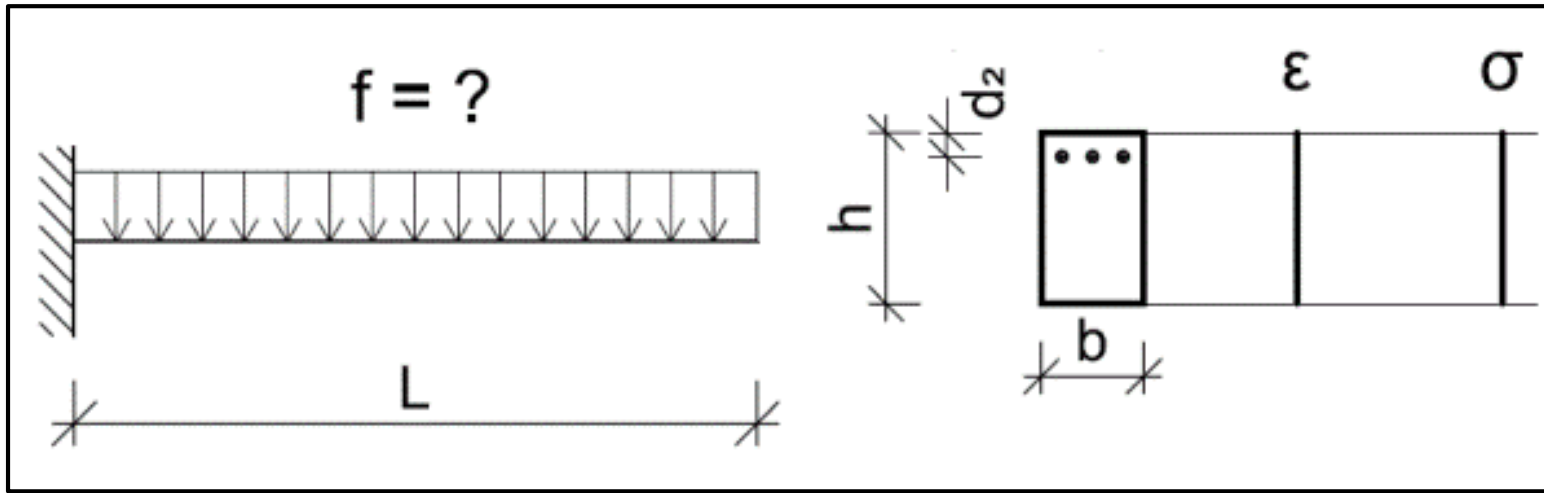


# NNKB – 7. cvičení

Smyk – návrh výztuže a posouzení průřezu

## Zadání



- $L = 2 \text{ m}$
- $h = 400 \text{ mm}$
- $b = 200 \text{ mm}$
- $d_2 = 30 \text{ mm}$
- $A_s = 600 \text{ mm}^2$
- $f_{cd} = 30 \text{ MPa}$
- $f_{yd} = 400 \text{ MPa}$

Stanovte přímým výpočtem moment únosnosti  $\mathbf{M}_{Rd}$  zadaného průřezu.

Nakreslete do obrázku předpokládaný průběh  $\epsilon$  a  $\sigma$  v MSÚ. Zakreslete síly  $\mathbf{F}_s$  a  $\mathbf{F}_c$  a rameno vnitřních sil  $\mathbf{z}$ .

Stanovte hodnotu maximálního spojitého zatížení  $\mathbf{f}$ , kterým lze prvek zatížit.

# Řešení

- $L = 2 \text{ m}$
- $h = 400 \text{ mm}$
- $b = 200 \text{ mm}$
- $d_2 = 30 \text{ mm}$
- $A_s = 600 \text{ mm}^2$
- $f_{cd} = 30 \text{ MPa}$
- $f_{yd} = 400 \text{ MPa}$

$$0.8 \cdot b \cdot x \cdot f_{cd} = A_s \cdot f_{yd}$$

$$\rightarrow x = (A_s \cdot f_{yd}) / (0.8 \cdot b \cdot f_{cd}) = (600 \cdot 400) / (0.8 \cdot 200 \cdot 30) = 50 \text{ mm}$$

$$M_{Rd} = A_s \cdot f_{yd} \cdot (d - 0.4 \cdot x) = 600 \cdot 400 \cdot (370 - 0.4 \cdot 50) = 84\,000\,000 \text{ Nmm} = 84 \text{ kNm}$$

$$d = h - d_2 = 400 - 30 = 370 \text{ mm}$$

# Řešení

- $L = 2$  m
- $h = 400$  mm
- $b = 200$  mm
- $d_2 = 30$  mm
- $A_s = 600$  mm<sup>2</sup>
- $f_{cd} = 30$  MPa
- $f_{yd} = 400$  MPa

$$0.8 \cdot b \cdot x \cdot f_{cd} = A_s \cdot f_{yd}$$

$$\rightarrow x = (A_s \cdot f_{yd}) / (0.8 \cdot b \cdot f_{cd}) = (600 \cdot 400) / (0.8 \cdot 200 \cdot 30) = 50 \text{ mm}$$

$$M_{Rd} = A_s \cdot f_{yd} \cdot (d - 0.4 \cdot x) = 600 \cdot 400 \cdot (370 - 0.4 \cdot 50) = 84\,000\,000 \text{ Nmm} = 84 \text{ kNm}$$

$$d = h - d_2 = 400 - 30 = 370 \text{ mm}$$

$$M_{Ed} = (1/2) \cdot f \cdot L^2 = 84 \text{ kNm} = M_{Rd}$$

$$(1/2) \cdot f \cdot 2^2 = 84$$

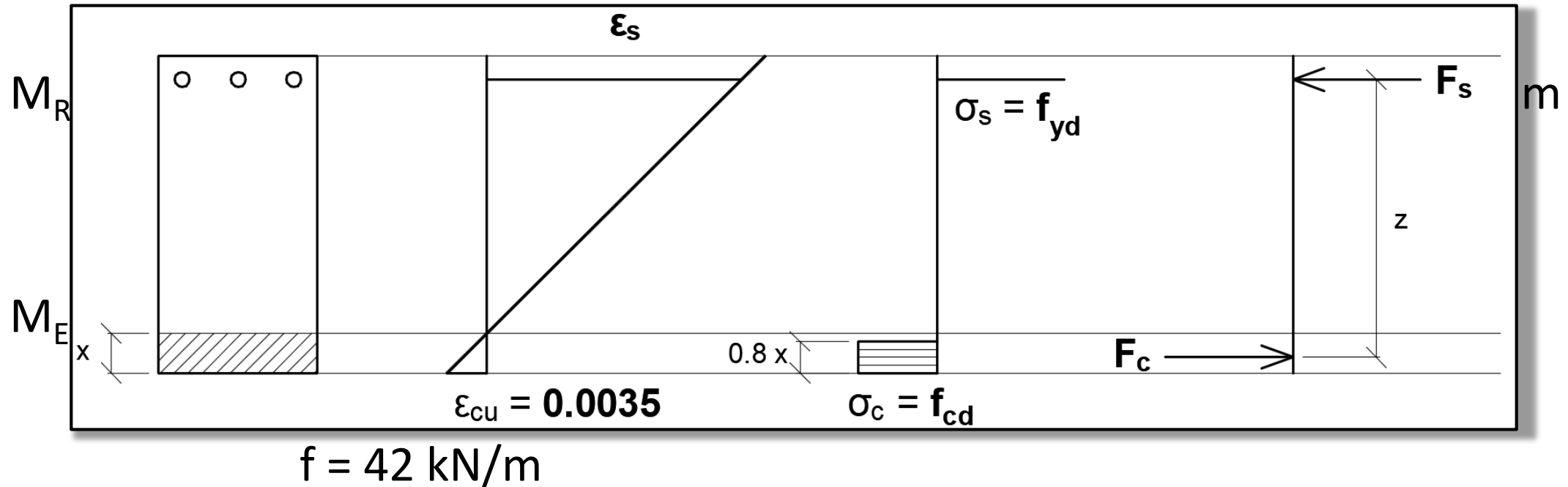
$$f = 42 \text{ kN/m}$$

## Řešení

- $L = 2 \text{ m}$
- $h = 400 \text{ mm}$
- $b = 200 \text{ mm}$
- $d_2 = 30 \text{ mm}$
- $A_s = 600 \text{ mm}^2$
- $f_{cd} = 30 \text{ MPa}$
- $f_{yd} = 400 \text{ MPa}$

$$0.8 \cdot b \cdot x \cdot f_{cd} = A_s \cdot f_{yd}$$

$$\rightarrow x = (A_s \cdot f_{yd}) / (0.8 \cdot b \cdot f_{cd}) = (600 \cdot 400) / (0.8 \cdot 200 \cdot 30) = 50 \text{ mm}$$



# Otázka z přednášky

Definujte rozdíl mezi **tlakovým porušením** a **tahovým porušením** železobetonového ohýbaného prvku (**slovně**, případně do obrázku s popisem).

# Odpověď

## Tlakové porušení

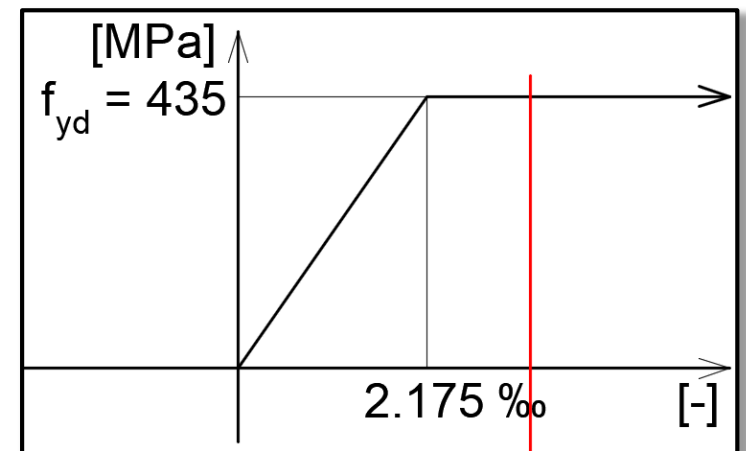
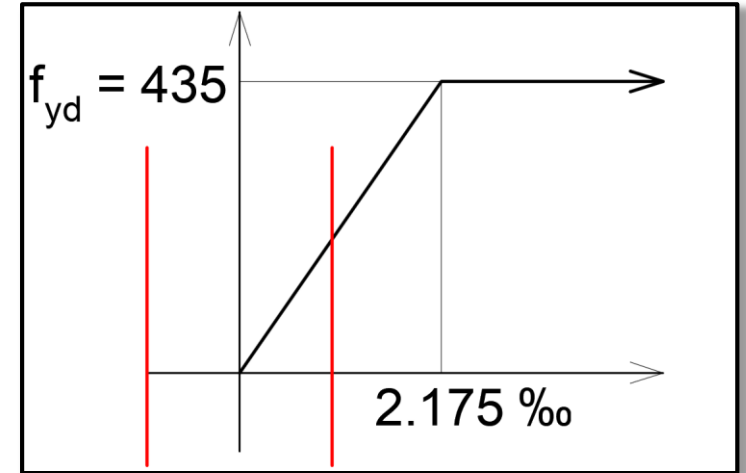
Při porušení průřezu (tj. při dosažení MSÚ)  
**výztuž není za mezí kluzu.**

