

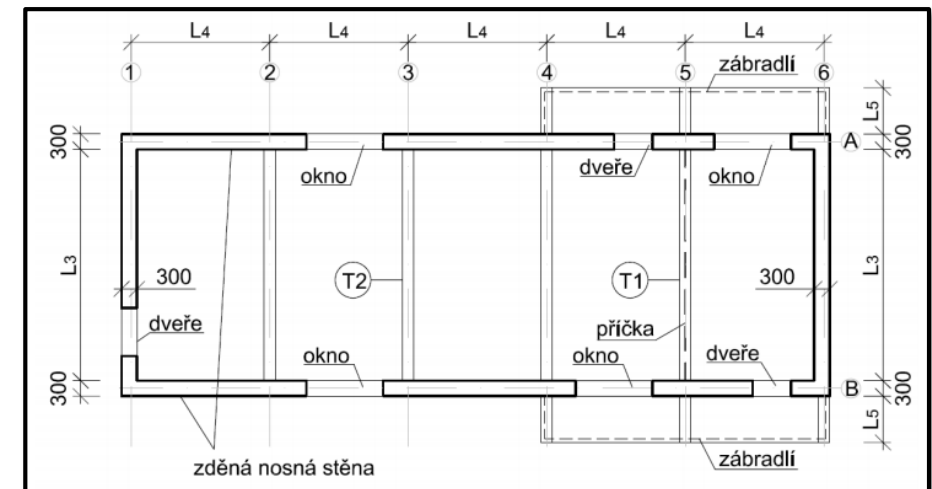


Návrh smykové výztuže a posouzení průřezů trámu T1

Prezentace k 7. cvičení NNKB

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** + výkres výztuže trámu
- výkres tvaru



Namáhání železobetonových konstrukcí smykem

Namáhání železobetonových konstrukcí smykem

Při namáhání železobetonových konstrukcí smykem řešíme dva problémy.

- 1) V místě největší posouvající síly vzniká velký tlak v betonu a **může dojít k rozdrčení betonu v tlaku.**



- 2) Vlivem svislé posouvající síly vzniká tah v betonu a může dojít k tomu, že **konstrukce se vlivem tahů odtrhne.**



Namáhání železobetonových konstrukcí smykem

Při namáhání železobetonových konstrukcí smykem řešíme dva problémy.

- 1) V místě největší posouvající síly vzniká velký tlak v betonu a **může dojít k rozdrčení betonu v tlaku**.

Bezpečnost zajistíme ověřením **únosnosti tlačené diagonály**.



- 2) Vlivem svislé posouvající síly vzniká tah v betonu a může dojít k tomu, že **konstrukce se vlivem tahů odtrhne**.

Bezpečnost zajistíme návrhem **smykové výztuže** a posouzením průřezu.

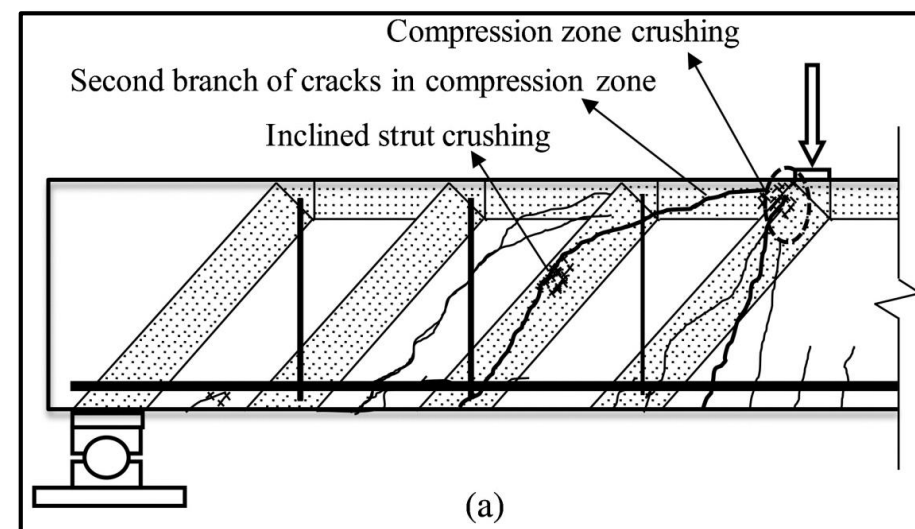
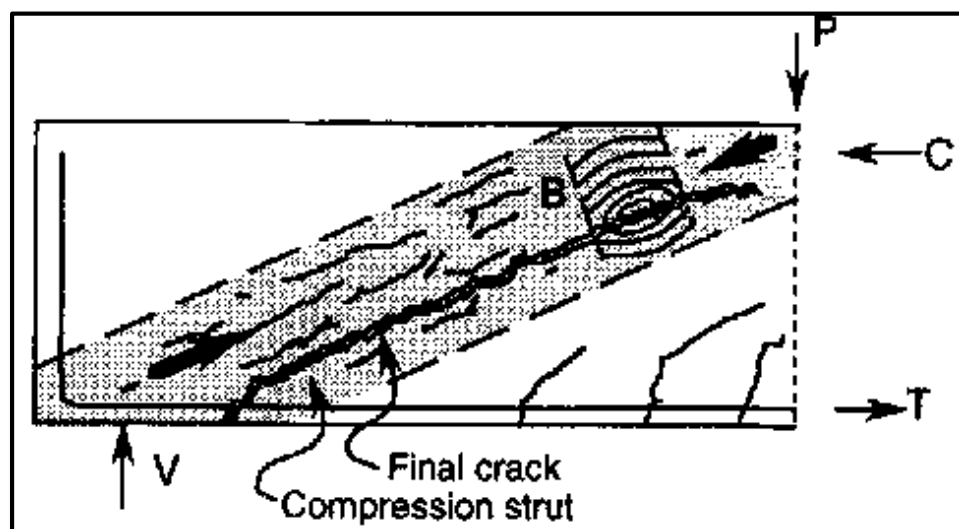


Únosnost tlačené diagonály

Únosnost tlačené diagonály

Při namáhání smykem uvažujeme, že v konstrukci vzniká příhradový model složený z **tlačných vzpěr (beton)** a táhel (výztuž) – blíže viz přednášky.

Nejvíce namáhaná tlačená vzpěra vzniká u podpory. Tuto vzpěru nazýváme „**tlačná diagonála**“ a musíme jí posoudit.



Únosnost tlačené diagonály

Únosnost tlačené diagonály můžeme stanovit pomocí normového vztahu

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

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

f_{cd} je návrhová pevnost betonu,

b je šířka průřezu,

z je rameno vnitřních sil v průřezu nad podporou,

θ je úhel sklonu diagonály (odpovídá předpokládanému sklonu trhlin), $\cot \theta$ si sami volíme z $\langle 1.0; 2.5 \rangle$ (běžně se volí $\cot \theta = 1.5$).₈

Únosnost tlačené diagonály

Únosnost tlačené diagonály můžeme stanovit pomocí normového vztahu

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

Ze vztahu je zřejmé, že **na únosnost tlačené diagonály má vliv pouze:**

- **pevnost** betonu,
- **geometrie** průřezu,
- **sklon** diagonály.

Únosnost tlačené diagonály nezávisí na smykové výztuži.

Únosnost tlačené diagonály

Tlačenou diagonálu ověříme porovnání posouvající síly v podpoře ($V_{Ed,max}$) s únosností diagonály ($V_{Rd,max}$).

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

Pokud podmínka nevyhoví, znamená to, že by došlo k poškození prvku rozdrčením betonu v tlačené diagonále a **je nutné návrh upravit**. Máte tři možnosti:

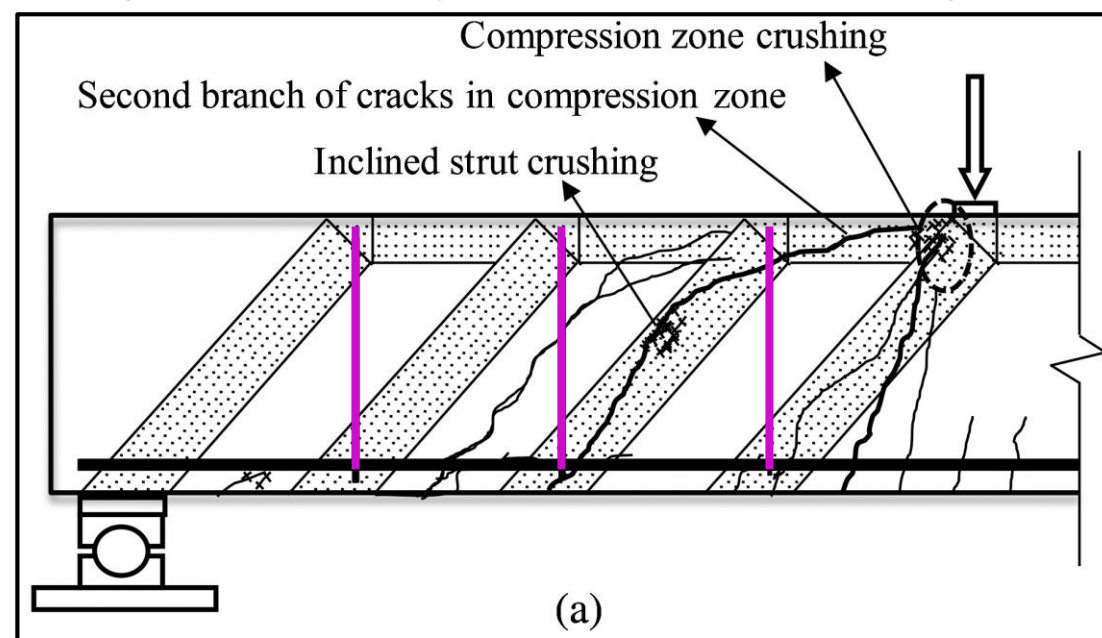
- zvolit menší úhel sklonu diagonály (norma dovoluje až $\cot \theta = 1$),
- zvětšit šířku průřezu,
- zvolit lepší třídu betonu.

Smyková výztuž

Smyková výztuž

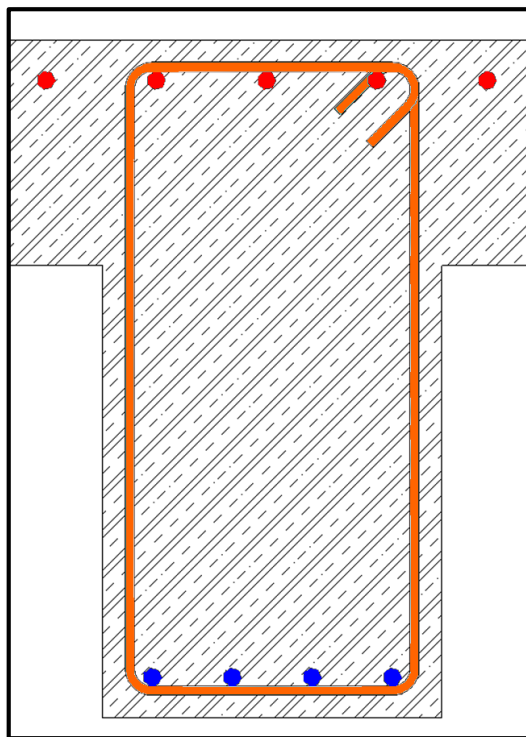
Při namáhání smykem uvažujeme, že v konstrukci vzniká příhradový model složený z tlačných vzpěr (beton) a **táhel (výztuž)** – blíže viz přednášky. **Třmínky přenášejí sílu v místě případné trhliny.**

Musíme navrhnout a posoudit **výztuž**, která bude přenášet tahové síly.



