

# Návrh spřažení příhradových ocelobetonových mostů

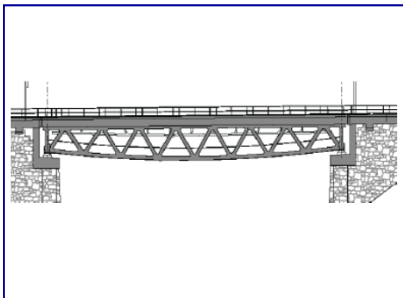
**Prof. Josef Macháček**  
**Martin Charvát, PhD student**  
**Martin Čudejko Ph.D.**



# Obsah

---

1. Úvod
2. Teoretické modely
3. Numerické studie
4. Závěry a doporučení



# 1. Úvod



**Spřažené příhradové mosty:  
ocelový příhradový nosník + železobetonová deska**



**železniční most  $L = 63$  m**



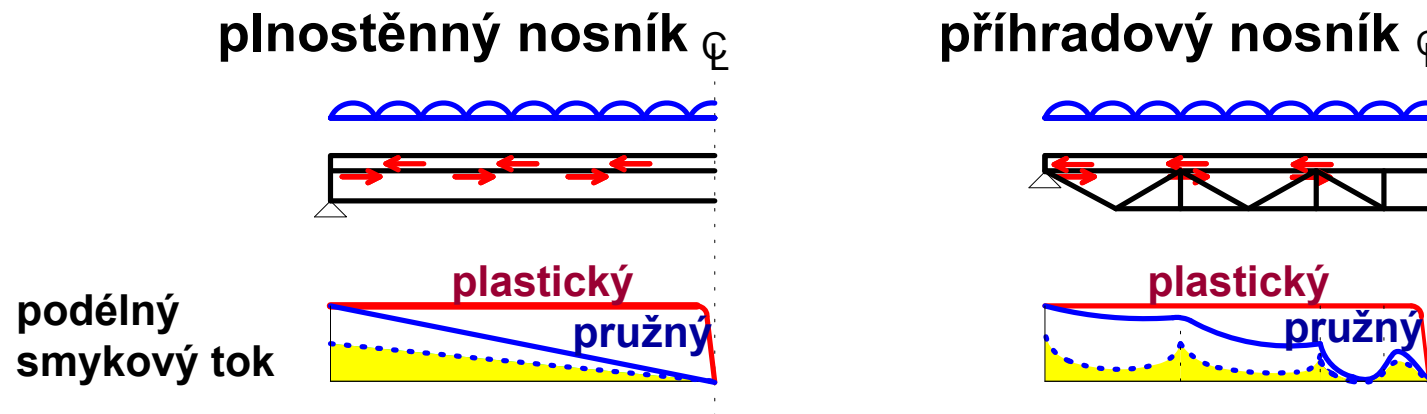
**železniční most  $L = 35$  m**



**silniční mosty s rozpětím  $L$  od 21 do 45 m**



## Pružná a plastická analýza podélného smyku mezi ocelovým příhradovým nosníkem a ž.b. deskou:



Pružná analýza je nutná pro:

- průřezy 3. a 4. třídy,
- „netažné“ prvky spřažení,
- návrh na únavu,
- mosty.



---

## Provedené studie:

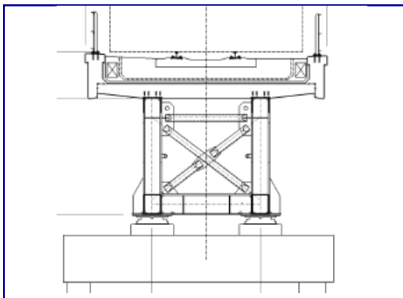
- '70' Galambos & Tide, Azmi, Iyengar & Zils  
(výzkum i praktické aplikace v USA a Kanadě)
- '90' Brattland & Kennedy, Woldegiorgis, Viest  
(experimentální a teoretické studie v USA a Kanadě)  
Steel Construction Institute

po 2000 Johnson & Ivanov:

- numerické studie pro soustředěný podélný smyk,
- Eurokód 4 (část 2 – spřažené mosty)

Autoři:

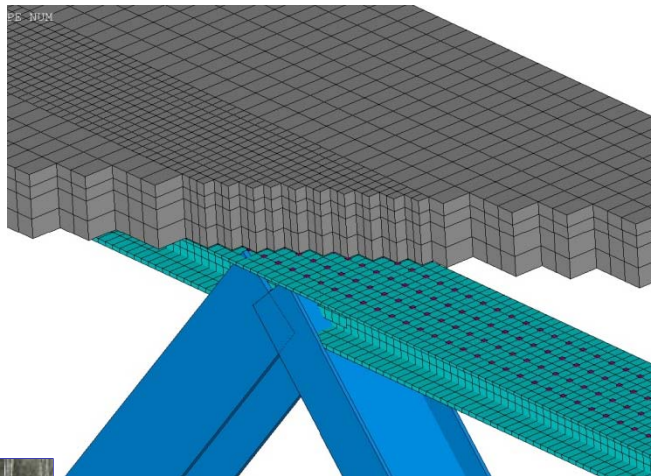
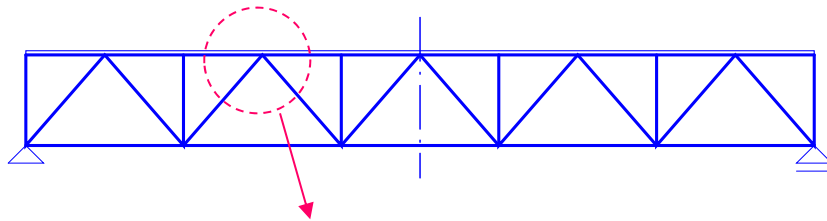
- experimentální výzkum stropních spř. příhr. nosníků (05-6)
- numerické analýzy, Engineering Structures (09, 11)



