

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ

FAKULTA STAVEBNÍ

KATEDRA BETONOVÝCH A ZDĚNÝCH KONSTRUKCÍ



PŘÍLOHA 1.5

POSOUZENÍ MSP PRŮVLAKU

MSP - průvlak

kombinace zatížení:

- charakteristické $f_k = f_{g,k} + f_{q,k} = 9,75 + 30,98 + 5,3 = 46,03 \text{ kN/m}$
- časté $f_f = f_{g,k} + \psi_1 \cdot f_{q,k} = 9,75 + 30,98 + 0,5 \cdot 5,3 = 43,38 \text{ kN/m}$
- kvazi-statické $f_{qp} = f_{g,k} + \psi_2 \cdot f_{q,k} = 9,75 + 30,98 + 0,3 \cdot 5,3 = 42,32 \text{ kN/m}$

$$\psi_1 = 0,5$$

$$\psi_2 = 0,3$$

$$f_{g,ost,k} = 1,84 \cdot 5,3 = 9,75 \text{ kN/m}$$

$$f_{g,ok} = 25 \cdot 0,18 \cdot 5,3 + 25 \cdot 0,3 \cdot (1,13 \cdot 0,18) = 30,98 \text{ kN/m}$$

$$f_{q,k} = 1 \cdot 5,3 = 5,3 \text{ kN/m}$$

ohybové momenty od zatížení

- charakteristické $M_{k,pol} = 1021,3 \text{ kNm}$ $M_{k,sup} = 273,3 \text{ kNm}$
- časté $M_{f,pol} = 973,6 \text{ kNm}$ $M_{f,sup} = 260,5 \text{ kNm}$
- kvazi-statické $M_{qp,pol} = 938,97 \text{ kNm}$ $M_{qp,sup} = 257,28 \text{ kNm}$

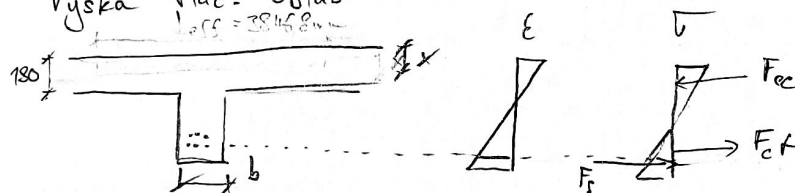
Stanovení průřezových charakteristik

a) kratkodob. zat. bez trhlin

$$E_{c,eff} = E_{c,m} = 33,5 \text{ GPa}$$

$$\alpha_{e,st} = \frac{E_s}{E_{c,eff,st}} = \frac{210}{33,5} = 6,27$$

Výška tláč. oblasti ideálního průřezu



$$F_{cc} = F_{ct} + F_s$$

$$F_{cc} = \frac{1}{2} b \cdot x_{i,I,st} \cdot \sigma_{cc}$$

$$F_{ct} = \frac{1}{2} \cdot b \cdot (h - x_{i,I,st}) \cdot \sigma_{ct}$$

$$F_s = A_{s,prov} \cdot \sigma_{st}$$

$$\frac{1}{2} \cdot b_{eff} \cdot x_{i,I,st} \cdot \sigma_{cc} = \frac{1}{2} \cdot b \cdot (h - x_{i,I,st}) \cdot \sigma_{ct} + A_{s,prov} \cdot \sigma_{st}$$

$$\sigma_{cc} = \sigma_{ct} \cdot \frac{x_{i,I,st}}{h - x_{i,I,st}} ; \sigma_{st} = \sigma_{ct} \cdot \alpha_{e,st} \cdot \frac{d - x_{i,I,st}}{h - x_{i,I,st}}$$

$$\frac{1}{2} \cdot b \cdot x_{i,I,st} \cdot \sigma_{ct} \cdot \frac{x_{i,I,st}}{h - x_{i,I,st}} = \frac{1}{2} \cdot b \cdot (h - x_{i,I,st}) \cdot \sigma_{ct} + A_{s,prov} \cdot \sigma_{ct} \cdot \alpha_{e,st} \cdot \frac{d - x_{i,I,st}}{h - x_{i,I,st}}$$

