

## Zadání

Ověřte, zda základová deska s vyztužením podle MSÚ splňuje požadavky na mezní hodnotu šířky trhlin v okamžiku, kdy dochází k úniku hydratačního tepla (ochlazení konstrukce) v raném stáří betonu. Navržené vyztužení uvažujte stejné pro každý povrch a v obou směrech. Předpokládejte, že ochlazení konstrukce započne ve stáří betonu 2 dny. Jedná se o úsek základové desky, u kterého není bráněno volné deformaci přilehlou konstrukcí (výtahová šachta, předchozí vybetonované úseky apod.). Jako kluznou vrstvu uvažujte dvě PE fólie bez maziva uložené na hrubě hlazené betonové podkladní vrstvě.

## Parametry pro výpočet

$\emptyset$	Profil výztuže uvažované u jednoho povrchu v jednom směru
$s_{\emptyset}$	Osová vzdálenost výztuže
$h$	Tloušťka konstrukce
$l_x$	Délka strany úseku základové desky
$l_y$	Délka strany úseku základové desky
$w_{lim}$	Mezní hodnota šířky trhlin
$c$	Krytí výztuže
CEM 42,5 R	Typ cementu

## Výpočet

Tahová síla  $F_{cd,t}$  v základové desce při úniku hydratačního tepla, která vzniká při jejím pokluzu na podkladní vrstvě, se stanoví z následujícího vztahu:

$$F_{ct,d} = \gamma * \mu * \sigma_0 * \frac{l_0}{2} \quad [kN]$$

V okamžiku posouzení lze předpokládat, že napětí v základové spáře  $\sigma_0$  se odvíjí pouze od vlastní tíhy základové desky. Přetížení v podobě stavebního materiálu apod. se ve výpočtu neuvažuje.

$$\sigma_0 = \gamma_c * h \quad [kN/m^2]$$

Součinitel tření  $\mu$  se stanoví s ohledem na použitou kluznou vrstvu, úpravu podkladní vrstvy a tloušťku základové desky.

Kluzná vrstva	Úprava podkladní vrstvy	Tloušťka desky	Součinitel tření
Dvojrvtvá, stavební fólie (2*PE 0,2 mm) bez vloženého kluzného média	Strojně hlazený povrch betonové vrstvy	Nemá vliv	0,8
	Hrubě (běžně) hlazená betonová vrstva	300 mm	2,0
		1 500 mm	1,3
Dvojrvtvá silnější fólie se silikonovým mazivem	Strojně hlazený povrch betonové vrstvy	Zanedbatelný vliv	0,3
	Hrubě (běžně) hlazená betonová vrstva		0,8
Dva bitumenové pásy bez vloženého kluzného média	Strojně hlazený povrch betonové vrstvy	300 mm	0,45
		$\geq 1\ 000$ mm	0,20
Žádná	Upravená štěrkopísková vrstva (nesoudržná zemina - vnitřní tření 1,1 -1,5)	200 mm	$\geq 1,4$
		800 mm	0,90
	Vrstva písku o mocnosti 60 až 100 mm a zrnitosti 0,35 mm (vnitřní tření 0,75 -0,85)	Nemá vliv	0,70

Tahová síla v betonu nezbytná pro vznik první trhliny

$$F_{cr} = F_{ct,eff} = k_c * k * f_{ct,eff} * A_{ct} \quad [kN]$$

Součinitel  $k$  zohledňuje vliv nerovnoměrného rozdělení vnitřních rovnovážných napětí vedoucích ke zmenšení sil vyplývajících z omezeného přetvoření.

U běžných konstrukcí  $k = 1$

Součinitel  $k_c$  zohledňuje vliv napětí v průřezu před vznikem trhlin a změna ramene vnitřních sil.

Pro prostý tah  $k_c = 1$

Efektivní pevnost v tahu lze pro stádium raných trhlin předpokládat podle následujícího vztahu.

$$f_{ct,eff} = 0,5 * f_{ctm} \quad [MPa]$$

Parametr  $A_{ct}$  vyjadřuje plochu průřezu, která je namáhána tahem těsně před vznikem první trhliny.

Podle nerovnosti obou sil mohou nastat dva základní stavy:

- (1)  $F_{ct,d} \geq F_{cr}$  Síla nezbytná pro vyvolání pokluzu základové desky je větší než síla na mezi vzniku trhlin – nelze proto jednoznačně vyloučit vznik trhlin.
- (2)  $F_{ct,d} \leq F_{cr}$  Díky tomu, že síla nutná pro vyvolání pokluzu základové desky je menší než síla na mezi vzniku trhlin, lze předpokládat, že v okamžiku dosažení síly  $F_{ct,d}$  dojde k pokluzu základové desky a uvolnění napětí.

