



Education and Culture DG

Lifelong Learning Programme
LEONARDO DA VINCI



Jednoduchá metoda pro návrh ocelobetonového stropu

Jan BEDNÁŘ

František WALD, Tomáš JÁNA, Olivier VASSART, Bin ZHAO



Software pro požární návrh konstrukcí

9. února 2011



Návrh
za běžné teploty

Návrh
za zvýšené teploty

Obvodové nosníky

Shrnutí

- Chování ocelobetonového stropu za požáru
- Jednoduchá metoda pro návrh betonových desek při běžné teplotě
 - Model stropní desky
 - Druhy porušení
- Jednoduchá metoda pro návrh betonových desek za zvýšené teplotě
 - Únosnost betonové desky teorií plastických linií
 - Zvětšení únosnosti membránovým působením
 - Zahrnutí zbytkové únosnosti ocelových nosníků
- Požárně chráněné obvodové nosníky



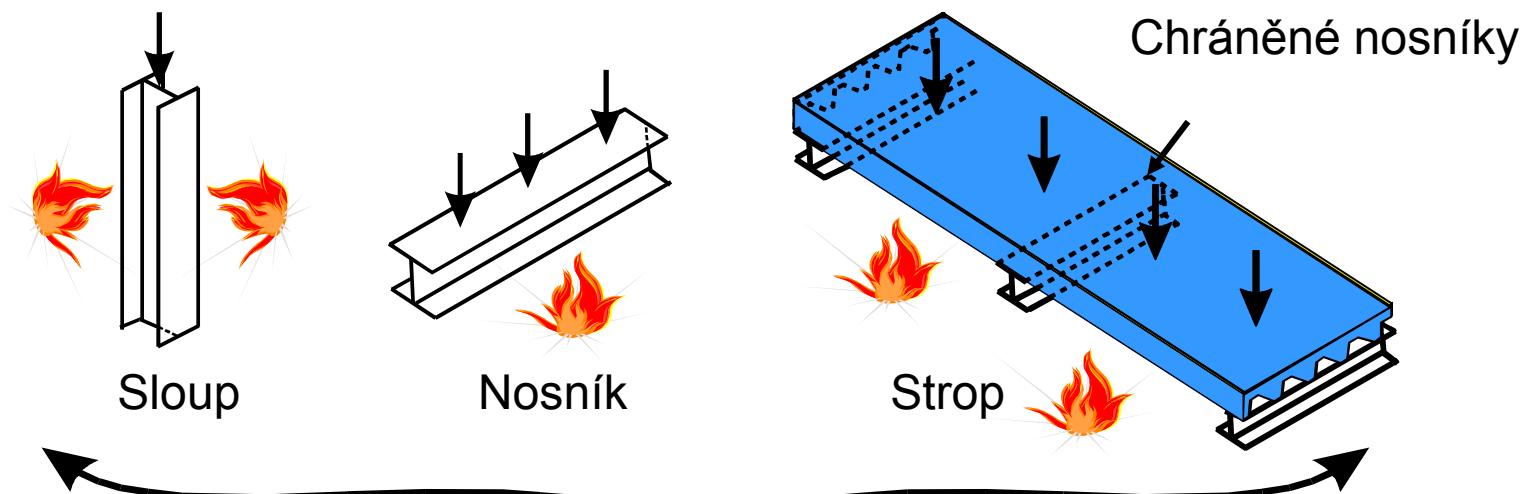
Návrh
za běžné teploty

Návrh po prvcích

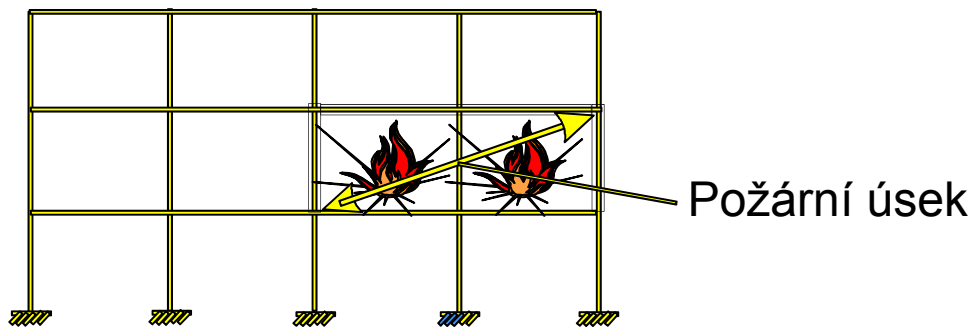
Návrh
za zvýšené teploty

Obvodové nosníky

Shrnutí



Předpokládají se samostatně působící prvky



Chování
ocelobetonového
stropu



Chování ocelobetonového stropu



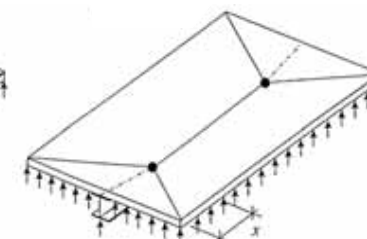
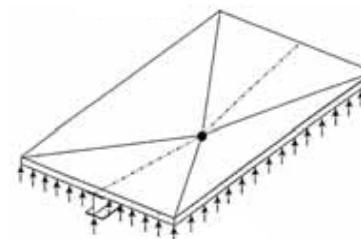
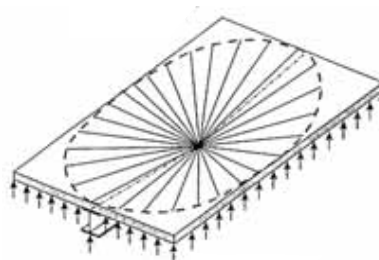
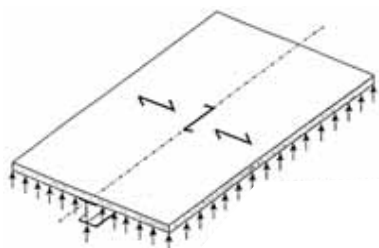
Návrh
za běžné teploty

