



Úloha 2: Železobetonová stropní konstrukce

Návrh smykové výztuže a posouzení trámu

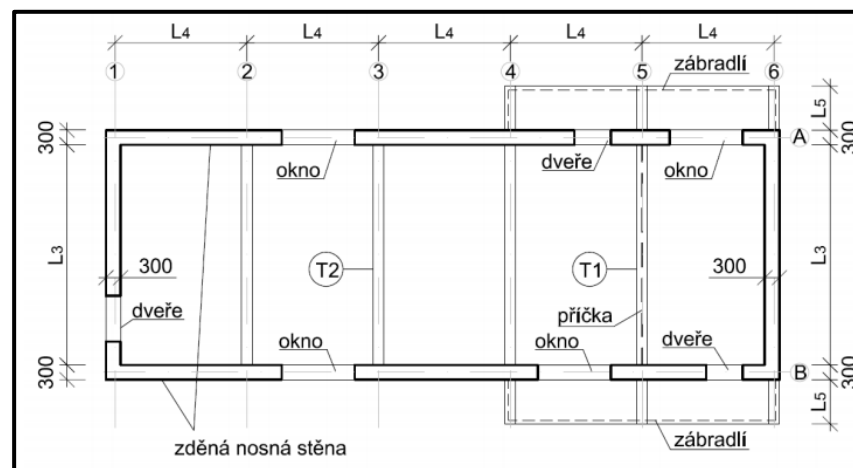
Prezentace k cvičení z předmětu NNKB (Štefan)

Zadání Úlohy 2

Zadání Úlohy 2

V rámci úlohy 2 vypracujeme

- 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 tahu 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 tahu odtrhne**.

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

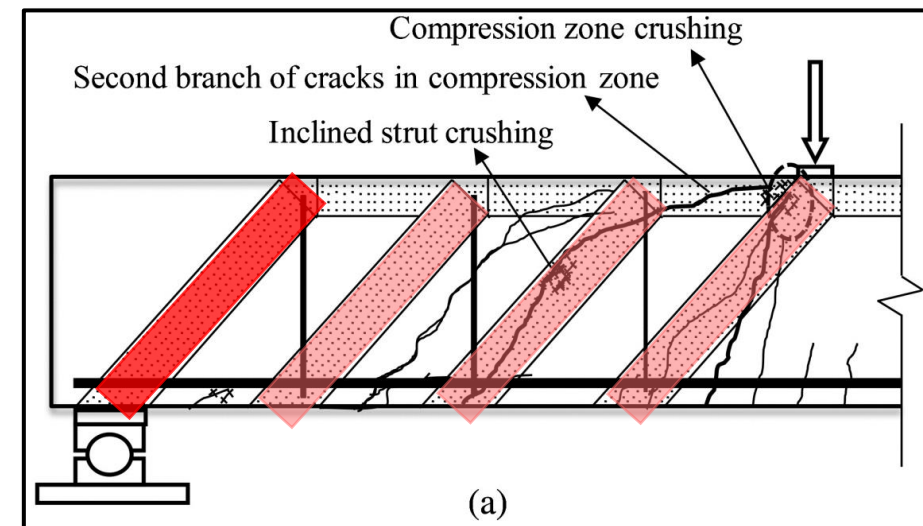
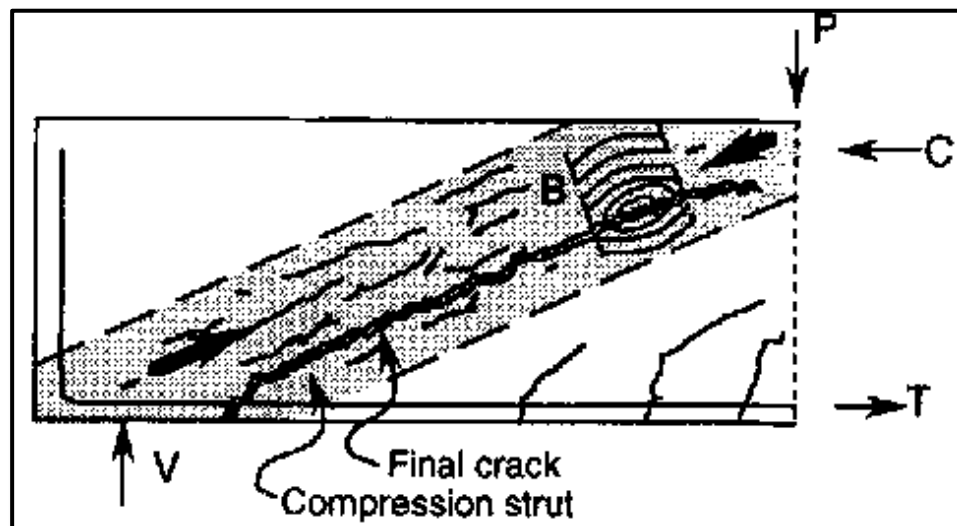


Únosnost tlačené diagonály

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_{ck} je charakteristická pevnost betonu (zadáno),

f_{cd} je návrhová pevnost betonu (zadáno),

b je šířka průřezu (již navrženo),

z je rameno vnitřních sil v průřezu nad podporou (vypočteno minule),

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

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

Tlačnou 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**. Máme tři možnosti:

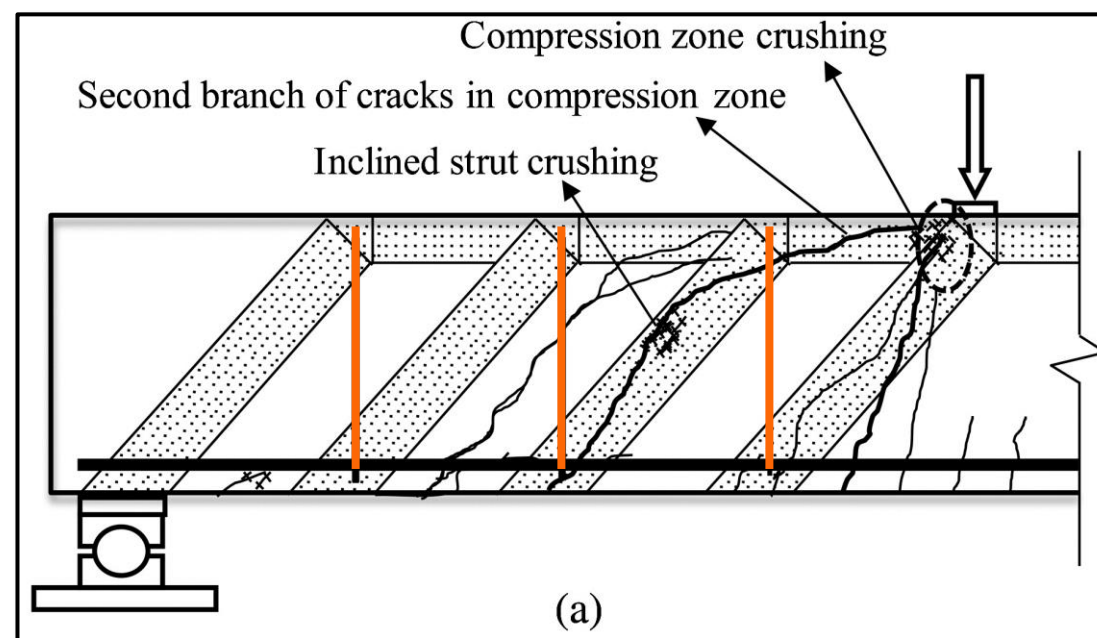
- zvolit lepší třídu betonu,
- zvětšit šířku nebo výšku průřezu,
- zvolit menší úhel sklonu diagonály (norma dovoluje až $\cot \theta = 1$).

Smyková výztuž

Smyková výztuž

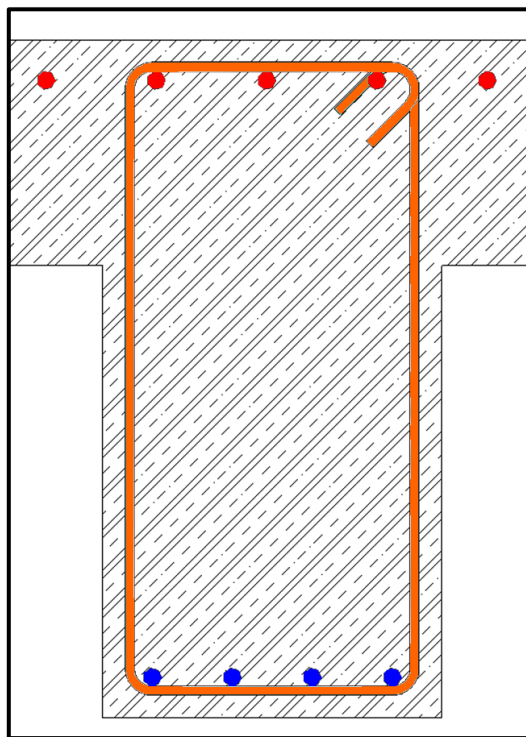
Při namáhání smykem uvažujeme, že v konstrukci vzniká příhradový model složený z tlačných vzpěr (beton) a **táhel (výztuž)** – blíže viz přednášky.

Musíme **navrhnout a posoudit svislá táhla**, která budou **přenášet tahové síly v místě případné trhliny**. Tato svislá táhla **nazýváme třmínky**.



Smyková výztuž – třmínky

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

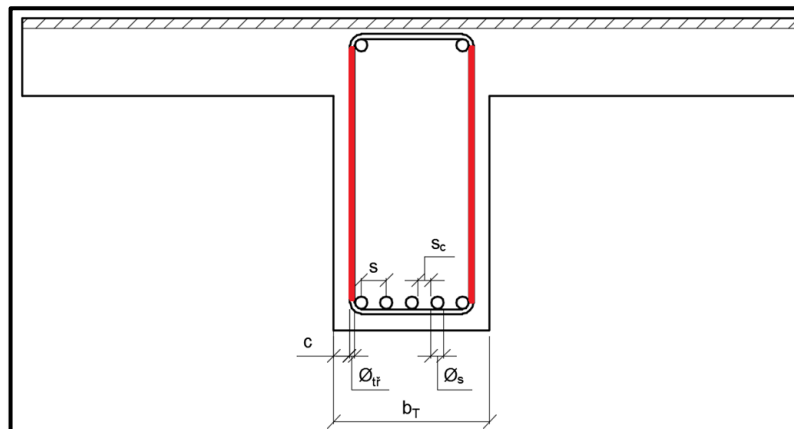


Průřezová plocha třmínku

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

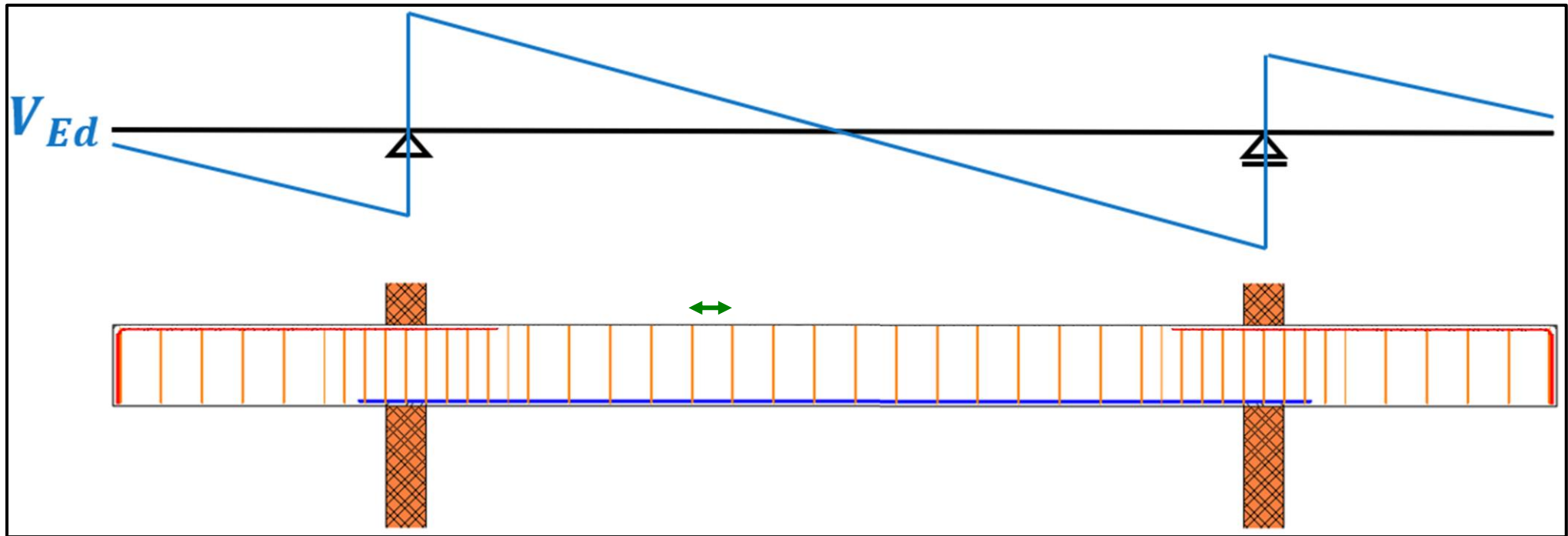
$$A_{sw} = n \frac{\pi \varnothing_{tř}^2}{4},$$

kde $\varnothing_{tř}$ je průměr drátu třmínku (zvolili jsme už při výpočtu ohybové výztuže),
 n je střížnost třmínku (zvolíme třmínky dvoustřížné, $n = 2$).



