

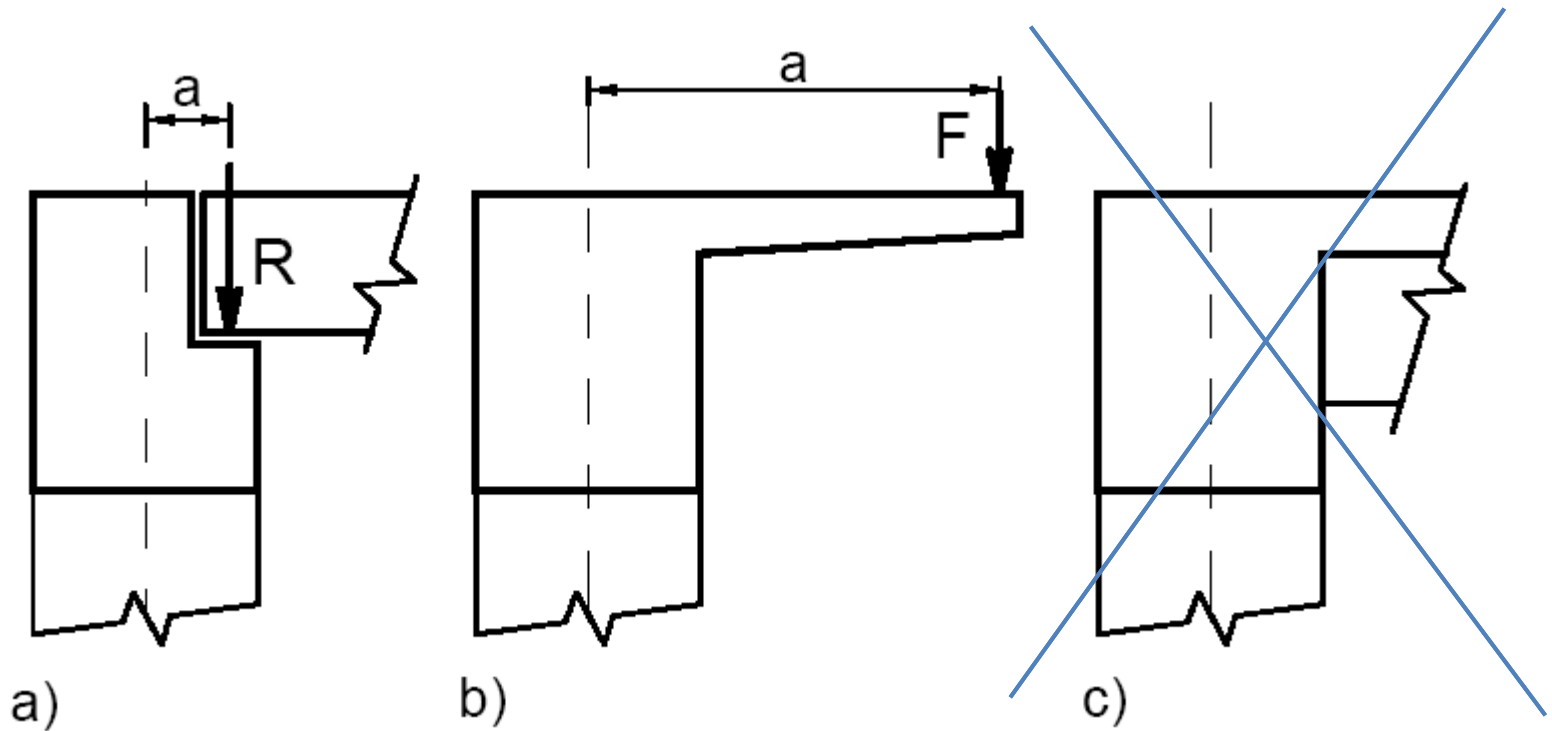
Prvky betonových konstrukcí

BL01 – 12 přednáška

- Prvky namáhané kroutícím momentem
- Prvky z prostého betonu
- Řešení prvků při místním namáhání

Prvky namáhané kroucením

- Typy kroucených prvků

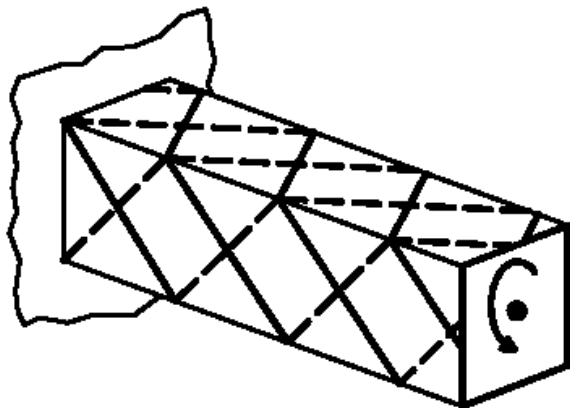


Prvky namáhané kroucením

- Chování a porušení kroucených prvků

a) do vzniku trhlin

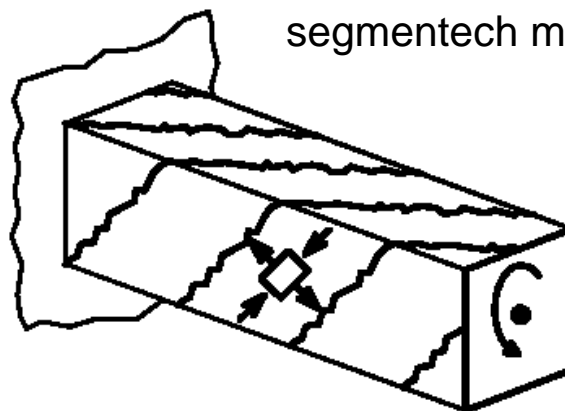
- jako homogenní prvek podle pružnosti
- trajektorie napětí (pod 45°)
- výpočet τ_t podle typu průřezu (plný, uzavřený, tenkostěnný otevřený)



a)

b) po vzniku trhlin

- nevyztužený prvek → mez porušení
- vyztužený prvek – tahy přenáší výztuž (příčná i podélná)
- porušení:
 - **dosažení meze kluzu** ve výztuži s následným nadměrným zkroucením
 - **rozdrcením tlačného betonu** v segmentech mezi trhlinami



b)

