

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Obor Konstrukce a dopravní stavby

Katedra betonových a zděných konstrukcí



SOUHRN DIPLOMOVÁ PRÁCE

**Vliv teplotního cyklu na napjatost
bezстыkové koleje**

Vyhotovil: Bc. Petr Psotka

Vedoucí diplomové práce: Doc. Ing. Marek Foglar, Ph.D.

Praha 2016

Na železničních mostech se v současnosti upřednostňuje návrh průběžné bezстыkové koleje. Toto řešení má ve srovnání s jinými mnoho výhod, ale také řadu úskalí. V praxi dochází ke spolupůsobení nosné konstrukce a koleje, která je na mostě vedena, a oba tyto prvky se tak vzájemně ovlivňují. Negativně namáhány jsou zde zejména kolejnicové pásy, v menší míře pak nosná konstrukce mostu. Při návrhu je proto nezbytné tomuto problému věnovat zvláštní pozornost, aby v průběhu životnosti nedošlo k překročení únosnosti či porušení stability celého kombinovaného systému.

Tato práce se na svém začátku zabývá shrnutím návrhových norem a předpisů, které na území ČR v současnosti platí. Uvedeny jsou zde také odborné publikace, které se problematikou kombinované odezvy BK a NK zabývají, a experimentální měření realizované za účelem mapování kombinované odezvy mostní konstrukce a koleje.

Dále se práce věnuje vyhodnocení dvou experimentálních provozních měření, které byly uskutečněny v letech 2013 a 2014 na železničním mostě u obce Chabařovice. V první řadě byla provedena analýza tzv. dynamických dat, které podrobně mapují chování konstrukce při zatížení kolejovou dopravou. Následně byla pozornost zaměřena na tzv. statická data vzešlá z 2. měření v roce 2014. Statická data slouží k vyhodnocení vlivu teplotních změn v průběhu celého 24-hodinového cyklu.

Těžiště práce je posazeno v kapitolách 4 a 5. Zde jsou na výsledcích experimentu zkoumány hodnoty ekvivalentního součinitele teplotní roztažnosti daného mostu a hodnoty odporu koleje proti podélnému posunutí. Tyto parametry mají zásadní vliv na napjatost bezстыkové koleje a velikost dilatačních posunů mostu.

Při návrhu nových železničních mostů je právě přídavné napětí v kolejnicích jedním z hlavních limitujících faktorů při volbě koncepce a konstrukčního řešení celého mostu. Získané výsledky zkoumání v rámci této práce byly konfrontovány s výsledky analýzy statických dat z 1. měření, která byla provedena v rámci diplomové práce Ing. Patricie Chráskové [1].

Diplomová práce si klade za cíl přispět k lepší představě o chování složeného systému mostu s průběžnou bezстыkovou kolejí a ke zpřesnění metodiky a vstupních parametrů výpočtu při návrhu nových konstrukcí.

Železniční doprava prošla od svého vzniku řadou změn a inovací. Jednou z těch zásadních je postupný přechod z koleje stykované na kolej bezstykovou (dále jen BK). Tato změna přináší celou řadu výhod. Zařadit sem lze např. zvýšení bezpečnosti kolejové dopravy, snížení provozních nákladů (jednodušší údržba tratě, vyšší životnost komponent koleje i kolejových vozidel), zvýšení komfortu jízdy z pohledu cestujících a v neposlední řadě také snížení hlukové zátěže v okolí železniční tratě. Použití BK je tedy celkově ekonomicky i ekologicky výhodné.

Při návrhu je však také nutné vypořádat se s celou řadou úskalí, které použití BK přináší. Zásadní je z hlediska namáhání BK změna teploty. Kolejnicové pásy v tomto případě nemají možnost dilatace a teplotní změna proto způsobuje normálové napětí v kolejnicích BK. V kolejnicových pásech je přítomna počáteční složka napětí z výrobního procesu kolejnice i realizace samotné koleje. Toto počáteční napětí v průběhu životnosti konstrukce vlivem ochlazení roste (tah) nebo v případě oteplení klesá (tlak). Jedná se o cyklický proces. V extrémních případech teplotních změn může dojít k přetržení kolejnice z důvodu nadměrného tahu či vybočení celé koleje při velkých tlacích. Takto vzniklé nehomogenity jízdní dráhy mají negativní vliv na bezpečnost jízdy vlakových souprav a v krajním případě mohou vést k vykolejení kolejových vozidel.

