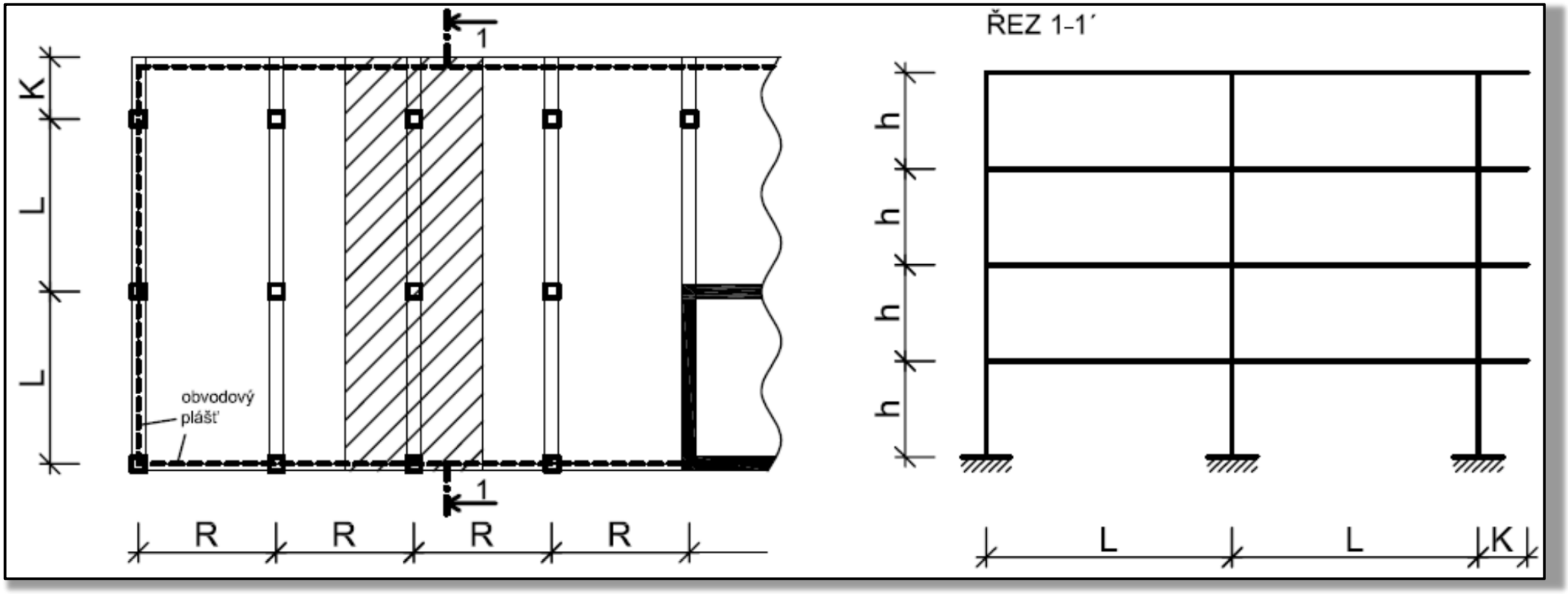
Železobetonová rámová konstrukce

Návrh výztuže a posouzení průřezů příčle

Autor: Jakub Holan

Poslední aktualizace: 08.10.2021 8:42

Řešená konstrukce



Všechny kroky návrhu a posouzení

1. Návrh rozměrů a výpočet zatížení
2. Statický výpočet
   a) Vnitřní síly pomocí SCIA 21
   b) Redistribuce a redukce momentů
   c) Návrh výztuže a posouzení průřezů příčle – ohyb a smyk
   d) Návrh výztuže a posouzení průřezů sloupu – kombinace ohybu a tlaku (interakční diagram)
3. Schéma vyztužení rámu
4. Výkres výztuže části rámu

Aktuální krok návrhu a posouzení

2. c) Statický výpočet – Návrh a posouzení výztuže příčle

1) Návrh **ohybové** výztuže a posouzení průřezů
2) Návrh **smykové** výztuže a posouzení průřezů

Obecná doporučení k výpočtům

Doporučuji všechny **výpočty** vždy **nejprve provádět v Excelu** a až **poté ručně**. Může se stát, že vám na konci statického výpočtu něco nevyhoví a budete muset změnit a přepočítat celý návrh.

Jednoduché části výpočtu (např. únosnosti jednostranně vyztužených průřezů) je **vhodné** provádět **formou tabulky**.

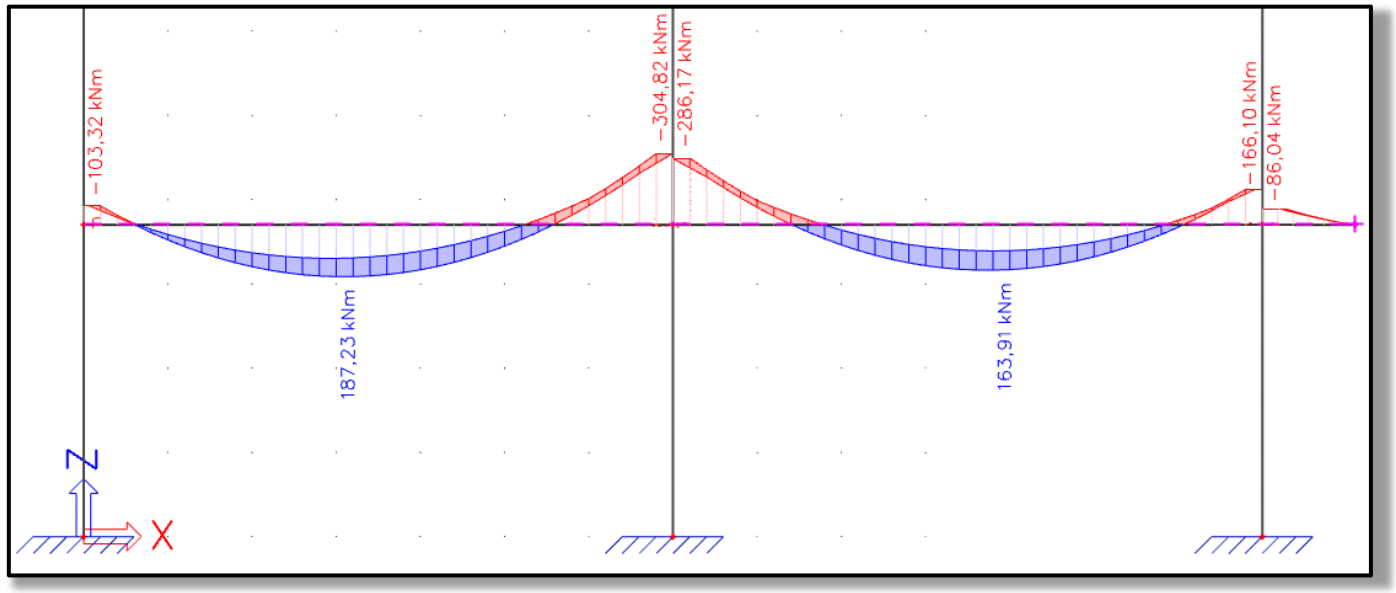
	n	⌀	d_T	s_{min}	s_{max}	s	Posouzení	$A_{s,min}$	$A_{s,max}$	$A_{s,prov}$	Posouzení	x	z	ξ	M_{Rd}	MEd	Posouzení
		mm	mm	mm	mm	mm		mm^2	mm^2	mm^2		mm	mm		kNm	kNm	
Levá podpora																	
Levé pole																	
Střední podpora																	
Pravé pole																	
Pravá podpora																	

Složitější výpočty (např. únosnost oboustranně vyztuženého průřezu) je **lepší počítat** klasicky formou **statického výpočtu** (obecný vzorec, dosazení, výsledek).

Ohybová výztuž příčle

Ohybová výztuž příčle

Ohybovou **výztuž musíme navrhnout** v nejvíce namáhaných průřezech prvku* – tedy kde?

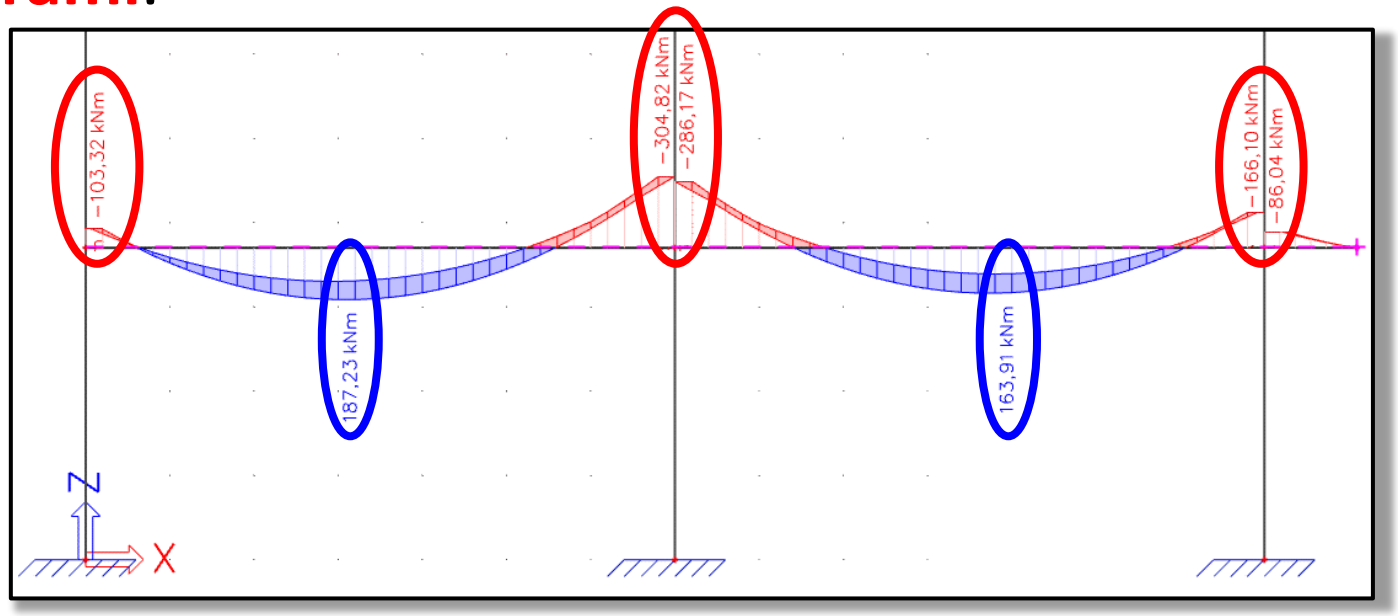


*Vycházíme z REDUKOVANÝCH ohybových momentů.

Ohybová výztuž příčle

Ohybovou **výztuž musíme navrhnout** v nejvíce namáhaných průřezech prvku* – tedy:

- **v polích**,
- **nad podporami**.



*Vycházíme z REDUKOVANÝCH ohybových momentů.

Ohybová výztuž příčle

Průřez v poli

Spolupůsobící šířka

Pro průřez v poli potřebujeme nejprve stanovit **spolupůsobící šířku desky***

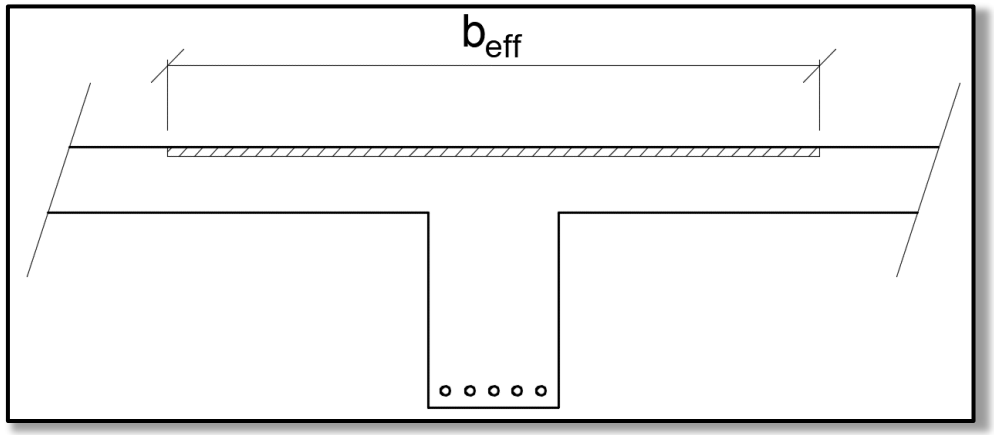
$$b_{eff} = b_T + b_{eff,1} + b_{eff,2},$$

kde b_T je šířka průřezu příčle,

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

kde b_i je co?,

l_0 je co?.

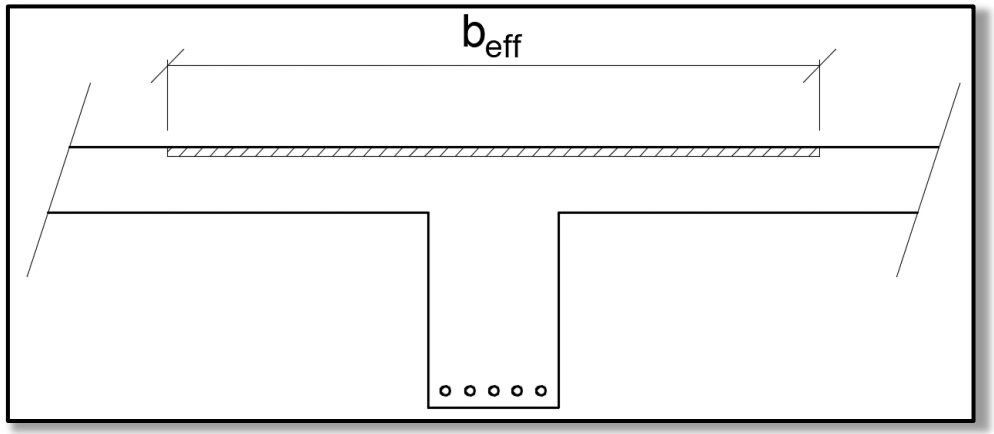


*Šířka desky, o které uvažujeme, že spolupůsobí s příčlí a přenáší tlakové namáhání od ohybu. Je to tedy ŠÍŘKA TLAČENÉ OBLASTI pro průřez příčle v poli.

Spolupůsobící šířka

Pro průřez v poli potřebujeme nejprve stanovit **spolupůsobící šířku desky***

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



kde b_T je šířka průřezu příčle,

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

kde b_i je polovina světlé rozteče trámů,

l_0 je vzdálenost nulových momentů na trámu (odměříme z vykreslených momentů).

*Šířka desky, o které uvažujeme, že spolupůsobí s příčlí a přenáší tlakové namáhání od ohybu. Je to tedy ŠÍŘKA TLAČENÉ OBLASTI pro průřez příčle v poli.

