

POROVNÁNÍ VÝPOČTŮ ŠÍŘKY TRHLIN PODLE RŮZNÝCH PŘÍSTUPŮ

Marek Potrebujes, *

Katedra betonových a zděných konstrukcí, Fakulta stavební,
České vysoké učení technické v Praze, Thákurova 7/2077, 166 29 Praha 6, Česká republika.
marek.potrebujes@fsv.cvut.cz

ABSTRAKT

Článek se zabývá výpočtem šířky trhliny vzniklé od silových účinků, a to podle normových doporučení nebo alternativních postupů výpočtu. Článek obsahuje stručnou rešerši na téma trhlín v železobetonových prvcích a na charakteru jejich vzniku. Dále jsou zde popsány jednotlivé metody výpočtů šířky trhlín.

Rozdíly v jednotlivých přístupech jsou aplikované na modelovém příkladu, který reprezentuje obdélníkový průřez. Srovnání jednotlivých metod proběhne na modelovém průřezu pro tři různé varianty vyztužení. Pro všechny případy je uvažována stejná tloušťka krycí vrstvy výztuže. Následně jsou výsledky porovnány v tabulce.

KLÍČOVÁ SLOVA

Železobeton • Trhliny • Eurokód 2 • *fib* Model Code

ABSTRACT

The article deals with the calculation of the width of cracks resulting from force effects according to standard recommendations or alternative calculation procedures. The article contains a brief review of the topic of cracks in reinforced concrete and the nature of their formation. In addition, various methods of crack width calculations are described.

The differences in the various approaches are shown on a model example representing a rectangular cross-section. The comparison of the different methods is performed on the cross-section for three different reinforcement variants. The same thickness of the cover layer of reinforcement is considered for all cases. The results are then compared in a table.

KEYWORDS

Reinforced concrete • Cracks • Eurocode 2 • *fib* Model Code

1. ÚVOD

Trhliny provázejí všechny železobetonové konstrukce. Je to jev, kterému nelze zabránit, avšak při vhodných opatřeních lze šířku trhlín redukovat. Trhliny mohou vzniknout působením mechanického zatížení nebo vlivem nesilových účinků. Mezi nesilové účinky patří objemové změny betonu. Ty jsou způsobeny reologickými jevy, mezi které patří smršťování a

dotvarování betonu, nebo změny objemu od vývinu hydratačního tepla.

Vznik trhlín je zapříčiněn dosažením jednoho ze dvou kritérií, a to buď pevnostního nebo energetického. Pevnostní kritérium je definováno tak, že je překročena tahová pevnost betonu. Energetické kritérium lze definovat tak, že dochází ke hromadění deformační energie v průřezu. To má za následek vznik mikrotrhlín, které se postupně rozvíjejí až do vzniku souvislé trhliny. Šířka trhliny poté vzrůstá se zvyšujícím se zatížením. Tudiž při vzniku a vývoji trhlín závisí na tahové pevnosti betonu a lomové energii betonu.

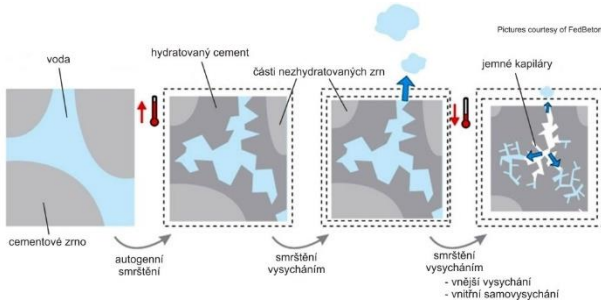
Šířka trhlín se posuzuje zpravidla ve dvou případech. Trhliny vznikající omezením deformace (např. od ochlazení při hydrataci betonu nebo od smršťování betonu). Druhým případem je šířka trhlín od silových účinků při zatížení konstrukce (při vlivu návrhové kombinace zatížení v mezních stavech použitelnosti – kvazistálá a častá kombinace zatížení). Článek je věnován zejména druhému případu, kde byly porovnány různé návrhové přístupy výpočtů šířky trhlín.

