



Úloha 2 – Železobetonový trémový strop

Návrh smykové výztuže a posouzení trámu

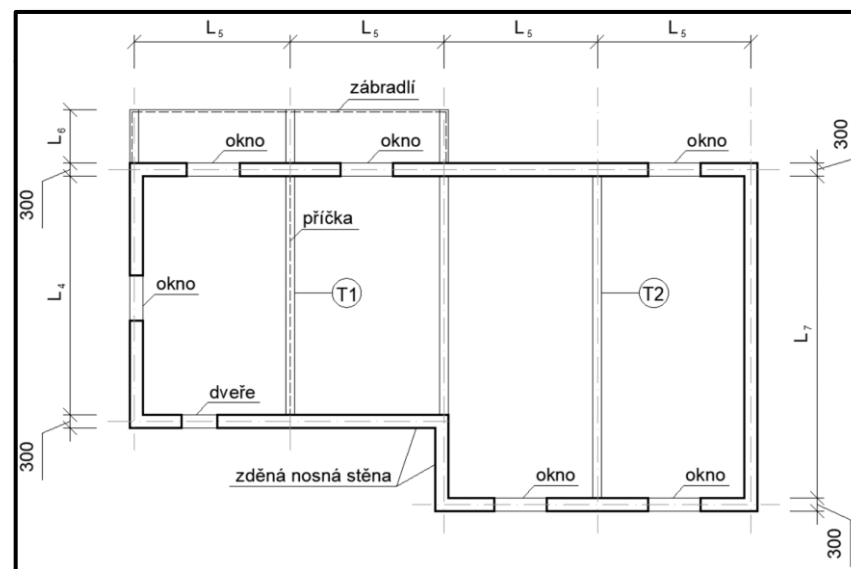
Prezentace k cvičení z předmětu NNKB (paralelka Štefan)

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 trámů**
- 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**.



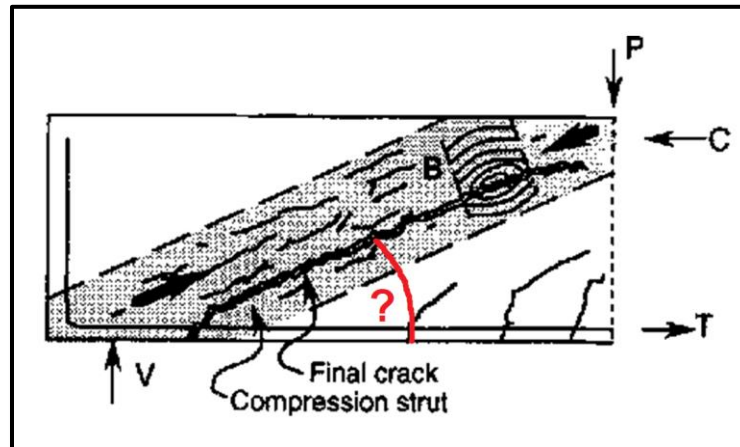
- 2) Vlivem svislé posouvající síly vzniká tah v betonu a může dojít k tomu, že **konstrukce se vlivem tahu odtrhne**.

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



Namáhání železobetonových konstrukcí smykem

Pro návrh a posouzení smyku je nutné **stanovit**, jaký je **sklon smykových trhlin**.



Sklon trhlin **definujeme pomocí $\cotg(\theta)$** a norma udává, že hodnota může je mezi $\cotg(\theta) = 1$ a $\cotg(\theta) = 2.5$.

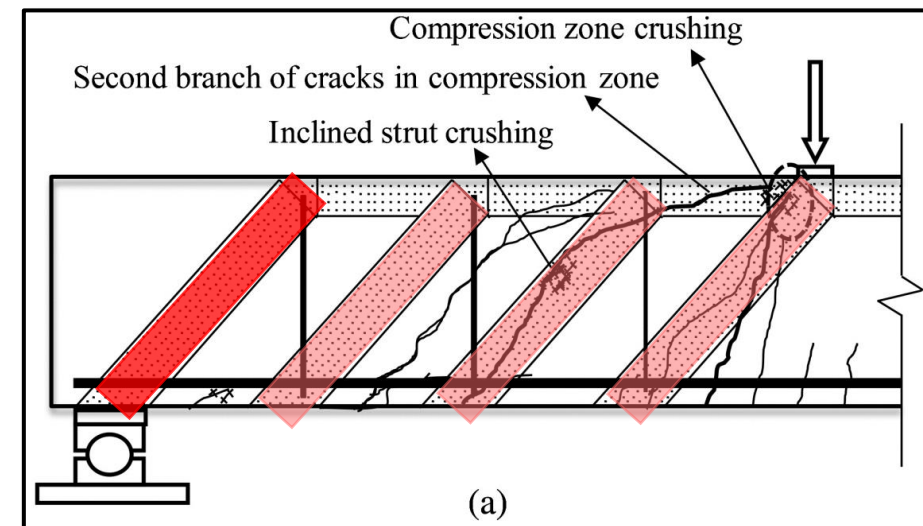
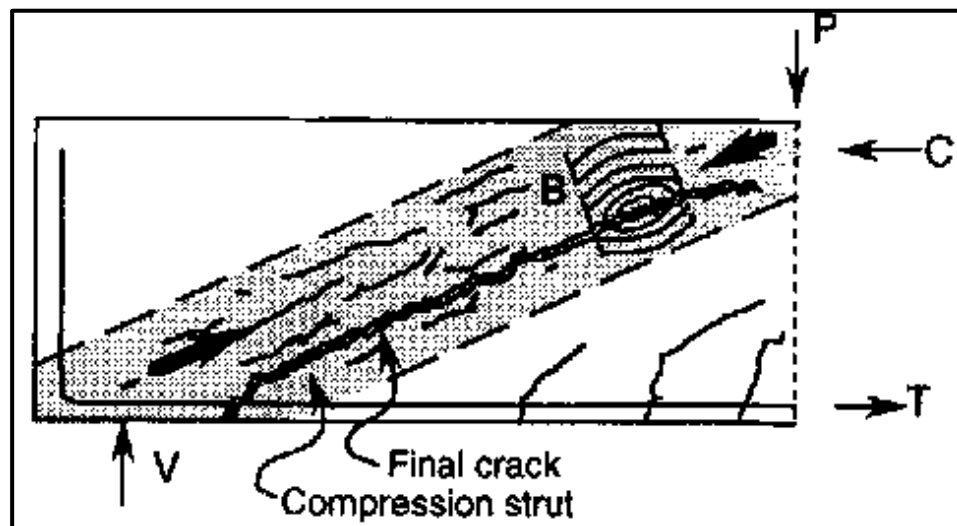
Běžně uvažujeme: **$\cotg(\theta) = 1.5$** .

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.



Současná vs. nová norma

V rámci prezentace bude nejprve představen postup dle stávající normy a následně postup dle nové normy.

V domácím úkolu používejte vzorečky dle nové normy.

Únosnost tlačené diagonály – stávající norma

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).

Únosnost tlačené diagonály – stávající norma

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 – stávající norma

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

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

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

- ?

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

Únosnost tlačené diagonály – stávající norma

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

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

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 $\cot \theta = 1$).

Únosnost tlačené diagonály – nová norma

Nová norma únosnost tlačené diagonály neřeší pomocí sil, ale **pomocí napětí**.

$$\sigma_{cd} \leq v f_{cd},$$

$$V_{Ed,sup} \leq v f_{cd} b z \frac{\cot \theta}{1 + \cot^2 \theta}$$

$$\frac{V_{Ed,sup}}{b \cdot z} \cdot \frac{1 + \cot^2 \theta}{\cot \theta} \leq v f_{cd},$$

$$\frac{V_{Ed,sup}}{b z} \cdot \frac{1 + \cot^2 \theta}{\cot \theta} \leq v f_{cd}$$

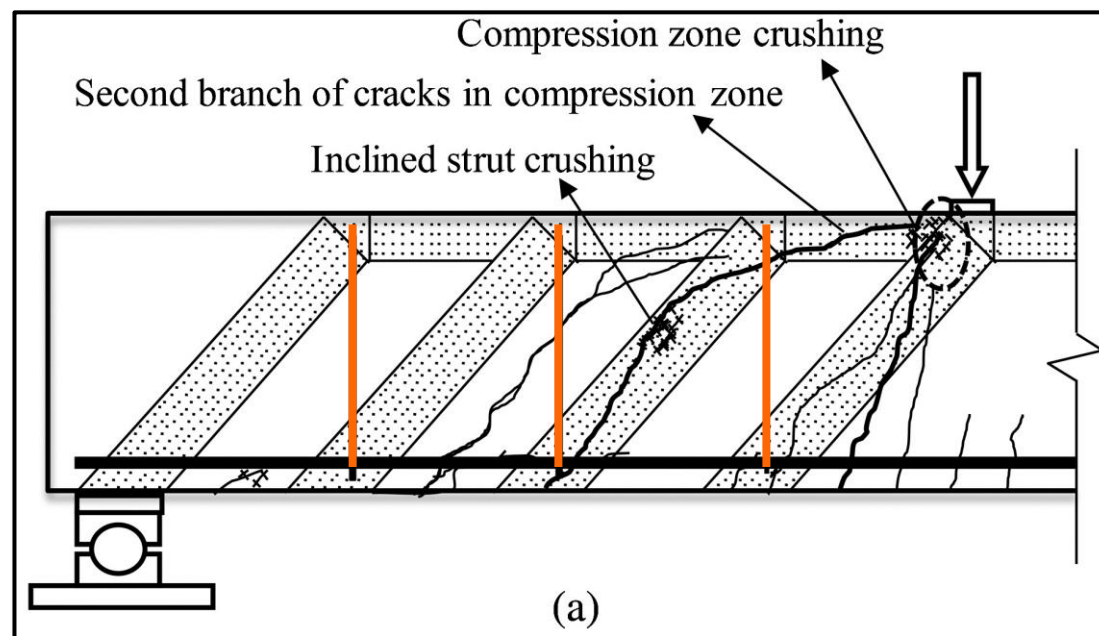
- kde
- $V_{Ed,sup}$ je posouvající síla v podpoře,
 - b je šířka průřezu (již navrženo),
 - z je rameno vnitřních sil v průřezu nad podporou (vypočteno minule),
 - v je redukční součinitel pevnosti betonu (v DÚ: $v = 0.5$),
 - f_{cd} je návrhová pevnost betonu (zadáno),
 - θ je úhel sklonu diagonály (odpovídá předpokládanému sklonu trhlin).

Smyková výztuž

Smyková výztuž

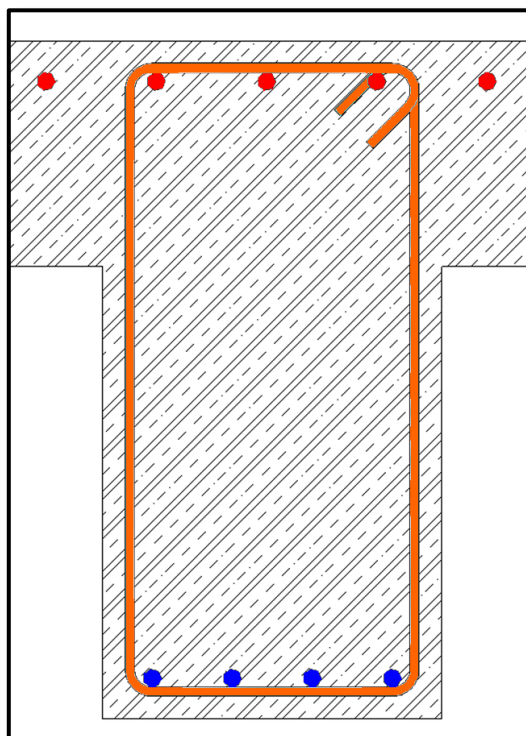
Při namáhání smykem uvažujeme, že v konstrukci vzniká příhradový model složený z tlačných vzpěr (beton) a **táhel (výztuž)** – blíže viz přednášky.

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



Smyková výztuž – třmínky

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

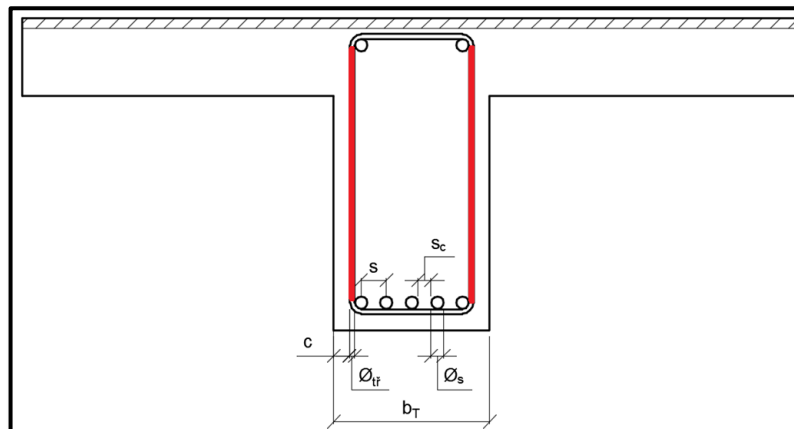


Průřezová plocha třmínku

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

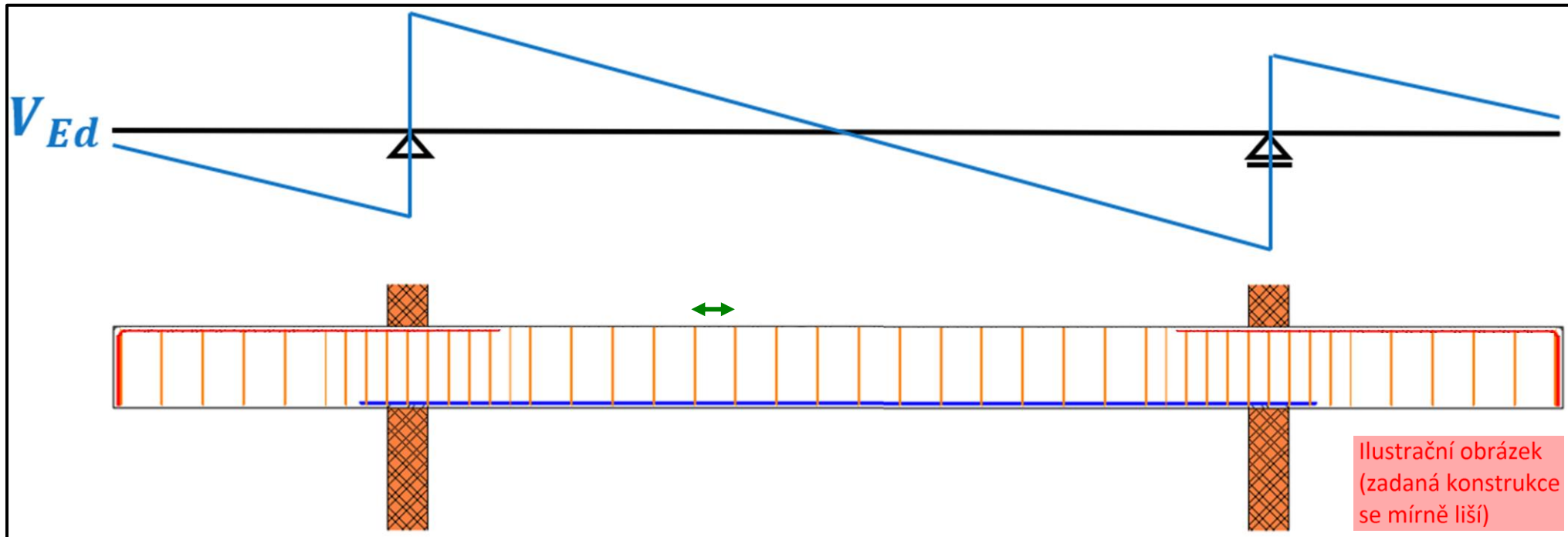
$$A_{sw} = n \frac{\pi \varnothing_{tř}^2}{4},$$

