

Návrh výztuže a posouzení průřezů trámu T1

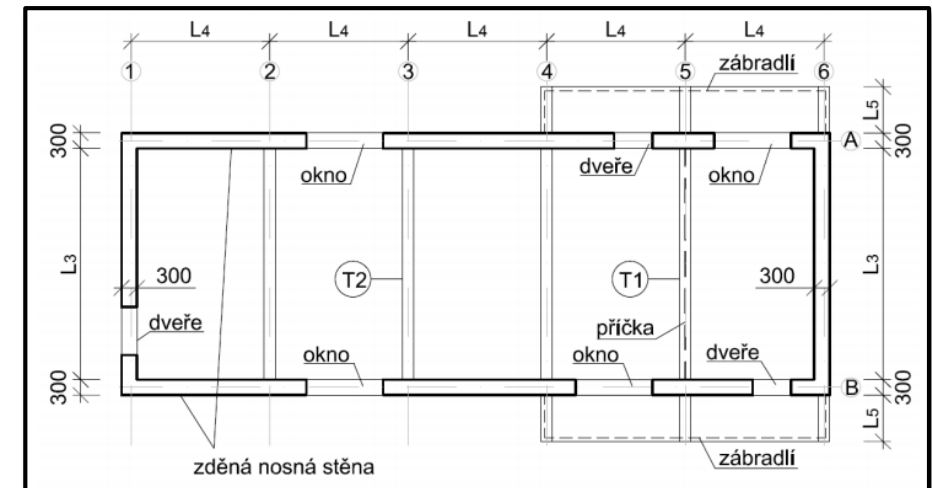
Prezentace k 6. cvičení NNKB

Autor: Jakub Holan

Poslední aktualizace: 22.3.2020 16:00

Zadání Úlohy 2

- návrh rozměrů stropních prvků (desky a trámů T1 a T2) + výpočet zatížení stropních prvků
- výpočet vnitřních sil na desce a trámech T1 a T2
- návrh a posouzení výztuže desky + výkres výztuže desky
- **návrh a posouzení výztuže trámu** + výkresy výztuže trámů
- výkres tvaru



Cíl

Cílem výpočtu je navrhnout vhodné množství výztuže v trámu T1 a posoudit, zda kritické průřezy s navrženou výztuží odolají působící vnitřní síle (ohybovému momentu).

Rozdíly oproti desce

	Trám	Deska
Šířka průřezu:	skutečná šířku trámu b_T (nebo efektivní šířka b_{eff})	výšek šířky 1 m
Ohybový moment:	M [kNm]	m [kNm/m']
Tvar návrhu výztuže:	$4 \times \emptyset 12$	$\emptyset 12$ po 250 mm
Plocha výztuže:	A_s [mm²]	a_s [mm ² /m']
Účinná výška:	$d = h - c - \emptyset_{tř} - \emptyset_s/2$	$d = h - c - \emptyset_s/2$

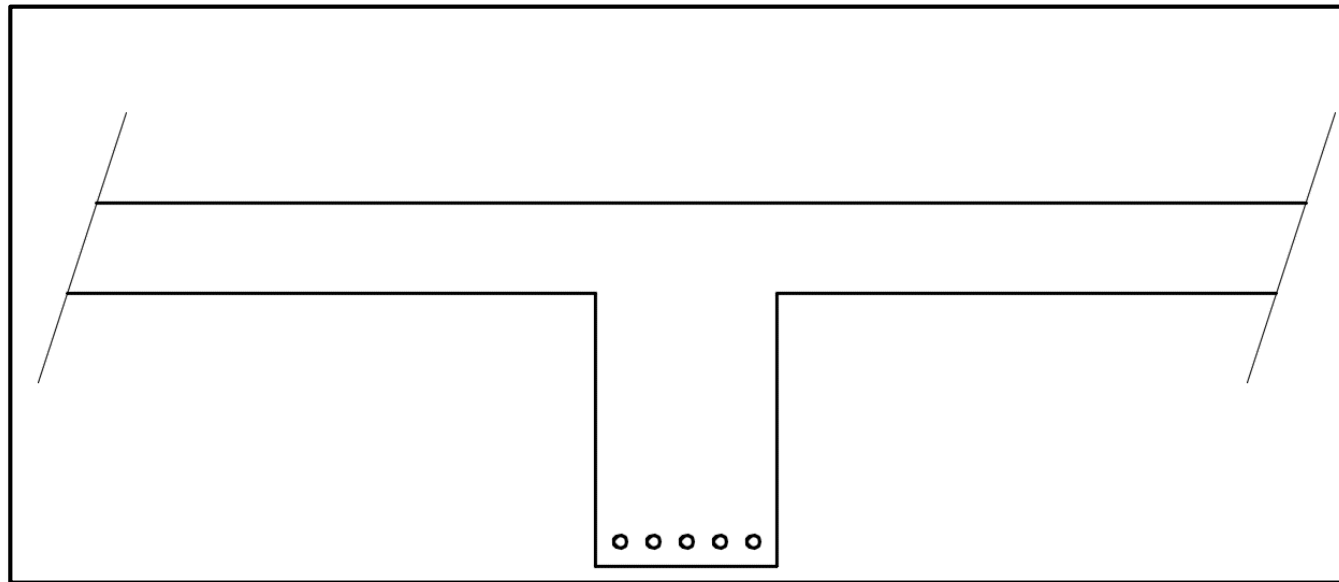
\emptyset_s volte {10, **12**, **14**, **16**, **18**, 20, 22, 25, 28, 32} mm

