



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

## P.2 STATICKÝ VÝPOČET

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE  
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

KLÁRA BÝČKOVÁ

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

Ing. JAN KOLÁČEK

BRNO 2013

## OBSAH STATICKÉHO VÝPOČTU

### A. NÁVRH

1	GEOMETRIE MOSTU .....	6
2	ZATÍŽENÍ .....	8
2.1	ZATÍŽENÍ STÁLÁ .....	8
2.1.1	ZATÍŽENÍ OD VLASTNÍ TÍHY .....	8
2.1.2	ZATÍŽENÍ OD OSTATNÍHO STÁLÉHO ZATÍŽENÍ .....	8
2.1.2.1	Římsy .....	8
2.1.2.2	Vozovka .....	9
2.1.2.3	Vybavení mostu .....	9
2.1.2.4	Celkové ostatní stálé zatížení .....	9
2.1.3	VNITŘNÍ SÍLY .....	10
2.2	ZATÍŽENÍ PROMĚNNÁ .....	10
2.2.1	ZATÍŽENÍ OD DOPRAVY .....	10
2.2.1.1	Svislá zatížení .....	10
2.2.1.2	Výpočet statických veličin od zatížení dopravou .....	12
2.2.2	ZATÍŽENÍ OD CHODCŮ A CYKLISTŮ .....	22
2.3	SESTAVY ZATÍŽENÍ .....	24
2.4	KOMBINACE ZATÍŽENÍ .....	25
2.4.1	OHYBOVÉ MOMENTY .....	26
2.4.1.1	Mezní stav použitelnosti .....	26
2.4.1.2	Mezní stav únosnosti .....	26
2.4.2	POSOUVAJÍCÍ SÍLY .....	27
2.4.2.1	Mezní stav použitelnosti .....	27
2.4.2.2	Mezní stav únosnosti .....	28
3	ZATÍŽENÍ ( SCIA ENGINEER ) .....	29
3.1	Roznos modelu 1 ( LM1 ) .....	29
3.2	Roznos modelu 3 ( LM3 ) .....	30

4	NÁVRH PŘEDPÍNACÍ VÝZTUŽE.....	34
4.1	KRYTÍ PŘEDPÍNACÍ VÝZTUŽE.....	34
4.2	MINIMÁLNÍ VZDÁLENOST PŘEDPÍNACÍ VÝZTUŽE .....	35
4.3	MATERIÁLOVÉ CHARAKTERISTIKY.....	35
4.4	NÁVRH PŘEDPÍNACÍ SÍLY A POČTU KABELŮ.....	35
4.4.1	POČÁTEČNÍ NAPĚTÍ .....	35
4.4.2	MAXIMÁLNÍ NAPĚTÍ PO VNESENÍ PŘEDPĚTÍ DO BETONU .....	36
4.4.3	STANOVENÍ PŘEDPÍNACÍ SÍLY Z PODMÍNEK PRO NAPĚTÍ.....	36
4.5	TRASOVÁNÍ KABELŮ .....	38
B.	POSOUZENÍ.....	39
5	MATERIÁLOVÉ CHARAKTERISTIKY.....	39
6	PRŮŘEZOVÉ CHARAKTERISTIKY.....	40
6.1	PLNÝ PRŮŘEZ.....	40
6.2	OSLABENÝ PRŮŘEZ .....	40
6.3	RAKAPITULACE HODNOT ZATÍŽENÍ.....	40
7	ZMĚNY PŘEDPĚTÍ.....	41
7.1	KRÁTKODOBÉ ZTRÁTY PŘEDPĚTÍ.....	41
7.1.1	ZTRÁTY TŘENÍM .....	43
7.1.2	ZTRÁTY POKLUZEM .....	43
7.1.3	ZTRÁTY POSTUPNÝM PŘEDPÍNÁNÍM .....	44
7.1.4	ZTRÁTY RELAXACÍ PŘEDPÍNACÍ VÝZTUŽE.....	45
7.1.5	CELKOVÉ KRÁTKODOBÉ ZTRÁTY.....	45
7.2	DLOUHODOBÉ ZMĚNY PŘEDPĚTÍ.....	46
7.2.1	ZTRÁTY SMRŠŤOVÁNÍM BETONU .....	46
7.2.2	ZTRÁTY PRUŽNÝM PŘETVOŘENÍM.....	48
7.2.3	ZTRÁTY DOTVAROVÁNÍM BETONU .....	48
7.2.4	ZTRÁTY RELAXACÍ PŘEDPÍNACÍ VÝZTUŽE.....	49
7.2.5	OKAMŽITÉ ZTRÁTY OD PROMĚNNÉHO ZATÍŽENÍ .....	50
7.2.6	CELKOVÉ DLOUHODOBÉ ZTRÁTY .....	50
8	MEZNÍ STAV POUŽITELNOSTI .....	52
8.1	OMEZENÍ NAPĚTÍ.....	52
8.1.1	NAPĚTÍ V BETONU.....	52

8.1.2	NAPĚTÍ VE VÝZTUŽI .....	53
8.1.3	OMEZENÍ TRHLIN.....	53
9	MEZNÍ STAV ÚNOSNOSTI – KOMBINACE M + N.....	55
9.1	STANOVENÍ ZÁKLADNÍHO NAPĚTÍ.....	56
9.2	URČENÍ VNITŘNÍCH SIL.....	56
9.3	STANOVENÍ PARAMETRŮ NÁVRHOVÉHO PRACOVNÍHO DIAGRAMU .....	57
9.4	URČNÍ NEUTRÁLNÍ OSY .....	57
9.5	ÚNOSNOST.....	58
9.6	KONSTRUKČNÍ ZÁSADY .....	58
9.7	NÁVRH VÝZTUŽE V PŘÍČNÉM SMĚRU .....	58
9.7.1	KONSTRUKČNÍ ZÁSADY VÝZTUŽENÍ .....	59
9.8	VÝZTUŽENÍ HORNÍHO POVRCHU.....	60
9.8.1	NÁVRH VÝZTUŽE V PODÉLNÉM SMĚRU .....	60
9.8.2	NÁVRH VÝZTUŽE V PŘÍČNÉM SMĚRU .....	61
10	MEZNÍ STAV ÚNOSNOSTI – POSOUVAJÍCÍ SÍLA V .....	63
10.1	ZJIŠTĚNÍ ČÁSTI PRVKU PORUŠENÉHO/ NEPORUŠENÉHO TRHLINOU.....	63
10.2	ÚNOSNOST PRVKU NEPORUŠENÉHO TRHLINOU .....	64
10.3	NÁVRH SMYKOVÉ VÝZTUŽE DLE KONSTRUKČNÍCH ZÁSAD .....	65
11	POSOUZENÍ KOTEV .....	66
12	NÁVRH A POSOUZENÍ KOTEVNÍ OBLASTI .....	68
12.1	OBLAST POD KAŽDOU KOTVOU.....	68
12.2	OBLAST U POVRCHU ČELA PRVKU.....	69
13	OMEZENÍ PŘETVOŘENÍ.....	70
13.1	KRÁTKODOBÉ PRŮHYBY OD ZATÍŽENÍ.....	70
13.1.1	VLASTNÍ TÍHA .....	70
13.1.2	OSTATNÍ STÁLÉ ZATÍŽENÍ.....	70
13.1.3	POHYBLIVÉ ZATÍŽENÍ .....	70
13.1.4	PŘEDPĚTÍ .....	71
13.2	DLOUHODOBÉ PRŮHYBY OD ZATÍŽENÍ .....	71
13.2.1	VLASTNÍ TÍHA .....	71



13.2.2	OSTATNÍ STÁLÉ ZATÍŽENÍ .....	71
13.2.3	PŘEDPĚTÍ .....	71
13.3	CELKOVÉ HODNOTY PRŮHYBU.....	72
13.3.1	Čas $t_0$ .....	72
13.3.2	Čas $t^\infty$ .....	72
14	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ .....	73
15	SEZNAM TABULEK .....	77
16	SEZNAM OBRÁZKŮ .....	78

# A. NÁVRH

## 1 GEOMETRIE MOSTU

Šířka desky je dána šířkovým uspořádáním vozovky S7,5.

$$b_d = 10500 \text{ mm} = 10,500 \text{ m}$$

Rozpětí mostu

$$L = 18075 \text{ mm} = 18,075 \text{ m}$$

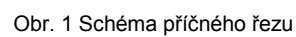
Tloušťka desky

$$h = (1/20 - 1/25) \cdot L = (1/20 - 1/25) \cdot 18075 = 903,75 - 723 \text{ mm}$$

$$\text{návrh } h = 800 \text{ mm}$$

Sklon nivelety 2,0 %

Křížení komunikace a řeky kolmé,  $\alpha = 90^\circ$



## 2 ZATÍŽENÍ

### 2.1 ZATÍŽENÍ STÁLÁ

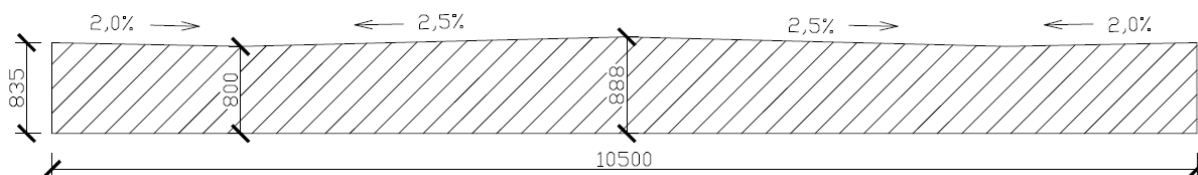
#### 2.1.1 ZATÍŽENÍ OD VLASTNÍ TÍHY

ČSN EN 1991-1-1 (730035)

Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-1: Obecná zatížení - Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb

Plocha příčného řezu

$$A_c = 8767502,507 \text{ mm}^2 = 8,768 \text{ m}^2$$



Obr. 2 Příčný řez NK

Objemová tíha

$$\gamma_c = 25 \text{ kN/m}^3$$

$$G_{0k} = A_c \cdot \gamma_c = 8,768 \text{ m}^2 \cdot 25 \text{ kN/m}^3 = 219,200 \text{ kN/m}$$

$$g_{0k} = G_{0k} / b_d = 219,200 \text{ kN/m} / 10,500 \text{ m} = \underline{20,876 \text{ kN/m}^2}$$

#### 2.1.2 ZATÍŽENÍ OD OSTATNÍHO STÁLÉHO ZATÍŽENÍ

ČSN EN 1991-1-1 (730035)

Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-1: Obecná zatížení - Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb

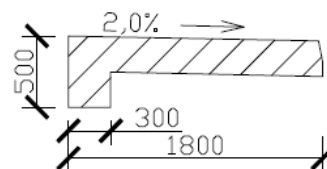
##### 2.1.2.1 Římsy

Plocha římsy

$$A_{cr} = 518495,984 \text{ mm}^2 = 0,518 \text{ m}^2$$

Objemová tíha

$$\gamma_c = 25 \text{ kN/m}^3$$



Obr. 3 Příčný řez římsy



$$G_r = A_{cř} \cdot \gamma_c = 0,518 \text{ m}^2 \cdot 25 \text{ kN/m}^3 = 12,950 \text{ kN/m/1 římsa}$$
$$25,900 \text{ kN/m/2 římsy}$$

$$g_r = G_r / b_d = 25,900 \text{ kN/m} / 10,500 \text{ m} = \underline{2,467 \text{ kN/m}^2}$$

#### 2.1.2.2 Vozovka

Sklon vozovky zanedbáme.

ACO	tl. vrstvy = 60 mm	dl. = 7500 mm
-----	--------------------	---------------

ACL	tl. vrstvy = 40 mm	dl. = 7500 mm
-----	--------------------	---------------

Objemová tíha

$$\gamma_c = 24 \text{ kN/m}^3$$

AIP	tl. vrstvy = 10 mm	dl. = 7500 mm
-----	--------------------	---------------

Objemová tíha

$$\gamma_c = 12 \text{ kN/m}^3$$

$$G_{voz} = A_{vrstvy} \cdot \gamma_{vrstvy} = 0,1 \text{ m} \cdot 7,5 \text{ m} \cdot 24 \text{ kN/m}^3 + 0,01 \text{ m} \cdot 7,5 \text{ m} \cdot 12 \text{ kN/m}^3 = 18 \text{ kN/m} + 0,9 \text{ kN/m} = 18,900 \text{ kN/m}$$

$$g_{voz} = G_{voz} / b_d = 18,900 \text{ kN/m} / 10,500 \text{ m} = 1,800 \text{ kN/m}^2$$

$$g_{voz,sup} = 1,4 \cdot g_{voz} = 1,4 \cdot 1,800 \text{ kN/m} = \underline{2,520 \text{ kN/m}^2}$$

$$g_{voz,inf} = G_{voz} / b_d = 0,8 \cdot 1,800 \text{ kN/m} = 1,440 \text{ kN/m}^2$$

#### 2.1.2.3 Vybavení mostu

Do vybavení mostu započítáváme na oboustranných římsách ocelové zábradlí a zachytý systém uvažovaný jako jednostranné mostní svodidlo JSMNH4/H2.

Svodidla – odhad zatížení 1 kN/m

Zábradlí – odhad zatížení 0,5 kN/m

$$G_{vybavení} = 2 \cdot \text{svodidlo} + 2 \cdot \text{zábradlí}$$

$$G_{vybavení} = 2 \cdot 1 \text{ kN/m} + 2 \cdot 0,5 \text{ kN/m} = 3,000 \text{ kN/m}$$

$$g_{vybavení} = G_{vybavení} / b_d = 3,000 \text{ kN/m} / 10,500 \text{ m} = \underline{0,286 \text{ kN/m}^2}$$

#### 2.1.2.4 Celkové ostatní stálé zatížení

$$g_{1k} = g_r + g_{voz,sup} + g_{vybavení} = 2,467 \text{ kN/m}^2 + 2,520 \text{ kN/m}^2 + 0,286 \text{ kN/m}^2 = \underline{5,273 \text{ kN/m}^2}$$

### 2.1.3 VNITŘNÍ SÍLY

Vnitřní síly počítány při působení rovnoměrného spojitého zatížení na prostě podepřeném nosníku dle vzorce  $M = 1/8 * g_{0k} * L^2$  a  $V = 1/2 * g_{1k} * L$ .

Stálé zatížení

$$M_{g0k} = 1/8 * g_{0k} * L^2 = 1/8 * 20,876 \text{ kN/m}^2 * 18,075^2 = \underline{852,538 \text{ kNm/m}}$$

$$V_{g0k} = 1/2 * g_{0k} * L = 1/2 * 20,876 \text{ kN/m}^2 * 18,075 = \underline{188,667 \text{ kN/m}}$$

Ostatní stálé zatížení

$$M_{g1k} = 1/8 * g_{1k} * L^2 = 1/8 * 5,273 \text{ kN/m}^2 * 18,075^2 = \underline{215,340 \text{ kNm/m}}$$

$$V_{g1k} = 1/2 * g_{1k} * L = 1/2 * 5,273 \text{ kN/m}^2 * 18,075 = \underline{47,655 \text{ kN/m}}$$

## 2.2 ZATÍŽENÍ PROMĚNNÁ

Do proměnných zatížení je uvažováno jen zatížení dopravou dle ČSN EN 1991-2. Jiná proměnná zatížení, jako působení větru, sněhu, teploty a mimořádných či stavebníčních zatížení nejsou v této práci uvažovány.

### 2.2.1 ZATÍŽENÍ OD DOPRAVY

ČSN EN 1991-2 (736203)

Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 2: Zatížení mostů dopravou

#### 2.2.1.1 Svislá zatížení

MODEL ZATÍŽENÍ 1 ( LM1 )

Model LM1 reprezentuje působení běžně se vyskytující dopravy. Zahrnuje rovnoměrné zatížení a soustředné zatížení do dvounápravy.

Soustředné zatížení o nápravové síle dle zatěžovacího pruhu komunikace působí v osových vzdálenostech 2,0/1,2 m, na dosedací ploše 0,4/0,4 m. Dvounápravu uvažujeme v ose pruhu. Dvounápravu umísťujeme do pruhů tak, aby vyvolala nejnepříznivější účinek zatížení.

Rovnoměrné spojitě zatížení působí po celé šířce zatěžovacího pruhu, po délce mostu.

Konstrukce se pro výpočet maximálních účinků zatížení dělí do zatěžovacích pruhů.

Pro výpočet účinků od modelu LM1 dělíme šířku vozovky dle následující tabulky.

Tab. 1 Dělení vozovky do zatěžovacích pruhů

Šířka vozovky $w$	Počet zatěžovacích pruhů	Šířka zatěžovacího pruhu $w_l$	Šířka zbývajících plochy
$w < 5.4 \text{ m}$	$n_l = 1$	3 m	$w - 3 \text{ m}$
$5.4 \text{ m} \leq w < 6 \text{ m}$	$n_l = 2$	$w / 2$	0
$6 \text{ m} \leq w$	$n_l = \text{Int} ( w / 3 )$	3 m	$w - 3 \times n_l$

$$n_l = \text{Int} ( w / 3 ) = 7,5 / 3 = 2$$

$$w - 3 \cdot n_l = 7,5 - 3 \cdot 2 = 1,5 \text{ m}$$

$$\text{pruh č. 1} - w = 3 \text{ m}$$

$$\text{pruh č. 2} - w = 3 \text{ m}$$

$$\text{zbývajících plocha} - w = 1,5 \text{ m}$$

Tab 2. Charakteristické hodnoty modelu 1

Umístění	Dvojnáprava (TS)	Rovnoměrné zat. (UDL)
	$Q_{ik}$ [kN]	$q_{ik}$ (nebo $q_{rk}$ ) [kN/m <sup>2</sup> ]
pruh č.1	300	9
pruh č.2	200	2.5
pruh č.3	100	2.5
ostatní pruhy	0	2.5
zbývajících plocha ( $q_{rk}$ )	0	2.5

Tab 3. Hodnoty regulačních součinitelů  $\alpha$  pro ČR

skupina pozemních komunikací	$\alpha_{Q1}$	$\alpha_{Q2}$	$\alpha_{Q3}$	$\alpha_{q1}$	$\alpha_{q2}$	$\alpha_{qi} (i>2)$ a $\alpha_{qr}$
1	1.0	1.0	1.0	1.0	2.4	1.2
2	0.8	0.8	0.8	0.45 <sup>1)</sup>	1.6	1.6

Uvažujeme skupinu pozemní komunikace 1.

Pruh č. 1      TS = 300 kN/náprava \*  $\alpha_{Q1}$  = 300 \* 1 = 300 kN/náprava

$$\text{UDL} = 9 \text{ kN/m}^2 * \alpha_{Q1} = 9 * 1 = 9,0 \text{ kN/m}^2$$

Pruh č. 1      TS = 200 kN/náprava \*  $\alpha_{Q1}$  = 200 \* 1 = 200 kN/náprava

$$\text{UDL} = 2,5 \text{ kN/m}^2 * \alpha_{Q1} = 2,5 * 2,4 = 6,0 \text{ kN/m}^2$$

Pruh č. 1

TS = 0 kN

$$\text{UDL} = 2,5 \text{ kN/m}^2 * \alpha_{Q1} = 2,5 * 1,2 = 3,0 \text{ kN/m}^2$$

## MODEL ZATÍŽENÍ 2 ( LM2 )

Neuvažujeme, je vhodný zejména pro krátké prvky.

## MODEL ZATÍŽENÍ 3 ( LM3 )

Model zatížení 3 zahrnuje soubor náprav na silnicích s povoleným zvláštním zatížením.

Vozovka se pro model zatížení 3 dělí na zatěžovací pruhy bez započítání vodících proužků a krajnic.

Uvažujeme zvláštní vozidlo pro silnice III.třídy. Vozidlo má celkovou tíhu 900 kN, kdy na jednotlivou nápravu působí 150 kN. Vozidlo má celkově šest náprav v osových vzdálenostech 1,5 m. Dosedací plocha kola je 1,2/0,15 m, kdy mezi koly je mezera 0,3 m. Specifikace vozidla je uvedena v následující tabulce.

Tab 4. Parametry zvláštního vozidla 900/150

Označení, celková tíha	900/150, 900 kN
Umístění zatížení	Zvláštní vozidlo se pohybuje v prostoru zatěžovacích pruhů.
Kombinace zatížení	Po celé délce mostu musí být vyloučena veškerá ostatní doprava.
Rychlost	Normální ( $\leq 70 \text{ km/hod}$ )
Dynamický součinitel	$\phi = 1.25$
Poznámka	Jedná se o jedinné vozidlo na mostě.

## MODEL ZATÍŽENÍ 4 ( LM4 )

Model LM4 reprezentuje zatížení davem lidí. Model se uvažuje v případech, kdy model LM1 plně nevystihuje toto zatížení.

Neuvažujeme, most se nachází na okraji města, je nepravděpodobný výskyt davu. Účinky tohoto modelu dostatečně vystihuje model LM1.

### 2.2.1.2 Výpočet statických veličin od zatížení dopravou

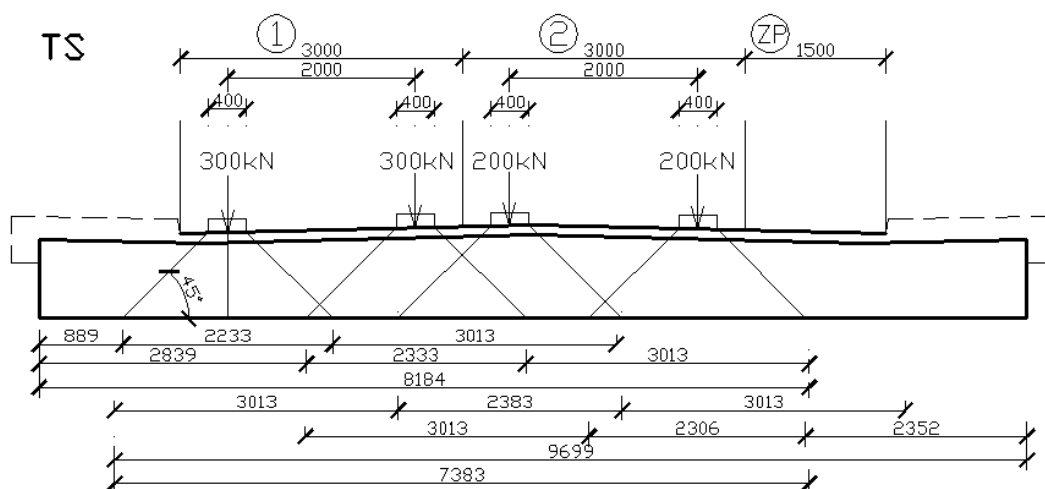
## MODEL ZATÍŽENÍ 1 ( LM1 )

Pro výpočet vnitřních sil od účinků dopravy využijeme metodu spolupůsobící šířky, kdy roznos zatížení provádíme na spodní líc konstrukce pod roznášecím úhlem  $45^\circ$ .

Roznos řešíme přes vozovku, jejíž sklon nezanedbáme. Po roznosu zatížení na roznášecí šířku a délku započítáme spolupůsobící hodnoty šířky  $k$ , dle počítané vnitřní síly.