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



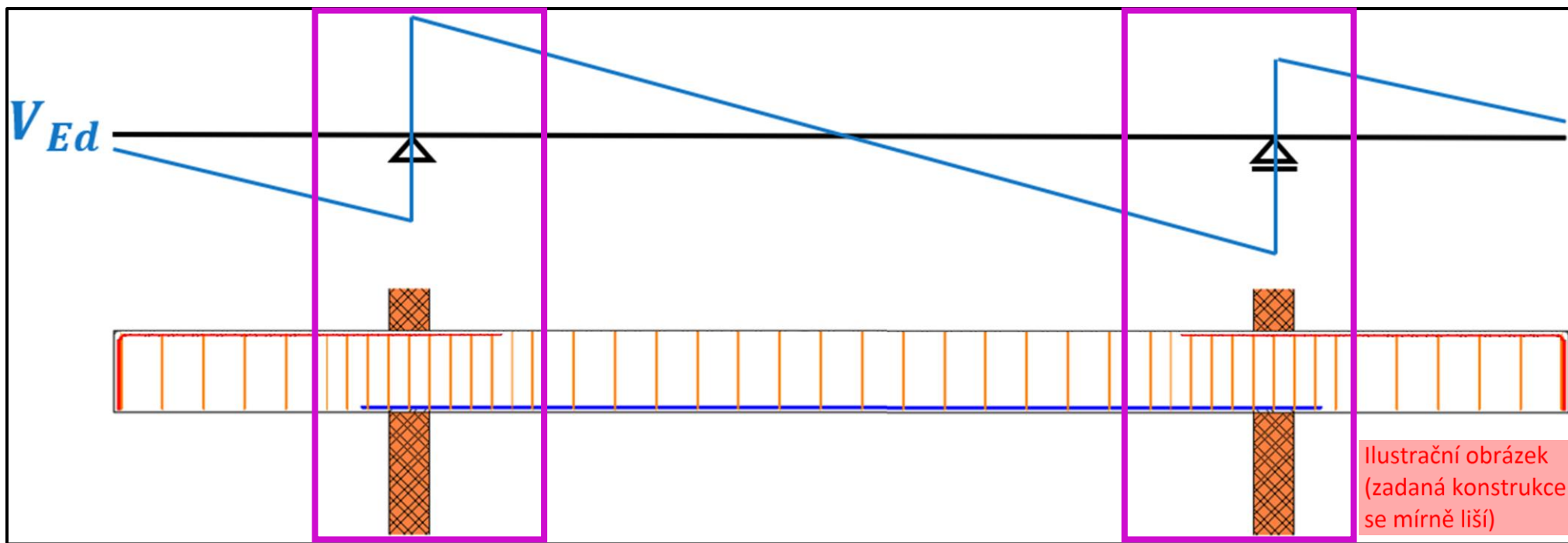
Smyková výztuž – třmínky

Kromě průřezové plochy třmínků musíme specifikovat ještě rozteč třmínků.



Smyková výztuž – třmínky

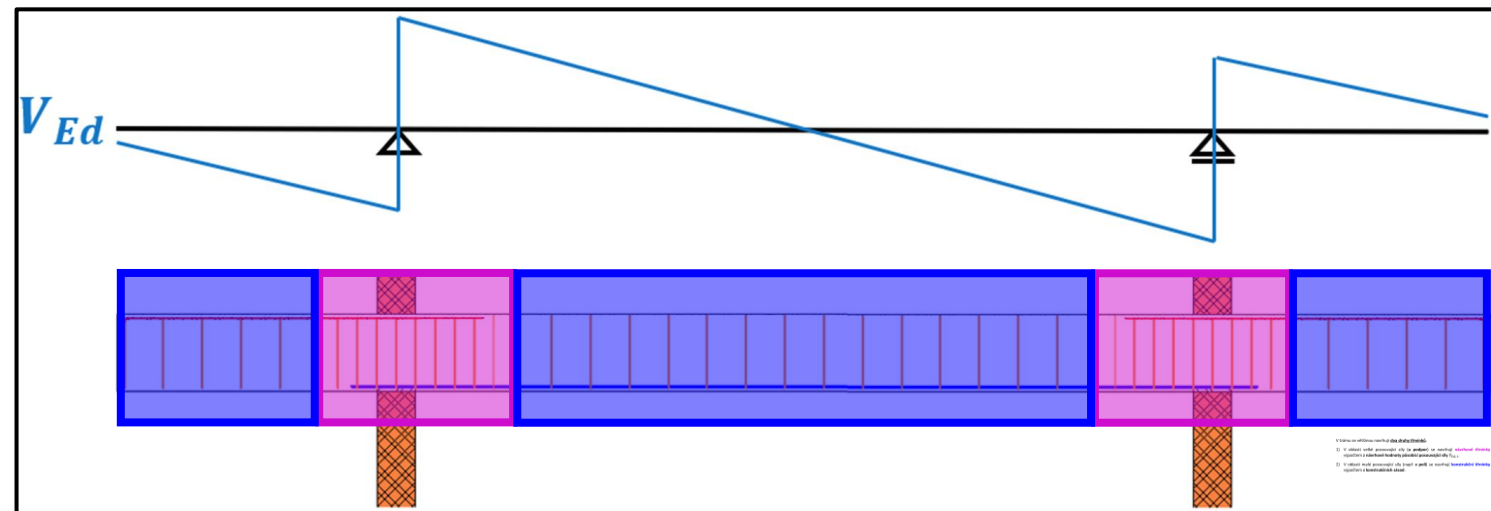
Velikost tahové síly, kterou výztuž musí přenést je závislá na velikosti působící posouvající síly. **Rozteč třmínků tedy závisí na velikosti smykové síly a v místě velké posouvající síly budou třmínky více zahuštěny.**



Návrh třmínek

V trámu se většinou navrhují dva druhy třmínek.

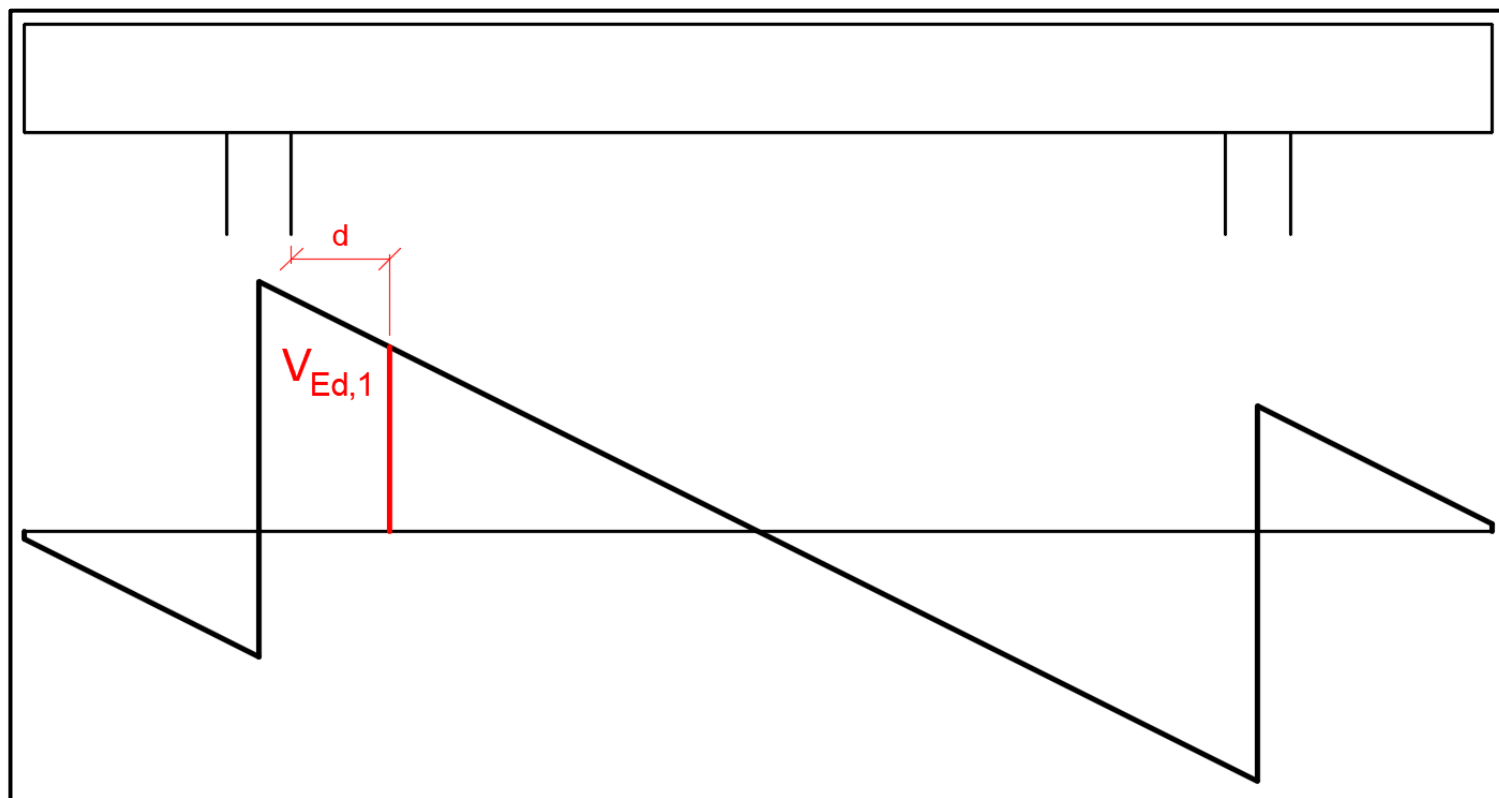
- 1) V oblasti velké posouvající síly (u **podpor**) se navrhují **návrhové třmínky** výpočtem z návrhové hodnoty působící posouvající síly $V_{Ed,1}$.
- 2) V oblasti malé posouvající síly (např. v **poli**) se navrhují **konstrukční třmínky** výpočtem z konstrukčních zásad.



Smyková výztuž
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

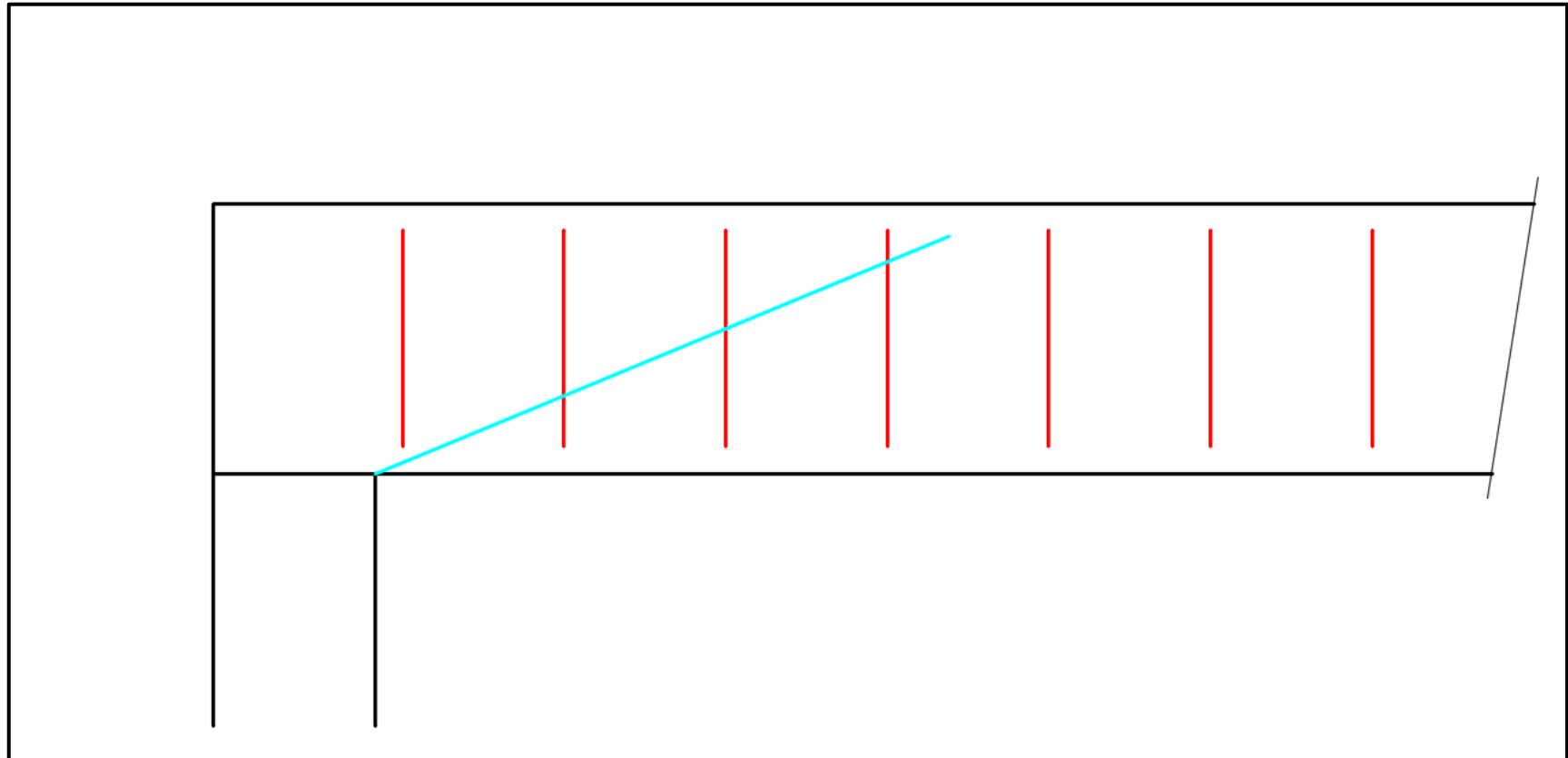
$$0.9 \frac{0.08\sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} \leq \frac{A_{sw}}{b_T s_1} \leq \frac{0.5\nu f_{cd}}{f_{yd}}$$

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

Pokud podmínky nevyhoví, upravíme hodnotu vzdálenosti třmínků.

