

# VÝPOČET ŠÍŘKY TRHLIN ■ CALCULATION OF THE CRACKS WIDTH

Jiří Šmejkal, Jaroslav Procházka

V ČSN EN 1992-1-1 je pro výpočet šířky trhlin uveřejněna tabulka 7.2N. V této tabulce jsou použity nestandardní součinitele, které víceméně znehodnocují tabulku pro zjednodušený výpočet minimální plochy výztuže při požadavku omezení šířky trhlin. V článku je navržena nová tabulka 7.2CZ. Použití tabulky je uvedeno na praktickém příkladu. ■ The ČSN EN 1992-1-1 standard publishes table 7.2N for determination of cracks width. In this table non standard coefficients are used which devalue the table for simplified calculation of minimal reinforcement by limited cracks width. A new table 7.2CZ is suggested in the article. Usage of the table is presented on example.

Trhliny provázejí všechny železobetonové ohýbané konstrukce. Obecně se považuje za přijatelnou šířka trhlin do hodnoty 0,4 mm v neagresivním prostředí (X0, XC1). V agresivnějších prostředích a při dalších požadavcích (např. při požadavku vodonepropustnosti) se šířka trhlin omezuje přísnějšími hodnotami.

Šířku trhlin posuzujeme obvykle ve dvou návrhových případech. Prvním případem je šířka trhlin při procesu hydratace bezprostředně po betonáži konstrukce při mezním přetvoření z nesilových účinků. Druhým případem je šířka trhlin od návrhové zatěžovací kombinace (obvykle kvazistálá nebo častá kombinace). Přehled nejčastějších trhlin v betonových konstrukcích je v tab. 1.

V prvním případě je šířka trhlin pouze částečně ovlivnitelná návrhem minimálního množství výztuže. Velký vliv má totiž způsob a kvalita provádění. Betonovou směs po uložení je nutné vhodně ošetřovat před nepříznivými vlivy okolního prostředí. Nemalý vliv na šířku trhlin má i doba odbednění konstrukce. Při brzkém odbednění může např. nastat zvýšený odpar vody, nepříznivý bude i vliv vnějších teplot. V druhém případě je nutné navrhnout výztuž na příslušnou návrhovou kombinaci zatížení. Zde návrh minimálního množství výztuže vychází z podmínky předepsané šířky trhlin. Při návrhu minimální výztuže se předpokládá, že vzniknou primární a následně sekundární trhliny. Při dalším zvyšování zatížení se trhliny rozevírají (stabilizovaný rozvoj trhlin, obr. 1).

Obr. 1 Pracovní diagram železobetonového prvku ■ Fig. 1 Stress – strain diagram for a reinforced concrete member

Obr. 2 Model pro stanovení spolupůsobící oblasti  $A_{c,eff}$  u tažených prvků ■ Fig. 2 Model for determination of the effective tension area  $A_{c,eff}$  for tension members

Obr. 3 Model pro stanovení spolupůsobící oblasti  $A_{c,eff}$  u ohýbaných prvků ■ Fig. 3 Model for determination of the effective tension area  $A_{c,eff}$  for bending members

Obr. 4 Model vzniku primárních a sekundárních trhlin u převážně ohýbaných prvků ■ Fig. 4 Model of development of the primary and secondary cracks in most bended members

Obr. 5 Vznik primární trhliny v taženém prvku ■ Fig. 5 Development of the primary crack in tension member

Obr. 6 Vznik sekundárních trhlin v taženém prvku ■ Fig. 6 Development of the secondary cracks in tension member

Při kontrole šířky trhlin obvykle uvažujeme kvazistálou návrhovou kombinaci a předpokládáme vznik trhlin. (Pro vznik trhlin se uvažuje častá návrhová kombinace (nevratný děj).)

Při výpočtu šířky trhlin postupujeme podle metodiky uvedené v ČSN EN 1992-1-1 [1].

Šířku trhlin počítáme podle [1] podle vztahu

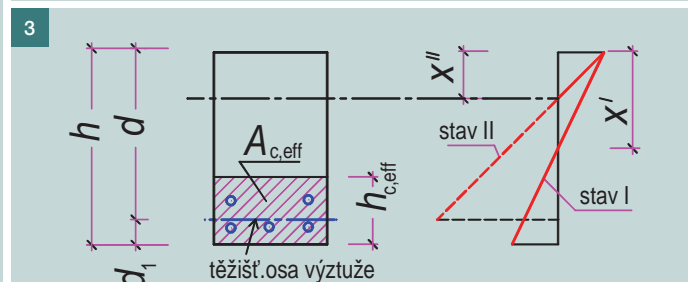
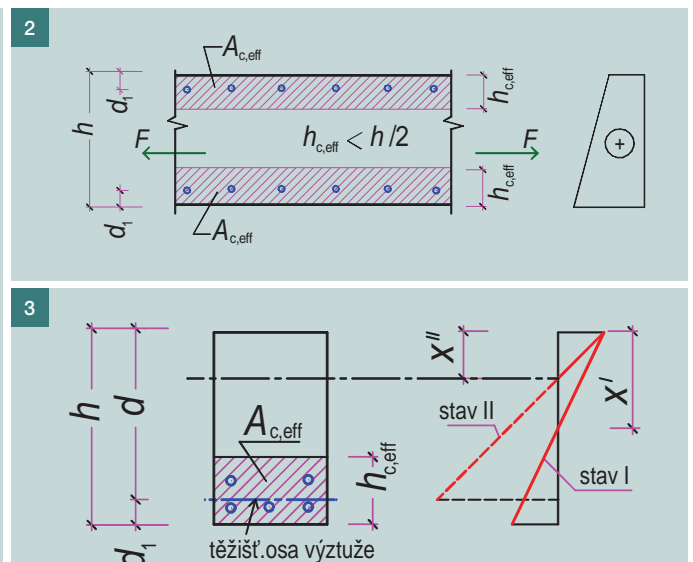
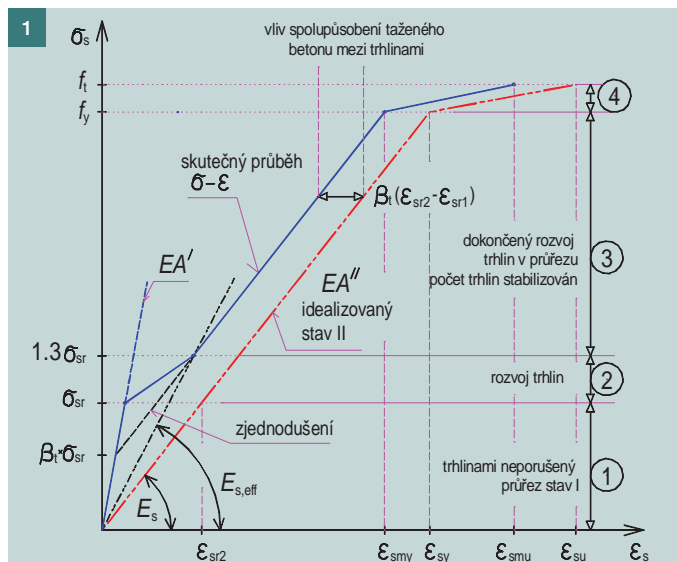
$$w_k = s_{r,max} (\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}), \quad (1)$$

kde  $s_{r,max}$  je maximální vzdálenost trhlin v prvku,  $(\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm})$  je rozdíl poměrných přetvoření betonu a výztuže v okolí trhliny,  $\epsilon_{sm}$  je průměrná hodnota poměrného přetvoření výztuže při příslušné kombinaci zatížení, zahrnující účinek vnesených deformací a přihlížející k účinkům tahového ztužení a  $\epsilon_{cm}$  je průměrná hodnota poměrného přetvoření betonu mezi trhlinami.