Návrh
za zvýšené teploty

Obvodové nosníky

Shrnutí

Nárůst teploty za požáru



Prostý ohyb



Membránové
působení

Chování
ocelobetonového
stropu



Návrh za běžné teploty



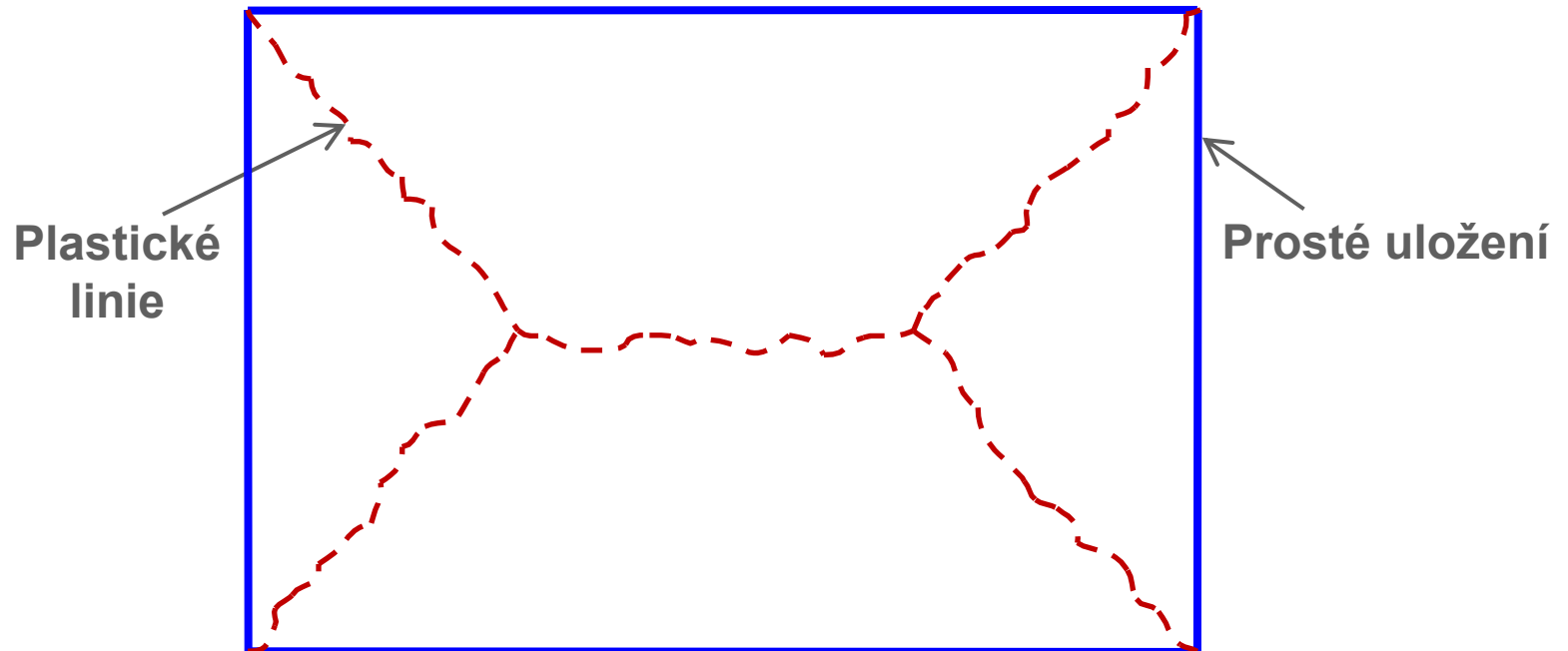
Návrh
za běžné teploty

- **Model stropní desky
svise uložené po čtyřech stranách**

Návrh
za zvýšené teploty

Obvodové nosníky

Shrnutí



Chování
ocelobetonového
stropu



Model stropní desky



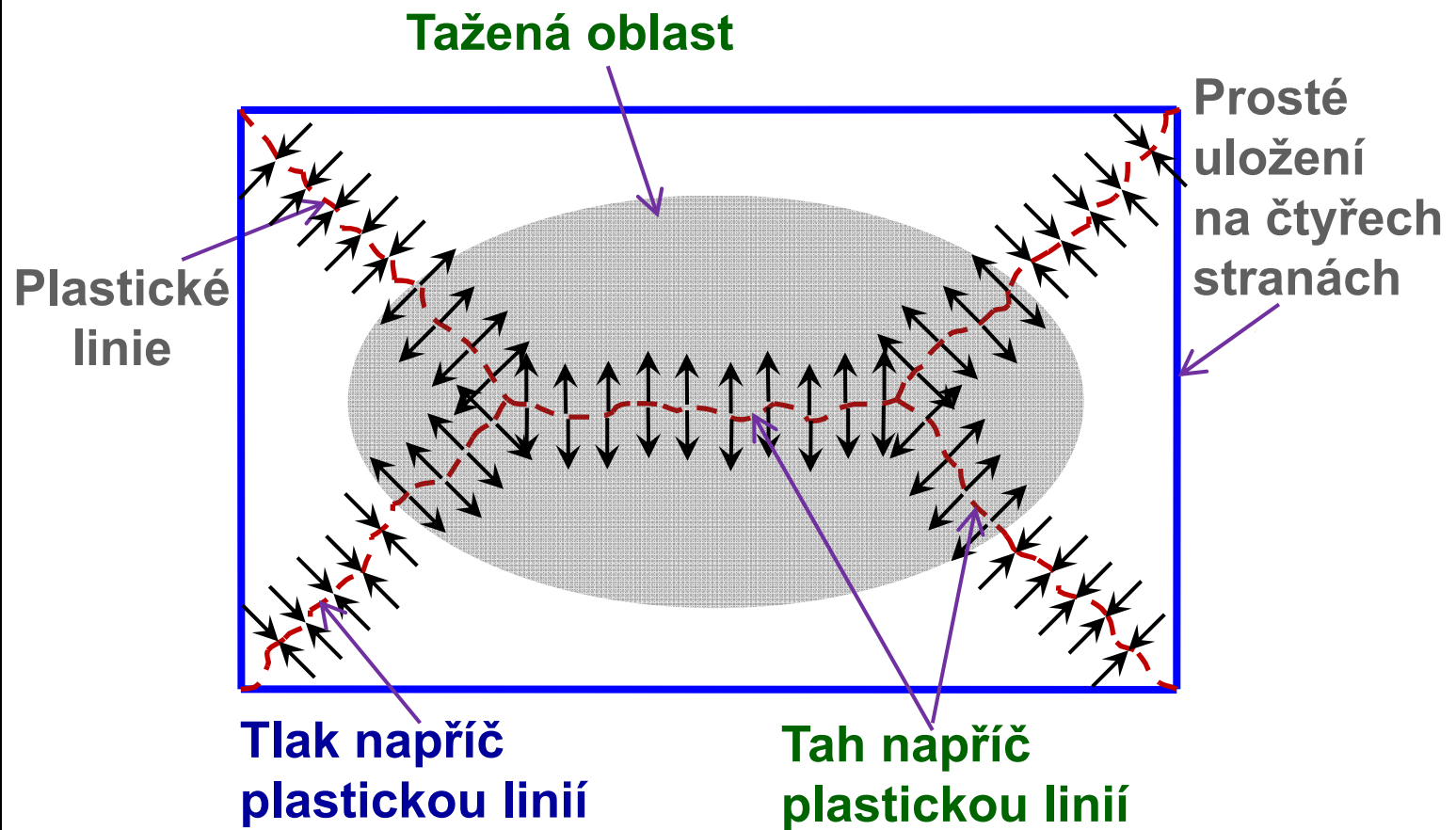
Návrh
za běžné teploty

- Únosnosti stanovená metodou plastických linií se zvýší
vlivem membránového působení