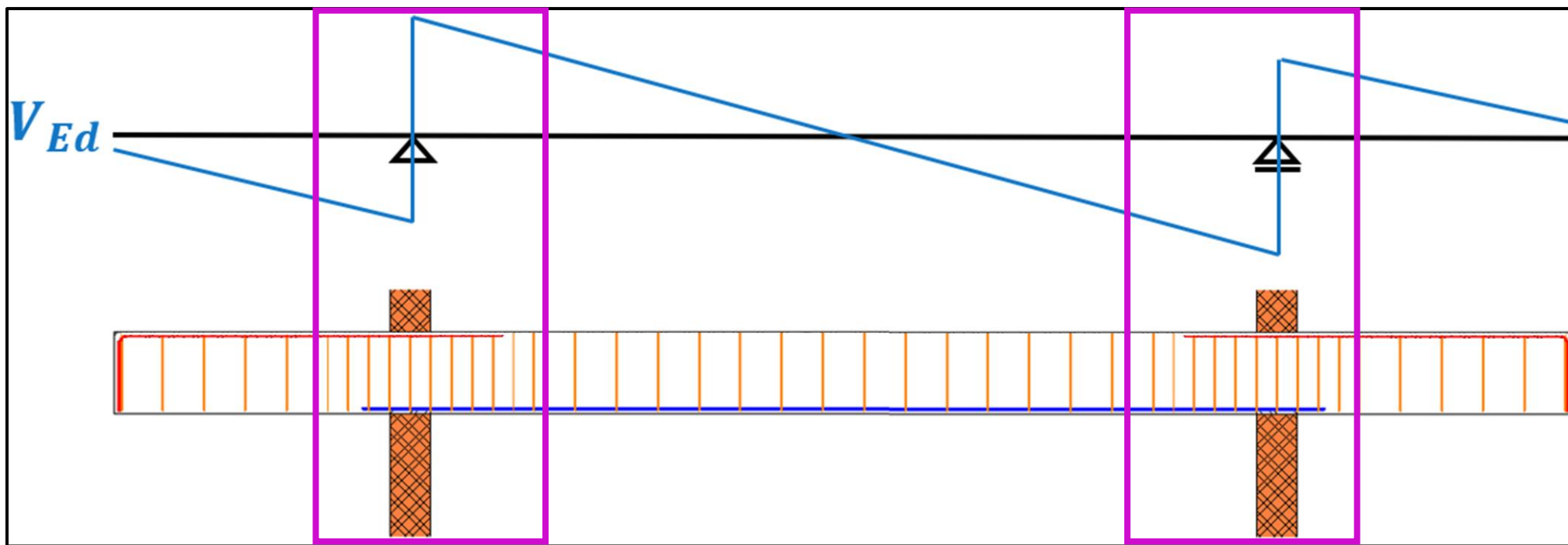
Smyková výztuž – třmínky

Kromě průřezové plochy třmínků musíme specifikovat ještě rozteč třmínků.



Smyková výztuž – třmínky

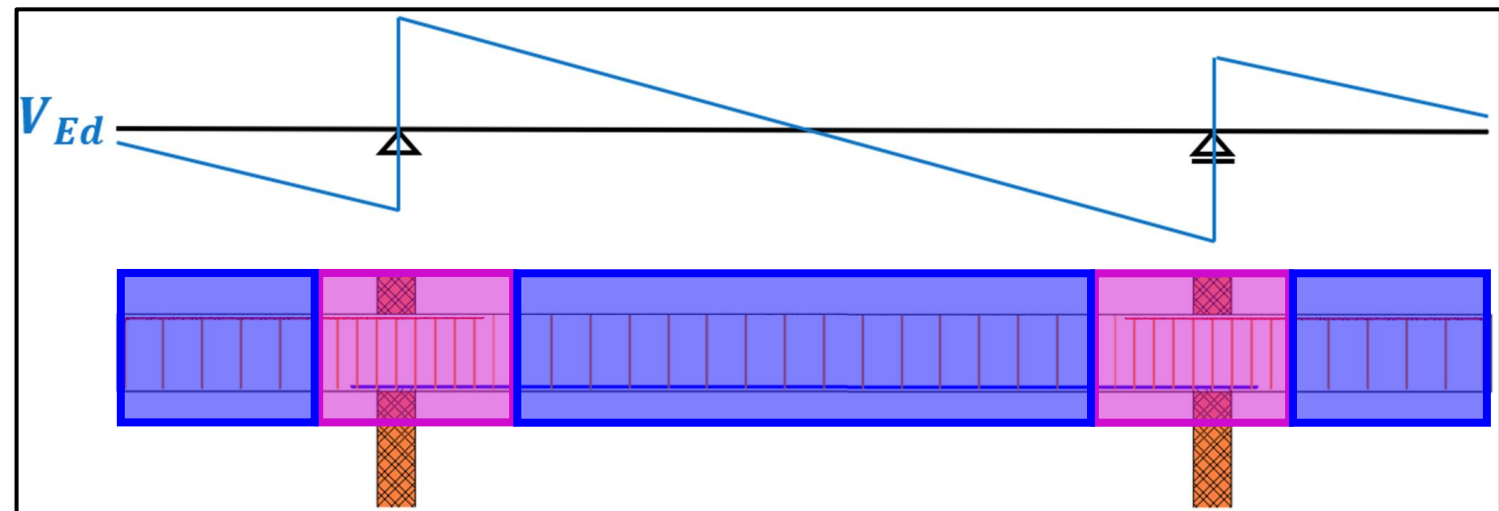
Velikost tahové síly, kterou výztuž musí přenést je závislá na velikosti působící posouvající síly. **Rozteč třmínků tedy závisí na velikosti smykové síly a v místě velké posouvající síly budou třmínky více zahuštěny.**



Návrh třmínek

V trámu se většinou navrhují dva druhy třmínek.

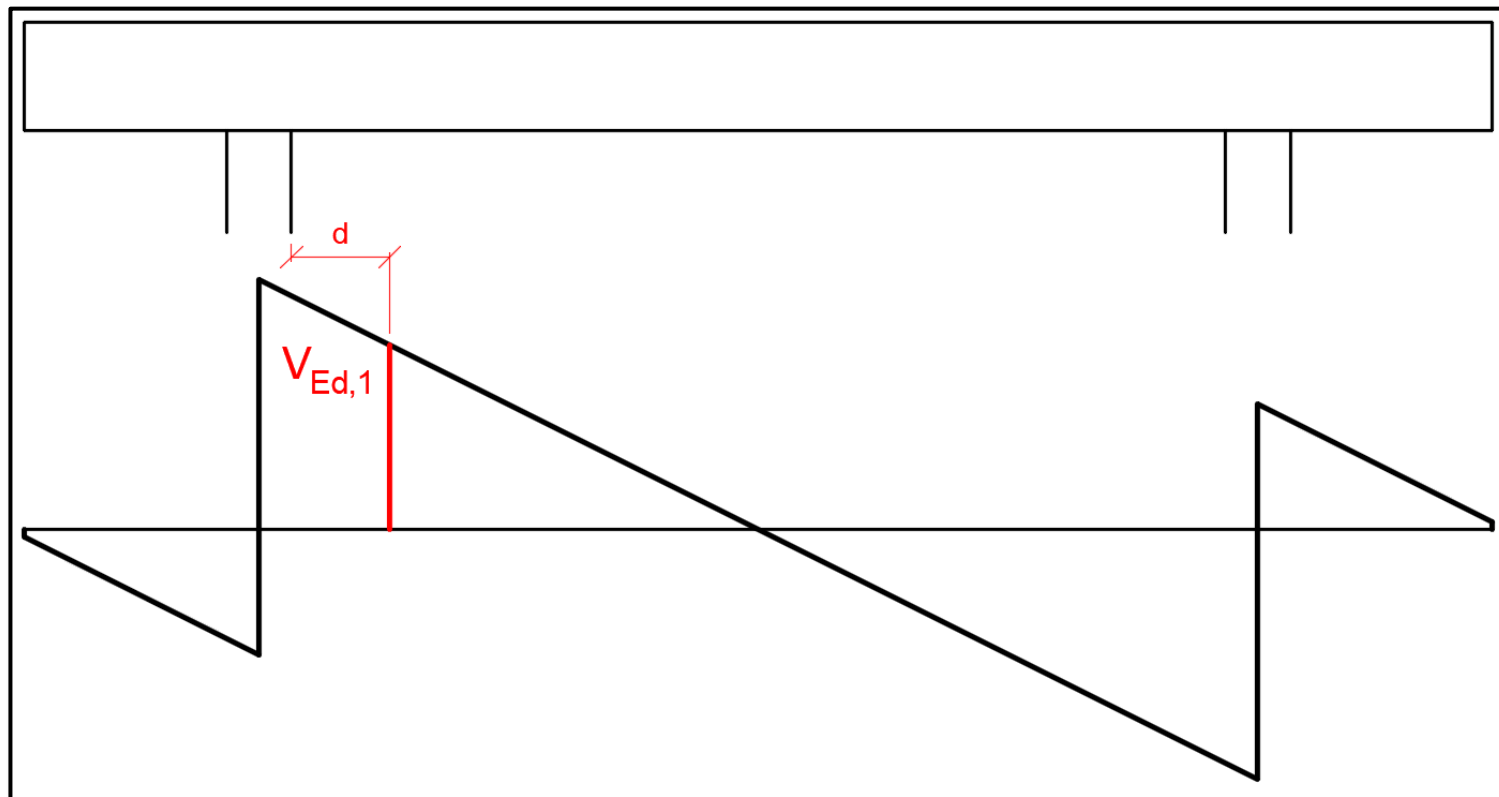
- 1) V oblasti velké posouvající síly (u **podpor**) se navrhují **návrhové třmínky** výpočtem z **návrhové hodnoty působící posouvající síly** $V_{Ed,1}$.
- 2) V oblasti malé posouvající síly (např. **v poli**) se navrhují **konstrukční třmínky** výpočtem z **konstrukčních zásad**.



Návrhové třmínky

Návrhové třmínky

Návrhové třmínky navrhujeme a posuzujeme na **posouvající sílu $V_{Ed,1}$** , která leží ve vzdálenosti d za lícem podpory*.



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 (vypočítáno výše),
 f_{yd} je návrhová hodnota meze kluzu výztuže (zadáno),
 z je rameno vnitřních sil v průřezu nad podporou (vypočítáno minule),
 θ je úhel sklonu trhliny (musíme uvažovat stejný jako úhel sklonu tlakové diagonály).

Návrhové třmínky – návrh

Rozteč návrhových třmínků s_1 zvolíme tak, aby platilo

$$s_1 \leq s_{req}$$

Vzdálenost třmínků s_1 volíme ideálně v násobcích 50 mm* a návrh **zapisujeme ve tvaru**

Třmínek dvoustřížný \varnothing_{tr} X po Y mm.

Návrhové třmínky – konstrukční zásady

Třmínky musí splňovat **dvě konstrukční zásady**.

1) Maximální **rozteč třmínků**

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

2) **Stupeň vyztužení**

$$\frac{0.08\sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} \leq \frac{A_{sw}}{b_T s_1} \leq \frac{0.5v f_{cd}}{f_{yd}}$$

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

Pokud podmínky nevyhoví, upravíme hodnotu vzdálenosti třmínků.