- Výpočet pro maximální ohybové momenty

TS1	- síla 1	$b_{r,ts1,1} = 2233 \text{ mm}$
	- síla 2	$b_{r,ts1,2} = 2333 \text{ mm}$
	- $k = L/6 = 18075 \text{ mm} / 6$	$k = 3012,5 \text{ mm}$
	- celkové $b_s$	$b_{s,ts1} = 8184 \text{ mm}$
	- síla 1	$d_{r,ts1,1} = 2233 \text{ mm}$
	- síla 2	$d_{r,ts1,2} = 2333 \text{ mm}$
	- průměr	$d_{r,ts1} = 2283 \text{ mm}$
TS2	- síla 1	$b_{r,ts2,1} = 2383 \text{ mm}$
	- síla 2	$b_{r,ts2,2} = 2306 \text{ mm}$
	- $k = L/6 = 18075 \text{ mm} / 6$	$k = 3012,5 \text{ mm}$
	- celkové $b_s$	$b_{s,ts2} = 9699 \text{ mm}$
	- síla 1	$d_{r,ts2,1} = 2383 \text{ mm}$
	- síla 2	$d_{r,ts2,2} = 2306 \text{ mm}$
	- průměr	$d_{r,ts2} = 2344,5 \text{ mm}$



Obr. 4 Roznos TS v příčném směru

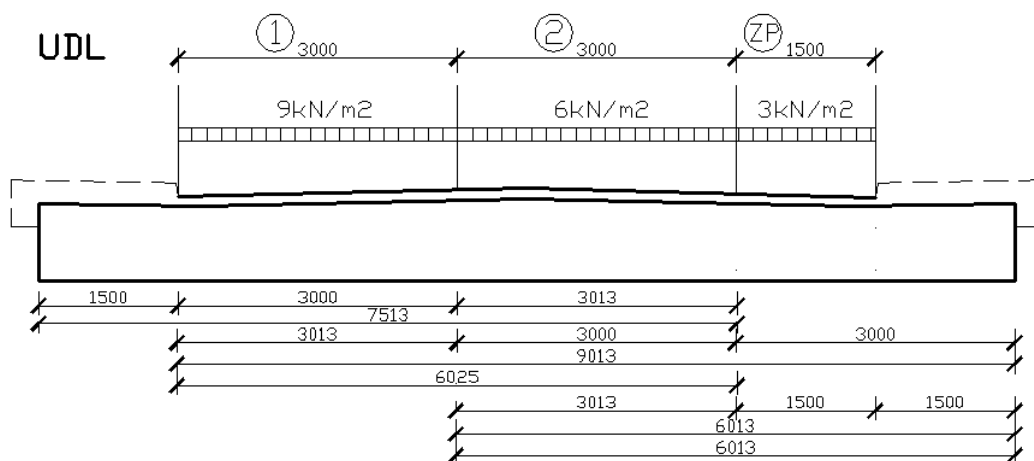
UDL 1	- $k = L/6 = 18075 \text{ mm} / 6$	$k = 3012,5 \text{ mm}$
	- $b_r$	$b_{r,udl1} = 3000 \text{ mm}$
	- celkové $b_s$	$b_{s,udl1} = 7513 \text{ mm}$

UDL 2

- $k = L/6 = 18075 \text{ mm} / 6$   $k = 3012,5 \text{ mm}$
- $b_r$   $b_{r,udl2} = 3000 \text{ mm}$
- celkové  $b_s$   $b_{s,udl2} = 9013 \text{ mm}$

UDL ZP

- $k = L/6 = 18075 \text{ mm} / 6$   $k = 3012,5 \text{ mm}$
- $b_r$   $b_{r,udlzp} = 1500 \text{ mm}$
- celkové  $b_s$   $b_{s,udlzp} = 6013 \text{ mm}$



Obr. 5 Roznos UDL v příčném směru

Pro výpočet ohybových momentů od TS sloučíme 1. a 2. nápravu. Délka mostu je větší jak 10 m.

Pro výpočet ohybových momentů použijeme příčinkové čáry.

Kombinaci momentů od dvounáprav pak řešíme přes hodnotu  $c$  – hodnotu překryvu spolupůsobících šířek.

TS1

$$q_{ts1} = TS1 / b_{s,ts1} / d_{r,ts1} = 2 * 300 \text{ kN} / 8,184 \text{ m} / 2,283 \text{ m} = 32,123 \text{ kN/m}^2$$

$$M_{ts1} = q_{ts1} * A_{qts1} = 32,123 \text{ kN/m}^2 * 9,667 = 310,533 \text{ kNm/m}$$

TS2

$$q_{ts2} = TS2 / b_{s,ts2} / d_{r,ts2} = 2 * 200 \text{ kN} / 9,699 \text{ m} / 2,3445 \text{ m} = 17,591 \text{ kN/m}^2$$

$$M_{ts2} = q_{ts2} * A_{qts2} = 17,591 \text{ kN/m}^2 * 9,907 = 174,274 \text{ kNm/m}$$

kombinace TS1 + TS2

$$M_{1,2} = M_{ts1} + M_{ts2} * c / (2 * b_{s,ts1} - c)$$

$$M_{1,2} = 310,533 + 174,274 * 7,385 / (2 * 8,184 - 7,383) = 453,734 \text{ kNm/m}$$

$$M_{2,1} = M_{ts2} + M_{ts1} * c / (2 * b_{s,ts2} - c)$$

$$M_{1,2} = 174,274 + 310,533 * 7,385 / ( 2 * 9,699 - 7,383 ) = 365,091 \text{ kNm/m}$$

$$\underline{\max M_{ts} = 453,734 \text{ kNm/m}}$$

UDL1

$$q_{udl1} = q_{udl1} * 3 \text{ m} / b_{s,udl1} = 9,0 \text{ kN/ m}^2 * 3 \text{ m} / 7,513 \text{ m} = 3,594 \text{ kN/m}^2$$

$$M_{udl1} = 1/8 * q_{udl1} * L^2 = 1/8 * 3,594 \text{ kN/m}^2 * 18,075^2 = 146,773 \text{ kNm/m}$$

UDL2

$$q_{udl2} = q_{udl2} * 3 \text{ m} / b_{s,udl2} = 6,0 \text{ kN/ m}^2 * 3 \text{ m} / 9,013 \text{ m} = 1,997 \text{ kN/m}^2$$

$$M_{udl2} = 1/8 * q_{udl2} * L^2 = 1/8 * 1,997 \text{ kN/m}^2 * 18,075^2 = 81,554 \text{ kNm/m}$$

UDL ZP

$$q_{udlzp} = q_{udlzp} * 1,5 \text{ m} / b_{s,udlzp} = 3,0 \text{ kN/ m}^2 * 1,5 \text{ m} / 6,013 \text{ m} = 0,748 \text{ kN/m}^2$$

$$M_{udlzp} = 1/8 * q_{udlzp} * L^2 = 1/8 * 0,748 \text{ kN/m}^2 * 18,075^2 = 30,547 \text{ kNm/m}$$

kombinace UDL2 + UDL ZP

$$M_{1,2} = M_{udl2} + M_{udlzp} * c / ( 2 * b_{s,udl2} - c )$$

$$M_{1,2} = 81,554 + 30,547 * 6,013 / ( 2 * 9,013 - 6,013 ) = 96,844 \text{ kNm/m}$$

$$M_{2,1} = M_{udlzp} + M_{udl2} * c / ( 2 * b_{s,udlzp} - c )$$

$$M_{1,2} = 30,547 + 81,544 * 6,013 / ( 2 * 6,013 - 6,013 ) = 112,101 \text{ kN/m} = M_{udl2'}$$

kombinace UDL1 + UDL2'

$$M_{1,2} = M_{udl1} + M_{udl2'} * c / ( 2 * b_{s,ts1} - c )$$

$$M_{1,2} = 146,773 + 112,101 * 6,025 / ( 2 * 7,513 - 6,025 ) = 221,810 \text{ kNm/m}$$

$$M_{2,1} = M_{udl2'} + M_{udl1} * c / ( 2 * b_{s,udl2} - c )$$

$$M_{1,2} = 112,101 + 146,773 * 6,025 / ( 2 * 9,013 - 6,025 ) = 185,787 \text{ kNm/m}$$

$$\underline{\max M_{udl} = 221,810 \text{ kNm/m}}$$

- Výpočet maximální posouvající síly

TS1

- síla 1

$$b_{r,ts1,1} = 2233 \text{ mm}$$

- síla 2

$$b_{r,ts1,2} = 2333 \text{ mm}$$

- x

$$x = 1141,250 \text{ mm}$$

$$- k = x/3 = 1141,250 \text{ mm} / 3 \quad x = 380,417 \text{ mm}$$

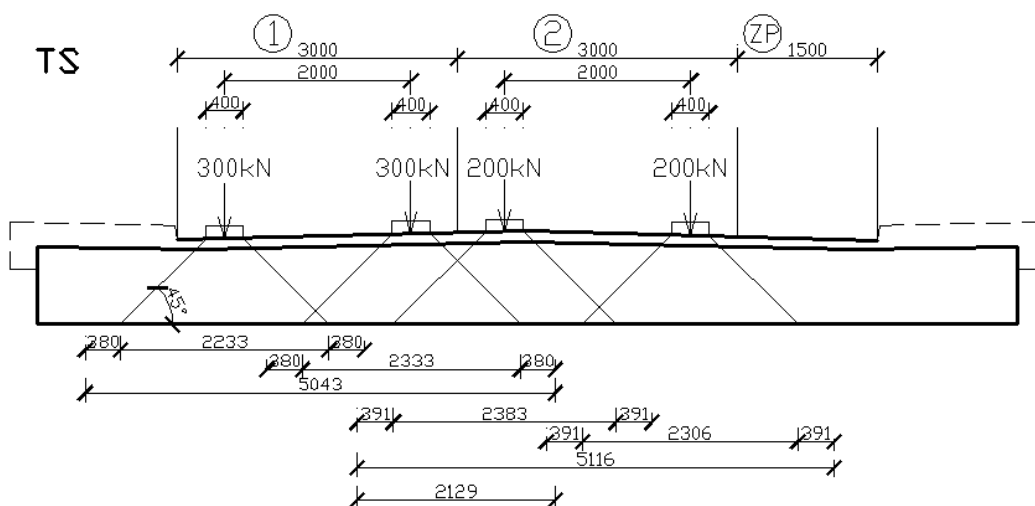
- celkové  $b_s$

$$b_{s,ts1} = 5043 \text{ mm}$$

- síla 1  $d_{r,ts1,1} = 2233 \text{ mm}$
- síla 2  $d_{r,ts1,2} = 2333 \text{ mm}$
- průměr  $d_{r,ts1} = 2283 \text{ mm}$

TS2

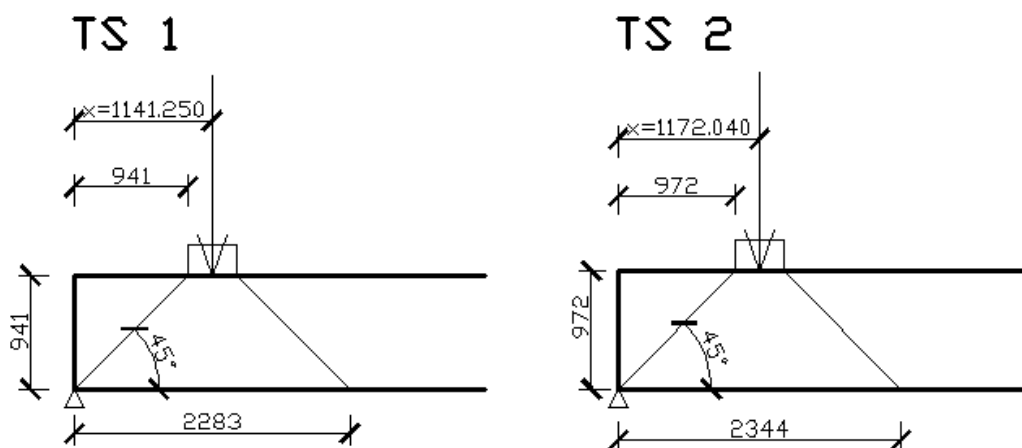
- síla 1  $b_{r,ts2,1} = 2383 \text{ mm}$
- síla 2  $b_{r,ts2,2} = 2306 \text{ mm}$
- x  $x = 1172,040 \text{ mm}$
- $k = x/3 = 1172,040 \text{ mm} / 3 \quad x = 390,680 \text{ mm}$
- celkové  $b_s$   $b_{s,ts2} = 5116 \text{ mm}$
- síla 1  $d_{r,ts2,1} = 2383 \text{ mm}$
- síla 2  $d_{r,ts2,2} = 2306 \text{ mm}$
- průměr  $d_{r,ts2} = 2344,5 \text{ mm}$



Obr. 6 Roznos TS v příčném směru

První nápravu pro výpočet maximálních posouvajících sil postavíme tak, by se účinek roznášel pod úhlem  $45^\circ$  do podpory.





Obr. 7 Roznos TS v podélném směru

UDL	- x	x = 9037,5 mm
	- k = x/3 = 9037,5 mm / 3	k = 3012,5 mm
UDL 1	- b <sub>r</sub>	b <sub>r,udl2</sub> = 3000 mm
	- celkové b <sub>s</sub>	b <sub>s,udl2</sub> = 7513 mm
UDL 2	- b <sub>r</sub>	b <sub>r,udl2</sub> = 3000 mm
	- celkové b <sub>s</sub>	b <sub>s,udl2</sub> = 9013 mm
UDL ZP	- b <sub>r</sub>	b <sub>r,udl2</sub> = 1500 mm
	- celkové b <sub>s</sub>	b <sub>s,udl2</sub> = 6013 mm

Pro výpočet posouvajících sil od TS sloučíme 1. a 2. nápravu. Délka mostu je větší jak 10 m

TS1

$$q_{ts1} = TS1 / b_{s,ts1} / d_{r,ts1} = 2 * 300 \text{ kN} / 5,043 \text{ m} / 2,283 \text{ m} = 52,114 \text{ kN/m}^2$$

$$V_{ts1} = q_{ts1} * A_{qts1} = 52,114 \text{ kN/m}^2 * 2,134 = 310,533 \text{ kN/m}$$

TS2

$$q_{ts2} = TS2 / b_{s,ts2} / d_{r,ts2} = 2 * 200 \text{ kN} / 5,116 \text{ m} / 2,3445 \text{ m} = 33,349 \text{ kN/m}^2$$

$$V_{ts2} = q_{ts2} * A_{qts2} = 33,349 \text{ kN/m}^2 * 2,195 = 174,274 \text{ kNm/m}$$

kombinace TS1 + TS2

$$V_{1,2} = V_{ts1} + V_{ts2} * c / ( 2 * b_{s,ts1} - c )$$

$$V_{1,2} = 111,316 + 73,201 * 2,129 / ( 2 * 5,043 - 2,219 ) = 130,902 \text{ kNm/m}$$

$$V_{2,1} = V_{ts2} + V_{ts1} * c / ( 2 * b_{s,ts2} - c )$$

$$V_{1,2} = 73,201 + 111,316 * 2,129 / ( 2 * 5,116 - 2,219 ) = 102,448 \text{ kNm/m}$$

$$\underline{\max V_{ts} = 130,902 \text{ kNm/m}}$$

UDL1

$$q_{udl1} = q_{udl1} * 3 \text{ m} / b_{s,udl1} = 9,0 \text{ kN/ m}^2 * 3 \text{ m} / 7,513 \text{ m} = 3,594 \text{ kN/m}^2$$

$$V_{udl1} = 1/2 * q_{udl1} * L = 1/2 * 3,594 \text{ kN/m}^2 * 18,075 = 32,481 \text{ kNm/m}$$

UDL2

$$q_{udl2} = q_{udl2} * 3 \text{ m} / b_{s,udl2} = 6,0 \text{ kN/ m}^2 * 3 \text{ m} / 9,013 \text{ m} = 1,997 \text{ kN/m}^2$$

$$V_{udl2} = 1/2 * q_{udl2} * L = 1/2 * 1,997 \text{ kN/m}^2 * 18,075 = 18,048 \text{ kNm/m}$$

UDL ZP

$$q_{udlzp} = q_{udlzp} * 1,5 \text{ m} / b_{s,udlzp} = 3,0 \text{ kN/ m}^2 * 1,5 \text{ m} / 6,013 \text{ m} = 0,748 \text{ kN/m}^2$$

$$V_{udlzp} = 1/2 * q_{udlzp} * L = 1/2 * 0,748 \text{ kN/m}^2 * 18,075 = 6,760 \text{ kNm/m}$$

kombinace UDL2 + UDL ZP

$$V_{1,2} = V_{udl2} + V_{udlzp} * c / ( 2 * b_{s,udl2} - c )$$

$$V_{1,2} = 18,048 + 6,760 * 6,013 / ( 2 * 9,013 - 6,013 ) = 21,432 \text{ kNm/m}$$

$$V_{2,1} = V_{udlzp} + V_{udl2} * c / ( 2 * b_{s,udlzp} - c )$$

$$V_{1,2} = 6,760 + 18,048 * 6,013 / ( 2 * 6,013 - 6,013 ) = 24,808 \text{ kN/m} = M_{udl2'}$$

kombinace UDL1 + UDL2'

$$V_{1,2} = V_{udl1} + V_{udl2'} * c / ( 2 * b_{s,ts1} - c )$$

$$V_{1,2} = 32,481 + 24,808 * 6,025 / ( 2 * 7,513 - 6,025 ) = 49,087 \text{ kNm/m}$$

$$V_{2,1} = V_{udl2'} + V_{udl1} * c / ( 2 * b_{s,udl2} - c )$$

$$V_{1,2} = 24,808 + 32,481 * 6,025 / ( 2 * 9,013 - 6,025 ) = 41,115 \text{ kNm/m}$$

$$\underline{\max V_{udl} = 49,087 \text{ kNm/m}}$$

### MODEL ZATÍŽENÍ 3 ( LM3 )

- Výpočet pro maximální ohybové momenty

Pro výpočet vnitřních sil od modelu LM3 započítáme dynamický součinitel  $\varphi$ , dle rychlosti zvláštního vozidla.

$$\varphi = 1,25$$

$$\text{síla } Q1 = q * \varphi = 150 * 1,25 = 187,5 \text{ kN}$$

$$\text{celková tíha} = 6 * Q1 = 6 * 187,5 = 1125 \text{ kN}$$

$$k = L/6 = 18075/6 = 3012,5 \text{ mm}$$

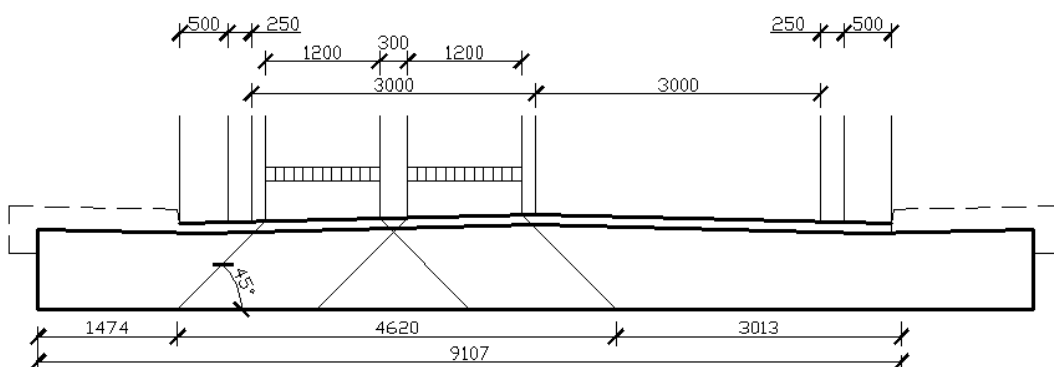
$$b_r = 4628 \text{ mm}$$

$$\text{celkové } b_{s,lm3} = 9107 \text{ mm}$$

$$d_r = 2070 \text{ mm}$$

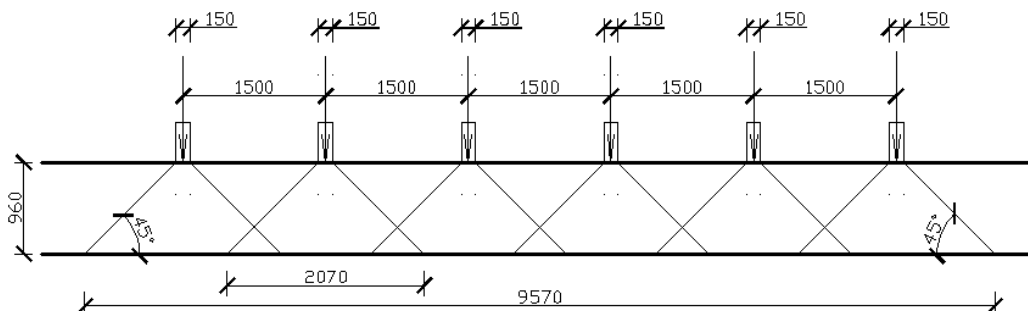
$$\text{celkové } d_{r,lm3} = 9570 \text{ mm}$$

### LM3 900/150



Obr. 8 Roznos LM3 v příčném směru

### LM3 900/150



Obr.9 Roznos LM3 v podélném směru

$$q_{lm3} = Q / b_{s,lm3} / d_{r,lm3} = 1125 \text{ kN} / 9,107 \text{ m} / 9,570 \text{ m} = 12,909 \text{ kN/m}^2$$

$$M_{lm3} = q_{lm3} * A_{q,lm3} = 12,909 \text{ kN/m}^2 * 31,780 = 410,248 \text{ kNm/m}$$

$$\underline{\max M_{lm3} = 410,248 \text{ kNm/m}}$$

- Výpočet pro maximální posouvající síly

Pro výpočet posouvajících sil je rozhodující vzdálenost nápravy od podpory konstrukce, kdy se se vzdáleností snižuje účinek nápravy na velikost síly.

$Q_1 = 187,5 \text{ kN},$	$x_1 = 1054 \text{ mm},$	$k_1 = x_1/3 = 351,3,$	$b_r = 4628 \text{ mm}$
$Q_2 = 187,5 \text{ kN},$	$x_2 = 2554 \text{ mm},$	$k_1 = x_2/3 = 851,3,$	$b_r = 4628 \text{ mm}$
$Q_3 = 187,5 \text{ kN},$	$x_3 = 4054 \text{ mm},$	$k_1 = x_3/3 = 1351,3,$	$b_r = 4628 \text{ mm}$
$Q_4 = 187,5 \text{ kN},$	$x_4 = 5554 \text{ mm},$	$k_1 = x_4/3 = 1851,3,$	$b_r = 4628 \text{ mm}$
$Q_5 = 187,5 \text{ kN},$	$x_5 = 7054 \text{ mm},$	$k_1 = x_5/3 = 2351,3,$	$b_r = 4628 \text{ mm}$
$Q_6 = 187,5 \text{ kN},$	$x_6 = 8554 \text{ mm},$	$k_1 = x_6/3 = 2851,3,$	$b_r = 4628 \text{ mm}$

$$b_{s1} = b_{r1} + 2 * k = 4628 + 2 * 351,3 = 5330,6 \text{ mm}$$

$$b_{s2} = b_{r2} + 2 * k = 4628 + 2 * 851,3 = 6330,6 \text{ mm}$$

$$b_{s3} = b_{r3} + 2 * k = 4628 + 2 * 1351,3 = 7330,6 \text{ mm}$$

$$b_{s4} = b_{r4} + 2 * k = 4628 + 2 * 1851,3 = 8330,6 \text{ mm}$$

$$b_{s5} = b_{r5} + 2 * k = 4628 + 2 * 2351,3 = 9330,6 \text{ mm}$$

$$b_{s6} = b_{r6} + 2 * k = 4628 + 2 * 2851,3 = 10330,6 \text{ mm}$$

$$Q_1 = 187,5 / b_{s1} = 187,5 / 5,3306 = 35,174 \text{ kN}$$

$$Q_2 = 187,5 / b_{s2} = 187,5 / 6,3306 = 29,618 \text{ kN}$$

$$Q_3 = 187,5 / b_{s3} = 187,5 / 7,3306 = 25,578 \text{ kN}$$

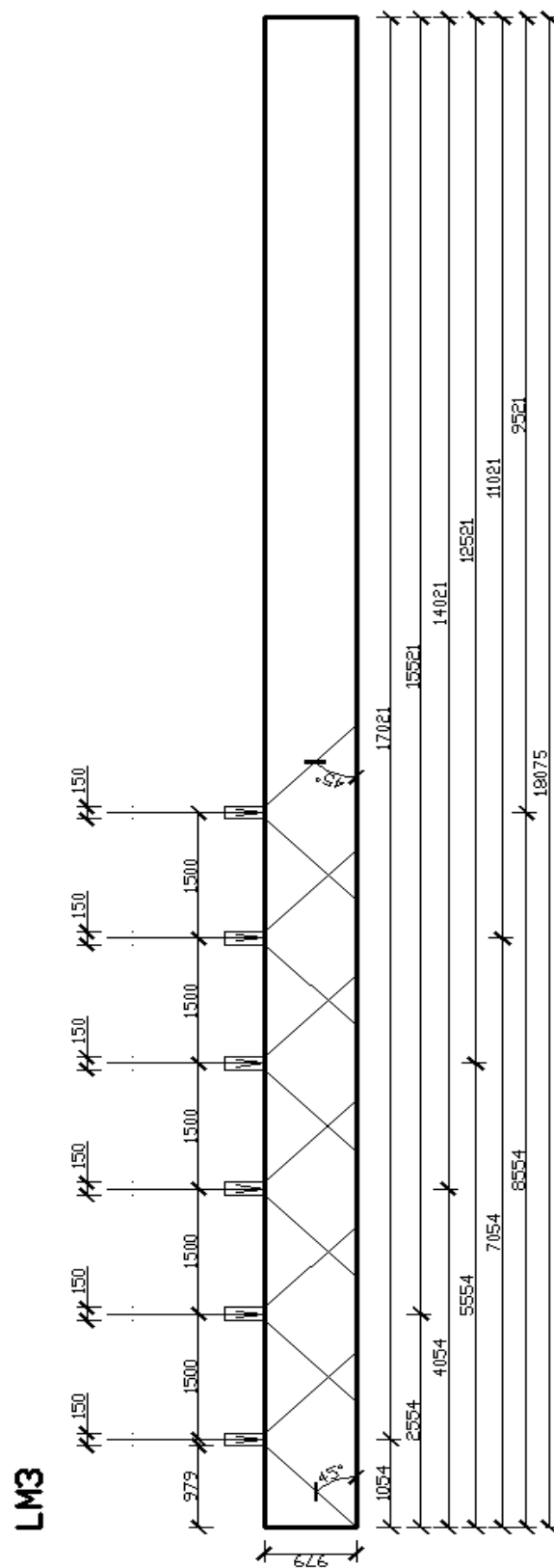
$$Q_4 = 187,5 / b_{s4} = 187,5 / 8,3306 = 22,507 \text{ kN}$$

$$Q_5 = 187,5 / b_{s5} = 187,5 / 9,3306 = 20,095 \text{ kN}$$

$$Q_6 = 187,5 / b_{s6} = 187,5 / 10,3306 = 18,150 \text{ kN}$$

$$V_{lm3} = \sum_{i=1}^i Q_i * \eta_i = 35,174 * 0,942 + 29,618 * 0,859 + 25,578 * 0,776 + 22,507 * 0,693 + 20,095 * 0,610 + 18,150 * 0,527 = 115,845 \text{ kN}$$

$$\underline{\max V_{lm3} = 115,845 \text{ kN/m}}$$



Obr. 10 Roznos LM3 v podélném směru

## 2.2.2 ZATÍŽENÍ OD CHODCŮ A CYKLISTŮ

ČSN EN 1991-2 (736203)

Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 2: Zatížení mostů dopravou

Most je navržen s oboustrannými veřejnými chodníky. V jejich průchozím prostoru je proto uvažováno zatížení od chodců a cyklistů.

