

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ

ÚSTAV BETONOVÝCH A ZDĚNÝCH KONSTRUKCÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

INSTITUTE OF CONCRETE AND MASONRY STRUCTURES

B - STATICKÝ VÝPOČET

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

BC. ZOLTÁN LACZKO

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

DOC. ING. LADISLAV KLUSÁČEK CSC.

BRNO 2012

1 **Obsah**

1	Obsah.....	1
2	Materiály.....	4
2.1	Beton.....	4
2.2	Předpínací výztuž	4
2.3	Betonářská výztuž	5
3	Krytí betonářské výztuže.....	6
4	Zatížení	7
4.1	Zatížení stálé	7
4.1.1	Vlastní tíha nosné konstrukce	7
4.1.2	Ostatní stálé zatížení	7
4.2	Zatížení proměnné	8
4.2.1	Model zatížení 1 (LM1).....	8
4.2.2	Model zatížení 3 (LM3).....	10
4.2.3	Model zatížení 4 (zatížení davem lidí, LM4)	14
4.2.4	Zatížení chodník.....	15
4.2.5	Staveništní zatížení	15
4.3	Kombinace zatížení.....	15
4.3.1	Mezní stav únosnosti (MSÚ).....	15
4.3.2	Mezní stav použitelnosti (MSP)	16
4.3.3	Kombinace mezního stavu únosnosti	18
4.3.4	Kombinace mezního stavu použitelnosti	22
5	Návrh předpětí	26
5.1	Podrobné stanovení účinků předpětí	26
5.2	Předběžný návrh předpínací výztuže	26
5.3	Příčné síly od předpětí	29
6	Posouzení konstrukce – Mezní stavy použitelnosti	33

6.1	Teorie	33
6.2	Mezní stav omezení napětí	33
6.2.1	Napětí v betonu – provozní stav	33
6.2.2	Napětí v betonu – čas vnesení předpětí.....	33
6.3	Výpočet a posouzení normálových napětí v jednotlivých etapách	35
6.3.1	Výpočet normálových napětí v betonu – čas vnesení předpětí, stálé zatížení:.....	35
6.3.2	Posouzení normálových napětí v betonu - čas vnesení předpětí, charakteristická kombinace zatížení M_{max}	35
6.3.3	Posouzení normálových napětí v betonu - čas vnesení předpětí, charakteristická kombinace zatížení M_{min}	36
6.3.4	Posouzení normálových napětí v betonu - čas vnesení předpětí, kvazistálá kombinace zatížení M_{max}	37
6.3.5	Posouzení normálových napětí v betonu - čas vnesení předpětí, kvazistálá kombinace zatížení M_{min}	38
6.3.6	Výpočet normálových napětí v betonu - čas uvedení do provozu, stálé zatížení.....	38
6.3.7	Posouzení normálových napětí v betonu - čas uvedení do provozu, kvazistálá kombinace zatížení M_{max}	39
6.3.8	Posouzení normálových napětí v betonu - čas uvedení do provozu, kvazistálá kombinace zatížení M_{min}	40
6.3.9	Posouzení normálových napětí v betonu - čas uvedení do provozu, charakteristická kombinace zatížení M_{max}	41
6.3.10	Posouzení normálových napětí v betonu - čas uvedení do provozu, charakteristická kombinace zatížení M_{min}	41
6.3.11	Výpočet normálových napětí v betonu - čas na konci životnosti, stálé zatížení.....	42
6.3.12	Posouzení normálových napětí v betonu - čas na konci životnosti, kvazistálá zatížení M_{max}	43
6.3.13	Výpočet normálových napětí v betonu - čas na konci životnosti, kvazistálá zatížení M_{min}	44
6.3.14	Výpočet normálových napětí v betonu - čas na konci životnosti, charakteristická kombinace zatížení M_{max}	44
6.3.15	Výpočet normálových napětí v betonu - čas na konci životnosti, charakteristická kombinace zatížení M_{min}	45

6.4	Mezní stav omezení trhlin.....	48
6.4.1	Posouzení dekomprese – čas v době uvedení do provozu, častá kombinace zatížení, M_{max}	48
6.4.2	Posouzení dekomprese – čas v době uvedení do provozu, častá kombinace zatížení, M_{min}	48
6.4.3	Posouzení dekomprese – čas na konci životnosti, častá kombinace zatížení, M_{max}	49
6.4.4	Posouzení dekomprese – čas na konci životnosti, častá kombinace zatížení, M_{min}	50
7	Mezní stav únosnosti	52
8	Návrh betonářské výztuže	64
8.1	Návrh a posouzení v jednotlivých řezech.....	64
8.1.1	Návrh dolní výztuže v $\frac{1}{2}$ rozpětí II.pole (podélná)	64
8.1.2	Návrh horní výztuže nad pilířem (podélná)	65
8.1.3	Návrh dolní výztuže v $\frac{1}{2}$ rozpětí I.pole (podélná)	66
8.1.4	Návrh dolní výztuže v $\frac{1}{2}$ rozpětí II.pole (příčná)	68
8.1.5	Návrh dolní výztuže nad pilířem (příčná)	69
8.1.6	Návrh horní výztuže v $\frac{1}{2}$ rozpětí I.pole (příčná)	70
9	Spodní stavba	72
9.1	Posouzení vrubového kloubu – pilíř II.....	73
9.2	Posouzení průvlaku mezi pilíři.....	74
10	Smyková únosnost desky	78
11	Posouzení kotev a kotevní oblasti	81
12	Předběžný návrh varianty 2 – železobetonová nosná konstrukce	83
12.1	Předběžný návrh betonářské výztuže	83
12.1.1	Návrh dolní výztuže v $\frac{1}{2}$ rozpětí II.pole (podélná)	83
12.1.2	Návrh dolní výztuže nad pilířem (podélná)	84
12.1.3	Návrh horní výztuže v $\frac{1}{2}$ rozpětí I.pole (podélná)	85
13	Řecké písmena	86

2 Materiály

2.1 Beton

Nosná konstrukce je navržena z betonu C30/37 – XF2 + XD1 + XC4. Vlastnosti betonu této třídy jsou následující:

- charakteristická válcová pevnost v tlaku ve stáří 28 dní: $f_{ck} = 38,0 \text{ MPa}$
- průměrná hodnota válcové pevnosti betonu v tlaku : $f_{cm} = 38,0 \text{ MPa}$
- dílčí součinitel betonu pro mezní stavy únosnosti kromě únavy: $\gamma_c = 1,5$
- návrhová pevnost betonu v tlaku $f_{cd} = \alpha_{cc} \times f_{ck} / \gamma_c$

kde α_{cc} je součinitel, kterým zohledňují dlouhodobé účinky na pevnosti v tlaku a nepříznivé účinky vyplývající ze způsobu zatěžování, $\alpha_{cc} = 0,85$, po dosazení $f_{cd} = 0,85 \times 30 / 1,5 = 17 \text{ MPa}$

- dolní hodnota charakteristické pevnosti betonu v tahu: $f_{ctk,0,05} = 2,0 \text{ MPa}$
- horní hodnota charakteristické pevnosti betonu v tahu: $f_{ctk,0,95} = 3,8 \text{ MPa}$
- průměrná hodnota charakteristické pevnosti betonu v tahu: $f_{ctm} = 2,9 \text{ MPa}$
- sečnový modul pružnosti betonu: $E_{cm} = 33 \text{ GPa}$
- tečnový modul pružnosti obyčejného betonu při napětí $\sigma_c = 0$ a ve stáří 28 dní $E_c = 1,05 \times E_{cm} = 1,05 \times 33,0 = 34,650 \text{ GPa}$
- mezní poměrné stlačení betonu $\varepsilon_{cu3} = 3,5\%$ (použije se obdélníkové rozdělení normálového napětí v tlačném betonu na mezi únosnosti)

2.2 Předpínací výztuž

Předpínací výztuž tvoří monostrandy typu 1770-S7-16,0-A o následujících vlastnostech:

- plocha jednoho lana $A_{p1} = 150 \text{ mm}^2$
- charakteristická pevnost předpínací oceli v tahu $f_{pk} = 1770 \text{ MPa}$
- charakteristická smluvní mez kluzu 0,1% předpínací oceli $f_{p0,1,k} = 0,88 \times f_{pk} = 0,88 \times 1770 = 1557,6 \text{ MPa}$
- návrhová mez kluzu 0,1% předpínací oceli $f_{pd} = f_{p0,1,k} / \gamma_s = 1557,6 / 1,15 = 1354,435 \text{ MPa}$

- návrhová hodnota modulu pružnosti $E_p = 195,0 \text{ GPa}$

2.3 Betonářská výztuž

Použije se betonářská výztuž **B500B** (bývalá ocel 10 505.9) s charakteristickou mezí kluzu $f_{yk} = 500,0 \text{ MPa}$

- dílčí součinitel betonářské výztuže $\gamma_s = 1,15$
- návrhová mez kluzu betonářské výztuže $f_{yd} = f_{yk}/\gamma_s = 500/1,15 = 434,78 \text{ MPa}$
- návrhová hodnota modulu pružnosti $E_s = 200,0 \text{ GPa}$

V označení B500B použité oceli znamená

B = betonářská výztuž

500 = charakteristická mez kluzu

B = třída tažnosti

3 Krytí betonářské výztuže

4 Zatížení

4.1 Zatížení stálé

4.1.1 Vlastní tíha nosné konstrukce

Nosná konstrukce je navržena jako desková s konstantní tloušťkou **450mm** a šířkou **10,6m**. Hodnotu vlastní tíhy konstrukce vyčíslí používání software (Scia Engineer).

4.1.2 Ostatní stálé zatížení

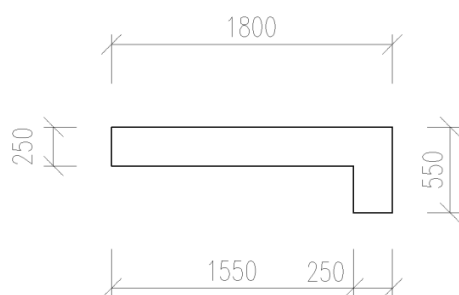
Vozovka:

	tl.(mm)	$\gamma(\text{kN/m}^3)$	$g_k(\text{kN/m}^2)$
ABH	0,05	25	1,25
ABS	0,04	25	1
Ochranná izolace	0,02	25	0,5
Izolační souvrství	0,01	25	0,25
Spolu			3,00 kN/m²

Svodidlo 2,0kN/m

Zábradlí 1,0kN/m

Železobetonová římsa:



$$g_{k, \text{římsa}} = A \times \gamma_c = 0,525 \times 25 = \mathbf{13,125 \text{ kN/m}}$$

Pro prutový model se tyto zatížení sčítají do jednoho spojitého zatížení:

Stálé zatížení			
	tíha(kN/m/m ²)	šířka, kusů	tíha spolu(kN/m)
Římsa	13,125	2	26,25
Svodidlo	2	2	4
Zábradlí	1	2	2
Vozovka	3	7,5	22,5
Spolu			54,75 kN/m

4.2 Zatížení proměnné

4.2.1 Model zatížení 1 (LM1)

Soustředěná a rovnoměrná zatížení, která zahrnují většinu účinků dopravy osobními a nákladními vozidly.

Model zatížení LM1 se skládá ze dvou dílčích soustav:

- soustředěné zatížení od dvounápravy (TS), každá náprava o tíze $\alpha_q \times Q_k$ (každé kolo nápravy vyvozuje zatížení $0,5 \times \alpha_q \times Q_k$)
- rovnoměrné zatížení (UDL) o velikosti $\alpha_q \times q_k$ (pouze v nepříznivých částech příčinových ploch)

Q_k - jsou charakteristické hodnoty nápravových sil

α_q - regulační součinitele

q_k - jsou charakteristické hodnoty rovnoměrného zatížení

Umístění	Dvounáprava (TS) Nápravové síly Q_{ik}	Rovnoměrné zat. (UDL) q_{ik}
Pruh 1	300	9
Pruh 2	200	2,5
Ostatní pruhy	0	2,5

LM1 - charakteristické hodnoty včetně dynamických účinků

Skupina pozemních komunikací	α_{Q1}	α_{Q2}	α_{q1}	α_{q2}
1	0,8	0,8	0,8	1
2	0,8	0,5	0,5	1

Hodnoty regulačních součinitelů pro ČR

Hodnoty do skořepinového modelu:

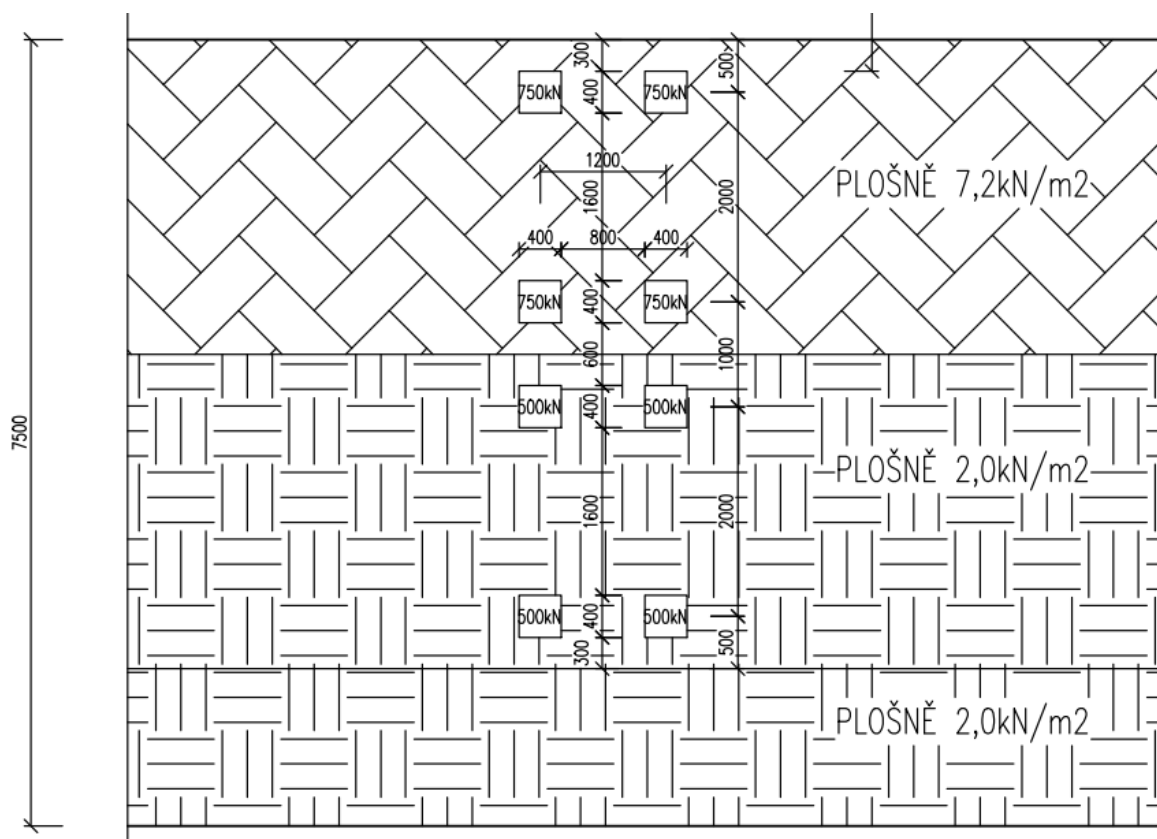


Schéma LMI do skořepinového modelu

Hodnoty TS v modelu:

$$1. \text{ pruh} = 0,5 \times \alpha_q \times \frac{Q_k}{A} = 0,5 \times 0,8 \times \frac{300}{0,4 \times 0,4} = \mathbf{750kN}$$

$$2. \text{ pruh} = 0,5 \times \alpha_q \times \frac{Q_k}{A} = 0,5 \times 0,8 \times \frac{200}{0,4 \times 0,4} = \mathbf{500kN}$$

Hodnoty UDL v modelu:

$$1. \text{ pruh} = \alpha_q \times q_k = 0,8 \times 9 = \mathbf{7,2kN/m^2}$$

$$2. \text{ pruh} = \alpha_q \times q_k = 0,8 \times 2,5 = \mathbf{2,0kN/m^2}$$

$$\text{zbývající část} = \alpha_q \times q_k = 0,8 \times 2,5 = \mathbf{2,0kN/m^2}$$

Hodnoty do prutového modelu:

Hodnoty TS v modelu:

$$\alpha_q \times Q_k = \alpha_{q1} \times Q_{k1} + \alpha_{q2} \times Q_{k2} = 0,8 \times 300 + 0,8 \times 200 = \mathbf{400,0kN}$$

Hodnoty UDL v modelu:

$$\begin{aligned} \alpha_q \times q_k &= \alpha_{q1} \times w_1 \times q_{k1} + \alpha_{q2} \times w_2 \times q_{k2} + \alpha_{qr} \times w_r \times q_{kr} \\ &= 0,8 \times 3,0 \times 9,0 + 1,0 \times 3,0 \times 2,5 + 1,0 \times 1,5 \times 2,5 = \mathbf{32,85kN/m} \end{aligned}$$

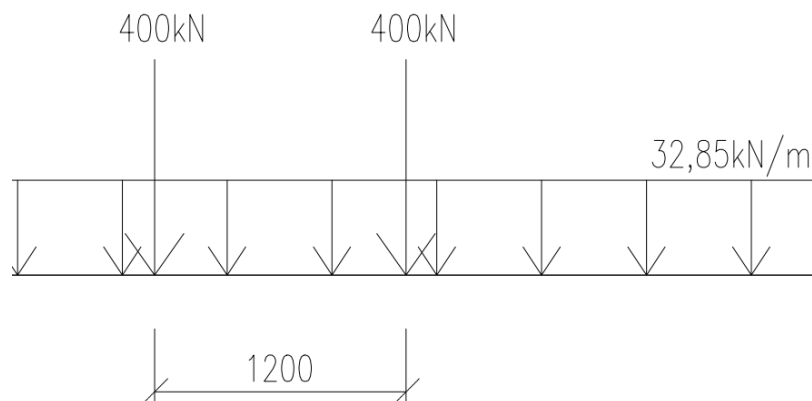


Schéma LM1 do prutového modelu

4.2.2 Model zatížení 3 (LM3)

Soubor nápravových sil představující zvláštní vozidla na trasách, kde je povoleno výjimečné zatížení

Základní modely zvláštních vozidel odpovídají různým úrovním výjimečného zatížení schválených k provozu na trasách evropské silniční sítě.

Třídy zvláštních vozidel pro ČR

Označení	Celková tíha vozidla	Šířka vozidla	Skladba náprav
900/150	900 kN	3 m	6 náprav po 150 kN
1800/200	1800 kN	3 m	9 náprav po 200 kN
3000/240	3000 kN	4,5 m	12 náprav po 240 kN + 1 náprava 120 kN

Modely se pohybují buď nízkou rychlostí (max. 5 km/hod; model 900/150) nebo normální rychlostí (70 km/hod; model 1800/200 a 3000/240)

Zatěžovací pruhy se mají umístit na vozovce v nejméně příznivé poloze (bez nouzových pruhů, krajnic a vodících proužků)

4.2.2.1 Model zatížení 3 - 900/150

Hodnoty do skořepinového modelu:

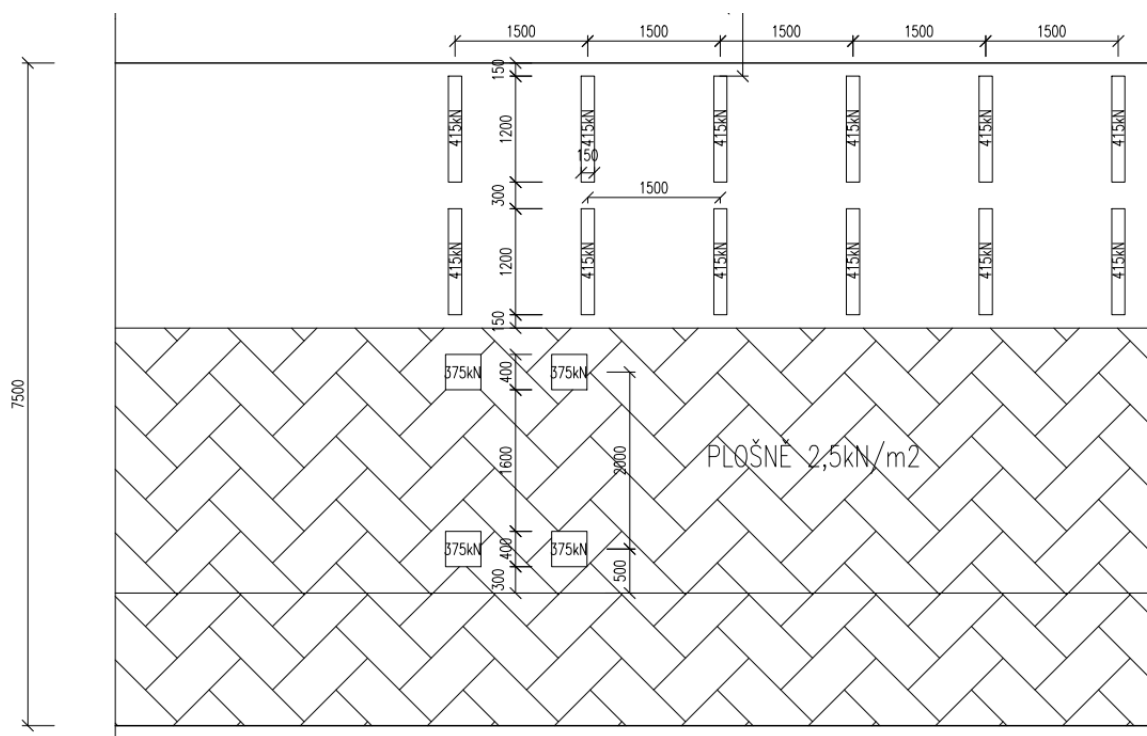


Schéma LM3 - 900/150 do skořepinového modelu

Nápravná síla v modelu:

$$LM3 - 900 = 0,5 \times \frac{Q_k}{A} = 0,5 \times \frac{150}{0,15 \times 1,2} = 415 \text{ kN/m}$$

$$\text{dvojnáprava} = 0,5 \times \alpha_q \times \frac{Q_k}{A} = 0,5 \times 0,8 \times \frac{200}{0,4 \times 0,4} = 500 \text{ kN}$$

Hodnoty UDL v modelu:

$$2. \text{pruh} = \alpha_q \times q_k = 1,0 \times 2,5 = 2,0 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{zbývající část} = \alpha_q \times q_k = 1,0 \times 2,5 = 2,0 \text{ kN/m}^2$$

Hodnoty do prutového modelu:

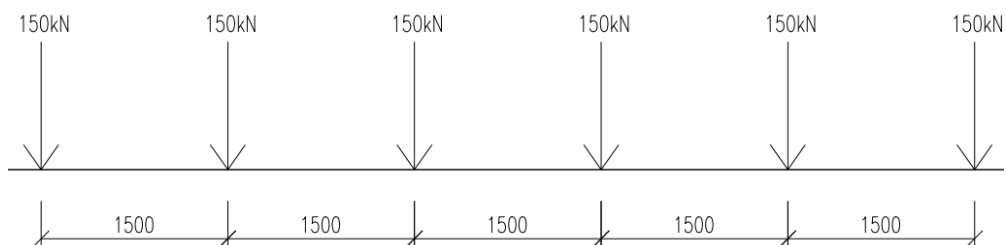


Schéma LM3 – do prutového modelu

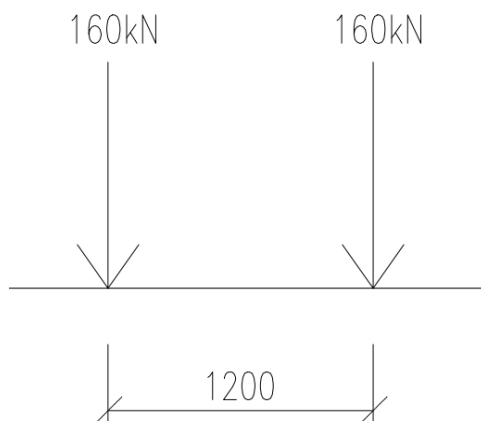


Schéma LMI dvojnáprava – do prutového modelu

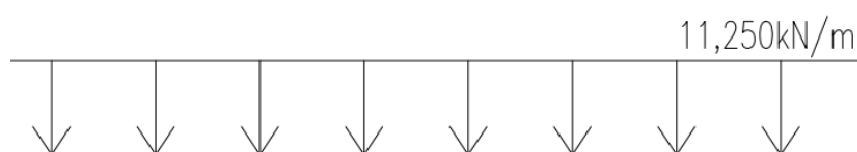


Schéma LMI UDL – do prutového modelu

Hodnoty TS v modelu:

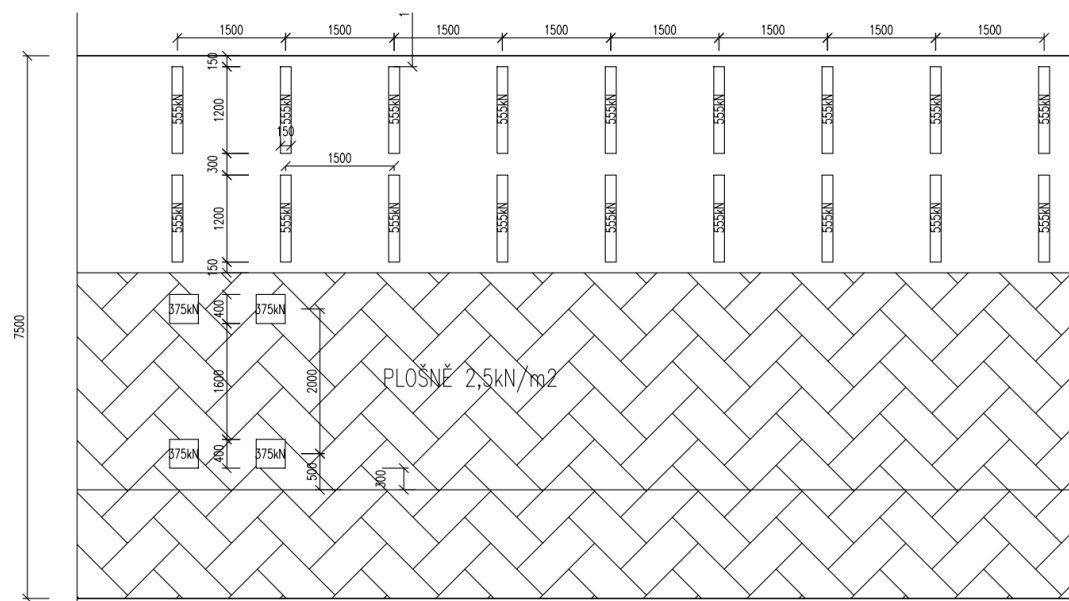
$$\alpha_q \times Q_k = \alpha_{q2} \times Q_{k2} = 0,8 \times 200 = \mathbf{160,0 kN}$$

Hodnoty UDL v modelu:

$$\alpha_q \times q_k = \alpha_{q2} \times w_2 \times q_{k2} + \alpha_{qr} \times w_r \times q_{kr} = 1,0 \times 3,0 \times 2,5 + 1,0 \times 1,5 \times 2,5 = \mathbf{11,250 kN/m}$$

4.2.2.2 Model zatížení 3 – 1800/200

Hodnoty do skořepinového modelu:



Nápravová síla v modelu:

$$LM3 - 1800 = 0,5 \times \frac{Q_k}{A} = 0,5 \times \frac{200}{0,15 \times 1,2} = \mathbf{555kN}$$

$$dvounáprava = 0,5 \times \alpha_q \times \frac{Q_k}{A} = 0,5 \times 0,8 \times \frac{200}{0,4 \times 0,4} = \mathbf{500kN}$$

Hodnoty UDL v modelu:

$$2. \text{ pruh} = \alpha_q \times q_k = 1,0 \times 2,5 = \mathbf{2,5kN/m^2}$$

$$zbývající část = \alpha_q \times q_k = 1,0 \times 2,5 = \mathbf{2,5kN/m^2}$$

Hodnoty do prutového modelu:

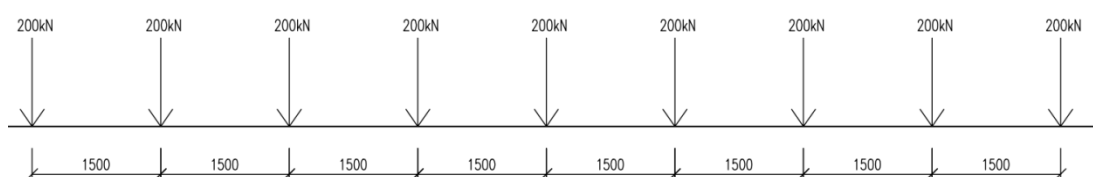


Schéma LM3 – do prutového modelu

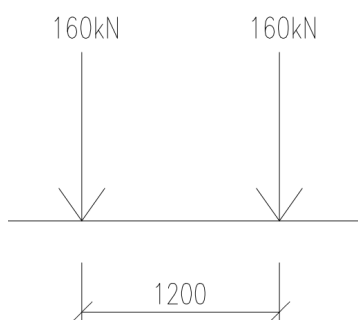


Schéma LM1dvounáprava – do prutového modelu

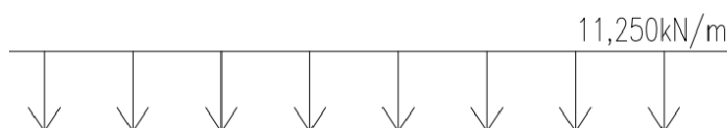


Schéma LM1UDL – do prutového modelu

Hodnoty TS v modelu:

$$\alpha_q \times Q_k = \alpha_{q2} \times Q_{k2} = 0,8 \times 200 = \mathbf{160,0kN}$$

Hodnoty UDL v modelu:

$$\alpha_q \times q_k = \alpha_{q2} \times w_2 \times q_{k2} + \alpha_{qr} \times w_r \times q_{kr} = 1,0 \times 3,0 \times 2,5 + 1,0 \times 1,5 \times 2,5 = \mathbf{11,250kN/m}$$

4.2.2.3 Model zatížení 3 – 3000/240

Hodnoty do skořepinového modelu:

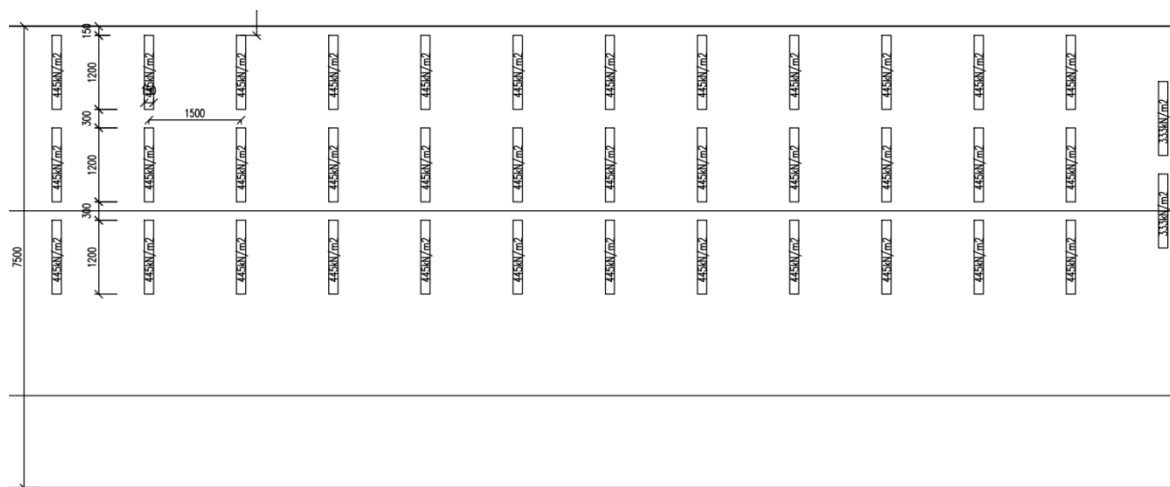


Schéma LM3 – do skořepinového modelu

$$LM3 - 3000 \text{ náprava } 240 = 1/3 \times \frac{Q_k}{A} = 1/3 \times \frac{240}{0,15 \times 1,2} = 444 \text{ kN/m}$$

$$LM3 - 3000 \text{ náprava } 120 = 1/2 \times \frac{Q_k}{A} = 1/3 \times \frac{120}{0,15 \times 1,2} = 333 \text{ kN/m}$$

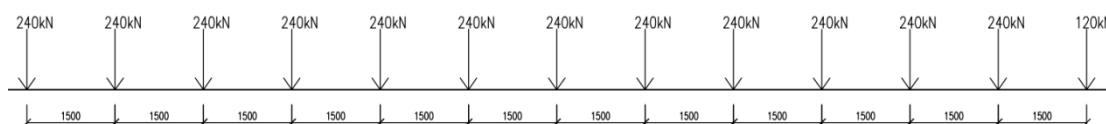


Schéma LM3 – do prutového modelu

4.2.3 Model zatížení 4 (zatížení davem lidí, LM4)

Zatížení davem lidí (u mostů ve městech v případech, kdy jeho účinek není zřejmě pokryt modelem LM1)

Zatížení davem lidí se uvažuje rovné 5 kN/m² (včetně dynamického součinitele).

Použití modelu lze definovat pro konkrétní projekt.

Model se má použít v příslušných částech délky i šířky nosné konstrukce (případně i ve středním dělicím pásu).

Je určen pro celková ověření, má se použít výhradně v dočasných návrhových situacích.

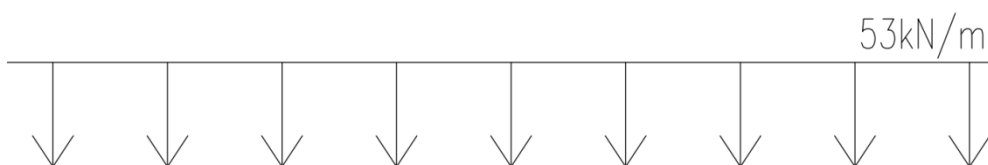


Schéma LM4 – do prutového modelu

Hodnoty do prutového modelu:

$$q \times zš = 5,0 \times 10,6 = 53 \text{ kN/m}$$

4.2.4 Zatížení chodník

Na chodnících se uvažuje spojitě rovnoměrné zatížení $q = 5 \text{ kN/m}^2$

4.2.5 Staveništní zatížení

Během provádění se uvažuje spojitě rovnoměrné zatížení $q = 1 \text{ kN/m}^2$ nosné konstrukce, která zahrnuje účinky tíhy osob a ručního nářadí.

Šířka nosné konstrukce je 10,6m, v prutovém modelu pak na délkový metr nosné konstrukce působí zatížení $q = 10,6 \times 1 = 10,6 \text{ kN/m}$.

4.3 Kombinace zatížení

4.3.1 Mezní stav únosnosti (MSÚ)

Pro výpočet zatížení v mezním stavu únosnosti se používají následující rovnice:

Rovnice 1

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \times G_{k,j} + \gamma_P \times P + \gamma_{Q,1} \times Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \times \psi_{0,i} \times Q_{k,i}$$

Rovnice 2

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \times G_{k,j} + \gamma_P \times P + \gamma_{Q,1} \times \psi_{0,1} \times Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \times \psi_{0,i} \times Q_{k,i}$$

Rovnice 3

$$\sum_{j \geq 1} \zeta_j \times \gamma_{G,j} \times G_{k,j} + \gamma_P \times P + \gamma_{Q,1} \times Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \times \psi_{0,i} \times Q_{k,i}$$

kde:

$\gamma_{G,j}$ - je dílčí součinitel j-tého sálého zatížení

- $G_{k,j}$ - je charakteristická hodnota j-tého stálého zatížení
- γ_P - je dílčí součinitel zatížení od předpětí
- P - je příslušná reprezentativní hodnota zatížení od předpětí
- $\gamma_{Q,1}$ - je dílčí součinitel hlavního proměnného zatížení
- $Q_{k,1}$ - je charakteristická hodnota hlavního proměnného zatížení
- $\gamma_{Q,i}$ - je dílčí součinitel vedlejšího i-tého proměnného zatížení
- $Q_{k,i}$ - je charakteristická hodnota i-tého proměnného zatížení
- Ψ_0 - je součinitel pro kombinační hodnotu proměnného zatížení
- Ψ_1 - je součinitel pro častou hodnotu proměnného zatížení
- Ψ_2 - je součinitel pro kvazistálou hodnotu proměnného zatížení
- ζ - je redukční součinitel pro nepříznivá stálá zatížení G

4.3.2 Mezní stav použitelnosti (MSP)

Při ověření konstrukce v mezních stavech použitelnosti se musí ověřit podmínka:

$E_d \leq C_d$, kde:

E_d - je návrhová hodnota účinků zatížení stanovená v kritériu použitelnosti a určená na základě příslušné kombinace

C_d - je návrhová hodnota příslušného kritéria použitelnosti

Pro výpočet zatížení v mezním stavu použitelnosti se používají následující rovnice:

Charakteristická kombinace zatížení (obvykle se používá pro nevratné mezní stavy)

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \Psi_{0,i} Q_{k,i}$$

Častá kombinace zatížení (obvykle se používá pro vratné mezní stavy)

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} \Psi_{1,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \Psi_{2,i} Q_{k,i}$$

Kvazistálá kombinace zatížení (obvykle se používá pro dlouhodobé účinky a vzhled konstrukce)

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \Psi_{2,i} Q_{k,i}$$

Občasná kombinace zatížení (je definována pouze pro mosty pozemních komunikací)

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} \cdot \psi_{1,inf q} \times Q_{k,1} + \sum_{i \geq 1} \psi_{1,i} \times Q_{k,i}$$

Zatížení	Značka		ψ_0	ψ_1	ψ_2	$\psi_{1,inf q}$
Zatížení dopravou	gr1a (LM1 + zatížení chodci nebo cyklisty)	TS (dvounápravy)	0,75	0,75	0,00	0,80
		UDL (rovnomměrné zat.)	0,40	0,40	0,00	0,80
		zatížení chodci nebo cyklisty	0,40	0,40	0,00	0,80
	gr1b (jednotlivá náprava)		0,00	0,75	0,00	0,80
	gr2 (vodorovné síly)		0,00	0,00	0,00	1,00
	gr3 (zatížení chodci)		0,00	0,00	0,00	0,80
	gr4 (LM4 - zatížení davem lidí)		0,00	0,75	0,00	0,80
	gr5 (LM3 - zvláštní vozidla)		0,00	0,00	0,00	1,00
Staveništní zatížení	Qc		1,00	-	1,00	1,00

Hodnoty součinitelů ψ pro mosty pozemních komunikací

Výpočet vnitřních sil

Pro výpočet vnitřních sil se použil software (Scia Engineer), kombinace byly zadány ručně dle rovnic 1,2,3 v MSÚ a dle charakteristické, časté, kvazistálé a občasně kombinace v MSP. Součinitele kombinací byly rovněž zadány přímo do výpočetního programu dle normy pro zatěžování.

Byly použity dva modely, jeden prutový model a jeden skořepinový (prostorový) pro porovnání výsledků (viz tabulky níže). Jak je vidět, odlišnosti výsledků těchto dvou modelů jsou relativně malé. Tyto rozdíly jsou způsobeny:

- ve skořepinovém modelu se zatížení zadávalo prostorově dle skutečné polohy na mostě, zatím co na prutovém modelu byla hodnota těchto zatížení přenásobeno šířkou na které účinkují.
- jiné podepření dvou konstrukcí taky způsobilo rozdíly ve výsledcích. Důvodem jiného podepření je, že v prutovém modelu podpora působí jako kloubové podepření kvůli vrubovému kloubu a elastomerovému ložisku. Ve skořepinovém modelu je vymodelován průvlak mezi dvěma pilíři, ale kvůli vrubovému kloubu a elastomerových ložisek tuhost této konstrukce je odlišná od skutečnosti.

V posuzování konstrukci byly použity hodnoty z prutového modelu.

4.3.3 Kombinace mezního stavu únosnosti

PRUTOVÝ MODEL											
Použitá sestava zat.	Rovnice	Mpole1(kNm)		Mpilir(kNm)		Mpole2(kNm)		Vopera	Vpilir		
		max	min	max	min	max	min	kN	kN		
gr1a	1	5754,0	2298,0	-6120,0	-3765,0	4077,0	1099	2368	3270		
	2	4674,0	2316,0	-5117,0	-3690,0	3257,0	1157	1935	2688		
	3	5362,0	1905,0	-5546,0	-3191,0	3857,0	880	2215	3012		
gr4	1	3465,0	2648,0	-5069,0	-3874,0	1944,0	1486	1453	2278		
	2	2868,0	2868,0	-3874,0	-3874,0	1486,0	1486	1110	1740		
	3	3073,0	2256,0	-4495,0	-3300,0	1724,0	1265	1289	2020		
gr5 (LM3-900/150 + w * LM1)	1	5772,0	2023,0	-5561,0	-3465,0	3969,0	900	2205	3108		
	2	3227,0	2534,0	-4203,0	-3798,0	2002,0	1379	1346	2006		
	3	4880,0	1630,0	-4987,0	-2891,0	3749,0	679	2021	2850		
gr5 (LM3-1800/200 + w * LM1)	1	6065,0	1790,0	-6233,0	-3322,0	4657,0	704	2535	3609		
	2	3227,0	2534,0	-4203,0	-3798,0	2002,0	1379	1343	2006		
	3	5673,0	1398,0	-5659,0	-2748,0	4434,0	484	2352	3351		
gr5 (LM3 2400/240)	1	5310,0	1834,0	-7513,0	-3874,0	4378,0	1486	2356	3654		
	2	2868,0	2868,0	-3874,0	-3874,0	1486,0	1486	1110	1740		
	3	4918,0	1442,0	-6939,0	-3300,0	4158,0	1265	2192	3396		

Prutový model - přehled vnitřních sil - kombinace pro zatížení MSÚ (bez předpětí)

Použitá sestava zat.	Rovnice	Mpole1(kNm)		Mpilir(kNm)		Mpole2(kNm)	
		max	min	max	min	max	min
gr1a	1	570,0	235,0	-486,0	-279,0	394,0	140
	2	472,0	245,0	-414,0	-286,0	324,0	148
	3	529,0	195,0	-440,0	-233,0	368,0	115
gr4	1	357,0	272,0	-400,0	-307,0	226,0	172
	2	272,0	272,0	-307,0	-307,0	172,0	172
	3	317,0	232,0	-354,0	-261,0	200,0	146
gr5 (LM3-900/150 + ψ * LM1)	1	414,0	243,0	-387,0	-291,0	303,0	151
	2	314,0	266,0	-327,0	-301,0	206,0	167
	3	374,0	202,0	-342,0	-246,0	277,0	125
gr5 (LM3-1800/200 + ψ * LM1)	1	471,0	232,0	-424,0	-289,0	342,0	141
	2	314,0	266,0	-327,0	-301,0	206,0	167
	3	431,0	192,0	-378,0	-240,0	317,0	116
gr5 (LM3 2400/240)	1	432,0	238,0	-433,0	-295,0	324,0	149
	2	272,0	272,0	-307,0	-307,0	172,0	172
	3	392,0	198,0	-388,0	-250,0	299,0	124

Skořepinový model - přehled vnitřních sil - kombinace pro zátížení MSÚ (bez předpětí)

		Mpole1(kNm)		Mpilir(kNm)		Mpole2(kNm)	
Použitá sestava zat.	Rovnice	max	min	max	min	max	min
gr1a	1	542,8	216,8	-577,4	-355,2	384,6	103,7
	2	440,9	218,5	-482,7	-348,1	307,3	109,2
	3	505,8	179,7	-523,2	-301,0	363,9	83,0
gr4	1	326,9	249,8	-478,2	-365,5	183,4	140,2
	2	270,6	270,6	-365,5	-365,5	140,2	140,2
	3	289,9	212,8	-424,1	-311,3	162,6	119,3
gr5 (LM3-900/150 + ψ * LM1)	1	544,5	190,8	-524,6	-326,9	374,4	84,9
	2	304,4	239,1	-396,5	-358,3	188,9	130,1
	3	460,4	153,8	-470,5	-272,7	353,7	64,1
gr5 (LM3-1800/200 + ψ * LM1)	1	572,2	168,9	-588,0	-313,4	439,3	66,4
	2	304,4	239,1	-396,5	-358,3	188,9	130,1
	3	535,2	131,9	-533,9	-259,2	418,3	45,7
gr5 (LM3 2400/240)	1	500,9	173,0	-708,8	-365,5	413,0	140,2
	2	270,6	270,6	-365,5	-365,5	140,2	140,2
	3	464,0	136,0	-654,6	-311,3	392,3	119,3

Pruťový model - přehled vnitřních sil na 1,0m šířky- kombinace pro zatížení MSÚ (bez předpětí)

		Mpolet1(kNm)		Mpilir(kNm)		Mpolet2(kNm)	
Použitá sestava zat.	Rovnice	max	min	max	min	max	min
gr1a	1	27,2	18,2	91,4	76,2	9,4	36,3
	2	31,1	26,5	68,7	62,1	16,7	38,8
	3	23,2	15,3	83,2	68,0	4,1	32,0
gr4	1	30,1	22,2	78,2	58,5	42,6	31,8
	2	1,4	1,4	58,5	58,5	31,8	31,8
	3	27,1	19,2	70,1	50,3	37,4	26,7
gr5 (LM3-900/150 + ψ * LM1)	1	-130,5	52,2	137,6	35,9	-71,4	66,1
	2	9,6	26,9	69,5	57,3	17,1	36,9
	3	-86,4	48,2	128,5	26,7	-76,7	60,9
gr5 (LM3-1800/200 + ψ * LM1)	1	-101,2	63,1	164,0	24,4	-97,3	74,6
	2	9,6	26,9	69,5	57,3	17,1	36,9
	3	-104,2	60,1	155,9	19,2	-101,3	70,3
gr5 (LM3 2400/240)	1	-68,9	65,0	275,8	70,5	-89,0	8,8
	2	1,4	1,4	58,5	58,5	31,8	31,8
	3	-72,0	62,0	266,6	61,3	-93,3	4,7