# 2. Teoretické modely



## 1. 3D MNA (materiálově nelineární analýza)



**3D model (ANSYS):**

betonová deska: **SOLID65**  
horní ocelový pás: **SHELL43**

výplňové pruty: **BEAM24**  
dolní ocelový pás: **BEAM24**

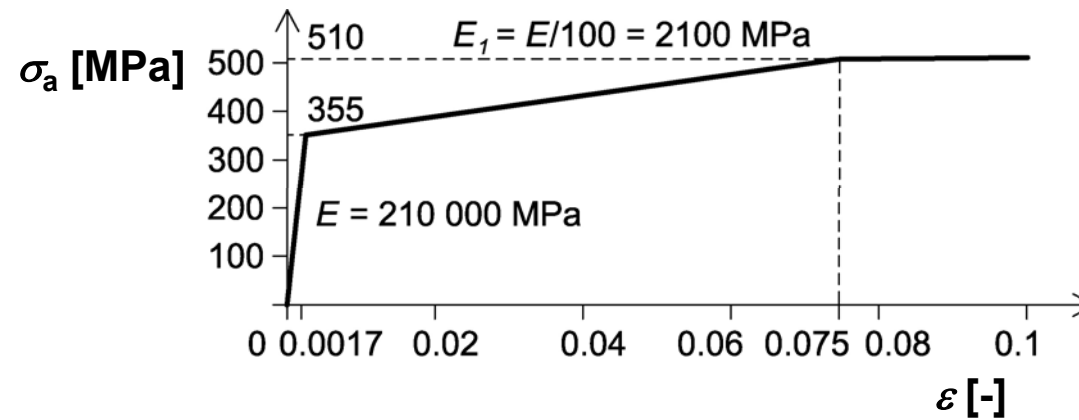
spřažení: **COMBIN39**



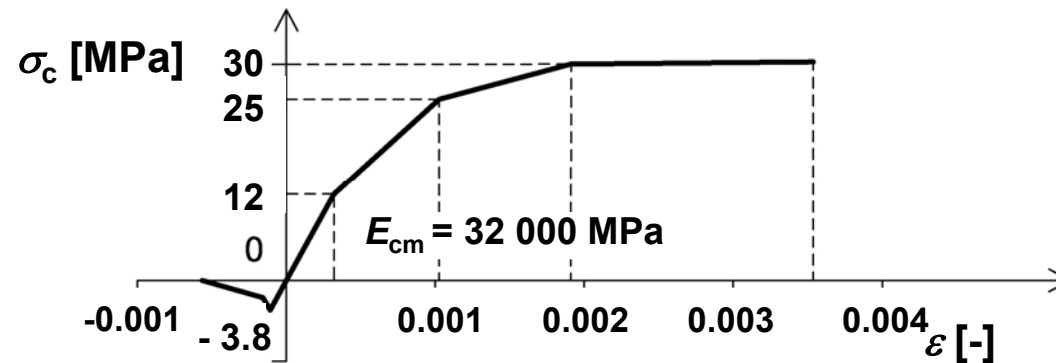


## Pracovní diagramy použité v numerických studiích:

**ocel  
(S355)**



**beton  
(C 30/37)**



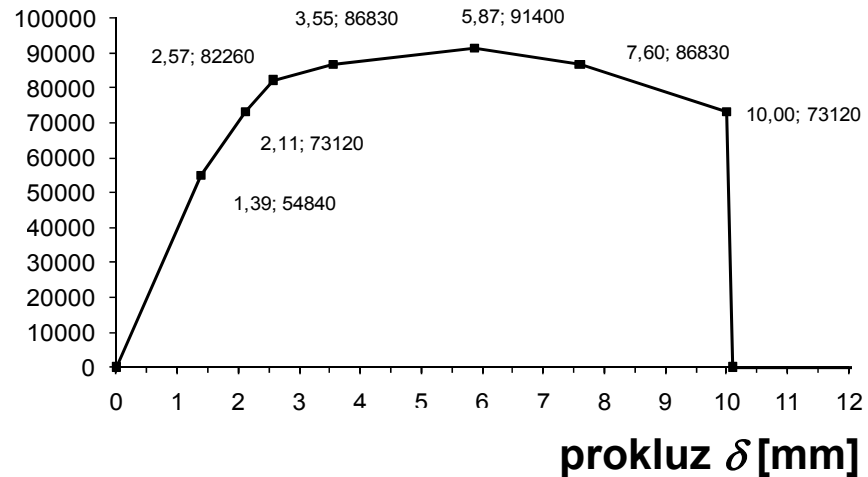


## Pracovní diagram spřažení:

- pro trny použity studie publikované Oehlersem & Coughlanem,
- pro děrovanou lištu vlastní výsledky prvního autora.

Příklad: spřahovací trn Ø 19 mm:

smyková síla  $P$  [N]  
na 1 trn

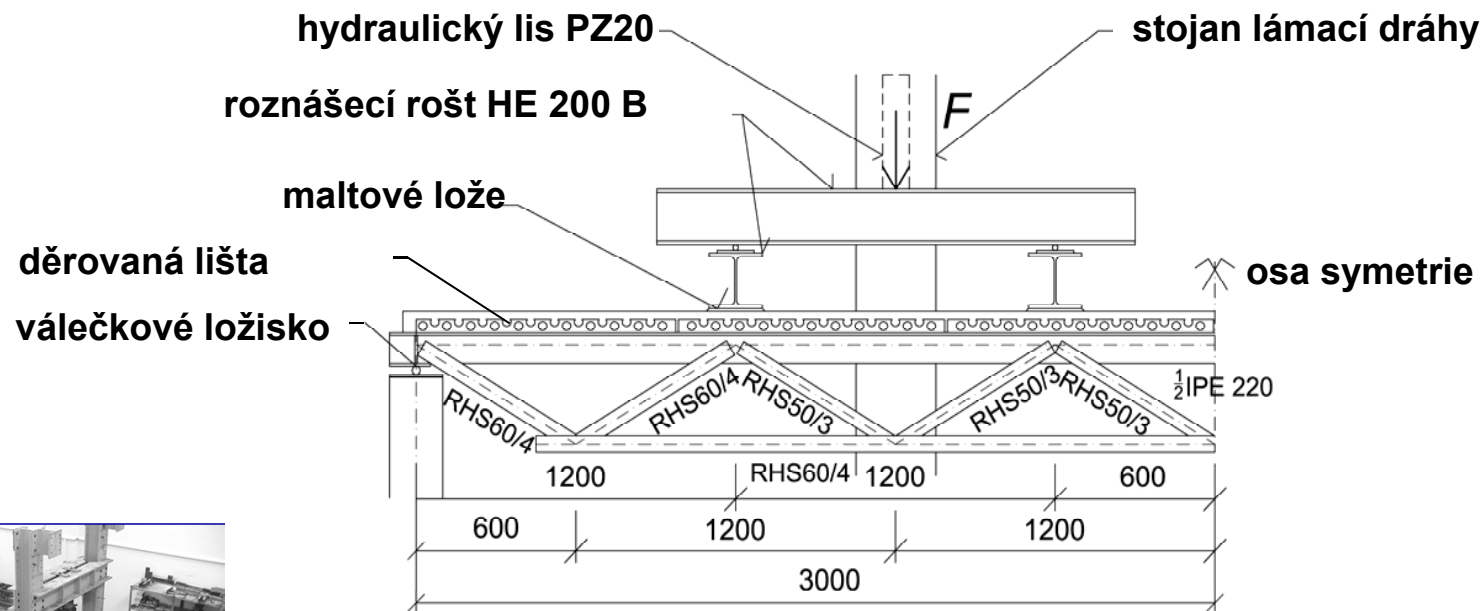






# Experimentální ověření

Odzkoušeny dva identické spřažené příhradové nosníky s rozpětím  $L = 6$  m (celková výška nosníku 510 mm)