Spolupůsobící šířka

Pro průřez v poli potřebujeme nejprve stanovit **spolupůsobící šířku desky***

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

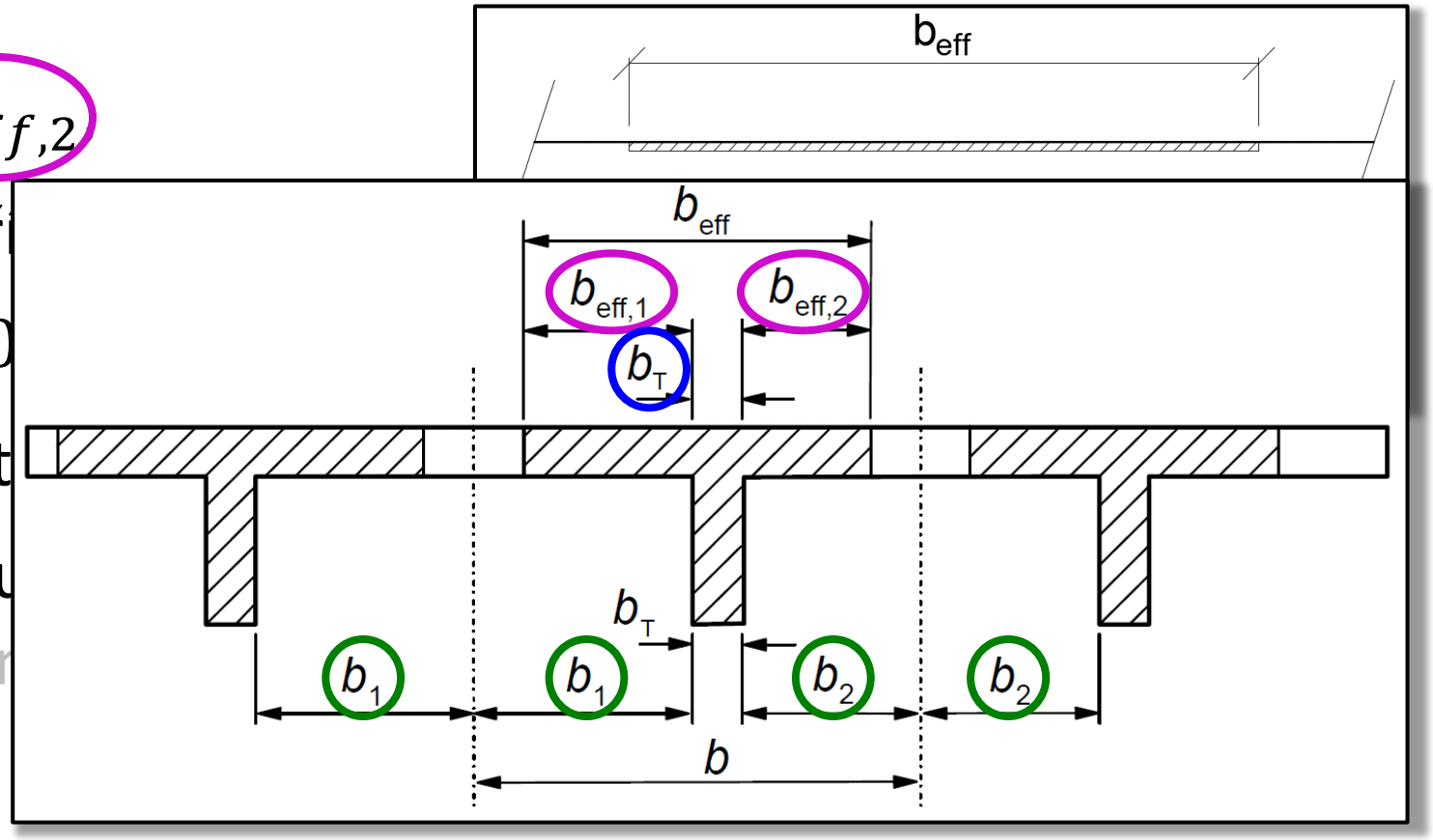
kde b_T je šířka průřezu pří

$$b_{eff,i} = \min(0.2 b_i + 0$$

kde b_i je polovina svět

l_0 je vzdálenost nu

z vykreslených r



*Šířka desky, o které uvažujeme, že spolupůsobí s příčlí a přenáší tlakové namáhání od ohybu.

Spolupůsobící šířka

Pro průřez v poli p
desky*

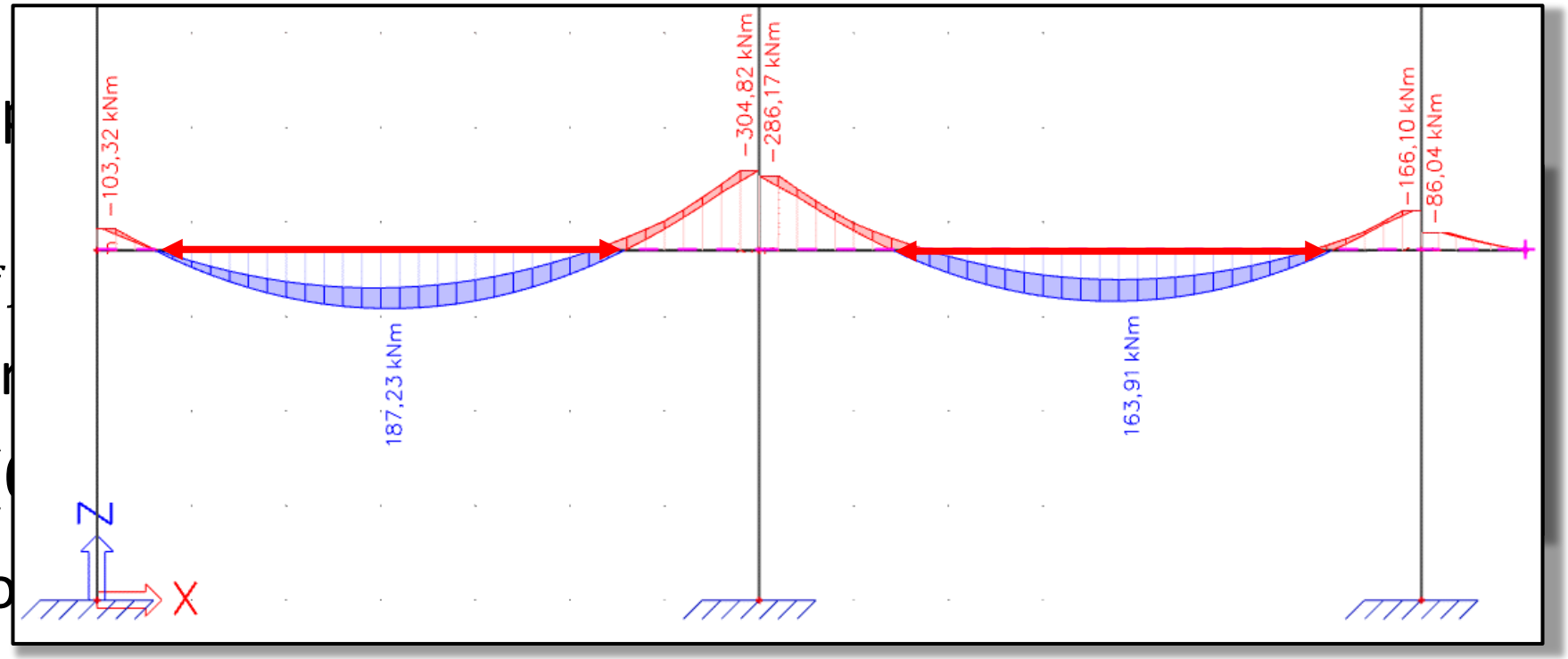
$$b_{eff} = b_T + b_{ef}$$

kde b_T je šířka pr

$$b_{eff,i} = \min($$

kde b_i je polo

l_0 je vzdálenost nulových momentů na trámu (odměříme z vykreslených momentů).



*Šířka desky, o které uvažujeme, že spolupůsobí s příčlí a přenáší tlakové namáhání od ohybu.

Návrh výztuže

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

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

nebo „inženýrským odhadem“ ramene vnitřních sil ($z = 0.9d$),

$$A_{s,req} = M_{Ed,rdk} / \left(f_{yd} 0.9d \right),$$

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

Návrh výztuže

Výztuž v trámu navrhneme tak, že specifikujeme *co?*

Návrh výztuže

Výztuž v trámu navrhneme tak, že specifikujeme kolik prutů jakého průměru* bude v průřezu příčle.

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

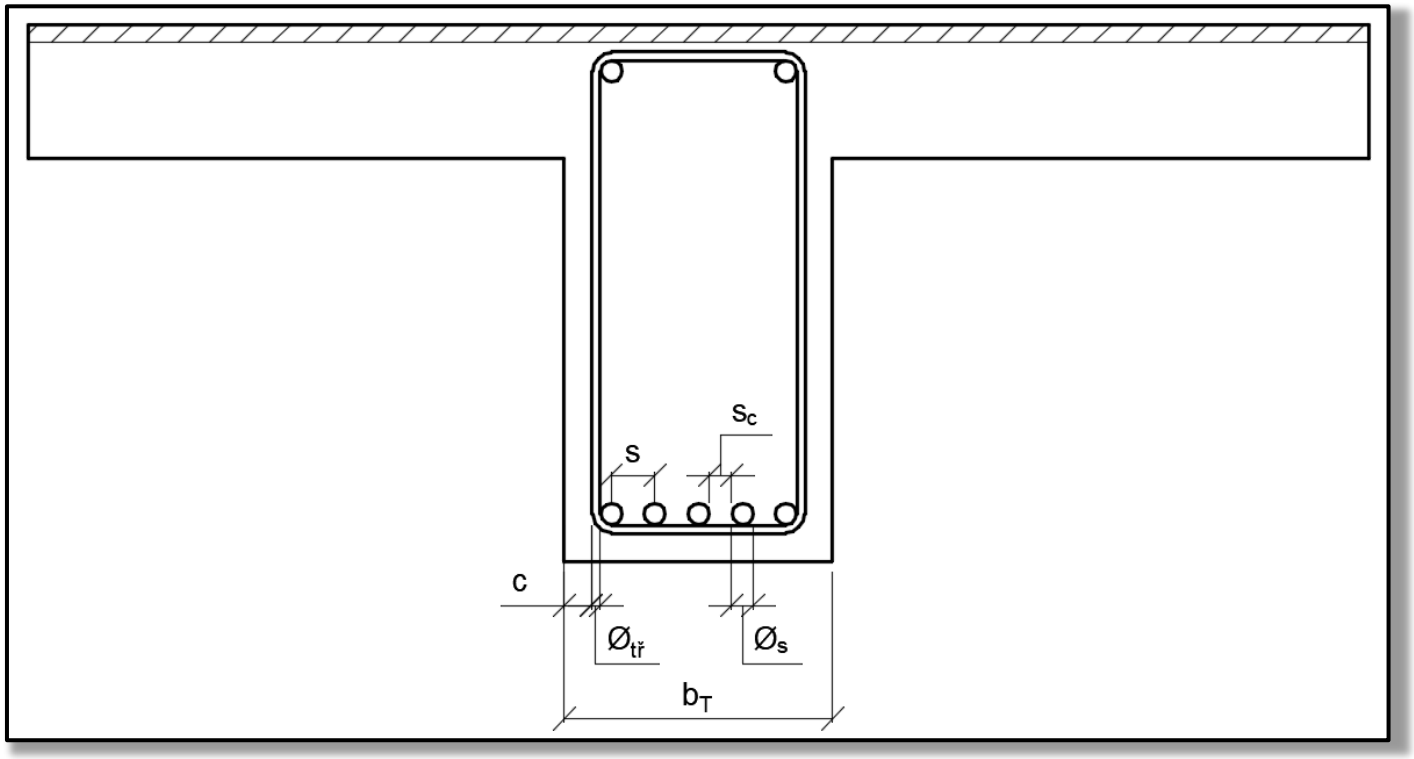
Návrh výztuže ve výše uvedeném formátu musíme vždy uvést ve statickém výpočtu!

Navržená plocha výztuže $A_{s,prov}$ by měla být větší než požadovaná plocha výztuže $A_{s,req}$.

*Průměr prutu už jsme odhadli při výpočtu krytí je nutné tento průměr dodržet nebo zvolit menší. Kdybychom ho nedodrželi, bylo by nutné přepočítat krytí.

Návrh výztuže

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



Ověření konstrukčních zásad – rozteč

Navržené rozmístění prutů musí splňovat **konstrukční zásady**.

Pro světlou rozteč prutů, kterou určíme jako

$$s_c = \frac{b_T - 2c - 2\text{Ø}_{tř} - n\text{Ø}_s}{n-1},$$ (viz geometrie)

musí platit

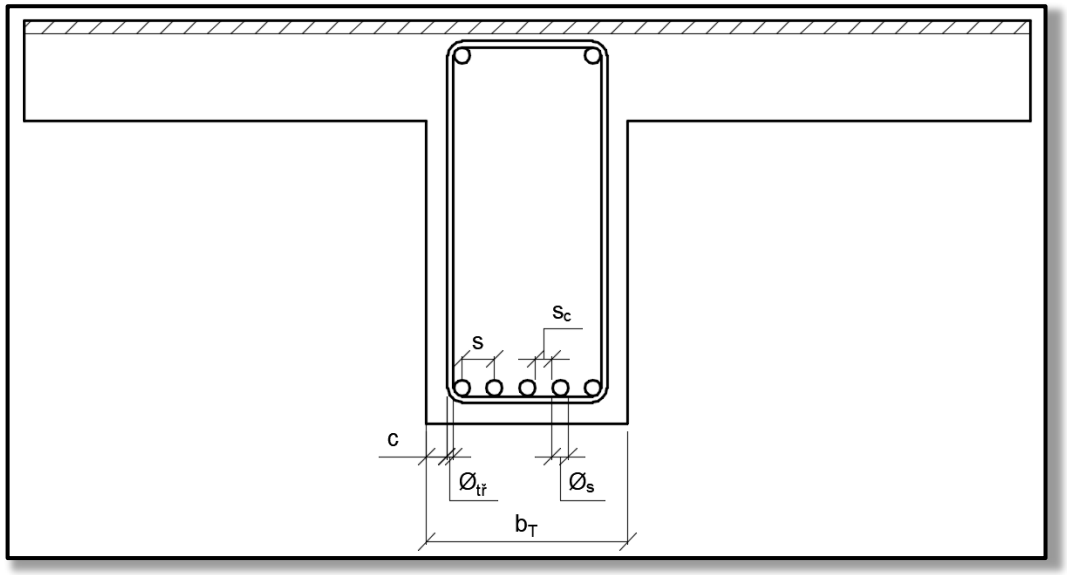
$$\boxed{s_c \geq \max(20\ \text{mm}, 1.2\text{Ø}, D_{max} + 5\ \text{mm})}.$$

Pro osovou rozteč prutů, kterou určíme jako

$$s = s_c + \varnothing,$$

musí platit

$$\boxed{s \leq \min(2h_T, 250\ \text{mm})\,.}$$

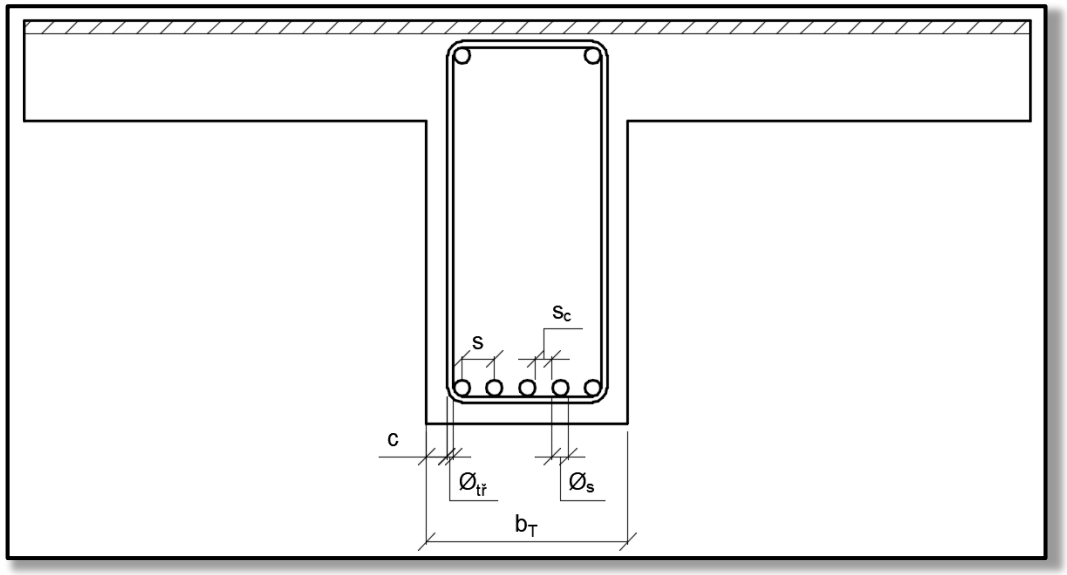


Ověření konstrukčních zásad – plocha

Navržená plocha výztuže musí splňovat **konstrukční zásady**. Musí platit

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

$$?\cdot\ b_T d \leq A_{s,prov} \leq ?\cdot\ b_T h_T.$$

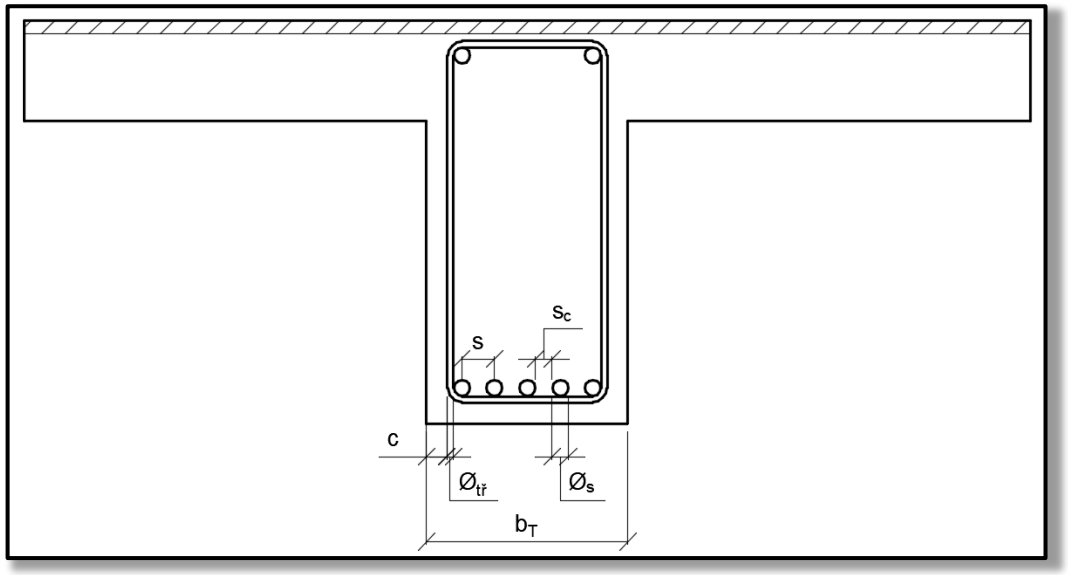


Ověření konstrukčních zásad – plocha

Navržená plocha výztuže musí splňovat **konstrukční zásady**. Musí platit

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

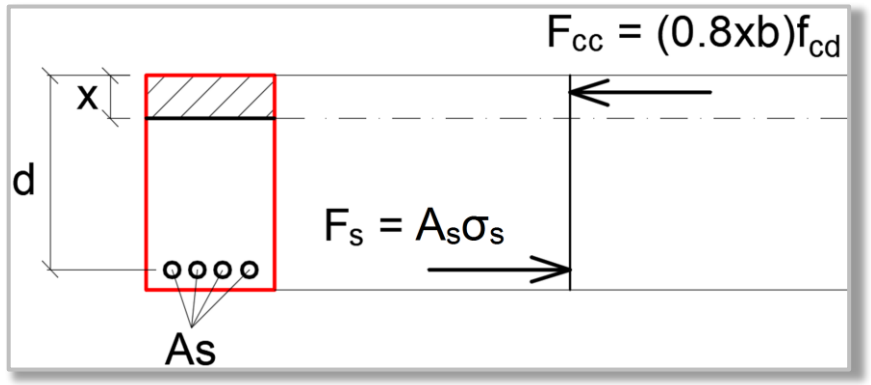
$$0.0013 b_T d \leq A_{s,prov} \leq 0.04 b_T h_T.$$



