

# VYZTUŽOVÁNÍ PORUCHOVÝCH OBLASTÍ ŽELEZOBETONOVÉ KONSTRUKCE: NÁVRH KONSTRUKČNÍHO PRVKU KRÁTKÉ KONZOLY METODOU PŘÍHRADOVÉ ANALOGIE



ČESKÉ  
VYSOKÉ  
UČENÍ  
TECHNICKÉ  
V PRAZE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,  
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Projekt: Vyztužování poruchových oblastí železobetonové konstrukce

Dílčí část: Návrh konstrukčního prvku krátké konzoly

Vypracoval: Ing. Josef Fládr, Ph.D. a kolektiv

ČVUT v Praze, Fakulta stavební

Katedra betonových a zděných konstrukcí

Thákurova 7, Praha 6 - Dejvice

Podpora: Ministerstvo školství, mládeže a tělovýchovy České republiky

Karmelitská 529/5, 118 12 Praha 1

Datum: 2017



## Obsah

Obsah .....	- 1 -
1 Úvod .....	- 2 -
2 Návrh výztuže krátké konzoly pomocí příhradové analogie .....	- 3 -
2.1 Zadání .....	- 3 -
2.1.1 Geometrie .....	- 3 -
2.1.2 Schéma příhradového modelu .....	- 4 -
2.1.3 Vlastnosti materiálu .....	- 5 -
2.2 Popis jednotlivých styčnic .....	- 5 -
2.3 Návrh vodorovné výztuže .....	- 6 -
2.4 Návrh vodorovné výztuže .....	- 7 -
2.5 Návrh svislé výztuže .....	- 8 -
2.6 Schéma výztuže .....	- 10 -
3 Návrh výztuže rámového rohu pomocí příhradové analogie .....	- 10 -
3.1 Zadání .....	- 10 -
3.1.1 Geometrie .....	- 11 -
3.1.2 Schéma příhradového modelu .....	- 11 -
3.1.3 Vlastnosti materiálu .....	- 15 -
3.2 Návrh výztuže sloupu .....	- 15 -
3.2.1 Ověření únosností betonu ve sloupu .....	- 15 -
3.3 Návrh výztuže trámy .....	- 16 -
3.3.1 Kotevní délka .....	- 17 -
3.4 Schéma výztuže .....	- 18 -
4 Literatura .....	- 19 -



## 1 Úvod

Postup návrhu výztuže pro krátkou konzolu a styčník rámového rohu v železobetonových prvcích se provádí v těchto krocích:

- 1) Nejprve je nutné stanovit zatížení na spoj dvou prvků, toto zatížení většinou vychází z globálního výpočtu celé konstrukce. Před posouzením spoje je nutné dobře znát geometrii konstrukce, protože o rozdělení napětí na jednotlivé prvky spoje rozhoduje poměr jejich vzájemné tuhosti. V následujících komentovaných příkladech je zatížení na spoj součástí zadání.
- 2) Podle typu spoje je nutné sestavit správný příhradový model. Čtenářům tohoto textu doporučuji si vhodný model najít v odborných publikacích, než se pokoušet sestavovat model vlastní. Pokud by si čtenář chtěl přesto sestavit model vlastní, je nutné dodržet následující pravidla:
  - Vycházet z lineární pružného stavu – modelové tlačené pruty orientovat pokud možno ve směru hlavních tlakových napětí, směr a umístění tlačných a tažených prutů by měly odpovídat v  $\pm 15^\circ$  pomyslným výslednicím trajektorií hlavních napětí dle pružného řešení.
  - Vzpěry jsou obvykle rovnoběžné s očekávaným směrem trhlin vyvozených vznikajícími příčnými tahovými silami v betonové části průřezu.
  - Pokud jsou známé příklady porušení podobných typů konstrukcí, je vhodné použít obdobnou polohu a směr tlačných vzpěr při uvažování zásady, že diagonální vzpěry jsou rovnoběžné s trhlínami. Vzpěry nesmí nikdy kolmo křížit hlavní trhliny.
  - Pro sestavení geometrie příhradového modelu uvažovat osy vzpěr a výztužných táhel, při tom je nutno uvažovat skutečnou šířku vzpěr, táhel a uzlů, přičemž tyto rozměry jsou také závislé na velikosti podpor a ploch pro vnesení zatížení.
  - Tažené pruty uvažovat podle skutečného způsobu vyztužení, pro výztuž volit raději přímé pruty.
  - Vzpěry se nesmějí křížit – pokud by se vzpěry křížily, došlo by k jejich přetížení.
  - Táhla se mohou křížit se vzpěrami a jinými táhly, ve vzpěrách ale musí být zohledněna změna napětí, které převezme táhlo.
  - Úhly, které svírají tlačené a tažené pruty v jednom uzlu, volit blízké  $45^\circ$ , nejmenší dovolený sklon vzpěry a táhla je  $25^\circ$ .
  - Soustředěná zatížení, jako jsou osamělá břemena, podporové reakce a kotevní síly působící na okraji nebo v rohu konstrukce pokud možno rozložit na větší plochu – zpřesnění modelu.
- 3) Vyřešení vnitřních sil v příhradovém modelu.
- 4) Zvolit plochy betonářské výztuže odpovídající poloze táhla a zajistit řádné zakotvení.
- 5) Posouzení velikosti vzpěr a uzlů tak, aby jejich únosnost byla dostatečná k přenesení sil v jednotlivých prutech.
- 6) Navržení uspořádání výztuže do prutů v místě každého táhla tak, aby byla zajištěna duktilita prvků a byly dodrženy konstrukční zásady.

