

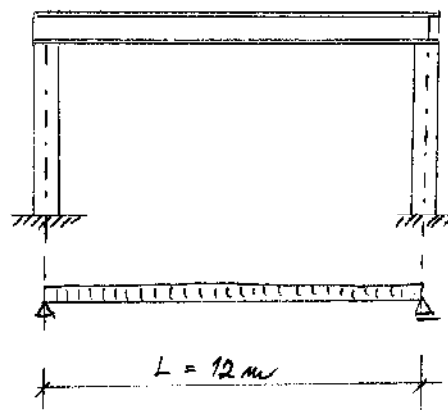
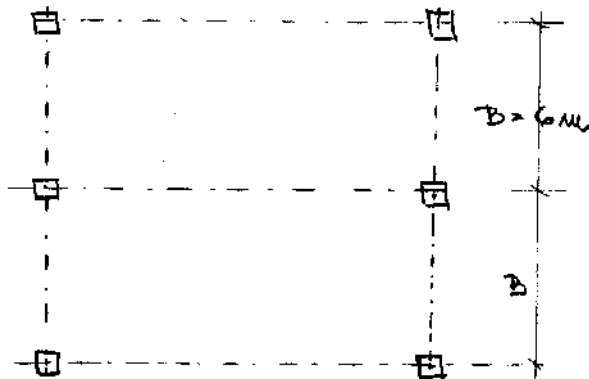
Ukázkový příklad k zadání předmětu BEK3 - PŘEDPJATÝ BETON

Ing. Hana Hanzlová, CSc.

PŘEDPJATÝ BETON

ZADÁNÍ:

- Předem předpjatý vazník konstantní výšky ($h = \text{konst.}$)
- přímé kabely ($e_p = \text{konst.}$)
- PLNĚ předpjatý prvek



$h = \text{konst.}$

$g_{\text{ost}} = 3 \text{ kN/m}^2$
 $q = 3 \text{ kN/m}^2$
 (charakterist. hodnoty.)

STATICKÉ
SCHEMA

BETON C 40/50 $E_{cm} = 35 \text{ GPa}$
 $f_{ck} = 40 \text{ MPa}$, $f_{ctm} = 3,5 \text{ MPa}$
 $f_{ed} = \frac{40}{1,5} = 26,7 \text{ MPa}$

OCCEL LGB 12,5 $\sigma_{p, \text{max}} \leq f_{pd} = 1520 \text{ MPa}$
 ($\sigma_{p, \text{lim}}$)
 $\sigma_{p, \text{tr}} \leq 0,9 \sigma_{p, \text{max}}$
 $(R_{pk}) f_{pk} = 1900 \text{ MPa}$
 $E_p = 200 \text{ GPa}$

$$A_{p1} = 91,3 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

Ukázkový příklad k zadání předmětu BEK3 - PŘEDPJATÝ BETON

Ing. Hana Hanzlová, CSc.

ZATÍŽENÍ:

	CHARAKT.	NAVRH [kN/m]
ostatní střeše	$3,0 \cdot 6 = 18,0$	1,2
nahodilce	$3,0 \cdot 6 = 18,0$	1,4
	36,0	46,8

1. (bez vlastní tíhy)

$$M_{sdl,1} = \frac{1}{8} \cdot 36 \cdot 12^2 = 648 \text{ kNm}$$

2. návrh výšky průřezu:

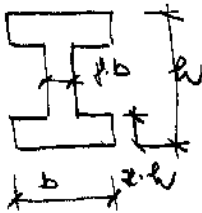
$$h \geq \alpha \cdot \sqrt{\frac{M_{sdl,1}}{b \cdot \rho_s \cdot 0,26 f_{ctk}}}$$