Uvažujeme rovnoměrné zatížení  $q_{fk} = 5 \text{ kN/m}^2$

Pro sestavu zatížení  $gr1$  uvažujeme rovnoměrné zatížení  $q_{fk} = 3 \text{ kN/m}^2$

- Výpočet pro maximální ohybové momenty

$$k = L/6 = 18075 / 6 = 3012,5 \text{ mm}$$

$$b_r = 1000 \text{ mm}$$

$$\text{celkové } b_s = 4013 \text{ mm}$$



Obr. 11 Roznos zatížení chodníku v příčném směru

$$q_f = q_f \cdot 1 \text{ m} / b_s = 5,0 \text{ kN/m}^2 \cdot 1 \text{ m} / 4,013 \text{ m} = 1,246 \text{ kN/m}^2$$

$$M_f = 1/8 \cdot q_f \cdot L^2 = 1/8 \cdot 1,246 \text{ kN/m}^2 \cdot 18,075^2 = 50,884 \text{ kNm/m} / 1 \text{ chodník}$$

$$= 101,688 \text{ kNm/m} / 2 \text{ chodníky}$$

$$q_{f,gr1} = q_f \cdot 1 \text{ m} / b_s = 3,0 \text{ kN/m}^2 \cdot 1 \text{ m} / 4,013 \text{ m} = 0,748 \text{ kN/m}^2$$

$$M_f = 1/8 \cdot q_{f,gr1} \cdot L^2 = 1/8 \cdot 0,748 \text{ kN/m}^2 \cdot 18,075^2 = 30,547 \text{ kNm/m} / 1 \text{ chodník}$$

$$= 61,094 \text{ kNm/m} / 2 \text{ chodníky}$$

- Výpočet pro maximální posouvající síly

$$k = L/6 = 18075 / 6 = 3012,5 \text{ mm}$$

$$b_r = 1000 \text{ mm}$$

$$\text{celkové } b_s = 4013 \text{ mm}$$

$$q_f = q_f \cdot 1 \text{ m} / b_s = 5,0 \text{ kN/m}^2 \cdot 1 \text{ m} / 4,013 \text{ m} = 1,246 \text{ kN/m}^2$$

$$V_{fk} = 1/2 \cdot q_f \cdot L = 1/2 \cdot 1,246 \text{ kN/m}^2 \cdot 18,075 = 11,261 \text{ kNm/m} / 1 \text{ chodník} \\ = 22,522 \text{ kNm/m} / 2 \text{ chodníky}$$

$$q_{f,gr1} = q_f \cdot 1 \text{ m} / b_s = 3,0 \text{ kN/m}^2 \cdot 1 \text{ m} / 4,013 \text{ m} = 0,748 \text{ kN/m}^2$$

$$V_{fk} = 1/2 \cdot q_{f,gr1} \cdot L = 1/2 \cdot 1,246 \text{ kN/m}^2 \cdot 18,075 = 6,760 \text{ kNm/m} / 1 \text{ chodník} \\ = 13,520 \text{ kNm/m} / 2 \text{ chodníky}$$

## 2.3 SESTAVY ZATÍŽENÍ

Pomocí sestav zatížení sestavených pro vícesložková zatížení skombinujeme jednotlivá zatížení podle možného současného výskytu. Sestavy zatížení jsou řešeny jak pro charakteristické hodnoty, tak pro časté. Sestava se pak dále v kombinaci zatížení bere jako jedno zatížení.

Tab.5 Charakteristické hodnoty vícesložkových zatížení

		VOZOVKA						CHODNÍKY A CYKLISTICKÉ PRUHY
		svislé síly				vodorovné síly		pouze svislé zatížení
Zatěžovací systém		dvojnáprava a rovn. zat. LM1	jednotlivá náprava LM2	zvláštní vozidla LM3	zatížení davem lidí LM4	brzdné a rozjezd. síly <sup>(a)</sup>	odstředivé síly a příčné síly <sup>(a)</sup>	rovnoměrné zatížení
SESTAVY ZATÍŽENÍ	gr1a	charakteristické hodnoty						3 kNm <sup>-2</sup>
	gr1b		charakteristická hodnota					
	gr2	časté hodnoty				charakteristická hodnota	charakteristická hodnota	
	gr3							charakteristická hodnota <sup>(c)</sup>
	gr4				charakteristická hodnota			charakteristická hodnota
	gr5	charak. hod. rovn. zatížení		charakteristická hodnota				

Tab.6 Časté hodnoty vícesložkových zatížení

		VOZOVKA		CHODNÍKY A CYKLISTICKÉ PRUHY
		svislé síly		
Zatěžovací systém		dvojnáprava a rovn. zat. LM1	jednotlivá náprava LM2	rovnoměrné zatížení
SESTAVY ZATÍŽENÍ	gr1a	časté hodnoty		
	gr1b		častá hodnota	
	gr3			častá hodnota



## 2.4 KOMBINACE ZATÍŽENÍ

Dle kombinací zatížení zjistíme maximální účinky zatížení. Kombinace provedeme jak pro mezní stav použitelnosti, tak pro mezní stav únosnosti. Kombinace zatížení jsou počítány pro MSP dle rovnic 6.14 b, 6.15 b, 6.16 b a pro MSÚ dle rovnic 6.10a a 6.10b, které kombinují hodnoty stálých složek zatížení a jednotlivých sestav od zatížení dopravou. Hodnoty kombinačních součinitelů jsou uvedeny v následující tabulce.

Kombinační rovnice

$$6.14 \text{ b} \quad \sum_{j \geq 1} G_{k,j} + Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

$$6.15 \text{ b} \quad \sum_{j \geq 1} G_{k,j} + \psi_{1,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

$$6.16 \text{ b} \quad \sum_{j \geq 1} G_{k,j} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

$$6.10 \text{ a} \quad \sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} \psi_{0,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

$$6.10 \text{ b} \quad \sum_{j \geq 1} \xi_j \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

Tab.7 Doporučené hodnoty součinitelů  $\Psi$  pro mosty pozemních komunikací.

zatížení	značka		$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$
dopravou	gr1a	TS (dvojnápravy)	0.75	0.75	0
		UDL (rovnorné zatížení)	0.40	0.40	0
		chodci a cyklisti	0.40	0.40	0
	gr1b (jednotlivá náprava)		0	0.75	0
	gr2 (vodorovné síly)		0	0	0
	gr3 (zatížení chodci)		0	0.40	0
	gr4 (zatížení davem lidí)		0	-	0
	gr5 (zvláštní vozidla)		0	-	0
větrem	$F_{wk}$ - trvalé návrhové situace		0.6	0.2	0
	- provádění		0.8	-	0
	$F_w^*$		1.0	-	0
teplotou	$T_k$		0.6	0.6	0.5
sněhem	$Q_{Sn,k}$ (během provádění)		0.8	-	-
staveništní	$Q_c$		1.0	-	1.0

## 2.4.1 OHYBOVÉ MOMENTY

### 2.4.1.1 Mezní stav použitelnosti

charakteristická kombinace

Stálé zatížení + gr1

$$852,538 + 215,340 + 453,734 + 221,810 + 61,094 = \underline{1804,516 \text{ kNm}}$$

Stálé zatížení + gr3

$$852,538 + 215,340 + 101,688 = 1169,566 \text{ kNm}$$

Stálé zatížení + gr5

$$852,538 + 215,340 + 410,248 = 1478,126 \text{ kNm}$$

častá kombinace

Stálé zatížení + gr1

$$852,538 + 215,340 + 0,75 * 453,734 + 0,4 * 221,810 + 0,4 * 61,094 = \underline{1521,310 \text{ kNm}}$$

Stálé zatížení + gr3

$$852,538 + 215,340 + 0,4 * 101,688 = 1108,553 \text{ kNm}$$

Stálé zatížení + gr5

$$852,538 + 215,340 = 1067,878 \text{ kNm}$$

kvazistálá kombinace

zahrnuje působení stálých složek zatížení

Stálé zatížení

$$852,538 + 215,340 = \underline{1067,878 \text{ kNm}}$$

### 2.4.1.2 Mezní stav únosnosti

charakteristické sestavy zatížení

Stálé zatížení + gr1

$$6.10a = 1,35 * 852,538 + 1,35 * 215,340 + 1,35 * 0,75 * 453,734 + 1,35 * 0,4 * 221,810 + 1,35 * 0,4 * 61,094 = 2053,809 \text{ kNm}$$

$$6.10b = 0,85 * 1,35 * 852,538 + 0,85 * 1,35 * 215,340 + 1,35 * 453,734 + 1,35 * 221,810 + 1,35 * 61,094 = \underline{2219,851 \text{ kNm}}$$

Stálé zatížení + gr3

$$6.10a = 1,35 * 852,538 + 1,35 * 215,340 + 1,35 * 0 * 101,688 = \underline{1441,635 \text{ kNm}}$$

$$6.10b = 0,85 * 1,35 * 852,538 + 0,85 * 1,35 * 215,340 + 1,35 * 101,688 = 1362,669 \text{ kNm}$$

Stálé zatížení + gr5

$$6.10a = 1,35 * 852,538 + 1,35 * 215,340 + 1,35 * 0 * 410,248 = 1441,635 \text{ kNm}$$

$$6.10b = 0,85 * 1,35 * 852,538 + 0,85 * 1,35 * 215,340 + 1,35 * 410,248 = \underline{1779,225}$$

kNm

častá kombinace

Stálé zatížení + gr1

$$6.10a = 1,35 * 852,538 + 1,35 * 215,340 + 1,35 * 0,75 * 453,734 + 1,35 * 0,4 * 221,810 + 1,35 * 0,4 * 61,094 = 2053,809 \text{ kNm}$$

$$6.10b = 0,85 * 1,35 * 852,538 + 0,85 * 1,35 * 215,340 + 1,35 * 453,734 + 1,35 * 221,810 + 1,35 * 61,094 = \underline{2219,851 \text{ kNm}}$$

Stálé zatížení + gr3

$$6.10a = 1,35 * 852,538 + 1,35 * 215,340 + 1,35 * 0,4 * 101,688 = \underline{1496,547 \text{ kNm}}$$

$$6.10b = 0,85 * 1,35 * 852,538 + 0,85 * 1,35 * 215,340 + 1,35 * 101,688 = 1362,669 \text{ kNm}$$

## **2.4.2 POSOUVAJÍCÍ SÍLY**

### *2.4.2.1 Mezní stav použitelnosti*

charakteristická kombinace

Stálé zatížení + gr1

$$188,667 + 47,655 + 130,902 + 49,087 + 13,520 = \underline{429,831 \text{ kNm}}$$

Stálé zatížení + gr3

$$188,667 + 47,655 + 22,522 = 258,844 \text{ kNm}$$

Stálé zatížení + gr5

$$188,667 + 47,655 + 115,845 = 352,167 \text{ kNm}$$

častá kombinace

Stálé zatížení + gr1

$$188,667 + 47,655 + 0,75 * 130,902 + 0,4 * 49,087 + 0,4 * 13,520 = \underline{359,541 \text{ kNm}}$$

Stálé zatížení + gr3

$$188,667 + 47,655 + 0,4 * 22,522 = 245,331 \text{ kNm}$$

Stálé zatížení + gr5

$$188,667 + 47,655 = 236,322 \text{ kNm}$$

kvazistálá kombinace

stejně pro všechny sestavy

Stálé zatížení

$$288,667 + 47,655 = \underline{236,322 \text{ kNm}}$$

#### 2.4.2.2 Mezní stav únosnosti

charakteristické sestavy zatížení

Stálé zatížení + gr1

$$6.10a = 1,35 * 188,667 + 1,35 * 47,655 + 1,35 * 0,75 * 130,902 + 1,35 * 0,4 * 49,087 + 1,35 * 0,4 * 13,520 = \underline{485,381 \text{ kNm}}$$

$$6.10b = 0,85 * 1,35 * 188,667 + 0,85 * 1,35 * 47,655 + 1,35 * 130,902 + 1,35 * 0,4 * 49,087 + 1,35 * 0,4 * 13,520 = 481,705 \text{ kNm}$$

Stálé zatížení + gr3

$$6.10a = 1,35 * 188,667 + 1,35 * 47,655 + 1,35 * 0 * 22,522 = \underline{319,035 \text{ kNm}}$$

$$6.10b = 0,85 * 1,35 * 188,667 + 0,85 * 1,35 * 47,655 + 1,35 * 22,522 = 301,584 \text{ kNm}$$

Stálé zatížení + gr5

$$6.10a = 1,35 * 188,667 + 1,35 * 47,655 + 1,35 * 0 * 115,845 = 319,035 \text{ kNm}$$

$$6.10b = 0,85 * 1,35 * 188,667 + 0,85 * 1,35 * 47,655 + 1,35 * 115,845 = \underline{427,570 \text{ kNm}}$$

časté sestavy zatížení

Stálé zatížení + gr1

$$6.10a = 1,35 * 188,667 + 1,35 * 47,655 + 1,35 * 0,75 * 130,902 + 1,35 * 0,4 * 49,087 + 1,35 * 0,4 * 13,520 = \underline{485,381 \text{ kNm}}$$

$$6.10b = 0,85 * 1,35 * 188,667 + 0,85 * 1,35 * 47,655 + 1,35 * 130,902 + 1,35 * 0,4 * 49,087 + 1,35 * 0,4 * 13,520 = 481,705 \text{ kNm}$$

Stálé zatížení + gr3

$$6.10a = 1,35 * 188,667 + 1,35 * 47,655 + 1,35 * 0,4 * 22,522 = \underline{331,197 \text{ kNm}}$$

$$6.10b = 0,85 * 1,35 * 188,667 + 0,85 * 1,35 * 47,655 + 1,35 * 22,522 = 301,584 \text{ kNm}$$

### 3 ZATÍŽENÍ ( SCIA ENGINEER )

- ověření zatížení deskovým modelem v programu Scia Engineer
- dle rovnosti ploch NK zjištění tl. desky při rovné horní ploše

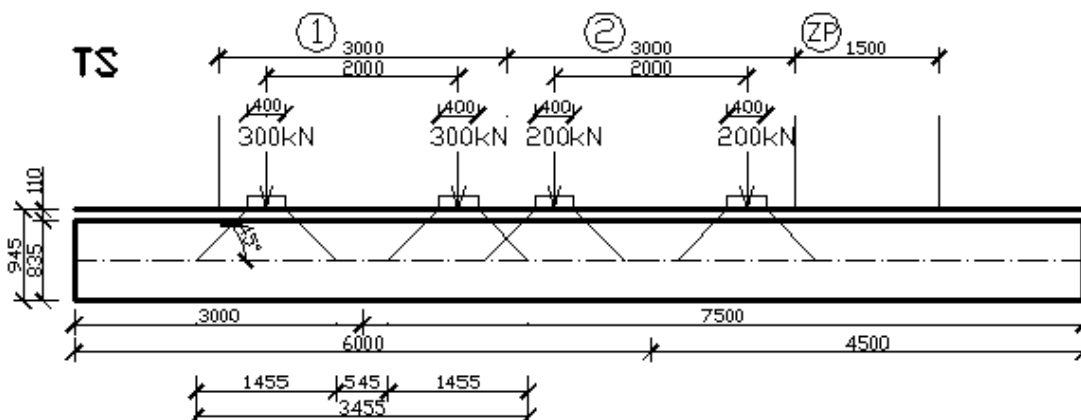
$b = 10500 \text{ mm}$

$h = 835 \text{ mm}$

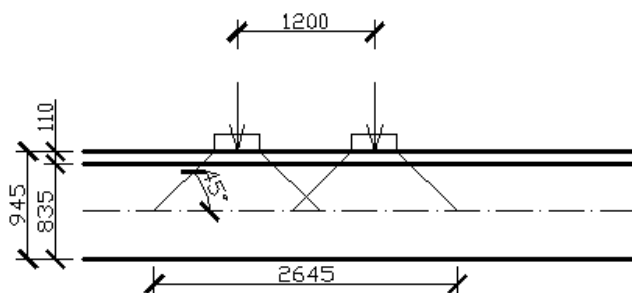
$L = 18075 \text{ mm}$

- roznos zatížení do střednicové roviny – deskový model
- šířkové uspořádání modelů v zatěžovacích pruzích stejné jako při ručním výpočtu zatížení
- proveden roznos zatížení dopravou do střednicové plochy a zatížení konstrukce odpovídajícím spojitým zatížením na roznášecí ploše

#### 3.1 Roznos modelu 1 ( LM1 )

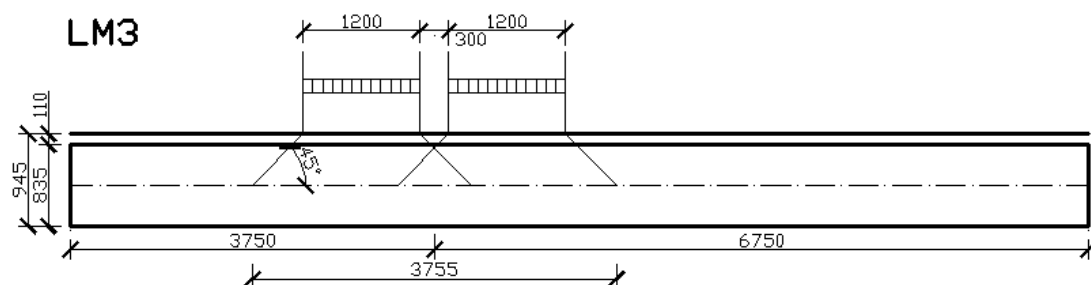


Obr. 12 Roznos TS příčném směru

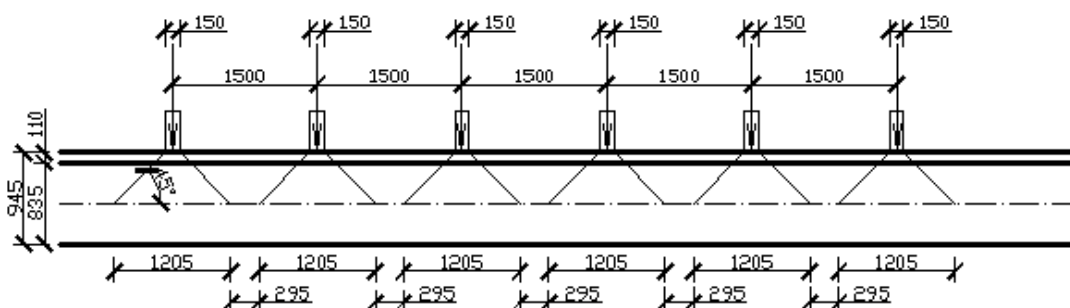


Obr. 13 Roznos TS v podélném směru

### 3.2 Roznos modelu 3 ( LM3 )



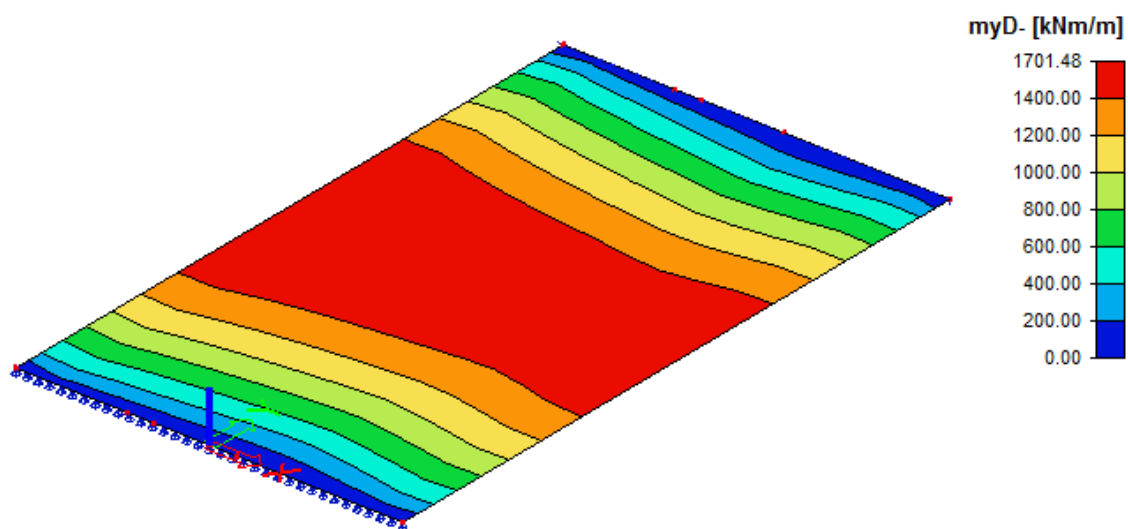
Obr. 14 Roznos LM3 v příčném směru



Obr. 15 Roznos LM3 v podélném směru

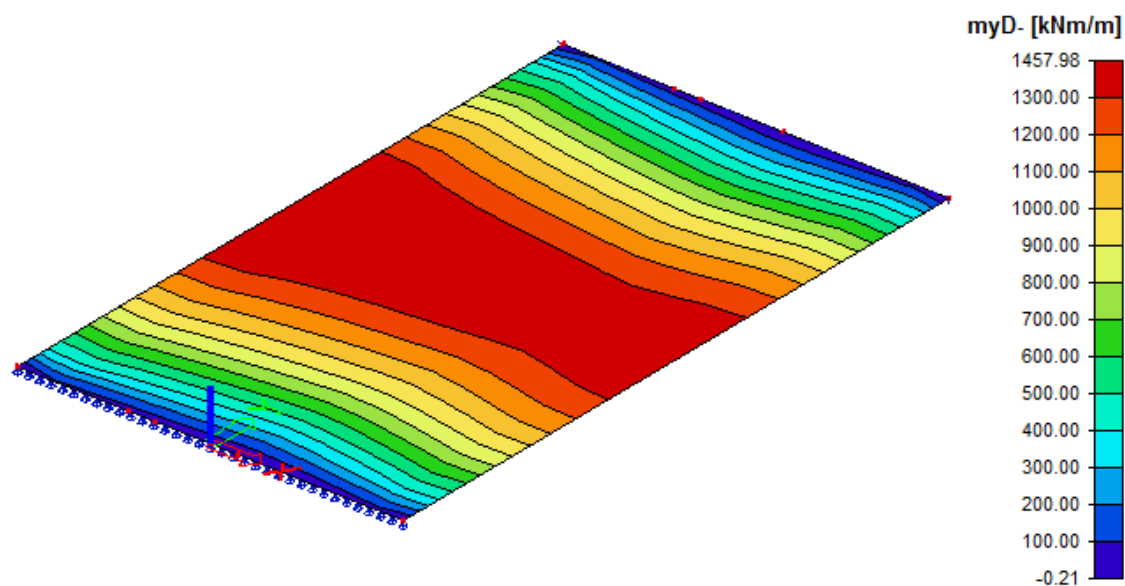
Hodnoty maximálních ohybových momentů na deskovém modelu.

