

## NÁVRH KRÁTKÉ KONZOLY

### GEOMETRIE

Šířka sloupu:	0,400	m	Svislá síla:	300,000	kN	Ložisko délka:	0,170	m
Délka konzoly:	0,300	m	% k vodorovné:	20%	-	Ložisko šířka:	0,230	m
Výška konzoly:	0,450	m	Vodorovná síla:	60,000	kN	Vzd. od hrany:	0,060	m
Šířka konzoly:	0,350	m	excentricita:	0,020	m	H ložiska - Δh:	0,010	m

### MATERIÁLY

#### Beton

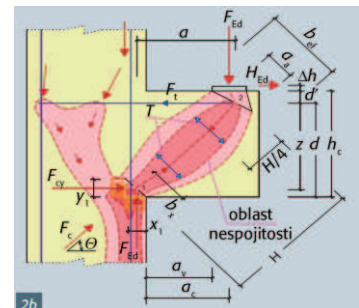
<b>Beton:</b>		<b>C40/50</b>					
char. tlak. pevnost:	$f_{ck} =$	40,000	MPa	návrh. tlak. pevnost:	$f_{cd} =$	26,667	MPa
redukční součinitel:	$\nu' =$	0,840	-	$\nu' = 1 - f_{ck} / 250$			
styčnick CCC:	$\sigma_{Rd,max} =$	22,400	MPa	$\sigma_{Rd,max} = k_1 \nu' \cdot f_{cd}$ ,	$k_1 = 1,0$		
styčnick CCT:	$\sigma_{Rd,max} =$	19,040	MPa	$\sigma_{Rd,max} = k_2 \nu' \cdot f_{cd}$ ,	$k_2 = 0,85$		
vzpěra s trhlinami:	$\sigma_{Rd,max} =$	13,440	MPa	$\sigma_{Rd,max} = 0,6 \cdot \nu' \cdot f_{cd}$			
krytí:	$c_{nom} =$	0,025	m				

#### Ocel

Výztuž B500B	$f_{yk} =$	500,000	MPa	návrh. tah. pevnost:	$f_{yd} =$	434,783	MPa
--------------	------------	---------	-----	----------------------	------------	---------	-----

### NÁVRH

Napětí v betonu pod ložiskem:	$\sigma =$	7,673	MPa	$\tau =$	1,535	MPa
Výztuž od horní hrany konzoly:	$d' =$	0,056	m	$x_1 = F_{Ed} / (b \cdot \sigma_{Rd,max})$		<i>odhad</i>
Šířka tlačené oblasti ve sloupu:	$x_1 =$	0,038	m			<i>tlakový styčnick</i>
Rameno vnější síly:	$a =$	0,207	m	$a = a_c + 0,5x_1 + H_{Ed} / F_{Ed} (d' + \Delta h)$		<i>viz obr</i>
Výška tlačené oblasti y1:	$y_1 =$	0,022	m	$y_1 = d - \sqrt{d^2 - 2x_1 (a + H_{Ed} / F_{Ed} (d' + \Delta h))}$		
Rameno vnitřních sil:	$z =$	0,383	m	$z = d - 0,5y_1$		
Úhel sklonu tl. diagonály:	$\theta =$	61,571	°	$\theta = \arctg(z/a)$		
Vodorovná síla ve výztuži:	$F_t =$	222,409	kN	$F_t = F_{Ed} \frac{a}{z} + H_{Ed}$		
Hlavní tahová výztuž:	$A_{s,req} =$	512	mm <sup>2</sup>	$A_s = F_t / f_{yd}$		
n = 8 ks	$\phi =$	12	mm			



Pro hlavní tahovou výztuž je nutné provést kontrolu zakotvení pod ložiskem. Kotevní délka je možné uvažovat od hranice ložiska do středu smyčky. Je třeba překontrolovat, zda se smyčky aspoň s minimálním průměrem zakřivení vejdou do navržené šířky konzoly. V ohybu smyčky není umístěn příčný prut, nutno ověřit výpočtem.

Síla v jedné větvi smyčky:	$F_{bt} =$	27,801	kN	$F_{bt} = F_t / n$	
Minimální průměr zakřivení:	$\phi_{min} =$	77	mm	$\sigma_{m,min} = \frac{F_{bt}}{f_{cd}} \left( \frac{1}{a_b} + \frac{1}{2\phi} \right)$	$a_b$ - vzd.střednice výztuže od povrchu betonu
X x $\phi =$	6	-	$\phi_{voleno} =$	84	mm

Průměr vhodné navrhnout dle doporučení normy - 4 $\phi$ , nebo 7 $\phi$ . Tyto průměry budou dostupné při ohýbání.

Pro hlavní tahovou výztuž je nutné navrhnout kotevní délku ve sloupu. Uvažujeme špatné podmínky soudržnosti.