Návrhové třmínky – únosnost

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

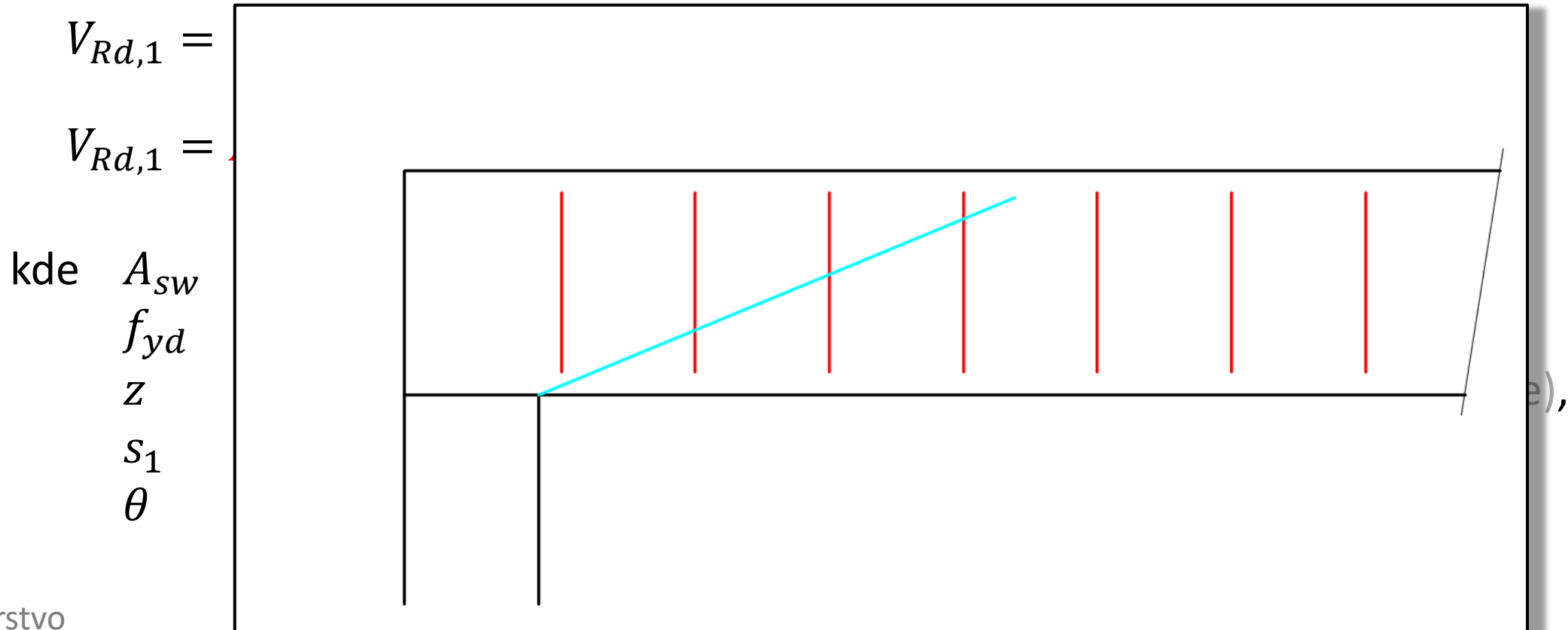
$$V_{Rd,1} = F_t \times n_t$$

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

kde A_{sw} je průřezová plocha třmínku (vypočítáno výše),
 f_{yd} je návrhová hodnota meze kluzu výztuže (zadáno),
 z je rameno vnitřních sil v průřezu nad podporou (vypočítáno minule),
 s_1 je rozteč návrhových třmínků (navrženo výše),
 θ je úhel sklonu trhliny (musíme uvažovat stejný jako úhel sklonu tlakové diagonály).

