

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ**

**FAKULTA STAVEBNÍ**

**KATEDRA BETONOVÝCH A ZDĚNÝCH KONSTRUKCÍ**



**PŘÍLOHA 2.4**

**VELIKOST TRHLIN VE SMĚRU Y**

## Výpočet šířky trhlin železobetonového prvku

### 1) Vstupní hodnoty výpočtu

#### Geometrie

$h =$	930 mm	$c =$	33 mm
$b =$	200 mm	$\varnothing_{tr} =$	0 mm
$A_c =$	186000 mm <sup>2</sup>		
$a_c =$	465 mm		

#### Materiálové charakteristiky

Beton:	C 35/45	Ocel:	B500B
$f_{ck} =$	35 MPa	$f_{yk} =$	500 MPa
$f_{cd} =$	23,3 MPa	$f_{yd} =$	434,8 MPa
$f_{ctm} =$	3,2 MPa	$E_s =$	200 GPa
$f_{ctk0.05} =$	2,2 MPa	$\alpha_e =$	5,88
$\epsilon_c =$	0,23%		
$\epsilon_{cu} =$	0,35%	Frakce kameniva:	
$E_{cm} =$	34 GPa	$D_{max} =$	22 mm

#### Výztuž

Typ: Výztuž soudržná

Typ: Výztuž s žebírkovým povrchem

i	n	$\varnothing$ mm	$A_s$ mm <sup>2</sup>	d mm	d' mm	$s_a$ mm
1	3	28	1847,3	883,0	883,0	53,0
2	8	16	1608,5	41,0	41,0	16,9

#### Zatížení

Doba trvání: Dlouhodobé

Typ namáhání: Ohyb

$N_{kd} =$  0 kN

$M_{kd} =$  321,1 kNm

Pozn.:

$N_{kd}$  je působící normálová síla vztažená k těžisti betonového průřezu.

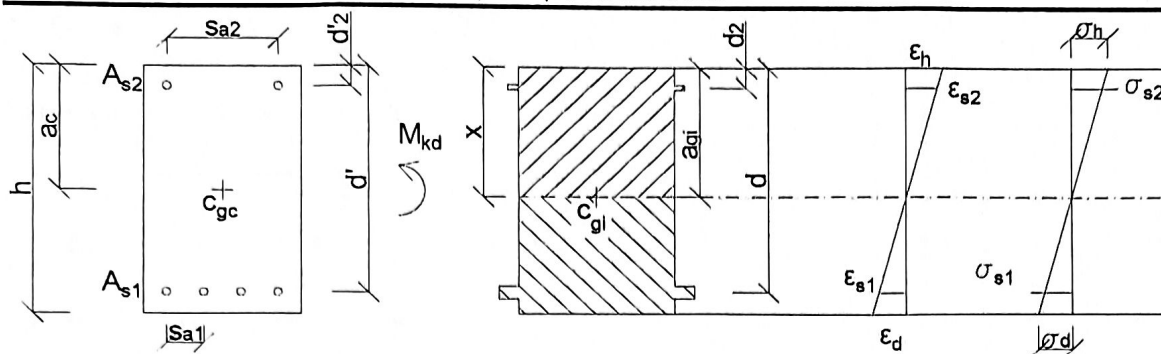
$M_{kd}$  je působící ohybový moment vztažený k těžisti betonového průřezu.

Klasická znaménková konvekce:

Kladná osová síla značí tah.

Kladný moment vyvozuje ve spodních vláknech tahy.

2) Analýza vzniku trhlin



Poměr modulu pružnosti betonu a modulu pružnosti výztuže:

$$\alpha_e = E_s / E_{cm}$$

$$\alpha_e = 5,88$$

Plocha ideálního průřezu:

$$A_i = A_c + (\alpha_e)(A_{s1} + A_{s2})$$

$$A_i = 0,206 \text{ m}^2$$

Vzdálenost těžiště ideálního průřezu od horního okraje:

$$a_{gi} = [A_c a_c + (\alpha_e)(A_{s1} d + A_{s2} d_2)] / A_i$$

$$a_{gi} = 0,468 \text{ m}$$

Vzdálenost těžiště betonové části průřezu od horních vláken:

$$a_c = h / 2$$

$$a_c = 0,465 \text{ m}$$

Moment setrvačnosti betonové části průřezu k jeho těžišti:

$$I_c = \frac{1}{12} b h^3$$

$$I_c = 0,013406 \text{ m}^4$$

Moment setrvačnosti ideálního průřezu k jeho těžišti:

$$I_i = I_c + A_c (a_{gi} - a_c)^2 + (\alpha_e) [A_{s1} (d - a_{gi})^2 + A_{s2} (a_{gi} - d_2)^2]$$

$$I_i = 0,017004 \text{ m}^4$$

## Výpočet šířky trhlin železobetonového prvku

---

Pevnost betonu v tahu

$$f_{ctm} = 3,2 \text{ MPa}$$

Napětí působící v dolních vláknech:

$$\sigma_d = \frac{M_{kdi}(h - a_{gi})}{I_i}$$

$$\sigma_d = 8,732 \text{ MPa}$$

Napětí působící v horních vláknech:

$$\sigma_h = \frac{M_{kdi} a_{gi}}{I_i}$$

$$\sigma_h = -8,829 \text{ MPa}$$

Napětí v jedné krajních vláknech překročilo pevnost betonu v tahu zatímco opačná krajní vlákna jsou tlačena.