Rozdíl průměrných poměrných přetvoření výztuže a betonu mezi trhlinami lze stanovit ze vztahu

$$\begin{aligned} (\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}) &= \frac{\sigma_s}{E_s} - k_t \epsilon_{sr} = \frac{\sigma_s}{E_s} \left( 1 - k_t \frac{\sigma_{sr}}{\sigma_s} \right) = \\ &= \frac{1}{E_s} \left( \sigma_s - k_t \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}} (1 + \alpha_e \rho_{p,eff}) \right) \end{aligned} \quad (2)$$

$$(\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}) \geq 0,6 \sigma_s / E_s, \quad (3)$$



Tab. 1 Nejběžnější trhliny v železobetonových konstrukcích  
 Tab. 1 Most common cracks in reinforced concrete structures

Druh trhliny	Schéma	Popis
Povrchové trhliny, trhliny u povrchu	Trhliny podélné s výztuží	Obvykle nad horními výztužnými pruty Sedání betonové směsi, rané smrštění, chybné uložení výztuže
	Trhliny v soudržnosti	Probíhají rovnoběžně s výztuží, dosahují až líce výztuže
	Povrchové trhliny	Na horním líci plošných prvků, kopírují výztuž, případně nezávislý průběh, hloubka trhlín je obvykle malá
Hluboké trhliny	Tahové trhliny	Procházejí celým průřezem, vznikají při dostředném tahu nebo tahovém namáhání s malou excentricitou
	Ohybové trhliny	Procházejí obvykle kolmo k tažené výztuži, začínají na taženém líci a jsou až do oblasti neutrální osy
	Smykové trhliny	Trhliny jsou skloněné vůči ose prvku, vyvíjejí se z ohybových trhlín
	S-primární Z-sekundární trhliny	Jen některé trhliny dosahují neutrální osy. Jsou časté u silně vyztužených okrajů nebo u velkých průřezů vlivem centrických tahových namáhání Mezi primárními trhlinami vznikají sekundární trhliny, které jsou jen v oblasti výztuže.

$$h_{c,eff} = \min \begin{cases} 2,5(h-d) \\ (h-x)/3 \\ h/2 \end{cases} \quad (6)$$

Obvykle je rozhodující první hodnota ve vztahu (6) tedy  $h_{c,eff} = 2,5(h-d)$ . Hodnota  $h/2$  představuje omezení pro tažené prvky (obr. 2) a  $(h-x)/3$  pro ohybané prvky (obr. 3). Plocha  $A_{c,eff}$  je omezena i šířkou podle vztahu  $5(c + \phi/2)$ . Neboť pokud jsou pruty výztuže ve větších vzdálenostech, uvažuje se pouze šířka  $5(c + \phi/2)$  (obr. 13).

Návrh výztuže pro omezení šířky trhlín lze přibližně provést buď zjednodušeně pomocí navržených tabulek 7.2CZ a 7.3CZ nebo přímým výpočtem. Tabulky jsou připraveny v rámci úprav pro přílohu ČSN EN 1992-1-1, neboť tabulky 7.2N a 7.3N v originálním textu normy byly stanoveny pro nestandardní součinitele. Navíc byl upřesněn součinitel  $k_3$  viz vztah (20).

**Pro vznik prvních trhlín (rané trhliny)** je rozhodující tahová pevnost betonu  $f_{ct,eff}$ . Přitom je přesné stanovení aktuální pevnosti betonu v tahu velmi obtížné (obr. 8 a 9). Na tuto pevnost má vliv řada okolností na stavbě např. velikost hydratačního tepla, doba odbednění, okolní teplota (obecně povětrnostní podmínky při betonáži v exteriéru, tedy oslunění, ohřátí horního líce, rychlost odpařování vody, vliv vlhkosti prostředí atd.), způsob ošetřování betonové směsi po uložení (chránění horního líce před nadměrným odparem, vlhčení popř. kropení horního líce, chránění horního líce před nerovnoměrným ohřátím popř. ochlazením apod.).

Při návrhu konstrukce nejsou tyto okolnosti známy a ani

kde  $\sigma_s$  je tahové napětí výztuže v průřezu porušeném trhlínou;  $\sigma_{sr}$  tahové napětí výztuže při vzniku primární trhliny;  $k_1$  součinitel závisící na době trvání zatížení:  $k_1 = 0,6$  pro krátkodobé zatížení,  $k_1 = 0,4$  pro dlouhodobé zatížení (za dlouhodobé zatížení se uvažuje i smršťování v raném stádiu);  $f_{ct,eff}$  je hodnota pevnosti betonu v tahu v okamžiku prvního očekávaného vzniku trhlín;  $\alpha_e$  je poměr modulů pružnosti výztuže a betonu  $E_s/E_{cm}$  a  $\rho_{p,eff}$  je účinný stupeň vyztužení, pro železobeton vyjádřený vztahem

$$\rho_{p,eff} = A_s/A_{c,eff} \quad (4)$$

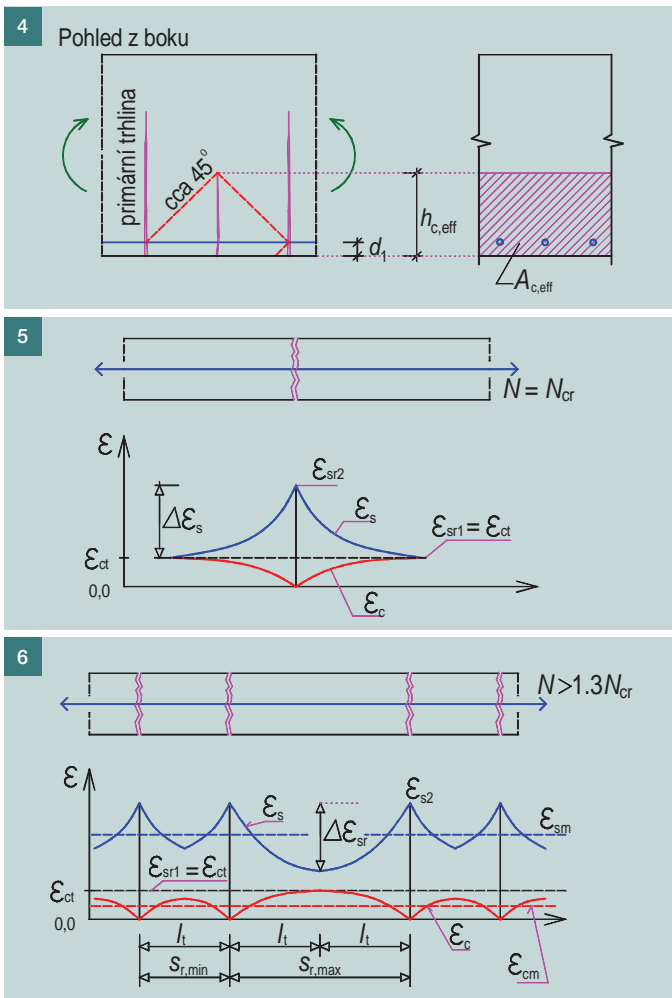
kde  $A_{c,eff}$  je účinná plocha taženého betonu obklopující výztuž.

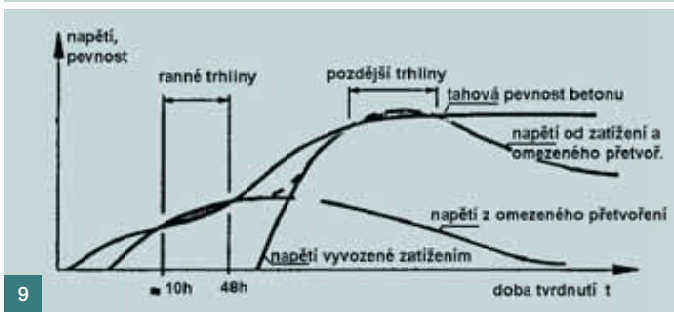
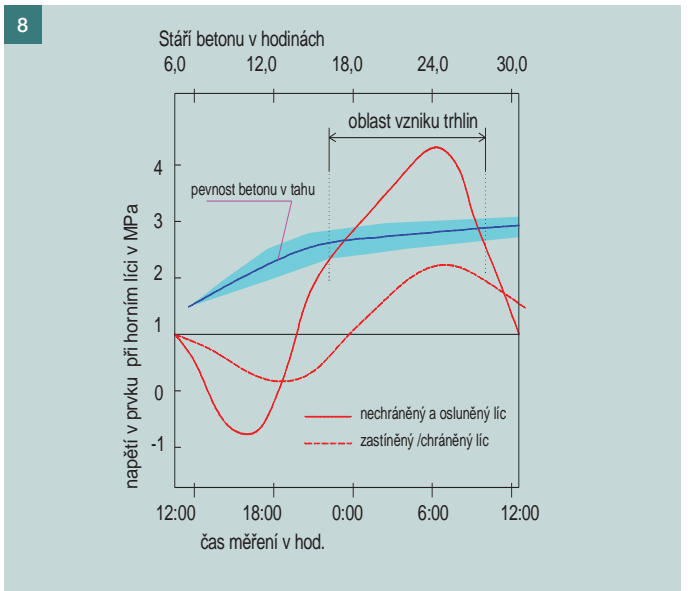
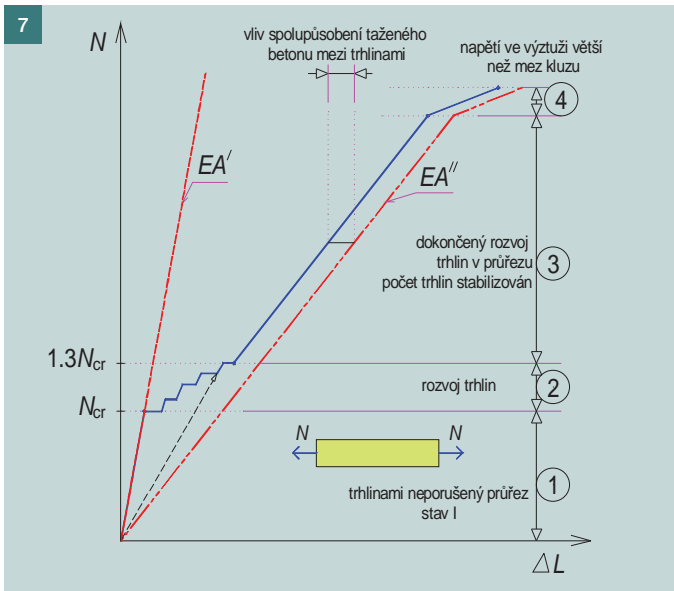
Maximální vzdálenost trhlín podle [1] se stanoví ze vztahu