$\emptyset_{tř}$ volte 8 mm

Průřez trámu

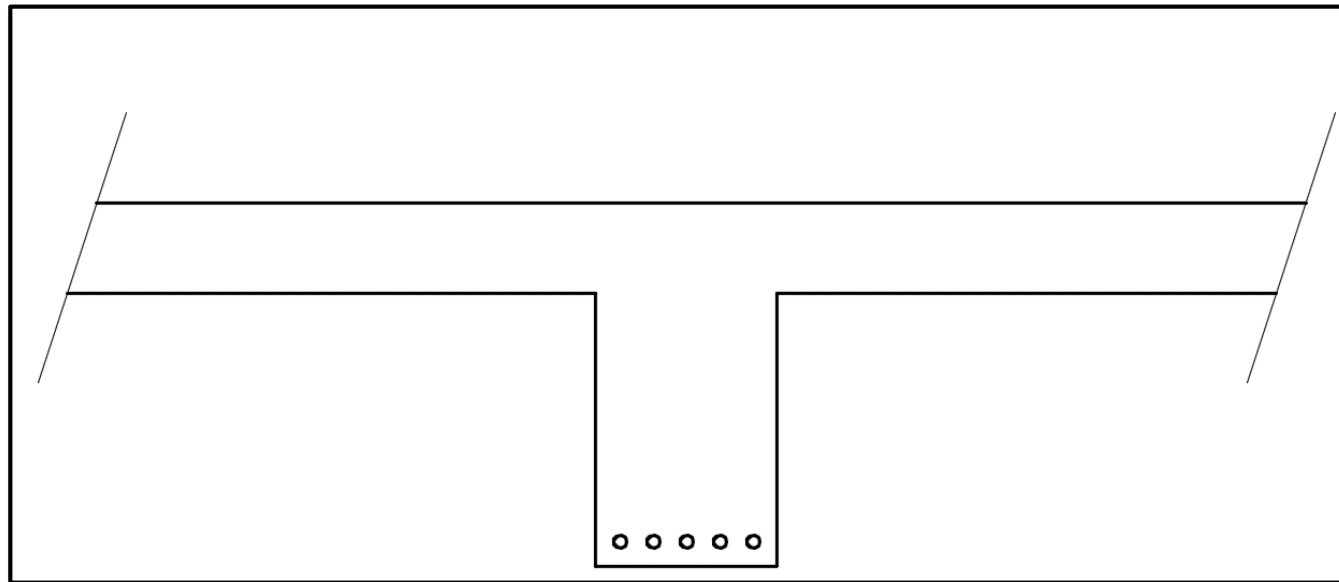
Průřez trámu

Trám T1 je monoliticky spojen s deskou. Část desky tedy „spolupůsobí s trámem“ (tzn. je součástí trámu a pomáhá s únosností).



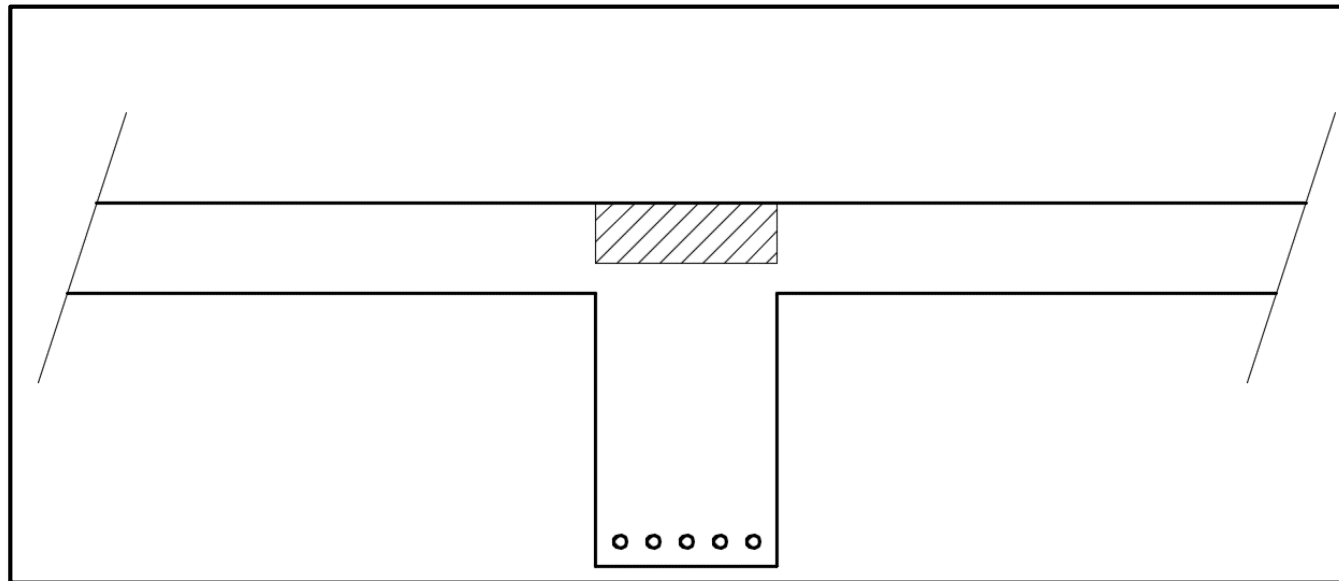
Průřez trámu

Ale jak velká část desky spolupůsobí s trámem?



Průřez trámu

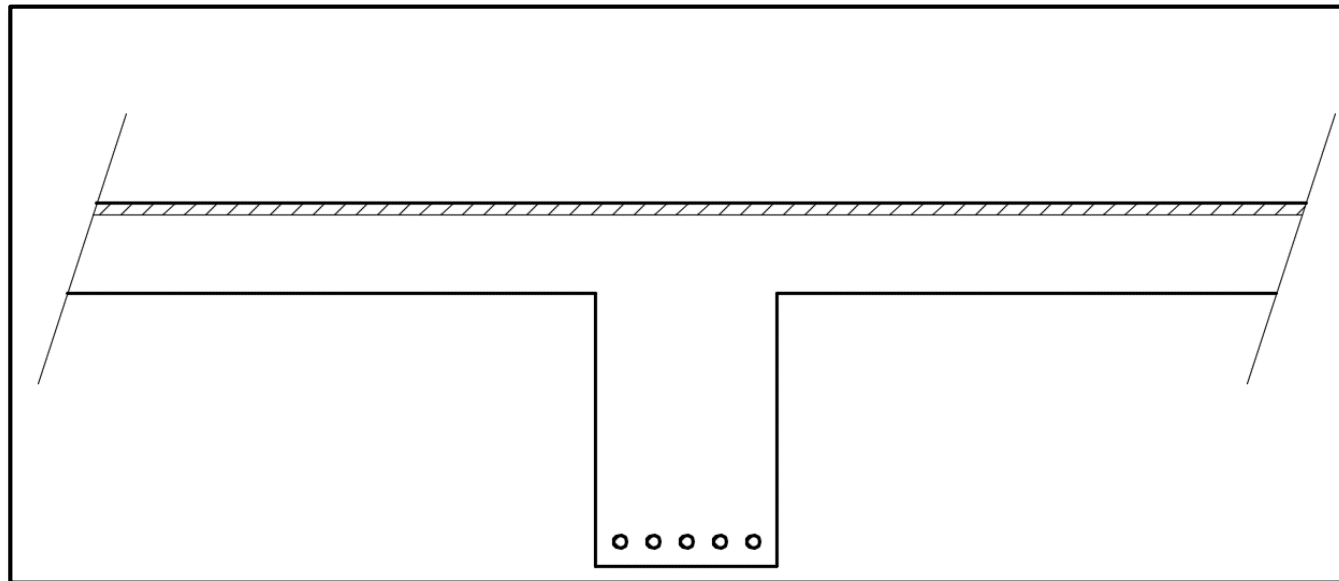
Ale jak velká část desky spolupůsobí s trámem?