$\alpha = 1,05$ (odhad vlastní tíhy)

pro $\rho = \frac{1}{3}$ a $\alpha = \frac{1}{5}$

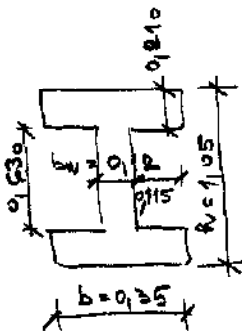
vyjde $\rho_s = \frac{1}{4}$

volíme $b = 0,35 \text{ m}$



$$h = 1,05 \cdot \sqrt{\frac{648 \cdot 10^3}{0,35 \cdot \frac{1}{4} \cdot 0,26 \cdot 40 \cdot 10^6}} = 0,996 \text{ m}$$

reálné: $h = 1,05 \text{ m}$



3. průřezové charakteristiky:

$$A_c = 0,35 \cdot 1,05 - 2 \cdot 0,115 \cdot 0,63 = 0,2226 \text{ m}^2$$

$$I_c = \frac{1}{12} \cdot 0,35 \cdot 1,05^3 - 2 \left(\frac{1}{12} \cdot 0,115 \cdot 0,63^3 \right) = 0,02897 \text{ m}^4$$

$$W = \frac{I_c}{h/2} = \frac{0,02897}{0,525} = 0,055184 \text{ m}^3$$

$$\eta = \frac{W}{A_c} = \frac{0,055184}{0,2226} = 0,248 \text{ m}$$

vlastní tíha

$$g_{0,6} = 0,2226 \cdot 26 = 5,788 \text{ kN/m}$$

$$g_{0,6} = 5,788 \cdot 1,2 = 6,95 \text{ kN/m}$$

moment od vlastní tíhy

$$M_{sdl,g_0} = \frac{1}{8} \cdot 6,95 \cdot 12^2 = 104,2 \text{ kNm}$$

Ukázkový příklad k zadání předmětu BEK3 - PŘEDPJATÝ BETON

Ing. Hana Hanzlová, CSc.

celkový moment od zatížení

$$M_{s2} = M_{s2,1} + M_{s2,2} = 642 + 104,2 = 752,20 \text{ kNm}$$

4. kontrola

(mezí stav
omezení úpětí)

$$\sigma_{ck,00} = \frac{M_{s2}}{W} = \frac{752,20 \cdot 10^3}{0,055184} = 13,63 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{ck,00} = 13,63 \text{ MPa} \leq 0,6 \cdot f_{ck} = 0,6 \cdot 40 = 24 \text{ MPa}$$

průřez vyhovuje

5. kontrola

(mezí stav
náročnosti)

$$h \geq \alpha \sqrt{\frac{M_{s2}}{B \cdot b \cdot f_{cd}}} \quad \alpha = 1,0$$

$$B = \frac{1}{7}$$

$$h = 1,0 \text{ m} \geq 1,0 \sqrt{\frac{752,20 \cdot 10^3}{\frac{1}{7} \cdot 0,25 \cdot 267 \cdot 10^6}} = 0,751 \text{ m}$$

výška průřezu vyhovuje

6. návrh předpětí síly a její
excentricity

$$P_{e,00} = \frac{\sigma_{ck,00}}{1 + \frac{e_p}{r}} \cdot A_c$$

PLNĚ PŘEDP. NOSNÍK $e_p \leq r$

$$\text{návrh: } \boxed{e_p = r}$$

$$P_{e,00} = \frac{13,63 \cdot 10^6}{1 + 1} \cdot 0,2226 = 1517 \text{ kN}$$

7. návrh plochy předpětí vyžávané

$$\sigma_{f,00} = 1520 \text{ MPa}$$

odhad ztrát předpětí:

a) krátkodobé ztráty (do okamžiku
vznik předpětí do betonu)

Ukázkový příklad k zadání předmětu BEK3 - PŘEDPJATÝ BETON

Ing. Hana Hanzlová, CSc.

$\Delta\sigma_{17}$ ztráta relaxací předpětí
vyztuže

okamžitě transferu předpětí
 $t_{tr} = 3 \text{ dny}$ ($\Delta t = 0 - 3 \text{ dny}$)