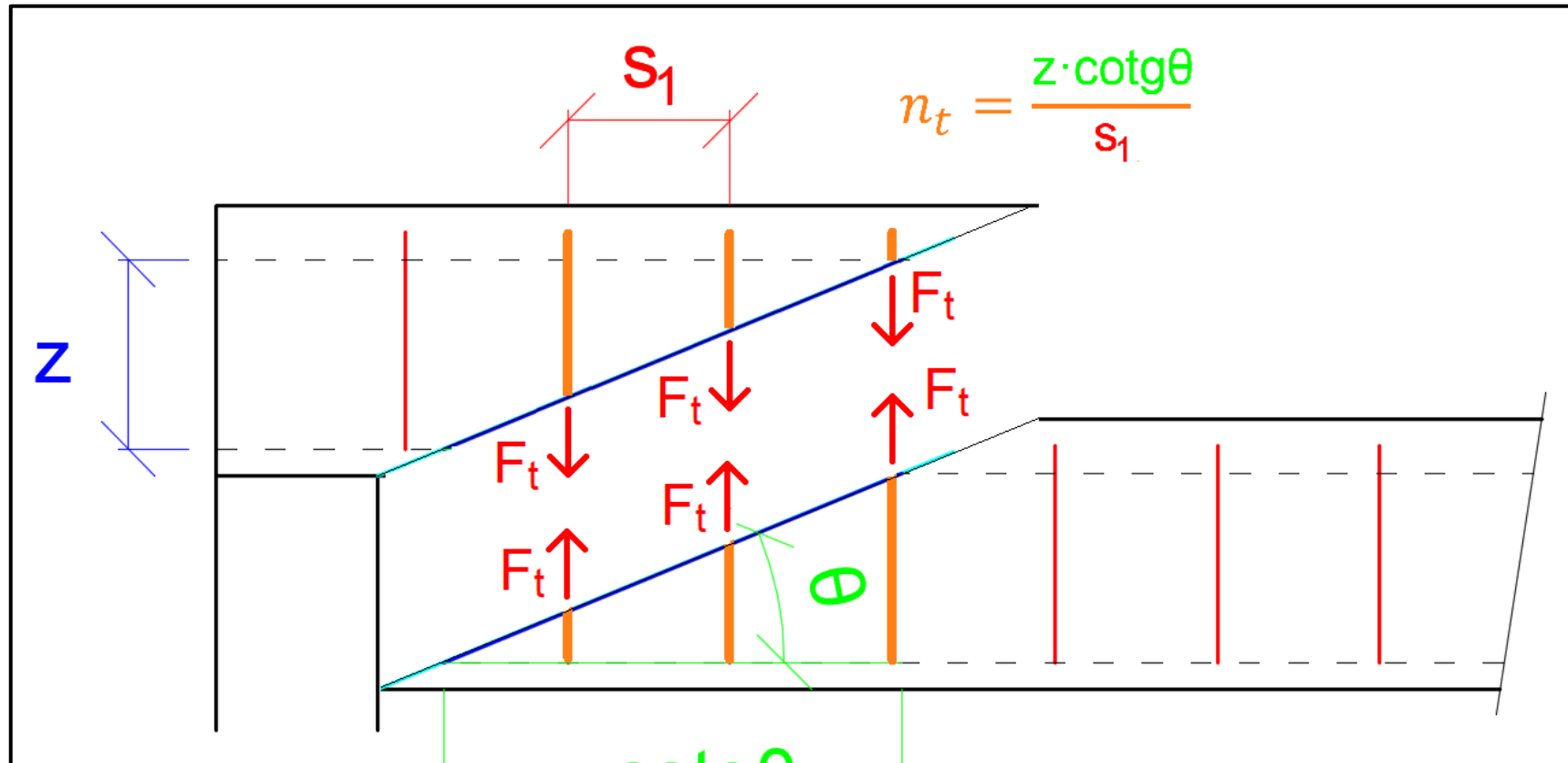
Návrhové třmínky – únosnost

Únosnost třmínků se určí jako: ... ?



Návrhové třmínky – únosnost

Únosnost třmínků se určí jako: ... ?



Návrhové třmínky – únosnost

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

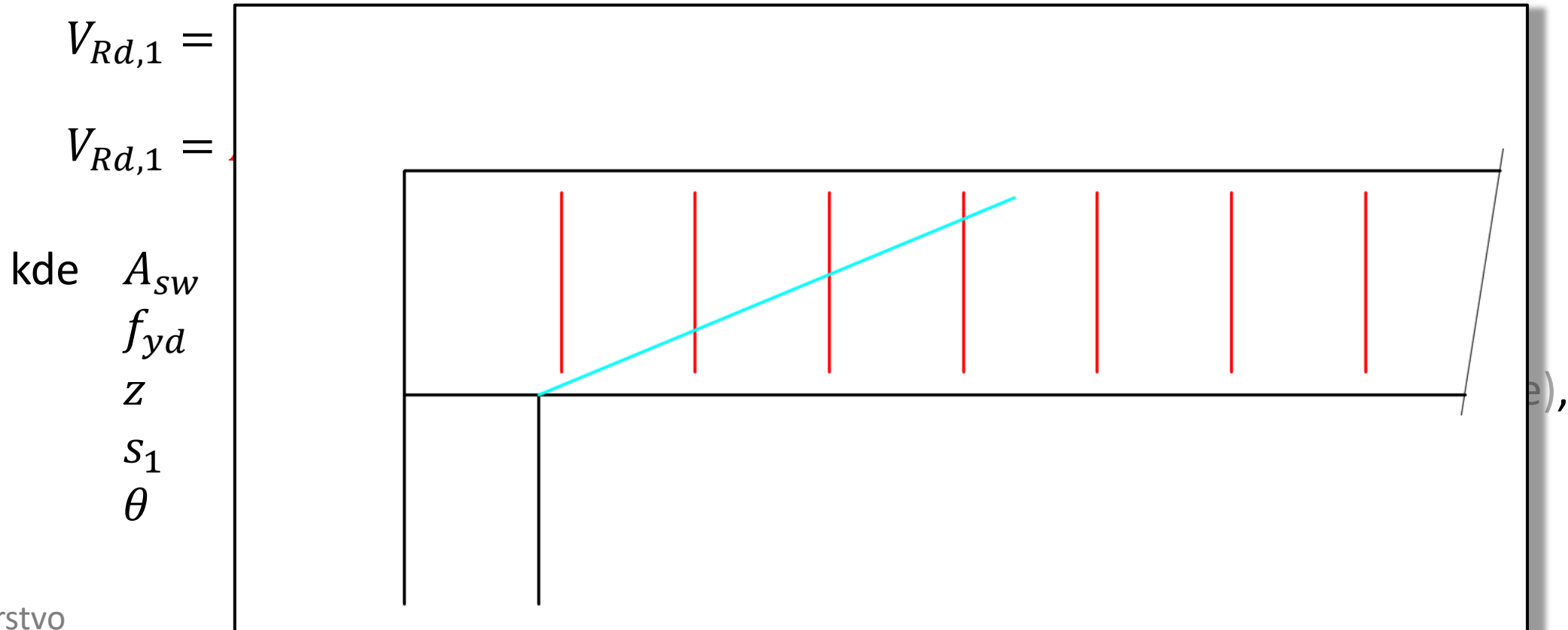
$$V_{Rd,1} = F_t \times n_t$$

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

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).

