

Výpočet ostatního předpětí

Druhý úsek, délka kabelů 40 500 mm, max. napětí 6662,83 kPa

Výpočet je proveden stejným způsobem jako hlavní výpočet v diplomové práci. Ztráty budou spočteny jednotlivě a následně sečteny do celkových ztrát. Youngův modul pružnosti předpínací výztuže $E_p = 195$ GPa, $f_{pk} = 1860$ MPa, $f_{p0,1k} = 1640$ MPa, $f_{ck} = 30$ MPa, $f_{ctm} = 2,9$ MPa, Youngův modul pružnosti betonu $E_c = 32$ GPa, $\sigma_{p0} = 1400$ MPa, [6]. Napínání bude prováděno z obou stran.

Návrh 40 prutů v jednom kabelu.

Ztráta pokluzem

Pokluz je dle dodavatele $w = 3$ mm, [6].

$$\Delta\sigma_{pw} = \frac{\Delta l}{l} \cdot E = \frac{3}{22500} \cdot 195\,000 = 26 \text{ MPa}$$

Ztráta třením

Dle dodavatele je součinitel tření $\mu = 0,2$ a součinitel $k = 0,0008$.

$$\Delta\sigma_{p\mu} = \sigma_{p0} \cdot e^{-\mu \cdot k \cdot l} = 1400 \cdot e^{-0,2 \cdot 0,0008 \cdot 20250} = 54,829 \text{ MPa}$$

Ztráta krátkodobou relaxací

Ztrátu uvažujeme v čase $t = 72$ hodin, tedy 3 dny po vnesení předpětí. Dodavatel určuje součinitel $\zeta_{1000} = 2,5$. Před napnutím a zakotvením výztuže provedeme tzv. podržení na 5 min, spočteme ztrátu a poměr tahového napětí s napětím ve výztuži μ_{cor} :

$$\mu_{cor} = \frac{\sigma_{p1}}{f_{pk}} = \frac{1400}{1860} = 0,752$$

$$\begin{aligned} \Delta\sigma_{p,cor} &= 0,66 \cdot \zeta_{1000} \cdot e^{9,1 \cdot \mu_{cor}} \cdot \left(\frac{t}{1000}\right)^{0,75 \cdot (1 - \mu_{cor})} \cdot \sigma_{p0} = \\ &= 0,66 \cdot 2,5 \cdot e^{9,1 \cdot 0,752} \cdot \left(\frac{0,0833}{1000}\right)^{0,75 \cdot (1 - 0,752)} \cdot 1400 \cdot 10^{-5} = 3,77 \text{ MPa} \end{aligned}$$

O tuto hodnotu budeme snižovat ztráty relaxací, jelikož byla „podržením“ již vyčerpána.

Relaxace probíhá již po proběhnutých ztrátách třením a pokluzem. Nové počáteční napětí v předpínací výztuži před začátkem relaxace a nový poměr tahového napětí ve výztuži s tahovou pevností μ_{ST} :

$$\sigma_{p1} = \sigma_{p0} - \Delta\sigma_{pw} - \Delta\sigma_{p\mu} = 1400 - 26 - 54,829 = 1319,171 \text{ MPa}$$

Spočteme nový poměr pro napětí po započítání ztrát.

$$\mu_{ST} = \frac{\sigma_{p1}}{f_{pk}} = \frac{1319,171}{1860} = 0,709$$

$$\begin{aligned} \Delta\sigma_{p,rel,0} &= 0,66 \cdot \zeta_{1000} \cdot e^{9,1 \cdot \mu_{ST}} \cdot \left(\frac{t_e}{1000}\right)^{0,75 \cdot (1 - \mu_{ST})} \cdot \sigma_{p1} \cdot 10^{-5} = \\ &= 0,66 \cdot 2,5 \cdot e^{9,1 \cdot 0,709} \cdot \left(\frac{72}{1000}\right)^{0,75 \cdot (1 - 0,709)} \cdot 1319,171 \cdot 10^{-5} = 7,77 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Část relaxace již proběhla a znovu se neprojeví, musíme ji znovu započítat:

$$\Delta\sigma_{p,rel,1} = \Delta\sigma_{p,rel,0} - \Delta\sigma_{p,cor} = 7,77 - 3,77 = 4 \text{ MPa}$$

Celkem krátkodobé ztráty:

$$\Delta\sigma_{p,ST} = \Delta\sigma_{pw} + \Delta\sigma_{p\mu} + \Delta\sigma_{p,rel,1} = 26 + 54,829 + 4 = 84,829 \text{ MPa}$$

Ztráta dlouhodobou relaxací:

Výpočet je stejný jako pro krátkodobou relaxaci, akorát uvažujeme čas $t = 500\,000$ hod. Spočteme napětí ve výztuži po započtení krátkodobých ztrát, součinitel μ_{LT} a celkovou ztrátu, opět musíme odečíst již proběhlé relaxace:

$$\sigma_{p2} = \sigma_{p0} - \Delta\sigma_{p,ST} = 1400 - 84,829 = 1315,17 \text{ MPa}$$

$$\mu_{cor} = \frac{\sigma_{p1}}{f_{pk}} = \frac{1315,17}{1860} = 0,707$$

$$\begin{aligned} \Delta\sigma_{p,rel,2} &= 0,66 \cdot \zeta_{1000} \cdot e^{9,1 \cdot \mu_{ST}} \cdot \left(\frac{t}{1000}\right)^{0,75 \cdot (1 - \mu_{ST})} \cdot 10^{-5} \cdot \sigma_{p2} = \\ &= 0,66 \cdot 2,5 \cdot e^{9,1 \cdot 0,707} \cdot \left(\frac{500000}{1000}\right)^{0,75 \cdot (1 - 0,707)} \cdot 1315,17 \cdot 10^{-5} = 52,93 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\Delta\sigma_{p,rel,3} = \Delta\sigma_{p,rel,2} - \Delta\sigma_{p,rel,1} = 52,93 - 3,77 - 4 = 45,16 \text{ MPa}$$

Ztráta smršťováním a dotvarováním

Výstupy z programu CaS.

Geometrie průřezuprůřezová plocha [mm²] obvod průřezu [mm]

Tvar průřezu

- nekonečná deska
- nekonečný válec
- nekonečný čtyřhranný hranol
- koule
- krychle

Složení bet. směsi, pevnost betonuobsah cementu c [kg/m³] obsah vody w [kg/m³] obsah kameniva a [kg/m³] válcová pevnost po 28 dnech f_c [MPa]

Druh cementu

- cement typu I
- cement typu II
- cement typu III

součinitel tvaru k_s 1.00součinitel typu cementu α₁ 1.00**Vlhkost a ošetřování**průměrná relativní vlhkost [%]

Ošetřování betonu

- ošetřování parou
- normální ošetřování na vzduchu, počáteční ochrana proti vysoušení
- beton ve vodě nebo v prostředí se 100 % relativní vlhkostí

součinitel typu ošetřování α₂ 1.20**Časové údaje**doba ošetřování betonu t₀ [dny] stáří při vnesení zatížení t' [dny]

- výpočet parametrů smršťování a dotvarování v čase t [dny]
- výpočet průběhů parametrů smršťování a dotvarování v intervalu < 0 ; t >

stáří betonu t [dny] **Napětí**napětí od zatížení [MPa]
 Výpočet koeficientů

Dotvarování a smršťování betonového prvku - model B3

Geometrie, složení betonu, vlhkost a ošetřování | Zatížení, časové údaje | **Součinitele, modul pružnosti E, funkce dotvarování**

Součinitele		Funkce (dotvarování)	
konstanta k_t [dny / cm ²]	2,7820566525	funkce q_1	23,139947507
součinitel vlhkosti k_h	0,875	funkce q_2	162,45557615
součinitel vlivu času $S(t)$	0,8920182049	funkce q_3	2,3269991255
součinitel vlivu velikosti τ_{sh}	17805	funkce q_4	6,4892859933
účinná tloušťka průřezu [mm]	800	funkce q_5	486,89526420
Modul pružnosti E		funkce $Q(t, t')$	0,1813082308
po 28 dnech [MPa] - vzorec ACI	25929	funkce $H(t)$	0,5539908975
v čase $t = 36525$ dnů [MPa]	28122	funkce $H(t')$	1
v čase $t_0 + \tau_{sh} = 28 + 17805$ dnů	28120		

Výsledné parametry dotvarování a smršťování

Výstupní hodnoty

Smršťování	
konečné smrštění [10E-6]	-723,077440E
časová závislost konečného smrštění [10E-6]	-720,391894E
smrštění v čase $t = 36525, t_0 = 28$ [10E-6]	562,277349

Dotvarování	
základní funkce dotvarování $C_0, t = 36525, t' = 28$ [10E-6 / MPa]	79,14818020
funkce dotvarování vysycháním $C_d, t = 36525, t' = 28$ [10E-6 / MPa]	52,34087355
funkce dotvarování $J, t = 36525, t' = 28$ [10E-6 / MPa]	154,629001
součinitel dotvarování $f_i, t = 36525, t' = 28$	2,88651162