MSP charakteristická kombinace



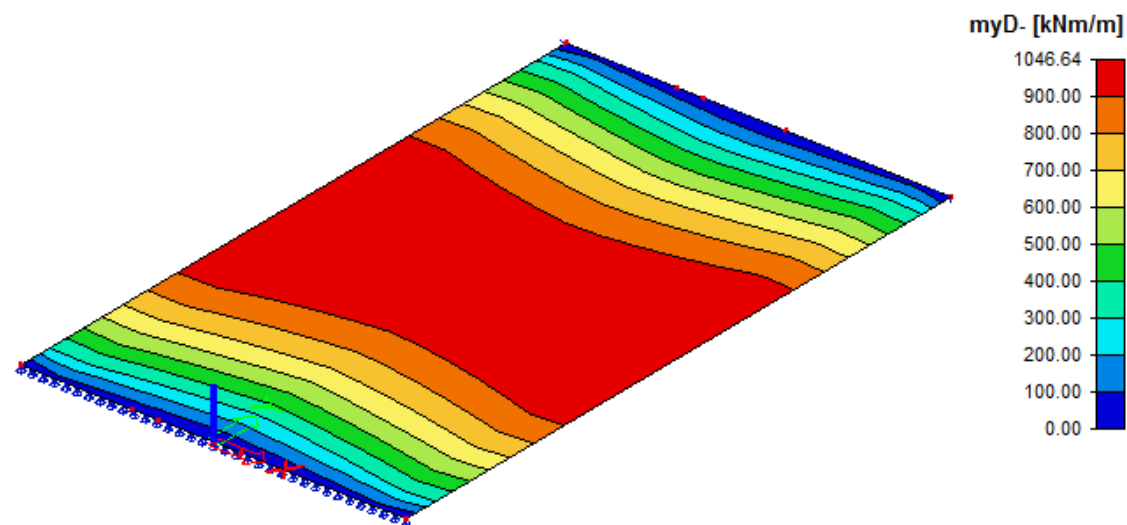
Obr. 16 MSP charakteristická kombinace myD-

MSP častá kombinace



Obr. 17 MSP častá kombinace  $myD$ -

MSP kvazistálá kombinace



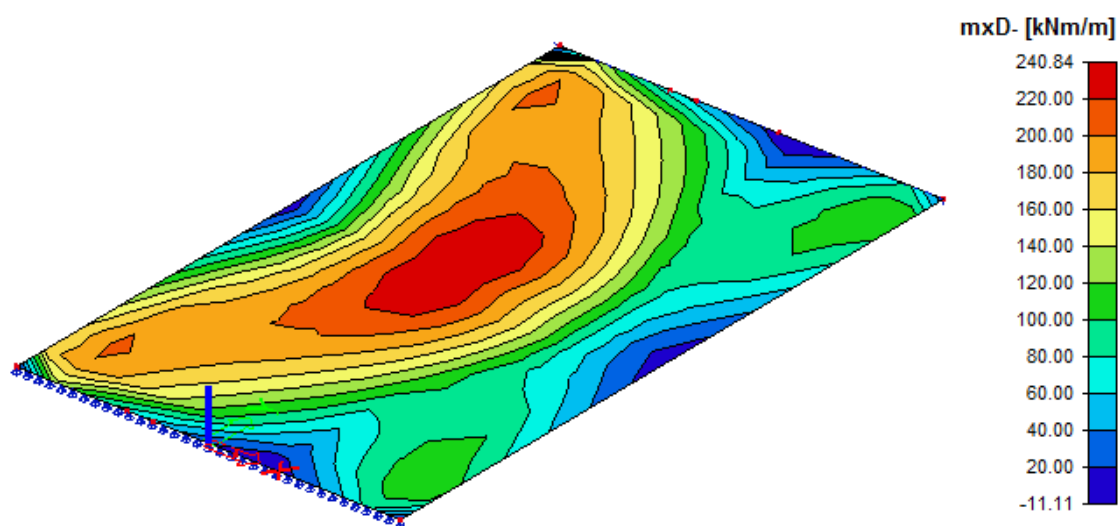
Obr. 18 MSP kvazistálá kombinace  $myD$ -

Porovnání s ručním výpočtem:

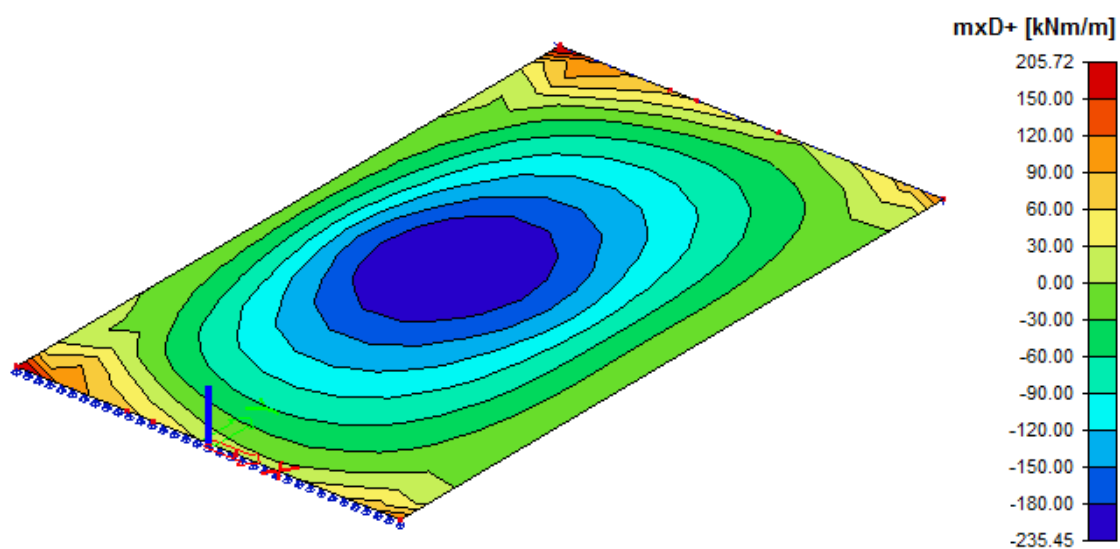
MSP	Metoda spolupůsobící šířky	Scia
charakteristická kombinace	1804,516 kNm	1701,48 kNm
častá kombinace	1521,310 kNm	1457,98 kNm
kvazistálá kombinace	1067,878 kNm	1046,64 kNm

Hodnoty se neliší o více jak 10%, dále ve výpočtu je uvažováno vždy s méně příznivou hodnotou.

Maximální kombinace stálé + gr1a

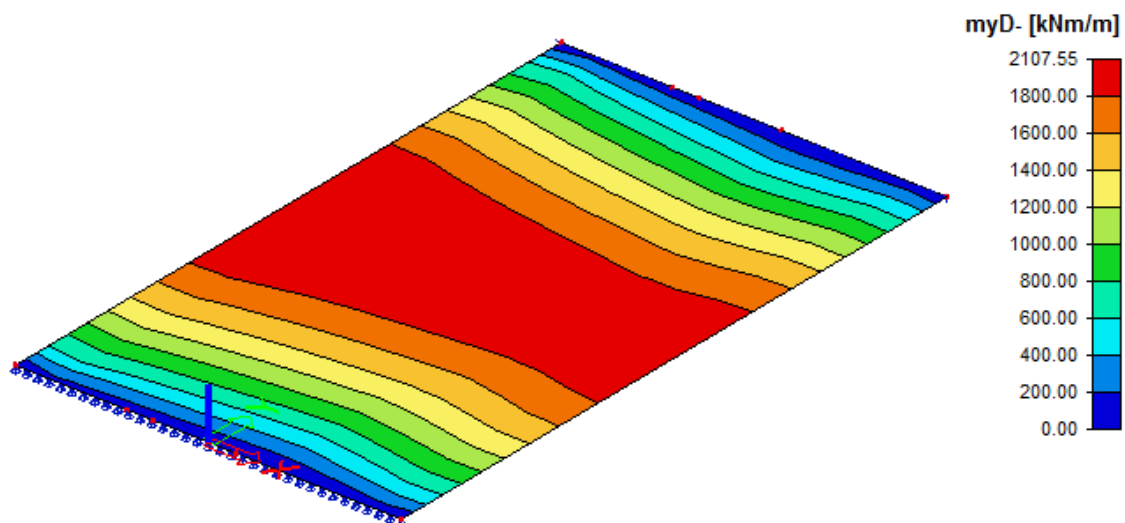


Obr. 19 stálé + gr1a  $mxD-$

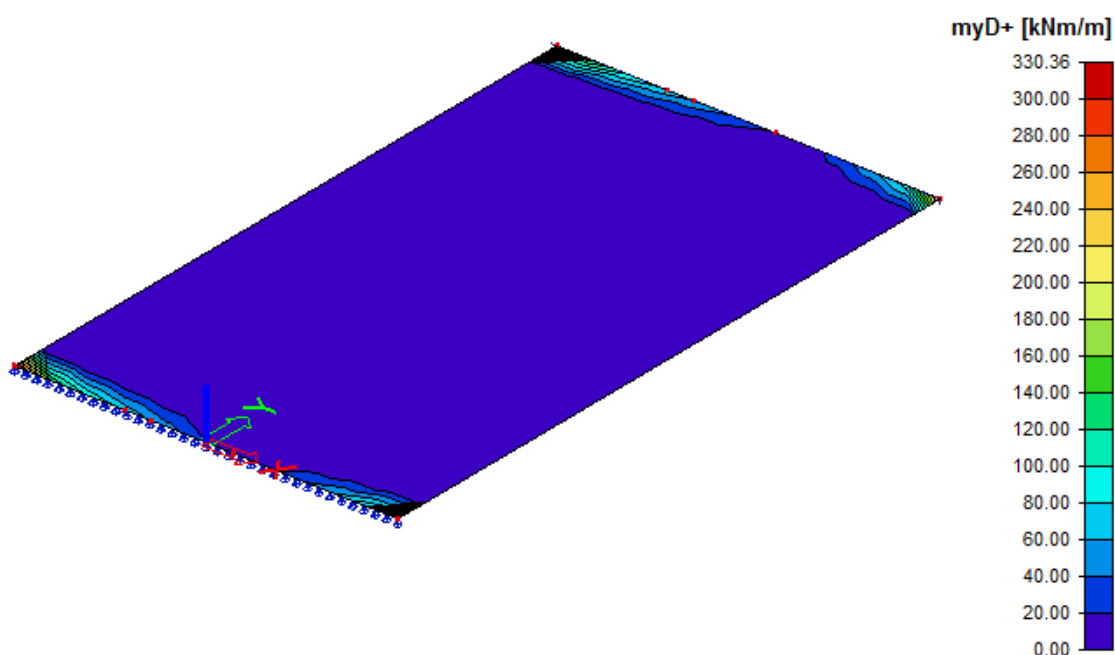


Obr. 20 stálé + gr1a  $mxD+$





Obr. 21 stálé + gr1a myD-



Obr. 22 stálé + gr1a myD+

Porovnání s ručním výpočtem:

MSÚ

Metoda spolupůsobící šířky

Scia

myD-

2219,851 kNm

2107,55 kNm

Hodnoty se neliší o více jak 10%, dále ve výpočtu je uvažováno vždy s méně příznivou hodnotou.

## 4 NÁVRH PŘEDPÍNAČÍ VÝZTUŽE

### 4.1 KRYTÍ PŘEDPÍNAČÍ VÝZTUŽE

Návrh krytí předpínací výztuže dle normy ČSN EN 1992-1-1.

Průměr kanálku je 63 mm.

Tab.8 Doporučená klasifikace konstrukcí

Konstrukční třída								
Kritérium	Stupeň prostředí dle tab.EN 206-1							
	X0	XC1	XC2	XC3	XC4	XD1	XD2	XD3
Návrhová životnost 80 let	Zvětšit o 1 třídu							
Životnost 100 let	Zvětšit o 2 třídy							
Pevnostní třída betonu	≥ C20/25	≥ C25/30	≥ 30/37	≥ C35/45	≥ C40/50	≥ C40/50	≥ C40/50	≥ C45/55
	Zmenšit třídu o 1							
Deskové kce	Zmenšit třídu o 1							
Zvláštní kontrola kvality	Zmenšit třídu o 1							

Konstrukční třída 4, stupeň vlivu prostředí XD1, životnost 100 let

S4 → životnost 100 let = S6 → desková konstrukce = S5

Tab.9 Minimální hodnoty krytí  $c_{min,dur}$  požadované z hlediska trvanlivosti pro předpínací výztuž

Požadavek prostředí pro $c_{min,dur}$ [mm]							
Konstrukční třída	Stupeň prostředí podle tab EN 206-1						
	X0	XC1	XC2/XC3	XC4	XD1/XS1	XD2/XS2	XD3/XS3
1	10	15	20	25	30	35	40
2	10	15	25	30	35	40	45
3	10	20	30	35	40	45	50
4	10	25	35	40	45	50	55
5	15	30	40	45	50	55	60
6	20	35	45	50	55	60	65

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev}$$

$$c_{min} = \max \{ c_{min,b}, c_{mindru} + \Delta c_{der,y} - \Delta c_{dur,st} - c_{dur,add}, 10 \text{ mm} \}$$

$$c_{min} = \max \{ 63, 50, 10 \text{ mm} \}$$

$$\Delta C_{dev} = 10 \text{ mm}$$

$$C_{nom} = 63 + 10 = 73 \text{ mm}$$

návrh krytí 80 mm

## 4.2 MINIMÁLNÍ VZDÁLENOST PŘEDPÍNACÍ VÝZTUŽE

$$x \geq \varnothing d_{uet} = 63 \text{ mm}$$

$$d_g = 16 \text{ mm}$$

$$40 \text{ mm}$$

návrh min. 70 mm

$$y \geq \varnothing d_{uet} = 63 \text{ mm}$$

$$d_g = 16 \text{ mm}$$

$$50 \text{ mm}$$

návrh min. 70 mm

## 4.3 MATERIÁLOVÉ CHARAKTERISTIKY

Návrh konstrukce je proveden za předpokladu betonu C 35/45 , předpínací výztuže Y 1860 S7-15,2-A.

Beton

C35/45

$$f_{ck} = 35 \text{ MPa}$$

$$f_{cd} = \alpha_{cc} * f_{ck} / \gamma_c = 0,85 * 35 / 1,5 = 19,83 \text{ MPa}$$

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

$$E_{cm} = 33,5 \text{ GPa}$$

Předpínací výztuž

Y 1860 S7-15,2-A

$$f_{p0,1k} = 1600 \text{ MPa}$$

$$f_{pd} = f_{p0,1k} / \gamma_s = 1600 / 1,15 = 1391,3 \text{ MPa}$$

$$E_p = 195 \text{ GPa}$$

$$\varnothing = 15,2$$

$$A_{p1} = 140 \text{ mm}^2$$

## 4.4 NÁVRH PŘEDPÍNACÍ SÍLY A POČTU KABELŮ

### 4.4.1 POČÁTEČNÍ NAPĚTÍ

$$\sigma_{p,max} = \min \{ 0,8 * f_{pk} , 0,9 * f_{p0,1k} \}$$

$$= \min \{ 0,8 * 1860 , 0,9 * 1600 \} = \min \{ 1488 , 1440 \} = 1440 \text{ MPa}$$

$$P_{\max} = \sigma_{p,\max} * A_{p1} = 1440 * 140 = 201600 \text{ N} = 201,6 \text{ kN}$$

#### 4.4.2 MAXIMÁLNÍ NAPĚTÍ PO VNESENÍ PŘEDPĚTÍ DO BETONU

$$\sigma_{pmo,\max} = \min \{ 0,75 * f_{pk} , 0,85 * f_{p0,1k} \}$$

$$= \min \{ 0,75 * 1860 , 0,85 * 1600 \} = \min \{ 1395 , 1360 \} = 1360 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{pmo} = \lambda_0 * \sigma_{p,\max} = 0,9 * 1440 = 1296 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{pm\infty} = \lambda_{\infty} * \sigma_{p,\max} = 0,85 * 1296 = 1101,6 \text{ MPa}$$

#### 4.4.3 STANOVENÍ PŘEDPÍNACÍ SÍLY Z PODMÍNEK PRO NAPĚTÍ

Pro výpočet předpínací síly je použita metoda podmínek omezení napětí. Vychází se z podmínek napětí pro mezní stav použitelnosti.

Hlavní podmínkou pro návrh je stav dekomprese v čase  $t_{\infty}$  pro častou kombinaci zatížení. Návrh předpínací síly se provádí ve dvou časových intervalech. V čase  $t_0$ , kdy působí vlastní tíha konstrukce a navržené předpětí a v čase  $t_{\infty}$ , čase životnosti konstrukce. Životnost mostních objektů je 100 let.

- výška desky brána v místě největšího namáhání, 1 m od římsy v zatěžovacím pruhu 1

- návrh na plném betonovém průřezu

- průřez  $x = L/2$

$$h = 0,819 \text{ m}$$

$$e_p = 0,2895 \text{ m}$$

$$A_c = b * h = 1,0 * 0,819 = 0,819 \text{ m}^2$$

$$W_1 = 1/6 * b * h^2 = 1/6 * 1,0 * 0,819^2 = 0,11179 \text{ m}^3$$

$$\sigma_{c,1(2)} <(>) \sigma_{\text{připustná}}$$

$$\sigma_{c1(2)} = \frac{N_{ek}}{A_c} + \frac{M_{ek}}{W_{c1(2)}}$$

Pro čas  $t_{\infty}$  :  $\sigma_{c1} = \leq 0$

- pro častou kombinaci

$$\sigma_{c2} = \geq - 0,6 f_{ck}$$

- pro charakteristickou kombinaci

Pro čas  $t_0$  :  $\sigma_{c1} = \geq - 0,6 f_{ck}$

- pro charakteristickou kombinaci

$$\sigma_{c2} = \leq f_{ctm}$$

- pro kvazistálou kombinaci

### 1. $t_{\infty}$ , častá kombinace

$$\sigma_{c1} = -\frac{P_{m\infty}}{A} - \frac{P_{m\infty} \cdot e_p}{W_1} + \frac{M_{EK, \psi_1}}{W_1} \leq 0 \text{ (dekompresce)}$$

$$P_{m\infty} \geq \frac{1521,310 \cdot 10^3 \cdot 0,819}{0,11179 + 0,819 \cdot 0,2895} = 3571150 \text{ N} = 3571,150 \text{ kN}$$

$$P_{m0} \geq P_{m\infty} / 0,85 = 3571,150 / 0,85 = 4201,353 \text{ kN}$$

### 2. $t_{\infty}$ , charakteristická kombinace

$$\sigma_{c2} = -\frac{P_{m\infty}}{A} + \frac{P_{m\infty} \cdot e_p}{W_2} - \frac{M_{EK}}{W_2} \geq -0,6 \cdot f_{ck}$$

$$P_{m\infty} \geq \frac{-0,6 \cdot 35 \cdot 10^6 \cdot 0,819 \cdot 0,1117935 + 1804,516 \cdot 10^3 \cdot 0,819}{-0,11179 + 0,2895 \cdot 0,819} = -3549983 \text{ N} = -3549,953 \text{ kN}$$

$$P_{m0} \geq P_{m\infty} / 0,85 = -3549,998 / 0,85 = -4176,451 \text{ kN}$$

### 3. $t_0$ , charakteristická kombinace

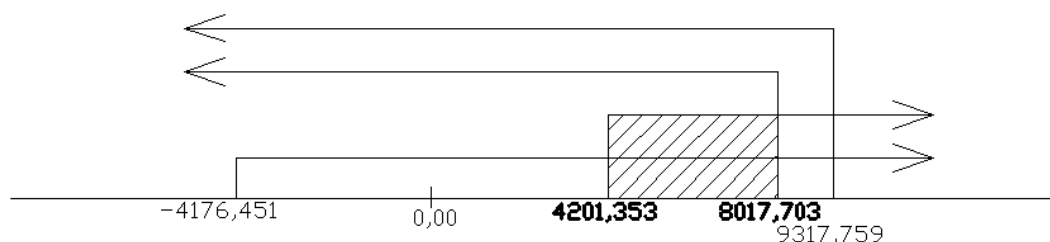
$$\sigma_{c1} = -\frac{P_{m0}}{A} - \frac{P_{m0} \cdot e_p}{W_1} + \frac{M_{gok}}{W_1} \geq -0,6 \cdot f_{ck}$$

$$P_{m\infty} \leq \frac{0,6 \cdot 35 \cdot 10^6 \cdot 0,819 \cdot 0,1117935 + 1067,878 \cdot 10^3 \cdot 0,819}{0,11179 + 0,2895 \cdot 0,819} = 8017703 \text{ N} = 8017,703 \text{ kN}$$

### 3. $t_{\infty}$ , kvazistálá kombinace

$$\sigma_{c2} = -\frac{P_{m0}}{A} + \frac{P_{m0} \cdot e_p}{W_2} - \frac{M_{EK}}{W_2} \leq f_{ctm}$$

$$P_{m0} \leq \frac{3,2 \cdot 10^6 \cdot 0,819 \cdot 0,1117935 + 1067,878 \cdot 10^3 \cdot 0,819}{-0,11179 + 0,2895 \cdot 0,819} = 9317759 \text{ N} = 9317,759 \text{ kN}$$



Obr. 23 Interval určení předpínací síly

interval  $< 4201,353, 8017,703 >$

$$P_{m,0,req} = \min \{ 1,03 \min P_{m0}, 0,5 \cdot (\min P_{m0} + \max P_{m0}) \}$$

$$P_{m,0,req} = \min \{ 1,03 * 4201,353 , 0,5 * ( 4201,353 + 8017,703 ) \} = \{ 4327,394 , 6109,528 \} = 4327,394 \text{ kN}$$

$$A_{p,reg} = P_{m,0,req} / \sigma_{p,m0} = 4327,394 / 1296 * 10^3 = 3,339 * 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$n_{s,reg} = A_{p,reg} / A_{01} = 3,339 * 10^{-3} / 140 * 10^{-6} = 23,85$$

$$\text{návrh 24 lan / metr} \rightarrow 4 \text{ kabely / 6 lan / 250 mm}$$

$$A_{p,prov} = 24 * 140 = 3360 \text{ mm}^2$$

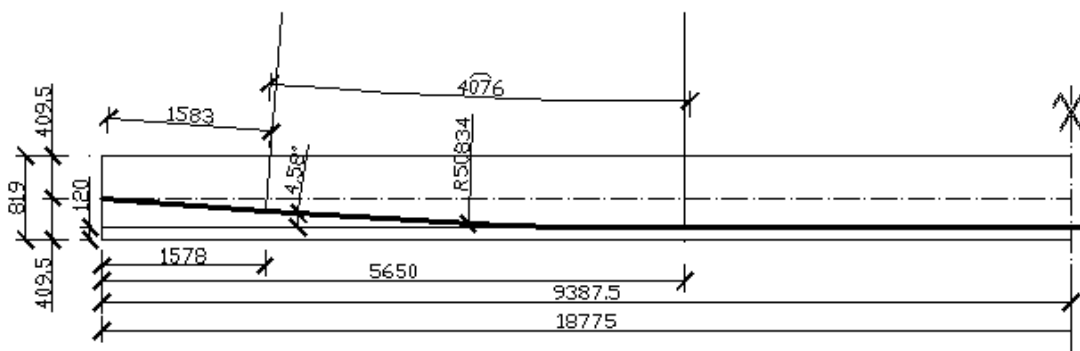
$$P_{m,0,prov} = A_{p,prov} * \sigma_{p,m0} = 3360 * 1296 = 4354560 \text{ N} = 4354,560 \text{ kN}$$

interval

$$4201,353 \text{ kN} < 4354,560 \text{ kN} < 8017,703 \text{ kN}$$

## 4.5 TRASOVÁNÍ KABELŮ

Trasování kabelů je provedeno dle základních zásad. Je dodržen minimální přímý úsek 1,0 m u čela prvku. Zakřivení kabelu je navrženo co největší pro eliminaci ztrát předpětí. Lom sklonu dráhy kabelu je přibližně navržen v 1/5 L. Kotva kabelu je do čela prvku umístěna symetricky. Všechny kabely v prvku jsou navrženy zakřivené a jsou vedeny identicky. Délka prvku je uvažována včetně přesahu desky za podporami. Přesah za uložení je 0,35m. Délka NK je teda 18775 m.