jen v šířce trámu? divný

Průřez trámu

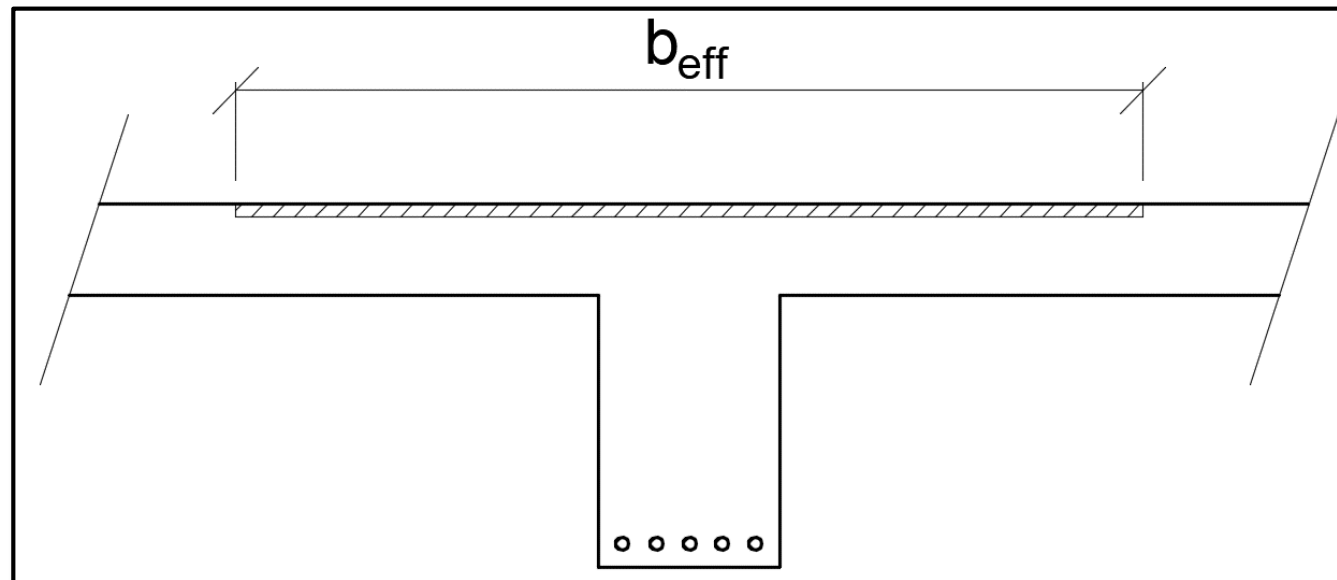
Ale jak velká část desky spolupůsobí s trámem?



v celé šířce desky? divný

Průřez trámu

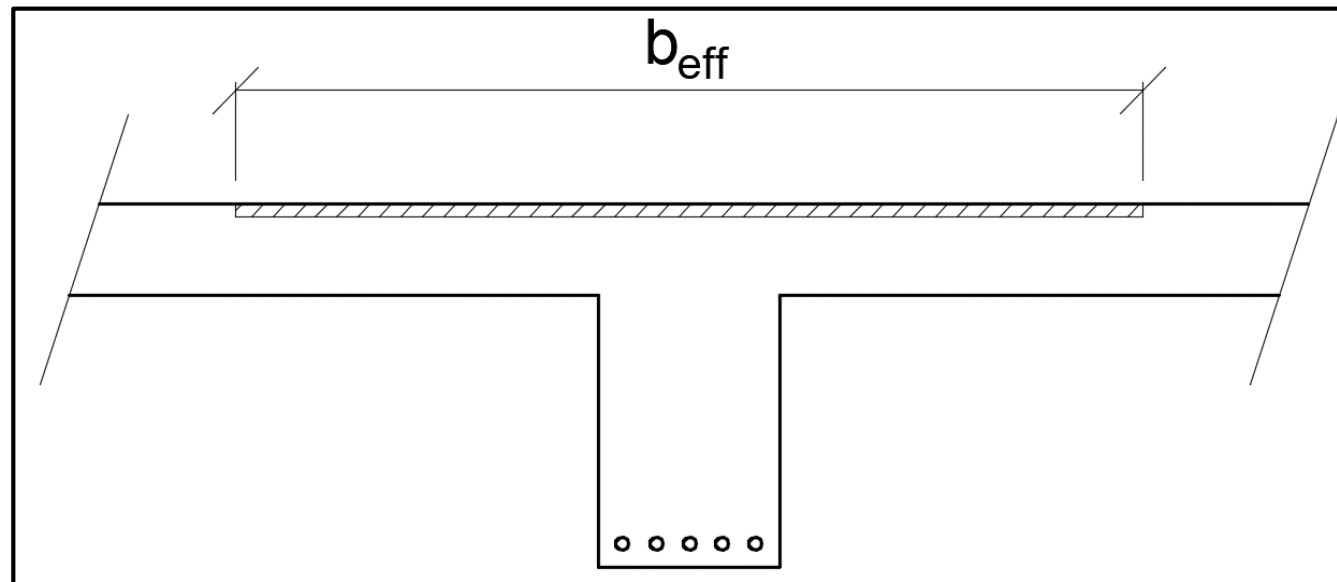
Ale jak velká část desky spolupůsobí s trámem?



v určité efektivní šířce? to zní normálně

Spolupůsobící šířka desky

Norma definuje určitou **spolupůsobící (efektivní) šířku desky**, kterou můžeme uvažovat jako součást trámu.