### Posouzení tlačené diagonály

Délka tl. diagonály:	H=	0,436	m	$A_{sv} = \beta F_{Ed} / f_{yd}$	$\beta = a_v / d \geq 0,25$
Šířka tl. diagonály:	b <sub>ef</sub> =	0,246	m		
Síla v tlačené diagonále:	F <sub>c</sub> =	341,140	kN	$F_c = F_{Ed} / \sin \theta$	
Napětí v tlačené diagonále:	σ=	5,616	MPa	<	σ <sub>Rd,max</sub> = 13,440 MPa <b>OK</b>

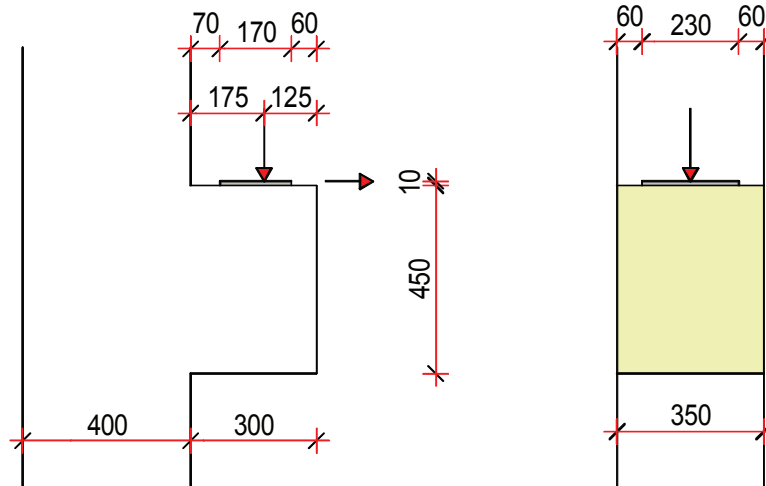
### Návrh svislých a vodorovných třmínků

Ověření zda se jedná o krátkou, či dlouhou konzolu:  $a_c/h_c = 0,389$  - **Krátká konzola**  
Vyztužení podle konstrukčních kritérií:  
min. dva vodorovné třmínky průměru 6-8 mm, plocha třmínků aspoň 25% hlavní tahové výztuže.  
min. tři svislé třmínky průměru 6-8 mm.

Tahová příčná síla:	2*T=	158,464	kN	$prob \leq \frac{H}{2} \Rightarrow T = \frac{1}{4} \frac{b-a}{b} F_c$	
Výztuž ve vodorovném směru:	A <sub>s,req</sub> =	174	mm <sup>2</sup>	$prob > \frac{H}{2} \Rightarrow T = \frac{1}{4} \left( 1 - 0,7 \frac{a}{H} \right) F$	
Výztuž ve svislém směru:	A <sub>s,req</sub> =	321	mm <sup>2</sup>		
min. výztuž ve svislém směru EC2:	A <sub>sv</sub> =	173	mm <sup>2</sup>	$A_{sv} = \beta F_{Ed} / f_{yd}$	$\beta = a_v / d \geq 0,25$

## 1. Příklad návrhu konzoly

Navrhněte výztuž konzoly prefabrikovaného sloupu zatížené  $F_{Ed} = 300$  kN a vodorovnou silou  $H_{Ed} = 0,2 \cdot 300 = 60$  kN. Konzola je betonu třídy C40/50, betonářská výztuž B500B, betonová krycí vrstva 25 mm. Tvar konzoly je definován následujícím obrázkem. Z hlediska výrobních a montážních nepřesností uvažována excentricita v uložení 20 mm.



Příklad konzoly

### MATERIÁLY:

Beton C40/50:  $f_{cd} = 40$  MPa ;  $\alpha_{cc} = 1,0$  ;  $\varepsilon_{cu3} = 3,5$  ‰,  $\eta = 1,0$ ,  $\lambda = 0,8$ ,  
 $\nu' = (1 - f_{ck} / 250) = 0,84$

styčník s tlakovými silami CCC  $\sigma_{Rd,max} = 1,0 \cdot \nu' f_{cd} = 22,4$  MPa

styčník s táhlem CCT  $\sigma_{Rd,max} = 0,85 \cdot \nu' f_{cd} = 19,04$  MPa

betonová vzpěra se vznikem trhlin  $\sigma_{Rd,max} = 0,6 \cdot \nu' f_{cd} = 13,44$  MPa

Výztuž B500B:  $f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500}{1,15} = 435$  MPa;  $\varepsilon_{yd} = \frac{f_{yd}}{E_s} = \frac{435}{200} = 2,175$  ‰

LOŽISKO ESZ Typ 200,  $t=10$  mm

$$\sigma_{cd} = \frac{300}{0,17 \cdot 0,23} = 7,67$$
 MPa

### NÁVRH HLAVNÍ TAHOVÉ VÝZTUŽE

Předpokládáme dvě vrstvy výztuže, těžiště výztuže odhadneme na  $d' = 60$  mm.

Účinná výška průřezu je  $d = h_c - d' = 0,45 - 0,056 = 0,394$  m

Šířka tlačené oblasti  $x_1$  je  $x_1 = \frac{F_{Ed}}{b \cdot \sigma_{Rd,max}} = \frac{0,300}{0,35 \cdot 22,4} = 0,038$  m .

Rameno vnější síly:  $a = a_c + 0,5x_1 + \frac{H_{Ed}}{F_{Ed}} (d' + 0,01) = 0,175 + 0,019 + 0,2 \cdot 0,066 = 0,207$  m .