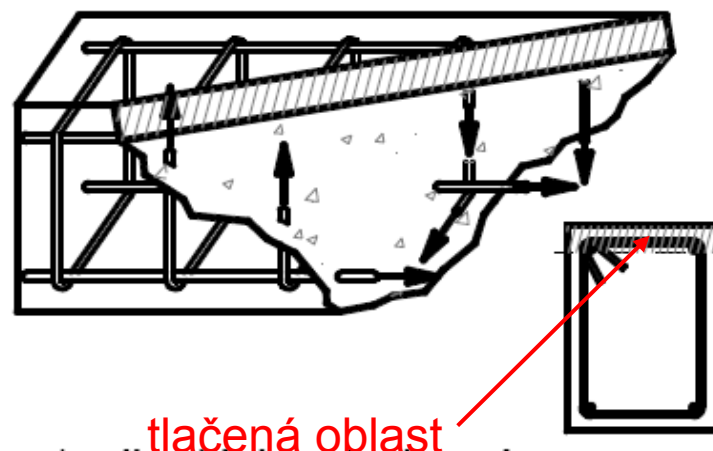
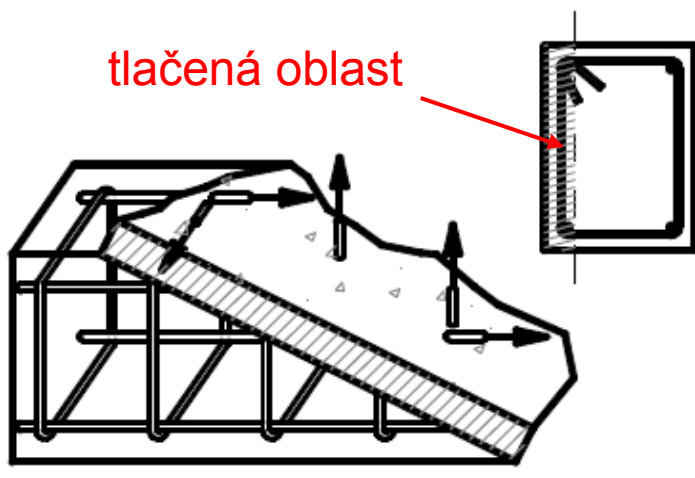
Prvky namáhané kroucením