$$\varepsilon_s < \varepsilon_{sy}$$

## Tahové porušení

Při porušení průřezu (tj. při dosažení MSÚ)  
**výztuž je za mezí kluzu.**

$$\varepsilon_s \geq \varepsilon_{sy}$$

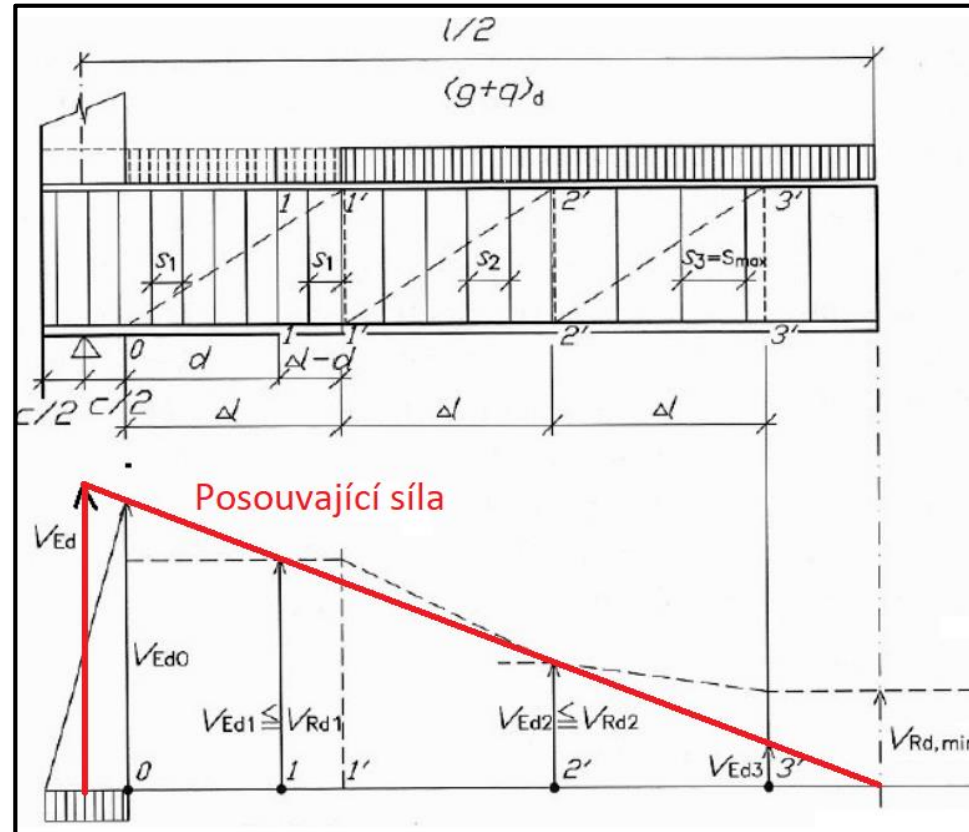


Smyk – návrh výztuže a posouzení průřezu



# Smyková výztuž trámu

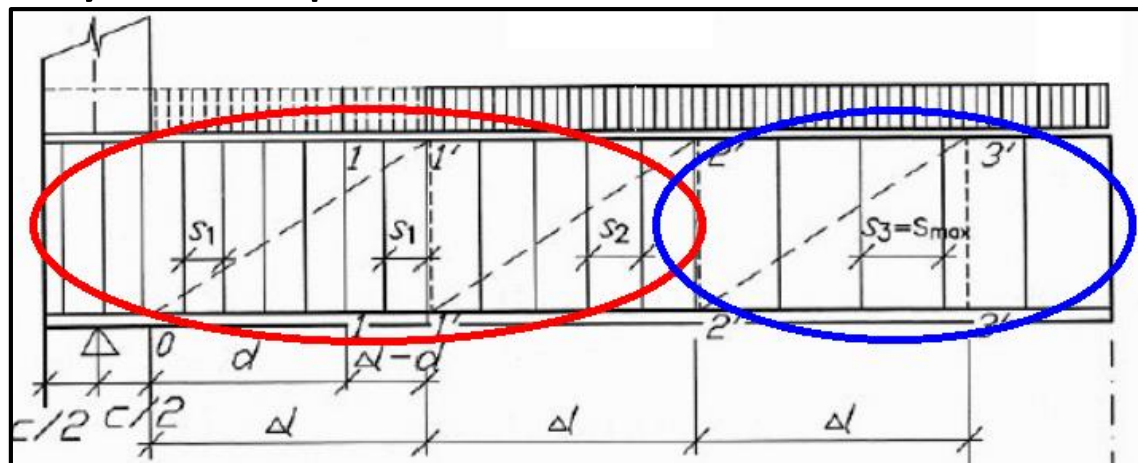
Na trám působí posouvající síla, které je svislá. Pro její přenesení musíme navrhnout svislou, smykovou výztuž – **třmínky**.



# Úkol

Navrhnout smykovou výztuž (**profily** a jejich **vzdálenost**) na trámech T1 a T2.

Vzhledem k tomu, že se posouvající síla mění po délce na nosníku, není nutné navrhovat v celé konstrukci třmínky na nejvyšší hodnotu posouvající síly – rozteče mohou být odstupňované.



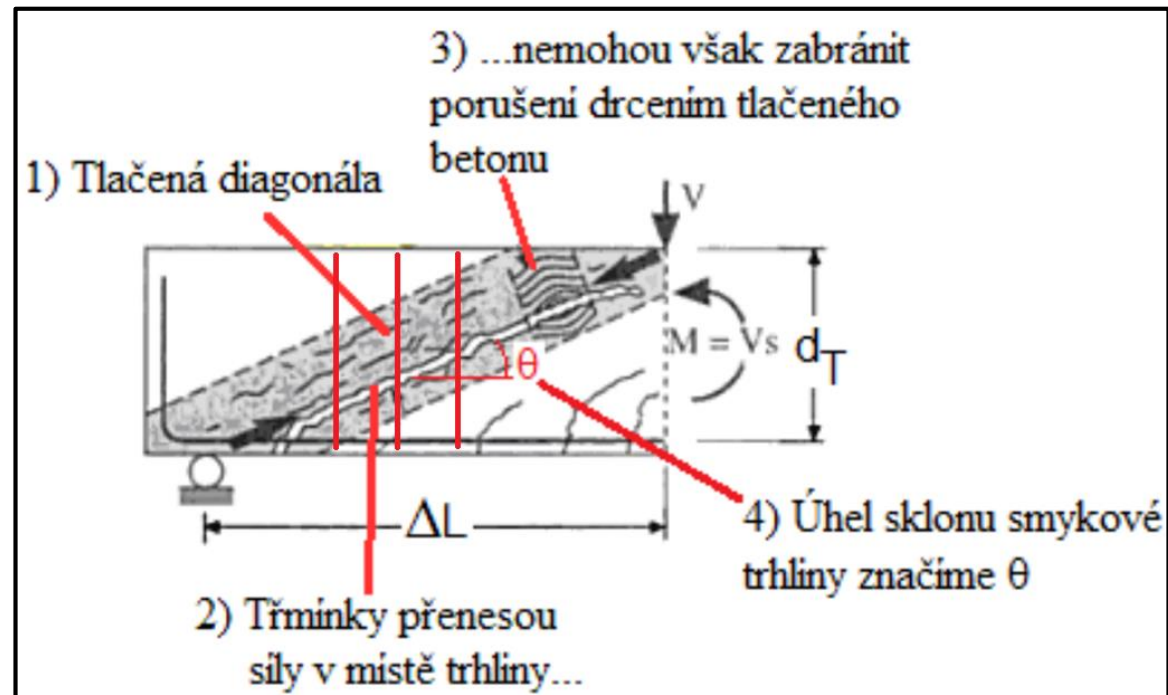
# Postup návrhu a posouzení

- I. Únosnost tlačené diagonály
- II. Návrh a posouzení třmínek
  - 1) Návrhové třmínky
  - 2) Konstrukční třmínky
  - 3) Mezilehlá oblast

Tlačená diagonála

# Tlačená diagonála

Třmínky přenášejí sílu v místě případné trhliny. V **betonu** však také vznikají tlačené diagonály a v místě podpory vzniká největší **tlačená diagonála**.



# Únosnost tlačené diagonály

Únosnost tlačené diagonály se týká pouze betonu (**nesouvisí s výztuží**) a závisí pouze na pevnosti **betonu**, **geometrii** průřezu a **sklonu** diagonály.

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

$$v = 0,6 \left( 1 - \frac{f_{ck}}{250} \right)$$

b – šířka trámu

z – rameno vnitřních sil (z posouzení ohybu)

$\theta$  – úhel sklonu diagonály (odpovídá sklonu smykových trhlin); uvažujte  $\cot \theta = 1.5$

# Ověření tlačené diagonály

Podmínka spolehlivosti pro tlačenou diagonálu musí být vždy splněna.

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

Pokud by podmínka nevyhověla, k poškození prvku by došlo drcením betonu v tlačené diagonále a smyková výztuž by nijak nepomohla.

V případě nesplnění podmínky spolehlivosti zvětšete šířku průřezu, ale nepřepočítávejte ohybovou výztuž (větší trám by vyhověl i s dříve navrženou výztuží).