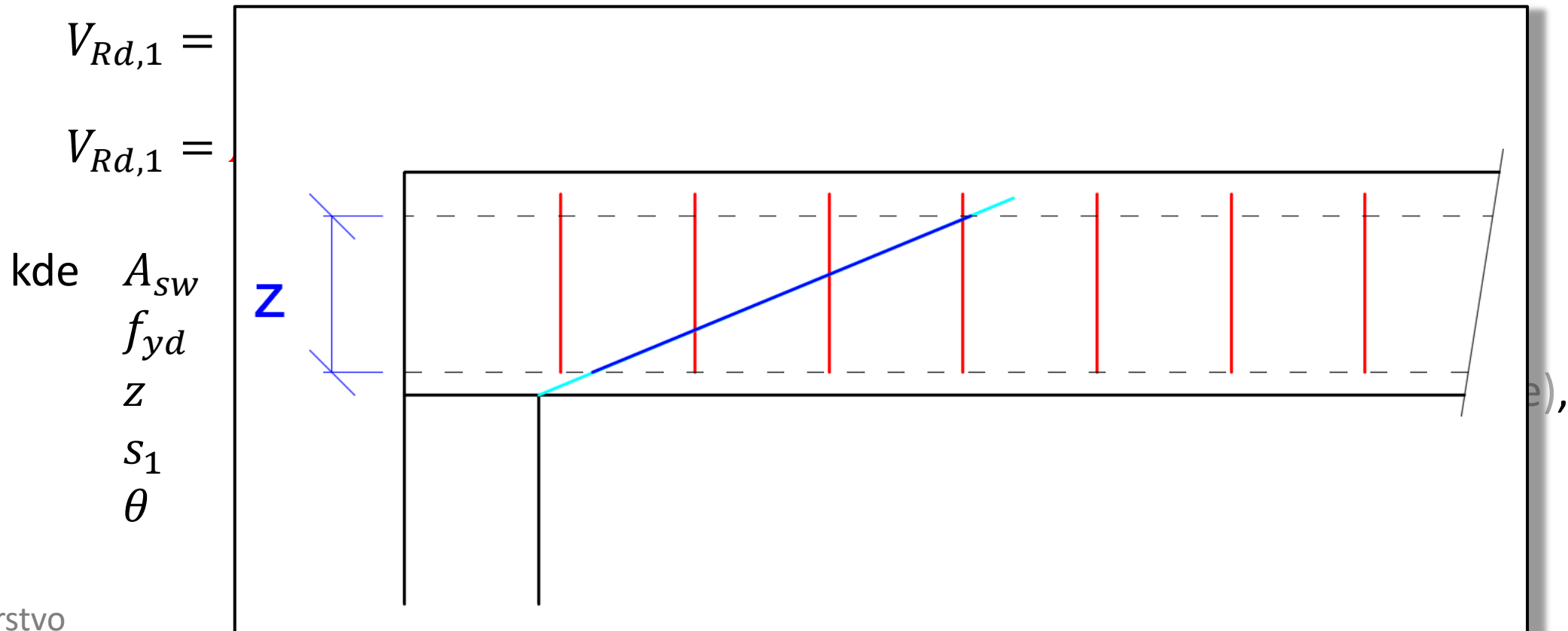
Návrhové třmínky – únosnost

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



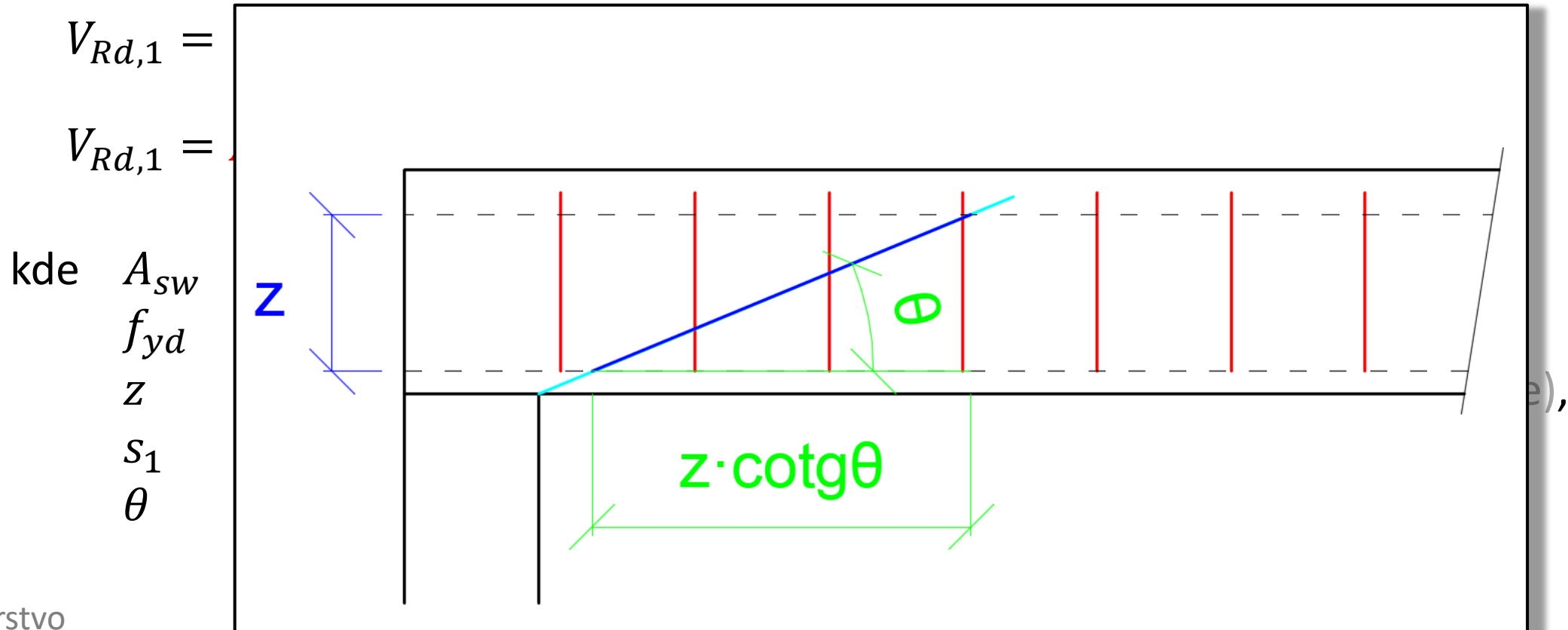
Návrhové třmínky – únosnost

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



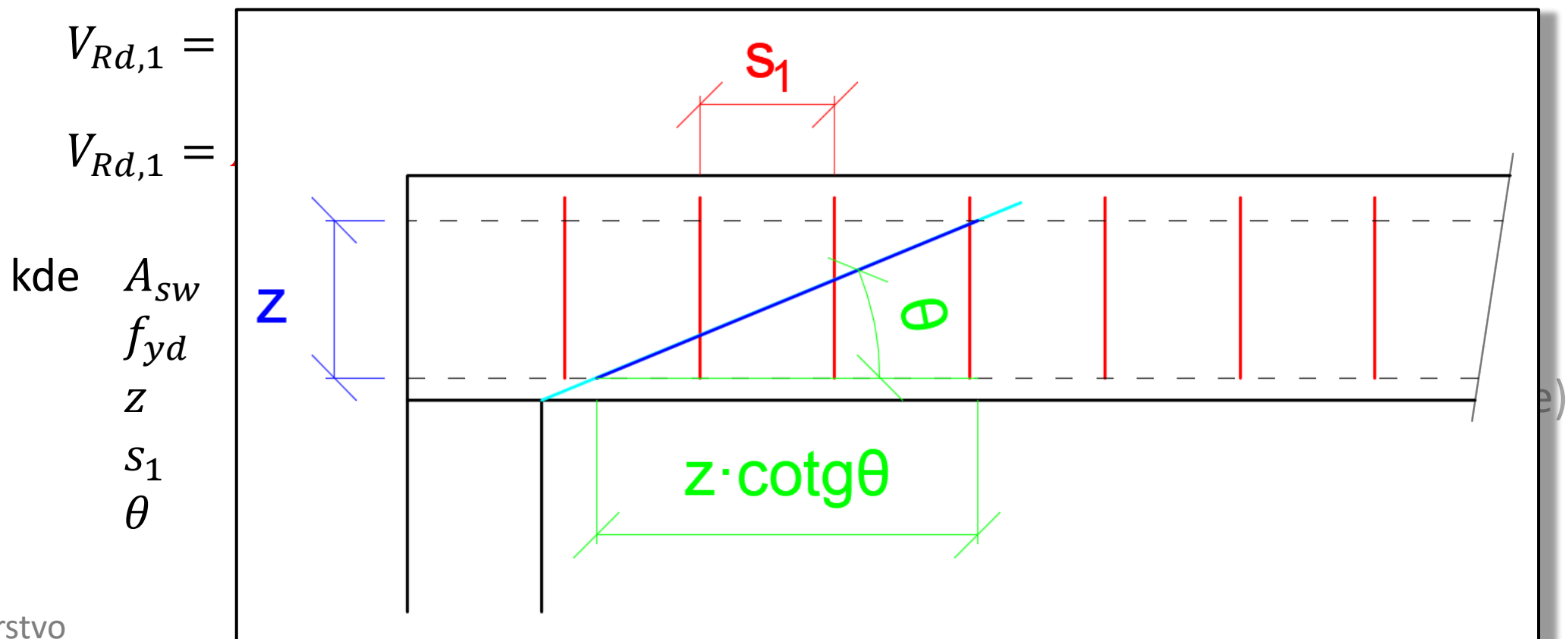
Návrhové třmínky – únosnost

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



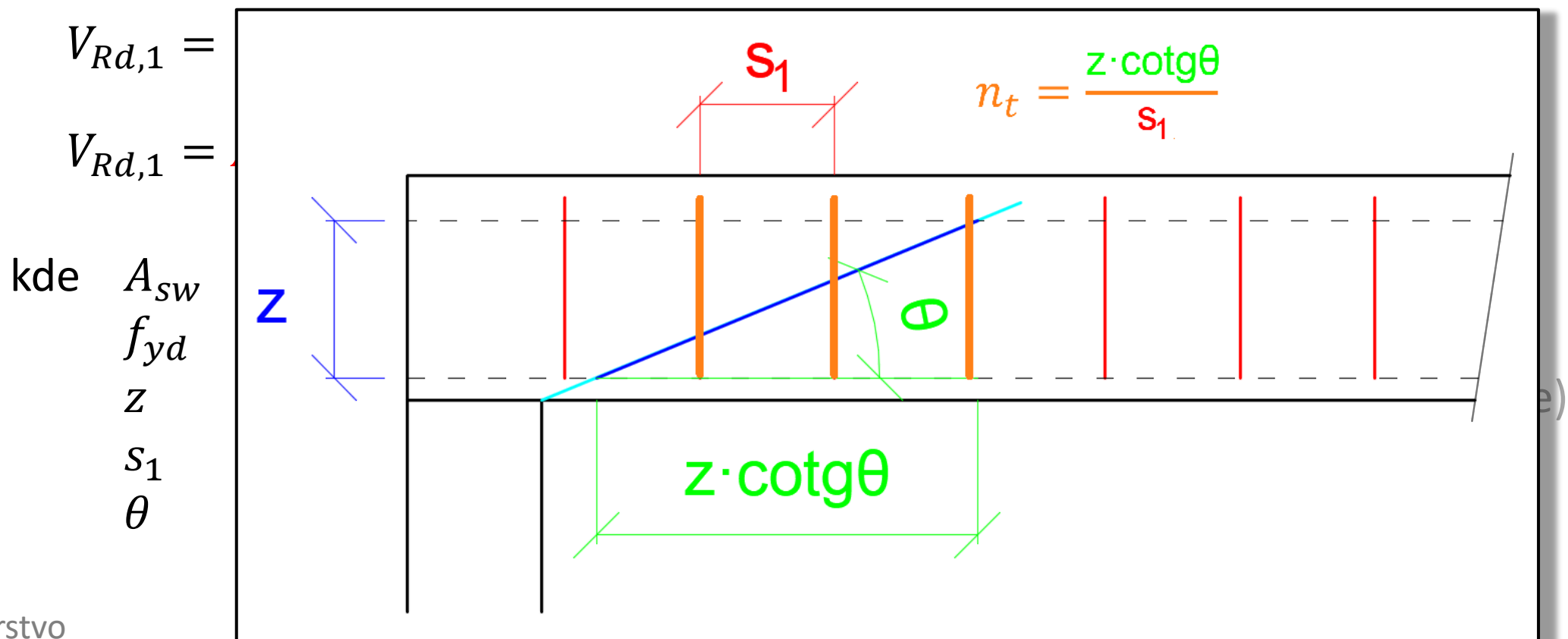
Návrhové třmínky – únosnost

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



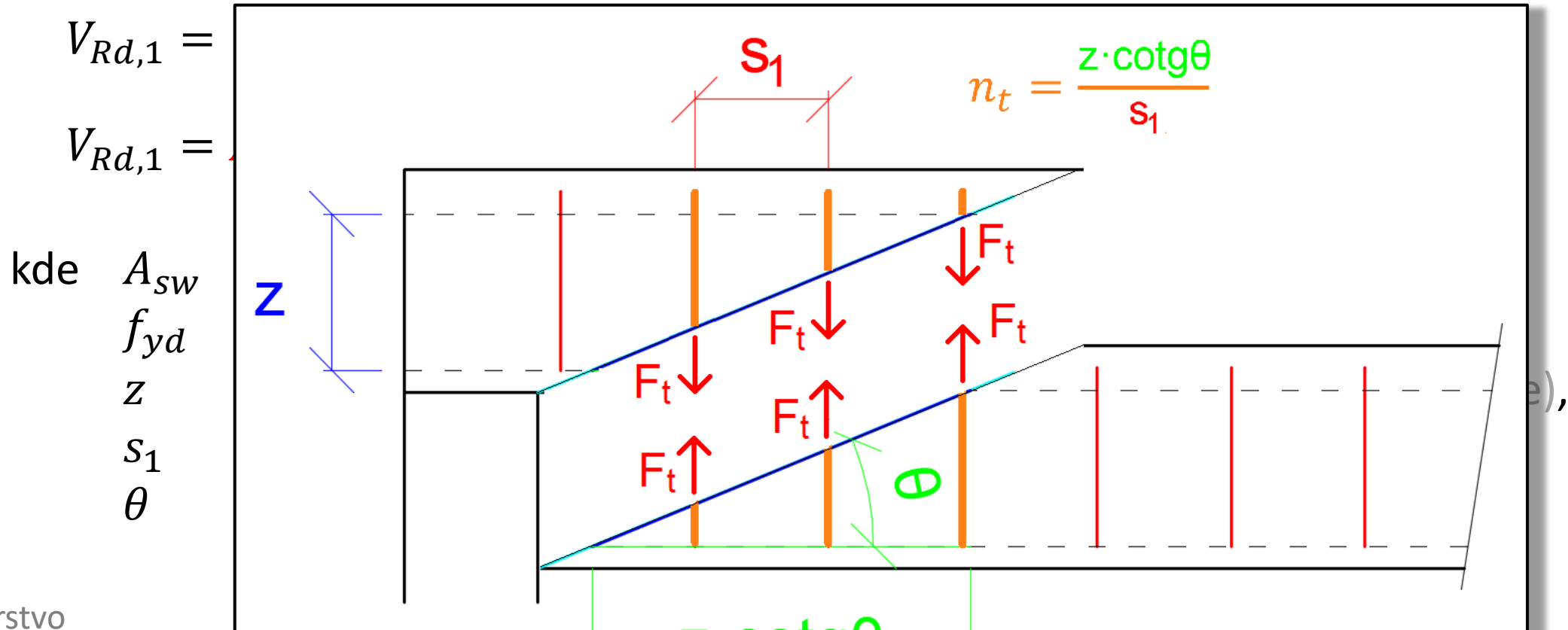
Návrhové třmínky – únosnost

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



Návrhové třmínky – únosnost

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



Návrhové třmínky – únosnost

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

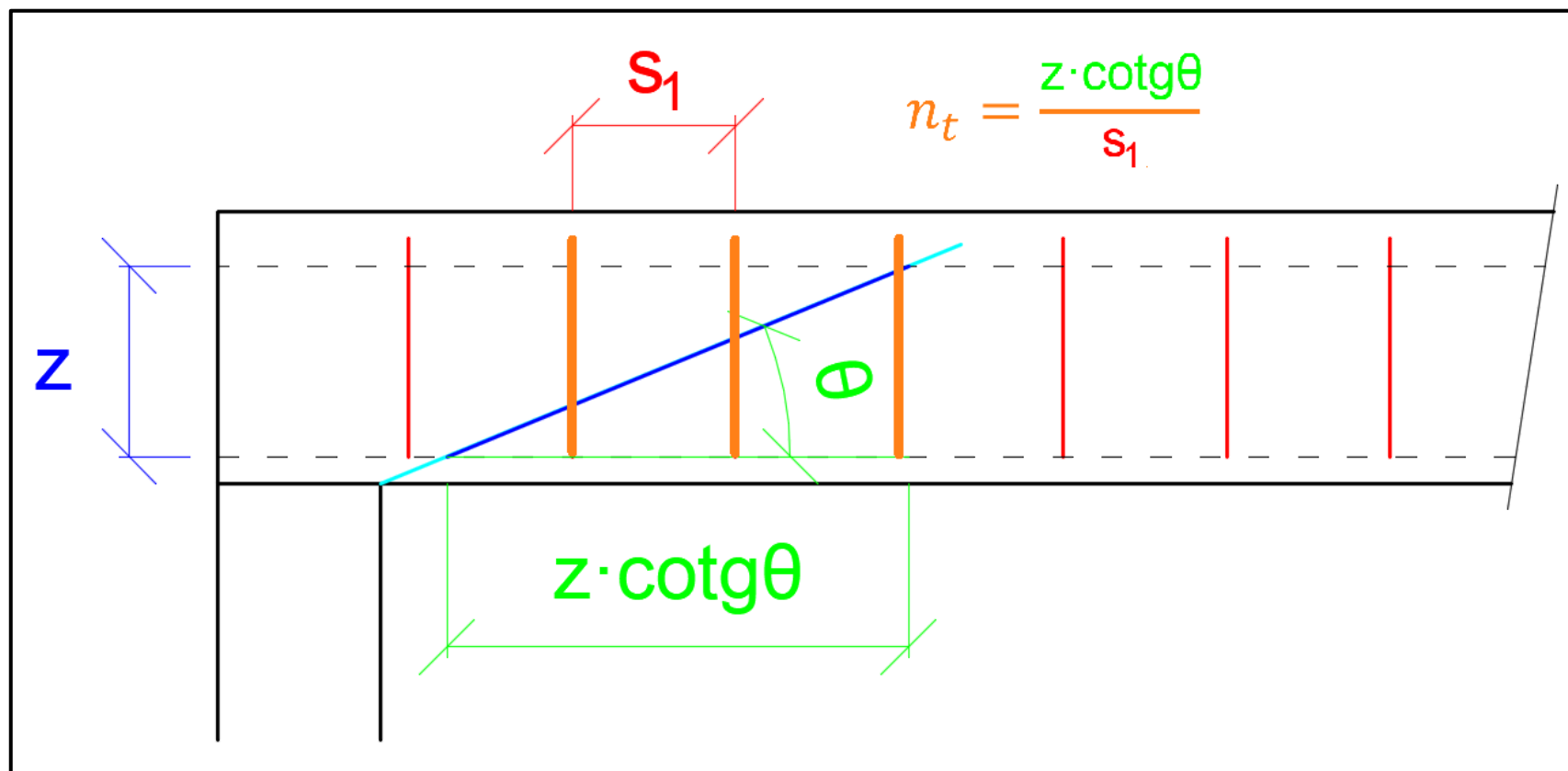
$$V_{Rd,1} = F_t \times n_t$$

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

kde A_{sw} je průřezová plocha třmínku (vypočítáno výše),
 f_{yd} je návrhová hodnota meze kluzu výztuže (zadáno),
 z je rameno vnitřních sil v průřezu nad podporou (vypočítáno minule),
 s_1 je rozteč návrhových třmínků (navrženo výše),
 θ je úhel sklonu trhliny (musíme uvažovat stejný jako úhel sklonu tlakové diagonály).