Minimální množství výztuže (dohromady pro horní i spodní povrch) bez ohledu na šířku trhlin se stanoví z následujícího vztahu. Díky tomu, že se jedná o tažený průřez, minimální plocha výztuže musí být menší než celková plocha výztuže v průřezu.

$$A_{s,min} = \frac{F_{ct,d}}{f_{yd}} \leq A_{s,prov} \quad [mm^2]$$

### Posouzení šířky trhliny

Účinná výška průřezu

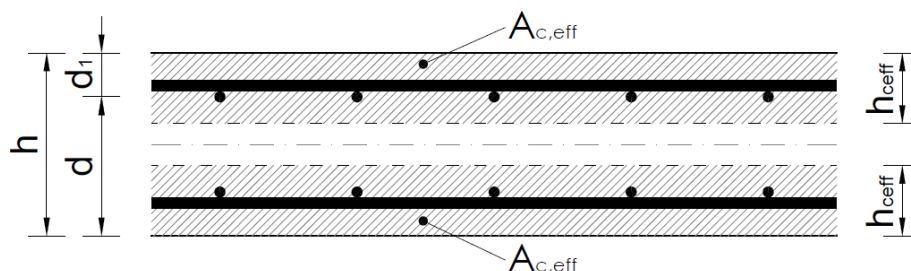
$$d = h - c_{nom} - \frac{\emptyset}{2} \quad [mm]$$

Účinná plocha betonu obklopující tahovou výztuž (pro jeden povrch výztuže):

$$A_{c,eff} = h_{c,eff} * b \quad [mm^2]$$

Výška účinné plochy betonu obklopující tahovou výztuž

$$h_{c,eff} = \min \left\{ 2,5 * (h - d); \frac{(h - x)}{3}; \frac{h}{2} \right\} \quad [mm]$$



Obr. Účinná tažená plocha pro tažený prvek

Účinný stupeň vyztužení je shodný pro oba (horní i spodní) povrchy taženého průřezu. Stanoví se z následujícího vztahu, kde se uvažuje efektivní plocha  $A_{c,eff}$  při jednom povrchu a v něm umístěná výztuž, tzn. výztuž pouze pro jeden povrch.

$$\rho_{p,eff} = \frac{A_{s,prov}^{jeden\ povrch}}{A_{c,eff}} \quad [-]$$

Ve výpočtu napětí ve výztuži se uvažuje celková plocha výztuže umístěná v průřezu, protože síla  $F_{ct,d}$  působí právě na celém průřezu.

$$\sigma_s = \frac{F_{ct,d}}{A_{s,prov}^{celkem}}$$

Maximální vzdálenost trhlin lze stanovit podle následujícího vztahu

$$s_{r,max} = k_3 * c + k_1 * k_2 * k_4 * \frac{\phi}{\rho_{p,eff}}$$

Součinitelem  $k_1$  se zohledňují vlastnosti soudržné výztuže (pro pruty s velkou soudržností 0,8, pro pruty s hladkým povrchem, např. předpínací vložky, 1,6)

Součinitelem  $k_2$  se zohledňuje rozdělení poměrného přetvoření na průřezu (pro ohyb 0,5, pro prostý tah 1).

$$\text{Součinitel } k_3 = 3,4 * \left(\frac{25}{c}\right)^{\frac{2}{3}} \leq 3,4$$

Součinitelem  $k_4$  se má uvažovat 0,425

Rozdíl poměrných přetvoření betonu a výztuže v okolí trhliny

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \max \left\{ \frac{1}{E_s} \left[ \sigma_s - k_t * \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}} * (1 + \alpha_e * \rho_{p,eff}) \right]; 0,6 * \frac{\sigma_s}{E_s} \right\}$$

$\varepsilon_{sm}$	Průměrná hodnota poměrného přetvoření výztuže
$\varepsilon_{cm}$	Průměrná hodnota poměrného přetvoření betonu mezi trhlinami
$\sigma_s$	Tahové napětí výztuže v průřezu porušeném trhlinou
$k_t$	Součinitel zohledňující dobu trvání zatížení $k_t = 0,6$ pro krátkodobé zatížení (např. nárazy) $k_t = 0,4$ pro dlouhodobé zatížení (platí i pro smršťování v raném stádiu)
$\alpha_e$	Poměr modulů pružnosti výztuže a betonu $E_s/E_{cm}(t)$

Základní mechanické vlastnosti ve zvoleném čase lze stanovit podle vztahů uvedených v ČSN EN 1992-1-1 uvážením součinitele zohledňujícím stářím betonu  $\beta_{cc}(t)$ , který se mění v závislosti na typu použitého cementu ( $s = 0,20$  pro cement pevnostní třídy CEM 42,5 R,  $s = 0,25$  pro cement pevnostní třídy CEM 32,5 R,  $s = 0,38$  pro cement pevnostní třídy CEM 32,5 N).

$$E_{cm}(t) = \left( \frac{f_{cm}(t)}{f_{cm}} \right)^{0,3} * E_{cm}$$

$$f_{cm}(t) = \beta_{cc}(t) * f_{cm}$$

$$\beta_{cc}(t) = e^{\left\{s^* \left[1 - \left(\frac{28}{t}\right)^{\frac{1}{2}}\right]\right\}}$$

Výpočet šířky trhlin se provádí podle metody uvedené v ČSN EN 1992-1-1.

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

Pokud navržené vyztužení nebude splňovat požadavky na šířku trhliny, popište opatření (mimo zvýšení množství výztuže), které byste navrhli, abyste tento požadavek splnili.