Rozdíly hodnot skořepinového a prutového modelu

4.3.4 Kombinace mezního stavu použitelnosti

		M _{poel1} (kNm)		M _{plir} (kNm)		M _{poel2} (kNm)	
Použitá sestava zat.	Kombinace	max	min	max	min	max	min
gr1a	charakt.	4262,0	1702,0	4533,0	2789,0	3020,0	815
	častá	3516,0	1727,0	3866,0	2750,0	2444,0	863
	kvazist.	1961,0	1961,0	2869,0	2869,0	1100,0	1100
	občasná	3502,0	1754,0	3761,0	2805,0	2468,0	871
gr4	charakt.	2567,0	1961,0	3755,0	2869,0	1440,0	1100
	častá	2415,0	1961,0	3533,0	2869,0	1355,0	1100
	kvazist.	1961,0	1961,0	2869,0	2869,0	1100,0	1100
	občasná	2446,0	1961,0	3578,0	2869,0	1372,0	1100
gr5 (LM3-900/150 + ψ * LM1)	charakt.	3907,0	1408,0	4120,0	2566,0	2941,0	666
	častá	2390,0	1877,0	3113,0	2813,0	1482,0	1021
	kvazist.	1961,0	1961,0	2869,0	2869,0	1100,0	1100
	občasná	3788,0	1520,0	4048,0	2581,0	2837,0	687
gr5 (LM3-1800/200 + ψ * LM1)	charakt.	4494,0	1325,0	4618,0	2461,0	3448,0	521
	častá	2390,0	1877,0	3113,0	2813,0	1482,0	1021
	kvazist.	1961,0	1961,0	2869,0	2869,0	1100,0	1100
	občasná	4375,0	1348,0	4546,0	2475,0	3344,0	542
gr5 (LM3 2400/240)	charakt.	3933,0	1358,0	5565,0	2869,0	3243,0	1100
	častá	1961,0	1961,0	2869,0	2869,0	1100,0	1100
	kvazist.	1961,0	1961,0	2869,0	2869,0	1100,0	1100
	občasná	3933,0	1358,0	5565,0	2869,0	3243,0	1100
Stavební stádium	charakt.	2125,0	1920,0	3046,0	2869,0	1244,0	1025,0
	kvazist.	2125,0	1920,0	3046,0	2869,0	1244,0	1025,0

Přutový model - přehled vnitřních sil - kombinace pro zatížení MSP (bez předpětí)

Použitá sestava zat.	Kombinace	Mpole1(kNm)		Mpolir(kNm)		Mpole2(kNm)			
gr1a	charakt.	max	min	max	min	max	min		
	častá	422,0	174,0	359,0	206,0	292,0	104		
	kvazist.	350,0	181,0	307,0	201,0	240,0	110		
	občasná	202,0	202,0	227,0	227,0	127,0	127		
gr4	občasná	378,0	180,0	333,0	199,0	259,0	108		
	charakt.	264,0	202,0	296,0	227,0	167,0	127		
	častá	249,0	202,0	279,0	227,0	157,0	127		
	kvazist.	202,0	202,0	227,0	227,0	127,0	127		
gr5 (LM3-900/150 + ψ * LM1)	občasná	252,0	202,0	282,0	227,0	159,0	127		
	charakt.	397,0	165,0	327,0	196,0	389,0	99		
	častá	299,0	186,0	272,0	215,0	292,0	114		
	kvazist.	202,0	202,0	227,0	227,0	127,0	127		
gr5 (LM3-1800/200 + ψ * LM1)	občasná	370,0	169,0	315,0	201,0	273,0	102		
	charakt.	440,0	157,0	355,0	194,0	323,0	87		
	častá	299,0	186,0	272,0	208,0	203,0	114		
	kvazist.	202,0	202,0	227,0	227,0	127,0	127		
gr5 (LM3 2400/240)	občasná	413,0	161,0	342,0	199,0	303,0	91		
	charakt.	320,0	176,0	321,0	227,0	240,0	111		
	častá	202,0	202,0	227,0	227,0	127,0	127		
	kvazist.	202,0	202,0	227,0	227,0	127,0	127		
Stavební stádium	občasná	320,0	176,0	321,0	227,0	240,0	111		
	charakt.	151,0	139,0	165,0	152,0	96,0	88,0		
Skořepinový model - přehled vnitřních sil - kombinace pro zatížení MSP (bez předpětí)		kvazist.	151,0	139,0	165,0	152,0	96,0	88,0	

		Mpole1(kNm)		Mpolir(kNm)		Mpole2(kNm)	
Použitá sestava zat.	Kombinace	max	min	max	min	max	min
gr1a	charakt.	402,1	160,6	427,6	263,1	284,9	76,9
	častá	331,7	162,9	364,7	259,4	230,6	81,4
	kvazist.	185,0	185,0	270,7	270,7	103,8	103,8
	občasná	330,4	165,5	354,8	264,6	232,8	82,2
gr4	charakt.	242,2	185,0	354,2	270,7	135,8	103,8
	častá	227,8	185,0	333,3	270,7	127,8	103,8
	kvazist.	185,0	185,0	270,7	270,7	103,8	103,8
	občasná	230,8	185,0	337,5	270,7	129,4	103,8
gr5 (LM3-900/150 + w * LM1)	charakt.	368,6	132,8	388,7	242,1	277,5	62,8
	častá	225,5	177,1	293,7	265,4	139,8	96,3
	kvazist.	185,0	185,0	270,7	270,7	103,8	103,8
	občasná	357,4	143,4	381,9	243,5	267,6	64,8
gr5 (LM3-1800/200 + w * LM1)	charakt.	424,0	125,0	435,7	232,2	325,3	49,2
	častá	225,5	177,1	293,7	265,4	139,8	96,3
	kvazist.	185,0	185,0	270,7	270,7	103,8	103,8
	občasná	412,7	127,2	428,9	233,5	315,5	51,1
gr5 (LM3 2400/240)	charakt.	371,0	128,1	525,0	270,7	305,9	103,8
	častá	185,0	185,0	270,7	270,7	103,8	103,8
	kvazist.	185,0	185,0	270,7	270,7	103,8	103,8
	občasná	371,0	128,1	525,0	270,7	305,9	103,8
Stavební stadium	charakt.	200,5	181,1	287,4	270,7	117,4	96,7
	kvazist.	200,5	181,1	287,4	270,7	117,4	96,7

Pruťový model - přehled vnitřních sil na 1,0m šířky- kombinace pro zatížení MSP (bez předpětí)

		Mpole1(kNm)		Mpi1ir(kNm)		Mpole2(kNm)	
Použitá sestava zat.	Kombinace	max	min	max	min	max	min
gr1a	charakt.	19,9	13,4	-68,6	-57,1	7,1	27,1
	častá	18,3	18,1	-57,7	-58,4	9,4	28,6
	kvazist.	17,0	17,0	-43,7	-43,7	23,2	23,2
	občasná	47,6	14,5	2978,2	-65,6	26,2	25,8
gr4	charakt.	21,8	17,0	-58,2	-43,7	31,2	23,2
	častá	21,2	17,0	-54,3	-43,7	29,2	23,2
	kvazist.	17,0	17,0	-43,7	-43,7	23,2	23,2
	občasná	21,2	17,0	-55,5	-43,7	29,6	23,2
gr5 (LM3-900/150 + w * LM1)	charakt.	28,4	32,2	-61,7	-46,1	111,5	36,2
	častá	73,5	8,9	-21,7	-50,4	152,2	17,7
	kvazist.	17,0	17,0	-43,7	-43,7	23,2	23,2
	občasná	12,6	25,6	-66,9	-42,5	5,4	37,2
gr5 (LM3-1800/200 + w * LM1)	charakt.	16,0	32,0	-80,7	-38,2	-2,3	37,8
	častá	73,5	8,9	-21,7	-57,4	63,2	17,7
	kvazist.	17,0	17,0	-43,7	-43,7	23,2	23,2
	občasná	0,3	33,8	-86,9	-34,5	-12,5	39,9
gr5 (LM3 2400/240)	charakt.	-51,0	47,9	-204,0	-43,7	-65,9	7,2
	častá	17,0	17,0	-43,7	-43,7	23,2	23,2
	kvazist.	17,0	17,0	-43,7	-43,7	23,2	23,2
	občasná	-51,0	47,9	-204,0	-43,7	-65,9	7,2
Stavební stádium	charakt.	-49,5	-42,1	-122,4	-118,7	-21,4	-8,7
	kvazist.	-49,5	-42,1	-122,4	-118,7	-21,4	-8,7

Rozdíly hodnot skořepinového a prutového modelu

5 Návrh předpětí

5.1 Podrobné stanovení účinků předpětí

Maximální síla působící při napínání v předpínací výztuži (tj. síla na napínaném konci kabelu) P_{max} nesmí překročit hodnotu

$$P_{max} = A_p \times \sigma_{pmax}$$

kde:

A_p je průřezová plocha předpínací výztuže

σ_{pmax} je maximální napětí v předpínací výztuži

$$\sigma_{pmax} = \min\{0,8 \times f_{pk}; 0,9 \times f_{p0,1,k}\}$$

$$\sigma_{pmax} = \min\{0,8 \times 1770; 0,9 \times 1557,6\}$$

$$\sigma_{pmax} = \min\{1416,0; 1401,8\}$$

$$\sigma_{pmax} = 1401,8 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{p,m,0} = 1400,0 \text{ MPa}$$

Ztráty předpětí jsou odhadnuty následujícím způsobem:

- v době vnesení předpětí 5%
- v době uvedení do provozu 10%
- v době na konci životnosti 25%

5.2 Předběžný návrh předpínací výztuže

Při návrhu předpětí se vychází z provozního stavu, kdy konstrukce působí pružně a kdy normálová napětí mají po výšce průřezu lineární průběh tak, že napětí jsou přímo úměrná vzdálenosti od neutrální osy. Návrh se provede tak, že se musí splnit požadavky vyplývající z mezního stavu použitelnosti, konkrétně ze stavu, který se nazývá mezní stav omezení trhlin. Musí se dodržet požadavek dekomprese při působení časté kombinace zatížení.

Dekomprese znamená, že může být zcela vyčerpána tlaková rezerva, ale v průřezu **nesmí vzniknout tah**, tzn. v nejvíce taženém (nejméně tlačném) vláknu průřezu může být dosaženo maximálně napětí $\sigma_c=0,0\text{MPa}$.

Z tabulky kombinací pro MSP lze vyčíst, že se musí splnit tento požadavek pro následující hodnoty ohybových momentů:

$$M_{1,max,k,čast} = 3518kNm$$

$$M_{2,max,k,čast} = 3866Nm$$

$$M_{3,max,k,čast} = 2444kNm$$

K těmto hodnotám je potřeba přičíst **neurčité momenty od předpětí**, které lze přibližně odhadnout následujícím způsobem:

$$\Delta M_p = cca(0,10 \div 0,15)M_{2,max,k,čast} = (0,10 \div 0,15) \times 3866Nm/m$$

kde:

$M_{2,max,k,čast}$ - je algebraicky nejmenší (největší) charakteristická hodnota ohybového momentu nad pilířem pro návrh.

Po dosažení

$$\Delta M_p = cca(386,6 \div 580)kNm/m$$

Předpokládaná hodnota:

$$\Delta M_p = 463kNm$$

Při předběžném návrhu se bude počítat s těmito ohybovými momenty:

$$M_{1,k} = 3798kNm$$

$$M_{2,k} = 3402Nm$$

$$M_{3,k} = 2908kNm$$

Nutná předpínací síla se stanoví z následujících vztahů pro výpočet normálového napětí v dolních vláknech řezu 1 a 3 a v horních vláknech řezu 2.

Průřezové charakteristiky:

$$W = 0,35775m^3$$

$$A_c = 4,77m^2$$

Řez1 – dolní vlákna:

$$\sigma_{c,1,čast}^d = -\frac{N_p}{A_c} + \frac{M_{1,k}}{W_{d,1}} - \frac{M_p}{W_{d,1}} = 0,0MPa$$

Po náhradě M_p výrazem $N_p \times e_p$ a po dosazení obdržíme:

$$\sigma_{c,1,\text{čast}}^d = -\frac{N_P}{A_c} + \frac{M_{1,k}}{W_{d,1}} - \frac{N_P \times e_P}{W_{d,1}} = 0,0 \text{ MPa}$$

$$N_P \times \left(-\frac{1,0}{4,77} + \frac{0,135}{0,35775} \right) = \frac{3798}{0,35775}$$

$$N_{P1} = 18085 \text{ kN}$$

Řez2 – horní vlákna:

$$\sigma_{c,2,\text{čast}}^h = -\frac{N_P}{A_c} + \frac{M_{2,k}}{W_{d,2}} - \frac{M_P}{W_{d,2}} = 0,0 \text{ MPa}$$

$$N_P \times \left(-\frac{1,0}{4,77} + \frac{0,135}{0,35775} \right) = \frac{3402}{0,35775}$$

$$N_{P2} = 16200 \text{ kN}$$

Řez3 – dolní vlákna:

$$\sigma_{c,3,\text{čast}}^d = -\frac{N_P}{A_c} + \frac{M_{3,k}}{W_{d,3}} - \frac{M_P}{W_{d,3}} = 0,0 \text{ MPa}$$

$$N_P \times \left(-\frac{1,0}{4,77} + \frac{0,135}{0,35775} \right) = \frac{2908}{0,35775}$$

$$N_{P3} = 13847 \text{ kN}$$

Počáteční napětí v předpínací výztuži je navrženo $\sigma_{p,m,0} = 1400,0 \text{ MPa}$

Nutná předpínací síla $N_{P,nut}$ musí být zajištěna v konstrukci i po všech ztrátách předpětí, tzn. na konci životnosti (v čase $t = 100$ let). Předpokládaná velikost dlouhodobých ztrát j 25% počáteční předpínací síly, tzn. na konci životnosti konstrukce působí v předpínací výztuži napětí:

$$\sigma_{p100let} = 0,75 \times 1400,0 = 1050 \text{ MPa}$$

Nutná plocha předpínací výztuže potom bude:

$$A_{nut,i} = \frac{N_{P,i}}{\sigma_{100let}}$$

$$A_{nut,1} = \frac{N_{P,i}}{\sigma_{100let}} = \frac{18085000}{1050} = 17224 \text{ mm}^2$$

$$A_{nut,2} = \frac{N_{P,i}}{\sigma_{100let}} = \frac{16200000}{1050} = 15428 \text{ mm}^2$$

$$A_{nut,3} = \frac{N_{P,i}}{\sigma_{100let}} = \frac{13847000}{1050} = 13188 \text{ mm}^2$$

Nutný počet lan pro celou nosnou konstrukci:

$$n_1 = \frac{A_{nut,1}}{A_{1lano}} = \frac{17224}{150} = 114ks$$

$$n_2 = \frac{A_{nut,2}}{A_{1lano}} = \frac{15428}{150} = 102ks$$

$$n_3 = \frac{A_{nut,3}}{A_{1lano}} = \frac{13188}{150} = 87ks$$

Tenhle předběžný návrh je však jenom orientační, Po pokusech vyrovnat zatížení bylo nejlepší řešení 132 monostrandů, tj. 11x12 lan po 900mm. Pro schéma zatížení vyvozeného předpínacími lany viz obrázek níže.

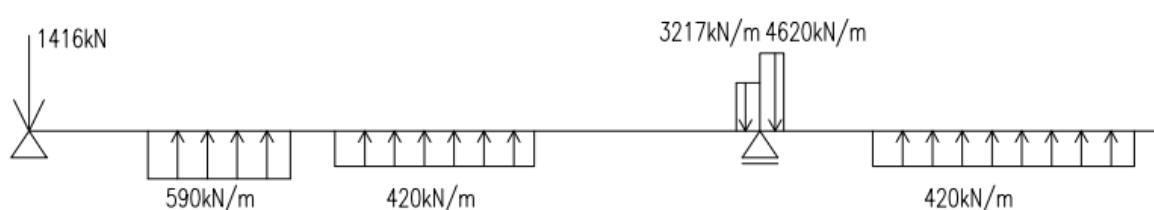


Schéma zatížení vyvozeného předpínacími lany

5.3 Příčné síly od předpětí

- L_i je délka průmětu strany tečnového polygonu do vodorovné roviny
- e_i je excentricita kabelu vůči střednici nosné konstrukce
- vedení tečnového polygonu pro výpočet příčných sil od předpětí je vztaženo ke spojnici těžišť jednotlivých průřezů.
- $P_{m,0}$ - síla odpovídající počáteční střední hodnotě předpětí

$$F_{0,m,0} = P \times \frac{e_1 - e_0}{L_1} = 27720 \times \frac{-0,135 - 0,0}{2,63} = -\mathbf{1416kN}$$

$$F_{1,m,0} = P \times \left(\frac{e_0 - e_1}{L_1} + \frac{e_2 - e_1}{L_2} \right) = 27720 \times \left(\frac{-0,0 - (-0,135)}{2,63} + \frac{-0,135 - (-0,135)}{4,35} \right) = \mathbf{1416kN}$$

$$F_{2,m,0} = P \times \left(\frac{e_1 - e_2}{L_2} + \frac{e_3 - e_2}{L_3} \right) = 27720 \times \left(\frac{-0,135 - (-0,135)}{4,35} + \frac{0,135 - (-0,135)}{5,32} \right) = \mathbf{1407kN}$$

$$F_{3,m,0} = P \times \left(\frac{e_2 - e_3}{L_3} + \frac{e_4 - e_3}{L_4} \right) = 27720 \times \left(\frac{-0,135 - 0,135}{5,32} + \frac{0,135 - 0,135}{1,35} \right) \\ = -1407kN$$

$$F_{4,m,0} = P \times \left(\frac{e_3 - e_4}{L_3} + \frac{e_5 - e_4}{L_4} \right) = 27720 \times \left(\frac{0,135 - 0,135}{1,35} + \frac{-0,135 - 0,135}{4,05} \right) \\ = -1848kN$$

$$F_{5,m,0} = P \times \left(\frac{e_4 - e_5}{L_5} + \frac{e_6 - e_5}{L_6} \right) = 27720 \times \left(\frac{0,135 - (-0,135)}{4,05} + \frac{-0,135 - (-0,135)}{4,0} \right) \\ = 1848kN$$

Jelikož je dráha předpínacích lan symetrická, tak platí vztahy

$$F_{6,m,0} = F_{5,m,0} = 1848kN$$

$$F_{7,m,0} = F_{4,m,0} = -1848kN$$

$$F_{8,m,0} = F_{3,m,0} = -1407kN$$

$$F_{9,m,0} = F_{2,m,0} = 1407kN$$

$$F_{10,m,0} = F_{1,m,0} = 1416kN$$

$$F_{11,m,0} = F_{0,m,0} = -1416kN$$

Kontrola:

Součet sil musí být 0

$$2 \times (-1416kN) + 2 \times 1416 + 2 \times 1407 + 2 \times (-1407) + 2 \times (-1848) + 2 \times (1848) \\ = 0,0kN \quad \textbf{VYHOVUJE}$$

Příčné spojitě zatížení

$$p_{1,m,0} = \frac{1416}{2,4} = 590kN/m$$

$$p_{2,m,0} = \frac{1407}{3,35} = 420kN/m$$

$$p_{3,m,0} = \frac{-1407}{0,4} = -3517kN/m$$

$$p_{4,m,0} = \frac{-1848}{0,4} = -4620kN/m$$

$$p_{5,m,0} = \frac{1848}{4,4} = 420kN/m$$

Jelikož je dráha předpínacích lan symetrická, tak platí vztahy

$$p_{6,m,0} = p_{5,m,0} = \mathbf{420kN/m}$$

$$p_{7,m,0} = p_{4,m,0} = \mathbf{-4620kN/m}$$

$$p_{8,m,0} = p_{3,m,0} = \mathbf{-3517kN/m}$$

$$p_{9,m,0} = p_{2,m,0} = \mathbf{420kN/m}$$

$$p_{10,m,0} = p_{1,m,0} = \mathbf{590kN/m}$$

Řez	V čase t0		Vnesení předpětí			Uvedení do provozu			Konec životnosti		
	Mp,m,0 (kNm)	Np,m,0 (kN)	Ztráty (%)	Mp,m,tr (kNm)	Np,m,tr (kN)	Ztráty(%) (%)	Mp,m,up (kNm)	Np,m,up (kN)	Ztráty(%) (%)	Mp,m,kz (kNm)	Np,m,kz (kN)
1	3865	27720	5	3671,8	26334	15	3285,3	23562	25	2898,8	20790
2	4563	27720	5	4334,9	26334	15	3878,6	23562	25	3422,3	20790
3	2320	27720	5	2204,0	26334	15	1972,0	23562	25	1740,0	20790
Celkový ovybový moment a normálová síla v posuzovaných časových etapách											

6 Posouzení konstrukce – Mezní stavy použitelnosti

6.1 Teorie

V rámci posouzení v mezních stavech použitelnosti je nutné konstrukci ověřit z hlediska:

- omezení napětí
- omezení trhlin
- omezení průhybů

Při výpočtu napětí a průhybů mají být uvažovány průřezy neporušené trhlinami, pokud napětí v tahu za ohybu nepřekročí $f_{ct,eff}$. Hodnotu $f_{ct,eff}$ lze uvažovat jako f_{ctm} (průměrná hodnota pevnosti betonu v dostředné tahu) za předpokladu, že při výpočtu minimální tahové výztuže byla použita stejná hodnota.

6.2 Mezní stav omezení napětí

6.2.1 Napětí v betonu – provozní stav

Tlakové napětí v betonu je nutné omezit tak, aby se zabránilo vzniku podélných trhlin, rozvoji mikrotrhlin nebo nadměrnému dotvarování.

Podélné trhliny mohou vznikat, pokud úroveň napětí betonu překročí kritickou hodnotu. Pokud se neučiní jiná opatření (např. zvětšení tloušťky krycí vrstvy výztuže v tlačené oblasti nebo ovinutí tlačené oblasti příčnou výztuží), má se tlakové napětí betonu při charakteristické kombinaci zatížení omezit na hodnotu $0,6f_{ck}$. Pokud je tlakové oblast betonu ovinuta příčnou výztuží, je možné tuto hodnotu zvýšit o 10%.

Uvažuje se hodnota $0,6f_{ck}=0,6 \times 30,0=18,0\text{MPa}$ (tlak)

Pokud je napětí v betonu při kvazistálé kombinaci zatížení menší nebo rovno $0,45f_{ck}$, lze předpokládat lineární dotvarování. V opačném případě se má uvažovat nelineární dotvarování.