$$s_{r,max} = k_3 c + k_1 k_2 k_4 \phi / \rho_{p,eff} \quad (5)$$

kde  $c$  je tloušťka betonové krycí vrstvy podélné výztuže;  $k_1$  je součinitel vystihující vlastnosti soudržné výztuže,  $k_1 = 0,8$  pro žebírkovou výztuž s velkou soudržností [1];  $k_2$  je součinitel, který zohledňuje rozdělení poměrného přetvoření,  $k_2 = 1$  pro prostý tah,  $k_2 = 0,5$  pro ohyb a pro mimostředný tah [1];  $k_3$  součinitel jehož hodnota podle doporučení [1] je 3,4 (blíže viz následující text);  $k_4$  je součinitel jehož hodnota podle doporučení [1] je 0,425 a  $\phi$  je průměr použité výztuže.  $\rho_{p,eff}$  je určen ze vztahu (4).

Účinná plocha  $A_{c,eff}$  taženého betonu obklopujícího výztuž se stanoví podle modelů na obr. 2 a obr. 3. Vzhledem k tomu, že lze jen velmi obtížně obecně stanovit spolupůsobící plochu betonu  $A_{c,eff}$ , platí pro její výšku  $h_{c,eff}$  (obr. 2 a 3) minimální hodnota z následujících vztahů





Obr. 7 Pracovní diagram tažených železobetonových prvků | Fig. 7 Stress – strain diagram of reinforced concrete tension members

Obr. 8 Příklad změřeného průběhu napětí při horním lici betonového prvku v závislosti na ošetření horního líce [6] | Fig. 8 Example of measurement of stress development in the upper face of a concrete member in relation on the treatment of the upper face [6]

Obr. 9 Rané a pozdější trhliny | Fig. 9 Cracks in early and later stage

Obr. 10 Maximální průměry výztužných prutů v závislosti na šířce trhliny a napětí ve výztuži | Fig. 10 Maximal diameters of reinforcing bars in dependency on the width of the cracks and the stress in bars

nemohou být. Proto je vhodné rozhodující okolnosti pro šířku trhlin definovat v příslušné dokumentaci. V odborné literatuře se uvádí i odlišná doba pro vyšetřování raných trhlin. Vzhledem k uvedenému je možný pouze přibližný odhad efektivní pevnosti v tahu. Obvykle se doporučuje uvažovat  $f_{ct,eff} = 0,5 f_{ctm}$  pro betony s normálním nárůstem pevnosti (kontrolovaná pevnost v 28 dnech) a  $f_{ct,eff} = f_{ctm}$  pro betony s pomalým nárůstem pevnosti (kontrolovaná pevnost v 90 dnech).

Pokud napětí z omezení nesilových účinků v raném stádiu nepřekračují příslušnou pevnost betonu v tahu, není nutné u konstrukcí pozemních staveb přihlížet k raným trhlinám.

### PRIMÁRNÍ A SEKUNDÁRNÍ TRHLINY

První (rané trhliny) trhliny mohou být primární i sekundární.

Primární trhliny vznikají v tažených vláknech při dosažení efektivní hodnoty pevnosti betonu v tahu ( $f_{ct,eff}$ ). Primární trhliny představují první osnovu trhlin (obr. 4 a 5).

Mezi primárními trhlinami vznikají pak kratší sekundární trhliny (obr. 4 a 6). Při napětí odpovídajícímu cca 1,2 až 1,5  $\sigma_{sr}$  (obvykle se uvažuje střední hodnota 1,3  $\sigma_{sr}$ , kde  $\sigma_{sr}$  je napětí ve výztuži při vzniku primárních trhlin v tažené části betonu, obr. 1 a 7) je dokončen rozvoj sekundárních trhlin.

### Omezení nepřijatelné šířky trhlin bez výpočtu

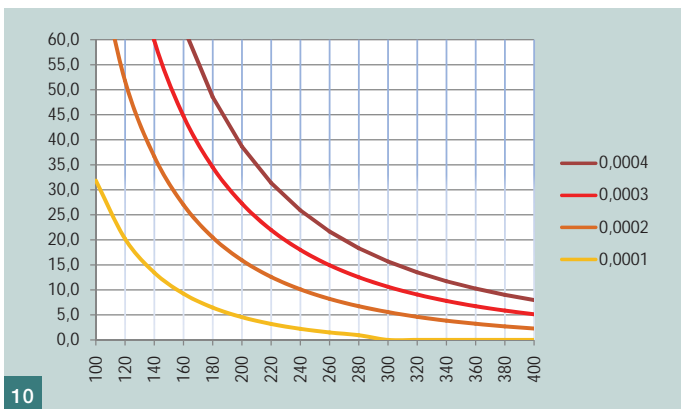
Omezením napětí v tlačené betonové části průřezu a v tažené výztuži lze zajistit přijatelnou šířku trhlin ([1] článek 7.2). Pokud je v tlačném betonu při charakteristické kombinaci omezeno napětí hodnotou  $0,6 f_{ck}$  (v prostředí XD, XF a XS), nevzniknou nežádoucí podélné trhliny. Obdobně lze předpokládat, že nepřijatelně široké trhliny nevzniknou, pokud při charakteristické kombinaci zatížení nepřekročí tahové napětí v betonářské výztuži hodnotu  $0,8 f_{yk}$ . Pokud je napětí vyvozeno i od nesilo-

vých účinků při omezeném přetvoření, pak nemá tahové napětí v betonářské výztuži překročit hodnotu  $1,0 f_{yk}$ .

### ODVOZENÍ TABULKY PRO MAXIMÁLNÍ PRŮMĚR VÝZTUŽE V ZÁVISLOSTI NA NAPĚTÍ

Pro odvození tabulky se předpokládá napětí ve výztuži  $\sigma_{sr} = \sigma_s$  při vzniku primárních trhlin. Dále se uvažují dlouhodobé účinky ( $k_t = 0,4$ ), žebírková výztuž s dobrou soudržností ( $k_1 = 0,8$ ), prvek je namáhán ohybem ( $k_2 = 0,5$  a  $k_c = 0,4$ ), prvek není tlustý ( $k = 1$ ), součinitel vlivu betonové krycí vrstvy ( $k_{3c} = 0,096$ ) představující průměrnou hodnotu mezi betonovou krycí vrstvou 25 a 50 mm) a součinitel vlivu soudržnosti ( $k_4 = 0,425$ ).

Z hlediska geometrie prvku se předpokládá betonová krycí vrstva 25 a 50 mm (výsledná tabulka je ze zprůměrovaných hodnot pro obě betonové krycí vrstvy), výška tažené části průřezu před vznikem primární trhliny je  $h_{ct} = 0,5 h$  (kde  $h$  je celková výška prvku) a výška spolupůsobící s taženou výztuží  $h_{c,eff} = 2,5 (h - d) = 0,1 h$ . Pro vznik primární trhliny se uvažuje  $(\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}) = 0,6 \sigma_s / E_s$ .



Za těchto předpokladů se upraví vztah (1)

$$w_k = s_{r,max} (\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}) = s_{r,max} 0,6 \frac{\sigma_s}{E_s}$$

Označíme-li průměr výztuže stanovený za uvedených předpokladů  $\phi_s$ , dostaneme

$$w_k = \left( k_3 c + \frac{0,17 \phi_s}{\rho_{p,eff}} \right) \frac{0,6 \sigma_s}{E_s} = 0,6 \left( k_3 c + \frac{0,17 \cdot \phi_s}{\rho_{p,eff}} \right) \frac{\sigma_s}{E_s} \quad (7)$$

kde  $c$  je tloušťka betonové krycí vrstvy,  $\rho_{p,eff}$  stupeň vyztužení betonového taženého pasu a  $k_1 k_2 k_4 = 0,17$ , součinitele jsou vysvětleny v tab. 4.