Smyková výztuž – třmínky

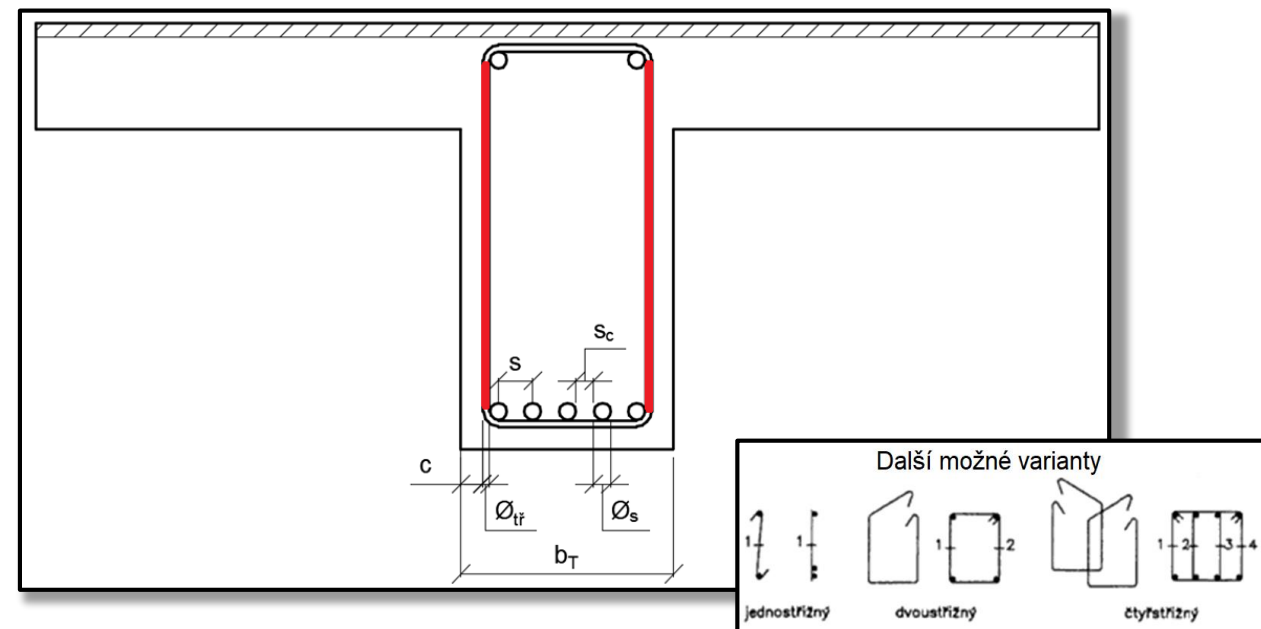
Pro vyztužení železobetonového trámu na účinky smyku používáme takzvané „třmínky“. Třmínek je **drát, který je příčně omotaný okolo podélné výztuže**.



Průřezová plocha třmínku

Průřezová plocha třmínku je dána **průměrem drátu a jeho střižností** (tj. **z kolika svislých drátů je složen**)

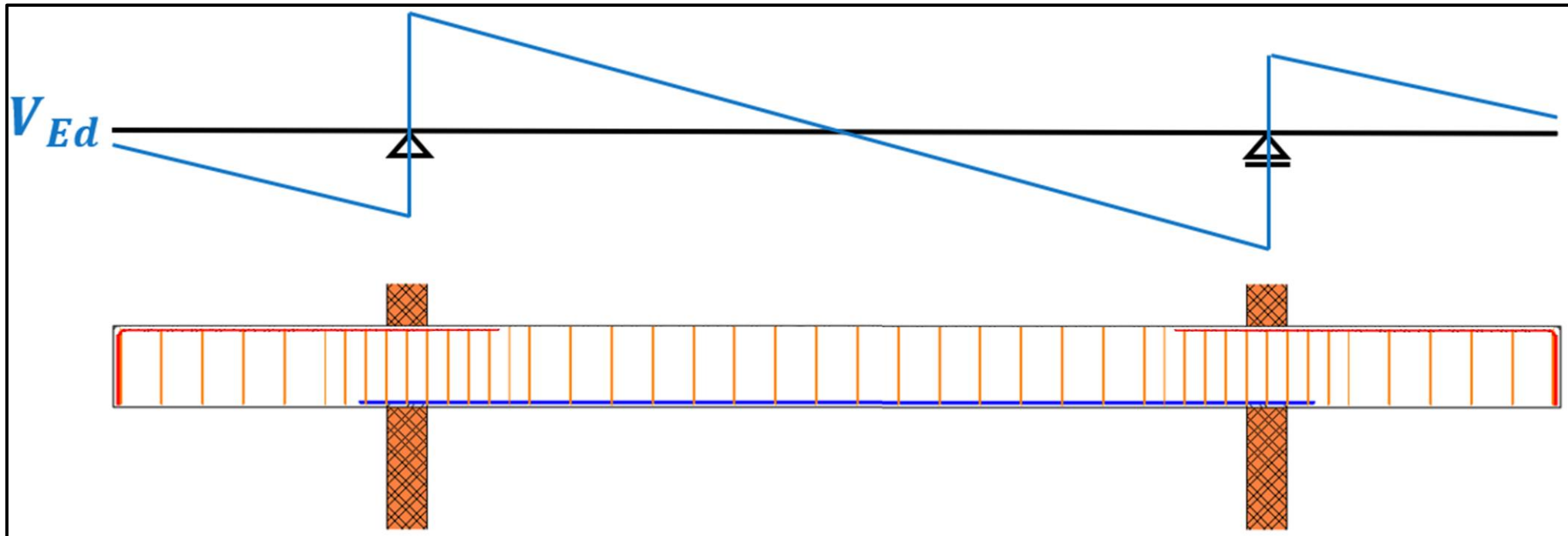
$$A_{sw} = n \frac{\pi \varnothing_t^2}{4},$$



kde \varnothing_t je průměr drátu (zvolili jsme už při výpočtu ohybové výztuže),
 n je střižnost třmínku (zvolíme třmínky dvoustřižné, $n = 2$).

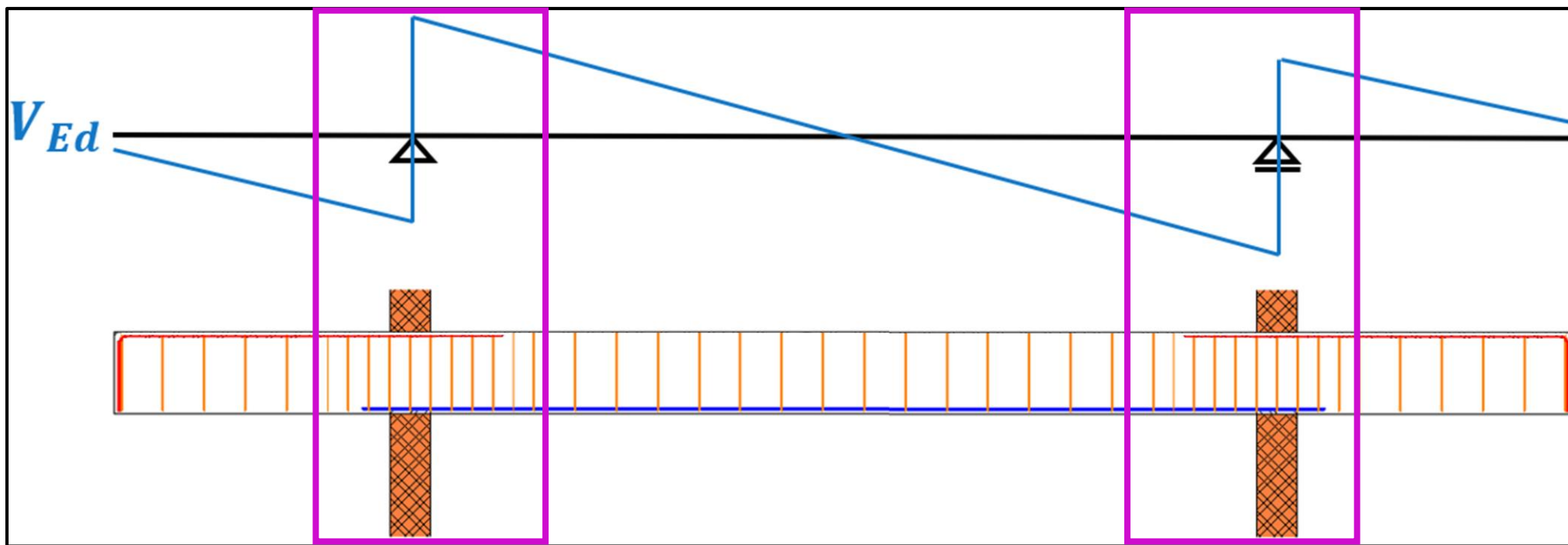
Smyková výztuž – třmínky

Kromě průřezové plochy třmínků musíme specifikovat ještě **rozteč třmínků**.



Smyková výztuž – třmínky

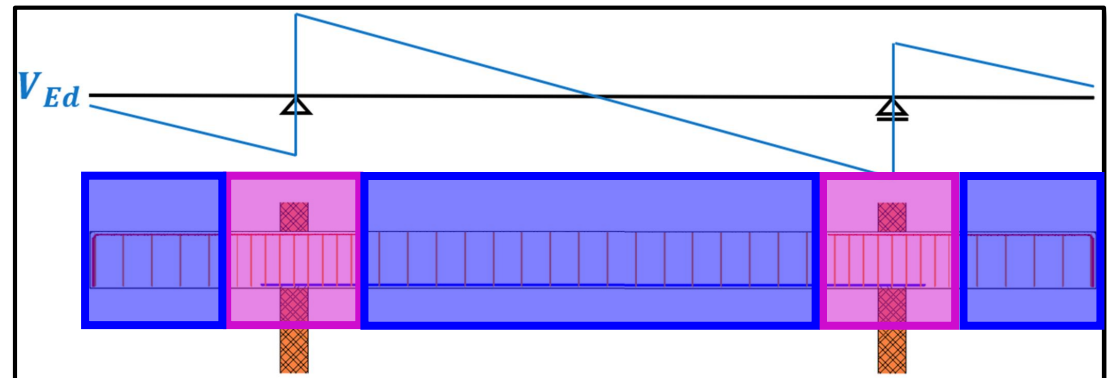
Velikost tahové síly, kterou výztuž musí přenést je závislá na velikosti působící posouvající síly. **Rozteč třmínků tedy závisí na velikosti tahové síly a v místě velké posouvající síly budou třmínky více zahuštěny.**



Návrh třmínek

V trámu se většinou navrhují **dva druhy třmíneků**.

