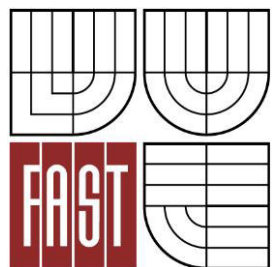




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV BETONOVÝCH A ZDĚNÝCH KONSTRUKCÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF CONCRETE AND MASONRY STRUCTURES

ŽELEZOBETONOVÝ TRÁMOVÝ MOST V OBCI STARÉ MĚSTO P2 – STATICKÝ VÝPOČET

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

MARKÉTA LUGEROVÁ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. JAN KOLÁČEK, Ph.D.

OBSAH

1	MATERIÁLY	5
2	KRYCÍ VRSTVA.....	5
3	NÁVRH ROZMĚRŮ	6
4	SPOLUPŮSOBÍCÍ ŠÍŘKA DESKY	6
5	VÝPOČTOVÝ MODEL	7
6	PODÉLNÝ SMĚR – OHYB - RUČNÍ VÝPOČET	8
6.1	ZATÍŽENÍ STÁLÉ.....	9
6.2	MODEL ZATÍŽENÍ LM1	10
6.2.1	DVOUNÁPRAVA TS	10
6.2.2	ROVNOMĚRNÉ ZATÍŽENÍ UDL	12
6.3	ZATÍŽENÍ CHODCI	15
6.4	MODEL ZATÍŽENÍ LM3 – 1800/200.....	16
6.5	KOMBINACE ÚČINKŮ ZATÍŽENÍ	17
7	PODÉLNÝ SMĚR – OHYB – SCIA ENGINEER.....	19
7.1	ZATÍŽENÍ STÁLÉ.....	19
7.2	MODEL ZATÍŽENÍ LM1	19
7.2.1	DVOUNÁPRAVA TS	20
7.2.2	ROVNOMĚRNÉ ZATÍŽENÍ UDL	21
7.3	ZATÍŽENÍ CHODCI	21
7.4	MODEL ZATÍŽENÍ LM3 – 1800/200.....	22
8	NÁVRH PODÉLNÉ OHYBOVÉ VÝZTUŽE TRÁMU A POSOUZENÍ NA OHYB	23
9	PODÉLNÝ SMĚR – SMYK – RUČNÍ VÝPOČET	25
9.1	ZATÍŽENÍ STÁLÉ.....	25
9.2	MODEL ZATÍŽENÍ LM1	25
9.2.1	DVOUNÁPRAVA TS	25
9.2.2	ROVNOMĚRNÉ ZATÍŽENÍ UDL	27
9.3	ZATÍŽENÍ CHODCI	29
9.4	MODEL ZATÍŽENÍ LM3 – 1800/200.....	29
9.5	KOMBINACE ÚČINKŮ ZATÍŽENÍ	31
10	PODÉLNÝ SMĚR – SMYK – SCIA ENGINEER.....	33
10.1	ZATÍŽENÍ STÁLÉ.....	33
10.2	MODEL ZATÍŽENÍ LM1	33

10.2.1	DVOUNÁPRAVA TS	34
10.2.2	ROVNOMĚRNÉ ZATÍŽENÍ UDL	34
10.3	ZATÍŽENÍ CHODCI	34
10.4	MODEL ZATÍŽENÍ LM3 – 1800/200.....	35
11	NÁVRH PODÉLNÉ SMYKOVÉ VÝZTUŽE A POSOUZENÍ NA SMYK	36
12	PŘÍČNÝ SMĚR – OHYB – RUČNÍ VÝPOČET“	39
12.1	ZATÍŽENÍ STÁLÉ.....	39
12.2	MODEL ZATÍŽENÍ LM1 – PRO MAXIMÁLNÍ OHYBOVÝ MOMENT NAD PODPOROU.....	40
12.2.1	DVOUNÁPRAVA TS	40
12.2.2	ROVNOMĚRNÉ ZATÍŽENÍ UDL	41
12.3	MODEL ZATÍŽENÍ LM1 – PRO MAXIMÁLNÍ OHYBOVÝ MOMENT V POLI.....	42
12.3.1	DVOUNÁPRAVA TS	43
12.3.2	ROVNOMĚRNÉ ZATÍŽENÍ UDL	44
12.4	ZATÍŽENÍ CHODCI	45
12.5	MODEL ZATÍŽENÍ LM3	46
12.6	KOMBINACE ÚČINKŮ ZATÍŽENÍ	47
13	PŘÍČNÝ SMĚR – OHYB – SCIA ENGINEER.....	49
13.1	ZATÍŽENÍ STÁLÉ.....	49
13.2	MODEL ZATÍŽENÍ LM1 – PRO MAXIMÁLNÍ OHYBOVÝ MOMENT NAD PODPOROU.....	50
13.2.1	DVOUNÁPRAVA TS	50
13.2.2	ROVNOMĚRNÉ ZATÍŽENÍ UDL	51
13.3	MODEL ZATÍŽENÍ LM1 – PRO MAXIMÁLNÍ OHYBOVÝ MOMENT V POLI.....	51
13.3.1	DVOUNÁPRAVA TS	52
13.3.2	ROVNOMĚRNÉ ZATÍŽENÍ UDL	52
13.4	ZATÍŽENÍ CHODCI	52
13.5	MODEL ZATÍŽENÍ LM3	53
14	NÁVRH PŘÍČNÉ OHYBOVÉ VÝZTUŽE A POSOUZENÍ NA OHYB.....	54
14.1	NAD PODPOROU	54
14.2	V POLI	55
15	PŘÍČNÝ SMĚR – SMYK – RUČNÍ VÝPOČET.....	57
15.1	ZATÍŽENÍ STÁLÉ.....	57
15.2	MODEL ZATÍŽENÍ LM1	57
15.2.1	DVOUNÁPRAVA TS	58
15.2.2	ROVNOMĚRNÉ ZATÍŽENÍ UDL	59

15.3	ZATÍŽENÍ CHODCI	60
15.4	MODEL ZATÍŽENÍ LM3	60
15.5	KOMBINACE ÚČINKŮ ZATÍŽENÍ	60
16	PŘÍČNÝ SMĚR – SMYK – SCIA ENGINEER	62
16.1	STÁLÉ ZATÍŽENÍ.....	62
16.2	MODEL ZATÍŽENÍ LM1	62
16.2.1	DVOUNÁPRAVA TS	63
16.3	ROVNOMĚRNÉ ZATÍŽENÍ UDL	64
16.4	ZATÍŽENÍ CHODCI	64
16.5	MODEL ZATÍŽENÍ LM3	65
17	NÁVRH PŘÍČNÉ SMYKOVÉ VÝZTUŽE A POSOUZENÍ NA SMYK.....	66
18	PODÉLNÝ SMYK MEZI DESKOU A TRÁMEM	68
19	MEZNÍ STAV POUŽITELNOSTI	71
19.1	KOMBINACE ÚČINKŮ ZATÍŽENÍ	71
19.2	OMEZENÍ NAPĚTÍ.....	71
19.3	OMEZENÍ TRHLIN.....	74
19.4	OMEZENÍ PŘETVOŘENÍ.....	75
19.4.1	KRÁTKODOBÉ ZATÍŽENÍ	75
19.4.2	DLOUHODOBÉ ZATÍŽENÍ.....	77
19.4.3	SMRŠŤOVÁNÍ.....	78
19.4.4	CELKOVÝ PRŮHYB.....	79

1 MATERIÁLY

Beton C35/45

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

$$f_{cd} = \frac{\alpha_{cc} \cdot f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{0,9 \cdot 35}{1,5} = 21,000 \text{ MPa}$$

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

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

$$E_{cm} = 34 \text{ GPa}$$

$$\varepsilon_{cu3} = 0,0035$$

Betonářská výztuž

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

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500}{1,15} = 434,783 \text{ MPa}$$

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

$$\varepsilon_{yd} = \frac{f_{yd}}{E_s} = \frac{434,783 \cdot 10^6}{200 \cdot 10^9} = 0,00217$$

2 KRYCÍ VRSTVA

stupeň vlivu prostředí XF4, XD1

konstrukční třída S6 pro návrhovou životnost 100let

$$c_{min} = \max \{c_{min,b}; c_{min,dur} + \Delta c_{dur,\gamma} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add}; 10 \text{ mm}\}$$

$$c_{min} = \max \{32 \text{ mm}; 45 \text{ mm}; 10 \text{ mm}\}$$

$$c_{min} = 45 \text{ mm}$$

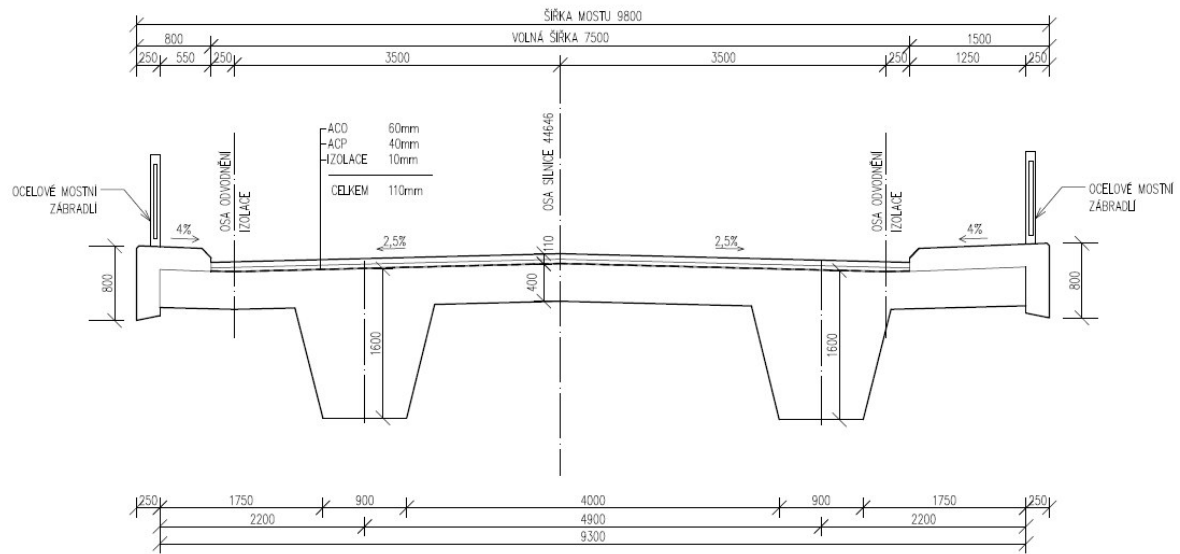
$$\Delta c_{dev} = 10 \text{ mm}$$

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

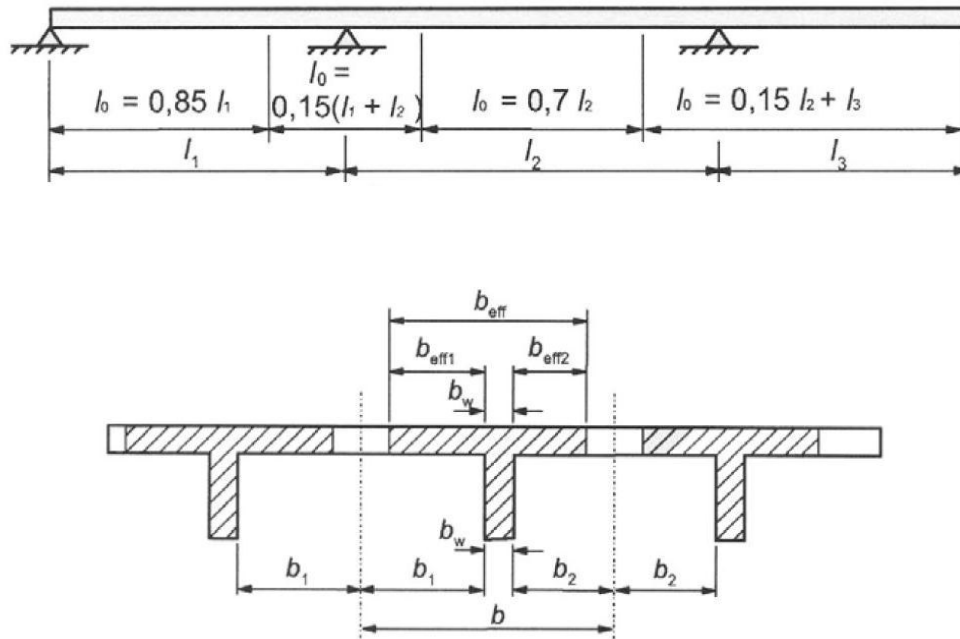
$$c_{nom} = 45 + 10 = 55 \text{ mm}$$

navržena krycí vrstva **c = 55mm**

3 NÁVRH ROZMĚRŮ



4 SPOLUPŮSOBÍCÍ ŠÍŘKA DESKY



$$b_{\text{eff}} = \sum b_{\text{eff},i} + b_w \leq b$$

$$b_{\text{eff},i} = 0,2 \cdot b_i + 0,1 \cdot l_0 \leq 0,2 \cdot l_0$$

$$b_{\text{eff},i} \leq b_i$$

trám 1: $b_{\text{eff1}} = 0,2 \cdot 1,75 + 0,1 \cdot 19 = 2,25\text{m} \leq 0,2 \cdot 19 = 3,8\text{m}$

$$b_{\text{eff1}} = 2,25\text{m} \leq 1,75\text{m}$$

$$b_{\text{eff1}} = 1,75\text{m}$$

$$b_{\text{eff2}} = 0,2 \cdot 2,0 + 0,1 \cdot 19 = 2,3\text{m} \leq 0,2 \cdot 19 = 3,8\text{m}$$

$$b_{\text{eff2}} = 2,3\text{m} \leq 2\text{m}$$

$$b_{\text{eff2}} = 2\text{m}$$

$$b_{\text{eff}} = 1,75 + 2 + 0,9 = 4,65\text{m} \leq 4,65\text{m}$$

$$\mathbf{b_{\text{eff}} = 4,65\text{m}}$$

trám 2: $b_{\text{eff1}} = 0,2 \cdot 2,0 + 0,1 \cdot 19 = 2,3\text{m} \leq 0,2 \cdot 19 = 3,8\text{m}$

$$b_{\text{eff1}} = 2,3\text{m} \leq 2,0\text{m}$$

$$b_{\text{eff1}} = 2,0\text{m}$$

$$b_{\text{eff2}} = 0,2 \cdot 1,75 + 0,1 \cdot 19 = 2,25\text{m} \leq 0,2 \cdot 19 = 3,8\text{m}$$

$$b_{\text{eff2}} = 2,3\text{m} \leq 1,75\text{m}$$

$$b_{\text{eff2}} = 1,75\text{m}$$

$$b_{\text{eff}} = 1,75 + 2 + 0,9 = 4,65\text{m} \leq 4,65\text{m}$$

$$\mathbf{b_{\text{eff}} = 4,65\text{m}}$$

5 VÝPOČTOVÝ MODEL

zjednodušený model zadávaný do programu Scia Engineer

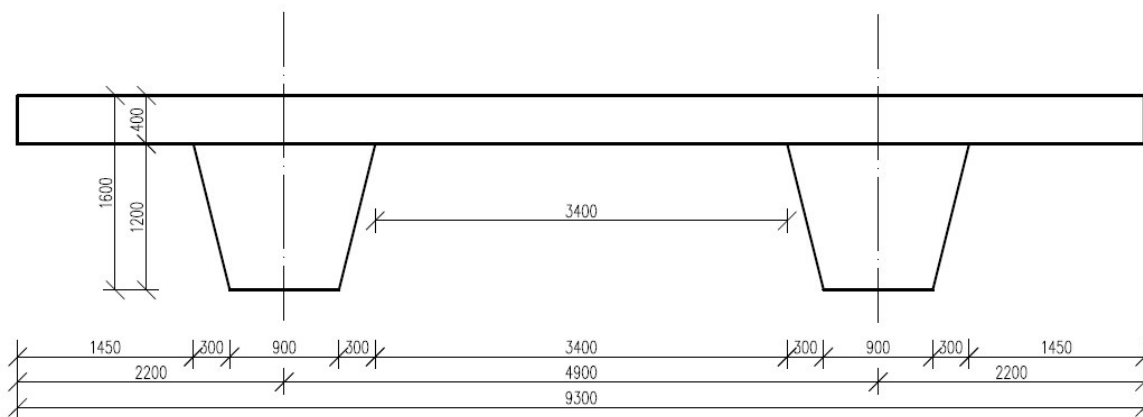
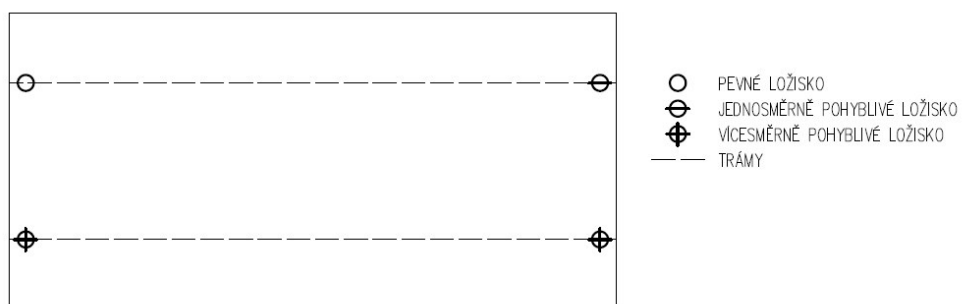
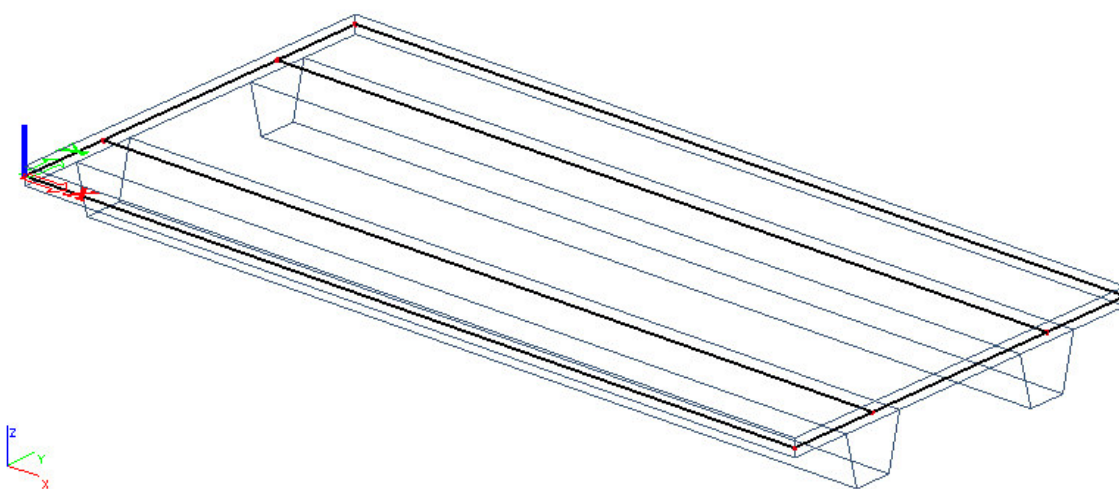


schéma uložení



axonometrický pohled



6 PODÉLNÝ SMĚR – OHYB - RUČNÍ VÝPOČET

6.1 ZATÍŽENÍ STÁLÉ

Pro potřebu zjednodušeného řešení

Zatížení na jeden trém

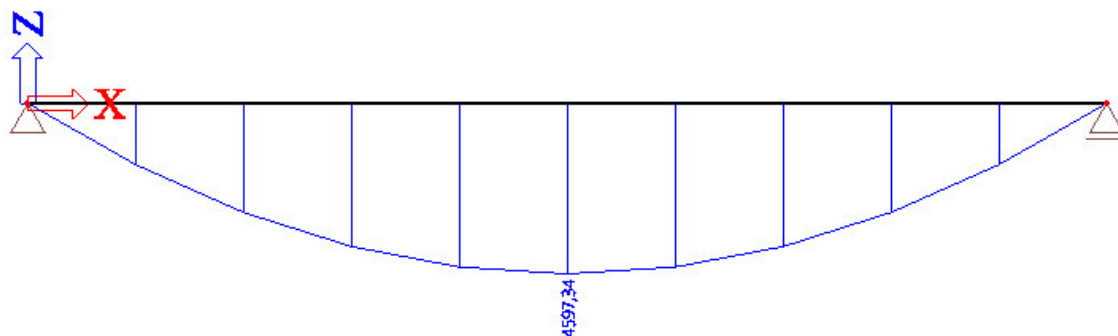
trém 1

	plocha A_c	objemová tíha γ	charakteristická hodnota zatížení g_k
	[m ²]	[kN/m ³]	[kN/m]
deska	1,863	25	46,575
trém	1,440	25	36,000
vozovka	0,449	24	10,776
zábradlí	-	-	0,500
římsa levá	0,321	25	8,025
celkem	101,88		

trém 2

	plocha A_c	objemová tíha γ	charakteristická hodnota zatížení g_k
	[m ²]	[kN/m ³]	[kN/m]
deska	1,872	25	46,800
trém	1,440	25	36,000
vozovka	0,372	24	8,928
zábradlí	-	-	0,500
římsa levá	0,492	25	12,300
celkem	104,53		

zatížení trému 1 (menší spolupůsobící šířka)



$$M_{Gk} = \frac{1}{8} \cdot g_k \cdot l^2 = \frac{1}{8} \cdot 101,88 \cdot 19^2 = 4597,34 \text{ kNm}$$