Z rovnice (7) vyjádříme průměr

$$\phi = \left( \frac{w_k E_s}{0,6 \sigma_s} - k_3 c \right) 5,882 \rho_{p,eff}$$

Stupeň vyztužení taženého pasu vyjádříme podle následujících vztahů

$$\rho_{p,eff} = \frac{A_s}{A_{c,ef}} = \frac{A_s}{A_{ct}} \cdot \frac{A_{ct}}{A_{c,ef}} = \frac{A_s}{A_{ct}} \cdot \frac{h_{cr}}{2,5(h-d)}$$

$$\frac{A_{ct}}{A_s} = \frac{1}{\rho_{p,eff}} \cdot \frac{h_{cr}}{2,5(h-d)}$$

kde  $A_s$  je minimální plocha výztuže,  $A_{ct}$  tažená plocha průřezu před vznikem primární trhliny,  $A_{c,ef}$  plocha betonového taženého pasu, která spolupůsobí s výztuží,  $h$  celková výška průřezu,  $d$  je účinná výška průřezu a  $h_{cr}$  výška tažené části průřezu před vznikem primární trhliny.

Napětí ve výztuži v okamžiku vzniku trhlin vyjádříme

$$\sigma_s = k_c k_{ct,ef} \frac{A_{ct}}{A_s} = k_c k_{ct,ef} \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}} \cdot \frac{h_{cr}}{2,5(h-d)}$$

$$\rho_{p,eff} = k_c k_{ct,eff} \frac{f_{ct,eff}}{\sigma_s} \cdot \frac{h_{cr}}{2,5 \cdot (h-d)}$$

kde  $f_{ct,eff}$  je průměrná hodnota pevnosti betonu v tahu v okamžiku prvního očekávání vzniku trhlin. Při odvození se uvažuje  $f_{ct,eff} = 2,9$  MPa.

Po dosazení dostaneme

$$\phi_s = \left( \frac{w_k E_s}{0,6 \sigma_s} - k_3 c \right) \cdot \frac{f_{ct,eff}}{\sigma_s} \cdot \frac{5,882 k_c k_{ct,eff} h_{cr}}{2,5(h-d)}$$

Dosazením všech výše uvedených parametrů dostaneme

$$\phi_s^* = \left( \frac{w_k E_s}{0,6 \sigma_s} - \frac{k_3 c}{\sigma_s} \right) \cdot 13,646 = \left( \frac{w_k \cdot 4\,548\,667}{\sigma_s^2} - \frac{13,646 k_3 c}{\sigma_s} \right) \quad (8)$$

Vztah (8) použijeme pro vytvoření tab. 2 pro maximální průměr výztuže  $\phi_s^*$ . (Hodnotu maximálního průměru označujeme s horním indexem \*, protože skutečný maximální průměr  $\phi_s$  získáme až upravením tabulkové hodnoty  $\phi_s^*$ ).

V tab. 2 jsou mírně vyšší hodnoty maximálního průměru, než jaké uvádí původní tabulka 7.2N v ČSN EN 1992-1-1. Rozdíl je způsoben především použitím nestandardních součinitelů v původní verzi.

Tab. 2 Návrh tabulky 7.2CZ pro maximální průměr  $\phi_s^*$  pro kontrolu trhlin | Tab. 2 Proposal of 7.2CZ table for maximum diameter  $\phi_s^*$  for crack control

Napětí [MPa]	Šířka trhliny [m]		
	$w_k = 0,000\,4$	$w_k = 0,000\,3$	$w_k = 0,000\,2$
160	62,9	45,1	27,3
180	48,9	34,8	20,8
200	38,9	27,6	16,2
220	31,6	22,2	12,8
240	26,1	18,2	10,3
260	21,9	15,1	8,4
280	18,5	12,7	6,9
300	15,8	10,8	5,7
320	13,7	9,2	4,8
340	11,9	8	4
360	10,4	6,9	3,4
380	9,2	6	2,7
400	8,1	5,1	2,9

Tab. 3 Návrh tabulky 7.3CZ pro maximální vzdálenost výztužných prutů | Tab. 3 Proposal of 7.3CZ table for maximal distance of reinforcing bars

Napětí ve výztuži [MPa]	Maximální vzdálenost prutů výztuže [m]		
	$w_k = 0,000\,4$	$w_k = 0,000\,3$	$w_k = 0,000\,2$
160	300	300	200
200	300	250	150
240	250	200	100
280	200	150	50
320	150	100	-
360	100	50	-

Tabulka je stanovena za stejných předpokladů jako tabulka maximálních průměrů

Novou tabulku 7.2CZ lze graficky znázornit (obr. 10). Srovnání hodnot původní tabulky 7.2N a návrhu nové tabulky je graficky zobrazeno na obr. 17.

Při použití tabulky pro stanovení minimální výztuže při dané šířce trhlin odhadneme nejprve napětí  $\sigma_s$  ve výztuži a stanovíme minimální množství výztuže  $A_{s,min}$

$$A_{s,min} = k_c k_{ct,ef} A_{ct} / \sigma_s \quad (9)$$

Vztah (9) vychází z rovnováhy mezi tahovou silou v betonové části před vznikem trhlin a tahovou silou ve výztuži po vzniku trhlin.

Podle napětí ve výztuži stanovíme maximální průměr  $\phi_s^*$  z tabulky (tab. 2). Hodnoty v tabulce jsou však stanoveny za určitých předpokladů (viz výše). Proto je nutné hodnotu maximálního průměru  $\phi_s^*$  z tabulky vždy upravit na konkrétní podmínky. Úprava tabulkových hodnot odpovídá vztahům 7.6N a 7.7N v ČSN EN 1992-1-1 [1].

Tabulkovou hodnotu průměru musíme upravit následovně:

- oprava skutečné pevnosti betonu v tahu  $\phi_s^* \frac{f_{ct,eff}}{2,9}$  (10)

- oprava průřezu pro tažený prvek  $\phi_s^* \frac{k_c \cdot 0,5}{k_2 \cdot 0,4} = \phi_s^* 1,25 \frac{k_c}{k_2} = 1,25 \phi_s^*$  (11)

- oprava průřezu z hlediska geometrie průřezu  $\phi_s^* \frac{kh_{cr}}{2h_{c,eff}}$  (12)

- oprava průřezu z hlediska rozdílu průměrných poměrných přetvoření

$$\phi_s^* K = \phi_s^* \frac{0,6}{1 - \frac{k_t}{k k_c} \cdot \frac{h_{c,eff}}{h_{cr}} (1 + \alpha_e \rho_{p,eff})} \quad (13)$$

Tab. 4 Přehled součinitelů, které jsou nutné pro výpočet šířky trhlin | Tab. 4 Overview of all coefficients for calculation of cracks width

Označení	Význam		EC2
$k$	Vliv nerovnoměrného rozdělení vnitřních rovnovážných napětí vedoucích ke zmenšení sil vyplývajících z omezeného přetvoření	$h \leq 300$ m	1,0
		$h \geq 800$ m	0,65
$k_t$	Vliv doby trvání zatížení	krátkodobé	0,6
		dlouhodobé	0,4
$k_c$	Vliv napětí v průřezu před vznikem trhlin a změna ramene vnitřních sil	tah	1,0
		ohyb s normálovou silou, obdélníkové průřezy	$k_c = 0,4 \left[ 1 - \frac{\sigma_c}{k_1(h/h^*)f_{ct,eff}} \right] \leq 1$
		ohyb s normálovou silou – přilehlé desky	$k_c = 0,9 \frac{F_{cr}}{A_{ct} \cdot f_{ct,eff}} \geq 0,5$
$k_1$	Vliv účinků normálových sil na rozdělení napětí – jen pro $k_c$	tlak	1,5
		tah	$2h/3h$
$k_1$	Vliv vlastností soudržné výztuže	velká soudržnost	0,8
$k_2$	Vliv rozdělení poměrného přetvoření	tah	1,0
		ohyb	0,5
		mimostředný tah	$k_2 = (\varepsilon_1 + \varepsilon_2) / (2\varepsilon_1)$
$k_3$	Součinitel vyjadřující vliv poškozené soudržnosti betonu a výztuže v bezprostřední blízkosti trhliny		$k_3 = 3,4 \left( \frac{25}{c} \right)^{2/3} \leq 3,4$
$k_4$	Součinitel vyjadřující vztah mezi soudržností a pevností betonu v tahu		0,425 $\tau_{sm} = 2,25 f_{ct,eff}$

$A_{ct}$  je plocha betonu v tažené části průřezu těsně před vznikem trhlin,  
 $F_{cr}$  je absolutní hodnota tahové síly v přilehlé desce před vznikem trhlin vyvozená momentem na vzniku trhlin.

Uvedená oprava je natolik komplikovaná, že je často výhodnější přímý výpočet šířky trhlin.