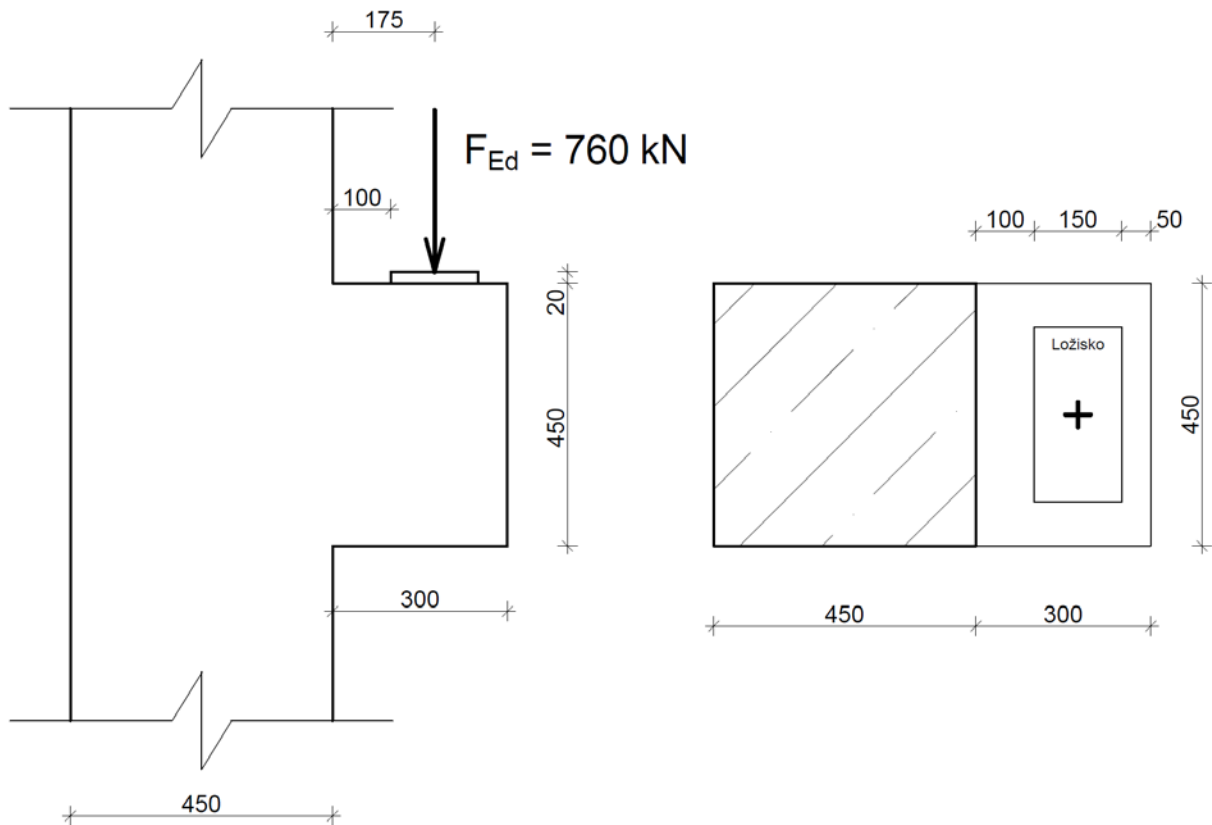


## 2 Návrh výztuže krátké konzoly pomocí příhradové analogie

### 2.1 Zadání

Statický návrh krátké konzoly prefabrikovaného sloupu o rozměrech 450 x 450 s geometrií konzoly podle následujícího obrázku. Konzola je zatížena svislou silou  $F_{Ed} = 760 \text{ kN}$ , která je roznášena pomocí ložiska o rozměrech 150 x 350 mm. Konzola je z betonu pevnostní třídy C 40/50, krytí výztuže je 25 mm. Výztuž je pevnostní třídy B500B.

#### 2.1.1 Geometrie



Obr. 1 Sloup s krátkou konzolou

Podle doporučení normy ČSN EN 1992-1-1 Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí - Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby rozšíříme zatížení na konzolu o vodorovnou sílu

$$H_{Ed} = 0,2 \cdot F_{Ed} = 0,2 \cdot 760 = 152 \text{ kN} .$$

Výpočet krátké konzoly platí jen pro případ, kdy je hrana ložiska od líce sloupu (v našem případě 100 mm) menší než  $a_v \leq 0,5 \cdot d$ . V našem případě je podmínka splněna.

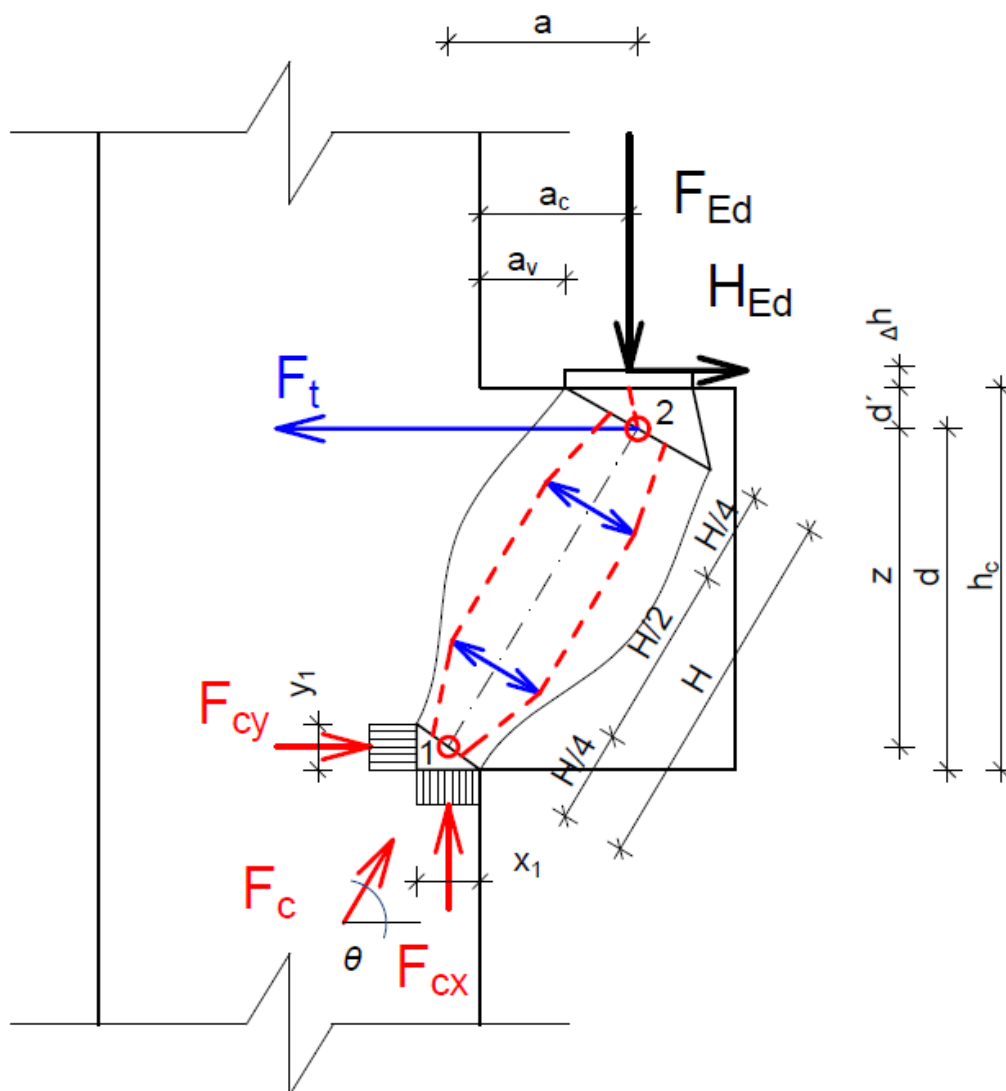
$$a_v = 100 \text{ mm}$$

$$a_v \leq 0,5 \cdot d = 0,5 \cdot (450 - 70) = 190 \text{ mm}$$

$$100 \text{ mm} \leq 190 \text{ mm}$$



### 2.1.2 Schéma příhradového modelu



Obr. 2 Příhradový model (červená – tlak / modrá - tah)