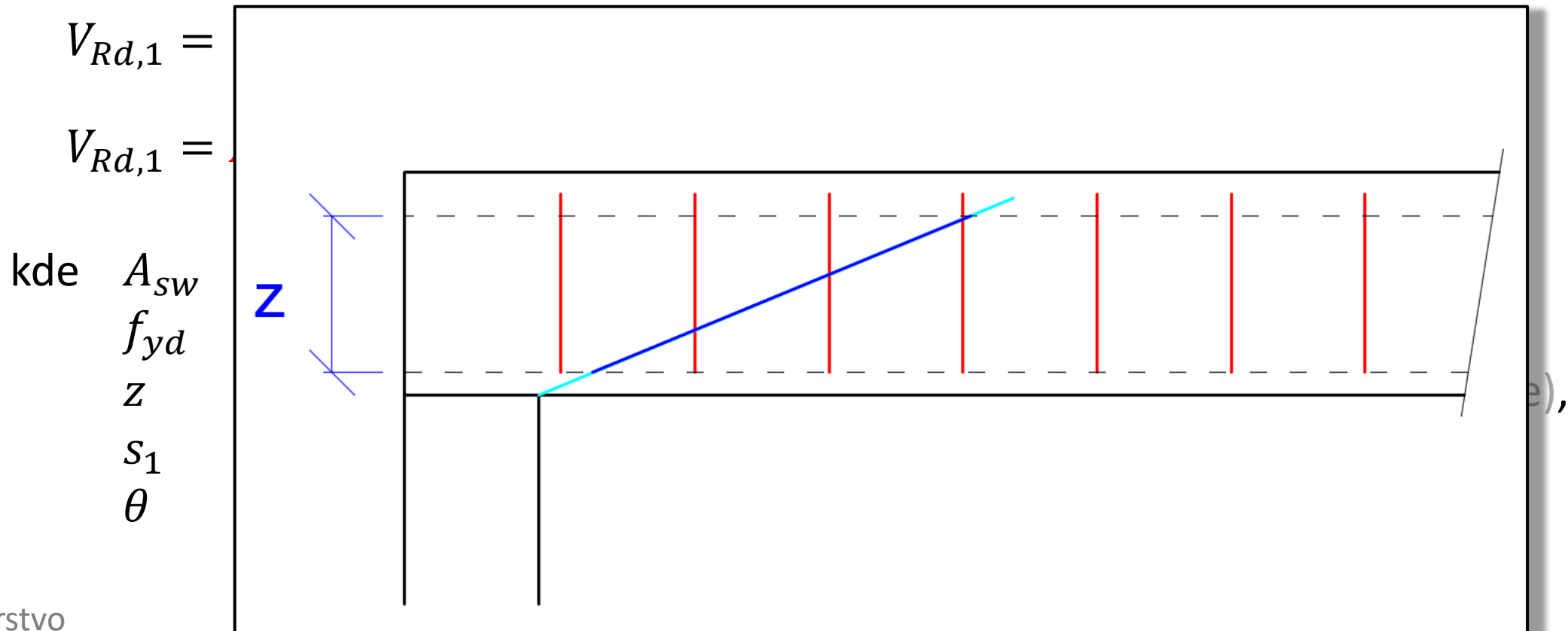
Návrhové třmínky – únosnost

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



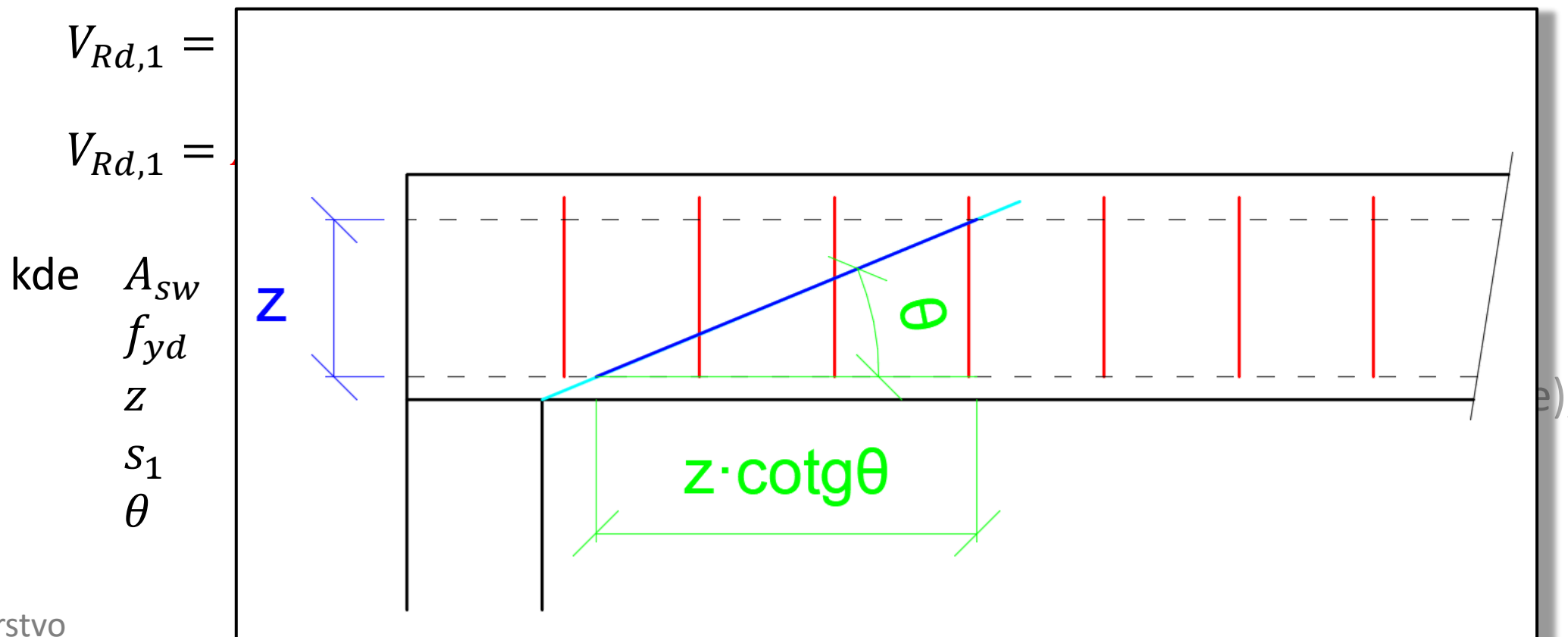
Návrhové třmínky – únosnost

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



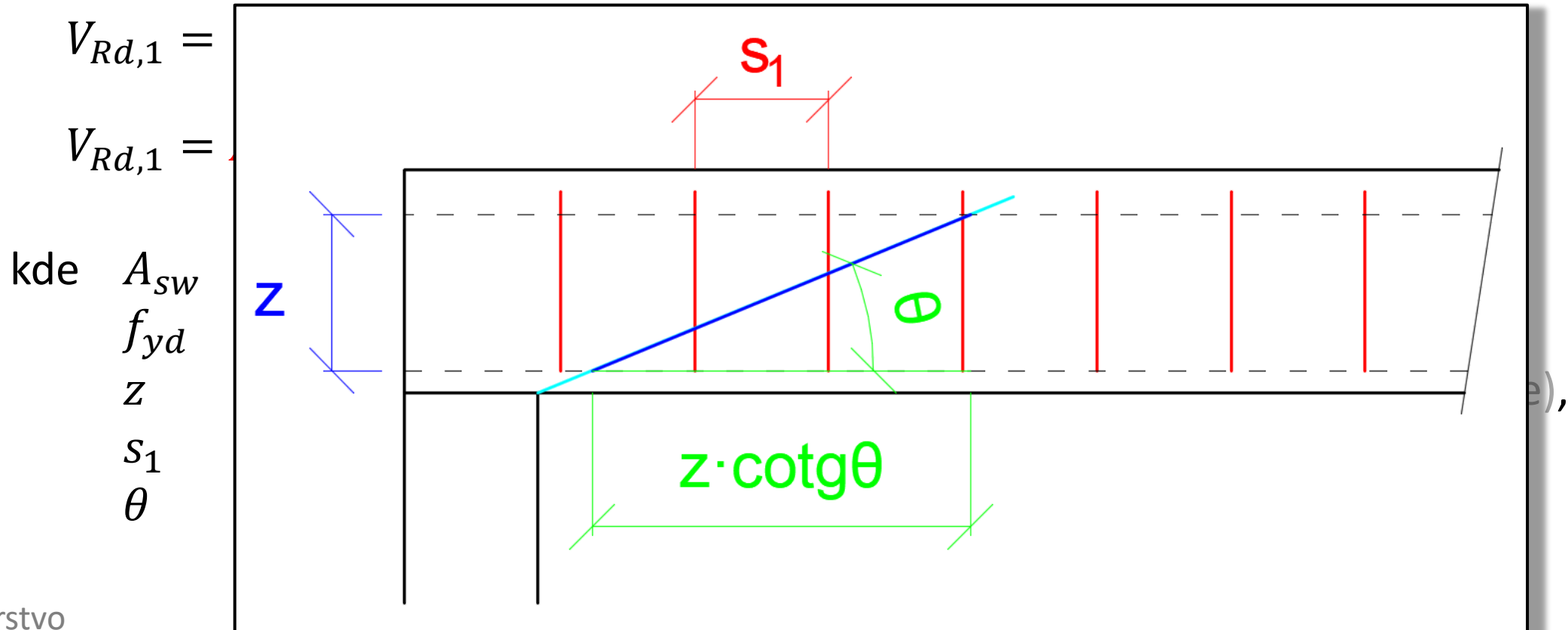
Návrhové třmínky – únosnost

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



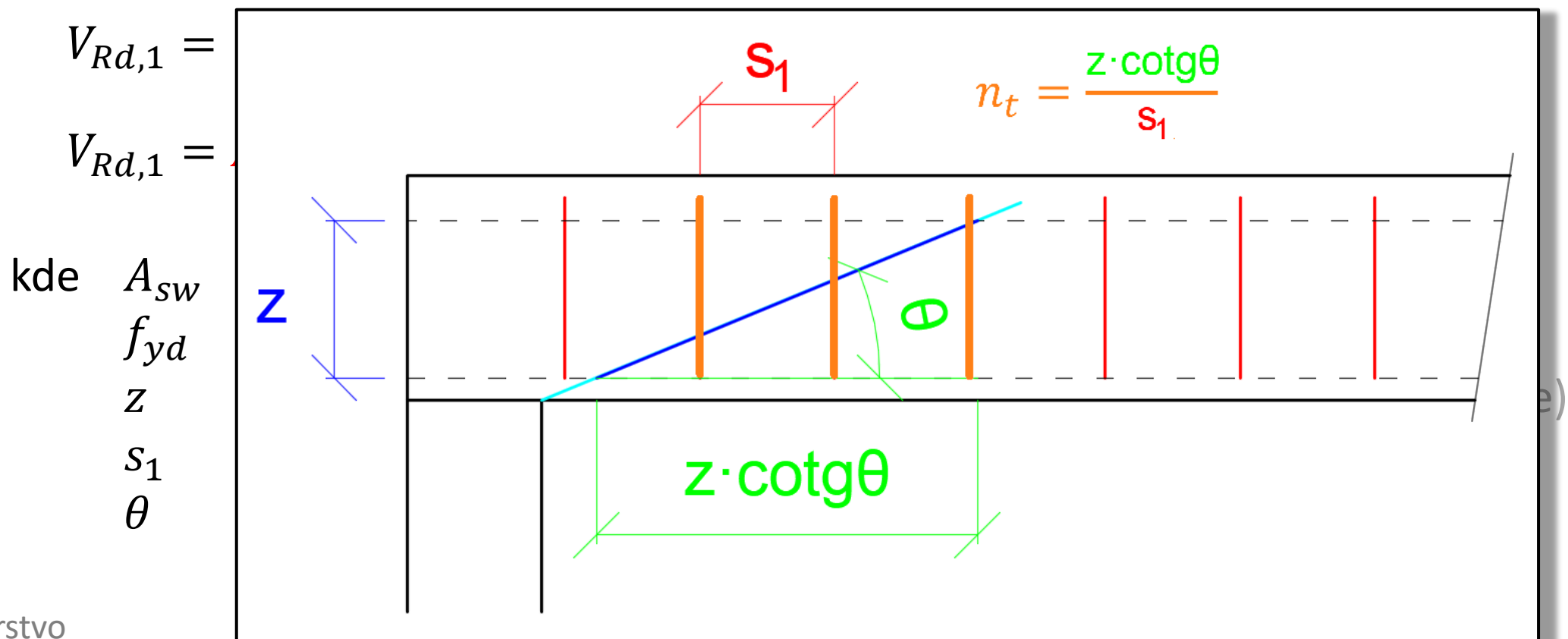
Návrhové třmínky – únosnost

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



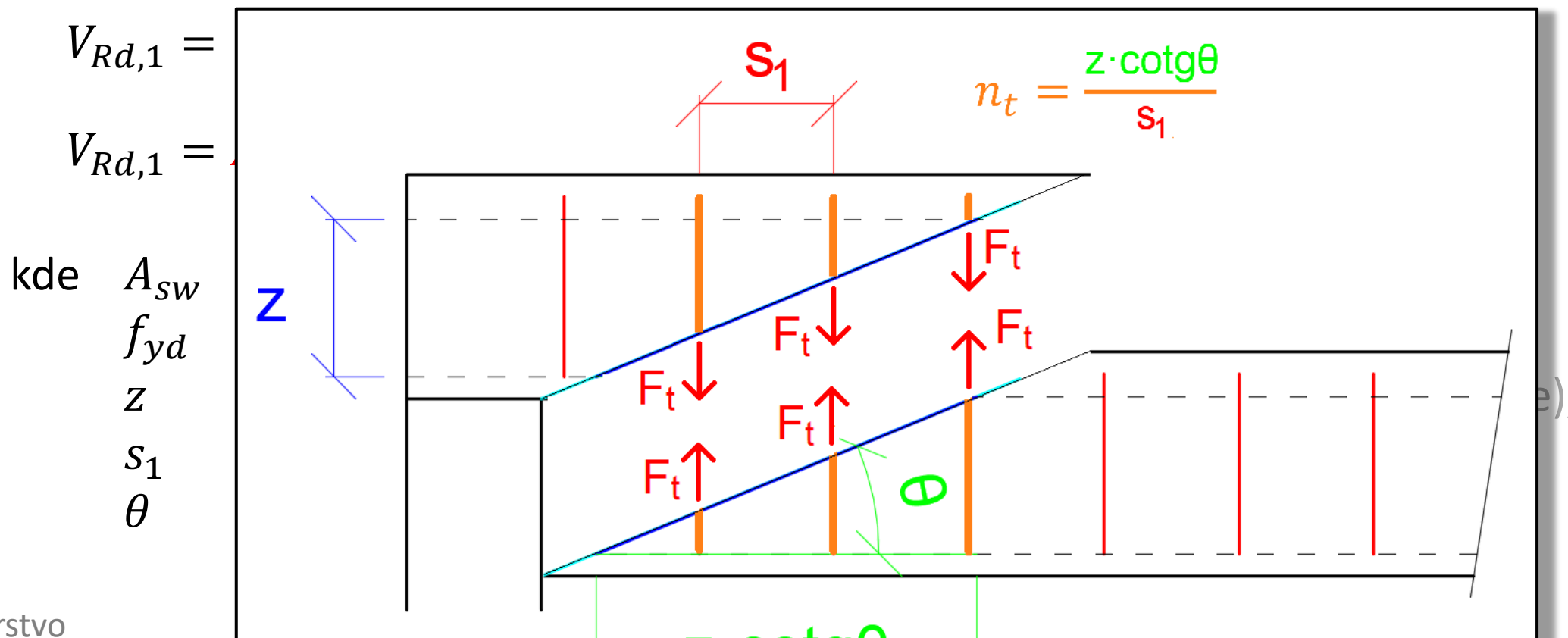
Návrhové třmínky – únosnost

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**.