Posouzení průřezu – výška tlačené oblasti

Výšku tlačené oblasti určíme pomocí vztahu

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



který vychází z rovnosti vnitřních sil v průřezu

$$F_{cc} = F_s,$$

a předpokladu, že tažená výztuž je za mezí kluzu

$$\sigma_s = f_{yd}.$$

Posouzení průřezu – ověření napětí

Při výpočtu výšky tlačené oblasti jsme předpokládali, že výztuž je za mezí kluzu. To nyní ověříme vztahem

$$\frac{x}{d} \leq 0.617.$$

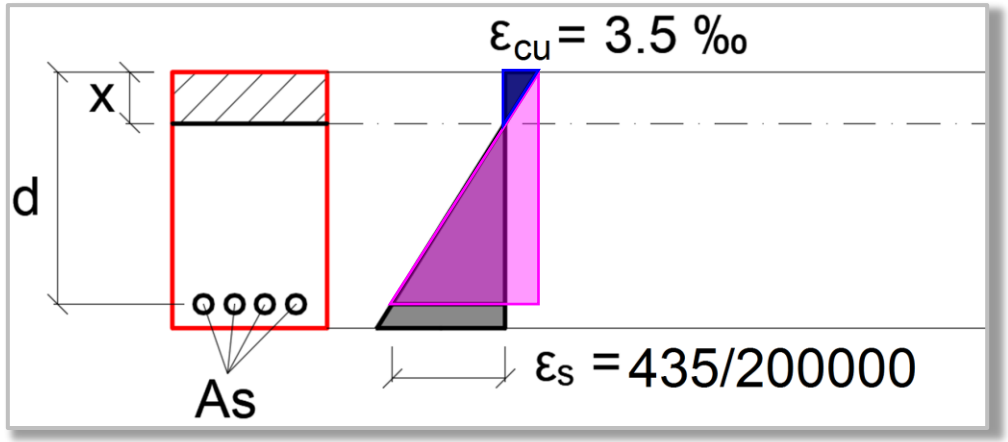
Vztah vychází z podobnosti trojúhelníků přetvoření při namáhání, kdy $\sigma_s = f_{yd}$.

$$\frac{\varepsilon_{cu}}{x} = \frac{\varepsilon_{cu} + \varepsilon_{sy}}{d}$$

$$\frac{\varepsilon_{cu}}{\varepsilon_{cu} + \varepsilon_{sy}} = \frac{x}{d}$$

$$\frac{0.0035}{0.0035 + 435/200000} = \frac{x}{d}$$

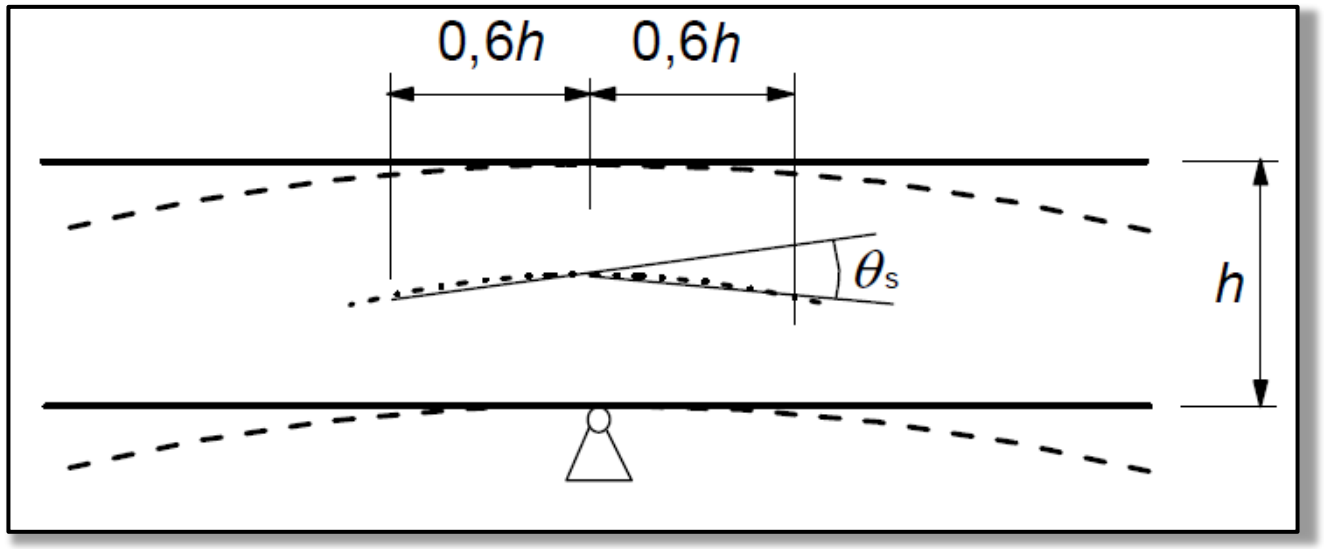
$$0.617 = \frac{x}{d}$$



Posouzení průřezu – ověření rotační kapacity

Při výpočtu výšky tlačené oblasti jsme uvažovali, že **napětí v tlačeném betonu je konstantní**. Abychom tohle mohli uvažovat, musí být zajištěno, že **průřez se zvládne dostatečně pootočit**. To nemusíme přímo počítat a stačí, když ověříme, že platí

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

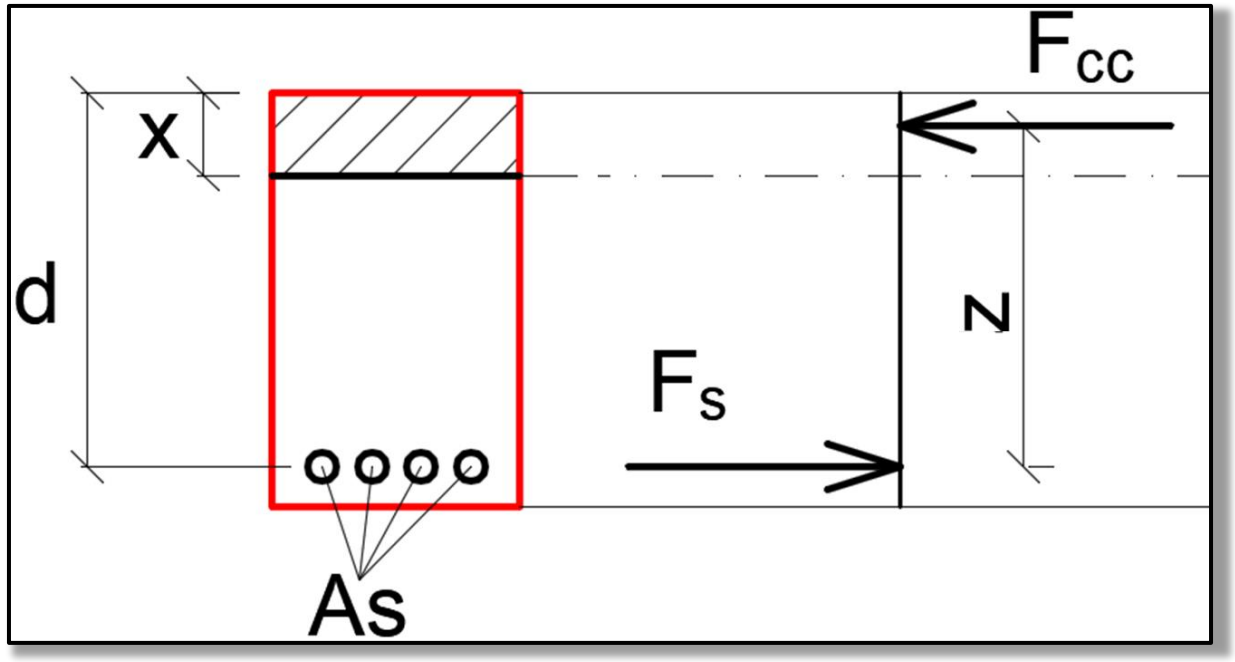


*Což děláme, když uvažujeme, že napětí v tlačeném betonu je při MSÚ konstantní.

Posouzení průřezu – moment únosnosti

Moment únosnosti průřezu stanovíme jako momentový účinek vnitřních sil počítaný k působišti síly F_{cc} pomocí vztahu

$$M_{Rd} = A_{s,prov} f_{yd} (d - 0.4x).$$



Posouzení průřezu – konečné posouzení

Průřez posoudíme porovnáním s působícím redukovaným momentem

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

Ideálně by únosnost měla být o trochu (*kolikrát?*) větší než působící moment.

Posouzení průřezu – konečné posouzení

Průřez posoudíme porovnáním s působícím redukovaným momentem

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

Ideálně by únosnost měla být o trochu ($1.2\times$ až $1.5\times$) větší než působící moment.

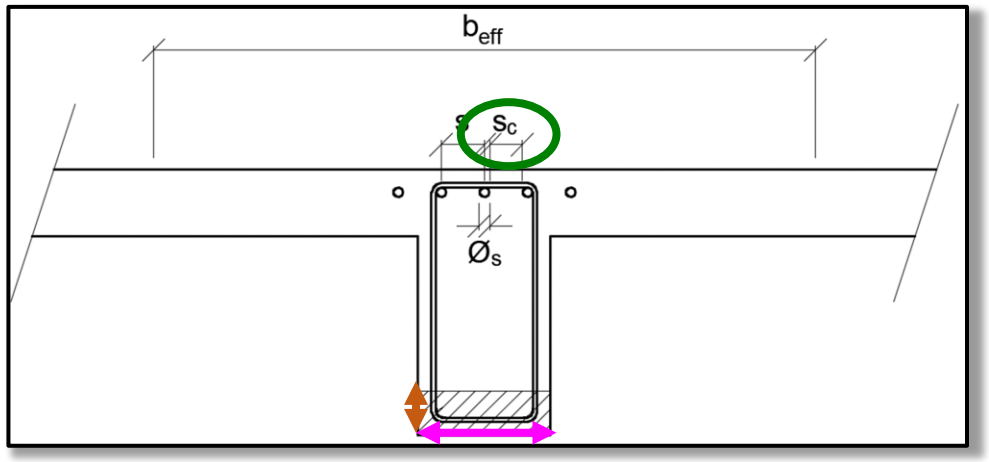
Ohybová výztuž příčle

Průřez nad podporou

Průřez nad podporou

Průřez nad podporou řešíme skoro stejně jako průřez v poli. Rozdílem je jen to, že tlačená oblast je dole a tažená oblast je nahoře, takže

- **šířka tlačené oblasti je rovna šířce příčle**
- **výška tlačené oblasti je větší**.
- výztuž můžeme umístit i do desky a **nemáme problém s dodržením minimální světlé rozteče**.



Návrh výztuže

Požadovanou plochu opět můžeme určit přesným vzorcem

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

nebo „inženýrským odhadem“,

$$A_{s,req} = M_{Ed,rdk} / \left(f_{yd} 0.7d \right),$$

nebo pomocí Excelu a metodou pokus-omyl.

Návrh výztuže

Výztuž v trámu opět navrhneme tak, že specifikujeme kolik prutů jakého průměru bude v průřezu příčle.

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

Při volbě průměru prutů výztuže je vhodné zvolit buď stejné průměry jako v poli nebo výrazně (alespoň ob velikost) menší/větší*.

*Aby pak na stavbě nedošlo ke zmatkům a záměně prutů.

Ověření konstrukčních zásad

Pro navrženou výztuž musíme opět ověřit konstrukční zásady pro rozteč prutů

$$s_c \geq \max(20\ \text{mm}, 1.2\emptyset, D_{max} + 5\ \text{mm}),$$

$$s \leq \min(2h_T, 250\ \text{mm}),$$

a pro plochu výztuže

$$0.0013 b_T d \leq A_{s,prov} \leq 0.04 b_T h_T.$$

Momentová únosnost

Následně pak můžeme spočítat výšku tlačené oblasti

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

ověřit výšku tlačené oblasti

$$\frac{x}{d} \leq 0.45$$

vypočítat momentovou únosnost

$$M_{Rd} = A_{s,prov} f_{yd} (d - 0.4x),$$

a posoudit

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

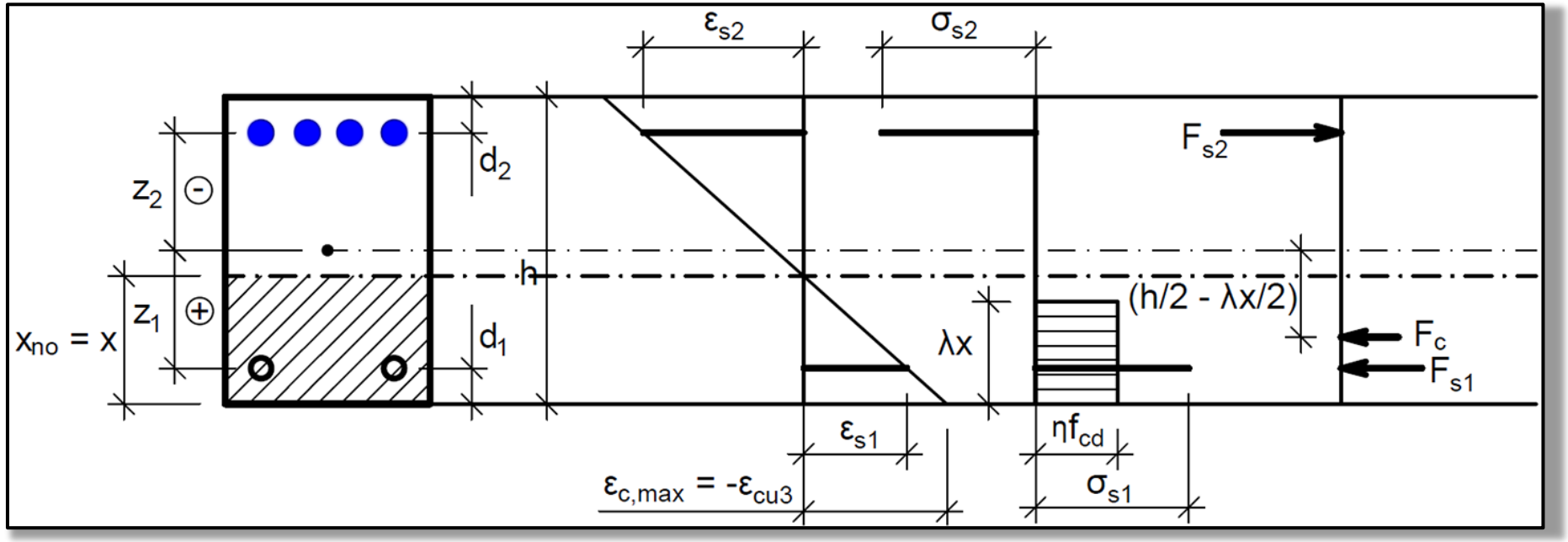
Ohybová výztuž příčle

Průřez nad podporou (oboustranně vyztužený)

