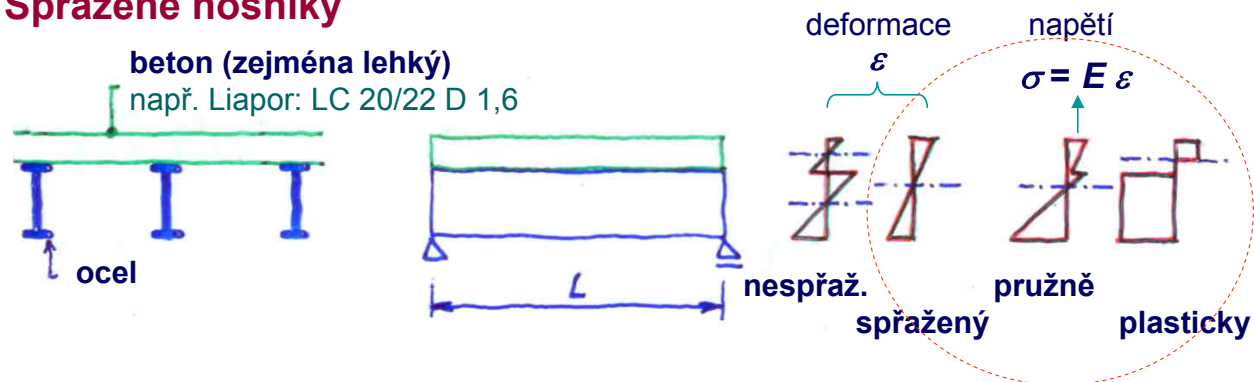


9. Spřažené ocelobetonové nosníky

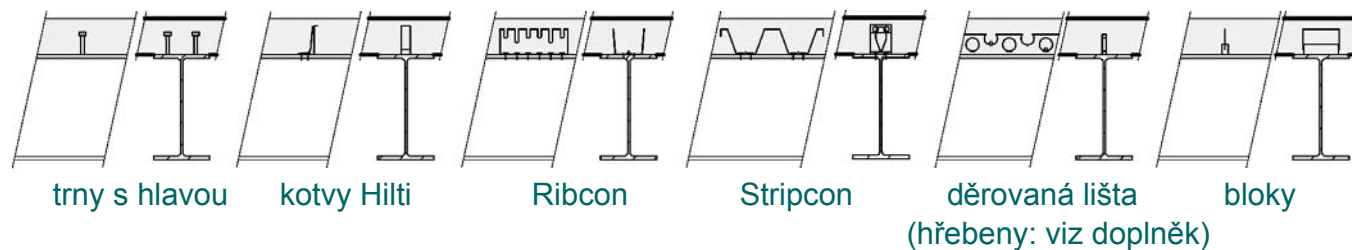
Spřažené ocelobetonové konstrukce, návrh nosníků teorie plasticity a pružnosti.

Spřažené ocelobetonové konstrukce (ČSN EN 1994-1)

Spřažené nosníky



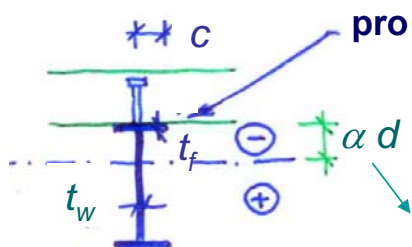
Spřahující prvky (podrobnosti viz doplňující informace)



Třídy spřažených průřezů:

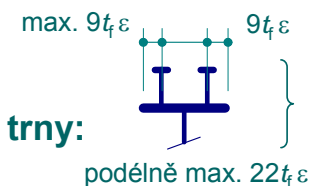
- podle třídy průřezu ocelových tlačných částí, (tj. podle štíhlostí b/t , namáhání a třídy oceli) } 99 % případů je v třídě 1 a 2

Příklad:



pro pásnici tř. 1, 2:

{ buď $c/t_f \leq 10 \varepsilon$
nebo přikotvena více trny:



tlačná část stojiny může též boulit, (limity viz Eurokód).

Spřažené sloupy (viz předmět OK01)



vyplněné betonem



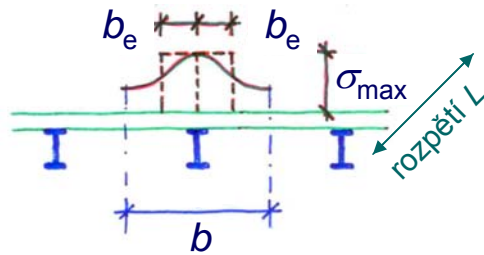
obetonované



částečně obetonované

Smykové ochabnutí

(k určení spolupůsobící šířky betonové desky)



Vlivem deplanace průřezu
(neplatí B-N hypotéza o rovinnosti příčného řezu).

$$b_e \sigma_{\max} = \int_0^{b/2} \sigma ds$$

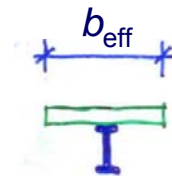
Eurokód ČSN EN 1994-1:

$$b_e = \frac{L}{8} \leq \frac{b}{2}$$

$$b_{\text{eff}} = 2 b_e = \frac{L}{4} \leq b$$

(tj. závisí zhruba na rozpětí nosníku !)

Běžný výpočet:



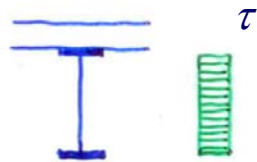
Posudek ve smyku

Uvažuje se jen ocel, obvyklý posudek:

$$V_{\text{Ed}} < V_{\text{c,Rd}} = A_v \frac{f_{\text{yd}}}{\sqrt{3}}$$

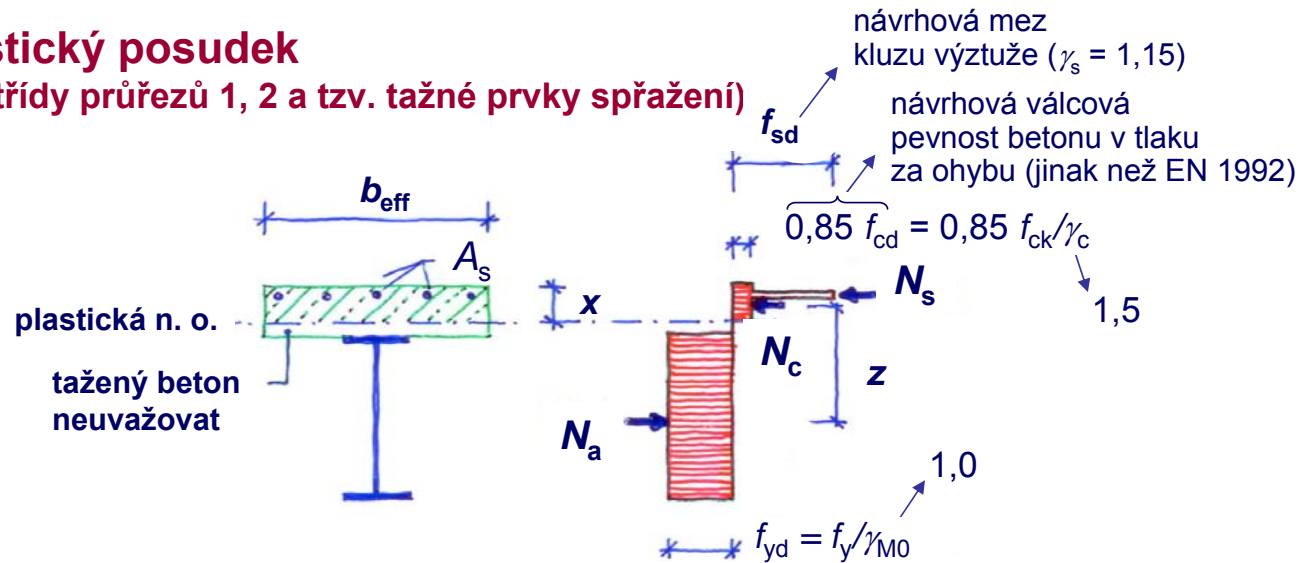
$$\text{Malý smyk pro } V_{\text{Ed}} < \frac{1}{2} V_{\text{c,Rd}}$$

(pro interakci s M_{Ed} zanedbat).



Plastický posudek (pro třídy průřezů 1, 2 a tzv. tažené prvky spřažení)

MSÚ



Příklad: Průřez bez A_s , plast. n. o. je při optimálním návrhu v betonu:
(Pozn.: pro neutrální osu v ocelovém nosníku viz Doplňující informace)

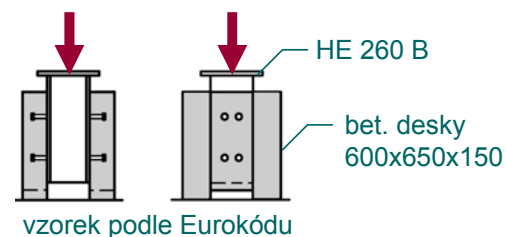
→ poloha neutrální osy: $N_a = N_c \Rightarrow x = \frac{A_a f_{yd}}{b_{eff} 0,85 f_{cd}}$

↪ plast. mom. únosnosti: $M_{pl,Rd} = N_a z = A_a f_{yd} z$

Posudek: $M_{pl,Rd} \geq M_{Ed}$!! v plasticitě se vliv montáže neuplatní !!

Spřažení

Únosnost všech spřahovacích prvků se určí z "protlačovacích zkoušek":



Trny: pro střih dřívku $P_{Rd} = 0,8 \frac{f_u}{\gamma_v} \frac{\pi d^2}{4}$ $\gamma_v = 1,25$

pro otláčení betonu $P_{Rd} = 0,29 \frac{\alpha d^2}{\gamma_v} \sqrt{f_{ck} E_{cm}}$ $\alpha = 1$ pokud $h/d > 4$ (obvyklé)

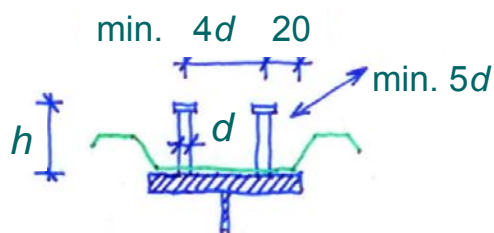
Při užití trapézových plechů:



$$P'_{Rd} = k P_{Rd}$$

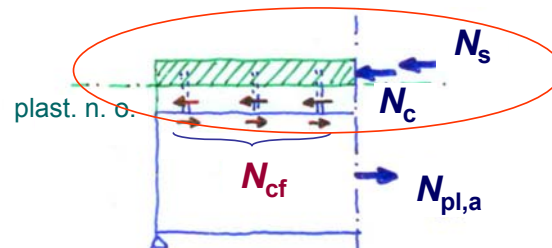
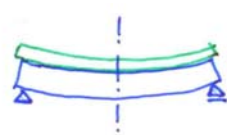
redukce k závisí na velikosti „obalení“ trnu betonem.

Rozteče:



Obdobně jsou k dispozici hodnoty P_{Rd} ostatních spřahovacích prostředků.

Spřažení podle teorie plasticity (pro „tažné“ prvky, např. trny)



umožňují rovnoměrnou redistribuci
smykové síly do všech prvků
(netažné jsou např. bloky).

$$M_{\max} = M_{pl,Rd} \text{ (nejvíce namáhaný průřez !!)}$$

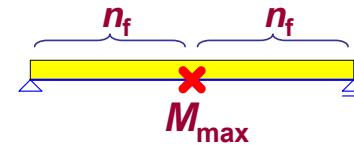
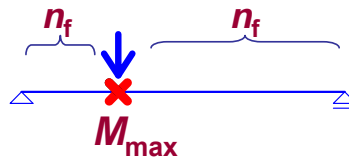
Z podmínky rovnováhy plyne počet tažných prvků při úplném spřažení n_f :

$$n_f = \frac{N_{cf}}{P_{Rd}}$$

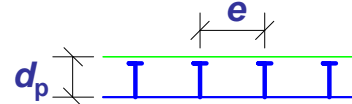
Síla v připojeném pásu: $N_{cf} = N_c + N_s$ (nebo $N_{cf} = N_{pl,a}$)
(tj. celkový smykový tok) $\rightarrow = x b_{eff} (0,85 f_{cd})$

Příklad:

(n_f trnů umístit vždy
mezi podporu
a místo M_{\max})



Smykový tok se plasticky redistribuuje,
prvky lze umístit rovnoměrně:



Pružný posudek (třídy 3, 4) (Pro třídy 1, 2 lze použít, ale je konzervativní).

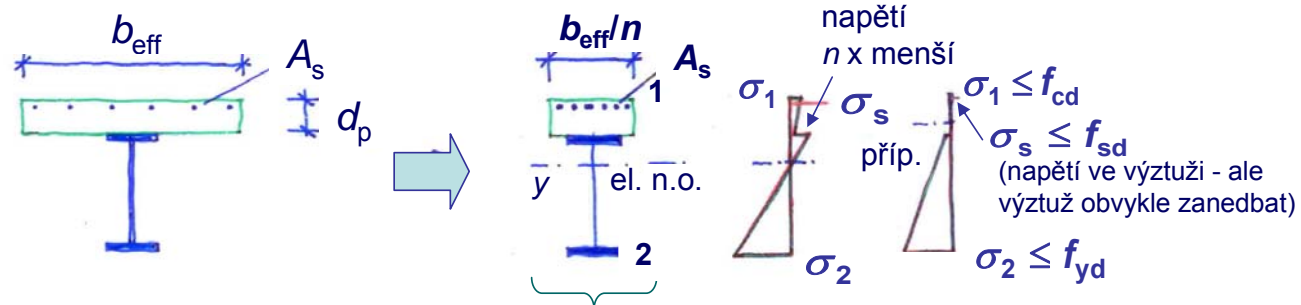
Beton se převádí na ocel pomocí „pracovního součinitele“:

obecně: $n = \frac{E_a}{E_c}$ → "účinný modul pružnosti betonu"
(s vlivem smršťování a dotvarování)

pro pozemní stavby - stropy, střechy (ne pro sklady): $n = \frac{E_a}{E_{cm}/2}$

(sečnový) modul pružnosti betonu
 { jmenovatel je pro krátkodobé zatížení E_{cm}
 pro dlouhodobé zatížení $E_{cm}/3$ }

MSÚ (pružný mezní stav únosnosti)



"ideální průřez" (převod na „ocelový“, pro běžné posouzení)

Stanovit běžným způsobem: $A_i = A_a + A_s + \frac{1}{n}(b_{eff}d_p)$, osu y , ideál. mom. setrvač. I_i

NNK – ocelové konstrukce (9)

7

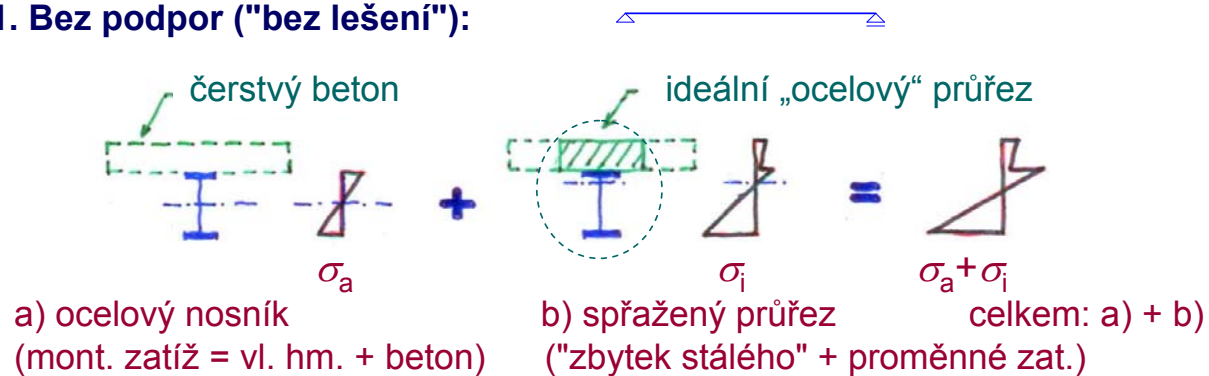
Posudek ideálního průřezu v napětích:

beton: $\sigma_1 = \frac{1}{n} \frac{M_{Ed}}{I_i} z_1 \leq f_{cd}$
 převod zpět na beton

ocel: $\sigma_2 = \frac{M_{Ed}}{I_i} z_2 \leq f_{yd}$
 Pozn.: z rovnosti lze vypočítat též $M_{el,Rd}$

Vliv montáže (projeví se jen u pružných výpočtů, kde se sčítá napětí !!)

1. Bez podpor ("bez lešení"):



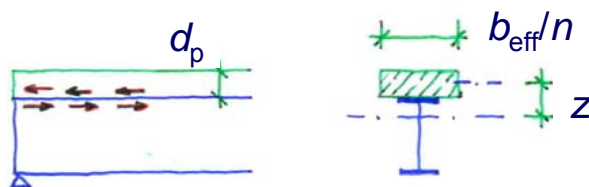
2. S podepřením ("na lešení"):



Spřažení podle teorie pružnosti

(nutné pro výpočty průřezů tř. 3, 4 a pro tzv. "netažné prvky" spřažení)

bloky, děrovaná lišta (nepoddajné)

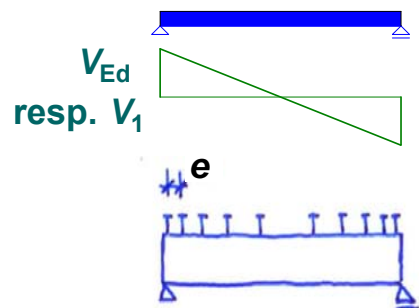


Smykový tok ve spřažení:

$$V_1 = \frac{V_{Ed} S_i}{I_i} \quad \text{tj. má průběh jako } V_{Ed}$$

statický moment připojené plochy: $S_i = \left(\frac{b_{eff}}{n} d_p \right) z$

Příklad:



počet trnů vedle sebe
 $V_1 e = i P_{Rd}$ (únosnost trnů)

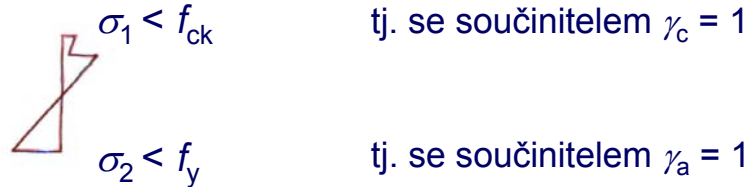
Vzdálenost trnů: $e \leq \frac{i P_{Rd}}{V_1}$ $\left\{ \begin{array}{l} \text{max. vzdál. } e_{max} \\ < 800 \text{ mm} \\ < 6 d_p \end{array} \right\}$

Trny podle průběhu V_{Ed} , ale nepřekročit e_{max} .

MSP: vždy podle teorie pružnosti (pro všechny třídy 1, 2, 3, 4)

1. Uvažovat provozní zatížení: $\gamma_G = \gamma_Q = 1$

2. Pokud je posudek MSÚ plastický, je nutné v MSP zkontrolovat pružný stav (včetně vlivu montáže!!):

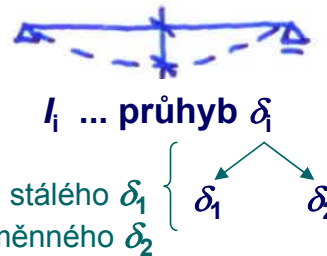


3. Pružný průhyb se stanoví se zohledněním montáže:

a) ocelový průřez:



b) spřažený průřez:



c) celkem:

$$\delta = \delta_a + \delta_i = \delta_{max}$$

Omezení opět pouze:
 stropnice: $\delta_2 \leq L / 250$
 průvlaky: $\delta_2 \leq L / 400$
 kmitání: $f_1 \geq 3 \text{ Hz}$
 tj. $\delta_{max} \leq 28 \text{ mm}$

4. Trhliny v betonu: v oblasti tahu (spojité nosníky) se požaduje minimální výztuž (viz Eurokód).

Spřažené stropy s trapézovými plechy

Plechý kolmo k ose nosníku:

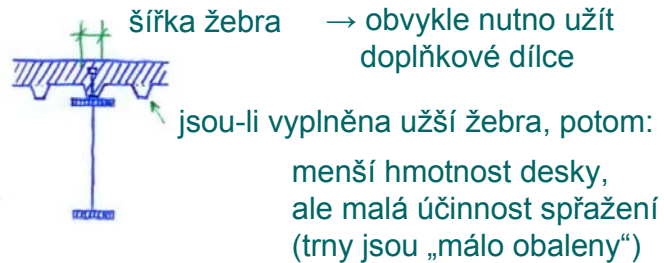


Beton ve vlnách se neuvažuje.

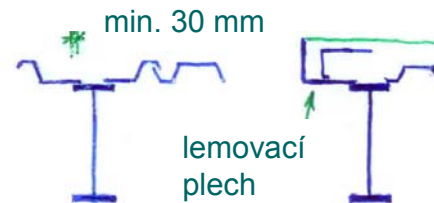
Tloušťka plechu: $t < 1,5 \text{ mm}$

(výjimečně $t < 2 \times 1,0 \text{ mm}$ v překrytí)

Plechý rovnoběžně s nosníkem:

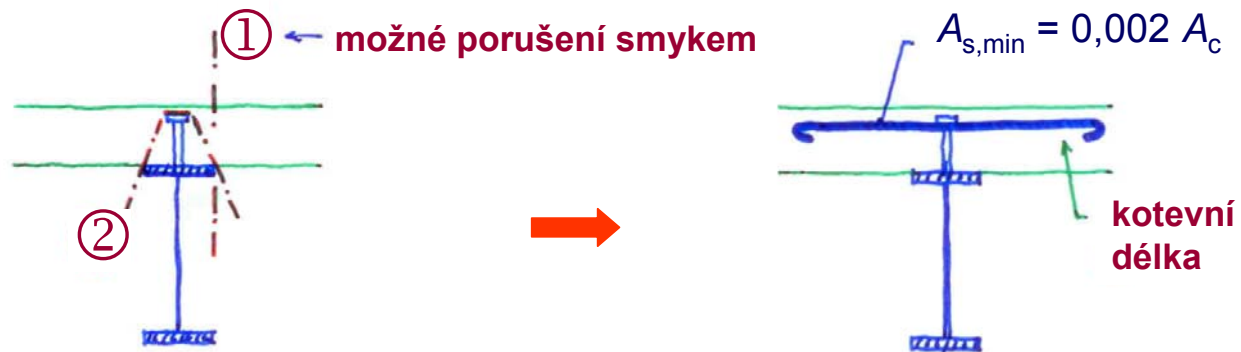


Doplňkové dílce:



Příčná výztuž v betonové desce

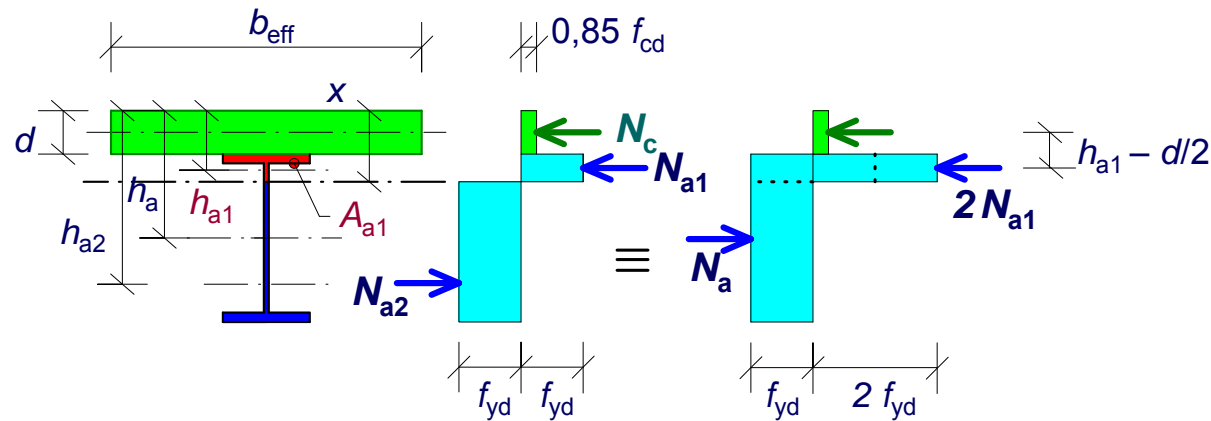
(porušení brání smyková pevnost betonu, příčná výztuž, popř. trapézové plechy)



Vztahy pro posouzení uvádí Eurokód.

Doplňující informace

Pokud při plastickém posouzení spřaženého ohýbaného nosníku vychází neutrální plastická osa do ocelového nosníku, platí (opět při zanedbání výztuže):

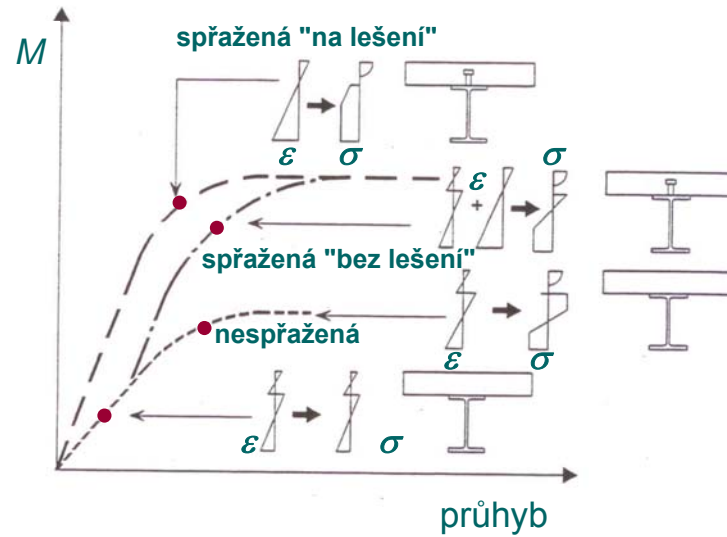


→ pro polohu pl. neutrální osy: $N_{a2} = N_c + N_{a1} \Rightarrow x$

↪ plastický mom. únosnosti: $M_{pl,Rd} = N_{a2}(h_{a2} - d/2) - N_{a1}(h_{a1} - d/2)$
 $= N_a(h_a - d/2) - 2N_{a1}(h_{a1} - d/2)$

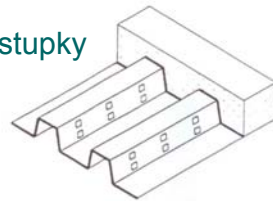
Pozn.: V tomto případě je navržený průřez v proporcích vesměs nevhodný.
 Při výpočtu je nutné stanovit polohu těžiště plochy A_{a1} , nebo postupovat po částech průřezu.

**Chování nespřážené a
spřážené konstrukce při ohybu:**

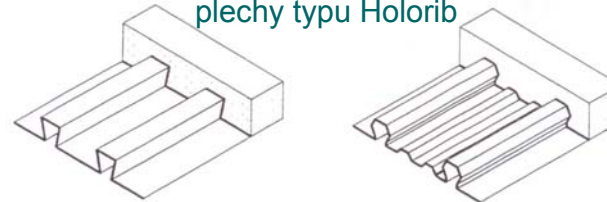


**Spřážené ocelobetonové desky ("plechobetonové desky")
tj. případy, kdy lze počítat s plechem jako výztuží betonové desky:**

1. plechy s výstupky

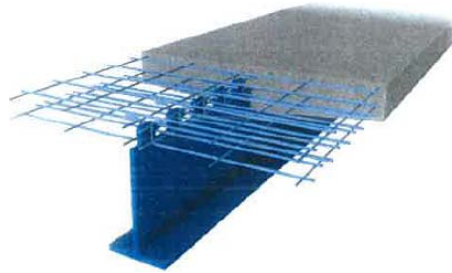


2. samosvorné
plechy typu Holorib



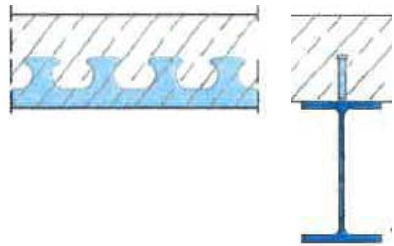
Hřebenové lišty

(podle německé směrnice: Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung der Verbunddübelleiste, No. Z-26.4-56, Deutsches Institut für Bautechnik, Berlin, 2013)

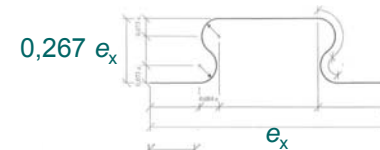


Horní pásnice nosníku může chybět Stojina nosníků může být i betonová (vyztužená třmínky)
Tloušťka lišty $t_w = 6 \div 40$ mm, $t_w/h_d = 0,08 \div 0,5$, $e_x = 150 \div 500$ mm, ocel S235, S355, S460

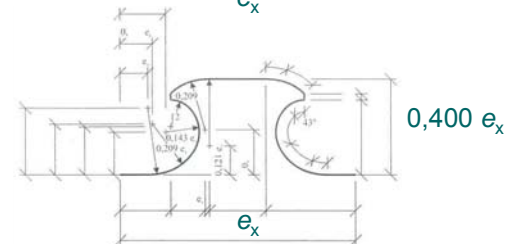
Tvary vykrojení lišty:



Tvar „puzzle“:



Tvar „klotoida“:

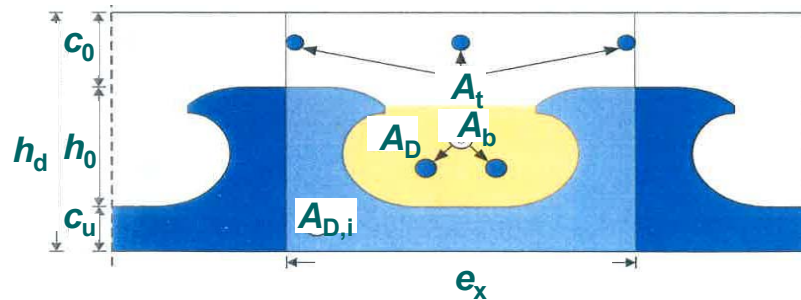


NNK – ocelové konstrukce (9)

17

Únosnost hřebenových lišt (nejnižší hodnota P rozhoduje):

Lze počítat s tažným spřažením, s rovnoměrným rozdělením smykového toku na všechna ramena lišty.



Požadovaná příčná výztuž:

$$A_b = 0,5 P / f_{sd}$$

↓
návrhová pevnost výztuže

Charakteristická únosnost jednoho betonového roubíku ve smyku v [N]:

$$P_{sh,k} = \eta_D \cdot e_x^2 \cdot \sqrt{f_{ck}} \cdot (1 + \rho_D) \quad \text{kde: } \rho_D = \frac{E_s A_b}{E_{cm} A_D} \quad \text{a pro puzzle: } \eta_{D,PZ} = 2 - e_x / 400 \quad A_{D,PZ} = 0,13 e_x^2$$

$$\text{pro klotoidu: } \eta_{D,CL} = 3 - e_x / 180 \quad A_{D,CL} = 0,20 e_x^2$$

Charakteristická únosnost jednoho betonového roubíku pro $e_x < 4,5 h_{po}$ proti vyloupnutí betonu v [N]:

$$P_{po,k} = 90 \cdot h_{po}^{1,5} \cdot \sqrt{f_{ck}} (1 + \rho_{D,i}) \quad \text{kde: } h_{po} = \min(c_0 + 0,07 e_x; c_u + 0,13 e_x) \quad \rho_{D,i} = \frac{E_s A_{sf}}{E_{cm} A_{D,i}} \quad A_{sf} = A_b + A_t$$

Charakteristická únosnost jednoho ocelového ramene:

$$P_{pl,k} = 0,25 \cdot e_x \cdot t_w \cdot f_y$$

Požaduje se příčná výztuž s mezí kluzu f_{sd} v otvorech o velikosti: $A_b = 0,5 P / f_{sd}$

Pro návrhovou únosnost P_d dělit P_k součinitelem $\gamma_v = 1,25$. Pro mosty se použije pružný návrh; pro únavu dává směrnice vztah pro rozkmit napětí v patě lišty a kategorii detailu (KD 125).

Experimenty na FSv ČVUT



Spřažený příhradový nosník

NNK – ocelové konstrukce (9)

19