

# VYZTUŽOVÁNÍ PORUCHOVÝCH OBLASTÍ ŽELEZOBETONOVÉ KONSTRUKCE: RÁMOVÝ ROH S OSAMĚLÝM BŘEMENEM V JEHO BLÍZKOSTI



**Projekt:** Vyztužování poruchových oblastí železobetonové konstrukce

**Dílčí část:** Návrh konstrukčního prvku rámového rohu

**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

1	Úvod.....	- 2 -
2	Návrh výztuže rámového rohu 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.....	- 7 -
2.2	Návrh výztuže sloupu.....	- 7 -
2.2.1	Ověření únosností betonu ve sloupu .....	- 7 -
2.3	Návrh výztuže trámu .....	- 8 -
2.3.1	Kotevní délka .....	- 9 -
2.4	Návrh výztuže na příčný tah .....	- 9 -
2.5	Schéma výztuže .....	- 11 -
3	Literatura .....	- 11 -



## 1 Úvod

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

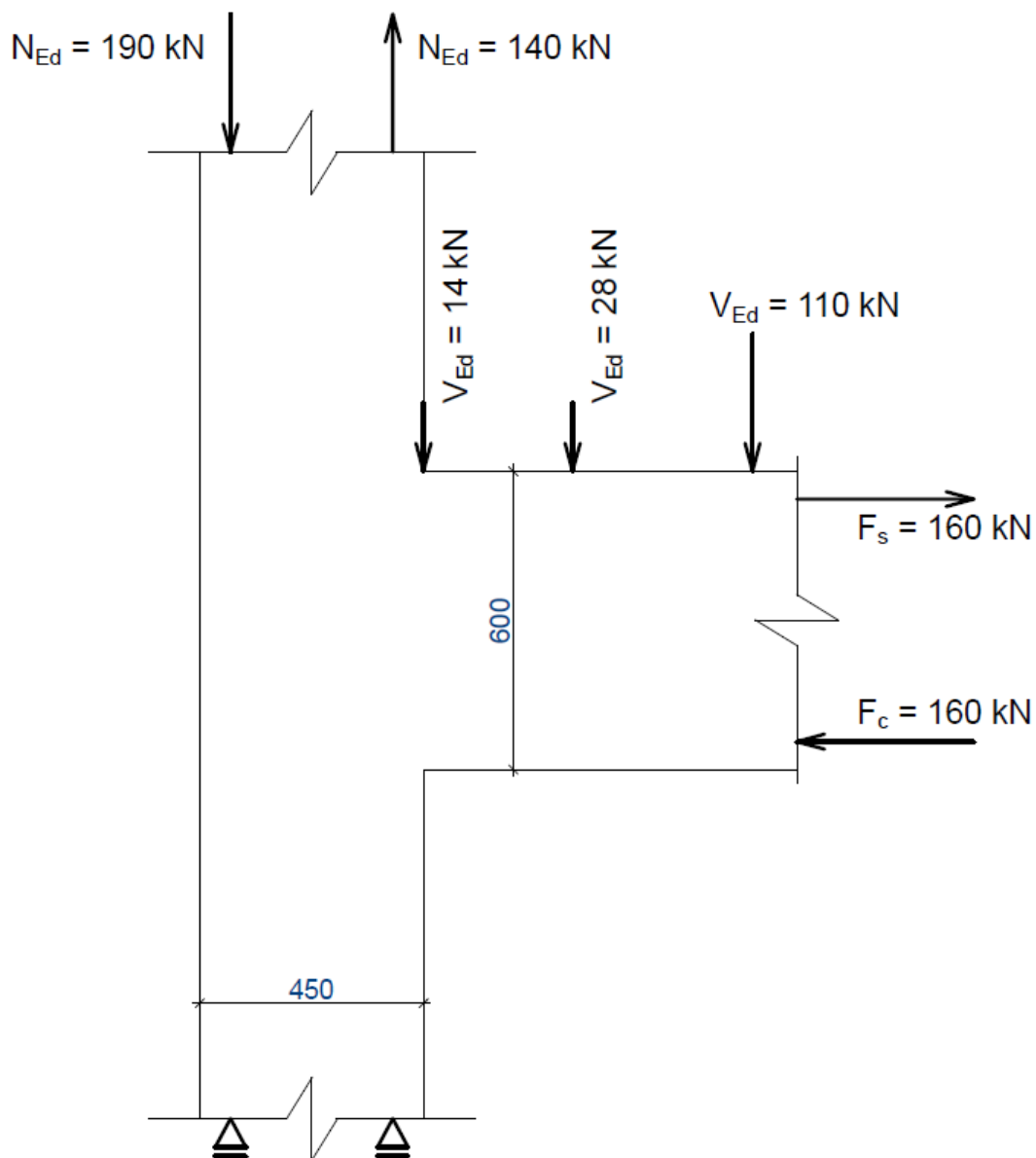
- 1) Nejprve je nutné stanovit zatížení na spoj dvou prvků, toto zatížení většinou vychází z globálního výpočtu celé konstrukce. Před posouzením spoje je nutné dobře znát geometrii konstrukce, protože o rozdělení napětí na jednotlivé prvky spoje rozhoduje poměr jejich vzájemné tuhosti. V následujících 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 lineárně 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 známy 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 trhlíny.
  - 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 rámového rohu pomocí příhradové analogie