## 2.1.3 Vlastnosti materiálů

### 2.1.3.1 Beton C40/50

$$f_{cd} = \frac{1 \cdot 40}{1,5} = 26,67 \text{ MPa}$$

$$\nu = 1 - \frac{f_{ck}}{250} = 1 - \frac{40}{250} = 0,84$$

### 2.1.3.2 Ocel B500B

$$f_{yd} = \frac{500}{1,15} = 434,8 \text{ MPa}$$

## 2.2 Popis jednotlivých styčnicků

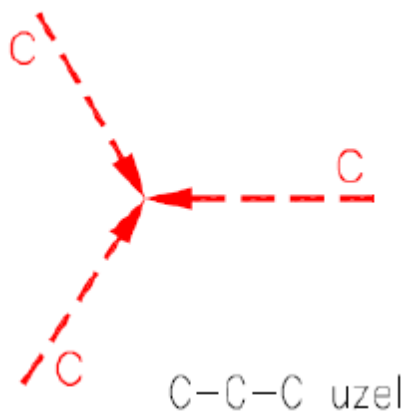
Styčnick 1 je typu C-C-C, tedy místo, kde se stýkají tři tlakové diagonály, v tomto typu styčnicku se maximální napětí vypočítá podle následujícího vztahu:

$$\sigma_{Rd,max} = k_1 \cdot \nu \cdot f_{cd}$$

kde:

$$k_1 = 1,0$$

$$\nu = 1 - \frac{f_{ck}}{250}$$



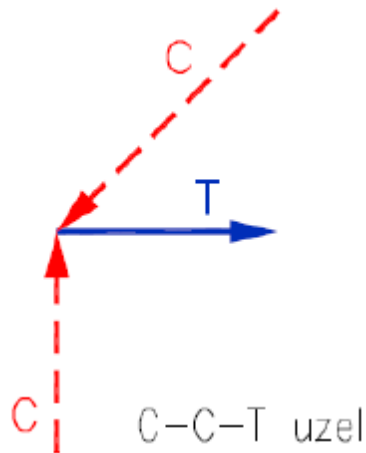
Styčnick 2 je typu C-C-T, tedy místo, kde se stýkají dvě tlakové diagonály a jedna tahová, v tomto typu styčnicku se maximální napětí vypočítá podle následujícího vztahu:

$$\sigma_{Rd,max} = k_1 \cdot \nu \cdot f_{cd}$$

kde:

$$k_1 = 0,85$$

$$\nu = 1 - \frac{f_{ck}}{250}$$



V našem případě se maximální tlakové napětí vypočítá následujícím způsobem:

$$\text{Styčnick 1 (C-C-C)} \quad k_1 = 1,0 \Rightarrow \sigma_{Rd,max} = 1,0 \cdot 0,84 \cdot 26,67 = 22,40 \text{ MPa}$$

$$\text{Styčnick 2 (C-C-T)} \quad k_2 = 0,85 \Rightarrow \sigma_{Rd,max} = 0,85 \cdot 0,84 \cdot 26,67 = 19,04 \text{ MPa}.$$

### 2.3 Návrh vodorovné výztuže

Šířku svíslé vzpěry ve sloupu určíme tak, že uvažujeme tlakové napětí ve svíslém směru ve styčnicku 1 shodné s návrhovou hodnotou únosnosti styčnicku C-C-C.

Šířka tlačené oblasti se vypočítá  $x_1 = \frac{F_{Cx}}{\sigma_{Rd,max} \cdot b}$ , za předpokladu podmínky rovnováhy se  $F_{Cx} = F_{Ed}$  a

$$\text{dostaneme } x_1 = \frac{760 \cdot 10^3}{22,4 \cdot 450} = 75,4 \text{ mm}.$$

Rameno síly  $F_{Ed}$  vzhledem ke styčnicku 1 je:

$$a = a_c + 0,5 \cdot x_1 + \frac{H_{Ed}}{F_{Ed} \cdot (d' + \Delta h)} = 75 + 0,5 \cdot 75,4 + \frac{152}{760 \cdot (73 + 20)} = 231,6 \text{ mm}$$

$$d' = 25 + 12 + 16 + 20 = 73 \text{ mm}$$



Výška tlačené oblasti  $y_1$  je:

$$y_1 = d - \sqrt{d^2 - 2 \cdot x_1 \cdot \left( a + \frac{H_{Ed}}{F_{Ed}} \cdot (d' + \Delta h) \right)} = 377 - \sqrt{377^2 - 2 \cdot 76 \cdot \left( 231,6 + \frac{152}{760 \cdot (73 + 20)} \right)} = 54,4 \text{ mm}$$

Statická výška průřezu se určí  $d = h_c - d' = 450 - 73 = 377 \text{ mm}$  a rameno vnitřních sil

$$z = d - 0,5 \cdot y_1 = 377 - 0,5 \cdot 54,4 = 349,8 \text{ mm}.$$

Velikost vodorovné tahové síly  $F_t$  vypočítáme z momentové podmínky k bodu 1.

$$F_t \cdot z - F_{Ed} \cdot a - H_{Ed} \cdot (z + \Delta h) = 0, \text{ po úpravě dostaneme } F_t = \frac{F_{Ed} \cdot a + H_{Ed} \cdot (z + \Delta h)}{z}, \text{ po dosazení}$$

$$F_t = \frac{760 \cdot 231,6 + 152 \cdot (349,8 + 20)}{349,8} = 655,2 \text{ kN}, \text{ při znalosti tahové síly můžeme navrhnout hlavní tahovou}$$

výztuž.

$$A_{s,req} = \frac{F_t}{f_{yd}} = \frac{655,2 \cdot 10^3}{434,8} = 1507 \text{ mm}^2.$$

Celkově navrhne čtyři smyčky profilu 16 mm ve dvou vrstvách (mezera mezi vrstvami bude 40 mm) a dva zahnuté pruty profilu 20 mm.

$$A_{s,prof} = 2 \cdot 4 \cdot 201,1 + 2 \cdot 314,2 = 2237,2 \text{ mm}^2.$$

## 2.4 Návrh vodorovné výztuže

Základní kotevní délka

$$\sigma_{sd} \frac{A_{s,req}}{A_{s,prof}} \cdot f_{yd} = \frac{1507}{2236} \cdot 434,8 = 293 \text{ MPa}$$

$$f_{bd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} = 2,25 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot \frac{2,5}{1,5} = 3,75 \text{ MPa}$$

$\phi 16$

$$l_{b,reqd} = \frac{\phi}{4} \cdot \frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}} = \frac{16}{4} \cdot \frac{293}{3,75} = 312 \text{ mm}$$

Návrhová kotevní délka je  $l_{bd} = 312 \cdot 0,7 = 219 \text{ mm}$ .





### Kontrola zakřivení prutu

$$\phi_{m,\min} \geq \frac{F_{bt} \cdot \left( \frac{1}{a_b} + \frac{1}{2 \cdot \phi} \right)}{f_{cd}}, \text{ kde}$$

$F_{bt}$  tahová síla mezního namáhání prutu na začátku ohybu,  
 $a_b$  polovina osové vzdálenosti prutů kolmo k rovině ohybu.  
Pro prut v líci prvku je to tloušťka krycí vrstvy +  $\phi/2$ ,  
 $\phi$  je profil výztuže.

$$F_{bt} = \sigma_{sd} \cdot A_{s,16} = 293 \cdot 201,1 = 58,9 \text{ kN}$$

$$a_b = 25 + 12 + 16/2 = 45 \text{ mm}$$

$$\phi_{m,\min} \geq \frac{58,9 \cdot 10^3 \cdot \left( \frac{1}{45} + \frac{1}{2 \cdot 16} \right)}{26,67} = 148 \text{ mm}$$

Pro zakotvení prutu je k dispozici délka 300 mm (od konce ložiska do středu oblouku smyčky) – kotevní délka vyhovuje.