Spolupůsobící šířka desky

Vztah pro výpočet spolupůsobící šířky:

$$b_{eff} = b_T + b_{eff,1} + b_{eff,2},$$

kde $b_{eff,i} = \min(0.2b_i + 0.1l_0; 0.2l_0; b_i)$,

kde b_i je polovina světlé rozteče trámů,

l_0 je vzdálenost nulových momentů na trámu.

Spolupůsobící šířka desky

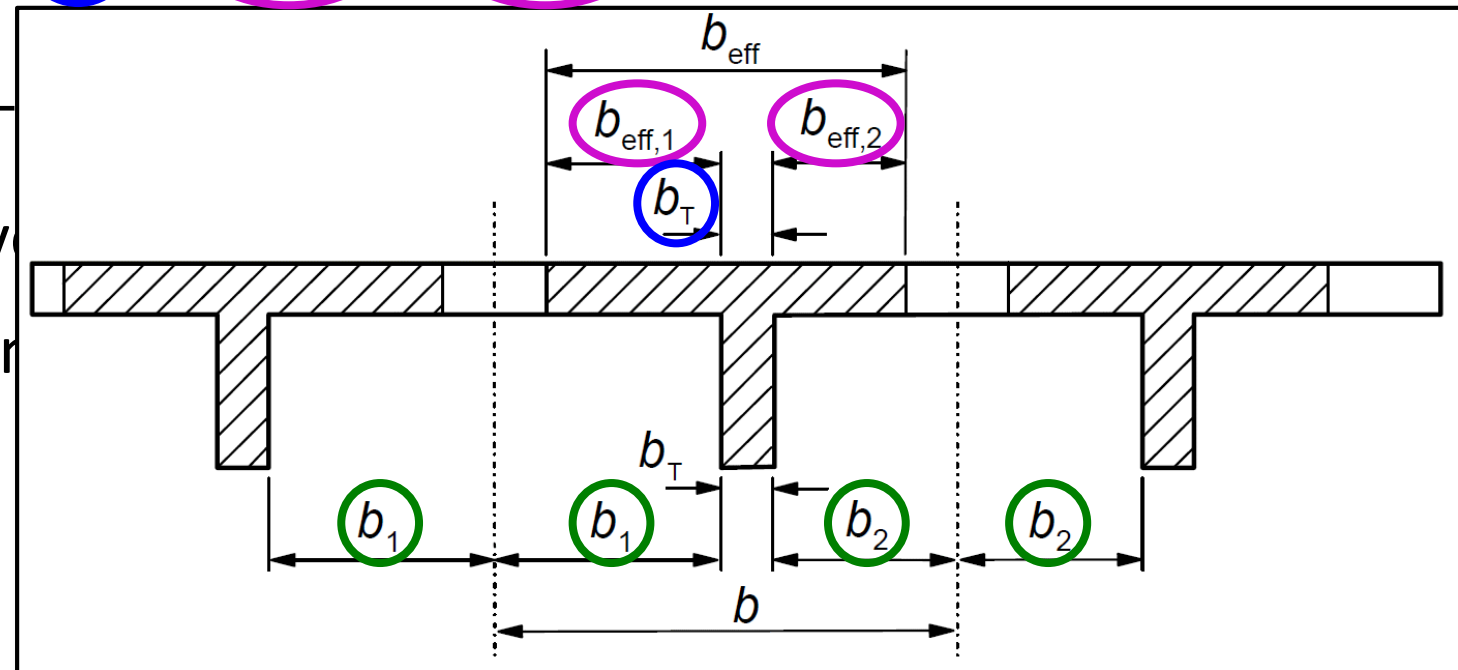
Vztah pro výpočet spolupůsobící šířky:

$$b_{eff} = b_T + b_{eff,1} + b_{eff,2}$$

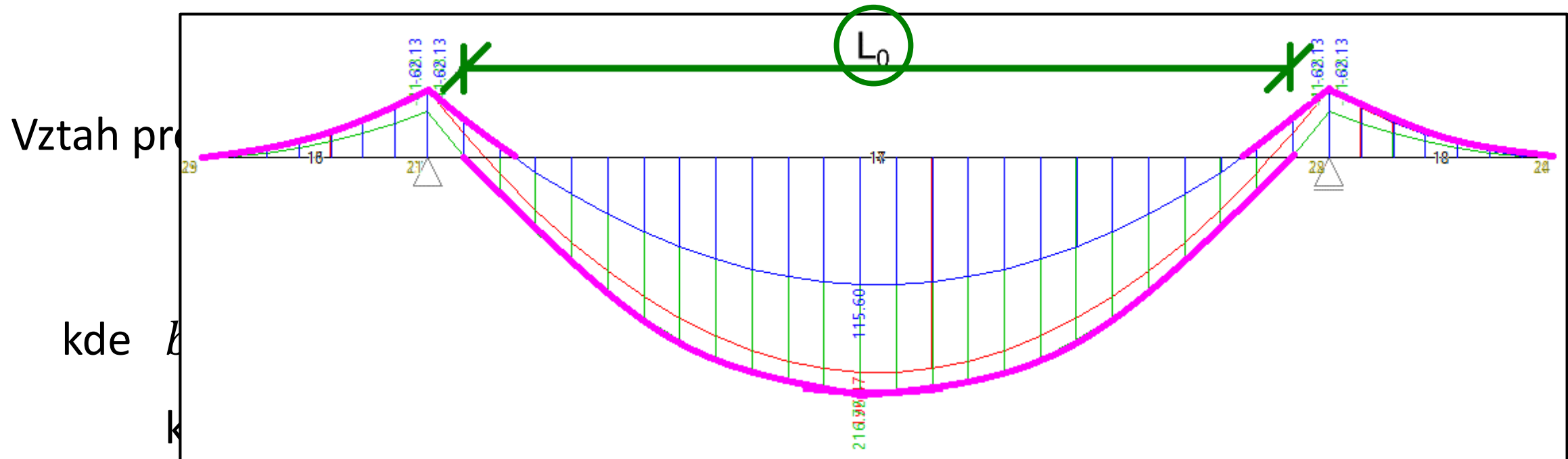
kde $b_{eff,i} = \min(0.2b_i +$

kde b_i je polovina sv

l_0 je vzdálenost r





Spolupůsobící šířka desky



Spolupůsobící šířka desky

Vzdálenost nulových momentů na trámu l_0 bereme z toho průběhu momentů, který nám dává moment, na který budeme posuzovat trám (ve cvičení je to KZS2). Vzdálenost l_0 můžeme určit:

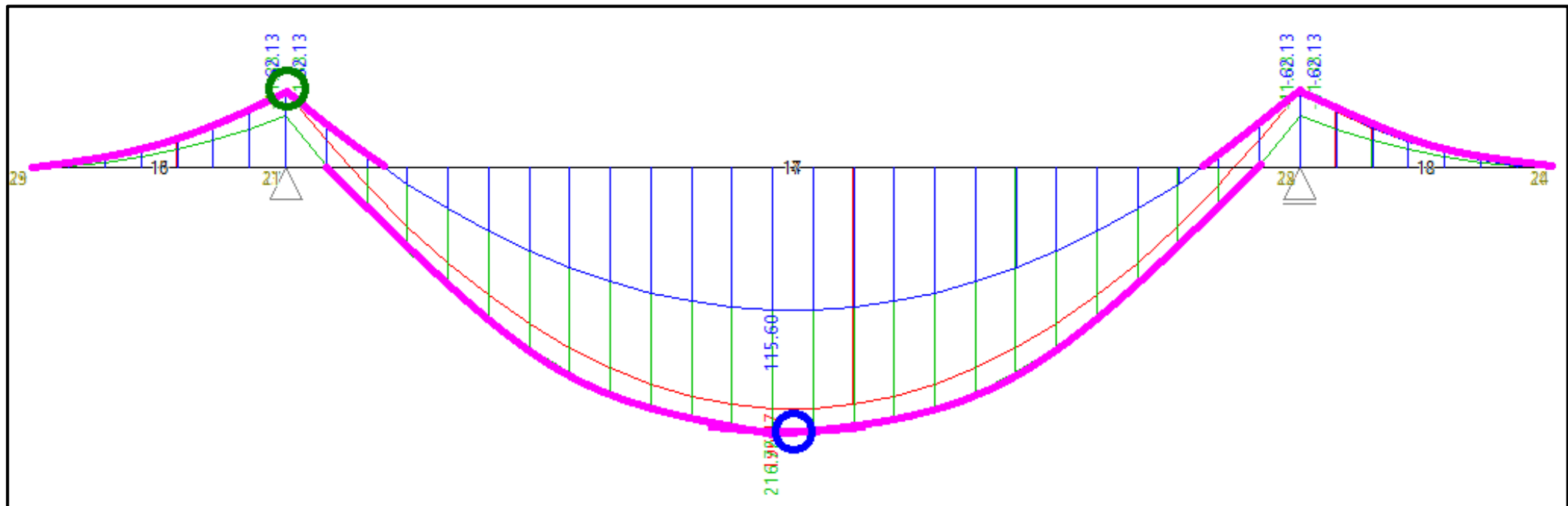
- přibližným vztahem $l_0 = 0.7L_T$ (pro vetknutí – vetknutí), 
- odměřením z momentů vykreslených v měřítku, 
- přesným výpočtem z rovnice pro moment $M(x) = \dots$ 100

(funkci popisující moment v závislosti na x položíme rovnou nule a vyjádříme x)

Návrh výztuže a posouzení průřezů trámu

Návrh výztuže a posouzení průřezů trámu

Musíme navrhnout výztuž (a posoudit průřez) v místě **maximálního záporného momentu (nad podporou)** a v místě **maximálního kladného momentu (v poli)**.



Návrh výztuže a posouzení průřezů trámu

Musíme navrhnout výztuž (a posoudit průřez) v místě **maximálního záporného momentu (nad podporou)** a v místě **maximálního kladného momentu (v poli)**.

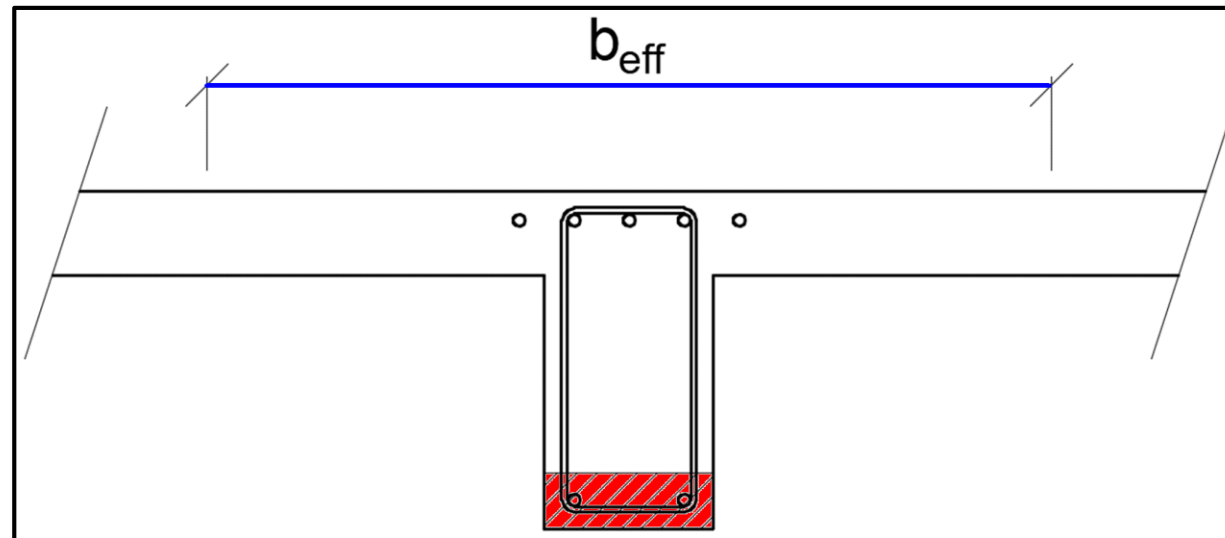
Výpočty se mírně liší pro moment nad podporou a moment v poli.