Výška tlačené oblasti  $y_1$

$$y_1 = 0,394 - \sqrt{0,394^2 - 2 \cdot 0,038(0,207 + 0,2(0,066))} = 0,022$$
 m ,

Rameno vnitřních sil:  $z = d - 0,5y_1 = 0,394 - 0,022 / 2 = 0,383m$

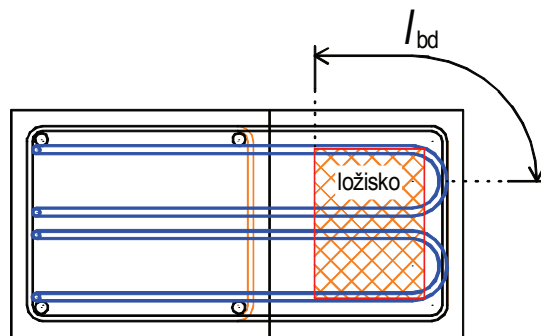
Úhel sklonu tlačené diagonály je:  $\cot \theta = a / z = 0,207 / 0,383 = 0,541 \rightarrow \theta = 61,6^\circ$

Vodorovná tahová síla:  $F_t = F_{Ed} \cdot \frac{a}{z} + H_{Ed} = 300 \cdot 0,541 + 60 = 222,4kN$

Hlavní tahová výztuž při horním líci konzoly je  $A_s = \frac{222400}{435} = 512mm^2$

Navrhne dvě smyčky  $\phi 12$  mm ve dvou vrstvách (celkem 8 profilů)

$$A_s = 905mm^2$$



Zakotvení v uzlu 2, rozhodující výztuž ve formě dvou smyček o průřezu  $\phi 12$  mm

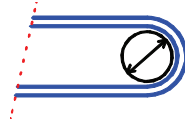
Základní kotevní délka výztužného prutu je  $l_{b,rqd} = \frac{\phi \cdot \sigma_{sd}}{4 \cdot f_{bd}} = \frac{12 \cdot 435 \cdot (512/905)}{4 \cdot 3,68} = 201mm$

Návrhová kotevní délka výztužných prutů  $\phi 12$  mm je

$$l_{bd} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot l_{b,rqd} = 0,7 \cdot 201 = 141mm > l_{b,min}$$

kde je  $l_{b,min}$  je minimální kotevní délka  $l_{b,min} \geq \max [ 0,3 \cdot l_{b,rqd}; 10 \cdot \phi; 100 \text{ mm} ]$

Pro smyčku je třeba překontrolovat minimální vnitřní průměr zakřivení prutu podle [1]

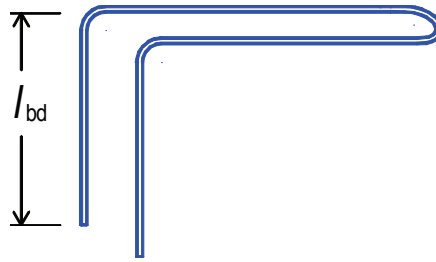


V jedné větvi smyčky je tah  $F_{bt} = 0,000113 \cdot 435000 \cdot \frac{512}{905} = 27,8kN$

$$\phi_{m,min} = \frac{F_{bt}}{f_{cd}} \cdot \left( \frac{1}{a_b} + \frac{1}{2\phi} \right) = \frac{27,8}{26,7} \left( \frac{1}{0,039} + \frac{1}{0,024} \right) = 70mm$$

kde  $a_b$  je vzdálenost osy prutu od líce prvku  $25+8+6=39$

Poloměr zakřivení smyčky z profilu  $\phi 12$  mm navrhne 84 mm ( $7\phi$ ). Kotevní délka prutu od kraje styčné desky je délka osy čtvrtiny kruhu 75 mm a rovné části pod styčnou deskou 170 mm - celkem 245 mm, zakotvení výztužné smyčky vyhovuje. Jako hlavní tahovou výztuž navrhne dvě smyčky z průměru 12 mm nad sebou.



Zakotvení hlavní tahové výztuže za vnitřním styčným ve sloupu (uvažujeme špatné podmínky soudržnosti)

$$l_{b,rqd} = \frac{\phi \cdot \sigma_{sd}}{4 \cdot f_{bd}} = \frac{12.435 \cdot (512 / 905)}{4 \cdot 2,63} = 280 \text{ mm}$$

Posouzení tlačené betonové diagonály

V tlačené diagonále je síla  $F_c = F_{Ed} / \sin \theta = \frac{300}{\sin \theta} = 341 \text{ kN}$ , délka diagonály je 436 mm.

Šířka diagonály je 0,246 m. Průřez tlačené diagonály 0,0861 m<sup>2</sup>. V tlačené diagonále je napětí  $0,341 / (0,246 \cdot 0,35) = 3,96 \leq 0,6 \cdot \nu' f_{cd} = 13,44 \text{ MPa}$  Napětí v tlačené diagonále vyhovuje.

#### NÁVRH SVISLÉ A VODOROVNÉ VÝZTUŽE

Pro návrh vodorovné a svislé výztuže se vychází ze sklonu tlačené diagonály nebo z poměru vyložení konzoly k její výšce. Podle EC2 [1] je kritérium pro krátkou konzolu  $a_c / h_c = 0,175 / 0,45 = 0,389 \leq 0,5$ , jedná se o **krátkou konzolu**.