Uvažuje se hodnota $0,45f_{ck}=0,45 \times 30,0=13,5\text{MPa}$ (tlak)

6.2.2 Napětí v betonu – čas vnesení předpětí

Napětí v betonu v tlaku v době napínání nebo vnesení předpětí má být omezeno na hodnotu:

$$\sigma_c \leq 0,6 \times f_{ck}(t)$$

kde:

$f_{ck}(t)$ je charakteristická pevnost betonu v tlaku v okamžiku t , kdy působí předpínací síla.

Čas vnesení předpětí se předpokládá ve stáří betonu $t=7$ dní, kdy

$$f_{ck}(7) = 22,122\text{MPa}$$

Současně nemá být pevnost betonu při předpínání menší než je minimální hodnota definovaná v tzv. evropském technickém schválení použitého předpínacího systému.

$$f_{ck}(t)_{\min} = 28/35\text{MPa}$$

$$f_{ck}(t)_{\min} = 28 - 8,0 = 20,0\text{MPa}$$

Tato hodnota rozhoduje, proto v čase vnesení předpětí se počítá s charakteristickou pevností betonu v tlaku $f_{ck}(7) = 22,122\text{MPa}$.

Potom:

$$0,45 \times f_{ck}(7) = 0,45 \times 22,122 = 9,955\text{MPa (tlak)}$$

Omezení tlakových napětí v betonu:

Pro mosty nebo části mostů, u kterých je splněn mezní stav dekomprese na dokončené konstrukci pro kvazistálou nebo častou kombinaci zatížení, jsou během výstavby od kvazistálé kombinace zatížení přípustná tahová napětí menší než $1,0 \times f_{ctm}(t)$

$$1,0 \times f_{ctm}(7) = 1,00 \times 2,375 = 2,375\text{MPa (tah)}$$

Napětí ve výztuži:

Tahové napětí v betonářské výztuži je nutné omezit tak, aby nedocházelo ke vzniku nepružných poměrných přetvoření, nepříjemných trhlin a deformací. Lze předpokládat, že nepříjemné trhliny a deformace nevzniknou, pokud při charakteristické kombinaci zatížení tahové napětí v betonářské výztuži nepřekročí hodnotu $0,8 \times f_{yk}$.

$$\text{Uvažuje se zde hodnota } 0,80 \times f_{yk} = 0,80 \times 500 = 400\text{MPa}$$

Střední hodnota napětí v předpínací výztuži nemá překročit $0,75 \times f_{pk}$. Uvažuje se zde s hodnotou:

$$0,75 \times f_{pk} = 0,75 \times 1770 = 1327,5\text{MPa.}$$

6.3 Výpočet a posouzení normálových napětí v jednotlivých etapách

6.3.1 Výpočet normálových napětí v betonu – čas vnesení předpětí, stálé zatížení:

Tenhle případ řeší normálové napětí od vlastní tíhy nosné konstrukce g_0 a od předpětí v době vnesení předpětí do konstrukce. Posouzení tohoto stavu není normou vyžadováno.

$$\sigma_{c,i,tr}^h = -\frac{N_{P,tr}}{A_c} - \frac{M_{g0}}{W_h} + \frac{M_{P,tr}}{W_h}$$

$$\sigma_{c,i,tr}^d = -\frac{N_{P,tr}}{A_c} + \frac{M_{g0}}{W_d} - \frac{M_{P,tr}}{W_d}$$

Řez 1 – krajní pole

$$\sigma_{c,1}^h = -\frac{26334}{4,77} - \frac{1336}{0,35775} + \frac{3671}{0,35775} = \mathbf{1,008MPa}$$

$$\sigma_{c,1}^d = -\frac{26334}{4,77} + \frac{1336}{0,35775} - \frac{3671}{0,35775} = \mathbf{-12,05MPa}$$

Řez 2 – pilíř

$$\sigma_{c,2}^h = -\frac{26334}{4,77} - \frac{1950}{0,35775} + \frac{4334}{0,35775} = \mathbf{1,15MPa}$$

$$\sigma_{c,2}^d = -\frac{26334}{4,77} + \frac{1950}{0,35775} - \frac{4334}{0,35775} = \mathbf{-10,33MPa}$$

Řez 3 – střední pole

$$\sigma_{c,3}^h = -\frac{26334}{4,77} - \frac{750}{0,35775} + \frac{2204}{0,35775} = \mathbf{-1,46MPa}$$

$$\sigma_{c,3}^d = -\frac{26334}{4,77} + \frac{750}{0,35775} - \frac{2204}{0,35775} = \mathbf{-9,59MPa}$$

6.3.2 Posouzení normálových napětí v betonu - čas vnesení předpětí, charakteristická kombinace zatížení M_{max}

$$\sigma_{c,i,tr}^h = -\frac{N_{P,tr}}{A_c} - \frac{M_{char,max}}{W_h} + \frac{M_{P,tr}}{W_h}$$

$$\sigma_{c,i,tr}^d = -\frac{N_{P,tr}}{A_c} + \frac{M_{char,max}}{W_d} - \frac{M_{P,tr}}{W_d}$$

Řez 1 – krajní pole

$$\sigma_{c,1}^h = -\frac{26334}{4,77} - \frac{2125}{0,35775} + \frac{3671}{0,35775} = |-1,197| < 13,273MPa$$

$$\sigma_{c,1}^d = -\frac{26334}{4,77} + \frac{2125}{0,35775} - \frac{3671}{0,35775} = |-9,844| < 13,273MPa$$

Řez 2 – pilíř

$$\sigma_{c,2}^h = -\frac{26334}{4,77} - \frac{3046}{0,35775} + \frac{4334}{0,35775} = |-1,918| < 13,273MPa$$

$$\sigma_{c,2}^d = -\frac{26334}{4,77} + \frac{3046}{0,35775} - \frac{4334}{0,35775} = |-9,123| < 13,273MPa$$

Řez 3 – střední pole

$$\sigma_{c,3}^h = -\frac{26334}{4,77} - \frac{1244}{0,35775} + \frac{2204}{0,35775} = |-2,837| < 13,273MPa$$

$$\sigma_{c,3}^d = -\frac{26334}{4,77} + \frac{1244}{0,35775} - \frac{2204}{0,35775} = |-8,204| < 13,273MPa$$

6.3.3 Posouzení normálových napětí v betonu - čas vnesení předpětí, charakteristická kombinace zatížení Mmin

$$\sigma_{c,i,tr}^h = -\frac{N_{P,tr}}{A_c} - \frac{M_{char,min}}{W_h} + \frac{M_{P,tr}}{W_h}$$

$$\sigma_{c,i,tr}^d = -\frac{N_{P,tr}}{A_c} + \frac{M_{char,min}}{W_d} - \frac{M_{P,tr}}{W_d}$$

Řez 1 – krajní pole

$$\sigma_{c,1}^h = -\frac{26334}{4,77} - \frac{1920}{0,35775} + \frac{3671}{0,35775} = |-0,624| < 13,273MPa$$

$$\sigma_{c,1}^d = -\frac{26334}{4,77} + \frac{1920}{0,35775} - \frac{3671}{0,35775} = |-10,417| < 13,273 \text{ MPa}$$

Řez 2 – pilíř

$$\sigma_{c,2}^h = -\frac{26334}{4,77} - \frac{2869}{0,35775} + \frac{4334}{0,35775} = |-1,423| < 13,273 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,2}^d = -\frac{26334}{4,77} + \frac{2869}{0,35775} - \frac{4334}{0,35775} = |-9,618| < 13,273 \text{ MPa}$$

Řez 3 – střední pole

$$\sigma_{c,3}^h = -\frac{26334}{4,77} - \frac{1025}{0,35775} + \frac{2204}{0,35775} = |-2,225| < 13,273 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,3}^d = -\frac{26334}{4,77} + \frac{1025}{0,35775} - \frac{2204}{0,35775} = |-8,816| < 13,273 \text{ MPa}$$

6.3.4 Posouzení normálových napětí v betonu - čas vnesení předpětí, kvazistálá kombinace zatížení

Mmax

$$\sigma_{c,i,tr}^h = -\frac{N_{P,tr}}{A_c} - \frac{M_{kv,max}}{W_h} + \frac{M_{P,tr}}{W_h}$$

$$\sigma_{c,i,tr}^d = -\frac{N_{P,tr}}{A_c} + \frac{M_{kv,max}}{W_d} - \frac{M_{P,tr}}{W_d}$$

Řez 1 – krajní pole

$$\sigma_{c,1}^h = -\frac{26334}{4,77} - \frac{2125}{0,35775} + \frac{3671}{0,35775} = |-1,197| < 9,955 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,1}^d = -\frac{26334}{4,77} + \frac{2125}{0,35775} - \frac{3671}{0,35775} = |-9,844| < 9,955 \text{ MPa}$$

Řez 2 – pilíř

$$\sigma_{c,2}^h = -\frac{26334}{4,77} - \frac{3046}{0,35775} + \frac{4334}{0,35775} = |-1,918| < 9,955 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,2}^d = -\frac{26334}{4,77} + \frac{3046}{0,35775} - \frac{4334}{0,35775} = |-9,123| < 9,955 \text{ MPa}$$

Řez 3 – střední pole

$$\sigma_{c,3}^h = -\frac{26334}{4,77} - \frac{1244}{0,35775} + \frac{2204}{0,35775} = |-2,837| < 9,955 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,3}^d = -\frac{26334}{4,77} + \frac{1244}{0,35775} - \frac{2204}{0,35775} = |-8,204| < 9,955 \text{ MPa}$$

6.3.5 Posouzení normálových napětí v betonu - čas vnesení předpětí, kvazistálá kombinace zatížení

Mmin

$$\sigma_{c,i,tr}^h = -\frac{N_{P,tr}}{A_c} - \frac{M_{kv,min}}{W_h} + \frac{M_{P,tr}}{W_h}$$

$$\sigma_{c,i,tr}^d = -\frac{N_{P,tr}}{A_c} + \frac{M_{kv,min}}{W_d} - \frac{M_{P,tr}}{W_d}$$

Řez 1 – krajní pole

$$\sigma_{c,1}^h = -\frac{26334}{4,77} - \frac{1920}{0,35775} + \frac{3671}{0,35775} = |-0,624| < 9,955 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,1}^d = -\frac{26334}{4,77} + \frac{1920}{0,35775} - \frac{3671}{0,35775} = |-9,890| < 9,955 \text{ MPa}$$

Řez 2 – pilíř

$$\sigma_{c,2}^h = -\frac{26334}{4,77} - \frac{2869}{0,35775} + \frac{4334}{0,35775} = |-1,423| < 9,955 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,2}^d = -\frac{26334}{4,77} + \frac{2869}{0,35775} - \frac{4334}{0,35775} = |-9,618| < 9,955 \text{ MPa}$$

Řez 3 – střední pole

$$\sigma_{c,3}^h = -\frac{26334}{4,77} - \frac{1025}{0,35775} + \frac{2204}{0,35775} = |-2,225| < 9,955 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,3}^d = -\frac{26334}{4,77} + \frac{1025}{0,35775} - \frac{2204}{0,35775} = |-8,816| < 9,955 \text{ MPa}$$

6.3.6 Výpočet normálových napětí v betonu - čas uvedení do provozu, stálé zatížení

Tenhle případ řeší normálové napětí od vlastní tíhy nosné konstrukce g_0 , ostatního stálého zatížení ($g-g_0$) a od předpětí v době vnesení předpětí do konstrukce. Posouzení tohoto stavu není normou vyžadováno.

$$\sigma_{c,i,up,g}^h = -\frac{N_{P,up}}{A_c} - \frac{M_g}{W_h} + \frac{M_{P,up}}{W_h}$$

$$\sigma_{c,i,up,g}^d = -\frac{N_{P,up}}{A_c} + \frac{M_g}{W_d} - \frac{M_{P,up}}{W_d}$$

Řez 1 – krajní pole

$$\sigma_{c,1}^h = -\frac{23562}{4,77} - \frac{1960}{0,35775} + \frac{3285}{0,35775} = -1,238MPa$$

$$\sigma_{c,1}^d = -\frac{23562}{4,77} + \frac{1961}{0,35775} - \frac{3285}{0,35775} = -8,641MPa$$

Řez 2 – pilíř

$$\sigma_{c,2}^h = -\frac{23562}{4,77} - \frac{2869}{0,35775} + \frac{3878}{0,35775} = -2,118MPa$$

$$\sigma_{c,2}^d = -\frac{23562}{4,77} + \frac{2869}{0,35775} - \frac{3878}{0,35775} = -7,762MPa$$

Řez 3 – střední pole

$$\sigma_{c,3}^h = -\frac{23562}{4,77} - \frac{1100}{0,35775} + \frac{1972}{0,35775} = -2,502MPa$$

$$\sigma_{c,3}^d = -\frac{23562}{4,77} + \frac{1100}{0,35775} - \frac{1972}{0,35775} = -7,377MPa$$

6.3.7 Posouzení normálových napětí v betonu - čas vedení do provozu, kvazistálá kombinace zatížení **Mmax**

$$\sigma_{c,i,up,kv,max}^h = -\frac{N_{P,up}}{A_c} - \frac{M_{kv,max}}{W_h} + \frac{M_{P,up}}{W_h}$$

$$\sigma_{c,i,up,kv,max}^d = -\frac{N_{P,up}}{A_c} + \frac{M_{kv,max}}{W_d} - \frac{M_{P,up}}{W_d}$$

Řez 1 – krajní pole

$$\sigma_{c,1}^h = -\frac{23562}{4,77} - \frac{1960}{0,35775} + \frac{3285}{0,35775} = |-1,238| < 13,5MPa$$

$$\sigma_{c,1}^d = -\frac{23562}{4,77} + \frac{1961}{0,35775} - \frac{3285}{0,35775} = |-8,641| < 13,5MPa$$

Řez 2 – pilíř

$$\sigma_{c,2}^h = -\frac{23562}{4,77} - \frac{2869}{0,35775} + \frac{3878}{0,35775} = |-2,118| < 13,5MPa$$

$$\sigma_{c,2}^d = -\frac{23562}{4,77} + \frac{2869}{0,35775} - \frac{3878}{0,35775} = |-7,762| < 13,5MPa$$

Řez 3 – střední pole

$$\sigma_{c,3}^h = -\frac{23562}{4,77} - \frac{1100}{0,35775} + \frac{1972}{0,35775} = |-2,502| < 13,5MPa$$

$$\sigma_{c,3}^d = -\frac{23562}{4,77} + \frac{1100}{0,35775} - \frac{1972}{0,35775} = |-7,377| < 13,5MPa$$

6.3.8 Posouzení normálových napětí v betonu - čas vedení do provozu, kvazistálá kombinace zatížení M_{min}

$$\sigma_{c,i,up,kv,min}^h = -\frac{N_{p,up}}{A_c} - \frac{M_{kv,min}}{W_h} + \frac{M_{p,up}}{W_h}$$

$$\sigma_{c,i,up,kv,min}^d = -\frac{N_{p,up}}{A_c} + \frac{M_{kv,min}}{W_d} - \frac{M_{p,up}}{W_d}$$

Řez 1 – krajní pole

$$\sigma_{c,1}^h = -\frac{23562}{4,77} - \frac{1960}{0,35775} + \frac{3285}{0,35775} = |-1,238| < 13,5MPa$$

$$\sigma_{c,1}^d = -\frac{23562}{4,77} + \frac{1961}{0,35775} - \frac{3285}{0,35775} = |-8,641| < 13,5MPa$$

Řez 2 – pilíř

$$\sigma_{c,2}^h = -\frac{23562}{4,77} - \frac{2869}{0,35775} + \frac{3878}{0,35775} = |-2,118| < 13,5MPa$$

$$\sigma_{c,2}^d = -\frac{23562}{4,77} + \frac{2869}{0,35775} - \frac{3878}{0,35775} = |-7,762| < 13,5MPa$$

Řez 3 – střední pole

$$\sigma_{c,3}^h = -\frac{23562}{4,77} - \frac{1100}{0,35775} + \frac{1972}{0,35775} = |-2,502| < 13,5MPa$$

$$\sigma_{c,3}^d = -\frac{23562}{4,77} + \frac{1100}{0,35775} - \frac{1972}{0,35775} = |-7,377| < 13,5MPa$$

6.3.9 Posouzení normálových napětí v betonu - čas vedení do provozu, charakteristická kombinace zatížení Mmax

$$\sigma_{c,i,up,char,max}^h = -\frac{N_{P,up}}{A_c} - \frac{M_{char,max}}{W_h} + \frac{M_{P,up}}{W_h}$$

$$\sigma_{c,i,up,char,max}^d = -\frac{N_{P,up}}{A_c} + \frac{M_{kv,max}}{W_d} - \frac{M_{P,up}}{W_d}$$

Řez 1 – krajní pole

$$\sigma_{c,1}^h = -\frac{23562}{4,77} - \frac{4494}{0,35775} + \frac{3285}{0,35775} = |-8,318| < 18,0MPa$$

$$\sigma_{c,1}^d = -\frac{23562}{4,77} + \frac{4494}{0,35775} - \frac{3285}{0,35775} = |-1,561| < 18,0MPa$$

Řez 2 – pilíř

$$\sigma_{c,2}^h = -\frac{23562}{4,77} - \frac{5565}{0,35775} + \frac{3878}{0,35775} = |-9,654| < 18,0MPa$$

$$\sigma_{c,2}^d = -\frac{23562}{4,77} + \frac{5565}{0,35775} - \frac{3878}{0,35775} = |-0,226| < 18,0MPa$$

Řez 3 – střední pole

$$\sigma_{c,3}^h = -\frac{23562}{4,77} - \frac{3448}{0,35775} + \frac{1972}{0,35775} = |-9,065| < 18,0MPa$$

$$\sigma_{c,3}^d = -\frac{23562}{4,77} + \frac{3448}{0,35775} - \frac{1972}{0,35775} = |-0,814| < 18,0MPa$$

6.3.10 Posouzení normálových napětí v betonu - čas vedení do provozu, charakteristická kombinace zatížení Mmin

$$\sigma_{c,i,up,char,min}^h = -\frac{N_{P,up}}{A_c} - \frac{M_{char,min}}{W_h} + \frac{M_{P,up}}{W_h}$$

$$\sigma_{c,i,up,char,min}^d = -\frac{N_{P,up}}{A_c} + \frac{M_{kv,char}}{W_d} - \frac{M_{P,up}}{W_d}$$

Řez 1 – krajní pole

$$\sigma_{c,1}^h = -\frac{23562}{4,77} - \frac{1325}{0,35775} + \frac{3285}{0,35775} = |0,539| < 18,0MPa$$

$$\sigma_{c,1}^d = -\frac{23562}{4,77} + \frac{1325}{0,35775} - \frac{3285}{0,35775} = |-10,419| < 18,0MPa$$

Řez 2 – pilíř

$$\sigma_{c,2}^h = -\frac{23562}{4,77} - \frac{2461}{0,35775} + \frac{3878}{0,35775} = |-0,977| < 18,0MPa$$

$$\sigma_{c,2}^d = -\frac{23562}{4,77} + \frac{2461}{0,35775} - \frac{3878}{0,35775} = |-8,902| < 18,0MPa$$

Řez 3 – střední pole

$$\sigma_{c,3}^h = -\frac{23562}{4,77} - \frac{521}{0,35775} + \frac{1972}{0,35775} = |-0,883| < 18,0MPa$$

$$\sigma_{c,3}^d = -\frac{23562}{4,77} + \frac{521}{0,35775} - \frac{1972}{0,35775} = |-8,996| < 18,0MPa$$

6.3.11 Výpočet normálových napětí v betonu - čas na konci životnosti, stálé zatížení

Posouzení tohoto stavu není normou vyžadováno.

$$\sigma_{c,i,kz,g}^h = -\frac{N_{P,kz}}{A_c} - \frac{M_g}{W_h} + \frac{M_{P,kz}}{W_h}$$

$$\sigma_{c,i,kz,g}^d = -\frac{N_{P,kz}}{A_c} + \frac{M_g}{W_d} - \frac{M_{P,kz}}{W_d}$$

Řez 1 – krajní pole

$$\sigma_{c,1}^h = -\frac{20790}{4,77} - \frac{1961}{0,35775} + \frac{2898}{0,35775} = -1,737MPa$$

$$\sigma_{c,1}^d = -\frac{20790}{4,77} + \frac{1961}{0,35775} - \frac{2898}{0,35775} = -6,979MPa$$

Řez 2 – pilíř

$$\sigma_{c,2}^h = -\frac{20790}{4,77} - \frac{2869}{0,35775} + \frac{3422}{0,35775} = -2,812 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,2}^d = -\frac{20790}{4,77} + \frac{2869}{0,35775} - \frac{3422}{0,35775} = -5,905 \text{ MPa}$$

Řez 3 – střední pole

$$\sigma_{c,3}^h = -\frac{20790}{4,77} - \frac{1100}{0,35775} + \frac{1740}{0,35775} = -2,569 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,3}^d = -\frac{20790}{4,77} + \frac{1100}{0,35775} - \frac{1740}{0,35775} = -6,147 \text{ MPa}$$

6.3.12 Posouzení normálových napětí v betonu - čas na konci životnosti, kvazistálá zatížení Mmax

$$\sigma_{c,i,kz,kv,max}^h = -\frac{N_{P,kz}}{A_c} - \frac{M_{kv,max}}{W_h} + \frac{M_{P,kz}}{W_h}$$

$$\sigma_{c,i,kz,kv,max}^d = -\frac{N_{P,kz}}{A_c} + \frac{M_{kv,max}}{W_d} - \frac{M_{P,kz}}{W_d}$$

Řez 1 – krajní pole

$$\sigma_{c,1}^h = -\frac{20790}{4,77} - \frac{1961}{0,35775} + \frac{2898}{0,35775} = |-1,737| < 13,5 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,1}^d = -\frac{20790}{4,77} + \frac{1961}{0,35775} - \frac{2898}{0,35775} = |-6,979| < 13,5 \text{ MPa}$$

Řez 2 – pilíř

$$\sigma_{c,2}^h = -\frac{20790}{4,77} - \frac{2869}{0,35775} + \frac{3422}{0,35775} = |-2,812| < 13,5 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,2}^d = -\frac{20790}{4,77} + \frac{2869}{0,35775} - \frac{3422}{0,35775} = |-5,905| < 13,5 \text{ MPa}$$

Řez 3 – střední pole

$$\sigma_{c,3}^h = -\frac{20790}{4,77} - \frac{1100}{0,35775} + \frac{1740}{0,35775} = |-2,569| < 13,5 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,3}^d = -\frac{20790}{4,77} + \frac{1100}{0,35775} - \frac{1740}{0,35775} = |-6,147| < 13,5 \text{ MPa}$$

6.3.13 Výpočet normálových napětí v betonu - čas na konci životnosti, kvazistálá zatížení Mmin

$$\sigma_{c,i,kz,kv,min}^h = -\frac{N_{P,kz}}{A_c} - \frac{M_{kv,min}}{W_h} + \frac{M_{P,kz}}{W_h}$$

$$\sigma_{c,i,kz,kv,min}^d = -\frac{N_{P,kz}}{A_c} + \frac{M_{kv,min}}{W_d} - \frac{M_{P,kz}}{W_d}$$