### 2.1 Zadání

Statický návrh rámového styčnicku monolitického trámu 600/450 a monolitického sloupu (450/450), napojení je podle následujícího obrázku. Ve sloupu je před napojením působí dvojce sil 190 a 140 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 160 kN. Oba prvky jsou z betonu pevnostní třídy C 30/37 a vyztuženy betonářskou výztuží o pevnosti B500B s krytím 25 mm.

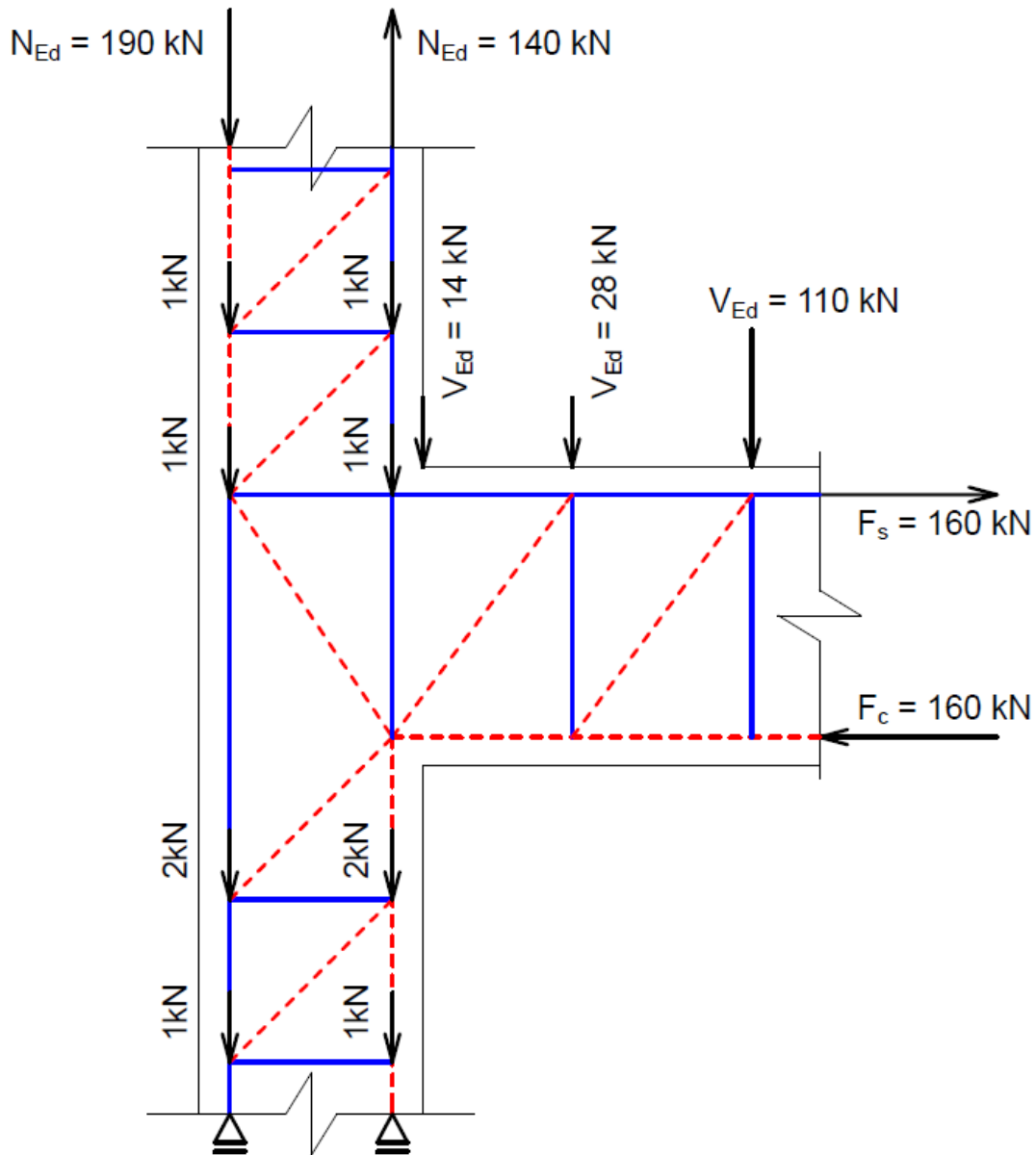
#### 2.1.1 Geometrie



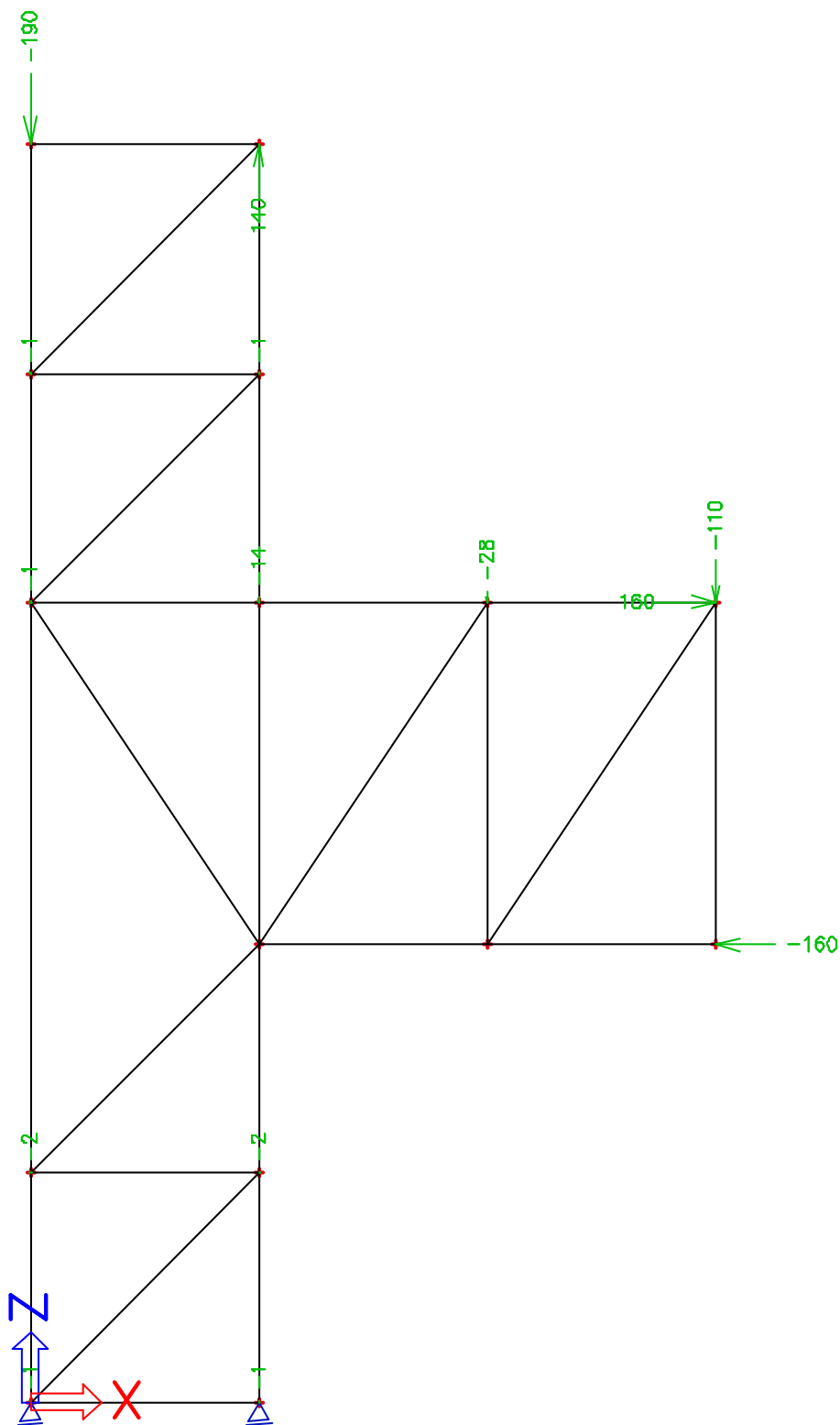
Obr. 1 Schéma konstrukce

### 2.1.2 Schéma příhradového modelu

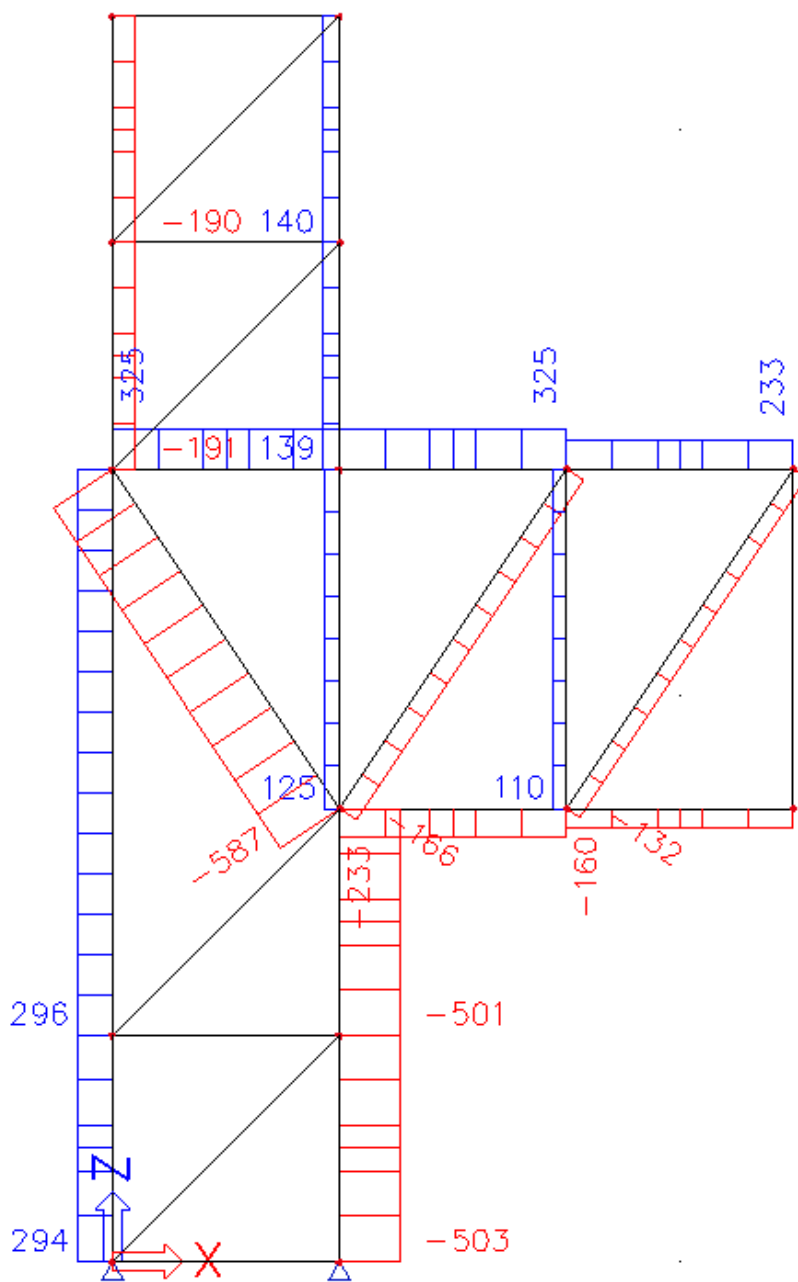