- Chování a porušení kroucených prvků

– kombinace účinků kroucení

a) s působením posouvajících sil

b) s ohybovými momenty

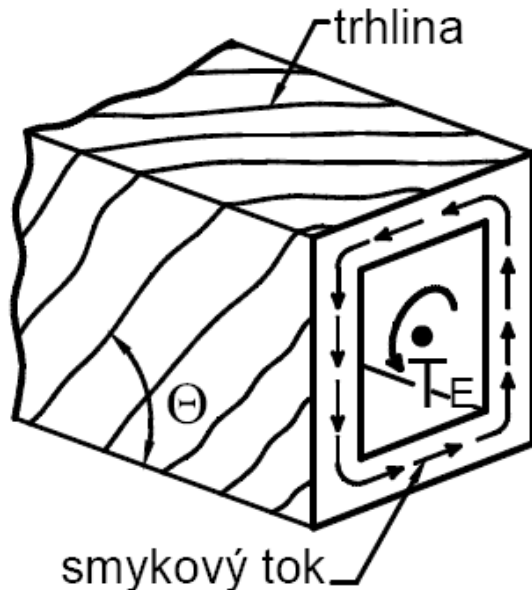


Prvky namáhané kroucením

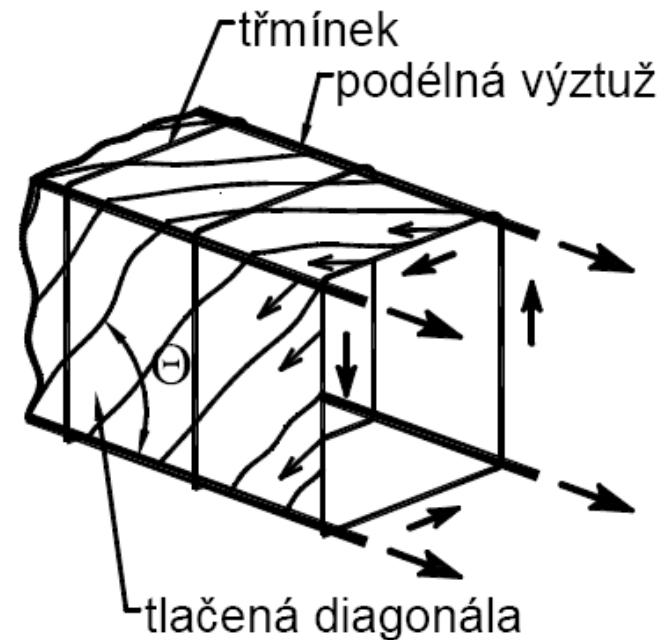
- Stanovení únosnosti kroucených prvků

– výpočetní modely

- a) nosník s analogickým tenkostěnným uzavřeným průřezem



- b) násobná prostorová příhradová soustava



Prvky namáhané kroucením

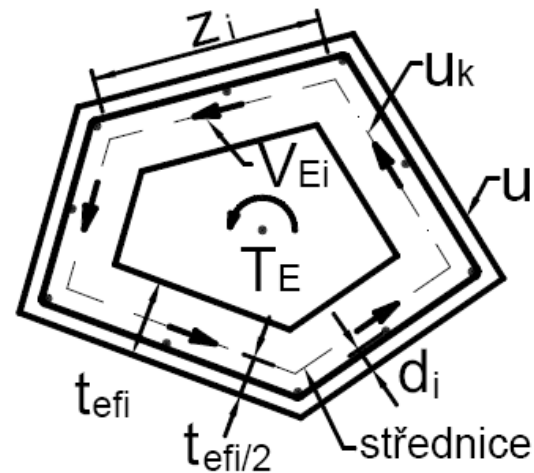
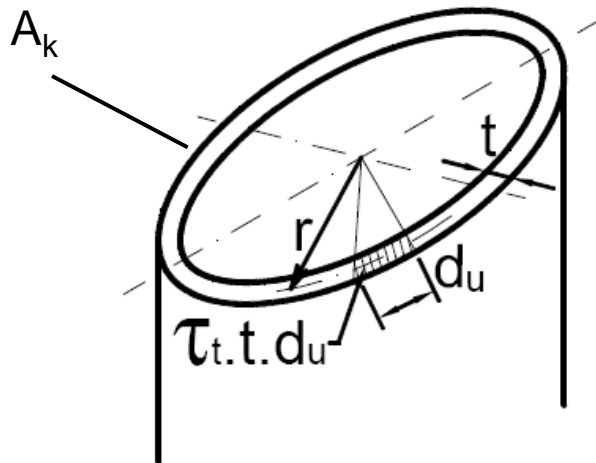
- **Únosnost kroucených prvků bez trhlin**

– Tenkostěnný průřez –

Bredtův vztah $T_E = \tau_t \cdot t \cdot \oint r \cdot du = \tau_t \cdot t \cdot 2 \cdot A_k$

– Posouzení –

- jen T $T_{Rc} = 2 \cdot A_k \cdot t_{ef} \cdot f_{ctd} \quad T_E \leq T_{Rc}$
- kombinace T a V $T_E / T_{Rc} + V_E / V_{Rc} \leq 1,0$



Prvky namáhané kroucením

- Únosnost kroucených prvků po vzniku trhlin -
nutná přídavná výztuž

– Tenkostěnný průřez – účinná tloušťka $t_{ef} = A/u$
s omezením $2d \leq t_{ef} \leq t_w$

- A je celková plocha neoslabeného průřezu
- u jeho vnější obvod
- kde d je vzdálenost mezi osou podélné výztuže a okrajem průřezu
- t_w skutečná tloušťka stěny u případného dutého průřezu

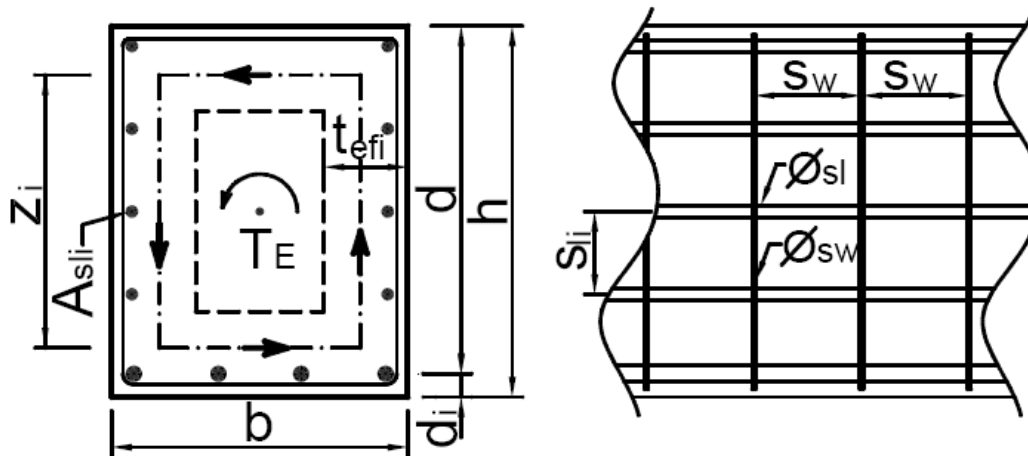
Prvky namáhané kroucením

- Plocha **přídavných** svislých třmíneků na kroucení

$$\frac{A_{swi} \cdot f_{ywd}}{s_w} = \frac{T_E}{2 \cdot A_k \cdot \cot \theta}$$

- Plocha **přídavné** podélné výztuže na kroucení

$$\frac{\sum (A_{sl} \cdot f_{yd})}{u_k} = \frac{T_E \cdot \cot \theta}{2 \cdot A_k}$$



Prvky namáhané kroucením

- Únosnost tlačené diagonály

$$T_{Rmax} = T_{Rmaxi} = 2 \cdot A_k \cdot a_{cw} \cdot v \cdot f_{cd} \cdot t_{efi} \cdot \sin \theta \cdot \cos \theta$$