Třmínky

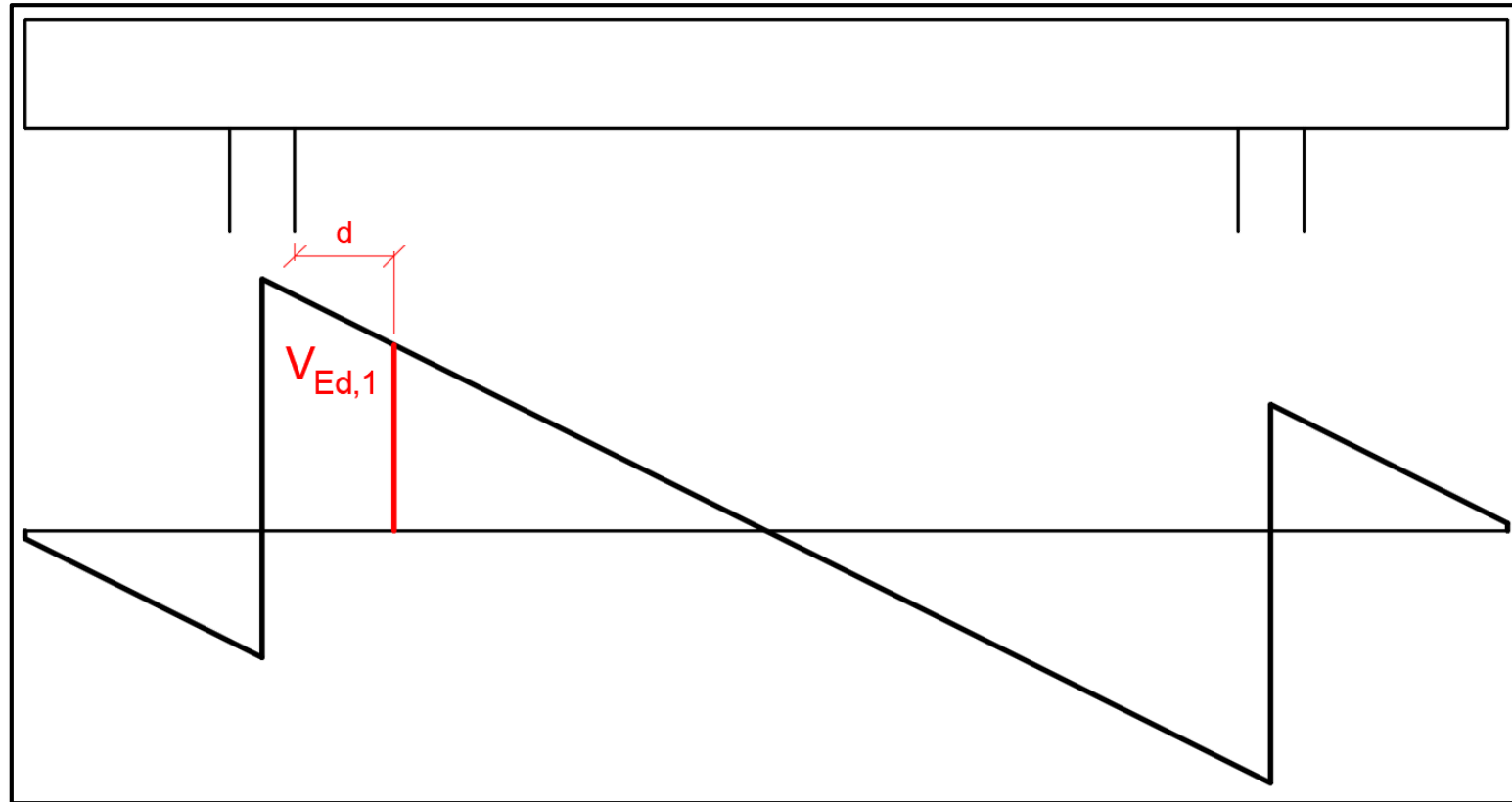


# Návrh třmíneků

- 1) V oblasti velké posouvající síly (u podpor) navrhne ***návrhové třmínky*** výpočtem podle posouvající síly.
- 2) V oblasti malé posouvající síly (střed nosníku) navrhne ***konstrukční třmínky*** z konstrukčních zásad.
- 3) Podle výsledků se rozhodneme, zda v mezilehlé oblasti navrhne další ***návrhové třmínky*** nebo ponecháme stejné jako v první oblasti.

# Návrhové třmínky

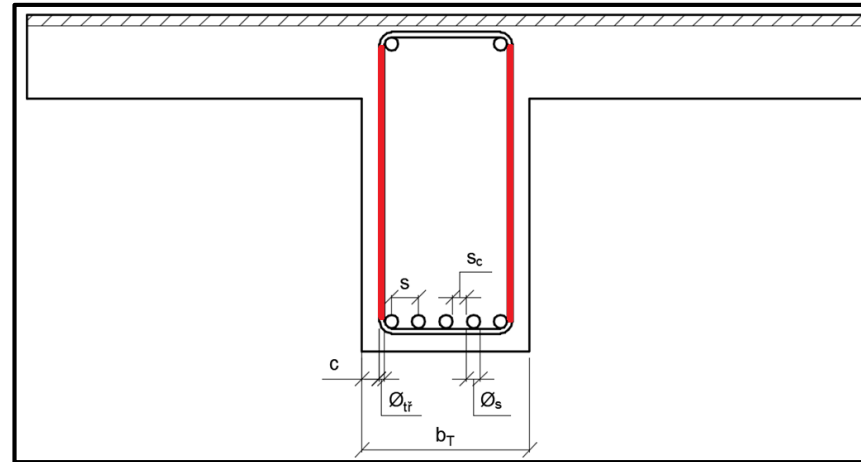
Jako největší posouvající sílu pro návrh třmínků uvažujeme sílu  $V_{Ed,1}$ , která leží ve vzdálenosti  $d$  za lícem přímé podpory.



# Průřezová plocha třmínků

Profil třmínků  $\varnothing_t$  jsme odhadli již při výpočtu ohybové výztuže.

Třmínky uvažujeme **dvoustřížné**  
( $n = 2$ ).



Průřezová plocha jednoho třmínku je pak

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

# Návrh rozteče třmínků

Posouzení třmínků se provádí podle následujícího vztahu.

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

Ze vztahu pro posouzení vychází vztah pro rozteč třmínků.

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

Vzdálenost třmínků  $s$  volíme v násobcích 5 mm a návrh zapisujeme ve tvaru:  
**Třmínek dvoustřížný  $\emptyset_t$  X po Y mm.**

# Konstrukční zásady

Splněny musí být také konstrukční zásady

- pro maximální vzdálenost třmínků

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

- pro stupeň vyztužení

$$\rho_{sw,min} \leq \rho_{sw} \leq \rho_{sw,max}$$
$$\frac{0,08\sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} \leq \frac{A_{sw}}{bs_1} \leq \frac{0,5\nu f_{cd}}{f_{yd}}$$

# Posouzení navržených třmínků

Únosnost třmínků musí být vyšší než působící posouvající síly.

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

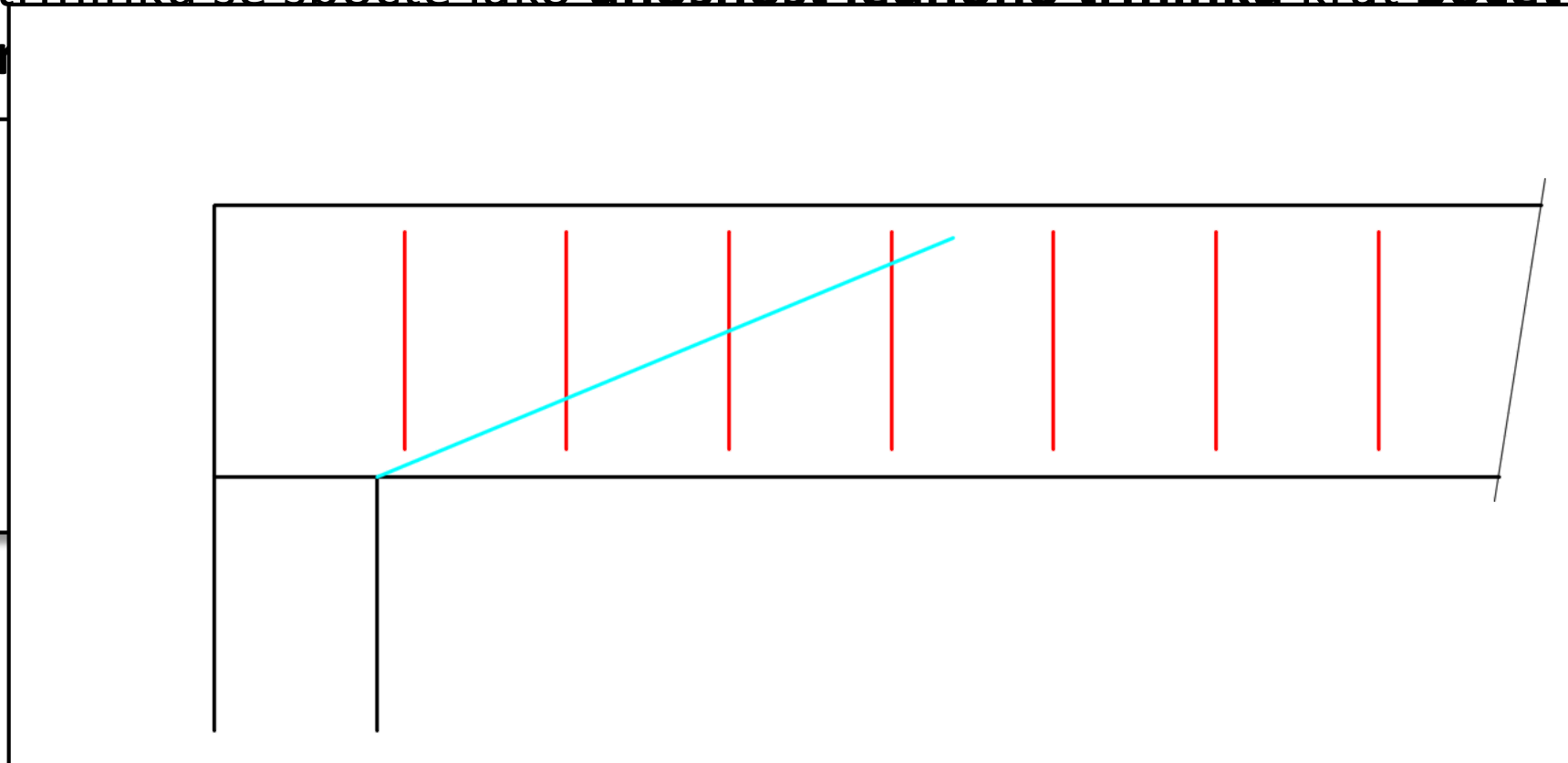
$$V_{Rd,1} = \underbrace{A_{sw} f_{yd}}_{F_{tř}} \frac{z \cot \theta}{\underbrace{s_1}_{n_{tř}}} \geq V_{Ed,1}$$

# Posouzení navržených třmíneků

Únosnost třmíneků musí být vyšší než působící posouvající síly.