Příhradový model pro daný příklad je již staticky neurčitý a není tedy možné jej jednoduše vyřešit pomocí momentové podmínky ke středu otáčení, proto bude pro výpočet vnitřních sil použit výpočetní software Scia Engineer. Příhradový model bude zatížen vnějšími silami podle zadání a síly musí působit ve styčných příhradovém modelu. Síly ze zadání jsou navíc doplněny silami představující vlastní tíhu konstrukce, tyto síly působí také ve styčných.



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



Obr. 3 Zatížení z programu Scia Engineer



Obr. 4 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.

## 2.1.3 Vlastnosti materiálů

### 2.1.3.1 Beton C30/37

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

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

### 2.1.3.2 Ocel B500B

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

## 2.2 Návrh výztuže sloupu

Největší tahové namáhání sloupu je 294 kN.

$$A_{s,req} = \frac{N_s}{f_{yd}} = \frac{294 \cdot 10^3}{434,8} = 676 \text{ mm}^2$$

**Návrh výztuže 3Ø18 ( $A_{s,prov} = 763 \text{ mm}^2$ )**

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

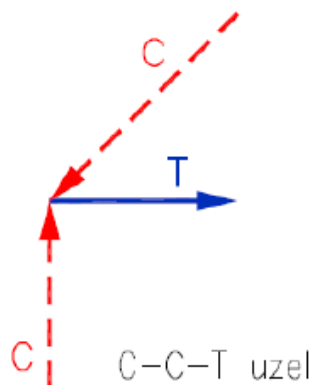
Pro ověření bude nutné stanovit geometrii spodního styčnicku mezi napojením sloupu s trámem. Jedná se o styčník typu C-C-T, tedy místo, kde se stýkají dvě tlakové diagonály a jedna tahová, v tomto typu styčnicku se maximální napětí vypočítá podle následujícího vztahu:

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

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  $x_1 = \frac{F_{Cx}}{\sigma_{Rd,max} \cdot b} = \frac{587 \cdot 10^3}{17 \cdot 450} = 76 \text{ mm}$ .

Tlačená šířka je menší než  $\frac{1}{2}$  šířky sloupu, tedy  $76 < \text{než } 450/2 \Rightarrow$  vyhovuje.