6.2 MODEL ZATÍŽENÍ LM1

charakteristické hodnoty zatížení

	dvounáprava TS	rovnorné zatížení UDL
	nápravové síly Q_k	q_k (q_{rk})
umístění	[kN]	[kN/m ²]
pruh č. 1	300	9
pruh č. 2	200	2,5
zbývající plocha	0	2,5

hodnoty regulačních součinitelů α

skupina pozemní komunikace	α_{Q1}	α_{Q1}	α_{q1}	α_{q2}	α_{qr}
1	1	1	1	2,4	1,2

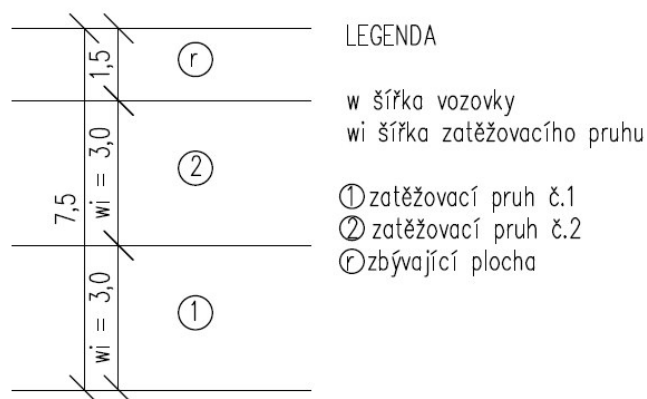
rozdělení vozovky do pruhů

$$w = 7,5\text{m}$$

$$w_i = 3\text{m}$$

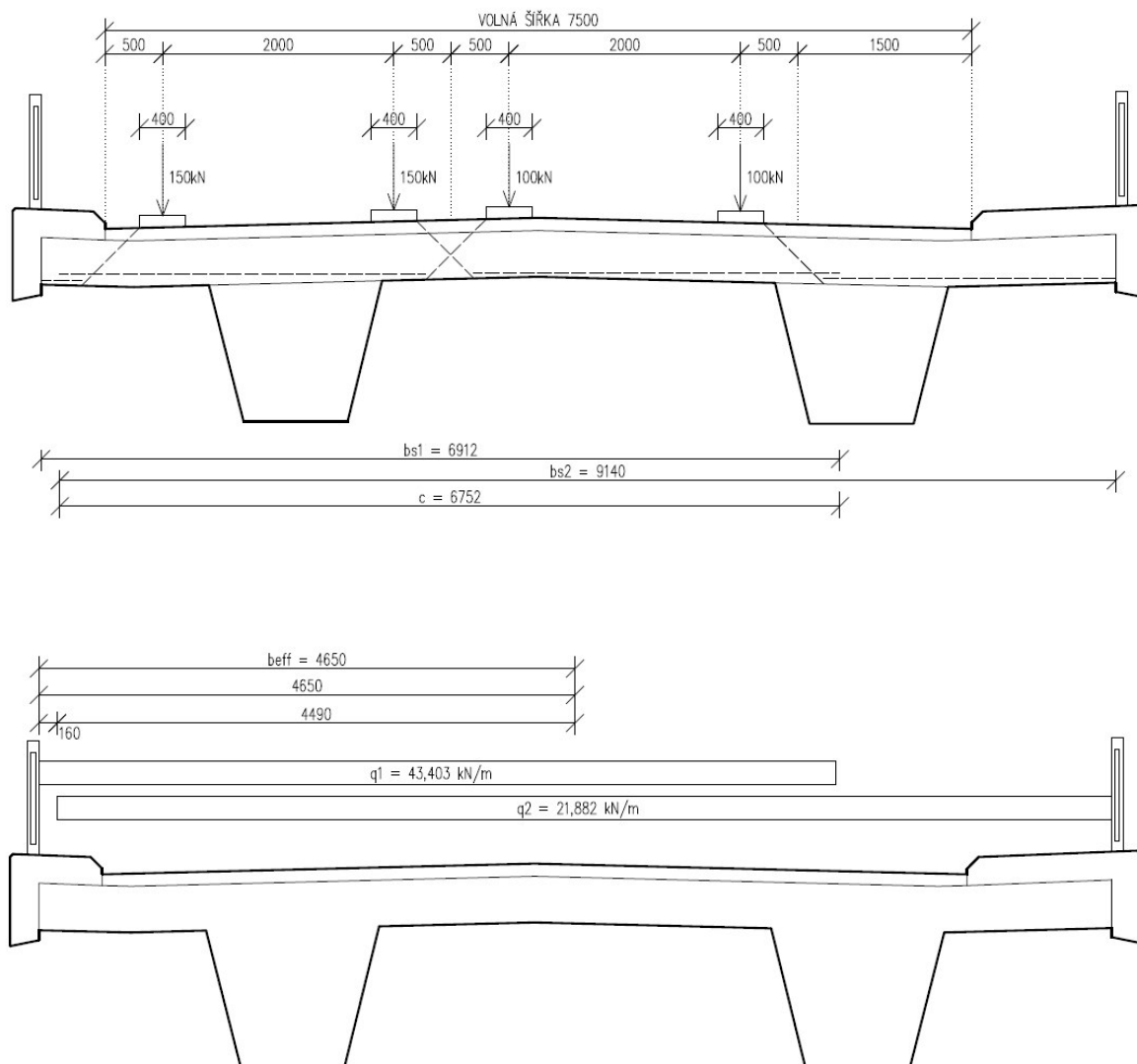
$$n = w / w_i = 7,5 / 3 = 2$$

$$r = 1,5\text{m}$$



6.2.1 DVOUNÁPRAVA TS

roznos soustředných zatížení od tandem systému pod úhlem 45° na spodní líc desky



spojitá rovnoměrná zatížení

$$q_{TS} = \frac{Q_k \cdot \alpha_Q}{b_s}$$

$$q_{TS1} = \frac{300 \cdot 1,0}{6,912} = 43,40 \text{ kNm}$$

$$q_{TS2} = \frac{200 \cdot 1,0}{9,140} = 21,88 \text{ kNm}$$

$$Q_{TS} = q \cdot Z\check{s}$$

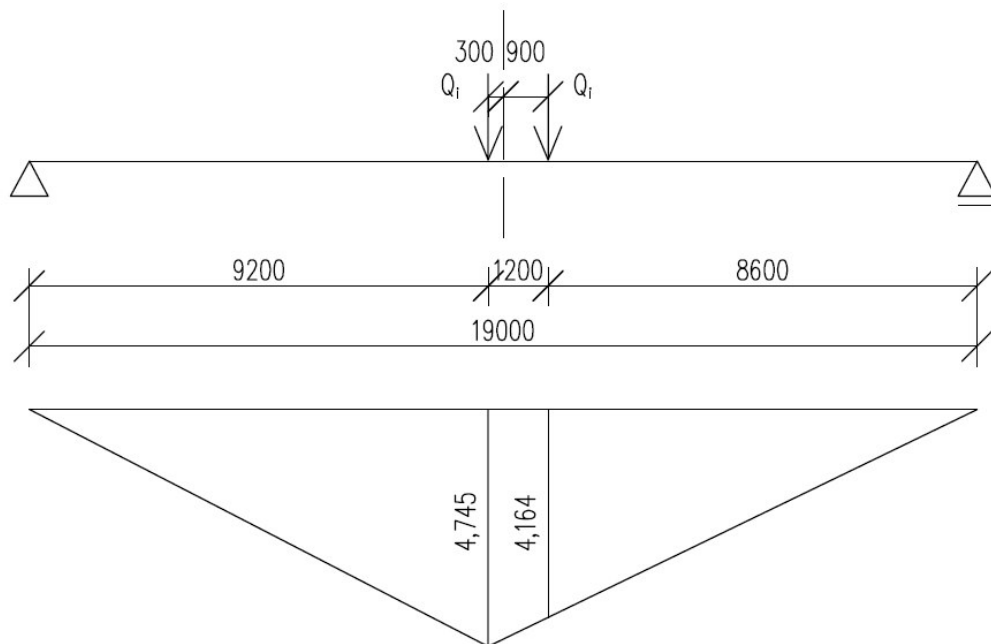
$$Q_{TS1} = 43,40 \cdot 4,65 = 201,81 \text{ kN}$$

$$Q_{TS2} = 21,88 \cdot 4,49 = 98,24 \text{ kN}$$

$$R = 0,6 \text{ m}$$

$$a = 0,5 \cdot l - 0,5 \cdot R = 0,5 \cdot 19 - 0,5 \cdot 0,6 = 9,2\text{m}$$

$$\eta_{\max} = \frac{a \cdot (l - a)}{l} = \frac{9,2 \cdot (19 - 9,2)}{19} = 4,745\text{m}$$



$$M_{TS} = \sum Q_i \cdot \eta_i$$

$$M_{TS1} = 201,88 \cdot (4,745 + 4,164) = 1798,55\text{kNm}$$

$$M_{TS2} = 98,24 \cdot (4,745 + 4,164) = 875,22\text{kNm}$$

kombinace momentů

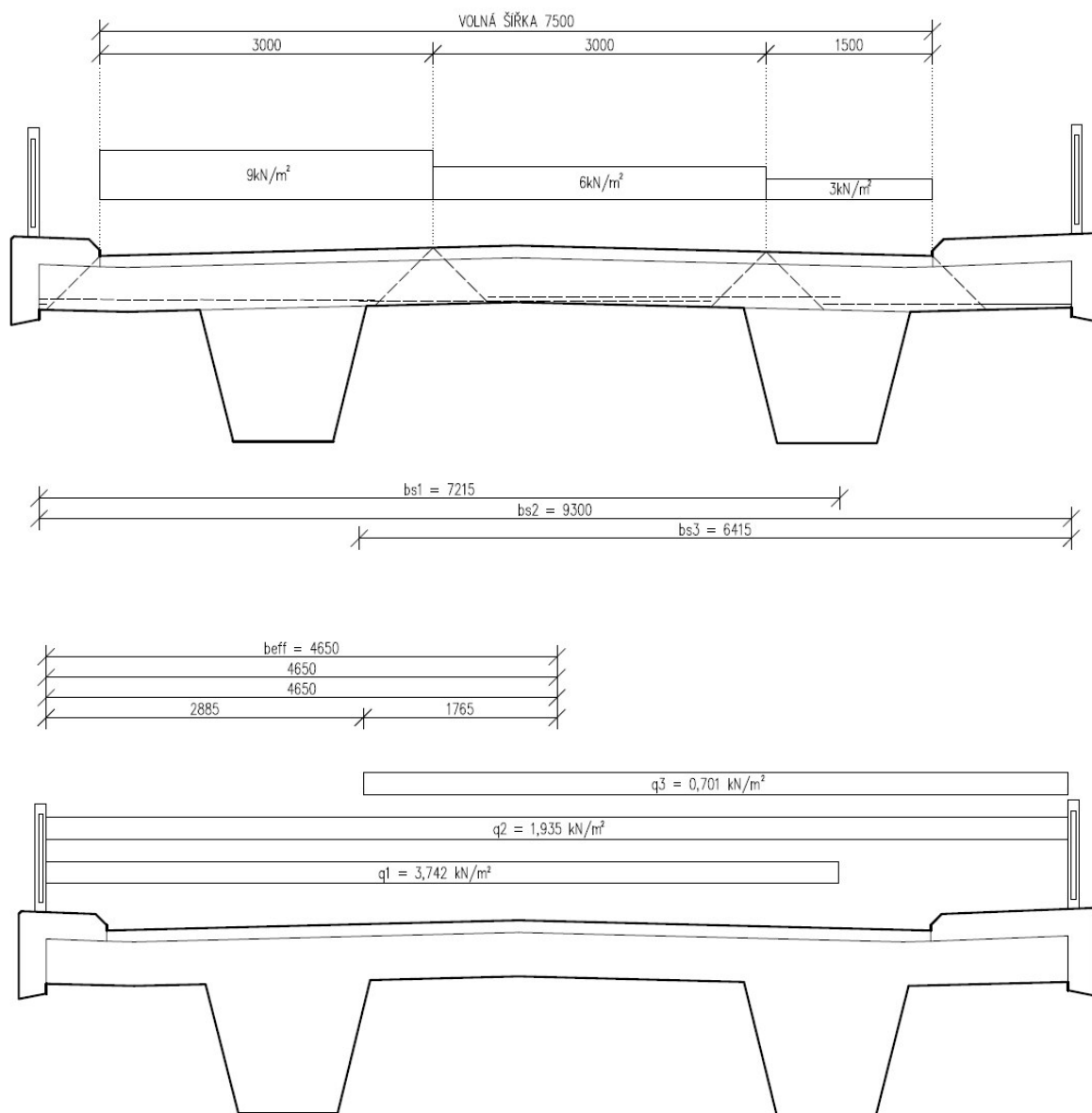
$$M_{TS} = \max \left\{ \begin{array}{l} M_{TS1} + M_{TS2} \cdot \frac{c}{2 \cdot b_{s1} - c} \\ M_{TS2} + M_{TS1} \cdot \frac{c}{2 \cdot b_{s2} - c} \end{array} \right\}$$

$$M_{TS} = \max \left\{ \begin{array}{l} 1798,55 + 875,22 \cdot \frac{6,752}{2 \cdot 6,912 - 6,752} \\ 875,22 + 1798,55 \cdot \frac{6,752}{2 \cdot 9,140 - 6,752} \end{array} \right\}$$

$$M_{TS} = \max\{2634,17; 1928,64\} = \mathbf{2634,17\text{kNm}}$$

6.2.2 ROVNOMĚRNÉ ZATÍŽENÍ UDL

roznos rovnoměrných spojitých zatížení pod úhlem 45° na spodní líc desky



rovnoměrná spojitá zatížení

$$q = \frac{\alpha_q \cdot q_k \cdot b}{b_s}$$

$$q_1 = \frac{1,0 \cdot 9 \cdot 3}{7,215} = 3,74 \text{ kN/m}^2$$

$$q_2 = \frac{2,4 \cdot 2,5 \cdot 3}{9,3} = 1,94 \text{ kN/m}^2$$

$$q_1 = \frac{1,2 \cdot 2,5 \cdot 3}{6,415} = 0,70 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{UDL} = q \cdot Z\check{S}$$

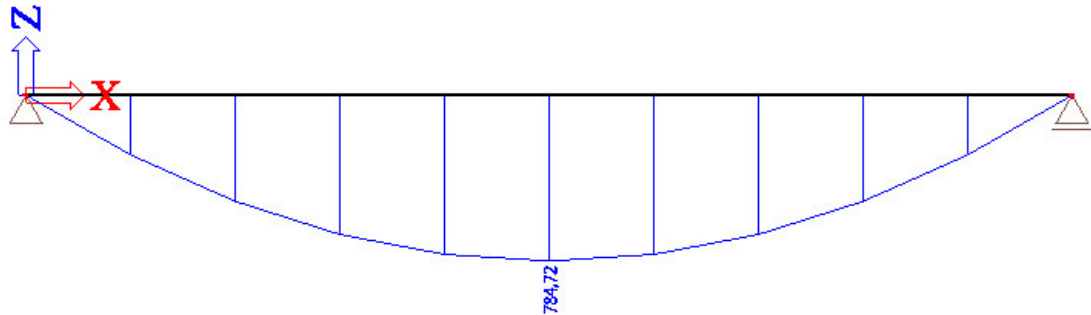
$$q_{UDL,1} = 3,74 \cdot 4,650 = 17,39 \text{ kN/m}$$

$$q_{UDL,2} = 1,94 \cdot 4,650 = 9,02 \text{ kN/m}$$

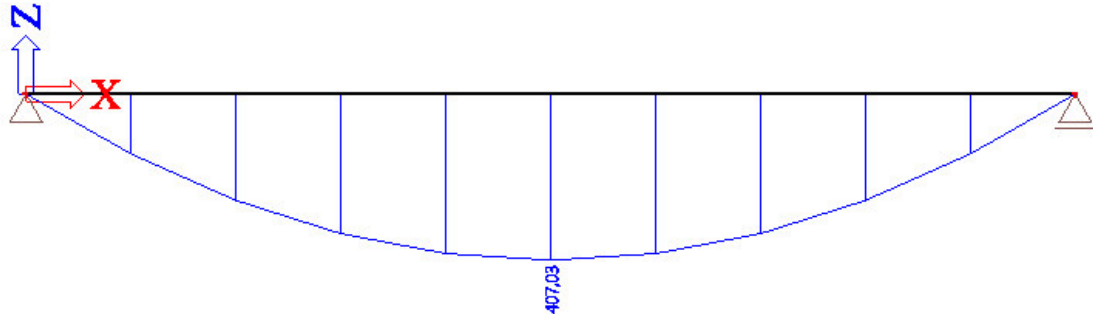
$$q_{UDL,3} = 0,70 \cdot 1,765 = 1,24 \text{ kN/m}$$

$$M_{UDL} = \frac{1}{8} \cdot q \cdot l^2$$

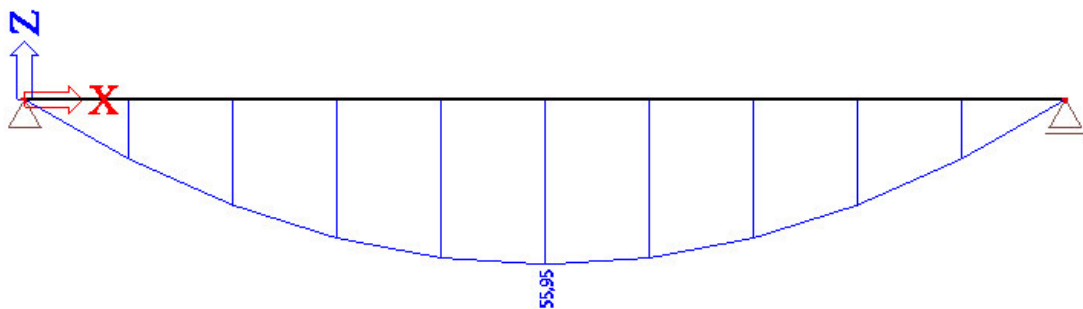
$$M_{UDL1} = \frac{1}{8} \cdot 17,39 \cdot 19^2 = 784,72 \text{ kNm}$$



$$M_{UDL2} = \frac{1}{8} \cdot 9,02 \cdot 19^2 = 407,03 \text{ kNm}$$



$$M_{UDL3} = \frac{1}{8} \cdot 1,24 \cdot 19^2 = 55,95 \text{ kNm}$$



Kombinace momentů (se zanedbáním účinků od rovnoměrného zatížení v pruhu 3)