$$\frac{1}{2} \cdot b \cdot x_{i,I,st}^2 = \frac{1}{2} \cdot b \cdot (h - x_{i,I,st})^2 + A_{s,prov} \cdot \alpha_{e,st} \cdot (d - x_{i,I,st})$$

$$\frac{1}{2} \cdot 800 \cdot x_{i,I,st}^2 = \frac{1}{2} \cdot 800 \cdot (1130 - x_{i,I,st})^2 + 3694,5 \cdot 6,27 \cdot (1044 - x_{i,I,st})$$

$$\Rightarrow x_{i,I,st} = 595,6 \text{ mm}$$

C35/45

$$E_{c,m} = 33,5 \text{ GPa}$$

Ocel B500B

$$a_{i, I_{st}} = x_{i, I_{st}} - \frac{h}{2} = 595,6 - \frac{1130}{2} = 30,6 \text{ mm}$$

Moment setrvačnosti bez trhlin

$$\begin{aligned} I_{g, I_{st}} &= \frac{1}{12} b h^3 + b h a_{i, I_{st}}^2 + \alpha_{e, I_{st}} \cdot A_{s, prov} \cdot (d - x_{i, I_{st}})^2 = \\ &= \frac{1}{12} \cdot 300 \cdot 1130^3 + 300 \cdot 1130 \cdot 30,6^2 + 6,27 \cdot 3694,5 \cdot (1044 - 595,6)^2 = \\ &= 4,1 \cdot 10^{10} \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

Moment na mezi vzniku trhlin

$$f_{ctm} = 3,2 \text{ MPa}$$

$$M_{cr, I_{st}} = f_{ctm} \cdot \frac{I_{g, I_{st}}}{h - x_{i, I_{st}}} = 3,2 \cdot \frac{4,1 \cdot 10^{10}}{1130 - 595,6} = 245,5 \text{ kNm}$$

$$M_{cr, I_{st}} = 245,5 \text{ kNm} < M_{k, pol} = 1021,3 \text{ kNm} \Rightarrow \text{vzniknou trhliny}$$

b) krátkodob. zat. s trhlinami

$$x_{i, I_{st}} = \frac{\alpha_{e, I_{st}} \cdot A_{s, prov}}{b} \cdot \left(-1 + \sqrt{1 + \frac{2 b d}{\alpha_{e, I_{st}} \cdot A_{s, prov}}} \right) = \frac{6,27 \cdot 3694,5}{300}$$

$$\cdot \left(-1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot 300 \cdot 1044}{6,27 \cdot 3694,5}} \right) = 331,67 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} I_{g, I_{st}} &= \frac{1}{3} b x_{i, I_{st}}^3 + \alpha_{e, I_{st}} \cdot A_{s, prov} \cdot (d - x_{i, I_{st}})^2 = \frac{1}{3} \cdot 300 \cdot 331,67^3 + 6,27 \cdot 3694,5 \cdot \\ &\cdot (1044 - 331,67)^2 = 1,54 \cdot 10^{10} \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

Dlouhodobé zatížení

a) bez trhlin

$$A_c = 1130 \cdot 300 = 339\,000 \text{ mm}^2$$

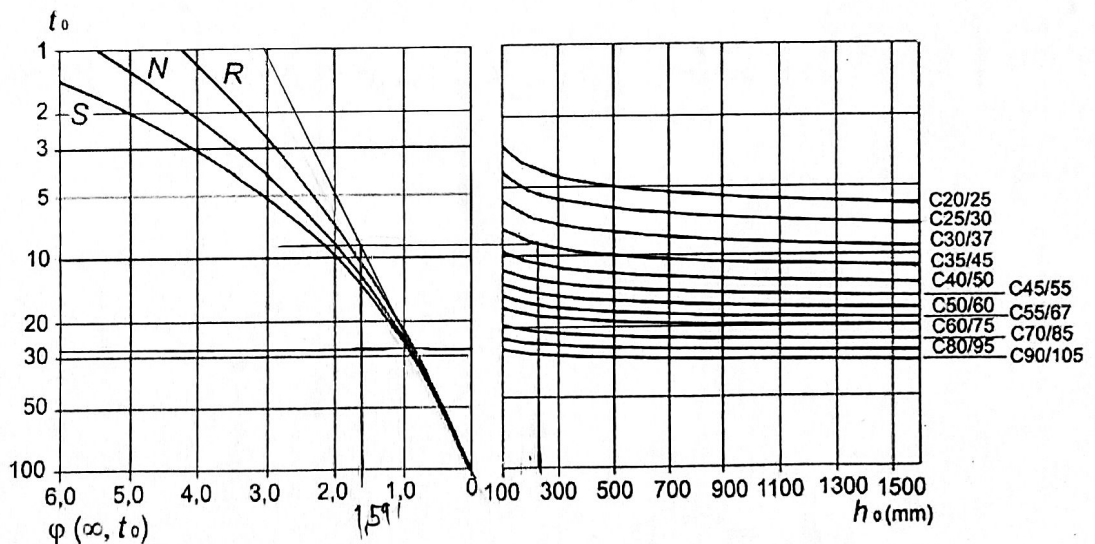
$$\begin{aligned} a &= 2 \cdot 1130 + 2 \cdot 300 = \\ &= 2860 \text{ mm} \end{aligned}$$

