

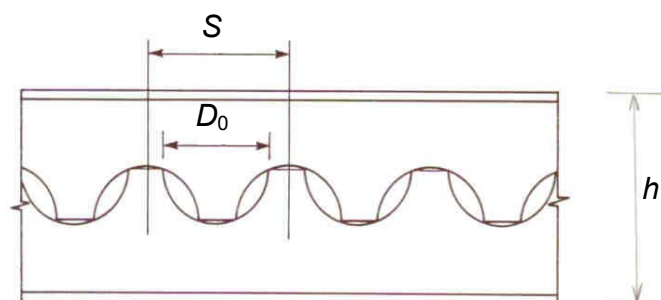
## Nosníky s kruhovými otvory

- Instalace lze výhodně uložit uvnitř obrysu.
- Nosníky jsou estetické.

Jsou vhodné zejména pro rovnoměrné zatížení (stropnice, vaznice), neboť mají menší únosnost ve smyku (u průvlaků může činit potíže).

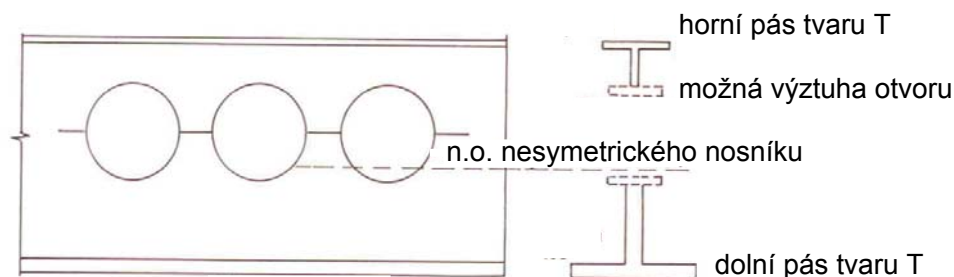
Výhody:

- celková výška stropní konstrukce (včetně instalací) je malá,
- jsou vhodné i pro velká rozpětí; vyrábí-li se pálením z nižších nosníků, získá se větší výška nosníku; z většího rozpětí plyne méně sloupů a patek,
- vcelku (s instalacemi) se zrychlí výstavba.



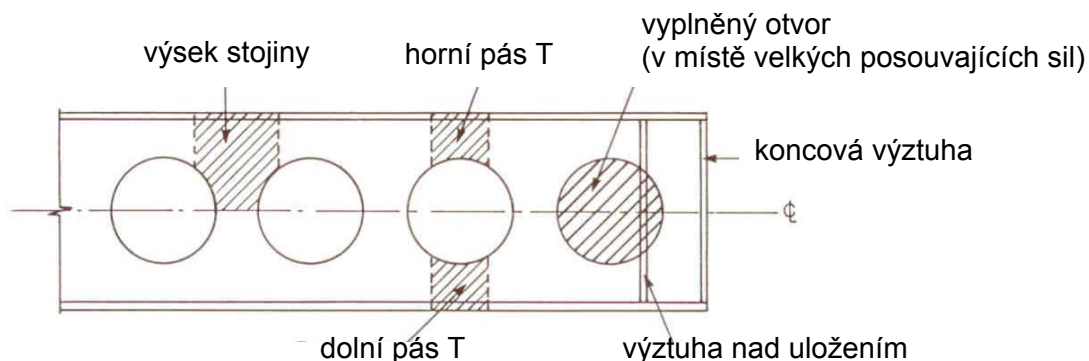
Obr. 1 Pálení dvěma řezy, otvory o průměru  $D_0$  až 500 mm (např.  $0,9h$ ), vzdálenost  $S = 1,25 \div 1,5 h$ .

Pálení je možné provést asymetricky k získání asymetrického profilu:



Obr. 2 Asymetrický nosník s kruhovými otvory (popř. vyztuženými).