## Detaily experimentu



**Zatížení řízeno silou  
(hydraulickými válci)**



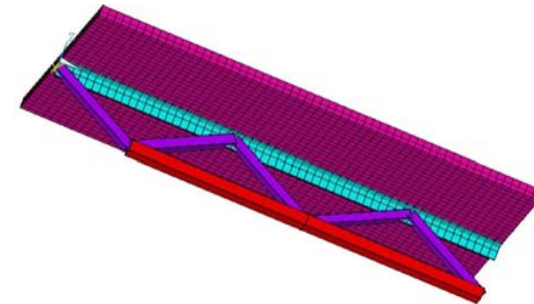
**Plastický kolaps**



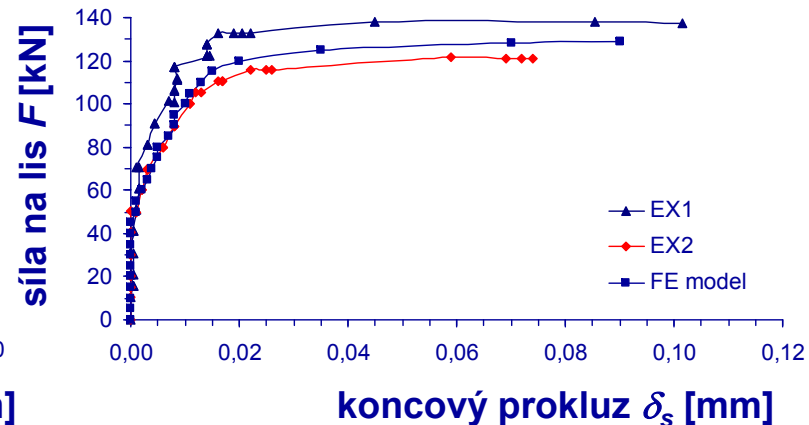
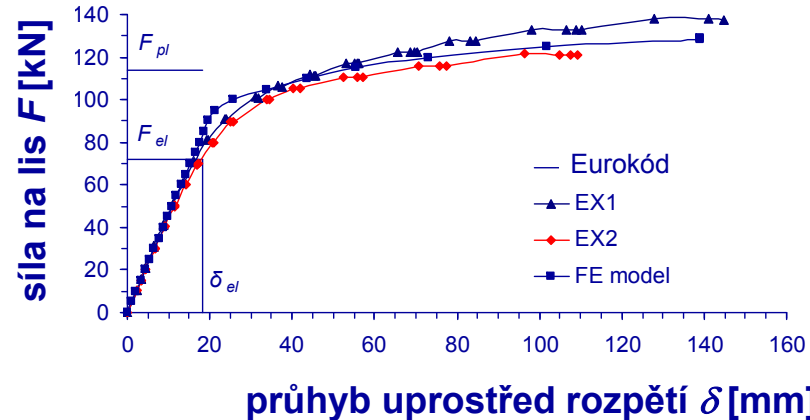
## 3D MNA (ANSYS): ověření modelu

Materiálové vlastnosti:

- zavedeny měřené hodnoty
- pracovní diagramy podle výše uvedeného



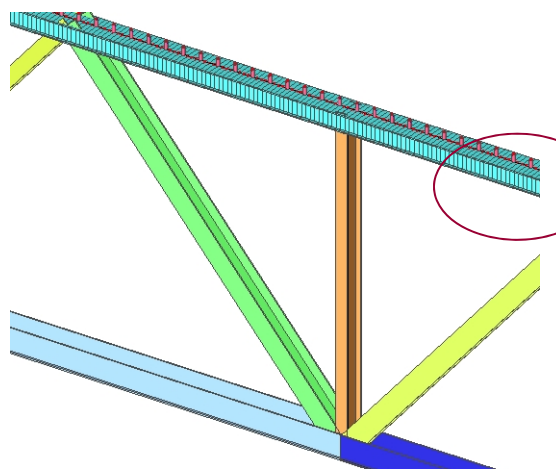
## Srovnání: experimentální výsledky vs. 3D MNA (a Eurokód)



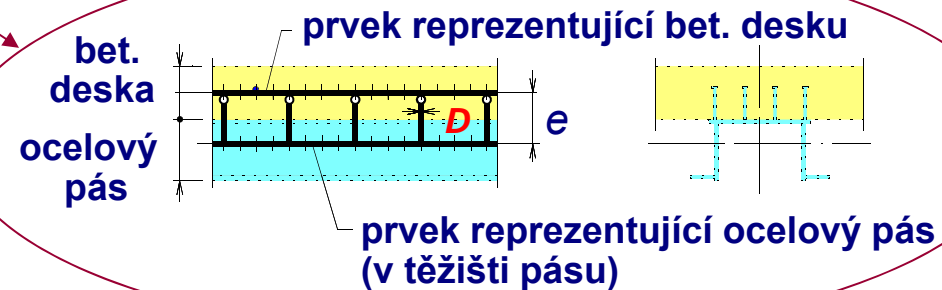
➔ 3D MNA zcela koresponduje s experimenty (= vzor, benchmark).

## 2. Zjednodušený 2D pružný rámový model (SCIA Engineer software)

- všechny prvky jsou modelovány jako pruty, včetně betonové desky bez vyloučení tahu (jak doporučuje Eurokód - konzervativní řešení),
- spřažení (trny) modelovány jako konzolky, kloubově spojené se střednicovou rovinou desky:



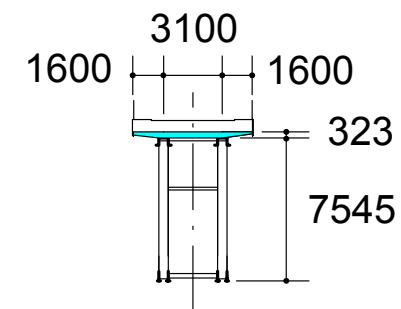
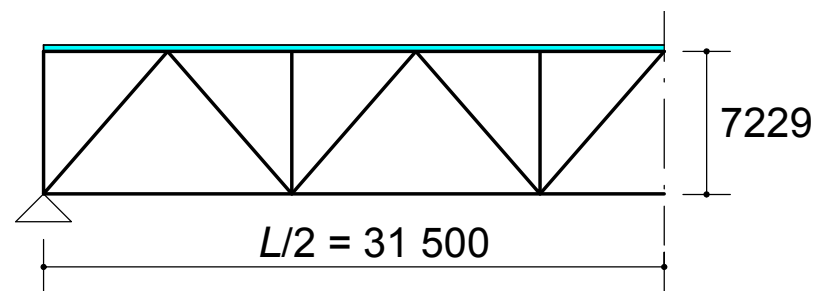
(kreslena pouze ocelová část)