Průřez nad podporou (záporný moment)

Tlačená oblast a poloha výztuže

Záporný moment

- spodní vlákna jsou tlačena → **tlačená oblast** je dole a má šířku $b = b_T$
- horní vlákna jsou tažena → výztuž je u horního povrchu a může být rozmístěna v **části desky o šířce b_{eff}**



Návrh výztuže – požadovaná plocha

Požadovanou plochu ($A_{s,req}$) můžeme určit:

- přesným vzorcem

$$A_{s,req} = \frac{bdf_{cd}}{f_{yd}} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2M_{Ed,podp}}{bd^2f_{cd}}} \right),$$

- ze vzorce pro posouzení a inženýrským odhadem ramene vnitřních sil,

$$A_s f_{yd} z \geq M_{Ed} \quad (M_{Rd} \geq M_{Ed}),$$

$$A_s f_{yd} 0.7d \geq M_{Ed} \quad (\text{odhaduji, že bude platit } z = 0.7d),$$

$$A_{s,req} = M_{Ed,podp} / (f_{yd} 0.7d),$$

- vytvoření Excelu pro posouzení průřezu (stanovení M_{Rd}) a návrhem výztuže metodou pokus-omyl.

Návrh výztuže

Výztuž v trámu navrhujeme tak, že specifikujeme **kolik** prutů **jakého průměru** je v průřezu.

NÁVRH: $n \times \emptyset X$ ($A_{s,prov} = Z \text{ mm}^2$)

Návrh výztuže ve výše uvedeném formátu je vždy nutné uvést ve statickém výpočtu!

Návrh výztuže

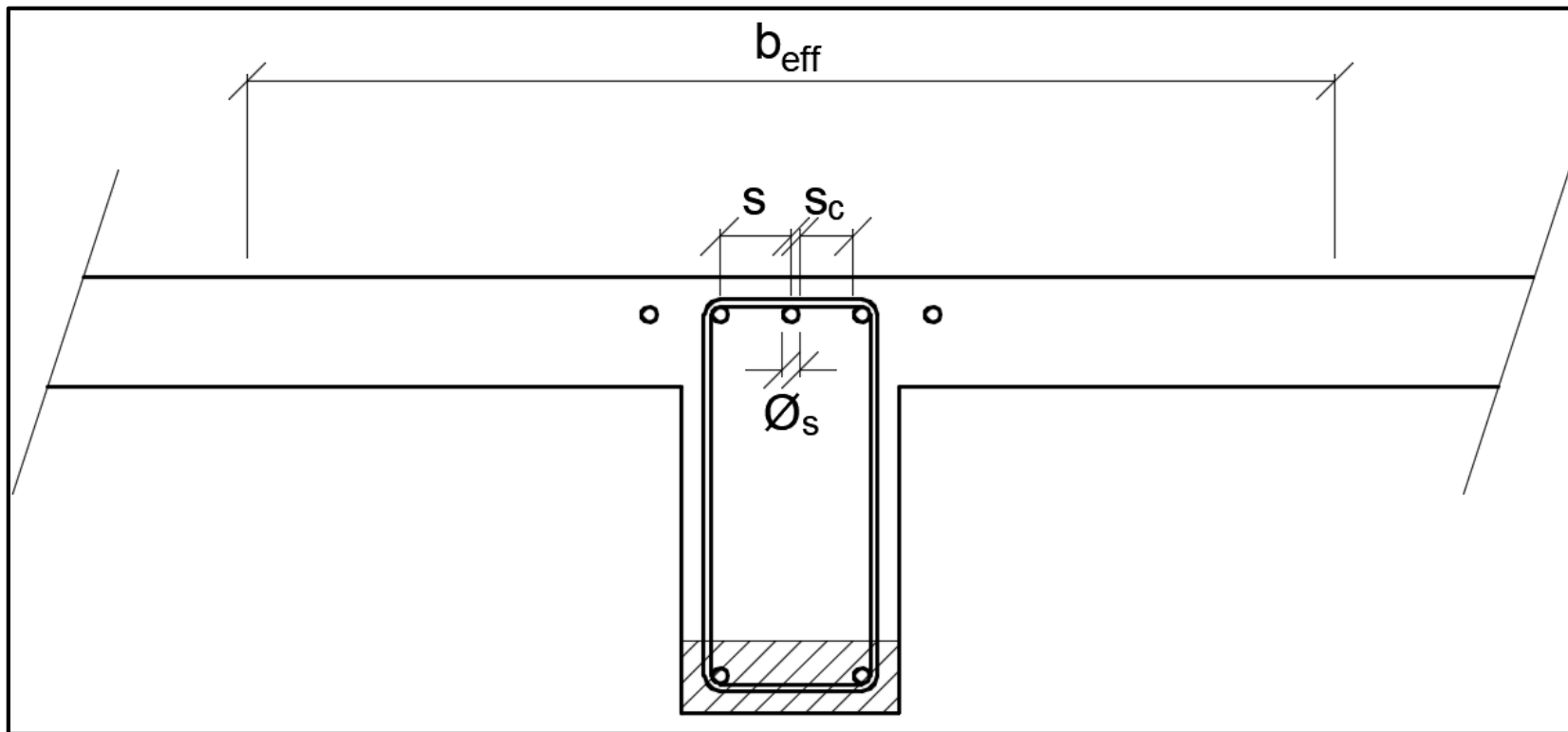
Návrh provedte tak, aby skutečná plocha ($A_{s,prov}$) byla větší než požadovaná plocha ($A_{s,req}$).

\emptyset_s volte z běžně dodávaných průměrů – tj. $\langle 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 25, 28, 32 \rangle$. Obecně je lepší **větší počet** prutů s **menším průměrem**.