Aby k těmto nehodám nedocházelo, je nutné návrhu BK věnovat zvýšenou pozornost a respektovat pravidla návrhu, které jsou stanoveny v [6], [7]. Zde se jedná např. o minimální poloměry směrových oblouků, ale taky třeba o způsob použití BK na mostních konstrukcích.

Návrh BK na mostě je nutné provádět s ohledem na spolupůsobení koleje a nosné konstrukce (dále jen NK). Žádný typ mostu nedosahuje hodnot podélné či svislé tuhosti jako plošné podepření na zemní pláni v přilehlé trati. NK se vlivem změny teploty nebo průjezdu kolejových vozidel deformuje a do kolejnicových pásů jsou tímto způsobem vnášeny další přídavné vnitřní síly. Oba systémy se vzájemně ovlivňují a návrh proto není snadný.

Praxi lze tento problém eliminovat použitím speciálních kolejových dilatačních zařízení poblíž dilatačních spár mostu. Přilehlé úseky trati se pak chovají podobně jako tzv. dýchající konce BK. Tímto řešením se však stírají

některé výhody BK. Kolejová dilatační zařízení jsou totiž často poruchová a vyžadují pravidelnou údržbu.

Návrh novostavby či rekonstrukce železniční tratě v rámci drážního systému na území ČR podléhá platným předpisům vydaným Správou železniční dopravní cestou. Podmínky užití BK (bezстыková kolej) stanovuje předpis ČD S3/2 [4] z roku 2002 (vydaný před rozdělením státního podniku České dráhy na SŽDC a ČD, a. s.) a jeho novelizace [5] z roku 2012. Definována je zde minimální délka BK a uvažovaná délka dýchajících konců. Stanoveny jsou zde požadavky při zhotovení BK (např. upínací teplota), směrové a sklonové poměry vedení BK, akceptované komponenty koleje (kolejnice, upevňovací pražce) nebo pravidla údržby a oprav BK.

Pro účely zkoumání kombinované odezvy nosné konstrukce mostu (dále jen NK) a bezстыkové koleje (dále jen BK) byly společností SUDOP PRAHA, a. s. v letech 2013 a 2014 objednány 2 provozní měření BK na mostě u obce Chabařovice. Realizaci měření provedla společnost INSET, s. r. o., a to ve dnech 19. – 20. 9. 2013 a 2. – 3. 12. 2014. Oba experimenty byly provedeny v rámci projektu TAČR č. TA03031099.

Měření byly provedeny na železničním dvoukolejném mostě v km 7,835 tratě č. 130 mezi městy Ústí nad Labem a Chomutov. Tento 2-polový most z r. 2003 umožňuje křížení zmíněné elektrifikované tratě s dálnicí D8 (hlavní pole) a silnicí III/25364 (vedlejší pole). Kvůli výškovému vedení nivelety křížených komunikací byl pro obě pole v minulosti zvolen příčný řez s dolní mostovkou a zapuštěným kolejovým ložem. Kolej ve směru na Ústí nad Labem nese označení 1, ve směru na Chomutov je kolej 2. Obě koleje se na mostě nachází ve směrovém oblouku poloměru 2125,000 m, resp. 2129,200 m (převýšení obou kolejí je shodně 38 mm). Podélný sklon nivelety železniční tratě je na sledovaném úseku 5,17 ‰ ve směru na Chomutov. Komponenty železničního svršku jsou kolejnice UIC 60, pružné upevnění W14 a betonové pražce B91S, jejichž umístění v kolejovém loži je typu „u“ (á 600 mm). [1], [23]

Diplomová práce zkoumá chování kombinované odezvy mostu a průběžné bezстыkové koleje. Páteř tvoří dvě zmíněné uskutečněné provozní měření na ocelovém dvoukolejném mostě s kolejovým ložem u obce Chabařovice. Výstupy obou experimentů jsou rozděleny na dvě skupiny dat. Statický soubor prezentuje vývoj zkoumaných parametrů systému v průběhu celého 24-

hodinového měření a mapuje tak termické spolupůsobení celého systému. Dynamické data obsahují krátké časové úseky průjezdů železničních vozidel.