Cement N

$$t_0 = 28 \text{ dní}$$

$$h_0 = \frac{2 \cdot A_c}{a} = \frac{2 \cdot 339\,000}{2860} = 237,1 \text{ mm}$$

$$\varphi = 1,59$$



$$E_{\text{eff, II}} = \frac{E_{\text{cm}}}{1 + \psi} = \frac{33,5}{1 + 1,59} = 12,93 \text{ GPa}$$

$$\alpha_{e, \text{II}} = \frac{E_s}{E_{\text{eff, II}}} = \frac{210}{12,93} = 16,24$$

Výška tlač. oblasti $x_{i, \text{II}}$

$$\frac{1}{2} b \cdot x_{i, \text{II}}^2 = \frac{1}{2} b (h - x_{i, \text{II}})^2 + A_{s, \text{prov}} \cdot \sigma_{e, \text{II}} \cdot (d - x_{i, \text{II}})$$

$$\frac{1}{2} 300 \cdot x_{i, \text{II}}^2 = \frac{1}{2} 300 (1130 - x_{i, \text{II}})^2 + 3694,5 \cdot 16,24 (1044 - x_{i, \text{II}})$$

$$\Rightarrow x_{i, \text{II}} = 637,7 \text{ mm}$$

$$a_{i, \text{II}} = x_{i, \text{II}} - \frac{h}{2} = 637,7 - \frac{1130}{2} = 72,7 \text{ mm}$$

Moment setrvačnosti bez trhlin

$$\begin{aligned} I_{y, \text{II}} &= \frac{1}{12} b h^3 + b \cdot h \cdot a_{i, \text{II}}^2 + A_{s, \text{prov}} \cdot \sigma_{e, \text{II}} \cdot (d - x_{i, \text{II}})^2 \\ &= \frac{1}{12} \cdot 300 \cdot 1130^3 + 300 \cdot 1130 \cdot 72,7^2 + 3694,5 \cdot 16,24 \cdot (1044 - 637,7)^2 = \\ &= 4,79 \cdot 10^{10} \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

Moment na vzniku trhlin

$$M_{cr, \text{II}} = f_{ctm} \cdot \frac{I_{y, \text{II}}}{h - x_{i, \text{II}}} = 3,2 \cdot \frac{4,79 \cdot 10^{10}}{1130 - 637,7} = 311,2 \text{ kNm}$$

$$M_{cr, \text{II}} = 311,2 \text{ kNm} < M_{k, \text{pol}} = 1021,3 \text{ kNm} \rightarrow \text{vzniknou trhliny}$$

b) dlouhodobé zat. s trhlinami

$$x_{i, \text{II}} = \frac{\alpha_{e, \text{II}} A_{s, \text{prov}}}{b} \cdot \left(-1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot b \cdot d}{\alpha_{e, \text{II}} A_{s, \text{prov}}}} \right) = \frac{16,24 \cdot 3694,5}{300}$$

$$\cdot \left(-1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot 300 \cdot 1044}{16,24 \cdot 3694,5}} \right) = 478,3 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} I_{y, \text{II}} &= \frac{1}{3} b \cdot x_{i, \text{II}}^3 \cdot \alpha_{e, \text{II}} \cdot A_{s, \text{prov}} \cdot (d - x_{i, \text{II}})^2 = \frac{1}{3} \cdot 300 \cdot 478,3^3 + 16,24 \cdot 3694,5 \cdot (1044 - 478,3)^2 = \\ &= 3,04 \cdot 10^{10} \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

	st		lt		
	I	II	I	II	
ψ	0		1,62		-
α_e	6,27		16,24		-
$E_{c,eff}$	33,5		1293		6 Pa
x_i	595,6	331,67	637,7	478,3	mm
I_y	$4,1 \cdot 10^{10}$	$1,54 \cdot 10^{10}$	$4,74 \cdot 10^{10}$	$3,04 \cdot 10^{10}$	mm ⁴
M_{cr}	245,5		311,2		kNm