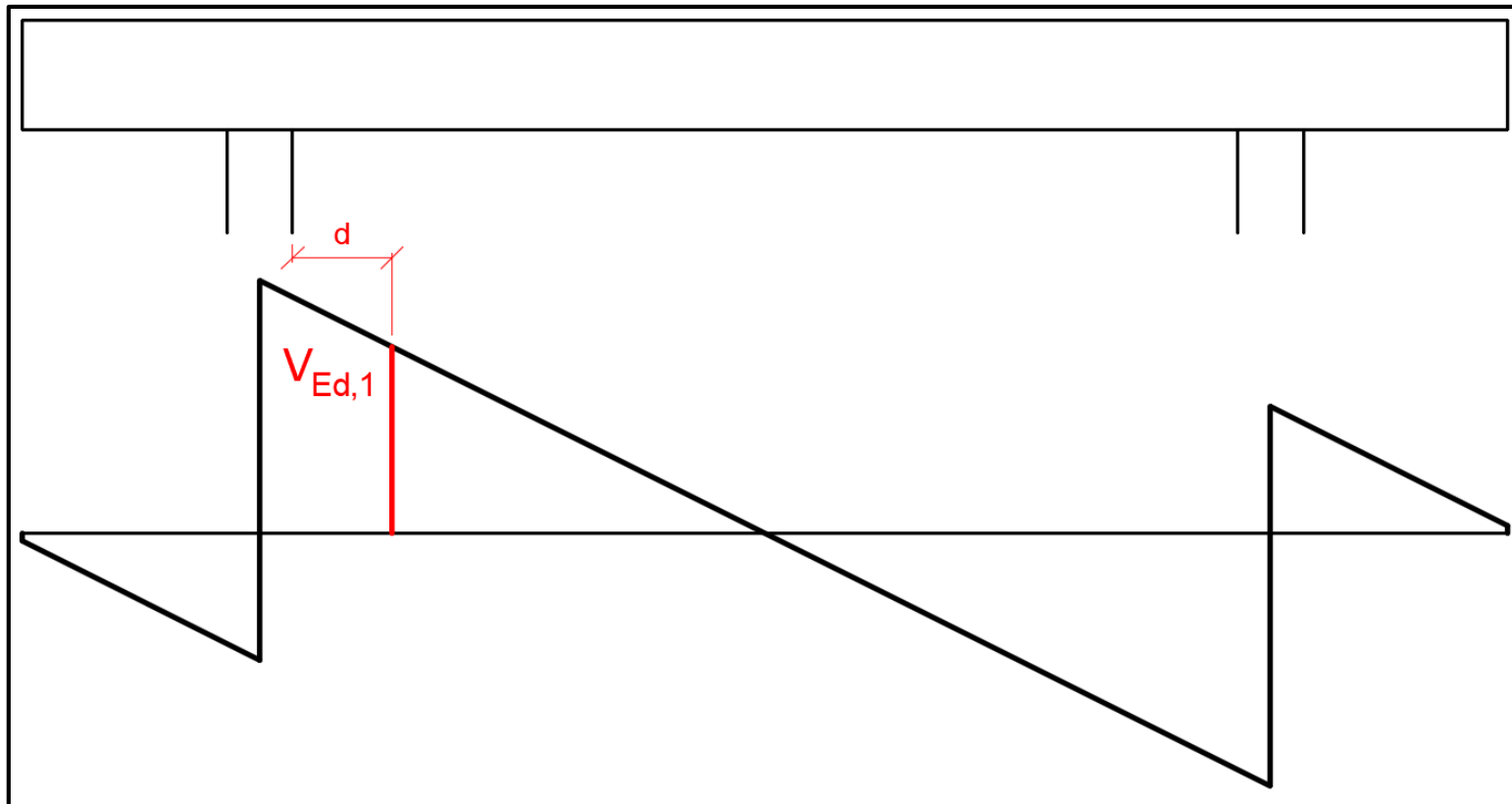
- 1) V oblasti velké posouvající síly (**u podpor**) se navrhují **návrhové třmínky** výpočtem z návrhové hodnoty působící posouvající síly $V_{Ed,1}$.
- 2) V oblasti malé posouvající síly (např. **v poli**) se navrhují **konstrukční třmínky** výpočtem z konstrukčních zásad.



Návrhové třmínky

Návrhové třmínky

Návrhové třmínky navrhujeme a posuzujeme na **posouvající sílu $V_{Ed,1}$** , která leží ve vzdálenosti d za lícem podpory. (Hodnotu síly stanovíme z podobnosti trojúhelníků.)



Návrhové třmínky – návrh

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 diagonály (musíme uvažovat stejný jako u ověření tlakové diagonály).

Návrhové třmínky – návrh

Rozteč návrhových třmínků s_1 zvolíme tak, aby platilo

$$s_1 < s_{req}$$

Vzdálenost třmínků s_1 volíme ideálně v násobcích 50 mm (ale stačí v násobcích 10 mm) a návrh zapisujeme ve tvaru

Třmínek dvoustřížný \emptyset_t X po Y mm.

Návrhové třmínky – konstrukční zásady

Třmínky musí splňovat konstrukční zásady.

1) Maximální vzdálenost třmínků

$$s_1 \leq s_{max} = \min(0.75d; 400 \text{ mm})$$

1) Stupeň vyztužení

$$\frac{0.08\sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} \leq \frac{A_{sw}}{bs_1} \leq \frac{0.5vf_{cd}}{f_{yd}}$$

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

Pokud podmínky nevyhoví, upravíme hodnotu vzdálenosti třmínků.

Návrhové třmínky – únosnost

Únosnost třmínek se spočte jako **únosnost jednoho třmínku** krát **počet třmínek 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,

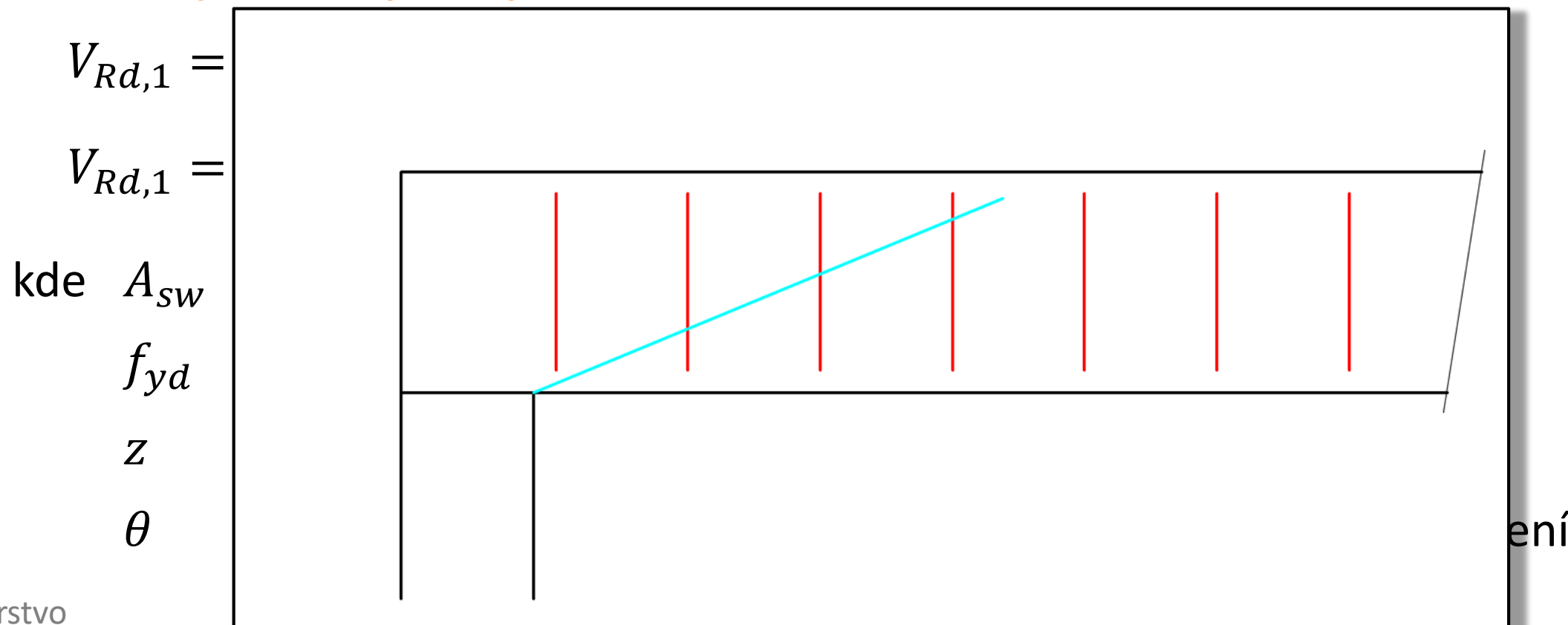
f_{yd} je návrhová hodnota pevnosti výztuže,

z je rameno vnitřních sil v průřezu nad podporou,

θ je úhel sklonu diagonály (musíme uvažovat stejný jako u ověření tlakové diagonály).

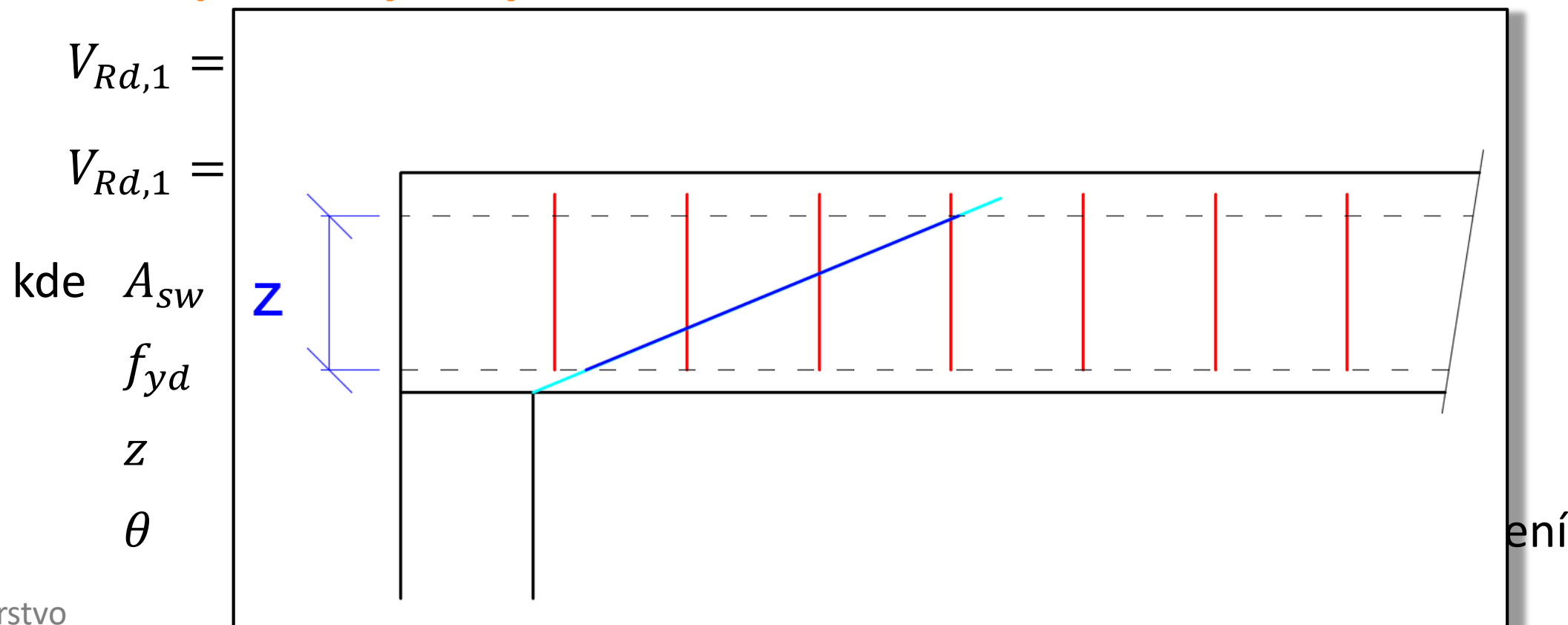
Návrhové třmínky – únosnost

Únosnost třmínek se spočte jako **únosnost jednoho třmínku** krát **počet třmínek procházejících jednou trhlinou**.