Oboustranně vyztužený průřez nad podporou

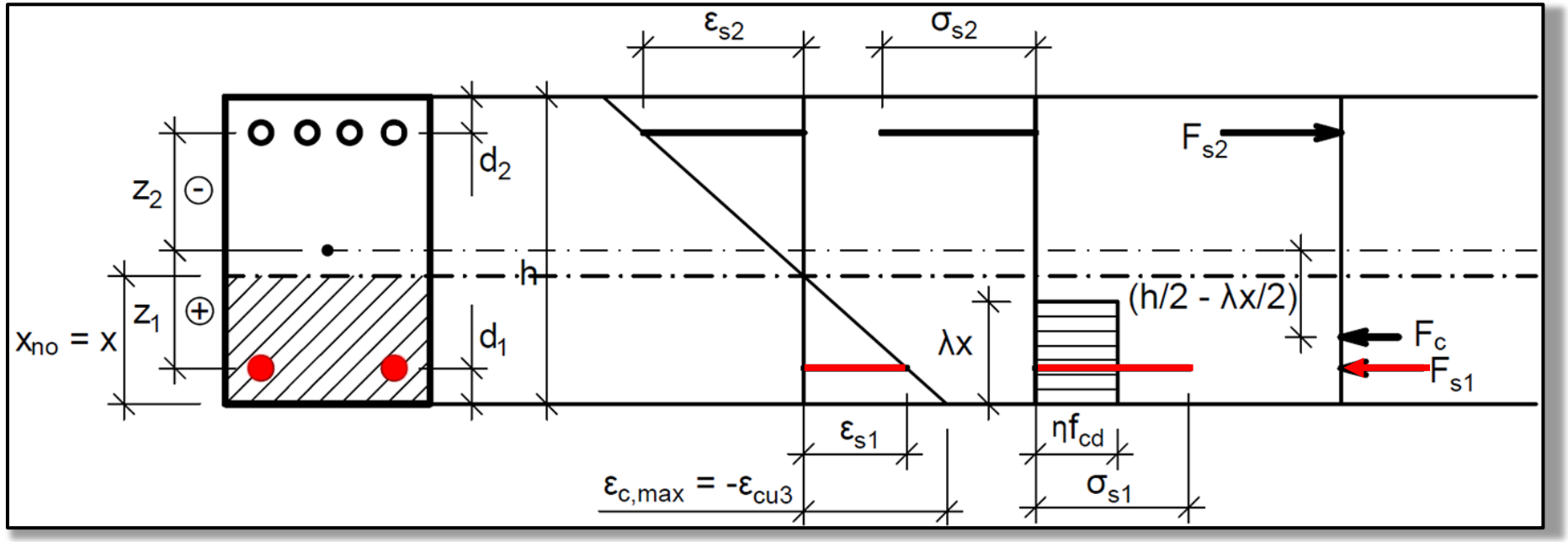
V předchozí části jsme při výpočtu uvažovali **pouze horní taženou** výztuž. Ve skutečnosti je však v průřezu i dolní tlačená výztuž.

V této části si ukážeme, jak stanovit **únosnost oboustranně vyztuženého průřezu**.



Oboustranně vyztužený průřez nad podporou

Postup výpočtu je obdobný jako u jednostranně vyztuženého průřezu, ale máme tu **navíc i tlačenou výztuž** a ta nám **výpočet komplikuje**.

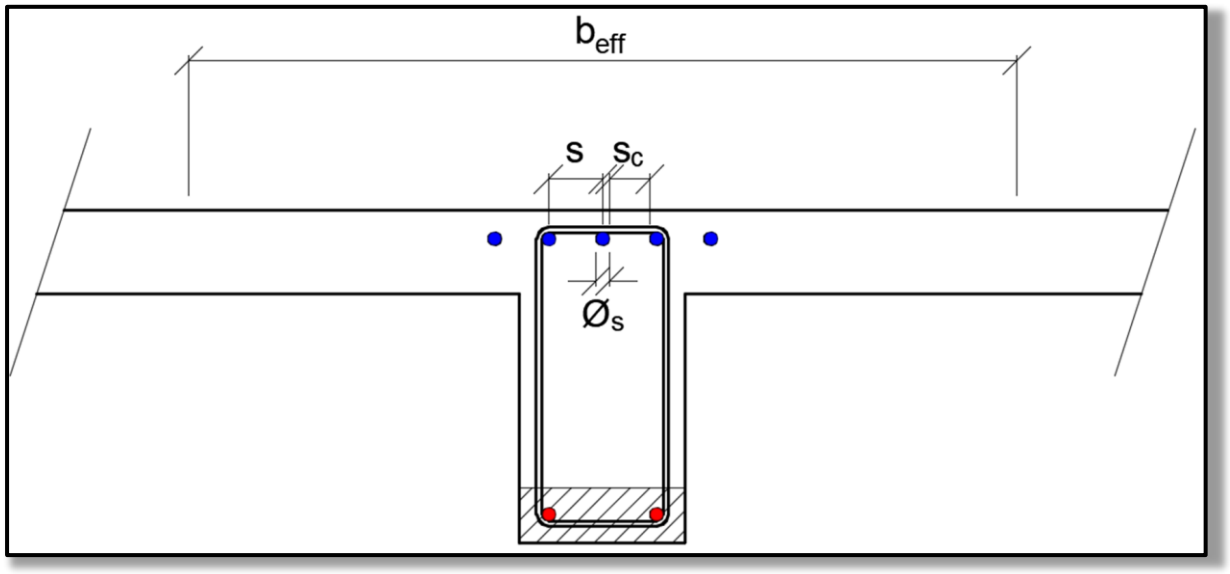


Návrh výztuže

Výztuž už máme navrženou z předchozích kroků.

Horní taženou výztuž budeme uvažovat **jako pro** předchozí případ **jednostranně vyztuženého průřezu nad podporou**.

Dolní tlačená výztuž je ta, kterou jsme navrhli pro průřez v poli – uvažujeme, že **do podpory jsou zataženy 2 pruty z pole**.



Výška tlačené oblasti

Výšku tlačené oblasti můžeme určit dvěma způsoby:

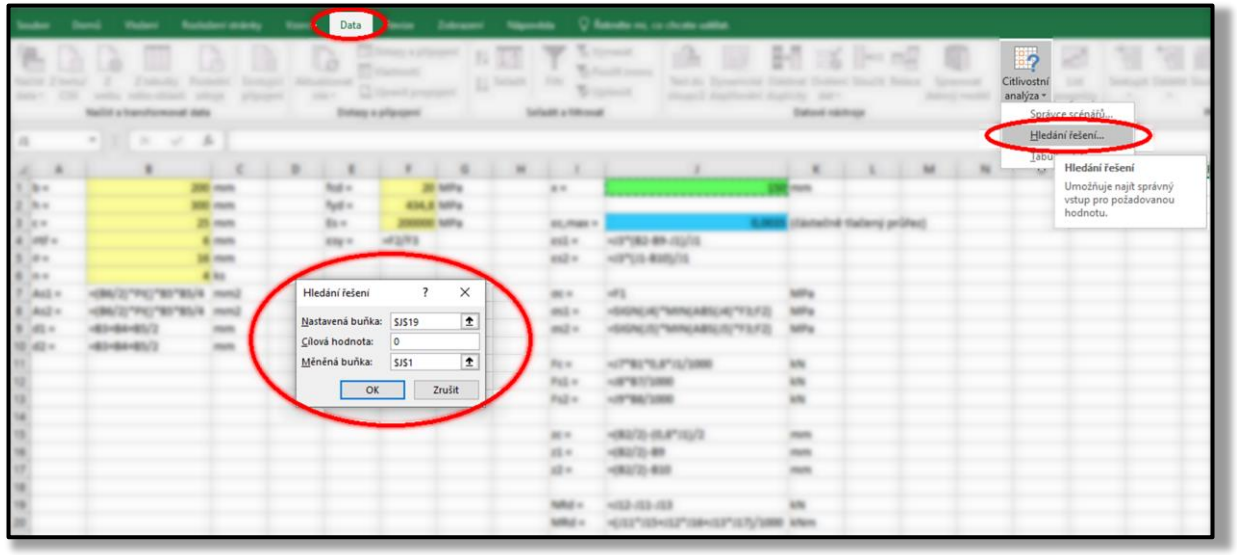
- **iteračně** – v Excelu jednoduché a rychlé, ručně zdlouhavé,
- **analyticky** (přesně) – náročnější na výpočet, ručně rychlejší.

Iterační stanovení výšky tlačené oblasti (Excel)

Tlačenou výšku x můžeme stanovit iterační metodou tak, že **vytvoříme Excel** pro výpočet přetvoření, napětí a sil v průřezu v závislosti na tlačené výšce a **budeme hledat, při jaké hodnotě x je suma sil nulová***

$$N_{Rd} = F_{s2} - F_c - F_{s1} = 0.$$

Hledání výšky tlačené oblasti můžeme Provádět **ručně nebo** pomocí funkce **„Hledání řešení“**.



*Řešíme prostý ohyb, kdy normálová síla je nulová.

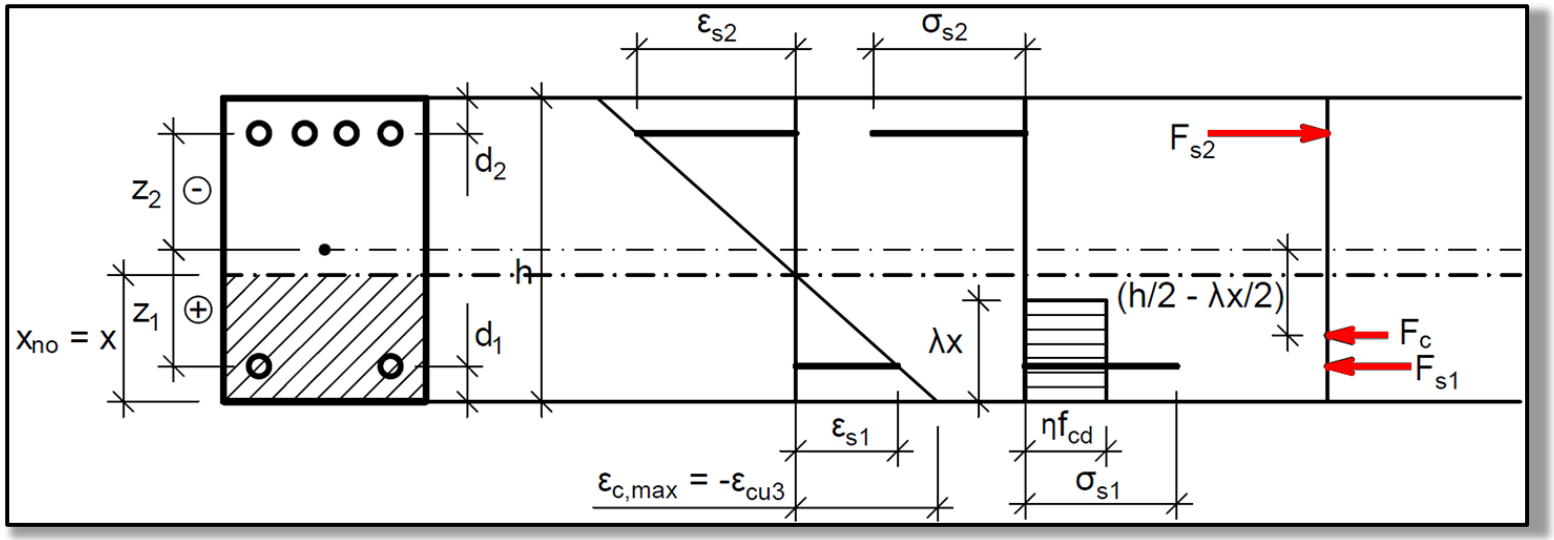
Analytické stanovení výšky tlačené oblasti

Při výpočtu výšky tlačené oblasti vycházíme z toho, že **normálová síla je suma sil** v průřezu

$$N = F_{s2} - F_c - F_{s1},$$

a že se jedná o **prostý ohyb***

$$N = \boldsymbol{F_{s2} - F_c - F_{s1} = 0}.$$



*tedy, že normálová síla je nulová

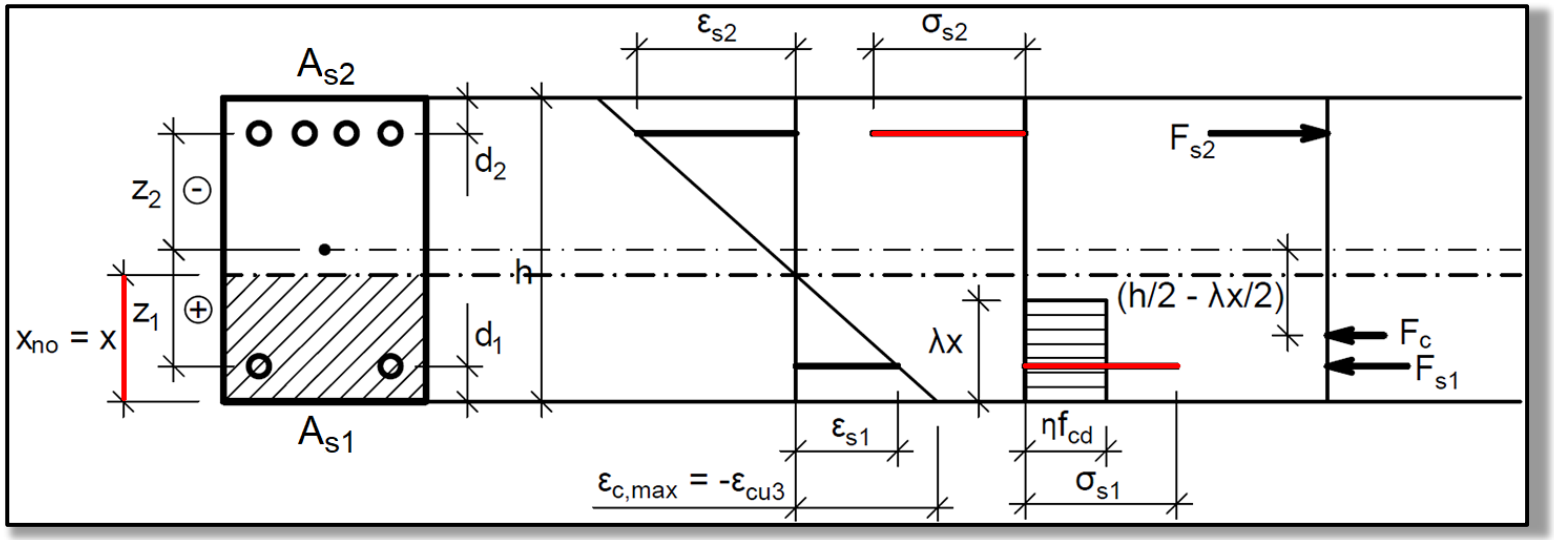
Analytické stanovení výšky tlačené oblasti

Síly v průřezu si můžeme vyjádřit jako (napětí × plochy) a získáme rovnici

$$F_{s2} - F_c - F_{s1} = 0$$

$$A_{s2}\sigma_{s2} - (0.8xb)f_{cd} - A_{s1}\sigma_{s1} = 0,$$

ve které **neznáme výšku** tlačené oblasti a **napětí** ve výztužích.