$$\Delta\sigma_{17} = -\rho_p \cdot \beta_{pit} \cdot \sigma_{p, in}$$

charakteristiky
vyztuže
(pro LSA, LSB)
 $w_{pd} = 0,113$
 $w_{pe} = 0,5$

$$\rho_p = w_{pd} \left(1 - w_{pe} \cdot \frac{R_{pm}}{\sigma_{p, in}} \right)$$

$$= 0,113 \left(1 - 0,5 \cdot \frac{1900}{1520} \right) = 0,0424$$

$$\beta_{pit} = 0,18 + \frac{1}{7} \log t$$

$$t = 3 \text{ dny} = 3 \cdot 24 \cdot 60 = 4320 \text{ min}$$

$$\beta_{pit} = 0,18 + \frac{1}{7} \log 4320 = 0,7$$

$$\Delta\sigma_{17} = -0,0424 \cdot 0,7 \cdot 1520 = -45,1 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{p, tr} = \sigma_{p, in} + \Delta\sigma_{17} = 1520 - 45,1 =$$

$$= 1475 \text{ MPa}$$

podmínka
normy:

$$\sigma_{p, tr} \leq 0,9 \sigma_{p, in}$$

$$\sigma_{p, tr} = 1475 \text{ MPa} < 0,9 \sigma_{p, in} = 0,9 \cdot 1520 = 1368 \text{ MPa}$$

V okamžiku vnošení předpětí do betonu (tj. po proběhnutí některých krátkodobých ztrát) má napětí v předp. vyztuži splnit tuto podmínku.

Proto je nezbytné snížit hodnotu $\sigma_{p, in}$ tak, aby po ztrátě $\Delta\sigma_{17}$ byla uvedena podmínka splněna.

$$\sigma_{p, in} - \rho_p \cdot \beta_{pit} \cdot \sigma_{p, in} = \sigma_{p, tr} = 1368 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{p, in} - 0,113 \left(1 - 0,5 \cdot \frac{1900}{\sigma_{p, in}} \right) \cdot 0,7 \cdot \sigma_{p, in} = 1368 \text{ MPa}$$

Ukázkový příklad k zadání předmětu BEK3 - PŘEDPJATÝ BETON

Ing. Hana Hanzlová, CSc.

úpravou vychází

$$\sigma_{p,inv} = 1404 \text{ MPa}$$

$$\Delta \sigma_{17} = -0,113 \left(1 - 0,5 \cdot \frac{1900}{1404} \right) \cdot 0,7 \cdot 1404 = -36 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{p,tr} = 1404 - 36 \text{ MPa} = 1368 \text{ MPa}$$

b) dlouhodobé ztráty (ztráty od okamžiku vstupu předpětí do betonu)

b1) zbytek ztráty relaxací vyžítíže
 $\Delta t = 3 \text{ dny} - \infty$

$$\Delta \sigma_{21} = -\varphi_p \cdot (1 - \beta_{p,t}) \cdot \sigma_{p,tr}$$

$$\varphi_p = 0,113 \left(1 - 0,5 \cdot \frac{1900}{\sigma_{p,tr}} \right) =$$

$$= 0,113 \left(1 - 0,5 \cdot \frac{1900}{1368} \right) = 0,035$$

$$\Delta \sigma_{21} = -0,035 \cdot (1 - 0,7) \cdot 1368 = -14,2 \text{ MPa}$$

b2) ztráta smršťování betonu

$$\epsilon_{sh} = 0,00033 \text{ (0,33‰) pro běžné prostředí}$$

$$\Delta \sigma_{22} = -\epsilon_{sh} \cdot E_p = -0,00033 \cdot 200000 = -66 \text{ MPa}$$

b3) ztráta pružným zkrácením a dotvarováním betonu

pouze odhadem

$$\Delta \sigma_{23} \hat{=} -0,15 \sigma_{p,tr} = -0,15 \cdot 1368 = -205,20 \text{ MPa}$$

$$\underline{\sigma_{p,\infty} = 1368 - 14,2 - 66 - 205,2 = 1082,6 \text{ MPa}}$$