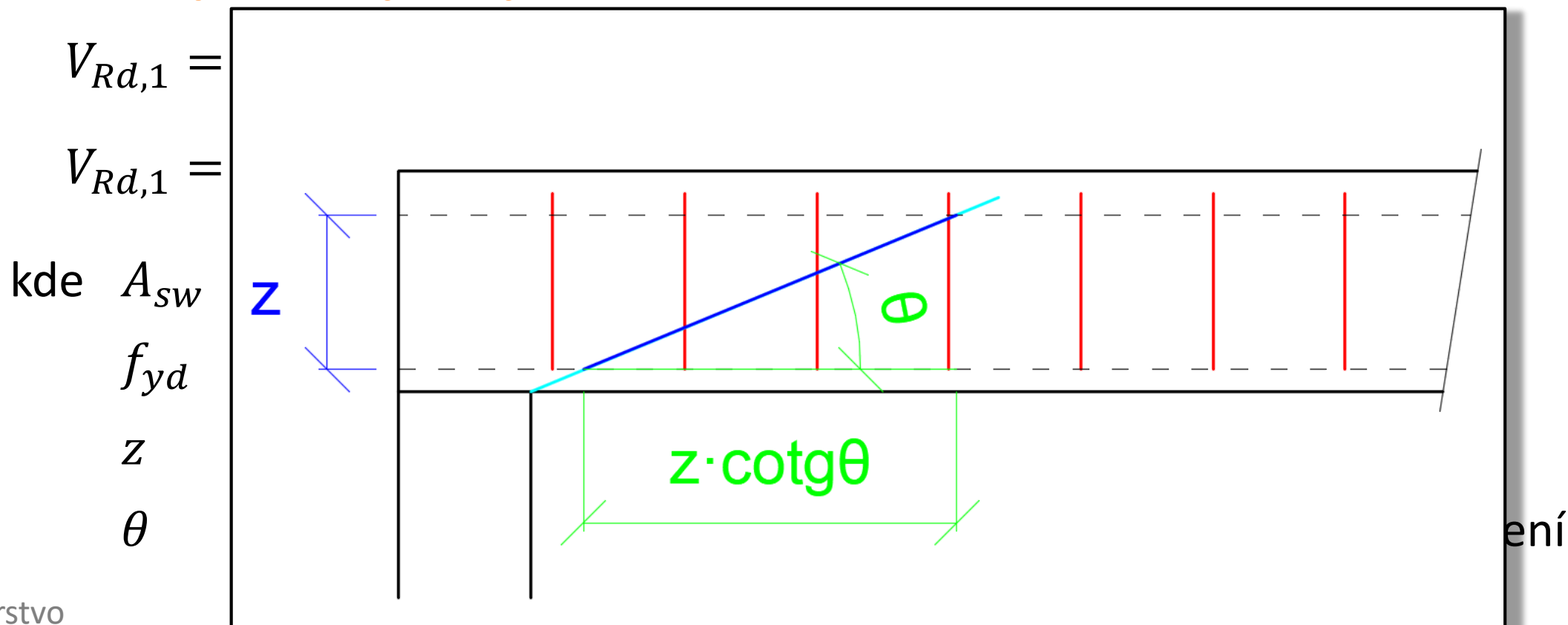
Návrhové třmínky – únosnost

Únosnost třmínek se spočte jako **únosnost jednoho třmínku** krát **počet třmínek procházejících jednou trhlinou**.



Návrhové třmínky – únosnost

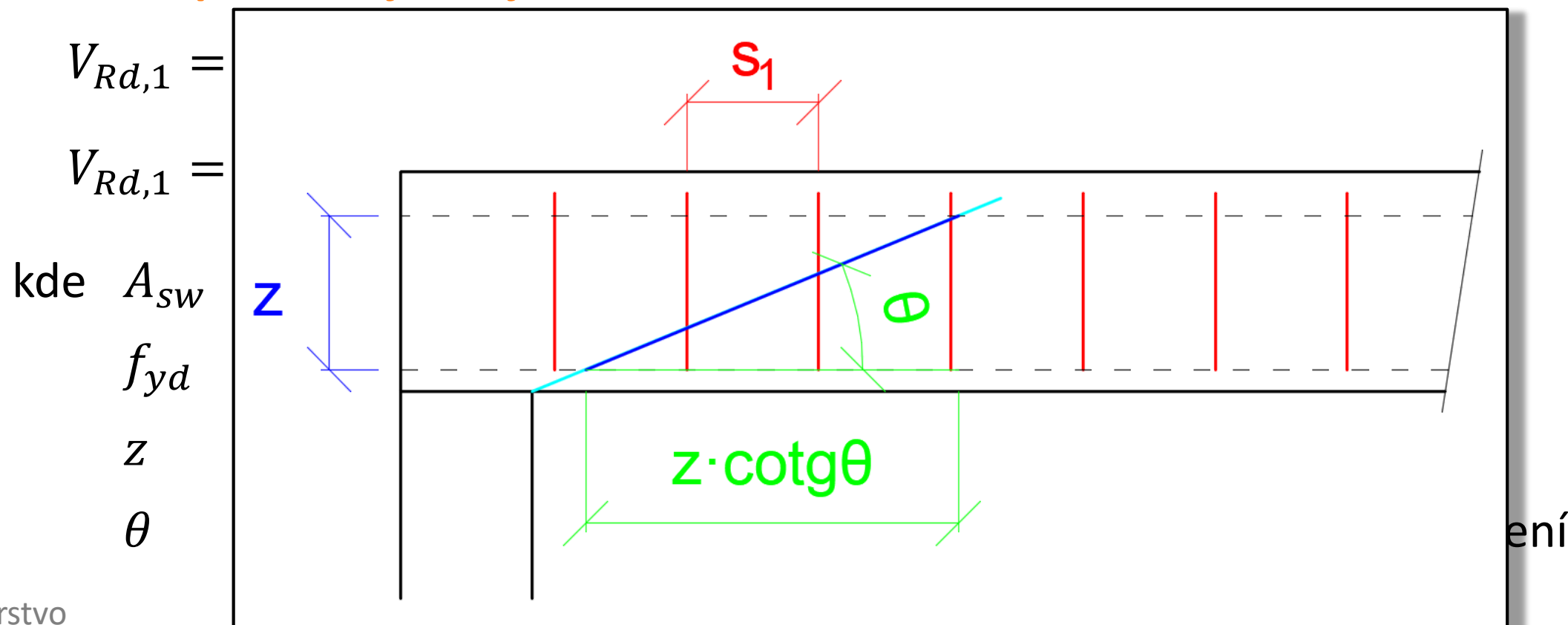
Únosnost třmínek se spočte jako **únosnost jednoho třmínku** krát **počet třmínek procházejících jednou trhlinou**.



ení

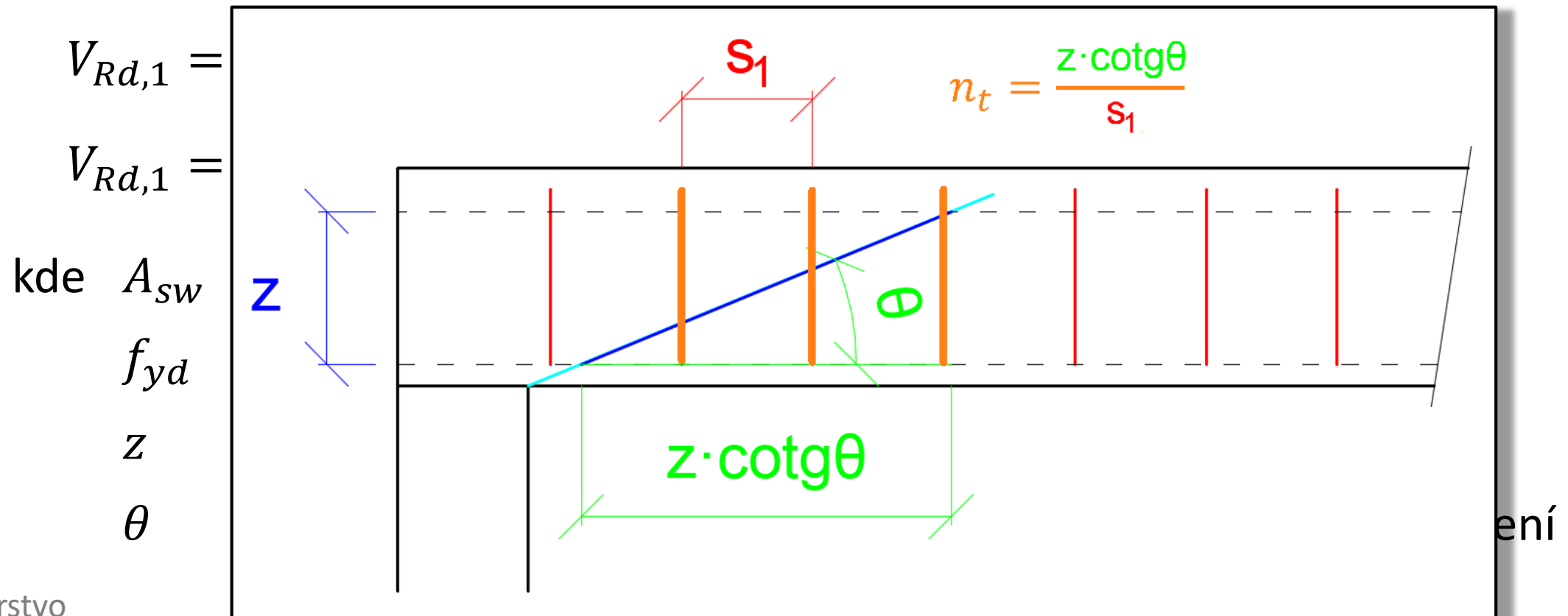
Návrhové třmínky – únosnost

Únosnost třmínek se spočte jako **únosnost jednoho třmínku** krát **počet třmínek procházejících jednou trhlinou**.