Únosnost třmíneků se spočte jako **únosnost jednoho třmínku** krát **počet třmíneků** pr

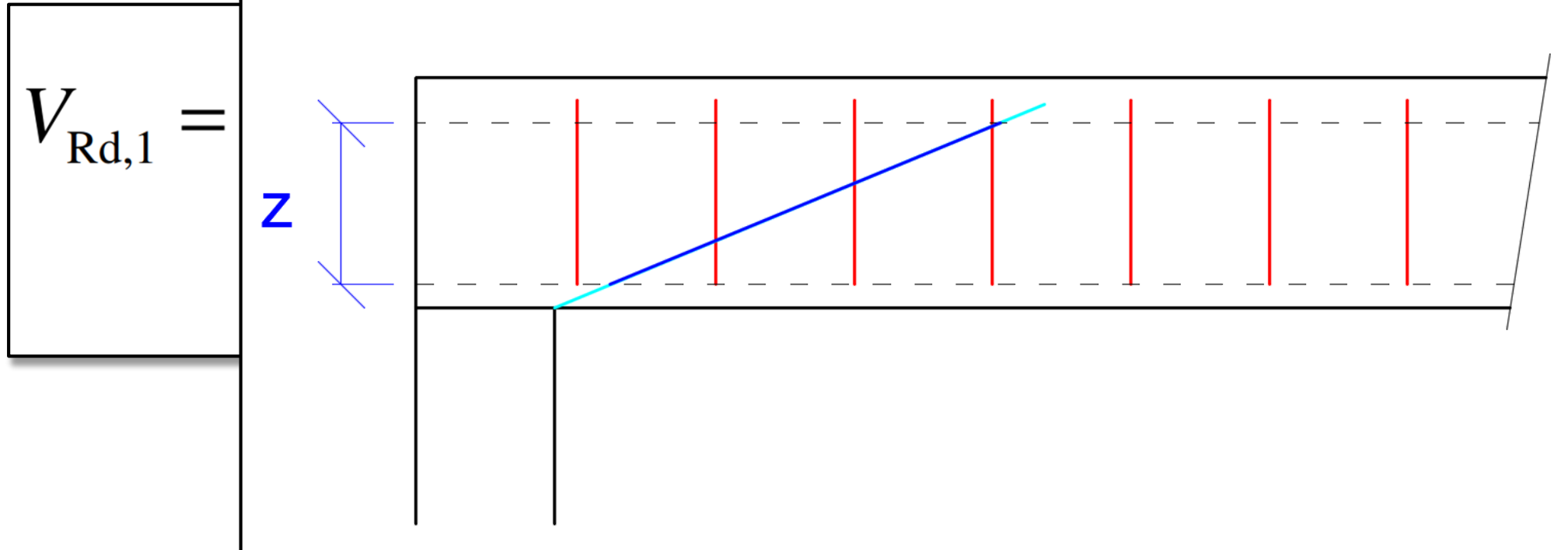
$$V_{Rd,1} =$$



# Posouzení navržených třmínků

Únosnost třmínků musí být vyšší než působící posouvající síly.

Únosnost třmínků se spočte jako **únosnost jednoho třmínku** krát **počet třmínků** pr

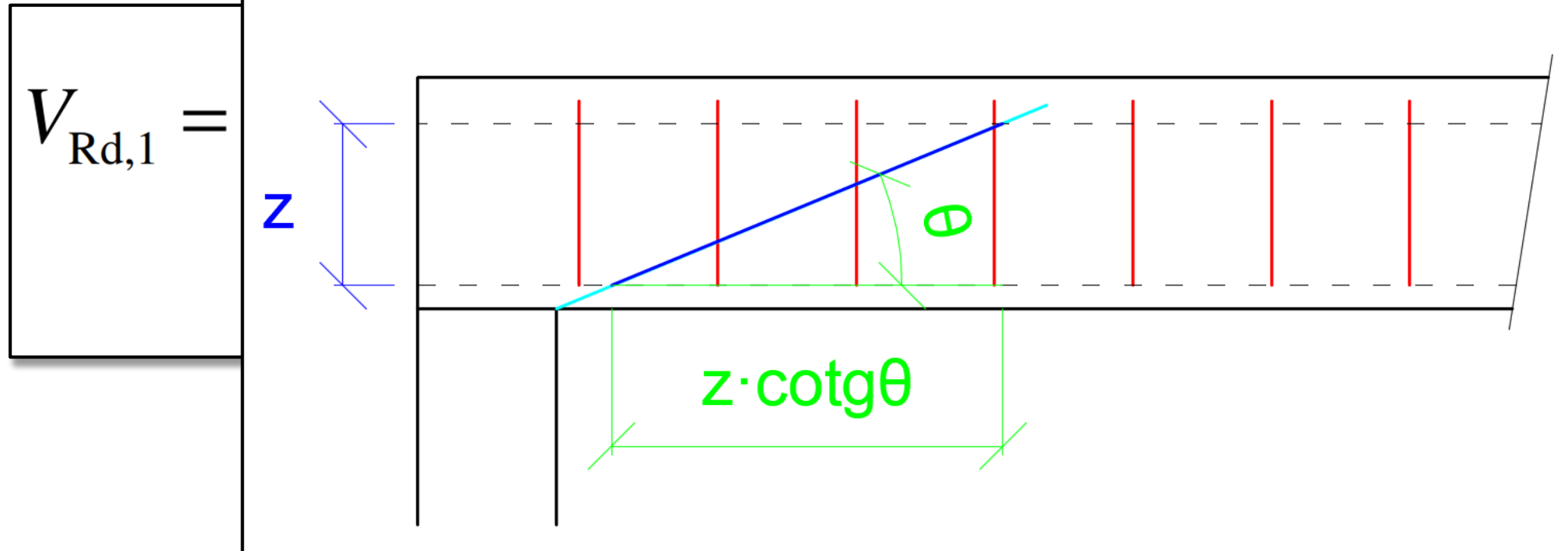




# Posouzení navržených třmínků

Únosnost třmínků musí být vyšší než působící posouvající síly.

Únosnost třmínků se spočte jako **únosnost jednoho třmínku** krát **počet třmínků** pr

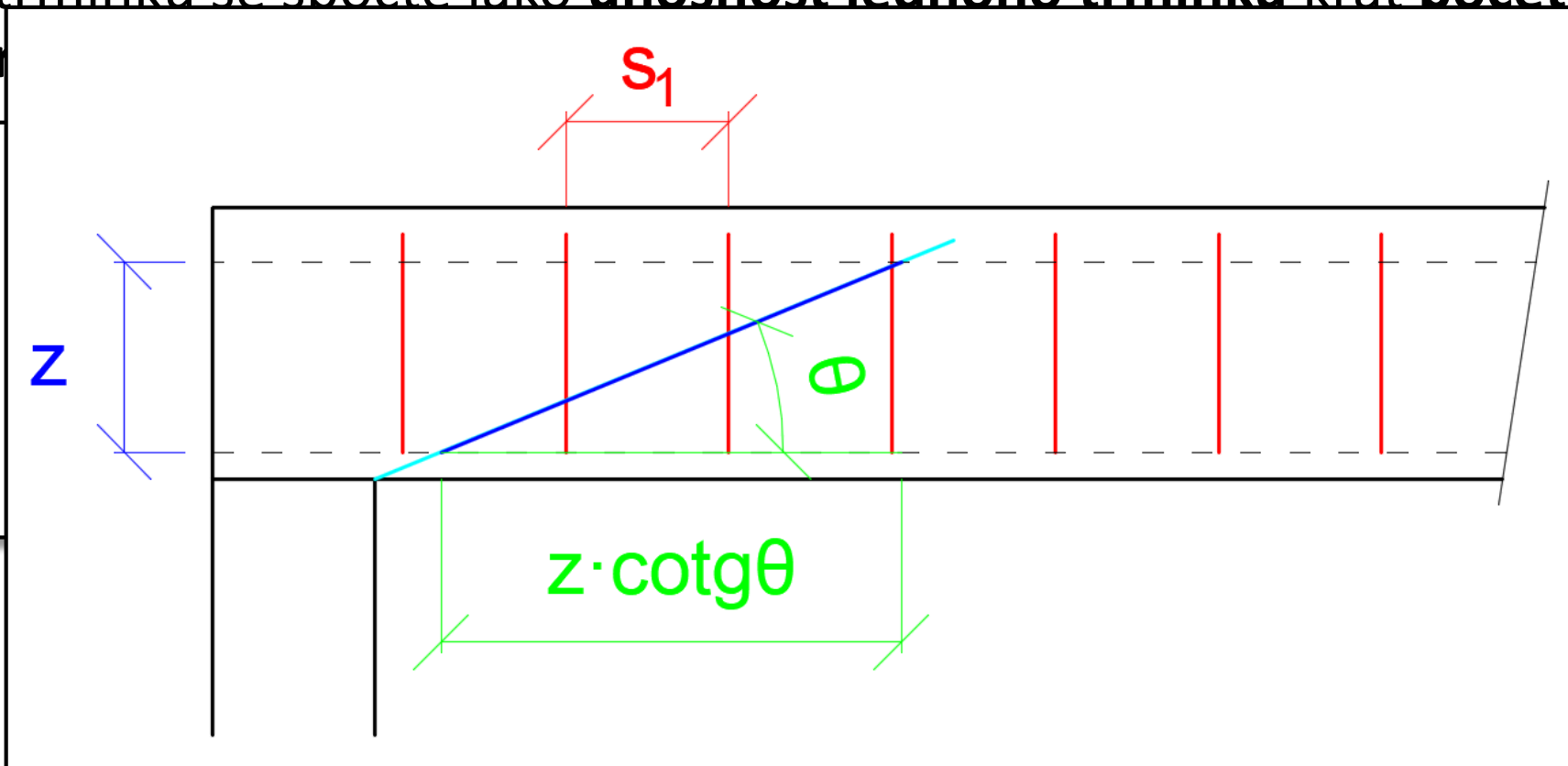


# Posouzení navržených třmínků

Únosnost třmínků musí být vyšší než působící posouvající síly.