# 3. Numerické studie



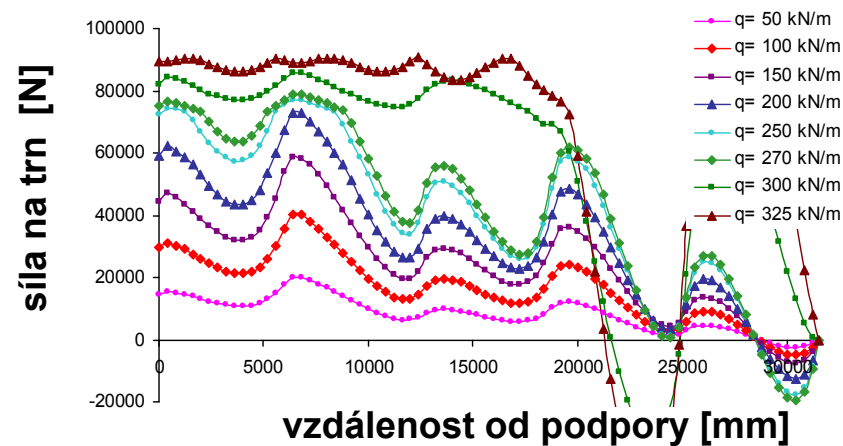
## 3.1 Železniční most velkého rozpětí ( $L = 63$ m)





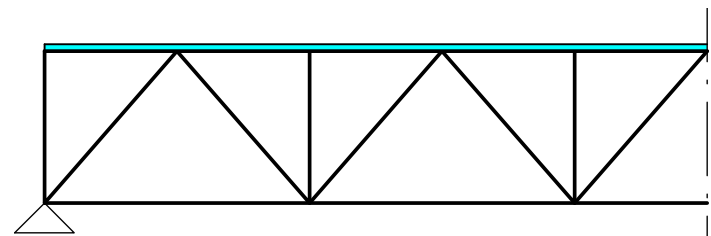
# 3D MNA (ANSYS) podélný smyk ve spřažení

4 paralelní trny Ø 19 mm, podélně po 400 mm



modrá odpovídá návrhovému zatížení mostu (200 kN/m)

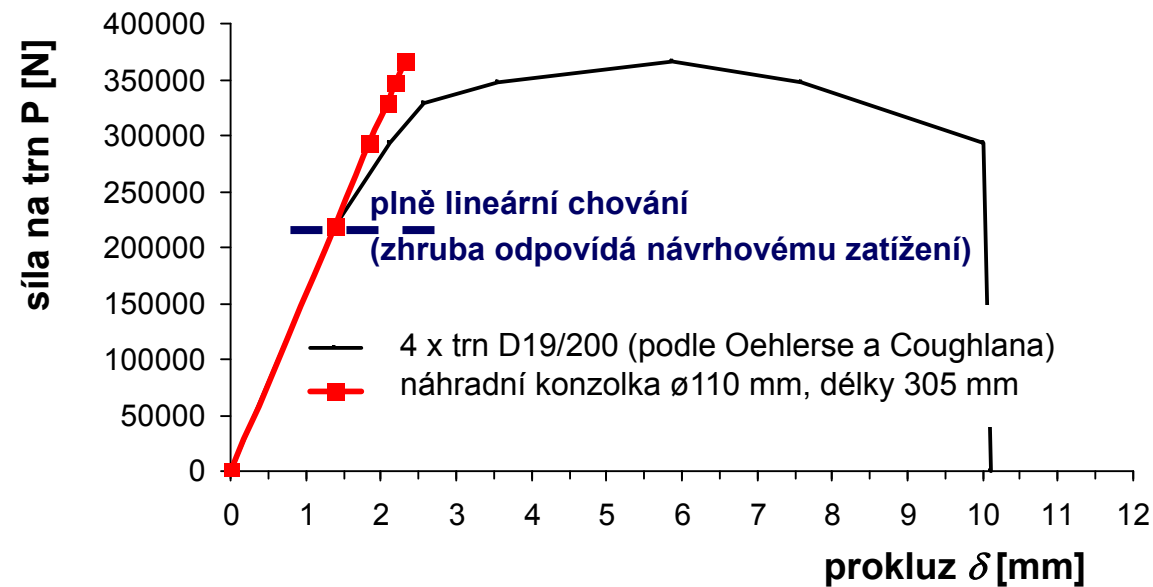
(kreslena polovina rozpětí)





## 2D LA (rámový) zjednodušený pružný model

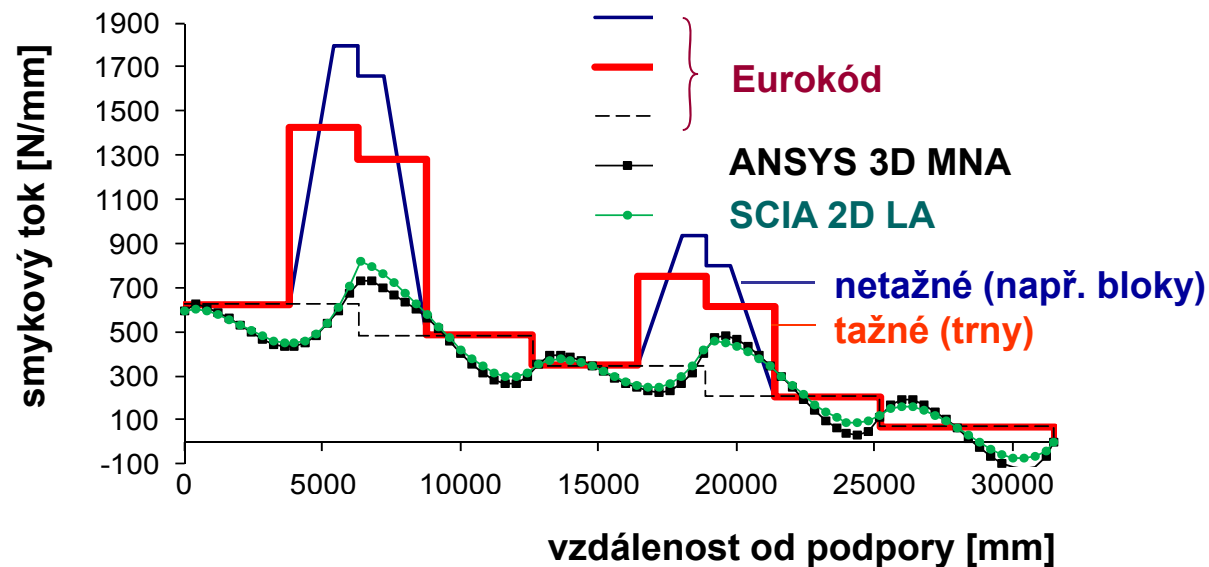
Pružná linearizace smykového spojení:





## Srovnání 3D MNA, 2D LA, Eurokód EN 1994-2:

(pro odpovídající návrhové zatížení 200 kN/m, kreslena polovina  $L$ ):

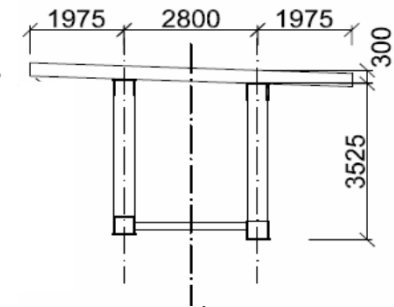
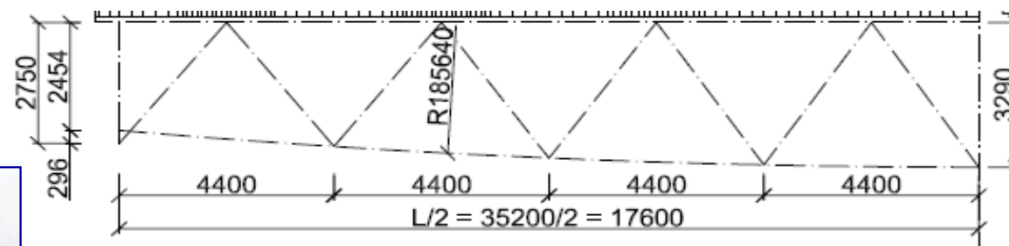


➔ 2D LA je velmi vhodný, Eurokód je extrémně konzervativní.





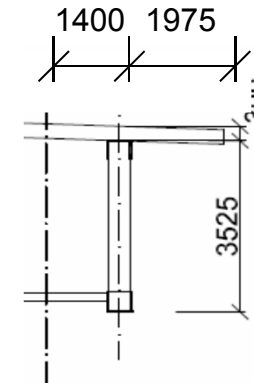
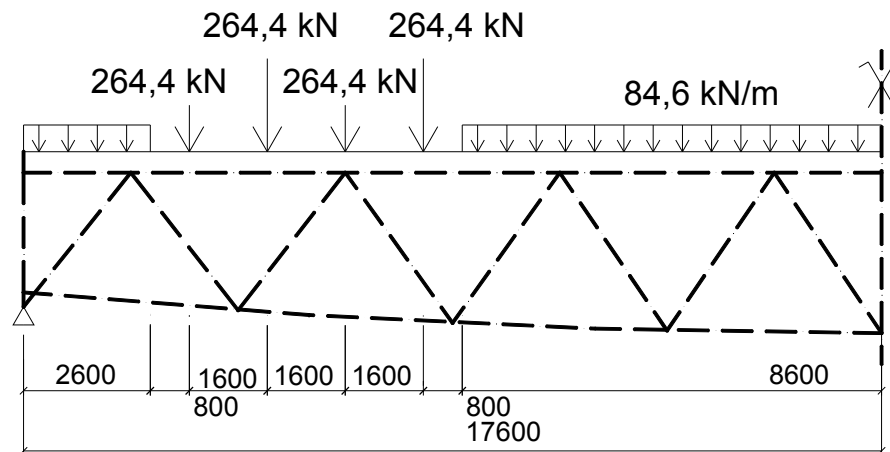
## 3.2 Železniční most středního rozpětí ( $L = 35.2$ m): Parametrická studie





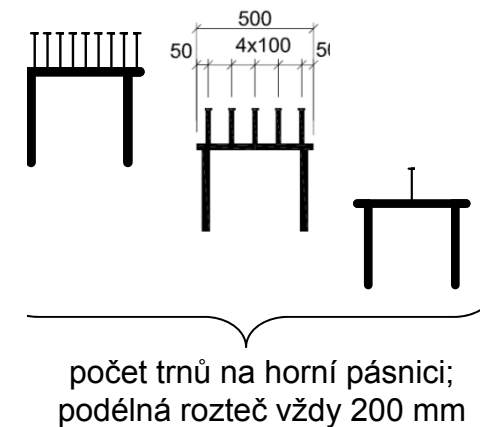
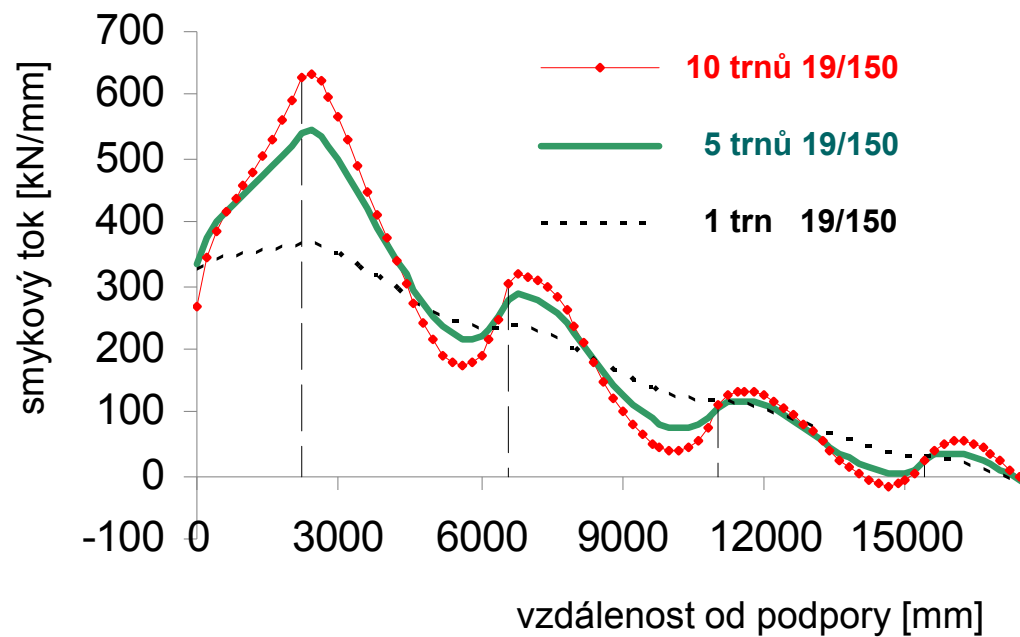
## Zatížení použité ve studiích:

mostní zatížení LM71 podle Eurokódu 1  
v pozici vyvolávající maximální podélnou smykovou sílu na jeden nosník  
(včetně dynamických účinků a vlivu excentricity koleje)