### 2.3 Návrh výztuže trámu

Největší tahové namáhání v trámu je pro hlavní výztuž 325 kN.

$$A_{s,req} = \frac{N_s}{f_{yd}} = \frac{325 \cdot 10^3}{434,8} = 747 \text{ mm}^2$$

**Návrh výztuže 3Ø18 ( $A_{s,prov} = 763 \text{ mm}^2$ )**

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 125 kN
- Sklon trhliny je  $\cot \theta = 1,5$
- Maximální tlaková síla při spodním povrchu trámu je  $F_{tx} = 233 \text{ kN}$
- 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  $z = 600 - 8 - \frac{18}{2} - 0,4 \cdot 30,4 = 570 \text{ mm}$

$$s \leq \frac{A_{sw} \cdot f_{yd}}{V_{Ed}} \cdot z \cdot \cot \theta = \frac{100,6 \cdot 434,8}{125 \cdot 10^3} \cdot 570 \cdot 1,5 = 298 \text{ mm}, \text{ navrhne } 250 \text{ mm}, \text{ dále je třeba ověřit konstrukční}$$

zásady

$$s \leq s_{\min} = \min(0,75 \cdot d; 400) = \min(0,75 \cdot 570; 400) = \min(427; 400) = 400 \text{ mm}$$

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

**Vyhovuje**

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

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

$$V_{Rd,max} = \left( 0,6 \cdot \left( 1 - \frac{30}{250} \right) \right) \cdot 20 \cdot 450 \cdot 570 \cdot \frac{1,5}{1 + 1,5^2} \geq 125 = V$$

$$V_{Rd,max} = 1250 \text{ kN} \geq 125 \text{ kN} = V$$



## Vyhovuje

Jako poslední bude ověřena tlaková diagonála v místě napojení sloupu a průvlaku  $N = 587$  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 (76 mm) a výškou tlačené plochy v trámu (30,4 mm). Obě hodnoty byly stanoveny v předchozím výpočtu.

$$x = \sqrt{76^2 + 30,4^2} = 82 \text{ mm}$$

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

$$\sigma = \frac{587 \cdot 10^3}{82 \cdot 450} \leq 17 \text{ MPa} = \sigma_{Rd, \max}$$

$$\sigma = 15,9 \text{ MPa} \leq 17 \text{ MPa} = \sigma_{Rd, \max}$$

## Vyhovuje

### 2.3.1 Kotevní délka

Základní kotevní délka pro výztuž trámu

$$\sigma_{sd} \frac{A_{s, req}}{A_{s, prof}} \cdot f_{yd} = \frac{747}{763} \cdot 434,8 = 441 \text{ MPa}$$

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

$\phi 20$

$$l_{b, reqd} = \frac{\phi}{4} \cdot \frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}} = \frac{20}{4} \cdot \frac{441}{3,00} = 735 \text{ mm}$$

Návrhová kotevní délka je  $l_{bd} = 735 \cdot 0,7 = 514 \text{ mm}$ . Pro kotvení je možné využít jak výšku trámu, tak výšku sloupu, takže kotevní délka se do prvku vejde. Hodnota kotevní délky bude zaokrouhlena na 550 mm. Posudek pro zakřivení není v tomto případě třeba, protože prut bude mít jen jeden ohyb o normovém poloměru  $7 \cdot \phi$ .

## 2.4 Návrh výztuže na příčný tah

Na obrázku 4 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 přenášejí příčné tahy vyvolané tlačnou diagonálou v místě spoje. V našem případě je síla v tlačené diagonále 587 kN a diagonála svírá s vodorovnou rovinou úhel  $33,82^\circ$ . Spony budou navrženy jen na vodorovnou složku síly, tedy  $587 \cdot \cos 33,82 = 488 \text{ kN}$ . 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 dvojstržné.