$\phi 20$

$$l_{b,rqd} = \frac{\phi \cdot \sigma_{sd}}{4 \cdot f_{bd}} = \frac{20 \cdot 293}{4 \cdot 3,75} = 391 \text{ mm}$$

Návrhová kotevní délka je  $l_{bd} = 391 \cdot 0,7 = 274 \text{ mm}$ .

### Kontrola zakřivení prutu

$$F_{bt} = \sigma_{sd} \cdot A_{s,16} = 293 \cdot 314,2 = 92 \text{ kN}$$

$$a_b = 25 + 12 + 20/2 = 47 \text{ mm}$$

$$\phi_{m,\min} \geq \frac{92 \cdot 10^3 \cdot \left( \frac{1}{47} + \frac{1}{2 \cdot 20} \right)}{26,67} = 160 \text{ mm} \quad \text{Kotevní délka vyhovuje.}$$

## 2.5 Návrh svislé výztuže

Svislou výztuž navrhne na redukovanou posouvající sílu  $\beta \cdot V_{Ed}$ .

$$\beta = \frac{a_v}{2 \cdot d} = \frac{100}{2 \cdot 377} = 0,133 \leq 0,25 \text{ proto } \beta = 0,25$$

$$\beta \cdot F_{Ed} = 0,25 \cdot 760 = 190 \text{ kN}$$

Dále navrhne konstrukční ortogonální výztuž na vznikající příčné tahy v betonové diagonále.

$$\text{Sklon vzpěr je } \theta = \arctg \frac{h - d' - 0,5 \cdot y_1}{a - 0,5 \cdot x_1} = \arctg \frac{450 - 73 - 0,5 \cdot 54,4}{231,6 - 0,5 \cdot 75,4} = 61^\circ.$$



$$\text{Délka vzpěry je } H = \sqrt{(h - d' - 0,5 \cdot y_1)^2 + (a - 0,5 \cdot x_1)^2} = \sqrt{349,8^2 + 193,9^2} = 400 \text{ mm}.$$

$$\text{Šířka vzpěry je } a_w = \frac{150}{\sin \theta} = \frac{150}{\sin 61} = 172 \text{ mm}.$$

$$\text{Síla v betonové vzpěře je } F_c = \frac{F_{Ed}}{\sin \theta} = \frac{760}{\sin 61} = 869 \text{ kN}.$$

$$\text{Příčný tah betonové vzpěry je } 2 \cdot F_t = 0,5 \cdot \left(1 - 0,7 \cdot \frac{a}{h}\right) \cdot F = 0,5 \cdot \left(1 - 0,7 \cdot \frac{172}{400}\right) \cdot 869 = 304 \text{ kN}.$$

$$\text{Příčný tah se rozdělí do svislé složky } F_x = \frac{304}{\cos 61} = 147 \text{ kN}.$$

$$\text{Příčný tah se rozdělí do vodorovné složky } F_y = \frac{304}{\sin 61} = 266 \text{ kN}.$$

U krátké konzoly navrhne výztuž na větší ze svislých sil 190 kN a 147 kN.

$$A_{s,req} = \frac{190 \cdot 10^3}{434,8} = 437 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,prov} = 452 \text{ mm}^2 (2\phi 12)$$

Výztuž by měla být v oblasti  $0,75a_w$ . Z konstrukčních důvodů je nutné zvýšit počet třmínků na tři.

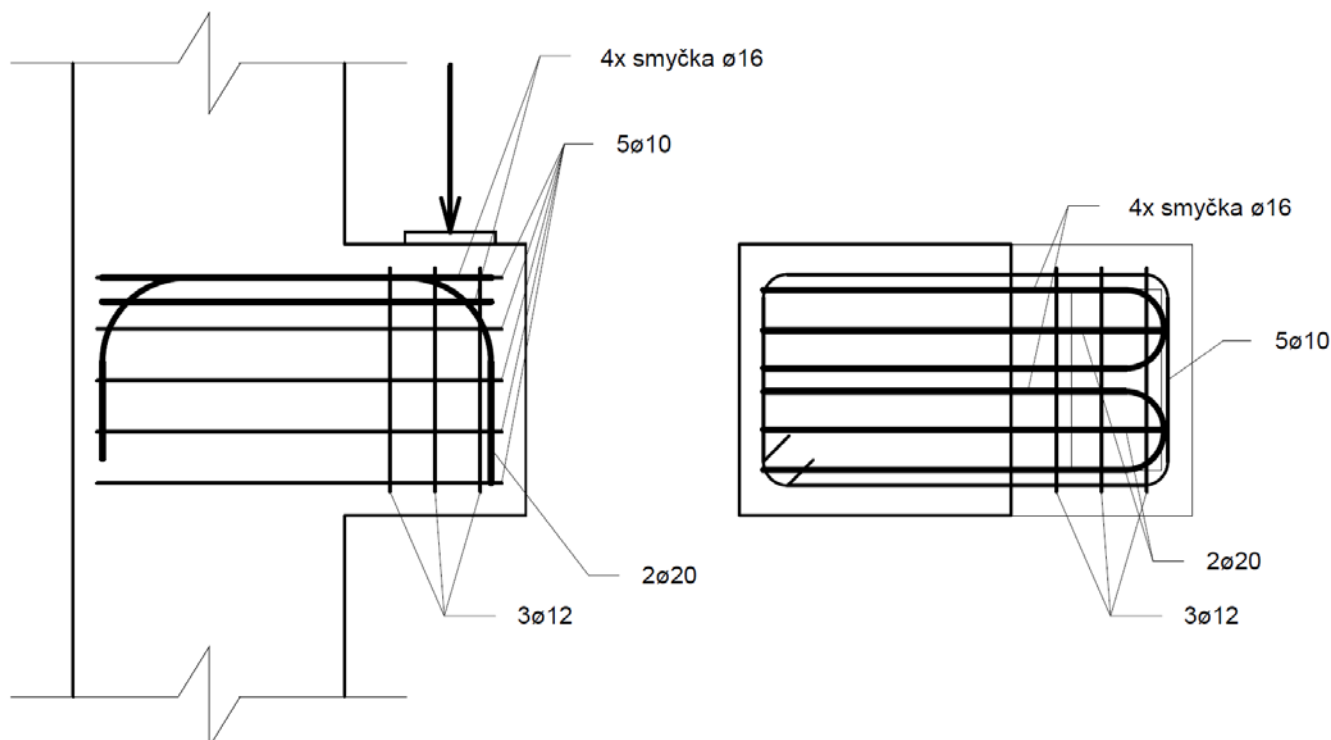
Vodorovná konstrukční výztuž pro zachycení příčných tahů

$$A_{s,req} = \frac{1,2 \cdot 266 \cdot 10^3}{434,8} = 734 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,prov} = 785 \text{ mm}^2 (5\phi 10)$$