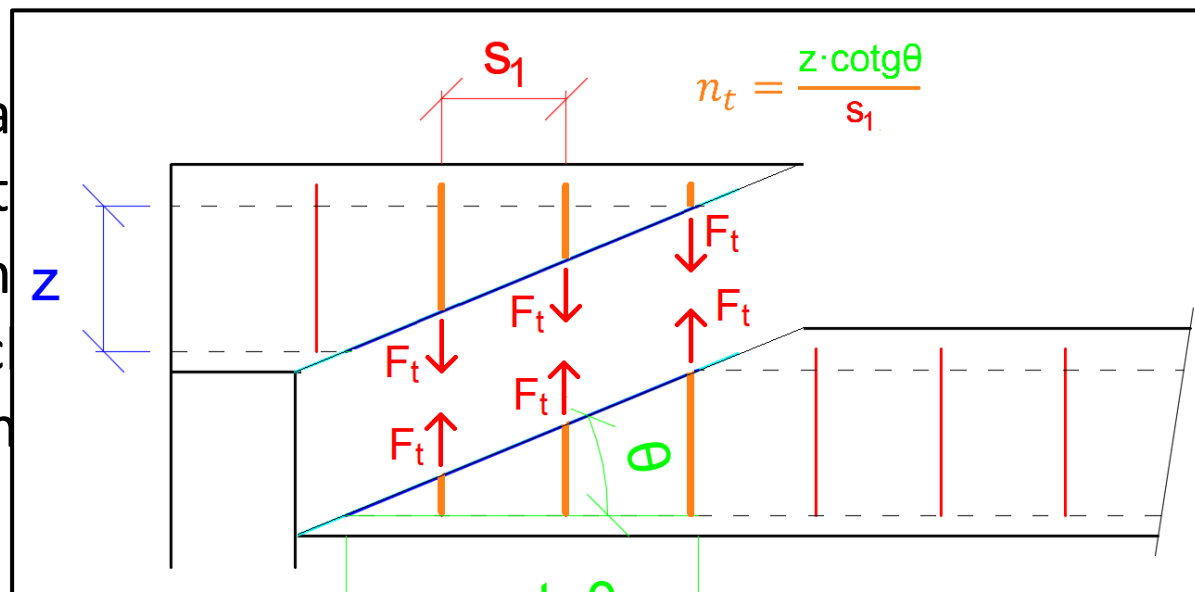
Návrhové třmínky – únosnost

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

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

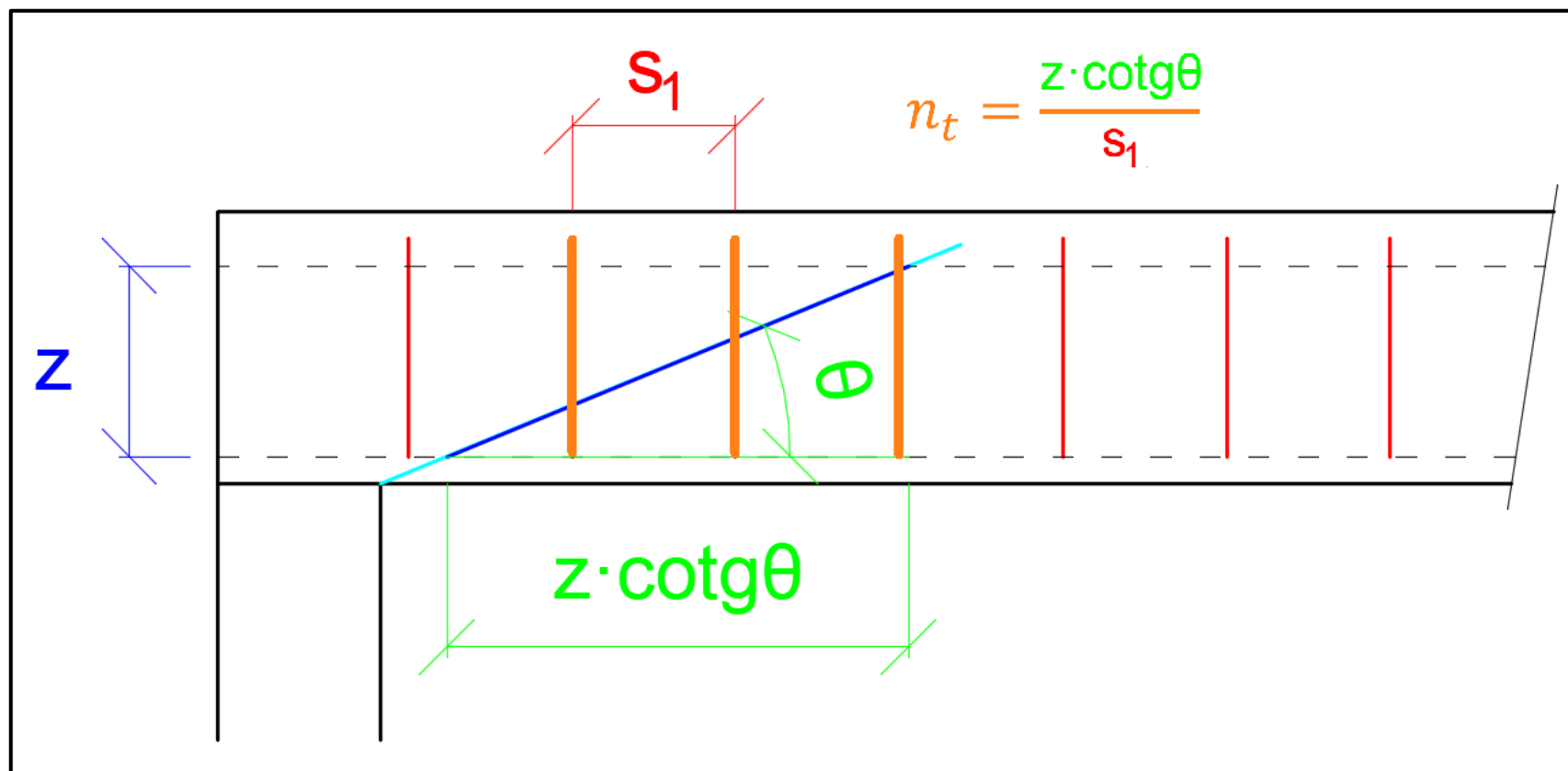
$$V_{Rd,1} = A_{sw} f_{yd} \times \frac{z \cot \theta}{s_1}$$

kde A_{sw} je průřezová plocha
 f_{yd} je návrhová hodnota
 z je rameno vnitřních
 s_1 je rozteč návrhových
 θ je úhel sklonu trhlin (tlakové diagonály).



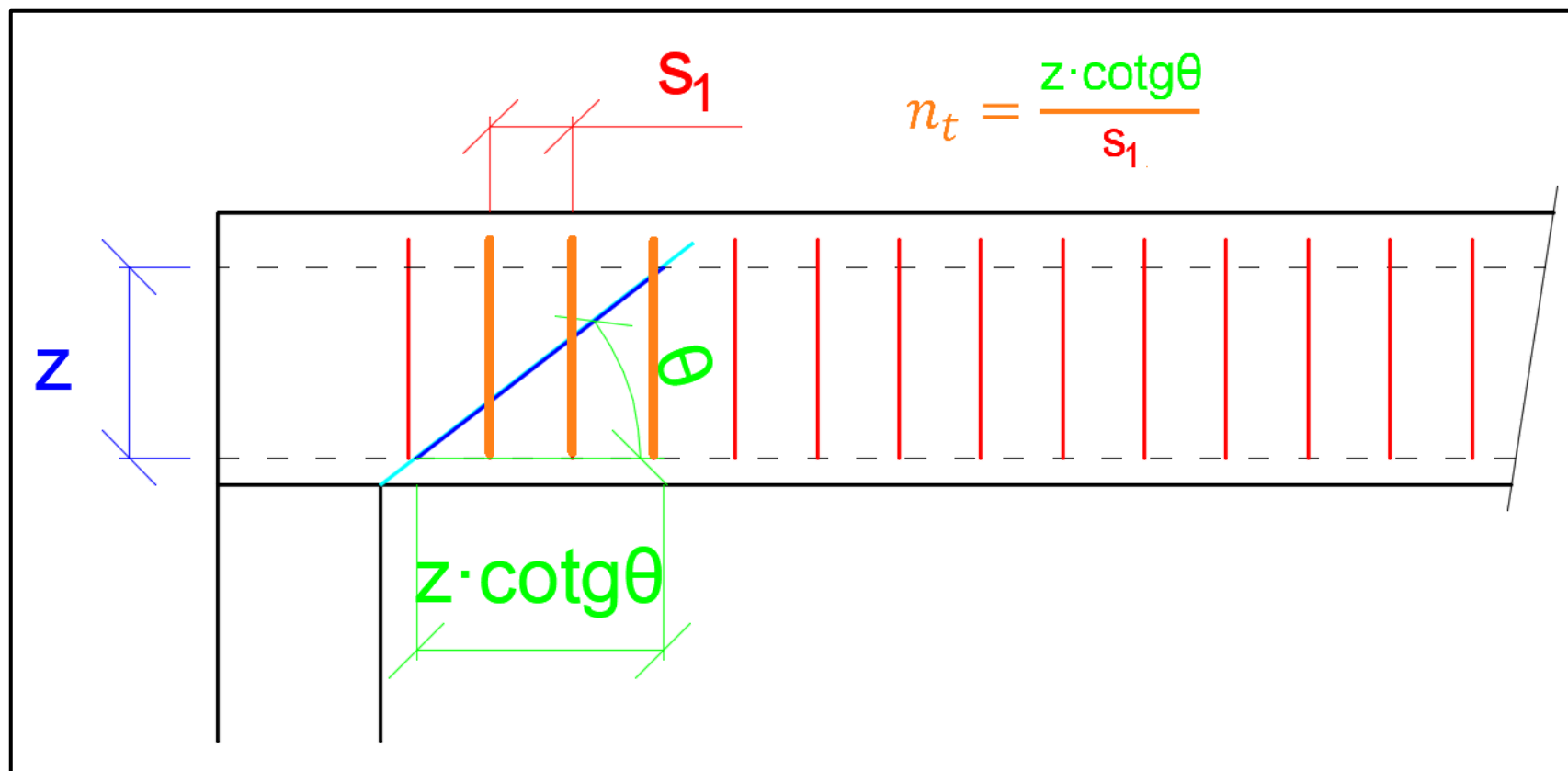
Návrhové třmínky – únosnost

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 dle stávající normy

Stávající norma posuzuje třmínky **porovnáním sil**

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

$$V_{Ed,1} \leq A_{sw} f_{yd} \frac{z \cot \theta}{s_1},$$

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

Návrhové třmínky – posouzení dle nové normy

Nová norma posuzuje třmínky **porovnáním napětí**

$$\tau_{Ed,1} \leq \tau_{Rd,sy,1},$$

$$\frac{V_{Ed,1}}{z b_T} \leq A_{sw} f_{yd} \frac{\cot \theta}{s_1 b_T},$$

kde $\tau_{Ed,1}$ je Design value of the shear stress at interface 1,
 $\tau_{Rd,sy,1}$ je Shear stress resistance governed by yielding of shear reinforcement.

Návrhové třmínky – posouzení dle nové normy

V domácím úkolu třmínky posudíte* dle nové normy

$$\frac{V_{Ed,1}}{z b_T} \leq A_{sw} f_{yd} \frac{\cot \theta}{s_1 b_T}.$$

*Pozn.: Pokud nikde neuděláte numerickou chybu, posouzení vám 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

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

Vzdálenost třmínků $s_{k\check{c}ni}$ volíme ideálně v násobcích 50 mm* a návrh **zapisujeme ve tvaru**

Třmínek dvoustrážný $\varnothing_{tř}$ X po Y mm.

Konstrukční třmínky – konstrukční zásady

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

$$0.9 \frac{0.08 \sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} \leq \frac{A_{sw}}{b s_{kcni}} \leq \frac{0.5 v f_{cd}}{f_{yd}},$$

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

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.

$$V_{Rd,kcni} = b_t z \tau_{Rd,sy,kcni} = A_{sw} f_{yd} \times \frac{z \cot \theta}{s_{kcni}},$$

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_{kcni} je rozteč konstrukčních třmínků (navrženo výše),
 θ je úhel sklonu trhliny (musíme uvažovat stejný jako úhel sklonu tlakové diagonály).

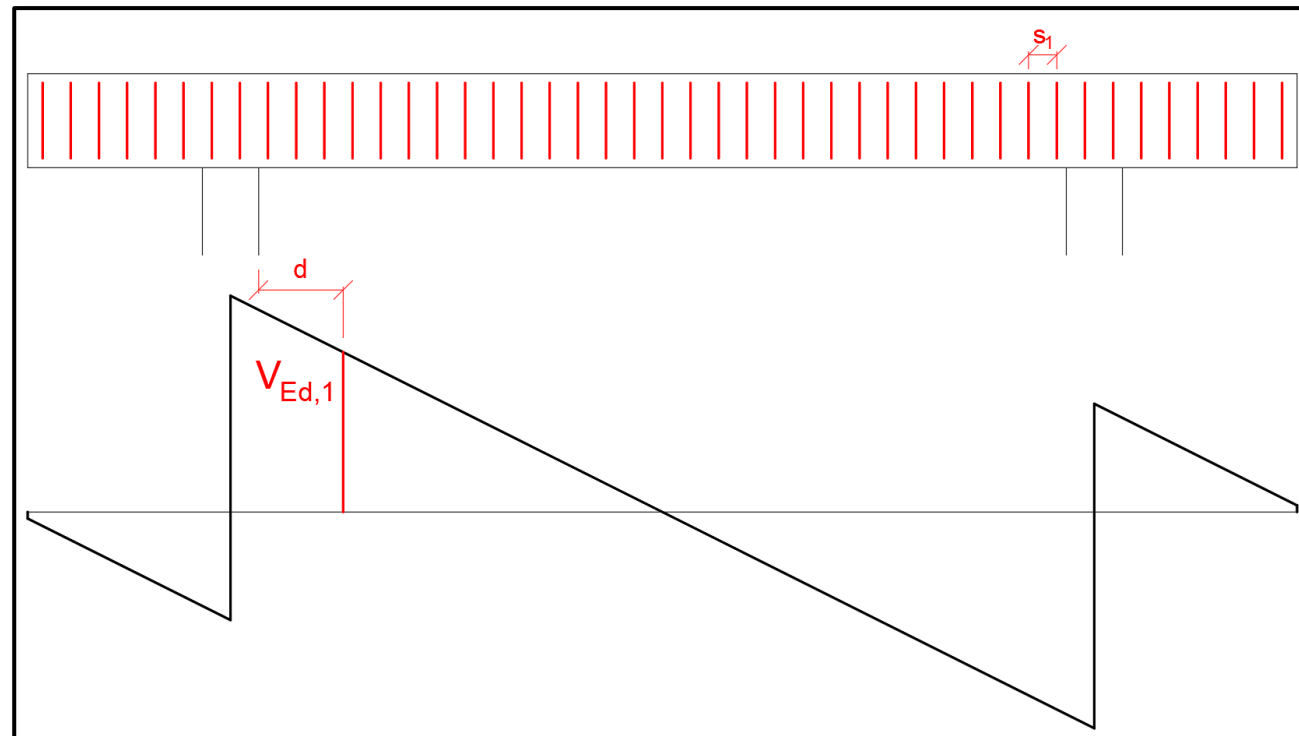
Rozmístění třmínek

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****.

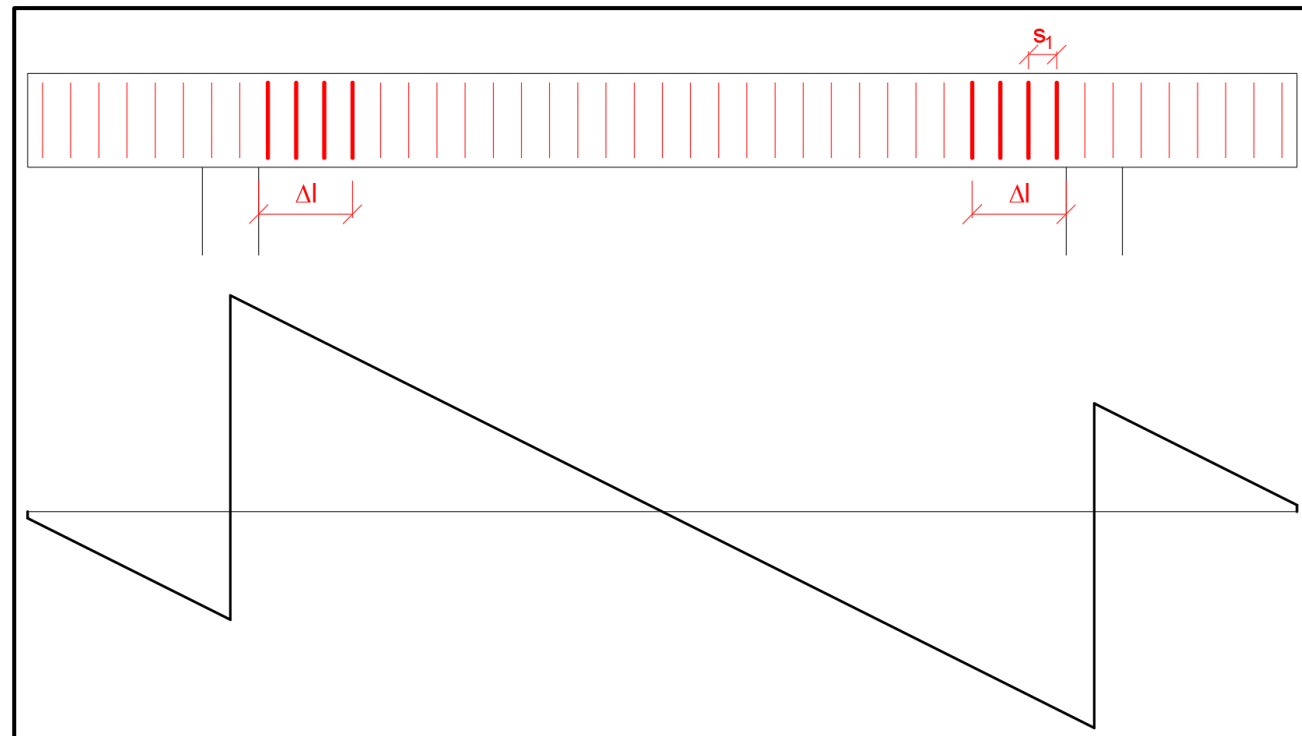


*To není úplně pravda. Třmínky jsou navrženy na sílu ve vzdálenosti d od líce podpory ($V_{Ed,1}$) a v teoretické podpoře je síla ještě větší. Ale vzhledem k tomu, že trhлина vychází z líce podpory (a ne z teoretické podpory), třmínky nikdy nebudou vystaveny síle větší než $V_{Ed,1}$.