Některé otvory lze vynechat (popř. zavařit), na stojiny mezi otvory lze umístit výztuhy:



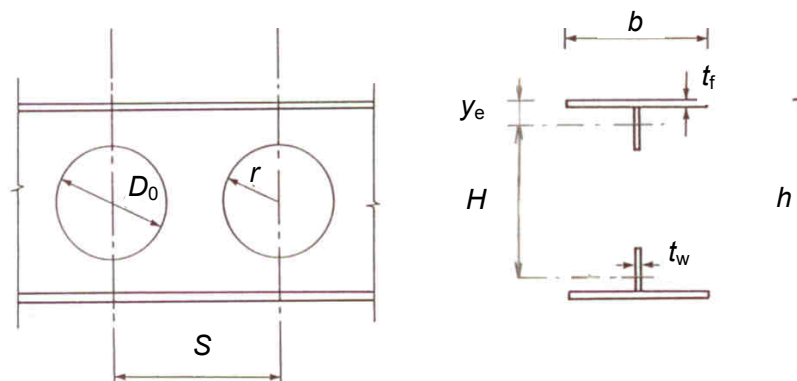
Obr. 3 Terminologie, možnost zavaření otvorů, výztuhy stojiny.

## Nesprážené děrované nosníky

Posuzuje se:

- plastická únosnost,
- smyková únosnost,
- stabilita při ohybu.

Uspořádání pro platnost následujícího postupu (pro asymetrické otvory upravit):



Obr. 4 Označení rozměrů.

Volit ocel **S355** a musí platit:  $1,08 < S/D_0 < 1,5$   
 $1,25 < h/D_0 < 1,75$

### 1. Plastická únosnost

$$M_{Ed} \geq M_{pl,Rd} = A_T H f_{yd}$$

kde:

$A_T$  je plocha jednoho pásu T,  
 $H$  vzdálenost těžišť pásů tvaru T v nejvíce oslabeném místě,  
 $f_{yd}$  návrhová pevnost oceli.

### 2. Únosnost ve smyku

Vertikální smyk:

$$V_{Ed} \geq V_{pl,Rd} = 0,9 \sum A_{TW} \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}} = 1,04 A_{TW} f_{yd}$$

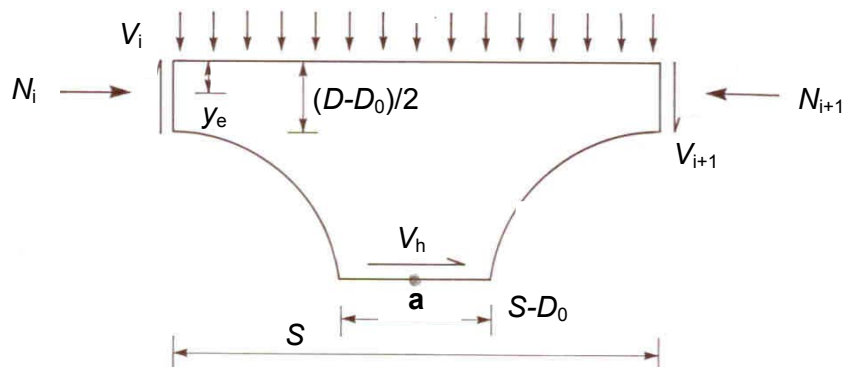
kde

součinitel 0,9 zohledňuje nerovnoměrný průběh smykového napětí po obou pásech,  
 $A_{TW}$  je plocha stojiny jednoho pásu T.

Je nutno posoudit též vodorovný smyk v ose nosníku (v místě spojení). Z podmínky aby nerozhodoval vyplývá:

$$S \geq D_0 \frac{h - 2y_e}{D_0 - 2y_e} \quad \text{kde } y_e \text{ je vzdálenost těžiště pásu od krajních vláken.}$$

Velikost vodorovného smyku je však dále stejně zapotřebí. Přibližně (po zanedbání vlivu zatížení nad výsekem stojiny) jej lze vypočítat podle obrázku a posoudit příslušný smyk.



Obr. 5 Vodorovný smyk ve výseku stojiny.

