

## Šířka trhlin (MSP) - 1.PP

Lineární výpočet

Kombinace: MSP-Kvazi (auto)

Extrém: Globální

Výběr: S38

Poloha: V zlezech s průměrováním na makro. Systém: LSS prvku sítě

Složky vnitřních sil rovnoběžné se žebrem se zohlední jako nulové uvnitř efektivní šířky žebra.

### Deska S38

**h=350 mm**

ČSN EN 1992-1-1/NA: 2011-07

Uzel 25601/29203 [X= 4,288, Y=-11,458, Z=3,000 m]

### Nastavení výpočtu:

Norma	ČSN EN 1992-1-1/NA: 2011-07
Součinitel pro efektní výšku	Coeff <sub>d</sub> = 0.9
Procenta dlouhodobého zatížení	Coeff <sub>long</sub> = 1
Efektivní součinitel dotvarování	φ <sub>ef</sub> = 2.26
Pevnost pro výpočet f <sub>ct,eff</sub>	f <sub>ctm</sub>
Pevnost pro výpočet síly na mezi vzniku trhlin	f <sub>cteff</sub>
Modul pružnosti betonu	E <sub>c</sub>
Limitní hodnota šířky trhlin	w <sub>max-</sub> = 0.3 mm w <sub>max+</sub> = 0.3 mm

## Materiál

### Beton:

Beton: **C30/37**

Střední pevnost v tahu:

$$f_{ctm} = 2.9 \text{ MPa}$$

Efektivní pevnost betonu:

$$f_{ct,eff} = f_{ctm} = 2.9 \text{ MPa}$$

Modul pružnosti betonu:

$$E_c = E_{cm} = 32.8 \text{ GPa}$$

Pevnost betonu, objevila se trhlina:

$$\sigma_{cr} = f_{ct,eff} = 2.9 \text{ MPa}$$

### Výztuž

Výztuž **B 500B**

Charakteristická mez kluzu:

$$f_{yk} = 500 \text{ MPa}$$

Modul pružnosti výztuže:

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

Charakteristické přetvoření výztuže:

$$\epsilon_{yk} = 2.5 \text{ ‰}$$

## Vnitřní síly

### Základní síly (těžiště), kritické

Tabulka vnitřních sil

Stav	m <sub>x</sub> [kNm/m]	m <sub>y</sub> [kNm/m]	m <sub>xy</sub> [kNm/m]	n <sub>x</sub> [kN/m]	n <sub>y</sub> [kN/m]	n <sub>xy</sub> [kN/m]	v <sub>x</sub> [kN/m]	v <sub>y</sub> [kN/m]
MSP-Kvazi (auto)/1	-29,10	-49,78	-2,40	4,24	4,27	-6,50	-36,10	-67,95
MSP-Kvazi (auto)/2	-61,50	-90,43	-4,82	12,70	10,50	-13,39	-74,26	-125,33

Tabulka kombinací

Stav	Klíč kombinace
MSP-Kvazi (auto)/1	ZS2+ZS1
MSP-Kvazi (auto)/2	ZS2+0.30*ZS3+ZS1

Studentská verze

## Tabulka 2D výztuže

Typ výztuže: User

ID	Průměr d [mm]	Vzdálenost průřezů s [mm]	úhel průřezu α [°]	Svislá poloha z [mm]	Materiál	f <sub>yk</sub> [MPa]	E <sub>s</sub> [GPa]
1	10,0	150,0	0,0	140,0	B 500B	500,0	200,0
2	18,0	170,0	0,5	136,0	B 500B	500,0	200,0
3	18,0	125,0	90,5	136,0	B 500B	500,0	200,0
4	10,0	150,0	90,0	130,0	B 500B	500,0	200,0
5	10,0	150,0	90,0	-130,0	B 500B	500,0	200,0
6	10,0	150,0	0,0	-140,0	B 500B	500,0	200,0