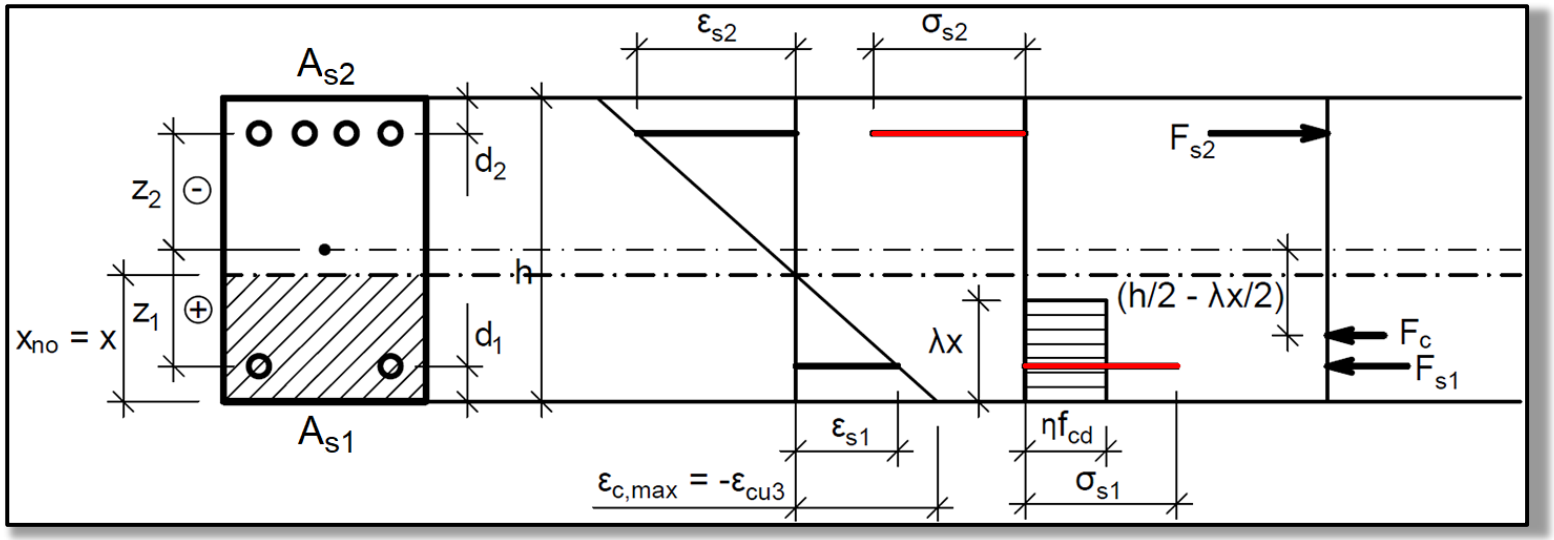


Analytické stanovení výšky tlačené oblasti

Výšku tlačené oblasti hledáme, a proto si jí vyjádříme a získáme vztah

$$x = \frac{A_{s2}\sigma_{s2} - A_{s1}\sigma_{s1}}{0.8 b f_{cd}},$$

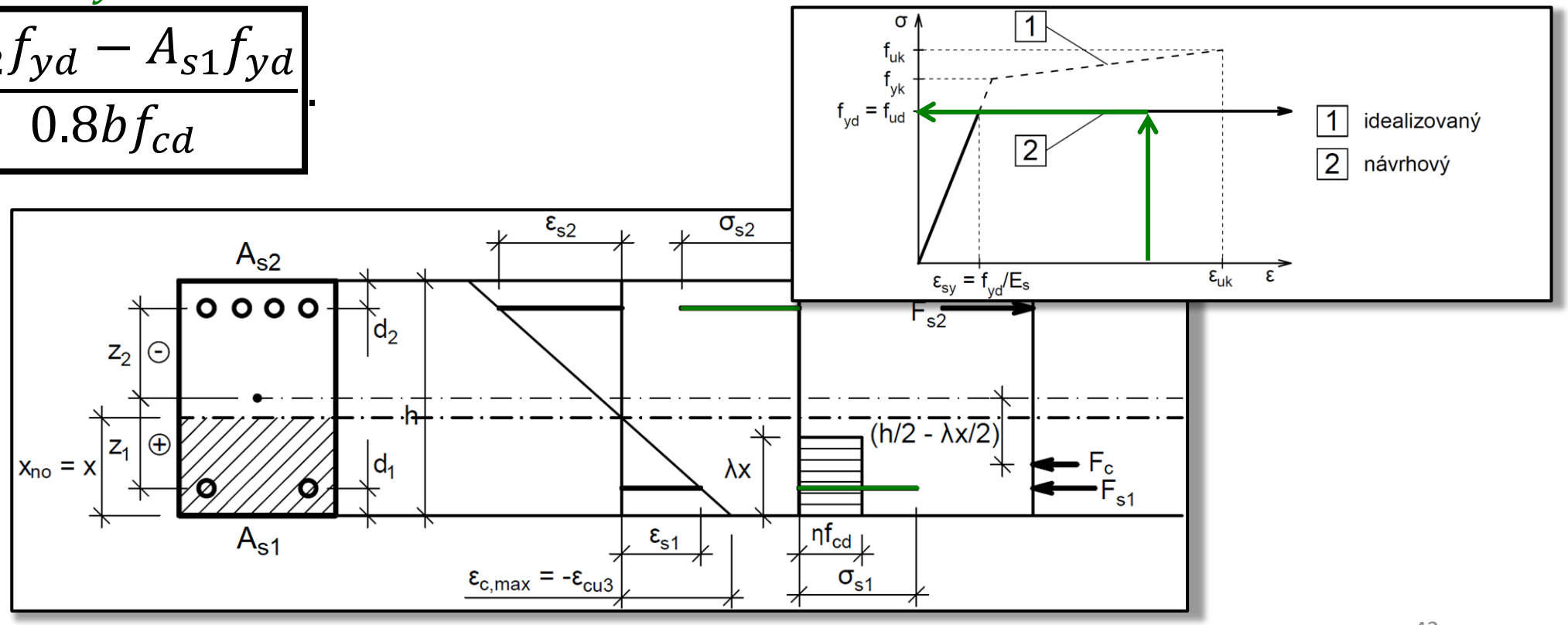
ve kterém **neznáme napětí** ve výztužích.



Analytické stanovení výšky tlačené oblasti

Dále budeme **předpokládat**, že **tažená i tlačená výztuž jsou za mezí kluzu** ($\sigma_{s1} = \sigma_{s2} = f_{yd}$), čímž získáme vztah pro výpočet výšky tlačené oblasti

$$x = \frac{A_{s2} f_{yd} - A_{s1} f_{yd}}{0.8 b f_{cd}}.$$



Ověření přetvoření výztuže

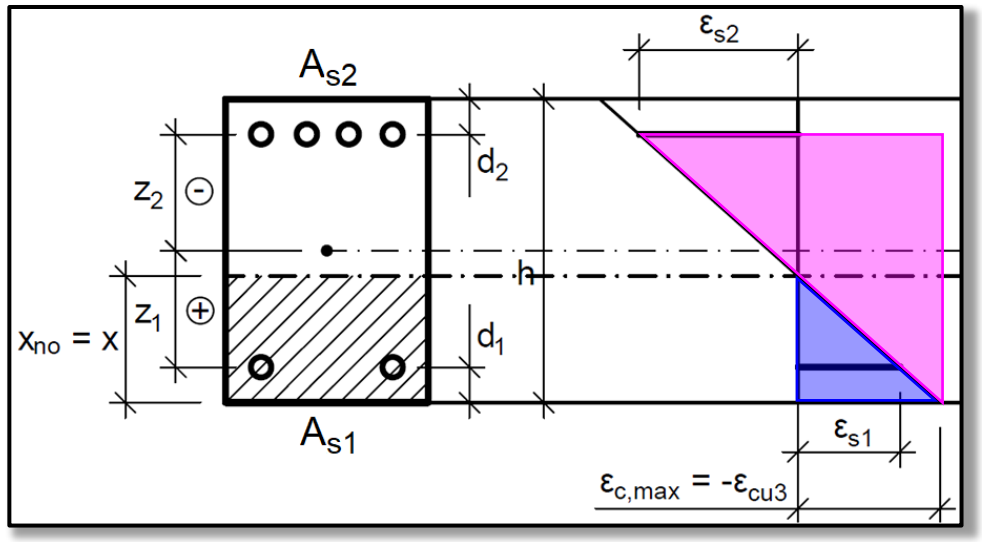
V předchozím kroku jsme předpokládali, že **výztuže jsou za mezí kluzu**, což nyní **musíme ověřit**.

Pro **taženou** výztuž

$$\frac{x}{h-d_2} \leq 0.617 = \frac{0.0035}{0.0035 + \frac{435}{200000}}.$$

Pro tlačenou výztuž

$$\frac{x}{d_1} \geq 2.642 = \frac{0.0035}{0.0035 - \frac{435}{200000}}.$$



Ověření přetvoření výztuže

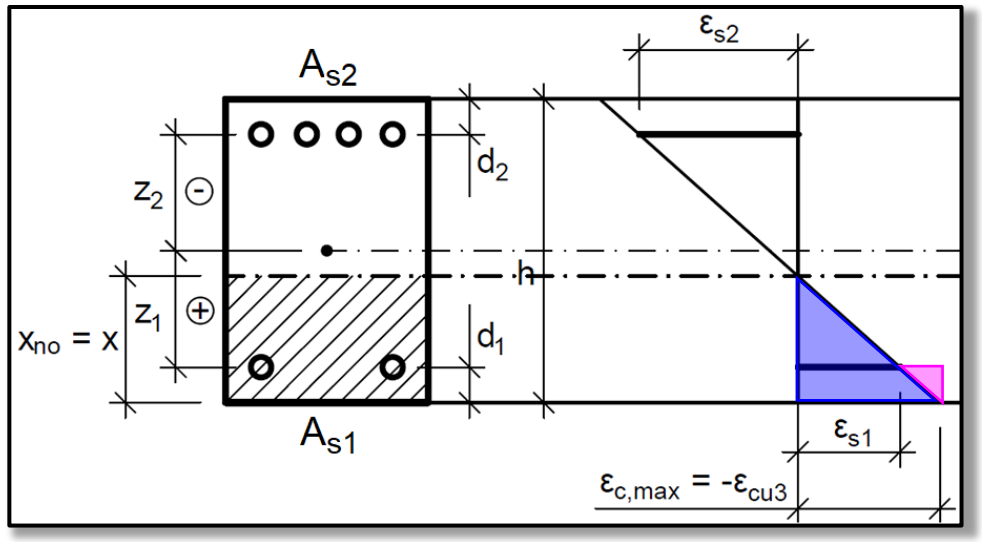
V předchozím kroku jsme předpokládali, že **výztuže jsou za mezí kluzu**, což nyní **musíme ověřit**.

Pro taženou výztuž

$$\frac{x}{h-d_2} \leq 0.617 = \frac{0.0035}{0.0035 + \frac{435}{200000}}.$$

Pro **tlačenou** výztuž

$$\frac{x}{d_1} \geq 2.642 = \frac{0.0035}{0.0035 - \frac{435}{200000}}.$$



Ověření přetvoření výztuže

Pokud **obě ověření vyhoví, můžeme pokračovat** k výpočtu momentu únosnosti.

Pokud **nevyhoví ověření pro taženou výztuž***, musíme *co?*

Pokud **nevyhoví ověření pro tlačenou výztuž**, musíme *co?*

Ověření přetvoření výztuže

Pokud **obě ověření vyhoví, můžeme pokračovat** k výpočtu momentu únosnosti.

Pokud **nevyhoví ověření pro taženou výztuž***, musíme **upravit návrh**. **Tažená výztuž musí být vždy za mezí kluzu!**

Pokud **nevyhoví ověření pro tlačenou výztuž**, musíme **přepočítat výšku** tlačené oblasti (viz dále).

*To by se nemělo stát, protože nám to vyhovělo už u jednostranně vyztuženého průřezu.

Analytické stanovení výšky tlačené oblasti

Když tlačená výztuž není za mezí kluzu, znamená to, že platí **Hookův zákon**

$$\sigma_{s1} = \varepsilon_{s1} E_s,$$

kde přetvoření výztuže můžeme určit* jako

$$\varepsilon_{s1} = \frac{0.0035}{x}(x - d_1),$$

a když to dosadíme do dříve uvedené rovnice pro výpočet výšky x získáme rovnici

$$x = \frac{A_{s2} f_{yd} - A_{s1}\left(\frac{0.0035}{x}(x - d_1)\right) E_s}{0.8 b f_{cd}}.$$

*z podobnosti trojúhelníků přetvoření

Analytické stanovení výšky tlačené oblasti

Získali jsme tedy **jednu rovnici** o **jedné neznámé**

$$x = \frac{A_{s2} f_{yd} - A_{s1}\left(\frac{0.0035}{x}(x - d_1)\right) E_s}{0.8 b f_{cd}},$$

ze které **můžeme vyjádřit neznámou x** a **stanovit její hodnotu**.

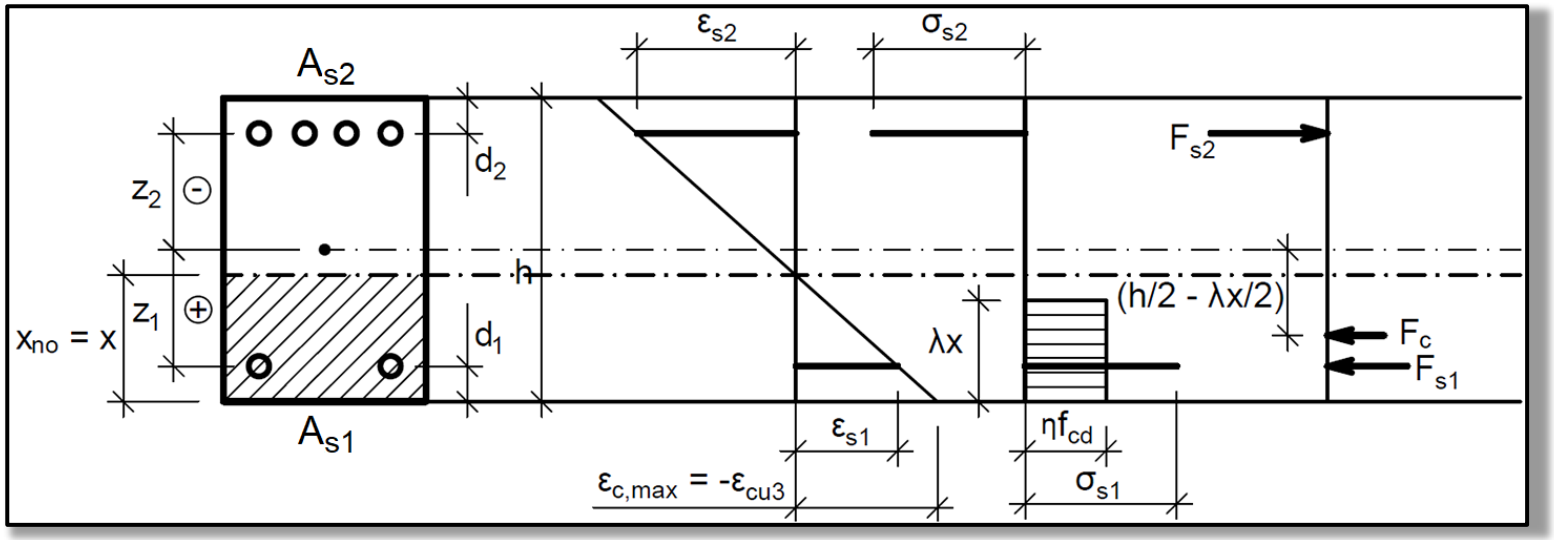
Problém s odvozením kvadratické rovnice? Měla by mít tvar
$(0.8bf_{cd})x^2 - (A_{s2}f_{yd} - A_{s1}E_s 0.0035)x - A_{s1}E_s 0.0035 d_1 = 0$

Problém se stanovením řešení? Použijte např. WolframAlpha
https://www.wolframalpha.com/input/?i=A*x+%3D+B+-+C*%281-d1%2Fx%29+solve+for+x
pro $A = 0.8bf_{cd}$,
$B = A_{s2}f_{yd}$,
$C = A_{s1}E_s 0.0035$.

Analytické stanovení výšky tlačené oblasti

Poté, co stanovíme* a ověříme výšku x, **můžeme vypočítat momentovou únosnost** (jako momentový účinek sil ke střednici průřezu)

$$M_{Rd} = A_{s2} f_{yd} z_2 + 0.8 x b f_{cd} \left(\frac{h}{2} - \frac{0.8x}{2} \right) + A_{s1} \sigma_{s1} z_1.$$



*analyticky nebo iteračně

Smykové namáhání

Smykové namáhání

Z hlediska smyku musíme

- ověřit **únosnost tlačené diagonály**,

- Navrhnout a posoudit **smykovou výztuž**.

Únosnost tlačené diagonály

Únosnost tlačené diagonály

Únosnost tlačené diagonály můžeme stanovit pomocí vztahu

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

kde ν je redukční součinitel pevnosti betonu, $\nu = 0.6\left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right)$,

f_{cd} je návrhová pevnost betonu,

b je šířka průřezu,

z je rameno vnitřních sil v průřezu nad podporou,

θ je úhel sklonu diagonály (volíme; běžně se volí $\cot\theta = 1.5$).

Únosnost tlačené diagonály

Únosnost tlačené diagonály **posoudíme v místě největší posouvající síly**

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,max}$$

Pokud **podmínka nevyhoví**, je **nutné zvětšit rozměry průřezu**!