Obr. 24 Trasování kabelů

## B. POSOUZENÍ

### 5 MATERIÁLOVÉ CHARAKTERISTIKY

Beton C35/45

$$f_{ck} = 35 \text{ MPa}$$

$$f_{cd} = \alpha_{cc} * f_{ck} / \gamma_c = 0,85 * 35 / 1,5 = 19,83 \text{ MPa}$$

$$f_{cm} = 43 \text{ MPa}$$

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

$$f_{ctk,0,05} = 2,2 \text{ MPa}$$

$$E_{cm} = 33,5 \text{ GPa}$$

$$\varepsilon_{cu} -3,1 * 10^{-4} \text{ ‰ ( pro výpočet únosnosti )}$$

$$\varepsilon_{cu} -3,5 * 10^{-4} \text{ ‰ ( pro výpočet účinků zatížení )}$$

Předpínací výztuž

Y 1860 S7-15,2-A

$$f_{po1k} = 1600 \text{ MPa}$$

$$f_{pd} = f_{po1k} / \gamma_s = 1600 / 1,15 = 1391,3 \text{ MPa}$$

$$E_p = 195 \text{ GPa}$$

$$\varnothing = 15,2$$

$$A_{p1} = 140 \text{ mm}^2$$

Betonářská výztuž

B500B

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

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

$$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s = 500 / 1,15 = 434,78 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{yd} = f_{yd} / E_s = 434,78 / 200 * 10^3 = 2,17 \text{ ‰}$$

## 6 PRŮŘEZOVÉ CHARAKTERISTIKY

### 6.1 PLNÝ PRŮŘEZ

$$A = 0,819 \text{ m}^2$$

$$I_x = 0,04578 \text{ m}^4$$

$$I_y = 0,06825 \text{ m}^4$$

$$W_1 = 0,11179 \text{ m}^3$$

$$W_2 = 0,1365 \text{ m}^3$$

### 6.2 OSLABENÝ PRŮŘEZ

Průřezové charakteristiky pro průřez oslabený 4 kanálky / 250 mm,  $\Phi 63$  mm

$$A_{cr} = 0,8065 \text{ m}^2$$

$$I_{cr} = 0,044715 \text{ m}^4$$

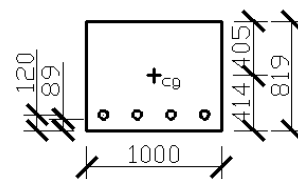
$$W_{1r} = 0,1080 \text{ m}^3$$

$$W_{2r} = 0,1104 \text{ m}^3$$

$$z_{1r} = 0,414 \text{ m}$$

$$z_{2r} = 0,405 \text{ m}$$

$$e_{pr} = 0,2895 \text{ m}$$



Obr. 25 Oslabený průřez

### 6.3 RAKAPITULACE HODNOT ZATÍŽENÍ

vlastní tíha	$M_{g0k} = 852,538 \text{ kNm}$	$V_{g0k} = 188,667 \text{ kN}$
ostatní stálé zatížení	$M_{g1k} = 215,340 \text{ kNm}$	$V_{g1k} = 47,655 \text{ kN}$
model 1 ( LM1 )	$M_{TS+UDL} = 675,544 \text{ kNm}$	$V_{TS+UDL} = 179,989 \text{ kN}$
model 3	$M_{fk} = 101,688 \text{ kNm}$	$V_{fk} = 22,522 \text{ kN}$
model 5 ( LM3 )	$M_{LM3} = 410,248 \text{ kNm}$	$V_{LM3} = 115,845 \text{ kN}$
MSP		
charakteristická kombinace	$M_{char} = 1804,516 \text{ kNm}$	$V_{char.} = 429,831 \text{ kN}$
častá kombinace	$M_{čast} = 1521,310 \text{ kNm}$	$V_{čast.} = 359,541 \text{ kN}$
kvazistálá kombinace	$M_{kvaz} = 1067,878 \text{ kNm}$	$V_{kvaz.} = 236,322 \text{ kN}$
MSÚ	$\max M = 2214,851 \text{ kNm}$	$\max V = 485,381 \text{ kN}$

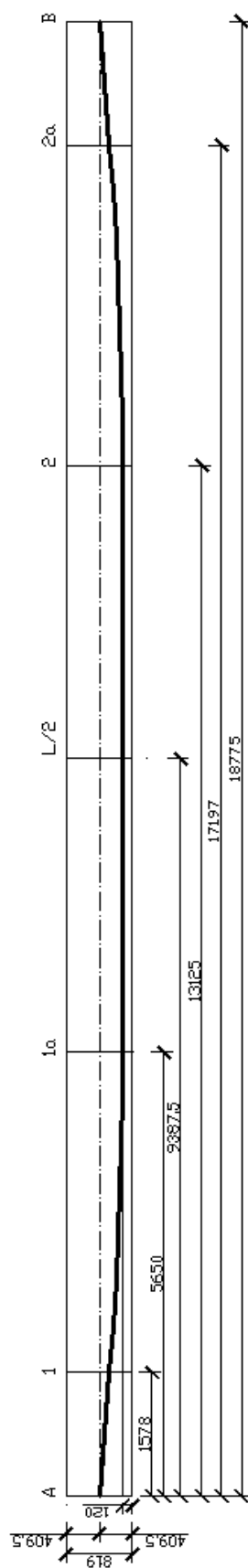


## 7 ZMĚNY PŘEDPĚTÍ

Předpínací síla v konstrukci není konstantní. Její hodnota se mění po délce kabelu a v čase. Je nutné vyšetřit hodnoty ztrát pro časy  $t_0$  a  $t_\infty$ .

### 7.1 KRÁTKODOBÉ ZTRÁTY PŘEDPĚTÍ

Ztráty krátkodobé neboli výrobní jsou ztráty předpětí v době napínání a při kotvení. Vyšetřujeme ztrátu třením mezi kabelem a stěnou kanálku, ztrátu pokluzem při kotvení, ztrátu postupným předpínáním kabelu, ztrátu relaxací výztuže.



Obr. 26 Průřezy pro výpočet ztrát

### 7.1.1 ZTRÁTY TŘENÍM

Jedná se o ztrátu třením mezi kabelem a stěnami kanálku. Významná ztráta u dodatečně předepnutých konstrukcí. Vliv na ztrátu třením má součinitel tření, v závislosti na materialu kanálku, a trasování kabelu, kdy ztrátu můžeme ovlivnit délkou a hodnotou zakřivení.

součinitel tření  $\mu = 0,19$

parametr pro nezamýšlenou změnu  $k = 0,01 /m$

součinitel zamýšlených změn pro místo  $x$   $\theta$

body A,1  $\theta = 0$

body 1a,2  $\theta = 0,07994 \text{ rad}$

body 2a,B  $\theta = 0,15988 \text{ rad}$

zakřivené pruty :  $\Delta\sigma_{p\mu(x)} = \sigma_{p,max} + \Delta\sigma_{p\mu(x)}$

$\Delta\sigma_{p\mu(x)} = -\sigma_{p,max} * (1 - e^{-\mu(\theta+k*x)})$

$\Delta\sigma_{p\mu(L/2)} = -1440 * (1 - e^{-0,19*(0,07994 + 0,01*9,3875)}) = -46,779 \text{ MPa}$

$\sigma_{p\mu(x)} = 1440 - 46,779 = 1393,221 \text{ MPa}$

	$\Delta\sigma_{p\mu(x)} [\text{MPa}]$	$\sigma_{p\mu(x)} [\text{MPa}]$
A	0,000	1440,000
1	-4,311	1435,689
1a	-36,850	1403,150
2	-57,426	1382,574
2a	-88,761	1351,239
B	-92,807	1347,193

### 7.1.2 ZTRÁTY POKLUZEM

Napínání kabelu uvažujeme z jednoho konce.

hodnota pokluzu  $\delta_{ad} = 6\text{mm}$

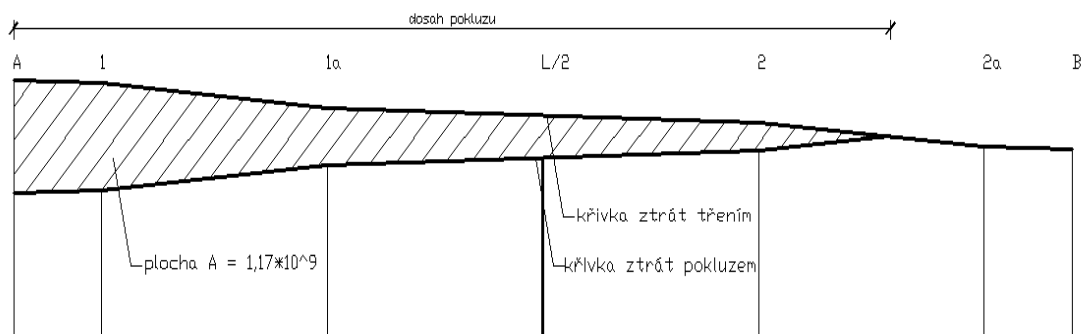
$A_{ad}(x\delta) = E_p * \delta_{ad}(x\delta) = 195 * 10^9 * 0,006 = 1,17 * 10^9 \text{ N}$

$A_{ad}(B) = \Delta\sigma_{p\mu}(L) * L = 92,993 * 10^6 * 18,875 = 1,76 * 10^9 \text{ N}$

$A_{ad}(L/2) = \Delta\sigma_{p\mu}(L/2) * L/2 = 46,779 * 10^6 * 9,3875 = 0,439 * 10^9 \text{ N}$

$A_{ad}(L/2) < A_{ad}(x\delta) < A_{ad}(B) \rightarrow \text{pokluz nastane}$

Dosah pokluzu byl zkusmo řešen v AutoCADu přes hledání plochy  $A_{ad}(x\delta)$ , plocha  $A_{ad}(x\delta)$  řešena pod křivkou ztrát třením.



Obr. 27 Schéma ztrát třením a pokluzem

dosah pokluzu  $l\delta = 15,806 \text{ m}$

	$\Delta\sigma_{psi}(x) \text{ [MPa]}$	$\sigma_{psi}(x) \text{ [MPa]}$
A	-151,493	1288,507
1	-142,871	1292,818
1a	-77,793	1325,357
L/2	-57,614	1335,607
2	-36,425	1346,149
2a	-0	1351,064
B	-0	1347,007

### 7.1.3 ZTRÁTY POSTUPNÝM PŘEDPÍNÁNÍM

$$j = (n_c - 1) / 2 * n_c = (4 - 1) / 2 * 4 = 0,375$$

vliv předpětí

$$P_{m,sl}(L/2) = \sigma_{psi}(L/2) * A = 1335,607 * 3360 * 10^{-3} = 4487,640 \text{ kN}$$

$$\Delta\sigma_{cp(t0)} = -\frac{P_{m,sl}(x)}{A_{cr}} - \frac{P_{m,sl}(x) * e_{pr}^2}{I_{cr}} = -\frac{4487,640 * 10^3}{0,8065} - \frac{4487,640 * 10^3 * 0,2895^2}{0,044715} = -13975616 \text{ Pa} =$$

$$= -13,976 \text{ Mpa}$$

vliv vlastní tíhy

$$M_{g0k} = 852,538 \text{ kN}$$

$$\Delta\sigma_{c(t0)} = \frac{M_{g0k}}{I_{cr}} * e_{pr} = \frac{1067,878 * 10^3}{0,044715} * 0,2895 = 5519619 \text{ Pa} = 5,520 \text{ MPa}$$

$$\Delta\sigma_{c(t0)} = \Delta\sigma_{cp(t0)} + \Delta\sigma_{c(t0)} = -13,976 + 6,914 = -8,456 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{pel} = E_p \cdot \sum \left[ \frac{j \cdot \Delta \sigma_c(t_0)}{E_{cm}(t)} \right] = 195 \cdot 10^9 \cdot \frac{0,375 \cdot (-7,062) \cdot 10^6}{33,5 \cdot 10^9} = -18458060 \text{ Pa} = -18,458 \text{ MPa}$$

### 7.1.4 ZTRÁTY RELAXACÍ PŘEDPÍNACÍ VÝZTUŽE

Ztrátu relaxací předpínací výztuže redukuje korekcí, podržením napětí po dobu 5 min.

- lana – 2 tř relaxačního chování

$\rho = 2,5 \%$ , předpínací výztuž s nízkou relaxací

$t_0 = 1 \text{ h}$

$f_{pk} = 1860 \text{ MPa}$

$\sigma_{pr} = 1392,824 \text{ MPa}$

$\mu = \sigma_{pr} / f_{pk} = 1392,824 / 1860 = 0,749$

$\sigma_{psl} = 1335,607 \text{ MPa}$

$\mu = \sigma_{psl} / f_{pk} = 1335,607 / 1860 = 0,718$

<0,5 min>

- v interval 0-5min proběhne eliminace ztráty zdvihem předpínací pistole

$$Kr = -0,66 \cdot 10^{-5} \cdot \rho_{100} [\%] \cdot e^{9,09 \cdot \mu} \cdot \left( \frac{t}{1000} \right)^{0,75 \cdot (1-\mu)} =$$

$$= -0,66 \cdot 10^{-5} \cdot 2,5 \cdot e^{9,09 \cdot 0,749} \cdot \left( \frac{5/60}{1000} \right)^{0,75 \cdot (1-0,749)} = -2,549 \cdot 10^{-3}$$

$$\Delta \sigma_{pr(tc)} = Kr \cdot \sigma_{pr} = -2,549 \cdot 10^{-3} \cdot 1392,824 = -3,551 \text{ MPa}$$

<5 min, 1h>

$$Kr = -0,66 \cdot 10^{-5} \cdot \rho_{100} [\%] \cdot e^{9,09 \cdot \mu} \cdot \left( \frac{t}{1000} \right)^{0,75 \cdot (1-\mu)} =$$

$$= -0,66 \cdot 10^{-5} \cdot 2,5 \cdot e^{9,09 \cdot 0,718} \cdot \left( \frac{55/60}{1000} \right)^{0,75 \cdot (1-0,718)} = -2,567 \cdot 10^{-3}$$

$$\Delta \sigma_{pr(tr)} = Kr \cdot \sigma_{pr} = -2,567 \cdot 10^{-3} \cdot 1335,607 = -3,429 \text{ MPa}$$

$$\Delta \sigma_{pr,st} = \Delta \sigma_{pr(tc)} - \Delta \sigma_{pr(tr)} = -3,551 - (-3,429) = -0,122 \text{ MPa}$$

### 7.1.5 CELKOVÉ KRÁTKODOBÉ ZTRÁTY

$$\sigma_{pmo(L/2)} = \sigma_{psl(L/2)} + \Delta \sigma_{pel} + \Delta \sigma_{pr,st}$$

$$\sigma_{pmo(L/2)} = 1335,607 - 15,415 - 0,122 = 1317,027 \text{ MPa}$$

krátkodobé ztráty 8,540 %

odhadované ztráty 10 %

$$P_{m,0} = \sigma_{pmo(L/2)} \cdot A_p$$

$$P_{m,0} = 1317,027 \cdot 3360 \cdot 10^{-3} = 4425,211 \text{ kN}$$

interval  $4201,353 \text{ kN} < 4425,211 \text{ kN} < 8017,703 \text{ kN}$

podmínka maximálního napětí:

$$\sigma_{pmo(L/2)} = 1317,027 \text{ MPa} < \sigma_{pmo,max} = 1360 \text{ MPa}$$

návrh vyhovuje krátkodobým ztrátám

## 7.2 DLOUHODOBÉ ZMĚNY PŘEDPĚTÍ

Po zakotvení předpínací výztuže začínají snižovat hodnotu předpínací síly v kabelu dlouhodobé ztráty. Jedná se o takzvané provozní ztráty.

- časově závislé ztráty
  - dotvarování c
  - smršťování s
  - relaxace
- od zatížení  $g_1, q$

Intervaly :

- ukončení ošetřování betonu 7 dní
- předepnutí nosníku po vybetonování 28 dní
- zatížení svrškem  $t_g$  7 měsíců
- uvedení do provozu 9 měsíců
- konečný okamžik pro relaxaci 57 let
- ukončení provozu 100 let

### 7.2.1 ZTRÁTY SMRŠŤOVÁNÍM BETONU

Ztráta smršťováním betonu se skládá z vysychání  $\epsilon_{cd}$  a autogeního smrštění  $\epsilon_{ca}$ .

obvod vystavený vysychání  $u = 1,000 \text{ m}$

$$h_0 = 2 * A_{cr} / u = 2 * 0,8065 / 1,0 = 1,613 \text{ m} = 1613 \text{ mm}$$

$$kh = kh(h_0) [\text{mm}] \quad h_0 \geq 500 \quad \rightarrow \quad kh = 0,7$$

$\epsilon_{cd,0} = [\text{‰}]$	interpolace	beton	C20/25	35/45	40/50
			0,3	0,255	0,24

dobu ošetřování betonu  $t_s = 7 \text{ dní}$

$$t = t_i \rightarrow t_g = 210 \text{ dní}$$

$$t_{\infty} = 36500 \text{ dní}$$

- časová funkce průběhu smršťování

$$\beta_{ds}(t,ts) = \frac{t-ts}{(t-ts)+0,04\sqrt{h_0^3}}$$

$$\beta_{ds}(t_0,ts) = \frac{28-7}{(28-7)+0,04\sqrt{1613^3}} = 0,00804$$

$$\beta_{ds}(t_g,t_0) = \frac{210-7}{(210-7)+0,04\sqrt{1613^3}} - 0,00804 = 0,0646$$

$$\beta_{ds}(t_\infty,t_0) = \frac{36500-7}{(36500-7)+0,04\sqrt{1613^3}} - 0,00804 = 0,934$$

$$\varepsilon_{cd,(t,ts)} = \beta_{ds}(t,ts) * kh * \varepsilon_{cd,0}$$

$$\varepsilon_{cd,(t_g,t_0)} = 0,0656 * 0,7 * (-0,255) * 10^{-3} = -1,153 * 10^{-5}$$

$$\varepsilon_{cd,(t_\infty,t_0)} = 0,934 * 0,7 * (-0,255) * 10^{-3} = -1,667 * 10^{-4}$$

$$\beta_{as}(t,ts) = 1 - e^{-0,2*\sqrt{t}}$$

$$\beta_{as}(t_0) = 1 - e^{-0,2*\sqrt{28}} = 0,6529$$

$$\beta_{as}(t_g) = 1 - e^{-0,2*\sqrt{210}} = 0,9449$$

$$\beta_{as}(t_\infty) = 1 - e^{-0,2*\sqrt{36500}} = 1$$

$$\beta_{as}(t,t_0) = \beta_{as}(t) - \beta_{as}(t_0)$$

$$\beta_{as}(t_g,t_0) = 0,9449 - 0,6529 = 0,292$$

$$\beta_{as}(t_\infty,t_0) = 1 - 0,6529 = 0,3471$$

$$\varepsilon_{ca,\infty} = 2,5 * (f_{ck} - 10) * 10^{-6} = 2,5 * (35 - 10) * 10^{-6} = 6,25 * 10^{-5}$$

$$\varepsilon_{cd,(t,ts)} = \beta_{as}(t,t_0) * \varepsilon_{ca,\infty}$$

$$\varepsilon_{ca,(t_g,t_0)} = 0,292 * -6,25 * 10^{-6} = -1,825 * 10^{-5}$$

$$\varepsilon_{ca,(t_\infty,t_0)} = 0,3471 * -6,25 * 10^{-6} = -2,169 * 10^{-5}$$

celkové přetvoření

$$\varepsilon_{cs,(t,t_0)} = \varepsilon_{cd,(t,ts)} + \varepsilon_{ca,(t,t_0)}$$

$$\varepsilon_{cs,(t_g,t_0)} = -1,153 * 10^{-5} - 1,825 * 10^{-5} = -2,978 * 10^{-5}$$

$$\varepsilon_{cs,(t_\infty,t_0)} = -1,667 * 10^{-4} - 2,169 * 10^{-5} = -1,884 * 10^{-4}$$

ztráty smrštěním vyjádřené napětím

$$\Delta\sigma_{ps'} = \varepsilon_{cs} * E_p$$

$$\langle t_g, t_0 \rangle : \Delta \sigma_{ps'(tg)} = -2,978 \cdot 10^{-5} \cdot 195 \cdot 10^3 = -5,807 \text{ MPa}$$

$$\langle t_\infty, t_0 \rangle : \Delta \sigma_{ps'(t_\infty)} = -1,884 \cdot 10^{-4} \cdot 195 \cdot 10^3 = -36,738 \text{ MPa}$$

### 7.2.2 ZTRÁTY PRUŽNÝM PŘETVOŘENÍM

Ztráta pružným přetvořením vlivem působení dlouhodobých složek zatížení zvyšuje hodnotu napětí ve výztuži. Nejedná se tedy o zápornou ztrátu předpětí, ale o přírůstek.