**Trhliny od daného zatížení vzniknou.**

**Pro výpočet napjatosti je zvolen model Průřez s trhlinou a tlačenu částí.**

### 3) Výpočet napjatosti průřezu

---

Výška tlačené oblasti:

$$x = \frac{\alpha_e}{b} (A_{s1} + A_{s2}) \left[ -1 + \sqrt{1 + \frac{2b A_{s1}d + A_{s2}d_2}{\alpha_e (A_{s1} + A_{s2})^2}} \right]$$

$$x = 230,3 \text{ mm}$$

Moment setrvačnosti ideálního průřezu k jeho těžišti:

$$I_i = \frac{1}{3} b x^3 + (\alpha_e) [A_{s1}(x - d)^2 + A_{s2}(x - d_2)^2]$$

$$I_i = 5\,782\,563 \cdot 10^3 \text{ mm}^4$$

Napětí v betonu v krajních tlačných vláknech:

$$\sigma_c = -(|M_{kd}|/I_i)x$$

$$\sigma_c = -12,786 \text{ MPa}$$

Napětí ve výztuži:

$$\sigma_{s1} = \alpha_e \frac{|M_{kd}|}{I_i} (d - x)$$

$$\sigma_{s1} = 213,211 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{s2} = \alpha_e \frac{|M_{kd}|}{I_i} (d_2 - x)$$

$$\sigma_{s2} = -61,821 \text{ MPa}$$

4) Výpočet rozdílu poměrných přetvoření betonu a výztuže

---

Tažená výztuž:

$$\sigma_s = 213,211 \text{ MPa}$$

$$A_s = 1847,3 \text{ mm}^2$$

Modul pružnosti výztuže a pracovní součinitel (poměr modulu pružnosti betonu a výztuže):

$$E_s = 200 \text{ GPa}$$

$$\alpha_e = 5,88$$

Průměrná hodnota pevnosti betonu v tahu v okamžiku vzniku trhlin:

$$f_{ct,eff} = 3,2 \text{ MPa}$$

Výška tlačené oblasti:

$$x = 230,3 \text{ mm}$$

Výška efektivní tažené oblasti betonu:

$$h_{c,eff} = \min\{2,5(h - d); (h - x)/3\}$$

$$h_{c,eff} = 117,5 \text{ mm}$$

Plocha efektivní tažené oblasti betonu:

$$A_{c,eff} = b h_{c,eff}$$

$$A_{c,eff} = 23500 \text{ mm}^2$$

Účinný stupeň vyztužení efektivní tažené oblasti betonu:

$$\rho_{p,eff} = A_s / A_{c,eff}$$

$$\rho_{p,eff} = 0,078607$$

Součinitel vyjadřující vliv doby trvání zatížení:

$$k_t = 0,4 \text{ (Dlouhodobé)}$$

Rozdíl poměrných přetvoření výztuže a betonu:

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{1}{E_s} \left[ \sigma_s - k_t \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}} (1 + \alpha_e \rho_{p,eff}) \right]$$

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = 0,000947$$

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} \geq 0,6 \sigma_s / E_s$$

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} \geq 0,000640$$

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = 0,000947$$

5) Výpočet maximální vzdálenosti trhlin

---

Soudržnost výztuže:

Výztuž soudržná

Průměr tažené výztuže:

$$\varnothing = 28 \text{ mm}$$

Krytí podélné výztuže:

$$c' = 33 \text{ mm}$$

Vzdálenost prutů tažené výztuže:

$$s_a = 53,0 \text{ mm} < 235 \text{ mm} = 5(c' + \varnothing/2)$$

Vzdálenost prutů je malá

Součinitel vlivu soudržnosti výztuže:

Výztuž s žebírkovým povrchem

$$k_1 = 0,8$$

Součinitel vlivu rozdělení poměrného přetvoření po výšce průřezu (typ namáhání):

Ohyb

$$k_2 = 0,5$$

Součinitele dle ČSN EN 1992-1-1:

$$k_3 = \min \left\{ 3,4 \left( \frac{25}{c'} \right)^{\frac{2}{3}} ; 3,4 \right\}$$

$$k_3 = 2,83$$

$$k_4 = 0,425$$

Maximální vzdálenost trhlin dle vztahu A:

$$s_{r,max,A} = k_3 c' + k_1 k_2 k_4 \frac{\varnothing}{\rho_{p,eff}}$$

$$s_{r,max,A} = 153,8 \text{ mm}$$

Maximální vzdálenost trhlin dle vztahu B:

$$s_{r,max,B} = 1,3(h - x)$$

$$s_{r,max,B} = 909,7 \text{ mm}$$

### Výpočet šířky trhlin železobetonového prvku

---

Hodnotu ze vztahu A lze použít v případě, že jsou splněny podmínky:

Výztuž v tažené oblasti je s betonem soudržná

VYHOVUJE

$$s_a \leq 5(c' + \varnothing/2)$$

VYHOVUJE

nebo

Hodnota dle vztahu A je větší než hodnota dle vztahu B

NEVYHOVUJE

**Maximální vzdálenost trhlin:**

Pro maximální vzdálenost trhlin je použita hodnota určená vztahem A.

$$s_{r,max} = 153,8 \text{ mm}$$

### 6) Šířka trhlin

---

**Charakteristická šířka trhlin:**

$$w_k = s_{r,max}(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm})$$

$$w_k = 0,146 \text{ mm}$$