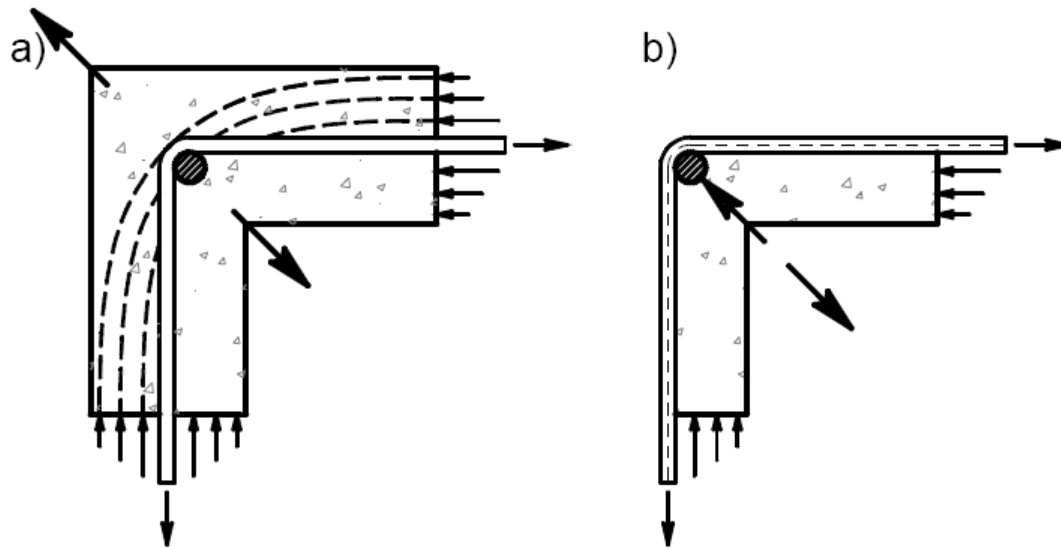
- Při kombinaci T a V

$$T_E / T_{Rmax} + V_E / V_{Rmax} \leq 1,0$$

Stejný úhel θ pro výpočet smyku od posouvající síly i od kroucení !

Prvky namáhané kroucením

– Odlupování krycí vrstvy betonu



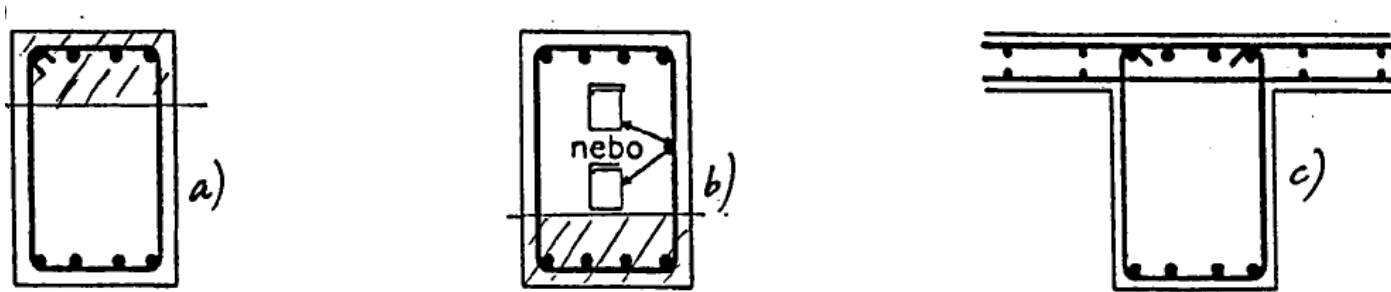
Tento jev je způsoben výslednicí částí tlakových sil dvou navazujících soustav diagonál v rohu průřezu, která směřuje ven z průřezu (viz **a**) a nemůže být zachycena výslednicí sil v rohu příčné výztuže (viz **b**). Pokud chceme zabránit, aby účinkům kroucení vzdorovalo jen jádro průřezu, musíme navrhnout další povrchovou výztuž.

Prvky namáhané kroucením

- Konstrukční zásady

- Třmínky

- Uzavřené a kolmé k ose prvku



a) kotvení v tlačené oblasti b) kotvení v tažené oblasti c) s příčnou výztuží např. v desce

- Minimální stupeň vyztužení

$$\rho_{wt} = A_{sw,i} / (s_w t_{ef,i}) \geq \rho_{w,min} = 0,08 \sqrt{f_{ck}} / f_{yk}$$

- Vzdálenost třmínků

$$s_w \leq \min\{u / 8; b; 0,75d(\cot g \alpha)\}$$

- Podélná výztuž

- Alespoň v rozích třmínků, popř. mezi rohy tak, aby jejich vzdálenost byla $s_l \leq 350$ mm

Prvky z prostého a slabě vyztuženého betonu

- Jsou to prvky bez výztuže nebo s výztuží a ploše

$$A_s < A_{s,min}$$

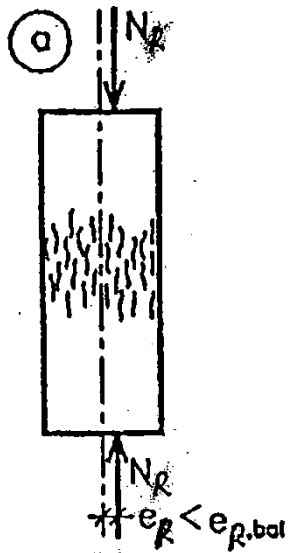
- Tato **výztuž není schopna převzít tahové síly** po vzniku trhlin z hlediska únosnosti ani omezení šířky trhlin.
- Prvky
 - namáhané převážně tlakem – stěny, oblouky, sloupy, klenby, tunely.
 - Základové pásy a patky, opěrné zdi, piloty