## Posudek šířky trhlin

### Spodní povrch

Směr hlavního napětí (směr pro přepočtené síly):  $\alpha_\sigma = -7.52^\circ$

Obsah kombinace: ZS2+ZS1

Charakteristické hodnoty:  $n_{char} = 5.92 \text{ kN/m}$   $m_{char} = -28.8 \text{ kNm/m}$

Kvazistálé hodnoty:  $n_{qp} = 5.92 \text{ kN/m}$   $m_y = -28.8 \text{ kNm/m}$

Typ	Průřez bez trhlin
t <sub>i</sub> [m]	$3.4 \cdot 10^{-3}$
A <sub>i</sub> [m <sup>2</sup> ]	0.366
S <sub>i</sub> [m <sup>3</sup> ]	0
I <sub>i</sub> [m <sup>4</sup> ]	$3.86 \cdot 10^{-3}$

## Výpočet síly na mezi vzniku trhlin (neporušený průřez)

Maximální napětí v betonu

$$\sigma_{ct} = -1.3 \text{ MPa}$$

Síly pro vznik trhlin

$$N_{cr} = \frac{f_{ct,eff}}{\frac{1}{A_i} + \frac{M_{char} \cdot 0.5 \cdot h + t_i}{N_{char} \cdot I_i}} = \frac{2.9 \cdot 10^6}{\frac{1}{0.366} + \frac{-28808 \cdot 0.5 \cdot 0.35 + 3.42 \cdot 10^{-3}}{5925 \cdot 3.86 \cdot 10^{-3}}} = -13.3 \text{ kN}$$

$$M_{cr} = \frac{N_{cr} \cdot M_{char}}{N_{char}} = \frac{-13332.7 \cdot -28808}{5925} = 64.8 \text{ kNm}$$

Poznámka: Nedošlo ke vzniku trhlin, protože se vyskytuje pouze tlak.

Limitní hodnota šířky trhlin

$$w_{max} = 0.3 \text{ mm}$$

(§7.3.1(5))

Výpočet jednotkového posouzení

$$UC = \frac{w}{w_{max}} = \frac{0}{0.3} = 0$$

Posouzení šířky trhlin

$$w = 0 \text{ mm} = < w_{max} = 0.3 \text{ mm}$$

Poznámka: Posudek šířky trhlin vyhovuje, protože šířka trhlin je menší než limitní šířka.

Studentská verze

## Horní povrch

Směr hlavního napětí (směr pro přepočtené síly):  $\alpha_{\sigma} = -97.8^{\circ}$

Obsah kombinace: ZS2+0.30\*ZS3+ZS1

Charakteristické hodnoty:  $n_{char} = 17.2 \text{ kN/m}$   $m_{char} = -187 \text{ kNm/m}$

Kvazistálé hodnoty:  $n_{qp} = 6.93 \text{ kN/m}$   $m_y = -91.2 \text{ kNm/m}$

Typ	Průřez bez trhlin	Průřez s trhlinami
$t_i$ [m]	$4.6 \cdot 10^{-3}$	-0.0924
$A_i$ [m <sup>2</sup> ]	0.369	0.101
$S_i$ [m <sup>3</sup> ]	0	0
$I_i$ [m <sup>4</sup> ]	$3.9 \cdot 10^{-3}$	$995 \cdot 10^{-6}$

## Výpočet síly na mezi vzniku trhlin (neporušený průřez)

Maximální napětí v betonu

$$\sigma_{ct} = 8.2 \text{ MPa}$$

Síly pro vznik trhlin

$$N_{cr} = \frac{f_{ct,eff}}{\frac{1}{A_i} - \frac{M_{char} \cdot 0.5 \cdot h - t_i}{N_{char} \cdot I_i}} = \frac{2.9 \cdot 10^6}{\frac{1}{0.369} - \frac{-187122 \cdot 0.5 \cdot 0.35 - 4.55 \cdot 10^{-3}}{17215 \cdot 3.9 \cdot 10^{-3}}} = 5.9 \text{ kN}$$

$$M_{cr} = \frac{-N_{cr} \cdot M_{char}}{N_{char}} = \frac{-5915.6 \cdot -187122}{17215} = 64.3 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{ct} = 8.2 \text{ MPa} > \sigma_{cr} = 2.9 \text{ MPa} \Rightarrow \text{Objevují se trhliny}$$