Z ekonomických důvodů (tj. aby to nebylo zbytečně drahé), **výztuž navrhujte tak, aby výsledná únosnost (M_{Rd}) byla maximálně o 50 % větší než působící moment (M_{Ed}).**

Návrh výztuže

Pruty rozmístíme tak, aby se všechny pruty vešly do b_{eff} , a zároveň, aby splňovaly konstrukční zásady (další slidy) a geometrie dávala smysl (tzn. pruty do rohů třmínek).



Ověření konstrukčních zásad – plocha výztuže

Limity:

$$A_{s,min} = 0.0013b_T d,$$

$$A_{s,max} = 0.04b_T h_T.$$

Podmínky:

$$A_{s,min} \leq A_{s,prov} \leq A_{s,max}$$

Ověření konstrukčních zásad – rozteč prutů

Limity:

$$s_{min} = \max(20 \text{ mm}, 1.2\phi, D_{max} + 5 \text{ mm})$$

$$s_{max} = \min(2h_T, 250 \text{ mm})$$

Podmínky:

$$\begin{aligned} s_c &\geq s_{min}, \\ s &\leq s_{max}, \end{aligned}$$

kde s je osová vzdálenost prutů,

s_c je světlá vzdálenost prutů.

Posouzení průřezu – výška tlačené oblasti

Výška tlačené oblasti:

$$x = \frac{A_{s,prov} f_{yd}}{0.8 b_T f_{cd}}.$$

Ověření předpokladu protažení výztuže za mez kluzu:

$$\varepsilon_s = \frac{0.0035}{x} (d - x) \geq \frac{f_{yd}}{E_s}.$$

Ověření normové podmínky pro poměrnou výšku tlačené oblasti

$$\xi = \frac{x}{d} \leq 0.45.$$

Posouzení průřezu

Rameno vnitřních sil:

$$z = (d - 0.4x).$$

Výpočet momentu únosnosti:

$$M_{Rd} = A_{s,prov} f_{yd} z.$$

Posouzení:

$$M_{Ed,podp} \leq M_{Rd}.$$

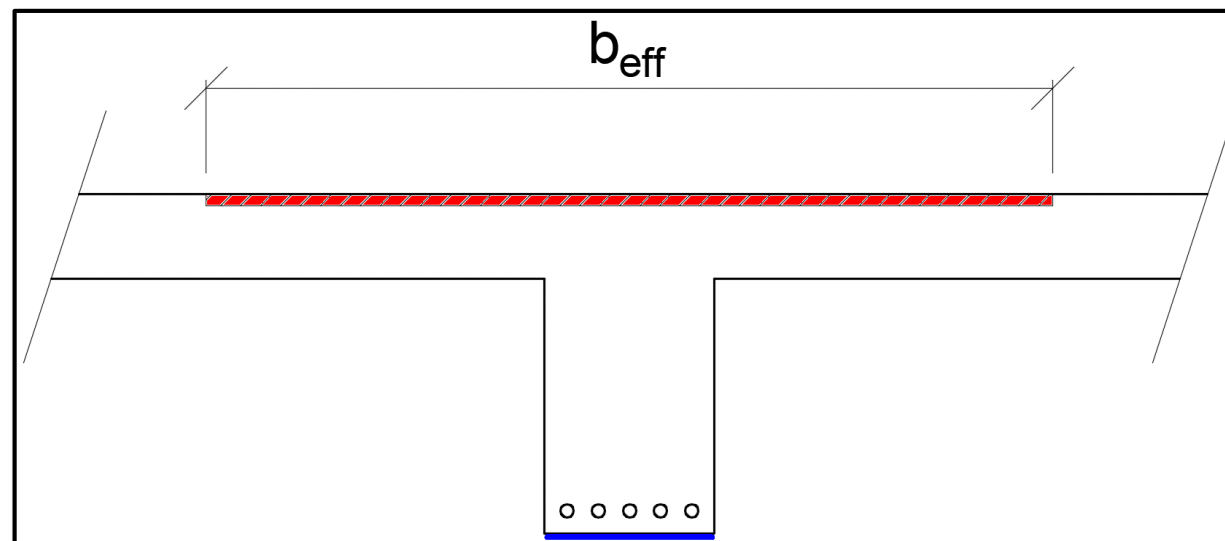
Ideálně by únosnost měla být cca 1.2x až 1.5x větší než působící moment
Pokud by únosnost byla větší, návrh by byl zbytečně neekonomický.

Průřez v poli (kladný moment)

Tlačená oblast a poloha výztuže

Kladný moment

- horní vlákna jsou tlačena → **tlačená oblast** je nahoře a má šířku $b = b_{eff}$
- dolní vlákna jsou tažena → výztuž je u dolního povrchu a musí se vejít do šířky trámu b_T



Návrh výztuže – požadovaná plocha

Požadovanou plochu ($A_{s,req}$) můžeme určit:

- přesným vzorcem

$$A_{s,req} = \frac{b_{eff} d f_{cd}}{f_{yd}} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2M_{Ed,pole}}{b_{eff} d^2 f_{cd}}} \right),$$

- ze vzorce pro posouzení a inženýrským odhadem ramene vnitřních sil,

$$A_{s,req} = M_{Ed,pole} / (f_{yd} 0.9d),$$

(v nadpodporového bylo pouze 0.7; nyní dávám 0.9, protože šířka tlačené oblasti je výrazně větší a její výška x bude tedy výrazně menší a z bude výrazně větší),

- vytvoření Excelu pro posouzení průřezu (stanovení M_{Rd}) a návrhem výztuže metodou pokus-omyl.

Návrh výztuže

Výztuž v trámu navrhujeme tak, že specifikujeme **kolik** prutů **jakého průměru** je v průřezu.

NÁVRH: $n \times \emptyset X$ ($A_{s,prov} = Z \text{ mm}^2$)

Návrh výztuže ve výše uvedeném formátu je vždy nutné uvést ve statickém výpočtu!

