

# EXPERIMENTÁLNÍ STANOVENÍ TORZNÍHO ODPORU KOLEJNICOVÉHO UPEVNĚVADLA

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, resp. na jeho části, a jeho následným numerickým vyhodnocením. Tento parametr velice úzce souvisí s vyhodnocením posledního provedeného experimentu, a to sice měření příčného odporu bezстыkové koleje. V rámci disertační práce budou parametry experimentální bezстыkové koleje porovnány s aktuálně používanými normami a předpisy pro návrh bezстыkové koleje na mostě, případně se srovnatelnými experimenty provedenými v zahraničí. V disertační práci bude popsán rozdíl mezi normovými a experimentálními parametry, jeho vliv na chování bezстыkové koleje 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, respectively on its part and its subsequent numerical evaluation. This parameter is closely related with evaluation of the last performed experiment – measurement of lateral resistance of continuously welded rail. The parameters of the experimental rail will be compared with current standards and regulations used to design actual continuously welded rails on the bridge, eventually with the similar foreign experiment 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 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 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 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 používání

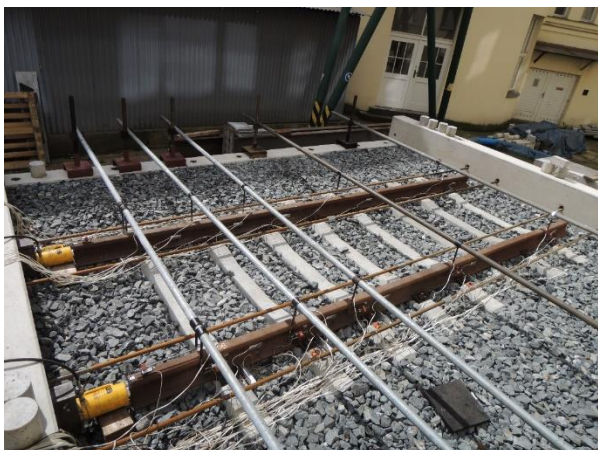
\* Školitel: doc. Ing. Marek Foglar, Ph.D.

parametry aktualizovat či doplnit, aby bylo možné při návrhu železničního mostu využít plného potenciálu bezстыkové koleje.

## 2. EXPERIMENTÁLNÍ MĚŘENÍ

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

Model bezстыkové koleje byl 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 šterkové kolejové lože s celkem 8 betonovými pražci. Lože bylo řádně upraveno dle standardů používaných na železničních tratích. Pražce byly osazeny běžně používanými upevňovacími Vossloh, v nichž byly upevněny dvě kolejnice UIC60. Pohled na celý experimentální model včetně umístěných zatěžovacích lisů a používaných snímačů je na *Obrázek 1*.



*Obrázek 1: Pohled na experimentální model bezстыkové koleje*

### 2.1. Měření podélného odporu

V rámci prvního experimentu byl zkoumán podélný odpor bezстыkové koleje. V rámci prvního měření byly provedeny celkem 3 dílčí měření.

Během prvního dílčího měření byl zkoumán podélný odpor bezстыkové koleje. V rámci měření byla měřena působící podélná síla a podélné posuny pražců i kolejnic. Po numerickém vyhodnocení, v rámci kterého byly posuny ověřovány i na výpočtním modelu, bylo zjištěno, že kvůli jedinému možnému způsobu zatěžování a měření nebylo ve finální fázi zatěžovacího cyklu plně dosaženo plastického posunu kolejnic (konstantní působící síla a narůstající posuny).

V tohoto důvodu bylo přistoupeno k druhému dílčímu měření, během něhož došlo vlastně k opakovanému měření podélnému odporu nezatřené bezстыkové koleje. Během zatěžování a měření byl však kladen větší důraz na celkovou maximální posuny, aby bylo zaručeno, že na konci každého zatěžovacího cyklu bude dosaženo posunu koleje, při kterém

již nebude narůstat podélná síla a zároveň bude docházet k podélnému posunu.

Ve třetí fázi prvního experimentu byl zkoumán opět podélný odpor bezстыkové koleje, ovšem nyní již vertikálně zatřené. Pro tento účel byly na kolejnice umístěny ocelové nosníky, na něž bylo vyskládáno množství betonových silničních panelů. Rozmístění příčných ocelových nosníků a celková velikost statického vertikálního zatřžení bylo voleno tak, aby co nejvíce korespondovalo s dvěma osamělými silami ze zatěžovacího modelu LM 71.

Získané výsledky ze všech tří dílčích měření byly použity ve výpočtních modelech jak části bezстыkové koleje, tak ve výpočtních modelech mostních konstrukcí s bezстыkovou kolejí. V těchto modelech byl posuzován vliv parametrů bezстыkové koleje na výsledná kritéria posuzována dle aktuálních normových požadavků.