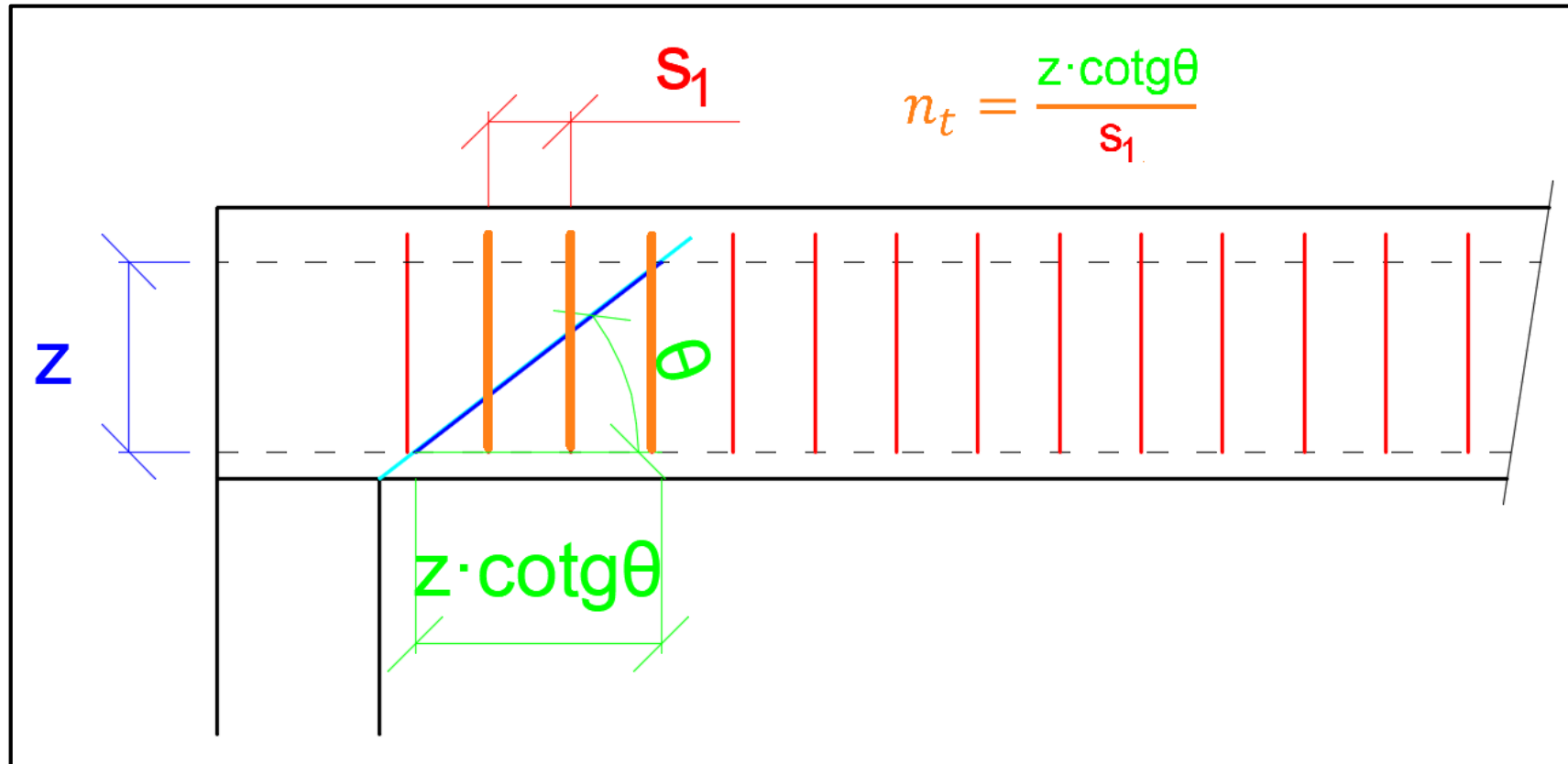
Návrhové třmínky – únosnost

Únosnost třmínek se spočte jako **únosnost jednoho třmínku** krát **počet třmínek procházejících jednou trhlinou**.



Návrhové třmínky – únosnost

Pozn: Zvolený sklon trhliny θ přímo ovlivňuje rozteč třmínků. Zvolíme-li **menší $\cot\theta$** , pak délka trhliny bude kratší a **rozteč třmínků musí být menší**.



Návrhové třmínky – únosnost

Únosnost třmínek se spočte jako **únosnost jednoho třmínku** krát **počet třmínek 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 diagonály (musíme uvažovat stejný jako u ověření tlakové diagonály).

Návrhové třmínky – posouzení

Únosnost třmínků musí být větší než maximální působící návrhová posouvající síla

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

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

Konstrukční třmínky

Konstrukční třmínky

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

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

Konstrukční třmínky – návrh

Vzdálenost třmínků navrhujeme tak, aby platilo

$$s_{k\check{c}n\acute{i}} \leq s_{max} = \min(0.75d; 400 \text{ mm}).$$

Vzdálenost třmínků $s_{k\check{c}n\acute{i}}$ volíme ideálně v násobcích 50 mm (ale stačí v násobcích 10 mm) a návrh zapisujeme ve tvaru

Třmínek dvoustřížný \emptyset_t X po Y mm.

Konstrukční třmínky – konstrukční zásady

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

$$\frac{0.08\sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} \leq \frac{A_{sw}}{b s_{kční}} \leq \frac{0.5v f_{cd}}{f_{yd}},$$

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

Pokud některá z podmínek nevyhoví, upravíme hodnotu vzdálenosti třmínků.

Konstrukční třmínky – únosnost

Únosnost třmínků se opět spočte jako únosnost jednoho třmínku krát počet třmínků procházejících jednou trhlinou.

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

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 diagonály (musíme uvažovat stejný jako u ověření tlakové diagonály).

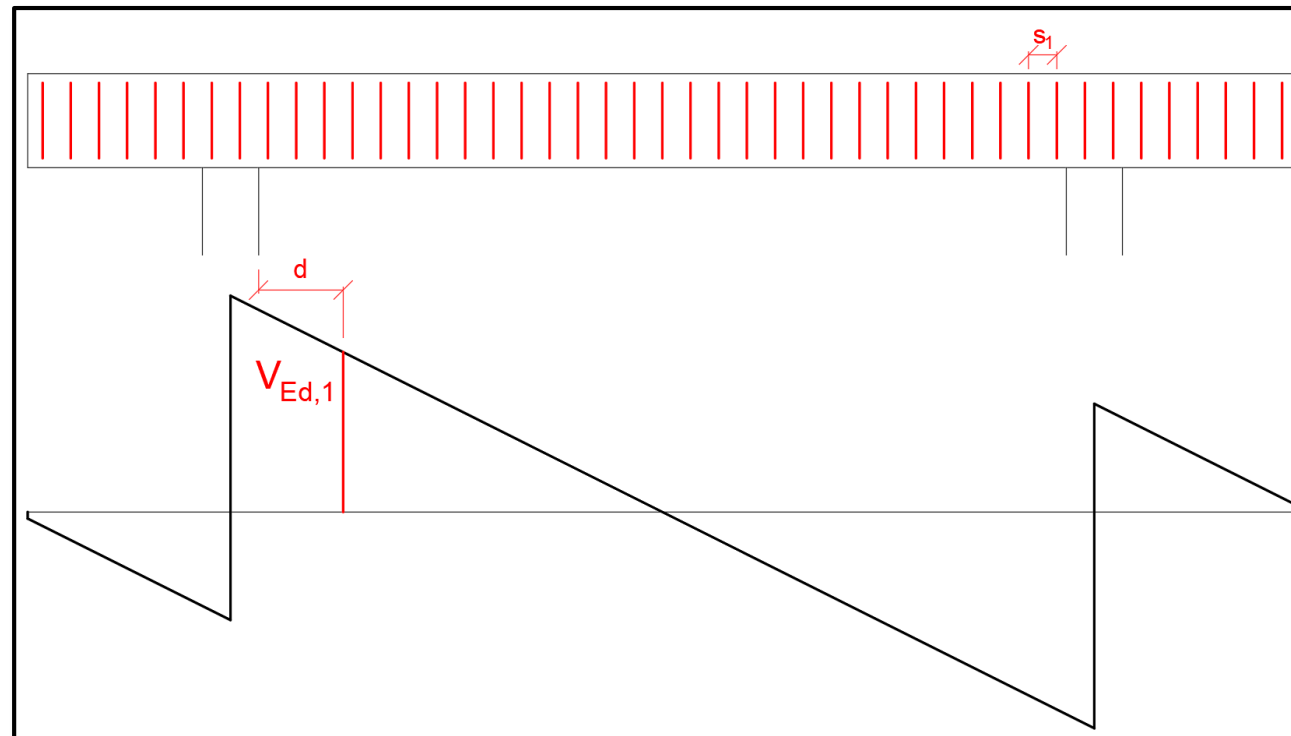
Rozmístění třmínek

Rozmístění třmínek

Rozmístění třmínek si vytvořte rovnou v CADu. Bude se Vám to pak hodit při výkresu výztuže trámu.

Rozmístění návrhových třmínek

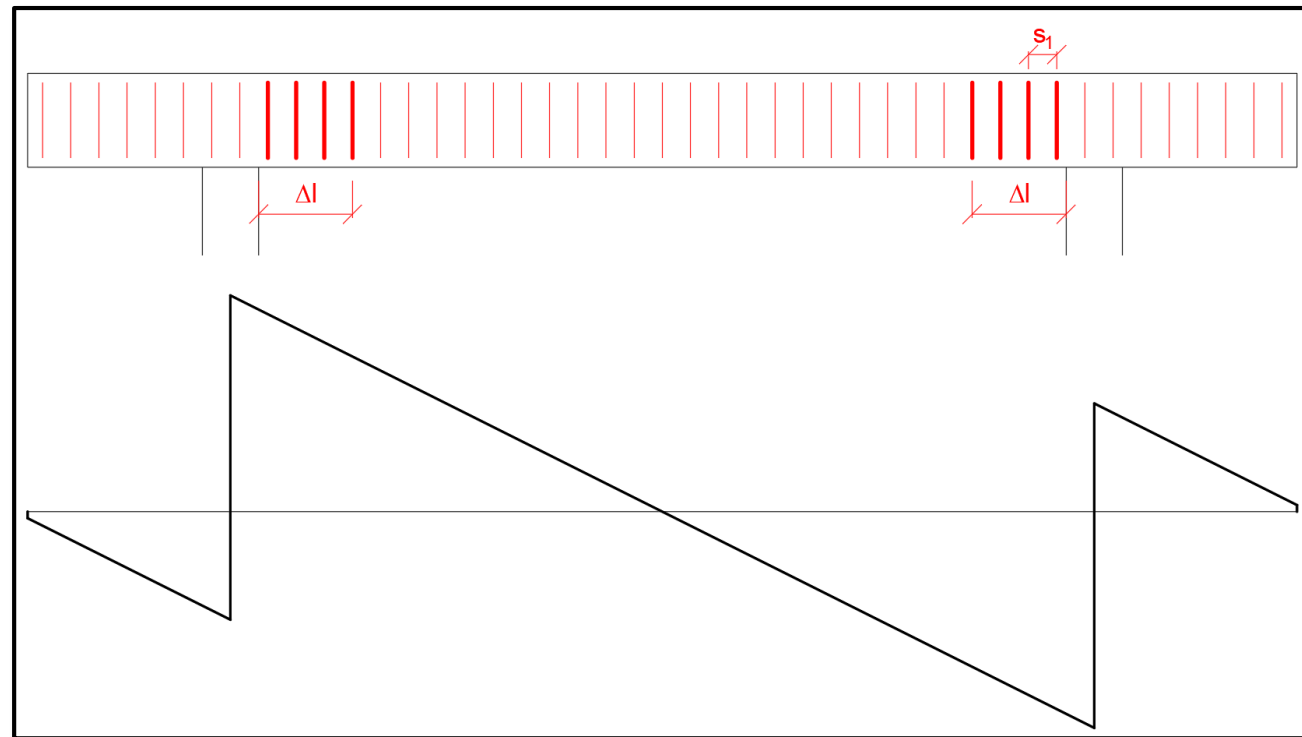
Návrhové třmínky jsou navrženy na maximální posouvající sílu v konstrukci*. To znamená, že je **můžeme použít v celém prvku**. To ale **není ekonomické**. (Protože třmínky jsou navrženy na maximální sílu, ale ve většině konstrukce je síla menší a třmínky jsou zbytečně moc blízko u sebe.)