Návrh výztuže

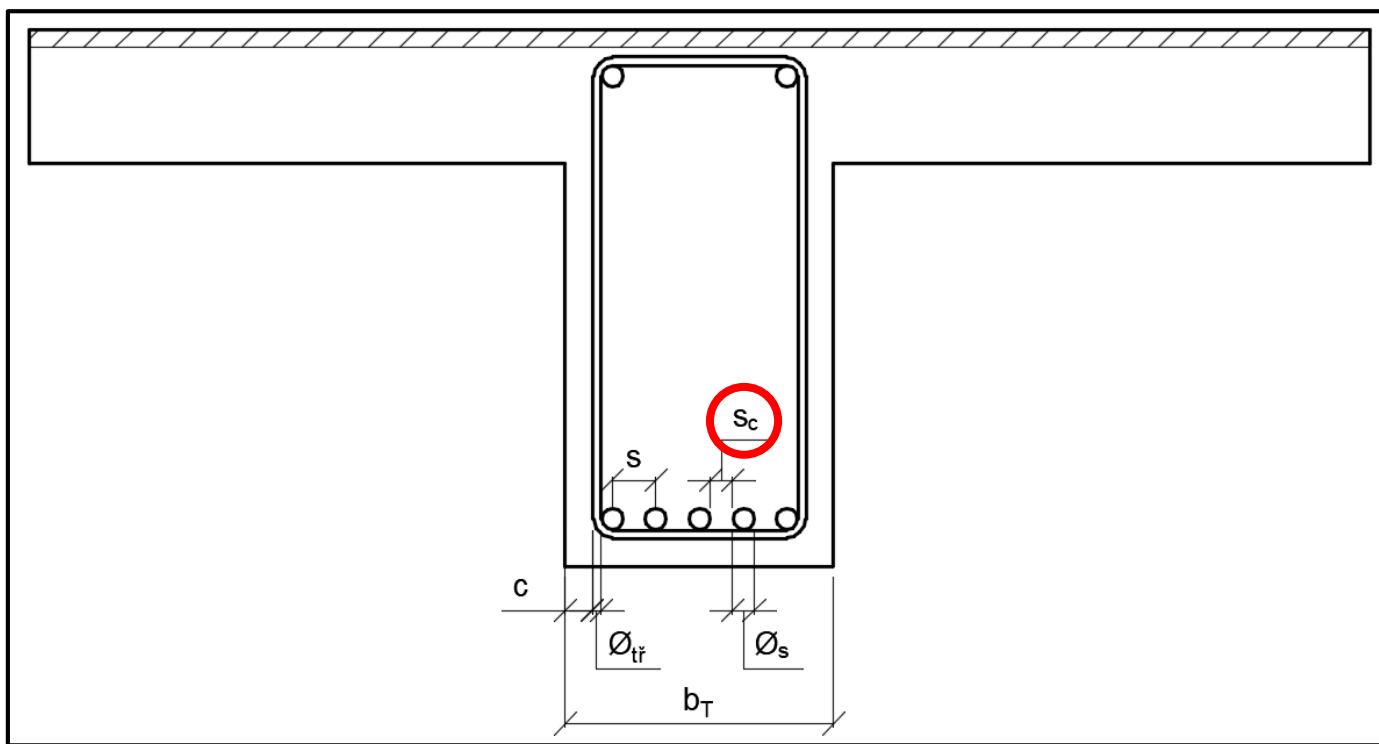
Návrh provedte tak, aby skutečná plocha ($A_{s,prov}$) byla větší než požadovaná plocha ($A_{s,req}$).

\emptyset_s volte z běžně dodávaných průměrů – tj. $\langle 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 25, 28, 32 \rangle$. Obecně je lepší **větší počet** prutů s **menším průměrem**.

Z ekonomických důvodů (tj. aby to nebylo zbytečně drahé), **výztuž navrhujte tak, aby výsledná únosnost (M_{Rd}) byla maximálně o 50 % větší než působící moment (M_{Ed}).**

Návrh výztuže

Pruty se nám musí vejít do šířky trámu. **Může být problém s dodržením minimální světlé vzdálenosti** – viz ověření konstrukčních zásad níže.



Ověření konstrukčních zásad – plocha výztuže

Limity:

$$A_{s,min} = 0.0013b_T d,$$

$$A_{s,max} = 0.04b_T h_T.$$

Podmínky:

$$A_{s,min} \leq A_{s,prov} \leq A_{s,max}$$

Ověření konstrukčních zásad – rozteč prutů

Limity:

$$s_{min} = \max(20 \text{ mm}, 1.2\phi, D_{max} + 5 \text{ mm})$$

$$s_{max} = \min(2h_T, 250 \text{ mm})$$

Podmínky:

$$s_c \geq s_{min},$$

$$s \leq s_{max},$$

kde s_c je světlá vzdálenost prutů,

$$s_c = \frac{b_T - 2c - 2\phi_{tř} - n\phi_s}{n - 1},$$

(viz geometrie)

s je osová vzdálenost prutů,

$$s = s_c + \phi.$$

Posouzení průřezu – výška tlačené oblasti

Výška tlačené oblasti:

$$x = \frac{A_{s,prov} f_{yd}}{0.8 b_{eff} f_{cd}}.$$

Ověření předpokladu protažení výztuže za mez kluzu:

$$\varepsilon_s = \frac{0.0035}{x} (d - x) \geq \frac{f_{yd}}{E_s}.$$

Ověření normové podmínky pro poměrnou výšku tlačené oblasti

$$\xi = \frac{x}{d} \leq 0.45.$$

Posouzení průřezu

Rameno vnitřních sil:

$$z = (d - 0.4x).$$

Výpočet momentu únosnosti:

$$M_{Rd} = A_{s,prov} f_{yd} z.$$

Posouzení:

$$M_{Ed,pole} \leq M_{Rd}.$$

Ideálně by únosnost měla být cca 1.2x až 1.5x větší než působící moment
Pokud by únosnost byla větší, návrh by byl zbytečně neekonomický.

Konec

Poděkování

Děkuji **Radku Štefanovi, Tomáši Trtíkovi a Romanu Chylíkovi** za časté konzultace při vypracovávání prezentace.

Děkuji **Stáňovi Zažirejovi** za poskytnutí vizualizací a obrázků.

Děkuji **Petru Bílému a Martinovi Tipkovi** za vytvoření a udržování oficiálních podkladů, ze kterých vychází tato prezentace.