### 2.2. Měření příčného odporu

Podélný odpor bezстыkové koleje je rozhodující pro velikost normálového napětí generujícího se v kolejnicových pásech a velikost výsledných posunů nosné konstrukce. Zejména při překročení maximálních tlakových osových sil v kolejnicových pásech je ohrožena celková stabilita bezстыkové koleje, při níž může dojít k směrovému vybočení koleje. A právě do těchto příčných horizontálních posunů vstupuje další parametr koleje, a to sice příčný odpor.

Pro stanovení příčného odporu bezстыkové koleje byl použit stejný již zhotovený experimentální model, kde však byl pro potřeby měření upraven způsob sepnutí konstrukce, způsob zatěžování i samotného měření (viz *Obrázek 2*).



*Obrázek 2: Zatěžování modelu bezстыkové koleje při měření příčného odporu koleje*

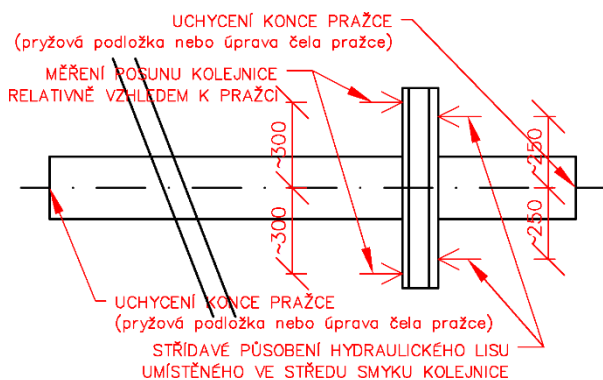
V rámci měření byl do osy symetrie příčně umístěn zatěžovací lis a měřeny byly příčné deformace vybraných pražců i vybraných míst na jednotlivých kolejnicích. Jelikož při tomto měření nedochází k plastickému posunu jednotlivých pražců ve stejném okamžiku, bylo pro vyhodnocení průběhu nutné sestavit další výpočtní model, neboť ze samotného průběhu sil a deformace je možné stanovit pouze maximální příčný odpor celé plastické větve.

Během numerických výpočtů jednotlivých zatěžovacích cyklů bylo zjištěno, že poměrně velký vliv na celkový příčný odpor koleje má torzní tuhost jednotlivých upevňovadel. Tato torzní tuhost do výpočtu vstupuje tak, že jednotlivé pražce zůstávají vzájemně rovnoběžné a vlivem průhybu kolejnice, resp. celého kolejového roštu, dochází k natočením v jednotlivých upevňovadlech. Jelikož v torzním odporu rozhoduje jak jeho absolutní velikost, tak i jeho průběh, bylo nutné přistoupit k poslednímu, třetímu experimentálnímu měření.

### 2.3. Měření torzní tuhosti použitého upevňovadla

Jak již bylo uvedeno v předchozích odstavcích, v rámci komplexního měření parametrů bezстыkové koleje bylo nutné stanovit torzní tuhost použitých upevňovadel. Pro tento účel nebyl již použit předchozí model kolej, nýbrž pouze 1 pražec s dvěma krátkými kolejnicemi.

Jelikož už se nejednalo o model tak velkých rozměrů, bylo měření možností provést na zkušební lavičce. Zde byl umístěn pražec, který byl na obou čelech a pro jistotu i z bočních stran přichycen ocelovými přípravky, které byly při každém přestavení ručně doraženy a zajištěny pomocí závitových tyčí. Samotné zatěžování nebylo možné provést jakýmsi krouticím zařízením, proto byl pro tento účel vybrán hydraulický lis, který působil 0,25 m od osy upevnění, čímž vyvolával krouticí moment v upevňovadle. Natočení kolejnice nebylo měřeno úhleměrem, ale dvojicí snímačů upevněných na samotném pražci a měřící posuny ve vzdálenosti 0,30 m od osy upevnění. Schéma měření je pak znázorněno na Obrázek 3.



Obrázek 3: Schéma experimentu měření torzní tuhosti upevňovadla

#### 2.3.1. Průběh experimentu

V rámci celého experimentu měření torzní tuhosti bylo celkem provedeno 8 zatěžovacích cyklů. Nejprve bylo zkoušeno upevňovadlo na jedné straně pražce, kde proběhly 4 zatěžovací cykly. Kolejnice byla zatěžována střídavě, tzn., že ke kroutění docházelo střídavě ve směru a vproti směru hodinových ručiček. Po každém zatěžovacím cyklu byl pražec přestaven tak, aby byl změněn směr krutu. Po provedení těchto 4 cyklů byl pražec otočen o 180° a bylo zkoušeno upevňovadlo na druhé straně.