## Výpočet šířky trhlin (porušený průřez)

Výška průřezu ve směru ohybové výslednice

$$h = 350 \text{ mm}$$

Výpočet efektivní výšky průřezu

$$d = 310 \text{ mm}$$

Výpočet výšky tlačené oblasti

$$x_r = 82 \text{ mm}$$

Hloubka efektivní plochy betonu v tahu

$$h_{c,ef} = \text{Min} \left\{ \frac{2.5 \cdot (h - d)}{h} \right\} = \text{Min} \left\{ \frac{2.5 \cdot (350 - 310)}{350} \right\} = 100 \text{ mm}$$

Poznámka: Výška efektivní plochy betonu v tahu se spočte pouze jako  $\text{MIN}[(2.5 \cdot (h-d)); h/2]$  protože výška tlačené zóny je menší než  $0.25 \cdot h$  nebo  $(h-x_r)/3$  je příliš malá.

Efektivní plocha betonu v tahu

$$A_{c,eff} = 0.1 \text{ m}^2$$

Minimální a maximální hodnota protažení betonu

$$\epsilon_{max} = 0.755 \text{ ‰} \quad \epsilon_{min} = -0.23 \text{ ‰}$$

Větší hodnota tahového přetvoření betonu

$$\epsilon_1 = \max(\epsilon_{min}; \epsilon_{max}) = \max(-0.23; 0.755) = 0.755 \text{ ‰}$$

Menší hodnota tahového přetvoření betonu

$$\epsilon_2 = 0 \text{ ‰}$$

Studentská verze



Koeficient, který bere v úvahu rozložení napětí

$$k_2 = \frac{(\varepsilon_1 + \varepsilon_2)}{2 \cdot \varepsilon_1} = \frac{(0.755 + 0)}{2 \cdot 0.755} = 0.5 \quad (7.13)$$

Součinitel trvání zatížení

$$k_t = k_{t,\text{long}} + (k_{t,\text{short}} - k_{t,\text{long}}) \cdot (1 - \text{Coeff}_{\text{long}}) = 0.4 + (0.6 - 0.4) \cdot (1 - 1) = 0.4 \quad (\S 7.3.4(2))$$

Ekvivalentní průměr podélné výztuže uvnitř plochy  $A_{c,\text{eff}}$

$$\phi_{\text{eq}} = 15.5 \text{ mm} \quad (7.12)$$

Maximální hodnota tahového napětí ve výztuži uvnitř plochy  $A_{c,\text{eff}}$

$$\sigma_s = 129.0 \text{ MPa}$$

Plocha výztuže uvnitř plochy  $A_{c,\text{eff}}$

$$A_s = 2548 \text{ mm}^2$$

Poměr modulů betonu a výztuže

$$\alpha_e = \frac{E_s}{E_c} = \frac{200000}{32800} = 6.1 \quad (\S 7.3.4(2))$$

Poměr výztuže uvnitř plochy  $A_{c,\text{eff}}$

$$\rho_{p,\text{eff}} = \frac{A_s}{A_{c,\text{eff}}} = \frac{2548}{100487} = 0.0254 \quad (7.10)$$

Krytí výztuže nejbliž okraji průřezu, ve směru výslednice ohybového momentu

$$c = 30 \text{ mm}$$

Výpočet maximální osové vzdálenosti mezi pruty uvnitř oblasti  $A_{c,\text{eff}}$

$$s_{\text{max}} = 74 \text{ mm}$$

Součinitel, který zohledňuje soudržnost výztuže s betonem

$$k_1 = 0.8$$

Součinitel pro výpočet maximální vzdálenosti mezi trhlinami

$$k_3 = \min\left(3.4 \cdot \left(\frac{0.025}{c}\right)^{\frac{2}{3}}; 3.4\right) = \min\left(3.4 \cdot \left(\frac{0.025}{0.03}\right)^{\frac{2}{3}}; 3.4\right) = 3.01 \quad k_4 = 0.425 \quad (\text{ČSN } \S 7.3.4(3))$$