2. TYPY TRHLIN

Prvním typem trhlín jsou povrchové trhliny, které převážně vznikají na horním líci plošných prvků, kde kopírují výztuž nebo mají nezávislý průběh. Hloubka trhlín je obvykle malá. Příčinou těchto trhlín je rané smršťování betonu, které může být zapříčiněno způsobem a kvalitou ošetřování betonové směsi při zrání. Jedním z příčin vzniku trhlín je autogenní smršťování. Při tomto jevu dochází ke zmenšení objemu pojiva při hydrataci, což znamená, že objem vody a cementu (pojiva) je větší, než samotná zhydratovaná část. Vzniká především v raném stádiu betonu, kdy je pevnost betonu nízká a je tedy vysoké riziko vzniku trhlín. Další příčina je vznik trhlín od vysychání betonu. Jedná se o jev, ke kterému dochází když je již povrch betonu odbedněn nebo je ukončeno ošetřování. Je tedy vystaven vnějšímu prostředí a dochází k odpařování vody z pórů. Tento fenomén se také označuje jako plastické smršťování. Posledním typem je deformace od vlivu teploty (obvykle nerovnoměrně rozdělené po průřezu), kdy vznikají přídavná tahová napětí, které mají za následek vznik trhlín. Příčinou změny teploty je buď vnější vliv nebo vývoj hydratačního tepla, který je způsoben chemickou reakcí pojiva s vodou. Vzrůst tepla současně urychluje hydratační proces a působí růst objemu. Při snížení

* Školitel: prof. Ing. Jan L. Vitek, CSc, FEng.

teploty se poté beton nerovnoměrně smršťuje a vznikají trhliny. Tyto trhliny mohou být i přes celý průřez.



Obrázek 1 Průběh smršťování a vysychání [eBeton]

Druhým typem trhlin jsou hluboké trhliny. Tyto trhliny vznikají vnějším vlivem na konstrukci, převážně se jedná o mechanické zatížení, ale mohou vzniknout i omezením vynucených deformací. Podle charakteru vnitřních sil (ohybový moment, posouvající síla, tahová síla) se rozlišují trhliny na tahové, ohybové, smykové trhliny. Dalším dělením je podle času, kdy vzniknou. Dělí se na primární a sekundární trhliny. Primární trhliny jsou širší a delší, šířka trhliny může procházet celým průřezem. Při vyšší intenzitě zatížení začnou vznikat sekundární trhliny, které se rozvíjejí mezi primárními trhlínami. Bývají nižšího charakteru, tenčí a kratší. V Tabulka 1 jsou znázorněny trhliny od zatížení.

Tabulka 1 Trhliny podle charakteru zatížení [Šmejkal, J., Procházka, J., 2014]

Druh trhliny	Schéma	Popis
Tahové trhliny		Procházejí celým průřezem
Ohybové trhliny		Kolmo k tažené výztuži, délka do oblasti N.O.
Smykové trhliny		Skloněné vůči ose prvku, vyvíjejí se po vzniku ohybových trhlin
Primární a sekundární trhliny		Primární trhliny dosahují N.O., sekundární jsou jen v oblasti výztuže

3. POSTUPY VÝPOČTU ŠÍŘKY TRHLINY

V této kapitole je uvedeno několik způsobů výpočtu šířky trhliny. Jedná se o postupy převzaté z ČSN EN 1992-1-1, fib Model Code 2010, návrhu fib Model Code 2020, postup podle autorů Schlicke, Fehling a ost. a postup podle autora Windische. Pro jednotlivé přístupy je popsán postup, jak se stanoví šířka trhliny, včetně vysvětlení vzorců. Postup podle ČSN EN 1992-1-1 je brán jako referenční.

Základní vztah, který se často objevuje v normových doporučeních pro určení šířky trhliny, je následující:

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

kde $s_{r,max}$ je maximální vzdálenost trhlín, ε_{sm} , ε_{cm} jsou střední poměrná přetvoření ocelové výztuže, respektive betonu. U konkrétních postupů je i vliv poměrného přetvoření od smrštění betonu na šířku trhliny, které je označeno ε_{cs} .

