

## ANALYSIS OF CONTINUOUS RAIL AT RAILWAY BRIDGE

M. Mrózek\*, M. Braťka\*, O. Plášek\*, V. Salajka\*

**Summary:** *Presented paper deals with effect of thermal load applied on the railway bridge and continuous rail. Both bridge and rail are curved. Curvature of rail causes transversal displacement which results in modification of normal forces. Problem can be analysed with different attitudes. Analytical solution consist in numerical solution of system of differential equations. Interaction between railway bridge and ballast is difficult to be concerned. Finite element analysis reflects curvature of rail and railway bridge. Interaction between bridge and ballast is transmitted by contacts. FEM model of a bridge was prepared in software ANSYS Analytical and FEM solution is shown. Results are shown in figures and graphs.*

### 1. Úvod

Teplotní zatížení železničních mostních konstrukcí se bezesporu významnou měrou podílí na stavu posunutí a hodnotách sil jak v mostní konstrukci, tak v koleji samotné. Tento fakt může být umocněn situací, kdy mostní konstrukce a bezстыková kolej jsou umístěny v oblouku. Zakřivení koleje v oblouku způsobuje vznik příčných posunů koleje, což v důsledku vede ke změně podélných sil v koleji.

Analytické metody řešení termického spolupůsobení mostní konstrukce a bezстыkové koleje neumožňují jednoduchým způsobem zohlednit geometrii konstrukce a interakci kolejového lože s mostní konstrukcí. Z tohoto důvodu bylo provedeno paralelní řešení analytickou metodou a metodou konečných prvků železniční estakády, převádějící dvoukolejnou trať, umístěnou v oblouku. Konečněprvkostní řešení ve výpočtu zohledňuje geometrii konstrukce, a také interakci kolejového lože s mostní konstrukcí. Výsledky obou přístupů řešení jsou zde uvedeny a vzájemně porovnány.

### 2. Popis konstrukce

Uvažovaná železniční estakáda vede dvoukolejnou trať v oblouku o poloměru kolejí 752,00 m a 756,75 m. Osová vzdálenost kolejí je 4,75 m. Kolejové lože na železniční estakádě je průběžné. Estakáda je složena celkem ze tří mostních objektů.

Konstrukce prvního mostního objektu je dvojice souběžných ocelových jednokomorových spojitých nosníků, každý o třech polích. Osy nosníků jsou totožné s osami kolejí. Celkové délky prvního objektu dosahují 107 m pro vnitřní a 124 m pro vnější nosník, s rozpětím polí

\* Ing. Michal Mrózek, Ing. Miloš Braťka, doc. Ing. Otto Plášek, Ph.D., doc. Ing. Vlastislav Salajka, CSc.: Ústav stavební mechaniky; Ústav železničních konstrukcí a staveb, Fakulta Stavební, Vysoké učení technické v Brně; Veveří 331/95; 602 00 Brno; e-mail: [mrozek.m@fce.vutbr.cz](mailto:mrozek.m@fce.vutbr.cz), [bratka.m@fce.vutbr.cz](mailto:bratka.m@fce.vutbr.cz), [plasek.o@fce.vutbr.cz](mailto:plasek.o@fce.vutbr.cz), [salajka.v@fce.vutbr.cz](mailto:salajka.v@fce.vutbr.cz)

od 30 do 50 m. Komorové průřezy jsou po vzdálenostech cca 3,0 m vyztuženy příčnými vyztuhami. Souběžné komorové nosníky nejsou vzájemně spojeny, kolejové lože obou kolejí je však spojené.

Navazující druhý mostní objekt je přímý ocelový obloukový most s rozpětím pole 27 m. Šířka mostovky je cca 12 m, výška oblouku cca 5,5 m.

Třetí a poslední objekt je tvořen čtyřmi ocelovými jednokomorovými spojitými nosníky, každý je o třech polích, s podélnými osami nosníků totožnými s osami kolejí. Celkové délky nosníků jsou přibližně 101 m, při rozpětích polí 29 až 43 m. Souběžné komorové nosníky nejsou vzájemně spojeny, kolejové lože je však společné pro obě koleje.