Posouzení MSP z hlediska napětí

1) $\sigma_s \leq 0,8 f_{yk}$

$$\sigma_s = \alpha_{e, st} \frac{M_k}{I_{y, II, st}} \cdot (d - x_{i, II, st}) = 6,27 \cdot \frac{1021,3 \cdot 10^6}{1,54 \cdot 10^{10}} \cdot (1044 - 331,67) = 296,2 \text{ MPa}$$

$$\sigma_s = 296,2 \text{ MPa} < 0,8 \cdot f_{yk} = 0,8 \cdot 500 = 400 \text{ MPa} \dots \text{ vyhoví}$$

2) $\sigma_{cc} \leq 0,6 f_{ck}$

$$\sigma_{cc} = \frac{M_k}{I_{y, II, st}} \cdot x_{i, II, st} = \frac{1021,3 \cdot 10^6}{1,54 \cdot 10^{10}} \cdot 331,67 = 22,0 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{cc} = 22,0 \text{ MPa} < 0,6 \cdot f_{ck} = 0,6 \cdot 35 = 21 \text{ MPa} \dots \text{ nevyhoví}$$

\Rightarrow zvětšení průřezu $h = 1230 \text{ mm}$

MSP - průvlak

ohyb. momenty od zatížení

- charakteristické $M_k = 1088,25 \text{ kNm}$

- časté $M_s = 1026,6 \text{ kNm}$

- kvazi-státé $M_{qp} = 1001,94 \text{ kNm}$

zatížení:

$f_k = 46,78 \text{ kN/m}$

$f_s = 44,13 \text{ kN/m}$

$f_{qr} = 43,07 \text{ kN/m}$

Průřez. charakteristiky

a) krátkodob. zat. bez trhlin

$$E_{c, eff, st} = E_{q, m} = 33,5 \text{ GPa}$$

$$\alpha_{e, st} = 6,27$$

Úsška tlač. obl. ideálneho prúžeru

$$h = 1230 \text{ mm}$$

$$d = h - 86 = 1144 \text{ mm}$$

$$\frac{1}{2} \cdot b \cdot x_{i, \text{Ist}}^2 = \frac{1}{2} \cdot b \cdot (h - x_{i, \text{Ist}})^2 + A_{s, \text{prov}} \cdot A_{e, \text{st}} \cdot (d - x_{i, \text{Ist}})$$

$$\frac{1}{2} \cdot 300 \cdot x_{i, \text{Ist}}^2 = \frac{1}{2} \cdot 300 \cdot (1230 - x_{i, \text{Ist}})^2 + 3694,5 \cdot 6,27 \cdot (1144 - x_{i, \text{Ist}})$$

$$\Rightarrow x_{i, \text{Ist}} = 646,25 \text{ mm}$$

$$a_{i, \text{Ist}} = x_{i, \text{Ist}} - \frac{h}{2} = 646,25 - \frac{1230}{2} = 31,25 \text{ mm}$$

Moment setrvačnosti bez ťvhlín

$$\begin{aligned} I_{y, \text{Ist}} &= \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 + b \cdot h \cdot a_{i, \text{Ist}}^2 + A_{e, \text{st}} \cdot A_{s, \text{prov}} \cdot (d - x_{i, \text{Ist}})^2 \\ &= \frac{1}{12} \cdot 300 \cdot 1230^3 + 300 \cdot 1230 \cdot 31,25^2 + 6,27 \cdot 3694,5 \cdot (1144 - 646,25)^2 \\ &= 5,26 \cdot 10^{10} \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

