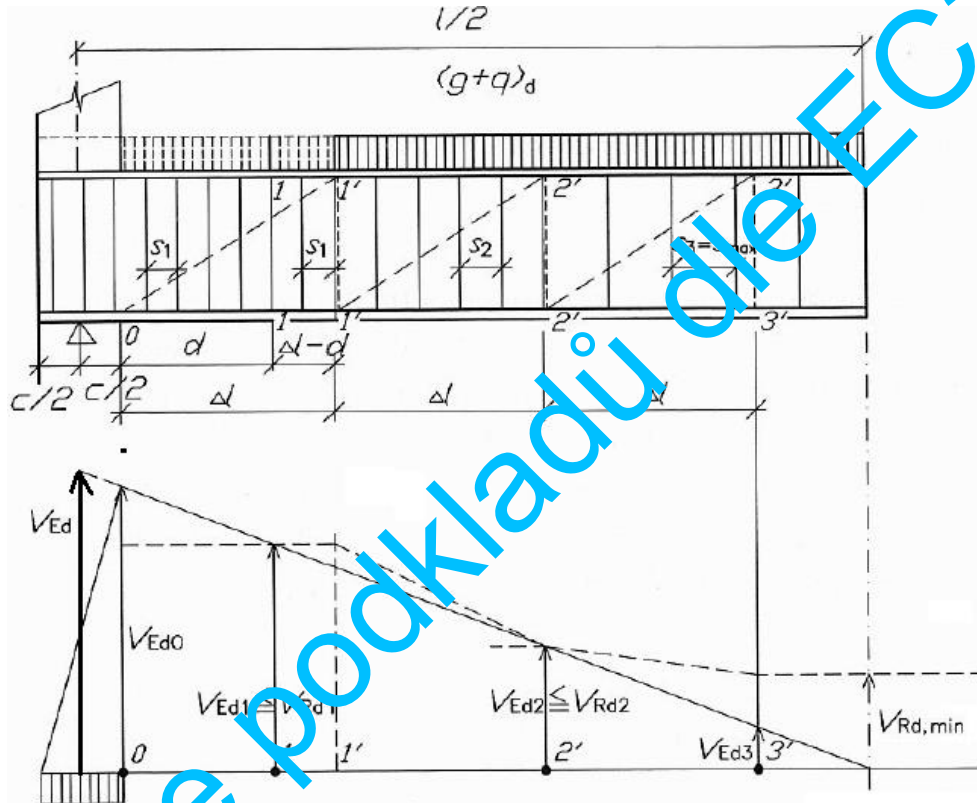


## 7. cvičení – návrh a posouzení smykové výztuže trámu

- Výstupem domácího cvičení bude **návrh profilů a roztečí třmínků v trámech T1 a T2**.
- Pro návrh budeme jako výchozí hodnotu  $V_{Ed}$  uvažovat **největší hodnotu** smykové síly na trámu spočtenou ve 4. cvičení.
- Vzhledem k průběhu posouvající síly na nosníku je jasné, že **není nutné navrhovat v celé konstrukci třmínky na nejvyšší hodnotu posouvající síly** – rozteče mohou být odstupňovány, jak ukazuje obrázek:



### Únosnost tlačené diagonály

- Prvním krokem je ověření únosnosti tlačené diagonály. Pro všechny průřezy trámu musí platit podmínka spolehlivosti:

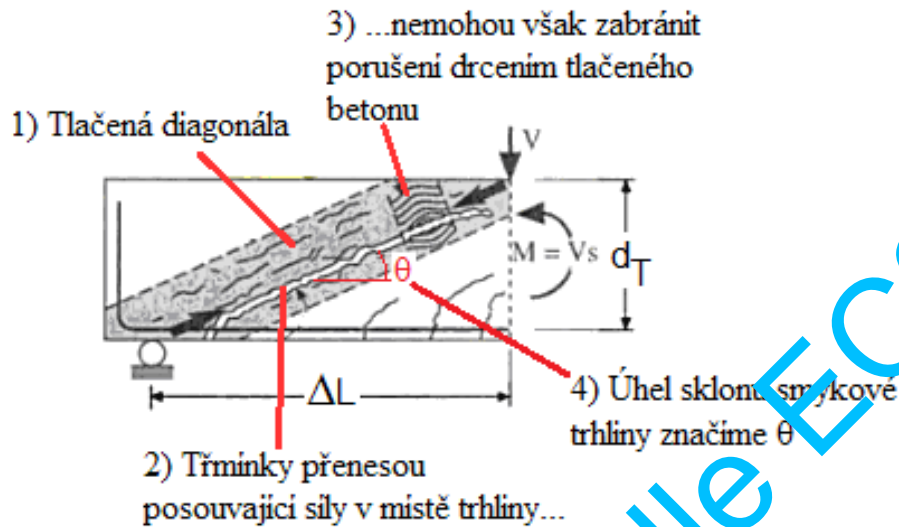
$$|V_{Ed}| \leq V_{Rd,max}$$

kd.  $V_{Ed}$  je hodnota posouvající síly od návrhového zatížení (ve cvičení kontrolujte pro největší posouvající sílu na nosníku),

$V_{Rd,max}$  únosnost tlačené diagonály.