Návrh
za zvýšené teploty

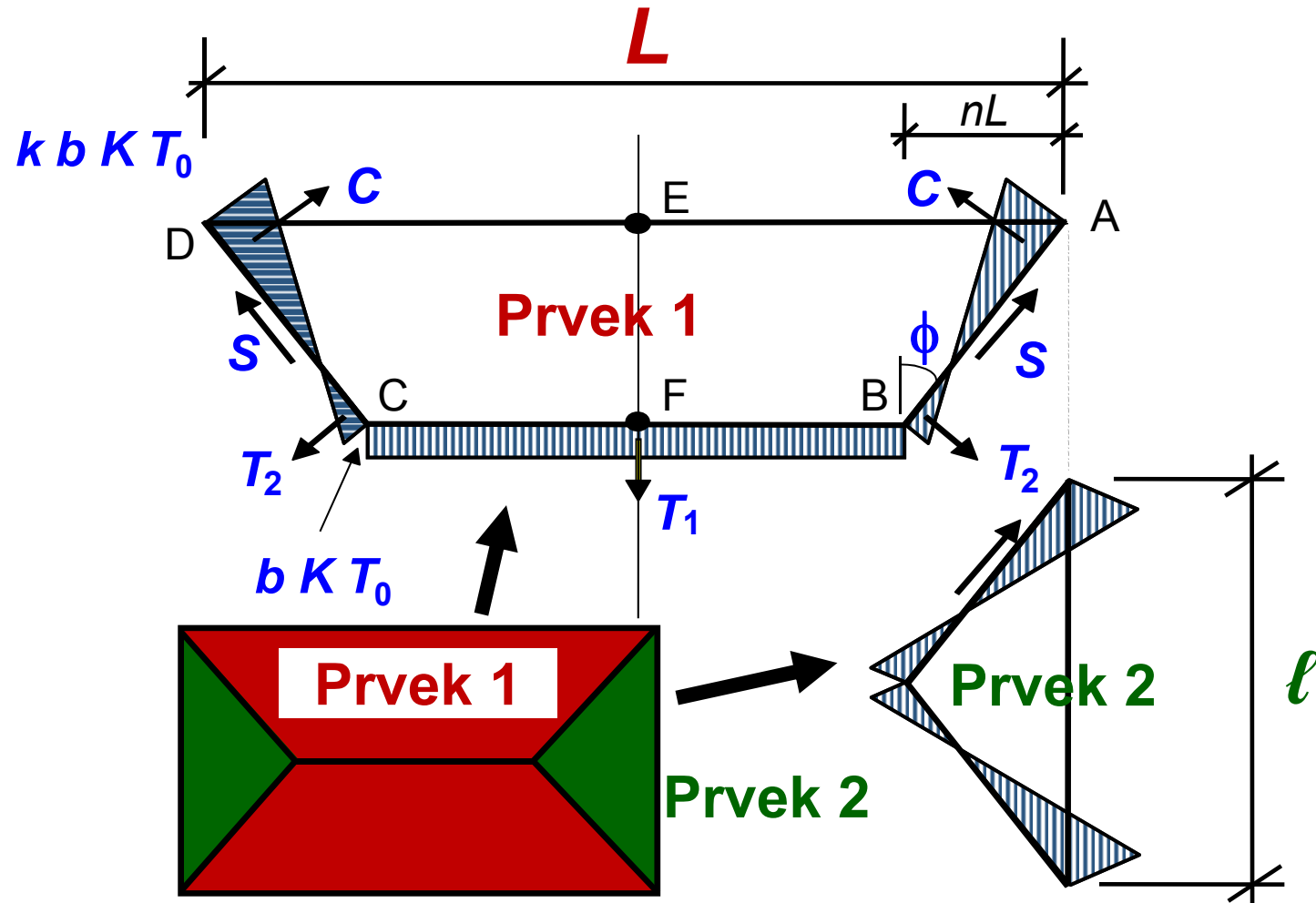
Obvodové nosníky

Shrnutí





- Metoda virtuálních prací



Chování
ocelobetonového
stropu

Návrh
za běžné teploty

Návrh
za zvýšené teploty

Obvodové nosníky

Shrnutí



Membránové síly podél plastických linií



- **Membránové síly podél plastických linií se zavádějí pomocí součinitelů**

k , b parametry velikosti membránových sil

n součinitelem z teorie plastických linií

$$n = \frac{1}{2a} \left(\sqrt{\frac{1}{a^2} + 3} - \frac{1}{a} \right)$$

Chování
ocelobetonového
stropu



Příspěvek membránového působení



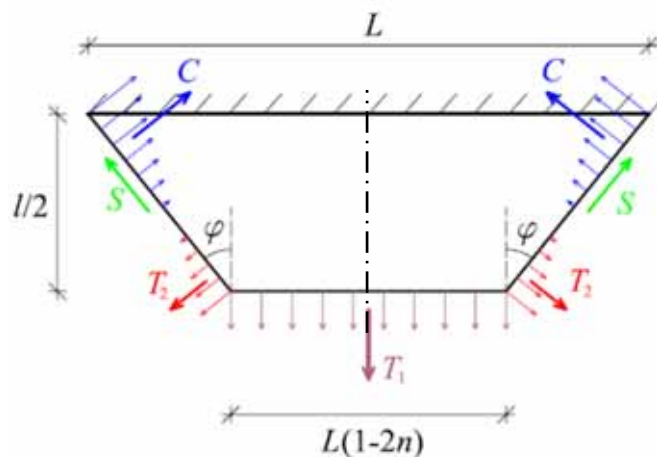
Návrh
za běžné teploty

- Prvek 1

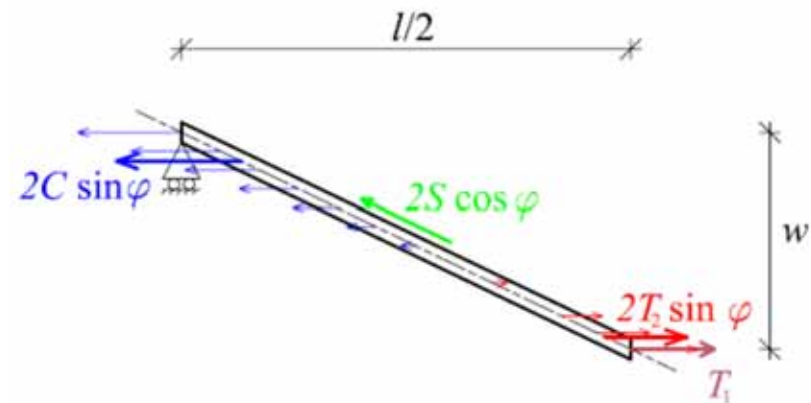
Návrh
za zvýšené teploty

Obvodové nosníky

Shrnutí



Pohled na výsledné
membránové síly v rovině



Pohled z boku na výsledné
membránové síly při průhybu w

Chování
ocelobetonového
stropu



Příspěvek membránového působení



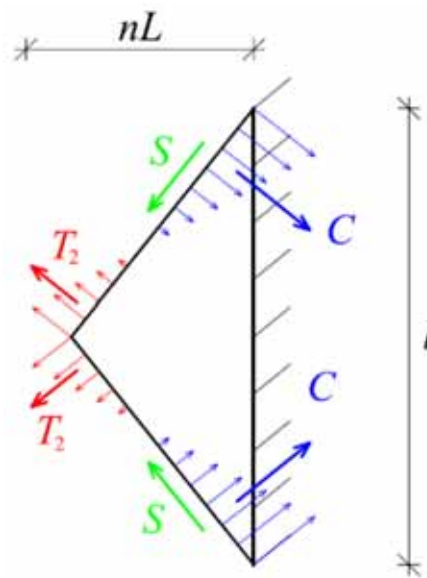
Návrh
za běžné teploty

- Prvek 2

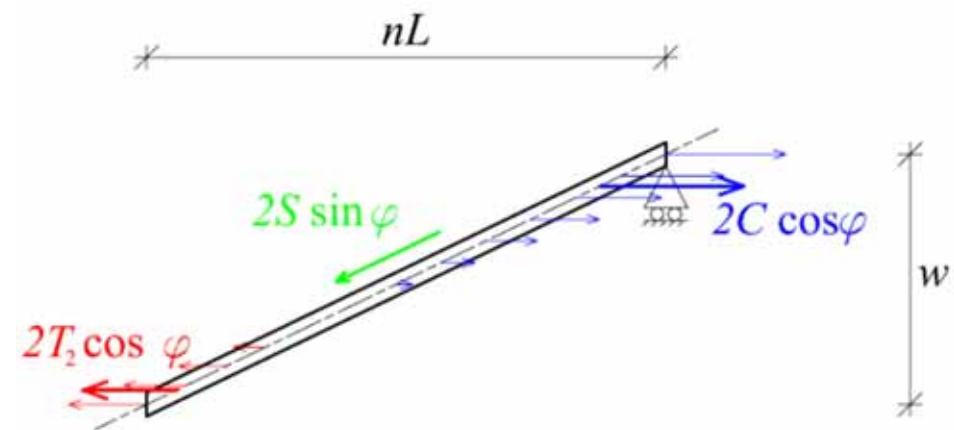
Návrh
za zvýšené teploty

Obvodové nosníky

Shrnutí



Pohled na výsledné
membránové síly v rovině



Pohled z boku na výsledné
membránové síly při průhybu w



- **Zvětšující součinitel pro všechny prvky**

$$e_{i, i=1,2} = \begin{cases} e_{im} : \text{momentová únosnost prvku } i \text{ okolo podpory} \\ + \\ e_{ib} : \text{momentová únosnost plastických linií prvku } i \end{cases}$$