Vyztužení podle konstrukčních kritérií:

- Minimálně dva vodorovné třmínky o průměru 6 až 8 mm, plocha třmínků u krátkých konzol by měla být nejméně 25% hlavní tahové výztuže. Tedy  $A_{swh} = 0,25 \cdot 905 = 227 \text{ mm}^2$  ... návrh 4 třmínky  $\phi 6 = 226 \text{ mm}^2$ ;
- Minimálně tři svislé třmínky o průměru 6 až 8 mm, konstrukčně 3 třmínky 8 mm;

Přesnější určení vodorovné a svislé výztuže podle metody hlavní diagonály - vztuž pro zachycení příčných tahů vznikajících v betonové vyzpěře:

V tlačené diagonále je síla  $F_c = 341 \text{ kN}$ , délka diagonály je 436 mm. Příčný tah v tlačené diagonále při použití zjednodušení je:

$$T = 2 \cdot 0,22 \cdot 341 = 150 \text{ kN}$$

Příčný tah je nutno rozložit do svislého a vodorovného směru. Plocha svislé výztuže je:

$$A_{svv} = \frac{150000 \cdot \sin 61,6^\circ}{435} = 303 \text{ mm}^2$$

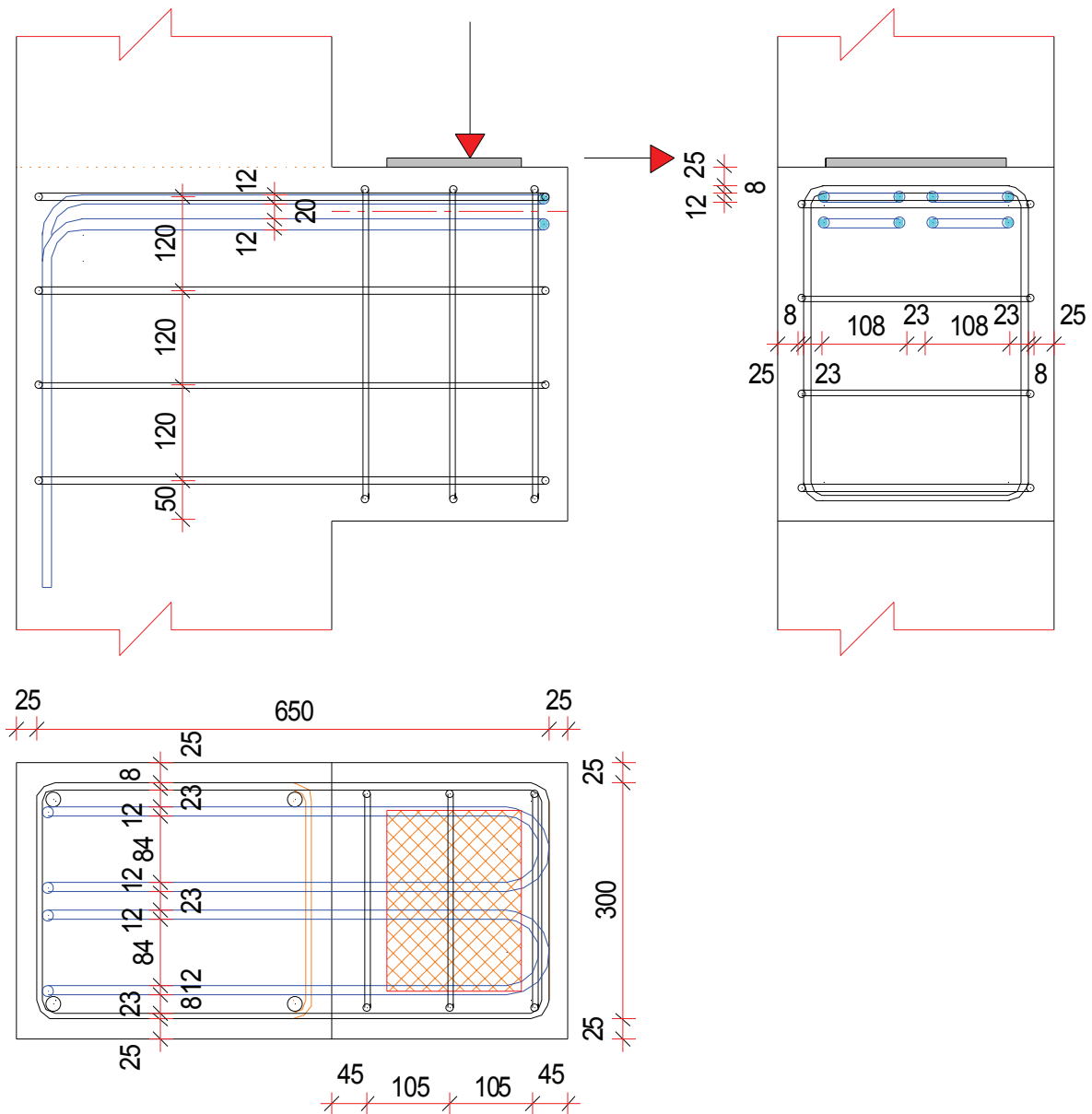
Plocha vodorovné výztuže  $A_{swh} = \frac{150000 \cdot \cos 61,6^\circ}{435} = 164 \text{ mm}^2$

Výše navržená výztuže vyhovuje.

Napětí v betonu pod ložiskem

$$\sigma = 0,300 / (0,18 \cdot 0,20) = 8,33 \text{ MPa} \quad \text{a} \quad \tau = 0,060 / (0,18 \cdot 0,20) = 1,67 \text{ MPa}$$

Napětí pod ložiskem vyhovuje.



Vyztužení konzoly 1

## Příklad 2 návrhu konzoly

Navrhněte výztuž konzoly prefabrikovaného sloupu zatížené  $F_{Ed} = 500$  kN a vodorovnou silou  $H_{Ed} = 100$  kN. Konzola je z tonu třídy C50/60, betonářská výztuž B500B, betonové krytí 25 mm (třmínků). Montážní a výrobní tolerance je uvažována hodnotou 20 mm.