**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

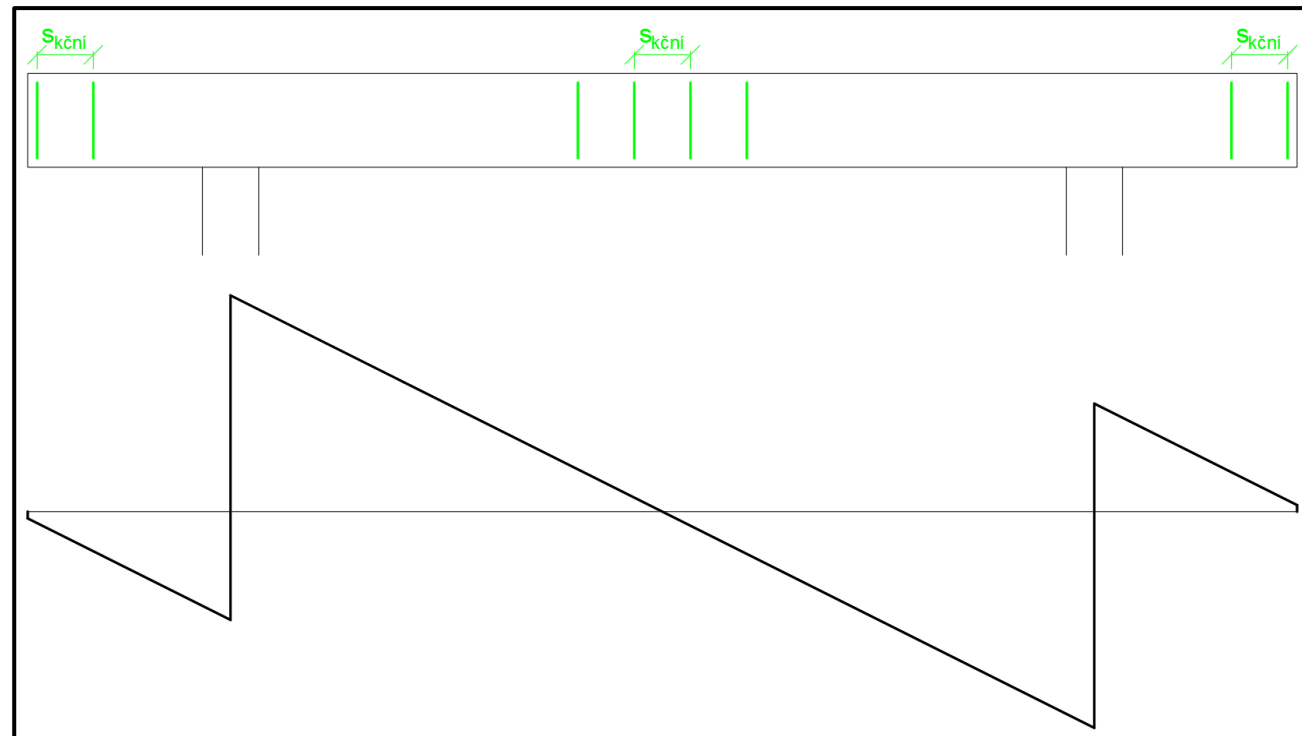
Dále nám návrhová norma udává, že návrhové třmínky musíme použít minimálně ve vzdálenosti $\Delta l = z \cot \theta$ od líce podpory*.



*Aby pokryly celou smykovou trhlinu vycházející z líce podpory.