Maximální vzdálenost mezi trhlinami

$$s_{\text{max}} = 74 \text{ mm} \leq 5 \cdot (c + 0.5 \cdot \phi_{\text{eq}}) = 189 \text{ mm} \text{ or } \rho_{p,\text{eff}} = 0, \text{ proto:}$$

$$s_{r,\text{max}} = k_3 \cdot c + \frac{k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \phi_{\text{eq}}}{\rho_{p,\text{eff}}} = 3.01 \cdot 0.03 + \frac{0.8 \cdot 0.5 \cdot 0.425 \cdot 0.02}{0.0254} = 194 \text{ mm} \quad (7.11)$$

Střední přetvoření ve výztuži

$$\begin{aligned} \varepsilon_{sm,\varepsilon_{cm}} &= \max\left(\frac{\sigma_s - k_t \cdot \left(\frac{f_{ct,\text{eff}}}{\rho_{p,\text{eff}}}\right) \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{p,\text{eff}})}{E_s}; \frac{0.6 \cdot \sigma_s}{E_s}\right) \\ &= \max\left(\frac{129 - 0.4 \cdot \left(\frac{2.9}{0.0254}\right) \cdot (1 + 6.1 \cdot 0.0254)}{200000}; \frac{0.6 \cdot 129}{200000}\right) = 0.387 \text{ ‰} \end{aligned} \quad (7.9)$$

Vypočtená šířka trhliny

$$w_k = s_{r,\text{max}} \cdot \varepsilon_{sm,\varepsilon_{cm}} = 194 \text{ mm} \cdot 0.387 \text{ ‰} = 0.0751 \text{ mm} \quad (7.8)$$

Limitní hodnota šířky trhlin

$$w_{\text{max}} = 0.3 \text{ mm} \quad (\S 7.3.1(5))$$

Výpočet jednotkového posouzení

$$UC = \frac{w}{w_{\text{max}}} = \frac{0.0751}{0.3} = 0.25$$

Posouzení šířky trhlin

$$w = 0.0751 \text{ mm} = < w_{\text{max}} = 0.3 \text{ mm}$$

Poznámka: Posudek šířky trhlin vyhovuje, protože šířka trhlin je menší než limitní šířka.

Studentská verze

Studentská verze

## 1. Šířka trhlin (MSP); UC

Hodnoty: UC

Lineární výpočet

Kombinace: MSP-Kvazi (auto)

Extrém: Globální

Výběr: S38

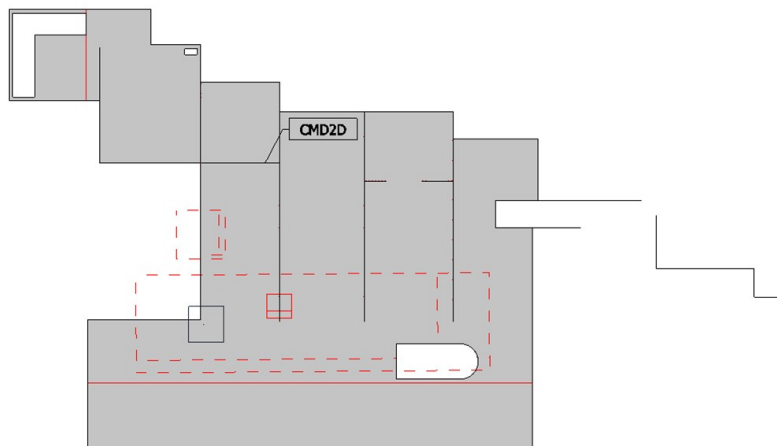
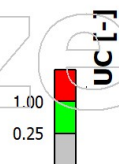
Poloha: V uzlech s průměrováním na

makro. Systém: LSS prvku síť

Složky vnitřních sil rovnoběžné se

žebrem se zohlední jako nulové uvnitř

efektivní šířky žebra.



Studentská verze

Studentská verze