Celková oprava průměru výztuže, tedy vztahy (10) až (13), které nahrazují 7.6N a 7.7N ČSN EN 1992-1-1, je definována následujícími vztahy

$$\phi = \phi_s^* \frac{1,25kk_c h_{cr} f_{ct,eff}}{2k_2 h_{c,eff} 2,9} K, \tag{14}$$

pro tažené prvky lze vztah zjednodušit na

$$\phi = \phi_s^* \frac{kh_{cr} f_{ct,eff}}{4(h-d) 2,9} K, \tag{15}$$

pro ohýbané prvky na vztah

$$\phi = \phi_s^* \frac{kh_{cr} f_{ct,eff}}{5(h-d) 2,9} K. \tag{16}$$

Vztah (16) odpovídá vztahu (7.6N) normy [1] a vztah (15) vztahu (7.7N) [1]. V normových vztazích se zanedbává  $K$  a  $k$  a uvažuje se pouze standardní hodnota  $h_{c,eff} = 2,5(h-d)$ . To do značné míry znehodnocuje použití tabulky (7.2N v textu viz tab. 2). Při použití tabulky bez upřesnění podle vztahu (14) vychází jiné maximální průměry, než u přímého výpočtu, a to průměry i na straně nebezpečné. Tabulka (tab. 2) by tak měla sloužit spíše pro předběžný návrh než pro dimenzování.

Pro předběžný návrh výztuže ohýbaných prvků pomocí tabulek lze s výhodou použít omezení vztahu podle [3]

$$\phi = \phi_s^* \frac{f_{ct,eff}}{2,9}. \tag{17}$$

Při výpočtu pomocí tabulek je nutné vždy překontrolovat vzdálenost prutů podle tab. 3. U tahem namáhaných konstrukcí obvykle vychází vzdálenost prutů výrazně menší než v tab. 3. Naopak u ohýbaných konstrukcí bývá omezení vzdáleností podle tab. 3 významné.

Pro první odhad lze použít i obrácenou formu tabulek pro maximální napětí ve výztuži pro daný průměr. Vyjdeme z rovnice (8) a vyjádříme napětí ve výztuži. Řešením kvadratické rovnice dostaneme závislost mezi napětím a průměrem.

ké rovnice dostaneme závislost mezi napětím a průměrem.

$$\sigma_s^* = -\frac{0,655}{\phi^*} + \sqrt{\left(\frac{0,655}{\phi^*}\right)^2 + \frac{w_k 4 548 667}{\phi^*}}. \tag{18}$$

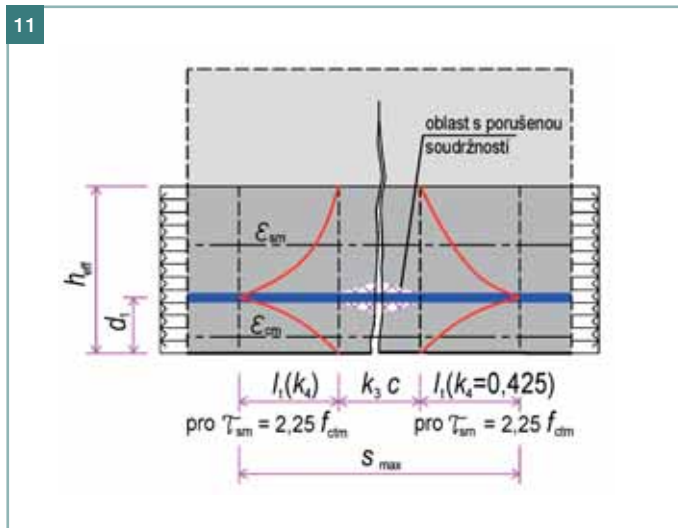
Podle vztahu (18) lze vytvořit obrácenou tab. 8 pro stanovení maximálního napětí ve výztuži při zvoleném průměru prutů. Tabulkové hodnoty je opět nutné opravit, protože byly stanoveny na základě určitých zjednodušení, která je nutné upravit pro daný konkrétní případ. Protože je možné použití tabulky pouze pro první odhad napětí pro přímý výpočet, postačuje obvykle jen oprava skutečné tahové pevnosti betonu analogicky ke vztahu (10)

$$\sigma_s \leq \sigma_s^* \sqrt{f_{ct,eff} / 2,9}. \tag{19}$$

### Minimální výztuž prvků při velkých betonových krycích vrstvách

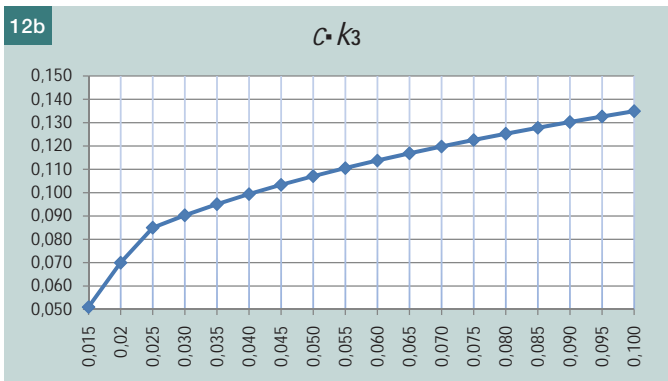
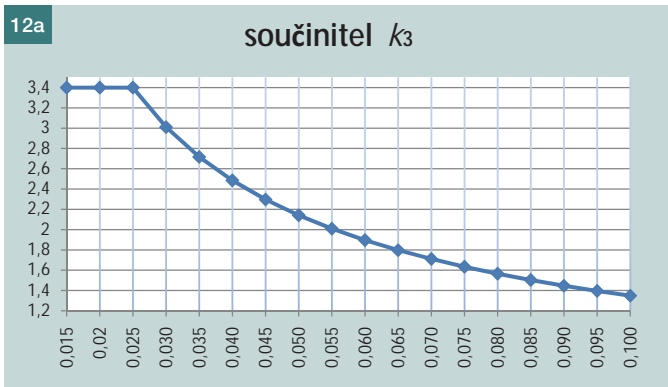
Pro některé konstrukce obvykle v agresivních prostředích se navrhuje tlusté betonové krycí vrstvy. Tabulky a vztahy v EN2 byly optimalizovány pro betonovou krycí vrstvu 25 mm. V [2] byl proveden pečlivý rozbor součinitelů  $k_3$  a  $k_4$  i s ohledem na některé významné národní přílohy. V německé národní příloze k EC2 [3] je změna metodiky výpočtu podle MC90 ( $k_3 = 0$  a  $k_4 = 0,278$ ). Přitom se však mění i řada dalších souvisejících parametrů, které jsou nad rámec standardní národní přílohy). V některých dalších národních přílohách se upřesňuje pouze součinitel  $k_3$ . Přitom je třeba si uvědomit, že součinitele  $k_3$  a  $k_4$  jsou vzájemně svázané (obr. 11).

Z obr. 11 je patrné, že součinitel  $k_3$  vyjadřuje délku oblasti kolem trhliny s porušenou soudržností mezi betonem a výztuží. Součinitel  $k_4$  vyjadřuje vztah mezi soudržností a pevností betonu v tahu. Pokud změním součinitel  $k_3$ , musíme zároveň změnit i průměrnou hodnotu soudržnosti vyjádřenou součinitelem  $k_4$  [3]. Jiné řešení by vedlo k rozdílu hodnot stanovených výpočtem od experimentálně získaných [4].



Obr. 11 Význam součinitelů  $k_3$  a  $k_4$  | Fig. 11 Meanings of coefficients  $k_3$  and  $k_4$

Obr. 12 Součinitel  $k_3$  a hodnota  $ck_3$  pro různé tloušťky betonové krycí vrstvy | Fig. 12 Coefficient  $k_3$  and value  $ck_3$  for various concrete covers



Proto bylo zvoleno řešení upřesněním hodnoty součinitele  $k_3$  pro velké betonové krycí vrstvy.

$$k_3 = 3,4 \left( \frac{25}{c} \right)^{2/3} \leq 3,4 \quad (\text{pro hodnoty betonového krytí } c \leq 25 \text{ [mm] je } k_3 = 3,4), \quad (20)$$

kde  $c$  je tloušťka betonové krycí vrstvy.

Součinitel  $k_3$  je graficky vyjádřen na obr. 12. Definice součinitele byla převzata z národního aplikačního dokumentu Francie [9]. Podle mnoha zahraničních publikací je vliv  $k_3$  pro velké betonové krycí vrstvy v EN 1992-1-1 nadhodnocen (např. [10]). To vede při velkých betonových krycích vrstvách ke zbytečně velkému množství výztuže pro omezení šířky trhlin. Při součiniteli  $k_3$  podle vztahu (20) se zmenšuje staticky nutná plocha výztuže u velkých betonových krycích vrstev (cca 10 % a výše) a přitom se zachovává optimální řešení pro betonovou krycí vrstvu 25 mm, pro kterou byly vztahy v EC2 odvozeny.