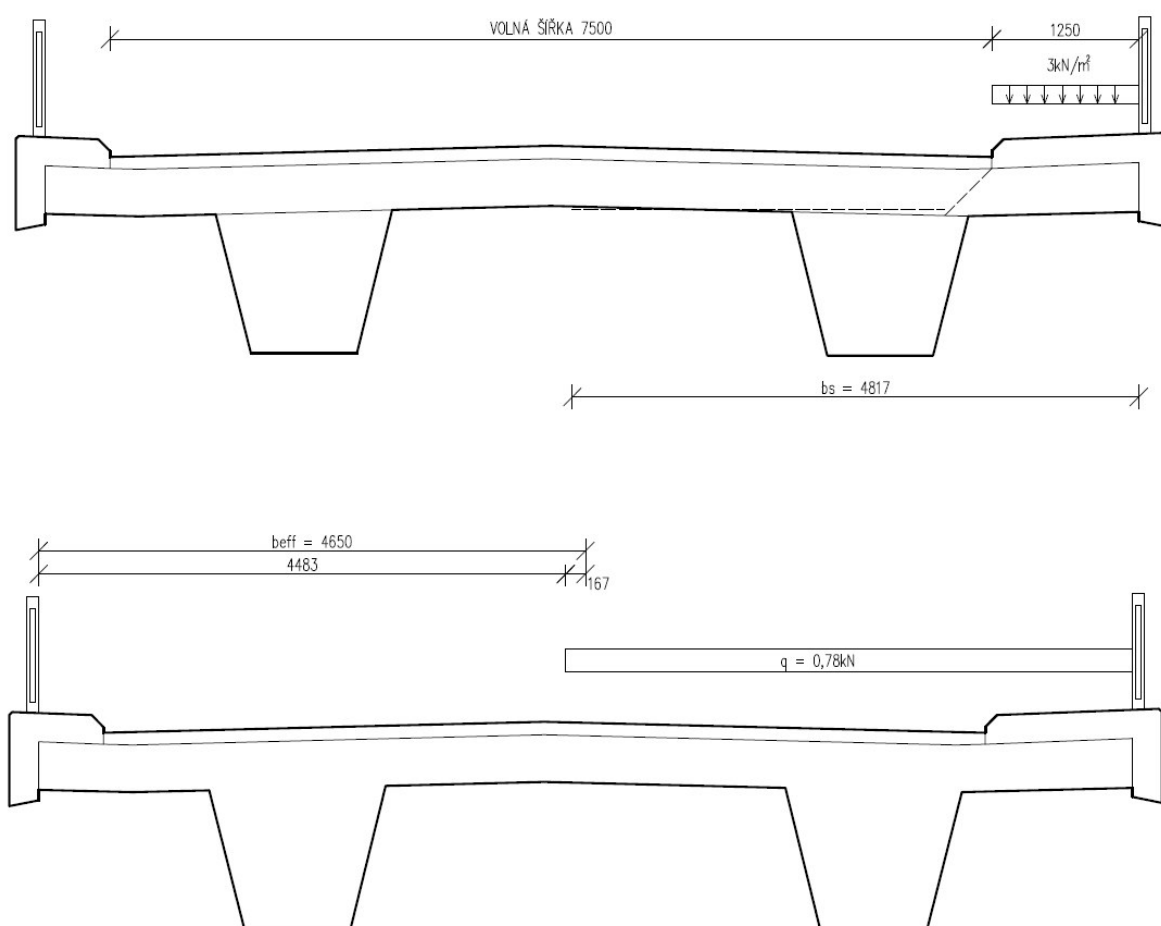
$$M_{UDL} = \max \left\{ \begin{array}{l} M_{UDL1} + M_{UDL2} \cdot \frac{c}{2 \cdot b_{s1} - c}; \\ M_{UDL2} + M_{UDL1} \cdot \frac{c}{2 \cdot b_{s2} - c} \end{array} \right\}$$

$$M_{UDL} = \max \left\{ \begin{array}{l} 784,72 + 407,03 \cdot \frac{7,215}{2 \cdot 7,215 - 7,215}; \\ 407,03 + 784,72 \cdot \frac{7,215}{2 \cdot 9,300 - 7,215} \end{array} \right\}$$

$$M_{UDL} = \max\{1191,75; 904,33\} = \mathbf{1191,75kNm}$$

6.3 ZATÍŽENÍ CHODCI

roznos rovnoměrných spojitých zatížení pod úhlem 45° na spodní líc desky

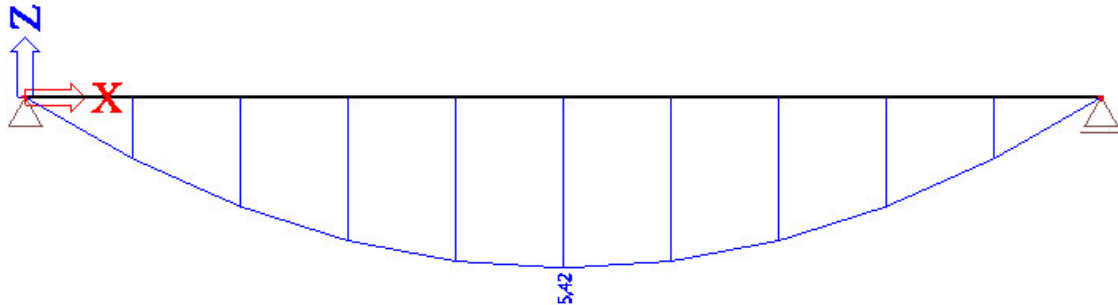


rovnorné spojité zatížení

$$q = \frac{q_k \cdot b}{b_s} = \frac{3 \cdot 1,25}{4,817} = 0,73 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{CH} = q \cdot Z\check{S} = 0,73 \cdot 0,167 = 0,12 \text{ kN/m}$$

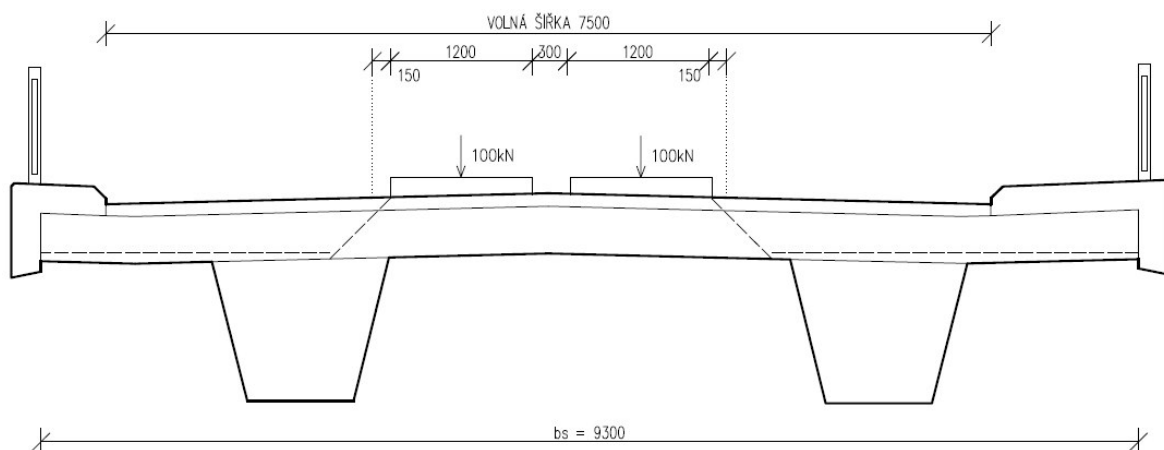
$$M_{CH} = \frac{1}{8} \cdot q_{CH} \cdot l^2 = \frac{1}{8} \cdot 0,12 \cdot 19^2 = 5,42 \text{ kNm}$$

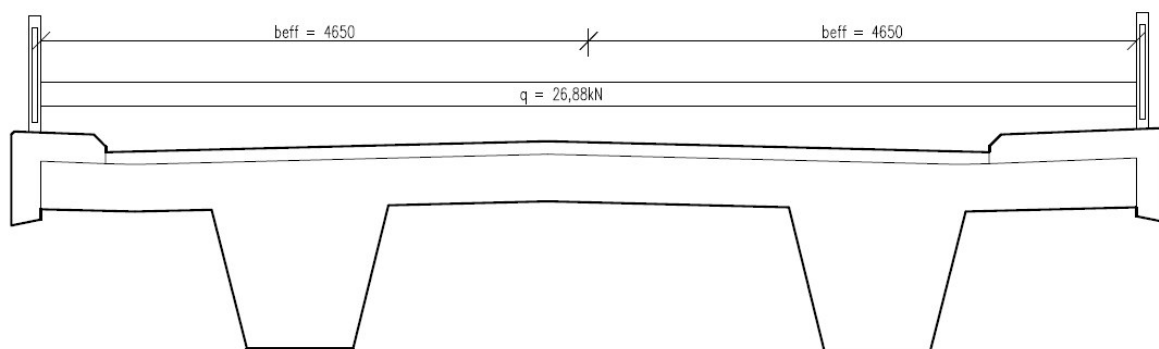


6.4 MODEL ZATÍŽENÍ LM3 – 1800/200

pohyb vozidla v ideální stopě

roznos rovnoměrných spojitých zatížení pod úhlem 45° na spodní líc desky

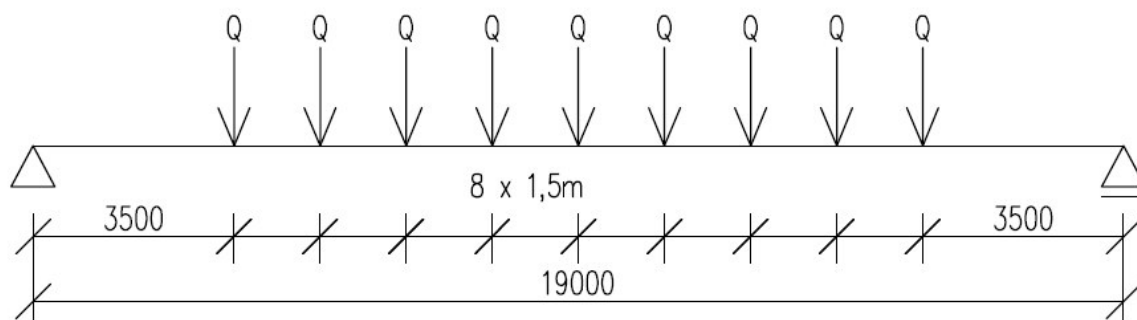




rovnorné spojité zatížení

$$q = \frac{Q_{\text{NÁPR}} \cdot \varphi}{b_s} = \frac{200 \cdot 1,25}{9,3} = 26,88 \text{ kN/m}$$

$$Q = q \cdot Z\text{Š} = 26,88 \cdot 4,650 = 125 \text{ kN}$$



$$R_A = 0,5 \cdot l \cdot Q = 0,5 \cdot 19 \cdot 125 = 562,5 \text{ kN}$$

$$M_{\text{LM3}} = R_A \cdot 0,5 \cdot l - Q \cdot (1,5 + 3 + 4,5 + 6) = 562,5 \cdot 0,5 \cdot 19 - 125 \cdot 15 = 3465,75 \text{ kNm}$$

6.5 KOMBINACE ÚČINKŮ ZATÍŽENÍ

pro mezní stav únosnosti

uvažuji nejméně příznivou hodnotu ze vztahů 6.10.a a 6.10.b pro soustavy zatížení gr1a a LM3

$$6.10.a \quad \gamma_G \cdot G_k + \gamma_Q \cdot \psi_0 \cdot Q_k$$

$$6.10.b \quad \xi \cdot \gamma_G \cdot G_k + \gamma_Q \cdot Q_k$$

gr1a:

$$6.10.a \quad M_{Ed} = 1,35 \cdot 4597,34 + 1,35 \cdot (0,75 \cdot 2634,17 + 0,4 \cdot 1191,75 + 0,4 \cdot 5,42) \quad M_{Ed} = 8978,27 \text{ kNm}$$

$$6.10.b \quad M_{Ed} = 0,85 \cdot 1,35 \cdot 4597,34 + 1,35 \cdot (2634,17 + 1191,75 + 5,42) \\ M_{Ed} = 10443,49 \text{ kNm}$$

LM3:

$$6.10.a \quad M_{Ed} = 1,35 \cdot 4597,34 + 1,35 \cdot 0 \cdot 3468,75 \\ M_{Ed} = 6206,41 \text{ kNm}$$

$$6.10.b \quad M_{Ed} = 0,85 \cdot 1,35 \cdot 4597,34 + 1,35 \cdot 3468,75 \\ M_{Ed} = 9958,26 \text{ kNm}$$

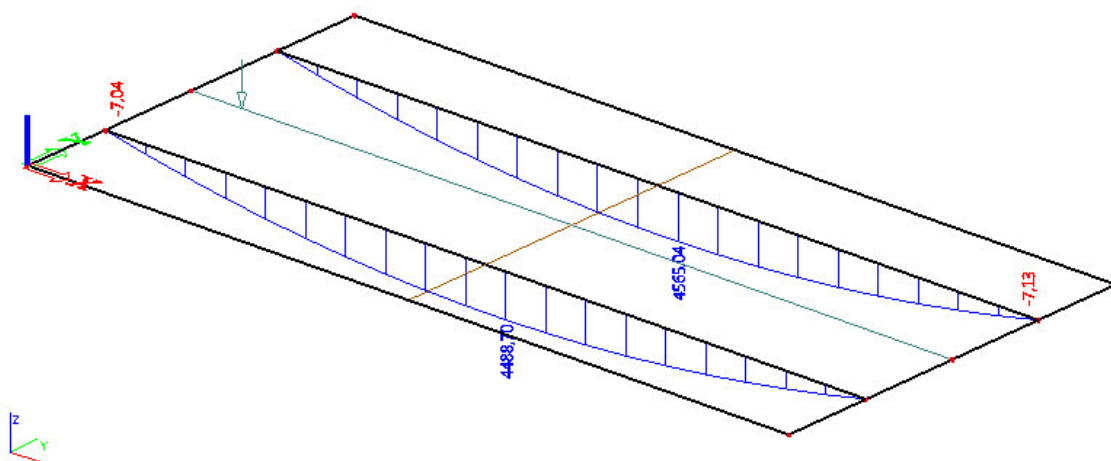
$$M_{Ed,max} = 10443,49 \text{ kNm}$$

7 PODÉLNÝ SMĚR – OHYB – SCIA ENGINEER

hodnoty ohybových momentů výpočtového modelu vytvořeného v programu Scia Engineer

zatížení trámu 1 (menší spolupůsobící šířka)

