

PŘÍLOHA 1

DIPLOMOVÁ PRÁCE

2021

VYPRACOVAL: BC. JAN KUBÁT

Příloha 1 je zaměřena na názornou ukázkou posouzení krouceného průřezu dle návrhových postupů uvedených v kapitole 3. Bez uvažovaného kroučicího momentu se bude jednat pouze o stanovení ušnosnosti průřezu v mezním stavu úšnosnosti. Výztuž je navržena dle ČSN EN 1992-1-1, a vychází z předpokladu aby přenesla zatížení vyšší než je moment na vzniku trhliny.

1. ČSN EN 1992-1-1:

1.1. Geometrie:

Výška průřezu:	$h := 480 \text{ mm}$
Šířka průřezu:	$b := 480 \text{ mm}$
Krytí:	$c := 30 \text{ mm}$
Plocha průřezu:	$A_c := b \cdot h = 230400 \text{ mm}^2$
Obvod průřezu:	$u := 2 \cdot (h + b) = (1.92 \cdot 10^3) \text{ mm}$

1.2. Materiálové charakteristiky:

Beton - C 40/50:

Materiálové charakteristiky dle EC2:

$f_{ck} := 40 \text{ MPa}$	- charakteristická pevnost betonu v tlaku
$f_{cm} := f_{ck} + 8 \text{ MPa} = 48 \text{ MPa}$	- střední pevnost betonu v tlaku
$f_{ctk,0.05} := 2.5 \text{ MPa}$	- charakteristická pevnost betonu v tahu, 5% percentil
$E_{cm} := 35 \text{ GPa}$	- střední hodnota modulu pružnosti betonu
$\gamma_c := 1.5$	- součinitel spolehivosti materiálu - beton
$f_{ctd} := \frac{f_{ctk,0.05}}{\gamma_c} = 1.67 \text{ MPa}$	- návrhová pevnost betonu v tahu
$f_{cd} := \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 26.67 \text{ MPa}$	- návrhová pevnost betonu v tlaku
$\nu := 0.6 \left(1 - \frac{f_{ck}}{250 \text{ MPa}} \right) = 0.5$	- redukční součinitel při poškození betonu ve smyku

Výztuž - B 500B:

Materiálové charakteristiky dle EC2:

$f_{yk} := 500 \text{ MPa}$	- charakteristická mez kluzu výztuže v tahu
$f_{ym} := f_{yk} \cdot 1.1 = 550 \text{ MPa}$	- střední hodnota meze kluzu výztuže v tahu
$f_{uk} := 550 \text{ MPa}$	- charakteristická mez pevnosti výztuže v tahu
$f_{um} := 1.08 \cdot f_{uk} = 594 \text{ MPa}$	- střední hodnota meze pevnosti výztuže v tahu
$\gamma_s := 1.15$	- součinitel spolehivosti materiálu - ocel
$f_{yd} := \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = 434.78 \text{ MPa}$	- uvažovaná mez kluzu výztuže v tahu

1.3. Kroucení dle EC2:1.3.1 Analogický tenkostěnný dutý průřez

$$A_c = 230400 \text{ mm}^2$$

$$u := 2 \cdot (b + h) = 1920 \text{ mm}$$

$$t_{ef} := \frac{A_c}{u} = 120 \text{ mm} > 2 \cdot c = 60 \text{ mm}$$

Vyhovuje, uvažují: $t_{ef} = 120 \text{ mm}$

$$b_k := b - t_{ef} = 360 \text{ mm}$$

$$h_k := h - t_{ef} = 360 \text{ mm}$$

$$A_k := h_k \cdot b_k = 129600 \text{ mm}^2$$

$$u_k := 2 \cdot (b_k + h_k) = 1440 \text{ mm}$$

$$d := 0.9 \cdot h = 432 \text{ mm}$$

$$\lambda := \min(b, h) = 480 \text{ mm}$$

1.3.2 Drcení tlačných diagonál

$$\alpha_{cw} := 1.0$$

- vliv normálového napětí, uvažováno $N_{Ed} := 0 \text{ kN}$

$$\theta := 45^\circ$$

- navrhovaný sklon tlakových diagonál

$$\cot(\theta) = 1$$

$$T_{Rd,max} := \nu \cdot \alpha_{cw} \cdot f_{cd} \cdot A_k \cdot t_{ef} \cdot (\sin(2 \cdot \theta)) = 209.02 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

- únosnost tlakové diagonály

1.3.3 Odhad vzniku trhlin

$$T_{Rd,c,EC2} := t_{ef} \cdot 2 \cdot A_k \cdot f_{ctd} = 51.84 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