## 2.6 Schéma výztuže



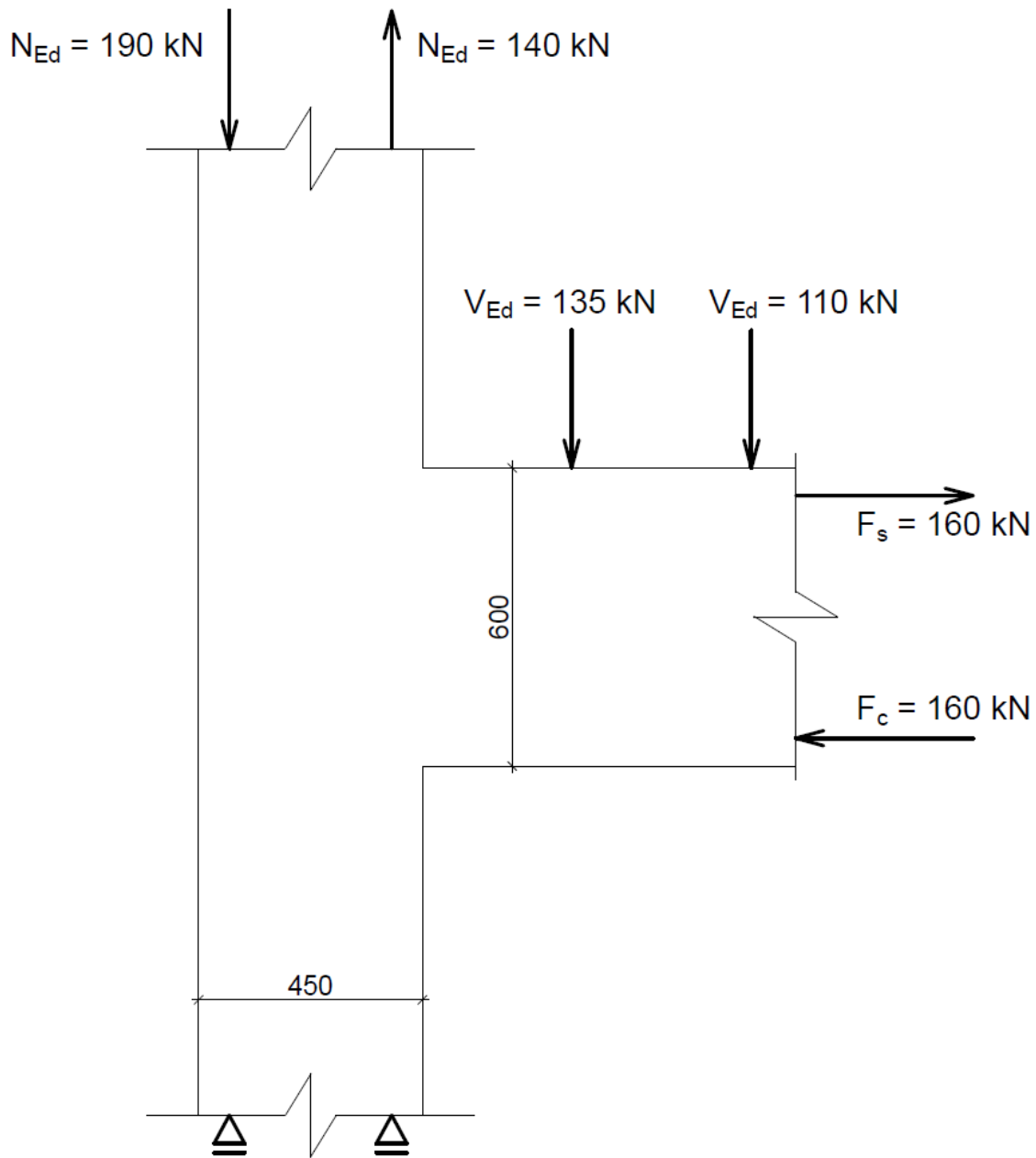
Obr. 3 Schéma výztuže krátké konzoly, zakreslena je jen výztuž styku

## 3 Návrh výztuže rámového rohu pomocí příhradové analogie

### 3.1 Zadání

Statický návrh rámového styčnicku monolitického trámu 600/450 a monolitického sloupce (450/450), napojení je podle následujícího obrázku. Ve sloupci je před napojením tlaková síla o velikosti 400 kN a trám je v místě vetknutí zatížen posouvající silou o velikosti 135 kN, která po délce trámu klesá, a ohybovým momentem o velikosti 75 kNm, který je pro potřeby příhradové analogie nahrazen dvojicí osamělých sil o velikosti 150 kN. Oba prvky jsou z betonu pevnostní třídy C 30/37 a vyztuženy betonářskou výztuží o pevnosti B500B s krytím 25 mm.