MATERIÁLY:

Beton C50/60:  $f_{cd} = 33,3$  MPa ;  $\alpha_{cc} = 1,0$  ;  $\varepsilon_{cu3} = 3,5$  ‰,  $\eta = 1,0$ ,  $\lambda = 0,8$ ,  
 $\nu' = (1 - f_{ck} / 250) = 0,8$

styčnick s tlakovými silami CCC  $\sigma_{Rd,max} = 1,0 \cdot \nu' f_{cd} = 26,7$  MPa

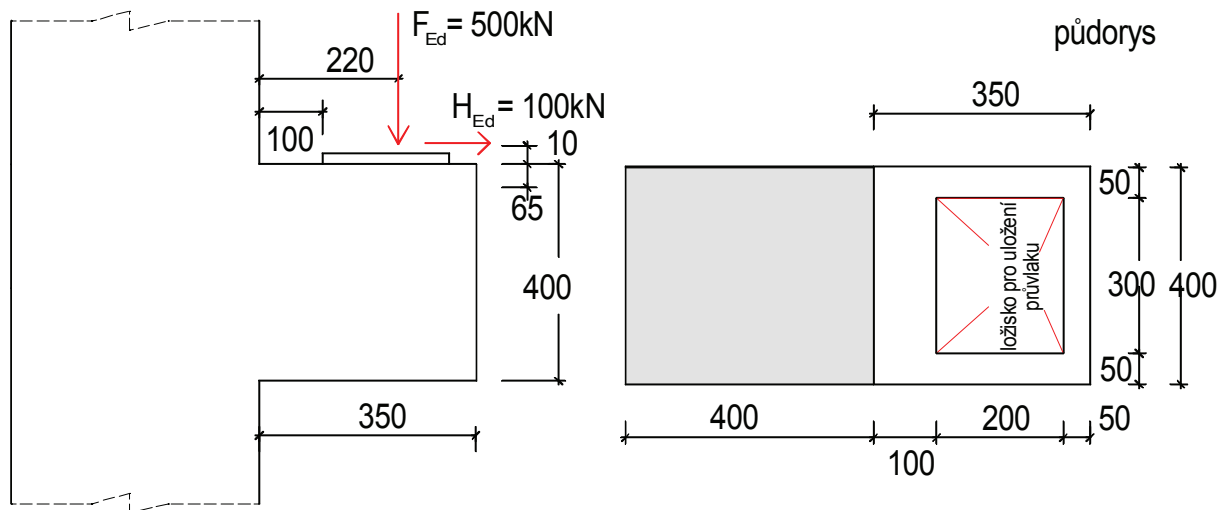
styčník s táhlem CCT  $\sigma_{Rd,max} = 0,85 \cdot v' f_{cd} = 22,7 MPa$

betonová vzpěra se vznikem trhlin  $\sigma_{Rd,max} = 0,6 \cdot v' f_{cd} = 16,0 MPa$

Výztuž B500B:  $f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500}{1,15} = 435 MPa$ ;  $\varepsilon_{yd} = \frac{f_{yd}}{E_s} = \frac{435}{200} = 2,175 \text{ ‰}$

LOŽISKO ESZ Typ 200, t=10 mm

$$\sigma_{cd} = \frac{500}{0,20 \cdot 0,30} = 8,33 MPa$$



Příklad konzoly 2

## NÁVRH HLAVNÍ TAHOVÉ VÝZTUŽE

Předpokládáme dvě vrstvy výztuže, těžiště výztuže odhadneme na  $d' = 65 \text{ mm}$

Účinná výška průřezu je  $d = h_c - d' = 0,40 - 0,06 = 0,34 \text{ m}$

Šířka tlačené oblasti  $x_1$  je  $x_1 = \frac{F_{Ed}}{b \cdot \sigma_{Rd,max}} = \frac{0,5}{0,4 \cdot 24,6} = 0,047 \text{ m}$ .

Rameno vnější síly:  $a = a_c + 0,5x_1 + \frac{H_{Ed}}{F_{Ed}}(d' + 0,01) = 0,22 + 0,0235 + 0,2 \cdot 0,07 = 0,258 \text{ m}$ .

Výška tlačené oblasti  $y_1$

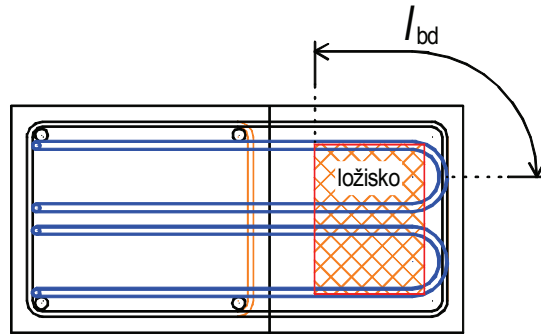
$$y_1 = 0,34 - \sqrt{0,34^2 - 2 \cdot 0,047(0,258 + 0,2(0,07))} = 0,04 \text{ m}$$

Rameno vnitřních sil:  $z = d - 0,5y_1 = 0,34 - 0,04/2 = 0,32 \text{ m}$

Úhel sklonu tlačené diagonály je:  $\cot \theta = a/z = 0,258/0,32 = 0,802 \rightarrow \theta = 51,3^\circ$ .