- Pokud by tato podmínka nevyhověla, **nelze sebevětším množstvím smykové výztuže zajistit přenesení posouvajících sil**. K poškození prvku by došlo drcením betonu v tlačené diagonále. V případě nesplnění podmínky spolehlivosti je třeba zvětšit průřez trámu.

- Pokud to bude nutné, zvětšete průřez (obvykle je vhodné zvětšení šířky), ale už nepře počítávejte ohybovou výztuž – větší trám by vyhověl i s dříve navrženou výztuží.



- Únosnost tlačené diagonály spočteme podle vztahu:

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

kde  $v = 0,6 \left( 1 - \frac{f_{ck}}{250} \right)$  je součinitel vyjadřující vliv přidavných namáhání na pevnost betonu,

$b$  je šířka trámu,

$z$  rameno vnitřních sil v daném průřezu (převzeme z posouzení ohybu),

$\theta$  úhel sklonu smykových trhlin (čti [théta]),

ve cvičeních uvažujte  $\cot \theta = 1,2$  až  $1,5$ ; podrobněji na přednáškách a v dalších kurzech.

## Návrh třmínek

- Dále budeme postupovat takto:

- V oblasti velké posouvající síly (u podpor) navrhne třmínky **výpočtem** podle smykové síly („*teoretické*“ třmínky).
- V oblasti malé posouvající síly (střed nosníku) navrhne třmínky z **konstrukčních zásad** (*konstrukční* třmínky).

Podle výsledků se **rozhodneme**, zda má smysl speciálně navrhovat třmínky v mezilehlé oblasti (ve cvičení výjimečně, obvykle budou navrženy pouze dvě varianty třmínek – dvě hodnoty vzdáleností, případně pouze jedna vzdálenost po celé délce prvku).

### 1. „Návrhové“ třmínky:

- Největší sílu pro návrh třmínek  $V_{Ed,1}$  uvažujeme **ve vzdálenosti  $d$**  (staticky účinná výška trámu) za lícem přímé podpory<sup>1</sup> (hodnotu získáme pomocí podobnosti trojúhelníků).
- Profil třmínek jsme odhadli již při výpočtu ohybové výztuže. Budeme uvažovat dvoustřížné třmínky ( $n = 2$ ). Spočteme průřezovou **plochu jednoho třmínku**:

$$A_{sw} = n \cdot \frac{\pi \cdot \phi_t^2}{4}$$

- **Potřebnou osovou vzdálenost třmínek  $s_1$**  stanovíme z podmínky:

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

- Zároveň musí být splněny **konstrukční zásady** pro maximální vzdálenost třmínek:

$$s \leq \min(0,75 \cdot d; 400 \text{ mm})$$

- **Skutečné vzdálenosti** třmínek  $s$  volíme obvykle v násobcích 10 mm. Nenavrhujte rozsáhlejší oblasti se vzdáleností třmínek  $s$  menší než 100 mm  $\Rightarrow$  v takovém případě lépe zvětšit profil třmínku nebo použít lokálně třmínky čtyřstrážné.

- **Návrh bude zapsán** ve tvaru: „třmínek dvoustřížný  $\phi \dots$  mm à .... mm“, tedy např.:

Návrh: třmínek dvoustřížný  $\phi$  8 mm à 150 mm

- **Posouzení třmínek** se provede podle vztahu (musí vyjít, pokud jste neudělali chybu):

$$V_{Rd,s1} = \frac{A_{sw} \cdot f_{yd}}{s_1} \cdot z \cdot \cot \theta \geq V_{Ed,1}$$

- Je potřeba ještě provést **kontrolu stupně vyztužení** – stejně jako u ohybové výztuže musí být dodrženo určité minimální a maximální procento vyztužení.