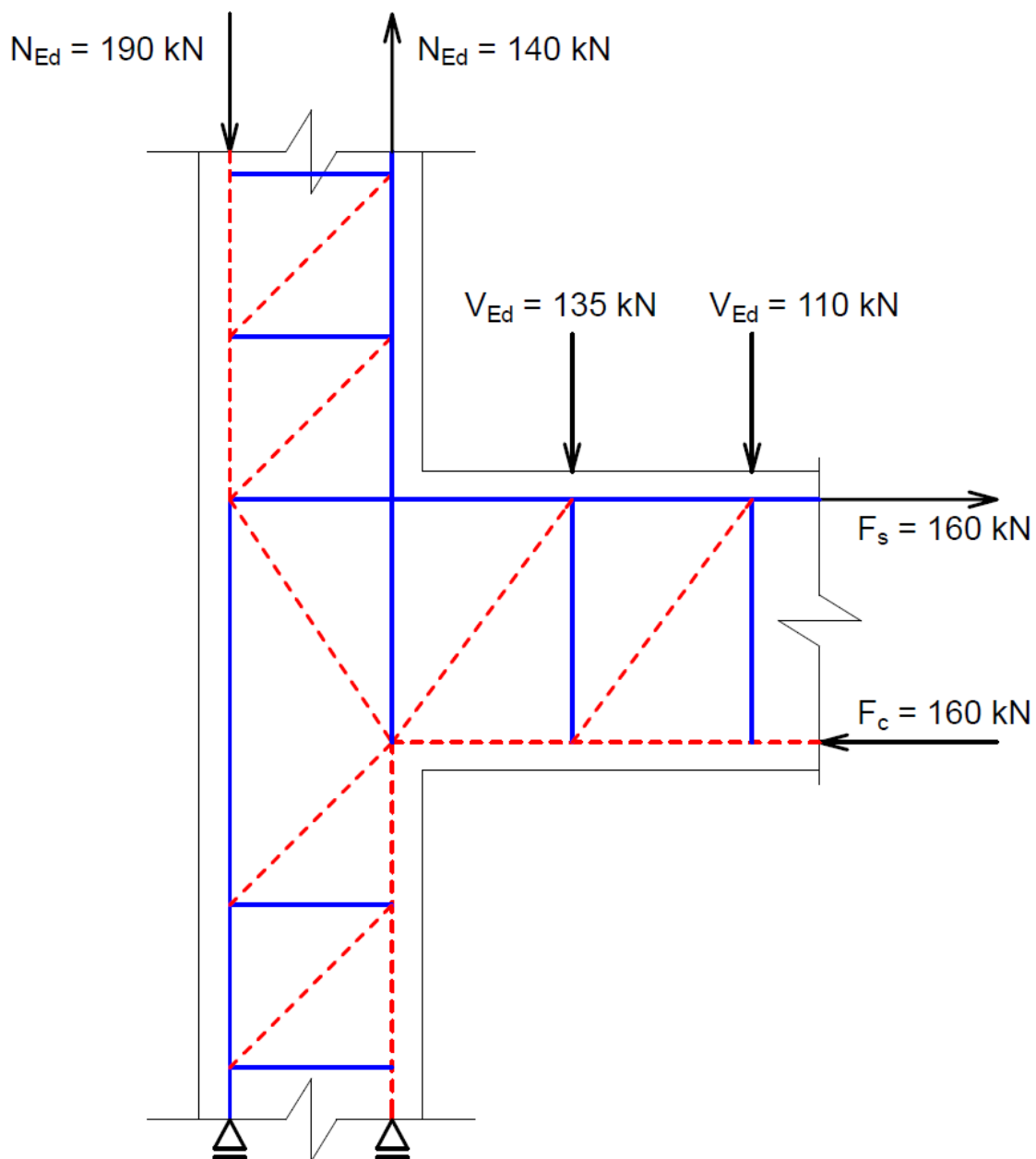
### 3.1.1 Geometrie



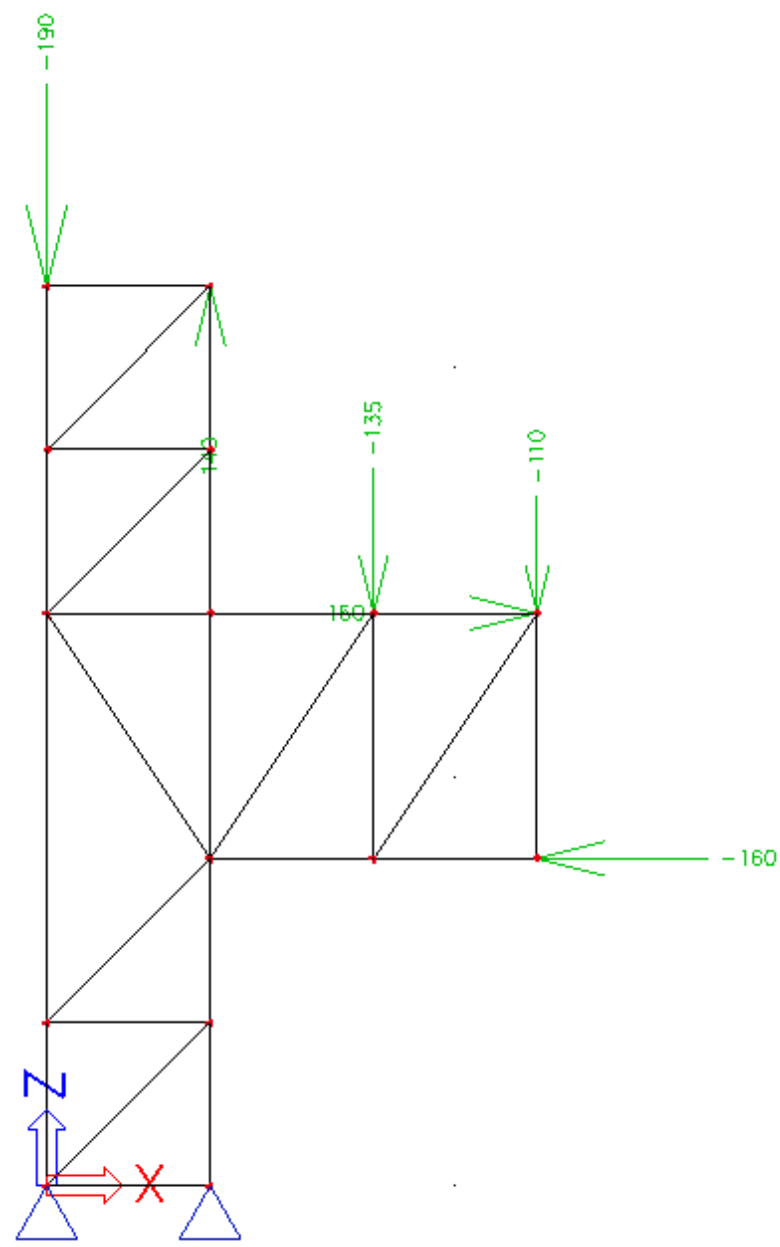
Obr. 4 Schéma konstrukce

### 3.1.2 Schéma příhradového modelu

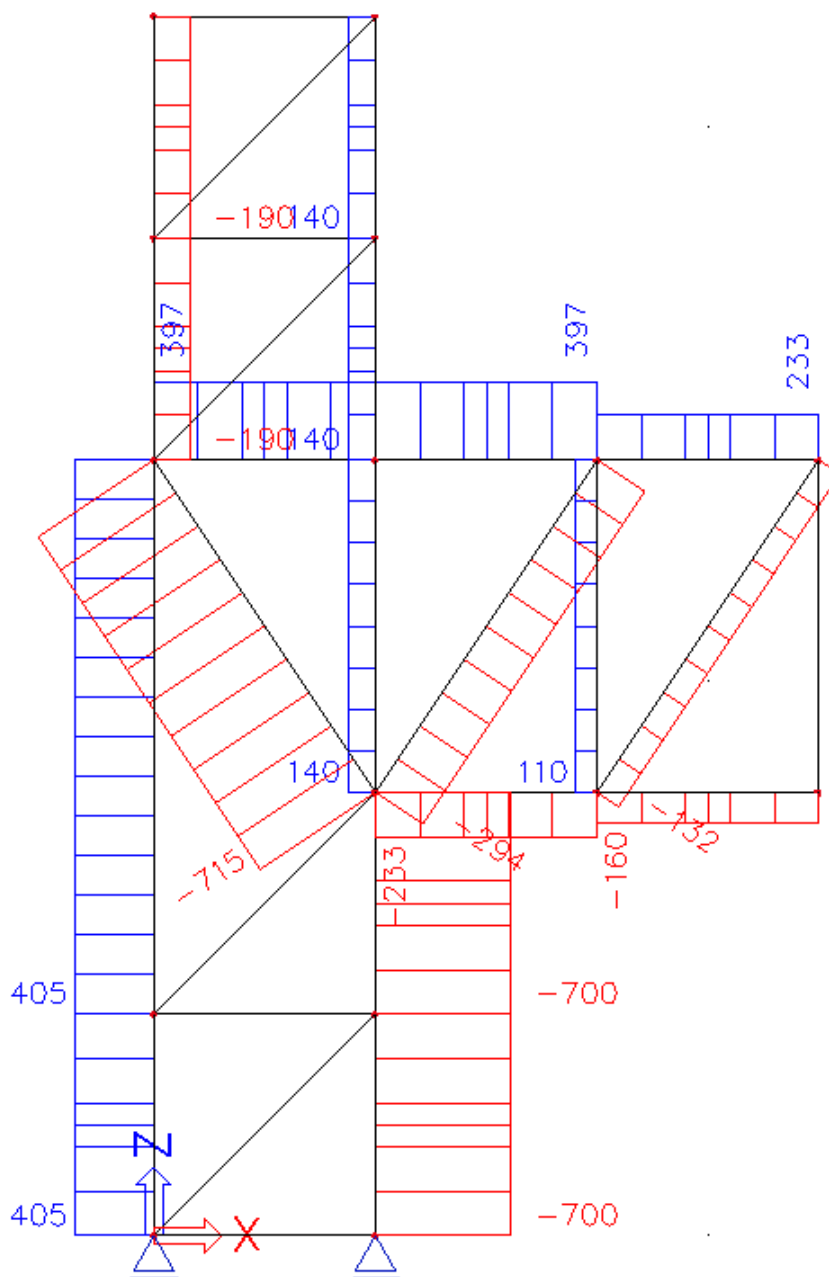
Příhradový model pro daný příklad je již staticky neurčitý a není tedy možné jej jednoduše vyřešit pomocí momentové podmínky ke středu otáčení, jak tomu bylo v předchozím případě, proto bude pro výpočet vnitřních sil použit výpočetní software Scia Engineer. Příhradový model bude zatížen vnějšími silami podle zadání a síly musí působit ve styčnicích příhradového modelu.