Ukázkový příklad k zadání předmětu BEK3 - PŘEDPJATÝ BETON

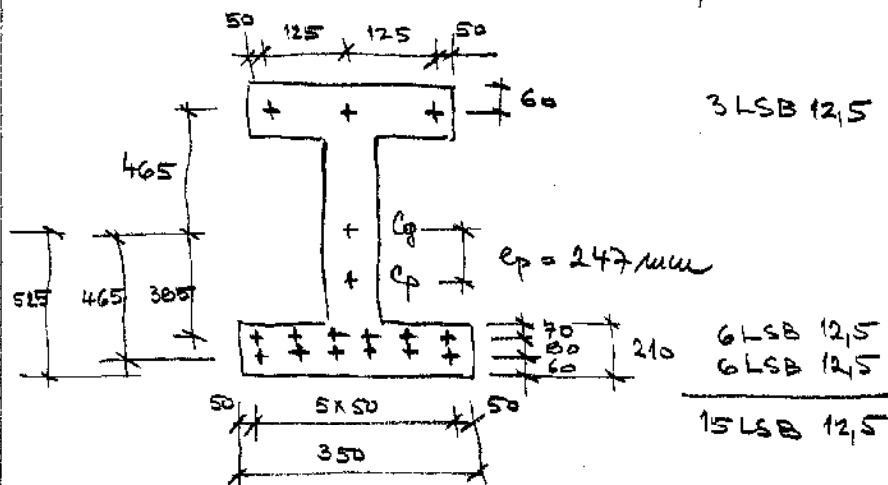
Ing. Hana Hanzlová, CSc.

$$A_{p,d} = \frac{F_{p,0}}{\sigma_{p,00}} = \frac{1517 \cdot 10^3}{1082,6 \cdot 10^3} = 1401 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$n = \frac{1401}{91,3} = 15,35 \Rightarrow \underline{15 \text{ lam}}$$

$$A_p = 15 \cdot 91,3 \cdot 10^{-6} = 1369,5 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

8. návrh rozmístění lam v průřezu



9. výpočet ztrát předpětí

my zde ztráty pro předběžné porušení zatím pouze odhadneme (stejně jako v návrhu průřezu)

zůstává tedy

$$\sigma_{p, tr} = 1368 \text{ MPa}$$

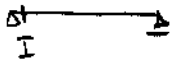
$$\sigma_{p, 00} = 1082,6 \text{ MPa} \quad (\text{odhad})$$

Ukázkový příklad k zadání předmětu BEK3 - PŘEDPJATÝ BETON

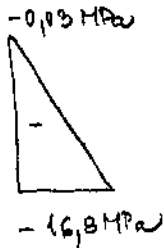
Ing. Hana Hanzlová, CSc.

PŘEDBĚŽNÉ PŮSOBENÍ (betonový prvek)

1. MEZNI STAV POUŽITELNOSTI
MEZNI STAV VĚNIKU TRHLIN A OMEZENÍ NAPĚTÍ



$$M_{k,1} = P_{k,1} \cdot e_p$$



a) stavební stadium
podporný průřez (I), předpjatý ($t = t_r$)

$$M_{p,0} = 0$$

$$\sigma_{d,0} = - \frac{P_{k,1} \cdot t_r}{A_c} + \frac{P_{k,1} \cdot e_p}{W}$$

$$P_{k,1} = A_p \cdot \sigma_{p,1} = 1369,5 \cdot 10^{-6} \cdot 1368 \cdot 10^6 = 1873,5 \text{ kN}$$

$$\sigma_w = - \frac{1873,5 \cdot 10^3}{0,2226} + \frac{1873,5 \cdot 10^3 \cdot 0,247}{0,055184}$$

$$= - 8,416 + 8,386$$

$$\sigma_w = - 0,03 \text{ MPa} < 0$$

$$\sigma_d = - 8,416 - 8,386$$

$$\sigma_d = |-16,802 \text{ MPa}| < 0,45 f_{ct} = 18 \text{ MPa}$$

b) provozní stadium

průřez uprostřed rozpětí



$$M_{k,\infty} = P_{k,\infty} \cdot e_p$$

$$\sigma_{d,\infty} = - \frac{P_{k,\infty}}{A_c} + \frac{P_{k,\infty} \cdot e_p}{W} + \frac{M_{k,\infty}}{W}$$

$$\sigma_{p,\infty} = 1082,6 \text{ MPa}$$

$$P_{k,\infty} = 1369,5 \cdot 10^{-6} \cdot 1082,6 \cdot 10^6 = 1482,6 \text{ kN}$$