Řez 1 – krajní pole

$$\sigma_{c,1}^h = -\frac{20790}{4,77} - \frac{1961}{0,35775} + \frac{2898}{0,35775} = |-1,737| < 13,5MPa$$

$$\sigma_{c,1}^d = -\frac{20790}{4,77} + \frac{1961}{0,35775} - \frac{2898}{0,35775} = |-6,979| < 13,5MPa$$

Řez 2 – pilíř

$$\sigma_{c,2}^h = -\frac{20790}{4,77} - \frac{2869}{0,35775} + \frac{3422}{0,35775} = |-2,812| < 13,5MPa$$

$$\sigma_{c,2}^d = -\frac{20790}{4,77} + \frac{2869}{0,35775} - \frac{3422}{0,35775} = |-5,905| < 13,5MPa$$

Řez 3 – střední pole

$$\sigma_{c,3}^h = -\frac{20790}{4,77} - \frac{1100}{0,35775} + \frac{1740}{0,35775} = |-2,569| < 13,5MPa$$

$$\sigma_{c,3}^d = -\frac{20790}{4,77} + \frac{1100}{0,35775} - \frac{1740}{0,35775} = |-6,147| < 13,5MPa$$

6.3.14 Výpočet normálových napětí v betonu - čas na konci životnosti, charakteristická kombinace zatížení Mmax

$$\sigma_{c,i,kz,char,max}^h = -\frac{N_{P,kz}}{A_c} - \frac{M_{char,max}}{W_h} + \frac{M_{P,kz}}{W_h}$$

$$\sigma_{c,i,kz,char,max}^d = -\frac{N_{P,kz}}{A_c} + \frac{M_{char,max}}{W_d} - \frac{M_{P,kz}}{W_d}$$

Řez 1 – krajní pole

$$\sigma_{c,1}^h = -\frac{20790}{4,77} - \frac{4494}{0,35775} + \frac{2898}{0,35775} = |-8,818| < 13,5MPa$$

$$\sigma_{c,1}^d = -\frac{20790}{4,77} + \frac{4494}{0,35775} - \frac{2898}{0,35775} = |0,100| < 13,5MPa$$

Řez 2 – pilíř

$$\sigma_{c,2}^h = -\frac{20790}{4,77} - \frac{5565}{0,35775} + \frac{3422}{0,35775} = |-10,348| < 13,5MPa$$

$$\sigma_{c,2}^d = -\frac{20790}{4,77} + \frac{5565}{0,35775} - \frac{3422}{0,35775} = |1,631| < 13,5MPa$$

Řez 3 – střední pole

$$\sigma_{c,3}^h = -\frac{20790}{4,77} - \frac{3448}{0,35775} + \frac{1740}{0,35775} = |-9,133| < 13,5MPa$$

$$\sigma_{c,3}^d = -\frac{20790}{4,77} + \frac{3448}{0,35775} - \frac{1740}{0,35775} = |0,416| < 13,5MPa$$

6.3.15 Výpočet normálových napětí v betonu - čas na konci životnosti, charakteristická kombinace zatížení

Mmin

$$\sigma_{c,i,kz,char,min}^h = -\frac{N_{P,kz}}{A_c} - \frac{M_{char,min}}{W_h} + \frac{M_{P,kz}}{W_h}$$

$$\sigma_{c,i,kz,char,min}^d = -\frac{N_{P,kz}}{A_c} + \frac{M_{char,min}}{W_d} - \frac{M_{P,kz}}{W_d}$$

Řez 1 – krajní pole

$$\sigma_{c,1}^h = -\frac{20790}{4,77} - \frac{1325}{0,35775} + \frac{2898}{0,35775} = |0,041| < 13,5MPa$$

$$\sigma_{c,1}^d = -\frac{20790}{4,77} + \frac{1325}{0,35775} - \frac{2898}{0,35775} = |-8,758| < 13,5MPa$$

Řez 2 – pilíř

$$\sigma_{c,2}^h = -\frac{20790}{4,77} - \frac{2461}{0,35775} + \frac{3422}{0,35775} = |-1,672| < 13,5MPa$$

$$\sigma_{c,2}^d = -\frac{20790}{4,77} + \frac{2461}{0,35775} - \frac{3422}{0,35775} = |-7,045| < 13,5MPa$$

Řez 3 – střední pole

$$\sigma_{c,3}^h = -\frac{20790}{4,77} - \frac{521}{0,35775} + \frac{1740}{0,35775} = |-0,951| < 13,5 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,3}^d = -\frac{20790}{4,77} + \frac{521}{0,35775} - \frac{1740}{0,35775} = |-7,766| < 13,5 \text{ MPa}$$

Konstrukce vyhoví ve všech posuzovaných průřezích.

Hodnoty jsou shrnuty v přehledných tabulkách (viz níže)

Normálové napětí (MPa) v řezu												
Zatížení	Čas	M	Vláčna	1			2			3		
				σ	σ _{lim}	Vyhoví	σ	σ _{lim}	Vyhoví	σ	σ _{lim}	Vyhoví
Stálé zatížení	Vnesení předpětí (TR)		h	1,01	-	-	1,15	-	-	-1,46	-	-
			d	-12,05	-	-	-10,33	-	-	-9,59	-	-
			h	-1,14	-	-	-2,12	-	-	-2,50	-	-
			d	-8,64	-	-	-7,76	-	-	-7,38	-	-
	Uvedení do provozu (UP)		h	-1,74	-	-	-2,82	-	-	-2,57	-	-
			d	-6,98	-	-	-9,91	-	-	-6,15	-	-
	Konec životnosti (KZ)		h	-1,20	-10,00	Ano	-1,92	-10,00	Ano	-2,84	-10,00	Ano
			d	-9,84	-10,00	Ano	-9,12	-10,00	Ano	-8,20	-10,00	Ano
	TR	max	h	-0,62	-10,00	Ano	-1,42	-10,00	Ano	-2,23	-10,00	Ano
			d	-9,89	-10,00	Ano	-9,62	-10,00	Ano	-8,82	-10,00	Ano
min		h	-1,24	-13,50	Ano	-2,12	-13,50	Ano	-2,50	-13,50	Ano	
		d	-8,64	-13,50	Ano	-7,76	-13,50	Ano	-7,38	-13,50	Ano	
Kvazistálá kombinace	UP	max	h	-1,24	-13,50	Ano	-2,12	-13,50	Ano	-2,50	-13,50	Ano
			d	-8,64	-13,50	Ano	-7,76	-13,50	Ano	-7,38	-13,50	Ano
		min	h	-1,24	-13,50	Ano	-2,12	-13,50	Ano	-2,50	-13,50	Ano
			d	-8,64	-13,50	Ano	-7,76	-13,50	Ano	-7,38	-13,50	Ano
	KZ	max	h	-1,74	-13,50	Ano	-2,81	-13,50	Ano	-2,57	-13,50	Ano
			d	-6,98	-13,50	Ano	-5,91	-13,50	Ano	-6,15	-13,50	Ano
		min	h	-1,74	-13,50	Ano	-2,81	-13,50	Ano	-2,57	-13,50	Ano
			d	-6,98	-13,50	Ano	-5,91	-13,50	Ano	-6,15	-13,50	Ano

Zatížení	Čas	M	Vlákna	Normálové napětí (MPa) v řezu								
				1			2			3		
				σ	σ_{lim}	Vyhoví	σ	σ_{lim}	Vyhoví	σ	σ_{lim}	Vyhoví
Charakteristická kombinace	TR	max	h	-1,20	-13,30	Ano	-1,92	-13,30	Ano	-2,84	-13,30	Ano
			d	-9,84	-13,30	Ano	-9,12	-13,30	Ano	-8,20	-13,30	Ano
			h	-0,62	-13,30	Ano	-1,42	-13,30	Ano	-2,23	-13,30	Ano
		min	d	-10,42	-13,30	Ano	-9,62	-13,30	Ano	-8,82	-13,30	Ano
			h	-8,32	-18,00	Ano	-9,65	-18,00	Ano	-9,07	-18,00	Ano
			d	-1,56	-18,00	Ano	-0,23	-18,00	Ano	-0,81	-18,00	Ano
	UP	max	h	0,54	-18,00	Ano	-0,98	-18,00	Ano	-0,88	-18,00	Ano
			d	-10,42	-18,00	Ano	-8,90	-18,00	Ano	-9,00	-18,00	Ano
			h	-8,82	-18,00	Ano	-10,35	-18,00	Ano	-9,13	-18,00	Ano
		min	d	0,10	-18,00	Ano	1,63	-18,00	Ano	0,42	-18,00	Ano
			h	-0,04	-18,00	Ano	-1,67	-18,00	Ano	-0,95	-18,00	Ano
			d	-8,76	-18,00	Ano	-7,05	-18,00	Ano	-7,77	-18,00	Ano
	KZ	max	h									
			d									
	KZ	min	h									
			d									

6.4 Mezní stav omezení trhlin

6.4.1 Posouzení dekomprese – čas v době uvedení do provozu, častá kombinace zatížení, M_{max}

$$\sigma_{c,i,up,\check{c}ast,max}^h = -\frac{N_{P,up}}{A_c} - \frac{M_{\check{c}ast,max}}{W_h} + \frac{M_{P,up}}{W_h} < 0,0MPa$$

$$\sigma_{c,i,up,\check{c}ast,max}^d = -\frac{N_{P,up}}{A_c} + \frac{M_{\check{c}ast,max}}{W_d} - \frac{M_{P,up}}{W_d} < 0,0MPa$$

Řez 1 – krajní pole

$$\sigma_{c,1}^h = -\frac{23562}{4,77} - \frac{3516}{0,35775} + \frac{3285}{0,35775} = |-5,584| < 0,0MPa$$

$$\sigma_{c,1}^d = -\frac{23562}{4,77} + \frac{3516}{0,35775} - \frac{3285}{0,35775} = |-4,294| < 0,0MPa$$

Řez 2 – pilíř

$$\sigma_{c,2}^h = -\frac{23562}{4,77} - \frac{3866}{0,35775} + \frac{3878}{0,35775} = |-4,904| < 0,0MPa$$

$$\sigma_{c,2}^d = -\frac{23562}{4,77} + \frac{3866}{0,35775} - \frac{3878}{0,35775} = |-4,975| < 0,0MPa$$

Řez 3 – střední pole

$$\sigma_{c,3}^h = -\frac{23562}{4,77} - \frac{2444}{0,35775} + \frac{1972}{0,35775} = |-6,259| < 0,0MPa$$

$$\sigma_{c,3}^d = -\frac{23562}{4,77} + \frac{2444}{0,35775} - \frac{1972}{0,35775} = |-3,620| < 0,0MPa$$

6.4.2 Posouzení dekomprese – čas v době uvedení do provozu, častá kombinace zatížení, M_{min}

$$\sigma_{c,i,up,\check{c}ast,min}^h = -\frac{N_{P,up}}{A_c} - \frac{M_{\check{c}ast,min}}{W_h} + \frac{M_{P,up}}{W_h} < 0,0MPa$$

$$\sigma_{c,i,up,\check{c}ast,min}^d = -\frac{N_{P,up}}{A_c} + \frac{M_{\check{c}ast,min}}{W_d} - \frac{M_{P,up}}{W_d} < 0,0MPa$$

Řez 1 – krajní pole

$$\sigma_{c,1}^h = -\frac{23562}{4,77} - \frac{1727}{0,35775} + \frac{3285}{0,35775} = |-0,584| < 0,0MPa$$

$$\sigma_{c,1}^d = -\frac{23562}{4,77} + \frac{1727}{0,35775} - \frac{3285}{0,35775} = |-9,295| < 0,0MPa$$

Řez 2 – pilíř

$$\sigma_{c,2}^h = -\frac{23562}{4,77} - \frac{2750}{0,35775} + \frac{3878}{0,35775} = |-1,785| < 0,0MPa$$

$$\sigma_{c,2}^d = -\frac{23562}{4,77} + \frac{2750}{0,35775} - \frac{3878}{0,35775} = |-8,094| < 0,0MPa$$

Řez 3 – střední pole

$$\sigma_{c,3}^h = -\frac{23562}{4,77} - \frac{863}{0,35775} + \frac{1972}{0,35775} = |-1,840| < 0,0MPa$$

$$\sigma_{c,3}^d = -\frac{23562}{4,77} + \frac{863}{0,35775} - \frac{1972}{0,35775} = |-8,040| < 0,0MPa$$

6.4.3 Posouzení dekomprese – čas na konci životnosti, častá kombinace zatížení, Mmax

$$\sigma_{c,i,kz,\check{c}ast,max}^h = -\frac{N_{P,kz}}{A_c} - \frac{M_{\check{c}ast,max}}{W_h} + \frac{M_{P,kz}}{W_h} < 0,0MPa$$

$$\sigma_{c,i,kz,\check{c}ast,max}^d = -\frac{N_{P,kz}}{A_c} + \frac{M_{\check{c}ast,max}}{W_d} - \frac{M_{P,kz}}{W_d} < 0,0MPa$$

Řez 1 – krajní pole

$$\sigma_{c,1}^h = -\frac{20790}{4,77} - \frac{3516}{0,35775} + \frac{2898}{0,35775} = |-6,084| < 0,0MPa$$

$$\sigma_{c,1}^d = -\frac{20790}{4,77} + \frac{3516}{0,35775} - \frac{2898}{0,35775} = |-2,633| < 0,0MPa$$

Řez 2 – pilíř

$$\sigma_{c,2}^h = -\frac{20790}{4,77} - \frac{3866}{0,35775} + \frac{3422}{0,35775} = |-5,599| < 0,0MPa$$

$$\sigma_{c,2}^d = -\frac{20790}{4,77} + \frac{3866}{0,35775} - \frac{3422}{0,35775} = |-3,118| < 0,0MPa$$

Řez 3 – střední pole

$$\sigma_{c,3}^h = -\frac{20790}{4,77} - \frac{2444}{0,35775} + \frac{1740}{0,35775} = |-6,326| < 0,0MPa$$

$$\sigma_{c,3}^d = -\frac{20790}{4,77} + \frac{2444}{0,35775} - \frac{1740}{0,35775} = |-2,391| < 0,0MPa$$

6.4.4 Posouzení dekomprese – čas na konci životnosti, častá kombinace zatížení, Mmin

$$\sigma_{c,i,kz,\text{čast},\min}^h = -\frac{N_{P,kz}}{A_c} - \frac{M_{\text{čast},\min}}{W_h} + \frac{M_{P,kz}}{W_h} < 0,0MPa$$

$$\sigma_{c,i,kz,\text{čast},\min}^d = -\frac{N_{P,kz}}{A_c} + \frac{M_{\text{čast},\min}}{W_d} - \frac{M_{P,kz}}{W_d} < 0,0MPa$$

Řez 1 – krajní pole

$$\sigma_{c,1}^h = -\frac{20790}{4,77} - \frac{1727}{0,35775} + \frac{2898}{0,35775} = |-1,083| < 0,0MPa$$

$$\sigma_{c,1}^d = -\frac{20790}{4,77} + \frac{1727}{0,35775} - \frac{2898}{0,35775} = |-7,633| < 0,0MPa$$

Řez 2 – pilíř

$$\sigma_{c,2}^h = -\frac{20790}{4,77} - \frac{2750}{0,35775} + \frac{3422}{0,35775} = |-2,479| < 0,0MPa$$

$$\sigma_{c,2}^d = -\frac{20790}{4,77} + \frac{2750}{0,35775} - \frac{3422}{0,35775} = |-6,238| < 0,0MPa$$

Řez 3 – střední pole

$$\sigma_{c,3}^h = -\frac{20790}{4,77} - \frac{863}{0,35775} + \frac{1740}{0,35775} = |-1,907| < 0,0MPa$$

$$\sigma_{c,3}^d = -\frac{20790}{4,77} + \frac{863}{0,35775} - \frac{1740}{0,35775} = |-6,810| < 0,0MPa$$

Ve všech posuzovaných průřezích je pouze tlakové napětí – konstrukce z hlediska dekomprese vyhoví.

V konstrukci postačí navrhnout pouze minimální betonářskou výztuž podle ČSN EN 1992.

Zatížení	Čas	M	Vlákna	Normálové napětí (MPa) v řezu								
				1			2			3		
				σ	σ _{lim}	Vyhoví	σ	σ _{lim}	Vyhoví	σ	σ _{lim}	Vyhoví
Kvazistálá kombinace	TR	max	h	-1,20	2,40	Ano	-1,92	2,40	Ano	-2,84	2,40	Ano
			d	-9,84	2,40	Ano	-9,12	2,40	Ano	-8,20	2,40	Ano
			h	-0,62	2,40	Ano	-1,42	2,40	Ano	-2,23	2,40	Ano
		min	d	-9,89	2,40	Ano	-9,62	2,40	Ano	-8,82	2,40	Ano
			h	-5,59	0,00	Ano	-4,90	0,00	Ano	-6,26	0,00	Ano
			d	-4,29	0,00	Ano	-4,98	0,00	Ano	-3,62	0,00	Ano
	UP	max	h	-0,59	0,00	Ano	-1,79	0,00	Ano	-1,84	0,00	Ano
			d	-9,30	0,00	Ano	-8,09	0,00	Ano	-8,04	0,00	Ano
			h	-6,08	0,00	Ano	-5,60	0,00	Ano	-6,33	0,00	Ano
		min	d	-2,63	0,00	Ano	-3,12	0,00	Ano	-2,39	0,00	Ano
			h	-1,08	0,00	Ano	-2,48	0,00	Ano	-1,91	0,00	Ano
			d	-7,68	0,00	Ano	-6,24	0,00	Ano	-6,81	0,00	Ano
Častá kombinace	KZ	min	d									

Přehled normálových napětí - posouzení dekomprese

7 Mezní stav únosnosti

8 Návrh betonářské výztuže

Jelikož je dosaženo stavu dekomprese, v podélném směru je navržena výztuž jen dle zásad minimálního vyztužení. V příčném směru je betonářská výztuž navržena na příčné momenty m_{yD-} (v poli 1 a 2) a m_{yD+} (nad pilíři). Tyto hodnoty se získaly ze skořepinového modelu a jsou shrnuty v níže uvedené přehledné tabulce:

Použitá sestava zat.	Rovnice	Mpole1(kNm)	Mpilir(kNm)	Mpole2(kNm)
		max	max	max
gr1a	1	165,8	252,0	154,7
	2	136,9	215,9	126,7
	3	153,4	229,0	143,7
gr4	1	111,9	210,0	100,0
	2	83,4	156,0	74,0
	3	99,6	188,5	89,3
gr5 (LM3-900/150 + ψ * LM1)	1	127,0	201,0	118,8
	2	97,0	170,0	88,1
	3	114,7	177,0	107,8
gr5 (LM3-1800/200 + ψ * LM1)	1	144,5	224,0	134,7
	2	97,0	170,0	88,1
	3	132,2	201,0	123,7
gr5 (LM3 2400/240)	1	148,6	240,0	139,3
	2	83,4	159,0	74,1
	3	136,2	216,0	128,3
Skořepinový model - přehled příčných sil - MSÚ (bez předpětí)				

8.1 Návrh a posouzení v jednotlivých řezech

8.1.1 Návrh dolní výztuže v $\frac{1}{2}$ rozpětí II.pole (podélná)

$$A_s = 0,00209m^2 \text{ } \phi 20 \text{ po } 150mm$$

$$A_{s,min1} = 0,0013 \times b \times d = 0,0013 \times 1,0 \times 0,4 = 0,00052m^2$$

$$A_{s,min2} = 0,26 \times \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \times b \times d = 0,26 \times \frac{2,9}{500} \times 1,0 \times 0,4 = 0,000666m^2$$

$$A_{s,min} = \min(A_{s,min1}; A_{s,min2}) = \min(0,00052; 0,000666) = 0,00052m^2$$

$$A_{s,max} = 0,04 \times A_c = 0,04 \times 0,45 = 0,018m^2$$

Silová podmínka rovnováhy: $F_s + F_c = 0$

Poloha neutrální osy (pozn. bez předpětí):

$$x = \frac{A_s \times f_{yd}}{b \times \lambda \times f_{cd}} = \frac{0,00209 \times 434,78}{1,0 \times 0,8 \times 17} = 0,067m$$

kontrola přetvoření betonářské výztuže:

$$\varepsilon_s = \varepsilon_{cu3} \times \frac{d - x}{x} = 17,41\text{‰}$$

$$\text{kde } \varepsilon_{cu3} = 3,5\text{‰}$$

$$\varepsilon_{yd} = \frac{E_s}{f_{yd}} = \frac{200000}{434,78} = 2,17\text{‰}$$

$$\varepsilon_s > \varepsilon_{yd}$$

17,41 > 2,17‰ VYHOVUJE

rameno vnitřních sil:

$$z_c = d - 0,5 \times \lambda \times x = 0,4 - 0,5 \times 0,8 \times 0,067 = 0,373m$$

$$M_{Rd} = A_s \times f_{yd} \times z_c = 0,00209 \times 434,78 \times 0,373 = \mathbf{339,79kNm}$$

Osová vzdálenost prutů:

- nosná výztuž

$$s_{max} = \max(2 \times h; 250) = 250mm$$

$$150mm < 250mm$$

- rozdělovací výztuž

$$s_{max} = \max(3 \times h; 400) = 400mm$$

$$250mm < 400mm$$

Příčný směr: **φ22 po 250mm**

Horní výztuž **φ14 po 150mm**

8.1.2 Návrh horní výztuže nad pilířem (podélná)

$$A_s = 0,00209m^2 \text{ } \mathbf{\phi 20 \text{ po } 150mm}$$

$$A_{s,min1} = 0,0013 \times b \times d = 0,0013 \times 1,0 \times 0,4 = 0,00052m^2$$

$$A_{s,min2} = 0,26 \times \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \times b \times d = 0,26 \times \frac{2,9}{500} \times 1,0 \times 0,4 = 0,000666m^2$$

$$A_{s,min} = \min(A_{s,min1}; A_{s,min2}) = \min(0,00052; 0,000666) = 0,00052m^2$$

$$A_{s,max} = 0,04 \times A_c = 0,04 \times 0,45 = 0,018m^2$$

Silová podmínka rovnováhy: $F_s + F_c = 0$

Poloha neutrální osy (pozn. bez předpětí):

$$x = \frac{A_s \times f_{yd}}{b \times \lambda \times f_{cd}} = \frac{0,00209 \times 434,78}{1,0 \times 0,8 \times 17} = 0,067m$$

kontrola přetvoření betonářské výztuže:

$$\varepsilon_s = \varepsilon_{cu3} \times \frac{d - x}{x} = 17,41\text{‰}$$

kde $\varepsilon_{cu3} = 3,5\text{‰}$

$$\varepsilon_{yd} = \frac{E_s}{f_{yd}} = \frac{200000}{434,78} = 2,17\text{‰}$$

$$\varepsilon_s > \varepsilon_{yd}$$

17,41 > 2,17‰ VYHOVUJE

rameno vnitřních sil:

$$z_c = d - 0,5 \times \lambda \times x = 0,4 - 0,5 \times 0,8 \times 0,067 = 0,373m$$

$$M_{Rd} = A_s \times f_{yd} \times z_c = 0,00209 \times 434,78 \times 0,373 = \mathbf{339,79kNm}$$