Rozmístění konstrukčních třmínek

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

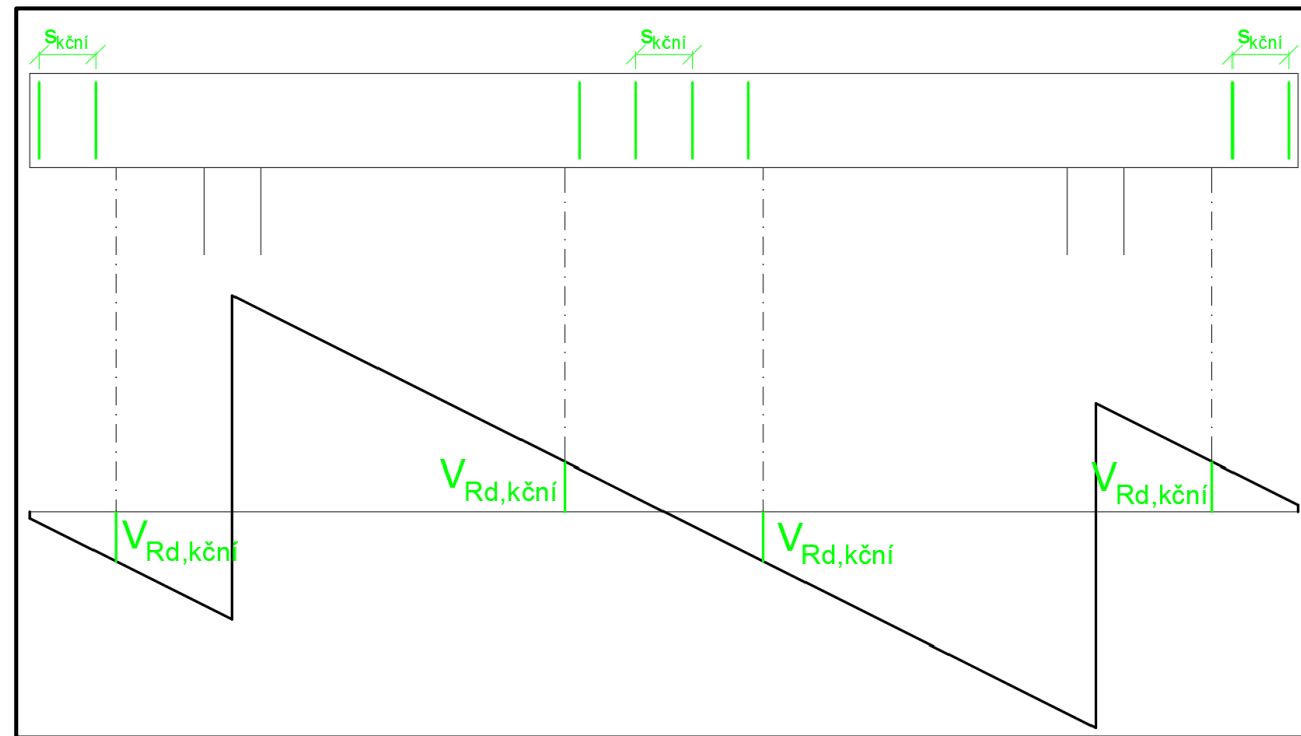


*protože mají větší rozteč

**protože mají menší únosnost

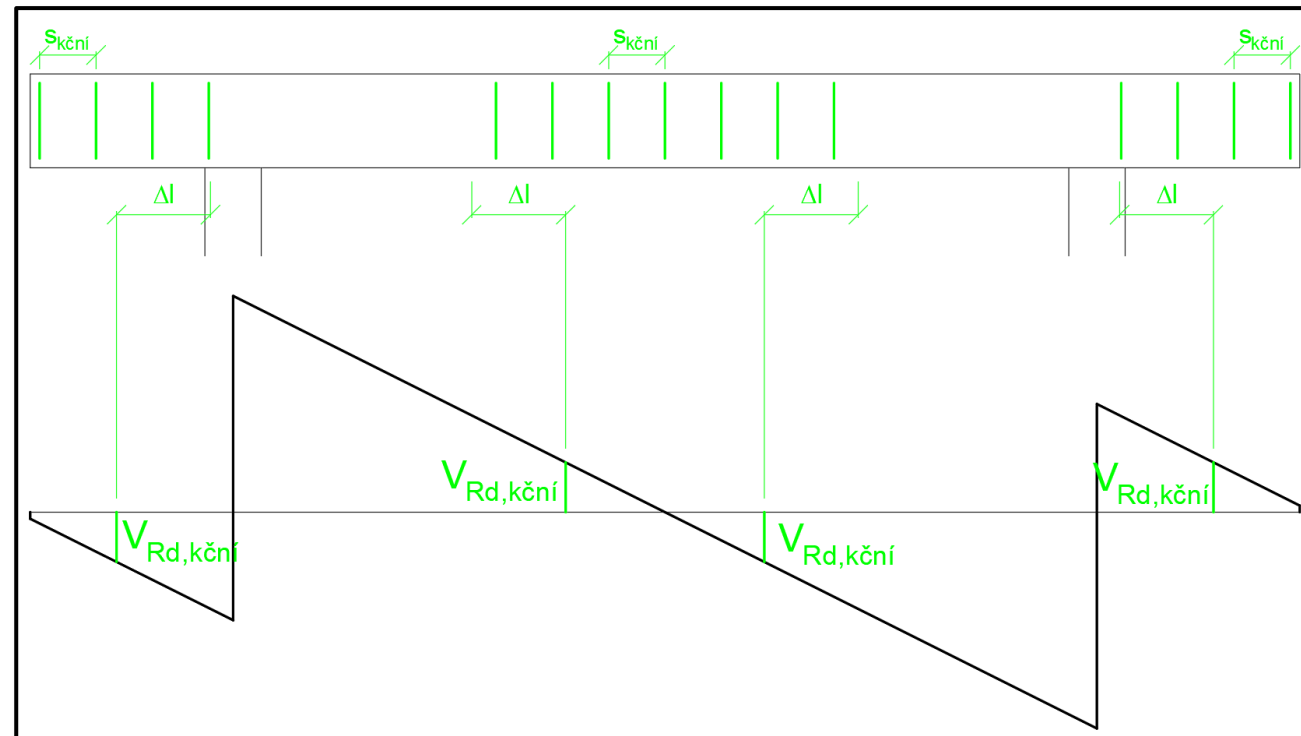
Rozmístění konstrukčních třmínek

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 $V_{Rd,kčn}$.**

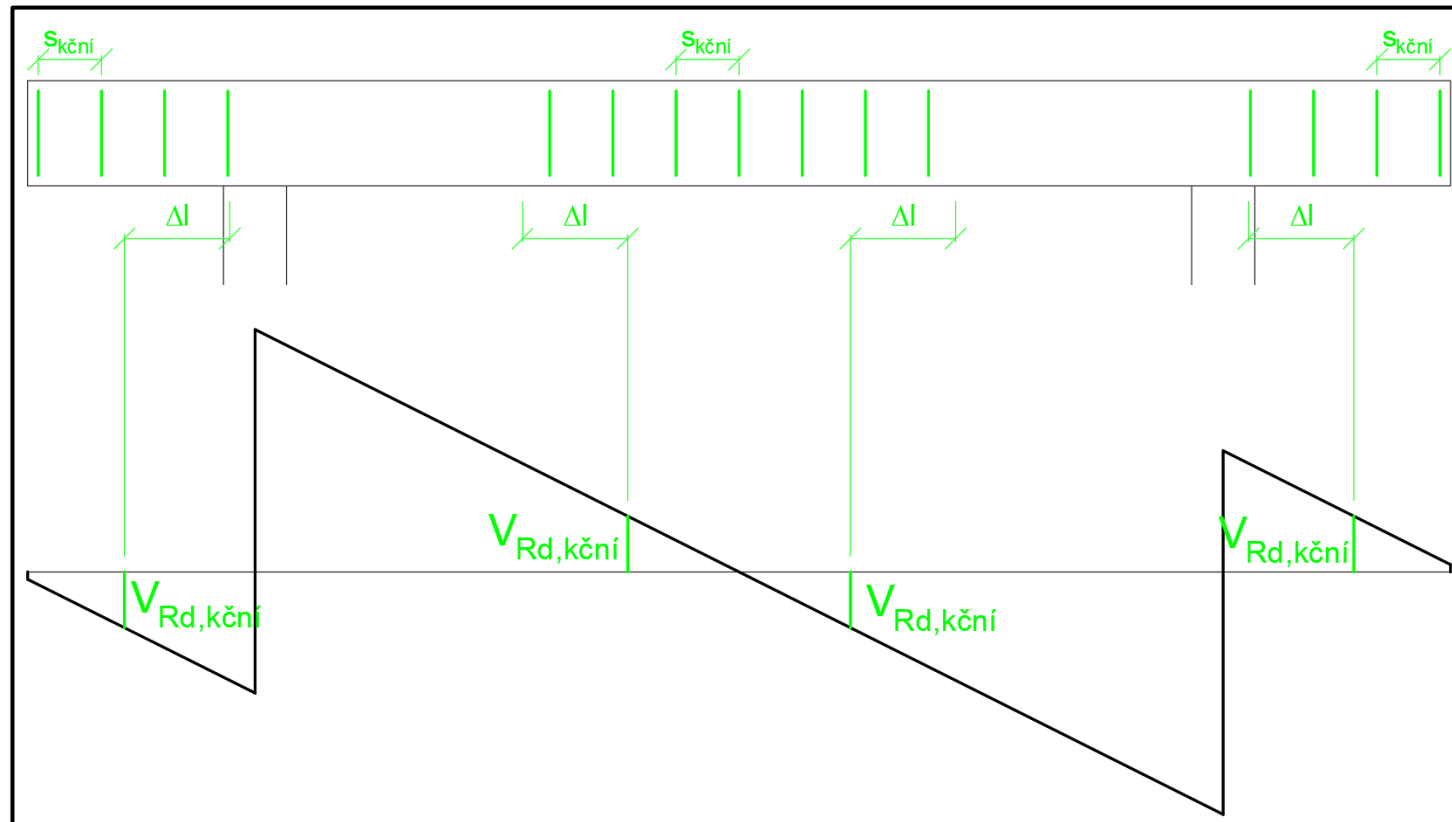


Rozmístění všech třmínek

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

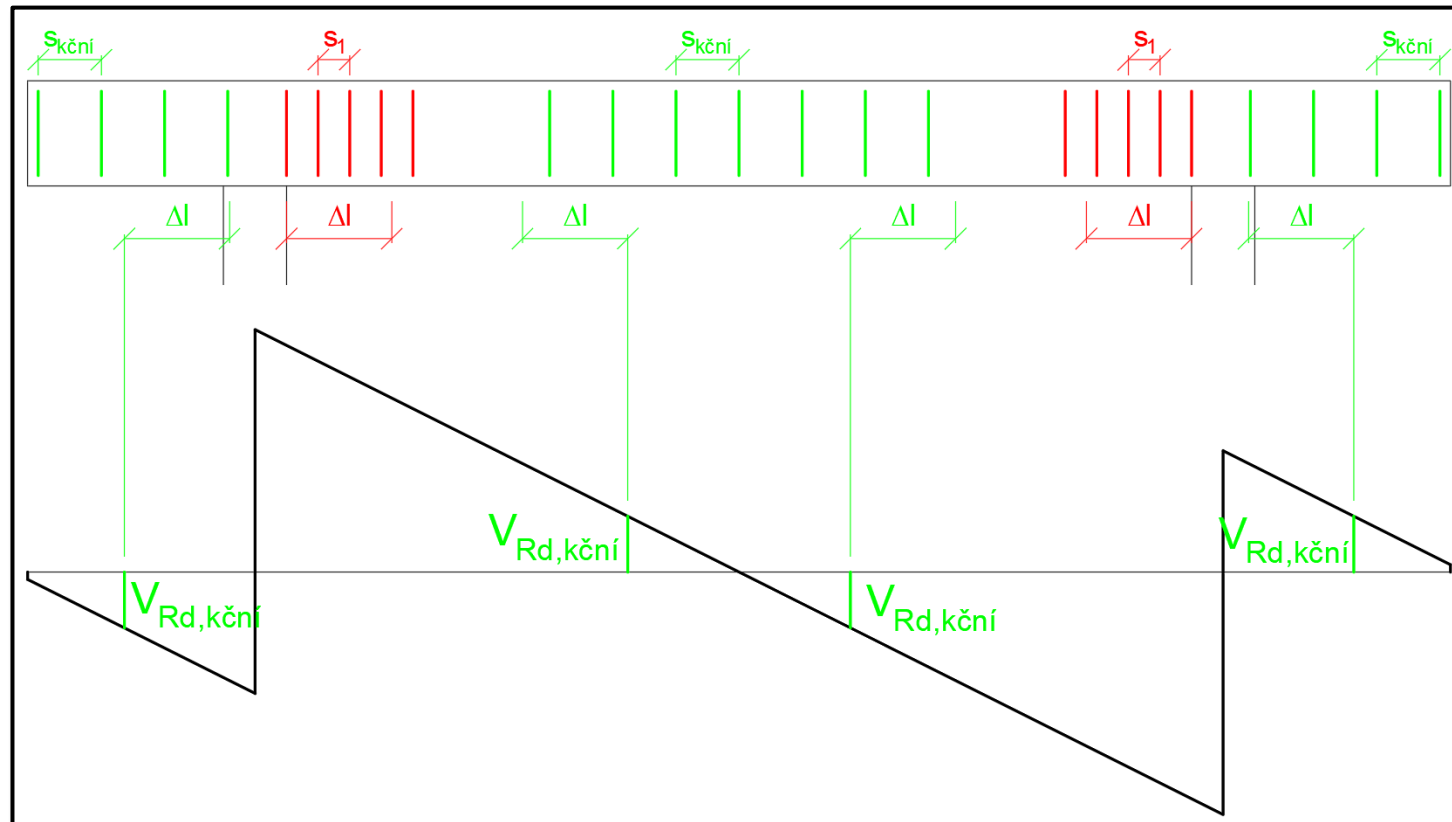
Rozmístění všech třmínek

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



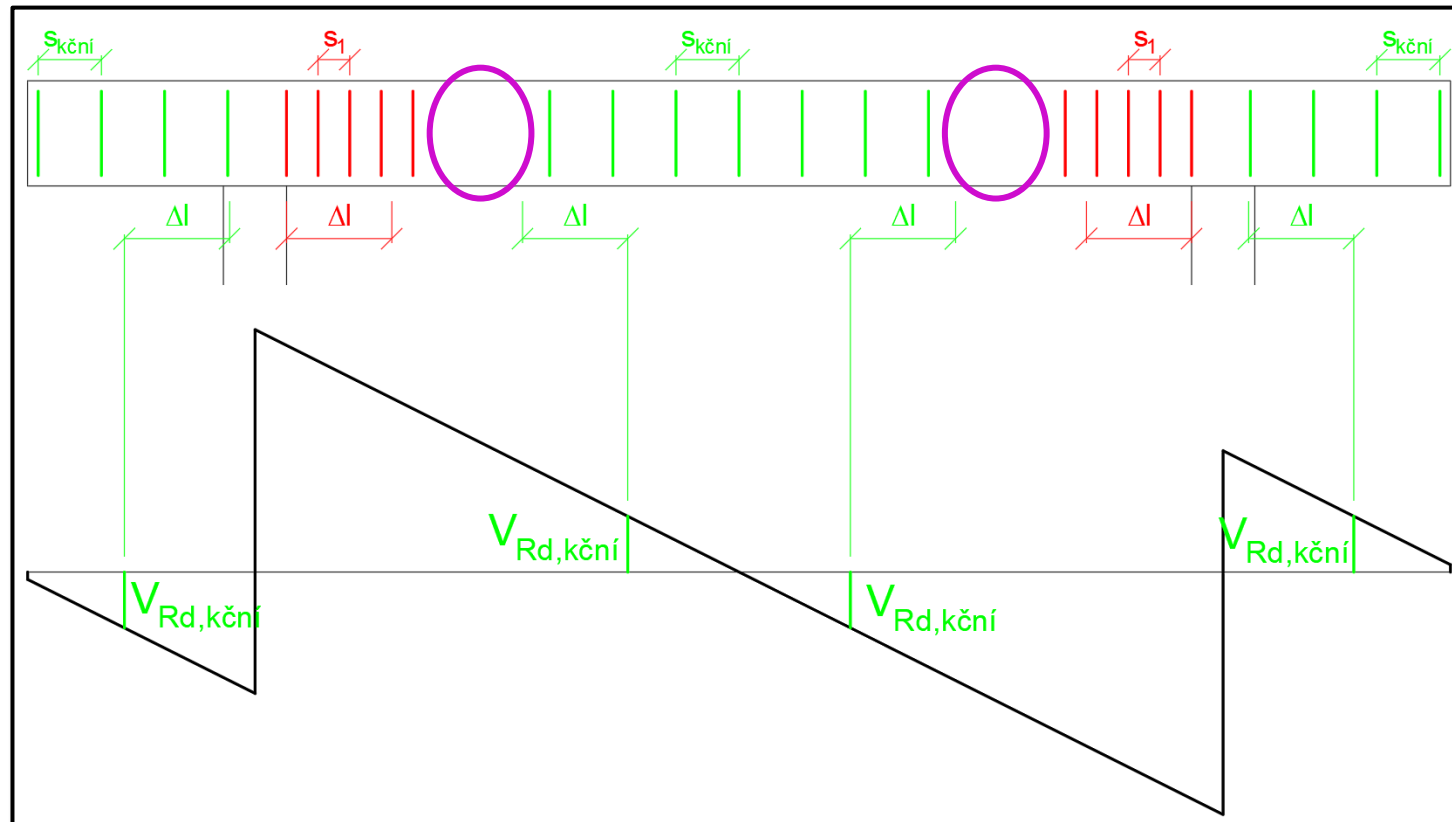
Rozmístění všech třmínek

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



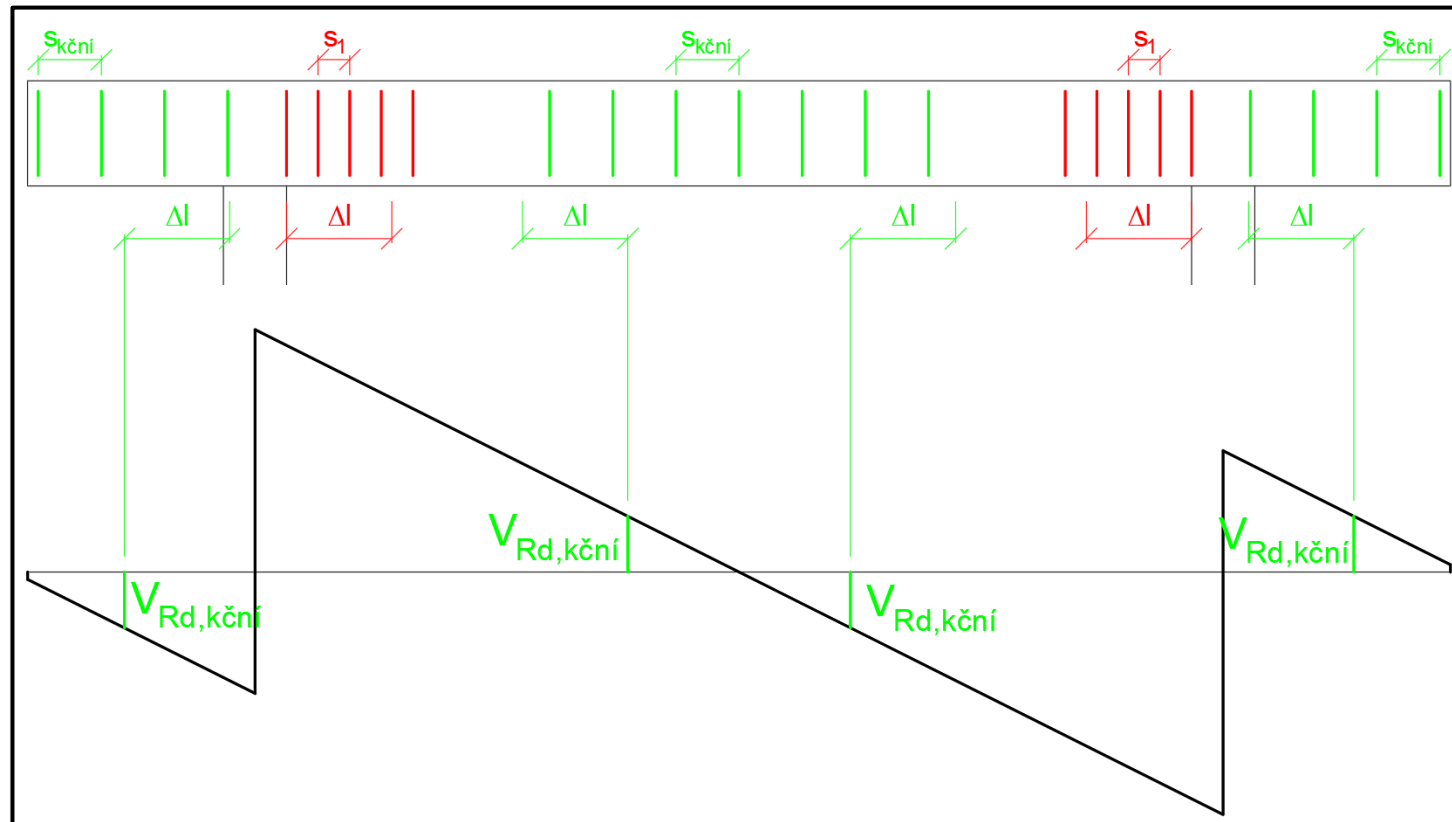
Rozmístění všech třmínek

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



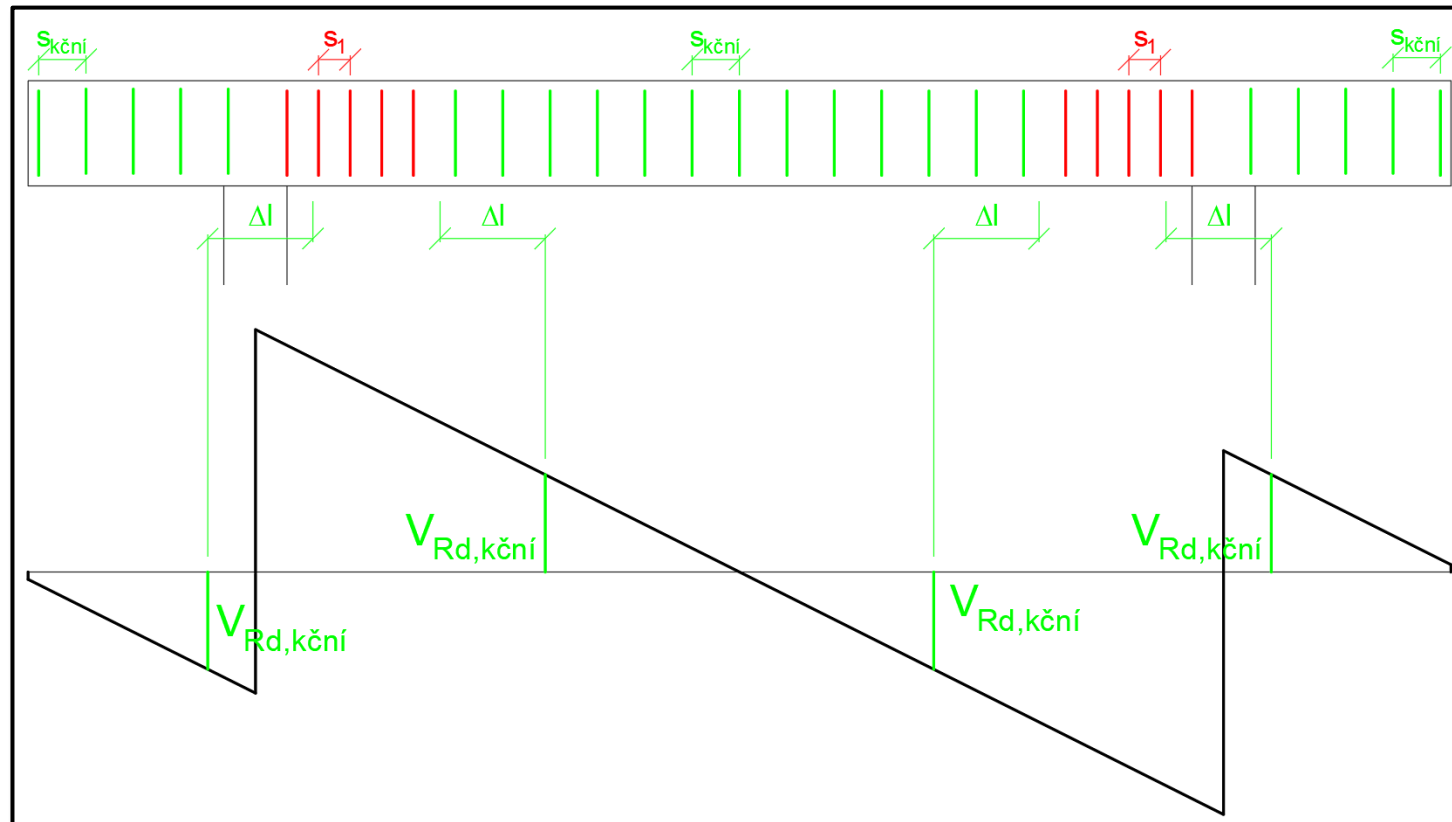
Rozmístění všech třmínek

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



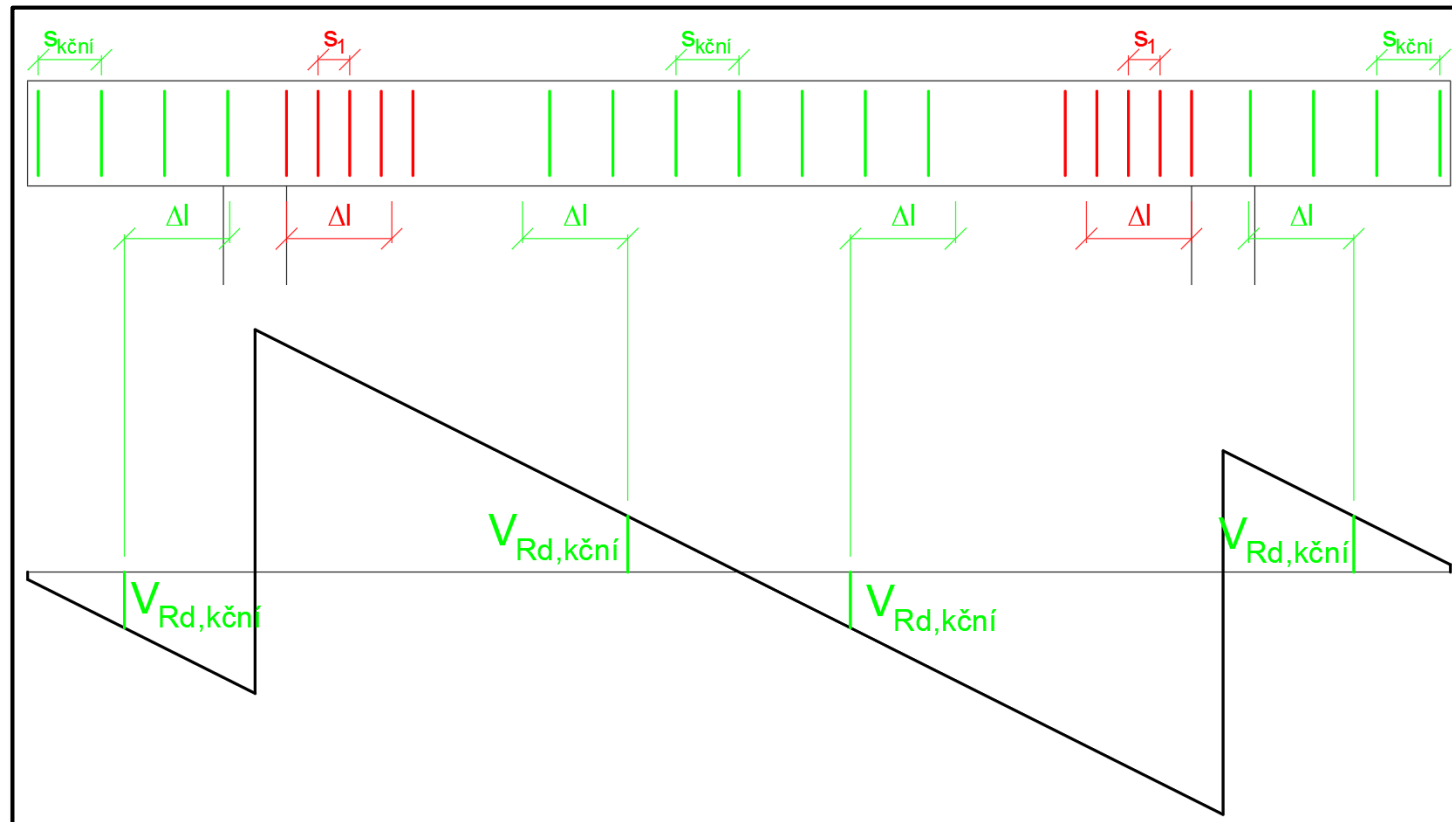
Rozmístění všech třmínek

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



Rozmístění všech třmínek

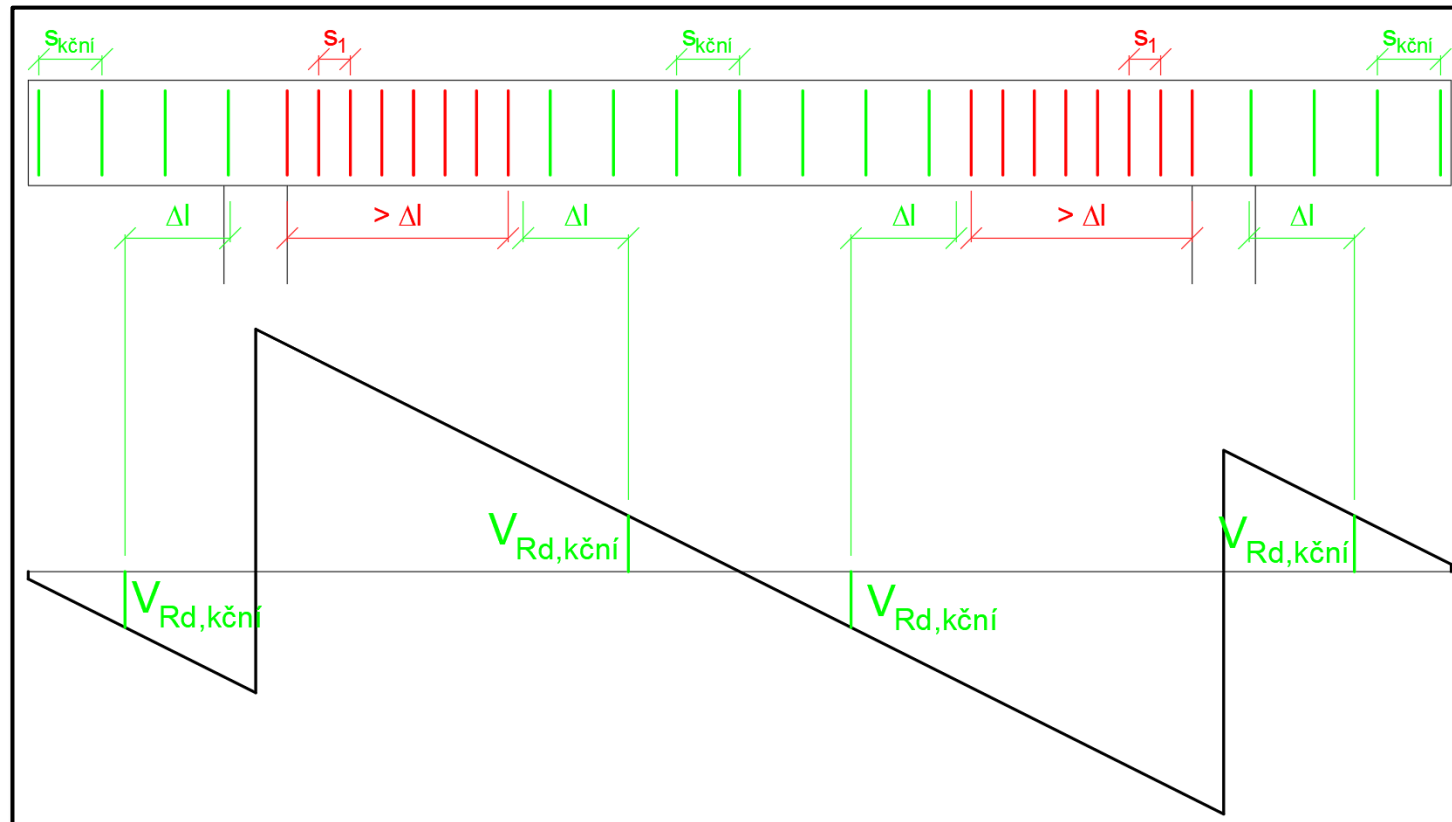