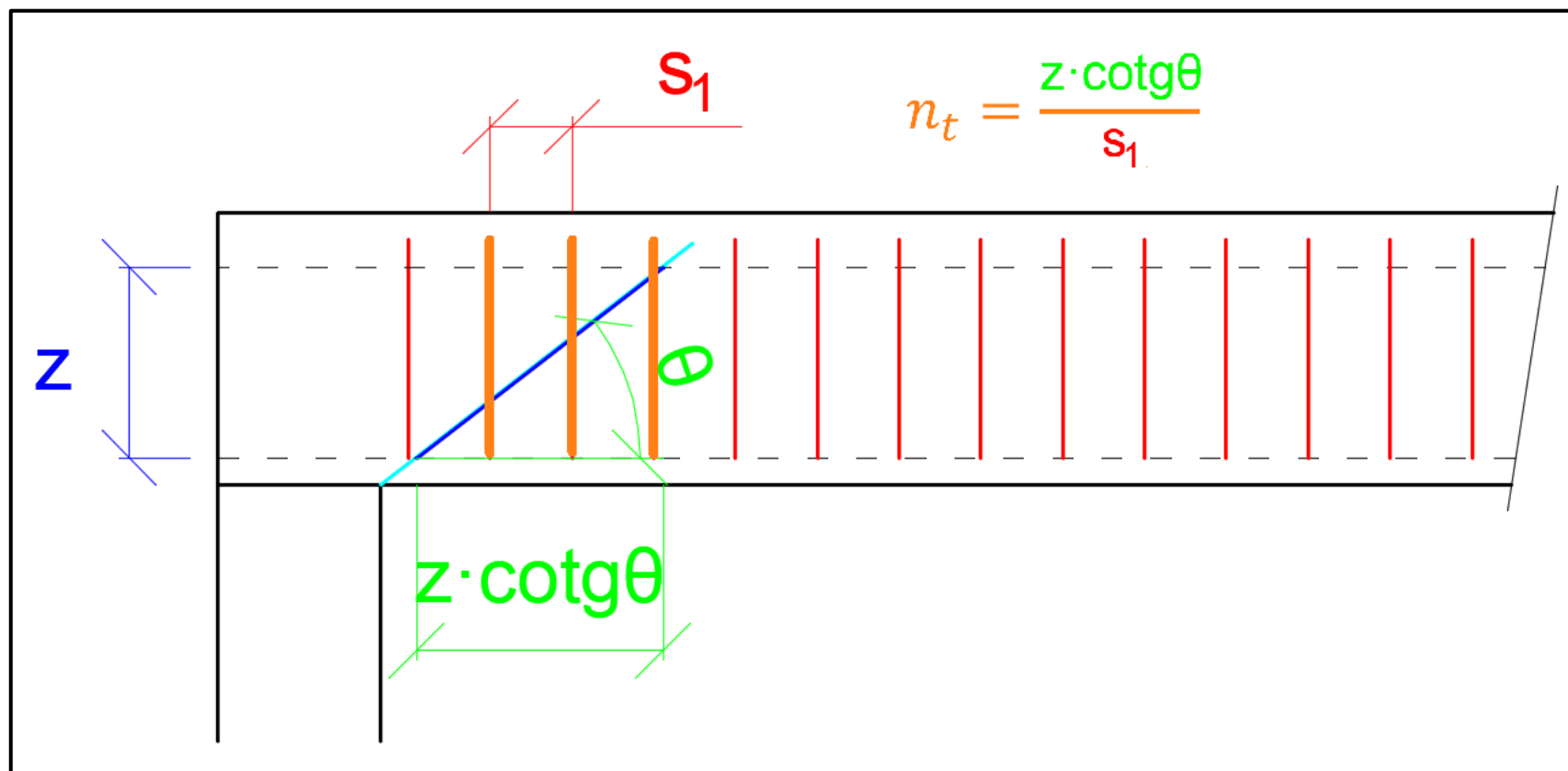
Návrhové třmínky – únosnost

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



Návrhové třmínky – únosnost

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



Návrhové třmínky – posouzení

Navržené třmínky posoudíme* pomocí vztahu

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

kde $V_{Ed,1}$ je posouvající síla, která leží ve vzdálenosti d za lícem podpory,
 $V_{Rd,1}$ je únosnost návrhových třmínků.

*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 všude lze tyto třmínky použít.

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

Konstrukční třmínky – návrh

Vzdálenost konstrukčních 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* a návrh **zapisujeme ve tvaru**

Třmínek dvoustržný $\varnothing_{tř}$ 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 (vypočítáno výše),
 f_{yd} je návrhová hodnota meze kluzu výztuže (zadáno),
 z je rameno vnitřních sil v průřezu v poli (vypočítáno minule),
 $s_{kční}$ je rozteč konstrukčních třmínků (navrženo výše),
 θ je úhel sklonu trhliny (musíme uvažovat stejný jako úhel sklonu tlakové diagonály).

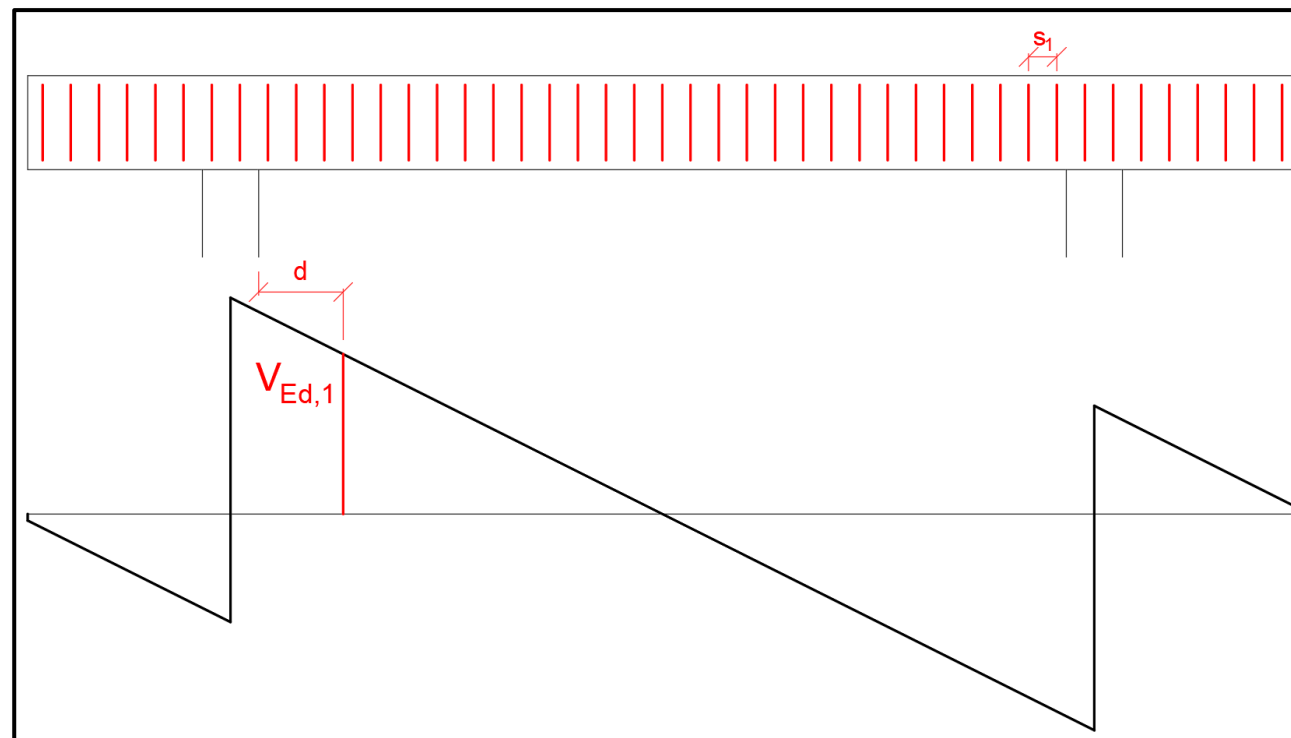
Rozmístění třmínek

Rozmístění třmínek

Rozmístění třmínek si vytvoříme rovnou **v CADu**. Bude se nám 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****.

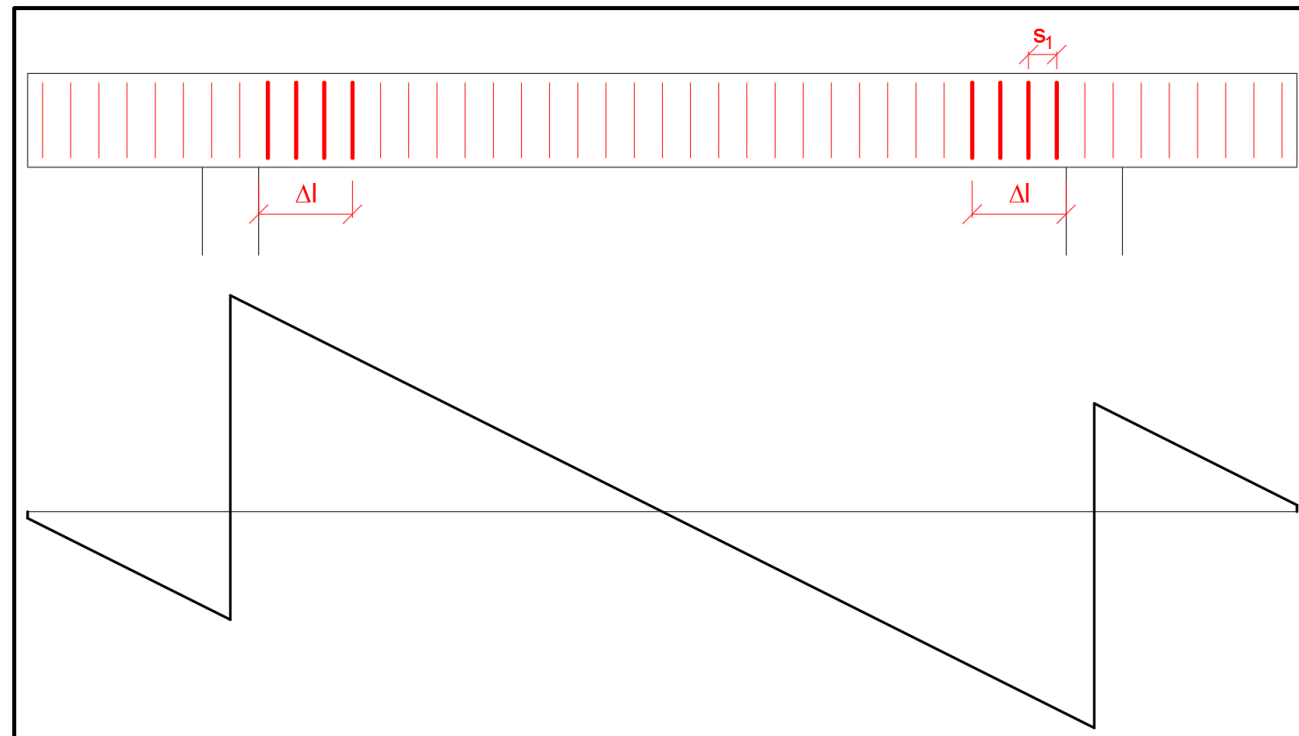


*To není úplně pravda. Třmínky jsou navrženy na sílu ve vzdálenosti d od líce podpory ($V_{Ed,1}$) a v teoretické podpoře je síla ještě větší. Ale vzhledem k tomu, že trhлина vychází z líce podpory (a ne z teoretické podpory), třmínky nikdy nebudou vystaveny síle větší než $V_{Ed,1}$.

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

Rozmístění návrhových třmínek

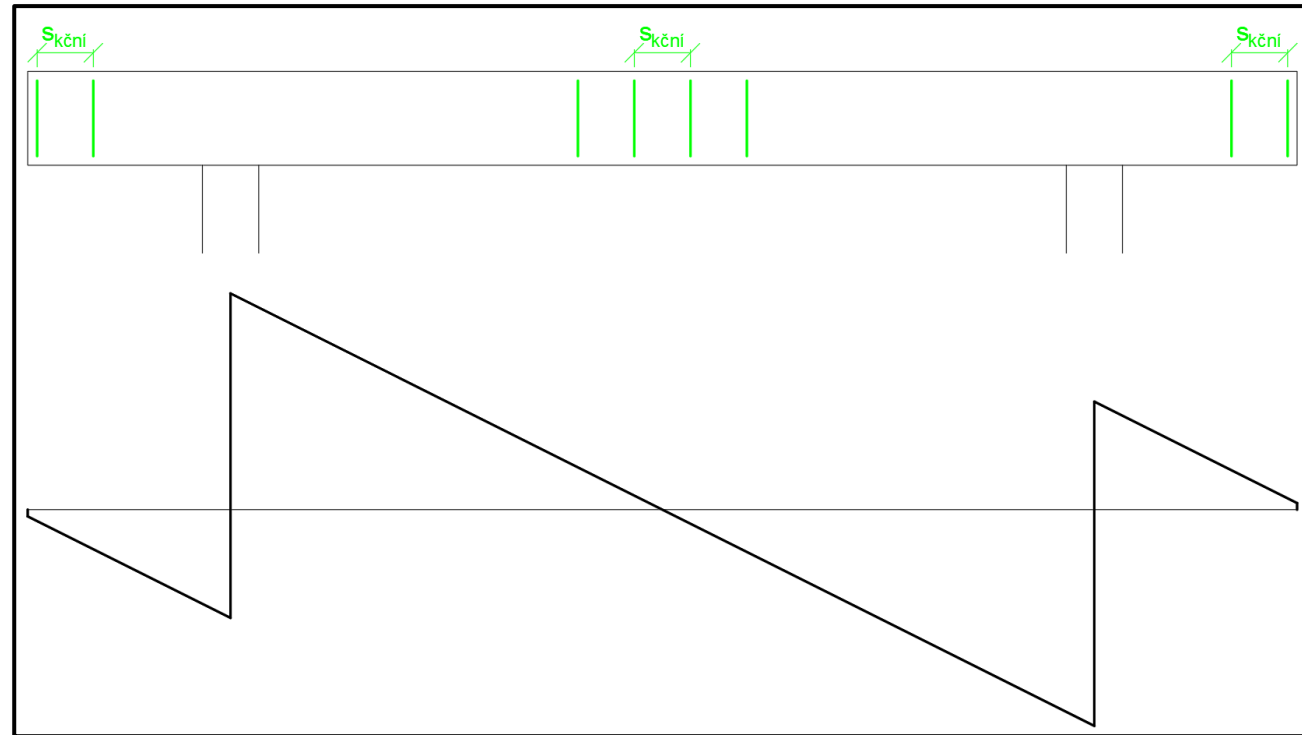
Dále nám návrhová norma udává, že návrhové třmínky musíme použít minimálně ve vzdálenosti $\Delta l = z \cot \theta$ od líce podpory*.