Z obr. 11 je rovněž patrné, že tloušťka vrstvy s porušenou soudržností neodpovídá plně betonové krycí vrstvě, protože betonová krycí vrstva má jinou úlohu, a to především chránit výztuž před nepříznivými vlivy prostředí. Samozřejmě, že musí zajistit i dobrou soudržnost mezi betonem a výztuží, ale tato část betonové krycí vrstvy není obvykle rozhodující.

Velkou výhodou definice vztahem (20) je i to, že hodnoty  $ck_3 \approx 0,10$  jsou v nejčastější oblasti použití (betonová krycí vrstva 30 až 50 mm) málo odlišné, což zpřesňuje platnost tabulkových hodnot pro nejběžnější betonové krycí vrstvy. (Poznámka: Tabulkové hodnoty byly vytvořeny jako průměr hodnot pro betonovou krycí vrstvu 25 mm a 50 mm.) Srovnání původní tabulky 7.2N [1] a nově navržené tabulky 7.2CZ je v grafické podobě na obr. 17.

### Příklad výpočtu minimálního množství výztuže pro omezení šířky trhlin v raném stádiu po betonáži prvku

Na jednoduchém příkladě ověříme omezení šířky trhlin v raném stádiu podle ČSN EN 1992-1-1. Provedeme posouze-

ní deskového prvku o tloušťce 550 mm, navržená třída betonu C30/37, betonová krycí vrstva 50 mm. Maximální šířka trhlin 0,3 mm, těžiště výztuže od spodního líce  $d_1 = 0,05 + 0,016/2 = 0,058$  [mm],  $k = 0,825$ . Součinitel délky trvání  $k_t = 0,4$ .

V prvním případě budeme uvažovat tažený prvek. Výška spolupůsobící betonové vrstvy s výztuží (v raném stádiu vzniku trhlin) je  $h_{c,eff} = 0,58 \cdot 2,5 = 0,145$  [m] a plocha  $A_{c,eff} = 0,145 \cdot 1,0 = 0,145$  [m<sup>2</sup>].

Tažená plocha průřezu před vznikem trhliny  $A_{ct} = 0,5 \cdot 0,55 \cdot 1 = 0,275$  m<sup>2</sup>.

Předpokládané vyztužení  $\varnothing 16/100$  mm,  $A_s = 2011$  mm<sup>2</sup>.

$$\rho_{p,eff} = 0,002011 / 0,145 = 0,0139$$

Pro stadium raných trhlin se předpokládá efektivní pevnost betonu v tahu hodnotou  $f_{ct,eff} = 0,5 f_{ctm} = 1,45$  [MPa].

Při dosazení do výše uvedených vztahů dostaneme  $s_{r,max} = 2,14 \cdot 0,050 + 0,8 \cdot 1,0 \cdot 0,425 \cdot 0,016 / 0,0139 = 0,499$  [m].

Napětí ve výztuži při vzniku primární trhliny

$$\sigma_s = k_c k f_{ct,eff} A_{ct} / A_s = 1 \cdot 0,825 \cdot 1,45 \cdot 0,275 / 0,002011 = 163,6 \text{ [MPa]}$$

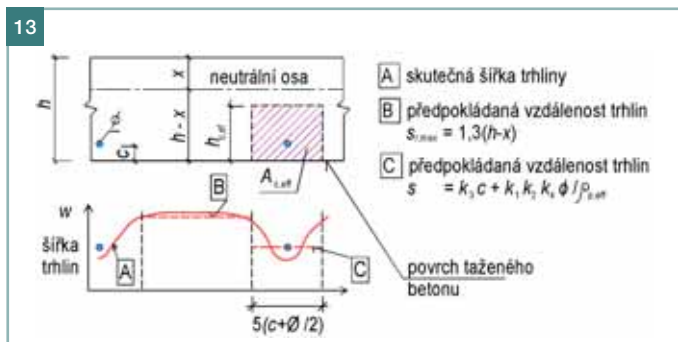
$$\begin{aligned} \varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} &= \\ &= \frac{1}{200000} \left( 163,6 - 0,4 \frac{1,45}{0,0139} (1 + 6,061 \cdot 0,0139) \right) = \\ &= 0,000591 \geq 0,6 \frac{163,6}{200000} = 0,000491 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} w_k = s_{r,max} (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) &= \\ &= 0,499 \cdot 0,000591 = 0,000295 < 0,0003 \text{ [m] vyhovuje.} \end{aligned}$$

Předpokládané vyztužení  $\varnothing 16/100$  mm,  $A_s = 2011$  mm<sup>2</sup> vyhovuje.

### Výpočet pomocí tabulek

Odhad napětí ve výztuži 164 MPa a stanovíme minimální množství výztuže



$$A_{s,min} = k_c k f_{ct,eff} A_{ct} / \sigma_s = 1 \cdot 0,825 \cdot 1,45 \cdot 0,275 / 163,6 = 0,002\ 006 \text{ [m}^2\text{]}$$

Maximální tabulková hodnota průměru výztuže je 42,74 mm (lineární interpolací)

$$\begin{aligned} \phi &= \phi_s^* \frac{kh_{cr}}{4(h-d)} \frac{f_{ct,eff}}{2,9} K = \\ &= 42,74 \cdot \frac{0,825 \cdot 0,275}{4 \cdot 0,058} \cdot \frac{1,45}{2,9} \cdot 0,83 = \\ &= 17,3 \text{ [mm]} > 16 \text{ [mm]} \end{aligned}$$

Zvolený průměr vyhovuje, navržená výztuže vyhovuje. Hodnota minimálního vyztužení z výpočtu a hodnota při použití tabulky si odpovídají.

Při uvažování standardního součinitele  $k_3 = 3,4$  by bylo nutné zvětšit plochu výztuže na  $A_s = 2\ 150 \text{ mm}^2$  (to představuje nárůst cca 7 %). Pro stejný průřez posoudíme šířku trhlin v raném stadiu při ohybovém namáhání, při předpokládaném vyztužení  $\phi 16/250 \text{ mm}$ ,  $A_s = 804 \text{ mm}^2$ .

$$\rho_{p,eff} = 0,005\ 55,$$

$$s_{r,max} = 2,14 \cdot 0,05 + 0,8 \cdot 0,5 \cdot 0,425 \cdot 0,016 / 0,055\ 5 = 0,6 \text{ [m]}$$

$$\sigma_s = 163,6 \text{ MPa}$$

$$a \ \varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = 0,000\ 278 \leq 0,6 \cdot \frac{163,6}{200\ 000} = 0,000\ 491.$$

Šířka trhlin je

$$w_k = s_{r,max} (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = 0,6 \cdot 0,000\ 491 = 0,000\ 295 = 0,000\ 3 \text{ [m]} \text{ vyhovuje.}$$

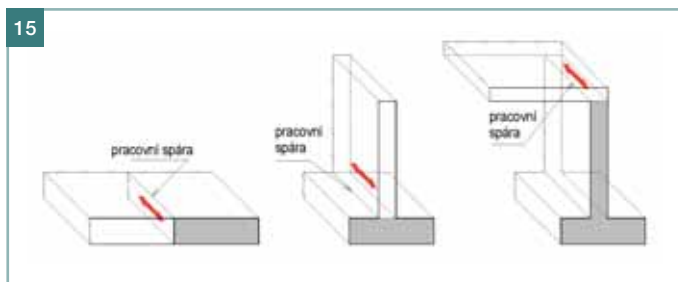
### Výpočet s pomocí tabulek

Tabulková hodnota maximálního průměru je opět 42,74 mm. Tabulkovou hodnotu upravíme

$$\begin{aligned} \phi &= \phi_s^* \frac{kh_{cr}}{5(h-d)} \frac{f_{ct,eff}}{2,9} K = \\ &= 42,74 \cdot \frac{0,825 \cdot 0,275}{5 \cdot 0,06} \cdot \frac{1,45}{2,9} \cdot 1,0 = 16,16 \text{ [mm]} > 16 \text{ [mm]}. \end{aligned}$$

Navržené vyztužení vyhovuje.

Při postupu pomocí tab. 8 nejprve ze zkušeností odhad-



neme průměr výztuže  $\phi 16 \text{ mm}$ . K průměru odhadneme napětí v prvku

$$\sigma_s^* = -\frac{0,655}{\phi^*} + \sqrt{\left(\frac{0,655}{\phi^*}\right)^2 + \frac{w_k \cdot 4\ 548\ 667}{\phi^*}} = 254 \text{ [MPa]}.$$

Hodnotu napětí upravíme  $\sigma_s \leq \sigma_s^* \sqrt{f_{ct,eff} / 2,9} = 179,6 \text{ [MPa]}$  a s mírně nižší hodnotou provedeme výpočet šířky trhlin (viz předchozí výpočet).