$$e = e_1 - \frac{e_1 - e_2}{1 + 2\mu a^2}$$

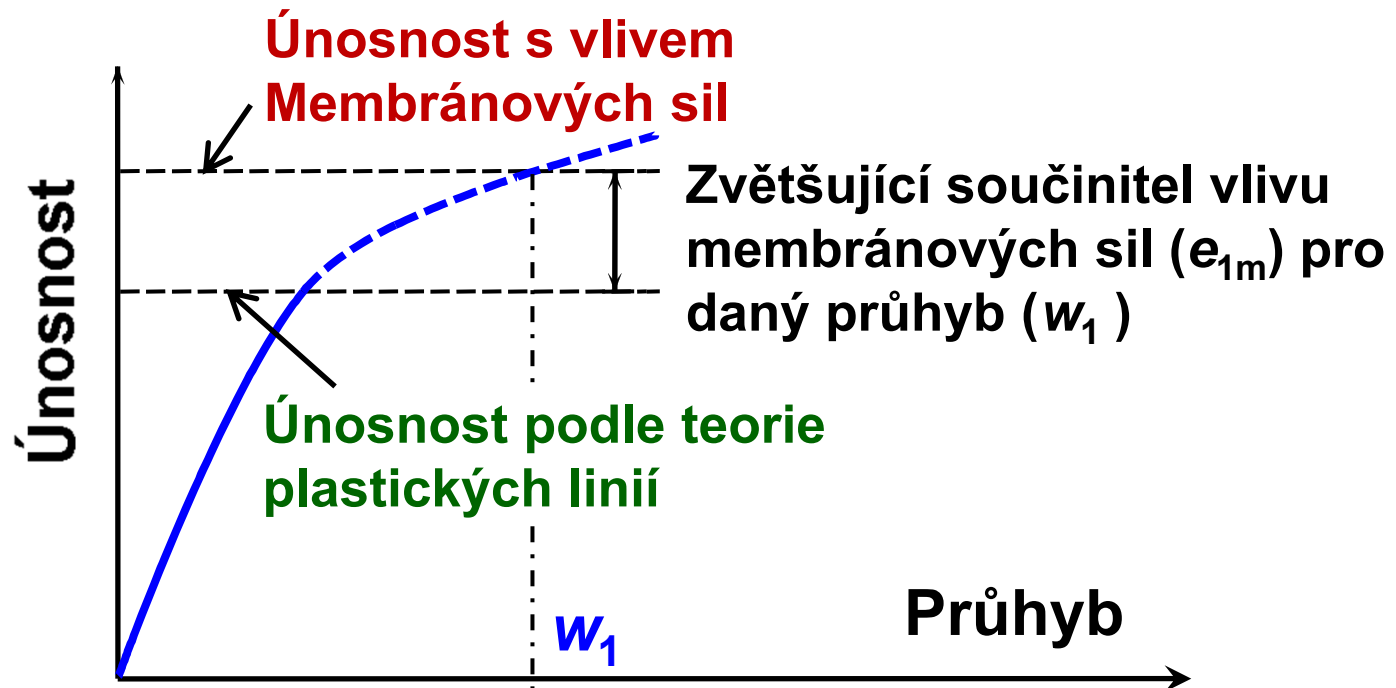
kde

μ je koeficient pravoúhlosti výztuže

a je vliv poměru desky = L/l

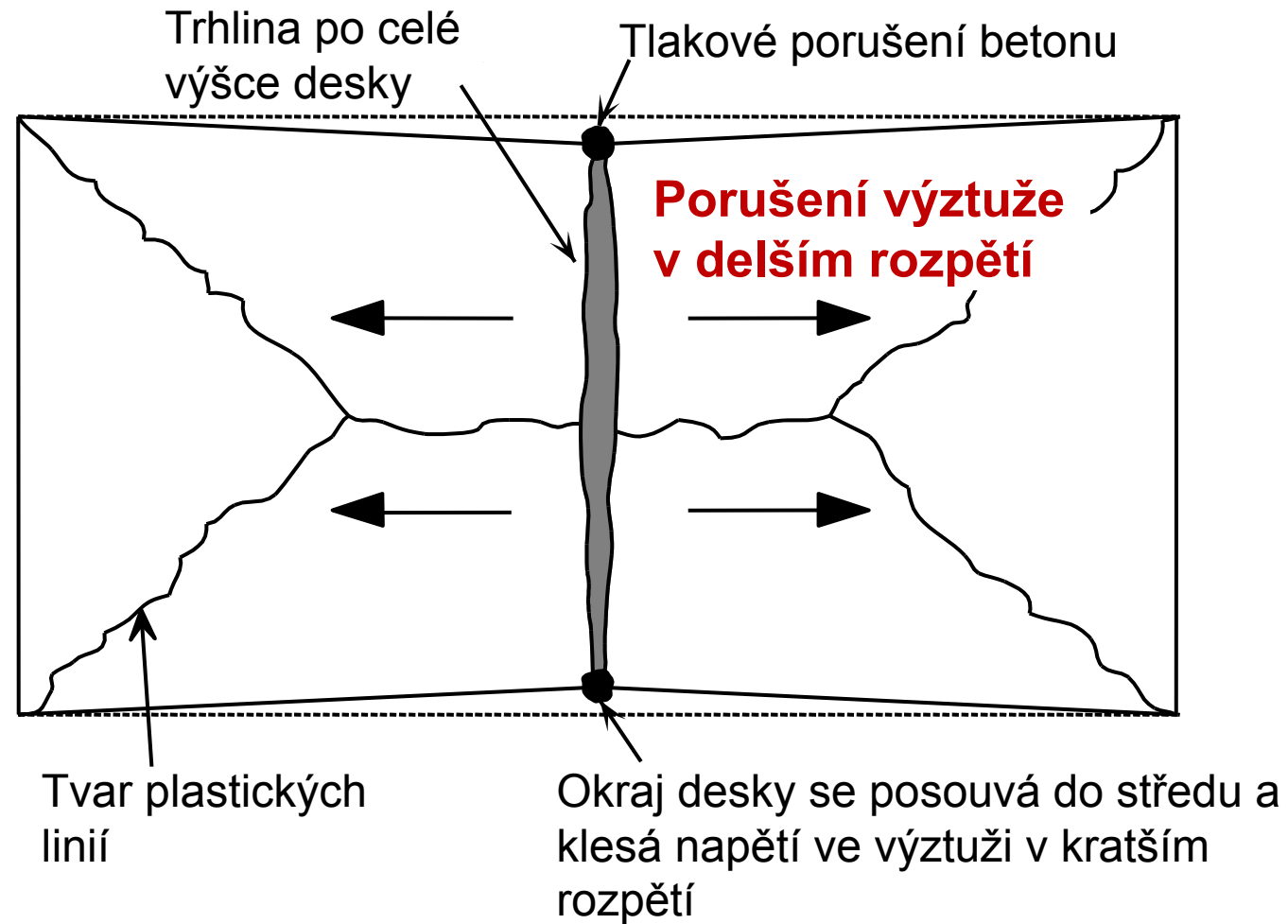


- Závislost únosnosti desky na průhybu





- **Tahové porušení výztuže**



Chování
ocelobetonového
stropu



Druhy porušení



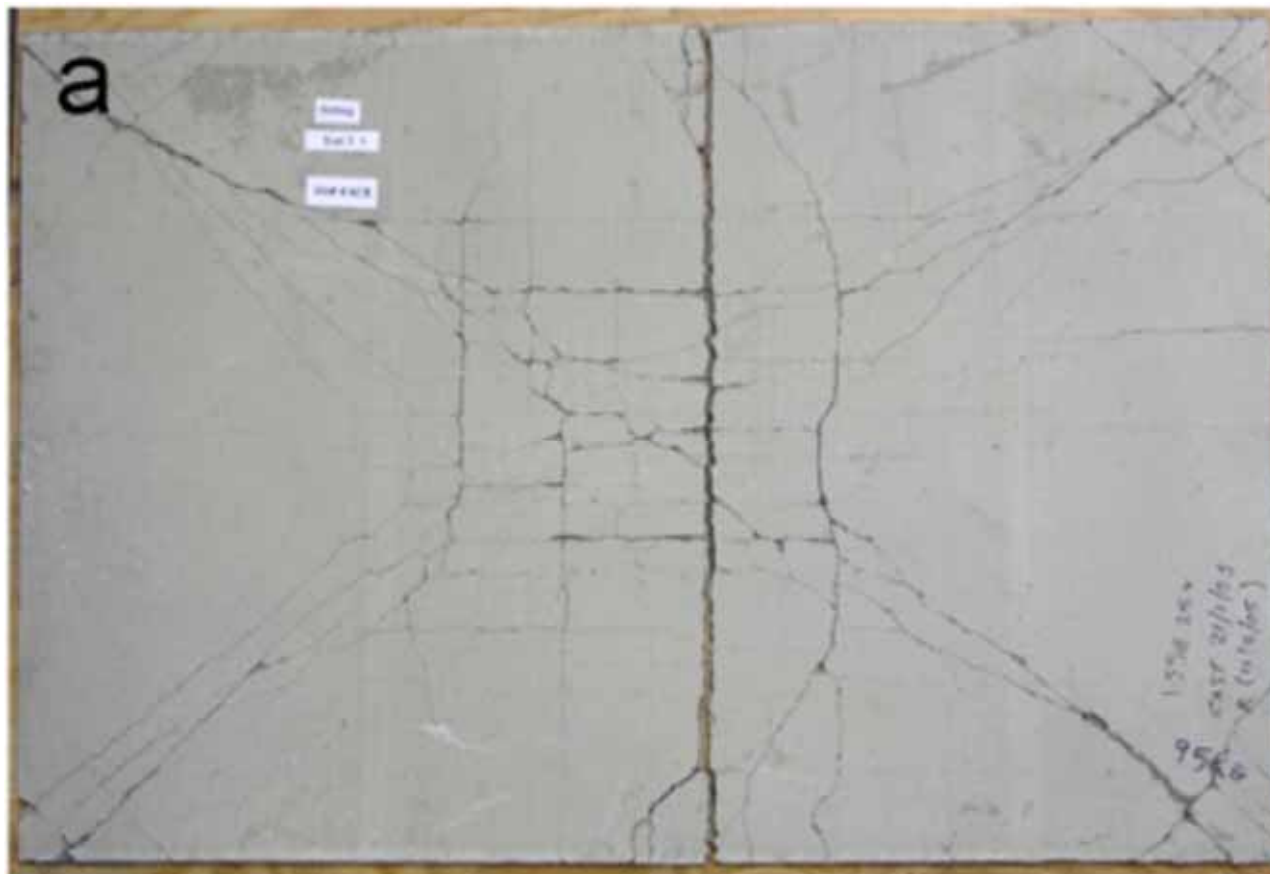
Návrh
za běžné teploty

Návrh
za zvýšené teploty

Obvodové nosníky

Shrnutí

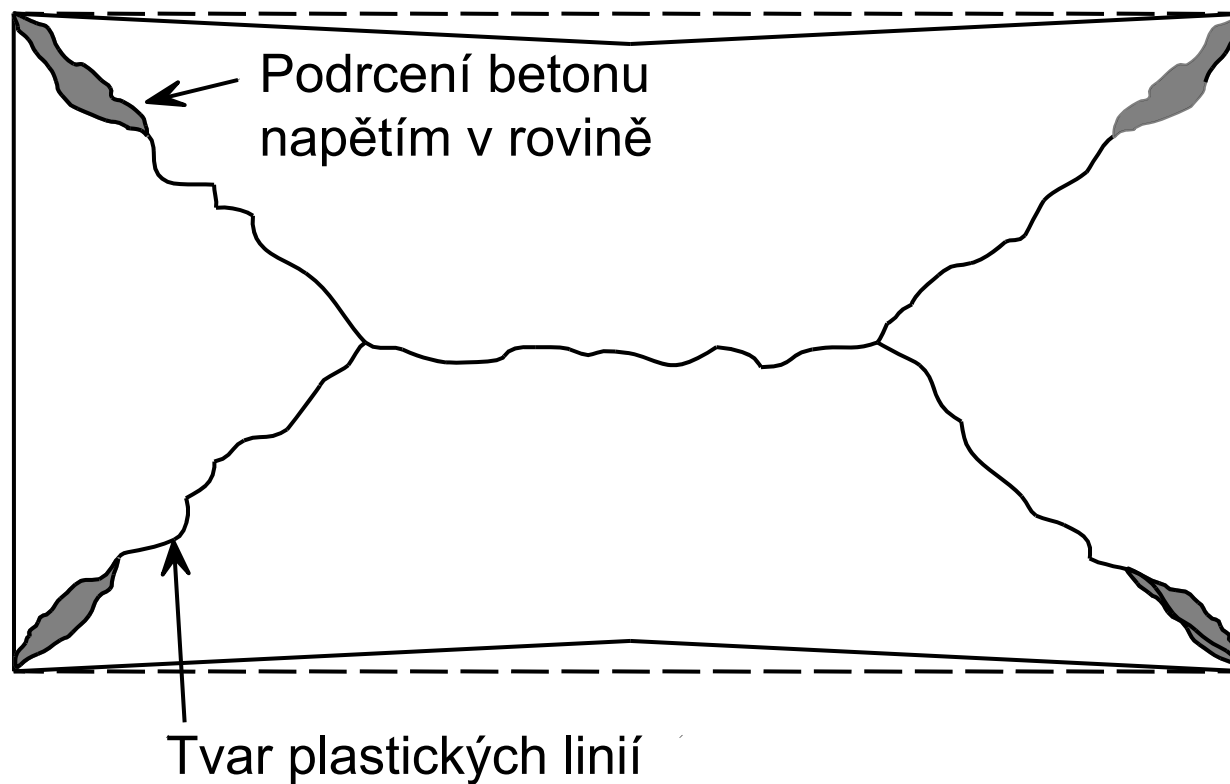
- Experimenty na malých deskách



Tahové porušení výztuže



- **Tlakové porušení betonu**
 - pro desky silně vyztužené



Chování
ocelobetonového
stropu



Druhy porušení



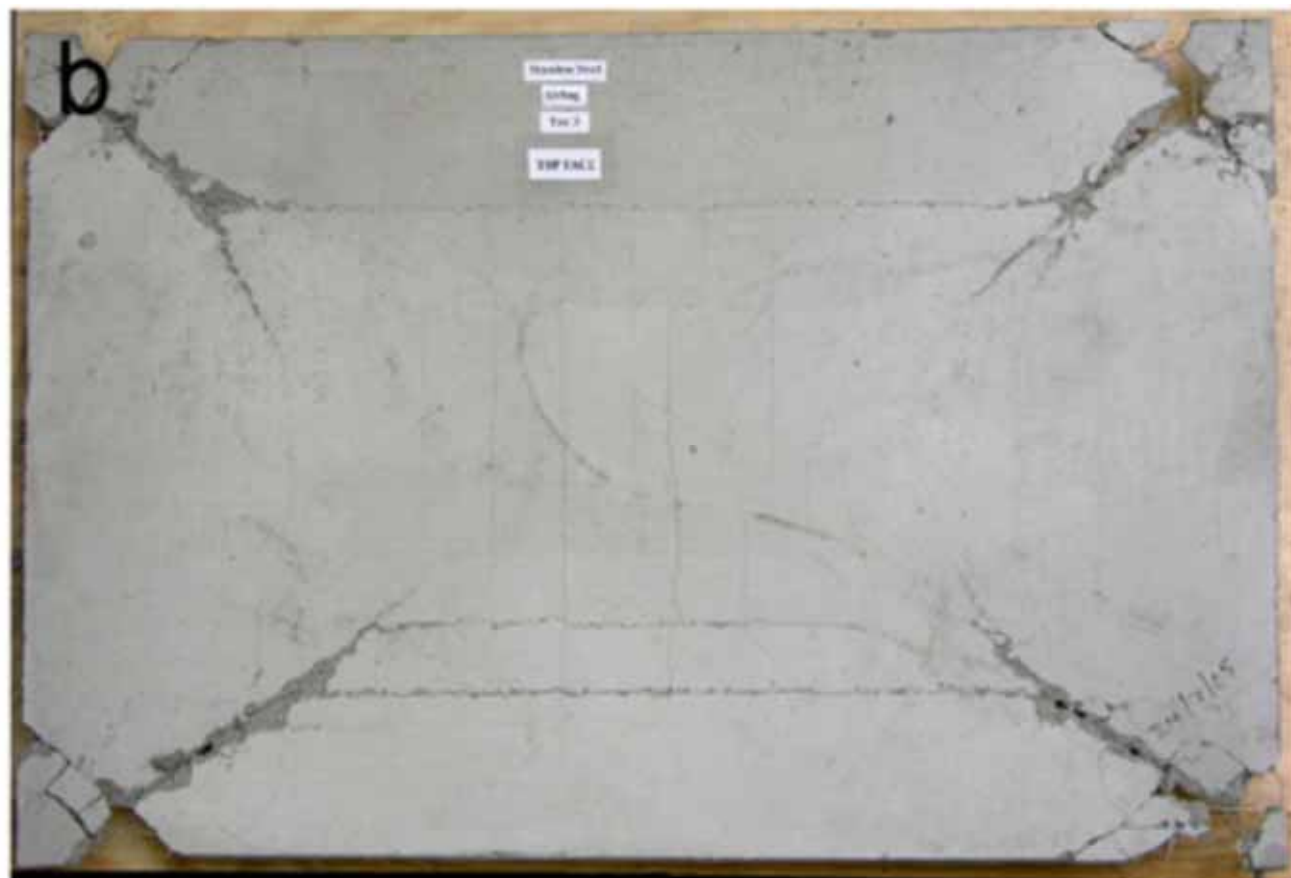
Návrh
za běžné teploty

- Z experimentu na malých deskách

Návrh
za zvýšené teploty

Obvodové nosníky

Shrnutí



Tlakové porušení betonu

Chování
ocelobetonového
stropu

Návrh
za běžné teploty

Návrh
za zvýšené teploty

Obvodové nosníky

Shrnutí



Model stropní desky za zvýšené teploty



Průhyb vlivem teplotního gradientu po výšce

– z modelu za pokojové teploty

$$w_{\theta} = \frac{\alpha (T_2 - T_1) \ell^2}{19,2 h}$$