*To není úplně pravda. Třmínky jsou navrženy na sílu ve vzdálenosti d od líce podpory ($V_{Ed,1}$) a v teoretické podpoře je síla ještě větší. Ale vzhledem k tomu, že trhлина vychází z líce podpory (a ne z teoretické podpory), třmínky nikdy nebudou vystaveny síle větší než $V_{Ed,1}$.

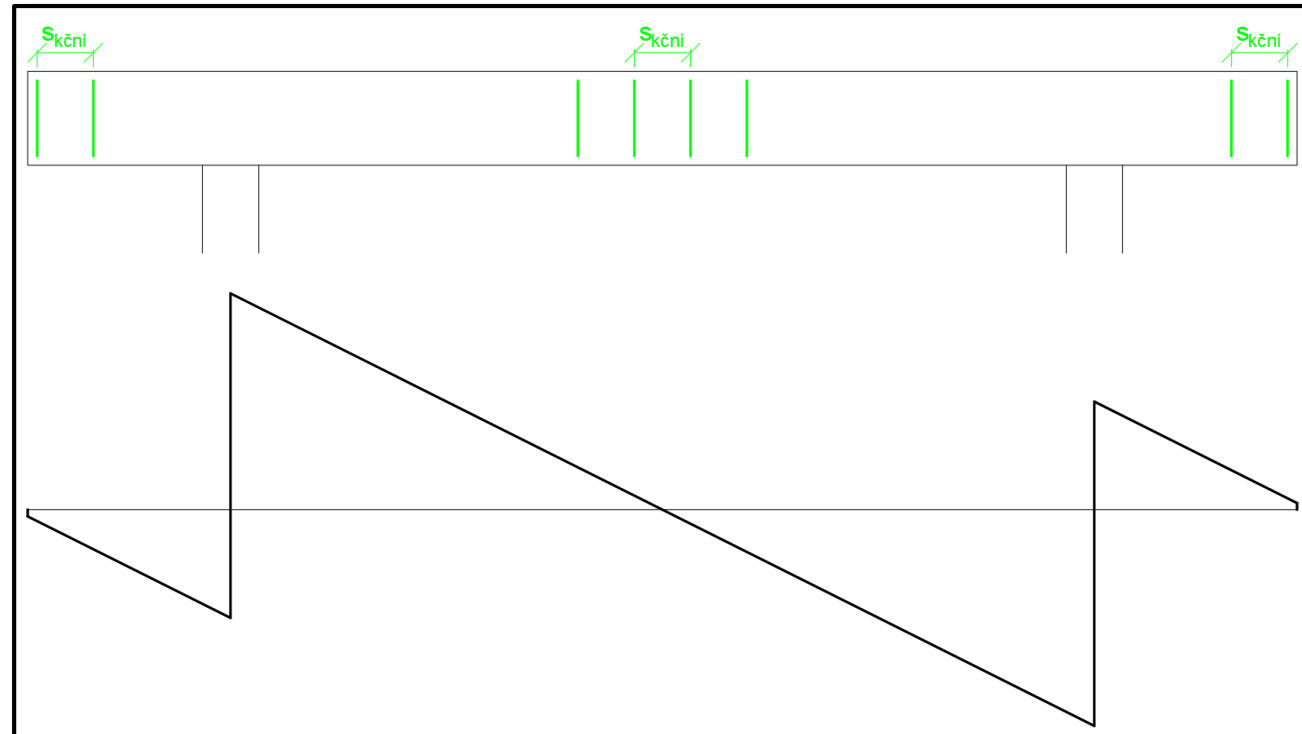
Rozmístění návrhových třmínek

Dále nám návrhová norma udává, že **návrhové třmínky musíme použít minimálně ve vzdálenosti $\Delta l = z \cot \theta$ od líce podpory.** (Aby pokryly celou smykovou trhlinu vycházející z líce podpory.)