Prvky z prostého a slabě vyztuženého betonu

- Návrhové pevnosti
 - v tlaku $f_{cd} = \alpha_{cc,pl} f_{ck} / \gamma_c$,kde $\alpha_{cc,pl} = 0,8$
 - v tahu $f_{ctd} = \alpha_{ct,pl} f_{ctk,0,05} / \gamma_c$,kde $\alpha_{ct,pl} = 0,8; 0,6; 0,4$
- Analýza konstrukce
 - s ohledem na menší duktilitu se nemá využívat plastická analýza ani redistribuce sil
 - Používá se obvykle lineární nebo nelineární analýza vycházející z teorie pružnosti

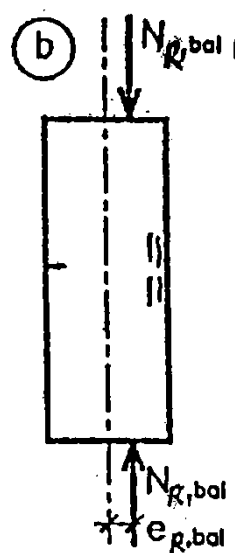
Prvky z prostého a slabě vyztuženého betonu

- Mezní stav únosnosti – kombinace M, N
 - O způsobu určení mezní únosnosti rozhodují
 - Buď napětí v tahu nebo tlaku (tahové x tlakové porušení)
 - Otázka rozhodnutí o přítomnosti či nepřítomnosti trhlin