kde:

h je účinná výška desky

ℓ je kratší rozpětí desky

α součinitel teplotní roztažnost betonu

T_2 teplota spodního povrchu desky (strana vystavená požáru)

T_1 teplota horního povrchu desky (neexponovaná strana)

Chování
ocelobetonového
stropu



Model stropní desky za zvýšené teploty



Návrh
za běžné teploty

**Návrh
za zvýšené teploty**

Obvodové nosníky

Shrnutí

Stanovení průhybu od mechanického zatížení

- Předpokládá se, že průměrné napětí ve výztuži odpovídá polovině meze kluzu za pokojové teploty
- Průhyb desky je založen na parabolickém tvaru deformované desky od příčného zatížení:

$$w_{\varepsilon} = \sqrt{\left(\frac{0,5 f_{sy}}{E_s}\right) \frac{3L^2}{8}} \leq \frac{\ell}{30}$$

kde:

E_s je modul pružnosti výztuže při 20°C

f_{sy} mez kluzu výztuže při 20°C

L delší rozpětí desky

Chování
ocelobetonového
stropu



Model stropní desky za zvýšené teploty



Návrh
za běžné teploty

**Návrh
za zvýšené teploty**

Obvodové nosníky

Shrnutí

- Největší přípustný průhyb stropní desky

$$w = \frac{\alpha(T_2 - T_1)\ell^2}{19,2 h} + \sqrt{\left(\frac{0,5 f_{sy}}{E_s}\right) \frac{3L^2}{8}}$$