Osová vzdálenost prutů:

- nosná výztuž

$$s_{max} = \max(2 \times h; 250) = 250mm$$

$$150mm < 250mm$$

- rozdělovací výztuž

$$s_{max} = \max(3 \times h; 400) = 400mm$$

$$250mm < 400mm$$

Příčný směr: **φ22 po 250mm**

Dolní výztuž **φ14 po 150mm**

8.1.3 Návrh dolní výztuže v ½ rozpětí I.pole (podélná)

$$A_s = 0,00209m^2 \text{ } \mathbf{\phi 20 \text{ po } 150mm}$$

$$A_{s,min1} = 0,0013 \times b \times d = 0,0013 \times 1,0 \times 0,4 = 0,00052m^2$$

$$A_{s,min2} = 0,26 \times \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \times b \times d = 0,26 \times \frac{2,9}{500} \times 1,0 \times 0,4 = 0,000666m^2$$

$$A_{s,min} = \min(A_{s,min1}; A_{s,min2}) = \min(0,00052; 0,000666) = 0,00052m^2$$

$$A_{s,max} = 0,04 \times A_c = 0,04 \times 0,45 = 0,018m^2$$

Silová podmínka rovnováhy: $F_s + F_c = 0$

Poloha neutrální osy (pozn. bez předpětí):

$$x = \frac{A_s \times f_{yd}}{b \times \lambda \times f_{cd}} = \frac{0,00209 \times 434,78}{1,0 \times 0,8 \times 17} = 0,067m$$

kontrola přetvoření betonářské výztuže:

$$\varepsilon_s = \varepsilon_{cu3} \times \frac{d - x}{x} = 17,41‰$$

$$\text{kde } \varepsilon_{cu3} = 3,5‰$$

$$\varepsilon_{yd} = \frac{E_s}{f_{yd}} = \frac{200000}{434,78} = 2,17‰$$

$$\varepsilon_s > \varepsilon_{yd}$$

17,41 > 2,17‰ VYHOVUJE

rameno vnitřních sil:

$$z_c = d - 0,5 \times \lambda \times x = 0,4 - 0,5 \times 0,8 \times 0,067 = 0,373m$$

$$M_{Rd} = A_s \times f_{yd} \times z_c = 0,00209 \times 434,78 \times 0,373 = 339,79kNm$$

Osová vzdálenost prutů:

- nosná výztuž

$$s_{max} = \max(2 \times h; 250) = 250mm$$

$$150mm < 250mm$$

- rozdělovací výztuž

$$s_{max} = \max(3 \times h; 400) = 400mm$$

$$250mm < 400mm$$

Příčný směr: $\phi 22$ po 250mm

Horní výztuž $\phi 14$ po 150mm

8.1.4 Návrh dolní výztuže v $\frac{1}{2}$ rozpětí II.pole (příčná)

$$M_{ED} = 154,7 \text{ kNm}$$

$$A_s = 0,00152 \text{ m}^2 \text{ } \phi 22 \text{ po } 250 \text{ mm}$$

$$A_{s,min1} = 0,0013 \times b \times d = 0,0013 \times 1,0 \times 0,377 = 0,00049 \text{ m}^2$$

$$A_{s,min2} = 0,26 \times \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \times b \times d = 0,26 \times \frac{2,9}{500} \times 1,0 \times 0,377 = 0,000627 \text{ m}^2$$

$$A_{s,min} = \min(A_{s,min1}; A_{s,min2}) = \min(0,00049; 0,000627) = 0,00049 \text{ m}^2$$

$$A_{s,max} = 0,04 \times A_c = 0,04 \times 0,45 = 0,018 \text{ m}^2$$

$$\text{Silová podmínka rovnováhy: } F_s + F_c = 0$$

Poloha neutrální osy (pozn. bez předpětí):

$$x = \frac{A_s \times f_{yd}}{b \times \lambda \times f_{cd}} = \frac{0,00152 \times 434,78}{1,0 \times 0,8 \times 17} = 0,049 \text{ m}$$

kontrola přetvoření betonářské výztuže:

$$\varepsilon_s = \varepsilon_{cu3} \times \frac{d - x}{x} = 23,64\text{‰}$$

$$\text{kde } \varepsilon_{cu3} = 3,5\text{‰}$$

$$\varepsilon_{yd} = \frac{E_s}{f_{yd}} = \frac{200000}{434,78} = 2,17\text{‰}$$

$$\varepsilon_s > \varepsilon_{yd}$$

23,64 > 2,17‰ VYHOVUJE

rameno vnitřních sil:

$$z_c = d - 0,5 \times \lambda \times x = 0,4 - 0,5 \times 0,8 \times 0,049 = 0,358 \text{ m}$$

$$M_{Rd} = A_s \times f_{yd} \times z_c = 0,00152 \times 434,78 \times 0,358 = 236,45 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd} = 236,45 > M_{ED} = 154,7 \text{ VYHOVUJE}$$

Osová vzdálenost prutů:

- nosná výztuž

$$s_{max} = \max(2 \times h; 250) = 250mm$$

$$250mm < 250mm$$

- rozdělovací výztuž

$$s_{max} = \max(3 \times h; 400) = 400mm$$

$$150mm < 400mm$$

Podélný směr: **Φ20 po 150mm**

Horní výztuž: **Φ14 po 250mm**

8.1.5 Návrh dolní výztuže nad pilířem (příčná)

$$M_{ED} = 252kNm$$

$$A_s = 0,00152m^2 \text{ } \Phi 22 \text{ po } 200mm$$

$$A_{s,min1} = 0,0013 \times b \times d = 0,0013 \times 1,0 \times 0,377 = 0,00053m^2$$

$$A_{s,min2} = 0,26 \times \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \times b \times d = 0,26 \times \frac{2,9}{500} \times 1,0 \times 0,377 = 0,000627m^2$$

$$A_{s,min} = \min(A_{s,min1}; A_{s,min2}) = \min(0,00052; 0,000627) = 0,00052m^2$$

$$A_{s,max} = 0,04 \times A_c = 0,04 \times 0,45 = 0,018m^2$$

Silová podmínka rovnováhy: $F_s + F_c = 0$

Poloha neutrální osy (pozn. bez předpětí):

$$x = \frac{A_s \times f_{yd}}{b \times \lambda \times f_{cd}} = \frac{0,0019 \times 434,78}{1,0 \times 0,8 \times 17} = 0,0061m$$

kontrola přetvoření betonářské výztuže:

$$\varepsilon_s = \varepsilon_{cu3} \times \frac{d - x}{x} = 19,54\text{‰}$$

$$\text{kde } \varepsilon_{cu3} = 3,5\text{‰}$$

$$\varepsilon_{yd} = \frac{E_s}{f_{yd}} = \frac{200000}{434,78} = 2,17\text{‰}$$

$$\varepsilon_s > \varepsilon_{yd}$$

19,54 > 2,17‰ VYHOVUJE

rameno vnitřních sil:

$$z_c = d - 0,5 \times \lambda \times x = 0,4 - 0,5 \times 0,8 \times 0,049 = 0,376m$$

$$M_{Rd} = A_s \times f_{yd} \times z_c = 0,0019 \times 434,78 \times 0,376 = 236,45kNm$$

$M_{Rd} = 310,52 > M_{ED} = 252kNm$ VYHOVUJE

Osová vzdálenost prutů:

- nosná výztuž

$$s_{max} = \max(2 \times h; 250) = 250mm$$

$$200mm < 250mm$$

- rozdělovací výztuž

$$s_{max} = \max(3 \times h; 400) = 400mm$$

$$150mm < 400mm$$

Podélný směr: **Φ20 po 150mm**

Horní výztuž: **Φ14 po 200mm**

8.1.6 Návrh horní výztuže v 1/2 rozpětí I.pole (příčná)

$$M_{ED} = 165,8kNm$$

$$A_s = 0,00152m^2 \text{ } \Phi 22 \text{ po } 250mm$$

$$A_{s,min1} = 0,0013 \times b \times d = 0,0013 \times 1,0 \times 0,377 = 0,00049m^2$$

$$A_{s,min2} = 0,26 \times \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \times b \times d = 0,26 \times \frac{2,9}{500} \times 1,0 \times 0,377 = 0,000627m^2$$

$$A_{s,min} = \min(A_{s,min1}; A_{s,min2}) = \min(0,00049; 0,000627) = 0,00049m^2$$

$$A_{s,max} = 0,04 \times A_c = 0,04 \times 0,45 = 0,018m^2$$

Silová podmínka rovnováhy: $F_s + F_c = 0$

Poloha neutrální osy (pozn. bez předpětí):

$$x = \frac{A_s \times f_{yd}}{b \times \lambda \times f_{cd}} = \frac{0,00152 \times 434,78}{1,0 \times 0,8 \times 17} = 0,049m$$

kontrola přetvoření betonářské výztuže:

$$\varepsilon_s = \varepsilon_{cu3} \times \frac{d - x}{x} = 23,64\text{‰}$$

$$\text{kde } \varepsilon_{cu3} = 3,5\text{‰}$$

$$\varepsilon_{yd} = \frac{E_s}{f_{yd}} = \frac{200000}{434,78} = 2,17\text{‰}$$

$$\varepsilon_s > \varepsilon_{yd}$$

23,64 > 2,17‰ VYHOVUJE

rameno vnitřních sil:

$$z_c = d - 0,5 \times \lambda \times x = 0,4 - 0,5 \times 0,8 \times 0,049 = 0,358m$$

$$M_{Rd} = A_s \times f_{yd} \times z_c = 0,00152 \times 434,78 \times 0,358 = 236,45kNm$$

$M_{Rd} = 236,45 > M_{ED} = 154,7$ VYHOVUJE

Osová vzdálenost prutů:

- nosná výztuž

$$s_{max} = \max(2 \times h; 250) = 250mm$$

$$250mm < 250mm$$

- rozdělovací výztuž

$$s_{max} = \max(3 \times h; 400) = 400mm$$

$$200mm < 400mm$$

Podélný směr: **Φ20 po 200mm**

Horní výztuž: **Φ14 po 250mm**

9 Spodní stavba

Po diagnostickém průzkumu se zjistilo, že spodní stavba je ještě v relativně dobrém stavu, tj. se nemusí zesílit ani odbourat. Odbourá se pouze část opěr kvůli vybudování nové nosné konstrukce a překlady spojující pilíře. Tyhle překlady se pak znovu postaví v téměř stejné geometrii jak jsou stávající překlady.

Důvodem znovu vybudování překladů je rozložení sil nad pilíři, kvůli překladům nevzniknou takové extrémní momenty. V neposlední řadě překlady plní stužující funkci spolu s pilíři a vytvářejí tak příznivější statické působení.

Ložiska jsou navrženy jako elastomerové **typu ELV4** s půdorysnými rozměry 200/300 v osové vzdálenosti 900mm (osy ložisek jsou pod osami jednotlivých skupin předpínacích kabelů). Na pilíři II je most uložen na vrubovém kloubu, posouzení kloubu viz níže.

V rámci této dokumentace se ostatní části spodní stavby neposuzují.

9.1 Posouzení vrubového kloubu – pilíř II

9.2 Posouzení průvlaku mezi pilíři

10 Smyková únosnost desky

11 Posouzení kotev a kotevní oblasti

12 Předběžný návrh varianty 2 – železobetonová nosná konstrukce

Druhou variantou bylo postavit místo stávající železobetonové konstrukce stejnou konstrukci (železobetonovou bez předpínací výztuže), která vyhovuje dnešním požadavkům.

12.1 Předběžný návrh betonářské výztuže

Železobetonová nosná konstrukce byla navržena na tloušťku 550mm. Po uvážení množství betonu a množství betonářské výztuže se tato varianta zdála být míň vyhovující. Z estetického hlediska taktéž vyhovuje konstrukce, kde je menší tloušťka nosní konstrukce.

12.1.1 Návrh dolní výztuže v $\frac{1}{2}$ rozpětí II.pole (podélná)

$$M_{ED} = 440 \text{ kNm}$$

$$A_s = 0,002454 \text{ m}^2 \text{ } \phi 25 \text{ po } 200 \text{ mm}$$

$$A_{s,min1} = 0,0013 \times b \times d = 0,0013 \times 1,0 \times 0,472 = 0,000614 \text{ m}^2$$

$$A_{s,min2} = 0,26 \times \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \times b \times d = 0,26 \times \frac{2,9}{500} \times 1,0 \times 0,472 = 0,000786 \text{ m}^2$$

$$A_{s,min} = \min(A_{s,min1}; A_{s,min2}) = \min(0,000614; 0,000786) = 0,000614 \text{ m}^2$$

$$A_{s,max} = 0,04 \times A_c = 0,04 \times 0,55 = 0,022 \text{ m}^2$$

$$\text{Silová podmínka rovnováhy: } F_s + F_c = 0$$

Poloha neutrální osy (pozn. bez předpětí):

$$x = \frac{A_s \times f_{yd}}{b \times \lambda \times f_{cd}} = \frac{0,002454 \times 434,78}{1,0 \times 0,8 \times 17} = 0,078 \text{ m}$$

kontrola přetvoření betonářské výztuže:

$$\varepsilon_s = \varepsilon_{cu3} \times \frac{d - x}{x} = 17,58\text{‰}$$

$$\text{kde } \varepsilon_{cu3} = 3,5\text{‰}$$

$$\varepsilon_{yd} = \frac{E_s}{f_{yd}} = \frac{200000}{434,78} = 2,17\text{‰}$$

$$\varepsilon_s > \varepsilon_{yd}$$

17,58 > 2,17‰ VYHOVUJE

rameno vnitřních sil:

$$z_c = d - 0,5 \times \lambda \times x = 0,4 - 0,5 \times 0,8 \times 0,078 = 0,441m$$

$$M_{Rd} = A_s \times f_{yd} \times z_c = 0,00152 \times 434,78 \times 0,441 = 470,65kNm$$

$M_{Rd} = 470,65 > M_{ED} = 440,0kNm/m$ VYHOVUJE

Horní výztuž: **Φ20 po 200mm**

12.1.2 Návrh dolní výztuže nad pilířem (podélná)

$$M_{ED} = 708kNm$$

$A_s = 0,003927m^2$ Φ25 po 125mm

$$A_{s,min1} = 0,0013 \times b \times d = 0,0013 \times 1,0 \times 0,4975 = 0,000647m^2$$

$$A_{s,min2} = 0,26 \times \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \times b \times d = 0,26 \times \frac{2,9}{500} \times 1,0 \times 0,4975 = 0,000786m^2$$

$$A_{s,min} = \min(A_{s,min1}; A_{s,min2}) = \min(0,000647; 0,000786) = 0,000647m^2$$

$$A_{s,max} = 0,04 \times A_c = 0,04 \times 0,55 = 0,022m^2$$

Silová podmínka rovnováhy: $F_s + F_c = 0$

Poloha neutrální osy (pozn. bez předpětí):

$$x = \frac{A_s \times f_{yd}}{b \times \lambda \times f_{cd}} = \frac{0,003927 \times 434,78}{1,0 \times 0,8 \times 17} = 0,126m$$

kontrola přetvoření betonářské výztuže:

$$\varepsilon_s = \varepsilon_{cu3} \times \frac{d - x}{x} = 10,37‰$$

kde $\varepsilon_{cu3} = 3,5‰$

$$\varepsilon_{yd} = \frac{E_s}{f_{yd}} = \frac{200000}{434,78} = 2,17‰$$

$$\varepsilon_s > \varepsilon_{yd}$$

10,37 > 2,17‰ VYHOVUJE

rameno vnitřních sil:

$$z_c = d - 0,5 \times \lambda \times x = 0,4 - 0,5 \times 0,8 \times 0,126 = 0,447m$$

$$M_{Rd} = A_s \times f_{yd} \times z_c = 0,003927 \times 434,78 \times 0,447 = 763,7 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd} = 763,7 > M_{ED} = 708 \text{ kNm/m VYHOVUJE}$$

Dolní výztuž: **φ25 po 250mm**

12.1.3 Návrh horní výztuže v ½ rozpětí I.pole (podélná)

$$M_{ED} = 572 \text{ kNm}$$

$$A_s = 0,003272 \text{ m}^2 \text{ φ25 po 150mm}$$

$$A_{s,min1} = 0,0013 \times b \times d = 0,0013 \times 1,0 \times 0,4975 = 0,000647 \text{ m}^2$$

$$A_{s,min2} = 0,26 \times \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \times b \times d = 0,26 \times \frac{2,9}{500} \times 1,0 \times 0,4975 = 0,000786 \text{ m}^2$$

$$A_{s,min} = \min(A_{s,min1}; A_{s,min2}) = \min(0,000647; 0,000786) = 0,000647 \text{ m}^2$$

$$A_{s,max} = 0,04 \times A_c = 0,04 \times 0,45 = 0,018 \text{ m}^2$$

Silová podmínka rovnováhy: $F_s + F_c = 0$

Poloha neutrální osy (pozn. bez předpětí):

$$x = \frac{A_s \times f_{yd}}{b \times \lambda \times f_{cd}} = \frac{0,003272 \times 434,78}{1,0 \times 0,8 \times 17} = 0,0105 \text{ m}$$

kontrola přetvoření betonářské výztuže:

$$\varepsilon_s = \varepsilon_{cu3} \times \frac{d - x}{x} = 13,15\text{‰}$$

$$\text{kde } \varepsilon_{cu3} = 3,5\text{‰}$$

$$\varepsilon_{yd} = \frac{E_s}{f_{yd}} = \frac{200000}{434,78} = 2,17\text{‰}$$

$$\varepsilon_s = 13,15 > \varepsilon_{yd} = 2,17\text{‰ VYHOVUJE}$$

rameno vnitřních sil:

$$z_c = d - 0,5 \times \lambda \times x = 0,4 - 0,5 \times 0,8 \times 0,105 = 0,456 \text{ m}$$

$$M_{Rd} = A_s \times f_{yd} \times z_c = 0,00152 \times 434,78 \times 0,456 = 648 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd} = 648 > M_{ED} = 572 \text{ kNm/m VYHOVUJE}$$

Horní výztuž: **φ18 po 150mm**

13 Řecké písmena

A_c	plocha obdélníkového průřezu
A_{nut}	nutná plocha předpínací výztuže
A_p	průřezová plocha předpínací výztuže
A_s	plocha betonářské výztuže
E_{cm}	sečnový modul pružnosti betonu
E_s	návrhová hodnota modulu pružnosti betonářské výztuže
f_{cd}	návrhová pevnost betonu v tlaku
f_{ck}	charakteristická válcová pevnost v tlaku ve stáří 28 dní
f_{cm}	průměrná hodnota válcové pevnosti betonu v tlaku
$f_{cp,0,1,k}$	charakteristická smluvní mez kluzu 0,1% předpínací oceli
$f_{ctk,0,05}$	dolní hodnota charakteristické pevnosti betonu v tahu
$f_{ctk,0,95}$	horní hodnota charakteristické pevnosti betonu v tahu
f_{ctm}	průměrná hodnota charakteristické pevnosti betonu v tahu
f_{pd}	návrhová mez kluzu 0,1% předpínací oceli
f_{pk}	charakteristická pevnost předpínací oceli v tahu
f_{yk}	charakteristickou mezi kluzu betonářské výztuže
$G_{k,j}$	charakteristická hodnota j-tého stálého zatížení
P	příslušná reprezentativní hodnota zatížení od předpětí
Q_k	charakteristické hodnoty nápravových sil
$Q_{k,1}$	charakteristická hodnota hlavního proměnného zatížení
$\Sigma \epsilon_p$	celkové poměrné přetvoření předpínací výztuže
W	průřezový modul
z_c	rameno vnitřních sil
α_{cc}	součinitel, kterým zohledňují dlouhodobé účinky na pevnosti v tlaku
α_q	regulační součinitel
γ_c	dílčí součinitel betonu pro mezní stavy únosnosti kromě únavy
$\gamma_{Q,1}$	součinitel hlavního proměnného zatížení
$\gamma_{Q,i}$	dílčí součinitel vedlejšího i-tého proměnného zatížení
ΔM_p	neurčité momenty od předpětí
$\Delta \epsilon_p$	přírůstek poměrného přetvoření předpínací výztuže
ϵ_c^d	poměrné přetvoření v dolních vláknech betonu
ϵ_c^p	poměrné přetvoření betonu na úrovni předpínací výztuže
ϵ_{cu3}	mezní poměrné stlačení betonu
ϵ_c^h	poměrné přetvoření v horních vláknech betonu
ϵ_p	poměrné přetvoření předpínací výztuže

ε_s	poměrné přetvoření betonářské výztuže
ζ	redukční součinitel pro nepříznivá stálá zatížení G
σ_{pmax}	maximální napětí v předpínací výztuži
ψ_0	součinitel pro kombinační hodnotu proměnného zatížení
ψ_1	součinitel pro častou hodnotu proměnného zatížení
ψ_2	součinitel pro kvazistálou hodnotu proměnného zatížení

Krytí výztuže

(krytí dle ČSN EN 1992-1-1)

Pevnostní třída	C 30/37
Typ konstrukce	desková
Zajištěna kontrola kvality	ano

Stupně vlivu prostředí

(dle ČSN EN 206-1)

Koroze způsobená karbonatací	XC4	- střídavě mokré a suché prostředí
Koroze způsobená chloridy	XD1	- mokré, občas suché prostředí
Koroze způsobená chloridy z mořské vody	-	-
Poškození betonu - mrazem	XF2	- mírně nasycen vodou s rozmraz. prostředků
Poškození betonu - chemicky	-	-
Konstrukční třída	S5	- návrhová životnost 100let (resp.80let)
Úprava konstrukční třídy	S4	
Obrus	-	-

Minimální krytí $c_{min} = \max(c_{min,b}; c_{min,dur} + \Delta c_{dur,y} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add}; 10mm) = 40 \text{ mm}$

$c_{min,b}$	= 12 mm	- průměr posuzované výztuže ($\phi + 5mm$ při $d_g > 32mm$)
$c_{min,dur}$	= 40 mm	- požadavek prostředí
$\Delta c_{dur,y}$	= 0 mm	- přídavná hodnota spolehlivosti
$\Delta c_{dur,st}$	= 0 mm	- redukce při použití nerezové oceli
$\Delta c_{dur,add}$	= 0 mm	- redukce při použití dodatečné ochrany (např. povlak)

Jmenovitá hodnota krytí $c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} = 50 \text{ mm}$

$\Delta c_{dev} = 10 \text{ mm}$ - hodnota tolerance krytí

Betonáž bude provedena do bednění.