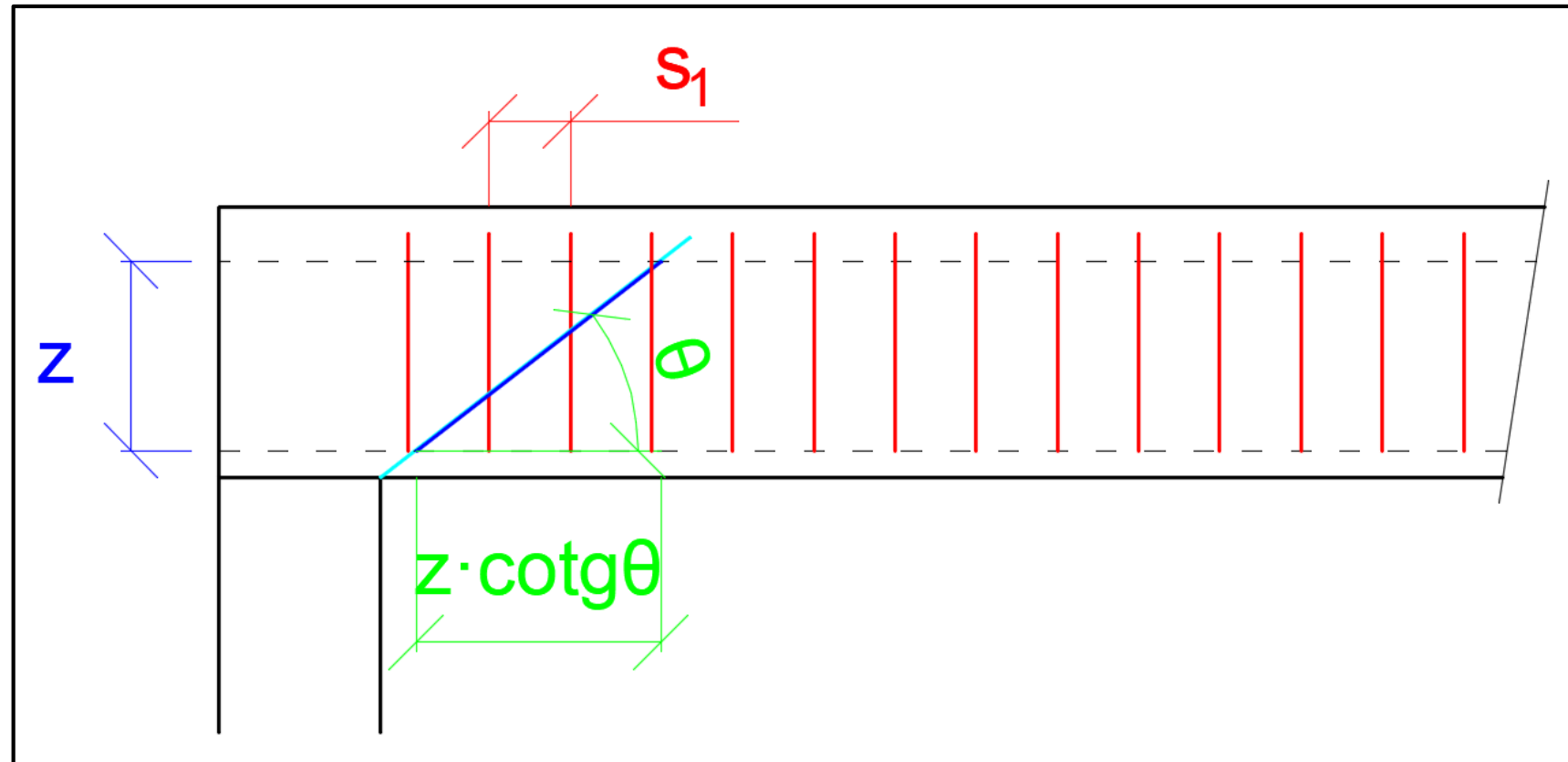
Únosnost třmínků se spočte jako **únosnost jednoho třmínku** krát **počet třmínků** pr

$$V_{Rd,1} =$$



# Sklon trhliny $\theta$

Zvolený sklon trhliny  $\theta$  přímo ovlivňuje rozteč třmínků. Zvolíme-li menší  $\cot\theta$ , pak délka trhliny je kratší a rozteč třmínků musí být menší.

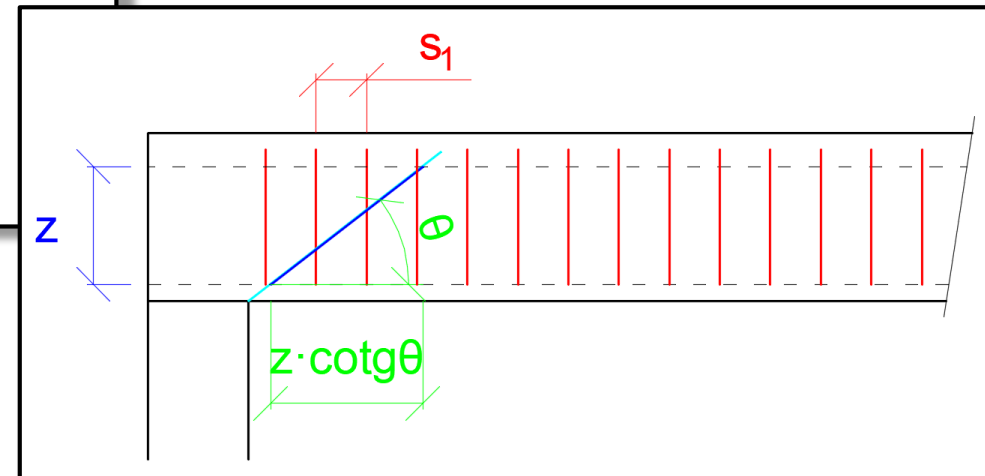


# Posouzení navržených třmínků

Únosnost třmínků musí být vyšší než působící posouvající síly.

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

$$V_{Rd,1} = \underbrace{A_{sw} f_{yd}}_{F_{tř}} \frac{z \cot \theta}{\underbrace{s_1}_{n_{tř}}} \geq V_{Ed,1}$$



# Konstrukční třmínky

# Konstrukční třmínky

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

Použijeme stejné profily a střižnost jako pro návrhové třmínky → **stejně  $A_{sw}$** .

**Vzdálenost třmínků** navrhujeme tak, aby platilo

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

a provedeme **kontrolu stupně vyztužení**. (Pokud nevyhoví upravíme hodnotu vzdálenosti třmínků.)

# Únosnost konstrukčních třmínků

Stanovíme únosnost konstrukčních třmínků (tj. hodnotu posouvající síly, pro kterou postačují konstrukční třmínky)

$$V_{Rd,min} = A_{sw} f_{yd} \frac{z \cot(\theta)}{s_{kční}}$$

# Rozmístění třmínek



# Rozmístění třmíneků – návrhové a konstrukční

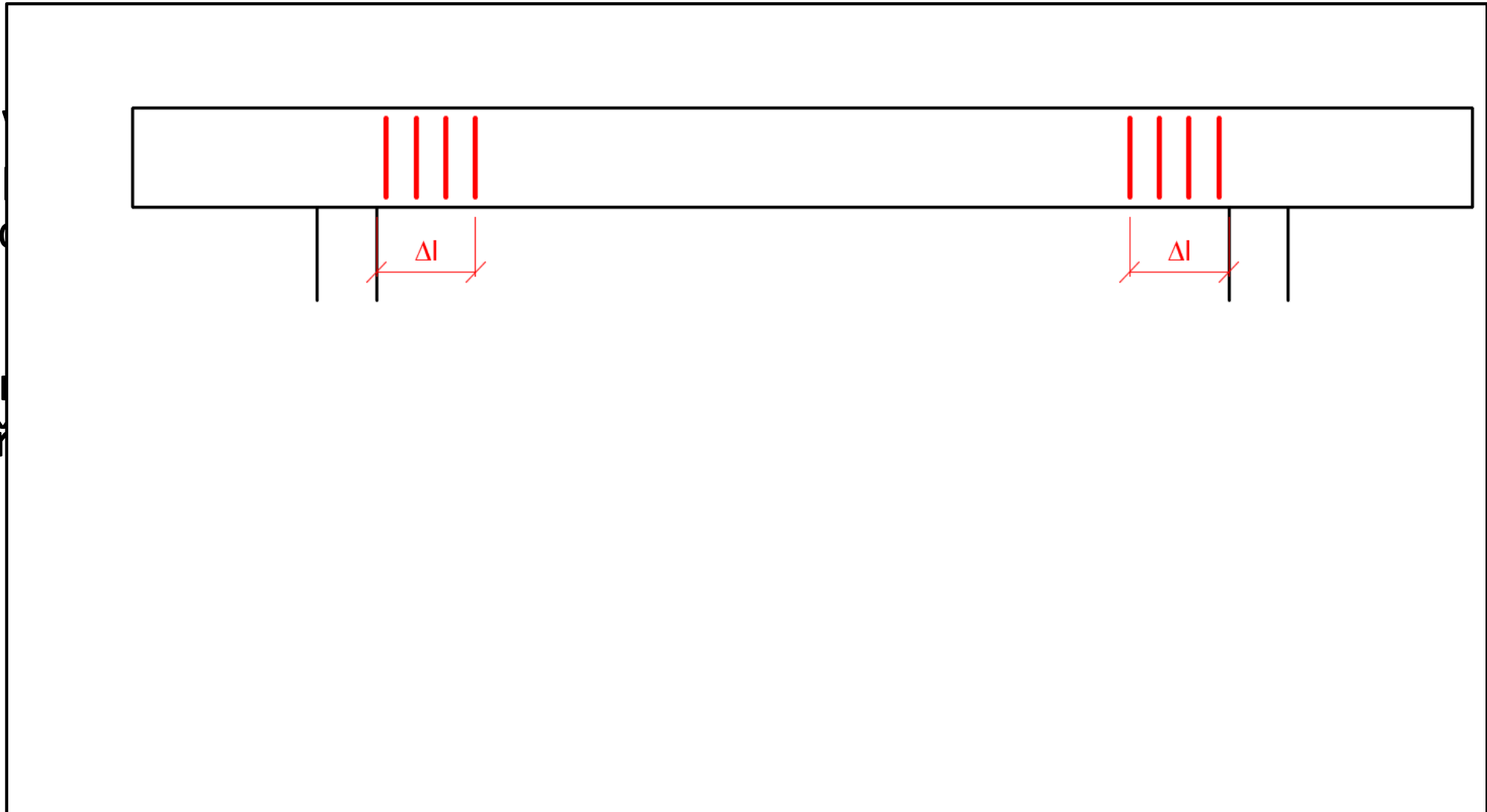
**Návrhové třmínky musí zasahovat minimálně** do vzdálenosti  $\Delta l = z \cdot \cot \theta$  **za líc podpory.** (Aby pokryly celou délku smykové trhliny vycházející z líce podpory.) **Návrhové třmínky mohou zasahovat i dále.**

**Konstrukční třmínky mohou sahat maximálně** do vzdálenosti  $\Delta l = z \cdot \cot \theta$  **„před“ sílu  $V_{Rd,min}$ .**