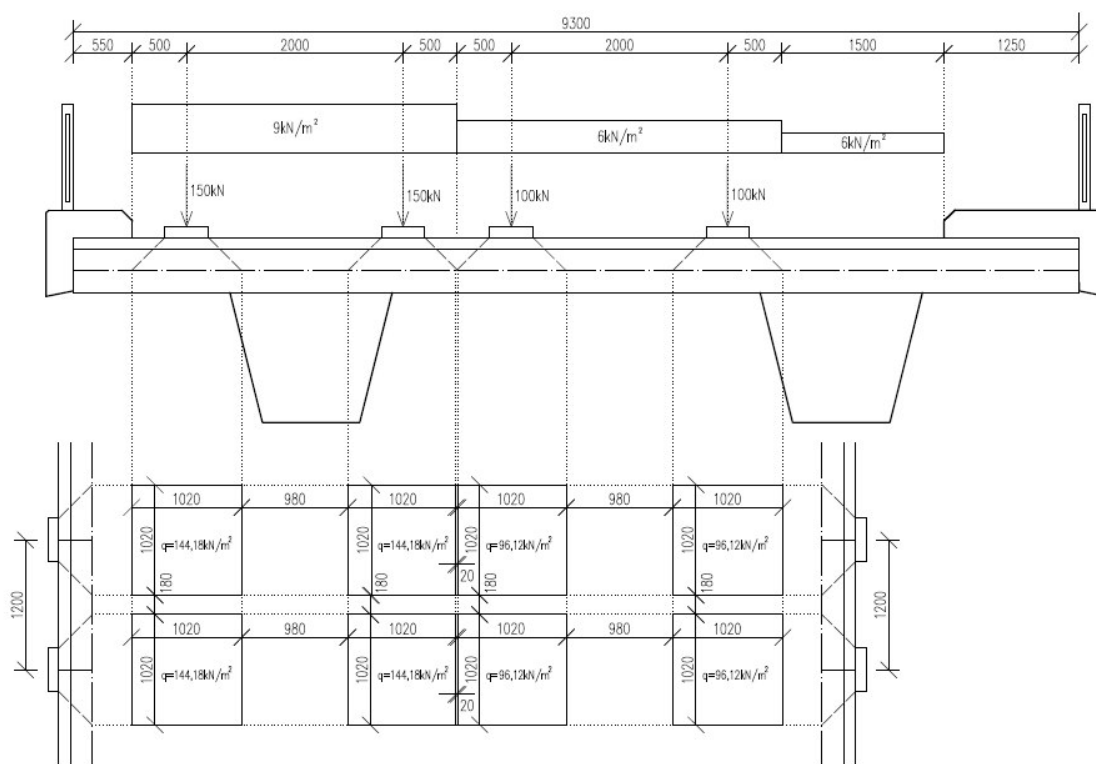
7.1 ZATÍŽENÍ STÁLÉ



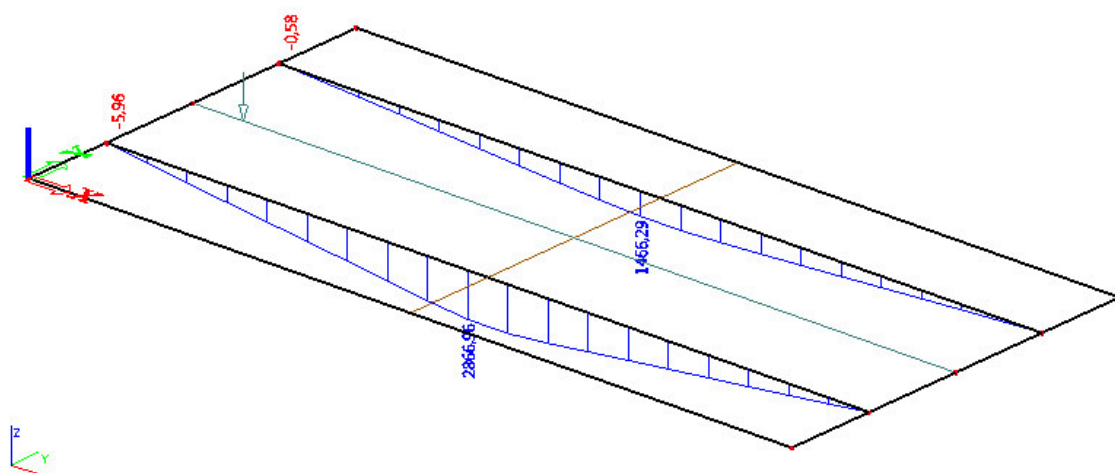
$$M_{Gk} = 4488,70 \text{ kNm}$$

7.2 MODEL ZATÍŽENÍ LM1

roznos soustředných zatížení do střednicové roviny desky

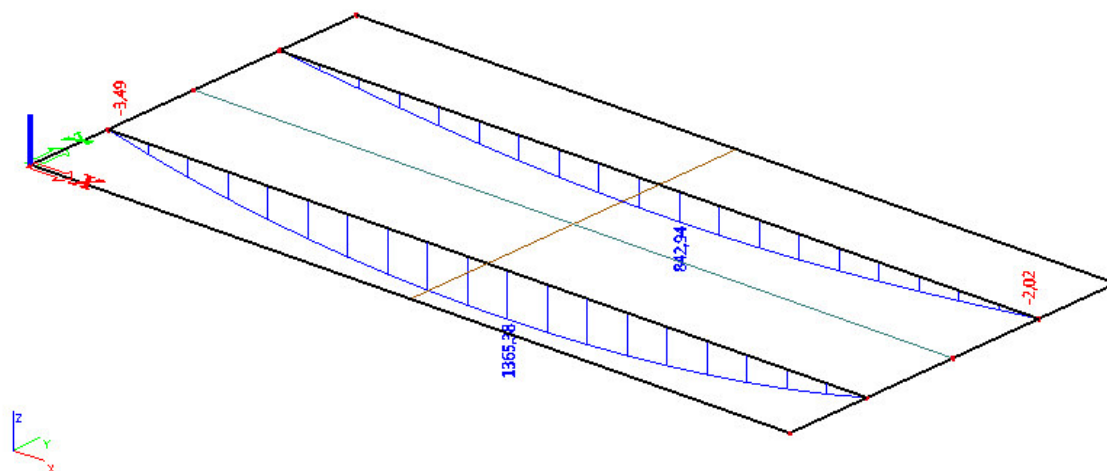


7.2.1 DVOUNÁPRAVA TS



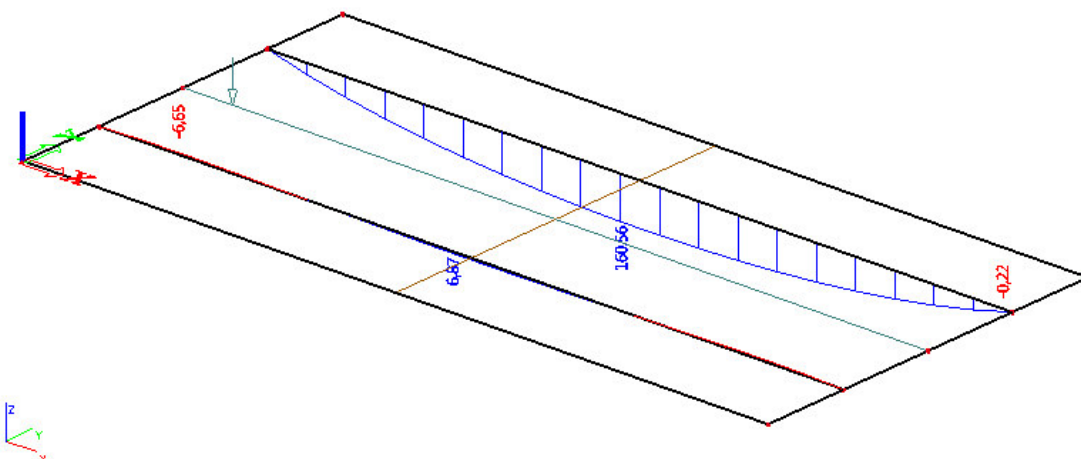
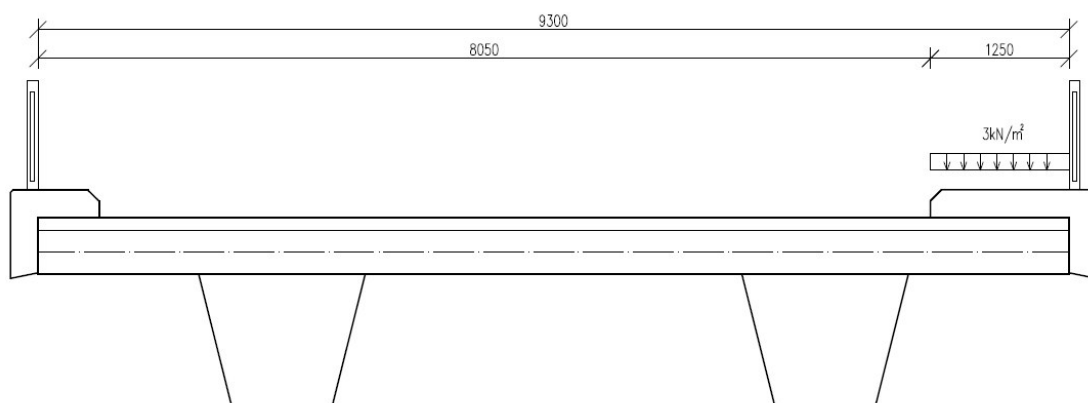
$$M_{TS} = 2866,96 \text{ kNm}$$

7.2.2 ROVNOMĚRNÉ ZATÍŽENÍ UDL



$$M_{UDL} = 1365,38 \text{ kNm}$$

7.3 ZATÍŽENÍ CHODCI

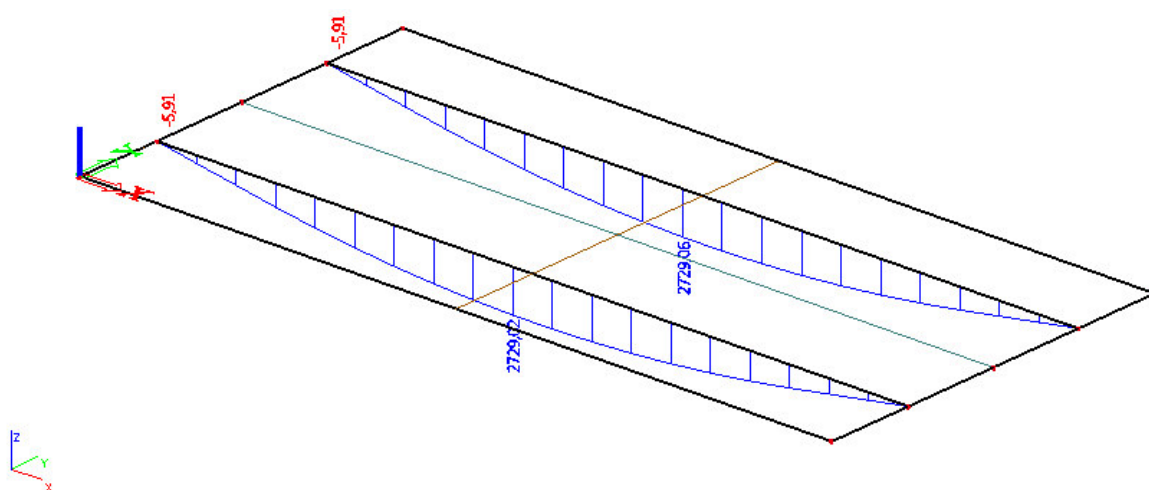
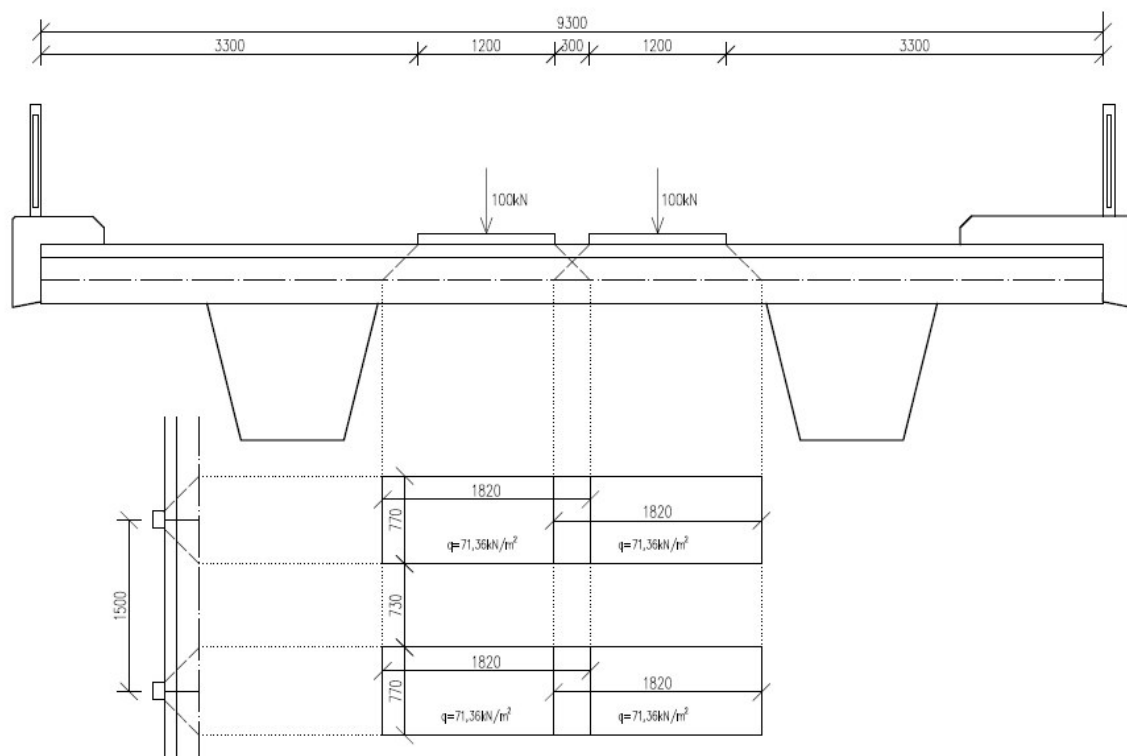


$$M_{CH} = 6,87 \text{ kNm}$$

7.4 MODEL ZATÍŽENÍ LM3 – 1800/200

pohyb vozidla v ideální stopě

roznos soustředných zatížení do střednicové roviny desky



$$M_{LM3} = 2729,02 \text{ kNm}$$

8 NÁVRH PODÉLNÉ OHYBOVÉ VÝZTUŽE TRÁMU A POSOUZENÍ NA OHYB

pro kombinaci účinků zatížení určené ručním výpočtem

$$M_{Ed} = 10443,49 \text{ kNm}$$

$$d_1 = c + \emptyset_{st} + \emptyset_s / 2 = 55 + 10 + 16 = 81 \text{ mm} = 0,081 \text{ m}$$

$$d = h - d_1 = 1600 - 81 = 1519 \text{ mm} = 1,519 \text{ m}$$

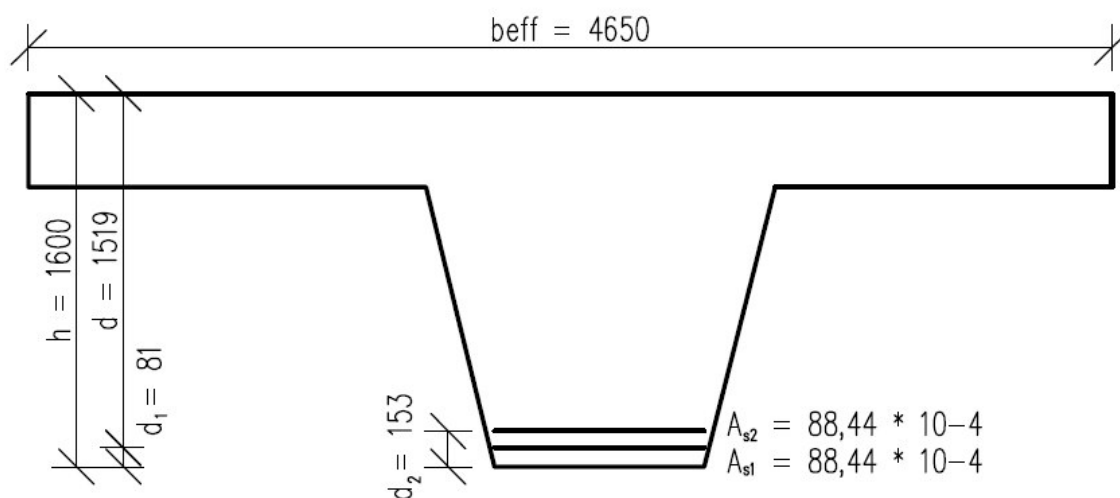
$$d_{\emptyset} = h - (d_1 + d_2) / 2 = 1600 - (81 + 153) / 2 = 1483 \text{ mm} = 1,483 \text{ m}$$

$$M_{Rd} \geq M_{Ed}$$

$$A_s \geq \frac{M_{Ed}}{f_{yd} \cdot 0,95 \cdot d} = \frac{10443,49 \cdot 10^3}{434,783 \cdot 10^6 \cdot 0,95 \cdot 1,483} = 170,49 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

návrh: 22Ø32

$$A_s = 176,88 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$



poloha neutrálné osy ze silové rovnováhy sil: $0 = F_s - F_c$

$$A_{cc} = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{f_{cd}} = \frac{176,88 \cdot 10^{-4} \cdot 434,783 \cdot 10^6}{21 \cdot 10^6} = 0,3662 \text{ m}^2$$

$$A_d = b_{eff} \cdot h_s = 4,65 \cdot 0,4 = 1,86 \text{ m}^2 > A_{cc} = 0,3662 \text{ m}^2 \rightarrow \lambda \cdot x \text{ v horní přírubě}$$

$$\lambda \cdot x = \frac{A_{cc}}{b_{eff}} = \frac{0,3662}{4,65} = 0,0788 \text{ m}$$

$$x = \frac{\lambda \cdot x}{\lambda} = \frac{0,0788}{0,8} = 0,0984 \text{ m} (< h_s = 0,4 \text{ m})$$

kontrola přetvoření výztuže

$$\varepsilon_s = \frac{\varepsilon_{cu}}{x} \cdot (h - x - d_2) = \frac{0,0035}{0,0984} \cdot (1,6 - 0,0984 - 0,153) = 0,04 > \varepsilon_{yd} = 0,0025$$

$$\sigma_s = f_{yd}$$

ramena vnitřních sil

$$a_{cc} = 0,5 \cdot \lambda \cdot x = 0,5 \cdot 0,0788 = 0,0394\text{m}$$

$$z_{c1} = (h - d_1) - a_{cc} = (1,6 - 0,081) - 0,0394 = 1,4796\text{m}$$

$$z_{c2} = (h - d_2) - a_{cc} = (1,6 - 0,153) - 0,0394 = 1,4076\text{m}$$

kontrola únosnosti průřezu – moment na mezi únosnosti

$$M_{Rd} = A_{s1} \cdot f_{yd} \cdot z_{c1} + A_{s2} \cdot f_{yd} \cdot z_{c2} = 88,44 \cdot 10^{-4} \cdot 434,783 \cdot 10^6 \cdot (1,4796 + 1,4076)$$

$$M_{Rd} = 11101,92\text{kNm} > M_{Ed} = 10443,49\text{kNm}$$

VYHOVÍ

kontrola míry vyztužení

$$A_{s,min} = 0,26 \cdot (f_{ctm} / f_{yk}) \cdot b_t \cdot d = 0,26 \cdot (3,2 / 500) \cdot 0,9 \cdot 1,483 = 22,21 \cdot 10^{-4}\text{m}^2$$

$$A_{s,min} = 0,0013 \cdot b_t \cdot d = 0,0013 \cdot 0,9 \cdot 1,483 = 17,35 \cdot 10^{-4}\text{m}^2$$

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot A_c = 0,04 \cdot 4,65 \cdot 0,0984 = 183,02 \cdot 10^{-4}\text{m}^2$$

$$A_{s,min} = 22,21 \cdot 10^{-4}\text{m}^2 < A_s = 176,88 \cdot 10^{-4}\text{m}^2 < A_{s,max} = 183,02 \cdot 10^{-4}\text{m}^2 \quad \text{VYHOVÍ}$$

$$\rho_{w,min} = 0,08 \cdot \sqrt{f_{ck}} / f_{yk} = 0,08 \cdot \sqrt{35} / 500 = 0,0009$$

$$\rho_w = A_s \cdot (b_w \cdot d) = 176,88 \cdot 10^4 \cdot (0,9 \cdot 1,483) = 0,0236$$

$$\rho_w = 0,0236 > \rho_{w,min} = 0,0009 \quad \text{VYHOVÍ}$$

kontrola vzdálenosti výztuže:

$$s_{n,min} = \max \{1,2\varnothing; d_g + 5\text{mm}; 20\text{mm}\} = \max \{1,2 \cdot 32; 32 + 5; 20\text{mm}\} = \max \{38,4; 37; 20\}\text{mm}$$

$$s_{n,min} = 38,4\text{mm}$$

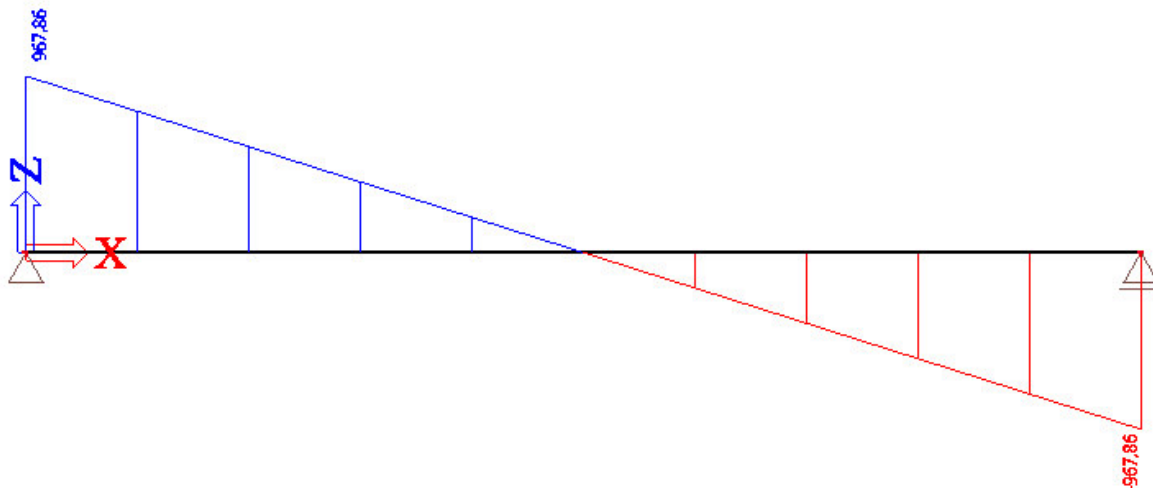
$$s_{n,min} = 37\text{mm} < s_n = 40\text{mm} \quad \text{VYHOVÍ}$$

9 PODÉLNÝ SMĚR – SMYK – RUČNÍ VÝPOČET

9.1 ZATÍŽENÍ STÁLÉ

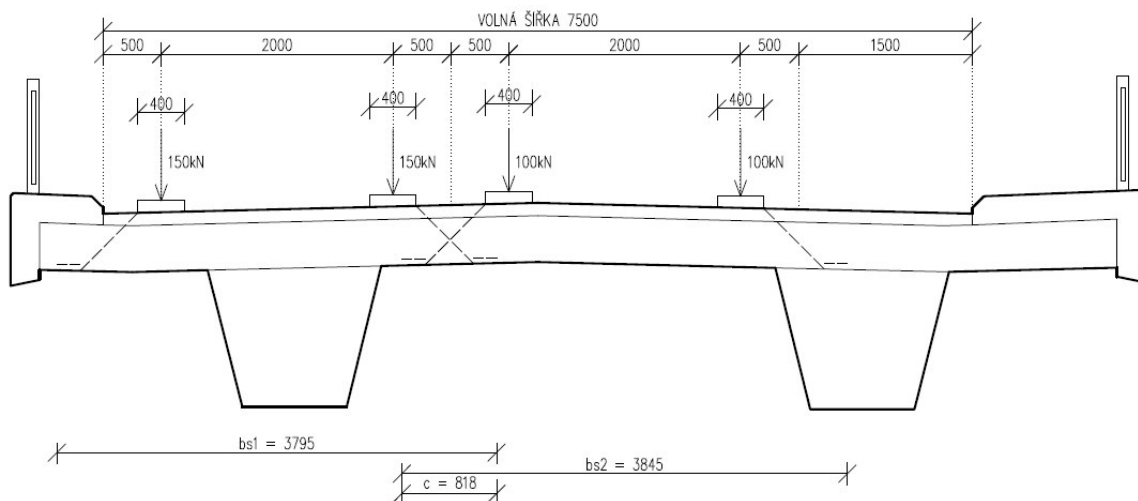
$$g_k = 101,88 \text{ kN/m}$$

$$V_{gk} = R_A = 0,5 \cdot g_k \cdot l = 0,5 \cdot 101,88 \cdot 19 = 967,86 \text{ kN}$$