- moment na vzniku trhliny, dle EC2

$$W_f := 0.2082 \cdot b^3$$

- modul ve volném kroucení

$$W_f = (23.03 \cdot 10^6) \text{ mm}^3$$

$$T_{Rd,c,PR} := W_f \cdot f_{ctd}$$

- moment na vzniku trhliny, dle pružnosti

$$T_{Rd,c,PR} = 38.38 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

1.3.4 Navržené vyztužení

Podélná vyztuž:

$$\varnothing_{sl} := 16 \text{ mm}$$

- průměr podélné vyztuže

$$n_{sl} := 8$$

- počet podélných prutů

$$A_{sl} := n_{sl} \cdot \left(\pi \cdot \left(\frac{\varnothing_{sl}}{2} \right)^2 \right) = 1608.5 \text{ mm}^2$$

- plocha podélné vyztuže

Příčná vyztuž - třmínky:

$$\varnothing_{sw} := 12 \text{ mm}$$

- průměr třmínků

$$n_{sw} := 1$$

- střížnost třmínků na kroucení

$$A_{sw} := n_{sw} \cdot \left(\pi \cdot \left(\frac{\varnothing_{sw}}{2} \right)^2 \right) = 113.1 \text{ mm}^2$$

- účinná plocha třmínků na kroucení

$$s_l := 100 \text{ mm}$$

- podélná vzdálenost větví třmínků

1.3.5 Konstrukční zásady

$$s_{l,max,m;1} := \frac{A_{sw} \cdot f_{yd}}{0.08 \cdot \sqrt{\frac{f_{ck}}{1 \text{ MPa}} \cdot \text{MPa} \cdot t_{ef}}} = 809.88 \text{ mm}$$

$$s_{l,max,m;2} := 0.75 \cdot d = 324 \text{ mm}$$

$$s_{l,max,m;3} := 400 \text{ mm}$$

$$s_{l,max,m;4} := \frac{u}{8} = 240 \text{ mm}$$

$$s_{l,max,m;5} := \min(b, h, d, \lambda) = 432 \text{ mm}$$

$$s_{l,max} := \min(s_{l,max,m;1}, s_{l,max,m;2}, s_{l,max,m;3}, s_{l,max,m;4}, s_{l,max,m;5}) = 240 \text{ mm}$$

$$s_l := 100 \text{ mm} < s_{l,max} = 240 \text{ mm} \quad \text{OK, vyhovuje}$$

$$A_{s,min} := \min\left(0.26 \cdot \frac{f_{ctd}}{f_{yk}} \cdot b \cdot d, 0.0013 \cdot b \cdot d\right) = 179.71 \text{ mm}^2$$

$$A_{sl} = 1608.5 \text{ mm}^2 > A_{s,min} = 179.71 \text{ mm}^2 \quad \text{OK, vyhovuje}$$

$$A_{s,max} := 0.04 A_c = 9216 \text{ mm}^2$$

$$A_{sl} = 1608.5 \text{ mm}^2 < A_{s,max} = 9216 \text{ mm}^2 \quad \text{OK, vyhovuje}$$

$$\theta := \arctan\left(\sqrt{\frac{A_{sw} \cdot f_{yd}}{s_l} \cdot \frac{u_k}{A_{sl} \cdot f_{yd}}}\right) = 45 \text{ deg}$$

- kontrola úhlu trhlin

$$T_{Rd,s,EC2} := \frac{A_{sw}}{s_l} \cdot 2 \cdot A_k \cdot f_{yd} \cdot \cot(\theta) = 126.67 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

- návrhová únosnost průřezu, dle EC2

2. Náhradní příhradová analogie dle [16]:2.1. Geometrie náhradní příhradoviny:

$$b_k := 410 \text{ mm}$$

$$h_k := 410 \text{ mm}$$

$$A_k := h_k \cdot b_k = 168100 \text{ mm}^2$$

$$u_k := 2 \cdot (b_k + h_k) = 1640 \text{ mm}$$

Výpočet dle náhradní příhradové analogie uvažuje efektivní část průřezu, což je část ohraničená osami podélných prutů výztuže.