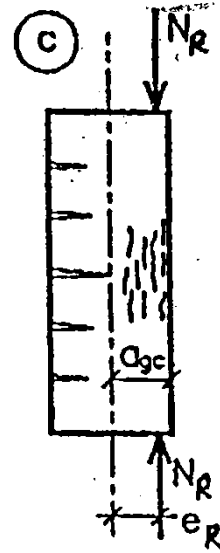
$$e_R < e_{R,bal}$$

Tlakové
porušení bez
trhlin



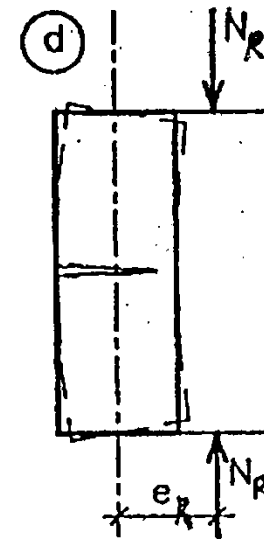
$$e_R = e_{R,bal}$$

Hranice mezi
tlakovým a
tahovým
porušením



$$e_{R,bal} < e_R \leq e_{R,lim}$$

Tlakové
porušení s
trhlinami

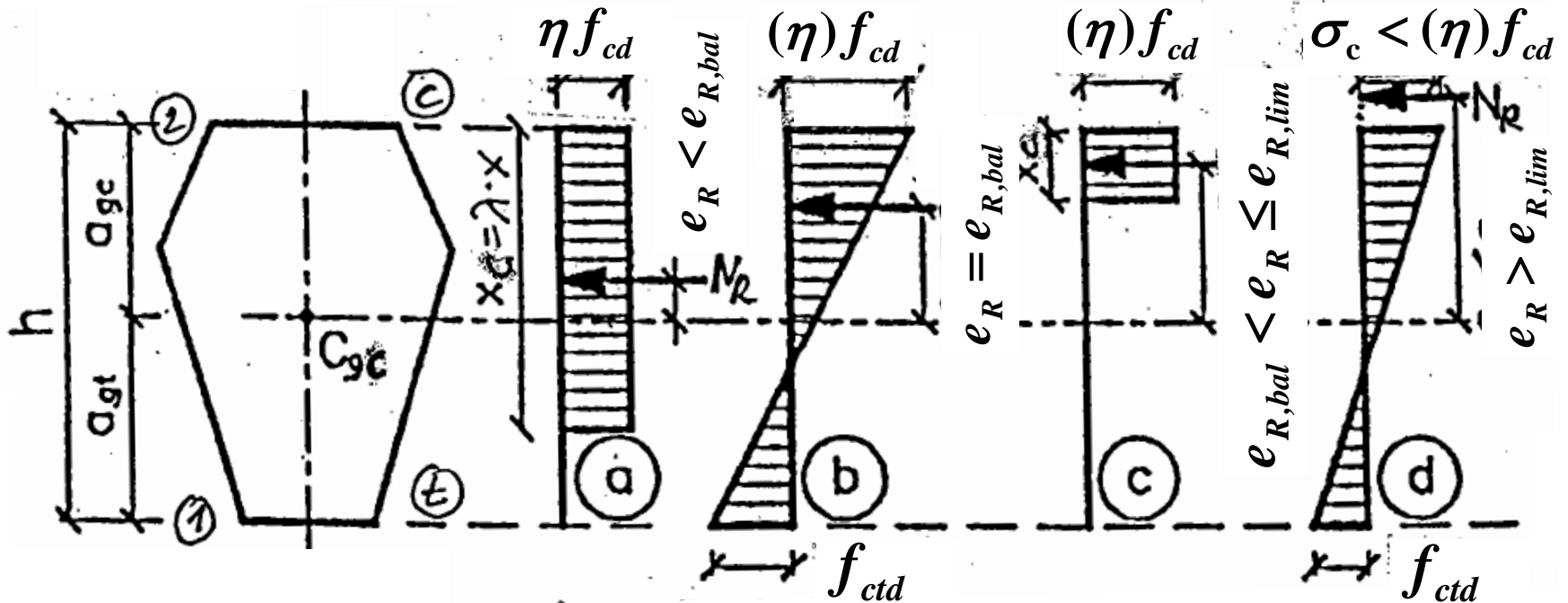


$$e_R > e_{R,lim}$$

Tahové
porušení

Prvky z prostého a slabě vyztuženého betonu

- Rozdělení napětí na mezi porušení



Tlakové porušení bez trhlin

Hranice mezi tlakovým a tahovým porušením

Tlakové porušení s trhlinami

Tahové porušení

Prvky z prostého a slabě vyztuženého betonu

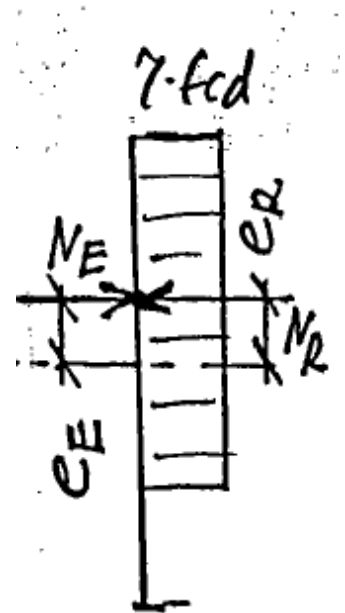
- **Tlakové porušení** – působiště N_E a N_R je totožné

- Pro obdélník
$$N_R = bh(1 - 2e/h)\eta f_{cd}$$

- Pro teoretický dostředný tlak
$$N_{R0} = bh\eta f_{cd}$$

- Obecně
$$N_R = A_{cc}\eta f_{cd} \geq N_E$$

- Pro $e=h/2$ je $N_R=0 \rightarrow$ teoretická hodnota, proto omezení $e_{R,lim}$
 - Pro trhlinu $0,75h$ je $e=0,4h$
 - Např. v ČSN je $e=0,45h$
 - (v EN2 není omezení)



Prvky z prostého a slabě vyztuženého betonu

- **Tahové porušení** – napětí σ_{ct} a σ_{cc} lze stanovit podle teorie pružnosti

$$\sigma_{ct} = \frac{N_E}{A_c} + \frac{M_E a_{gt}}{I_c}$$

$$\sigma_{cc} = \frac{N_E}{A_c} - \frac{M_E a_{gc}}{I_c}$$

Prvky z prostého a slabě vyztuženého betonu

- Interakční diagram

- Bod

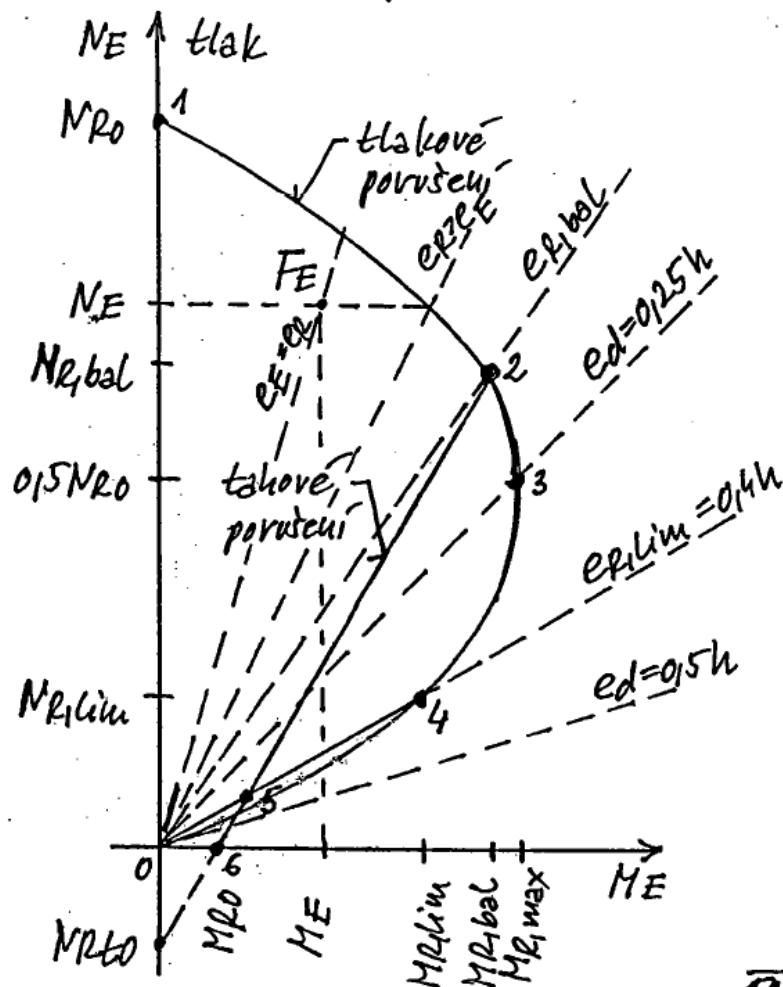
- 1- teoretický dostředný tlak
- 2 - hranice mezi tlakovým porušením bez trhlin a tahovým porušením
- 3 - max. moment $M_{Rd,max}$
- 4 - omezení excentricity pro tlakové porušení
- 5 - uplatnění tahového porušení až od $e_R = e_{R,lim}$
- 6 - únosnost v ohybu