Z momentové podmínky k bodu *a* (kde se podle Vierendeelova modelu předpokládá moment nulový) plyne vodorovný smyk:

$$V \approx V_i \approx V_{i+1}$$

$$(N_{i+1} - N_i)(h - 2y_e) = (V_{i+1} + V_i) \frac{S}{2}$$

$$V_h = N_{i+1} - N_i \cong \frac{S}{(h - 2y_e)} V$$

$$V_h \leq V_{pl,Rd} = (S - D_0) t_w \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

### 3. Interakce smyku a ohybu

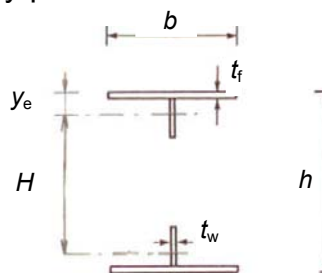
Pokud je smyk malý, tj.  $V < 0,5 V_{pl}$ , interakce se jako vždy neposuzuje. Pro velký smyk lze přibližně v dalším posudku počítat s redukovanou tloušťkou pásů průřezu T:

$$t_{w,eff} = t_w \sqrt{1 - (V / V_{pl})}$$

kde  $V$  je posouvající síla působící na pásy T,  
 $V_{pl}$  smyková únosnost pásů T.

### 4. Stabilita nosníku při ohybu (klopení)

Nosník se posoudí pro parametry průřezu oslabeného otvorem (viz obrázek) běžným způsobem:



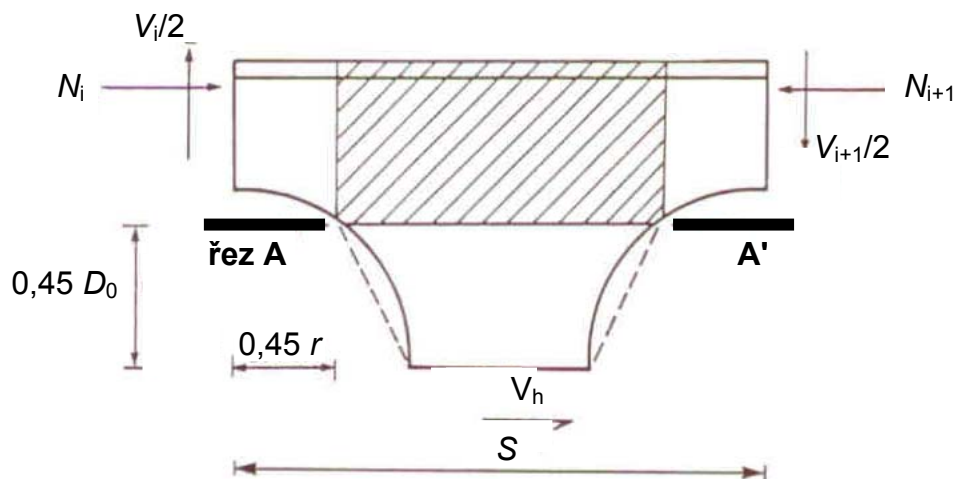
Obr. 6 Oslabený průřez.

$$M_{Ed} \leq M_{b,Rd}$$

Třídu průřezu lze určit běžným způsobem, pro stojinu z nosníku výšky  $h$  bez otvoru.

### 5. Únosnost stojiny mezi otvory v ohybu a vzpěru (boulení)

Posoudí se moment ve stojině v řezu A-A podle obrázku:



Má platit:

$$M < M_{\max} \quad (\text{Pozn.: nevyhoví-li, je vhodné otvory olemovat - vyztužit.})$$

kde ohybový moment v řezu A-A' je:

$$M = 0,45 D_0 V_h \quad (\text{pro } V_h \text{ viz bod 2})$$

Z MKP plyne přípustný moment v řezu A-A':

$$M_{\max} = \left[ C_1 \left( \frac{S}{D_0} \right) - C_2 \left( \frac{S}{D_0} \right)^2 - C_3 \right] M_{el}$$

kde pružná únosnost stojiny v řezu A-A':

$$M_{el} = W f_{yd} \quad \text{průřez pro } W \text{ má tvar obdélníka } t_w \times (S - 0,436 D_0)$$