# Rozmístění třmínek

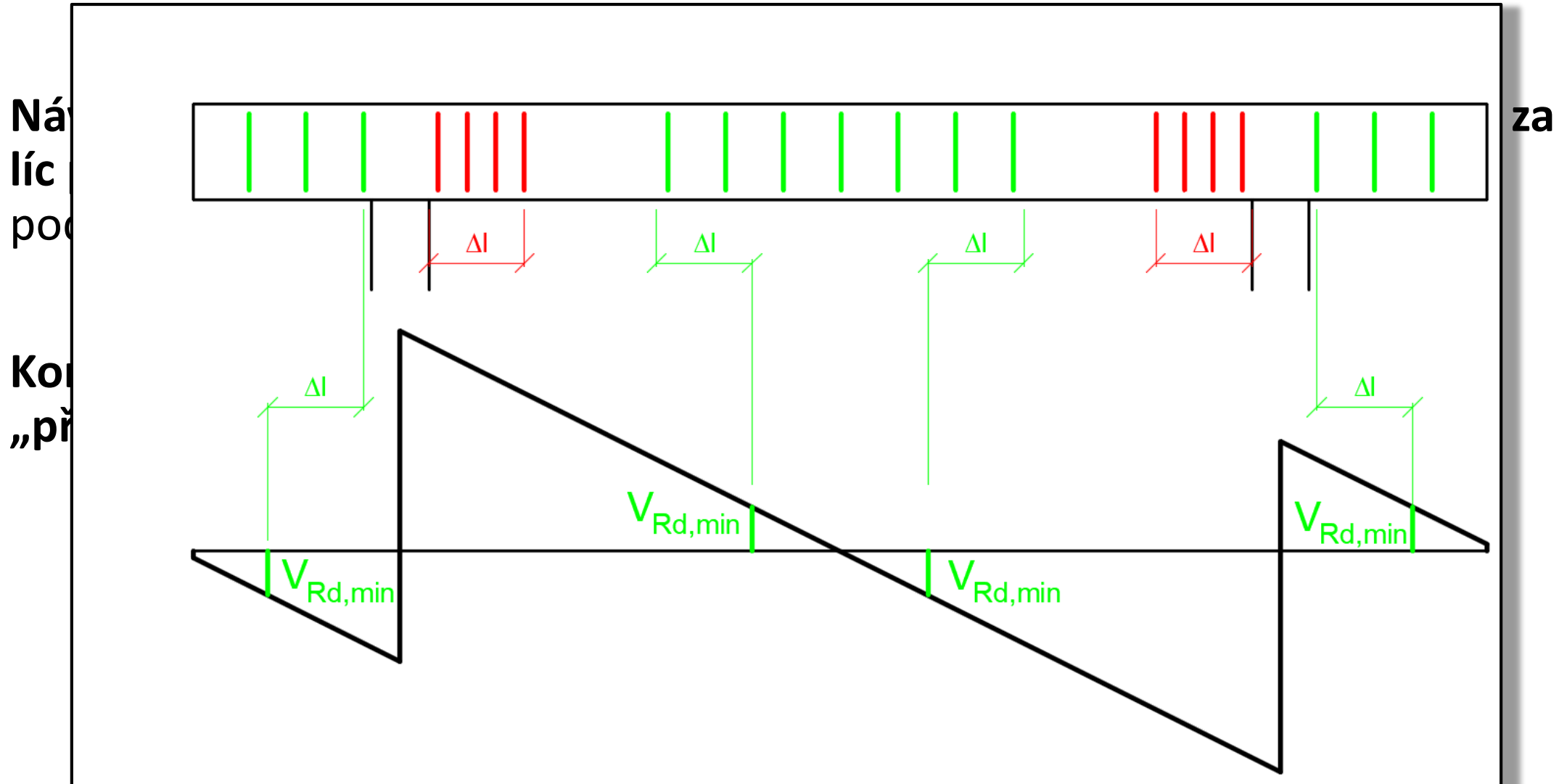
Ná  
líc  
pod

Ko  
„př

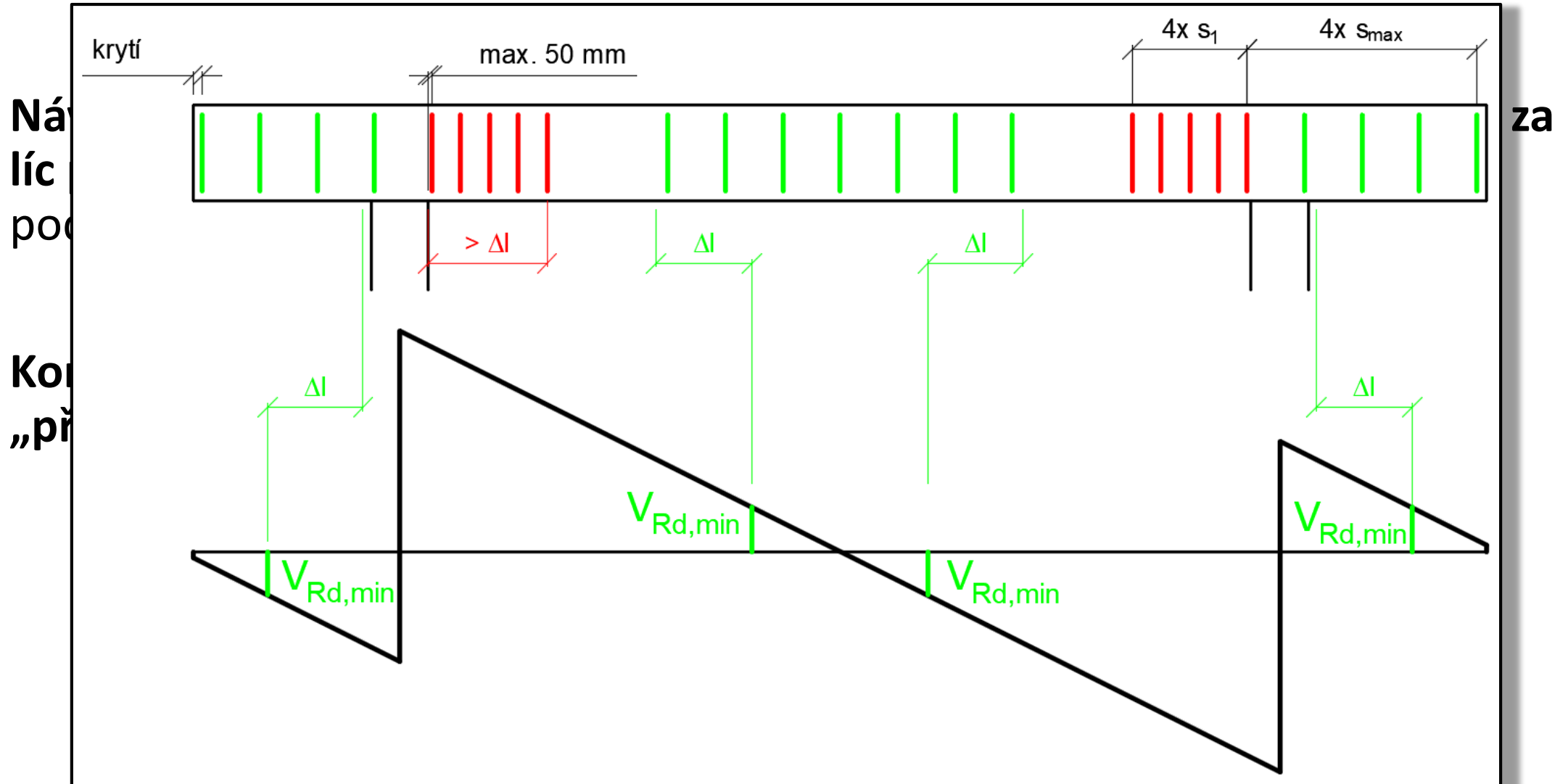


za

## Rozmístění třmínek



# Rozmístění třmíneků



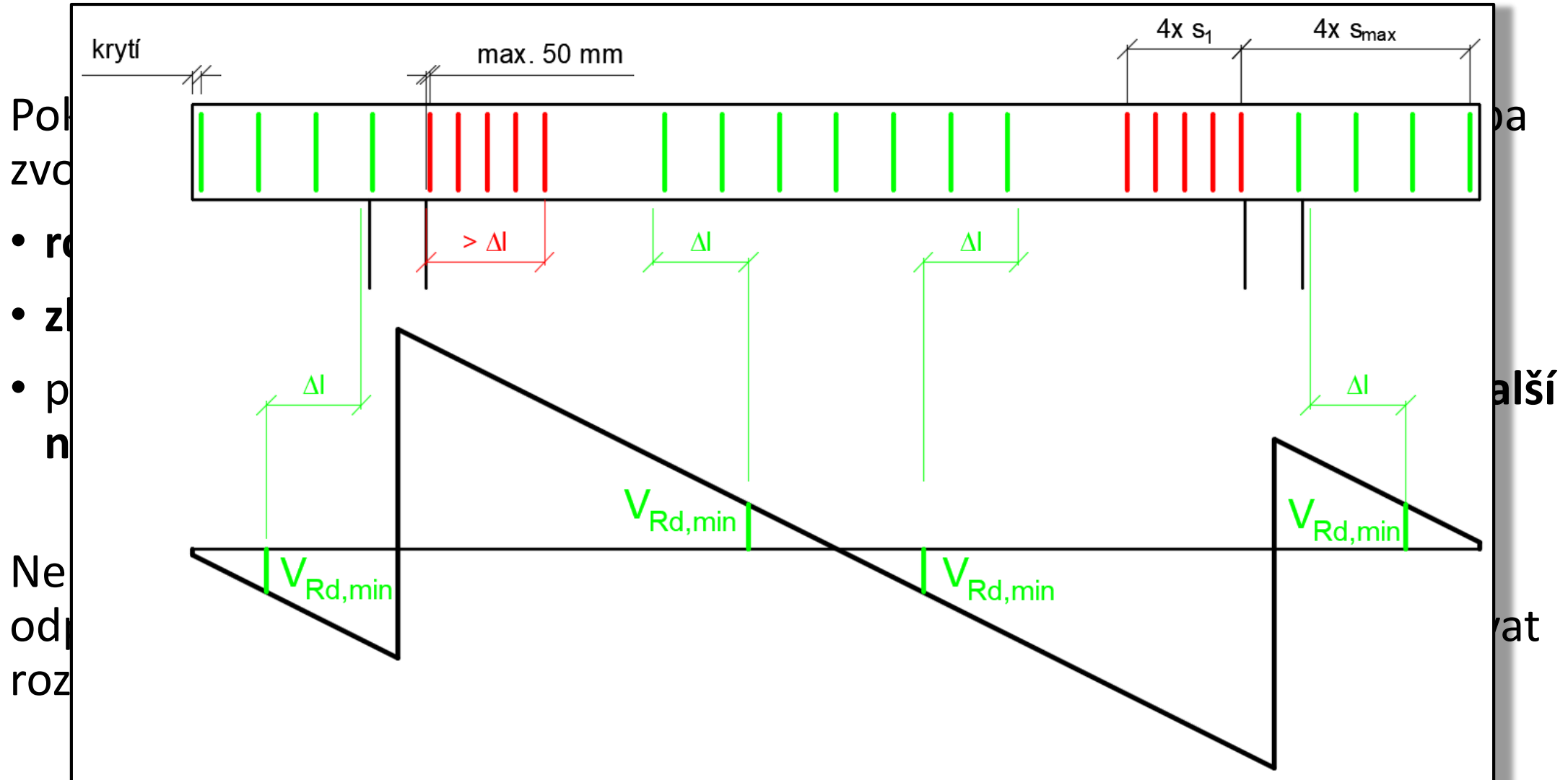
# Rozmístění třmíneků – mezilehlá oblast

