vpravo), který zatěžoval prostřední pražec silou 170 kN.



Obrázek 10: Experiment bez a s vertikálním zatížením

Před vyhodnocením samotného podélného odporu bylo nutné určit velikost třecí síly při posunu samotné desky, resp. desky s konstrukcí koleje bez upnutých kolejnic.

V rámci měření byly provedeny 4 zatěžovací cykly. Zatěžovací křivky z jednotlivých měření jsou zobrazeny v grafu na Obr. 11. Během měření byla na hydraulických lisech (a) zjištěna maximální síla cca 70-80 kN. Na začátku každého cyklu je průběh téměř svislý a pak dochází k malému poklesu síly – tento jev je připisován právě statickým třecím silám. Na grafu (b) jsou pak vyneseny křivky z měření z výsledných reakcí na koncích kolejnic. V rámci tohoto měření byla zjištěna síla průměrně 55 kN. Na průběhu křivek již není viditelný vliv statické třecí síly. Na grafu (c) je pak zobrazen již vyhodnocený podélný odpor koleje na 1bm. V grafu jsou pro představu vyneseny i křivky odporu dle UIC – 12 kN/m pro běžně udržovanou kolej a 20 kN/m pro dobře udržovanou kolej. Při vztažení této síly na 5 pražců, tj. 3 bm koleje, je průměrný podélný odpor koleje cca 18,3 kN/m.



Obrázek 11: Měření nezátěžené koleje

Obrázek 12: Měření zatěžené koleje s působící vertikální silou 170 kN

V rámci měření svislé zatěžené koleje byly provedeny celkem 3 zatěžovací cykly. Výsledné zatěžovací křivky jsou znázorněny v grafech (a) až (c) na Obrázek 12. Na působících hydraulických lisech (a) byla naměřena působící síla cca 200 kN, na koncích kolejnic (b) byla zjištěna síla cca 170 kN, což odpovídá podélnému odporu cca 58 kN/m. Výsledný odpor koleje je znázorněn na grafu (c). V porovnání s normovým odporem pro zatěženou kolej (60 kN/m; 2 mm) je experimentální odpor výrazně méně tuhý, víceméně v celém rozsahu se pohybuje pod normovým průběhem odporu. Pro představu, při dosažení normového plastického posunu 2 mm je tento odpor pouze cca 20 kN/m.

3. SHRUTÍ PROVEDENÝCH EXPERIMENTÁLNÍCH MĚŘENÍ

Výsledky uvedených experimentálních měření byly přehledně shrnuty v níže přiložené Tabulce 3.

Tabulka 3: Shrnutí výsledků

SHRNUTÍ VÝSLEDKŮ EXPERIMENTÁLNÍCH MĚŘENÍ	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]
podélné						
podélný odpor kolejového lože	nezatřené	15,6 kN/m	X	X	X	X
podélný odpor kolejového lože	zatřené	X	X	19,5 kN/m	X	X
příčné						
příčný odpor koleje vztažený na 1 pražec	X	X	X	6,4-9,9 kN (dle pražce)	9 kN	X
příčný odpor 1 pražce	5,9 kN	(zhuťněné) 13,5 kN (rozvolněné) 7,0 kN	X	X	X	X

4. ZÁVĚR

Výše popsané experimenty a měření popisují chování bezстыkové koleje a stanovují její dílčí parametry. Tyto parametry jsou důležité pro srovnání s normovými parametry koleje, které vstupují do výpočtu interakce koleje na mostě.

Tato řešeršní část zahraničních měření, stejně tak jako tuzezemská měření, které nejsou z důvodu maximálního rozsahu článku uvedena, tak jako vlastní experimentální program ohledně parametrů koleje, slouží k objasnění a potvrzení či vyvrácení normových parametrů koleje. V rámci výzkumu interakce koleje na mostech jsou pak dále zkoumány vlivy jednotlivých parametrů na vyhodnocení použití koleje na mostech.

Reference

- Kyung-Min Yun, Hyun-Ung Bae, Jiho Moon, Jung-Joong Kim, Jong-Chan Park, Nam-Hyoung Lim, Quantification of ballasted track-bridge interaction behavior due to the temperature variation through field measurements, NDT & E International, Volume 103, 2019, Pages 84-97, ISSN 0963-8695, <https://doi.org/10.1016/j.ndteint.2019.01.009>.
- DE IORIO, Antonio, Marzio GRASSO, Francesco PENTA, Giovanni Pio PUCILLO, Stefano ROSSI a Mario TESTA. On the ballast-sleeper interaction in the longitudinal and lateral directions. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit [online]. 2018, 232(2), 620–631. ISSN 0954-4097. Dostupné z: doi:10.1177/0954409716682629
- MOHAMMADZADEH, Saeed, Morteza ESMAEILI a Fatemeh KHATIBI. A new field investigation on the lateral and longitudinal resistance of ballasted track. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit [online]. 2018. ISSN 20413017. Dostupné z: doi:10.1177/0954409718764190
- QUEIROZ, RUDNEY, C. Longitudinal Track-Ballast Resistance of Railroad Tracks Considering Four Different Types of Sleepers. In: 7th World Congress on Railway Research. 2006, s. 98–106.
- VAN'T ZAND, J.; MORAAL, J. Ballast resistance under three dimensional loading. ERRI D, 1997, 202. [online]. Dostupné z: <http://www.esveld.com/Download/TUD/Ballast%20tests.pdf>
- MIN, Kyung-Hwan; YUN, Kyung-Min. An experimental study for longitudinal resistance of ballast track on bridge. Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society, 2016, 17.5: 173-178.