- průhyb stropní desky se dále omezuje, aby se neporušila celistvost desky u podpor

$$w \leq \frac{L + \ell}{30}$$

Chování
ocelobetonového
stropu

Návrh
za běžné teploty

Návrh
za zvýšené teploty

Obvodové nosníky

Shrnutí



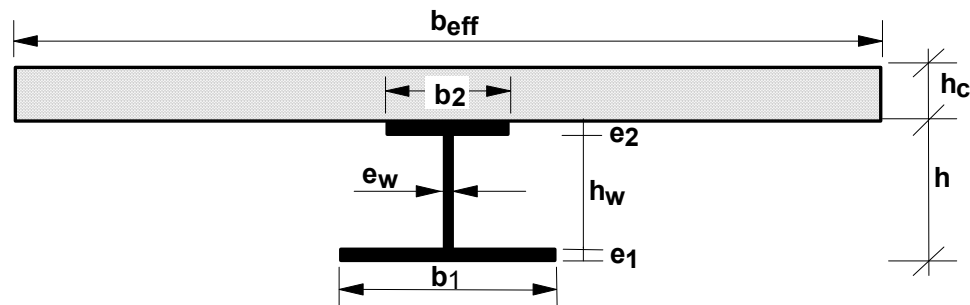
Jednoduchá metoda návrhu ocelobetonové desky za zvýšených teplot



- **Rezervy v návrhu stropní desky**
 - **Svislé průhyby od tepelného gradientu** v desce jsou podhodnoceny
 - **Svislé průhyby od tepelného gradientu** se počítají z kratšího rozpětí desky
 - **Svislé průhyby od zabráněné tepelné roztažnosti desky** nejsou uvažovány
 - **Příspěvky ocelového plechu** nejsou uvažovány
 - **Nárůst tažnosti výztužné sítě její zvýšenou teplotou** není uvažovány



- **Neuvažuje se s vláknovým působením**
- **Ohybová momentová únosnost**
 - Nosník prostě podepřený na obou koncích
 - Ohřívání průřezu podle čl. 4.3.4.2 ČSN EN1994-1-2

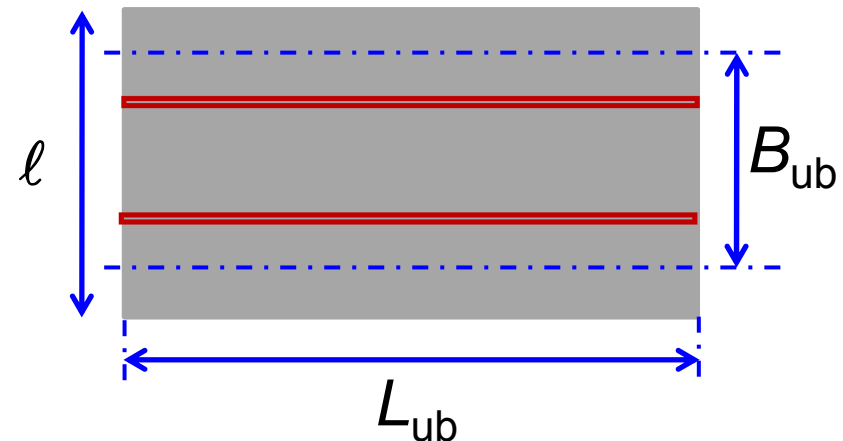


- Tepelné a mechanické vlastnosti pro ocel a beton podle ČSN EN 1994-1-2



- **Zvětšení únosnosti**

$$\frac{8M_{Rd,fi}}{L_{ub}^2} \frac{n_{ub}}{B_{ub}} = \frac{8M_{Rd,fi}}{L^2} \frac{1+n_{ub}}{\ell}$$