Pokud se oblasti návrhových a konstrukčních třmíneků nepřekrývají, je třeba zvolit vhodnou variantu řešení:

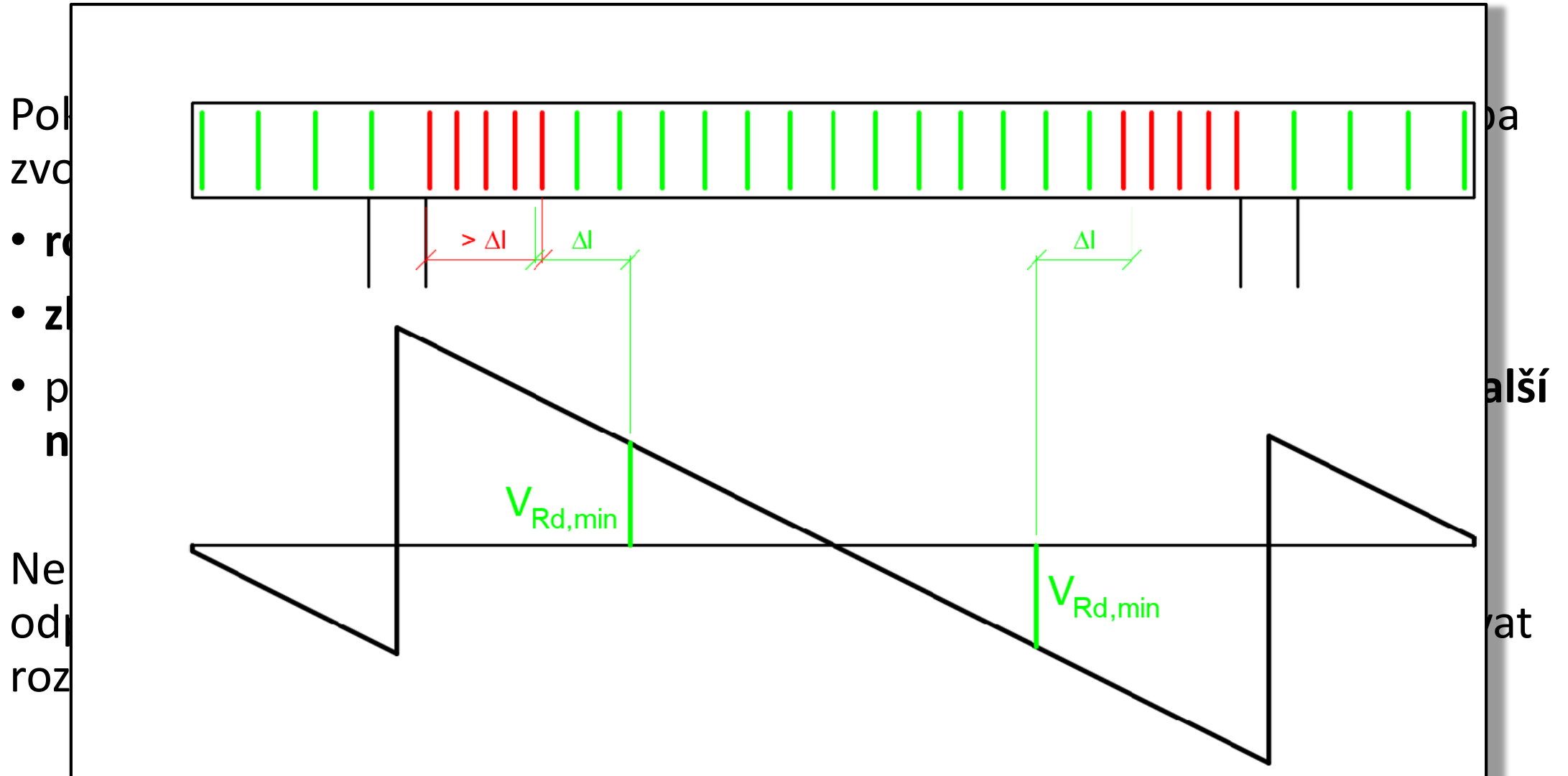
- **zhustit konstrukční** třmíanky (vyšší únosnost  $\rightarrow$  posune se  $V_{Rd,max}$ )
- pro hodnotu síly  $V_{Ed,2}$  (ve vzdálenosti  $2\Delta l$  od líce podpory) navrhujeme **další návrhové třmíanky** s hodnotou vzdálenosti třmíneků  $s_2$
- **rozšířit oblast návrhových** třmíneků

Nelze jednoznačně říci, jak má řešení vypadat. Řešení musí být rozumně odpovídat dané konstrukci – např. nemá smysl v různých oblastech používat rozteče lišící se pouze o pár desítek mm.

# Mezilehlá oblast – zahuštění konstrukčních



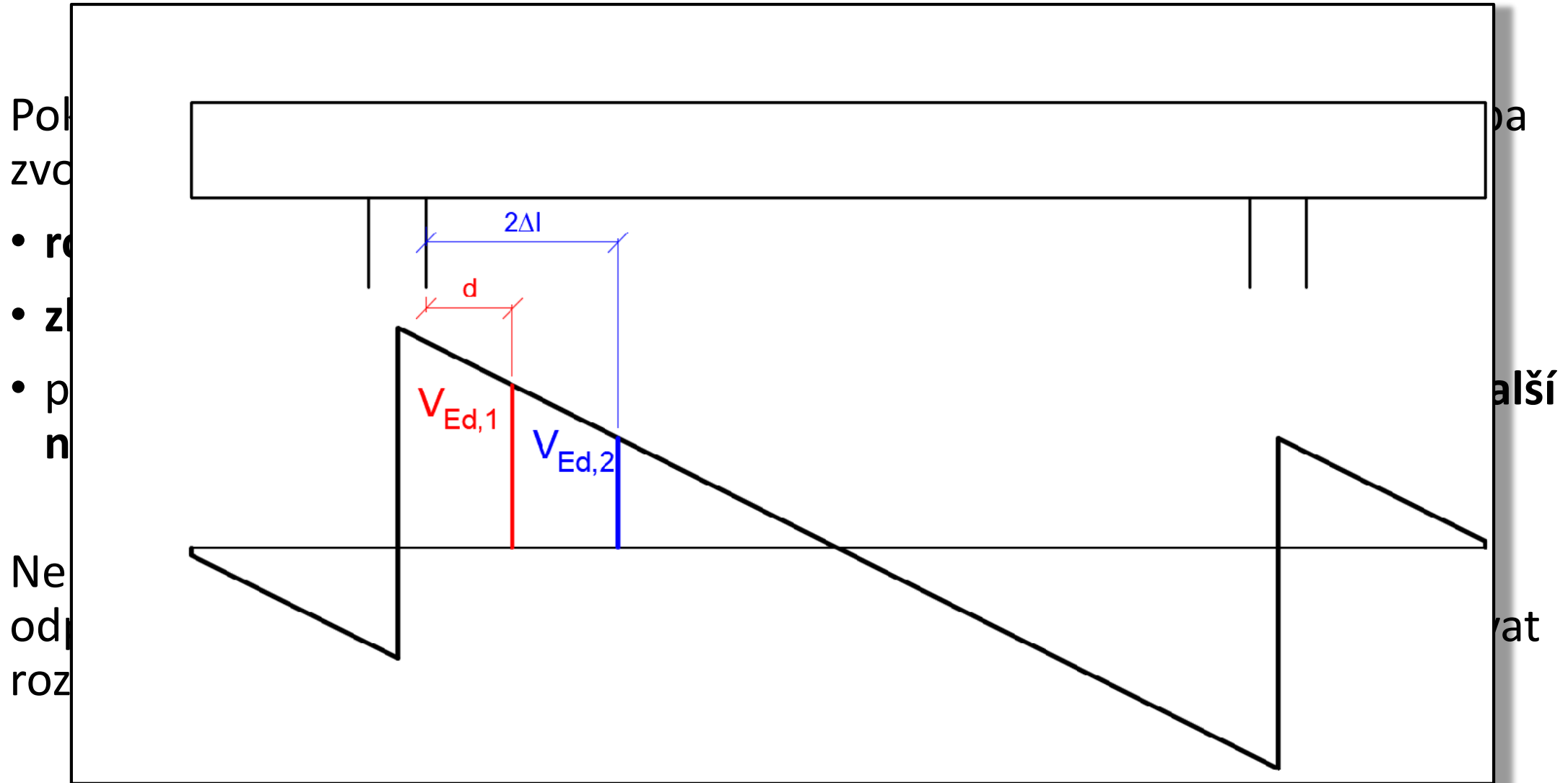
# Mezilehlá oblast – zahuštění konstrukčních