3.1. ČSN EN 1992-1-1 Změna Z3

Podle u nás používané evropské normy (Eurokódu) se šířka trhliny určí ze vztahu (1). Maximální vzdálenost trhliny $s_{r,max}$ se spočte podle vztahu (2), rozdíl poměrných přetvoření výztuže a betonu podle rovnice (3). Vztahy jsou následující:

$$s_{r,max} = k_3 c + k_1 k_2 k_4 \frac{\emptyset}{\rho_{eff}} \quad (2)$$

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{eff}} (1 + \alpha_e \rho_{eff})}{E_s} \geq 0,6 \frac{\sigma_s}{E_s} \quad (3)$$

$$\alpha_e = \frac{E_s}{E_{cm}} \quad (4)$$

kde \emptyset je průměr prutu, c je krytí výztuže, k_1 označuje součinitel, kterým se zohledňuje povrch výztuže. (= 0,8 pro žebírkovou výztuž, = 1,6 pro hladkou výztuž), k_2 je součinitel zohledňující vliv rozdělení poměrného přetvoření (= 0,5 pro ohybaný prvek, = 1,0 pro centricky tažený prvek), k_3 je součinitel vlivu krycí vrstvy, ve změně Z3 se změnil vztah, který je uveden ve (5), k_4 zohledňuje vliv soudržnosti betonu a výztuže (= 0,425). Součinitel k_3 a k_4 jsou doporučené hodnoty pro českou národní normu.

$$k_3 = 3,4 \left(\frac{25}{c}\right)^{2/3} \quad (5)$$

Napětí ve výztuži σ_s je dáno vztahem (6). Napětí se určí z ohybového momentu od kvazistálé kombinace (popř. od časté kombinace zatížení) pro průřez oslabený trhlínou. Ten je definován momentem setrvačnosti ideálního průřezu, který je oslaben trhlínou pro dlouhodobé zatížení $I_{II,eff}$

$$\sigma_s = \alpha_e \frac{M_{Eqp}}{I_{II,eff}} (d - x) \quad (6)$$

α_e je pracovní součinitel materiálů, který je dán vztahem (4), jedná se o poměr středních modulů pružnosti výztuže a betonu, ρ_{eff} je efektivní stupeň vyztužení, který je stanoven poměrem plochy tažené výztuže A_s a efektivní plochy betonu $A_{c,eff}$ (7), efektivní plocha betonu je dána vztahem (8) pro obdélníkový průřez.

$$\rho_{eff} = \frac{A_s}{A_{c,eff}} \quad (7)$$

$$A_{c,eff} = b h_{c,eff} \quad (8)$$

kde efektivní výška průřezu $h_{c,eff}$ se určí z podmínky (9).

$$h_{c,eff} = \min \left\{ 2,5(h - d); \frac{h-x}{3}; \frac{h}{2} \right\} \quad (9)$$

Efektivní tahovou pevnost betonu $f_{ct,eff}$ je možné uvažovat jako střední hodnotu pevnosti betonu v tahu ($f_{ct,eff} = f_{ctm}$). Součinitel k_t určuje vliv doby trvání zatížení (= 0,4 pro dlouhodobé zatížení, = 0,6 pro krátkodobé zatížení).

Pokud vzdálenost soudržné výztuže překročí $5 \times (c + \emptyset/2)$, nebo pokud soudržná výztuž není v tažené oblasti, lze

horní mez šířky trhlin stanovit za předpokladu max. vzdálenosti trhlin (10)