- od  $g_1$ , čas  $t_g$

- zanedbáváme vliv  $\Delta P_{el,g1}$

$$M_{g1k} = 215,340 \text{ kNm}$$

$$I_{cr} = 0,044715 \text{ m}^4$$

$$e_{pr} = 0,2895 \text{ m}$$

$$\Delta \sigma_{pel,g1} \approx \frac{M_{g1k}}{I_{cr}} \cdot e_{p,r} \cdot \frac{E_p}{E_{cm}}$$

$$\Delta \sigma_{pel,g1} = \frac{215,340 \cdot 10^3}{0,044715} \cdot 0,2895 \cdot \frac{210 \cdot 10^9}{33,5 \cdot 10^9} = 8739660 \text{ Pa} = 8,740 \text{ MPa}$$

### 7.2.3 ZTRÁTY DOTVAROVÁNÍM BETONU

součinitel dotvarování

- odečten z grafu pro  $R_H = 80 \%$ , cement N

$$\varphi_0(\infty, t_0) = 1,7$$

$$\varphi_0(\infty, t_g) = 1,6$$

$$f_{cm} = f_{ck} + 8 \text{ MPa} = 35 + 8 = 43 \text{ MPa}$$

$$\alpha_3 = [35/f_{cm}]^{0,5} = [35/43]^{0,5} = 0,902$$

$$\beta_H = 1,5 \cdot [1 + (0,012 \cdot R_H)^{18}] \cdot h_0 + 250 \cdot \alpha_3 = 1,5 \cdot [1 + (0,012 \cdot 80)^{18}] \cdot 1613 + 250 \cdot 0,902 = 3808,150$$

$$\beta_H = 3805,4 > 1500 \cdot \alpha_3 = 1500 \cdot 0,902 = \underline{1353}$$

$$\beta_c(t, t_i) = \left( \frac{t - t_i}{\beta_H + t - t_1} \right)^{0,3}$$

$$\beta_c(t_0, t_g) = \left( \frac{210 - 28}{1353 + 210 - 28} \right)^{0,3} = 0,527$$

$$\beta_c(t_0, t_\infty) = \left( \frac{36500 - 28}{1353 + 36500 - 28} \right)^{0,3} = 0,989$$

$$\beta_c(t_g, t_\infty) = \left( \frac{36500 - 210}{1353 + 36500 - 210} \right)^{0,3} = 0,989$$

$$P_{mo} = 4425,211 \text{ kN}$$



$$M_{g0k} = 852,528 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{c,Qp(t0)} = -\frac{P_{m0}}{A_{cr}} - \frac{P_{m0} \cdot e_{pr}^2}{I_{cr}} + \frac{M_{g0k} \cdot e_{pr}}{I_{cr}}$$

$$\sigma_{c,Qp(t0)} = -\frac{4425,211 \cdot 10^3}{0,8065} - \frac{4425,211 \cdot 10^3 \cdot 0,2895^2}{0,044715} + \frac{852,528 \cdot 10^3 \cdot 0,2895}{0,044715} = -8261643 \text{ Pa} = -$$

$$8,262 \text{ MPa}$$

$$\Delta P_{mel,g1} = \Delta \sigma_{mel} \cdot A_p = 8,740 \cdot 3360 \cdot 10^{-3} = 29,366 \text{ kN}$$

$$M_{g1k} = 215,340 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{c,Qp(tg)} = \frac{\Delta P_{mel,g1}}{A_{cr}} + \frac{\Delta P_{mel,g1} \cdot e_{pr}^2}{I_{cr}} + \frac{M_{g1k} \cdot e_{pr}}{I_{cr}}$$

$$\sigma_{c,Qp(tg)} = \frac{29,366 \cdot 10^3}{0,8065} + \frac{29,366 \cdot 10^3 \cdot 0,2895^2}{0,044715} + \frac{215,340 \cdot 10^3 \cdot 0,2895}{0,044715} = 1485637 \text{ Pa} = 1,486 \text{ MPa}$$

součinitele dotvarování

$$\varphi_{(t0,tg)} = \varphi_0 \cdot \beta_{c(t0,tg)} = 1,7 \cdot 0,527 = 0,896$$

$$\varphi_{(t0,t\infty)} = \varphi_0 \cdot \beta_{c(t0,t\infty)} = 1,7 \cdot 0,989 = 1,681$$

$$\varphi_{(tg,t\infty)} = \varphi_0 \cdot \beta_{c(tg,t\infty)} = 1,6 \cdot 0,989 = 1,582$$

přetvoření

$$\varepsilon_{cc(t,ti)} = \varphi_{(t,ti)} \cdot \frac{\sigma_{c,Qp(t0/tg)}}{E_{cm}}$$

$$\varepsilon_{cc(t0,tg)} = 0,896 \cdot \frac{-8,262 \cdot 10^6}{33,5 \cdot 10^9} = -2,210 \cdot 10^{-4}$$

$$\varepsilon_{cc(t0,t\infty)} = 1,681 \cdot \frac{-8,262 \cdot 10^6}{33,5 \cdot 10^9} = -4,156 \cdot 10^{-4}$$

$$\varepsilon_{cc(tg,t\infty)} = 1,582 \cdot \frac{1,486 \cdot 10^6}{33,5 \cdot 10^9} = 7,017 \cdot 10^{-5}$$

## 7.2.4 ZTRÁTY RELAXACÍ PŘEDPÍNACÍ VÝZTUŽE

$$\sigma_{psi} = 1335,607 \text{ MPa}$$

$$\mu = \sigma_{psi} / f_{pk} = 1335,607 / 1860 = 0,718$$

$$\langle t_a, t_\infty \rangle, \langle 5 \text{min}, 57 \text{let} \rangle$$

$$Kr = -0,66 \cdot 10^{-5} \cdot \rho_{100} [\%] \cdot e^{9,09 \cdot \mu \cdot \left(\frac{t}{1000}\right)^{0,75 \cdot (1-\mu)}} =$$

$$= -0,66 \cdot 10^{-5} \cdot 2,5 \cdot e^{9,09 \cdot 0,718 \cdot \left(\frac{1}{12h} \cdot \frac{500000h}{1000}\right)^{0,75 \cdot (1-0,718)}} = -0,042 \cdot 10^{-3}$$

$$\Delta \sigma_{pr(ta,t\infty)} = Kr \cdot \sigma_{pr} = -0,042 \cdot 1335,607 = -56,095 \text{ MPa}$$

$$\langle t_a, t_g \rangle, < 1h, 7 \text{ měsíců} >$$

$$\begin{aligned} Kr &= -0,66 \cdot 10^{-5} \cdot \rho_{100} [\%] \cdot e^{9,09 \cdot \mu \cdot \left(\frac{t}{1000}\right)^{0,75 \cdot (1-\mu)}} = \\ &= -0,66 \cdot 10^{-5} \cdot 2,5 \cdot e^{9,09 \cdot 0,718 \cdot \left(\frac{5123}{1000}\right)^{0,75 \cdot (1-0,718)}} = -0,016 \cdot 10^{-3} \end{aligned}$$

$$\Delta\sigma_{pr(ta, t\infty)} = Kr \cdot \sigma_{pr} = -0,016 \cdot 1335,607 = -21,380 \text{ MPa}$$

$$\langle t_a, t_0 \rangle, < 5\text{min}, 1h >$$

$$\begin{aligned} Kr &= -0,66 \cdot 10^{-5} \cdot \rho_{100} [\%] \cdot e^{9,09 \cdot \mu \cdot \left(\frac{t}{1000}\right)^{0,75 \cdot (1-\mu)}} = \\ &= -0,66 \cdot 10^{-5} \cdot 2,5 \cdot e^{9,09 \cdot 0,718 \cdot \left(\frac{55/60}{1000}\right)^{0,75 \cdot (1-0,718)}} = -0,0026 \cdot 10^{-3} \end{aligned}$$

$$\Delta\sigma_{pr(ta, t\infty)} = Kr \cdot \sigma_{pr} = -0,0026 \cdot 1335,607 = -3,473 \text{ MPa}$$

### 7.2.5 OKAMŽITÉ ZTRÁTY OD PROMĚNNÉHO ZATÍŽENÍ

od q ( LM1 )

$$M_{gk} = 675,544 \text{ kNm}$$

$$M_{gk\psi} = 429,025 \text{ kNm}$$

$$\Delta\sigma_{pel,q} \approx \frac{M_{qk}}{I_{cr}} \cdot e_{pr} \cdot \frac{E_p}{E_{cm}}$$

$$\Delta\sigma_{pel,qmax} \approx \frac{675,544 \cdot 10^3}{0,044715} \cdot 0,2895 \cdot \frac{210 \cdot 10^9}{33,5 \cdot 10^9} = 27417223 \text{ Pa} = 27,417 \text{ MPa}$$

$$\Delta\sigma_{pel,q\psi} \approx \frac{410,248 \cdot 10^3}{0,044715} \cdot 0,2895 \cdot \frac{210 \cdot 10^9}{33,5 \cdot 10^9} = 16650079 \text{ Pa} = 16,650 \text{ MPa}$$

### 7.2.6 CELKOVÉ DLOUHODOBÉ ZTRÁTY

$$\vartheta_{c,r} = \frac{E_p \cdot A_p}{E_{cm} \cdot A_{c,r}} = \frac{195 \cdot 10^9 \cdot 3360 \cdot 10^{-6}}{33,5 \cdot 10^9 \cdot 0,8065} = 0,024$$

$$i_{c,r} = \sqrt{\frac{I_{c,r}}{A_{c,r}}} = \sqrt{\frac{0,044715}{0,8065}} = 0,235$$

$$\Psi_{c,r} = \vartheta_{c,r} \cdot \left(1 + \frac{e_{p,r}^2}{i_{c,r}^2}\right) = 0,024 \cdot \left(1 + \frac{0,2895^2}{0,235^2}\right) = 0,061$$

$$\langle t_0, t_g \rangle$$

$$\Delta\sigma_{p,c+r+s,t(x)} = \frac{\varepsilon_{cs} \cdot E_p + 0,8 \cdot \Delta\sigma_{pr} + \varepsilon_{cc}(t_0, t_g) \cdot E_p}{1 + \Psi_{c,r} \cdot [1 + 0,8 \cdot \varphi(t_0, t_g)]}$$

$$\Delta\sigma_{p,c+r+s,g} = \frac{-2,978 \cdot 10^{-5} \cdot 195 \cdot 10^9 + 0,8 \cdot (-21,380) \cdot 10^6 + (-2,210) \cdot 10^{-4} \cdot 195 \cdot 10^9}{1 + 0,061 \cdot [1 + 0,8 \cdot 0,896]} = -59748908 \text{ Pa} =$$

$$= -59,749 \text{ MPa}$$

$$\langle t_0, t_\infty \rangle + \langle t_g, t_\infty \rangle$$

$$\Delta\sigma_{p,c+r+s,t(x)} = \frac{\varepsilon_{cs}(t_\infty, t_0) * E_p + 0,8 * \Delta\sigma_{pr,\infty} + \varepsilon_{cc}(t_0, t_\infty) * E_p}{1 + \psi_{c,r} * [1 + 0,8 * \varphi(t_0, t_\infty)]} + \frac{\varepsilon_{cc}(t_g, t_\infty) * E_p}{1 + \psi_{c,r} * [1 + 0,8 * \varphi(t_g, t_\infty)]}$$

$$\Delta\sigma_{p,c+r+s,\infty} = \frac{-1,884 * 10^{-4} * 195 * 10^9 + 0,8 * (-56,095) * 10^6 + (-4,156) * 10^{-4} * 195 * 10^9}{1 + 0,061 * [1 + 0,8 * 1,681]} + \frac{7,017 * 10^{-5} * 195 * 10^9}{1 + 0,061 * [1 + 0,8 * 1,582]}$$

$$= -142302128 + 5744357 = -136557771 \text{ Pa} = -136,558 \text{ MPa}$$

čas  $t_0$  :

$$\sigma_{pm0} = 1317,027 \text{ MPa}$$

$$P_{m0} = 4425,211 \text{ kN}$$

čas  $t_g$  :

$$\sigma_{pm,g}^- = \sigma_{pm0} + \Delta\sigma_{p,c+r+s,g} = 1319,463 - 59,749 = 1259,714 \text{ MPa}$$

$$P_{m0} = 4232,639 \text{ kN}$$

$$\sigma_{pm,g}^+ = \sigma_{pm,g}^- + \Delta\sigma_{pel,g1} = 1259,714 + 8,740 = 1268,454 \text{ MPa}$$

$$P_{m0} = 4262,005 \text{ kN}$$

čas  $t_\infty$  :

$$\sigma_{pm\infty} = \sigma_{pm0} + \Delta\sigma_{p,c+r+s,\infty} + \Delta\sigma_{pel,g1} = 1317,027 - 136,558 + 8,740 = 1189,209 \text{ MPa}$$

$$P_{m\infty} = 3995,742 \text{ kN}$$

$$\sigma_{pm\infty}' = \sigma_{pm\infty} + \Delta\sigma_{pl,qmax} = 1191,731 + 27,417 = 1216,626 \text{ MPa}$$

$$P_{m\infty}' = 4087,863 \text{ kN}$$

$$\sigma_{pm\infty}'' = \sigma_{pm\infty}' + \Delta\sigma_{pl,q\psi} = 1189,209 + 16,650 = 1205,859 \text{ MPa}$$

$$P_{m\infty}''\psi = 4051,686 \text{ kN}$$

$$\sigma_{m,0} = 1317,027 \text{ MPa}$$

dlouhodobé ztráty 9,71%

odhadované ztráty 15 %

návrh vyhovuje dlouhodobým ztrátám

## 8 MEZNÍ STAV POUŽITELNOSTI

### 8.1 OMEZENÍ NAPĚTÍ

- řešeno pro  $x = L/2$ , časy  $t_0$ ,  $t_\infty$
- výpočet proveden na betonovém průřezu
- předpínací síla  $P_{kt} = r \cdot P_{mt}$ ,  $r = r_{inf} = r_{sup} = 1,0$

#### 8.1.1 NAPĚTÍ V BETONU

- charakteristická kombinace, čas  $t_\infty$ ,  $|\sigma_c| < 0,6 f_{ck}$ , omezení napětí v tlaku

$$M_{fk} = M_{char} = 1804,516 \text{ kNm}$$

$$N_{pk} = P_{m' \infty} = 4087,863 \text{ kN}$$

$$\sigma_{c1} = \frac{N_{pk}}{A_{cr}} + \frac{M_{pk \cdot z_1}}{I_{cr}} + \frac{M_{fk \cdot z_1}}{I_{cr}} < 0,6 f_{ck}$$

$$\sigma_{c1} = \frac{-4087,863 \cdot 10^3}{0,8065} + \frac{-4087,863 \cdot 10^3 \cdot 0,2895 \cdot 0,414}{0,044715} + \frac{1804,516 \cdot 10^3 \cdot 0,414}{0,044715} < 0,6 \cdot 35$$

$$\underline{\sigma_{c1} = 681706 \text{ Pa} = 0,682 \text{ MPa} < 21 \text{ MPa} \quad \text{vyhovuje}}$$

$$\sigma_{c2} = \frac{N_{pk}}{A_{cr}} - \frac{M_{pk \cdot z_1}}{I_{cr}} - \frac{M_{fk \cdot z_1}}{I_{cr}} < 0,6 f_{ck}$$

$$\sigma_{c2} = \frac{-4087,863 \cdot 10^3}{0,8065} + \frac{-4087,863 \cdot 10^3 \cdot 0,2895 \cdot (-0,405)}{0,044715} + \frac{1804,516 \cdot 10^3 \cdot (-0,405)}{0,044715} < 0,6 \cdot 35$$

$$\underline{\sigma_{c2} = -10693990 \text{ Pa} = -10,694 \text{ MPa} < 21 \text{ MPa} \quad \text{vyhovuje}}$$

- kvazistálá kombinace, čas  $t_\infty$ ,  $|\sigma_c| < 0,45 f_{ck}$ , hledisko lineárního dotvarování

$$M_{fk} = M_{kvaz} = 1067,878 \text{ kNm}$$

$$N_{pk} = P_{m \infty} = 3995,742 \text{ kN}$$

$$\sigma_{c1} = \frac{N_{pk}}{A_{cr}} + \frac{M_{pk \cdot z_1}}{I_{cr}} + \frac{M_{fk \cdot z_1}}{I_{cr}} < 0,6 f_{ck}$$

$$\sigma_{c1} = \frac{-3995,742 \cdot 10^3}{0,8065} + \frac{-3995,742 \cdot 10^3 \cdot 0,2895 \cdot 0,414}{0,044715} + \frac{1067,878 \cdot 10^3 \cdot 0,414}{0,044715} < 0,45 \cdot 35$$

$$\underline{\sigma_{c1} = -5777417 \text{ Pa} = -5,777 \text{ MPa} < 15,75 \text{ MPa} \quad \text{vyhovuje}}$$

$$\sigma_{c2} = \frac{N_{pk}}{A_{cr}} - \frac{M_{pk \cdot z_1}}{I_{cr}} - \frac{M_{fk \cdot z_1}}{I_{cr}} < 0,45 f_{ck}$$

$$\sigma_{c1} = \frac{-3995,742 \cdot 10^3}{0,8065} + \frac{-3995,742 \cdot 10^3 \cdot 0,2895 \cdot (-0,405)}{0,044715} + \frac{1067,878 \cdot 10^3 \cdot (-0,405)}{0,044715} < 0,45 \cdot 35$$

$$\sigma_{c1} = |-4149320| \text{ Pa} = |-4,149| \text{ MPa} < 15,75 \text{ MPa} \quad \text{vyhovuje}$$

$$- \text{čas } t_0, |\sigma_c| < 0,6 f_{ck}$$

$$|\sigma_c| < 0,45 f_{ck}$$

$$M_{fk} = M_{g0k} = 852,538 \text{ kNm}$$

$$N_{pk} = P_{m0} = 4425,211 \text{ kN}$$

$$\sigma_{c1} = \frac{N_{pk}}{A_{cr}} + \frac{M_{pk} \cdot z_1}{I_{cr}} + \frac{M_{fk} \cdot z_1}{I_{cr}} < 0,6 f_{ck}$$

$$\sigma_{c1} = \frac{-4425,211 \cdot 10^3}{0,8065} + \frac{-4425,211 \cdot 10^3 \cdot 0,2895 \cdot 0,414}{0,044715} + \frac{852,538 \cdot 10^3 \cdot 0,414}{0,044715} < 0,6 \cdot 35$$

$$< 0,45 \cdot 35$$

$$\sigma_{c1} = |-9454820| \text{ Pa} = |-9,455| \text{ MPa} < 21 \text{ MPa} \quad \text{vyhovuje}$$

$$< 15,75 \text{ MPa} \quad \text{vyhovuje}$$

- napětí v tlaku

$$f_{ct,eff} = \max \{ f_{ctm,fl} = (1,6 - h/100) \cdot f_{ctm}; f_{ctm} \}$$

$$= \max \{ f_{ctm,fl} = (1,6 - 0,819/100) \cdot 3,2 = 1,574; 3,2 \} = 3,2 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c2} = \frac{N_{pk}}{A_{cr}} - \frac{M_{pk} \cdot z_1}{I_{cr}} - \frac{M_{fk} \cdot z_1}{I_{cr}} < f_{ctm}$$

$$\sigma_{c1} = \frac{-4425,211 \cdot 10^3}{0,8065} + \frac{-4425,211 \cdot 10^3 \cdot 0,2895 \cdot (-0,405)}{0,044715} + \frac{852,538 \cdot 10^3 \cdot (-0,405)}{0,044715} < f_{ctm}$$

$$\sigma_{c1} = |-1605304| \text{ Pa} = |-1,605| \text{ MPa} < 3,2 \text{ MPa} \quad \text{vyhovuje}$$

### 8.1.2 NAPĚTÍ VE VÝZTUŽI

$$- \text{čas } t_0, \sigma_{pm,t0} < 0,75 f_{pk}$$

$$\sigma_{pm,t0} = 1317,027 \text{ MPa} < 0,75 \cdot 1860 = 1395 \text{ MPa} \quad \text{vyhovuje}$$

$$- \text{čas } t_\infty, \sigma_{pm,t_\infty} < 0,75 f_{pk}$$

$$\sigma_{pm,t_\infty} = 1189,209 \text{ MPa} < 0,75 \cdot 1860 = 1395 \text{ MPa} \quad \text{vyhovuje}$$

### 8.1.3 OMEZENÍ TRHLIN

$$w_k \leq w_{max}$$

dle stupně prostředí konstrukce,  $w_{max}$  – dekomprese pro častou kombinaci,  $|\sigma_{c1}| < 0$

$$M_{fk} = M_{čast} = 1521,310 \text{ kNm}$$

$$N_{pk} = P_{k\infty, \psi_1} = 4051,686 \text{ kN}$$

- čas  $t_{\infty}$ ,  $|\sigma_{c1}| < 0$

Obr. x Napětí – část. kombinace

$$\sigma_{c1} = \frac{N_{pk}}{A_{cr}} + \frac{M_{pk*z_1}}{I_{cr}} + \frac{M_{fk*z_1}}{I_{cr}} < 0$$

$$\sigma_{c1} = \frac{-4051,686 \cdot 10^3}{0,8065} + \frac{-4051,686 \cdot 10^3 \cdot 0,2895 \cdot 0,414}{0,044715} + \frac{1521,310 \cdot 10^3 \cdot 0,414}{0,044715} < 0$$

$$\sigma_{c1} = -1798571 \text{ Pa} = -1,799 \text{ MPa} < 0 \text{ MPa} \quad \text{vyhovuje}$$

$$\sigma_{c2} = \frac{N_{pk}}{A_{cr}} - \frac{M_{pk*z_1}}{I_{cr}} - \frac{M_{fk*z_1}}{I_{cr}} < 0$$

$$\sigma_{c1} = \frac{-4051,686 \cdot 10^3}{0,8065} + \frac{-4051,686 \cdot 10^3 \cdot 0,2895 \cdot (-0,405)}{0,044715} + \frac{1521,310 \cdot 10^3 \cdot (-0,405)}{0,044715} < 0$$

$$\sigma_{c1} = -8178894 \text{ Pa} = -8,179 \text{ MPa} < 0 \text{ MPa} \quad \text{vyhovuje}$$

- čas  $t_0$ ,  $|\sigma_c| < 0,6 f_{ck}$

$$|\sigma_c| < 0,45 f_{ck}$$

$$M_{fk} = M_{g0k} = 852,538 \text{ kNm}$$

$$N_{pk} = P_{m0} = 4425,211 \text{ kN}$$

$$\sigma_{c1} = \frac{N_{pk}}{A_{cr}} + \frac{M_{pk*z_1}}{I_{cr}} + \frac{M_{fk*z_1}}{I_{cr}} < f_{ctm}$$

$$\sigma_{c1} = \frac{-4425,211 \cdot 10^3}{0,8065} + \frac{-4425,211 \cdot 10^3 \cdot 0,2895 \cdot 0,414}{0,044715} + \frac{852,538 \cdot 10^3 \cdot 0,414}{0,044715} < f_{ctm}$$

$$\sigma_{c1} = -9454820 \text{ Pa} = -9,455 \text{ MPa} < 3,2 \text{ MPa} \quad \text{vyhovuje}$$

$$\sigma_{c2} = \frac{N_{pk}}{A_{cr}} - \frac{M_{pk*z_1}}{I_{cr}} - \frac{M_{fk*z_1}}{I_{cr}} < f_{ctm}$$

$$\sigma_{c1} = \frac{-4425,211 \cdot 10^3}{0,8065} + \frac{-4425,211 \cdot 10^3 \cdot 0,2895 \cdot (-0,405)}{0,044715} + \frac{852,538 \cdot 10^3 \cdot (-0,405)}{0,044715} < f_{ctm}$$

$$\sigma_{c1} = -1605304 \text{ Pa} = -1,605 \text{ MPa} < 3,2 \text{ MPa} \quad \text{vyhovuje}$$

## 9 MEZNÍ STAV ÚNOSNOSTI – KOMBINACE M + N

- řešeno pro  $x = L/2$ , čas  $t_{\infty}$

Stanovení krytí pro betonářskou výztuž

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev}$$

$$c_{min} = \max \{ c_{min,b}, c_{mindru} + \Delta c_{der,y} - \Delta c_{dur,st} - c_{dur,add}, 10 \text{ mm} \}$$

$$c_{min} = \max \{ <35, 35, 10 \text{ mm} \}$$

$$\Delta c_{dev} = 10 \text{ mm}$$

$$c_{nom} = 35 + 10 = 45 \text{ mm}$$

návrh krytí 45 mm

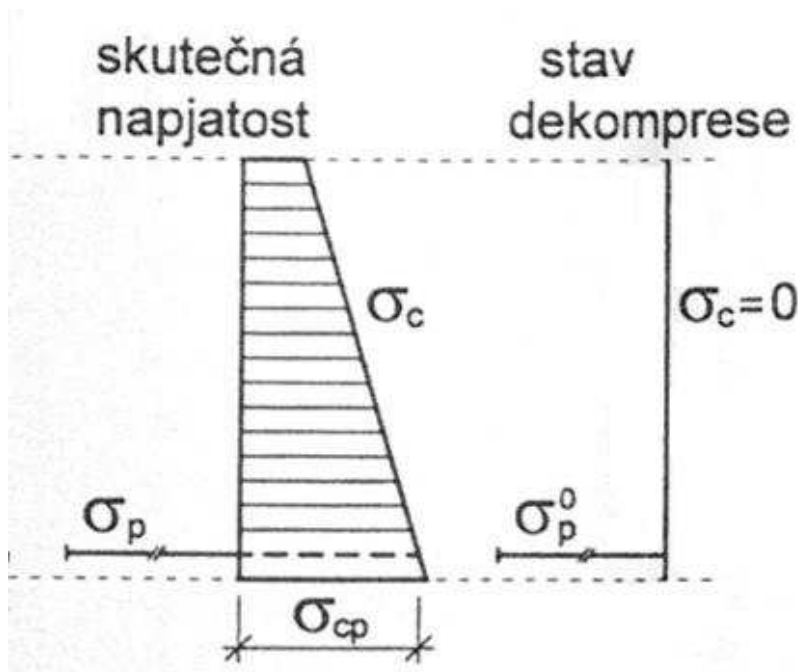
Pro řešení desky pomocí spolupůsobících šírek platí zásada dostatečného vyztužení v hodnotách:

- pro příčnou spodní výztuž 25% z dolní podélné výztuže
- pro vyztužení horního povrchu 13% z dolní podélné výztuže

Betonářskou výztuž navrhne tak, aby kanálky předpínací výztuže ležely na poslední vrstvě výztuže betonářské.

V návrhu počítáme se sponami pro smykovou výztuž  $\varnothing 8$ .