Smyková výztuž

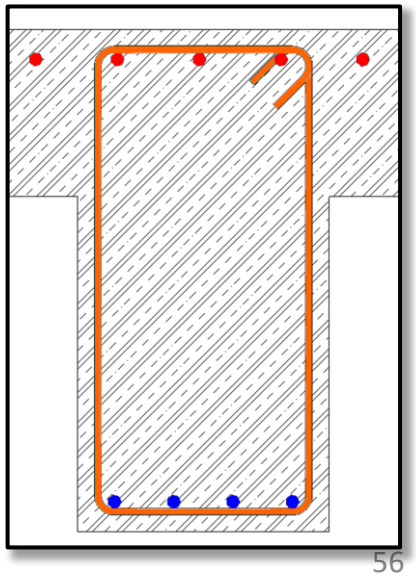
Průřezová plocha třmínků

Smykovou výztuž tvoří třmínky, jejichž průřezovou plochu určíme jako

$$A_{sw} = n\frac{\pi \varnothing_t^2}{4},$$

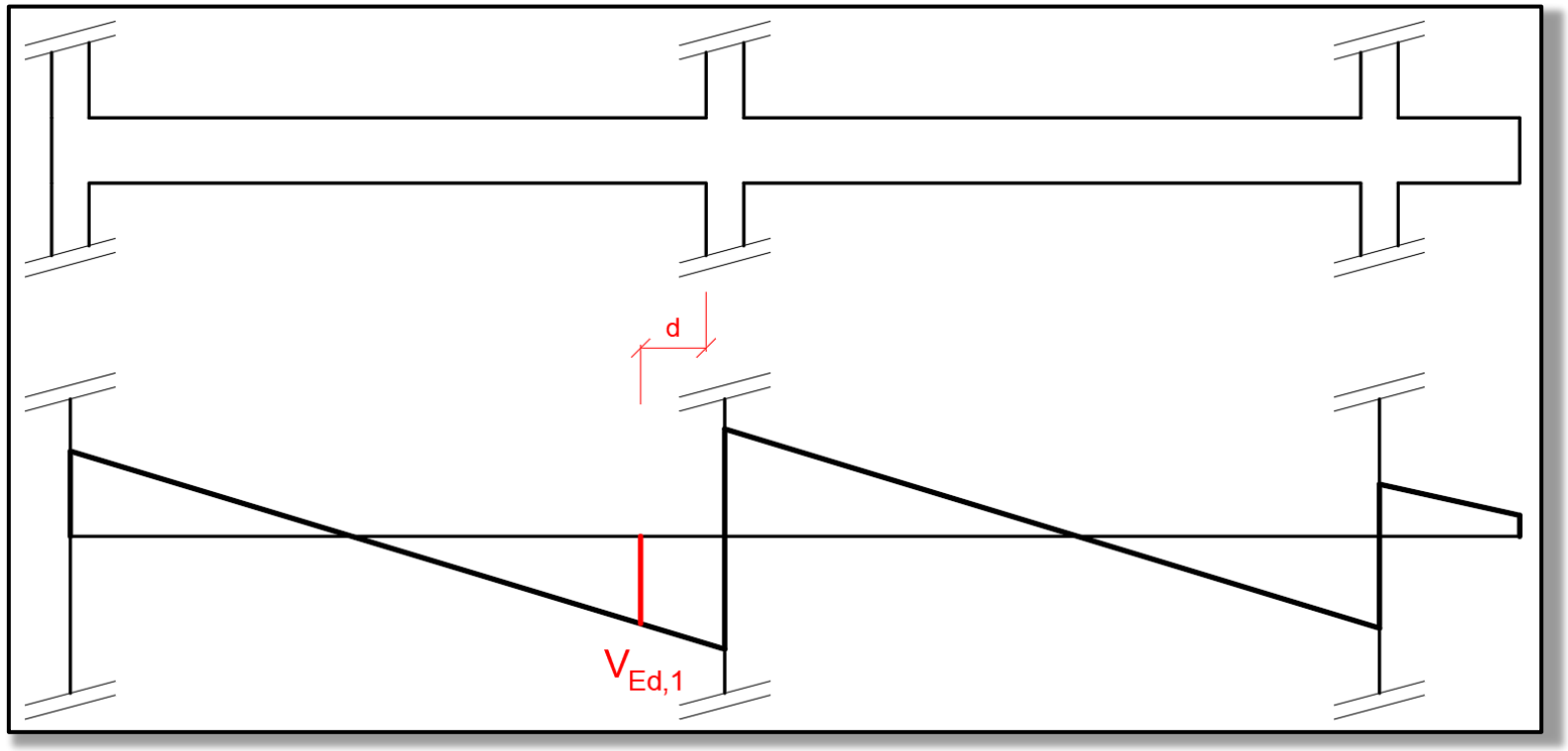
kde $\varnothing_t$ je průměr drátu (zvolili jsme už při návrhu rozměrů),

n je střižnost třmínku (zvolíme třmínky dvoustřižné, $n = 2$).



Návrhové třmínky

V místě **největší posouvající síly** navrhneme **návrhové třmínky** na hodnotu posouvající síly ve vzdálenosti d od líce podpory.



Návrhové třmínky

Požadovanou rozteč návrhových třmínků vypočítáme pomocí vztahu

$$s_{req} = \frac{A_{sw} f_{yd}}{V_{Ed,1}} z \cot \theta ,$$

kde A_{sw} je průřezová plocha třmínku,

f_{yd} je návrhová hodnota pevnosti výztuže,

z je rameno vnitřních sil v průřezu nad podporou,

θ je úhel sklonu trhliny (uvažujeme stejný úhel jako u sklonu tlakové diagonály).

Návrhové třmínky

Rozteč návrhových třmínků s_1 **zvolíme** tak, aby platilo

$$s_1 < s_{req}.$$

Vzdálenost třmínků s_1 zvolíme ideálně v násobcích $50\ \mathrm{mm}$ (ale stačí v násobcích $10\ \mathrm{mm}$) a návrh zapíšeme ve tvaru

$$\text{Třmínek dvoustřižný } Ø_t \text{ X po Y mm.}$$

Návrhové třmínky

Pro navržené třmínky ověříme splňovat **konstrukční zásady.**

1) Maximální vzdálenost třmínků

$$s_1 \leq \min(0.75d; 400\ \text{mm})\ .$$

2) Stupeň vyztužení

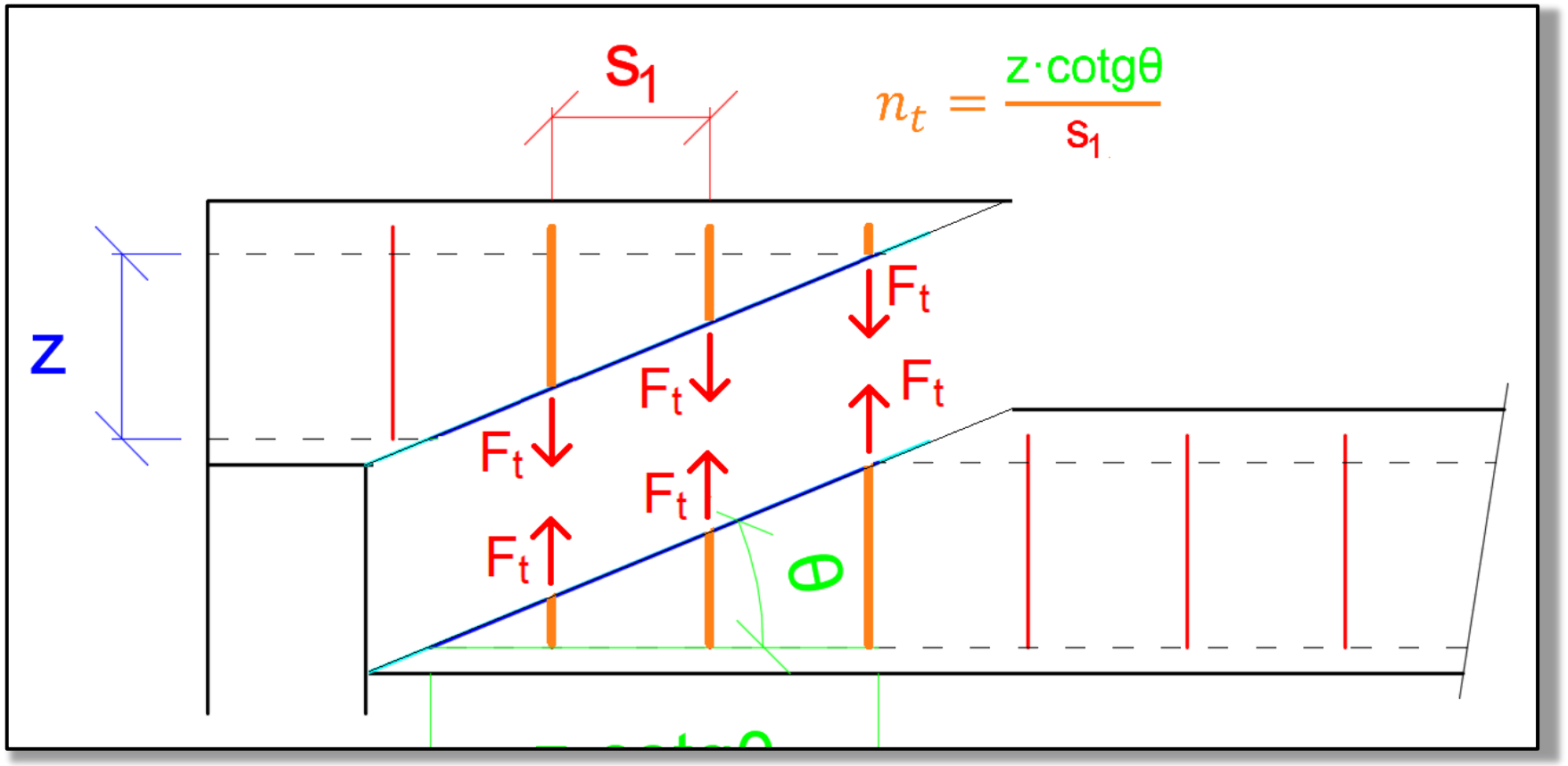
$$\frac{0.08\sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} \leq \frac{A_{sw}}{bs_1} \leq \frac{0.3\left(1-\frac{f_{ck}}{250}\right)f_{cd}}{f_{yd}},$$

$$\rho_{sw,min} \leq \rho_{sw} \leq \rho_{sw,max}.$$

Pokud podmínky **nevyhoví**, **upravíme vzdálenost** třmínků.

Návrhové třmínky

Únosnost třmínků vypočteme jako *co?*



Návrhové třmínky

Únosnost třmínků vypočteme jako **únosnost jednoho třmínku** krát **počet třmínků procházejících jednou trhlinou**.

$$V_{Rd,1} = F_t \times n_t$$

$$V_{Rd,1} = A_{sw} f_{yd} \times \frac{z \cot \theta}{s_1}$$

kde A_{sw} je průřezová plocha třmínku,

f_{yd} je návrhová hodnota pevnosti výztuže,

z je rameno vnitřních sil v průřezu nad podporou,

θ je úhel sklonu trhliny (uvažujeme stejný úhel jako u sklonu tlakové diagonály).

Návrhové třmínky

Únosnost třmínků vypočteme jako **únosnost jednoho třmínku** krát **počet třmínků procházejících jednou trhlinou**.

$V_{Rd,1} =$

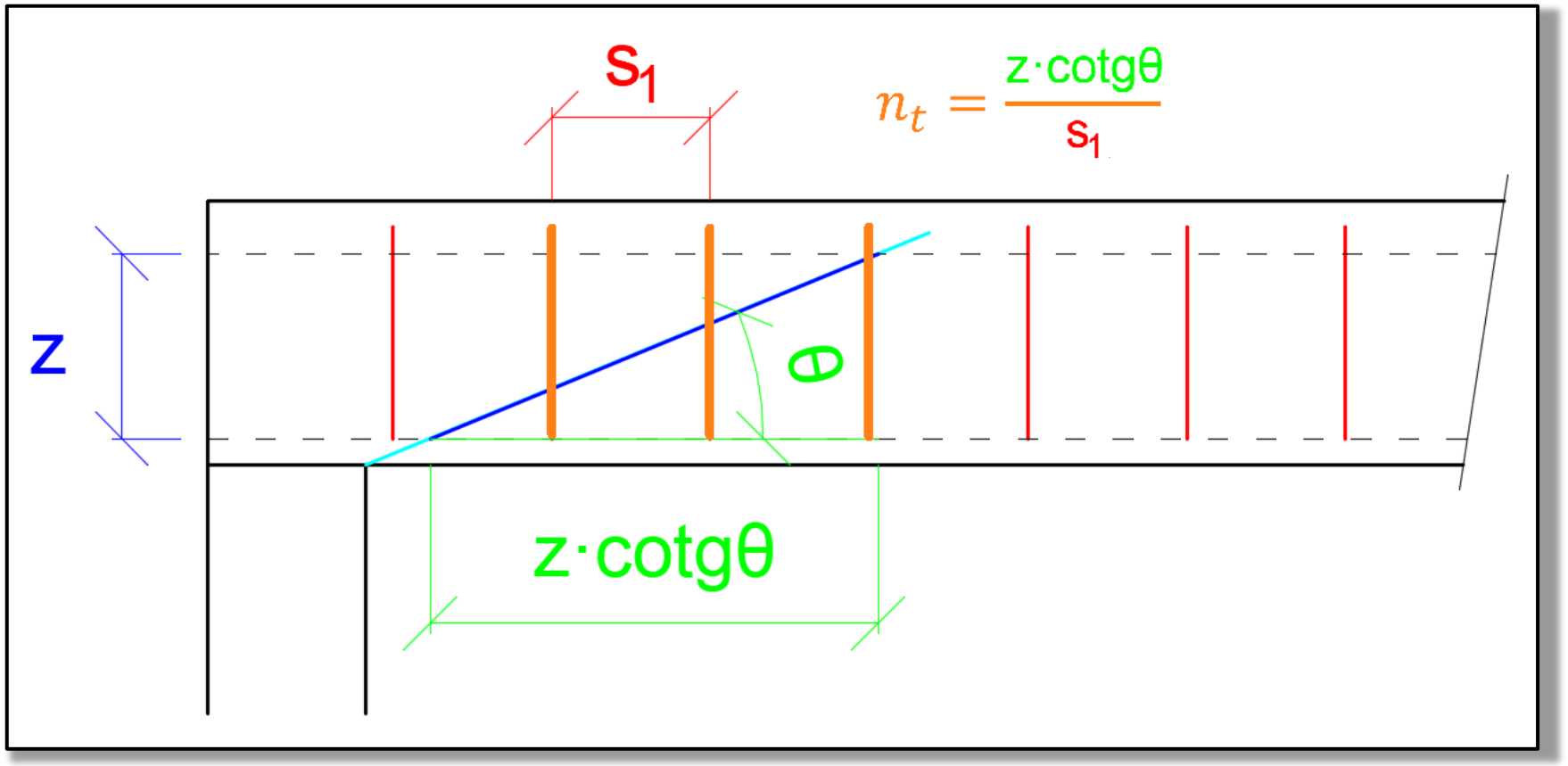
$V_{Rd,1} =$

kde A_{sw}

f_{yd}

z

θ



Návrhové třmínky

Únosnost třmínků vypočteme jako **únosnost jednoho třmínku** krát **počet třmínků procházejících jednou trhlinou**.