Mezní hodnoty pro složení a vlastnosti betonu

(dle ČSN EN 206-1/Z3, Tab. NA.F.1)

Minimální pevnostní třída	C 30/37	SPLNĚNO
Maximální vodní součinitel	0,55	
Minimální obsah cementu kg/m^3	300	

MEZNI STAV ÚNOSNOSTI

Posouzení průřezu "1" - krajní pole

$$M_{p,0,d,hr} = \gamma_{p,0,hr} \cdot M_{p,0,m,hr} = -1,0 \cdot 0,75 \cdot 3865 = -2898,8 \text{ kNm}$$

$$M_{p,d,hr} = \gamma_{p,0,hr} \cdot M_{p,0,m,hr} = -1,0 \cdot 0,75 \cdot 27720 = -20790 \text{ kNm}$$

"Výchozí" napětí v horních vlákních betonového průřezu

$$\sigma_c^h = -\frac{N_{p,d,hr}}{A_c} + \frac{M_{p,0,d,hr}}{W_c^h} = -\frac{20790}{4,77} + \frac{2898,8}{0,35775} = +3,744 \text{ MPa}$$

"Výchozí" napětí v dolních vlákních

$$\sigma_c^d = -\frac{N_{p,d,hr}}{A_c} - \frac{M_{p,0,d,hr}}{W_c^d} = -\frac{20790}{4,77} - \frac{2898,8}{0,35775} = -12,96 \text{ MPa}$$

beton v úrovni
"Výchozí" napětí v předpínací výztuži

$$\sigma_{p,d,hr} = \sigma_{p,0,hr} \cdot \gamma_{p,0,hr} = \frac{I_c}{I_{p,r}} = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 = \frac{1}{12} \cdot 10,6 \cdot 0,25^3 = 0,135$$

$$\sigma_c^r = -\frac{N_{p,d,hr}}{A_c} - \frac{M_{p,0,d,hr}}{W_c^r} = -\frac{20790}{4,77} - \frac{2898,8}{0,59625} = -9,22 \text{ MPa}$$

"Výchozí napětí" v předpínací výztuži $\sigma_{p,d,hr} = \gamma_{p,0,hr} \cdot \sigma_{p,0,hr}$

$$\sigma_{p,d,hr} = \gamma_{p,0,hr} \cdot \sigma_{p,0,hr} = 1,0 \cdot 0,75 \cdot 1400 = 1050 \text{ MPa}$$

Prokázání hodnotem normálních napětí odpovídají následující hodnoty poměrných prodloužení:

$$\epsilon_c^h = \frac{\sigma_c^h}{E_{cm}} = \frac{3,744}{33000} \cdot 10^3 = 0,113\% - \text{horní vlákna betonového průřezu}$$

$$\epsilon_c^d = -\frac{\sigma_c^d}{E_{cm}} = -\frac{12,96}{33000} \cdot 10^3 = -0,398\% - \text{dolní vlákna bet. pr.}$$

$$\epsilon_c^r = -\frac{\sigma_c^r}{E_{cm}} = -\frac{9,22}{33000} \cdot 10^3 = -0,280\% - \text{beton v úrovni předp. vzt.}$$

$$\epsilon_r = \frac{\sigma_{p,d,hr}}{E_{pr}} = \frac{1050}{195000} \cdot 10^3 = 5,385\% - \text{předpínací výztuž}$$

Ověření přívazu az k mezi únosnosti

(musí se dosáhnout rovnosti vnitřních sil $N_{cd} = N_{pd}$)

$$N_{cd} = N_{pd}$$

V předpínací výtluči působí na mezi únosnosti (pro splnění) napětí:

$$f_{pd} = \frac{f_{rak}}{\gamma_s} = \frac{1557,6}{1,15} = \underline{1354,44 \text{ MPa}}$$

Žíla v předpínací výtluči:

$$N_{pd} = f_{pd} \cdot A_p = 1354,44 \cdot 11 \cdot 12 \cdot 150 = 26818 \text{ kN}$$

V klacím betonu se předpokládá rovnoměrné rozdělení napětí o hodnotě:

$$\sigma_c = \eta \cdot f_{cd} = 1,0 \cdot 17 = \underline{17 \text{ MPa}}$$

Rovnoměrné rozdělení po výšce $x_u = \lambda \cdot x = 0,8 \cdot x$, kde "x" je výška klacím oblasti přívazu

$$N_{cd} = N_{pd}$$

$$b_{eff} \cdot x_u \cdot \eta \cdot f_{cd} = N_{pd}$$

$$x_u = \frac{N_{pd}}{b_{eff} \cdot \eta \cdot f_{cd}} = \frac{26818 \cdot 10^3}{10,6 \cdot 10^3 \cdot 1,0 \cdot 17} = \underline{148,82 \text{ mm}}$$

Žíla v betonu bude

$$N_{cd} = b_{eff} \cdot x_u \cdot \eta \cdot f_{cd} = 10,6 \cdot 10^3 \cdot 148,82 \cdot 1,0 \cdot 17 = 26818 \text{ kN}$$

$$N_{cd} = N_{pd}$$

$$26818 \text{ kN} = 26818 \text{ kN} \checkmark$$

VYHOVUJE

Rameno ~~vnitřní~~ vnitřních sil

$$z = 0,95 - 0,14882/2 = 0,09 = \underline{0,286 \text{ m}}$$

Moment únosnosti

$$M_{nd} = N_{ed} \cdot z = 26818 \cdot 0,286 = \underline{\underline{7670 \text{ kNm}}}$$

$$M_{nd} = 7670 \text{ kNm} > M_{Ed} + \gamma_{p, \text{var}} \cdot 0 \cdot M_{r, \text{Ed}} = \\ = 1,35 \cdot 4262 + 0,25 \cdot \frac{1988,8}{2} = \underline{\underline{6473 \text{ kNm}}}$$

$$7670 \text{ kNm} \geq 6473 \text{ kNm} \quad \checkmark$$

VYHOVUJE

Druhý krok poskládání ("e" v obrázku)

$$x_u = 0,8 \cdot x \Rightarrow x = \frac{x_u}{0,8} = \frac{148,82}{0,8} = \underline{186 \text{ mm}}$$

Průměr poměrného přetvoření v předpínací výtlustě

$$\epsilon_p = \frac{13,500}{0,186} \cdot (0,179) = \underline{3,271 \text{ ‰}}$$

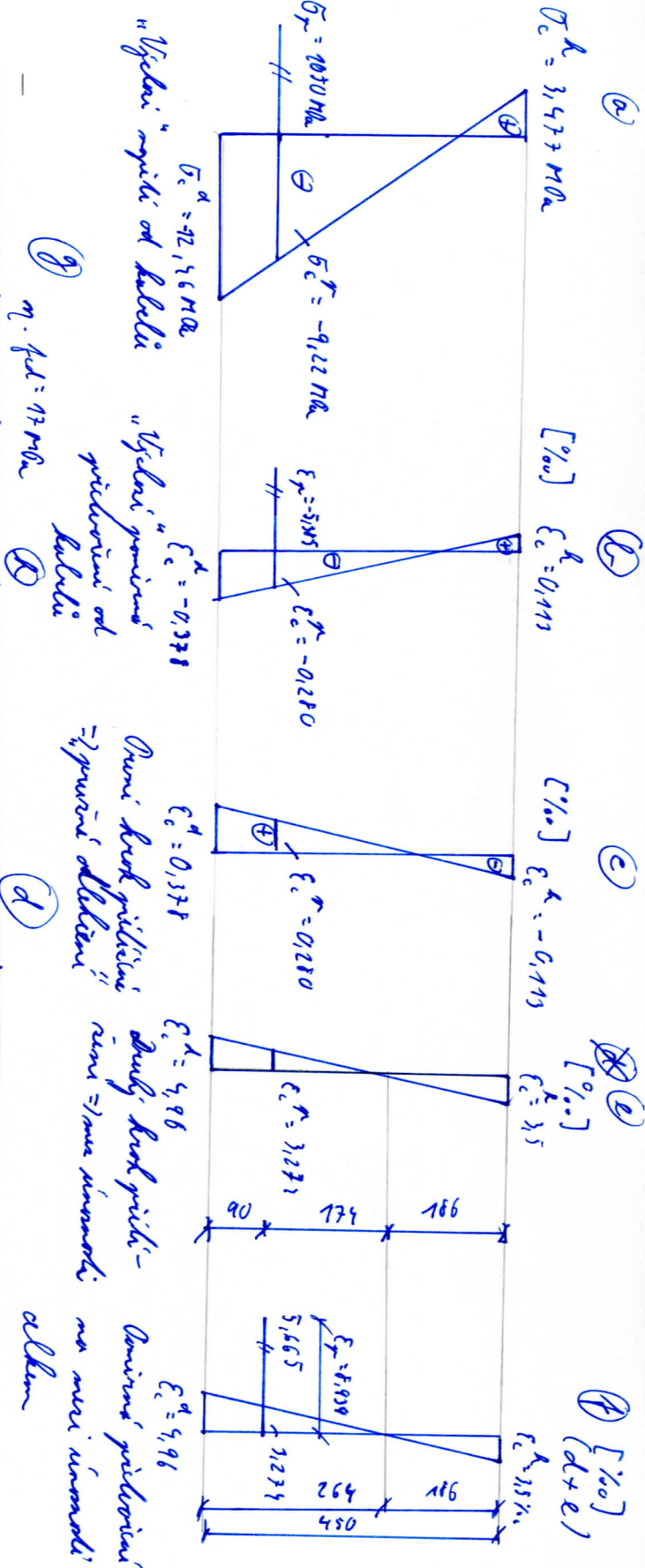
↓
neutrální osa

Celkový poměrný přetvoření v předpínací výtlustě :

$$\Sigma \epsilon_p = 5,665 + 3,271 = 8,939 \text{ ‰} > \frac{f_{pd}}{\epsilon_p} = \frac{7353,49}{195000} \cdot 100 = 6,996 \text{ ‰} \\ 8,939 \geq 6,996 \text{ ‰} \quad \checkmark \quad (\text{"f" na obr.})$$

Předpínací výtlust je zplastizována.

Průřez vyhoví



Gradiliu' normalizet' apitli' Sile u' kelom a' re Quini' oblatiini'
 ma' nari' inonari', odpridilili' v'piliu' na' nari' inonari' (B + C)
 pami' nari' p'itoviani' dle (A) dle (B) dle (C)
 Grafički' adbrani' normalizet' apitli', pami' nari' d
 p'itoviani' a' normalizet' sil' p'itoviana' " 1 "

MEZNÍ STAV ÚNOSNOSTI

Posouzení řezu „2“ (nad pilířem)

(Pro podrobnější popis postupu viz posouzení řezu „1“)

$$M_{x10,2,d,h} = \gamma_{p, \text{fav}} \cdot M_{x10,2,h} = 1,0 \cdot 0,75 \cdot 4563 = 3422,5 \text{ kNm}$$

$$M_{x1,2,d,h} = \gamma_{1, \text{fav}} \cdot M_{x1,2,h} = -1,0 \cdot 0,75 \cdot 27720 = -20790 \text{ kNm}$$

$$\sigma_c^h = -\frac{N_{x1,d,h}}{A_c} - \frac{M_{x1,d,h}}{W_c^h} = -\frac{20790}{9,77} - \frac{3422,5}{0,35775} = -13,92 \text{ MPa}$$

$$\sigma_c^d = -\frac{N_{x1,d,h}}{A_c} + \frac{M_{x10,d,h}}{W_c^d} = -\frac{20790}{9,77} + \frac{3422,5}{0,35775} = +5,206 \text{ MPa}$$

$$\sigma_c^r = -10,96 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{x1,d,h} = \gamma_{p, \text{fav}} \cdot \sigma_{x1,d,h} = 1,0 \cdot 0,75 \cdot 1400 = 1050 \text{ MPa}$$

$$\epsilon_c^h = \frac{\sigma_c^h}{E_{cm}} = \frac{-13,92}{33000} \cdot 10^3 = -0,422 \text{ ‰}$$

$$\epsilon_c^d = +\frac{\sigma_c^d}{E_{cm}} = \frac{5,206}{33000} \cdot 10^3 = 0,158 \text{ ‰}$$

$$\epsilon_c^r = -\frac{\sigma_c^r}{E_{cm}} = \frac{-10,1}{33000} \cdot 10^3 = -0,306 \text{ ‰}$$

$$\epsilon_x = \frac{\sigma_{x1,h}}{E_x} = \frac{1050}{195000} \cdot 10^3 = 5,385 \text{ ‰}$$

Osmírní přetvoření betonářské výtlusce odpovídá pomírnému přetvoření okolního betonu

$$\epsilon_c^s = \epsilon_c^d - \frac{\epsilon_c^d - \epsilon_c^h}{h} \cdot 0,36 = 0,158 - \frac{0,158 - (-0,422)}{0,95} \cdot 0,36 = -0,306 \text{ ‰}$$

↓
k dolním vláknům

Odpovídající normálová napětí v betonu ve stejných vláknech

$$\sigma_c^s = 5,206 - \frac{5,206 - (-13,92)}{0,95} \cdot 0,36 = -10,095 \text{ MPa}$$

$$N_{\text{pod}} = f_{\text{pd}} \cdot A_{\text{p}} = 1359,92 \cdot 11,12 \cdot 150 = 26818 \text{ kN}$$

- síla v naprojektované betonářské výztuži ($\phi 16/200$)

$$A_{\text{e},s} = (10,6/0,2) \cdot 200,1 = 10605 \text{ mm}^2 = 0,01061 \text{ m}^2$$

$$N_{\text{scl}} = A_{\text{e},s} \cdot f_{\text{pd}} = 0,01061 \cdot 439,78 = \underline{4610 \text{ kN}}$$

$$z_s = 0,45 \cdot 0,05 = \underline{0,4 \text{ m}}$$

- síla ve výztuži celkem

$$N_{\text{p.d}} + N_{\text{scl}} = 26818 + 4610 = 31428 \text{ kN}$$

- výška výslednice síly ve výztuži nad dolními vláknymi
přívěrem

$$z_{\text{ps}} = \frac{(26818 \cdot (0,15 - 0,091) + 4610 \cdot 0,4)}{31428} = 0,366 \text{ m}$$

$$\sigma_c = 17,0 \text{ MPa}$$

Musí platit $N_{\text{cd}} = N_{\text{pod}} + N_{\text{scl}}$

$$b_{\text{eff}} \cdot x_u \cdot \eta \cdot f_{\text{cd}} = N_{\text{cd}}$$

$$x_u = \frac{N_{\text{pod}} + N_{\text{scl}}}{b_{\text{eff}} \cdot \eta \cdot f_{\text{cd}}} = \frac{31428}{10,6 \cdot 1,0 \cdot 17} = 175,07 \text{ mm}$$

$$N_{\text{cd}} = b_{\text{eff}} \cdot x_u \cdot \eta \cdot f_{\text{cd}} = 31428 \text{ kN}$$

$$N_{\text{pod}} + N_{\text{scl}} = N_{\text{cd}}$$

$$31428 = 31428 \text{ kN} \quad \checkmark$$

VÝHODUJE

Rameno smyčkových sil

$$z = 0,45 - 0,175/2 - 0,09 = \underline{0,2725 \text{ m}}$$

Moment inerte

$$M_{rd} = - (N_{rd} + N_{sd}) \cdot z_{ps} + N_{cd} \cdot z_c$$

$$M_{rd} = - (31428) \cdot 0,366 + 31428 \cdot 0,175_{1/2} = \underline{\underline{-8753 \text{ kN/m}}}$$

$$M_{rd} = -8753 > M_{Ed} + \gamma_{p, \text{fav}} \cdot 0 \cdot M_{p, \text{br}} = 1,35 \cdot (-5565) + \\ + 0,75 \cdot 1918,8 = \underline{\underline{6073 \text{ kN/m}}}$$

$$\underline{\underline{-8753 \geq -6073 \text{ kN/m} \quad \checkmark}}$$

VYHOVUJE

$$x_u = 0,8 \cdot x \Rightarrow \frac{175}{0,8} = \underline{\underline{218,75 \text{ mm} = x}}$$

Odvěsť poměrního přetvoření - n. o.

$$\epsilon_p = \frac{3,500}{218,75} \cdot (450 - 218,75 - 20) = \underline{\underline{2,26 \text{ ‰}}}$$

Celkové poměrní přetvoření v předpínací výtlaku

$$\Sigma \epsilon_p = 5,665 + 2,26 = 7,925 \text{ ‰} \geq \frac{f_{pd}}{\epsilon_p} = 6,996 \text{ ‰}$$

$$7,925 \text{ ‰} \geq 6,996 \text{ ‰} \quad \checkmark$$

⇒ Předpínací výtlak je zplastizován

PRŮŘEZ VYHOVÍ

(a) [170a]

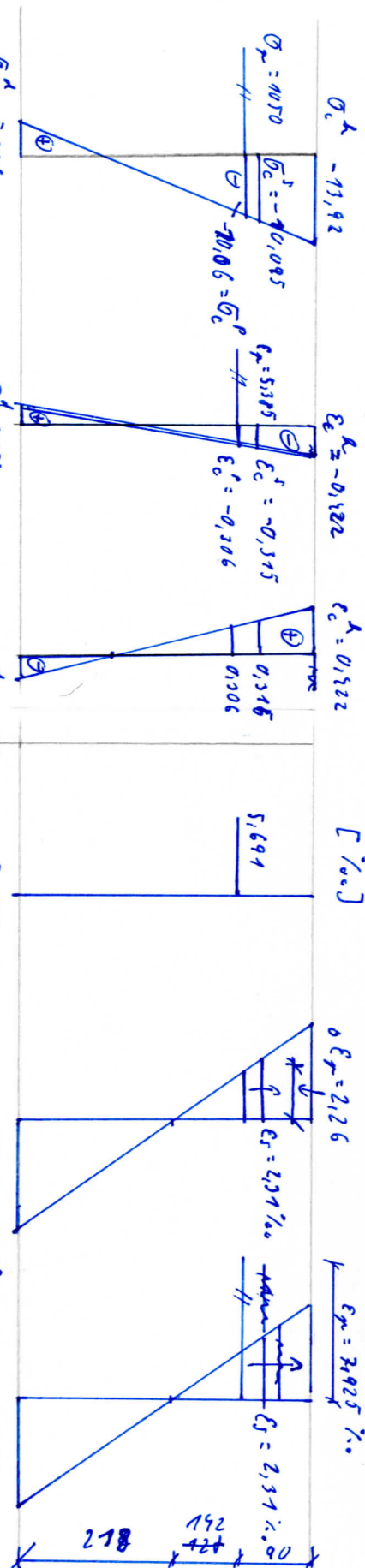
(b) [%o]

(c)

(d) = b + c

(e)

(f) (a + d)



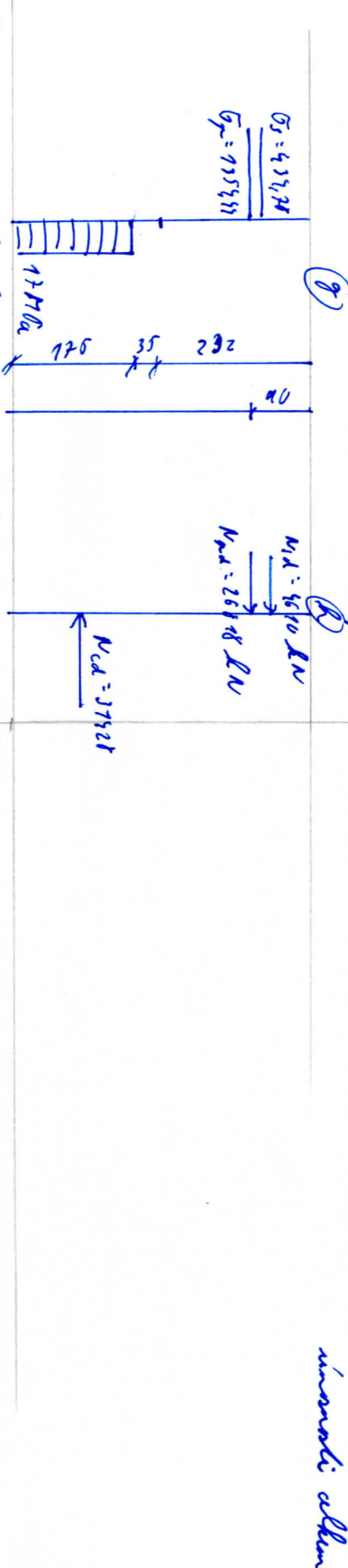
Výsledky napětí od
kalkula

Výsledky poměrů přetváření
od kalkula

1. hod. přetváření
=) poměr odlišnosti

2. hod. přetváření
=) poměr odlišnosti

Poměr na
úroveň odlišnosti



Reálné normálové
napětí na úrovni
odpovídající poměru
přetváření (g)

Reálné skutečné
napětí na úrovni
odpovídající poměru
přetváření (h)

Reálné normálové
napětí poměru přetváření a normálové
odlišnosti od poměru "2" přetváření

MEJNÍ STAV ÚNOSNOSTI

Posouzení přívalu „3“ - střední pole

$$M_{p,0,d,h} = \gamma_{p,fa} \cdot M_{p,0,m,h} = -1,0 \cdot 0,75 \cdot \overset{2320}{3865} = -1790,0 \text{ kNm}$$

$$N_{p,d,h} = \gamma_{p,fa} \cdot N_{p,0,m,h} = -1,0 \cdot 0,75 \cdot 27920 = -20790 \text{ kN}$$

(Pro podrobnější popis postupu viz posouzení řezu „1“)

$$\sigma_c^h = -\frac{N_{p,d,h}}{A_c} + \frac{M_{p,0,d,h}}{W_c^h} = -\frac{20790}{4,77} + \frac{1790,0}{0,35775} = \overset{+}{520,505 \text{ MPa}}$$

$$\sigma_c^d = -\frac{N_{p,d,h}}{A_c} - \frac{M_{p,0,d,h}}{W_c^h} = -\frac{20790}{4,77} - \frac{1790,0}{0,35775} = -9,222 \text{ MPa}$$

$$W_c^T = \frac{I_c}{e_T} = \frac{\frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3}{0,135} = \frac{\frac{1}{12} \cdot 10,6 \cdot 0,45^3}{0,135} = 0,59625 \text{ m}^3$$

$$\sigma_c^T = -\frac{N_{p,d,h}}{A_c} - \frac{M_{p,0,d,h}}{W_c^T} = -\frac{20790}{4,77} - \frac{1790,0}{0,59625} = -7,277 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{p,d,h} = \gamma_{p,fa} \cdot \sigma_{p,m,h} = 1,0 \cdot 0,75 \cdot 1400 = 1050 \text{ MPa}$$

Zjednodušen hodnocení normálových napětí odpovídají následující hodnoty pomírajích přetvoření:

$$\epsilon_c^h = +\frac{\sigma_c^h}{E_{cm}} = \frac{0,505}{33000} \cdot 10^3 = 9,075 \text{ ‰}$$

$$\epsilon_c^d = -\frac{\sigma_c^d}{E_{cm}} = -\frac{9,222 \cdot 10^3}{33000} = -0,279 \text{ ‰}$$

$$\epsilon_c^T = -\frac{\sigma_c^T}{E_{cm}} = -\frac{7,277 \cdot 10^3}{33000} = -0,220 \text{ ‰}$$

$$\epsilon_T = \frac{\sigma_{p,d,h}}{E_T} = \frac{1050}{195000} \cdot 10^3 = 5,385 \text{ ‰}$$

Přibližení průřezu a k měření únosnosti

$$N_{cd} = N_{rd}$$

$$f_{pr,d} = \frac{f_{pr,1,d}}{\gamma_s} = \frac{1557,6}{1,15} = \underline{1354,4 \text{ MPa}}$$

Účla v předepsané výztuži

$$N_{rd} = f_{pr,d} \cdot A_p = 1354,49 \cdot 11 \cdot 12 \cdot 150 = \underline{26818 \text{ kN}}$$

$$\sigma_c = \eta \cdot f_{cd} = 1,0 \cdot 17,0 = \underline{17,0 \text{ MPa}}$$

$$N_{cd} = N_{rd}$$

$$b_{eff} \cdot x_u \cdot \eta \cdot f_{cd} = N_{rd}$$

$$x_u = \frac{N_{rd}}{b_{eff} \cdot \eta \cdot f_{cd}} = \frac{26818 \cdot 10^3}{10,6 \cdot 10^3 \cdot 1,0 \cdot 17,0} = \underline{198,82 \text{ mm}}$$

$$N_{cd} = b_{eff} \cdot x_u \cdot \eta \cdot f_{cd} = 10,6 \cdot 10^3 \cdot 198,82 \cdot 1,0 \cdot 17,0 = \underline{26818 \text{ kN}}$$

$$N_{cd} = 26818 \text{ kN} = N_{rd} = 26818 \text{ kN} \checkmark$$

VÝHODUJE

Rameno vnitřních sil

$$z = 0,45 - \frac{0,19882}{2} - 0,090 = \underline{0,286 \text{ m}}$$

Moment únosnosti

$$M_{ed} = N_{cd} \cdot z = 26818 \cdot 0,286 = \underline{7670 \text{ kNm}}$$

$$M_{rd} = 7670 \text{ kNm} > M_{ed} + \gamma_{p, \text{pav}} \cdot \Delta M_{p, \text{ed}} = 1,35 \cdot 3998 + 0,75 \cdot 1910,8$$

$$\cancel{7670 \text{ kNm}} > \cancel{5927 \text{ kNm}}$$

$$7670 \text{ kNm} > 5927 \text{ kNm} \checkmark$$

VÝHODUJE

Druhý krok přitížení ("e" v obrázku)

$$x_u = 0,8 \cdot x \Rightarrow x = \frac{x_u}{0,8} = \frac{198,82}{0,8} = 248,525 \text{ mm}$$

Přínátek poměrného přetožení v předpínací výtluči

$$\sigma E_p = \frac{13,500}{0,248} \cdot (0,174) = 9,279 \text{ ‰}$$

$$\Sigma E_p = 5,385 + 0,22 + 9,279 = 14,884 \text{ ‰} > \frac{f_{pd}}{E_p} = \frac{7357,52}{195000} \cdot 10^3 = 37,474 \text{ ‰}$$

$$14,884 \text{ ‰} > 37,474 \text{ ‰}$$

✓
VÝHODNĚ (v " na obr.)