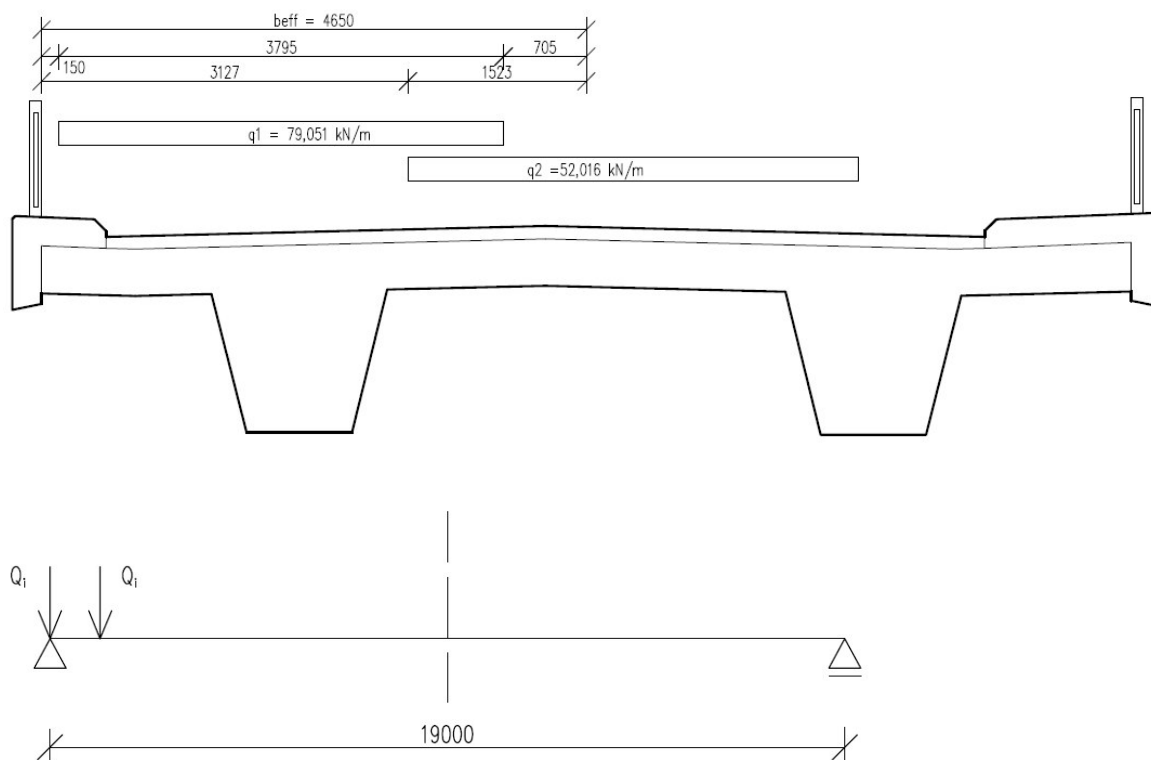
9.2 MODEL ZATÍŽENÍ LM1

9.2.1 DVOUNÁPRAVA TS



$$x = 0,6 \text{ m}$$

roznos soustředných zatížení pod úhlem 45° na spodní líc desky



rovnoměrná spojitá zatížení

$$q_{TS} = \frac{Q \cdot \alpha_Q}{b_s}$$

$$q_{TS1} = \frac{300 \cdot 1,0}{3,795} = \frac{79,05 \text{ kN}}{\text{m}}$$

$$q_{TS2} = \frac{200 \cdot 1,0}{3,845} = 52,02 \text{ kN/m}$$

$$Q_{TS} = q \cdot Z\check{S}$$

$$Q_{TS1} = 79,05 \cdot 3,795 = 300,00 \text{ kN}$$

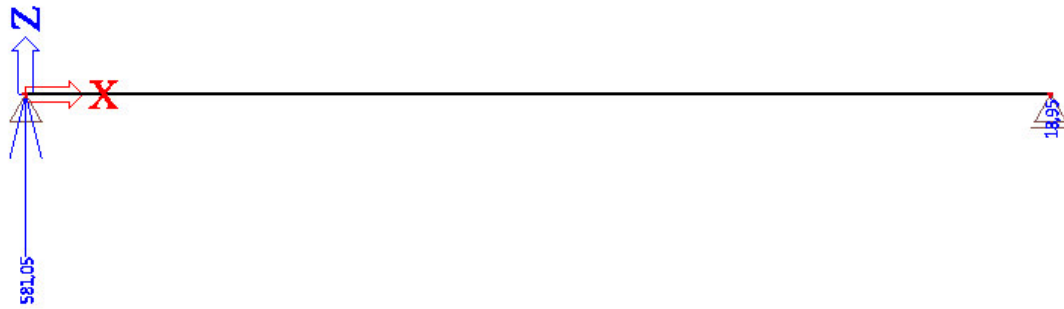
$$Q_{TS2} = 52,02 \cdot 1,523 = 79,23 \text{ kN}$$

zjednodušeně uvažují $V_{TS} = R_A$

$$R_A: \Sigma M_{ib} = R_A \cdot 19 - Q \cdot (l + (l - 1,2))$$

$$V_{TS} = R_A = (Q \cdot (l + (l - 1,2))) / l$$

$$V_{TS1} = 300,00 \cdot (19 + 17,8) / 19 = 581,81 \text{ kN}$$



$$V_{TS2} = 79,23 \cdot (19 + 17,8) / 19 = 153,46 \text{ kN}$$



$$V_{TS} = \max \left\{ V_{TS1} + V_{TS2} \cdot \frac{c}{2 \cdot b_{s1} - c}; V_{TS2} + V_{TS1} \cdot \frac{c}{2 \cdot b_{s2} - c} \right\}$$

$$V_{TS} = \max \left\{ 581,05 + 153,46 \cdot \frac{0,818}{2 \cdot 3,795 - 0,818}; 153,46 + 581,05 \cdot \frac{0,818}{2 \cdot 3,845 - 0,818} \right\}$$

$$V_{TS} = \max \{ 599,59; 222,62 \}$$

$$V_{TS} = 599,59 \text{ kN}$$

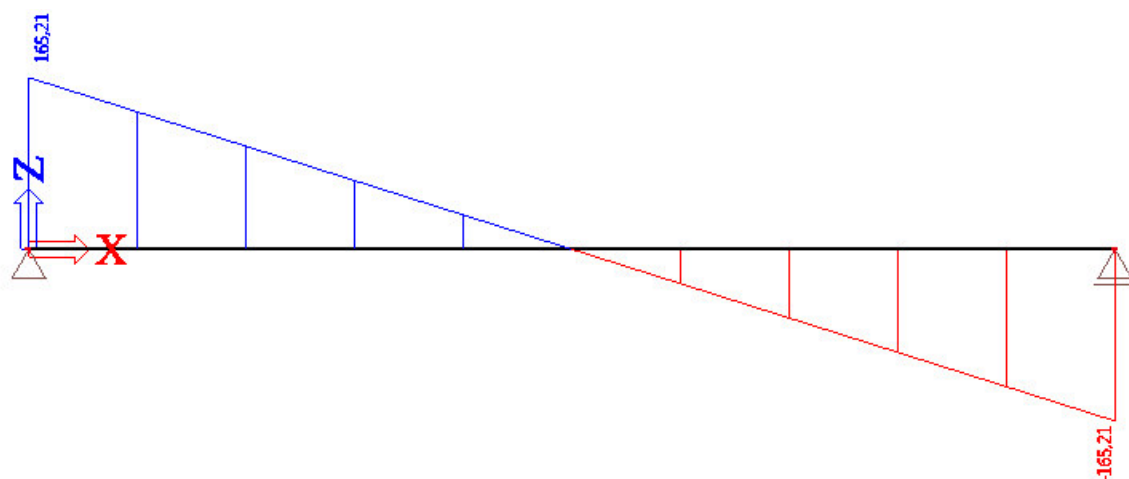
9.2.2 ROVNOMĚRNÉ ZATÍŽENÍ UDL

$$x = 9,5 \text{ m}$$

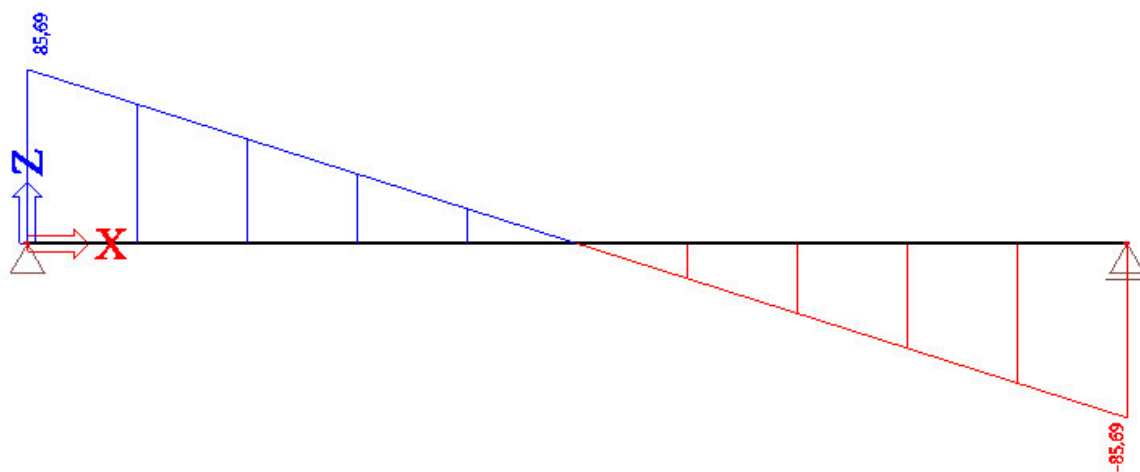
rozmístění zatížení a spolupůsobící šířky viz 5.2.2.

$$V_{UDL} = R_A = 0,5 \cdot q \cdot l$$

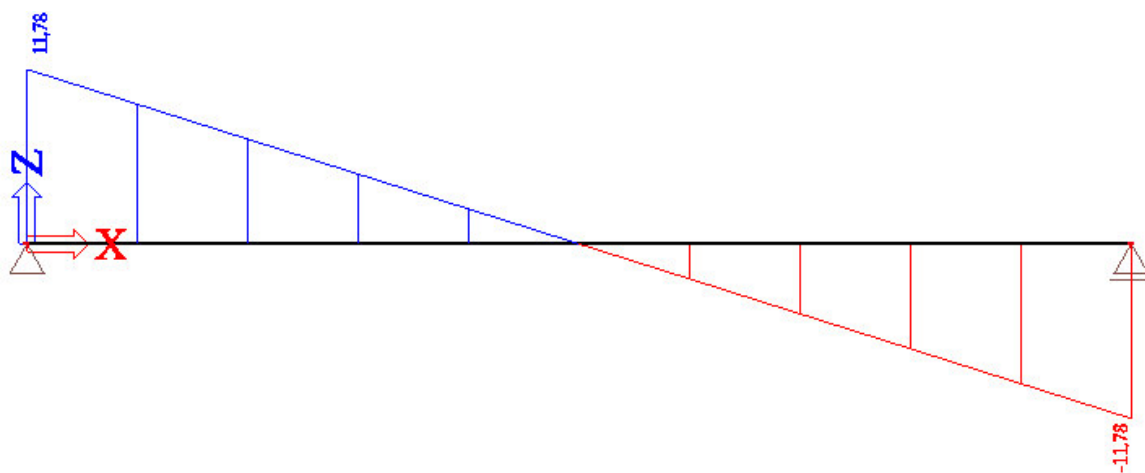
$$V_{UDL1} = 0,5 \cdot 17,39 \cdot 19 = 165,21 \text{ kN}$$



$$V_{UDL2} = 0,5 \cdot 9,02 \cdot 19 = 85,69 \text{ kN}$$



$$V_{UDL3} = 0,5 \cdot 1,24 \cdot 19 = 11,78 \text{ kN}$$



Kombinace posouvajících sil (se zanedbáním účinků od rovnoměrného zatížení v pruhu 3)

$$V_{UDL} = \max \left\{ \begin{array}{l} V_{UDL1} + V_{UDL2} \cdot \frac{c}{2 \cdot b_{s1} - c}; \\ V_{UDL2} + V_{UDL1} \cdot \frac{c}{2 \cdot b_{s2} - c} \end{array} \right\}$$

$$V_{UDL} = \max \left\{ \begin{array}{l} 165,21 + 85,69 \cdot \frac{7,215}{2 \cdot 7,215 - 7,215}; \\ 85,69 + 165,21 \cdot \frac{7,215}{2 \cdot 9,300 - 7,215} \end{array} \right\}$$

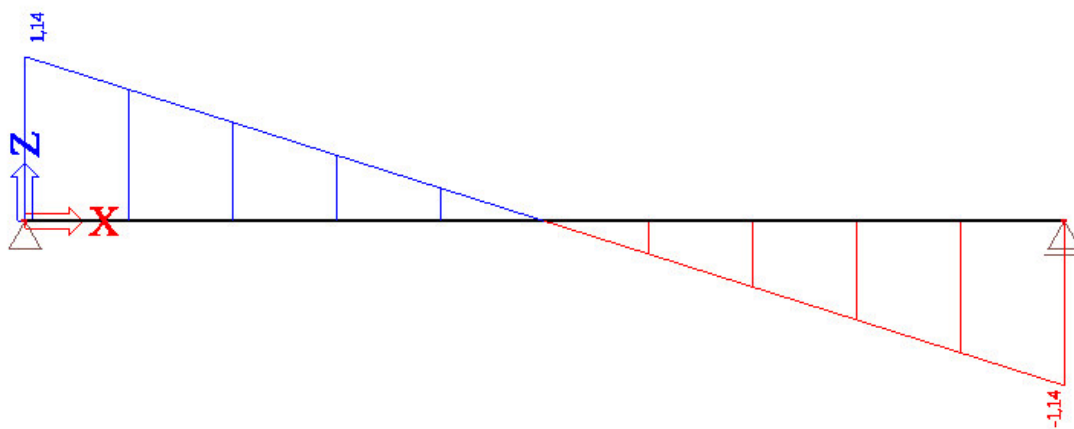
$$V_{UDL} = \max\{250,90; 190,39\} = \mathbf{250,90kNm}$$

9.3 ZATÍŽENÍ CHODCI

$$x = 9,5m$$

rozmístění zatížení a spolupůsobící šířky viz 5.3.

$$V_{CH} = 0,5 \cdot q_{CH} \cdot l = 0,5 \cdot 0,12 \cdot 19 = \mathbf{1,14kN}$$

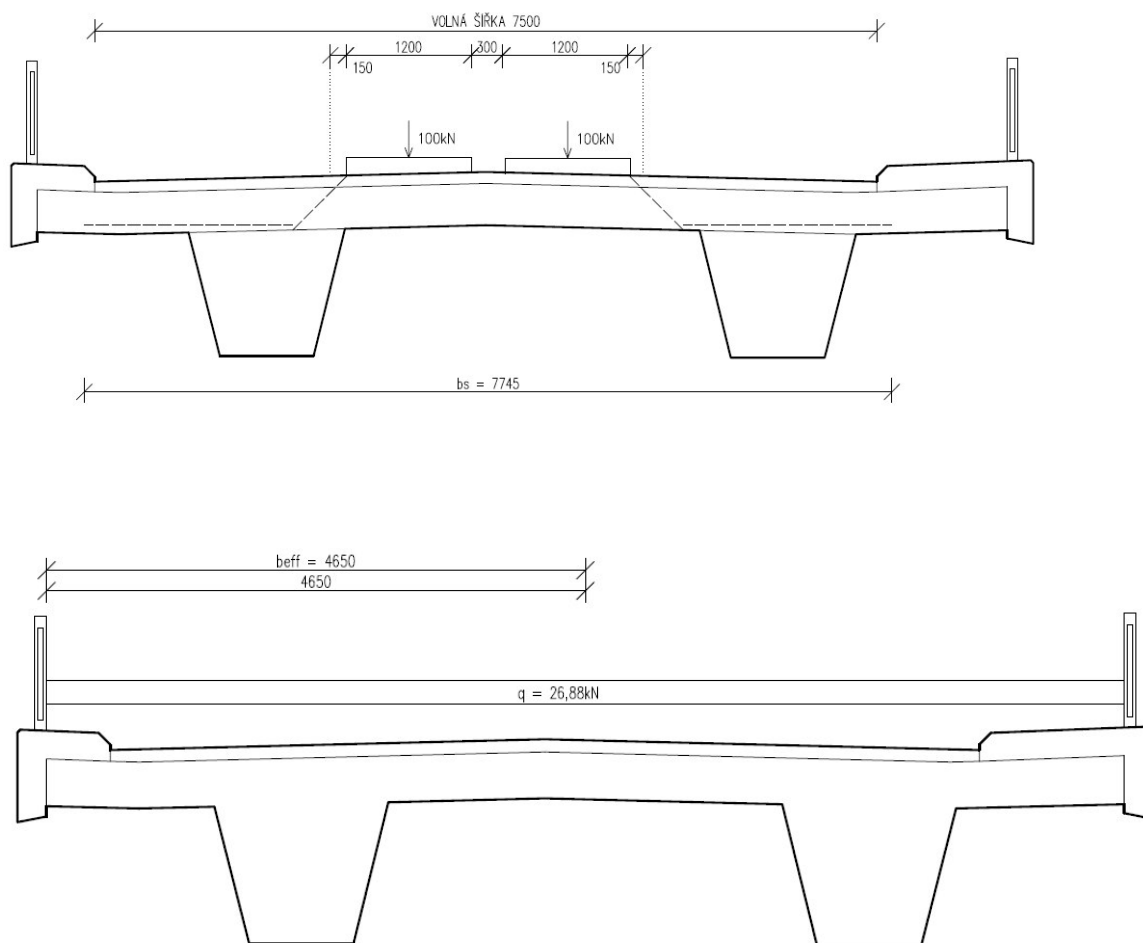


9.4 MODEL ZATÍŽENÍ LM3 – 1800/200

pohyb vozidla v ideální stopě

$$x = 6m$$

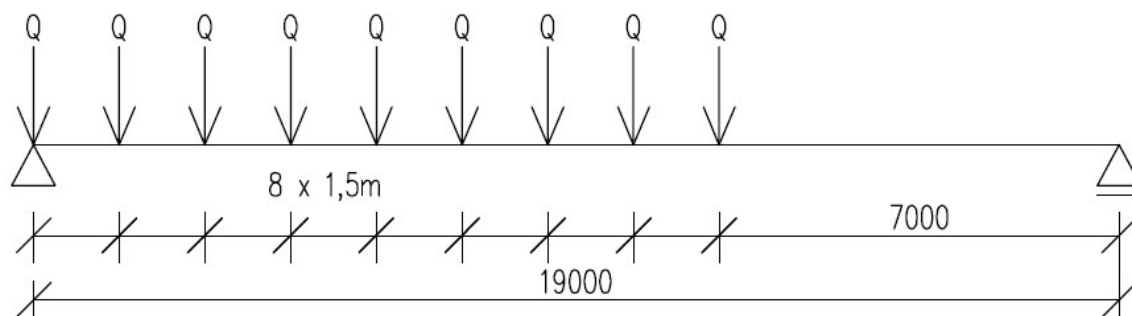
roznos soustředných zatížení pod úhlem 45° na spodní líc desky