Moment na nezi vzhiku ťvhlín

$$M_{\text{cr}} = f_{\text{ctm}} \cdot \frac{I_{y, \text{Ist}}}{h - x_{i, \text{Ist}}} = 3,2 \cdot \frac{5,26 \cdot 10^{10}}{1230 - 646,25} = 188,3 \text{ kNm}$$

$$M_{\text{cr}} = 188,3 \text{ kNm} < M_k = 1688,25 \text{ kNm} \rightarrow \text{vznik ťvhlín}$$

b) krátkodobé zat. s ťvhlíkami

$$\begin{aligned} x_{i, \text{Ist}} &= \frac{A_{e, \text{st}} \cdot A_{s, \text{prov}}}{b} \cdot \left(-1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot b \cdot d}{A_{e, \text{st}} \cdot A_{s, \text{prov}}}} \right) \cdot \frac{6,27 \cdot 3694,5}{300} \\ &\cdot \left(-1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot 300 \cdot 1144}{6,27 \cdot 3694,5}} \right) = 350,14 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{y, \text{II, Ist}} &= \frac{1}{3} \cdot b \cdot x_{i, \text{II, Ist}}^3 + A_{e, \text{st}} \cdot A_{s, \text{prov}} \cdot (d - x_{i, \text{II, Ist}})^2 = \frac{1}{3} \cdot 300 \cdot 350,14^3 + \\ &+ 6,27 \cdot 3694,5 \cdot (1144 - 350,14)^2 = 1,89 \cdot 10^{10} \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

Dlouhodobé zatížení

a) bez ťvhlín

$$f_o = 28 \text{ dní}$$

$$h_o = \frac{2 \cdot A_c}{h} = \frac{2 \cdot 1230 \cdot 300}{2 \cdot 1230 + 2 \cdot 300} = 214,2 \text{ mm}$$

$$\eta = 1,61$$

$$E_{\text{cess, II}} = \frac{E_{\text{cm}}}{1 + \eta} = \frac{33,5}{1 + 1,61} = 12,84 \text{ GPa}$$

$$\alpha_{e, \text{II}} = \frac{E_s}{E_{\text{cess, II}}} = \frac{210}{12,84} = 16,36$$

Výška H_{ac} oblasti:

$$\frac{1}{2} b \cdot x_{i,II}^2 = \frac{1}{2} b \cdot (h - x_{i,II})^2 + A_{s,prov} \alpha_{e,II} (d - x_{i,II})$$

$$\frac{1}{2} \cdot 300 \cdot x_{i,II}^2 = \frac{1}{2} \cdot 300 \cdot (1230 - x_{i,II})^2 + 3694,5 \cdot 16,36 (1144 - x_{i,II})$$

$$\Rightarrow x_{i,II} = 689,45 \text{ mm}$$

$$a_{i,II} = x_{i,II} - \frac{h}{2} = 689,45 - \frac{1230}{2} = 74,5 \text{ mm}$$

$$I_{y,II} = \frac{1}{12} b h^3 + b h a_{i,II}^2 + A_{s,prov} \alpha_{e,II} (d - x_{i,II})^2 = \frac{1}{12} \cdot 300 \cdot 1230^3 + 300 \cdot 1230 \cdot 74,5^2 + 16,36 \cdot 3694,5 \cdot (1144 - 689,45)^2 = 6,11 \cdot 10^{10} \text{ mm}^4$$

$$M_{ex,II} = f_{ctm} \cdot \frac{I_{y,II}}{h - x_{i,II}} = 3,2 \cdot \frac{6,11 \cdot 10^{10}}{1230 - 689,5} = 361,5 \text{ kNm}$$

$$M_{ex,II} = 361,5 \text{ kNm} < M_k = 1088,25 \text{ kNm} \rightarrow \text{vzhik trhlin}$$

b) dlouhodobé zat. s trhlinami

$$x_{i,II} = \frac{\alpha_{e,II} \cdot A_{s,prov}}{b} \cdot \left(-1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot b \cdot d'}{\alpha_{e,II} \cdot A_{s,prov}}} \right) = \frac{16,36 \cdot 3694,5}{300}$$

$$\cdot \left(-1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot 300 \cdot 1144}{16,36 \cdot 3694,5}} \right) = 506,74 \text{ mm}$$