Vodorovná tahová síla:  $F_t = F_{Ed} \cdot \frac{a}{z} + H_{Ed} = 500 \cdot 0,802 + 100 = 501,2 \text{ kN}$

Hlavní tahová výztuž při horním líci konzoly je  $A_s = \frac{501200}{435} = 1153 \text{ mm}^2$ .



Navrhujeme čtyři smyčky  $\phi 16$  mm  $A_s = 1608 \text{ mm}^2$

Zakotvení v uzlu 2

Základní kotevní délka výztužného prutu je  $l_{b,rqd} = \frac{\phi \cdot \sigma_{sd}}{4 \cdot f_{bd}} = \frac{16.435 \cdot 1153 / 1608}{4.4,26} = 292 \text{ mm}$

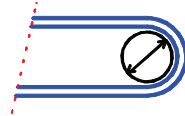
Návrhová kotevní délka výztužných prutů  $\phi 14$  mm je

$$l_{bd} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot l_{b,rqd} = 0,7 \cdot 292 = 205 \text{ mm} > l_{b,\min}$$

kde je  $l_{b,\min}$  je minimální kotevní délka  $l_{b,\min} \geq \max [ 0,3 \cdot l_{b,rqd}; 10 \cdot \phi; 100 \text{ mm} ]$

Pro smyčku je třeba překontrolovat minimální vnitřní průměr zakřivení prutu

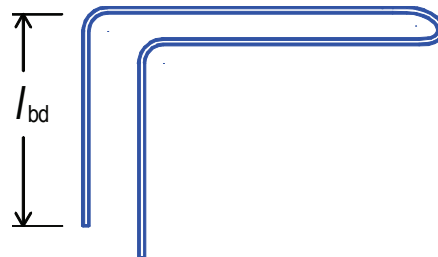
V jedné větvi smyčky je tah  $F_{bd} = 0,000201 \cdot 435000 \cdot 1153 / 1608 = 62,7 \text{ kN}$



$$\phi_{m,\min} = \frac{F_{bt}}{f_{cd}} \cdot \left( \frac{1}{a_b} + \frac{1}{2\phi} \right) = \frac{62,7}{33,3} \left( \frac{1}{0,041} + \frac{1}{0,032} \right) = 105 \text{ mm}$$

kde  $a_b$  je vzdálenost osy prutu od líce prvku  $25+8+8=41$  mm

Poloměr zakřivení smyčky z profilu  $\phi 14$  mm navrhujeme  $7d_s = 112$  mm. Kotevní délka prutu od kraje styčné desky je délka osy čtvrtiny kruhu výztuže  $101+136=237$  mm, zakotvení výztužné smyčky vyhovuje



Zakotvení hlavní tahové výztuže za vnitřním styčником ve sloupu (uvažujeme špatné podmínky soudržnosti)

$$l_{b,rqd} = \frac{\phi \cdot \sigma_{sd}}{4 \cdot f_{bd}} = \frac{16.435 \cdot (1153 / 1608)}{4.3,05} = 409 \text{ mm}$$

V tlačené diagonále je síla  $F_c = F_{Ed} / \sin \theta = \frac{500}{\sin \theta} = 641,1 \text{ kN}$ , délka diagonály je 411 mm.

Šířka diagonály je 0,245 m. Průřez tlačené diagonály  $0,098 \text{ m}^2$ . V tlačené diagonále je napětí



$0,641/(0,245 \cdot 0,4) = 6,54 \leq 0,6 \cdot v' f_{cd} = 16,0 \text{ MPa}$  Napětí v tlačené diagonále vyhovuje.

### NÁVRH SVISLÉ A VODOROVNÉ VÝZTUŽE

Pro návrh vodorovné a svislé výztuže se vychází ze sklonu tlačené diagonály nebo z poměru vyložení konzoly k její výšce. Podle sklonu tlačené diagonály  $a/z = \cot \theta \geq 0,5$  se jedná o **konzolu dlouhou**. Podle EC2 [1] není kritérium pro krátkou konzolu rovněž splněno  $a_c/h_c = 0,22/0,40 = 0,55 \geq 0,5$ .

Vyztužení podle konstrukčních kritérií:

- minimálně dva vodorovné třmínky o průměru 6 až 8 mm;
- minimálně tři svislé třmínky o průměru 6 až 8 mm, u dlouhých konzol by měly svislé třmínky přenést minimálně sílu  $0,5F_{Ed}$ . Tedy  $A_{swv} = 0,5 \cdot 500000 / 435 = 575 \text{ mm}^2 \dots$   
návrh 4 třmínků  $\phi 10 = 628 \text{ mm}^2$

Přesnější vyjádření podle metody hlavní diagonály:

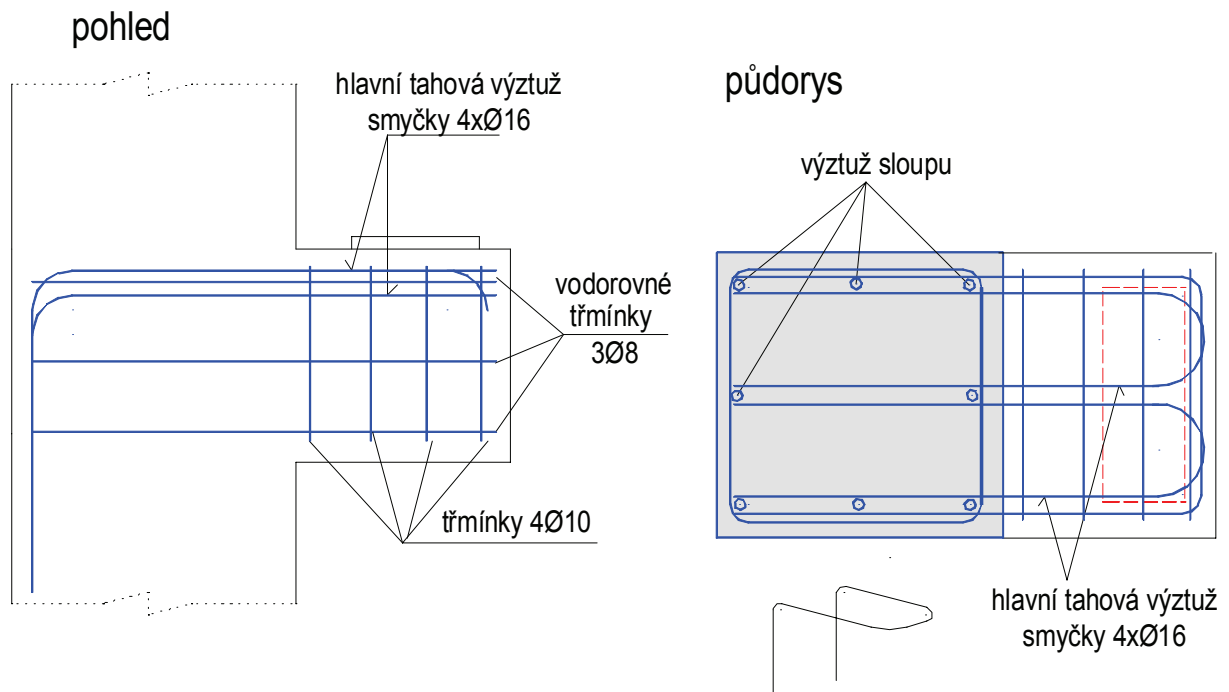
V tlačené diagonále je síla  $F_c = 641,1 \text{ kN}$ , délka diagonály je 411 mm. Příčný tah v tlačené diagonále při použití zjednodušení je:

$$T = 2 \cdot 0,22 \cdot 641,1 = 282 \text{ kN}$$

Příčný tah je nutno rozložit do svislého a vodorovného směru. Plocha svislé výztuže je:

$$A_{swv} = \frac{282000 \cdot \sin 51,3^\circ}{435} = 506 \text{ mm}^2$$

Plocha vodorovné výztuže  $A_{swh} = \frac{282000 \cdot \cos 51,3^\circ}{435} = 405 \text{ mm}^2$



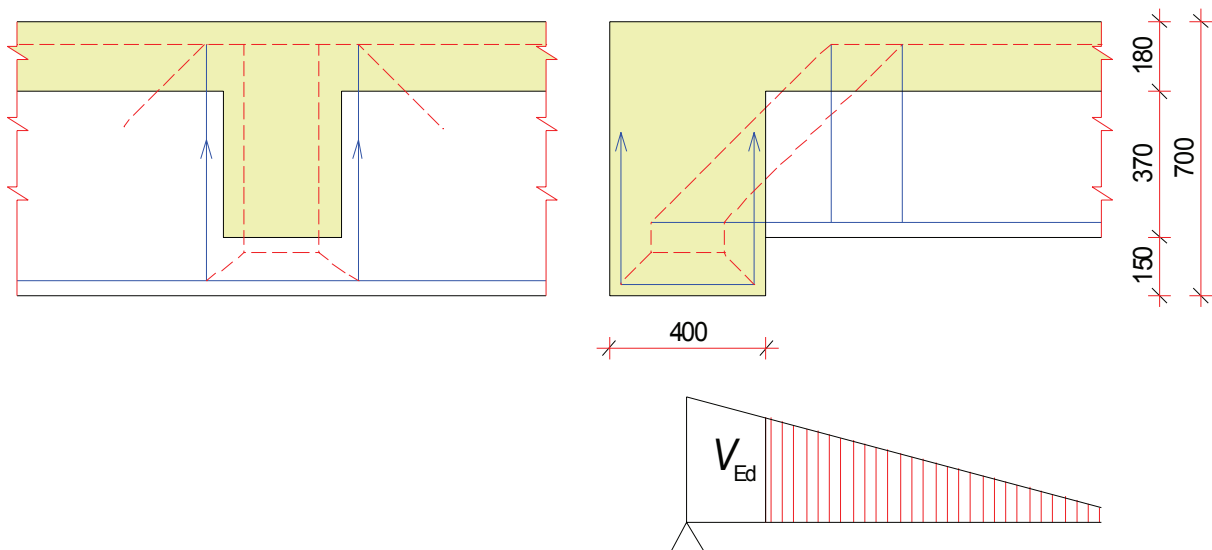
Vyztužení konzoly

Napětí pod ložiskem

$$\sigma = 0,500 / (0,20 \cdot 0,30) = 8,33 \text{ MPa} \text{ a } \tau = 0,10 / (0,20 \cdot 0,30) = 1,67 \text{ MPa}$$

Napětí pod ložiskem vyhovuje

## Nepřímé uložení trámu



### MATERIÁLY:

Beton C35/45:  $f_{cd} = 23,3 \text{ MPa}$  ;  $\alpha_{cc} = 1,0$  ;  $\varepsilon_{cu3} = 3,5 \text{ ‰}$ ,  $\eta = 1,0$ ,  $\lambda = 0,8$ ,  
 $\nu' = (1 - f_{ck} / 250) = 0,8$

styčník s táhlem CCT  $\sigma_{Rd,max} = 0,85 \cdot \nu' f_{cd} = 22,7 \text{ MPa}$