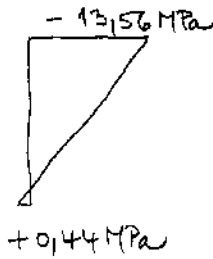
$$\sigma_w = - \frac{1482,6 \cdot 10^3}{0,2226} + \frac{1482,6 \cdot 10^3 \cdot 0,247}{0,055184} - \frac{752,2 \cdot 10^3}{0,055184} =$$

$$= - 6,560 + 6,636 - 13,631 =$$

$$\sigma_d = |-13,56 \text{ MPa}| < 0,6 f_{ct} = 0,6 \cdot 40 = 24 \text{ MPa}$$

Ukázkový příklad k zadání předmětu BEK3 - PŘEDPJATÝ BETON

Ing. Hana Hanzlová, CSc.



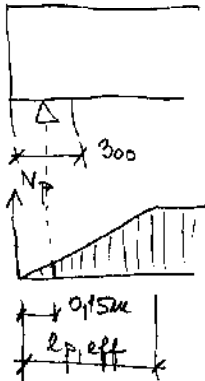
$$\sigma_d = -6,56 - 6,636 + 13,631 = +0,44 \text{ MPa}$$

$$\sigma_d = +0,44 \text{ MPa} \neq 0$$

Nevyhovuje požadavkům na plně předpjatý beton.
Je předpokládat, že při podrobném posouzení na ideálním průřezu a s "přesným" výpočtem ztrát, průřez vyhoví.

PŘEDBĚŽNÉ POSOUZENÍ TLOUSTKY STAVIT

průřez v teoretické podpoře
provozuí stadiu



průběžná délka

$$l_{bp} = \rho_p \cdot \phi$$

$$\rho_p = 75 \text{ (pro hodnotu pevnosti betonu při předpětí 25 MPa)}$$

$$l_{bp} = 75 \cdot 15,5 = 1162,5 \text{ mm}$$

výpočtová hodnota

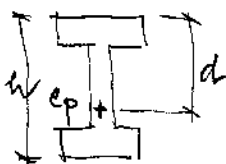
$$l_{bpd} = 1/2 \cdot l_{bp} = 1/2 \cdot 1162,5 = 581,25 \text{ mm}$$

vyrovnaná délka (podle n/5 se napětí v betonu vyrovná do lineárního průběhu)

$$l_{p,eff} = \sqrt{l_{bpd}^2 + d^2}$$

$$d = 0,772 \text{ m}$$

$$l_{p,eff} = \sqrt{1,395^2 + 0,772^2} = 1,594 \text{ m} = \underline{1,6 \text{ m}}$$



napětí v těžištném průřezu

$$\sigma_x = -\frac{P_{k,v}}{A_c} \cdot \frac{0,15}{l_{p,eff}} = -6,56 \cdot \frac{0,15}{1,6} = -0,615 \text{ MPa}$$

Ukázkový příklad k zadání předmětu BEK3 - PŘEDPJATÝ BETON

Ing. Hana Hanzlová, CSc.

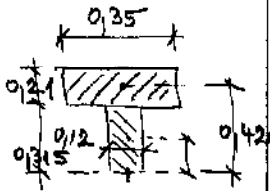
viz sh - 2 -

$$V_{sd} = \frac{1}{2} (468 + 695) \cdot 12 = 322,50 \text{ kN}$$

$$\tau_{max} = \sqrt{f_{ctk}^2 - f_{ctk} \cdot \sigma_x} = \sqrt{2,5^2 + 2,5 \cdot 0,615} = 2,79 \text{ MPa}$$

$$\tau = \frac{V_{sd} \cdot S_{max}}{b \cdot I_c} \leq \tau_{max}$$

$$\Rightarrow b \geq \frac{V_{sd} \cdot S_{max}}{\tau_{max} \cdot I_c}$$



$$S_{max} = 0,35 \cdot 0,21 \cdot 0,42 + 0,12 \cdot 0,315 \cdot \frac{0,315}{2} = 0,0368 \text{ m}^3$$

$$b \geq \frac{322,50 \cdot 10^3 \cdot 0,0368}{2,79 \cdot 10^6 \cdot 0,02897} = 0,147 \text{ m}$$