- Stupeň vyztužení smykovou výztuží našeho trámu je:

$$\rho_{sw} = \frac{A_{sw}}{b \cdot s_1}$$

- Pro zajištění dostatečného přetvoření třmínek na mezi únosnosti (ocel za mezi kluzu) je nutné, aby stupeň vyztužení byl menší než určitá mezní hodnota (uvažujte  $f_{ywd} = f_{yd}$ ):

$$\rho_{sw} \leq \rho_{sw,max} = \frac{0,5 \cdot v \cdot f_{cd}}{f_{ywd}}$$

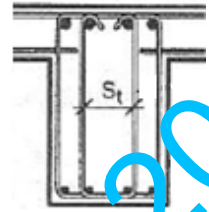
- Z hlediska minimálního smykového vyztužení musí platit:

$$\rho_{sw} \geq \rho_{sw,min} = \frac{0,08 \cdot \sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}}$$

<sup>1</sup> To lze provést pro prvky přímo podepřené (stěnou, sloupem). U prvků nepřímo podepřených (trámem) navrhujeme na sílu v teoretické podpoře.

- Pokud třmínky nevyhoví nebo nevyjde kontrola stupně vyztužení, je potřeba návrh upravit - menší vzdálenosti, větší profil, v krajním případě možno navrhnout víceštížné třmínky (ve cvičení pravděpodobně nebude nutné).
- U širokých trámů je ještě nutno zkontrolovat **osovou vzdálenost jednotlivých větví třmínků**  $s_t$ :

$$s_t \leq s_{t,max} = \min(0,75 \cdot d; 600 \text{ mm})$$



Není-li podmínka dodržena, musí se navrhnout třmínky víceštížné (na obrázku je čtyřštížný třmínek).

- Návrhové třmínky budou **zasahovat minimálně do vzdálenosti**  $\Delta l = z \cdot \cot \theta$  za líc podpory (aby pokryly celou délku teoretické smykové trhliny směřující do líce podpory)

## 2. Konstrukční třmínky:

- Ve střední části trámu (a ve cvičení zřejmě i u konzoly trámu TL) navrhujeme tzv. *konstrukční* třmínky. Použijeme stejný profil i střížnost třmínků - stejné  $A_{sw}$ .
- Vzdálenosti třmínků navrhujeme tak, aby platila konstrukční podmínka:

$$s_{kon} \leq s_{max} = \min(0,75 \cdot a; 400 \text{ mm})$$

- Opět provedeme kontrolu stupně vyztužení – pokud není dodrženo, patřičně zmenšíme hodnotu vzdálenosti třmínků.
- Stanovíme hodnotu posouvající síly, pro kterou postačují konstrukční třmínky:

$$V_{Rd, kon} = \frac{A_{sw} \cdot f_{yd}}{s_{kon}} \cdot z \cdot \cot \theta$$

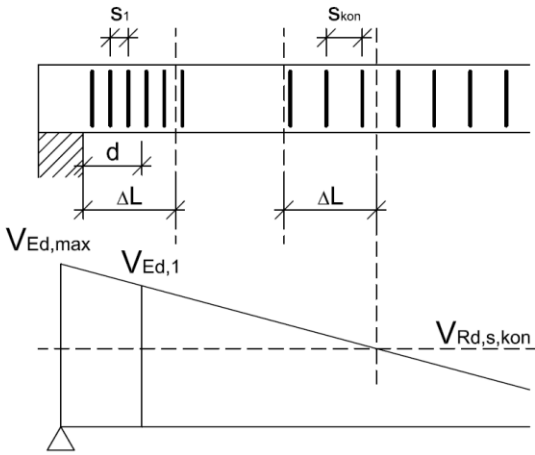
- Oblast konstrukčních třmínků bude sahát maximálně do vzdálenosti  $\Delta l = z \cdot \cot \theta$  „před“ sílu  $V_{Rd, s, kon}$  (vysvětlení na přednášce, viz též obr. níže)

## 3. Uspořádání třmínků:

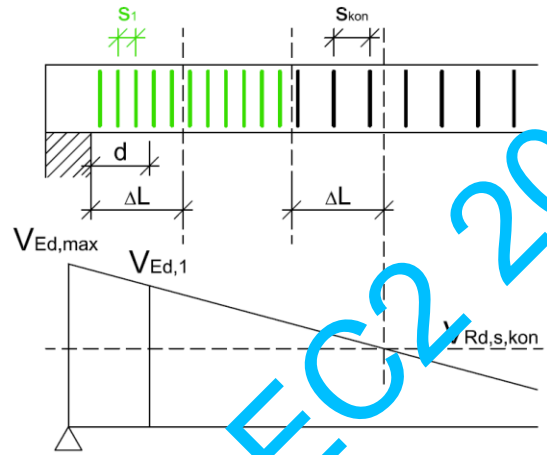
- Zde je nutno se **zamyslet**, nelze jednoznačně říci, jak má řešení vypadat. Řešení musí být „**rozumné**“ – nemá smysl v různých oblastech používat rozteče lišící se pouze o pár desítek [mm]
- Pokud se oblasti s návrhovými a konstrukčními třmínky nepřekrývají, je třeba zvolit vhodnou variantu řešení k vykrytí posouvajících sil v nosníku:

- a) oblast návrhových třmínků vzdálenosti  $s_1$  rozšíříme (dotáhneme ke konstrukčním)
- b) zhustíme konstrukční třmínky  $\Rightarrow$  vyšší únosnost  $V_{Rd, s, kon} \Rightarrow$  rozšíření oblasti konstrukčních třmínků (dosáhne až k oblasti návrhových třmínků)
- c) pro hodnotu síly  $V_{Ed, 2}$  ve vzdálenosti  $\Delta l$  od posledního z „návrhových“ třmínků navrhujeme novou vzdálenost třmínků  $s_2$  ( $s_1 < s_2 < s_{kon}$ ) k vykrytí posouvajících sil v mezilehlé oblasti

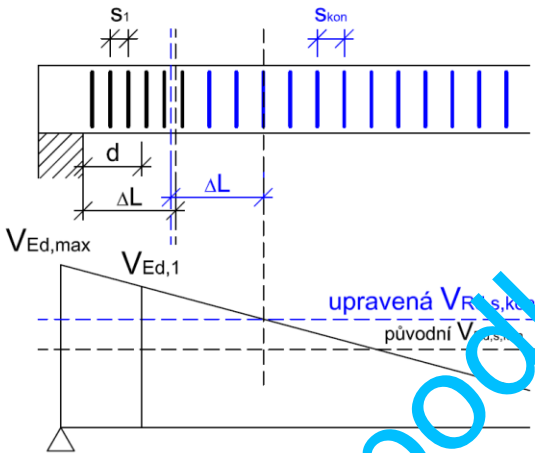
Výchozí stav:



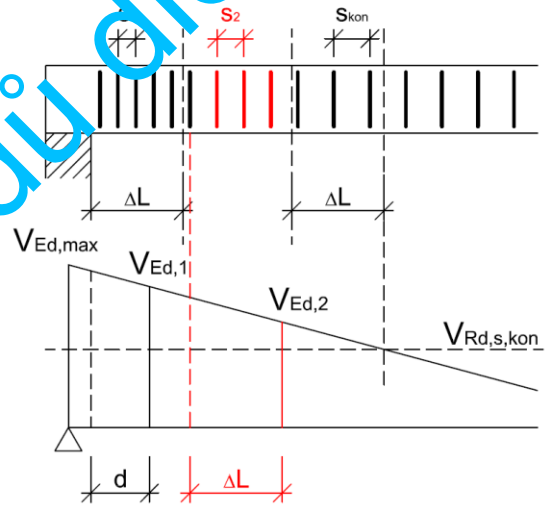
a) rozšíření návrhových třmínků



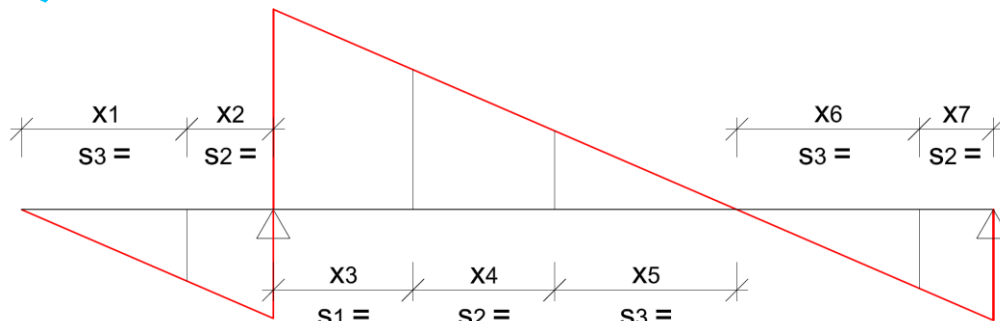
b) úprava konstrukčních třmínků



c) mezilehlá oblast



- Ve cvičení třmínky neavrhujte do oblasti podpor (zděné podporující stěny jsou opatřeny věnci), první třmínky umístěte cca 30 - 50 mm za líc podpory a vzdálenost první a další řady třmínků případně upravte (zkratíte).
- Na konci statického výpočtu nakreslete schematický obrázek s rozmístěním a konkrétními kótami oblastí třmínků - např.:



Stará verze podle EC2 2010