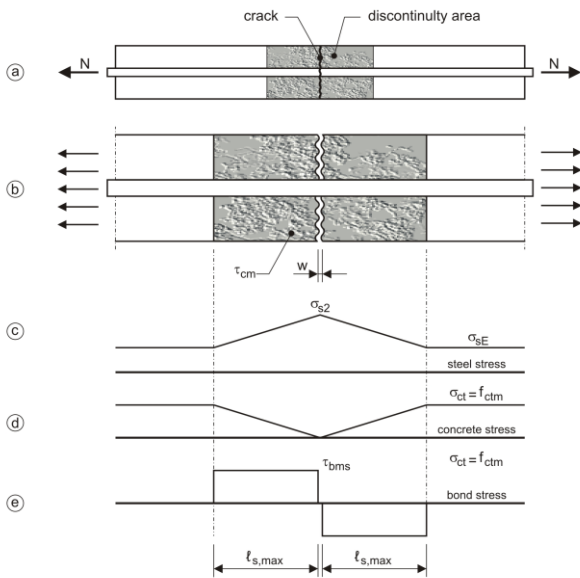
$$s_{r,max} = 1,3(h - x) \quad (10)$$

3.2. fib Model Code 2010

fib Model Code 2010 představuje mírně odlišný postup výpočtu šířky trhliny. Výpočet je dán vztahem (11), kde zatížení je reprezentováno centrickým tahem na prvek.

$$w_k = 2l_{s,max}(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} - \eta_r \varepsilon_{cs}) \quad (11)$$

Výpočet se liší členem $2l_{s,max}$ (12), který označuje délku diskontinuity (nespojítost) přenosu sil mezi výztuží a betonem. Na Obrázek 2 je graficky znázorněna délka $l_{s,max}$. Člen ε_{cs} reprezentuje poměrné přetvoření od smrštění betonu přispívající k rozvětvení trhlin, avšak v tomto případě nebude zohledněno, protože se článek zabývá hlavně trhlinami vzniklými silovými účinky.



Obrázek 2 Zjednodušené zobrazení napětí oceli, betonu ve fázi vzniku trhliny [fib Model Code 2020 for Concrete Structure, proposal 2021]

$$l_{s,max} = kc + \frac{1}{4} \frac{f_{ctm}}{\tau_{bms} \rho_{eff}} \phi \quad (12)$$

Vztah (12) je velmi podobný výpočtu v ČSN EN pro stanovení $s_{r,max}$ (2), pouze s odlišnými koeficienty. Koeficient k značí kalibrační hodnotu (= 1,0), c je krytí výztuže a τ_{bms} je soudržná pevnost mezi betonem a ocelí.

Pro ohýbané prvky je nutné zvětšit šířku trhliny členem R (13), který označuje rozvětvení trhliny vlivem ohybového zatížení prvku.

$$R = \frac{h-x}{d-x} \quad (13)$$

Rozdíl poměrných přetvoření se určí stejně podle EC2, vztah (3), s rozdílem, že není požadovaná kontrola nerovností.

3.3. Návrh fib Model Code 2020

Nastávající normové doporučení fib Model Code 2020, který je momentálně v revizi před vydáním používá obdobný postup jako EC2. Výpočet šířky trhliny je dán vztahem (14).

$$w_{cal} = k_{1/r} s_{r,max} (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) \quad (14)$$

Rozdílem je přidání koeficientu $k_{1/r}$, který označuje faktor zvětšení šířky trhliny v důsledku zakřivení prvku při ohybu. V případě centrického tahu se zjednodušeně uvažuje 1,0. Pro kombinaci ohybu a osové síly lze určit ze vztahu (15), který je stejný jako z předchozího fib Model Code 2010 značeného R (13).

$$k_{1/r} = \frac{h-x}{d-x} \quad (15)$$

Oproti EC2 je maximální vzdálenost mezi trhlinami $s_{r,max}$ dána vztahem (16)

$$s_{r,max} = \beta_w (k_c c + k_{\phi/\rho} k_{fl} k_b \frac{f_{ctm}}{\tau_{bms} \rho_{eff}} \phi) \quad (16)$$

kde β_w je faktor při stabilizované fázi (= 1,7) nebo ve fázi vzniku trhlin (= 2,0), k_c je empirický parametr pro kvantifikaci vlivu krytí betonu (zjednodušeně = 1,5), c je maximální krytí z horizontálního nebo vertikálního směru od prutu, $k_{\phi/\rho}$ je parametr kvantifikující vliv vazby τ_{bms} (pokud je τ_{bms} konstantní přes přenosovou délku = 0,25), k_{fl} je faktor zohledňující rozložení napětí před vznikem trhlin (17)