$V_{Rd,1} =$

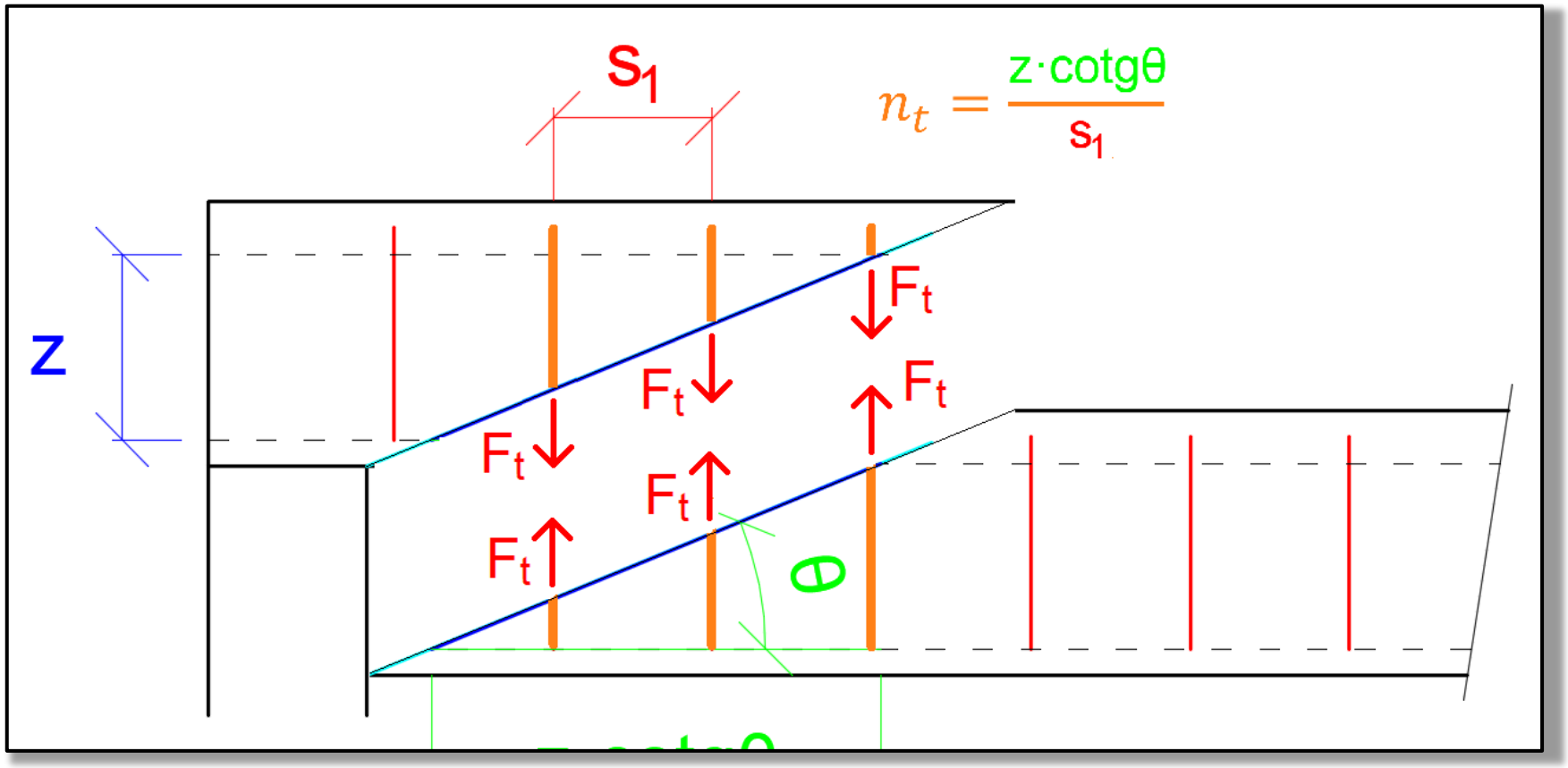
$V_{Rd,1} =$

kde A_{sw}

f_{yd}

z

θ



Návrhové třmínky

Nakonec **posoudíme únosnost třmínků**, která musí být větší než maximální působící návrhová posouvající síla ve vzdálenosti d od líce podpory

$$V_{Ed,1} \leq V_{Rd,1}.$$

Pozn.: Pokud nikde neuděláme numerickou chybu, posouzení musí vyjít, protože vztah pro výpočet s_{req} vychází z této nerovnosti.

Konstrukční třmínky

Konstrukční třmínky **navrhneme** pouze **podle konstrukčních zásad a** pak **určíme, kde lze tyto třmínky použít***.

Pro konstrukční třmínky použijeme stejné profily a stejnou střižnost jako pro návrhové třmínky ⟶ stejné A_{sw}.

*Tedy opačný postup než u návrhových třmínků, kde jsme zvolili, kde je použijeme, a podle toho jsme je navrhli.

Konstrukční třmínky

Vzdálenost třmínků navrhneme tak, aby platilo

$$s_{\text{kční}} \leq s_{max} = \min(0.75d; 400\ \text{mm})\,.$$

Vzdálenost třmínků $s_{\text{kční}}$ *z*volíme ideálně v násobcích $50\ \text{mm}$ (ale stačí v násobcích $10\ \text{mm}$) a návrh zapíšeme ve tvaru

$$\text{Třmínek dvoustřižný } Ø_{\text{t}}\ \text{X po Y mm.}$$

Konstrukční třmínky

Pro konstrukční třmínky opět provedeme **kontrolu stupně vyztužení**

$$\frac{0.08\sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} \leq \frac{A_{sw}}{bs_{kční}} \leq \frac{0.3\left(1-\frac{f_{ck}}{250}\right)f_{cd}}{f_{yd}},$$

$$\rho_{sw,min} \leq \rho_{sw} \leq \rho_{sw,max}.$$

Pokud **podmínka nevyhoví**, **upravíme vzdálenost** třmínků.

Konstrukční třmínky

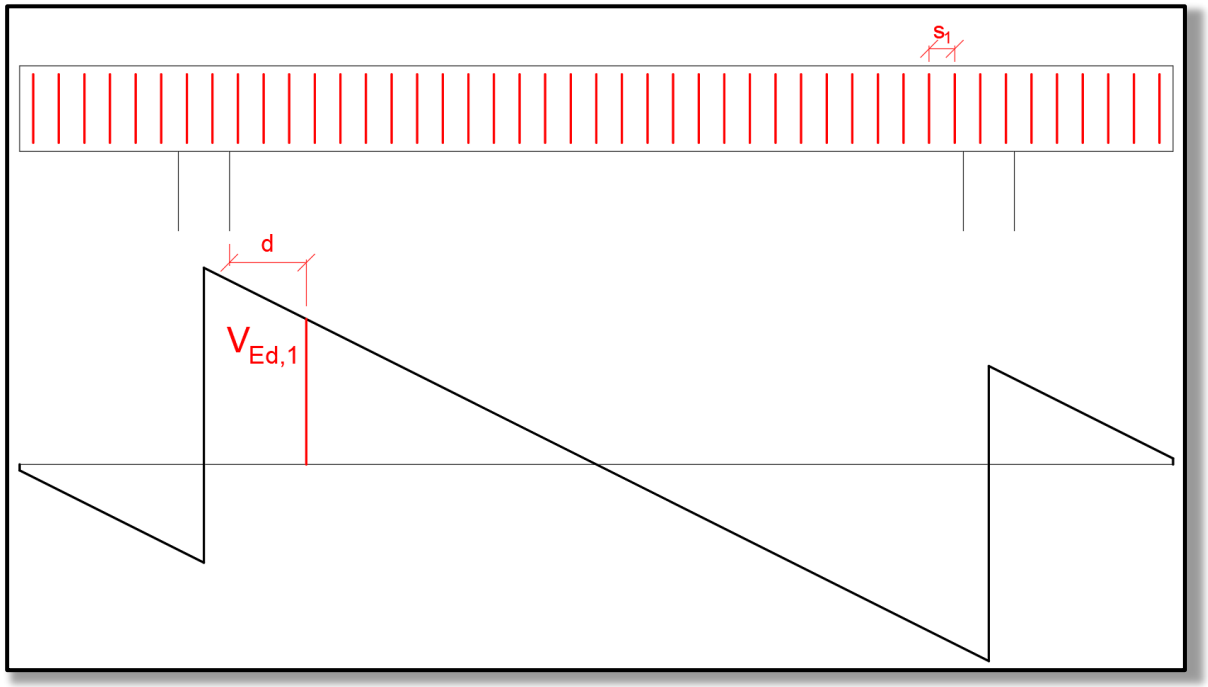
Únosnost třmínků opět vypočteme pomocí vztahu

$$V_{Rd,\text{kční}} = A_{sw} f_{yd} \times \frac{z \cot \theta}{s_{\text{kční}}},$$

kde A_{sw} je průřezová plocha třmínku,
f_{yd} je návrhová hodnota pevnosti výztuže,
z je rameno vnitřních sil v průřezu v poli,
θ je úhel sklonu trhliny (uvažujeme stejný úhel jako u sklonu tlakové diagonály),
z je rameno vnitřních sil v průřezu nad podporou,
$s_{\text{kční}}$ je vzdálenost konstrukčních třmínků,

Rozmístění třmínků – návrhové

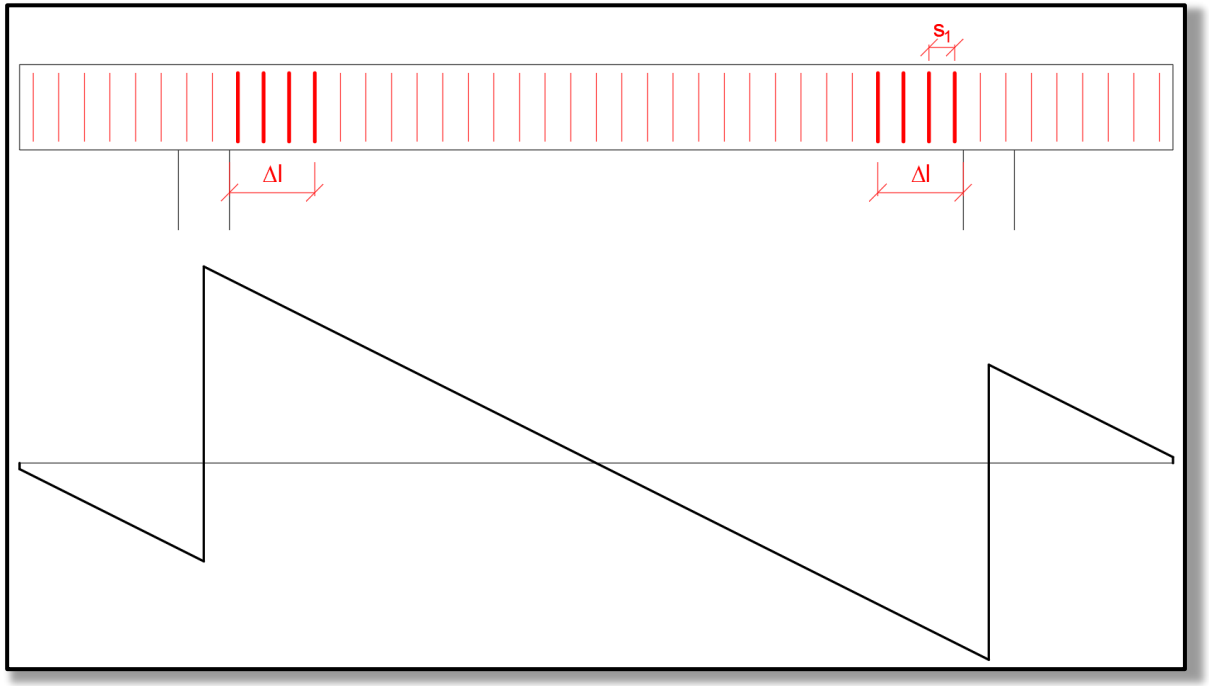
<u>Návrhové</u> třmínky jsou navrženy na maximální uvažovanou posouvající sílu v konstrukci. To znamená, že je **<u>můžeme</u> použít <u>v celém prvku</u>**. To ale **není ekonomické***.



*Protože třmínky jsou navrženy na maximální sílu, ale ve většině konstrukce je síla menší a třmínky by byly zbytečně moc blízko u sebe.

Rozmístění třmínků – návrhové

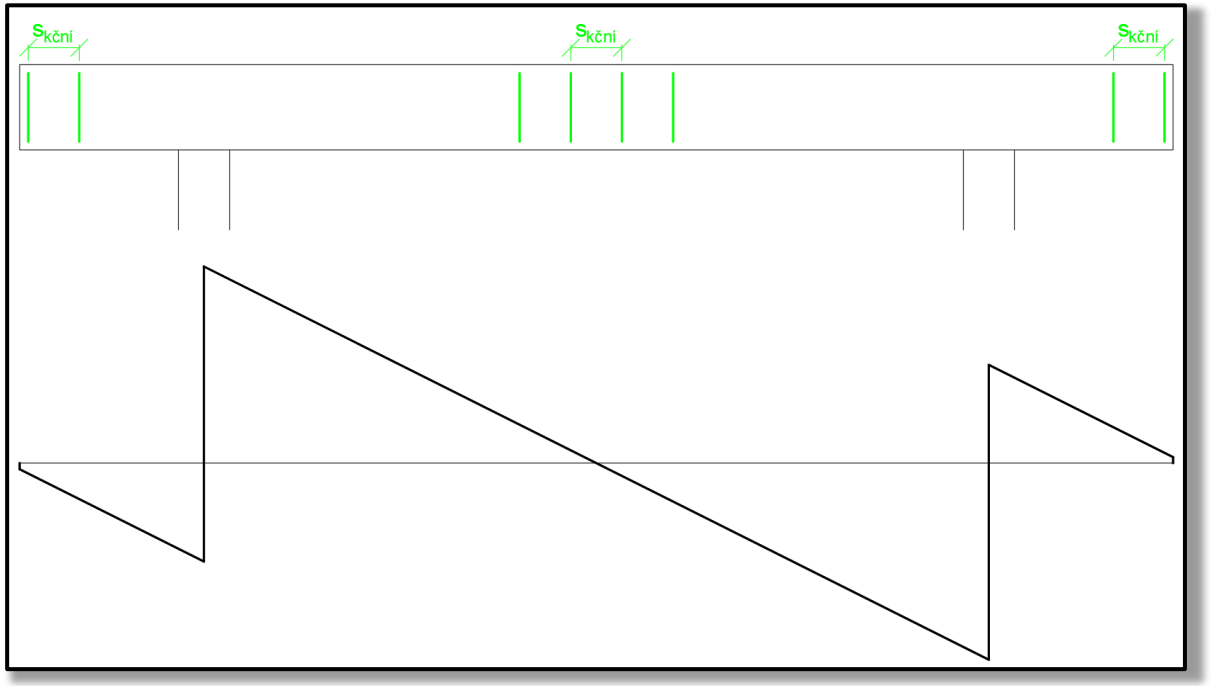
Dále nám návrhová norma udává, že **<u>návrhové</u> třmínky <u>musíme</u> použít <u>minimálně ve vzdálenosti $\Delta l = z \cot \theta$</u> od líce podpory***.



*Aby pokryly celou smykovou trhlinu vycházející z líce podpory.

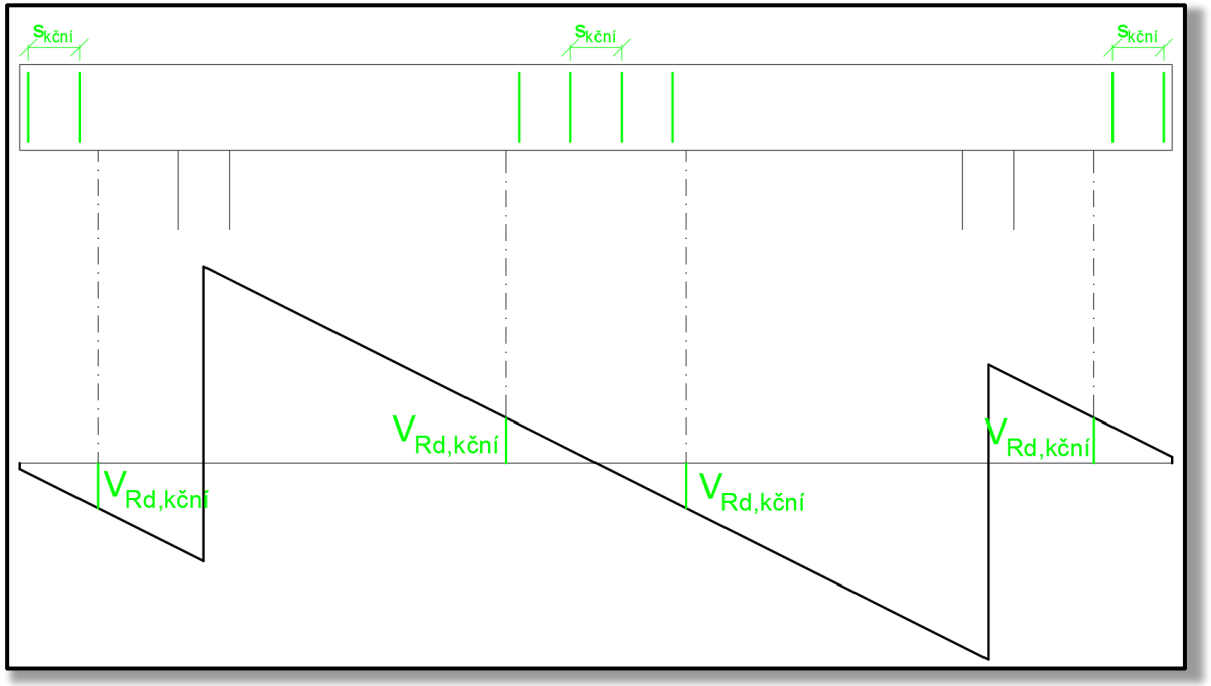
Rozmístění třmínků – konstrukční

Konstrukční třmínky jsou **ekonomičtější** (protože mají větší rozteč)**, ale nelze je použít všude** (protože mají menší únosnost).