Na jednom kanálu měřící ústředny probíhalo měření působící síly a zároveň byla měřena deformace, resp. výsuv samotného lisu. Měření pouze jedním snímačem bylo nejisté a proto byla použita i dvojice snímačů upevněných na pražci. To se při vyhodnocování ukázalo jako dobrý krok, neboť při zatěžování pravděpodobně docházelo k mírným posunům celého pražce (dotlačení podložek na jeho čelech) a možná i k posunům upevňovadla. Pohled na měřený pražec je na Obrázek 4.



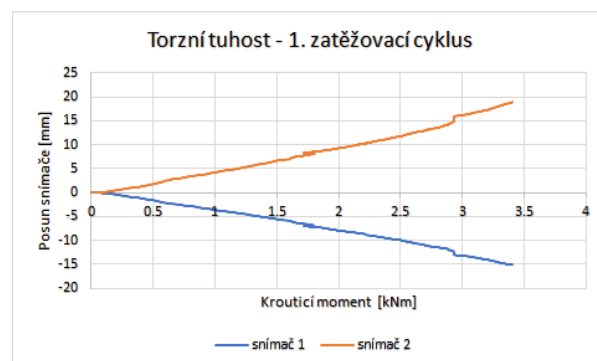
Obrázek 4: Pohled na zkoušené upevňovadlo včetně zatěžovacího lisu a měřících snímačů

## 3. ZÍSKANÉ VÝSLEDKY

Jak již bylo řečeno v předchozí kapitole, během zatěžování deformace měřily celkem 3 snímače. Vzhledem k tomu, že během zatěžování mohlo dojít k malým posunům celého pražce v rámci dotlačení k instalovaným zádržkám, nebyly hodnoty posunů ze snímače zatěžovacího lisu použity pro vyhodnocení.

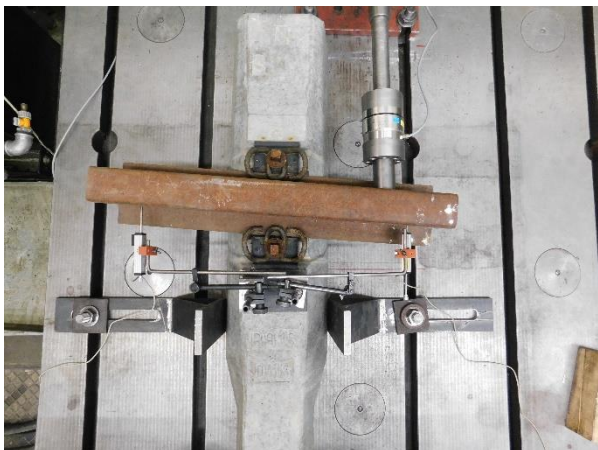
Pro samotné vyhodnocení tedy byly zásadní hodnoty ze dvou snímačů na pražci a celková působící síla. Jelikož se zde jedná o kroutění, byla působící síla převedena na krouticí moment pomocí působícího ramena od středu upevňovadla.

Výsledky z prvního zatěžovacího cyklu jsou znázorněny na Obrázek 5. V tomto grafu jsou záměrně ponechány hodnoty posunů z obou snímačů, nikoliv odvozené natočení. Je to z toho důvodu, že na grafu jsou lépe pozorovatelné rozdíly mezi oběma snímači.



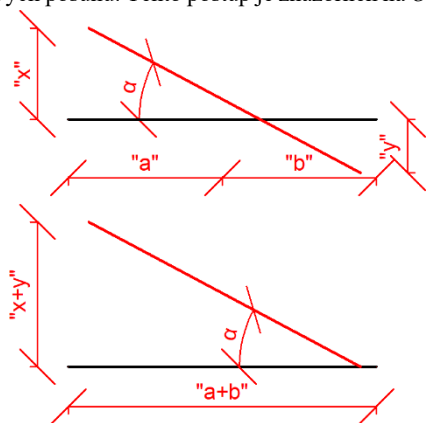
Obrázek 5: Výsledky z prvního zatěžovacího cyklu

Při zkoumání výsledků byly rozdíly mezi jednotlivými snímači zjištěny ve všech zatěžovacích cyklech. Ba navíc, byla zjištěna závislost na tom, z jaké strany byl pražec aktuálně zatěžován a který snímač vykazoval větší/menší hodnoty. Tento jev je vysvětlen na *Obrázek 6*. Na této fotografii je viditelná deformace upevňovačů, kdy k otáčení kolejničky nedochází v jeho středu, nýbrž dochází k natočení kolejničky přes „roh“ upevňovačů.