### 3. Analytické řešení

Analytický výpočet termického spolupůsobení mostní konstrukce a bezстыkové koleje byl proveden podle publikace [1].

Ve výpočtu nebylo uvažováno se zakřivením koleje a mostní konstrukce dané poloměrem oblouku a s podélným sklonem koleje. Zakřivení koleje v oblouku způsobí vznik nežádoucích příčných posunů koleje, což v důsledku vede ke snížení podélných sil v koleji. Z tohoto hlediska je možné považovat zanedbání zakřivení koleje v oblouku za zjednodušení na stranu bezpečnou. Příčné posuny koleje však vyvolávají změnu neutrální teploty v koleji, což může mít vliv na rozsah změn teplot v koleji.

Analytické řešení problému vzájemného spolupůsobení bezстыkové koleje a mostu při teplotních změnách vychází z úvahy, v níž mostní nosník a bezстыkovou kolej nahrazuje soustava prutů. Vzájemné spojení koleje a mostu ve vodorovném podélném směru je modelováno pomocí systému lineárních vodorovných pružin, tj. pružnou vrstvou, mající tuhost na jednotku délky označenou jako  $k_i$ . Takto je zjednodušen obecně nelineární vztah mezi podélným odporem koleje a posuvem. Dalším významným předpokladem je, že zatímco mostní nosník není při teplotních změnách ovlivněn kolejí a volně dilatuje, vliv mostu na průběh osových sil v bezстыkové koleji je velmi podstatný.

Na základě uvedených a dalších úvah vede řešení, vycházející z podmínek rovnováhy vodorovných sil na elementárním dílu prutu, na soustavu diferenciálních rovnic, majících obecný tvar:

$$-EAu'' + ku = 0. \quad (1)$$

Soustavě diferenciálních rovnic jsou předepsány okrajové podmínky, které vystihují, že posunutí v koleji v dostatečné vzdálenosti od mostu je nulové (tedy  $u(-\infty) = 0$ ), a že posunutí a síly v koleji na styku sousedních mostních konstrukcí stejné.

Na základě vyřešení výše naznačené soustavy rovnic byly analyticky určeny hodnoty posunů bezстыkové koleje a mostní konstrukce, a dopočteny hodnoty sil v koleji a napětí v kolejnicích.

### 4. Konečněprvkostní řešení

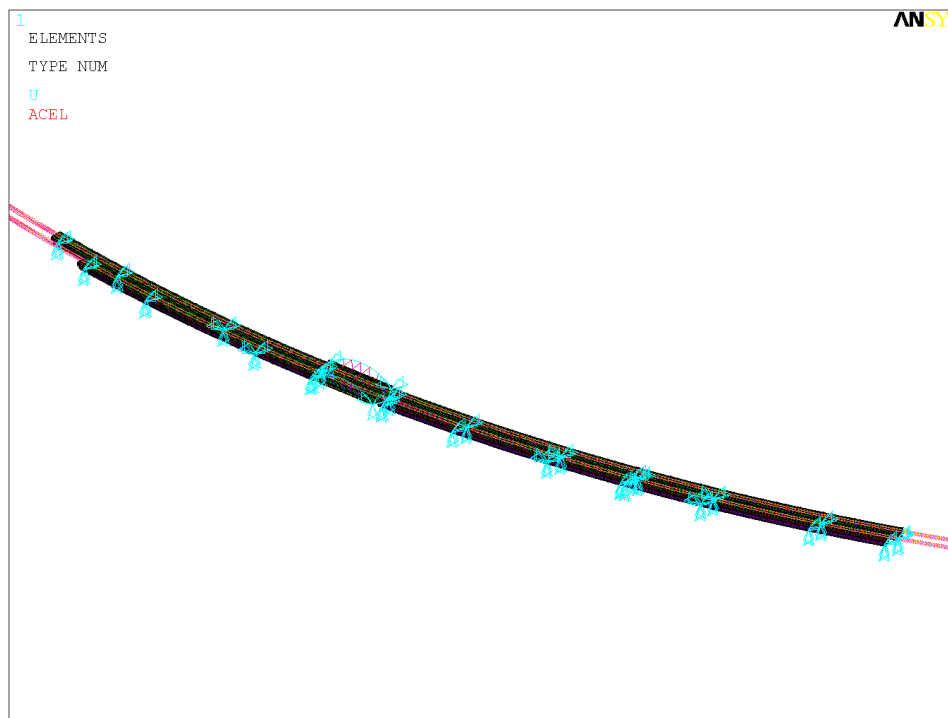
V programovém systému ANSYS byl pomocí metody konečných prvků vytvořen zjednodušený prostorový výpočtový model železniční estakády, zahrnující nosnou konstrukci všech mostních objektů, železniční svršek na mostě a železniční svršek v oblasti přilehlé k

mostu o délce 100 m od čel nosných konstrukcí. Ocelová konstrukce mostních objektů byla zjednodušeně nahrazena skořepinovými modely a prutovými modely s odpovídajícími mechanickými a pevnostními charakteristikami. Kolejové lože bylo modelováno prostorovými konečnými prvky. Výpočtový model konstrukce byl vytvořen bez lomu sklonu nivelety. Kolej je v celé délce modelována jako vodorovná. Mostní opěry a pilíře byly uvažovány jako tuhé a nehybné.

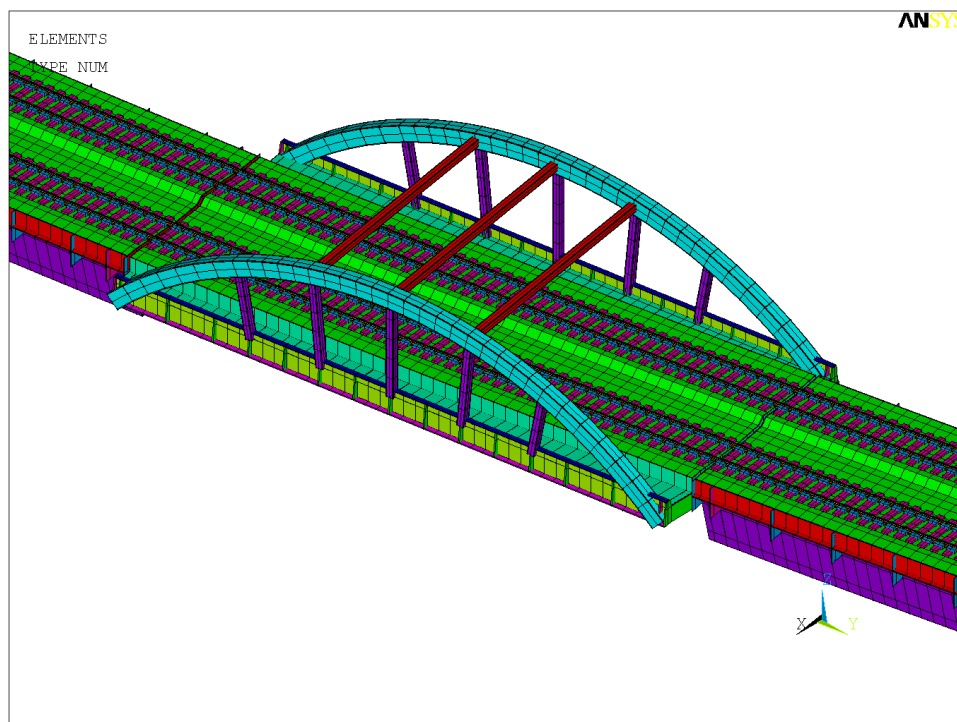
Spojení kolejnic a pražců je modelováno jako tuhé. Není dovolen prokluz kolejnice v místě upevnění k pražci. Vodorovný podélný odpor uložení koleje je v modelu zajištěn kontaktním spojením šterkového lože s ocelovou mostní konstrukcí.

Ve výpočtovém modelu jsou prvky, představující šterkové lože a ocelovou nosnou konstrukci mostu, spojeny pomocí prvků CONTA173 a TARGE170. Tyto kontaktní prvky umožňují nastavení kontaktní tuhosti a součinitele tření mezi šterkovým ložem a ocelovou konstrukcí. Součinitel tření mezi šterkem a ocelí je vzhledem ke způsobu zatěžování konstrukce uvažován jako součinitel dynamického tření. Tato hodnota není známa. Ve výpočtu proto byla uvažována hodnota  $\mu_{dyn} = 0,05$ .

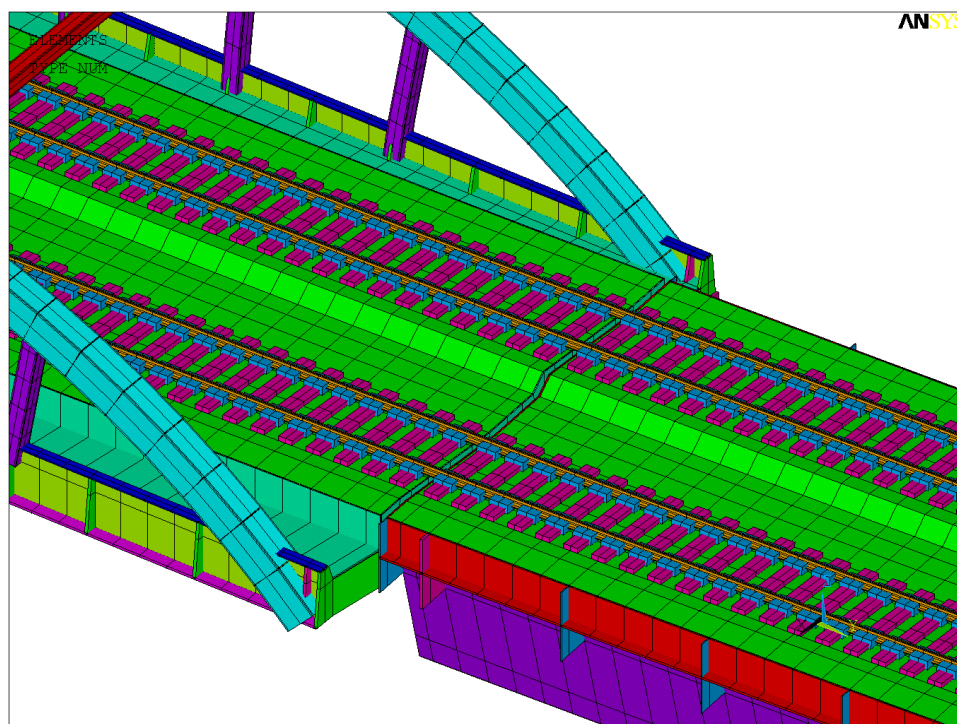
Výpočtový model byl tvořen s předpokladem, že spodní stavba každého mostního objektu je dostatečně tuhá a nehybná. V místě uložení nosných ocelových konstrukcí na ložiska byly uzlům nosné konstrukce odebrány příslušné posuvové stupně volnosti tak, aby byl takto podepřeným nosným konstrukcím umožněn pohyb v souladu s rozmístěním jednotlivých typů hrncových ložisek. Z hlediska řešení úlohy nebylo potřebné modelovat uložení konstrukcí na ložiska detailně. Okrajovým uzlům šterkového lože v oblasti před a za estakádou jsou odebrány všechny stupně volnosti ve směru normály plochy, na níž se uzel nachází.



Obr. 1: Model železniční estakády, okrajové podmínky



Obr. 2: Obloukový most, rozpětí 27 m



Obr. 3: Detail dilatace mostních objektů

## 5. Řešené výpočty

Úloha vzájemného termického spolupůsobení bezстыkové koleje a mostu při teplotních změnách byla řešena analyticky i metodou konečných prvků. Celkem byly uvažovány tři zatěžovací stavy konstrukce - zatížení maximálním oteplením, maximálním ochlazením a lomem kolejnice nad opěrou.

Parametry modelu a zatížení teplotou bylo převzato z publikace [1], kapitoly 14 – Termické spolupůsobení bezстыkové koleje a mostu.

Tab. 1: Uvažovaná teplotní namáhání

Maximální a minimální teploty		$t$ [°C]		$\Delta T$ [°C]	
		max.	min.	max.	min.
Most	ocelový s ložem	+ 30	- 30	+ 20	- 50
Kolejnice	uvažovaná upínací teplota	+ 17		+ 43	- 47

Tab. 2: Podélný odpor koleje

Součinitel vodorovného podélného uložení kolejnic	$k$	$k_L$
	[N.mm <sup>-2</sup> ]	
Most s kolejovým ložem	2	6
Mimo most	5	12

$k$  uvažované ve výpočtech,

$k_L$  dle [1] pro výpočet spáry po lomu kolejnice.

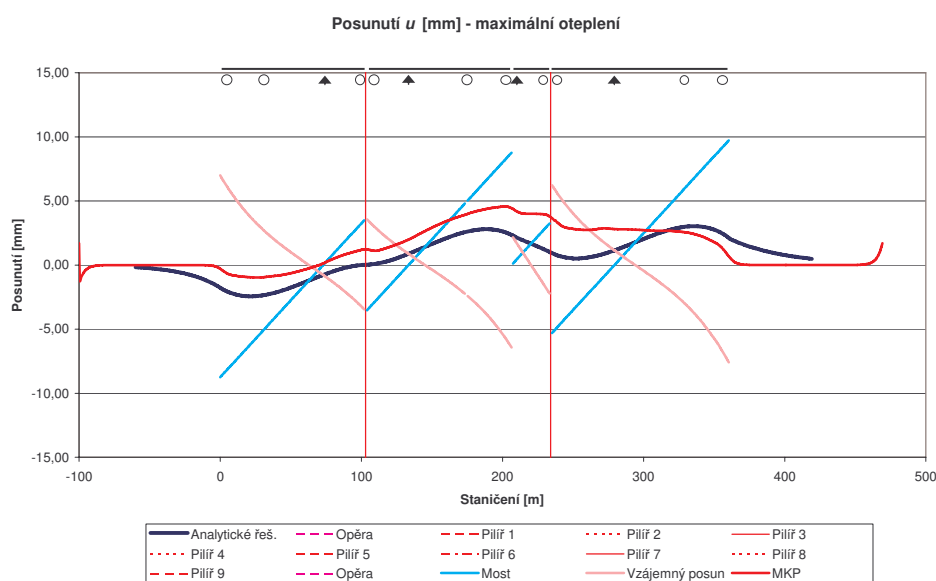
Tab. 3: Součinitel tepelné roztažnosti

Součinitel tepelné roztažnosti	[10 <sup>-6</sup> /°C]
Ocelový most s kolejovým ložem	$\alpha_m = 6$
Kolejnice	$\alpha_k = 12$

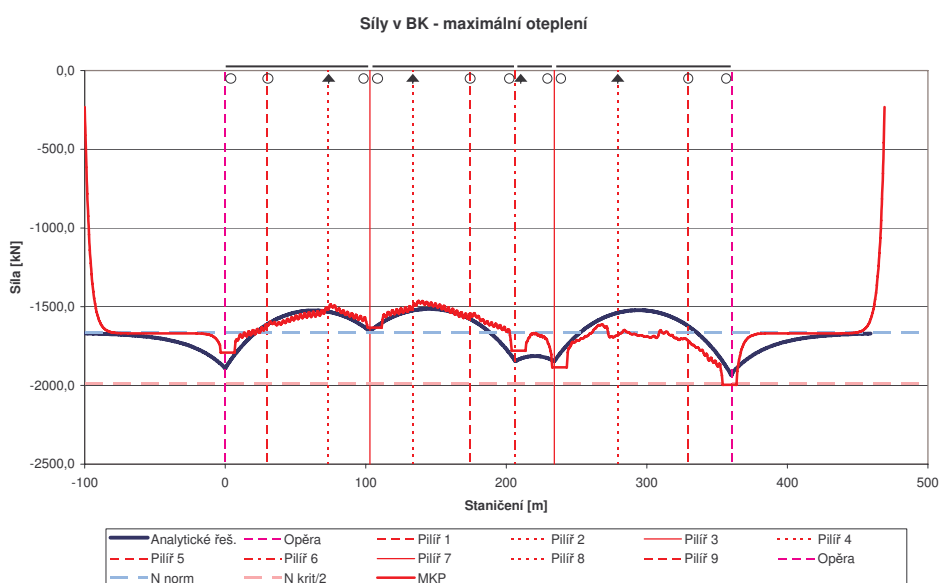
## 6. Srovnání výsledků

Byly provedeny výpočty velikosti sledovaných veličin. Výstupem výpočtů je velikost posunutí bezстыkové koleje a velikost sil v bezстыkové koleji. Analytické řešení ve výpočtu uvažuje pouze změnu teploty konstrukce, případně lom kolejnice, konečnoprvkostní řešení navíc zohledňuje působení vlastní tíhy konstrukce. Výsledky analytického i mkp řešení jsou uvedeny pro vnitřní kolej.

Prvním zatěžovacím stavem bylo zatížení konstrukce maximálním oteplením. Grafy 1 a 2 ukazují srovnání hodnot posunutí a sil v bezстыkové koleji, získaných analytickým a konečnoprvkostním řešením.

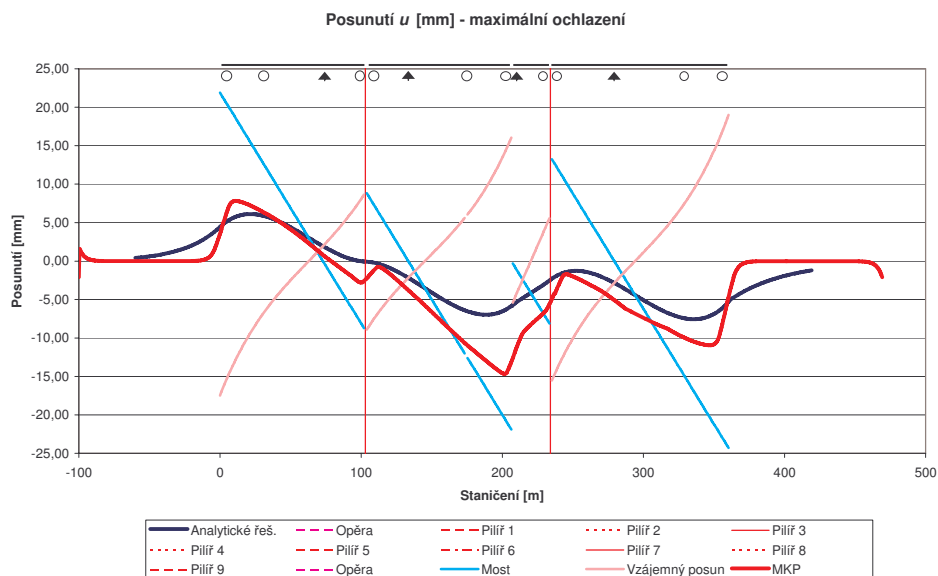


Graf 1: Maximální oteplení – posunutí koleje

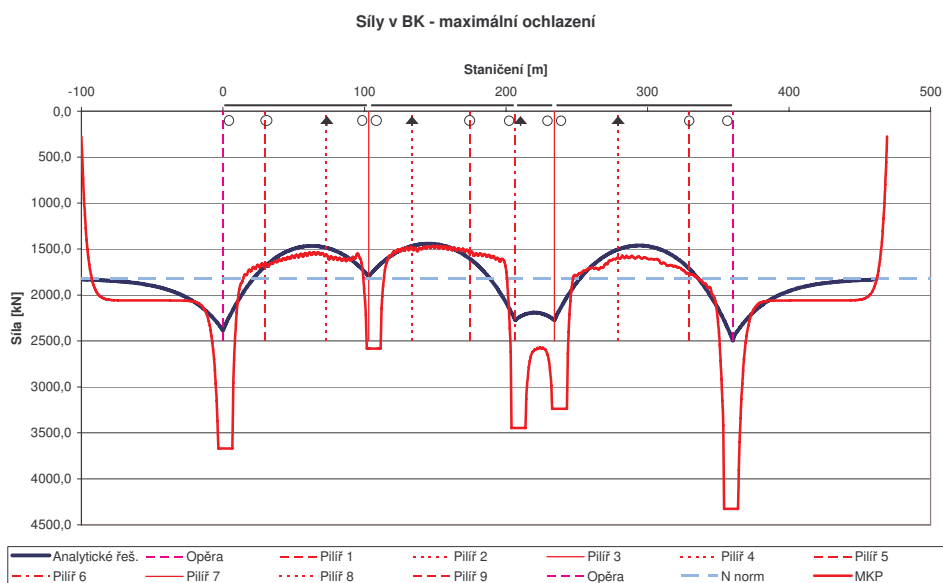


Graf 2: Maximální oteplení – síly v koleji

Druhým zatěžovacím stavem bylo zatížení konstrukce maximálním ochlazením. Grafy 3 a 4 znázorňují srovnání hodnot posunutí a sil v bezстыkové koleji, získaných analytickým a konečnoprvkostním řešením.

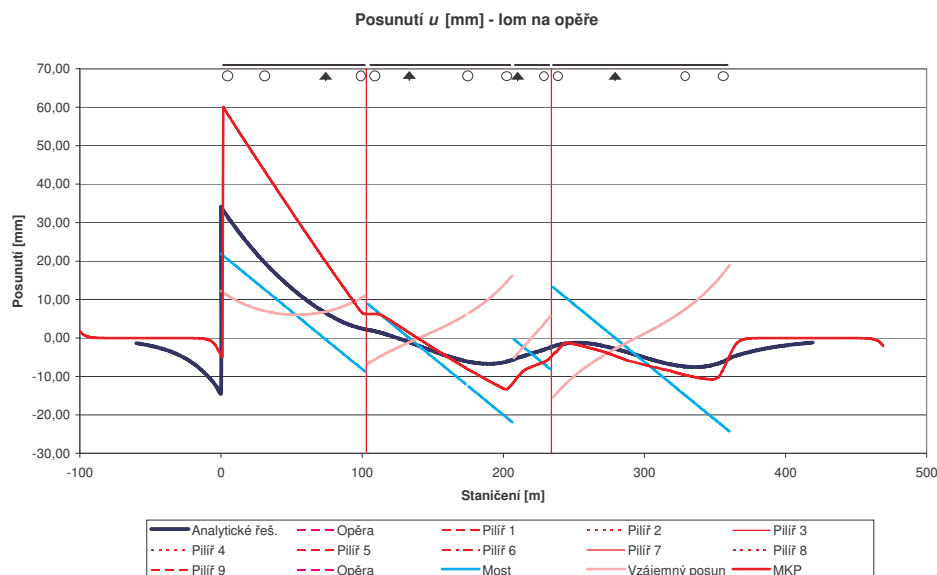


Graf 3: Maximální ochlazení – posunutí koleje

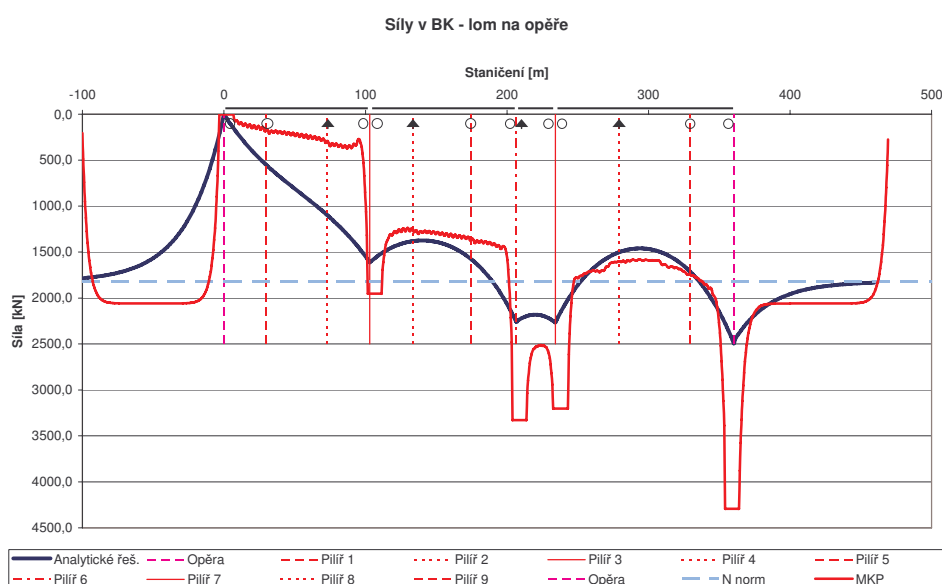


Graf 4: Maximální ochlazení – síly v koleji

Posledním zatěžovacím stavem bylo zatížení konstrukce lomem kolejnice nad opěrou č.1. Srovnání hodnot posunutí a sil v bezстыkové koleji, získaných analytickým a konečnoprvkostním řešením, je uvedeno v grafech 5 a 6.



Graf 5: Lom kolejnice – posunutí koleje



Graf 6: Lom kolejnice – síly v koleji

## 7. Závěr

Zkoumání spolupůsobení mostní konstrukce a bezстыkové koleje je v současné době široce diskutováno. Důvodem je všeobecné rozšíření bezстыkové koleje a výstavba mostních konstrukcí i v obloucích malého poloměru. Takové případy nejsou ošetřeny v předpisu SŽDC S3 železniční svršek ani v normě ČSN 73 6203 pro zatížení mostů dopravou. Tyto případy je nutno prověřit výpočtem, přitom postup dle ČSN se jeví jako velmi konzervativní.



V předchozí kapitole je grafickou formou provedeno srovnání analytického a konečněprvkostního přístupu řešení úlohy vzájemného termického spolupůsobení bezstykové koleje a mostu při teplotních změnách a při lomu kolejnice. Řešená železniční estakáda je složena ze tří navazujících mostních objektů a je umístěna v oblouku.

Analytický přístup úlohu zjednodušuje na soustavu spolupůsobících nosníků, umístěných v přímé, a nahrazujících vztah mezi kolejí a mostní konstrukcí soustavou lineárních pružin. Konečněprvkostním přístupem byla zohledněna oblouková geometrie konstrukce, bylo uvažováno kontaktní spojení šterkového lože a ocelové konstrukce mostů a do výpočtu byla zavedena vlastní tíha konstrukce.

Jak je z grafů 4 kapitoly patrné, oba přístupy se v zásadě shodují v hodnotách posunutí a sil bezstykové koleje. Výrazně vyšší odchylky v místech dilatací mezi jednotlivými mostními objekty jsou způsobeny tuhým spojením kolejnic s pražci v konečněprvkostním modelu.

## 8. Poděkování

Tento příspěvek vznikl za finančního přispění MŠMT, projekt 1M0579, v rámci činnosti výzkumného centra CIDEAS.

## 9. Literatura

Frýba, L. (1992) *Dynamika železničních mostů*. Academia, Praha. ISBN 80-200-0262-6.

Plášek, O., Zvěřina, P., Svoboda, R., Mockovčiak, M.(2004) *Železniční stavby. Železniční spodek a svršek*. CERM, Brno. ISBN 80-214-2621-7.