Obr. 5 Příhradový model (červená - tlak / modrá - tah)



Obr. 6 Zatížení z programu Scia Engineer



Obr. 7 Výsledky výpočtu příhradového modelu

Stojí za povšimnutí, že v některých diagonálách sloupu nejsou žádné síly, což je způsobeno tím, že sloup byl zatížen jen osovými silami a ty nevyvolávají smykové napětí.

### 3.1.3 Vlastnosti materiálů

#### 3.1.3.1 Beton C30/37

$$f_{cd} = \frac{1 \cdot 30}{1,5} = 20,0 \text{ MPa}$$

$$\nu = 1 - \frac{f_{ck}}{250} = 1 - \frac{20}{250} = 0,92$$

#### 3.1.3.2 Ocel B500B

$$f_{yd} = \frac{500}{1,15} = 434,8 \text{ MPa}$$

## 3.2 Návrh výztuže sloupu

Největší tahové namáhání sloupu je 405 kN.

$$A_{s,req} = \frac{N_s}{f_{yd}} = \frac{405 \cdot 10^3}{434,8} = 931 \text{ mm}^2$$

**Návrh výztuže 3Ø20 ( $A_{s,prov} = 942 \text{ mm}^2$ )**

Ve sloupu budou umístěny třmínky podle konstrukčních zásad:

- Zvolen profil **8 mm**
- Vzdálenost třmínků  $s_{max} \leq (20\phi; b; 400) = (20 \cdot 20; 450; 400) = 400 \text{ mm}$ .

V oblasti  $d$  pod trámem a nad trámem bude snížena vzdálenost třmínků na  $0,6 \cdot s_{max}$  z důvodu přechodu D oblasti na B oblast.

### 3.2.1 Ověření únosnosti betonu ve sloupu

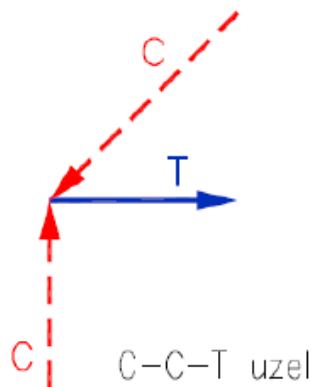
Pro ověření bude nutné stanovit geometrii spodního styčnicku mezi napojením sloupu s trámem. Jedná se o styčnick typu C-C-T, tedy místo, kde se stýkají dvě tlakové diagonály a jedna tahová, v tomto typu styčnicku se maximální napětí vypočítá podle následujícího vztahu:

$$\sigma_{Rd,max} = k_1 \cdot \nu \cdot f_{cd}$$

kde:

$$k_1 = 0,85$$

$$\nu = 1 - \frac{f_{ck}}{250}$$





V našem případě tedy  $\sigma_{Rd,max} = k_1 \cdot v \cdot f_{cd} = 0,85 \cdot 20 = 17 \text{ MPa}$ .

Šířka tlačené diagonály působí na plochu o šířce  $x_1 = \frac{F_{Cx}}{\sigma_{Rd,max} \cdot b} = \frac{700 \cdot 10^3}{17 \cdot 450} = 91 \text{ mm}$ .

Tlačená šířka je menší než  $\frac{1}{2}$  šířky sloupu, tedy  $91 < \text{než } 450/2 \Rightarrow$  vyhovuje.

### 3.3 Návrh výztuže trámu

Největší tahové namáhání v trámu je pro hlavní výztuž 397 kN.

$$A_{s,req} = \frac{N_s}{f_{yd}} = \frac{397 \cdot 10^3}{434,8} = 913 \text{ mm}^2$$

**Návrh výztuže 3Ø20 ( $A_{s,prov} = 942 \text{ mm}^2$ )**

Třmínky budou navrženy podle klasického výpočtu třmínků, za předpokladu:

- Dvojstržné třmínky Ø8  $A_{sw} = n \cdot A_s = 2 \cdot 50,3 = 100,6 \text{ mm}^2$
- Maximální posouvající síla je 140 kN
- Sklon trhliny je  $\cot \theta = 1,5$
- Výška tlačené oblasti betonu při spodním líci  $x = \frac{F_{Cx}}{\sigma_{Rd,max} \cdot b} = \frac{233 \cdot 10^3}{17 \cdot 450} = 30,4 \text{ mm}$
- Velikost vnitřních sil je  $z = 600 - 8 - \frac{20}{2} - 0,4 \cdot 30,4 = 569,8 \text{ mm}$

$$s \leq \frac{A_{sw} \cdot f_{yd}}{V_{Ed}} \cdot z \cdot \cot \theta = \frac{100,6 \cdot 434,8}{140 \cdot 10^3} \cdot 569,8 \cdot 1,5 = 267 \text{ mm}, \text{ navrhne } 250 \text{ mm}, \text{ dále je třeba ověřit}$$

konstrukční zásady

$$s \leq s_{\min} = \min(0,75 \cdot d; 400) = \min(0,75 \cdot 569,8; 400) = \min(427; 400) = 400 \text{ mm}$$

$$250 \text{ mm} \leq 400 \text{ mm}$$

**Vyhovuje**

Dále je třeba posoudit tlakovou diagonálu v trámu, která se vypočítá podle vztahu:

$$V_{Rd,max} = v \cdot f_{cd} \cdot b \cdot z \cdot \frac{\cot \theta}{1 + \cot^2 \theta} \geq V$$

$$V_{Rd,max} = \left( 0,6 \cdot \left( 1 - \frac{30}{250} \right) \right) \cdot 20 \cdot 450 \cdot 570 \cdot \frac{1,5}{1 + 1,5^2} \geq 140 = V$$

$$V_{Rd,max} = 1250 \text{ kN} \geq 140 \text{ kN} = V$$

**Vyhovuje**



Jako poslední bude ověřena tlaková diagonála v místě napojení sloupu a průvlaku  $N = 715$  kN. Nejprve je nutné stanovit šířku plochy, na které napětí působí. Tato plocha je dána přeponou pravoúhlého trojúhelníku, který je tvořen šířkou tlačené plochy sloupu (91 mm) a výškou tlačené plochy v trámu (30,4 mm). Obě hodnoty byly stanoveny v předchozím výpočtu.

$$x = \sqrt{91^2 + 30,4^2} = 96 \text{ mm}$$

$$\sigma = \frac{N}{x \cdot b} \leq \sigma_{Rd,max}$$

$$\sigma = \frac{715 \cdot 10^3}{96 \cdot 450} \leq 16,5 \text{ MPa} = \sigma_{Rd,max}$$

$$\sigma = 16,5 \text{ MPa} \leq 17 \text{ MPa} = \sigma_{Rd,max}$$

**Vyhovuje**

### 3.3.1 Kotevní délka

Základní kotevní délka pro výztuž trámu

$$\sigma_{sd} \frac{A_{s,req}}{A_{s,prof}} \cdot f_{yd} = \frac{913}{942} \cdot 434,8 = 421,4 \text{ MPa}$$

$$f_{bd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} = 2,25 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot \frac{2,0}{1,5} = 3,00 \text{ MPa}$$

$\phi 20$

$$l_{b,reqd} = \frac{\phi}{4} \cdot \frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}} = \frac{20}{4} \cdot \frac{421,4}{3,00} = 702 \text{ mm}$$

Návrhová kotevní délka je  $l_{bd} = 702 \cdot 0,7 = 491 \text{ mm}$ . Pro kotvení je možné využít jak výšku trámu, tak výšku sloupu, takže kotevní délka se do prvku vejde. Hodnota kotevní délky bude zaokrouhlena na 500 mm. Posudek pro zakřivení není v tomto případě třeba, protože prut bude mít jen jeden ohyb o normovém poloměru  $7 \cdot \phi$ .