*Obrázek 6: Natočení kolejničky v upevňovači na konci zatěžovacího cyklu*

V závislosti na deformaci upevňovačů (*Obrázek 6*) bylo přistoupeno k vyhodnocení natočení pomocí součtu jednotlivých posunů. Tento postup je znázorněn na *Obrázek 7*.

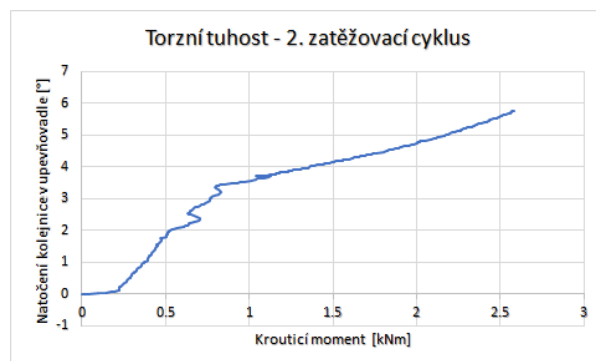


*Obrázek 7: Úprava posunů k převedení na úhel*

V horní části je znázorněna kolejnička, u které nedochází k natočení ve středu upevňovačů („a“ = „b“), ale střed otáčení je posunut na „roh“ upevňovačů. Aby mohl být tento jev eliminován, bylo přistoupeno k vyhodnocení dle dolní části obrázku. Pokud sečteme absolutní hodnoty posunů obou snímačů „x“ + „y“ a zároveň sečteme i vzdálenosti obou snímačů „a“ + „b“, získáváme ve skutečnosti dvounásobné posuny na dvounásobném ramenu, což odpovídá stejnému natočení.

Ze stejného důvodu bylo poupraveno i rameno působící síly. Již během experimentu byla posuvným měřítkem měřena vzdálenost od kraje upevňovačů k středu styčné plochy kolejničky a upevňovačů. Bylo zjištěno, že při šířce upevňovačů

110 mm se pata kolejničky „opírá“ cca 10 mm od jeho hrany, tudíž rameno působící síly bylo zmenšeno z 0,25 m na 0,25 m (-4 %). Závislost natočení kolejničky na působícím kroutícím momentu je zobrazena na grafu na *Obrázek 8*.



*Obrázek 8: Natočení kolejničky v upevňovači při druhém zatěžovacím cyklu*

#### 4. SHRNUTÍ

Díky experimentu bylo zjištěno, že tuhost v dostupných podkladech je výrazně nižší. Dle tohoto podkladu došlo při kroutícím momentu cca 1,5 kNm k natočení cca 1,5°. To je méně než poloviční torzní tuhost oproti popsanému experimentu.

Z dostupných podkladů není znám způsob zatěžování, při kterém byly hodnoty získány, jednalo se však o stejný upevňovač. V dostupném podkladu je též pracovní křivka pro druhý směr zatěžování, která se od první mírně liší. V návaznosti na tento fakt bude v dalším vyhodnocování experimentu zkoumán vliv pořadí zatěžovacích cyklů (1,3,..) a zároveň vliv návaznosti protisměrných měření (1-2,2-4,..).

#### 5. CONCLUSIONS

Výsledky výše popsaného experimentu budou použity jako parametr torzní tuhosti upevňovačů ve výpočetním modelu pro stanovení průběhu příčného odporu bezстыkové koleje. Doposud byl tento parametr neznámý a ze získaných hodnot předchozího experimentu nebylo přesný průběh možno stanovit.

Po vyhodnocení příčného odporu budou společně s podélným odporem vertikálně nezátížené i zatížené koleje známy všechny zásadní parametry pro zkoumání příčné stability bezстыkové koleje na mostech. Svislá tuhost není záměrně uváděna, protože daný parametr nemá na stabilitní výpočty vliv.

Se získanými parametry bude provedena série výpočtů bezстыkové koleje na reálných mostních konstrukcích. Zde budou posouzena normová kritéria pro použití bezстыkové koleje. Na základě těchto výsledků je cílem celé série měření a výpočtů posouzení aktuálně používaných normových kritérií a případně iniciovat změnu některých z nich.

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

Príspevek vznikl za finanční podpory SGS20/040/OHK1/1T/11, Českého Vysokého učení technického v Praze.

<http://lences.cz/domains/lences.cz/skola/neprihlaseny/index.php?dir=Skripta/BN02-Zeleznicni%20stavby%20II/&file=M06-Bezstykov%C3%A1%20kolej.pdf>

## 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](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](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: