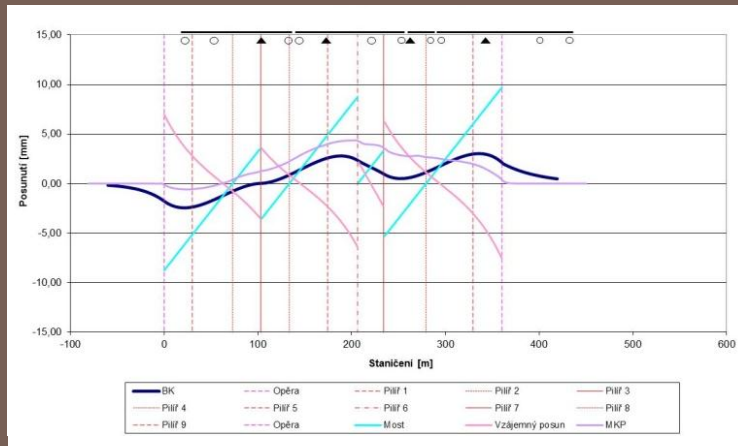
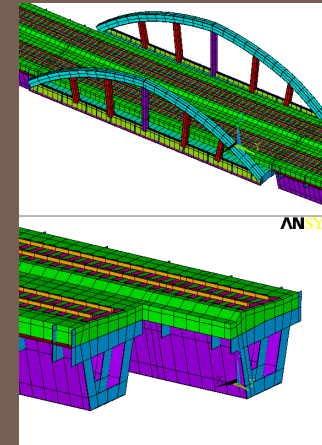


# BEZSTYKOVÁ KOLEJ NA MOSTECH



# Bezстыková kolej na mostech



2

## Obsah

- **Vysvětlení rozdílů** mezi předpisem SŽDC S3 a ČSN EN 1991-2
- **Teoretický základ** interakce koleje a mostní konstrukce
- Výpočet **přípustných dilatačních délek mostů** z hlediska posunutí a silových (a napěťových) účinků vznikajících v koleji
- **Příklad výpočtu mostu** s netypickým uspořádáním dilatačních délek a ložisek – estakáda v Ústí nad Orlicí

# Bezстыková kolej na mostech

3

Rozšíření  
zřizování  
bezстыkové  
koleje

- **S rozšířením možnosti zřizování BK** vyvstává potřeba posouzení mnoha případů zřízení průběžné bezстыkové koleje na mostních konstrukcích v úsecích tratí, kde dříve zřizovat bezстыkovou kolej nebylo možné.
- Předpis S3/2 umožňuje použití BK pro  **$R \geq 200$  m**, podle novelizace to bude za určitých podmínek možné pro  **$R \geq 150$  m**.

# Bezстыková kolej na mostech

4

Standardy  
pro použití  
BK na  
mostech



- Předpisu SŽDC S3 „Železniční svršek“, díl XII „Železniční svršek na mostních objektech“
- ČSN EN 1991-2: Eurokód 1: „Zatížení konstrukcí – Část 2: Zatížení mostů dopravou“
- **Oba standardy nejsou v souladu!**
- Zásady podle předpisu SŽDC S3 jsou prověřeny mnohaletými zkušenostmi.

## Základní princip chování BK

- V části bezстыkové koleje, kde nedochází k posunům kolejnic nebo celého roštu ( $du/dx = 0$ ), jsou osově síly v koleji:
  - ▣ úměrné teplotnímu zatížení;
  - ▣ nezávisí na délce koleje.

$$N_x = EA \cdot \left( \frac{du}{dx} - \alpha \cdot \Delta T \right)$$

- Změna osově síly po délce koleje:

$$\frac{dN_x}{dx} = r_x - q_x$$

Dýchající konec

Střední část BK

Dýchající konec

## Síly

Zde síly závisí na podélném odporu

$$N_x = EA \cdot \left( \frac{du}{dx} - \alpha \cdot \Delta T \right)$$

$$N_x = -EA \cdot \alpha \cdot \Delta T$$

$$N_x = EA \cdot \left( \frac{du}{dx} - \alpha \cdot \Delta T \right)$$

$$\frac{du}{dx} \neq 0$$

$$\frac{du}{dx} = 0$$

$$\frac{du}{dx} \neq 0$$

Zde jsou síly konstantní

Zde se koleje hýbe

## Posunutí

$$u = \frac{r_x}{2EA} (x - l_k)^2$$

$$u = 0$$

$$u = \frac{r_x}{2EA} (x - l_k)^2$$

$l_k$

$l_k$

6

## Síly a posunutí v bezстыkové koleji

Zde se koleje nehýbe



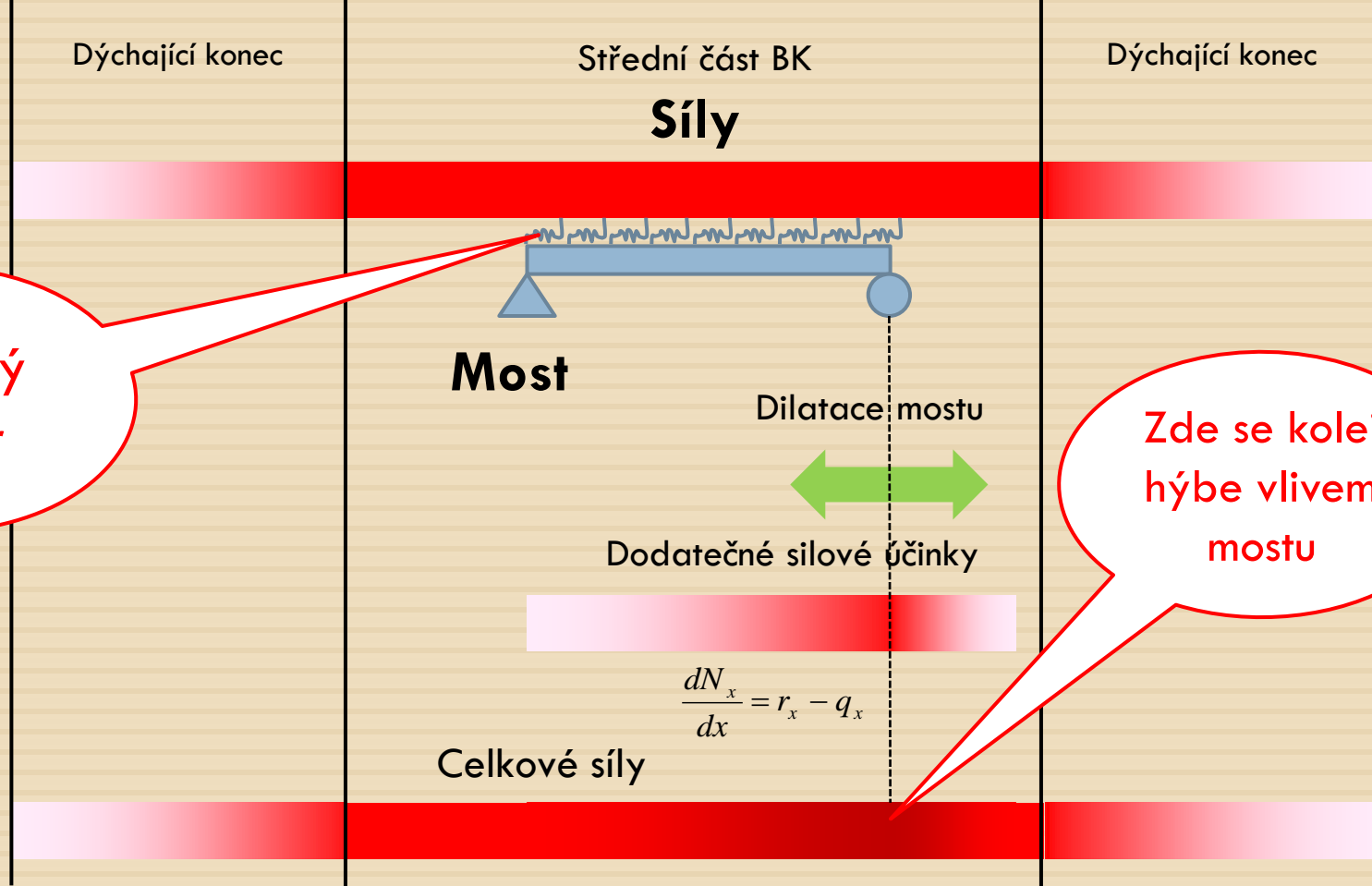
# Teorie interakce most – kolej



7

Vliv mostní  
konstrukce  
na BK

- K podélným silám se přidává ještě působení mostní konstrukce v důsledku její teplotní dilatace.
- Musíme předpokládat posun koleje v důsledku teplotní dilatace mostní konstrukce ( $du/dx \neq 0$ ).



8

## Síly a posunutí v bezстыkové koleji

Přídavné namáhání na mostě





# Teorie interakce most – kolej

9

Řešení  
interakce  
dle prof.  
Frýby



Nezbývá, než napsat  
a vyřešit rovnice.

- Základní diferenciální rovnice:
  - ▣ na tělese žel. spodku

$$-EA \frac{d^2 u}{dx^2} + k \cdot u = q_x$$

- ▣ na mostě

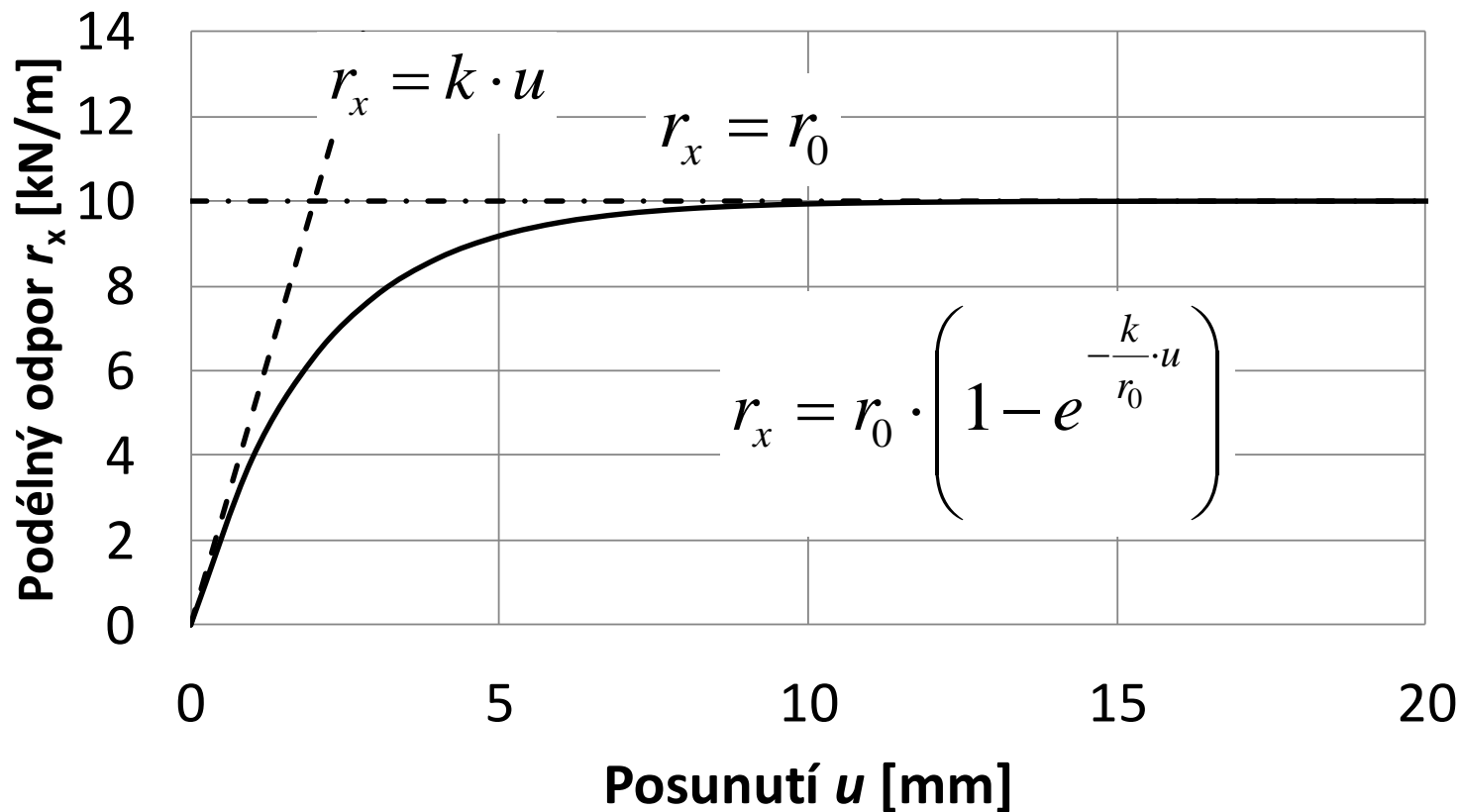
$$-EA \frac{d^2 u}{dx^2} + k_m \cdot (u - u_m) = q_x$$

- Posunutí mostu:

$$u_m = l_m \cdot \alpha_m \cdot \Delta T_m$$

Podélný  
odpor koleje  
proti posunutí

- Podélný odpor je **nelineárně** závislý na podélném posunutí koleje  $u$ .
- Pro bezstykovou kolej **na tělese** železničního spodku se uvažuje **konstantní** podélný odpor hodnotou  $r_0$  nezávisle na posunutí koleje  $u$ .
- **Na mostě** se uvažuje **lineární** závislost podélného odporu na vzájemném posunutí koleje vůči mostní konstrukci.



-- Pružný    - · - Konstantní    — Nelineární

11

## Podélný odpor koleje

a) na tělese žel. spodku:  $r_x = k \cdot u$     b) na mostě:  $r_x = k_m \cdot (u - u_m)$



# Posouzení dilatačních délek

12

Vstupní  
parametry

- Podélný odpor koleje  $r_x$ , na zemním tělese  $k$  a na mostě,  $k_m$ :
  - v **nezatíženém** stavu i **zatíženém** stavu;
  - v **běžných**, ale i **extrémních** klimatických podmínkách v zimním období;
  - podle typu mostovky:
    - most s průběžným kolejovým ložem;
    - prvková otevřená mostovka s mostnicemi;
    - přímo pojižděná mostovka.
- Extrémní teplotní změny pro kolej a mostní konstrukci.

# Posouzení dilatačních délek

13

## Vstupní parametry

- Součinitele teplotní roztažnosti:
  - koleje  $\alpha$
  - mostu  $\alpha_m$ .
- Mostní konstrukce obvykle nedosahují teoreticky vypočtených hodnot podélné teplotní dilatace v důsledku zpravidla nerovnoměrného prohřívání konstrukce, což souvisí
  - s tvarem a typem mostní konstrukce:
    - ocelová;
    - betonová;
    - spřažená ocelobetonová konstrukce.
  - s odpory bránícími volné dilataci mostu, a to spíše u mostů kratších dilatačních délek.
- **Ekvivalentní součinitel teplotní roztažnosti pro mostní konstrukce  $\alpha_m$ .**



Most		Součinitel [ $10^{-6} \text{ K}^{-1}$ ]
Průběžné kolejové lože	Ocelový	6
	Ocelobetonový	5
	Betonový	5
Prvková otevřená mostovka		9
Kolejnice		12

14

## Součinitelé teplotní roztažnosti

$\alpha_m$  mostní konstrukce podle typu

$\alpha$  kolejnice





15

## Monitoring Znojemského viaduktu

Snímače posunutí mostní konstrukce a kolejnic

Konference: Železniční dopravní cesta 2012 15.4.2012

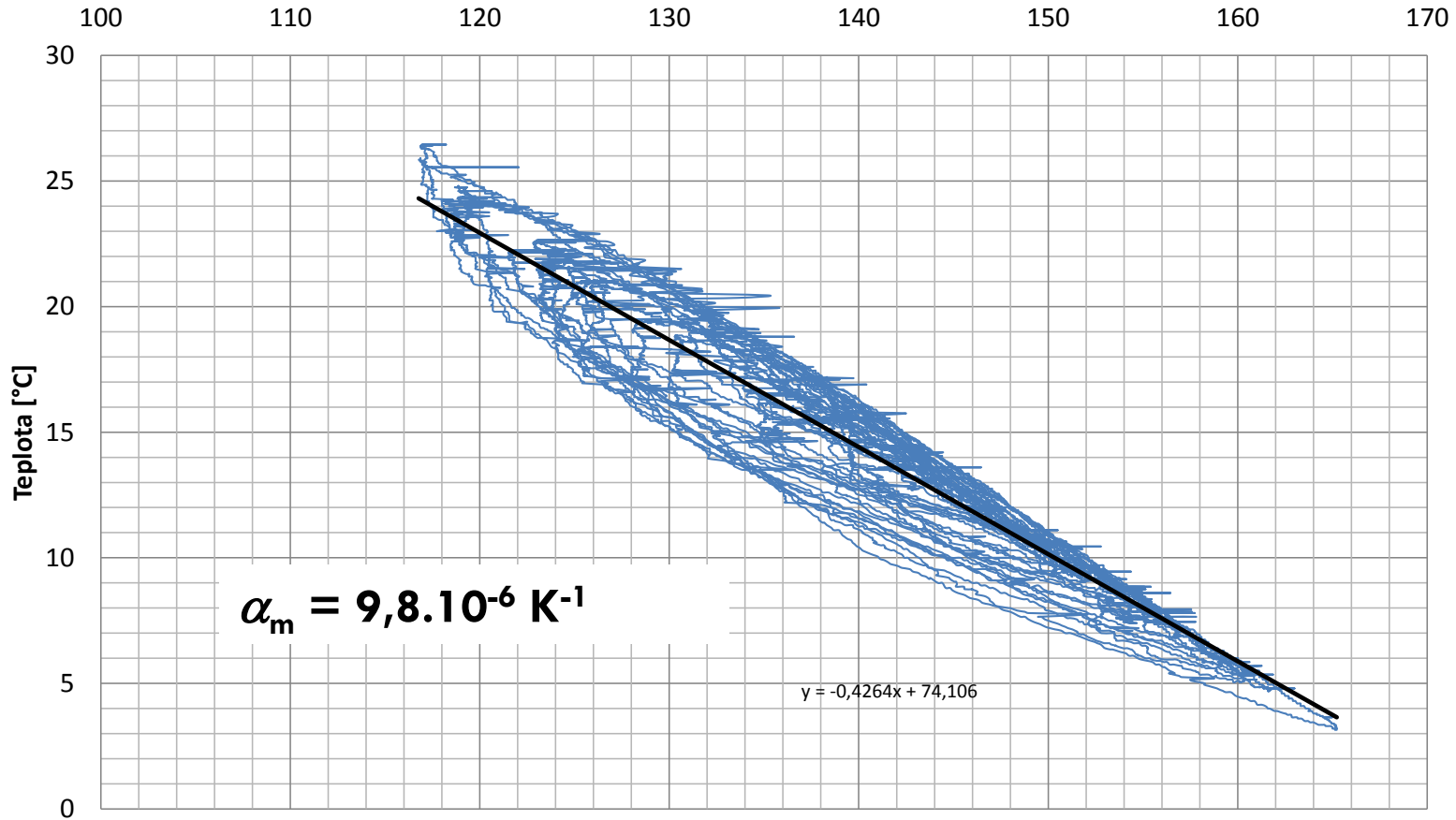




Duben  
2011

16

Velikost dilatační spáry most - opěra na znojemské opěře [mm]



## Součinitel teplotní roztažnosti pro Znojemský viadukt

Dilatační délka konstrukce	Součinitel $\alpha_m$	Rozpětí teplot	Vypočtený rozsah dilatace	Zjištěný rozsah dilatace
[m]	[ $10^{-6} \cdot \text{K}^{-1}$ ]	[K]	[mm]	[mm]
220,97	9,7	51,4	110	111

Konference: Železniční dopravní cesta 2012 15.4.2012





# Posouzení dilatačních délek

17

Posuzované  
veličiny podle  
prof. Frýby

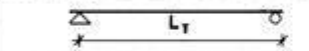
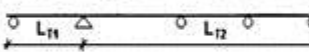
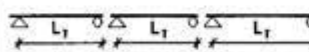

(předpis SŽDC  
S3)

- Síla v koleji při maximálním oteplení mostu i kolejnic musí být **menší než polovina kritické síly** pro vybočení.
- Napětí v kolejnici musí vyhovět z hlediska **únosnosti kolejnic** pro maximální oteplení a ochlazení mostu i kolejnic, s ojetím kolejnic se napětí zvyšuje.
- **Spára** vzniklá po lomu kolejnice v zimním období musí být menší než **50 mm**.
- Síla působící na **upevnění kolejnic** u mostů bez kolejového lože nesmí překročit přípustnou mez; zpravidla se posoudí prostřednictvím hodnoty vzájemného posunutí koleje vůči mostu.

# Posouzení dilatačních délek

Předpis  
SŽDC S3,  
díl XII,  
Tabulka 1

**Tab.1** Největší přípustné dilatační délky  $L_T$  nosných konstrukcí mostů pro zřízení bezстыkové koleje

Případ č.	Uspořádání mostních ložisek a dilatační délka $L_T$	Tvar kolejnice 2)	Mosty s nosnými konstrukcemi									
			ocelovými					ocelobetonovými		betonovými		
			s kolejovým ložem pražce		s mostnicemi uloženými		s přímým uložením koleje	s kolejovým ložem pražce		s kolejovým ložem pražce		
			dřevěné	betonové	centricky	plošně		dřevěné	betonové	dřevěné	betonové	
L <sub>T</sub> [m]												
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1												
2		R 65	125	90	70	23	20	160	120	180	130	
		UIC 60	110	80	66	23	20	140	103	156	113	
		T,S 49	85	60	60	23	20	100	70	110	80	
3		R 65	125	86	70	25	23	160	110	180	125	
		UIC 60	108	74	63	25	23	136	93	153	106	
		T,S 49	75	51	50	25	23	90	60	100	70	
	počet konstrukcí není omezen											
4		R 65	65	46	35	19	17	100	70	110	80	
		UIC 60	61	44	35	19	17	86	61	96	70	
		T,S 49	55	40	35	19	17	60	45	70	50	

Při kombinaci jednotlivých případů rozhoduje přísnější kritérium.

1) Pro nové mosty nepřipustný případ. 2) Kolejnice tv. T jen u dosavadního stavu.

# Posouzení dilatačních délek

19

Nesoulad  
předpisu  
SŽDC S3  
a  
ČSN EN  
1991-2

- Součinitele **teplotní roztažnosti** mostu  $\alpha_m$  a hodnot **podélného odporu**  $r_x$ ;
- **Posouzení napětí** v kolejnicích neodpovídá platné metodice, uvedené v předpisu SŽDC S3, dílu IV, kapitole IV Posuzování únosnosti kolejnic a jazyků ani metodice uvedené ČSN EN 1991-2;
- **Není jednoznačně stanoven postup výpočtu kritické síly** pro vybočení bezстыkové koleje, např.:

$$N_k = -\frac{8EI_z}{R \cdot v_0} + \sqrt{\left(\frac{8EI_z}{R \cdot v_0}\right)^2 + \frac{16EI_z \cdot r_y}{v_0}}$$

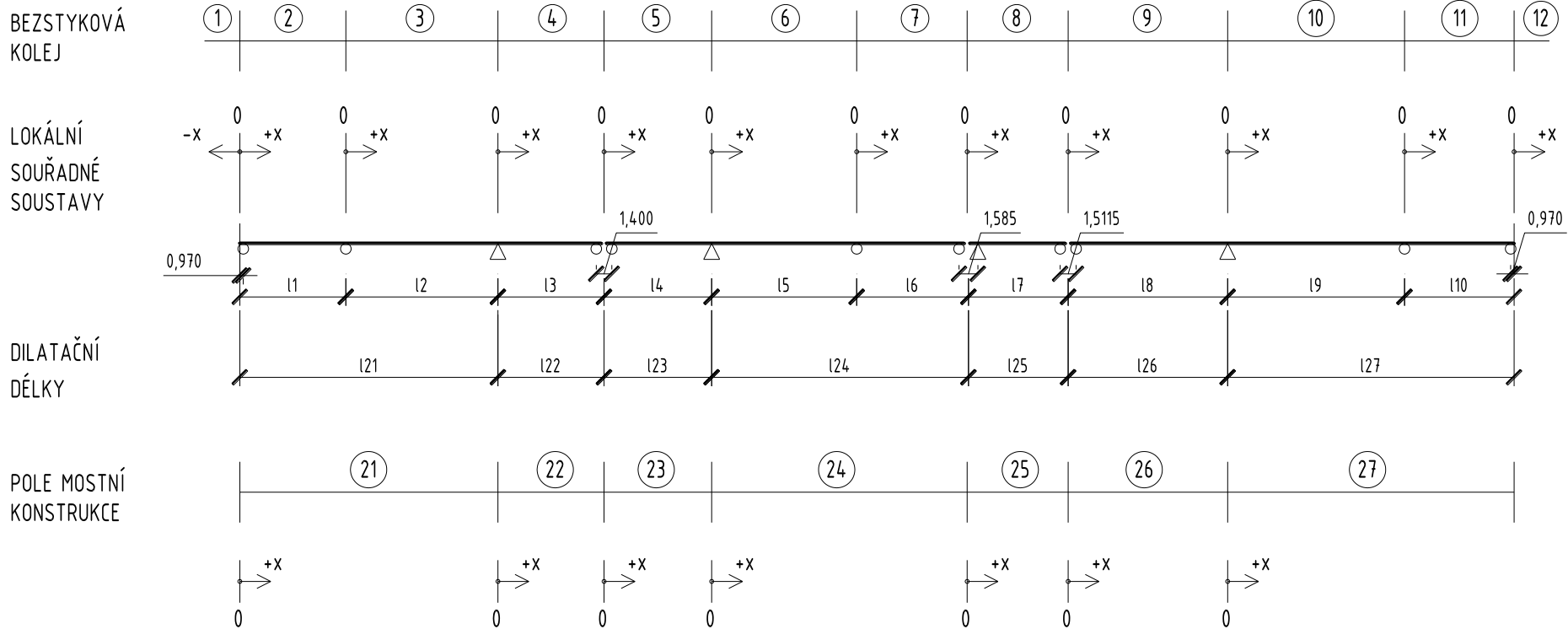
# Estakáda Ústí nad Orlicí



20

## Parametry estakády

- ❑ Trať Česká Třebová – Praha, km 255,740 až 256,116
- ❑ Dvoukolejný most
- ❑ Směrový oblouk o poloměru 752,00 m a 756,75 m
- ❑ Průběžné kolejové lože
- ❑ Netypické uspořádání mostních ložisek
- ❑ Překročené přípustné dilatační délky podle tabulky 1 dílu XII předpisu S3



21

## Schéma uspořádání mostní estakády

Sestavení výpočetního modelu

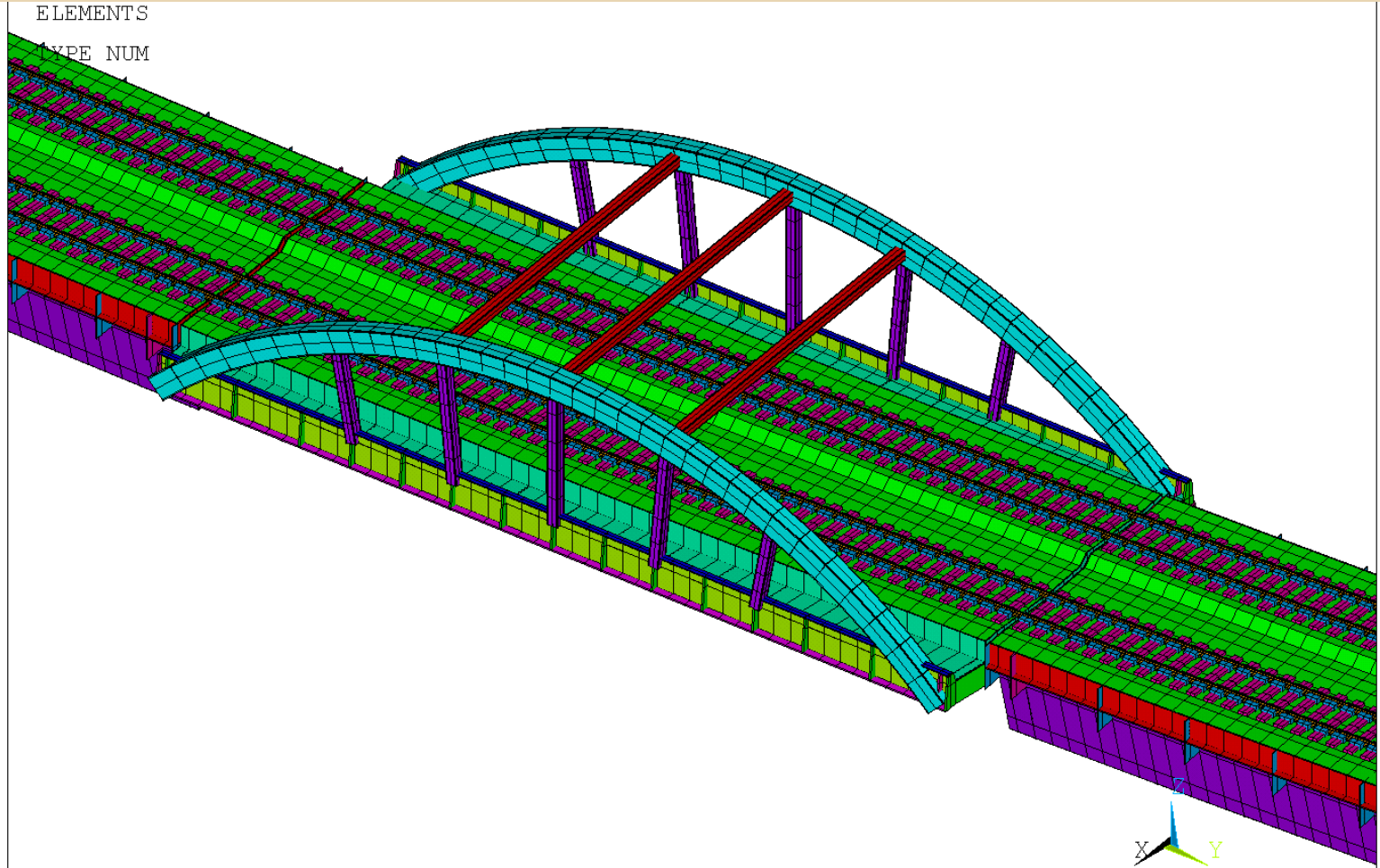


Analytická  
metoda  
výpočtu

- Neumožňuje jednoduchým způsobem zohlednit **umístění mostu ve směrovém oblouku**.
- Úlohu zjednodušuje na **soustavu spolupůsobících nosníků**, umístěných v přímé.
- Nahrazuje vztah mezi kolejí a mostní konstrukcí soustavou **lineárních pružin**.

Metoda  
konečných  
prvků

- Zohledněn **směrový oblouk**.
- Uvažováno **nelineární kontaktní odpor** štěrkového lože a ocelové konstrukce mostů.
- Do výpočtu byla zavedena vlastní tíha konstrukce.
- Na okraji modelu a nad pevnými ložisky zaneseny nerealistické okrajové podmínky **zjednodušením modelování spodní stavby mostu** jako absolutně tuhé.



24

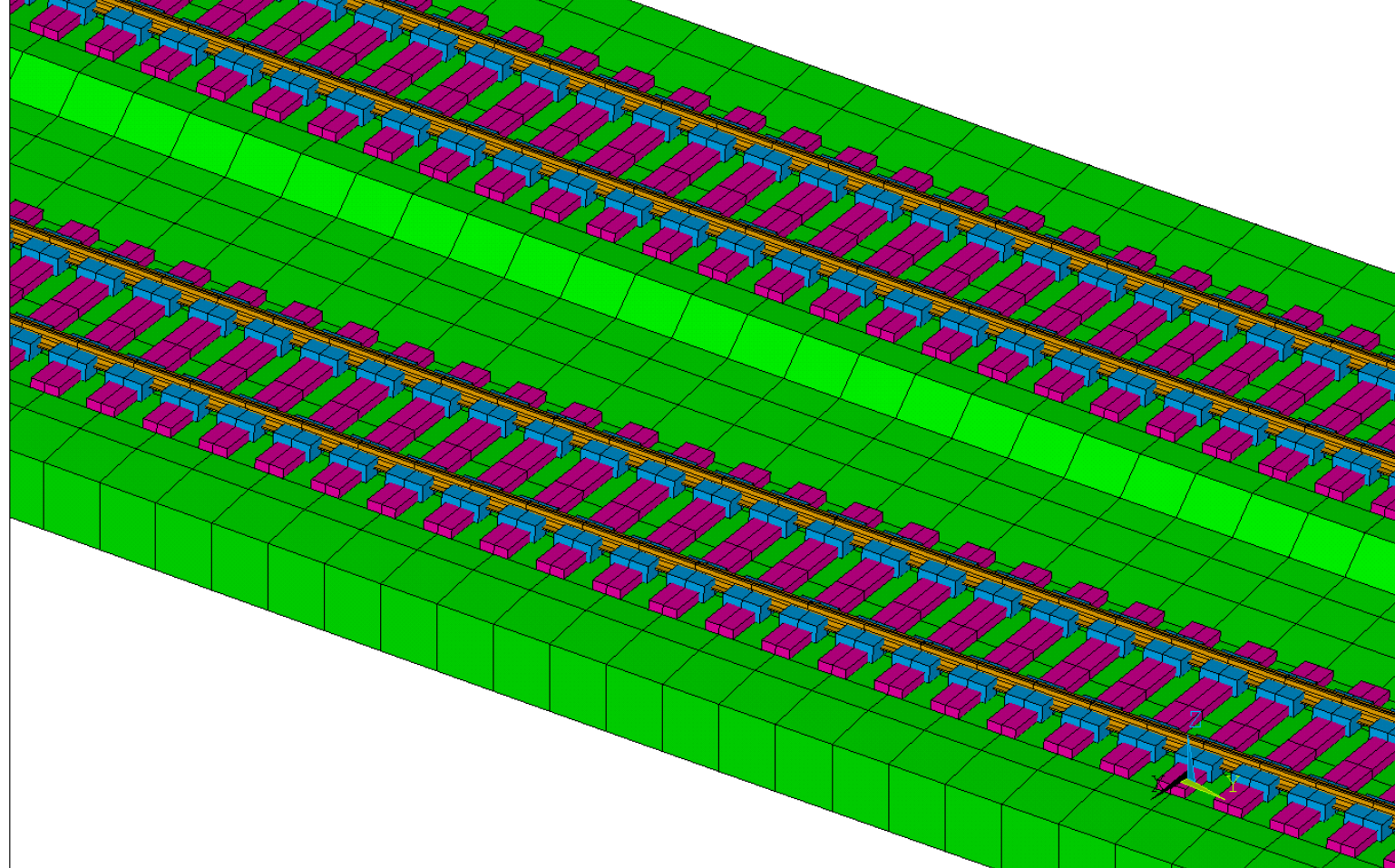
## Model metodou konečných prvků

Mostní pole přes silniční komunikaci

Konference: Železniční dopravní cesta 2012 15.4.2012







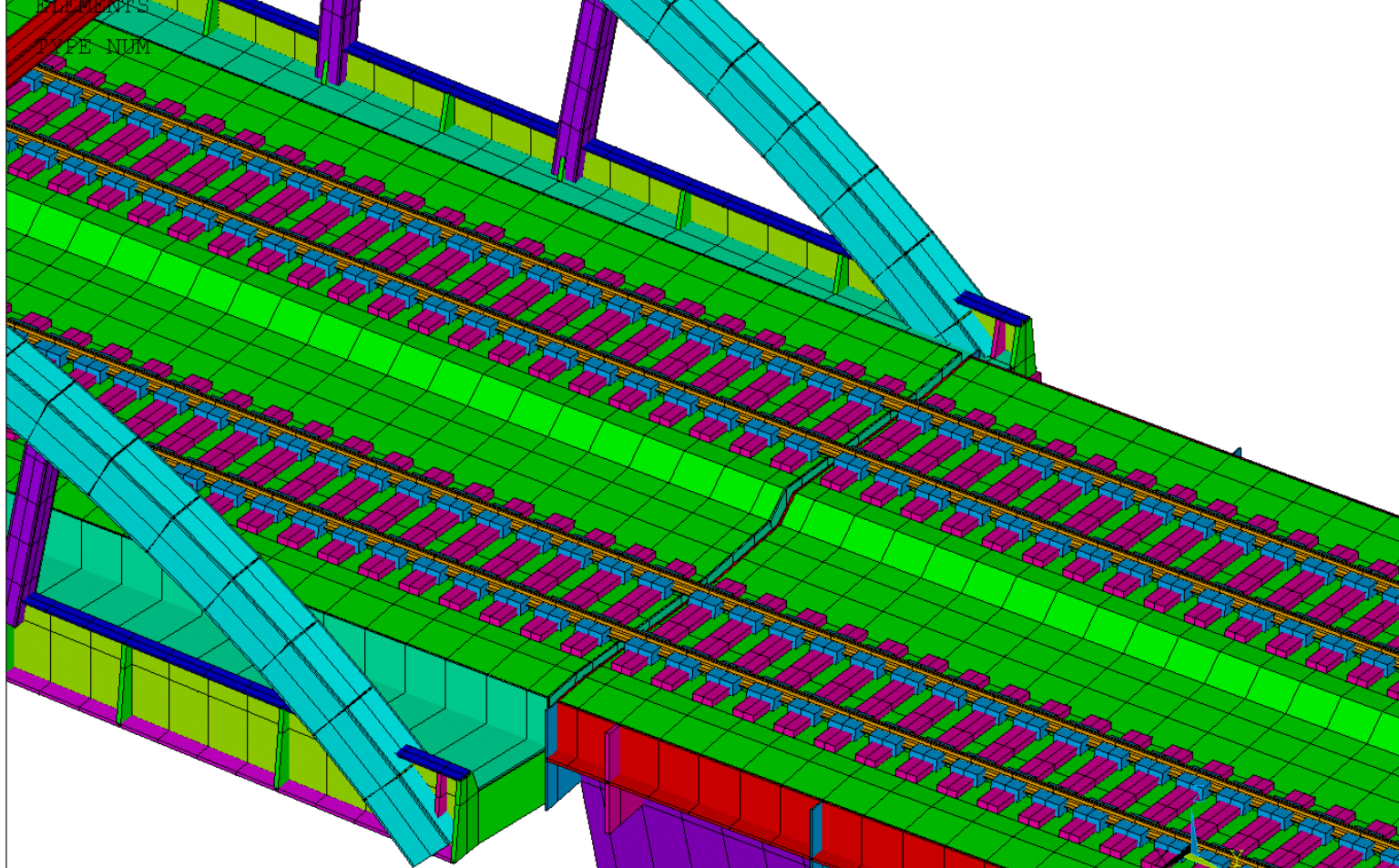
25

## Model metodou konečných prvků

Model kolejového roštu

Konference: Železniční dopravní cesta 2012 15.4.2012





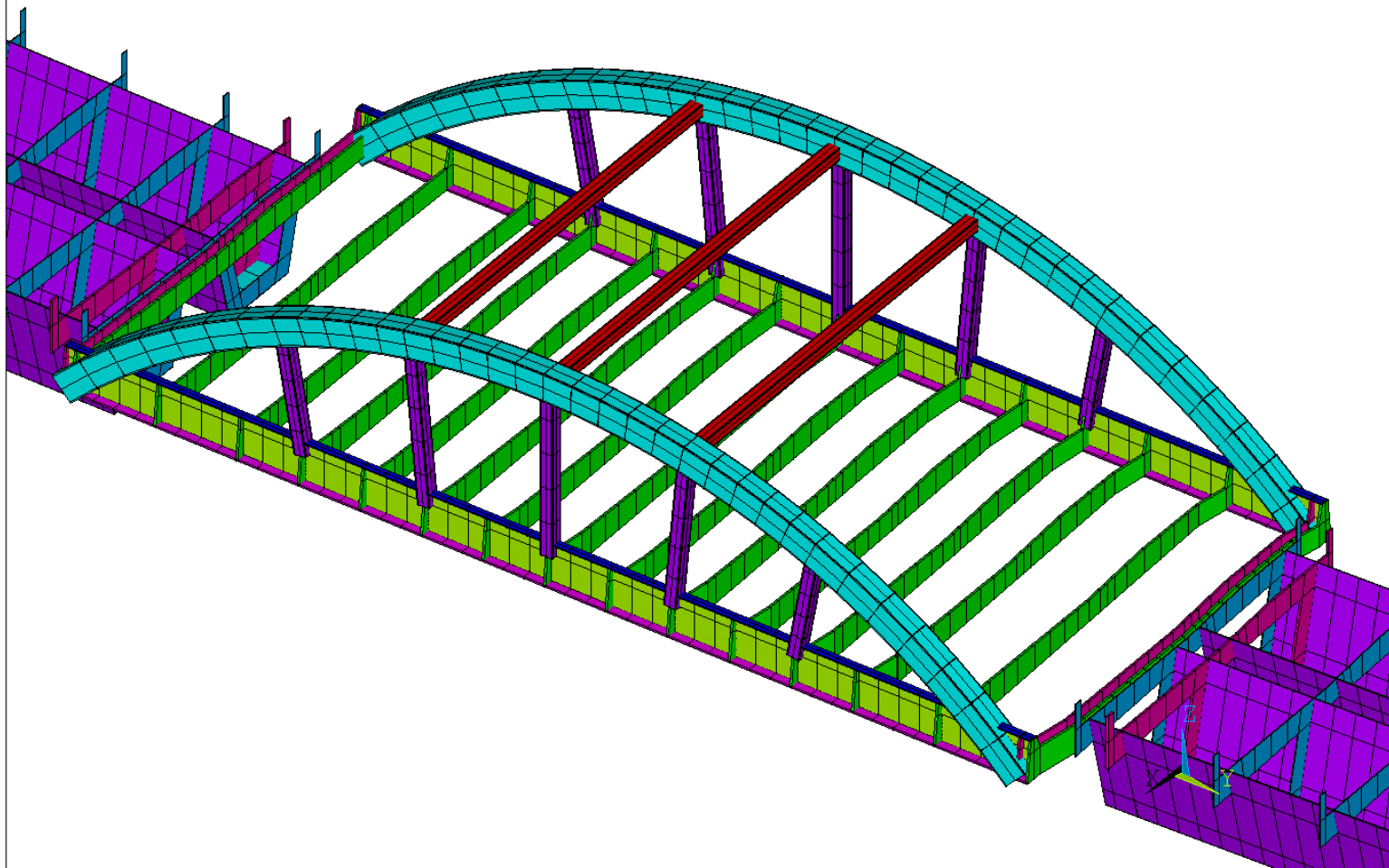
26

## Model metodou konečných prvků

Mostní pole přes silniční komunikaci

Konference: Železniční dopravní cesta 2012 15.4.2012





27

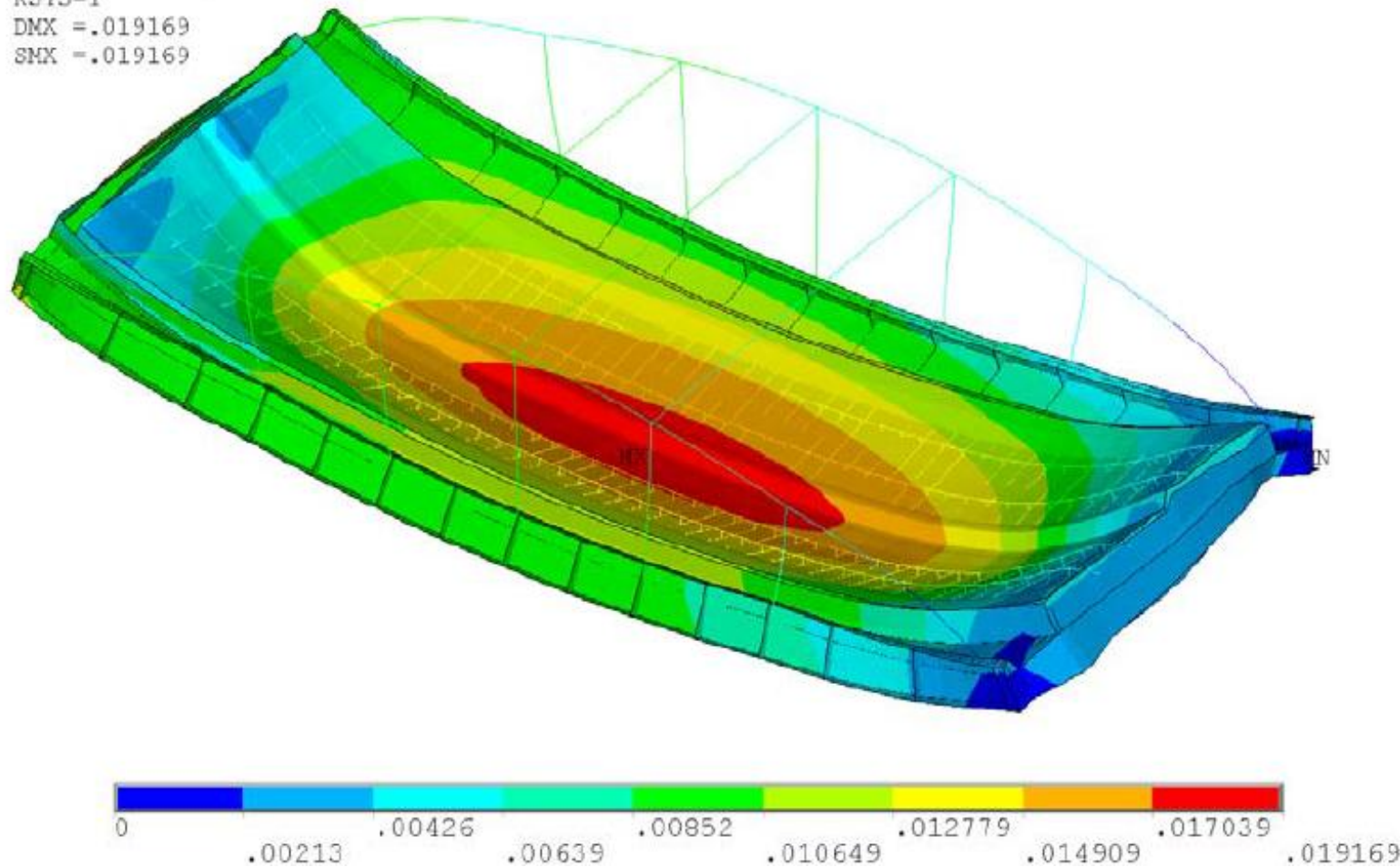
## Model metodou konečných prvků

Mostní pole přes silniční komunikaci – detail konstrukce

Konference: Železniční dopravní cesta 2012 15.4.2012



RSYS=1  
DMX =.019169  
SMX =.019169



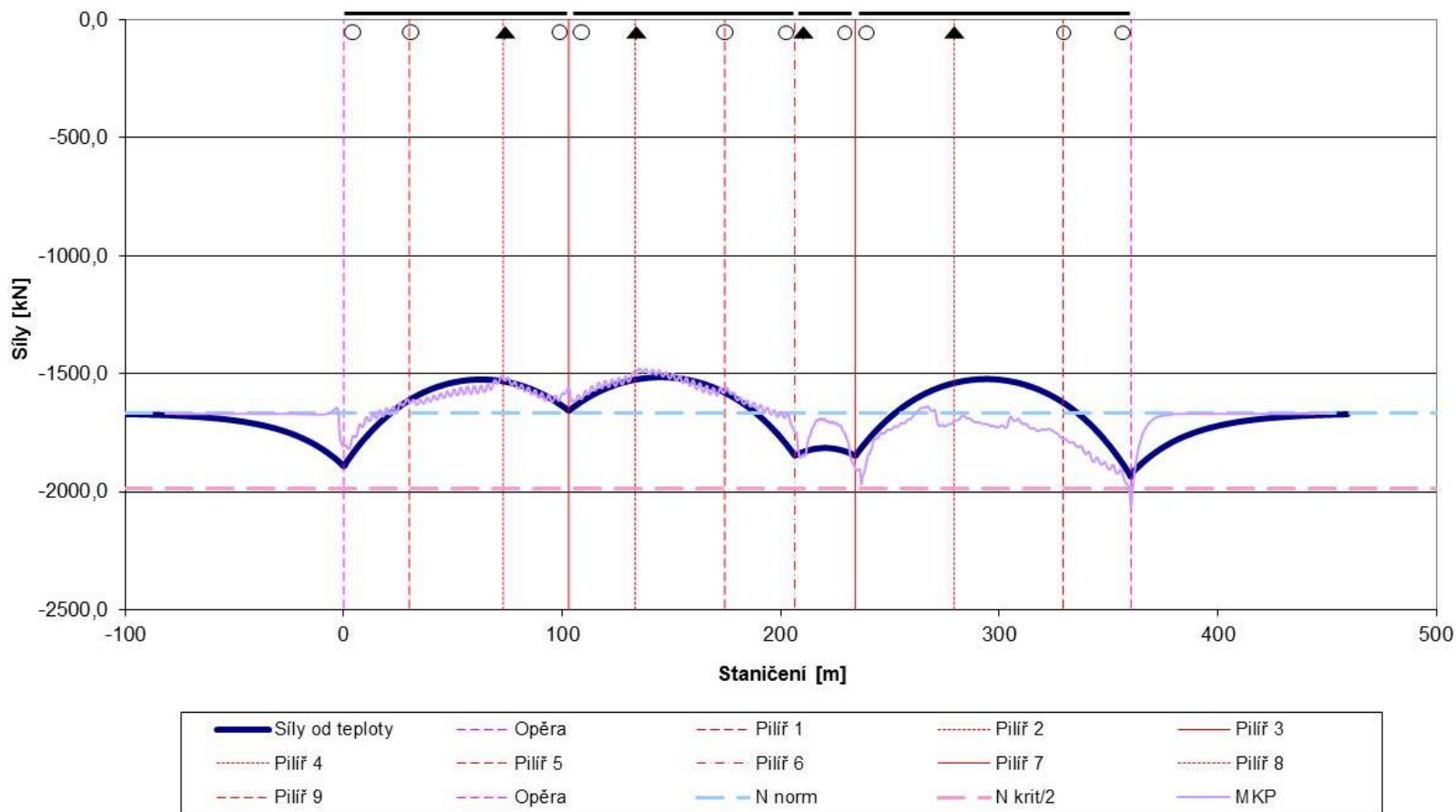
28

## Model metodou konečných prvků

Celková posunutí

Konference: Železniční dopravní cesta 2012 15.4.2012



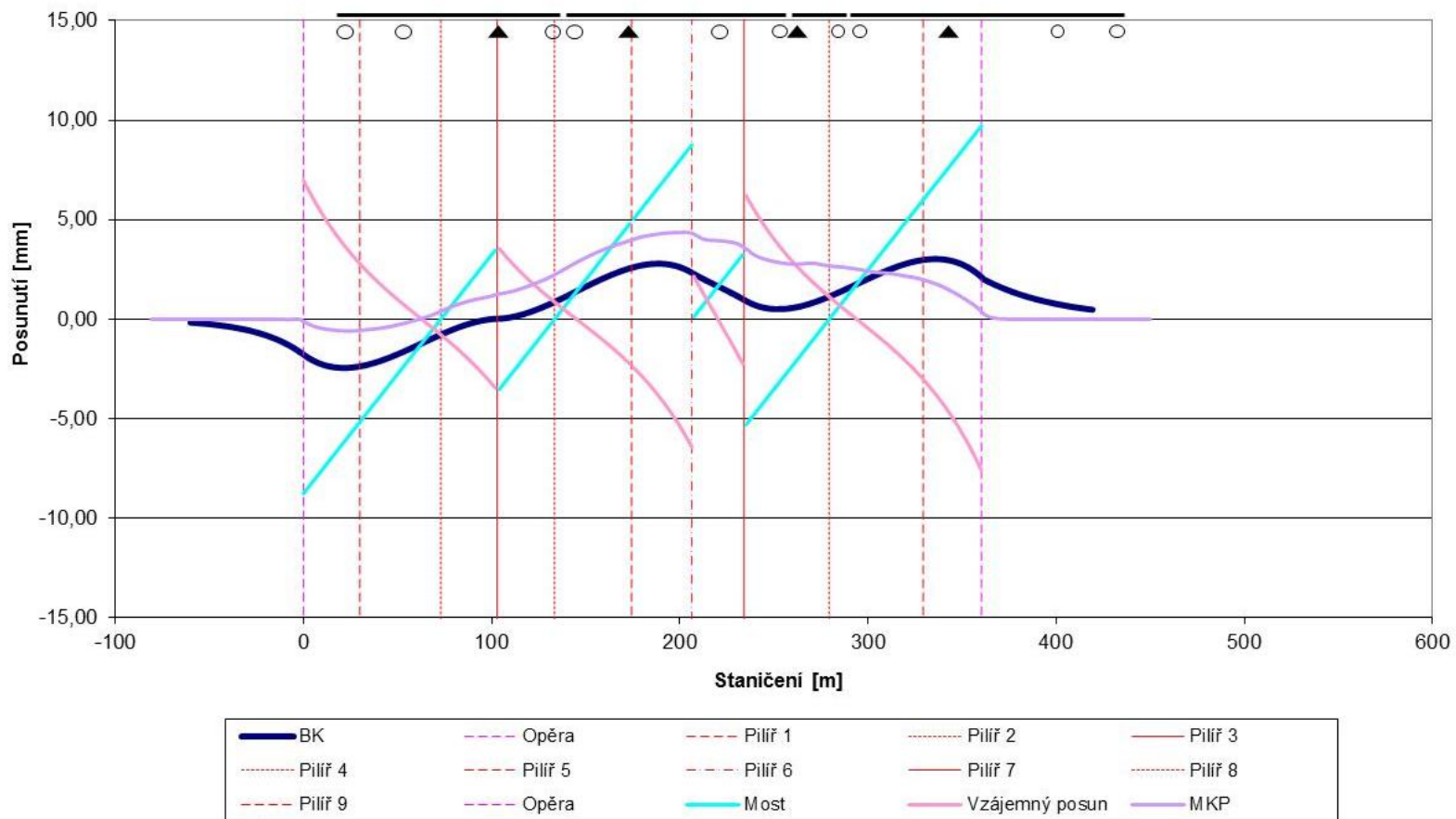


29

## Síly v bezстыkové koleji

Maximální oteplení





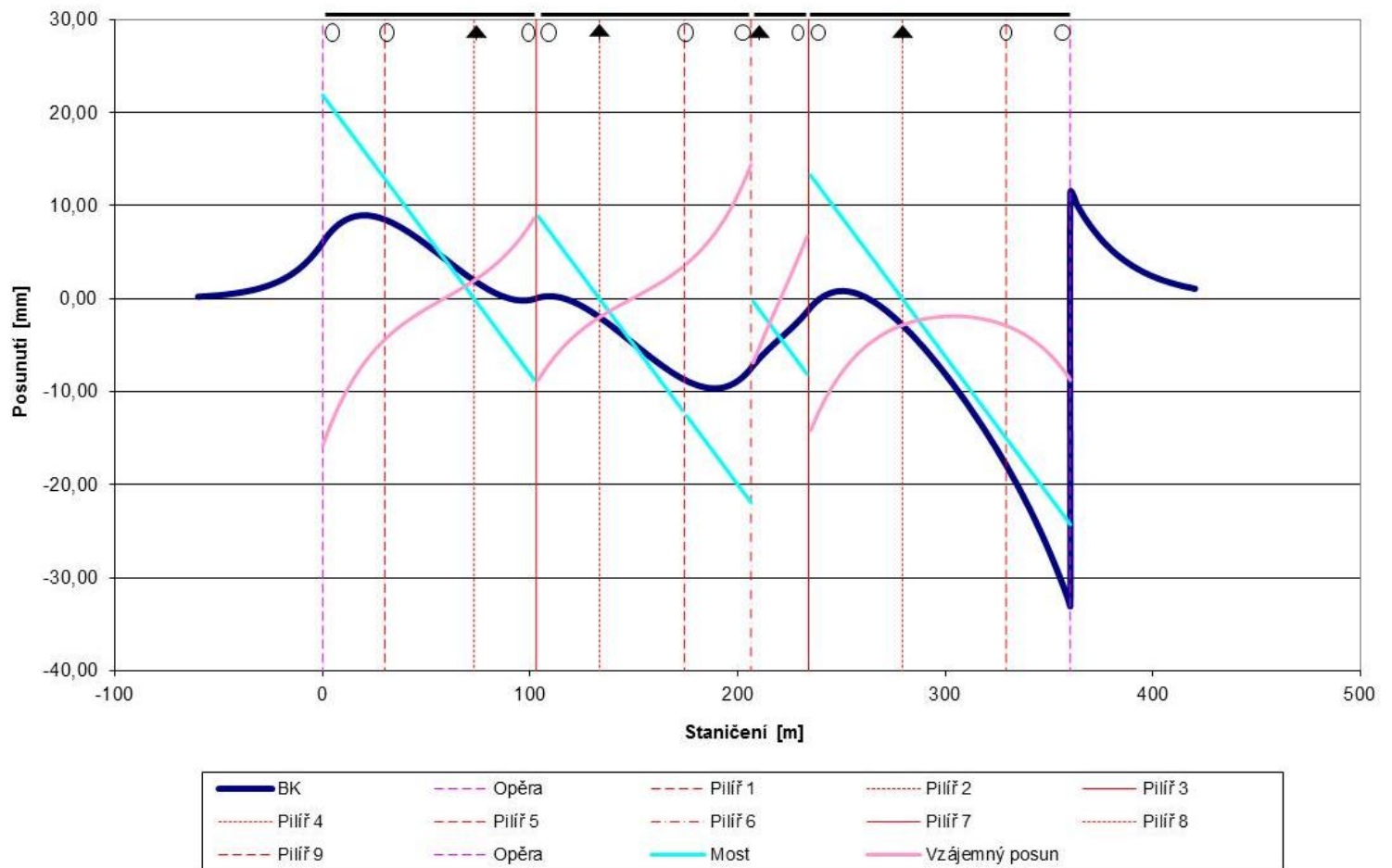
30

## Posunutí bezстыkové koleje

Maximální oteplení

Konference: Železniční dopravní cesta 2012 15.4.2012





31

## Posunutí bezстыkové koleje

Lom kolejnice nad opěrou



## Porovnání výpočtů

- Výsledky se **dobře shodují**.
- **Vlivy směrového oblouku** na mostu s ohledem na charakteristiky mostu v příčném směru **je možné při výpočtu zanedbat**.
- **Vliv směrového oblouku** a deformace prostorové polohy je nutné vzít v potaz **při stanovení kritické osové síly při vybočení bezстыkové koleje**.



## Závěry

- V současné době **každá mostní konstrukce**, na které je použita bezстыková kolej, **musí být posouzena podle ČSN EN 1991-2**.
- Tento standard poskytuje základní **hodnoty vstupních parametrů**, pro výpočet a posouzení interakce most – kolej.
- Při jejich použití na mostní konstrukce, jejichž dilatační délky jsou podle tabulky 1 dílu XII předpisu SŽDC S3 přípustné, **nemusí být posouzení bezстыkové koleje v souladu s tímto standardem.**

34

Děkuji za pozornost