- Čára

$\overline{12}$ – tlakové porušení bez trhlin

$\overline{23450}$ – tlakové porušení s trhlinami

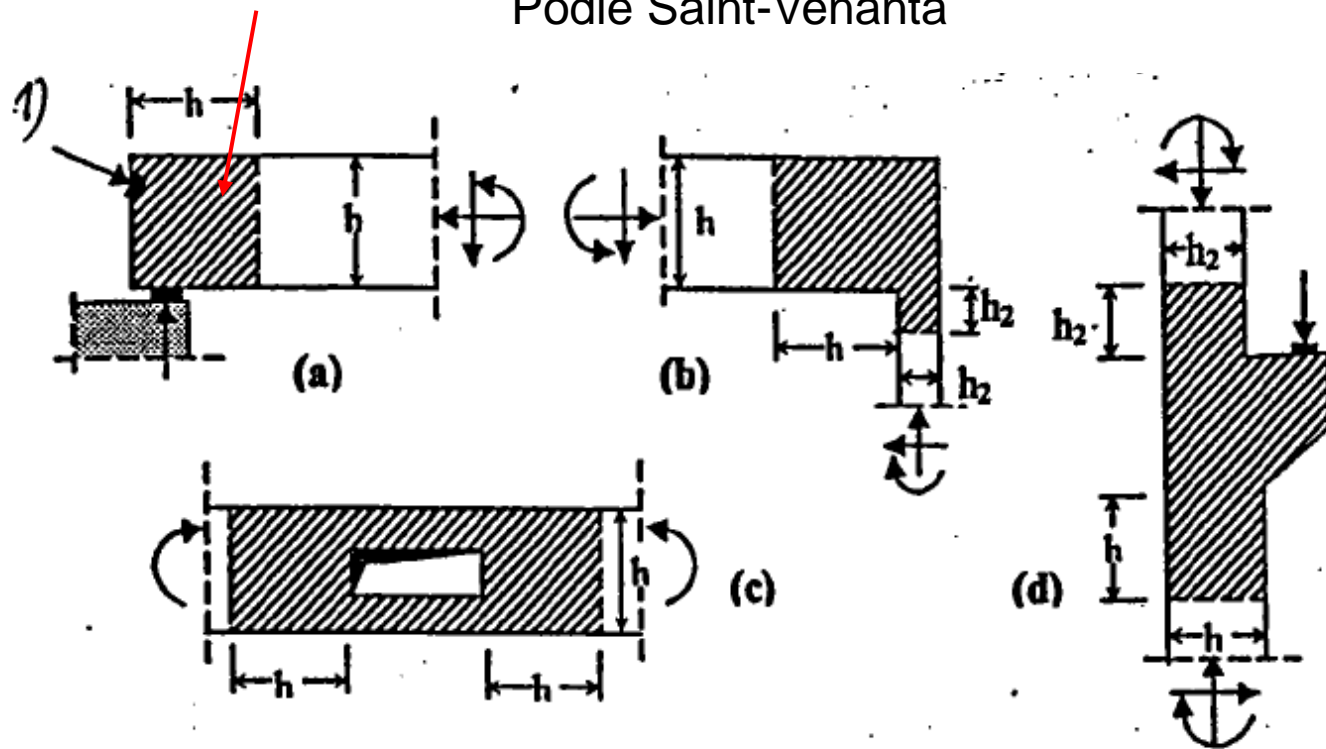
$\overline{26}$ – tahové porušení



Řešení prvků při místním namáhání

- Oblasti diskontinuit – neplatí předpoklad Bernouliovy teorie o rovinnosti průřezu po vzniku přetvoření

Podle Saint-Venanta

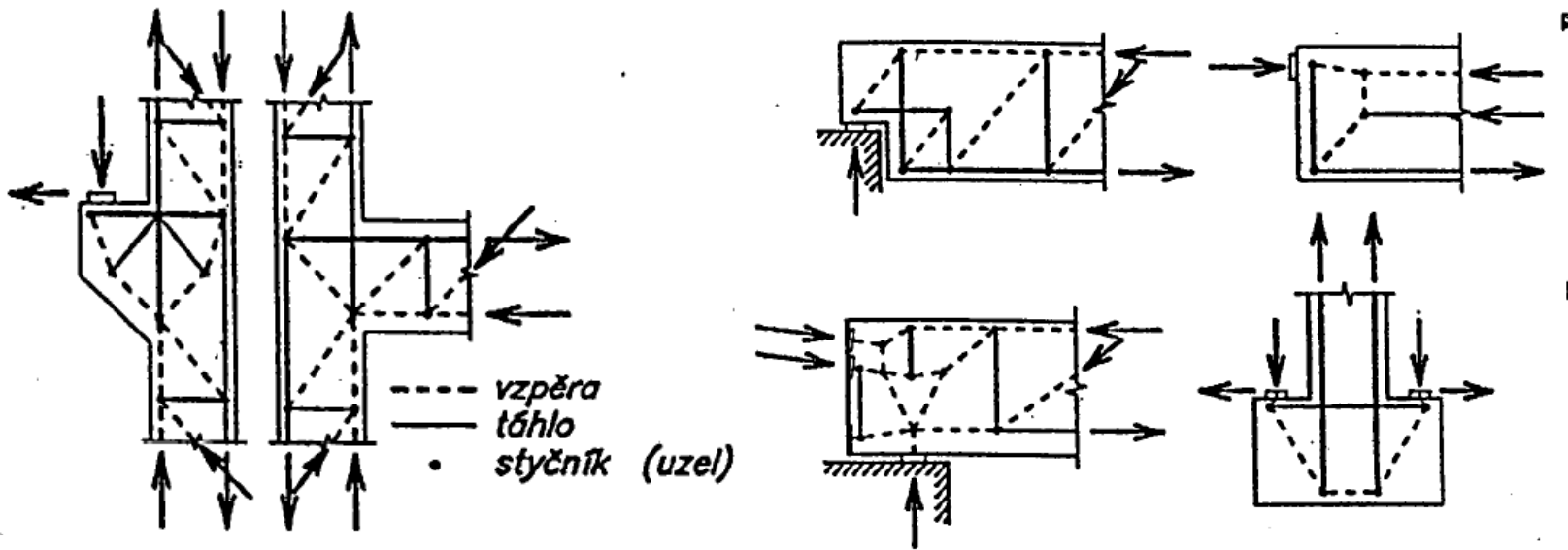


Oblasti diskontinuit – neplynulého, rozptýleného toku napětí
a – statická d., b,c – geometrická d., d – statická i geometrická d.