*Aby pokryly celou smykovou trhlinu vycházející z líce podpory.

Rozmístění konstrukčních třmínek

Konstrukční třmínky jsou ekonomičtější*, ale nelze je použít všude.**

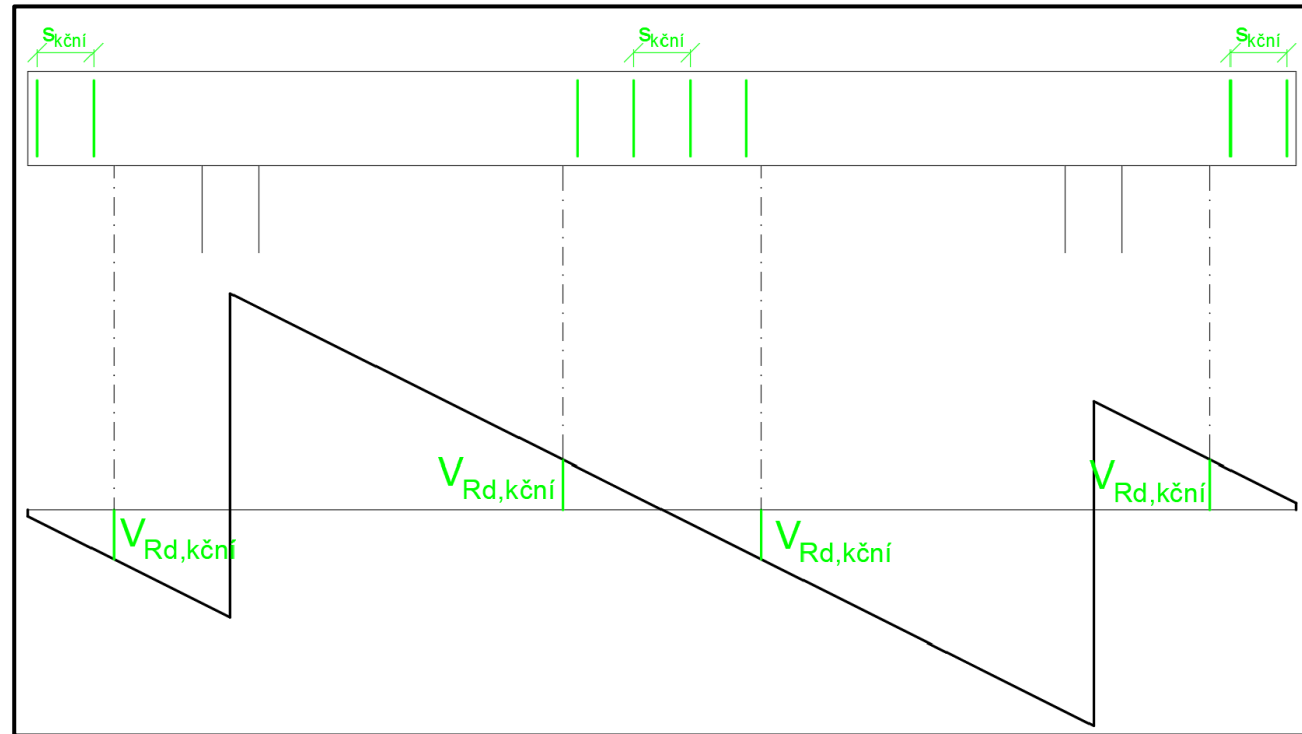


*protože mají větší rozteč

**protože mají menší únosnost

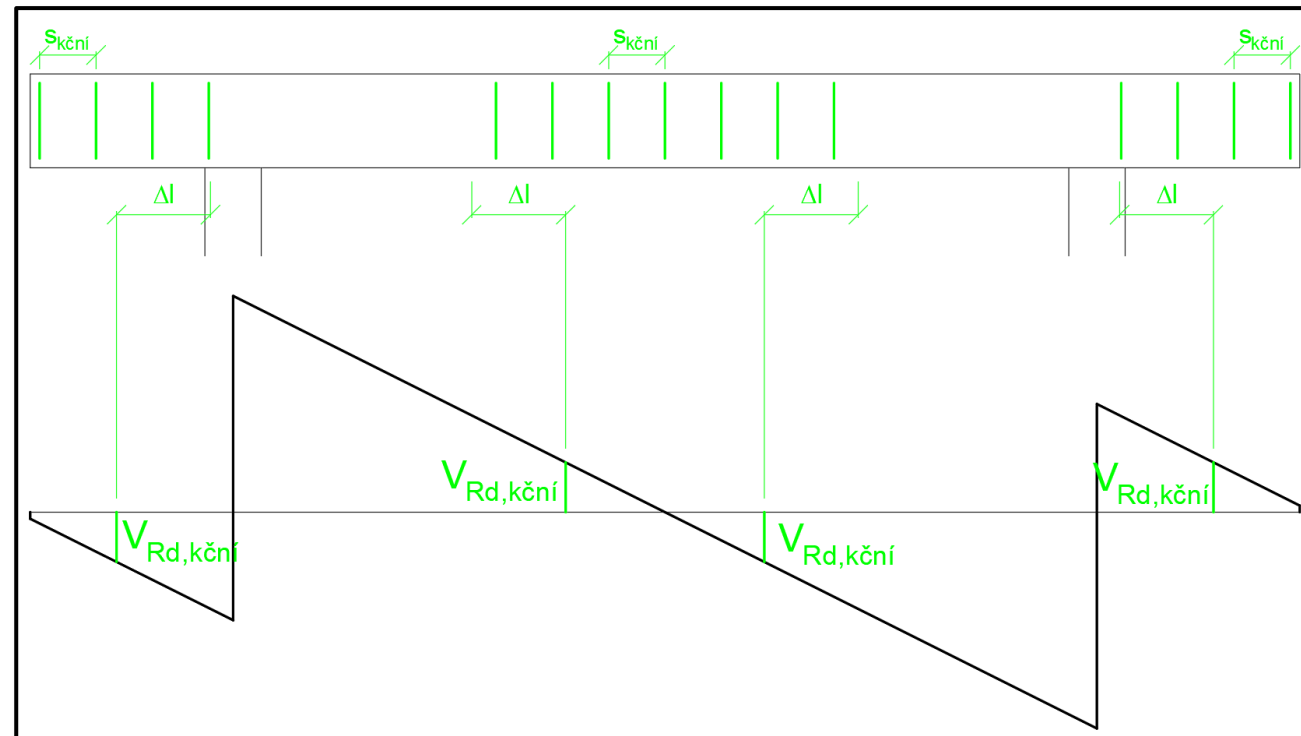
Rozmístění konstrukčních třmínek

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



Rozmístění konstrukčních třmínek

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

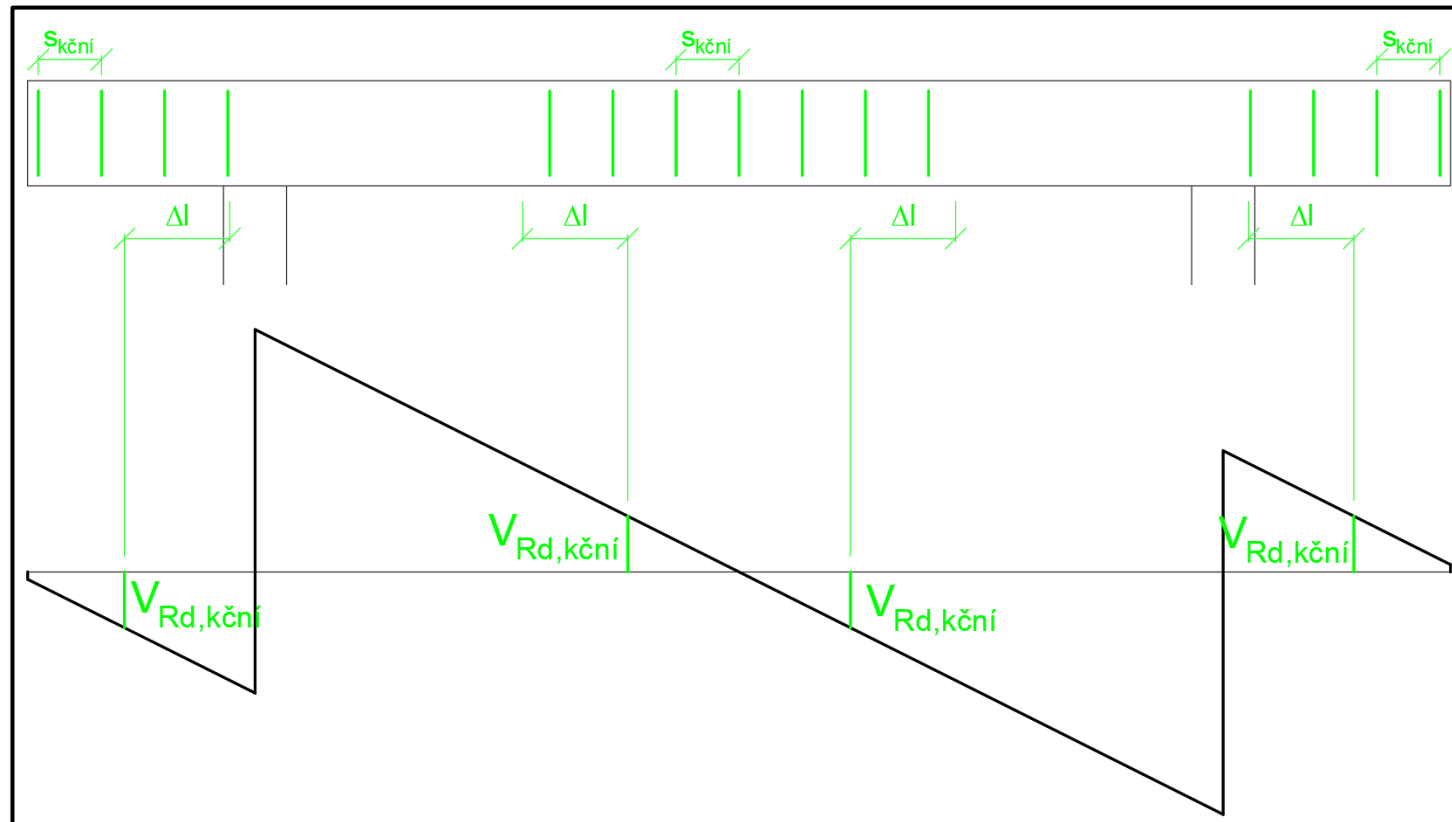


Rozmístění všech třmínek

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

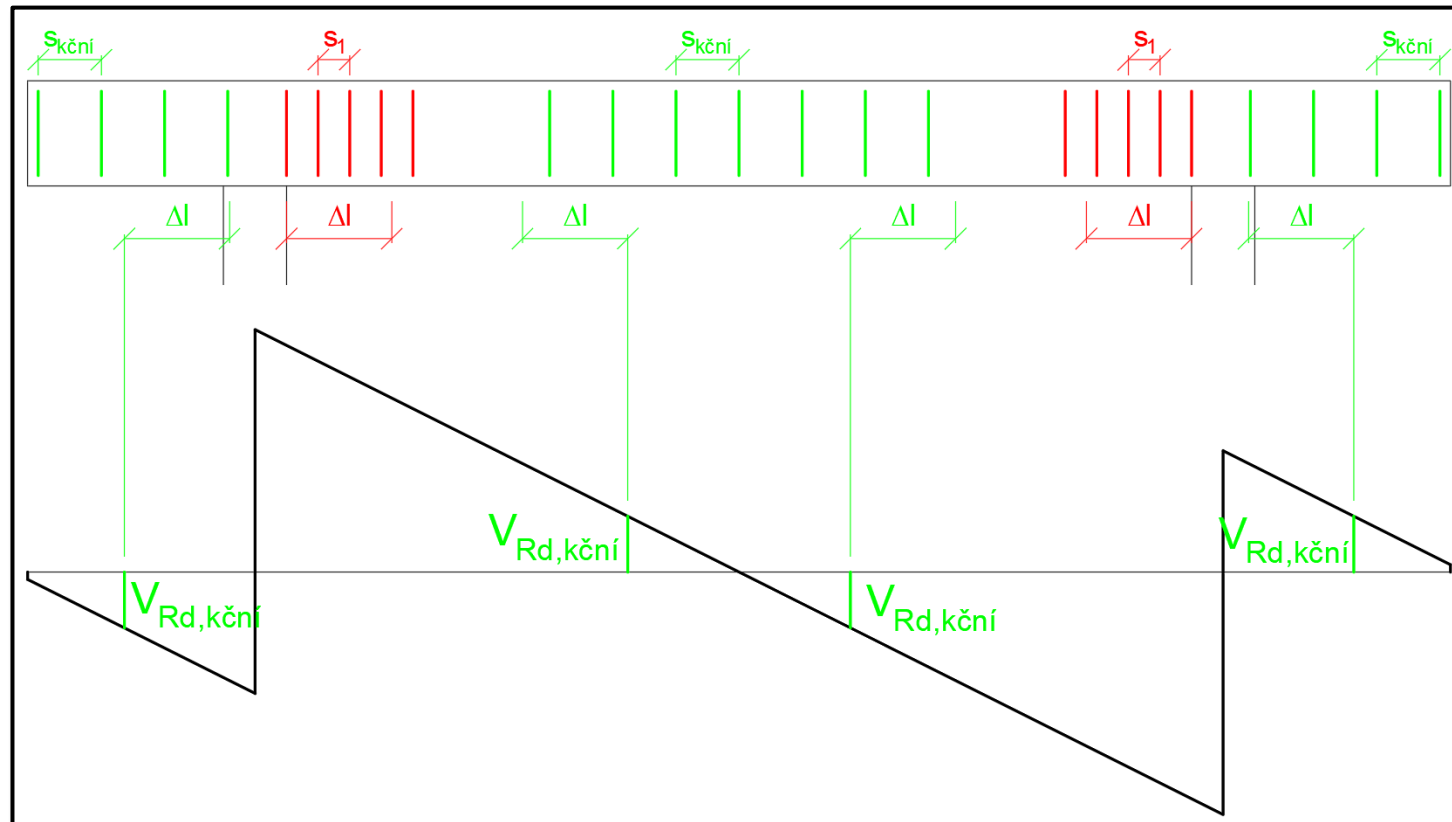
Rozmístění všech třmínek

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



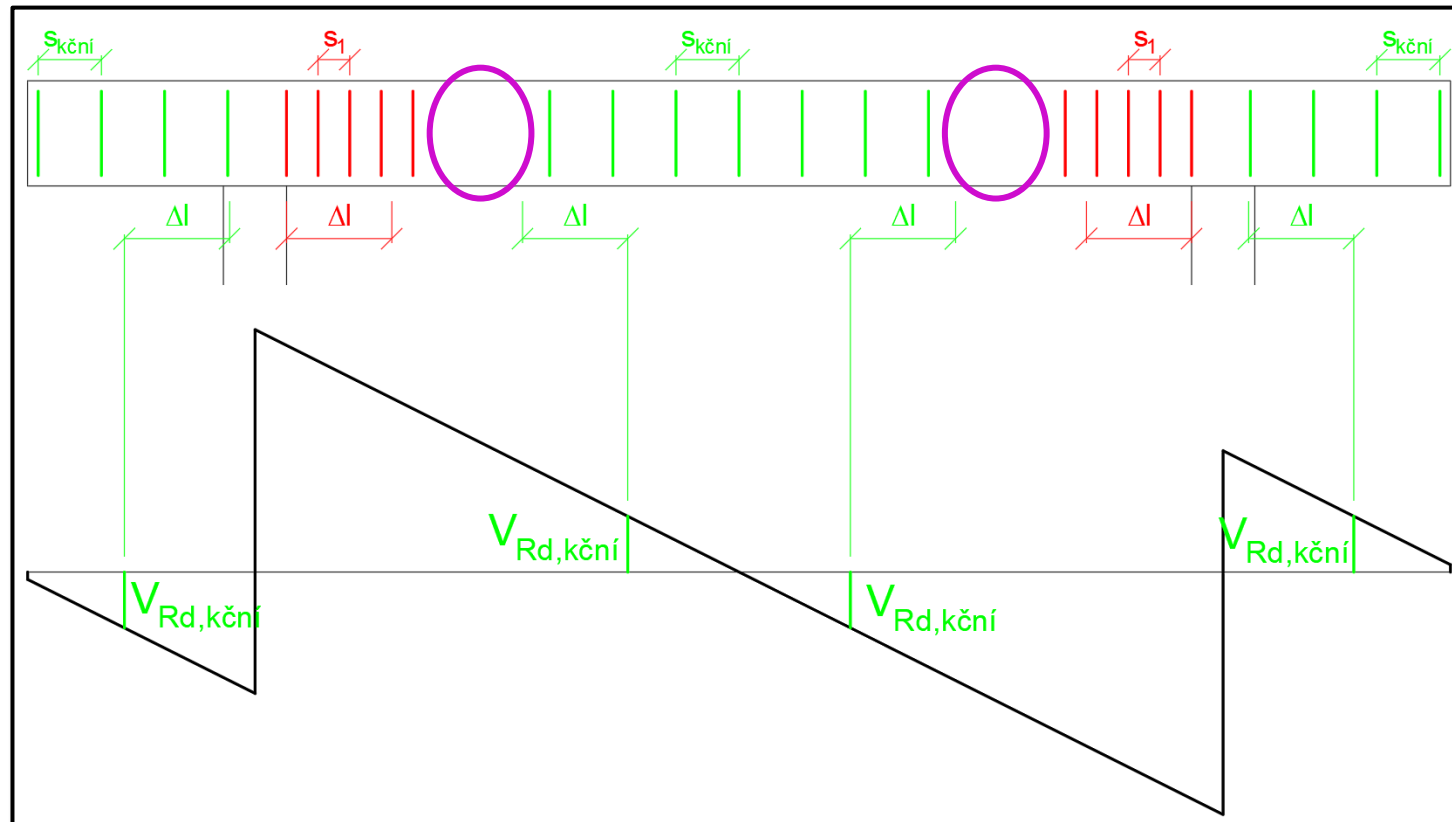
Rozmístění všech třmínků