spojité rovnoměrné zatížení

$$q = \frac{Q_{\text{NÁPR}} \cdot \varphi}{b_s} = \frac{200 \cdot 1,25}{7,745} = 32,28 \text{ kN/m}$$

$$Q = q \cdot Z\check{S} = 32,28 \cdot 3,795 = 122,5 \text{ kN}$$



zjednodušeně uvažuji $V_{LM3} = R_A$

$$R_A: \Sigma M_{ib} = R_A \cdot l - Q \cdot (7 + 8,5 + 10 + 11,5 + 13 + 14,5 + 16 + 17,5 + 19)$$

$$V_{LM3} = R_A = \frac{Q \cdot (7 + 8,5 + 10 + 11,5 + 13 + 14,5 + 16 + 17,5 + 19)}{1}$$

$$V_{LM3} = R_A = \frac{122,5 \cdot (7 + 8,5 + 10 + 11,5 + 13 + 14,5 + 16 + 17,5 + 19)}{19}$$

$$V_{LM3} = 754,34 \text{ kN}$$



9.5 KOMBINACE ÚČINKŮ ZATÍŽENÍ

pro mezní stav únosnosti

uvažuji nejméně příznivou hodnotu ze vztahů 6.10.a a 6.10.b pro soustavy zatížení gr1a a LM3

$$6.10.a \quad \gamma_G \cdot G_k + \gamma_Q \cdot \psi_0 \cdot Q_k$$

$$6.10.b \quad \xi \cdot \gamma_G \cdot G_k + \gamma_Q \cdot Q_k$$

gr1a:

$$6.10.a \quad V_{Ed} = 1,35 \cdot 967,86 + 1,35 \cdot (0,75 \cdot 598,84 + 0,4 \cdot 250,90 + 0,4 \cdot 1,14)$$

$$V_{Ed} = 2049,04 \text{ kN}$$

$$6.10.b \quad V_{Ed} = 0,85 \cdot 1,35 \cdot 967,86 + 1,35 \cdot (598,84 + 250,90 + 1,14)$$

$$V_{Ed} = 2257,77 \text{ kN}$$

LM3:

$$6.10.a \quad V_{Ed} = 1,35 \cdot 967,86 + 1,35 \cdot 0 \cdot 754,34$$

$$V_{Ed} = 1306,61 \text{ kN}$$

$$6.10.b \quad V_{Ed} = 0,85 \cdot 1,35 \cdot 967,86 + 1,35 \cdot 754,34$$

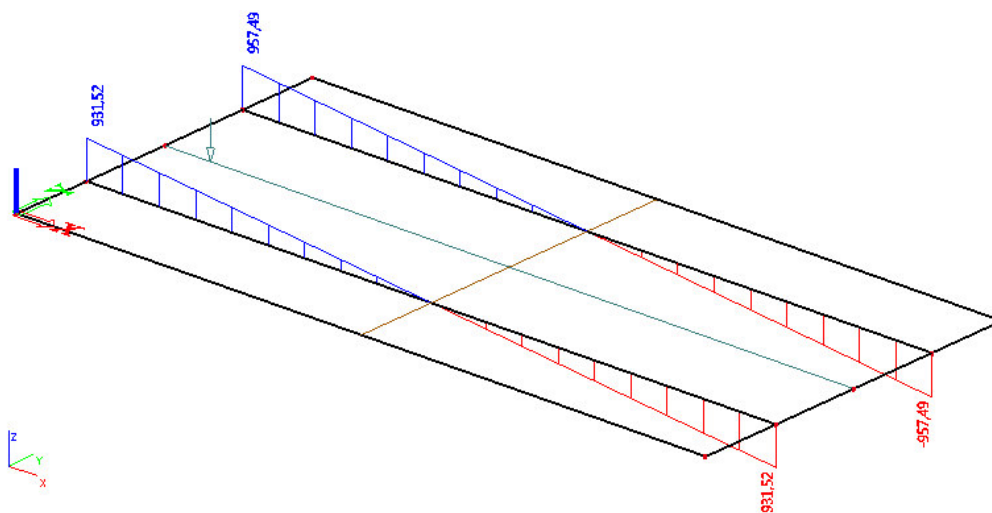
$$V_{Ed} = 2128,98\text{kN}$$

$$V_{Ed,max} = 2257,77\text{kN}$$

10 PODÉLNÝ SMĚR – SMYK – SCIA ENGINEER

hodnoty posouvajících sil výpočtového modelu vytvořeného v programu Scia Engineer

10.1 ZATÍŽENÍ STÁLÉ

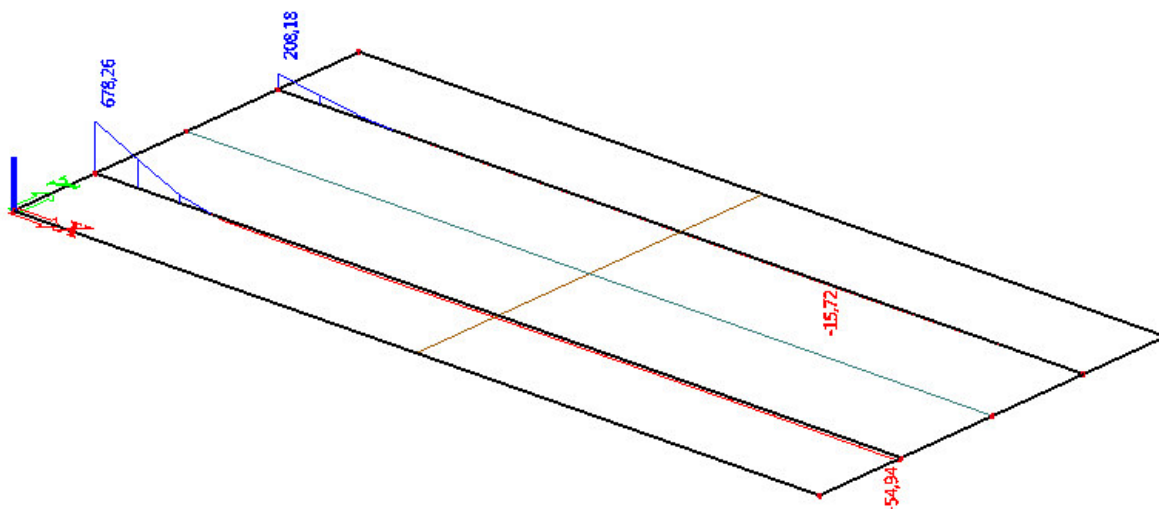


$$V_{Gk} = 931,52 \text{ kN}$$

10.2 MODEL ZATÍŽENÍ LM1

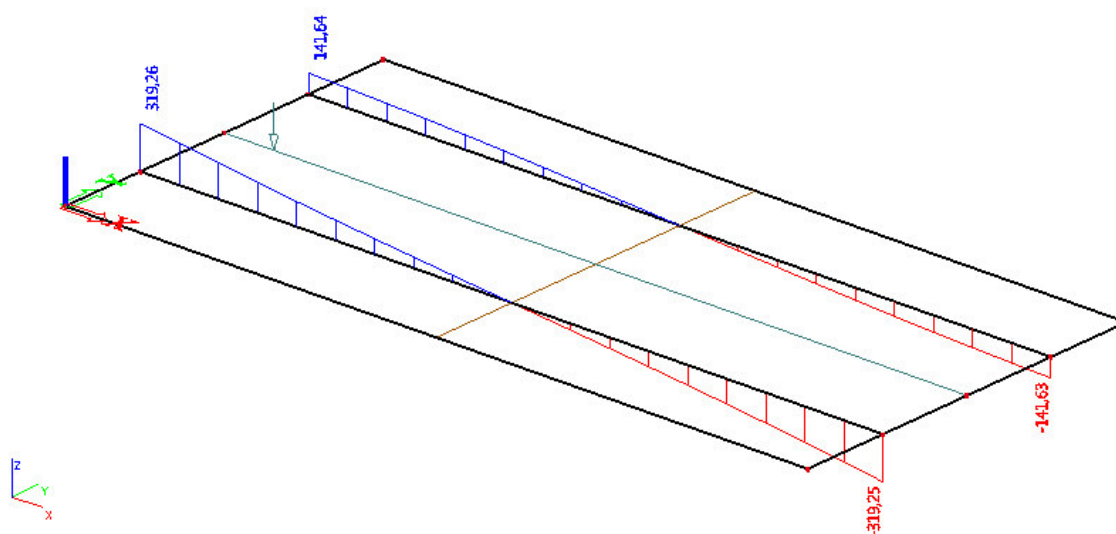
umístění zatížení a roznos zatížení viz. 7.2.

10.2.1 DVOUNÁPRAVA TS



$$V_{TS} = 678,26 \text{ kN}$$

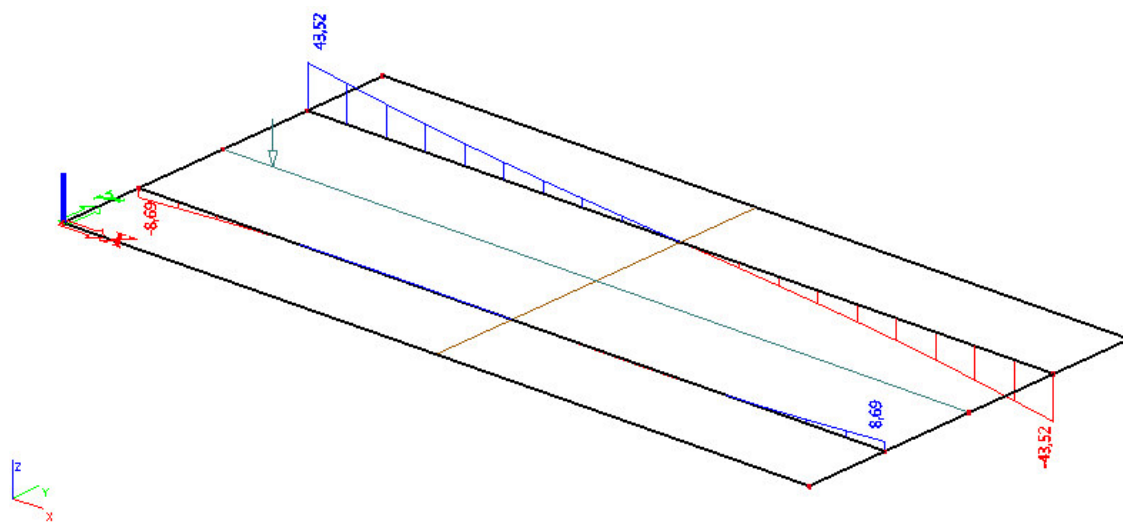
10.2.2 ROVNOMĚRNÉ ZATÍŽENÍ UDL



$$V_{UDL} = 319,26 \text{ kN}$$

10.3 ZATÍŽENÍ CHODCI

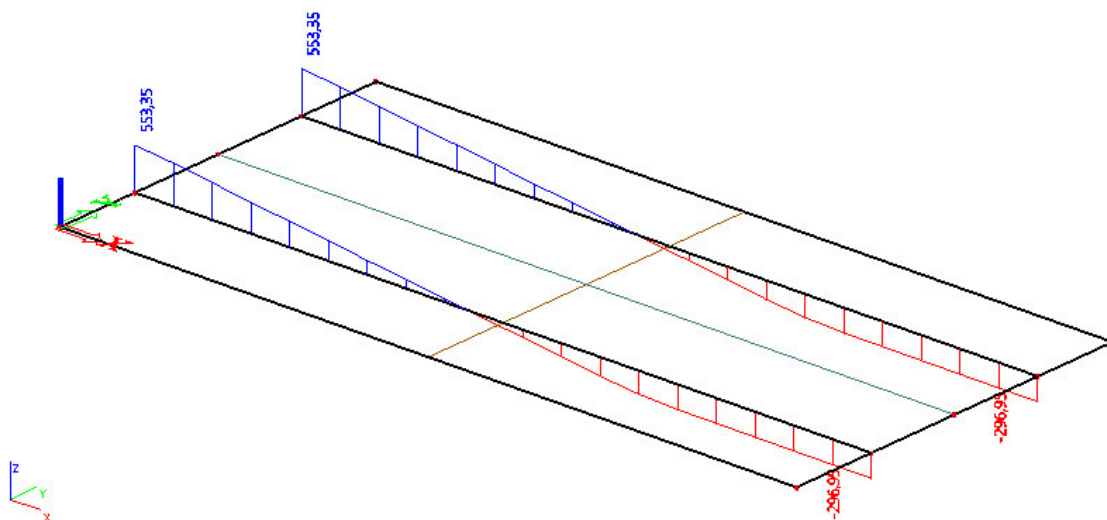
umístění zatížení viz. 7.3.



$$V_{CH} = -8,69 \text{ kN}$$

10.4 MODEL ZATÍŽENÍ LM3 – 1800/200

umístění a roznos zatížení viz. 7.4.



$$V_{LM3} = 553,35 \text{ kN}$$

11 NÁVRH PODÉLNÉ SMYKOVÉ VÝZTUŽE A POSOUZENÍ NA SMYK

pro kombinaci účinků zatížení určené ručním výpočtem

$$V_{Ed} = 2257,77 \text{ kN}$$

návrhová smyková únosnost betonu a podélné výztuže

$$V_{Rd,c} = [C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} + k_1 \cdot \sigma_{cp}] \cdot b_w \cdot d \geq (v_{min} + k_1 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$$

$$C_{Rd,c} = 0,18 / \gamma = 0,18 / 1,5 = 0,12$$

$$k_1 \cdot \sigma_{cp} = 0 \text{ bez vlivu normálové síly}$$

součinitel výšky

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{1483}} = 1,366$$

smyková plocha

$$b_w \cdot d = 900 \cdot 1491 = 1341900 \text{ mm}^2$$

stupeň vyztužení

$$\rho_l = A_{sl} / (b_w \cdot d) = 0,5 \cdot 0,017688 / (0,9 \cdot 1,483) = 0,0066 \leq 0,02$$

minimální smykové napětí

$$v_{min} = 0,035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} = 0,035 \cdot 1,366^{3/2} \cdot 35^{1/2} = 0,331 \text{ MPa}$$

$$V_{Rd,c} = [0,12 \cdot 1,366 \cdot (100 \cdot 0,0066 \cdot 35)^{1/3} + 0] \cdot 1341900 \geq (0,331 + 0) \cdot 1341900$$

$$V_{Rd,c} = 511,85 \text{ kN} > 444,17 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 2258,42 \text{ kN} > V_{Rd,c} = 511,85 \text{ kN}$$

NUTNO NAVRHNOUT SMYKOVOU VÝZTUŽ

$$\alpha = 90^\circ$$

$$\theta = 35^\circ$$

$$V_{Rd} = \min\{V_{Rd,max}; V_{Rd,s}\}$$

$$V_{Rd,max} = \frac{\alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot v_l \cdot f_{cd}}{\cot\theta + \tan\theta}$$

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot \cot\theta$$

součinitel, kterým se zohledňuje stav napětí v tlačném pásu

$$\alpha_{cw} = 1,0$$

redukční součinitel pevnosti betonu při porušení smykem

$$v_l = v = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{35}{250}\right) = 0,516$$

návrh: čtyřstřížný třmínek Ø10 á 140mm

$$A_{sw} = 4 \cdot 0,79 \cdot 10^{-4} = 3,16 \cdot 10^{-4} \text{m}^2$$

$$f_{ywd} = f_{yd} = 434,783 \text{MPa}$$

posouzení smykové výztuže

$$V_{Rd,s} = \frac{3,16 \cdot 10^{-4}}{0,14} \cdot (0,95 \cdot 1,491) \cdot 434,783 \cdot 10^6 \cdot \cotg 30^\circ = 2407,65 \text{kN}$$

$$V_{Rd,max} = \frac{1,0 \cdot 1,505 \cdot 0,95 \cdot 0,516 \cdot 21 \cdot 10^6}{\cotg 30^\circ + \tg 30^\circ} = 6708,57 \text{kN}$$

$$V_{Rd} = \min\{2407,65; 6708,57\} \text{kN} = 2407,65 \text{kN}$$

$$V_{Ed} = 2257,77 \text{kN} < V_{Rd} = 2407,65 \text{kN}$$

VYHOVÍ

kontrola míry vyztužení

$$\rho_w = \frac{A_{sw}}{s \cdot b_w \cdot \sin \alpha} = \frac{3,16 \cdot 10^{-4}}{0,14 \cdot 1,505 \cdot \sin 90^\circ} = 0,0015$$

$$\rho_{w,min} = \frac{0,08 \cdot \sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} = \frac{0,08 \cdot \sqrt{35}}{500} = 0,0009$$

$$\rho_w = 0,0015 > \rho_{w,min} = 0,0009$$

VYHOVÍ

osová vzdálenost třmíneků

$$s_{max} = 0,75 \cdot d \cdot (1 + \cotg \alpha) = 0,75 \cdot 1,483 \cdot (1 + \cotg 90^\circ) = 1125,25 \text{mm} \leq 400 \text{mm}$$

$$s = 140 \text{mm} < s_{max} = 400 \text{mm}$$

VYHOVÍ

osová vzdálenost větví třmíneků

$$s_t = 595 \text{mm}$$

$$s_{t,max} = 0,75 \cdot d = 0,75 \cdot 1,483 = 1112,25 \text{mm} \leq 600 \text{mm}$$

$$s_t = 595\text{mm} = s_{t,\max} = 600\text{mm}$$

VYHOVÍ

Redukce plochy smykové výztuže v poli

$$x = 4\text{m}$$

$$V_{Ed} = 1627,62\text{kN}$$

návrh: čtyřstřížný třmínek Ø10 á 200mm

posouzení smykové výztuže

$$V_{Rd,s} = \frac{3,16 \cdot 10^{-4}}{0,20} \cdot (0,95 \cdot 1,491) \cdot 434,783 \cdot 10^6 \cdot \cotg 30^\circ = 1685,36\text{kN}$$

$$V_{Rd,\max} = \frac{1,0 \cdot 1,505 \cdot 0,95 \cdot 0,516 \cdot 21 \cdot 10^6}{\cotg 30^\circ + \tg 30^\circ} = 6708,57\text{kN}$$

$$V_{Rd} = \min\{1685,36; 6708,57\}\text{kN} = 1685,36\text{kN}$$

$$V_{Ed} = 1627,62\text{kN} < V_{Rd} = 1685,36\text{kN}$$

VYHOVÍ

kontrola míry vyztužení

$$\rho_w = \frac{A_{sw}}{s \cdot b_w \cdot \sin \alpha} = \frac{3,16 \cdot 10^{-4}}{0,20 \cdot 1,505 \cdot \sin 90^\circ} = 0,0010$$

$$\rho_w = 0,0010 \geq \rho_{w,\min} = 0,0009$$

VYHOVÍ

osová vzdálenost třmíneků

$$s = 200\text{mm} < s_{\max} = 400\text{mm}$$

VYHOVÍ

osová vzdálenost větví třmíneků

$$s_t = 595\text{mm} = s_{t,\max} = 600\text{mm}$$

VYHOVÍ

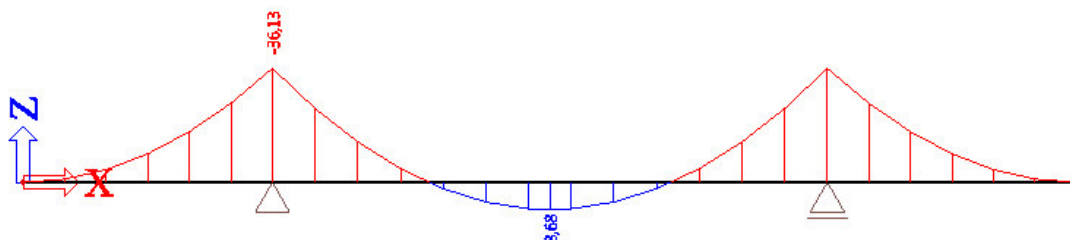
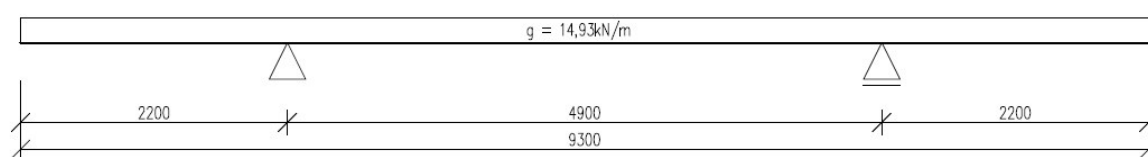
12 PŘÍČNÝ SMĚR – OHYB – RUČNÍ VÝPOČET

zatížení nad levou podporou a uprostřed rozpětí

12.1 ZATÍŽENÍ STÁLÉ

Pro potřebu zjednodušeného řešení

	t	γ	l	g_k
	[mm]	[kg/m ³]	[m]	[kN/m]
vozovka	0,11	24	1	2,64
deska	0,4	25	1	10,00
+				
	A	γ	b	
	[m ²]	[kg/m ³]	[m]	
římša levá	0,321	25	9,3	0,86
římša pravá	0,492	25	9,3	1,32
		g_k	b	
		[kN/m]	[m]	
zábradlí		1	9,3	0,11
celkem				14,93