Pol  
zvo  
• ro  
• zl  
• p  
n  
Ne  
od  
roz

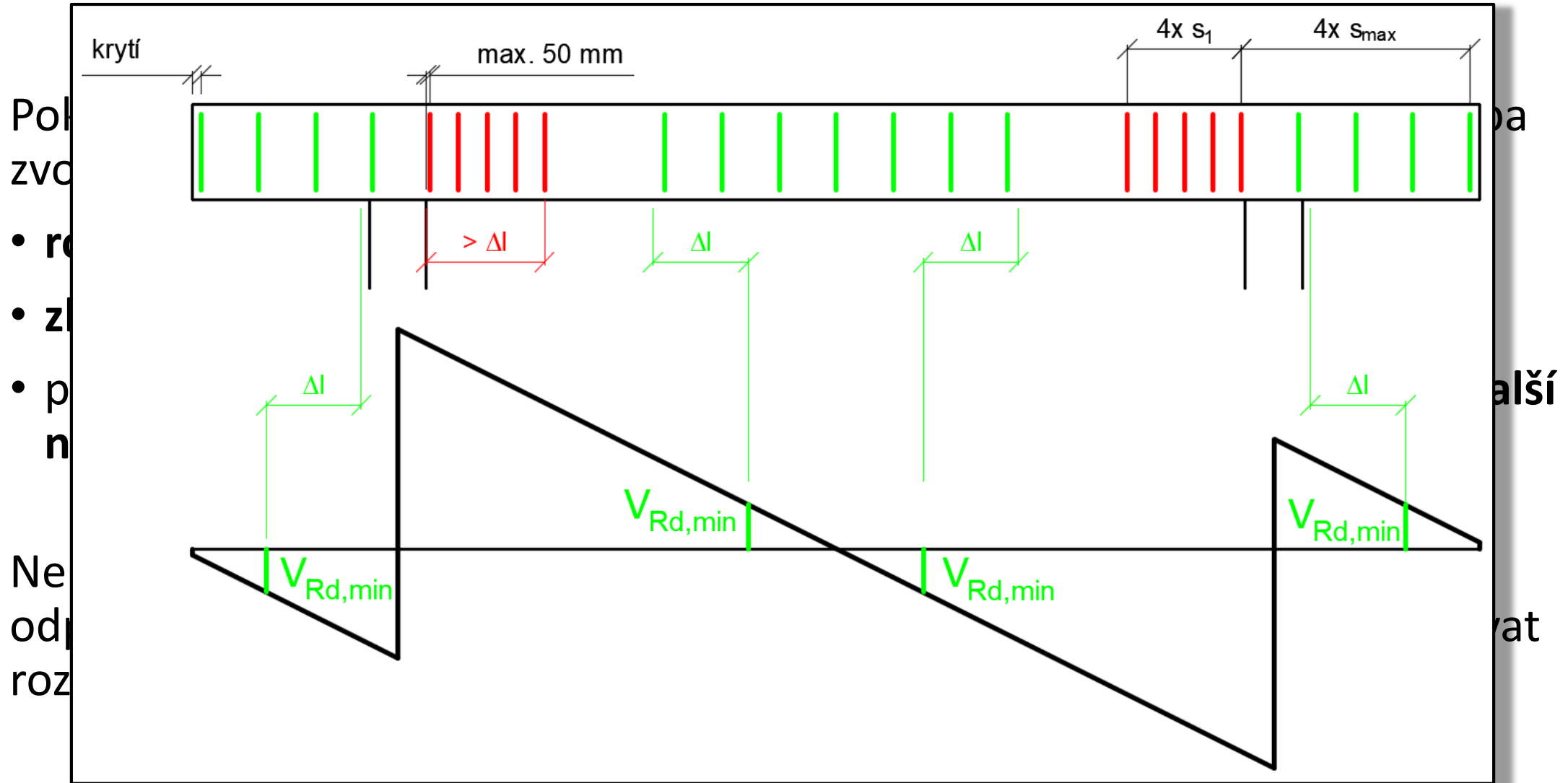
da  
alší  
rat

# Mezilehlá oblast – návrhové $s_2$





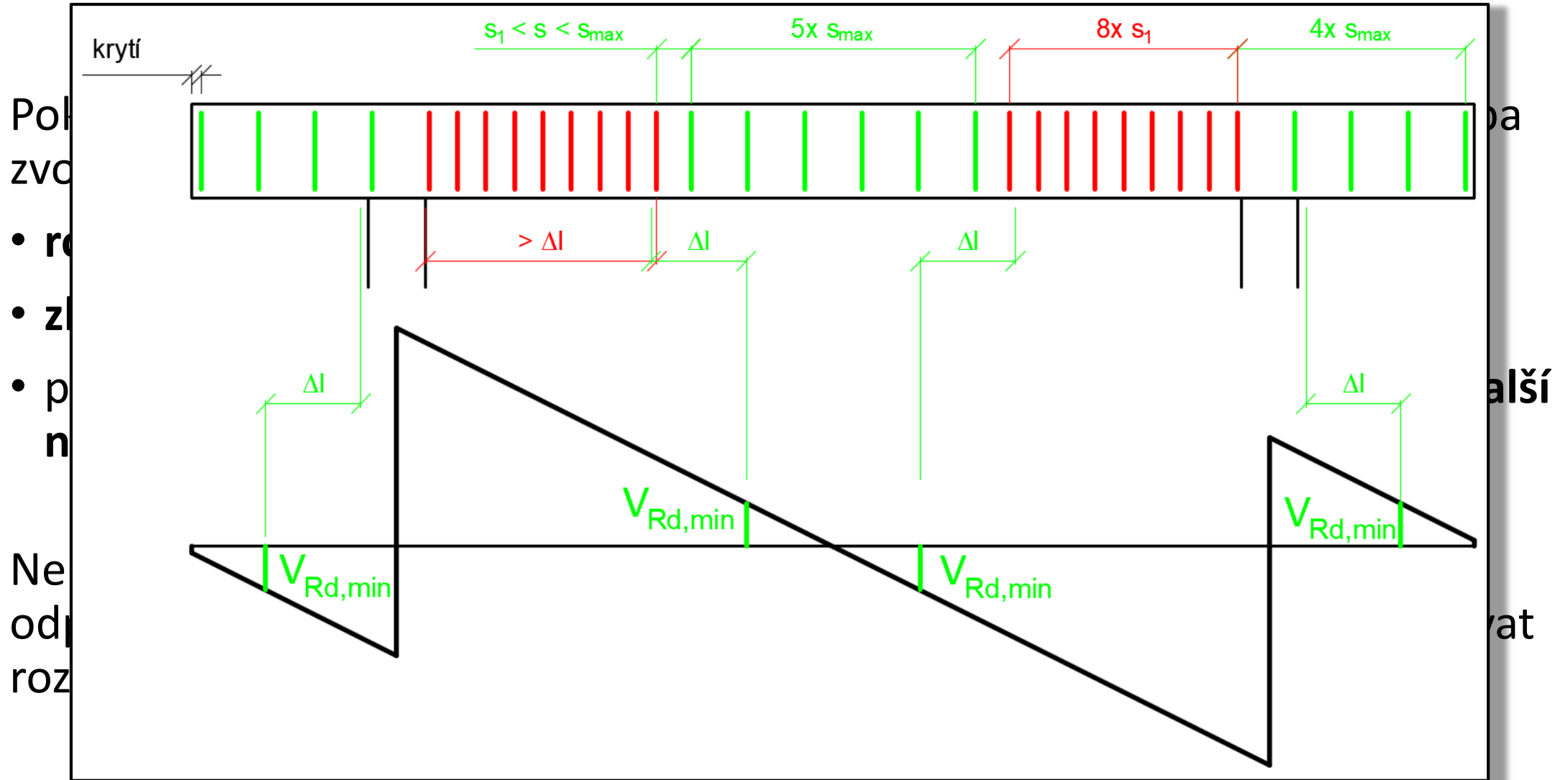
# Mezilehlá oblast – rozšíření oblasti $s_1$



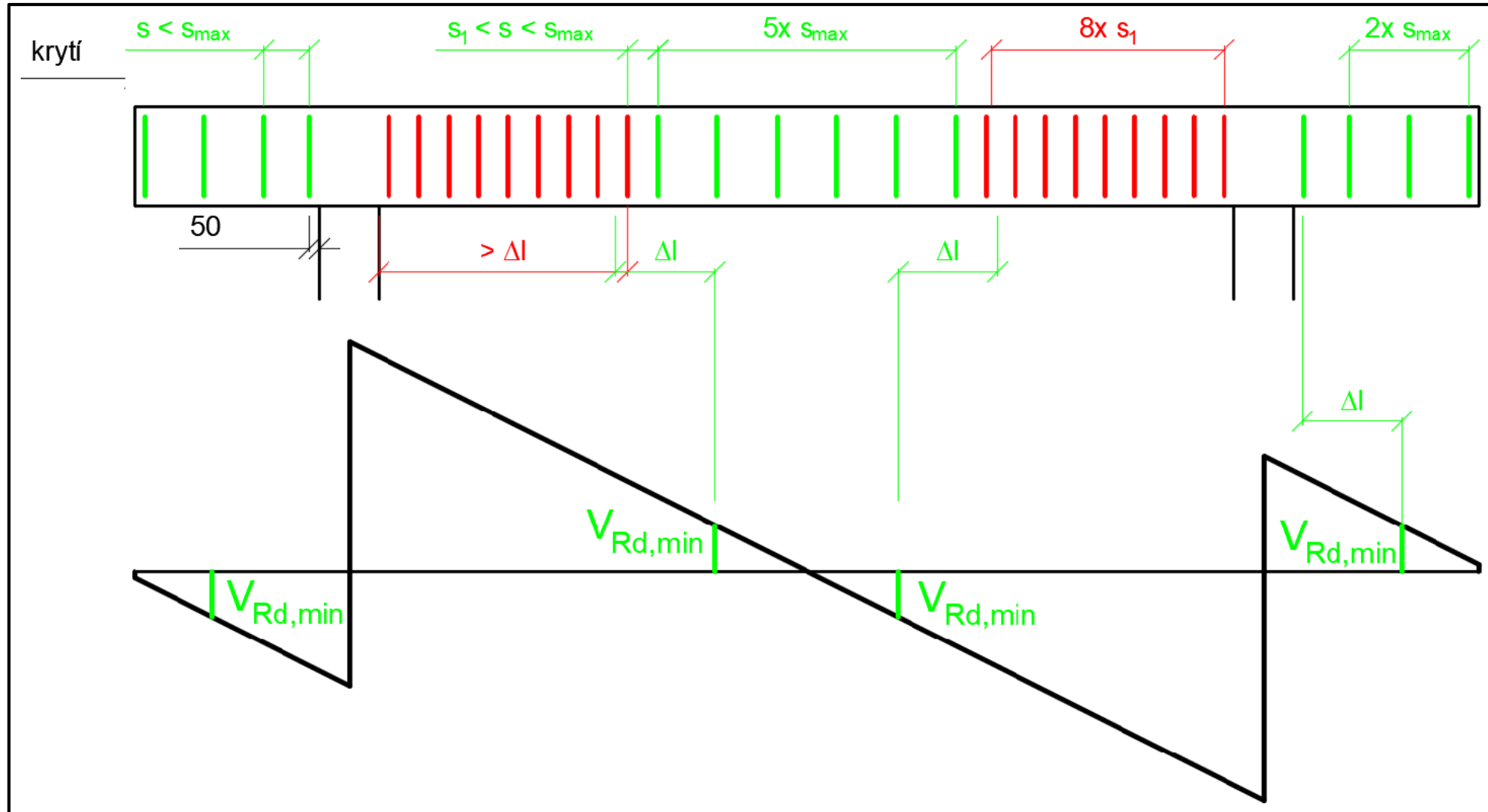
Pol  
zvo  
• ro  
• zl  
• p  
n  
Ne  
od  
roz

da  
alší  
rat

# Mezilehlá oblast – rozšíření oblasti $s_1$



# Vynechání třmínků v místě podpor



Konec