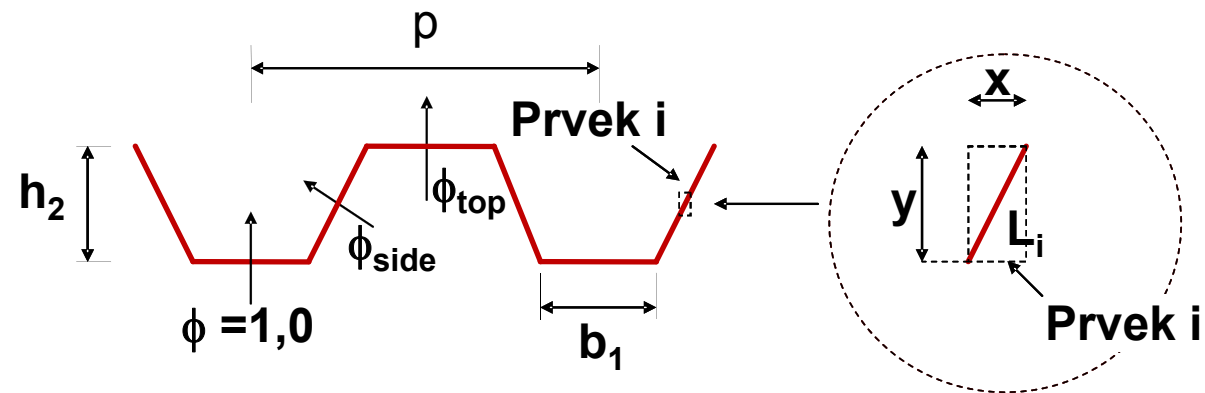
kde

n_{ub} je počet nechráněných nosníků

$M_{Rd,fi}$ momentová únosnost nechráněných kompozitních nosníků



- Na základě pokročilých výpočetních modelů
 - Metoda přírůstků ve 2D
 - Materiálové vlastnosti podle ČSN EN 1994-1-2
 - Uvažuje se s vlivem zastínění



Chování
ocelobetonového
stropu



Požárně chráněné obvodové nosníky



Návrh
za běžné teploty

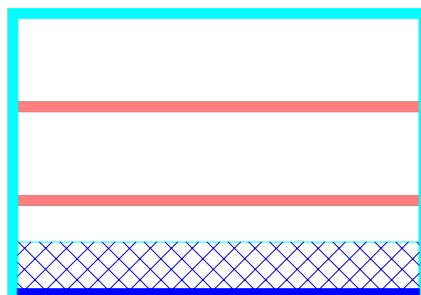
Koncept zatěžování obvodových nosníků

Návrh
za zvýšené teploty

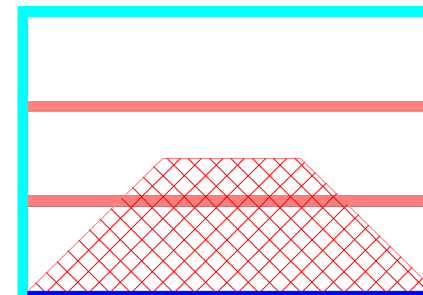
- **Pro stropnici**

Obvodové nosníky

Shrnutí



Za běžné teploty



Za zvýšené teploty

Chování
ocelobetonového
stropu

Návrh
za běžné teploty

Návrh
za zvýšené teploty

Obvodové nosníky

Shrnutí

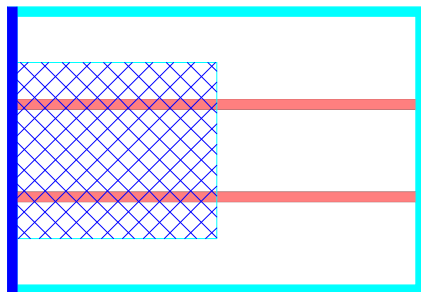


Požárně chráněné obvodové nosníky

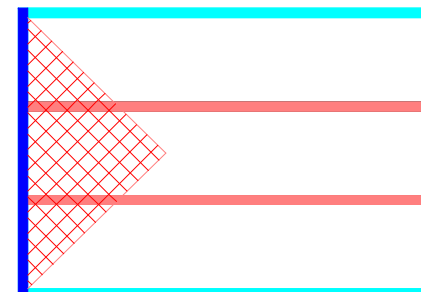


Koncept zatěžování obvodových nosníků

- **Pro průvlak**



Za běžné teploty



Za zvýšené teploty

Chování
ocelobetonového
stropu



Požárně chráněné obvodové nosníky



Návrh
za běžné teploty

Návrh
za zvýšené teploty

Obvodové nosníky

Shrnutí

- **Plastický návrh**
- **Stanoví se redukční součinitel zatížení $\eta_{fi,t}$**
 - Dodatečné zatížení stropnic
- **Použije se metoda kritické teploty**
 - Podle požadované požární odolnosti
 - Nejméně se požaduje R30
- Ocelobetonové nosníky podle ČSN EN 1994-1-2:2005
- Ocelové nosníky podle ČSN EN 1993-1-2:2005

$$0,9 \eta_{fi,t} = \frac{f_{ay,\theta cr}}{f_{ay}} = \frac{M_{Rd,fi,b,i}}{M_{Rd,b,i}} \Big|_{i=1,2}$$

$$\eta_{fi,t} = \frac{f_{ay,\theta cr}}{f_{ay}} = \frac{M_{Rd,fi,b,i}}{M_{Rd,b,i}} \Big|_{i=1,2}$$

Chování
ocelobetonového
stropu

Návrh
za běžné teploty

Návrh
za zvýšené teploty

Obvodové nosníky

Shrnutí



Požárně chráněné obvodové nosníky

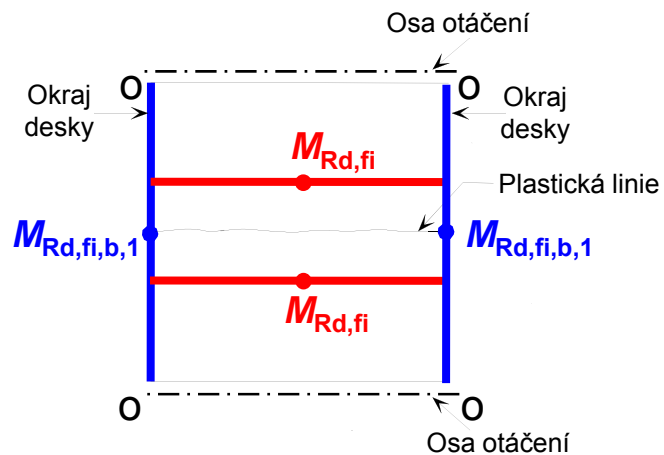


- Průvlaky a stropnice jsou navrženy odděleně
- Dva případy
 - 2 okrajové nosníky
 - alespoň jeden vnitřní nosník
- Je použit princip virtuálních prací

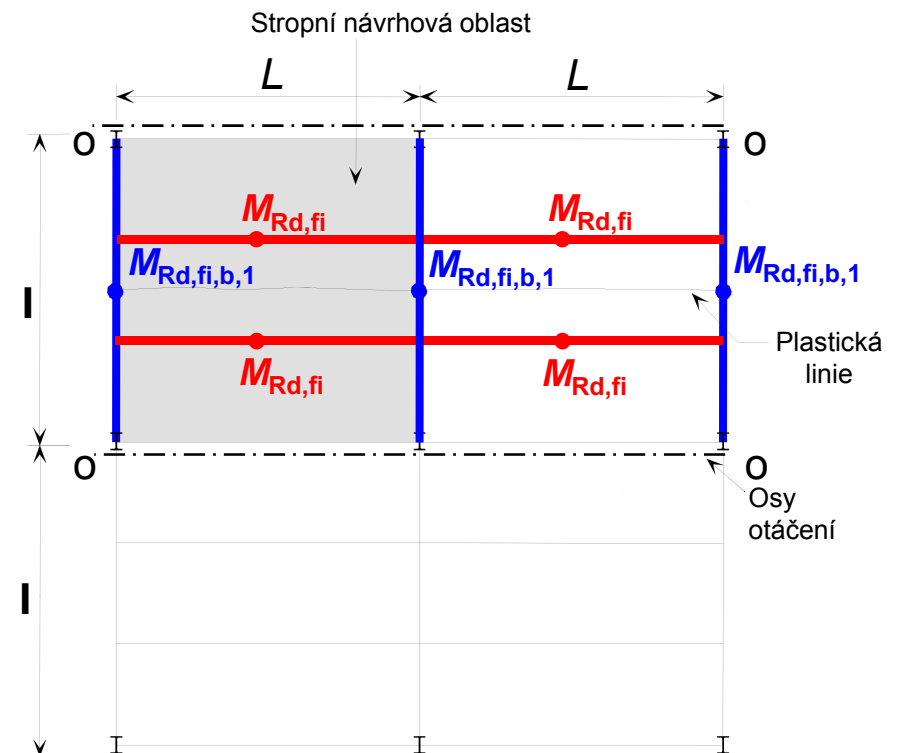


- Dva příklady

2 okrajové nosníky



Alespoň 1 vnitřní nosník



Chování
ocelobetonového
stropu

Návrh
za běžné teploty

Návrh
za zvýšené teploty

Obvodové nosníky

Shrnutí



Požárně chráněné obvodové nosníky



- **Únosnost průvzlaku**
 - 2 okrajové nosníky

$$M_{Rd,fi,b,1} = \frac{pL^2 \ell - 8\mu M_0 L_{eff}}{16}$$

- Alespoň jeden vnitřní nosník

$$M_{Rd,fi,b,1} = \frac{pL^2 \ell - 8\mu M_0 L_{eff}}{12}$$

kde:

p je maximální působící zatížení a únosnost stropu



- **Únosnost průvlaků**

L_{eff} je efektivní délka plastických linií

- Dva okrajové ocelové nosníky

$$L_{eff} = L$$

- Jeden ocelobetonový nosník

$$L_{eff} = L - \min\left(\frac{L}{2}; \frac{\ell}{8}\right)$$

- Dva ocelobetonové nosníky

$$L_{eff} = L - 2 \times \min\left(\frac{L}{2}; \frac{\ell}{8}\right)$$

Chování
ocelobetonového
stropu



Požárně chráněné obvodové nosníky

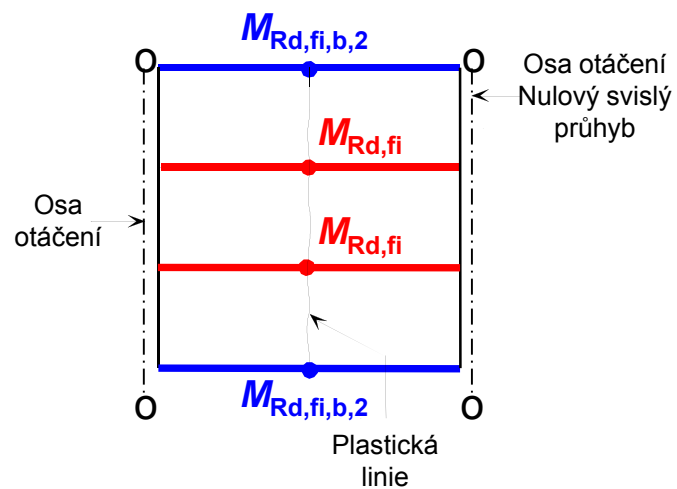


Návrh
za běžné teploty

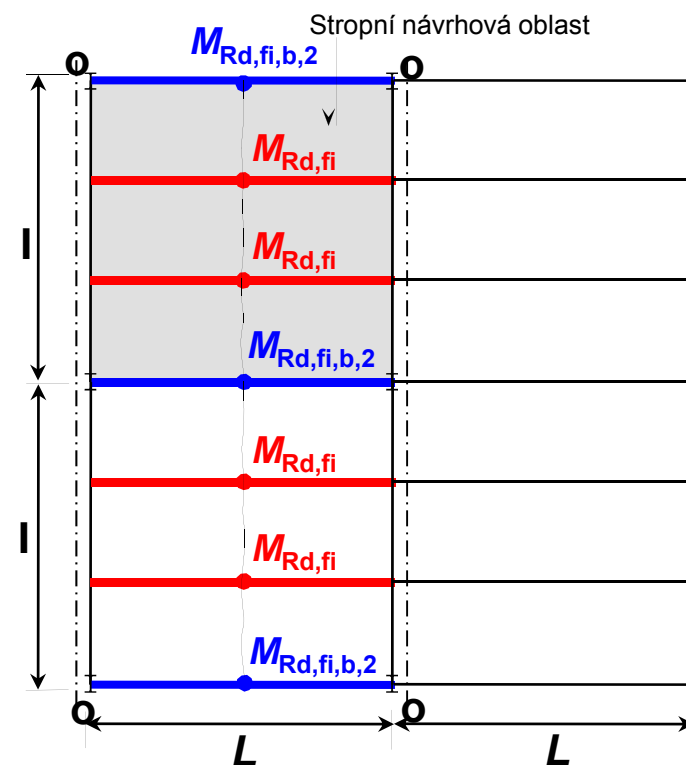
Případy chráněných stropnic

Návrh
za zvýšené teploty

Dva krajní nosníky



Alespoň jeden vnitřní nosník



Obvodové nosníky

Shrnutí

Chování
ocelobetonového
stropu

Návrh
za běžné teploty

Návrh
za zvýšené teploty

Obvodové nosníky

Shrnutí



Požárně chráněné obvodové nosníky



- **Únosnost chráněných stropnic**
 - **2 krajní nosníky**

$$M_{Rd,fi,b,2} = \frac{pL\ell^2 - 8(M_0\ell_{eff} + n_{ub}M_{Rd,fi})}{16}$$

- **Alespoň jeden vnitřní nosník**

$$M_{Rd,fi,b,2} = \frac{pL\ell^2 - 8(M_0\ell_{eff} + n_{ub}M_{Rd,fi})}{12}$$

kde:

p je maximální působící zatížení a únosnost stropu



- **Únosnost chráněných stropnic**

l_{eff} je efektivní délka plastické linie

- Dva krajní ocelové nosníky

$$l_{eff} = l - n_{ub} \min \left(\frac{l}{1 + n_{ub}}; \frac{L}{4} \right)$$

- Jen jeden kompozitní nosník

$$l_{eff} = l - \left(n_{ub} + \frac{1}{2} \right) \min \left(\frac{l}{1 + n_{ub}}; \frac{L}{4} \right)$$

- Dva kompozitní nosníky

$$l_{eff} = l - (n_{ub} + 1) \min \left(\frac{l}{1 + n_{ub}}; \frac{L}{4} \right)$$

Chování
ocelobetonového
stropu

Návrh
za běžné teploty

Návrh
za zvýšené teploty

Obvodové nosníky

Shrnutí



Shrnutí jednoduché metody



- Teplotní zatížení
 - ČSN EN 1991-1-2: čl.3.2 Nominální teplotní křivka
 - ČSN EN 1991-1-2: Příloha A Parametrická teplotní křivka
 - ČSN EN 1991-1-2: Příloha D Zdokonalené modely požárů
- Mechanické zatížení
 - ČSN EN 1994-1-2: čl. 4 Zatížení pro analýzu konstrukce
- Přestup tepla
 - ČSN EN 1991-1-2: čl.3 Tepelná zatížení pro teplotní analýzu
 - ČSN EN 1992-1-2: čl.3 Materiálové vlastnosti
 - ČSN EN 1994-1-2: čl. 4.3.4.2 Spřažené nosníky s ocelovými neobetonovanými nosníky
- Materiál za zvýšené teploty
 - ČSN EN 1994-1-2: čl.3 Vlastnosti materiálů
- Mechanický model
 - Pokročilejší řešení pro dané konstrukční uspořádání
 - Posouzení chráněných obvodových nosníků
ČSN EN 1994-1-2: čl.4.3.4. Chráněné nosníky
ČSN EN 1993-1-2: čl.4.2.4. Kritická teplota

Chování
ocelobetonového
stropu

Návrh
za běžné teploty

Návrh
za zvýšené teploty

Obvodové nosníky

Shrnutí



Shrnutí



- **Jednoduchá metoda pro návrh stropu za zvýšené teploty**
 - Únosnost betonové desky metodou plastických linií
 - Zvýšení únosnosti vlivem membránového působení
 - Zvýšení únosnosti vlivem požárně nechráněných stropnic
 - Návrh dostatečně tuhých požárně chráněných obvodových nosníků
- **Návrh**
 - Ručně
 - Programem FRACOF fire.fsv.cvut.cz/fracof



Education and Culture DG

Lifelong Learning Programme
LEONARDO DA VINCI



Děkuji za pozornost

fire.fsv.cvut.cz/fracof