$$k_{fl} = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{h-x_g - h_{c,ef}}{h-x_g} \right) \quad (17)$$

kde x_g je vzdálenost neutrální osy před vznikem trhlin, $h_{c,ef}$ je efektivní výška průřezu. Pro obdélníkové průřezy vystavěné čistému ohybu lze zjednodušeně vyjádřit pomocí vztahu (18)

$$k_{fl} = \frac{h-h_{c,ef}}{h} \quad (18)$$

Součinitel k_b je faktor zohledňující prostředí vzniku trhlin (= 0,9 pro vyztužení v dobrých podmínkách, = 1,2 pro vyztužení ve špatných podmínkách).

Rozdíl poměrných přetvoření je obdobný jako v EC2 a je dáno následujícím vztahem (19)

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{\sigma_s - \beta_{TS} \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{eff}} (1 + \alpha_e \rho_{eff})}{E_s} \geq \frac{\sigma_s}{E_s} (1 - \beta_{TS}) \quad (19)$$

kde β_{TS} je empirický koeficient pro posouzení střední deformace oceli vzhledem na charakteru zatížení. Hodnoty β_{TS} a τ_{bms} jsou vypsány v Tabulka 2.

Tabulka 2 Hodnoty pro β_{TS} a τ_{bms} pro deformované výztužné pruty

Typ zatížení	Fáze rozvoje trhlin	Ustálená fáze trhlin
krátkodobé, okamžité	$\tau_{bms} = 1,8f_{ctm}(t)$ $\beta_{TS} = 0,6$	$\tau_{bms} = 1,8f_{ctm}(t)$ $\beta_{TS} = 0,6$
dlouhodobé, opakované	$\tau_{bms} = 1,35f_{ctm}(t)$ $\beta_{TS} = 0,6$	$\tau_{bms} = 1,8f_{ctm}(t)$ $\beta_{TS} = 0,4$

3.4. Postup podle autorů Schlicke, Fehling a ost.

Alternativní způsob výpočtu šířky trhliny publikovaný akademickými pracovníky z Technických univerzit v Grazu a Kasselu popisuje dva postupy výpočtu šířky trhliny. Prvním způsobem je mechanický model a druhým způsobem je kalibrovaný model. První způsob je základní výpočet na principu vazby vztahu napětí a kluzu na rozhraní výztuže železobetonu. Způsob bezpečně predikuje maximální šířku trhliny za předpokladu maximální vzdálenosti mezi trhlínami v rozhodující fázi tvorby trhliny. Druhý způsob je systematická analýza experimentů a kalibrace předdefinovaných výpočtů. Přesnost předpovědi charakteristické šířky trhliny je třeba řešit statistickou úpravou, především s ohledem na rozdíl střední a maximální hodnoty šířky trhliny

3.4.1. Mechanický model

Výpočet šířky trhliny je totožný jako v EC2 (1). Změna je pouze u výpočtu vzdálenosti mezi trhlínami. Ten je dán následujícím vztahem (20)

$$s_r = 2l_{es} = \frac{f_{ctm}}{2\tau_{bms}} \frac{\phi}{\rho_{eff}} \leq \frac{\sigma_s \phi}{2\tau_{bms}} \quad (20)$$

Je nutné řešit rozptyl středních hodnot materiálových vlastností a efektivní plochu betonu ve fázi tvorby trhlín. Klíčovým vstupním datem je stupeň vyztužení průřezu a průměr výztuže.

Tento postup je použitý v německé a rakouské národní příloze norem EC2 a *fib* Model Code 1990.