### Poznámky k návrhu podle [1]

Výše uvedené vztahy podle ČSN EN 1992-1-1 [1] platí, pokud je výztuž relativně blízko vedle sebe (obr. 13). Pokud jsou jednotlivé pruty vzdáleny od sebe více než  $5(c + \phi/2)$ , stanoví se maximální vzdálenost trhlín vztahem (21).

$$s_{r,max} \approx 1,3(h-x), \quad (21)$$

kde  $h$  je výška průřezu posuzovaného prvku.

Hodnota maximální vzdálenosti trhlin podle vztahu (21) by měla být vždy větší, než hodnota stanovená podle vztahu (5), jinak je doporučeno uvažovat hodnotu definovanou vztahem (5). Vztah (2) pro změnu poměrných přetvoření betonu a výztuže není pro uvedené upraven. Vzhledem k absenci výztuže v dané oblasti nelze ovlivnit šířku trhlin. V oblastech s kontrolovanou šířkou trhlin by vzdálenost jednotlivých prutů výztuže neměla být větší než  $5(c + \phi/2)$ .

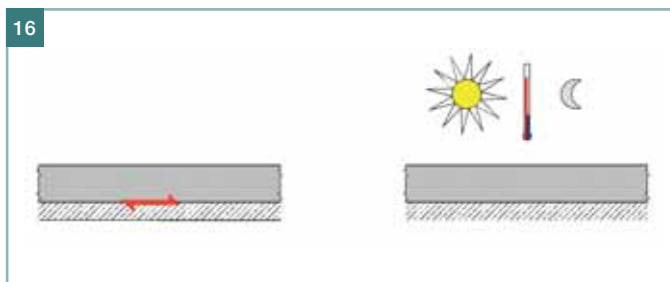
### Stěnové konstrukce ve stadiu raných trhlin

V článku 7.3.4(5) je chybně definována maximální vzdálenost trhlin. Správná hodnota je 1,3násobek výšky stěny.

Uvedené platí pouze pro stěnové konstrukce, které nejsou vyztuženy s ohledem na omezení šířky trhlin. Při stanovení šířky trhlin v raném stadiu lze u těchto stěnových konstrukcí zjednodušeně předpokládat, že maximální vzdálenost trhlin bude přibližně rovna 1,3násobku délky trhliny. U nedostatečně vyztužených stěn betonovaných na starší základový pas vznikne trhlina na celou výšku stěny (obr. 14).

$$s_{r,max} \approx 1,3H, \quad (22)$$

kde  $H$  je výška stěny.



Tab. 5 Příklady vyztužení pro stěny (C30/37) betonované na starší základové pasy, omezení šířky trhlin v raném stadiu ■ Tab. 5 Examples of reinforcement in the walls (C30/37) concreted on older foundation strips, limited crack widths in their early state

Betónová krycí vrstva 40 mm	Stěna [mm]					
	250	300	350	400	450	500
$w_k = 0,0004$ m	Ø12/135	Ø14/145	Ø16/155	Ø16/145	Ø18/165	Ø18/155
$w_k = 0,0003$ m	Ø12/115	Ø14/125	Ø16/135	Ø16/125	Ø18/140	Ø18/135
$w_k = 0,0002$ m	Ø12/90	Ø14/100	Ø16/105	Ø16/100	Ø18/110	Ø18/105

Tab. 6 Součinitele tření základových desek s podložím podle [12] ■ Tab. 6 Friction coefficients between foundation plates and bedrock according to [12]

Spodní konstrukce pod základovou deskou	Oddělující prvky	Součinitel tření $\mu_0$ (charakteristická hodnota) <sup>*)</sup>
Nesoudržné podloží	žádný	1,4 až 2,1
Štěrkové / pískové podloží	žádný	$h = 0,2$ m ... 1,4 <sup>1)</sup>
		$h = 0,8$ m ... 1,4 <sup>1)</sup>
Pískové podloží	Nopová fólie	0,8 až 1
	PE – fólie	0,5 až 0,7
Začišťovací betonová vrstva – vyhlazená	PE – fólie	0,8 až 1,4
	2x PE – fólie	0,6 až 1
	Hydroizolační pás (min. 5mm)	0,35 až 0,7

<sup>1)</sup> h je tloušťka základové desky

<sup>\*)</sup> návrhová hodnota součinitele tření je  $\mu_d = \gamma_R \mu_0 = 1,3 \mu_0$

Tab. 7 Doporučené hodnoty  $w_{max}$  [mm] ■ Tab. 7 Recommended values  $w_{max}$  [mm]

Stupeň vlivu prostředí	Železobetonové prvky a prvky předpjaté nesoudržnou výztuží	Prvky předpjaté soudržnou výztuží
	Kvazi-stálá kombinace zatížení	Častá kombinace zatížení
X0, XC1	0,4 <sup>1)</sup>	0,2 <sup>1)</sup>
XC2, XC3, XC4	0,3	0,2 <sup>2)</sup>
XD1, XD2, XS1, XS2, XS3	0,2	Dekomprese <sup>3)</sup>

<sup>1)</sup> Není-li jiný požadavek, v prostředí X0 a XC1 není výpočet  $w_{max}$  nutný. Pro stupně vlivu prostředí X0, XC1 nemá šířka trhlin vliv na trvanlivost, uvedená hodnota má vztah k obecně přijatelnému vzhledu.

<sup>2)</sup> Pro tyto stupně vlivu prostředí má být kromě toho posouzena dekomprese při kvazi-stálé kombinaci zatížení.

<sup>3)</sup> Při dekompresi se požaduje, aby veškerá soudržná předpínací výztuž nebo hadice byly alespoň 25 mm uvnitř tlačeného betonu.

U nedostatečně vyztužených konstrukčních částí závisí vzdálenost trhlin, a tím i šířka trhlin, na průběhu napětí. Podle srovnávacích výpočtů a praktických zkušeností lze říci, že tahová napětí ze smršťování (z hydratačního tepla) jsou eliminována (právě vznikem trhliny) v oblasti, která délkou odpovídá délce trhliny. Další trhliny vzniknou v maximálně dvojnásobné vzdálenosti délky trhliny.

### MINIMÁLNÍ MNOŽSTVÍ VÝZTUŽE

Minimální množství výztuže se stanovuje v několika úrovních.

První úroveň je minimální množství výztuže z hlediska MSÚ. Minimální množství výztuže vychází z předpokladu, že při vzniku první trhliny převezme tahovou sílu z tažené betonové části, popř. u tlačených prvků vyrovná nehomogenitu betonu.

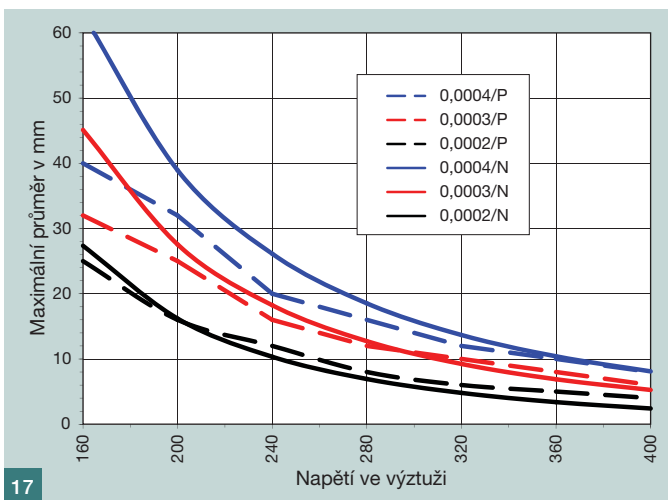
Druhou úroveň je minimální množství výztuže v MSP, které zajistí omezenou šířku trhlin při dodržení pravidel pečlivé realizace železobetonové konstrukce (tab. 7).

Třetí úroveň je zajištění minimálního množství výztuže konstrukčními zásadami (příčná výztuž – sekundární).

Minimální množství výztuže železobetonového prvku musí splňovat všechny tři výše uvedené podmínky.