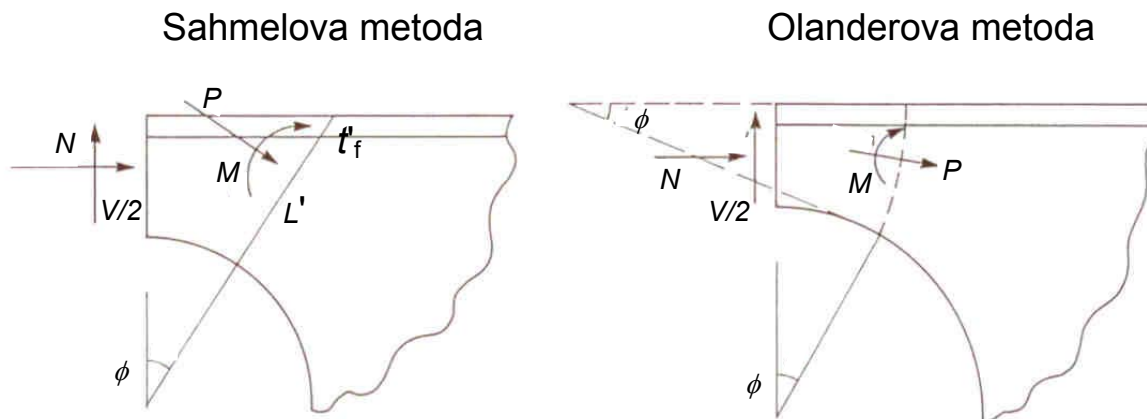
$$C_1 = 5,097 + 0,1464 \left( \frac{D_0}{t_w} \right) - 0,00174 \left( \frac{D_0}{t_w} \right)^2$$

$$C_2 = 1,441 + 0,0625 \left( \frac{D_0}{t_w} \right) - 0,000683 \left( \frac{D_0}{t_w} \right)^2$$

$$C_3 = 3,645 + 0,0853 \left( \frac{D_0}{t_w} \right) - 0,00108 \left( \frac{D_0}{t_w} \right)^2$$

## 6. Únosnost pásů T (interakce normálové síly a momentu)

Zjednodušené řešení může vycházet ze Sahmelovy nebo Olanderovy teorie zakřiveného nosníku. Posouzení kombinace tlaku a momentu se provede pro průřez příslušné třídy a vhodně zvolený úhel  $\phi$  (doporučuje se např.  $25^\circ$ ).



Obr. 8 Metody k určení kritického průřezu.

Např. při použití Sahmelovy metody:

- Pro zvolený úhel  $\phi$  se stanoví průřezové parametry pásu T v řezu - tj. tloušťka pásnice  $t'_f$ , výška stojiny  $L'$ , plocha pásu  $A'$ , pro průřezy 1. a 2. třídy plastická osa ve vzdálenosti  $y'$  od horních vláken ( $y$  kolmo k vnějším vláknům), plastická únosnost v tlaku  $P_{pl} = A'f_{yd}$ , momentová únosnost  $M_{pl} = W'_{pl}f_{yd} = (S_h + S_d)f_{yd}$  a smyková únosnost  $V_{pl} = L't'_wf_{yd}/\sqrt{3}$ .

Podle obrázku platí:

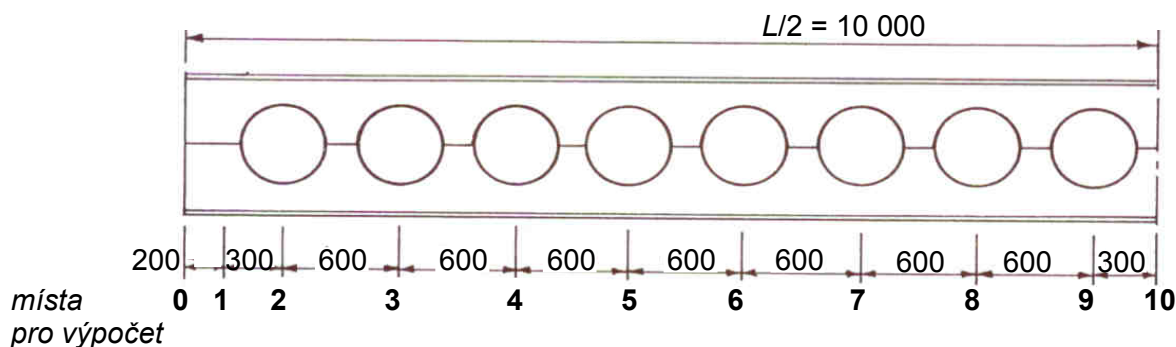
$$t'_f = t_f / \cos \phi$$

$$L' = \left[ \left( \frac{h}{2} - t_f \right) / \cos \phi \right] - \frac{D_0}{2}$$

$$A' = b t'_f + L' t_w \quad \text{atd.} \quad \rightarrow P_{pl}, M_{pl}, V_{pl}.$$