3.5. Postup podle Windische

Druhý alternativní postup výpočtu šířky trhliny publikoval ve své práci profesor Technické univerzity v Budapešti Andor Windisch. Windisch definuje svůj způsob výpočtu efektivní tažené plochy kolem výztuže. Ve zjednodušeném vztahu bez vlivu přetvoření od smrštění je rovnice pro výpočet šířky trhliny definována v (21)

$$w_d = 2l_{s,max}(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm(t=0)}) \quad (21)$$

Rovnice je podobná jako v případě *fib* Model Code 2010, nicméně s některými úpravami.

$$l_{s,max} = 0,9l_{s0} \quad (22)$$

$$l_{s0} = \frac{A_{s1}\sigma_{s,cr}}{\phi\pi\tau_{cr}} \quad (23)$$

$$\sigma_{s,cr} = f_{ct,i} \frac{W_{ci,i}}{W_{si,II}} \alpha \quad (24)$$

$$f_{ct,i} = f_{ctk,max} = 1,3f_{ctm} \quad (25)$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{1}{E_s}(\sigma_{s,SLS} - 0,45\sigma_{s,cr} \frac{\tau_{SLS}}{\tau_{cr}}) \quad (26)$$

kde $l_{s,max}$ je délka přenosu sil po obou stranách primární trhliny o šířce w_k (šířka primární trhliny) mezi výztuží a betonem, tato hodnota je nezávislá na střední vzdálenosti trhliny. Délka přenosu vazby l_{s0} při vzniku primární trhliny, ε_{sm} je střední hodnota přetvoření oceli, $\sigma_{s,cr}$ je napětí oceli v místě primární trhliny, τ_{cr} je skutečné napětí ve vazbě při vzniku primární trhliny (= 1,8 f_{ctm}), τ_{SLS} je napětí ve vazbě za podmínek napětí a kluzu oceli v SLS, pro zjednodušení lze

uvažovat poměr $\tau_{SLS}/\tau_{cr} = 0,5$. $W_{ci,I}$ je průřezový modul neporušeného ideálního průřezu betonu pro betonová vlákna v tahu, $W_{si,II}$ je průřezový modul pro výztuž v porušeném průřezu, $f_{ct,i}$ je skutečná pevnost betonu v tahu.

4. ANALYTICKÝ VÝPOČET ŠÍŘKY TRHLINY

Pro porovnání jednotlivých přístupů byly vytvořeny modelové příklady železobetonového průřezu s uvažovaným namáháním ohybovým momentem.

Trám byl uvažován šířky 350 mm a 500 mm. Modelové výpočty byly provedeny pro tři varianty různě vyztužené průřezy. Tahová výztuž je uvažována 5Ø14, 3Ø16, 5Ø16, jako smyková výztuž jsou uvažované tříminky Ø10. Zvolené varianty vyztužení byly vybrány s ohledem na dosažení rozdílnosti výsledků při změně počtu prutů a profilu výztuže. Krycí vrstva betonu je uvažována hodnotou 30 mm. Modelové varianty splňují podmínku minimálního vyztužení podle EC2.

Uvažovány jsou materiály beton C30/37 a betonářská ocel B500B. Modul pružnosti je uvažován jako střední modul pružnosti betonu E_{cm} . Ohybový moment od kvazistálé kombinace je uvažován 70 kNm.

5. VÝSLEDKY

V této kapitole jsou shrnuty výsledky jednotlivých přístupů výpočtů šířky trhliny. Vypočtené hodnoty šířky trhliny jsou uvedené v *Tabulka 3*.

Tabulka 3 Šířka trhliny pro modelový průřez

	5Ø14	3Ø16	5Ø16
A_s [mm ²]	769,7	603,2	1005,3
ρ [%]	1,87	1,44	2,39
ČSN EN 1992-1-1 Z3	0,1212	0,1958	0,0871
MC2010	0,1540	0,2641	0,1072
MC2020	0,1404	0,2318	0,0983
Schlicke 1	0,1112	0,2098	0,0759
Windisch	0,1449	0,1410	0,1104

6. DISKUSE

V této kapitole je provedena diskuse výsledků pro tři různé stupně vyztužení průřezu. Referenčním výsledkem je uvažována šířka trhliny pro českou národní normu ČSN EN 1992-1-1 Z3.

Pro stupeň vyztužení 1,87% (5Ø14) je nejmenší šířka trhliny pro postup podle Schlicke 1 (mechanický model), přibližně 92% šířky trhliny referenční hodnoty trhliny. Zbylé postupy vykazují větší šířku trhliny. Největší šířku trhliny prokázal postup podle *fib* MC2010, kdy šířka byla přibližně 127% oproti referenční šířce trhliny. Z výsledků je patrné, že pro postupy podle návrhu *fib* MC2020 a postupu podle Windische jsou šířky trhliny podobné.