V první části práce byla analyzována odezva konstrukce na zatížení kolejovou dopravou. Pro vysokou časovou náročnost vyhodnocení rozsáhlého souboru dynamických dat z obou experimentů bylo toto provedeno ve spolupráci s Ing. Ondřejem Janotou a Ing. Jakubem Zímou. Kvantifikovány byly mnohé zjištění a principy odezvy konstrukce na působící zatížení. Výsledky mimo jiné velmi dobře ukazují např. podstatné namáhání nepojížděné koleje při průjezdech vlaků, což se dá vysvětlit interakcí kolejí a nosné konstrukce. Získáno bylo velmi komplexní povědomí o charakteru spolupůsobení mostu a kolejí, což bylo užitečné při následném zkoumání kombinované odezvy na teplotní změnu.

Pozornost byla směřována zejména na ekvivalentní součinitel teplotní roztažnosti α_0 obou polí mostu a odpor koleje proti podélnému posunu $K_{X,ks}$, což jsou činitele výrazně ovlivňující výsledky numerického modelu při návrhu nových konstrukcí. Tyto byly zkoumány především využitím teplotního cyklu při 2. experimentu. Zjištění byla konfrontována s výsledky vyhodnocení 1. experimentu, které bylo provedeno v [1].

Vybranými statistickými metodami byly získány výsledky tzv. zdánlivého ekvivalentního součinitele teplotní roztažnosti. Jeho hodnota se pro oba experimenty i obě měření výrazně liší. Toto závisí na konkrétních klimatických podmínkách. Různé hodnoty vycházejí i pro různě rychlé teplotní změny, což může být způsobeno teplotní setrvačností kolejového lože ve srovnání s ocelovou konstrukcí mostu kde je distribuce tepla velmi dobrá. Zdánlivé hodnoty α_0 jsou závislé také na tuhosti spodní stavby.

Skutečná hodnota ekvivalentního součinitele teplotní roztažnosti byla zkoumána na výpočetním modelu zatíženém zjištěnou relativní teplotou. Výsledky jsou pro obě pole stejné $\alpha_0 = 8,0 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$. Bylo zároveň prokázáno, že teplotně-přetvárné parametry hlavního pole (Langerův trám) mají vliv na chování vedlejšího pole mostu (parapetní nosník), byť se jedná o dva prosté nosníky. Opačně toto platí jen v menší míře.

Nelineární odpor koleje proti podélnému posunutí byl zkoumán nejprve pro konstantní rozložení v čase a prostoru. Po sérii výpočtů byl navržen

idealizovaný bi-lineární pracovní diagram kolejového odporu s tuhostí pružné větve $K_{X,ks} = 20 \text{ MNm}^{-1}$.

Po té bylo zkoumání zaměřeno také na možnost proměnného rozložení vlastností kolejového lože po délce konstrukce a v čase. Byť bylo ve všech měřicích profilech dosaženo uspokojujících výsledků napětí BK, vyšetřené rozložení tuhosti kolejového lože v prostoru a v čase lze považovat spíše za odhad skutečného průběhu.

Získané výsledky kolejového odporu z obou měření příliš dobře vzájemně nekorespondují. Ze získaných experimentálních výsledků se bohužel nepodařilo ani uspokojivě stanovit vliv zmrzlého kolejového lože na podélnou tuhost kolejového svršku. Toto však jen dokládá komplexnost celého systému, kdy se všechny důležité složky vzájemně ovlivňují.

I tak lze však říci, že velikost přídatného napětí BK od kombinované odezvy, která je podle [7] jedním z limitních faktorů při návrhu nových konstrukcí, je závislá na teplotně-přetvárných vlastnostech mostu (α_0) a tuhosti kolejového svršku. Zásadní vliv má α_0 na velikost dilatačních podélných posunů mostu. V menší míře jsou ovlivněny také odporem koleje proti posunutí.