$$I_{y,II} = \frac{1}{3} b \cdot x_{i,II}^3 + A_{s,prov} \alpha_{e,II} (d - x_{i,II})^2 = \frac{1}{3} \cdot 300 \cdot 506,74^3 + 3694,5 \cdot 16,36 \cdot (1144 - 506,74)^2 = 3,76 \cdot 10^{10} \text{ mm}^4$$

	st		II		
	I	II	I	II	
ψ	0		1,61	-	
α_e	6,27		16,36	-	
$E_{e,eff}$	33,5		17,84	6Pa	
x_i	646,25	350,14	689,45	506,74	mm
$I_{y,II}$	$5,26 \cdot 10^{10}$	$1,89 \cdot 10^{10}$	$6,11 \cdot 10^{10}$	$3,76 \cdot 10^{10}$	mm ⁴
M_{ex}	288,3		361,5		kNm

Posouzení MSP z hlediska napětí

1) $\bar{\sigma}_s \leq 0,8 \cdot f_{yk}$

$$\bar{\sigma}_s = \alpha_{e,st} \cdot \frac{M_k}{I_{y,II,st}} \cdot (d - x_{i,II,st}) = 6,27 \cdot \frac{1088,25 \cdot 10^6}{1,89 \cdot 10^{10}} \cdot (1144 - 350,14) = 286,6 \text{ MPa} < 0,8 \cdot f_{yk} = 0,8 \cdot 500 = 400 \text{ MPa} \dots \text{ vyhoví}$$

2) $\bar{\sigma}_{ce} \leq 0,6 \cdot f_{ck}$

$$\bar{\sigma}_{ce} = \frac{M_k}{I_{y,II,st}} \cdot x_{i,II,st} = \frac{1088,25 \cdot 10^6}{1,89 \cdot 10^{10}} \cdot 350,14 = 20,16 \text{ MPa}$$

$$\bar{\sigma}_{ce} = 20,16 \text{ MPa} < 0,6 \cdot f_{ck} = 0,6 \cdot 35 = 21 \text{ MPa} \dots \text{ vyhoví}$$

3) $\bar{\sigma}_{ct} \leq 0,45 \cdot f_{ctk}$

$$\bar{\sigma}_{ct} = \frac{M_{qp}}{I_{y,II,It}} \cdot x_{i,II,It} = \frac{1007,94 \cdot 10^6}{3,76 \cdot 10^{10}} \cdot 506,74 = 9,4 \text{ MPa}$$

$$\bar{\sigma}_{ct} = 9,4 \text{ MPa} < 0,45 \cdot f_{ctk} = 0,45 \cdot 35 = 15,75 \text{ MPa} \dots \text{ vyhoví}$$

Posouzení MSP z hlediska trhlin

Max šířka trhlin pro prostředí XD1 $w_k = 0,3 \text{ mm}$

Min plocha vyztužení z hlediska s trhlin

$k_e = 0,4$... není předpětí

$k = 10$

$f_{ct,eff} = f_{ct,m} = 3,2 \text{ MPa}$

σ_{28}

max vdatenost prutu

$s_1 = 89 \text{ mm}$

$$A_{s,min} = \frac{k_e \cdot k \cdot f_{ct,eff} \cdot A_{ct}}{\bar{\sigma}_{s,t}}$$

Plocha C v tažené části

$$A_{ct} = (h - x_{i,II,It}) \cdot b = (1230 - 689,45) \cdot 300 = 162165 \text{ mm}^2$$

$$\bar{\sigma}_{s,t} = 320 \text{ MPa}$$

$$A_{s,min} = \frac{0,4 \cdot 10 \cdot 3,2 \cdot 162165}{320} = 648,7 \text{ mm}^2 < A_{s,ptov} = 3694,5 \text{ mm}^2 \checkmark$$

Redukované napětí ve vyztužení

$$\bar{\sigma}_s = \alpha_{e,It} \cdot \frac{M_{qp}}{I_{y,II,It}} \cdot (d - x_{i,II,It}) = 16,36 \cdot \frac{1007,94 \cdot 10^6}{3,76 \cdot 10^{10}} \cdot (1144 - 506,74) = 277,81 \text{ MPa}$$

$$\bar{\sigma}_s = 277,81 \text{ MPa} < \bar{\sigma}_{s,t} = 320 \text{ MPa} \dots \text{ vyhoví}$$