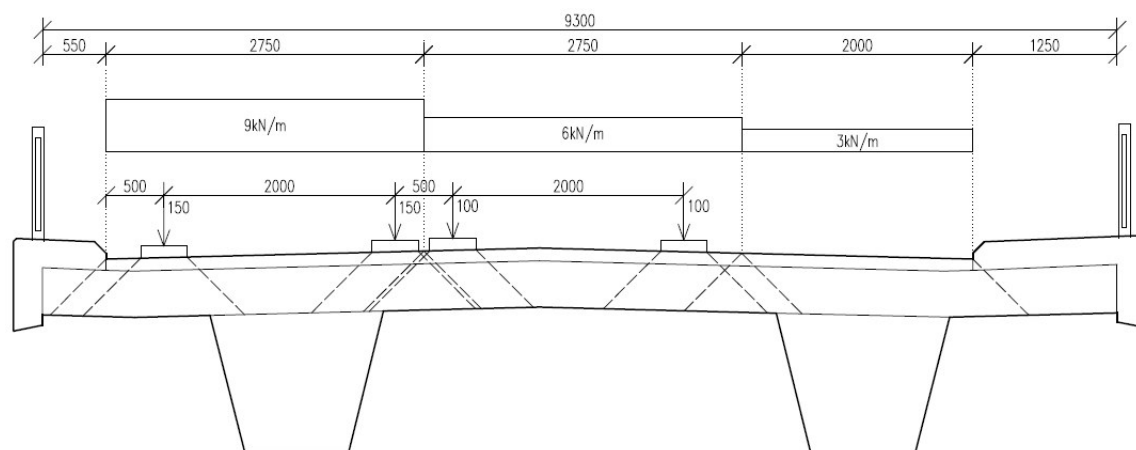


$$M_{Gk,PODPORA} = -36,13 \text{ kNm}$$

$$M_{Gk,POLE} = 8,68 \text{ kNm}$$

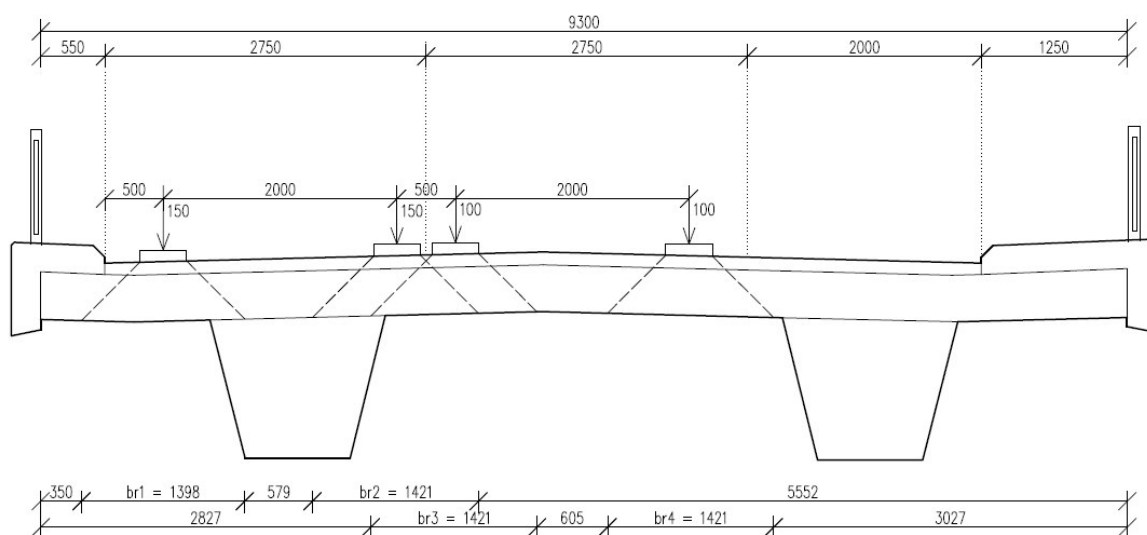
12.2 MODEL ZATÍŽENÍ LM1 – PRO MAXIMÁLNÍ OHYBOVÝ MOMENT NAD PODPOROU

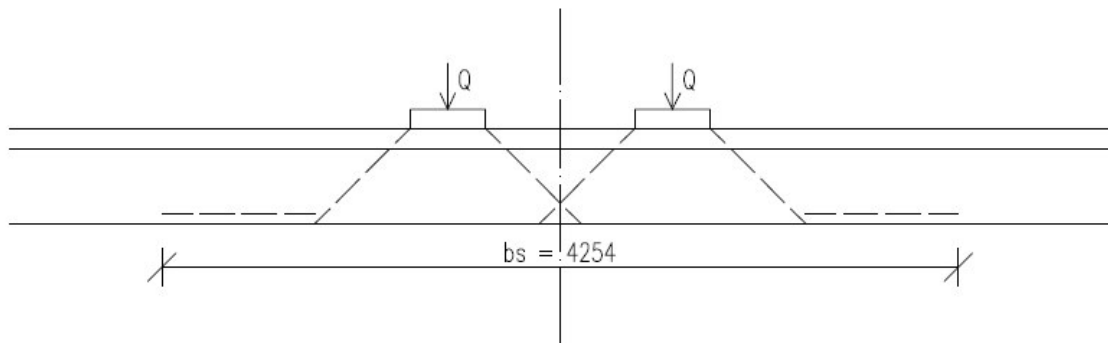
rozmístění pohyblivého zatížení pro maximální ohybové momenty nad podporou



12.2.1 DVOUNÁPRAVA TS

roznos soustředných zatížení pod úhlem 45° stupňů na spodní líc desky





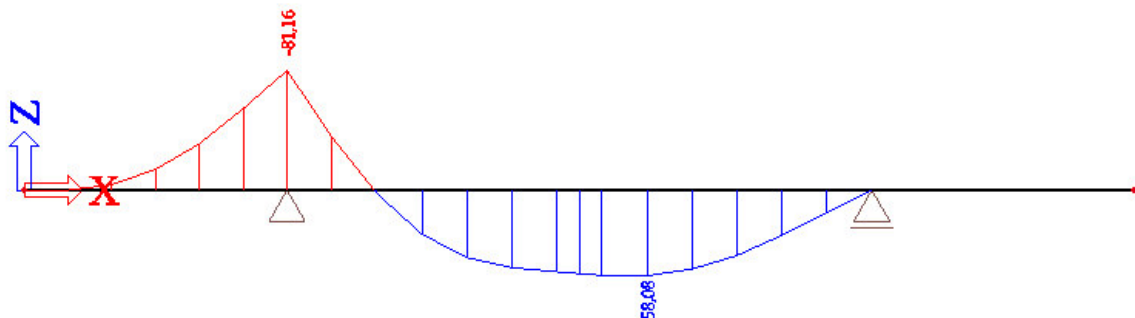
rovnorná spojitá zatížení

$$q = \frac{2 \cdot \frac{Q}{2} \cdot b}{b_s \cdot b_r}$$

$$q_1 = \frac{2 \cdot 150 \cdot 1,0}{4,254 \cdot 1,398} = 50,44 \text{ kN/m}$$

$$q_2 = \frac{2 \cdot 150 \cdot 1,0}{4,254 \cdot 1,421} = 49,63 \text{ kN/m}$$

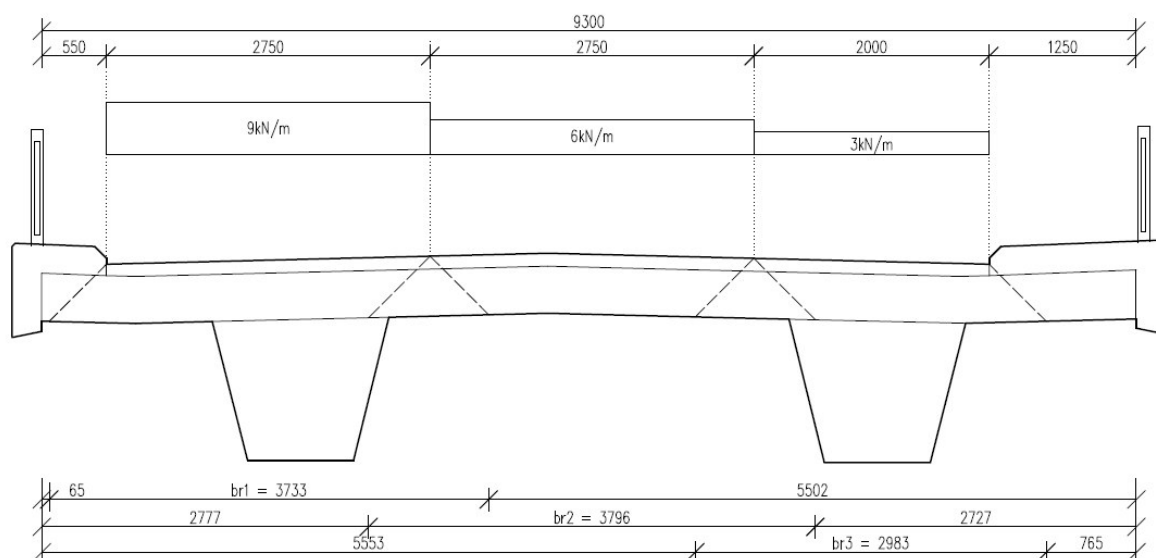
$$q_3 = q_4 = \frac{2 \cdot 100 \cdot 1,0}{4,254 \cdot 1,421} = 33,09 \text{ kN/m}$$



$$M_{TS, \text{PODPORA}} = -81,16 \text{ kNm}$$

12.2.2 ROVNORNÉ ZATÍŽENÍ UDL

roznos rovnorných spojitých zatížení pod úhlem 45° stupňů na spodní líc desky



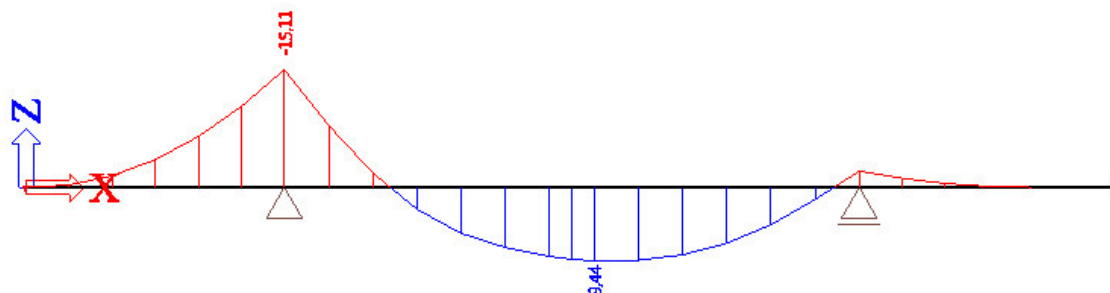
rovnoměrná spojitá zatížení

$$q_{UDL} = \alpha_q \cdot q_k \cdot b / b_r$$

$$q_{UDL1} = 1,0 \cdot 9 \cdot 2,75 / 3,733 = 6,63 \text{ kN/m}$$

$$q_{UDL2} = 2,4 \cdot 2,5 \cdot 2,75 / 3,796 = 4,35 \text{ kN/m}$$

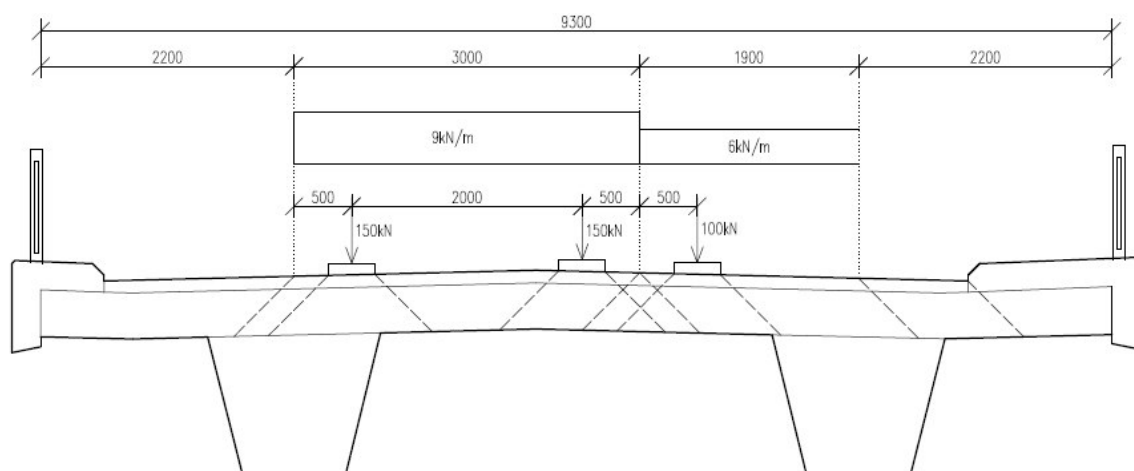
$$q_{UDL3} = 1,2 \cdot 2,5 \cdot 2 / 2,983 = 2,01 \text{ kN/m}$$



$$M_{UDL, \text{PODPORA}} = -15,11 \text{ kN}$$

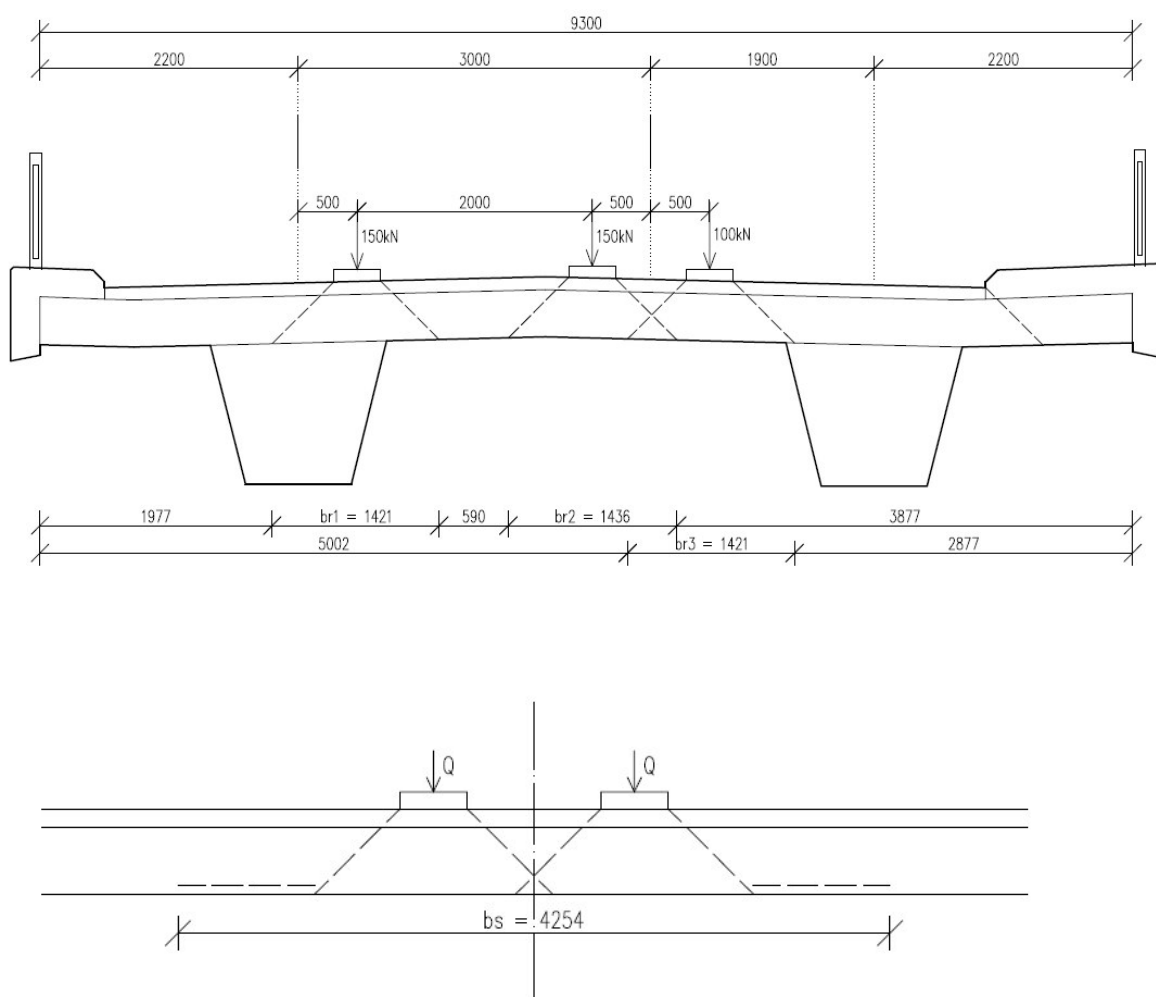
12.3 MODEL ZATÍŽENÍ LM1 – PRO MAXIMÁLNÍ OHYBOVÝ MOMENT V POLI

rozmístění pohyblivého zatížení pro maximální ohybové momenty v poli



12.3.1 DVOUNÁPRAVA TS

roznos soustředných zatížení pod úhlem 45° stupňů na spodní líc desky



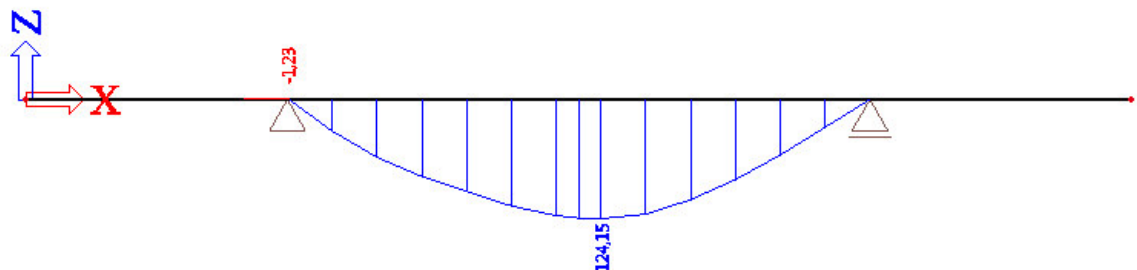
rovnorná spojitá zatížení

$$q = \frac{2 \cdot \frac{Q}{2} \cdot b}{b_s \cdot b_r}$$

$$q_1 = \frac{2 \cdot 150 \cdot 1,0}{4,254 \cdot 1,421} = 49,63 \text{ kN/m}$$

$$q_2 = \frac{2 \cdot 150 \cdot 1,0}{4,254 \cdot 1,436} = 49,11 \text{ kN/m}$$

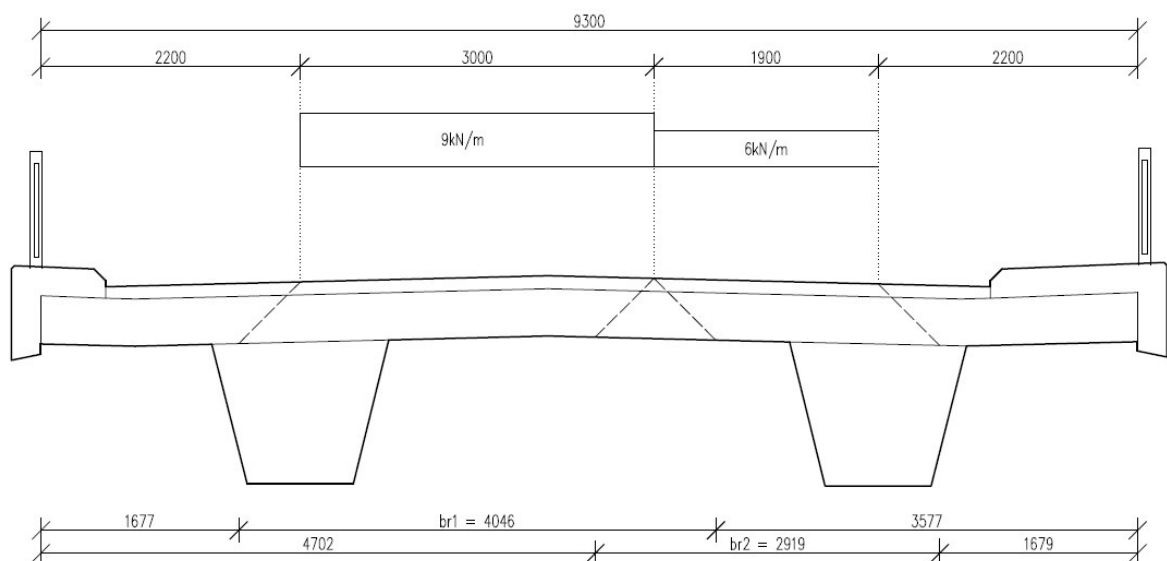
$$q_3 = \frac{2 \cdot 100 \cdot 1,0}{4,254 \cdot 1,421} = 33,09 \text{ kN/m}$$