Síťka stojiny u podpory nevyhovuje. Rozsíťku tedy stojinu v podporovém průřezu a pak u bočním přejezdu na třevítku 0,12 m.



průřez ve vzdálenosti 1,6 m od čela nosníku $x = 1,6 - 0,15 = 1,45 \text{ m}$

$$V_{sd} = 322,5 - (46,8 + 6,95) \cdot 1,45 = 244,6 \text{ kN}$$

$$\sigma_x = -6,56 \text{ MPa}$$

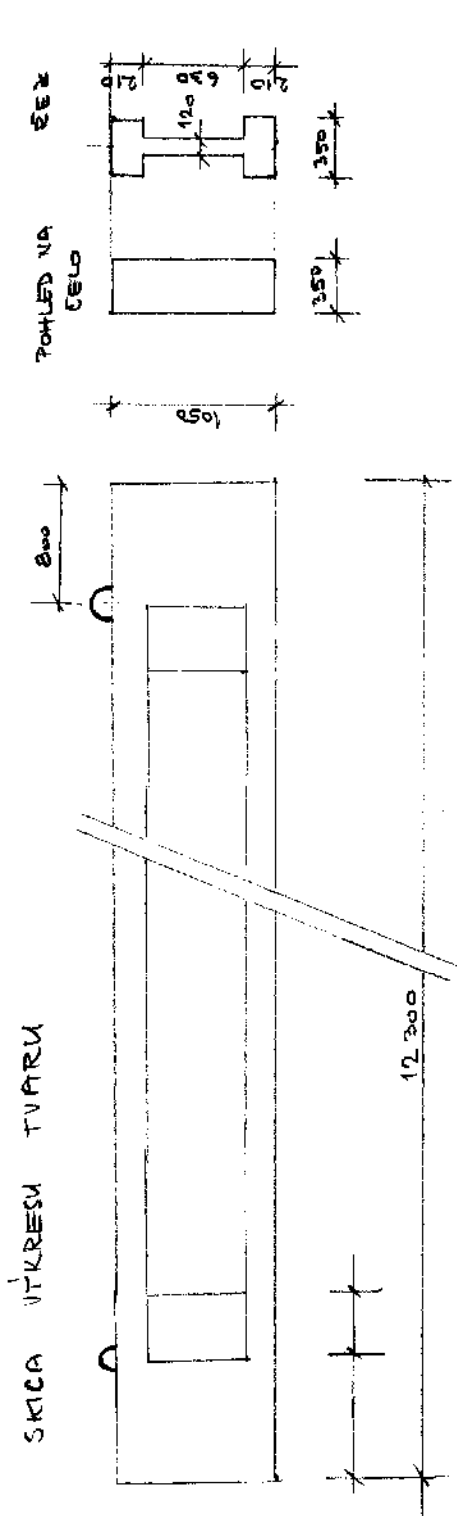
$$\tau_{max} = \sqrt{2,5^2 + 2,5 \cdot 6,56} = 4,76 \text{ MPa}$$

$$b \geq \frac{244,6 \cdot 10^3 \cdot 0,0368}{4,76 \cdot 10^6 \cdot 0,02897} = 0,065 \text{ m} < 0,12 \text{ m}$$

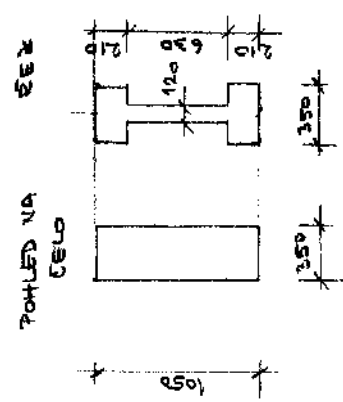
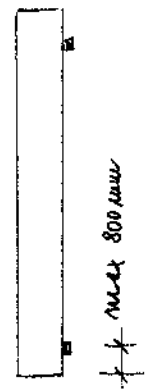
zde síťka stojiny vyhovuje

Ukázkový příklad k zadání předmětu BEK3 - PŘEDPJATÝ BETON

Ing. Hana Hanzlová, CSc.



SCHEMA SCLADOVNÍČ



C 40/50
hmotnost 8620 kg
objem 3,32 m³