Přetvoření	
přetvoření od zatížení $t = 36525, t' = 28$ [10E-6]	1159,71750
celkové přetvoření $t = 36525, t' = 28$ [10E-6]	1721,99485

Zpět na zadání vstupních hodnot | Tisk výsledků | Konec

Ztráta smršťováním:

$$\Delta\sigma_{ps} = E \cdot \varepsilon_{cs} = 195000 \cdot 0,000562 = 109,59 \text{ MPa}$$

Ztráta dotvarováním:

Uvažujeme nejvyšší možné napětí po průřezu, tedy 6662,82 kPa.

$$\Delta\sigma_{pd} = \frac{E_p}{E_c} \cdot \sigma_{fd} \cdot \varphi_{(t,\tau)} = \frac{195\,000}{32\,000} \cdot 6,66 \cdot 2,88 = 116,88 \text{ MPa}$$

Celkem dlouhodobé ztráty:

$$\Delta\sigma_{p,LT} = \Delta\sigma_{pd} + \Delta\sigma_{ps} + \Delta\sigma_{p,rel,3} = 116,88 + 109,59 + 45,16 = 271,63 \text{ MPa}$$

Napětí ve výztuži na konci životnosti tedy bude

$$\Delta\sigma_{fin} = \sigma_{p0} - \Delta\sigma_{p,ST} - \Delta\sigma_{p,LT} = 1400 - 84,829 - 271,63 = 1043,541 \text{ MPa}$$

$$\frac{\Delta\sigma_{fin}}{\sigma_{p0}} = \frac{1043,54}{1400} \cdot 100\% = 74,53\%$$

Ztrátami bude ztraceno přibližně 25 % předpínací síly. Tato ztráta je relativně malá, nejsou tedy potřeba žádné další speciální úpravy konstrukce k jejich snížení.

Celková síla vnesená jedním kabelem je tedy

$$N = \sigma \cdot A = 1043,54 \cdot 40 \cdot 150 = 6\,261\,240 \text{ N} = 6\,261,24 \text{ kN}$$

Celkové napětí vnesené na jeden metr běžný:

$$\sigma = \frac{N}{A} = \frac{6261240}{800 \cdot 1000} = 7,83 \text{ MPa}$$

Druhý úsek, délka 21250 mm, max napětí 1725,53 kPa

Výpočet je proveden stejným způsobem jako hlavní výpočet v diplomové práci. Ztráty budou spočteny jednotlivě a následně sečteny do celkových ztrát. Youngův modul pružnosti předpínací výztuže $E_p = 195 \text{ GPa}$, $f_{pk} = 1860 \text{ MPa}$, $f_{p0,1k} = 1640 \text{ MPa}$, $f_{ck} = 30 \text{ MPa}$, $f_{ctm} = 2,9 \text{ MPa}$, Youngův modul pružnosti betonu $E_c = 32 \text{ GPa}$, $\sigma_{p0} = 1400 \text{ MPa}$, [6]. Napínání bude prováděno z jedné strany.

Ztráta pokluzem

Pokluz je dle dodavatele $w = 3 \text{ mm}$, [6].

$$\Delta\sigma_{pw} = \frac{\Delta l}{l} \cdot E = \frac{3}{22500} \cdot 195\,000 = 26 \text{ MPa}$$

Ztráta třením

Dle dodavatele je součinitel tření $\mu = 0,2$ a součinitel $k = 0,0008$.

$$\Delta\sigma_{p\mu} = \sigma_{p0} \cdot e^{-\mu \cdot k \cdot l} = 1400 \cdot e^{-0,2 \cdot 0,0008 \cdot 22500} = 38,2532 \text{ MPa}$$

Ztráta krátkodobou relaxací

Ztrátu uvažujeme v čase $t = 72$ hodin, tedy 3 dny po vnesení předpětí. Dodavatel určuje součinitel $\zeta_{1000} = 2,5$. Před napnutím a zakotvením výztuže provedeme tzv. podržení na 5 min, spočteme ztrátu a poměr tahového napětí s napětím ve výztuži μ_{cor} :

$$\mu_{cor} = \frac{\sigma_{p1}}{f_{pk}} = \frac{1400}{1860} = 0,752$$

$$\begin{aligned} \Delta\sigma_{p,cor} &= 0,66 \cdot \zeta_{1000} \cdot e^{9,1 \cdot \mu_{cor}} \cdot \left(\frac{t}{1000}\right)^{0,75 \cdot (1 - \mu_{cor})} \cdot \sigma_{p0} = \\ &= 0,66 \cdot 2,5 \cdot e^{9,1 \cdot 0,752} \cdot \left(\frac{0,0833}{1000}\right)^{0,75 \cdot (1 - 0,752)} \cdot 1400 \cdot 10^{-5} = 3,77 \text{ MPa} \end{aligned}$$

O tuto hodnotu budeme snižovat ztráty relaxací, jelikož byla „podržením“ již vyčerpána.