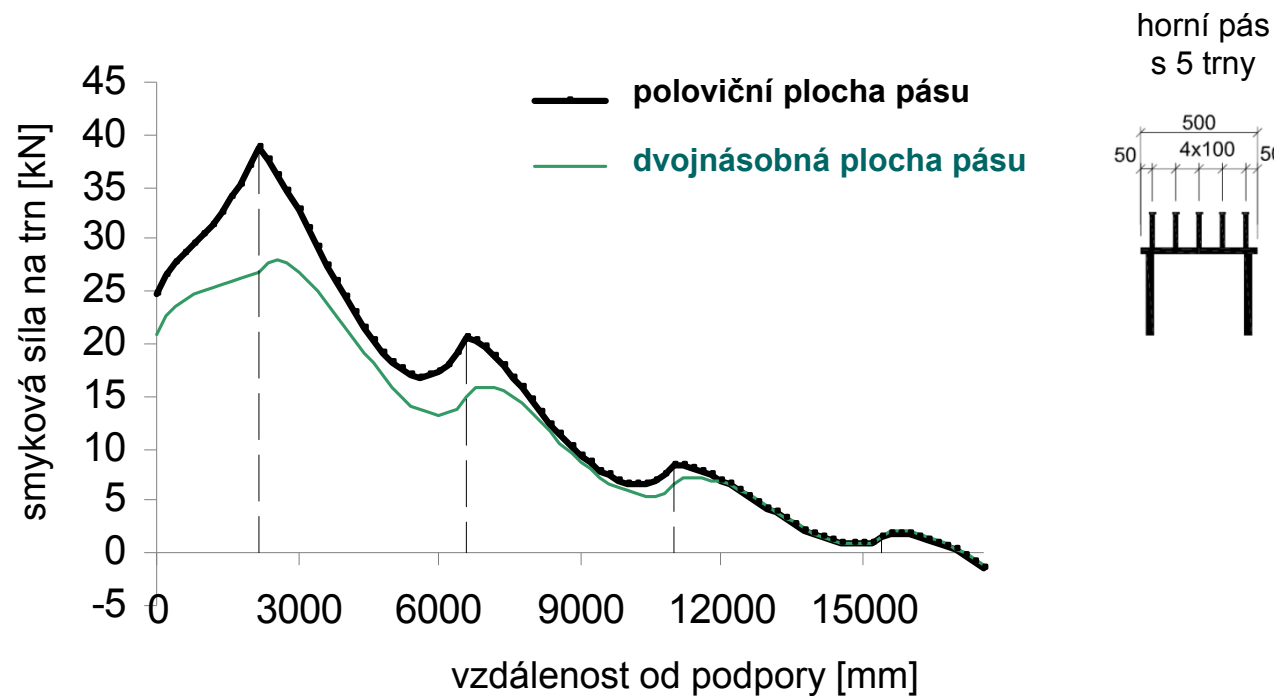
## Vliv tuhosti smykového spojení



→ Čím tužší smykové spojení, tím vyšší špičky smykového toku



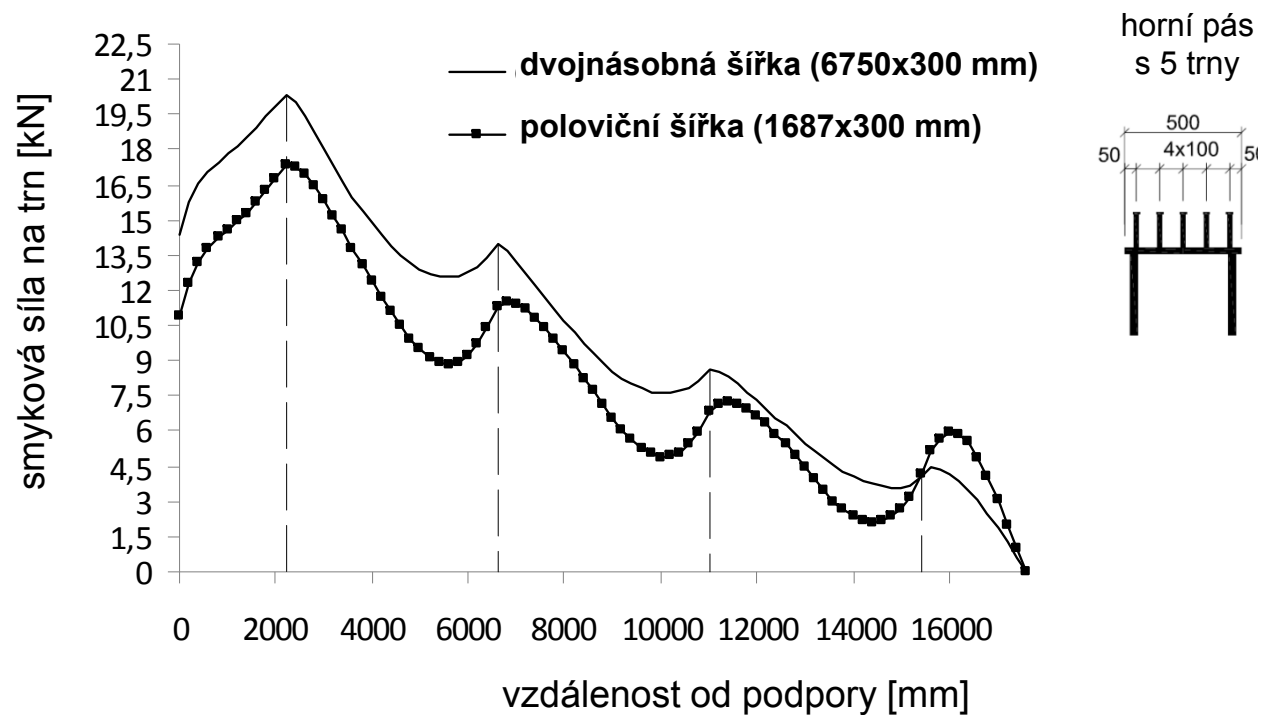
## Vliv velikosti plochy ocelového pásu



→ Čím větší plocha pásu, tím nižší špičky smyku