2.2. Materiálové charakteristiky:

Beton:

$$f_{cd} = 26.67 \text{ MPa}$$

$$f_{ctd} = 1.67 \text{ MPa}$$

Výztuž:

$$f_{yd} = 434.783 \text{ MPa}$$

2.3. Ověření únosnosti:2.3.1. Zadané vyztužení

Podélná výztuž:

$$\varnothing_{sl} = 16 \text{ mm}$$

$$n_{sl} = 8$$

$$A_{sl} = 1608.5 \text{ mm}^2$$

Příčná výztuž - třmínky:

$$\varnothing_{sw} = 12 \text{ mm}$$

$$n_{sw} = 1$$

$$A_{sw} = 113.1 \text{ mm}^2$$

$$s_l = 100 \text{ mm}$$

3.2. Ověření únosnosti:

$$T_{Rd;S;STM} := 2 \cdot A_k \cdot \sqrt{\frac{A_{sw} \cdot f_{yd}}{s_l} \cdot \frac{A_{sl} \cdot f_{yd}}{u_k}} = 153.95 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

- návrhová únosnost průřezu,
dle modelu náhradní příhradoviny

$$\theta := \text{atan} \left(\sqrt{\frac{A_{sw} \cdot f_{yd}}{s_l} \cdot \frac{u_k}{A_{sl} \cdot f_{ym}}} \right) = 44 \text{ deg}$$

- kontrola úhlu trhlin

3. ACI 318-11 dle [16]:

Výpočet je proveden s užitím SI jednotek.

3.1. Geometrie skutečného průřezu a ekvivalentní tenkostěnné trubky

$b = 480 \text{ mm}$	- šířka průřezu
$h = 480 \text{ mm}$	- výška průřezu
$A := b \cdot h = (2.304 \cdot 10^5) \text{ mm}^2$	- plocha průřezu
$u := 2(b + h) = (1.92 \cdot 10^3) \text{ mm}$	- obvod průřezu
$t_{ef} := 0.75 \cdot \frac{A}{u} = 90 \text{ mm}$	- šířka průřezu
$b_{k,0} := 420 \text{ mm}$	- šířka průřezu vymezená mezi osami třmíneků
$h_{k,0} := 420 \text{ mm}$	- výška průřezu vymezená mezi osami třmíneků
$A_{k,0} := b_{k,0} \cdot h_{k,0} = (176.4 \cdot 10^3) \text{ mm}^2$	- plocha průřezu vymezeného osami třmíneků
$A_k := 0.85 \cdot A_{k,0} = (149.94 \cdot 10^3) \text{ mm}^2$	- redukovaná plocha průřezu vymezeného osami třmíneků
$\theta = 44 \text{ deg}$	- sklon tlačných diagonál, stanoven dle příhradové analogie

3.2. Materiálové vlastnosti:

$f_{ck} = 40 \text{ MPa}$	- charakteristická pevnost betonu
$f_{yk} = 500 \text{ MPa}$	- charakteristická mez kluzu výztuže podélných prutů
$f_{ywk} := f_{yk} = 500 \text{ MPa}$	- charakteristická mez kluzu výztuže třmíneků, není zde zohledněno omezení pro maximální mez kluzu smykové výztuže

3.3. Redukční součinitele:

$\varphi := 0.75$	- redukční součinitel pro návrh na účinky kroucení
$\lambda := 1.0$	- redukční součinitel pro zohlednění betonu, 1,0 odpovídá betonu běžné objemové hmotnosti

3.4. Kroucení:3.4.1. Krouticí moment při vzniku trhlin

$T_{RK,c} := \frac{2}{3} A_k \cdot t_{ef} \cdot \lambda \cdot \sqrt{\frac{f_{ck}}{\text{MPa}}} \cdot \text{MPa} = 56.898 \text{ kN} \cdot \text{m}$	- charakteristický moment vzniku trhliny
$T_{RD,c} := \varphi \cdot T_{RK,c} = 42.674 \text{ kN} \cdot \text{m}$	- návrhový moment vzniku trhliny

3.4.2. Krouticí moment na mezi kluzu smykové výztuže:

Vyztužení odpovídá vyztužení navrženému v kapitole 1, přílohy 1.

Podélná výztuž:

$$\varnothing_{sl} = 16 \text{ mm}$$

$$n_{sl} = 8$$

$$A_{sl} = 1608.5 \text{ mm}^2$$

$$T_{Rk;s} := \frac{A_{sw}}{s_l} \cdot 2 \cdot A_k \cdot f_{yk} \cdot \cot(\theta) = 177.61 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$T_{Rd;s} := \varphi \cdot T_{Rk;s} = 133.21 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Příčná výztuž - třmínky:

$$\varnothing_{sw} = 12 \text{ mm}$$

$$n_{sw} = 1$$

$$A_{sw} = 113.1 \text{ mm}^2$$

$$s_l = 100 \text{ mm}$$

- charakteristická únosnost na mezi kluzu smykové výztuže

- návrhová únosnost na mezi kluzu smykové výztuže