Druhým (a jednodušším) řešením je „dotáhnout“ návrhové třmínky až ke konstrukčním třmínkům*.



* 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*.

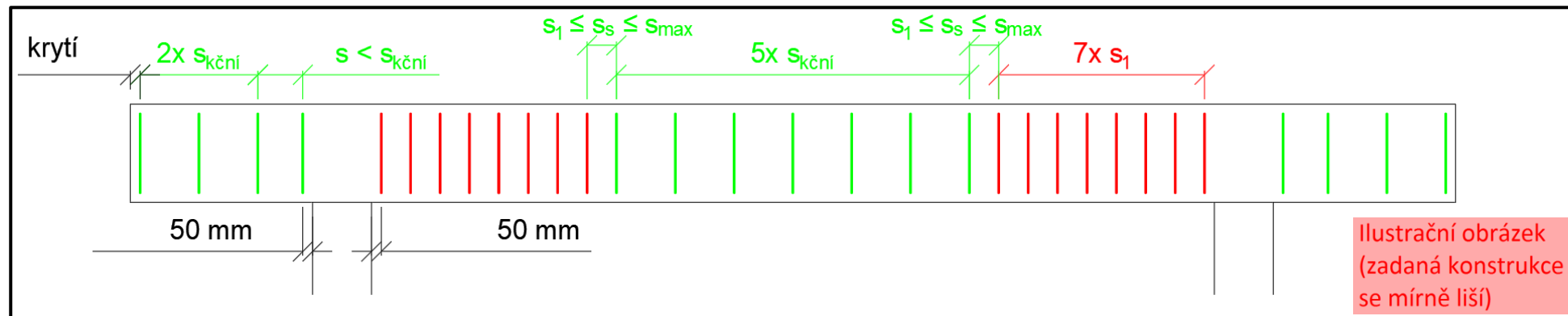


* A konstrukční třmínky nechat tak, jak jsme je navrhli na začátku

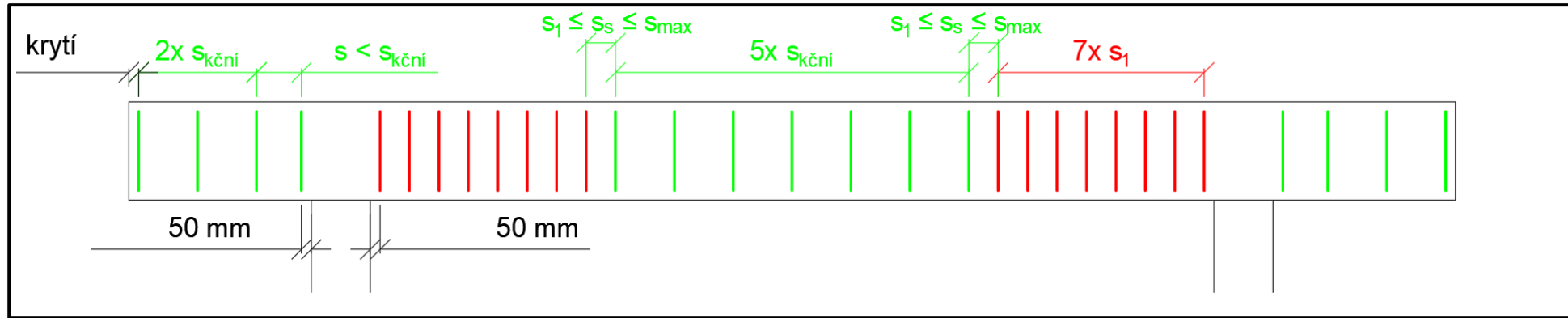
Rozmístění všech třmínek

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 třmínek s_s nám vyjde z geometrie.



Teorie vs Praxe



Domácí úkol – shrnutí

Domácí úkol – shrnutí

V rámci domácího úkolu musíme:

- posoudit **tlačenou diagonálu** trámu **T1**,
- navrhnout a posoudit **návrhové** třmínky trámu **T1**,
- navrhnout **konstrukční** třmínky trámu **T1**,
- **naskicovat rozdělení** třmínek v trámu **T1**,

- posoudit **tlačenou diagonálu** trámu **T2**,
- navrhnout a posoudit **návrhové** třmínky trámu **T2**,
- navrhnout **konstrukční** třmínky trámu **T2**,
- **naskicovat rozdělení** třmínek v trámu **T2**.

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.

Děkuji také všem, kteří si prezentaci pročetli až do konce, a [v neposlední řadě, děkuji divákům v poslední řadě.](#)