Relaxace probíhá již po proběhnutých ztrátách třením a pokluzem. Nové počáteční napětí v předpínací výztuži před začátkem relaxace a nový poměr tahového napětí ve výztuži s tahovou pevností μ_{ST} :

$$\sigma_{p1} = \sigma_{p0} - \Delta\sigma_{pw} - \Delta\sigma_{p\mu} = 1400 - 26 - 38,2532 = 1335,7468 \text{ MPa}$$

Spočteme nový poměr pro napětí po započítání ztrát.

$$\mu_{ST} = \frac{\sigma_{p1}}{f_{pk}} = \frac{1335,7468}{1860} = 0,7181$$

$$\begin{aligned} \Delta\sigma_{p,rel,0} &= 0,66 \cdot \zeta_{1000} \cdot e^{9,1 \cdot \mu_{ST}} \cdot \left(\frac{t_e}{1000}\right)^{0,75 \cdot (1 - \mu_{ST})} \cdot \sigma_{p1} \cdot 10^{-5} = \\ &= 0,66 \cdot 2,5 \cdot e^{9,1 \cdot 0,7181} \cdot \left(\frac{72}{1000}\right)^{0,75 \cdot (1 - 0,7181)} \cdot 1335 \cdot 10^{-5} = 8,6969 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Část relaxace již proběhla a znovu se neprojeví, musíme ji znovu započítat:

$$\Delta\sigma_{p,rel,1} = \Delta\sigma_{p,rel,0} - \Delta\sigma_{p,cor} = 8,6969 - 3,77 = 4,926 \text{ MPa}$$

Celkem krátkodobé ztráty:

$$\Delta\sigma_{p,ST} = \Delta\sigma_{pw} + \Delta\sigma_{p\mu} + \Delta\sigma_{p,rel,1} = 26 + 38,2532 + 4,926 = 69,1792 \text{ MPa}$$

Ztráta dlouhodobou relaxací:

Výpočet je stejný jako pro krátkodobou relaxaci, akorát uvažujeme čas $t = 500\,000$ hod. Spočteme napětí ve výztuži po započtení krátkodobých ztrát, součinitel μ_{LT} a celkovou ztrátu, opět musíme odečíst již proběhlé relaxace:

$$\sigma_{p2} = \sigma_{p0} - \Delta\sigma_{p,ST} = 1400 - 69,1792 = 1330,82 \text{ MPa}$$

$$\mu_{cor} = \frac{\sigma_{p1}}{f_{pk}} = \frac{1330,82}{1860} = 0,715$$

$$\begin{aligned} \Delta\sigma_{p,rel,2} &= 0,66 \cdot \zeta_{1000} \cdot e^{9,1 \cdot \mu_{ST}} \cdot \left(\frac{t}{1000}\right)^{0,75 \cdot (1 - \mu_{ST})} \cdot 10^{-5} \cdot \sigma_{p2} = \\ &= 0,66 \cdot 2,5 \cdot e^{9,1 \cdot 0,715} \cdot \left(\frac{500000}{1000}\right)^{0,75 \cdot (1 - 0,715)} \cdot 1320,4568 \cdot 10^{-5} = 55,49 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\Delta\sigma_{p,rel,3} = \Delta\sigma_{p,rel,2} - \Delta\sigma_{p,rel,1} = 55,49 - 3,77 - 4,926 = 46,798 \text{ MPa}$$

Ztráta smršťováním a dotvarováním

Výstupy z CaS.

Dotvarování a smršťování betonového prvku - model B3 ✖

Geometrie, složení betonu, vlhkost a ošetřování
|
Zatížení, časové údaje
|
Součinitele, modul pružnosti E, funkce dotvarování

Geometrie průřezu

průřezová plocha [mm²]

obvod průřezu [mm]

Tvar průřezu

- nekonečná deska
- nekonečný váleček
- nekonečný čtyřhranný hranol
- koule
- krychle

Složení bet. směsi, pevnost betonu

obsah cementu c [kg/m³]

obsah vody w [kg/m³]

obsah kameniva a [kg/m³]

válcová pevnost po 28 dnech f_c [MPa]

Druh cementu

- cement typu I
- cement typu II
- cement typu III

Vlhkost a ošetřování

průměrná relativní vlhkost [%]