- Podle obrázku 9 se pro pás (v místech nad každým otvorem) stanoví pomocí sil  $N_i$ ,  $V_i$  a úhlu  $\phi$  vnitřní síly  $P_i$  a  $M_i$ .

Příklad:



Obr. 9 Příklad k posouzení interakce momentu a posouvající síly v kritických řezech.

V místě  $i$  po výpočtu momentu a posouvající síly ( $M_{Ed,i}$ ,  $V_{Ed,i}$ ) platí :

$$N_i = M_{Ed,i} / H \quad (\text{viz obr. 1})$$

$$P_i = N_i \cos \phi - \frac{V_{Ed,i}}{2} \sin \phi$$

$$M_i = N_i(y - y_e) + \frac{V_{Ed,i}}{2} \left( \frac{h}{2} - y \right) \operatorname{tg} \phi$$

3. Pro každý bod musí platit interakční vztah:

$$\frac{P_i}{P_{pl}} + \frac{M_i}{M_{pl}} \leq 1$$

Největší namáhání vzniká v průřezu, kde je nejnepříznivější kombinace celkového ohybového momentu a posouvající síly. Např. pro rovnoměrné zatížení leží v určité vzdálenosti od středu rozpětí (v uvedeném příkladu vychází největší namáhání v místě 7).

## 7. Průhyby

Výpočet průhybu je komplikovaný, neboť kromě momentového účinku je nutné do průhybu zahrnout i průhyby od smyku a deformací vlivem otvorů. Je možné postupovat jako u výpočtu průhybu Vierendeelova nosníku (např. principem virtuálních prací vyčíslením vlivů jednotlivých částí – od momentu, normálové a smykové síly při namáhání všech pásů T a stojin mezi otvory).

Přibližně (obvykle konzervativně) však průhyb plyne z výpočtu běžného momentového účinku na oslabeném průřezu podle obr. 6. Např. pro rovnoměrné zatížení:

$$\delta = \frac{5}{384} \frac{qL^4}{EI_{osl}}$$

## 8. Stabilita nosníků s kruhovými otvory (kritické síly)

Pro výpočet kritických sil a kritického momentu lze použít již uvedený předpoklad, tj. podle běžných vzorců, ale pro nejvíce oslabený průřez (v místě otvoru). Výpočty MKP potvrzují, že výsledné hodnoty jsou na straně bezpečné (s výjimkou velmi krátkých rozpětí, kde však lze předpokládat plastické chování).

Kritická síla pro vybočení kolmo k měkké ose z-z:

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 EI_{z,osl}}{L^2}$$

Kritická síla pro vybočení zkroucením ( $I_o$  je polární moment setrvačnosti):

$$N_{cr,T} = \frac{A_{osl}}{I_{o,osl}} \left( GI_{t,osl} + \frac{\pi^2 EI_{w,osl}}{L^2} \right)$$

Kritický moment (podrobnosti viz ČSN EN 1993-1-1):

$$M_{cr} = \mu_{cr} \frac{\pi \sqrt{EI_{z,osl} GI_{t,osl}}}{L}$$

Pro zatížení kombinací tlaku a momentu (resp. osově síly na rameni  $e$ ) lze výslednou kritickou sílu  $N_{cr}$  stanovit pomocí výše uvedených hodnot z interaktivního vztahu:

$$\left( \frac{N_{cr} e}{M_{cr}} \right)^2 = \left( 1 - \frac{N_{cr}}{N_{cr,z}} \right) \left( 1 - \frac{N_{cr}}{N_{cr,T}} \right)$$