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



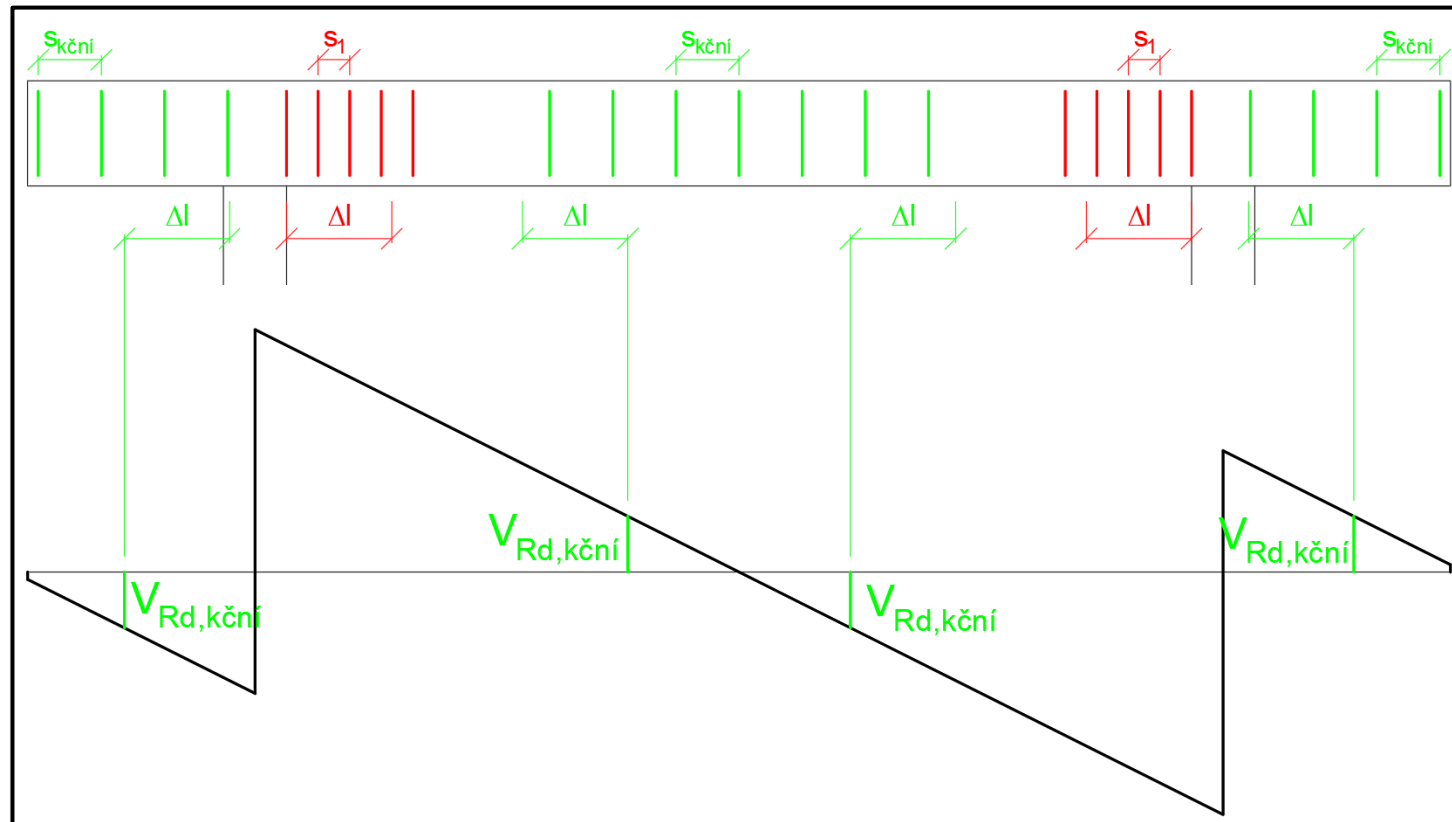
Rozmístění všech třmínek

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



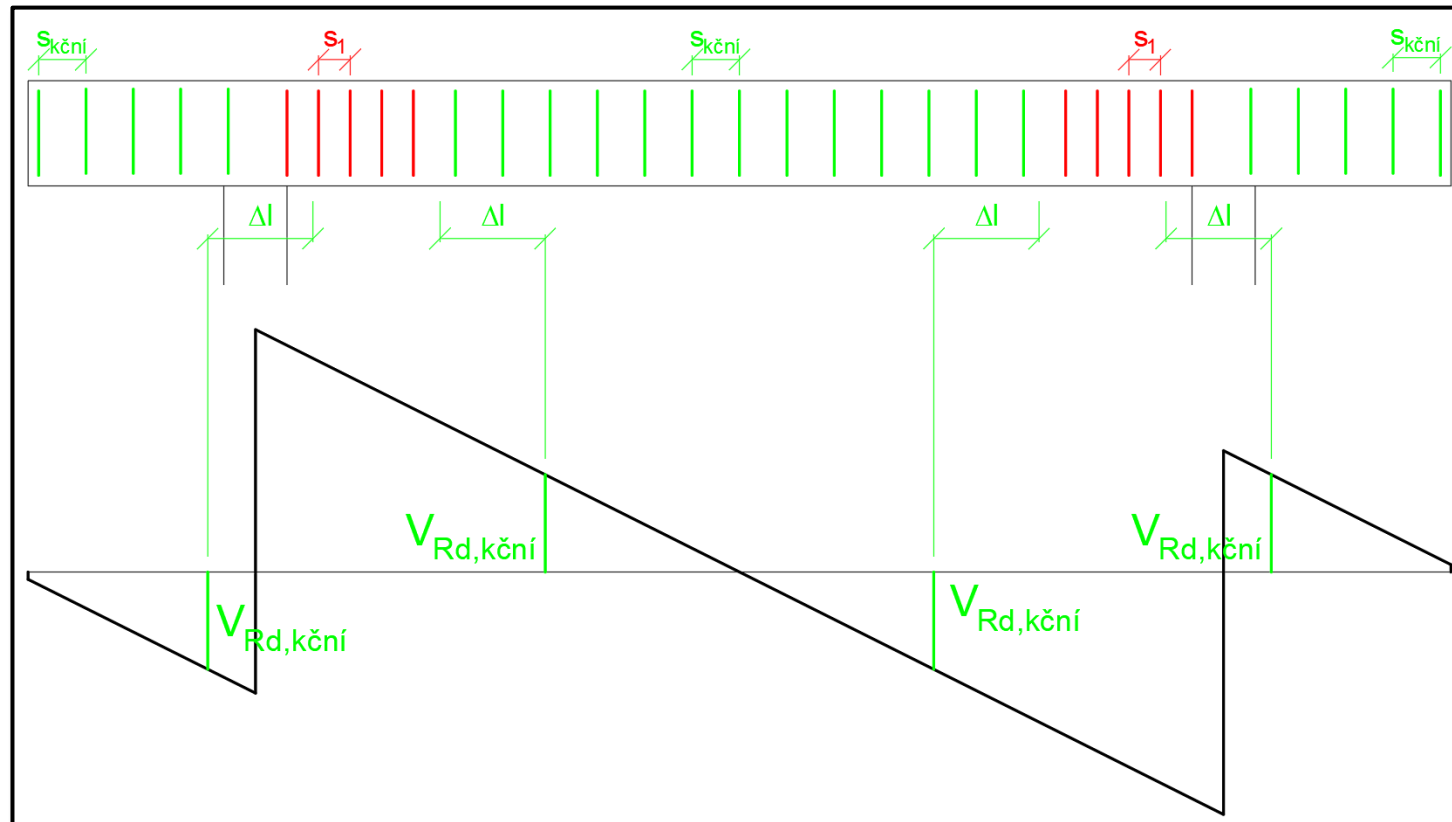
Rozmístění všech třmínek

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



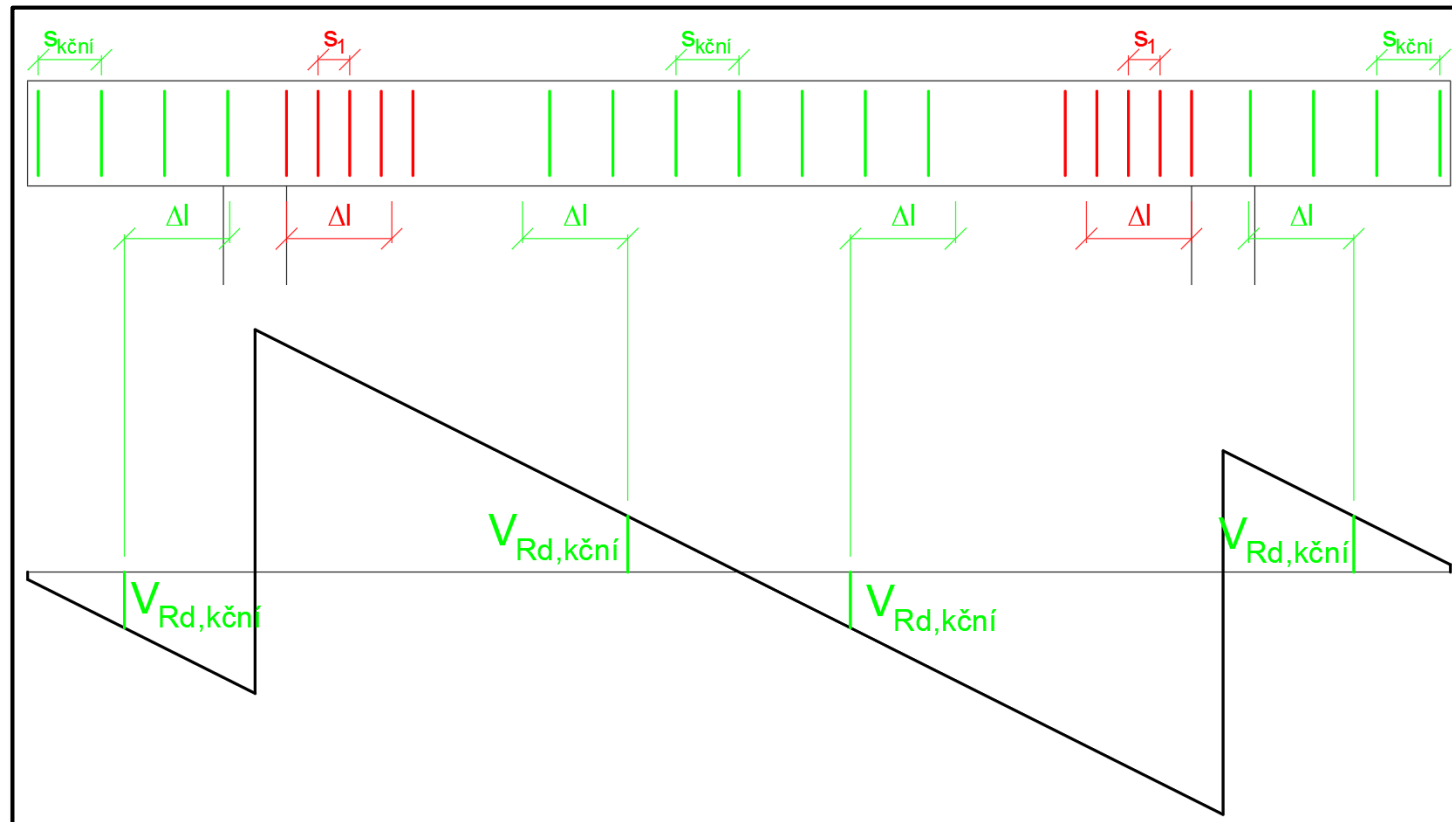
Rozmístění všech třmínek

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



Rozmístění všech třmínků

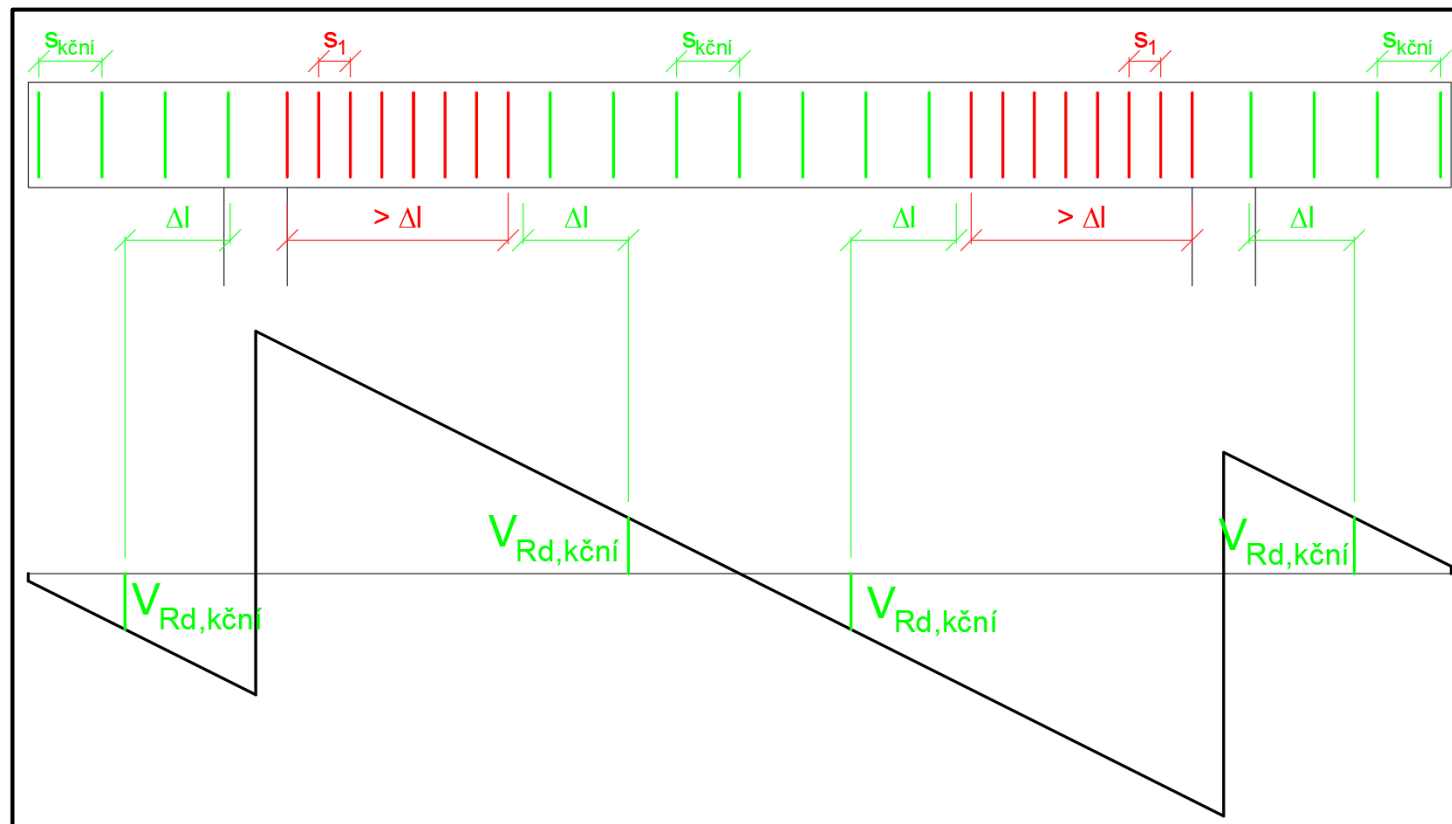
Druhým (a jednodušším) řešením je „dotáhnout“ návrhové třmínky až ke konstrukčním třmínkům*.



* A konstrukční třmínky nechat tak, jak jsme je navrhli na začátku

Rozmístění všech třmínek

Druhým (a jednodušším) řešením je „dotáhnout“ návrhové třmínky až ke konstrukčním třmínkům*.

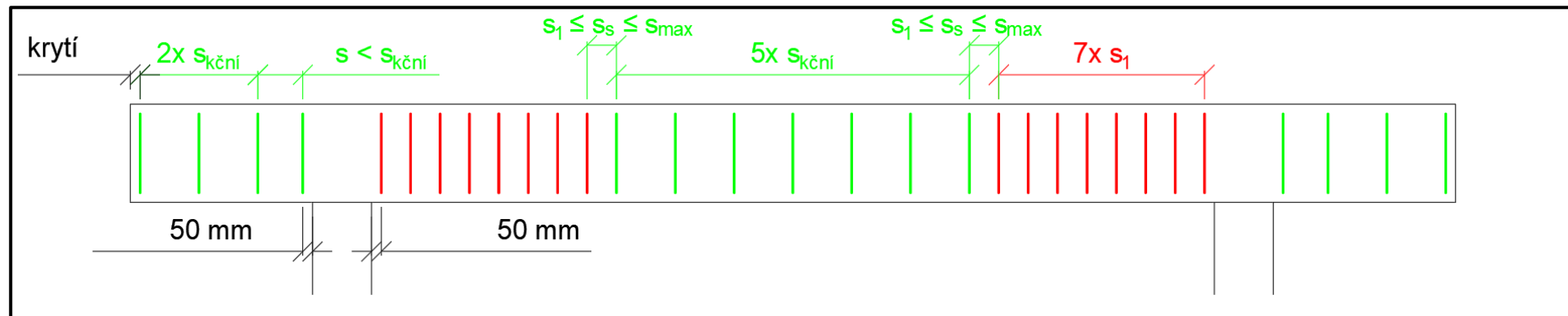