## 9.1 STANOVENÍ ZÁKLADNÍHO NAPĚTÍ



Obr.28 Skutečná napjatost v prvku a stav dekomprese

- základní napětí v předpínací výztuži je takové, kdy v přilehlých vláknech betonu je nulové napětí

$$P_{mt\infty} = 4087,863 \text{ kN}$$

$$A_p = 3360 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_{p,t} = P_{mt\infty} / A_p = 4087,863 \cdot 10^3 / 3360 = 1216,626 \text{ MPa}$$

$$N_{ek} = N_{fk} + N_{pk} = 0 + 4087,863 = 4087,863 \text{ kN}$$

$$M_{ek} = M_{fk} + M_{pk} = 1804,516 - 4087,863 \cdot 0,2895 = 621,080 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{cp} = \frac{N_{ek}}{A_{cr}} + \frac{M_{ek}}{I_{cr}} \cdot e_p = \frac{-4087,863 \cdot 10^3}{0,8065} + \frac{621,080 \cdot 10^3}{0,044715} \cdot 0,2895 = 1047565 \text{ Pa} = 1,048 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{ct}^0 = \sigma_{p,t} - \frac{E_p}{E_{cm}} \cdot \sigma_{cp} = 1216,626 - \frac{195 \cdot 10^9}{33,5 \cdot 10^9} \cdot 1,048 = 1210,526 \text{ MPa}$$

$$P_{d\infty}^0 = \gamma_p \cdot A_p \cdot \sigma_{ct}^0 = 1,0 \cdot 3360 \cdot 1210,526 = 4067367 \text{ N} = 4067,367 \text{ kN}$$

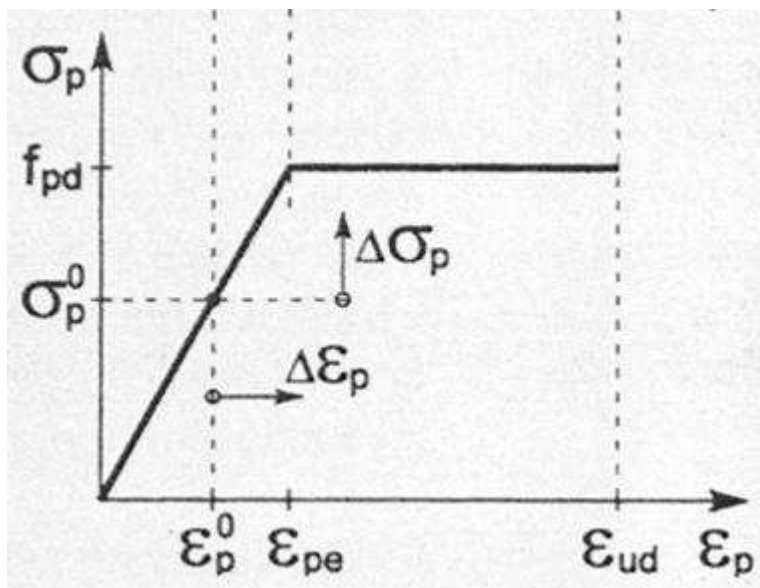
## 9.2 URČENÍ VNITŘNÍCH SIL

$$N_{ed} = N_{fd} + N_{pd} = 0 + P_{d\infty}^0 = 0 + 4067,367 = 4067,367 \text{ kN}$$

$$M_{ed} = M_{fd} + M_{pd} = M_{fd} + P_{d\infty}^0 \cdot e_{pr} = 2219,851 - 4067,367 \cdot 0,2895 = 1042,348 \text{ kNm}$$



### 9.3 STANOVENÍ PARAMETRŮ NÁVRHOVÉHO PRACOVNÍHO DIAGRAMU



Obr. 29 Pracovní diagram betonu s parametry pro výpočet ohybové únosnosti

$$f_{pd} = f_{p0,1k} / \gamma_s = 1600 / 1,15 = 1391,3 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{py} = f_{pd} / E_p = 1391,3 \cdot 10^6 / 195 \cdot 10^9 = 7,135 \cdot 10^{-3}$$

$$\Delta\sigma_p = f_{pd} - \sigma_{ct}^0 = 1391,3 - 1210,526 = 180,774 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{pt}^0 = -\sigma_{ct}^0 / E_p = 1210,526 \cdot 10^6 / 195 \cdot 10^9 = 6,208 \cdot 10^{-3}$$

$$\Delta\varepsilon_{py} = \varepsilon_{py} - \varepsilon_{pt}^0 = 7,135 \cdot 10^{-3} - 6,208 \cdot 10^{-3} = 0,927 \cdot 10^{-3}$$

$$\varepsilon_{cu} = 3,5\text{‰}$$

### 9.4 URČNÍ NEUTRÁLNÍ OSY

$$\Delta F_{pt} = A_p \cdot \Delta\sigma_p = 3360 \cdot 180,774 = 607401 \text{ N} = 607,401 \text{ kN}$$

$$N_{ed} = N_{rd} = F_{cc} - \Delta F_{pt} \quad \rightarrow \quad F_{cc} = N_{ed} + \Delta F_{pt}$$

$$F_{cc} = 4067,367 + 607,401 = 4674,768 \text{ kN}$$

$$A_{cc} = F_{cc} / f_{cd} = 4674,768 \cdot 10^3 / 19,83 = 235742 \text{ mm}^2 = 0,236 \text{ m}^2$$

$$A_{cc} = x_c \cdot 1,0 \text{ m} \quad \rightarrow \quad x_c = A_{cc} / 1,0 = 0,236 / 1,0 = 0,236 \text{ m}$$

$$x = x_c / \lambda = 0,236 / 0,8 = 0,295 \text{ m} = 295 \text{ mm}$$

## 9.5 ÚNOSNOST

$$z_{cc} = z_{c2,r} - x_c / 2 = 0,405 - 0,236 / 2 = 0,287 \text{ m} = 287 \text{ mm}$$

$$z_{pt} = e_{pr} = 0,2895 \text{ m}$$

$$M_{Rd} = F_{cc} * z_{cc} + \Delta F_p * e_{pr} = A_{cc} * f_{cd} * z_{cc} + \Delta F_p * e_{pr}$$

$$M_{Rd} = 0,236 * 19,83 * 10^6 * 0,287 + 607,401 * 0,2895 = 1343301 \text{ Nm} = 1343,301$$

kNm

$$\underline{M_{Rd} = 1343,301 \text{ kNm} > M_{ed} = 1042,348 \text{ kNm} \quad \text{vyhovuje (využití na 78 \% )}}$$

Dle ohybové únosnosti není potřeba navrhovat v podélném směru přídatnou výztuž na vykrytí maximálních momentů.

Podélný směr vyztužíme podle konstrukčních zásad minimálního vyztužení.

## 9.6 KONSTRUKČNÍ ZÁSADY

- konstrukční podélná výztuž – návrh dle plochy minima vyztužení

návrh  $\varnothing 16$

-  $d = 754,5 \text{ mm}$

-  $d_1 = 64,5 \text{ mm}$

$$A_{st,min} = 0,26 * b * d * \frac{f_{ctm}}{f_{yd}} = 0,26 * 1,0 * 0,7545 * \frac{3,2}{500} = 1,261 * 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$A_{st,min} = 0,0013 * b * d = 0,0013 * 1,0 * 0,7545 = 9,854 * 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{st,max} = 0,04 * A_c = 0,04 * 1,0 * 0,7545 = 0,0303 \text{ m}^2$$

$$\text{míra vyztužení } \rho_{st} = A_{st} / b * d = 12,57 * 10^{-4} / 1,0 * 0,7545 = 0,002$$

$$0,006 < 0,002 < 0,01$$

$$\rightarrow \varnothing 16 / 160 \rightarrow A_s = 12,57 * 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$\underline{A_s = 12,57 * 10^{-4} > A_{st,min} = 1,261 * 10^{-3} \quad \text{vyhovuje}}$$

## 9.7 NÁVRH VÝZTUŽE V PŘÍČNÉM SMĚRU

Návrh výztuže v příčném směru provedeme dle zásady 25% výztuže v podélném směru a zároveň vyztužení ověříme na maximální moment v příčném směru na desko-

vém modelu. Dle zásad také ověříme minimální plochu vyztužení a konečnou plochu výztuže pak navrhujeme na nejnepříznivější výsledek.

Návrh příčné výztuže z deskového modelu z programu Scia Engineer by se provedl odstupňováním v pruzích dle hodnot momentů, snižujících se k podporovaným hranám desky.

Plocha výztuže dle zásad pro využití spolupůsobení u ručního výpočtu zatížení desky.

$$- 25\% A_s = 0,25 * 12,57 * 10^{-4} = 3,1425 * 10^{-4} \text{ m}^2$$

Moment pro návrh příčného směru dle programu Scia Engineer

$$- \text{moment } M_{ed} = m_{xD} = 240,84 \text{ kNm}, \text{ kombinace stálé} + \text{gr1}$$

$$- \text{návrh výztuže } \varnothing 16$$

$$- \text{návrh krytí} : 58 \text{ mm}$$

$$- d_1 = 80,5 \text{ mm}$$

$$- d = 738,5 \text{ mm}$$

$$A_{s,req} = b * d * f_{cd} / f_{yd} * \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 * M_{ed}}{b * d^2 * f_{cd}}} \right) = 1,0 * 0,7385 * 19,83 / 434,78 * \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 * 240,840 * 10^3}{1,0 * 0,7385^2 * 19,83 * 10^6}} \right) = 7,586 * 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$\text{návrh } \varnothing 16 / 260 \rightarrow A_s = 7,73 * 10^{-4} \text{ m}^2$$

posouzení

$$x = \frac{A_s * f_{yd}}{0,8 * b * f_{cd}} = \frac{7,73 * 10^{-4} * 434,78}{0,8 * 1,0 * 19,83} = 0,0212 \text{ m}$$

$$x_c = \lambda * x = 0,8 * 0,0212 = 0,0170 \text{ m}$$

stanovení  $M_{rd}$

$$z_c = d - x_c / 2 = 0,7385 - 0,0170 / 2 = 0,73 \text{ m}$$

$$M_{rd} = F_{s1} * z_c = A_{s1} * f_{yd} * z_c = 7,73 * 10^{-4} * 434,78 * 0,73 * 10^3 = 245,342 \text{ kNm}$$

$$\underline{M_{ed} = 240,840 \text{ kNm} < M_{rd} = 247,527 \text{ kNm} \quad \text{vyhovuje}}$$

### 9.7.1 KONSTRUKČNÍ ZÁSADY VYZTUŽENÍ

$$A_{st,min} = 0,26 * b * d * \frac{f_{ctm}}{f_{yd}} = 0,26 * 1,0 * 0,7385 * \frac{3,2}{500} = \underline{1,229 * 10^{-3} \text{ m}^2}$$

$$A_{st,min} = 0,0013 * b * d = 0,0013 * 1,0 * 0,7385 = 9,601 * 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{st,max} = 0,04 * A_c = 0,04 * 1,0 * 0,7385 = 0,0295 \text{ m}^2$$

$$\text{míra vyztužení } \rho_{st} = A_{st} / b * d = 7,73 * 10^{-4} / 1,0 * 0,7385 = 0,001$$

$$0,006 < 0,001 < 0,01$$

Rozhodující hodnotou pro vyztužení příčného směru je minimální vyztužení.

$$\rightarrow \text{nový návrh : } \emptyset 16 / 160 \rightarrow A_s = 12,57 * 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_s = 12,57 * 10^{-4} > A_{st,min} = 1,240 * 10^{-3} \quad \text{vyhovuje}$$

## 9.8 VYZTUŽENÍ HORNÍHO POVRCHU

Vyztužení horního povrchu provedeme dle zásad pro využití spolupůsobící šířky, tedy 13% dolní podélné výztuže, s ověřením momentů na deskovém modelu.

Dle teorie spolupůsobení

$$- 13\% A_s = 0,13 * 12,57 * 10^{-4} = 1,6341 * 10^{-4} \text{ m}^2$$

Navrhujeme stejnou vzdálenost výztuže jako při dolním povrchu 160 mm  $\rightarrow \emptyset 8$  ( $A_s = 3,14 * 10^{-4} \text{ m}^2$ )

### 9.8.1 NÁVRH VÝZTUŽE V PODÉLNÉM SMĚRU

Podélný směr dle deskového modelu je namáhán pouze špičkovými momenty v rozích desky. Působení momentů na ploše desky je zanedbatelné proto využijeme podmínky 13% dolní výztuže a ověříme minimální stupeň vyztužení.

- návrh  $\emptyset 8$

$$d = 762 \text{ mm}$$

$$d_1 = 57 \text{ mm}$$

Dle předchozích výsledků, využijeme pro kontrolu plochy minimálního vyztužení vzorec s méně příznivými výsledky.

$$A_{st,min} = 0,26 * b * d * \frac{f_{ctm}}{f_{yd}} = 0,26 * 1,0 * 0,762 * \frac{3,2}{500} = 1,268 * 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$A_s = 3,14 * 10^{-4} \text{ m}^2 < A_{st,min} = 1,240 * 10^{-3} \quad \text{nevyhovuje}$$

- nový návrh → nový návrh :  $\emptyset 16 / 160 \rightarrow A_s = 12,57 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$

$d = 758 \text{ mm}$

$d_1 = 61 \text{ mm}$

$$A_{st,min} = 0,26 \cdot b \cdot d \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yd}} = 0,26 \cdot 1,0 \cdot 0,758 \cdot \frac{3,2}{500} = \underline{1,261 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2}$$

$$A_s = 12,57 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 = A_{st,min} = 1,261 \cdot 10^{-3} \quad \text{vyhovuje}$$

Vzhledem k vyztužování pouze podle minimální plochy bereme hodnoty jako vyhovující.

### 9.8.2 NÁVRH VÝZTUŽE V PŘÍČNÉM SMĚRU

V příčném směru horního povrchu navrhujeme výztuž na maximální moment z pole, moment v rozích desky jsou menší, a proto nebudeme rohy dovyztužovat.

- moment v poli  $M_{ed} = m_x D^+ = 235,450 \text{ kNm}$

- moment v rozích desky  $M_{ed} = m_x D^+ = 205,720 \text{ kNm}$

- návrh  $\emptyset 14$

$d = 743 \text{ mm}$

$d_1 = 76 \text{ mm}$

$$A_{s,req} = b \cdot d \cdot f_{cd} / f_{yd} \cdot \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot M_{ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}}} \right) = 1,0 \cdot 0,743 \cdot 19,83 / 434,78 \cdot \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 235,450 \cdot 10^3}{1,0 \cdot 0,743^2 \cdot 19,83 \cdot 10^6}} \right) = 7,369 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

- návrh  $\emptyset 14 / 160 \rightarrow A_s = 9,62 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$

$$\underline{A_s = 9,62 \cdot 10^{-4} > A_{s,req} = 7,369 \cdot 10^{-3} \quad \text{vyhovuje}}$$

$$A_{st,min} = 0,26 \cdot b \cdot d \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yd}} = 0,26 \cdot 1,0 \cdot 0,743 \cdot \frac{3,2}{500} = 1,236 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$A_s = 9,62 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 < A_{st,min} = 1,236 \cdot 10^{-3} \quad \text{nevyhovuje}$$

- nový návrh → nový návrh :  $\emptyset 16 / 160 \rightarrow A_s = 12,57 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$

$d = 742 \text{ mm}$

$$d_1 = 77 \text{ mm}$$

$$A_{st,min} = 0,26 * b * d * \frac{f_{ctm}}{f_{yd}} = 0,26 * 1,0 * 0,742 * \frac{3,2}{500} = \underline{1,234 * 10^{-3} \text{ m}^2}$$

$$\underline{A_s = 12,57 * 10^{-4} \text{ m}^2 > A_{st,min} = 1,234 * 10^{-3} \text{ m}^2} \quad \text{vyhovuje}$$

## 10 MEZNÍ STAV ÚNOSNOSTI – POSOUVAJÍCÍ SÍLA V

Návrh únosnosti ve smyku provedeme na maximální posouvající síly z deskového modelu. Prutový model nevystihuje maximální působení při okraji desky.

Přínos předpínací síly

$$P_{m\infty} = 4087,863 \text{ kN}$$

$$V_{pd} = \tan \alpha * P_{d\infty}$$

- hodnoty úhlu zakřivení kabelu odečteny z AutoCADu

Výsledná působící síla

$$V_{ed} = V_{fd} + V_{pd}$$

Hodnoty excentricit odečteny dle trasování kabelu.

Tab.10 Tabulka hodnot pro výpočet smykové únosnosti

x	V <sub>fd</sub> [ kN ]	α	V <sub>pd</sub> [ kN ]	V <sub>ed</sub> [ kN ]	Med [ kNm ]	e [ m ]
0	843.340	4.580	328.144	515.196	0.000	0.041
1/8L	701.720	3.450	246.444	455.276	849.170	0.207
1/4L	513.930	0.770	54.940	458.990	1310.680	0.286
3/8L	248.930	0.000	0.000	248.930	1629.260	0.2895
1/2L	0.000	0.000	0.000	0.000	1704.820	0.2895

### 10.1 ZJIŠTĚNÍ ČÁSTI PRVKU PORUŠENÉHO/ NEPORUŠENÉHO TRHLINOU

$$\sigma_{c1,2} = \frac{N_{p'd}}{A_{cr}} + \frac{N_{p'd} * e(x)}{W_{cr}} + \frac{M_{fd}}{W_{cr}}$$

$$x = 0$$

$$\sigma_{c1} = \frac{N_{p'd}}{A_{cr}} + \frac{N_{p'd} * e(x)}{W_{cr1}} + \frac{M_{fd}}{W_{cr1}} = \frac{-4087,863 * 10^3}{0,8065 * 10^6} + \frac{-4087,863 * 0,0405 * 10^6}{0,1080 * 10^9} + 0 = -6,602 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,2} = \frac{N_{p'd}}{A_{cr}} + \frac{N_{p'd} * e(x)}{W_{cr2}} + \frac{M_{fd}}{W_{cr2}} = \frac{-4087,863 * 10^3}{0,8065 * 10^6} + \frac{4087,863 * 0,0405 * 10^6}{0,1104 * 10^9} + 0 = -3,569 \text{ MPa}$$

$$x = 1/8L$$

$$\sigma_{c1} = \frac{N_{p'd}}{A_{cr}} + \frac{N_{p'd} * e(x)}{W_{cr1}} + \frac{M_{fd}}{W_{cr1}} = \frac{-4087,863 * 10^3}{0,8065 * 10^6} + \frac{-4087,863 * 0,207 * 10^6}{0,1080 * 10^9} + \frac{843,34 * 10^3}{0,1080 * 10^6} = -5,095$$

MPa

$$\sigma_{c,2} = \frac{N_{p'd}}{A_{cr}} + \frac{N_{p'd} \cdot e(x)}{W_{cr2}} + \frac{M_{fd}}{W_{cr2}} = \frac{-4087,863 \cdot 10^3}{0,8065 \cdot 10^6} + \frac{4087,863 \cdot 0,207 \cdot 10^6}{0,1104 \cdot 10^9} + \frac{-843,34 \cdot 10^3}{0,1104 \cdot 10^6} = -5,043$$

MPa

$$x = 1/4L$$

$$\sigma_{c1} = \frac{N_{p'd}}{A_{cr}} + \frac{N_{p'd} \cdot e(x)}{W_{cr1}} + \frac{M_{fd}}{W_{cr1}} = \frac{-4087,863 \cdot 10^3}{0,8065 \cdot 10^6} + \frac{-4087,863 \cdot 0,286 \cdot 10^6}{0,1080 \cdot 10^9} + \frac{1310,68 \cdot 10^3}{0,1080 \cdot 10^6} = -3,758$$

MPa

$$\sigma_{c,2} = \frac{N_{p'd}}{A_{cr}} + \frac{N_{p'd} \cdot e(x)}{W_{cr2}} + \frac{M_{fd}}{W_{cr2}} = \frac{-4087,863 \cdot 10^3}{0,8065 \cdot 10^6} + \frac{4087,863 \cdot 0,286 \cdot 10^6}{0,1104 \cdot 10^9} + \frac{-1310,68 \cdot 10^3}{0,1104 \cdot 10^6} = -6,351$$

MPa

$$x = 3/8L$$

$$\sigma_{c1} = \frac{N_{p'd}}{A_{cr}} + \frac{N_{p'd} \cdot e(x)}{W_{cr1}} + \frac{M_{fd}}{W_{cr1}} = \frac{-4087,863 \cdot 10^3}{0,8065 \cdot 10^6} + \frac{-4087,863 \cdot 0,2895 \cdot 10^6}{0,1080 \cdot 10^9} + \frac{1629,26 \cdot 10^3}{0,1080 \cdot 10^6} = -0,941$$

MPa

$$\sigma_{c,2} = \frac{N_{p'd}}{A_{cr}} + \frac{N_{p'd} \cdot e(x)}{W_{cr2}} + \frac{M_{fd}}{W_{cr2}} = \frac{-4087,863 \cdot 10^3}{0,8065 \cdot 10^6} + \frac{4087,863 \cdot 0,2895 \cdot 10^6}{0,1104 \cdot 10^9} + \frac{-1629,26 \cdot 10^3}{0,1104 \cdot 10^6} = -9,107$$

MPa

$$x = 1/2L$$

$$\sigma_{c1} = \frac{N_{p'd}}{A_{cr}} + \frac{N_{p'd} \cdot e(x)}{W_{cr1}} + \frac{M_{fd}}{W_{cr1}} = \frac{-4087,863 \cdot 10^3}{0,8065 \cdot 10^6} + \frac{-4087,863 \cdot 0,2895 \cdot 10^6}{0,1080 \cdot 10^9} + \frac{1704,82 \cdot 10^3}{0,1080 \cdot 10^6} = -0,241$$

MPa

$$\sigma_{c,2} = \frac{N_{p'd}}{A_{cr}} + \frac{N_{p'd} \cdot e(x)}{W_{cr2}} + \frac{M_{fd}}{W_{cr2}} = \frac{-4087,863 \cdot 10^3}{0,8065 \cdot 10^6} + \frac{4087,863 \cdot 0,2895 \cdot 10^6}{0,1104 \cdot 10^9} + \frac{-1704,82 \cdot 10^3}{0,1104 \cdot 10^6} = -9,792$$

MPa

Dle výpočtu se v řezu s maximální posouvající silou nevznikne s oblast s trhlinou, proto, prvek posoudíme dle únosnosti neporušeného průřezu.