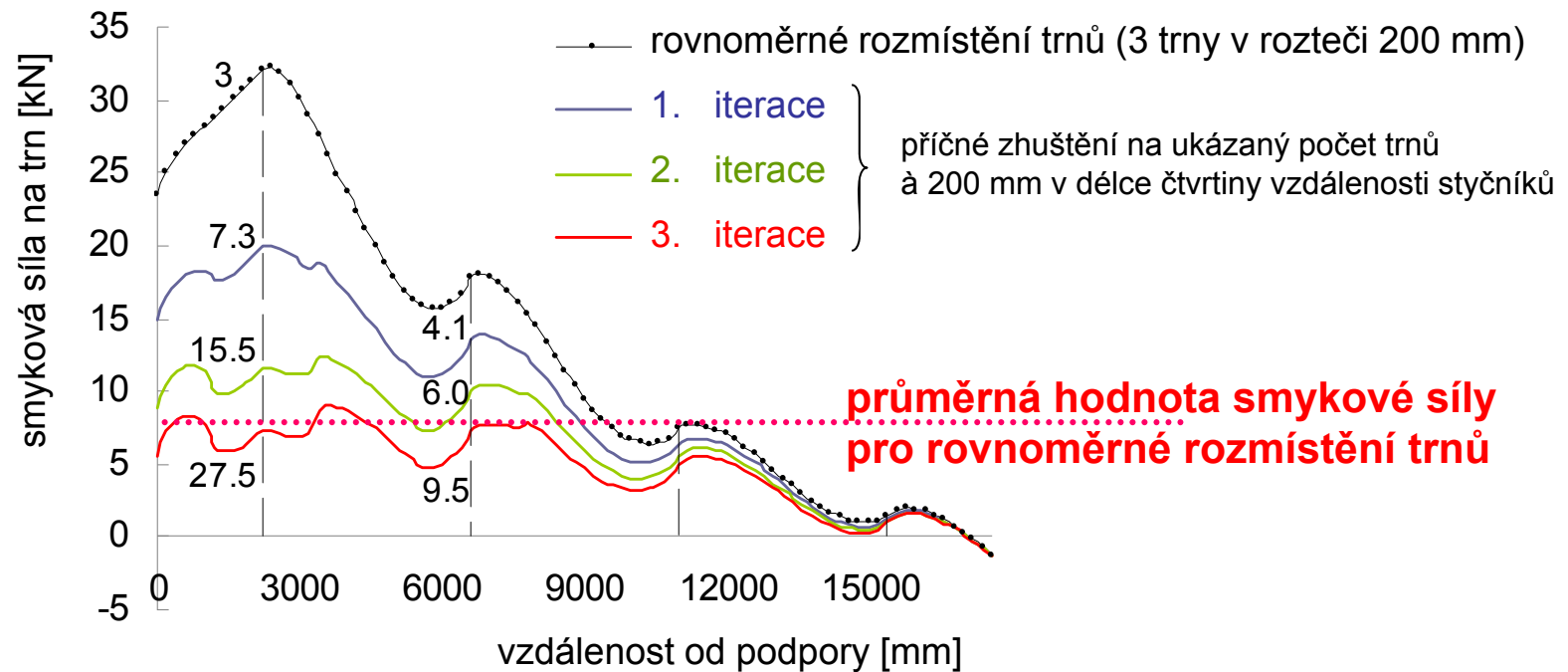
## Vliv velikosti/tvaru plochy ž.b. desky



→ Čím širší/tlustší deska, tím vyšší špičky smyku



## Zhušťování trnů nad styčníky:



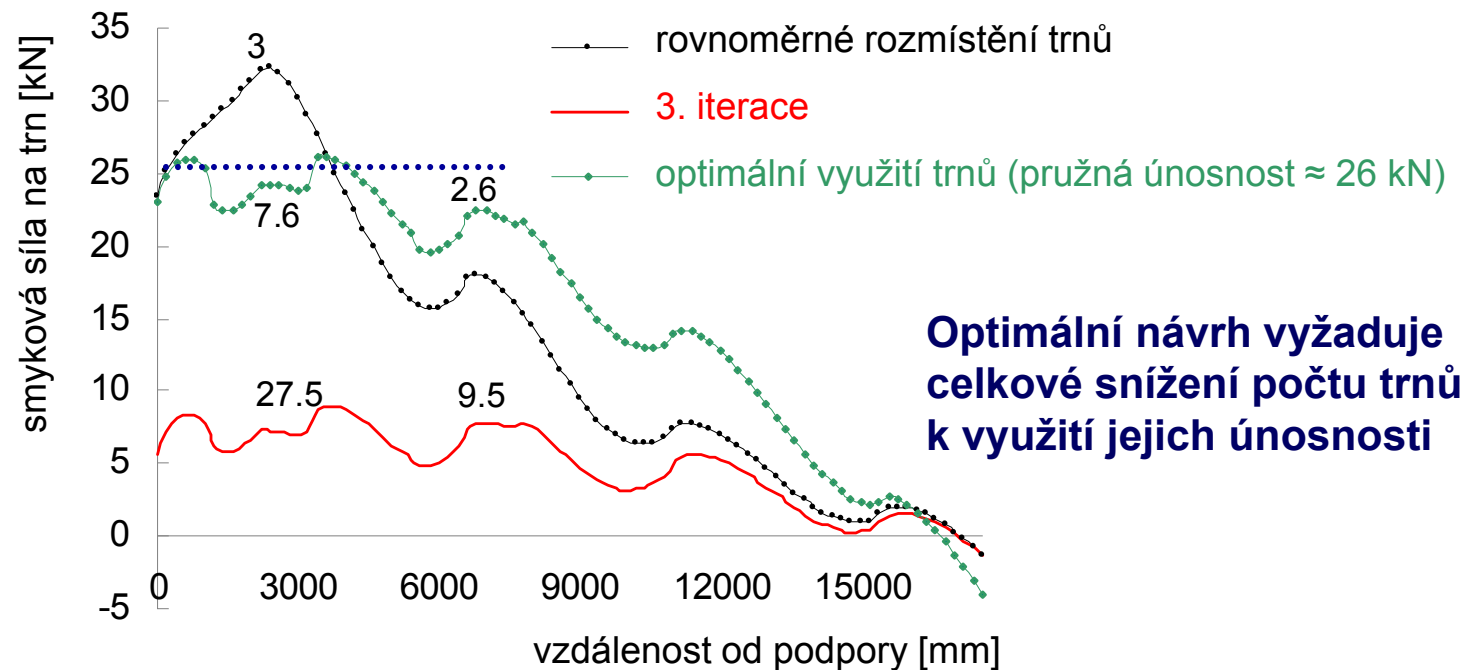
**průměrná hodnota smykové síly pro rovnoměrné rozmístění trnů**