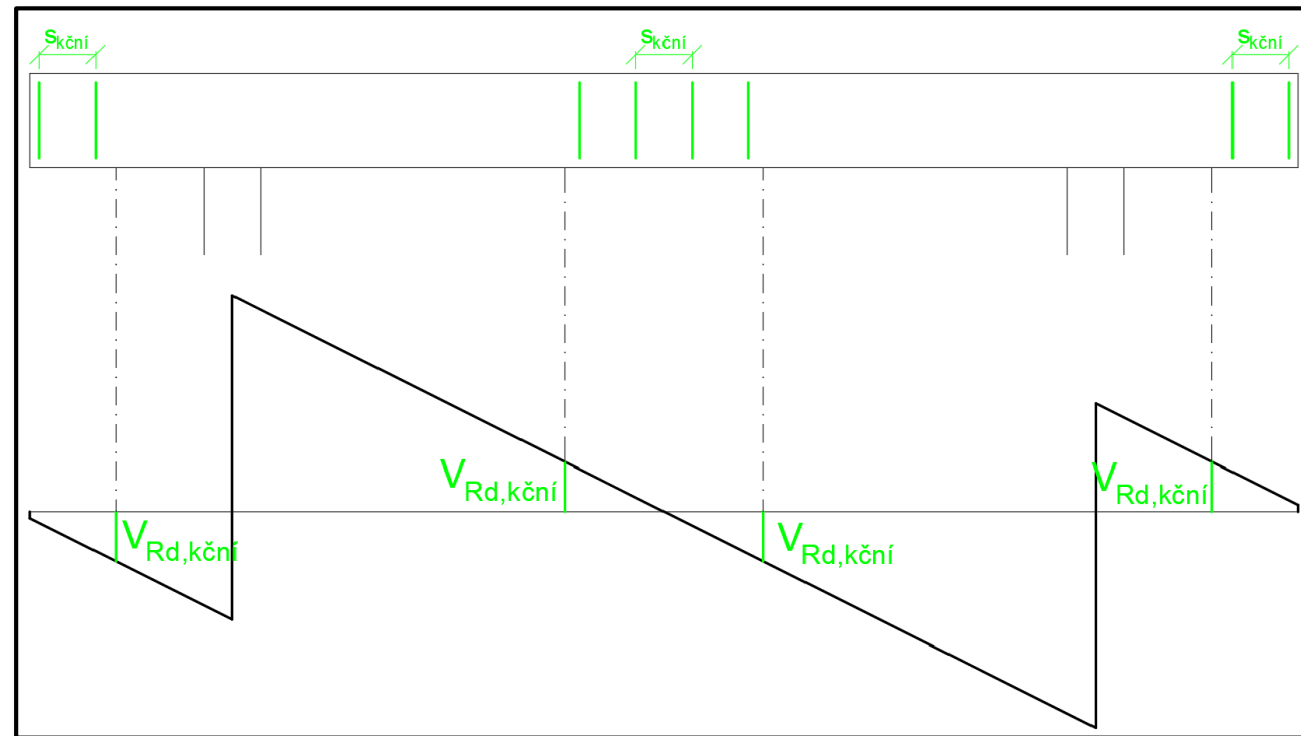
Rozmístění konstrukčních třmínek

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



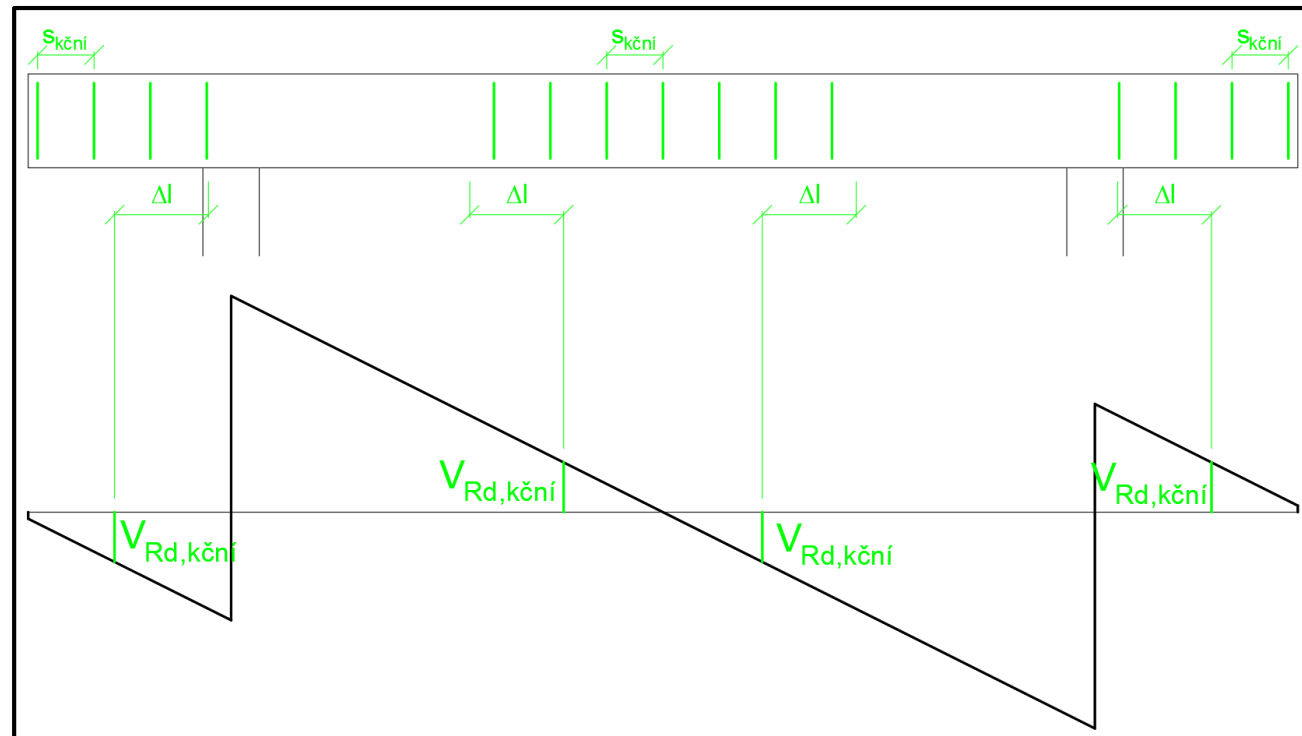
Rozmístění konstrukčních třmínek

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



Rozmístění konstrukčních třmíneků

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

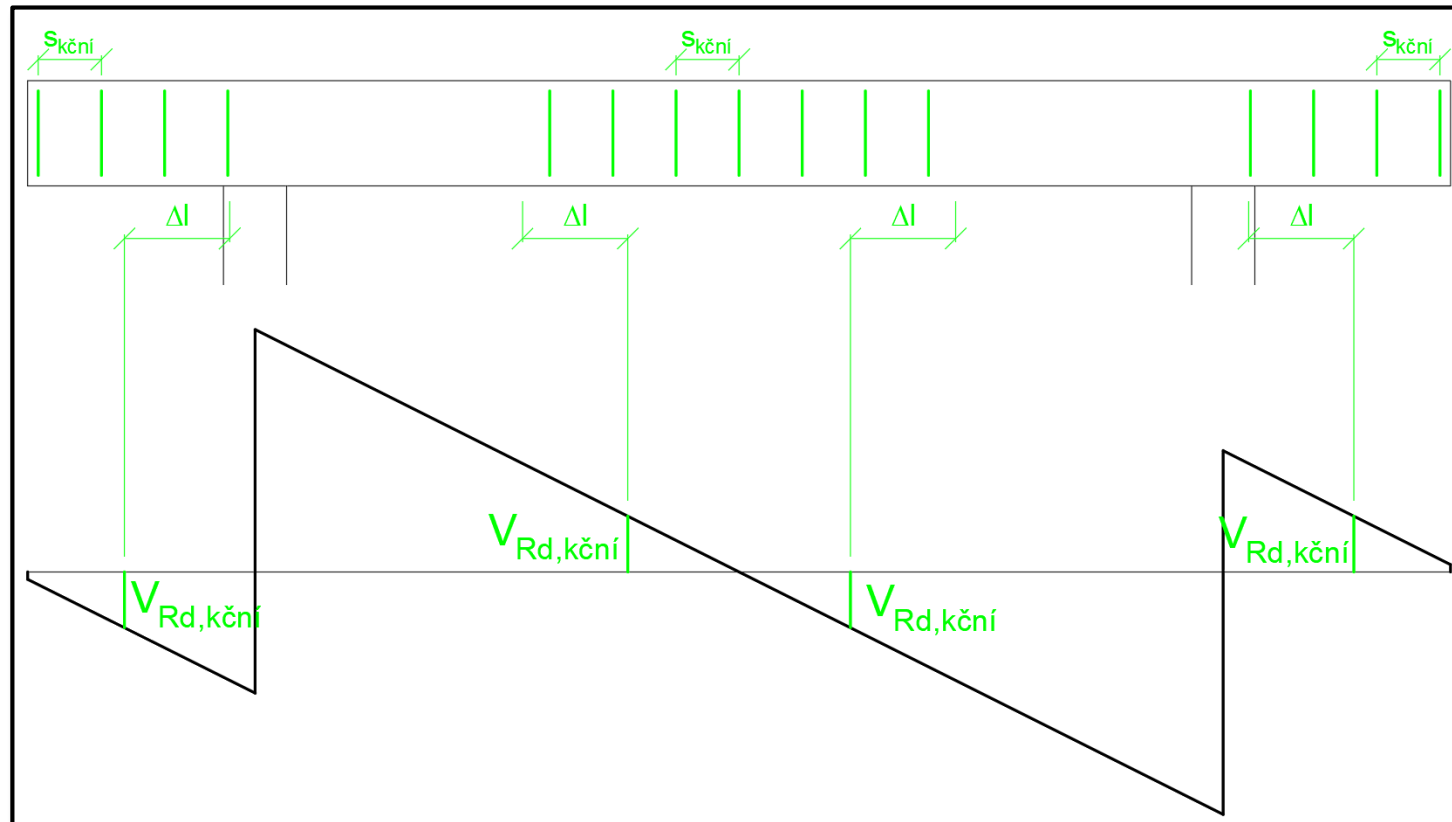


Rozmístění všech třmínek

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

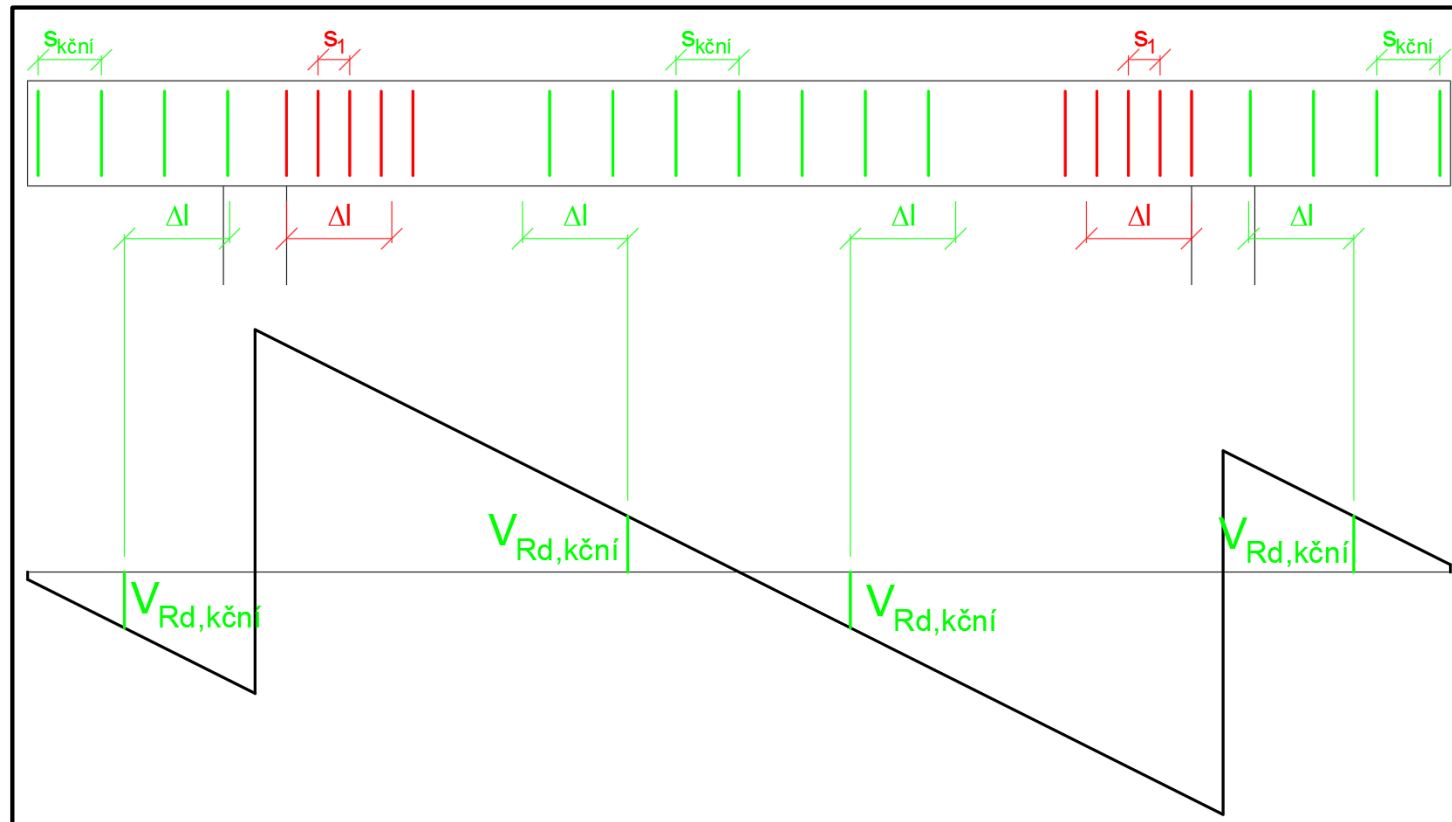
Rozmístění všech třmínků

Nejprve stanovíme, **kde všude můžeme použít ekonomické konstrukční třmínky.**



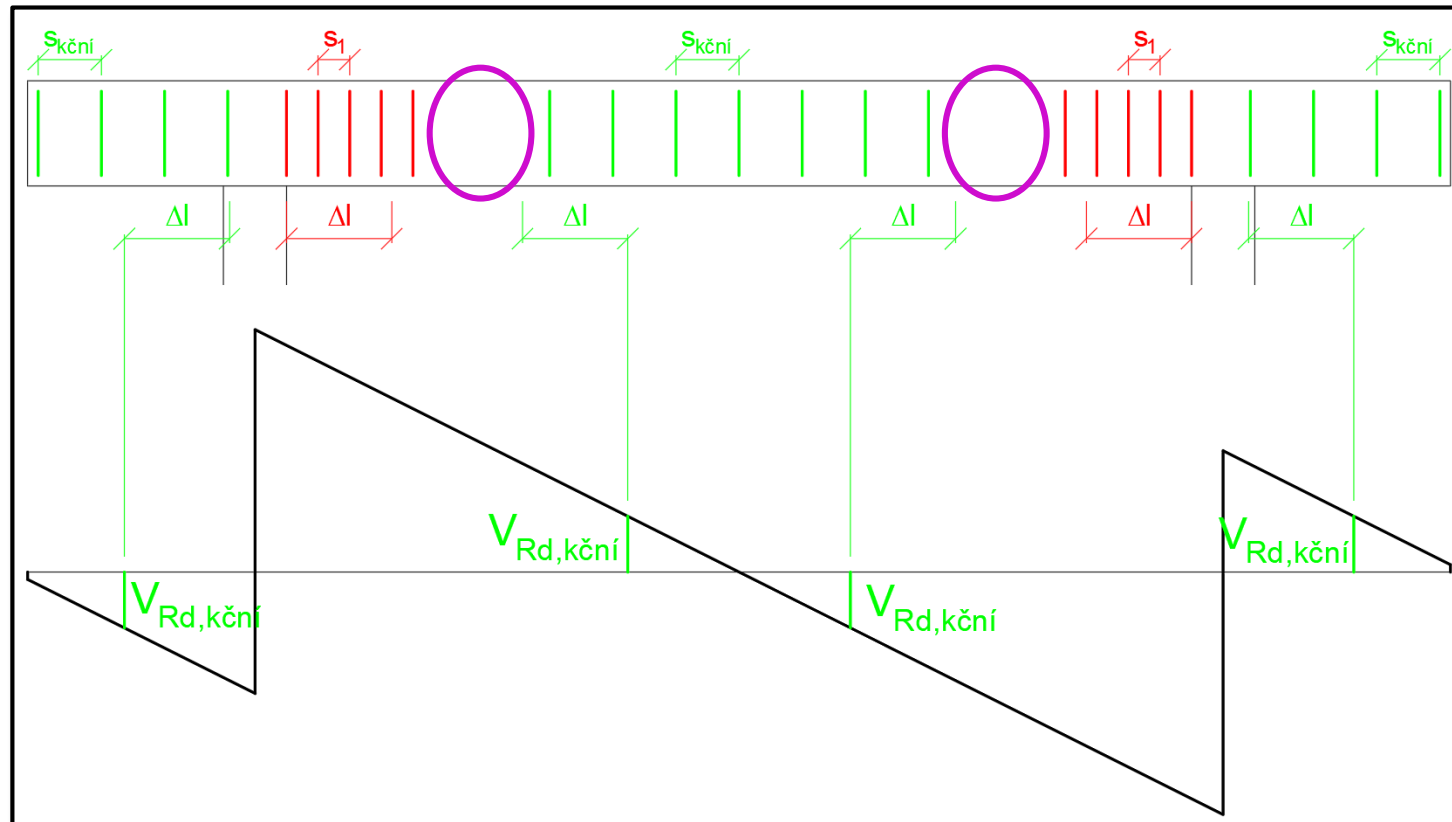
Rozmístění všech třmínek

Dále určíme, **kde všude musí být návrhové třmínky.**



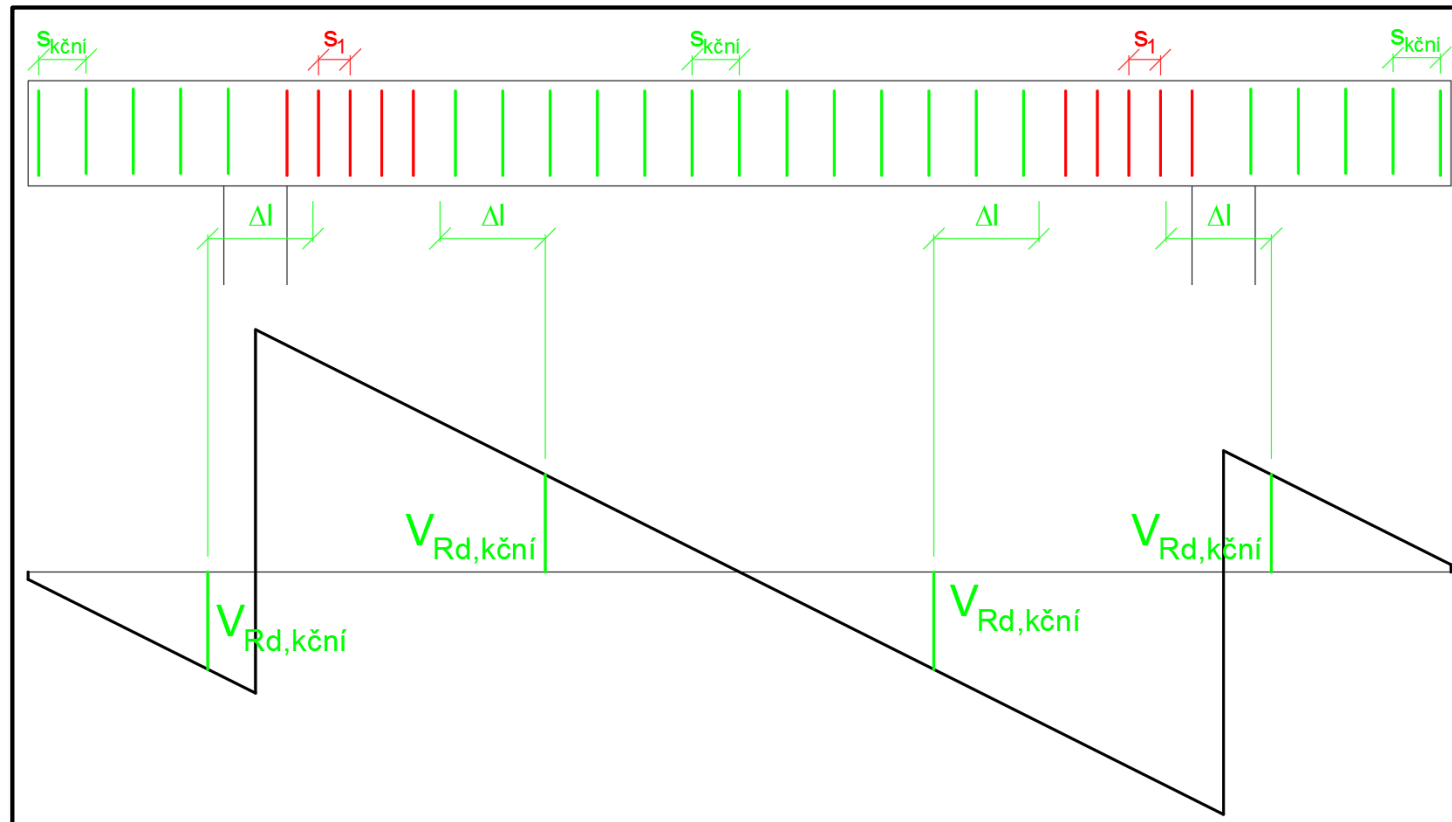
Rozmístění všech třmínek

A nyní musíme rozhodnout, jak vyřešit oblast, kde nám třmínky ještě chybí.