Řešení prvků při místním namáhání

– Metody řešení

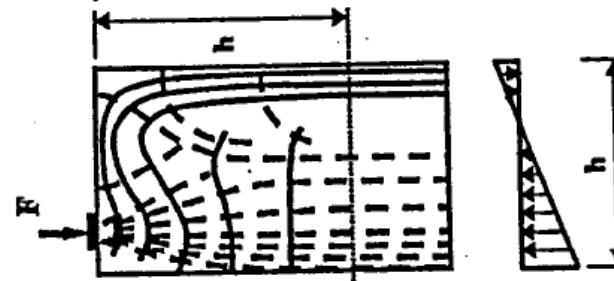
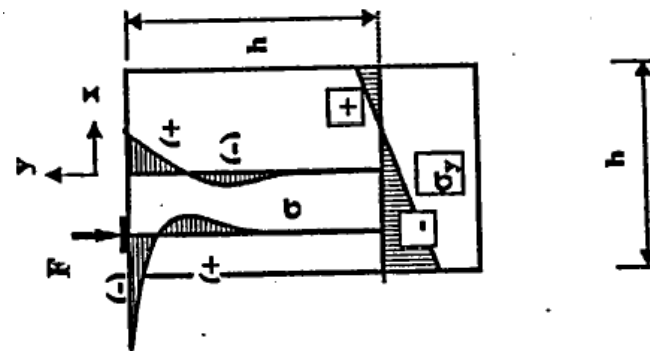
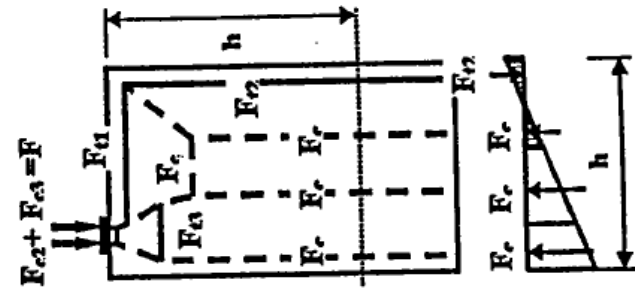
- Metoda konečných prvků
- Metoda vzpěr a táhel (příhradová analogie)
 - Táhla – výztuž
 - Vzpěry - beton



Řešení prvků při místním namáhání

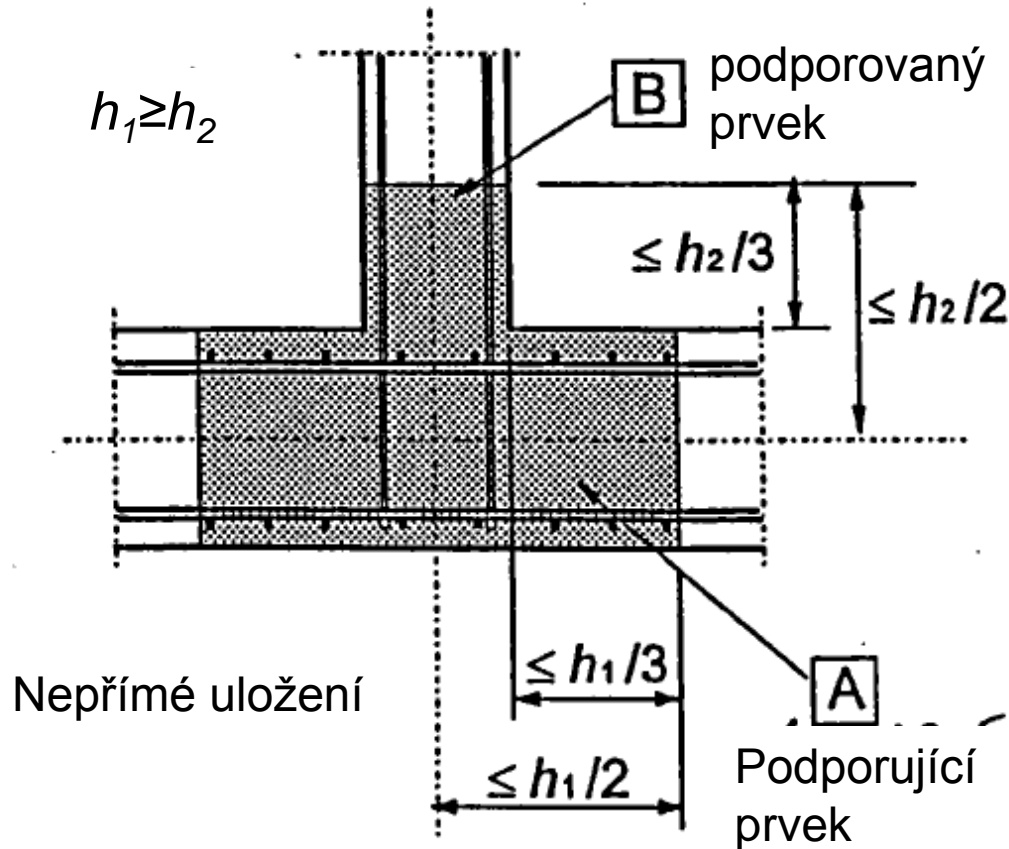
– Analýza oblasti diskontinuity

- (a) – trajektorie hlavních napětí
- (b) – průběhy napětí
- (c) – prutový model



Řešení prvků při místním namáhání

- Nepřímé uložení



Výztuž v oblasti musí přenést akci od podporovaného prvku