## 10.2 ÚNOSNOST PRVKU NEPORUŠENÉHO TRHLINOU

$$I_{cr} = 0,044715 \text{ m}^4$$

$$b_w = 1000 - 0,5 \cdot 4 \cdot 63 = 874 \text{ mm}$$

$$f_{ctd} = \alpha_{ct} \cdot f_{ctk,0,5} / \gamma_c = 1,0 \cdot 2,2 / 1,5 = 1,46 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{cd} = 5,0855$$

$$S = 1,0 \cdot 0,4095 \cdot 0,20475 = 0,0838 \text{ m}^3$$

$$V_{rd,c} = \frac{I \cdot b_w}{s} \cdot \sqrt{f_{ctd}^2 + \alpha_e \cdot \sigma_{cd} \cdot f_{ctd}}$$

$$V_{rd,c} = \frac{0,044715 \cdot 0,874}{0,0838} \cdot \sqrt{1,46^2 + 1,0 \cdot 5,0855 \cdot 1,46} = 1441,679 \text{ kN}$$



$$V_{rd,c} = 1441,679 > V_{ed} = 515,196 \text{ kN} \quad \text{vyhovuje}$$

### 10.3 NÁVRH SMYKOVÉ VÝZTUŽE DLE KONSTRUKČNÍCH ZÁSAD

$$\text{návr spon } \varnothing 8 \rightarrow A_s = 0,50 * 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$n = 1000 / 320 = 3,125 \rightarrow 3 \text{ spony / m}$$

stupeň vyztužení

$$\rho_w = A_{sw} / s_l * b_w * \sin \alpha = 3,125 * 0,5 * 10^{-4} / 0,16 * 0,874 * 1,0 = 1,117 * 10^{-3}$$

$$\rho_{w,min} = 0,08 * f_{ck}^{1/3} / f_{yk} = 0,08 * 35^{1/3} / 500 = 5,233 * 10^{-4}$$

$$\rho_w = 1,117 * 10^{-3} > \rho_{w,min} = 5,233 * 10^{-4} \quad \text{vyhovuje}$$

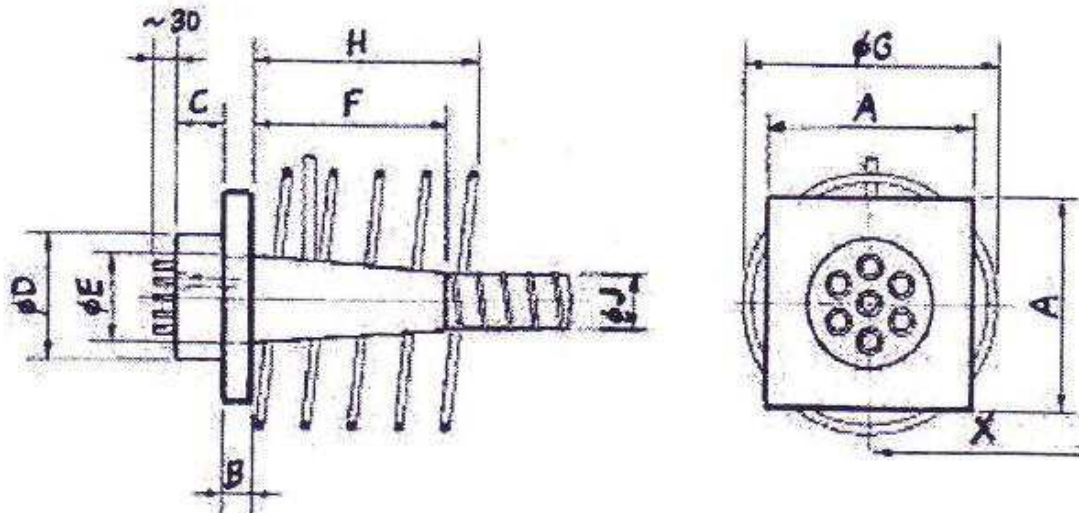
vzdálenost spon

$$s_l = 160 \text{ mm} < s_{l,max} = d = 766,5 \text{ mm}$$

$$s_t = 320 \text{ mm} < s_{t,max} = 1,5 * d = 1,5 * 766,5 = 1149,75 \text{ mm}$$

## 11 POSOUZENÍ KOTEV

- aktivní kotvy VSL-E



Obr 30 Kotvy VSL - E

$$B = 35 \text{ mm}$$

$$C = 60 \text{ mm}$$

$$D = 135 \text{ mm}$$

$$E = 84 \text{ mm}$$

$$J = 60/67$$

$$X = 250 \text{ mm}$$

$$A_{c0} = b_1 \cdot d_1 - \pi \cdot (E / 2)^2 = 220 \cdot 220 - \pi \cdot 42^2 = 42858 \text{ mm}^2$$

$$f_{cd} = 19,83 \text{ MPa}$$

$$Ac \rightarrow b_2 \leq 3 \cdot b_1 = 3 \cdot 220 = 660 \text{ mm}$$

návrh  $b = 250 \text{ mm}$ , omezení rozmístěním kabelů

$$d_2 \leq 3 \cdot b_1 = 3 \cdot 220 = 660 \text{ mm}$$

návrh  $b = 650 \text{ mm}$

$$h \geq (b_2 - b_1) = (250 - 220) = 30 \text{ mm}$$

$$\geq (d_2 - d_1) = (650 - 220) = 430 \text{ mm}$$

návrh  $h = 500 \text{ mm}$

$$F_{ed} = P_{max} = \sigma_{pmax} \cdot \gamma_{p,untav} \cdot A_p = 1440 \cdot 1,2 \cdot 6 \cdot 140 = 1451520 \text{ N} = 1451,520 \text{ kN}$$

$$F_{\text{rdu}} = A_{\text{c0}} * f_{\text{cd}} * \sqrt{\frac{A_{\text{c1}}}{A_{\text{c0}}}} = 42858 * 19,83 * \sqrt{\frac{250*650}{42858}} = 1654876 \text{ N} = 1654,876 \text{ kN}$$

$$\text{podmínka } F_{\text{rdu}} \leq 3,0 * f_{\text{cd}} * A_{\text{c0}} = 3 * 19,83 * 42858 = 2545765 \text{ N} = 2545,765 \text{ kN}$$

podmínka splněna

$$F_{\text{ed}} \leq F_{\text{rdu}}$$

$$\underline{F_{\text{ed}} = 1451,520 \leq F_{\text{rdu}} = 1654,876} \quad \underline{\text{vyhovuje}}$$

## 12 NÁVRH A POSOUZENÍ KOTEVNÍ OBLASTI

### 12.1 OBLAST POD KAŽDOU KOTVOU

$$P_{\max} = 1451,520 \text{ kN}$$

$$f_{ck} = 35 \text{ MPa}$$

$$c * c' = P_{\max} / (0,6 * f_{ck})$$

$$c = c'$$

$$c = \sqrt{\frac{P_{\max}}{0,6 * f_{ck}}} = \sqrt{\frac{1451,520 * 10^3}{0,6 * 35 * 10^6}} = 0,263 \text{ m} = 263 \text{ mm}$$

$$\frac{c}{a} = \frac{c'}{a} \leq 1,25 * \sqrt{\frac{c * c'}{a * a'}}$$

$$\frac{263}{220} \leq 1,25 * \sqrt{\frac{263 * 263}{220 * 220}}$$

$$1,195 < 1,494$$

vyhovuje

$$h = 1,2 * \max \{ c, c' \} = 1,2 * 263 = 316 \text{ mm}$$

$$T_{bu} = \frac{1}{4} * \frac{b-a}{b} * F_{ed} = \frac{1}{4} * \frac{263-220}{263} * 1451,520 = 59,330 \text{ kN}$$

$$\sigma_{sd} = 250 \text{ MPa}$$

$$A_{s, \text{req}} = T_{bu} / \sigma_{sd} = 59,330 * 10^3 / 250 * 10^6 = 2,373 * 10^{-4} \text{ m}^2$$

Návrh výztuže

- návrh počtu závitů spirály

- návrh  $\emptyset 8$ ,  $A_s = 0,5 * 10^{-4} \text{ m}^2$

$$F_{rd} = 2 * A_s * u * \sigma_{sd} \geq T_{bu} \rightarrow u \geq \frac{T_{bu}}{2 * A_s * \sigma_{sd}} = \frac{59,330 * 10^3}{2 * 0,5 * 10^{-4} * 250 * 10^6} = 2,4$$

návrh pro přenesení síly  $u = 3$

minimální vyztužení

$$A_{s, \text{min}} = 0,15 * F_{ed} / \sigma_{sd} = 0,15 * 1451,520 * 10^3 / 250 * 10^6 = 8,709 * 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_s = 2 * A_{s(8)} * u = 2 * 0,5 * 10^{-4} * 3 = 3 * 10^{-4} \text{ m}^2$$

$A_s < A_{s, \text{min}}$  nevyhovuje  $\rightarrow$  návrh dle minima vyztužení

$$u = 9$$

$$F_{rd} = 2 * 0,5 * 10^{-4} * 9 * 250 * 10^6 = 225000 \text{ N} \geq T_{bu} = 59330 \text{ N} \quad \text{vyhovuje}$$

$$A_s = 2 * 0,5 * 10^{-4} * 9 = 9 * 10^{-4} \text{ m}^2 > A_{s, \text{min}} = 8,709 * 10^{-4} \text{ m}^2 \quad \text{vyhovuje}$$

## 12.2 OBLAST U POVRCHU ČELA PRVKU

$$T_{sp} = 0,03 * F_{ed} = 0,03 * P_{max} * \gamma_{p,unfav} = 0,03 * \sigma_{max} * A_{cel.} * \gamma_{p,unfav}$$

$$T_{sp} = 0,03 * 1440 * 6 * 140 * 1,2 = 43546 \text{ N} = 43,546 \text{ kN}$$

$$A_{sp} \geq T_{sp} / \sigma_{sd} = 43,546 * 10^3 / 250 * 10^6 = 1,742 * 10^{-4} \text{ m}^2$$

svislý směr : návrh 2  $\emptyset$  12 ,  $A_s = 2,26 * 10^{-4} \text{ m}^2$

vodorovný směr : do vodorovného směru navrhujeme stejnou výztuž jako ve směru svislém

$$\underline{A_{sp} = 2,26 * 10^{-4} \text{ m}^2 < A_s = 1,742 * 10^{-4} \text{ m}^2 \quad \text{vyhovuje}}$$

## 13 OMEZENÍ PŘETVOŘENÍ

Průhyb mostních konstrukcí silničních mostů norma hodnotou neomezuje. Hodnoty průhybu jsou počítány v časech  $t_0$  a v čase životnosti  $t_\infty$ .

- řešeno pro  $x = L/2$

$$I_{cr} = 0,044715 \text{ m}^4$$

$$\Phi_{(t_0, t_\infty)} = 1,681$$

$$\Phi_{(t_g, t_\infty)} = 1,582$$

$$E_{cm} = 33,5 \text{ GPa}$$

### 13.1 KRÁTKODOBÉ PRŮHYBY OD ZATÍŽENÍ

- čas  $t_0$

$$L = 18,075 \text{ m}$$

#### 13.1.1 VLASTNÍ TÍHA

$$g_{0k} = 20,876 \text{ kN/m}$$

$$\vartheta_{st, g0(L/2)} = \frac{5}{384} * \frac{g_{0k} * l^4}{E * I} = \frac{5}{384} * \frac{20,876 * 10^3 * 18,075^4}{33,5 * 10^9 * 0,044715} = 0,01937 \text{ m}$$

#### 13.1.2 OSTATNÍ STÁLÉ ZATÍŽENÍ

$$g_{1k} = 5,273 \text{ kN/m}$$

$$\vartheta_{st, g1(L/2)} = \frac{5}{384} * \frac{g_{0k} * l^4}{E * I} = \frac{5}{384} * \frac{5,273 * 10^3 * 18,075^4}{33,5 * 10^9 * 0,044715} = 0,00489 \text{ m}$$

#### 13.1.3 POHYBLIVÉ ZATÍŽENÍ

- Maximální účinek LM1

UDL

$$g_{1k} = 3,594 \text{ kN/m}$$

$$\vartheta_{st, UDL(L/2)} = \frac{5}{384} * \frac{g_{0k} * l^4}{E * I} = \frac{5}{384} * \frac{3,594 * 10^3 * 18,075^4}{33,5 * 10^9 * 0,044715} = 0,00333 \text{ m}$$

TS

$$g_{TS} = 32,123 \text{ kN/m}$$

$$c = 7,896 \text{ m}$$

$$d = 2,283 \text{ m}$$

$$\vartheta_{\text{st,TS}(L/2)} = \frac{g_{\text{TS}} \cdot l^4}{384 \cdot E \cdot I} \left[ 8 \cdot \frac{d}{L} - 4 \cdot \left(\frac{d}{l}\right)^3 + \left(\frac{d}{l}\right)^4 \right] = \frac{32,123 \cdot 10^3 \cdot 18,075^4}{384 \cdot 33,5 \cdot 10^9 \cdot 0,044715} \left[ 8 \cdot \frac{2,283}{18,075} - 4 \cdot \left(\frac{2,283}{18,075}\right)^3 + \left(\frac{2,283}{18,075}\right)^4 \right] = 0,00596 \cdot 1,003 = 0,00598 \text{ m}$$

$$\vartheta_{\text{st,q}(L/2)} = \vartheta_{\text{st,UDL}(L/2)} + \vartheta_{\text{st,TS}(L/2)} = 0,00333 + 0,00593 = 0,00926 \text{ m}$$

- Maximální účinek LM3

$$g_{\text{TS}} = 12,909 \text{ kN/m}$$

$$c = 4,2525 \text{ m}$$

$$d = 9,570 \text{ m}$$

$$\vartheta_{\text{st,q}(L/2)} = \frac{g_{\text{TS}} \cdot l^4}{384 \cdot E \cdot I} \left[ 8 \cdot \frac{d}{L} - 4 \cdot \left(\frac{d}{l}\right)^3 + \left(\frac{d}{l}\right)^4 \right] = \frac{12,909 \cdot 10^3 \cdot 18,075^4}{384 \cdot 33,5 \cdot 10^9 \cdot 0,044715} \left[ 8 \cdot \frac{9,570}{18,075} - 4 \cdot \left(\frac{9,570}{18,075}\right)^3 + \left(\frac{9,570}{18,075}\right)^4 \right] = 0,00406 \cdot 3,721 = 0,015107 \text{ m}$$

### 13.1.4 PŘEDPĚTÍ

$$P_{\text{mo}} = 4425,211 \text{ kN}$$

$$e_{\text{pr}} = 0 \text{ m}$$

$$e_{\text{pc}} = 0,2895 \text{ m}$$

$$\vartheta_{\text{st,p}(L/2)} = \frac{P \cdot l^2 \cdot (5 \cdot e_{\text{pc}} + e_{\text{pr}})}{48 \cdot E \cdot I} = \frac{-4425,211 \cdot 10^3 \cdot 18,075^2 \cdot (5 \cdot 0,2895 + 0)}{48 \cdot 33,5 \cdot 10^9 \cdot 0,044715} = -0,029115 \text{ m}$$

## 13.2 DLOUHODOBÉ PRŮHYBY OD ZATÍŽENÍ

### 13.2.1 VLASTNÍ TÍHA

$$\vartheta_{\text{lt,g0}(L/2)} = \varphi_{(t0,t\infty)} \cdot \vartheta_{\text{st}(L/2)} = 1,681 \cdot 0,01937 \text{ m} = 0,03256 \text{ m}$$

### 13.2.2 OSTATNÍ STÁLÉ ZATÍŽENÍ

$$\vartheta_{\text{lt,g1}(L/2)} = \varphi_{(tg,t\infty)} \cdot \vartheta_{\text{st}(L/2)} = 1,582 \cdot 0,00489 \text{ m} = 0,00774 \text{ m}$$

### 13.2.3 PŘEDPĚTÍ

$$\vartheta_{\text{lt,p}(L/2)} = \varphi_{(t0,t\infty)} \cdot \vartheta_{\text{st,p}(L/2)} = 1,681 \cdot (-0,029115) = -0,04894 \text{ m}$$

### 13.3 CELKOVÉ HODNOTY PRŮHYBU

#### 13.3.1 Čas $t_0$

$$\vartheta_{t_0 (L/2)} = \vartheta_{st,g0(L/2)} + \vartheta_{st,p(L/2)} = 0,01937 + ( - 0,029115 ) = - 0,009745 \text{ m} = - 9,745 \text{ mm}$$

Celková hodnota průhybu v čase  $t_0$  je - 9,745 mm.

#### 13.3.2 Čas $t_\infty$

$$\begin{aligned} \vartheta_{t_\infty (L/2)} &= \vartheta_{st,g0(L/2)} + \vartheta_{st,g1(L/2)} + \vartheta_{st,p(L/2)} + \vartheta_{lt,g0(L/2)} + \vartheta_{lt,g1(L/2)} + \vartheta_{lt,p(L/2)} = 0,01937 + 0,00489 \\ & ( - 0,029115 ) + 0,03256 + 0,00774 + ( - 0,04894 ) = -0,013495 \text{ m} = -13,495 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\vartheta'_{t_\infty (L/2)} = \vartheta_{t_0 (L/2)} + \vartheta_{st,q(L/2)} = -0,013495 + 0,015107 = 0,001612 \text{ mm}$$

Celková hodnota průhybu v čase  $t_\infty$  je - 13,495 mm.

Celková hodnota průhybu v čase  $t_\infty$  při započtení účinků dopravy je 1,612 mm.



## 14 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

SYMBOL	VÝZNAM	JEDNOTKA
$\alpha$	úhel křížení	°
ACO	asfaltový koberec obrusný	-
ACL	asfaltový koberec ložný	-
AIP	asfaltový izolační pás	-
$A_c$	plocha betonového průřezu	$m^2$
$A_{c,r}$	plocha oslabeného betonového průřezu	$m^2$
$A_{p1}$	průřezová plocha 1 předpínacího lana	$mm^2$
$A_p$	celková průřezová plocha předpínací výztuže	$m^2$
$A_s$	celková průřezová plocha betonářské výztuže	$m^2$
$A_{s,req}$	nutná průřezová plocha betonářské výztuže	$m^2$
$A_{s,min}$	minimální průřezová plocha betonářské výztuže	$m^2$
$b$	šířka posuzovaného průřezu	m
$b_d$	šířka nosné konstrukce	m
$b_{r,i}$	roznášecí šířka	m
$b_{s,i}$	spolupůsobící šířka	m
$C_{min,dur}$	minimální krycí vrstva s přihlédnutím k prostředí	mm
$C_{min,b}$	minimální krycí vrstva s přihlédnutím k soudržnosti	mm
$C_{nom}$	nominální hodnota krytí	mm
$c$	překryv zatížení ze sousedních pruhů	m
$d_1$	vzdálenost výztuže od dolního povrchu	m
$d$	vzdálenost výztuže od horního povrchu	m
$d_g$	maximální frakce použitého kameniva	m
$d_{r,i}$	roznášecí délka	m
$E_{cm}$	modul pružnosti betonu	GPa
$E_p$	modul pružnosti předpínací výztuže	GPa
$E_s$	modul pružnosti oceli	GPa
$e_{p,c}$	excentricita předpínací výztuže $x = L/2$	m
$e_{p,r}$	excentricita předpínací výztuže $x = 0$	m
$F_{cc}$	výslednice sil v tlačené oblasti betonu	kN
$f_{cd}$	návrhová pevnost betonu v tlaku	MPa
$f_{ck}$	charakteristická pevnost betonu v tlaku	MPa
$f_{ctm}$	střední hodnota pevnosti betonu v tahu	MPa

$f_{pd}$	návrhová hodnota pevnosti předpínací výztuže v tahu	MPa
$f_{pk}$	charakteristická hodnota pevnosti předpínací výztuže v tahu	MPa
$f_{p0,1,k}$	charakteristická hodnota pevnosti předpínací výztuže v tahu na mezi 0,1	MPa
$f_{yd}$	návrhová hodnota pevnosti betonářské výztuže v tahu	MPa
$f_{yk}$	charakteristická hodnota pevnosti betonářské výztuže v tahu	MPa
$G_{k,i}$	charakteristická hodnota stálého zatížení	kN
$g_{k,i}$	charakteristická hodnota rovnoměrného plošného stálého zatížení	kN/m <sup>2</sup>
$h$	výška průřezu	m
$h_0$	náhradní výška průřezu při výpočtu smršťování a dotvarování	m
$I_c$	moment setvačnosti betonového průřezu	m <sup>4</sup>
$I_{c,r}$	moment setvačnosti oslabeného betonového průřezu	m <sup>4</sup>
$k$	součinitel nezamýšlených úhlových změn kabelu po místo x	-
$L$	rozpětí mostu	m
$M_{Ed,i}$	návrhová hodnota maximálního momentu i-té kombinace zatížení	kNm
$M_{Ek,i}$	charakteristická hodnota maximálního momentu i-té kombinace zatížení	kNm
$M_{g,i}$	charakteristická hodnota ohybového momentu od i-tého stálého zatížení	kNm
$M_{Rd}$	momentová únosnost	kNm
$MSP$	mezní stav použitelnosti	-
$MSÚ$	mezní stav únosnosti	-
$m_{x,D^-}$	maximální dimenzační ohybový moment při spodních vláknech ve směru x na 1 m šířky	kNm/m
$m_{x,D^+}$	maximální dimenzační ohybový moment při horních vláknech ve směru x na 1 m šířky	kNm/m
$m_{y,D^-}$	maximální dimenzační ohybový moment při spodních vláknech ve směru y na 1 m šířky	kNm/m
$m_{y,D^+}$	maximální dimenzační ohybový moment při horních vláknech ve směru y na 1 m šířky	kNm/m
$n$	počet	-
$P_{0d}$	základní předpínací síla	kN
$P_{d,\infty}$	návrhová předpínací síla	kN

$P_{m,0}$	předpínací síla v čase $t_0$	kN
$P_{m,\infty}$	předpínací síla v čase $t_\infty$	kN
$P_{m,0,prov}$	provedená předpínací síla	kN
$Q_{ik}$	charakteristická hodnota soustředěného zatížení od nápravy v pruhu $i$	kN
$q_{ik}$	charakteristická hodnota rovnoměrného zatížení od dopravy v pruhu $i$	kN/m <sup>2</sup>
$t_0$	čas po zakotvení předpínací výztuže	-
$t_\infty$	čas na konci životnosti konstrukce	-
$t_{cor}$	čas korekce relaxací podržením napětí	-
$t_i$	časový úsek $i$	-
$u$	obvod vystavený vysychání	m
$V_{x,max}$	maximální hodnota posouvající síly ve směru $x$	kN
$V_{y,max}$	maximální hodnota posouvající síly ve směru $y$	kN
$V_{Ed,i}$	návrhová posouvající síly ve směru $i$	kN
$V_{Rd,c}$	únosnost prvku bez smykové výztuže	kN
$W_c$	průřezový modul betonového průřezu	m <sup>3</sup>
$W_{c,r}$	průřezový modul oslabeného betonového průřezu	m <sup>3</sup>
$w$	šířka vozovky	m
$w_i$	šířka $i$ -tého zatěžovacího pruhu	m
$x$	výška tlačené oblasti betonu	m
$x_c$	redukováná výška tlačené oblasti betonu	m
$z_1$	vzdálenost od těžiště průřezu ke spodnímu okraji průřezu	m
$z_2$	vzdálenost od těžiště průřezu k hornímu okraji průřezu	m
$z_{1,2r}$	vzdálenost od těžiště průřezu k okrajům oslabeného betonového průřezu	m
$\alpha_{cc}$	redukční součinitel betonu	-
$\alpha_{Qi}$	regulační součinitel soustředěného zatížení v pruhu $i$	-
$\alpha_{qi}$	regulační součinitel rovnoměrného zatížení v pruhu $i$	-
$\theta$	součinitel zamýšlených úhlových změn kabelu po místo $x$	rad
$\beta_i$	součinitel $i$ -významu při výpočtu smršťování a dotvarování betonu	-
$\gamma_c$	redukční součinitel betonu	-
$\gamma_s$	redukční součinitel oceli	-
$\Delta\sigma_{pi}$	změna $i$ napětí ve výztuži	MPa

$\varepsilon_c$	poměrné přetvoření betonu	-
$\varepsilon_s$	poměrné přetvoření oceli	-
$\varepsilon_p$	poměrné přetvoření předpínací výztuže	-
$\lambda$	redukční součinitel	-
$\mu$	součinitel tření mezi výztuží a kanálkem	-
$\rho_l$	stupeň vyztužení	-
$\sigma_{c1}$	napětí v dolních vláknech průřezu	MPa
$\sigma_{c2}$	napětí v horních vláknech průřezu	MPa
$\sigma_{cp}$	napětí v betonu v úrovni předpínací výztuže	MPa
$\sigma_p^0$	základní napětí	MPa
$\sigma_p$	napětí v předpínací výztuži	MPa
$\sigma_{p0,max}$	maximální napětí v předpínací výztuži při napínání	MPa
$\sigma_{pa,max}$	maximální napětí v předpínací výztuži po zakotvení	MPa
$\Psi_i$	součinitel i-té kombinace zatížení	-
$\omega$	úhlová změna kabelu	rad
$\varphi_i$	součinitel dotvarování významu i	-
$\varnothing$	průměr betonářské výztuže	mm
$\varnothing_{duet}$	průměr kanálku	

## 15 SEZNAM TABULEK

TABULKA	POPIS	STRANA
1	Dělení vozovky do zatěžovacích pruhů	11
2	Charakteristické hodnoty modelu 1	11
3	Hodnoty regulačních součinitelů $\alpha$ pro ČR	11
4	Parametry zvláštního vozidla 900/150	12
5	Charakteristické hodnoty vícesložkových zatížení	24
6	Časté hodnoty vícesložkových zatížení	24
7	Doporučené hodnoty součinitelů $\Psi$ pro mosty pozemních komunikací	25
8	Doporučená klasifikace konstrukcí	34
9	Minimální hodnoty krytí $c_{min,dur}$ požadované z hlediska trvanlivosti pro předpínací výztuž	34
10	Tabulka hodnot pro výpočet smykové únosnosti	63

## 16 SEZNAM OBRÁZKŮ

OBRÁZEK	POPIS	STRANA
1	Schéma příčného řez	7
2	Příčný řez NK	8
3	Příčný řez římsy	8
4	Roznos TS v příčném směru	13
5	Roznos UDL v příčném směru	14
6	Roznos TS v příčném směru	16
7	Roznos TS v podélném směru	17
8	Roznos LM3 v příčném směru	19
9	Roznos LM3 v podélném směru	20
10	Roznos LM3 v podélném směru	21
11	Roznos zatížení chodníku v příčném směru	22
12	Roznos TS v příčném směru	29
13	Roznos TS v podélném směru	29
14	Roznos LM3 v podélném směru	30
15	Roznos LM3 v příčném směru	30
16	MSP charakteristická kombinace	30
17	MSP častá kombinace	31
18	MSP kvazistálá kombinace	31
19	stálé + gr1a mxD-	32
20	stálé + gr1a mxD+	32
21	stálé + gr1a myD-	33
22	stálé + gr1a myD+	33
23	Interval určení předpínací síly	37
24	Trasování kabelů	38
25	Oslabený průřez	40
26	Průřezy pro výpočet ztrát	42
27	Schéma ztrát třením a pokluzem	44
28	Skutečná napjatost prvku a stav dekomprese	56
29	Pracovní diagram betonu s hodnotami pro výpočet ohybové únosnosti	57
30	Kotvy VSL-E	66