Předpínací výtluk je zplastizován

Přínátek vyhoví



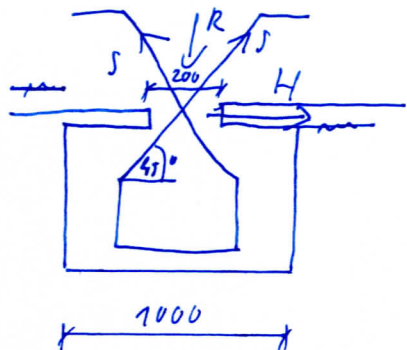
Si la v. l. de a es

⁸ " - adidm' pote
gradi' adman' per rir "

VRUBOVÝ KLOUB

$$H = N_{\text{betonu}} = 371 \text{ kN}$$

$$R_{\text{max}} = 4600 / 10,6 = 433 \text{ kN}$$



$$S = \frac{H}{2 \sin \alpha} = \frac{371}{2 \cdot \sin 45} = 262 \text{ kN}$$

$$A_{s \text{ req}} = \frac{S}{f_{\text{sd}}} = \frac{262}{439,78} = 602 \text{ mm}^2$$

návrh $a' 200$ (5 na $\text{m m}'$)

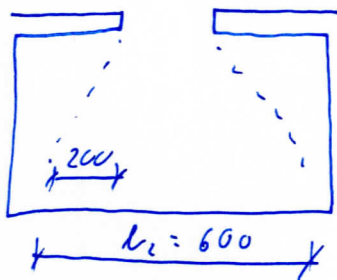
$$A_{s1} = \frac{A_{s \text{ req}}}{n} = \frac{602}{5} = 120 \text{ mm}^2$$

$$\pi r^2 = A_{s1} \Rightarrow r = \sqrt{\frac{A_{s1}}{\pi}} = \sqrt{\frac{120}{\pi}} = 6,2 \text{ mm}$$

\Rightarrow návrh $\Rightarrow \phi 16 \text{ a' } 200$

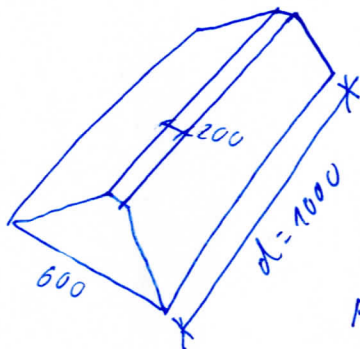
POSOUZENÍ NA MÍSTNÍ ROZDRČENÍ BETONU - PŘÍČNÝ SMĚR

$$b_1 = 200$$



$$b_2 = 2 \cdot 200 + b_1 = 600$$

$$b_2 < 3 \cdot b_1 \quad \checkmark$$



$$A_{c0} = b_1 \cdot d = 0,2 \cdot 1 = 0,2 \text{ m}^2$$

$$A_{c1} = b_2 \cdot d = 0,6 \cdot 1,0 = 0,6 \text{ m}^2$$

$$F_{rd,u} = A_{c0} \cdot f_{cd} \cdot \sqrt{\frac{A_{c1}}{A_{c0}}} = 0,2 \cdot 17 \cdot \sqrt{\frac{0,6}{0,2}}$$

$$F_{rd,u} = 5888 \text{ kN}$$

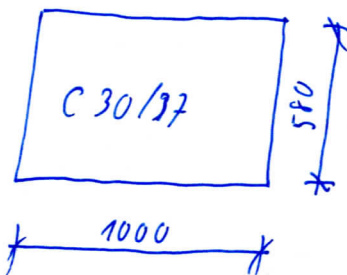
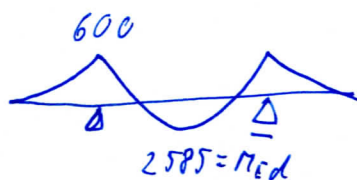
$$F_{rd,u} \leq 3 \cdot A_{c0} \cdot f_{cd} = 3 \cdot 0,2 \cdot 17 = 10200 \text{ kN}$$

$$5888 \leq 10200 \quad \checkmark \quad \text{VYHOVUJE}$$

$$R \leq F_{rd,u}$$

$$433 \text{ kN} \leq 5888 \text{ kN} \quad \checkmark \quad \text{VYHOVUJE}$$

POSOUZENÍ PRŮVLAKU MEZI PILÍŘI

OHYB ~~$f_{lul,1}$~~
(M)

$$f_{lul,1} = \frac{E_{cu}}{E_{cu} + E_{sy}} = \frac{700}{700 + 433,78} = 0,6168$$

$$f = f_{lul,1} = 0,6168$$

$$f = \frac{x}{d} \Rightarrow x = 0,6168 \cdot 467,5 = 288,359 = x$$

$$A_s = 0,8 \cdot f_{lul,1} \cdot d \cdot b \cdot f_{cd}$$

$$A_s = 0,8 \cdot 0,6168 \cdot 467,5 \cdot 1000 \cdot 17 = 3921 \text{ mm}^2$$

$$M_{rd,max} = 0,8 \cdot f_{lul,1} \cdot d \cdot b \cdot f_{cd} \cdot (d - 0,4 \cdot f_{lul,1} \cdot d)$$

$$M_{rd,max} = 1381 \text{ kNm}$$

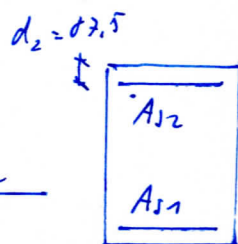
$$M_{rd} = M_{rd,max} + \Delta M_{rd}$$

$$\Delta M_{rd} = \Delta A_s \cdot f_{yd} \cdot (d - d_2)$$

$$M_{rd} = M_{ed} = 2585 \text{ kNm}$$

$$2585 = 1381 + \Delta M_{rd} \Rightarrow \Delta M_{rd} = 1200 \text{ kNm}$$

$$\Delta A_s = \frac{1200}{433,78 \cdot (467 - 87,5)} = 7263 \text{ mm}^2$$



$$A_{s1} = A_s + \Delta A_s = 3921 + 7263 = 11184 \Rightarrow \text{mávrak } 2 \times \phi 25 \text{ a } 85$$

$$A_{s1} = 11550 \text{ mm}^2$$

$$A_{s2} = 7263 \text{ mm}^2 \Rightarrow \text{návrh} \quad 2 \times \phi 20 \text{ a' } 85 \text{ mm}$$

$$\underline{A_{s2} = 7392 \text{ mm}^2}$$

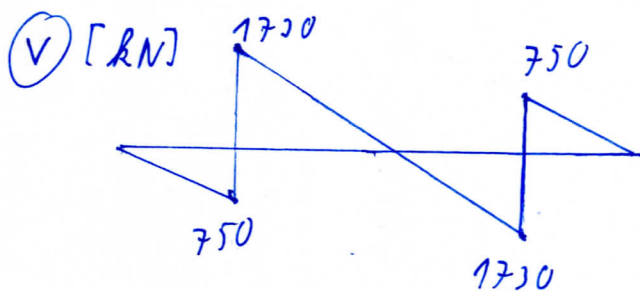
$$M_{rd} = A_{s2} \cdot f_{yd} \cdot (d - d_c) + 0,8 \cdot l \cdot x \cdot f_{cd} \cdot (d - 0,4 \cdot x)$$

$$M_{rd} = 7392 \cdot 434,70 \cdot (992,5 - 83) + 0,8 \cdot 1000 \cdot 288,359 \cdot 17 \cdot (992,5 - 0,4 \cdot 288,359)$$

$$M_{rd} = \underline{\underline{2795 \text{ kNm} \geq 2585 \text{ kNm} = M_{Ed}}}$$

✓ VYHOVUJE

POSOUZENÍ NA SMYK



Bez smykového zeslabení

$$V_{rd,cm} = C_{rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_1 \cdot f_{cd})^{1/3} \cdot b_w \cdot d$$

$$C_{rd,c} = \frac{0,18}{\rho_c} = \frac{0,18}{1,5} = 0,12 \quad k = 0,45 \cdot 1 + (200/d)^{1/2} = 1,654$$

$$\rho_1 = \frac{A_{s1}}{b_w \cdot d} = 0,009621$$

$$V_{rd,cm} = 0,12 \cdot 1,654 \cdot (100 \cdot 0,009621 \cdot 30)^{1/3} \cdot 1000 \cdot 992,5$$

$$V_{rd,cm} = 221,5 \text{ kN} < 1729 \text{ kN}$$

NEVYHOVUJE

$$\min V_{rd,c} = (v_{\min} + k_1 \cdot \sigma_{cp}) \cdot k_w \cdot d$$

$$\min V_{rd,c} = (0,107) \cdot 1,0 \cdot 0,9925 = 190,3 \text{ kN}$$

$$v_{\min} = 0,035 \cdot h^{3/2} \cdot f_{ct}^{1/2} = 0,035 \cdot \overset{1,634}{0,15}^{3/2} \cdot 30^{1/2} = 0,107$$

NAVRH SMYKOVÉ VÝZTUŽE

$$V_{rd,s} = A_{sw} \cdot f_{sw,d} \cdot z \cdot \cot \alpha / s$$

$$A_{sw} = \frac{V_{rd,s} \cdot s}{f_{sw,d} \cdot z \cdot \cot \alpha} = \frac{1730 \cdot 10^3 \cdot 100}{439,78 \cdot 0,9 \cdot 992,5 \cdot 1,0} = 897 \text{ mm}^2$$

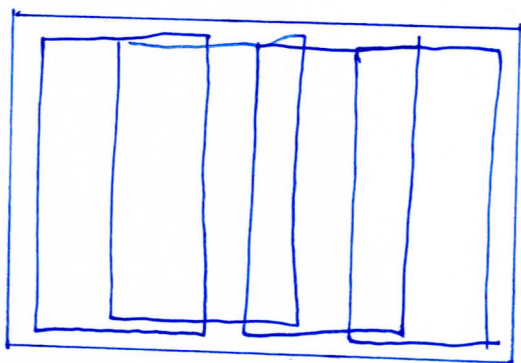
$$A_{sw} = 897 \text{ mm}^2$$

$$\text{liminly } \phi 12 = 113 \text{ mm}^2 = A_{s1}$$

$$n = \frac{A_{sw}}{A_{s1}} = \frac{897}{113} = 7,93 \Rightarrow \text{návrh 8 svislých výztuží}$$

$\phi 12 \text{ a' } 100 \text{ mm}$

ŘEZ $\phi 12 \text{ a' } 100$



uspořádání výztuže

POHLED SE SHORA



$$V_{rd,s} = 904 \cdot 439,78 \cdot 0,9 \cdot 992,5 \cdot 1,0 / 100 = 1745 \text{ kN}$$

$$V_{rd,s} \geq V_{Ed}$$

$$1745 \text{ kN} \geq 1730 \text{ kN} \quad \checkmark \quad \text{VYHOVUJE}$$

NÁVRH SMYKOVÉ VÝZTUŽE NA $V_{Ed} = 750 \text{ kN}$

$$A_{sw} = \frac{V_{Ed} \cdot s}{f_{ywd} \cdot z \cdot \cot \alpha}$$

$$A_{sw} = \frac{750 \cdot 10^3 \cdot 150}{439,78 \cdot (0,9 \cdot 492,5) \cdot 1,0} = 583 \text{ mm}^2$$

$$\text{limity } \phi 12 \Rightarrow A_{s1} = 113 \text{ mm}^2$$

$$n = \frac{A_{sw}}{A_{s1}} = \frac{583}{113} = 5,16 \Rightarrow \text{návrh 6 šikmých výztuží}$$

$\phi 12$ a' 150 mm

$$A_{sw} = 678 \text{ mm}^2$$

$$V_{rd,s} = A_{sw} \cdot f_{ywd} \cdot z \cdot \cot \alpha / s$$

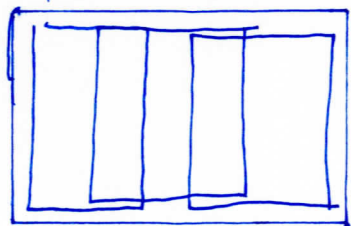
$$V_{rd,s} = 678 \cdot 439,78 \cdot 0,9 \cdot 492,5 \cdot 1,0 / 150$$

$$V_{rd,s} = \underline{\underline{871 \text{ kN}}}$$

$$V_{rd,s} \geq V_{Ed}$$

$$\text{ŘEZ} \quad \underline{\underline{871 \geq 750 \text{ kN} \checkmark}} \quad \text{VYHOVUJE}$$

$\phi 12$ a' 150



POHLED ZE SHORA



Pro umístění a uspořádání výztuže viz výkres
"Výkres výztuže v příkladech"

SMYKOVÁ ÚNOSNOST DESKY - OPĚRA

Bez smykové výztuže

$$V_{rd,c} = [C_{rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ctk})^{1/3} + k_1 \cdot \sigma_{cp}] \cdot l_w \cdot d$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1,707 \leq 2,0$$

$$k_1 = 0,15$$

$$\sigma_{cp} = 1,0 \cdot N_{Ed} / A_c = 1,0 \cdot 20790 / 4,77 = 4,358 \leq 0,2 f_{cd} = 3,9 \text{ MPa}$$

$$\rho_l = \frac{A_{sl}}{l_w \cdot d} = \frac{10653/2}{10600 \cdot 900} = 0,00126 \quad \sigma_{cp} = 3,9 \text{ MPa}$$

$$A_{sl} = 1005 \cdot 10,6 = 10653 \text{ mm}^2$$

$$V_{rd,c} = [0,12 \cdot 1,707 \cdot (100 \cdot 0,00126 \cdot 30)^{1/3} + 0,15 \cdot 3,9] \cdot 10600 \cdot 900$$

$$V_{rd,c} = \underline{3627 \text{ kN}} \leq 3659 \text{ kN} = V_{Ed} \Rightarrow \text{NEVYHODUJE}$$

$$V_{min} = 0,0035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ctk}^{1/2} = 0,0035 \cdot 1,707^{3/2} \cdot 30^{1/2} = 0,128 \text{ MPa}$$

$$V_{rd,c,min} = (V_{min} + k_1 \cdot \sigma_{cp}) \cdot l_w \cdot d = (0,128 + 0,15 \cdot 0,128) \cdot 10600 \cdot 900$$

$$V_{rd,c,min} = 3977 \text{ kN} \geq V_{rd,c} = 3627 \text{ kN}$$

NEVYHODUJE

Nutno navrhnout smykovou výztuž.

NÁVRH TRÁMINKŮ (SPONKY)

$$\phi 10 \quad s_l = 250 \text{ mm} \quad d' = 300 \text{ mm}$$

$$A_{sw} = 5 \cdot \pi \cdot \frac{d^2}{4} = 5 \cdot \pi \cdot \frac{10^2}{4} = \underline{392,7 \text{ mm}^2}$$

$$V_{rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yd} \cdot 0,9 \cdot d \cdot \cot \alpha = \frac{392,7}{250} \cdot 434,78 \cdot 0,9 \cdot 300 \cdot 1,3$$

$$V_{rd,s} = \cancel{3659} \text{ kN} \cdot 10,6 = \underline{\underline{5399,69 \text{ kN}}}$$

$$V_{Ed} \leq V_{rd,s}$$

$$\underline{3659 \text{ kN} \leq 5399 \text{ kN} \quad \checkmark}$$

VYHOVUJE

Konstrukční zásady

- stupeň vyztužení

$$\rho_w = \frac{A_{sw}}{b \cdot s} = \frac{392,7}{1000 \cdot 250} = \underline{1,57 \cdot 10^{-3}}$$

$$\rho_{w,min} = \frac{\sqrt{f_{ck}}}{f_{ykwd}} = 0,08 \cdot \frac{\sqrt{30}}{500} = \underline{8,76 \cdot 10^{-4}}$$

$$\rho_w \geq \rho_{w,min}$$

$$\underline{1,57 \cdot 10^{-3} \geq 8,76 \cdot 10^{-4} \quad \checkmark}$$

VYHOVUJE

maximální vzdálenost

$$s_{l,max} = 0,75 d \cdot (1 + \cot \alpha) = 0,75 \cdot 300 \cdot (1 + \cot 35^\circ) = 600 \text{ mm}$$

$$s_l \leq s_{l,max}$$

$$\underline{400 \leq 600 \text{ mm} \quad \checkmark}$$

VYHOVUJE

únosnost slatění diagonály

$$\gamma = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{f_{ch}}{250}\right) = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{30}{250}\right) = \underline{0,528}$$

$$V_{rd, max} = 0,5 \cdot b \cdot d \cdot \gamma \cdot f_{cd} = 0,5 \cdot 10600 \cdot 900 \cdot 0,528 \cdot 17$$

$$V_{rd, max} = \underline{19030 \text{ kN}}$$

$$V_{Ed} \leq V_{rd, max}$$

$$\underline{3659 \text{ kN} \leq 19030 \text{ kN}} \quad \checkmark$$

VYHOVUJE

Posouzení kolů a kolenní oblasti

a) pro místní sčítací plochy

$$F_{Ed} \leq F_{Rd,u} \quad F_{Ed} = P_{max} = 1500 \cdot 12 \cdot 150 = 2520 \text{ kN}$$

$$F_{Rd,u} = A_{co} \cdot f_{cd} \cdot \sqrt{\frac{A_{c1}}{A_{co}}}$$

$$A_{co} = 0,36 \cdot 0,27 = 0,0972 \text{ m}^2$$

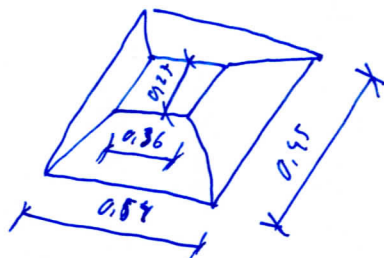
 A_{c1} : sčítací plocha

$$A_{c1} = 0,95 \cdot 0,59 = 0,291 \text{ m}^2$$

$$F_{Rd,u} = 0,0972 \cdot 10^6 \cdot 17 \cdot \sqrt{\frac{0,291}{0,0972}} = \underline{2672 \text{ kN}}$$

$$F_{Rd,u} \leq 3 \cdot A_{co} \cdot f_{cd} = 3 \cdot 0,0972 \cdot 10^6 \cdot 17 = \underline{4957 \text{ kN}}$$

✓ VYHOVUJE



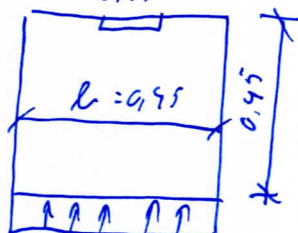
$$F_{Ed} \leq F_{Rd,u}$$

$$2520 \leq \overset{2672}{\cancel{4957}} \text{ kN}$$

✓

VYHOVUJE

b) návrh a posouzení kolenní oblasti



$$T_{l,u} = 1,4 \cdot (l-a) \cdot F_{Ed}$$

$$T_{l,u} = \frac{1}{9} \cdot \frac{(l-a)}{b} \cdot 2520 \cdot 10^3 \cdot 1,2$$

$$T_{l,u} = \underline{302,4 \text{ kN}}$$

$$A_{s,req} = \frac{T_{l,u}}{\sigma_{sd}} = \frac{302,4 \cdot 10^3}{250 \cdot 10^6} = 1,209 \cdot 10^{-3}$$

$$\Rightarrow A_{s,prov} = 3,79 \cdot 10^{-3} \Rightarrow \rho \approx 10/100 \quad \text{4 střížný železník}$$

$$A_s > A_{s,min} = 0,15 \cdot \frac{F_{Ed}}{\sigma_{sd}} = 1,511 \cdot 10^{-3} \leq 3,79 \cdot 10^{-3} \quad \checkmark \text{ VYHOVUJE}$$

© výztuž v celé kotvení oblasti
~~1x~~

$$T_{sr} = 0,03 \cdot F_{td} = 0,03 \cdot 2520 = 75,6 \text{ kN}$$

$$A_{sr} = \frac{75,6 \cdot 10^3}{250 \cdot 10^6} = 3,024 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$\Rightarrow A_s = 2 \times \phi 19 = 3,08 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