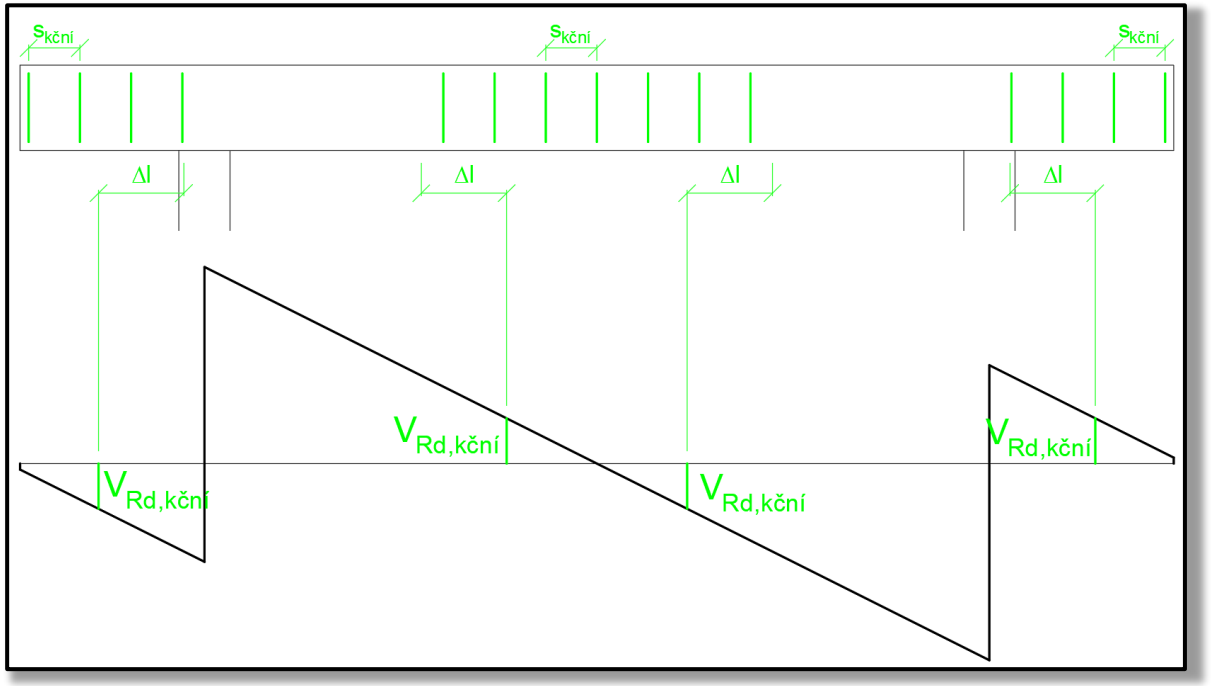
Rozmístění třmínků – konstrukční

Konstrukční třmínky můžeme použít **všude**, **kde je** působící **posouvající síla menší než únosnost** konstrukčních třmínků.



Rozmístění třmínků – konstrukční

Návrhová norma udává, že konstrukční třmínky **můžeme použít ještě o** $\Delta l = z \cot \theta$ **„před“ posouvající sílu** rovnou únosnosti třmínků $V_{Rd,kční}$.

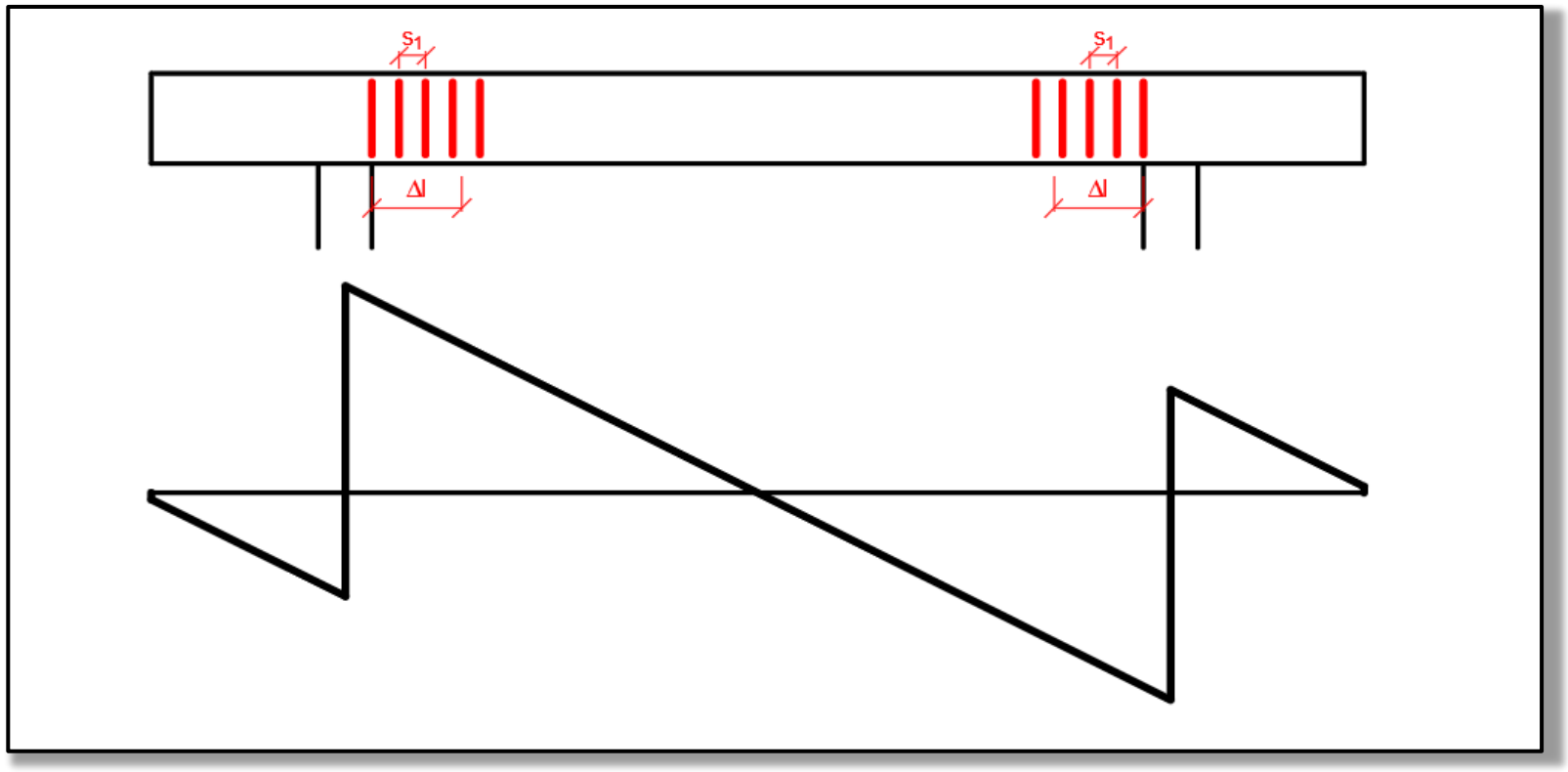


Finální rozmístění třmínků

Při **návrhu rozmístění třmínků** tedy většinou používáme **následující postup**.

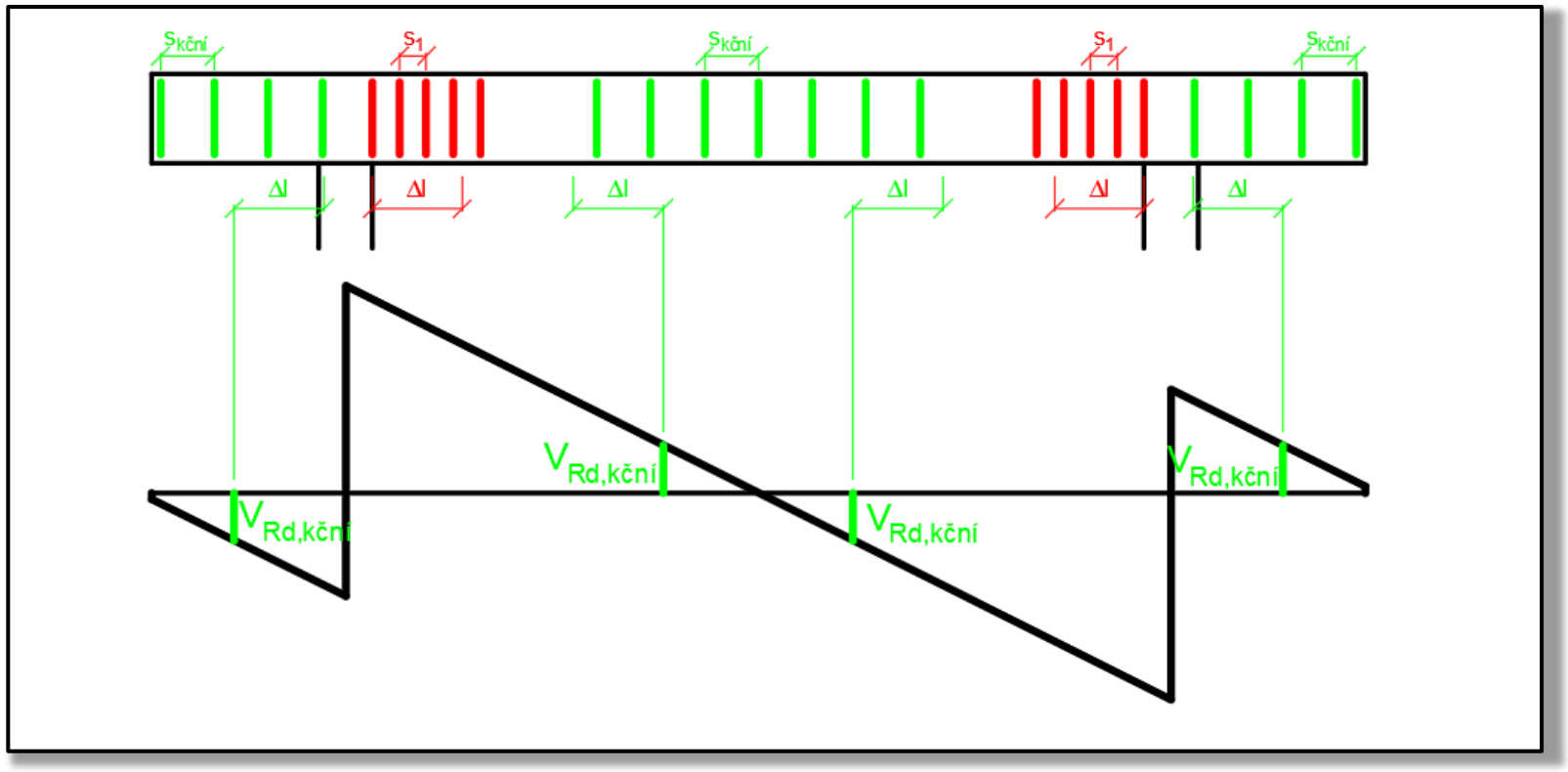
Finální rozmístění třmínků

Nejprve stanovíme, **kde všude <u>musí</u> být <u>návrhové</u>** třmínky.



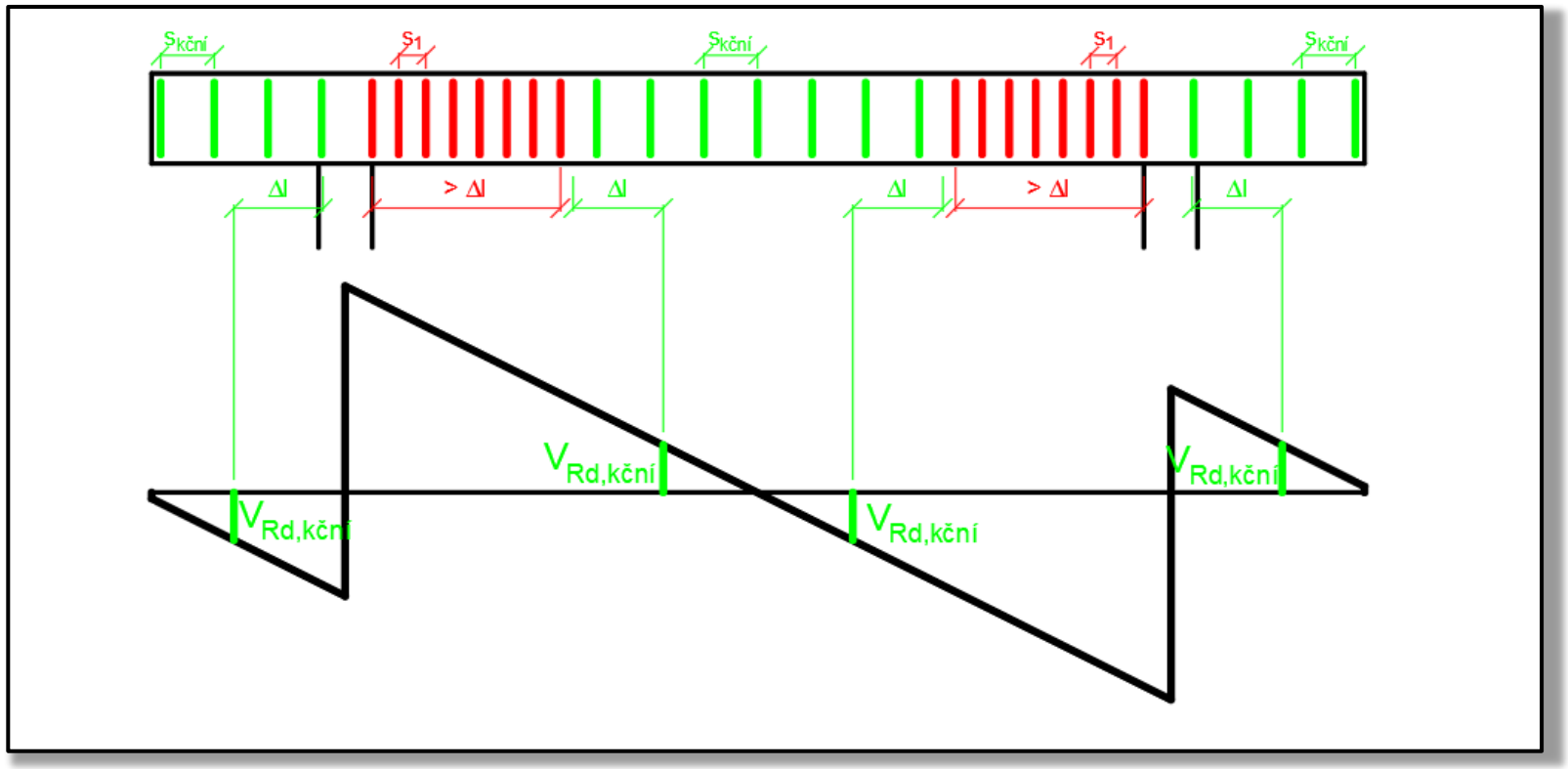
Finální rozmístění třmínků

Dále určíme, **kde všude <u>můžeme</u> použít** ekonomické **<u>konstrukční</u>** třmínky.



Finální rozmístění třmínků

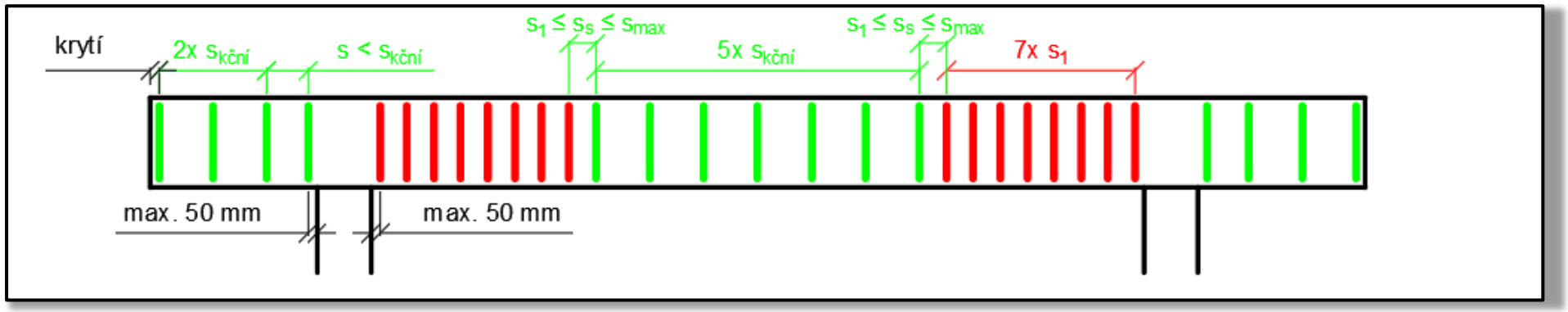
Pokud se nám **oblast** návrhových a konstrukčních třmínků **nepřekrývá**, **„dotáhneme“ návrhové** třmínky až ke konstrukčním.



Finální rozmístění třmínků

Nakonec upravíme rozmístění tak, aby dával smysl z hlediska geometrie:

- **krajní** třmínek musí mít dostatečné **krytí**,
- **první třmínek** musí být ve vzdálenosti **max. 50 mm od hrany podpory**,
- **rozteč na styku návrhových a konstrukčních** třmínků s_s nám vyjde **z geometrie**.



Díky za pozornost

Poděkování

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

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