Na závěr lze říci, že nastavení výpočetního modelu závisí na mnoha faktorech. Hodnoty zkoumaných parametrů vždy nabývají určitého rozpětí, což je způsobeno nehomogenitami kolejového lože. Při posuzování kombinované odezvy je proto potřeba brát v úvahu méně příznivý stav s vyšší hodnotou α_0 a tužším kolejovým odporem. Velmi důležité je při návrhu dobré povědomí o chování celého kombinovaného systému, čemuž by tato práce měla z části přispět.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] CHRÁSKOVÁ, Patricie. *Vyhodnocení provozního měření napětí bezстыkové koleje na železničním mostě přes D8 v Chabařovicích*. Praha, 2014. Diplomová práce. ČVUT v Praze. Vedoucí práce Doc. Ing. Marek Foglar, Ph.D.
- [2] KARMAZÍN, Karel a HRDLIČKA, Miloš. *Závěrečná zpráva – Železniční most Chabařovice: Experimentální měření bezстыkové koleje*. Praha: INSET, s. r. o., 2013.
- [3] KARMAZÍN, Karel. *Závěrečná zpráva – Experimentální měření – Chabařovice: Most Chabařovice 2014*. Praha: INSET, s. r. o., 2014.
- [4] ČD S3/2. *Bezстыková kolej*. Praha: České dráhy, 2002.
- [5] SZABÓ, Petr. *Novelizace předpisu SŽDC S3/2 Bezстыková kolej. 17. konference Železniční dopravní cesta*. Praha: Správa železniční dopravní cesty, 2012.
- [6] SŽDC S3 díl XII. *Železniční svršek – Železniční svršek na mostních objektech*. Praha: Správa železniční dopravní cesty, 2008.
- [7] ČSN EN 1991-2. *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 2: Zatížení mostů dopravou*. Praha: Český normalizační institut, 2005.
- [8] UIC Code 774 R. *Track/bridge interaction: Recommendations for calculations*. Paříž: UIC, 2001.
- [9] ČSN EN 1991-1-1. *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-1: Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb*. Praha: Český normalizační institut, 2005.
- [10] ČSN EN 1991-1-5. *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-5: Obecná zatížení – zatížení teplotou*. Praha: Český normalizační institut, 2005.

- [11] ČSN EN 1993-1-1. *Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby*. Praha: Český normalizační institut, 2006.
- [12] ČSN EN 1993-2. *Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 2: Ocelové mosty*. Praha: Český normalizační institut, 2008.
- [13] ČSN EN 1993-1-5. *Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-5: Boulení stěn*. Praha: Český normalizační institut, 2008.
- [14] FRÝBA, Ladislav. *Dynamika železničních mostů*. 1. vyd. Praha: Academia, 1992, 326 s. ISBN 80-200-0262-6.
- [15] VAN, Meindert Alidaan. *Stability of continuous welded rail track*. Delft University Press, 1997.
- [16] ESVELD, Coenraad. *Modern railway track*. 2nd ed. Zaltbommel: MRT-Productions, 2001, 654 s. ISBN 90-800324-3-3.
- [17] LIM, Nam-Hyoung, Nam-Hoi PARK a Young-Jong KANG. Stability of continuous welded rail track. *Computers & Structures* [online]. 2003, (81) [cit. 2016-01-15]. ISSN 0045-7949. Dostupné z: <http://80.www.sciencedirect.com/dialog/cvut.cz/science/article/pii/S0045794903002876>
- [18] LICHTBERGER, Bernhard. *Track compendium: track system, substructure, maintenance, economics*. Hamburg: DVV Media Group, 2011, 621 s. ISBN 978-3-7771-0421-8.
- [19] VENDEL, Jiří. *Spolupůsobení bezстыkové koleje a mostní konstrukce*. Brno, 2011. 66 s., 37 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav železničních konstrukcí a staveb. Vedoucí práce doc. Ing. Otto Plášek, Ph.D..
- [20] PLÁŠEK, Otto. Bezстыková kolej na mostech. *17. konference Železniční dopravní cesta*. Praha: Správa železniční dopravní cesty, 2012.

- [21] KREJČIŘÍKOVÁ, Hana a PÝCHA, Marek. Chování bezстыkové koleje na mostě s velkým dilatačním zařízením. *Silnice Železnice*. 2012, roč. 7, č. 5. Dostupné z: <http://www.silnice-zeleznice.cz/clanek/chovani-bezstykove-koleje-na-moste-s-velkym-dilatacnim-zarizenim/>
- [22] RYJÁČEK, Pavel. Dlouhodobý monitoring bezстыkové koleje na železničním mostě v Kolíně. *Stavebnictví*. 2013, ročník VII, číslo 08/2013
- [23] CHABAŘOVICE (Ústí nad Labem) – dvoukolejný železniční most na trati Ústí nad Labem – Most. *Encyklopedie mostů v Čechách, na Moravě a ve Slezsku* [online]. Libri [cit. 2015-12-21]. Dostupné z: <http://www.libri.cz/databaze/mosty/heslo.php?id=324>
- [24] *Mapy.cz* [online]. Seznam.cz, a.s. [cit. 2015-12-21]. Dostupné z: <http://mapy.cz/>
- [25] KREJČIŘÍKOVÁ, Hana. *Železniční stavby 2*. Praha: České vysoké učení technické, 2011.
- [26] Podklady poskytnuté vedoucím DP