### 3.4 Návrh výztuže na příčný tah

Na obrázku 7 je vidět, že v místě napojení příčle na sloup se střídá tažený a tlačný povrch, což vyvolává příčné napětí, proto je nutné spoj doplnit o „U“ spony v místě napojení sloupu a příčle. Tyto spony dále přenesení příčné tahy vyvolané tlačnou diagonálou v místě spoje. V našem případě potřebujeme přenést sílu 405 kN. Celková únosnost se skládá z únosnosti betonu a únosnosti „U“ spon.



### Únosnost betonu

$$V_{j,cd} = 1,4 \cdot \left( 1,2 - 0,3 \frac{h_{pricla}}{h_{sloup}} \right) \cdot b_{eff} \cdot h_{sloup} \cdot f_{cd}^{1/4},$$

kde  $b_{eff}$  je efektivní šířka spojen, z konstrukčních důvodů má sloup i příčle stejnou šířku a to 450 mm, potom

$$b_{eff} = \frac{b_{sloup} + b_{pricla}}{2} = \frac{450 + 450}{2} = 450 \text{ mm}.$$

$$V_{j,cd} = 1,4 \cdot \left( 1,2 - 0,3 \frac{600}{450} \right) \cdot 450 \cdot 450 \cdot 20^{1/4} = 479 \text{ kN}$$

### Únosnost „U“ spon

Z konstrukčního hlediska bylo navrženo použití 4xØ8 a spony jsou dvojstřížné.

$$A_{j,eff} = \frac{\pi \cdot \phi^2}{4} \cdot n_{střih} \cdot n_{pocet} = \frac{\pi \cdot 8^2}{4} \cdot 2 \cdot 4 = 402 \text{ mm}^2$$

$$V_{j,rd} = 0,4 \cdot A_{j,eff} \cdot f_{yd} = 0,4 \cdot 402 \cdot 434,8 = 69,9 \text{ kN}$$

Celková únosnost ve smyku je dáno součtem únosnosti betonu + únosnost výztuže

$$V_{j,Rd} = (V_{j,cd} + V_{j,rd}) \leq V_{j,Ed}$$

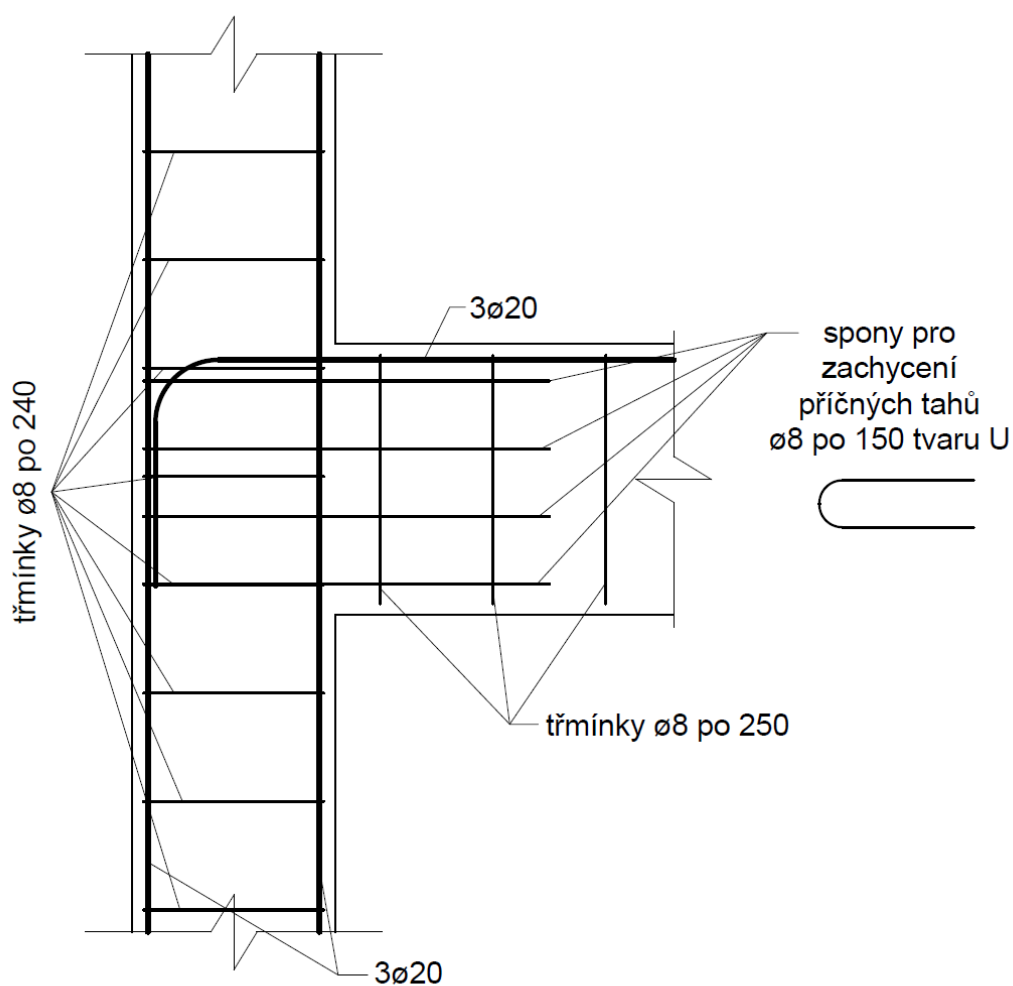
$$(479 + 69,9) \leq 405$$

$$549 \text{ kN} \leq 405 \text{ kN}$$

**Vyhovuje**

## 3.5 Schéma výztuže





Obr. 8 Schéma výztuže, zakreslena je pouze výztuž styku

## 4 Literatura

- [1] Semrád, K.; Szücs, C.: Pomůcka pro návrh betonových konstrukcí pomocí příhradové analogie\_4, ČVUT v Praze, 2009.
- [2] Semrád, K.; Szücs, C.: Řešené příklady betonových konstrukcí pomocí příhradové analogie, ČVUT v Praze, 2009.
- [3] Šmejka, J.: Řešení poruchových oblastí, přednáška předmětu Modelování a vyztužování betonových konstrukcí, ČVUT v Praze.
- [4] Šmejka, J; Procházka, J.: Návrh rámových rohů s použitím modelů náhradní příhradoviny. Časopis Beton TKS, 5/2010, str. 66 – 73, Praha 2010.