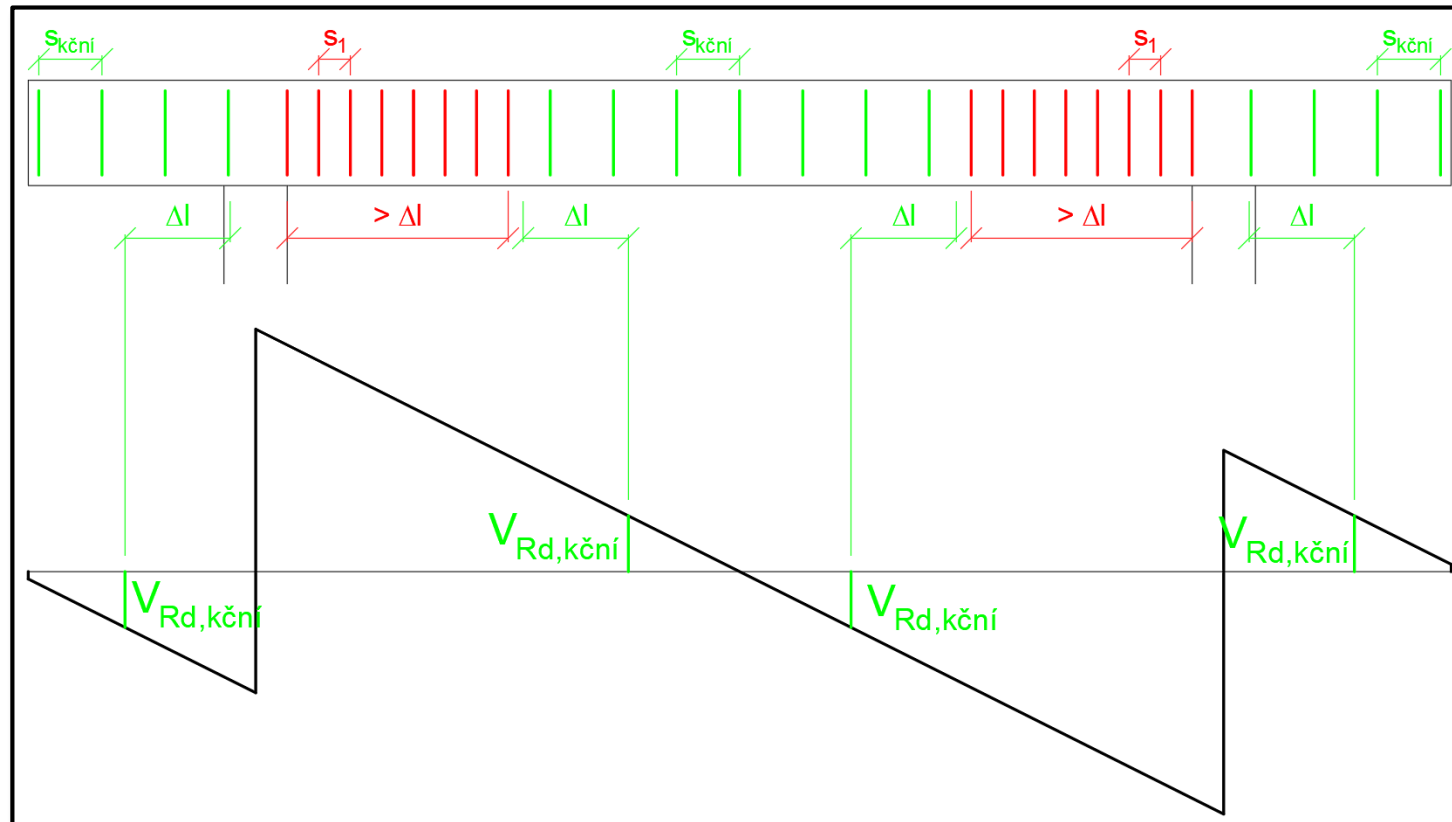
Rozmístění všech třmínek

Prvním řešením je **snížit rozteč konstrukčních třmínek**. Tím se zvýší jejich únosnost, a tím se rozšíří oblast jejich možného použití.



Rozmístění všech třmínek

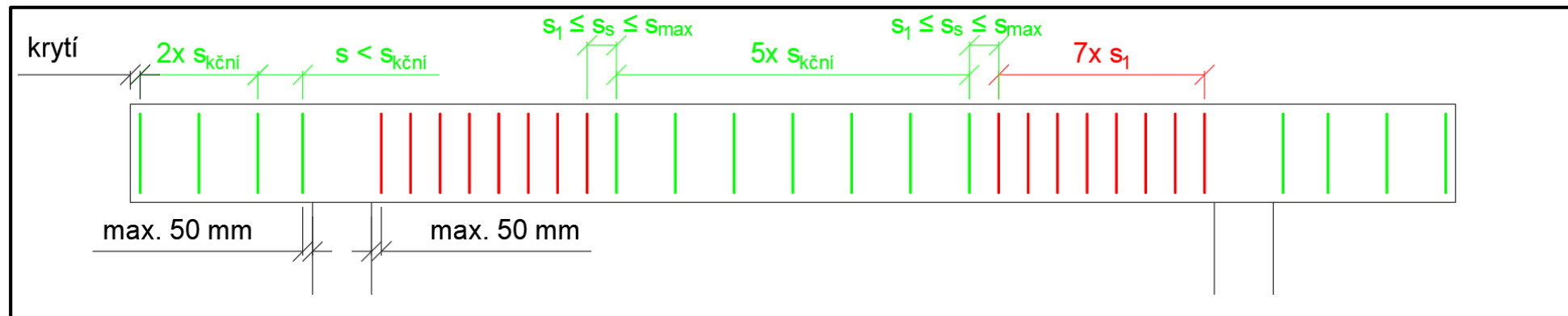
Druhým (a jednodušším) řešením „dotáhnout“ návrhové třmínky až ke konstrukčním třmínkům. (A konstrukční třmínky nechat tak, jak jsme je navrhli na začátku.)



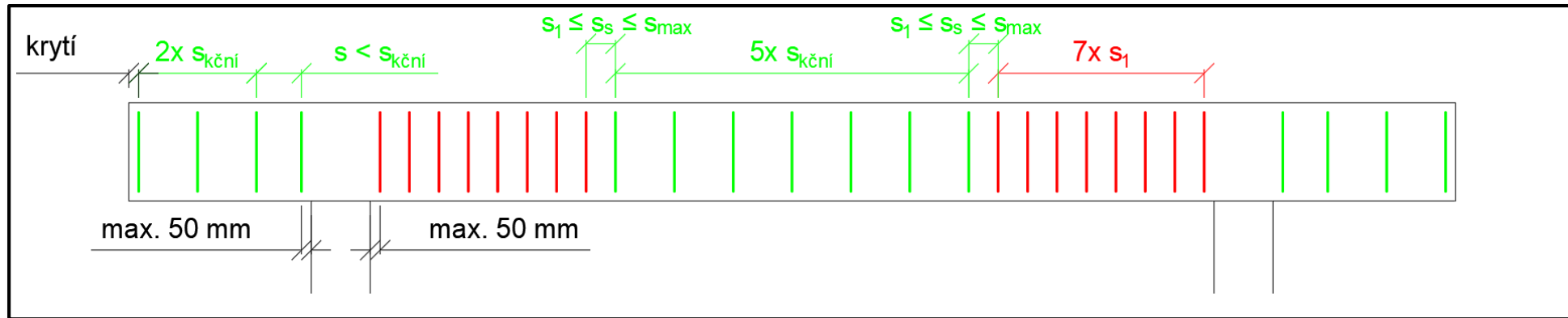
Rozmístění všech třmínek

Nakonec upravíme návrh tak, aby dal geometricky smysl:

- krajní třmínek musí mít dostatečné krytí,
- třmínky nad zděnou podporou vynecháme (protože je tam věnec), první třmínek musí být ve vzdálenosti max. 50 mm od hrany podpory,
- rozteč na styku návrhových a konstrukčních třmínek s_s nám vyjde z geometrie.



Teorie vs Praxe



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.