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

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

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

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

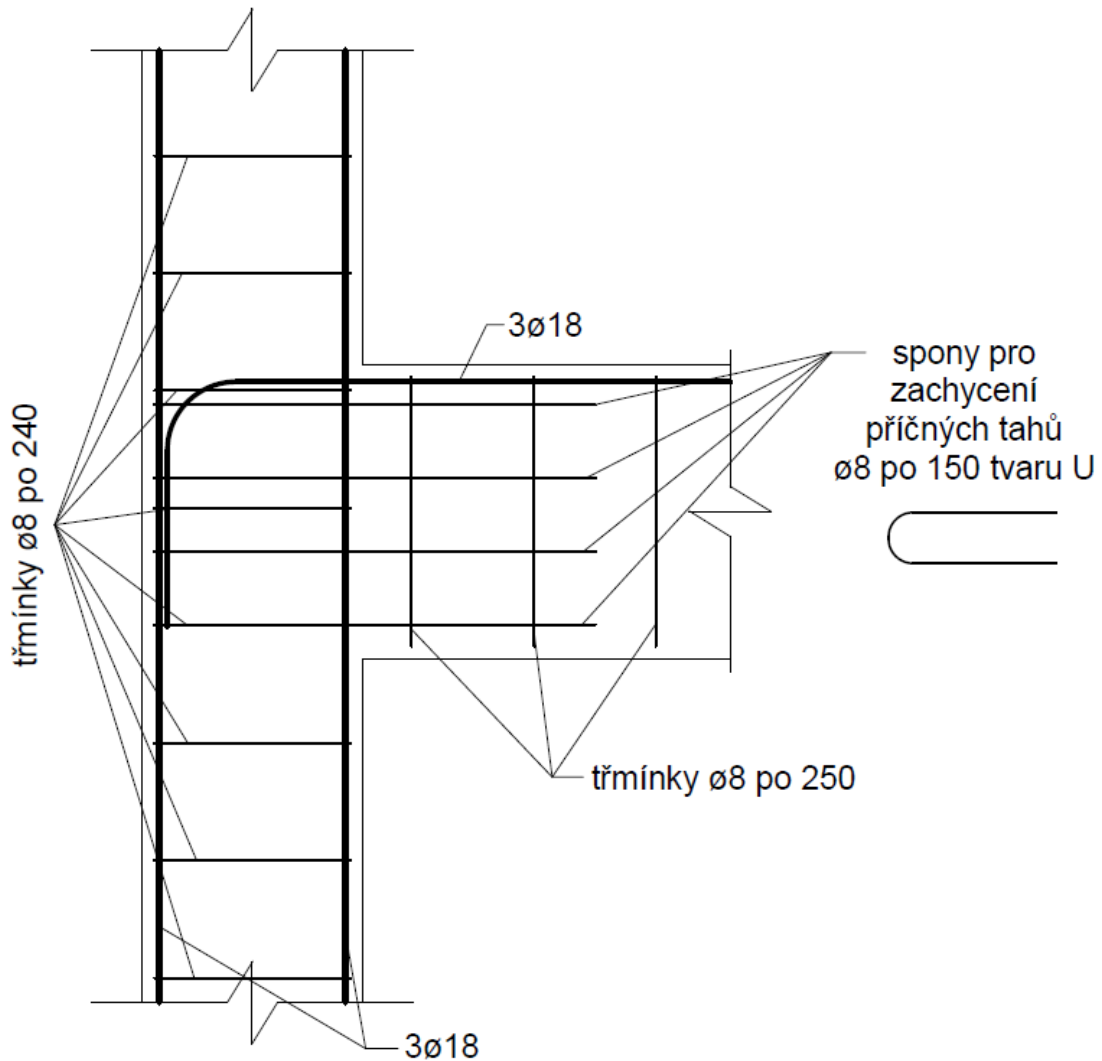
$$(479 + 69,9) \leq 488$$

$$549 \text{ kN} \leq 488 \text{ kN}$$

**Vyhovuje**



## 2.5 Schéma výztuže



Obr. 5 Schéma výztuže, zakreslena je pouze výztuž styku

## 3 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.