Ošetřování betonu

- ošetřování parou
- normální ošetřování na vzduchu, počáteční ochrana proti vysušení
- beton ve vodě nebo v prostředí se 100 % relativní vlhkostí

součinitel tvaru k_s 1.00

součinitel typu cementu α₁ 1.00

součinitel typu ošetřování α₂ 1.20

Dotvarování a smršťování betonového prvku - model B3

Geometrie, složení betonu, vlhkost a ošetřování | Zatížení, časové údaje | Součinitele, modul pružnosti E, funkce dotvarování

Časové údaje

doba ošetřování betonu t_0 [dny]

stáří při vnesení zatížení t' [dny]

výpočet parametrů smršťování a dotvarování v čase t [dny]
 výpočet průběhů parametrů smršťování a dotvarování v intervalu $\langle 0 ; t \rangle$

stáří betonu t [dny]

Napětí

napětí od zatížení [MPa]

Dotvarování a smršťování betonového prvku - model B3

Geometrie, složení betonu, vlhkost a ošetřování | Zatížení, časové údaje | Součinitele, modul pružnosti E, funkce dotvarování

Součinitele

konstanta k_f [dny / cm²]

součinitel vlhkosti k_h

součinitel vlivu času $S(t)$

součinitel vlivu velikost τ_{sh}

účinná tloušťka průřezu [mm]

Modul pružnosti E

po 28 dnech [MPa] - vzorec ACI

v čase $t = 36525$ dnů [MPa]

v čase $t_0 + \tau_{sh} = 28 + 17805$ dnů

Funkce (dotvarování)

funkce q_1

funkce q_2

funkce q_3

funkce q_4

funkce q_5

funkce $Q(t, t')$

funkce $H(t)$

funkce $H(t')$

Výstupní hodnoty

Smršťování

konečné smrštění [10E-6]	-723,077440E
časová závislost konečného smrštění [10E-6]	-720,391894E
smrštění v čase t = 36525, t₀ = 28 [10E-6]	562,277349

Dotvarování

základní funkce dotvarování C ₀ t = 36525, t' = 28 [10E-6 / MPa]	79,14818020E
funkce dotvarování vysycháním C _d t = 36525, t' = 28 [10E-6 / MPa]	52,34087355E
funkce dotvarování J t = 36525, t' = 28 [10E-6 / MPa]	154,629001
součinitel dotvarování f_i t = 36525, t' = 28	2,88651162

Přetvoření

přetvoření od zatížení t = 36525, t' = 28 [10E-6]	1159,71750
celkové přetvoření t = 36525, t' = 28 [10E-6]	1721,99485

Zpět na zadání vstupních hodnot Tisk výsledků Konec

Ztráta smršťováním:

$$\Delta\sigma_{ps} = E \cdot \varepsilon_{cs} = 195000 \cdot 0,000562 = 109,59 \text{ MPa}$$

Ztráta dotvarováním:

Uvažujeme nejvyšší možné napětí po průřezu, tedy 1725,53 kPa.

$$\Delta\sigma_{pd} = \frac{E_p}{E_c} \cdot \sigma_{fd} \cdot \varphi_{(t,\tau)} = \frac{195\,000}{32\,000} \cdot 1,73 \cdot 2,88 = 30,36 \text{ MPa}$$

Celkem dlouhodobé ztráty:

$$\Delta\sigma_{p,LT} = \Delta\sigma_{pd} + \Delta\sigma_{ps} + \Delta\sigma_{p,rel,3} = 30,36 + 109,59 + 46,798 = 186,748 \text{ MPa}$$

Napětí ve výztuži na konci životnosti tedy bude

$$\Delta\sigma_{fin} = \sigma_{p0} - \Delta\sigma_{p,ST} - \Delta\sigma_{p,LT} = 1400 - 69,18 - 186,748 = 1144,07 \text{ MPa}$$

$$\frac{\Delta\sigma_{fin}}{\sigma_{p0}} = \frac{1144,07}{1400} \cdot 100\% = 81,72\%$$

Ztrátami bude ztraceno přibližně 19 % předpínací síly. Tato ztráta je relativně malá, nejsou tedy potřeba žádné další speciální úpravy konstrukce k jejich snížení.

Celková síla vnesená jedním kabelem je tedy

$$N = \sigma \cdot A = 1144,07 \cdot 36 \cdot 150 = 4\,118\,652 \text{ N} = 4\,118,65 \text{ kN}$$

Celkové napětí vnesené na jeden metr běžný:

$$\sigma = \frac{N}{A} = \frac{4118652}{800 \cdot 1000} = 5,148315 \text{ MPa}$$