* A konstrukční třmínky nechat tak, jak jsme je navrhli na začátku

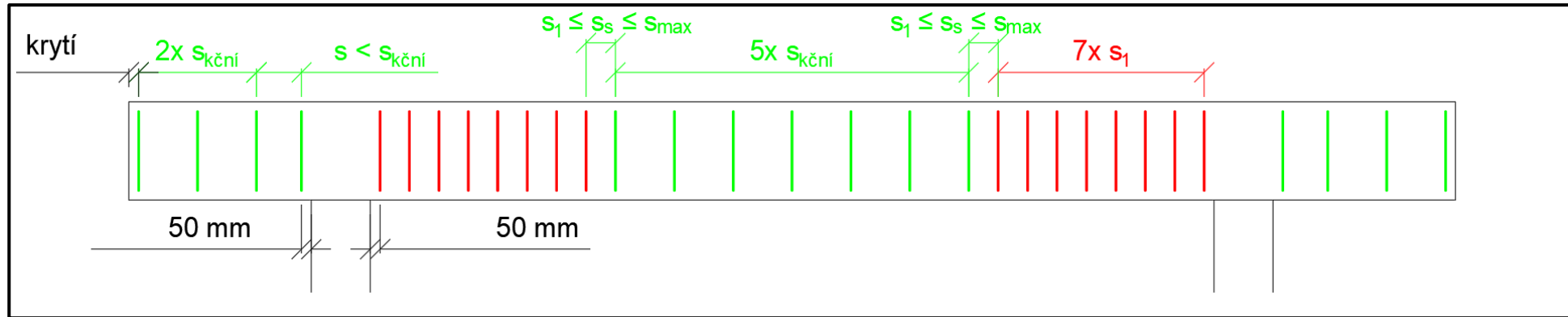
Rozmístění všech třmínků

Nakonec **upravíme návrh** tak, aby **dával geometricky smysl**:

- krajní třmínek musí mít dostatečné krytí,
- třmínky nad zděnou podporou vynecháme (protože je tam věnec), první třmínek musí být ve vzdálenosti 50 mm až 75 mm od hrany podpory,
- rozteč na styku návrhových a konstrukčních třmínků s_s nám vyjde z geometrie.



Teorie vs Praxe



díky za pozornost

Poděkování

Děkuji **Radku Štefanovi, Tomáši Trtíkovi, Romanu Chylíkovi a Hance Schreiberové** za časté konzultace při vypracovávání prezentace a **Stáňovi Zažirejovi** za poskytnutí vizualizací a obrázků.

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

[a v neposlední řadě, děkuji divákům v poslední řadě](#)