Pro stupeň vyztužení 1,44% (3Ø16) je nejmenší šířka trhliny podle postupu Windische, přibližně 72% referenční šířky trhliny. Největší šířku trhliny opět vyazuje postup *fib*

MC2010, a to přibližně 134% referenční šířky trhliny. Anomálií výsledků pro tento stupeň vyztužení je hodnota výpočtu podle Windische, jelikož u ostatních stupňů vyztužení vykazují určitý trend větší šířky trhliny oproti referenční šířce trhliny. Může to mít za následek jiný způsob výpočtu délky přenosu sil mezi výztuží a betonem $l_{s,max}$ oproti jiným postupům.

Pro největší stupeň vyztužení 2,39% (5Ø16) je nejmenší šířka trhliny jako v prvním případě pro postup podle Schlicke 1 (mechanický model), přibližně 87% referenční hodnoty. největší šířka trhliny je v tento případ podle postupu Windische, zde je přibližná šířka trhliny 126% referenční hodnoty.

7. ZÁVĚR

Článek se zabýval normovými doporučeními, jak vypočítat šířku trhliny v průřezu. K normovým doporučením byly přidány i alternativní postupy, které byly odvozeny z výsledků experimentálních výzkumů. Jednotlivé metody byly stručně popsány vzorci a také rozdíly oproti referenčnímu postupu podle ČSN EN 1992-1-1 Z3. Srovnání jednotlivých metod proběhlo na modelovém průřezu pro tři různé varianty vyztužení, kdy tloušťka krycí vrstvy hlavní tahové výztuže byla ve všech případech stejná. V postupech byl použit střední modul pružnosti betonu. Výsledky jsou shrnuté v přehledné tabulce.

Z výsledků je patrné, že s nadcházejícím vydáním nového normového doporučení *fib* Model Code 2020 probíhá současně aktualizace EC2, který bude mít podobné postupy jako MC2020. Avšak výsledky je nutné ověřit jak při experimentech, tak i numerickými metodami, například v programu ATENA.

Dalším krokem bude přidání modelového příkladu desky, protože u deskových, popř. stěnových, prvků je důležitý vývoj trhlín, protože oslabení průřezu trhlínami vede ke větším průhybům konstrukce, snížení spolehlivosti a trvanlivosti konstrukce, zvláště může docházet ke korozi výztuže.

PODĚKOVÁNÍ

Poděkování patří prof. Ing. Janu L. Vítkovi, CSc, FEng. za poskytnuté podklady a konzultace v rámci vypracování tohoto článku.

Reference

- Vinkler, M., Procházka, J., (2014) *Porovnání výpočtů šířky trhliny dle různých přístupů*, dostupné z: https://www.ebeton.cz/wp-content/uploads/2014-2-72_0.pdf
- Šmejkal, J., Procházka, J., (2014), *Výpočet šířky trhliny*, dostupné z: https://www.ebeton.cz/wp-content/uploads/2014-6-68_0.pdf
- ČSN EN 1992-1-1 ed. 2, Eurokód 2: *Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby*, (2011)
- Smršťování betonu*, dostupné z: <https://www.ebeton.cz/pojmy/smrstovani-betonu>

- Caldentey, A., P., García, R., Gribniak, V., Rimkus, A., (2020) *Tension versus flexure: Reasons to modify the formulation of MC 2010 for cracking*, dostupné z: doi:10.1002/suco.202000279
- fib* Model Code 2020 for Concrete Structures; proposal 2021; Section 30.5: Evaluation of serviceability (SLS) of RC and PC structures
- Schlicke, D., Dordmann, E., M., Fehling, E., Nguyen Viet Tue, (2021), *Calculation of maximum crack width for practical design of reinforced concrete*, dostupné z: doi:10.1002/cend.202100004
- Windisch, A. (2021), *An alternative crack width calculation model*