Tab. 8 Maximální napětí ve výztuži při zvoleném průměru  $\phi_s^*$  ■ Tab. 8 Maximal stress in reinforcement by selected diameter of bars  $\phi_s^*$

Průměr [mm]	Napětí ve výztuži [MPa]		
	Šířka trhlin [mm]		
	0,4	0,3	0,2
6	452,2	380,1	295,2
8	402	339,2	265,1
10	366,1	309,7	243,1
12	338,6	287	226,1
14	316,7	268,9	212,4
16	298,8	254	201
18	283,6	241,3	191,3
20	270,6	230,5	183
22	259,3	221,1	175,7
25	244,8	208,9	166,4
28	232,6	198,6	158,4
32	218,9	187	149,4



Obr. 13 Šířka trhlin  $w_k$  v líci betonového prvku podle vzdálenosti prutů podle EC2 [1] ■ Fig. 13 Crack width  $w_k$  in concrete surface related to the bar spacing according to EC2 [1]

Obr. 14 Šířka trhlin u nedostatečně vyztužených stěn podle EC2 [1] ■ Fig. 14 Crack widths in concrete walls without sufficient reinforcement according to EC2 [1]

Obr. 15 Tažené prvky v raném stadiu ■ Fig. 15 Tension members in early stage

Obr. 16 Ohýbané prvky v raném stadiu ■ Fig. 16 Bending members in early stage

Obr. 17 Srovnání tabulkových hodnot (P – původní tabulka 7.2N a N – nová tabulka 7.2CZ) ■ Fig. 17 Comparison of the table values (P – original table 7.2N, N – new table 7.2CZ)

### Kde jsou tažené prvky ve stadiu raného vývoje trhlin

Tažené prvky v raném stadiu bývají všechny konstrukční prvky, které jsou betonovány na starší prvky vytvořené v předchozí etapě. Jedná se například o stěny betonované na betonové pasy, stropní desky betonované na železobetonové stěny, základové desky betonované na pilotových základech a podobně (obr. 15). Příklady vyztužení stěn na starších betonových základech jsou v tab. 5.



Literatura:

- [1] ČSN EN 1992-1-1 Navrhování betonových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby, ČNI 2006
- [2] Vinkler M., Procházka J.: Porovnání výpočtů šířky trhlin dle různých přístupů, Beton TKS 02/2014, str. 72–78
- [3] DIN EC 1992-1-1 včetně německého NA:2011-01. DIN Deutsches Institut für Normung e.V. Technische Baubestimmungen 2011
- [4] Eurocode 2, Commentary, Europaen Concrete Platform ASBL, Brussel June 2008
- [5] Fingerloos F.: Modification of Crack Control in the German National Annex of EN1992-1-1, 3<sup>rd</sup> Inter. Workshop Design of concrete structures using EuroCodes, September 2012, Vienna, Austria
- [6] Lohmayer G., Ebeling K.: Weisse Wannen einfach und sicher, Konstruktion und Ausführung wasserdurlässiger Bauwerke aus Beton, 6. überarbeitete Auflage. Verlag BAU + TECHNIK, Düsseldorf, 2004
- [7] Zilch K., Zehetmaier G.: Bemessung in konstruktiven Betonbau, Springer 2010, ISBN 978-3-540-70638-0
- [8] Hiller E.: Betontechnologische und Baupraktische Massnahmen gegen die Rissbildung in jungem Beton, Tiefbau 4/2004
- [9] Národní aplikační dokument Francie k EN 1992-1-1
- [10] DAFStB Heft 600
- [11] Eberling K., Lohmeyer G.: Weisse Wannen im Hochbau, Betonkalender 2010, Ernst & Sohn, Berlin, ISBN: 978-3-433-02931-2
- [12] DAFStB – Richtlinie Wasserundurchlässige Bauwerke aus Beton (WU – Richtlinie) 2009

### Kde jsou ohýbané prvky ve stádiu raného vývoje trhlin

Ohýbané prvky bývají všechny konstrukční prvky, u kterých jsou omezena přetvoření z nesilových účinků v první fázi životnosti konstrukce.

Pro základové desky lze uvažovat tření s podkladem podle tab. 6.

### ZÁVĚR

Minimální plocha výztuže je důležitá pro zajištění dostatečné duktility konstrukce a pro omezení šířky trhlin na přijatelnou míru. Minimální plocha výztuže nemůže eliminovat trhliny při nekvalitní realizaci konstrukce, je dostatečná pouze při správně provedené betonáži a vhodném ošetřování čerstvého betonu směsí po uložení. Minimální plocha výztuže neřeší rovněž trhliny vzniklé z předčasného či nevhodného zatížení konstrukce v průběhu realizace stavebního díla.

Tento příspěvek byl vypracován za podpory grantu TA 02010837

Víceúčelový demontovatelný železobetonový prefabrikovaný stavební systém.

Ing. Jiří Šmejkal, CSc.  
ŠPS statická kancelář  
332 01 Týmákov 353  
tel.: 608 548 788  
e-mail: jiri.smejkal@email.cz



prof. Ing. Jaroslav Procházka, CSc.  
Fakulta stavební ČVUT v Praze  
Katedra betonových a zděných konstrukcí  
Thákurova 7, 166 29 Praha  
tel.: 224 354 633, 602 825 789  
e-mail: jaroslav.prochazka@fsv.cvut.cz



## PUBLIKACE fib

### FIB BULLETIN 71: INTEGRATED LIFE CYCLE ASSESSMENT OF CONCRETE STRUCTURES



Beton je po vodě druhým nejužívanějším materiálem na Zemi. Roční produkce betonu se v průmyslových zemích pohybuje mezi 1,5 až 3 t/osoba a v některých zemích ještě roste. To má významný dopad na životní prostředí a zdůrazňuje to potřebu efektivního využívání betonových konstrukcí a s tím související posuzování jejich únosnosti a životnosti.

Úkolem pracovní skupiny fib TG 3.7 bylo stanovení metodologie posuzování životního cyklu betonových konstrukcí, která měla zahrnout všechny podstatné aspekty udržitelnosti, jako jsou životní prostředí, sociální a ekonomické aspekty z pohledu celé životnosti betonové konstrukce. Cílem bylo sestavení základní metodiky, která by měla pomoci při dalším vývoji postupů pro navrhování a posuzování betonových konstrukcí se zaměřením na trvanlivost a vztah k životnímu prostředí po celý životní cyklus betonových konstrukcí.

Integrované posuzování životního cyklu (ILCA, Integrated Life Cycle Assessment) je pokročilý přístup zahrnující různé aspekty udržitelnosti do jednoho komplexního procesu posuzování. Ucelený přístup je nezbytný k potvrzení, že konstrukce bude sloužit maximálně kvalitně a bezpečně po celou požadovanou dobu životnosti, zatímco zatížení prostředí a ekonomické náklady budou co nejnižší. Efektivní využití a kvalitní výsledky navržené metody jsou závislé na dostupnosti odpovídajících vstupních údajů pro detailní analýzu založenou na specifických místních podmínkách. Určení současné úrovně kvality betonové konstrukce by mělo vycházet z detailní ILCA analýzy při užití odpovídajících regionálních nebo místních souborů vstupních dat.

Počet stran: 62. Cena pro nečleny fib: 80 CHF, ISBN 978-2-88394-111-3

### FIB BULLETIN 72 – BOND AND ANCHORAGE OF EMBEDDED REINFORCEMENT: BACKGROUND TO THE FIB MODEL CODE FOR CONCRETE STRUCTURES 2010



Pracovní skupina fib TG 4.5 *Bond Models* zpracovala přehled a zrevidovala všechna pravidla týkající se soudržnosti výztuže a betonu a kotvení do betonu, která vychází z *CEB-FIP Model Code 1990*. Tuto aktivitu je možno brát jako přípravu na zpracování pravidel dle *fib Model Code for Concrete Structures 2010 (fib MC2010)*.

*fib Bulletin 72* je výstupem uvedeného přehledu. Jeho cílem je popsat podklady a zdroje, z kterých vycházejí pravidla zahrnutá ve *fib MC2010*, aby zdrojová data mohla být využita pro ověření jejich platnosti stejně jako posouzení postupu odvození nových návrhů a úprav. To umožní specializovaným uživatelům pochopit pravidla a rovněž popsat základy přístupu fyzikálního modelu pro využití budoucích revizních komisí.

Principiální změny ve *fib MC2010* zahrnují zvýšení mezní pevnosti betonu, který může být použit, když odolnost proti porušení v soudržnosti je dána hodnotou 110 MPa, zavádí koeficient  $\eta_4$  zohledňující různé třídy výztuže a zahrnuje také nové konstrukční materiály včetně povlakované výztuže nebo speciální výztuže zakončené hlavou. *fib Bulletin 72* mění formát pravidel návrhu a připouští racionálnější přístup k požadavkům na betonovou krycí vrstvu příčné výztuže, příspěvek koncových háků a ohybů tažených prutů a tolerance přesahů tlacené výztuže. Poskytuje nová doporučení zahrnující oblast konstrukčních postupů a metod, prostředí, v kterém bude konstrukce nebo její část užívána, a vliv dlouhodobé degradace materiálů.

Vydáno v květnu 2014. Počet stran: 170. Cena pro nečleny fib: CHF 120. ISBN 978-2-88394-112-0

Pro nákup fib bulletinů použijte on-line obchod na [www.fib-international.org/publications/fib](http://www.fib-international.org/publications/fib).