**→ Optimální zhuštění vyžaduje iterační proces**



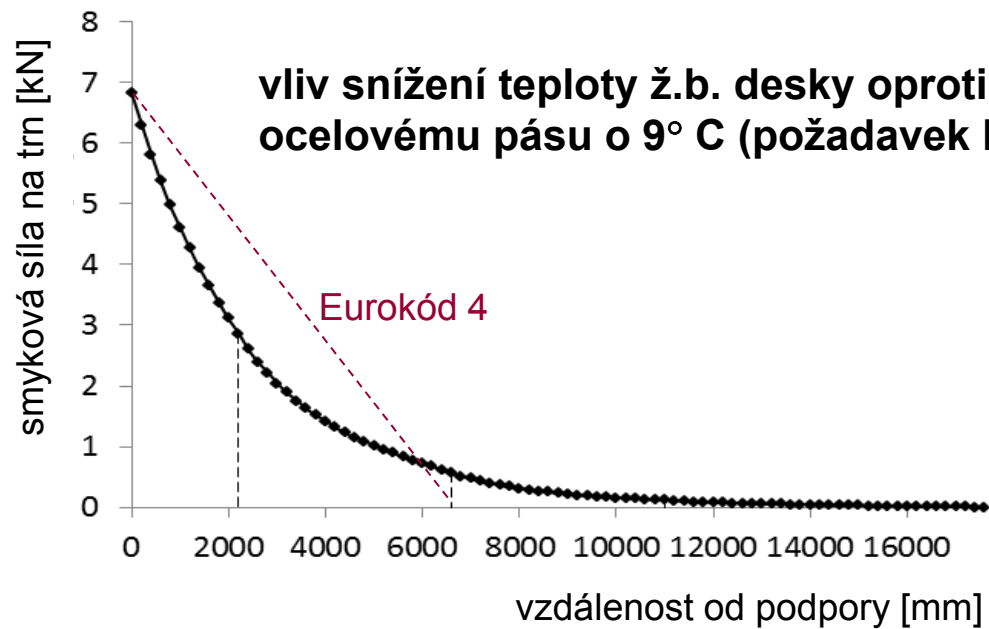
## Optimální návrh smykového spojení



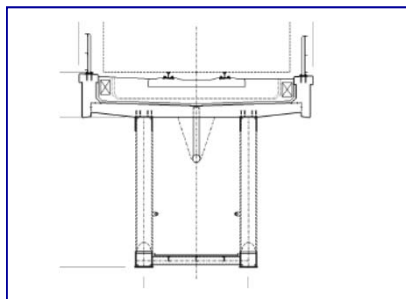
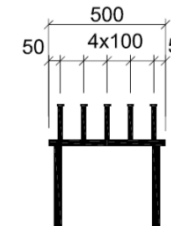
→ Optimální návrh vede k využití únosnosti trnů



## Vliv teploty (popř. smršťování):



horní pás  
s 5 trny

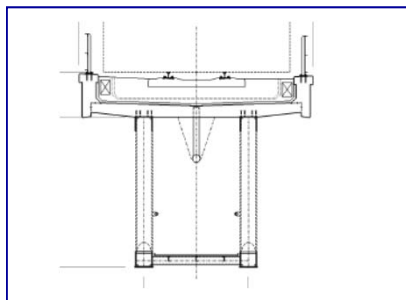
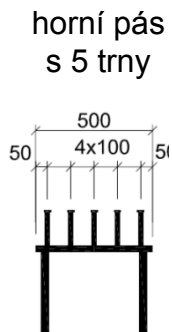
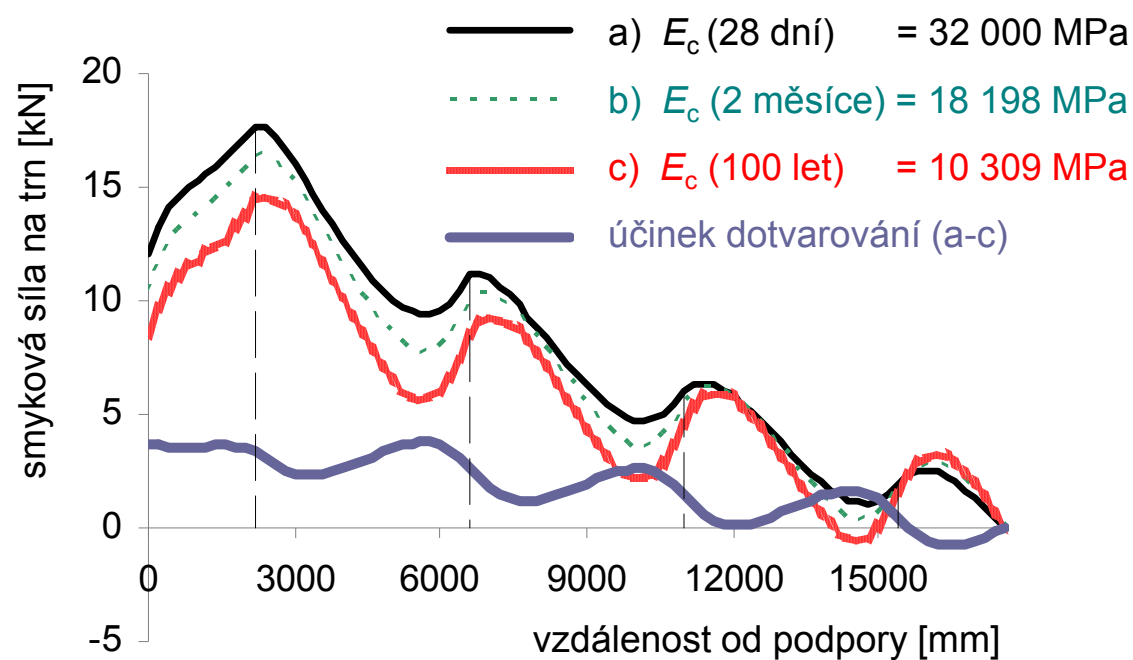


→ Odpovídá velmi dobře předpokladu Eurokódu 4, tj. trojúhelníkovému rozložení od podpory





## Vliv dotvarování:



→ Účinek dotvarování je v místech špiček podélného smyku nižší.

# 4. Závěry a doporučení

---

↪ **V pružné oblasti spřažení** vznikají nad styčníky příhradové konstrukce výrazné špičky podélného smyku.

Obě navržené metody na bázi MKP (3D MNA – ANSYS a 2D LA - rám) umožňují vhodné řešení.

↪ **Špičky smyku** nad styčníky jsou výrazně ovlivněny:

- pracovním diagramem smykového spojení (např. trnů),
- plochou ocelové pásnice a plochou betonové desky,
- úrovní zatížení.

↪ **Eurokód 4** poskytuje dobrý odhad velikosti špiček smyku pouze pro velmi nízkou úroveň zatížení a **velmi konzervativní odhad** pro úroveň zatížení odpovídající dosažení pružné (resp. návrhové) únosnosti smykového spojení.

---

↪ **Zhuštění smykových zarážek (trnů) nad styčníky** zde vyvolává zvýšení podélného smyku vlivem větší smykové tuhosti.

Optimální návrh proto vyžaduje iterační proces. Podle numerických studií se doporučuje zhuštění po každé straně styčníku v délce cca čtvrtiny vzdálenosti mezi styčníky.

Styčnickové plechy a jejich tuhost je nutné zvážit přiměřeně.

↪ **Vliv teploty a smršťování modifikovaného dotvarováním** lze uvažovat obdobně jako u plnostěnných spřažených mostů.

## Poděkování:

Údaje o realizaci některých mostů poskytli pracovníci SUDOP a.s., zejména Ing. J. Laifr (s převzetím snímků od firmy Bögl a Krýsl, k.s.).

děkuji