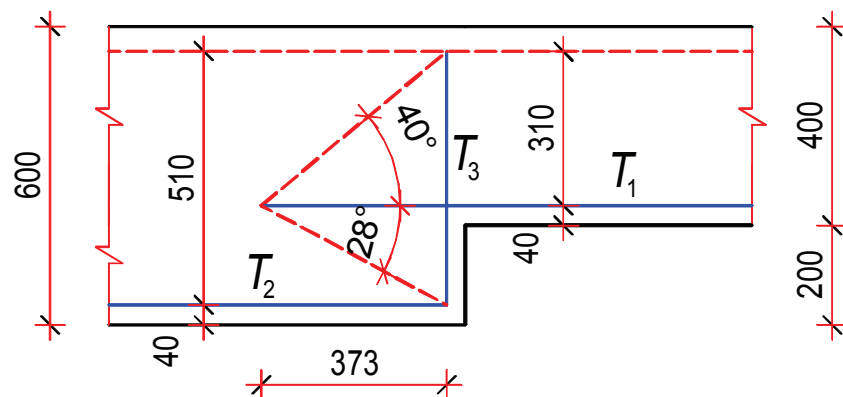
Výztuž B500B:  $f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500}{1,15} = 435 \text{ MPa}$ ;  $\varepsilon_{yd} = \frac{f_{yd}}{E_s} = \frac{435}{200} = 2,175 \text{ ‰}$

Rozhodující reakce z nepřímo uloženého trámu je 100 kN

Třmínky pro vynesení reakce 100 kN ....  $A_s = 100000 / 435 = 229,9 \text{ mm}^2$

Navrženy dva dvoustřížné třmínky o průměru 10 ( $314 \text{ mm}^2$ ) po obou stranách stropního trámu. Třmínky musí být navíc k třmínkové výztuži průvlaku.

## Změna průřezu



### MATERIÁLY:

Beton C35/45:  $f_{cd} = 23,3 \text{ MPa}$  ;  $\alpha_{cc} = 1,0$  ;  $\varepsilon_{cu3} = 3,5 \text{ ‰}$ ,  $\eta = 1,0$ ,  $\lambda = 0,8$ ,  
 $\nu' = (1 - f_{ck} / 250) = 0,8$

styčník s táklem CCT  $\sigma_{Rd,max} = 0,85 \cdot v' f_{cd} = 22,7 MPa$

$$\text{Výztuž B500B: } f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500}{1,15} = 435 \text{ MPa; } \varepsilon_{yd} = \frac{f_{yd}}{E_s} = \frac{435}{200} = 2,175 \text{ ‰}$$

Ramena vnitřních sil dle obrázku, vzdálenost  $z_3$  – styčník 3

$$z_3 = 1,5 \sqrt{(z_1 \cdot (z_2 - z_1))} = 1,5 \cdot \sqrt{0,31 \cdot 0,2} = 0,373$$

Rozhodující vnitřní síla – ohybový moment v místě změny průřezu

$$M_{Ed} = 200 \text{ kNm}$$

$$T_1 = 300 / 0,31 = 967,7 \text{ kN}, \quad T_2 = 300 / 0,51 = 588,3 \text{ kN}$$

Táhlo u líce změny průřezu

$$T_3 = T_1 \frac{z_1(z_2 - z_1)}{z_2 \cdot z_3} = 967,7 \cdot \frac{0,31 \cdot 0,2}{0,51 \cdot 0,373} = 316,4 \text{ kN}$$

Návrh výztuže táhla ve formě třmínků

$A_s = 316400 / 435 = 727,4 \text{ mm}^2 \dots \rightarrow 4x2\phi 12$  - navíc 4 třmínky o průměru 12 mm při líce změny průřezu.

Výztuž táhla  $T_1$  je  $A_s = 967700 / 435 = 2224,6 \text{ mm}^2 \dots \rightarrow 4\phi 25$  ( $1963 \text{ mm}^2$ )

Výztuž táhla  $T_2$  je  $A_s = 588300 / 435 = 1352,2 \text{ mm}^2 \dots \rightarrow 5\phi 20$  ( $1571 \text{ mm}^2$ ), vzhledem ke komplikovanějšímu zakotvení volíme menší průřez prutů výztuže.

Táhlo  $T_1$  je nutné kotvit za styčníkem 3 v délce  $l_{bd}$

$$l_{b,rqd} = \frac{\phi \cdot \sigma_{sd}}{4 f_{bd}} = \frac{25 \cdot 435 \cdot (1604 / 1963)}{4 \cdot 3,3} = 673 \text{ mm}, \text{ minimální délka táhla } T_1 \text{ od líce změny}$$

průřezu je 1100mm.

Táhlo  $T_2$  je nutné kotvit za styčníkem 2 v délce  $l_{bd}$ , prut se vyhne k hornímu líci, vzhledem ke kotvení při horním líci se uvažují špatné podmínky soudržnosti.

$$l_{b,rqd} = \frac{\phi \cdot \sigma_{sd}}{4 f_{bd}} = \frac{20 \cdot 435 \cdot (1352 / 1571)}{4 \cdot 2,31} = 1215 \text{ mm},$$