$$M_{TS,POLE} = 124,15 \text{ kNm}$$

12.3.2 ROVNORNÉ ZATÍŽENÍ UDL

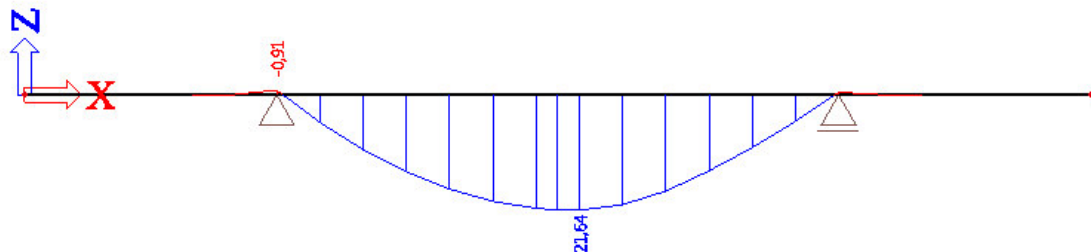
roznos rovnorných spojitých zatížení pod úhlem 45° stupňů na spodní líc desky



rovnorná spojitá zatížení

$$q_{UDL1} = 1,0 \cdot 9 \cdot 3 / 4,046 = 6,67 \text{ kN/m}$$

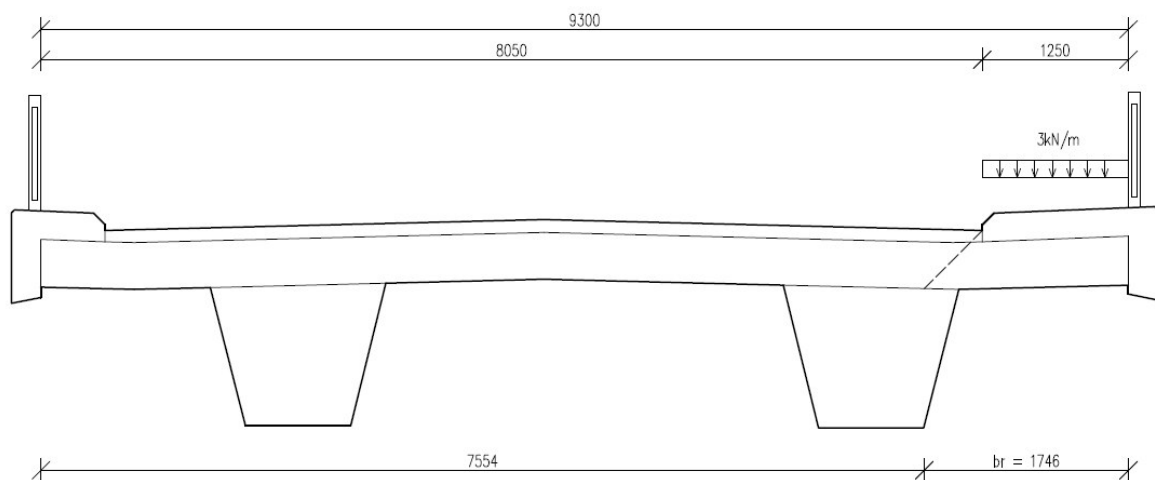
$$q_{UDL2} = 2,4 \cdot 2,5 \cdot 1,9 / 2,919 = 3,91 \text{ kN/m}$$



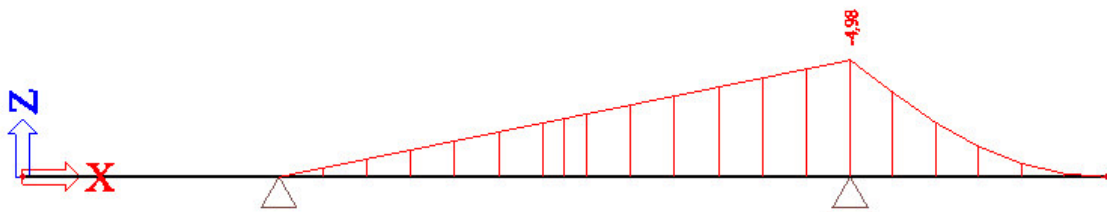
$$M_{UDL,POLE} = 21,64 \text{ kN}$$

12.4 ZATÍŽENÍ CHODCI

roznos rovnorných spojitých zatížení pod úhlem 45° stupňů na spodní líc desky



$$q_{CH} = 3 \cdot 1,25 / 1,746 = 2,15 \text{ kN/m}$$



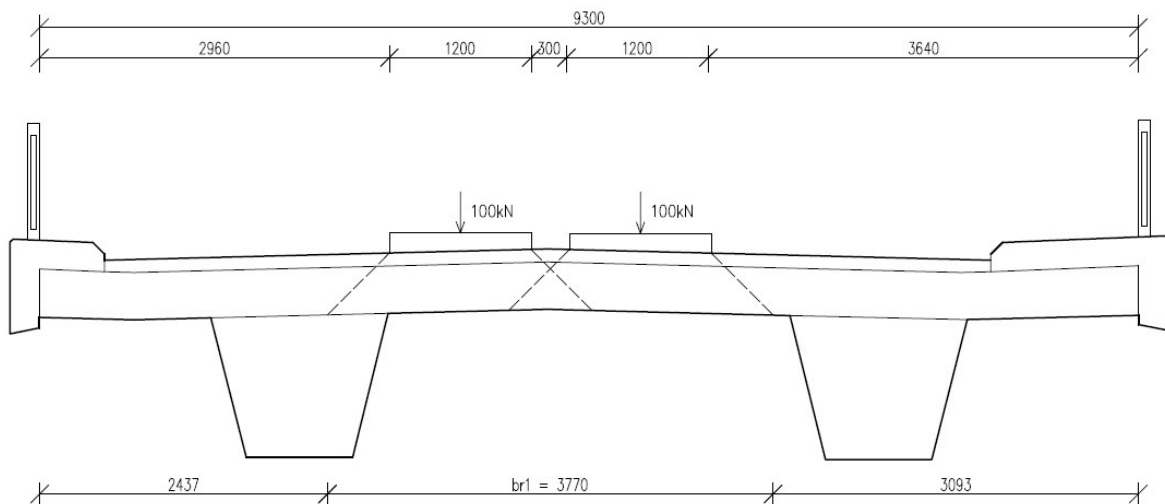
$$M_{CH,PODPORA} = 0 \text{ kNm}$$

$$M_{CH, POLE} = -2,49 \text{ kNm}$$

12.5 MODEL ZATÍŽENÍ LM3

pohyb vozidla v ideální stopě

roznos soustředných zatížení pod úhlem 45° stupňů na spodní líc desky

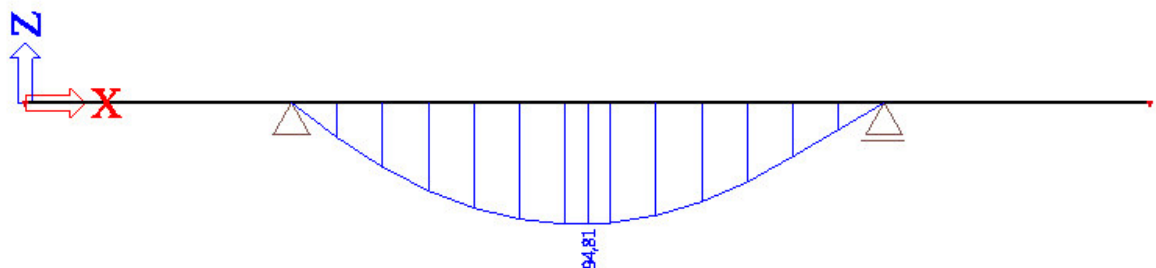


$$b_s = 14,404 \text{ m}$$

rovnorná spojitá zatížení

$$q = \frac{9 \cdot Q \cdot b}{b_s \cdot b_r}$$

$$q = \frac{9 \cdot 200 \cdot 1,0}{14,404 \cdot 3,77} = 34,01 \text{ kN/m}$$



$$M_{LM3, PODPORA} = 0 \text{ kNm}$$

$$M_{LM3, POLE} = 94,81 \text{ kNm}$$

12.6 KOMBINACE ÚČINKŮ ZATÍŽENÍ

pro mezní stav únosnosti

uvažuji nejméně příznivou hodnotu ze vztahů 6.10.a a 6.10.b pro soustavy zatížení gr1a a LM3

$$6.10.a \quad \gamma_G \cdot G_k + \gamma_Q \cdot \psi_0 \cdot Q_k$$

$$6.10.b \quad \xi \cdot \gamma_G \cdot G_k + \gamma_Q \cdot Q_k$$

podpora

gr1a:

$$6.10.a \quad M_{Ed} = 1,35 \cdot (-36,13) + 1,35 \cdot (0,75 \cdot (-81,16) + 0,4 \cdot (-15,11) + 0,4 \cdot 0) \\ M_{Ed} = -139,11 \text{ kNm}$$

$$6.10.b \quad M_{Ed} = 0,85 \cdot 1,35 \cdot (-36,13) + 1,35 \cdot (-81,16 - 15,11 - 0) \\ M_{Ed} = -171,42 \text{ kNm}$$

LM3:

$$6.10.a \quad M_{Ed} = 1,35 \cdot (-36,13) + 1,35 \cdot 0 \cdot 0 \\ M_{Ed} = -48,78 \text{ kNm}$$

$$6.10.b \quad M_{Ed} = 0,85 \cdot 1,35 \cdot (-36,13) + 1,35 \cdot 0 \\ M_{Ed} = -41,46 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed, \max, \text{PODPORA}} = -171,42 \text{ kNm}$$

pole

gr1a:

$$6.10.a \quad M_{Ed} = 1,35 \cdot 8,68 + 1,35 \cdot (0,75 \cdot 124,15 + 0,4 \cdot 21,64 + 0,4 \cdot (-2,49)) \\ M_{Ed} = 147,76 \text{ kNm}$$

$$6.10.b \quad M_{Ed} = 0,85 \cdot 1,35 \cdot 8,68 + 1,35 \cdot (124,15 + 21,64 - 2,49) \\ M_{Ed} = 203,42 \text{ kNm}$$

LM3:

$$6.10.a \quad M_{Ed} = 1,35 \cdot 8,68 + 1,35 \cdot 0 \cdot 94,81$$

$$M_{Ed} = 11,72 \text{ kNm}$$

6.10.b $M_{Ed} = 0,85 \cdot 1,35 \cdot 8,68 + 1,35 \cdot 94,81$

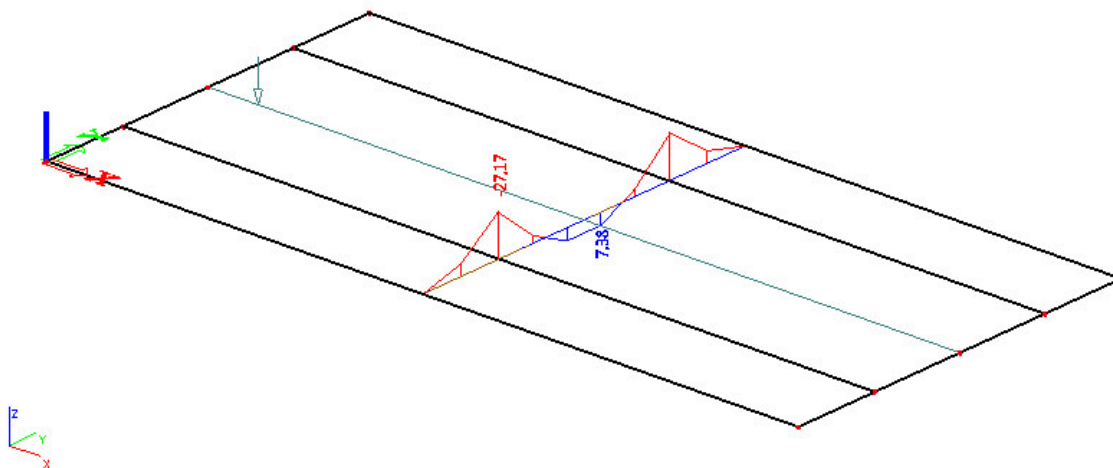
$$M_{Ed} = 137096 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed, \max, POLE} = 203,42 \text{ kNm}$$

13 PŘÍČNÝ SMĚR – OHYB – SCIA ENGINEER

zatížení nad levou podporou a uprostřed rozpětí v $x = 9,5\text{m}$

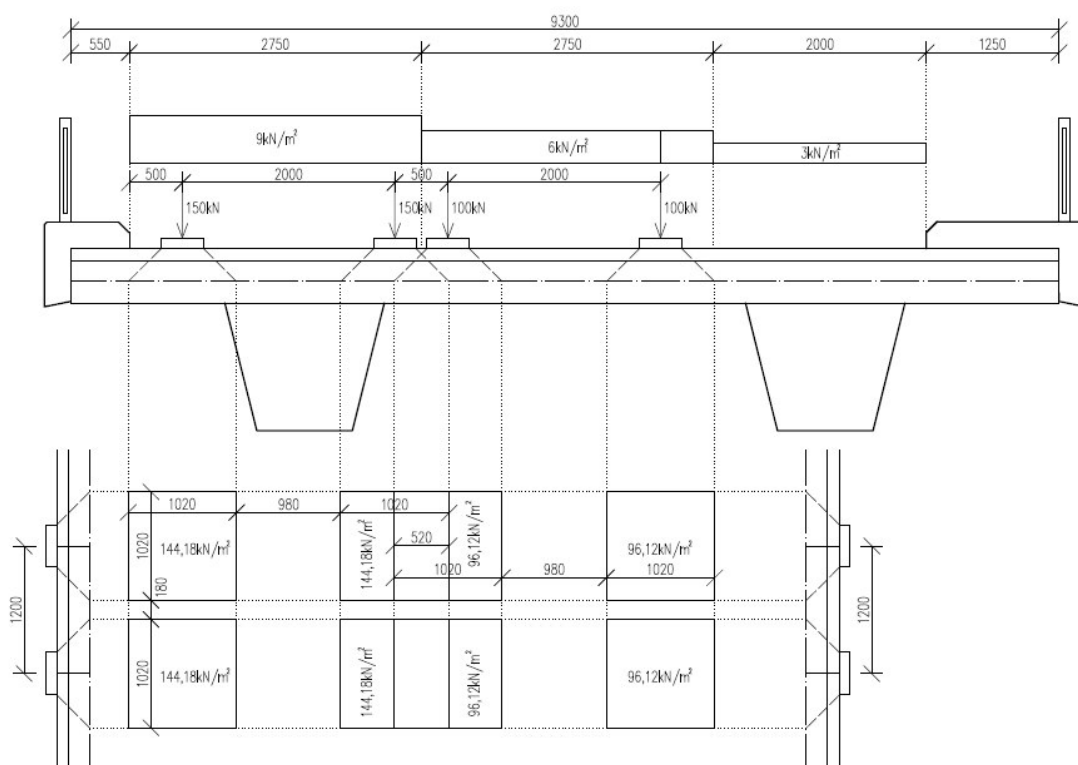
13.1 ZATÍŽENÍ STÁLÉ



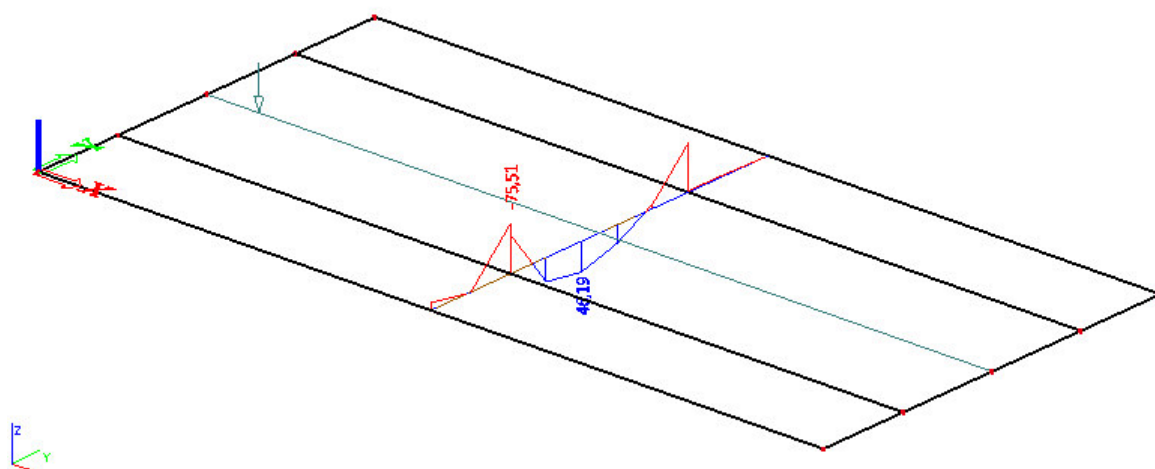
$$M_{Gk,PODPORA} = -27,17\text{kN}$$

$$M_{Gk,POLE} = 7,38\text{kN}$$

13.2 MODEL ZATÍŽENÍ LM1 – PRO MAXIMÁLNÍ OHYBOVÝ MOMENT NAD PODPOROU

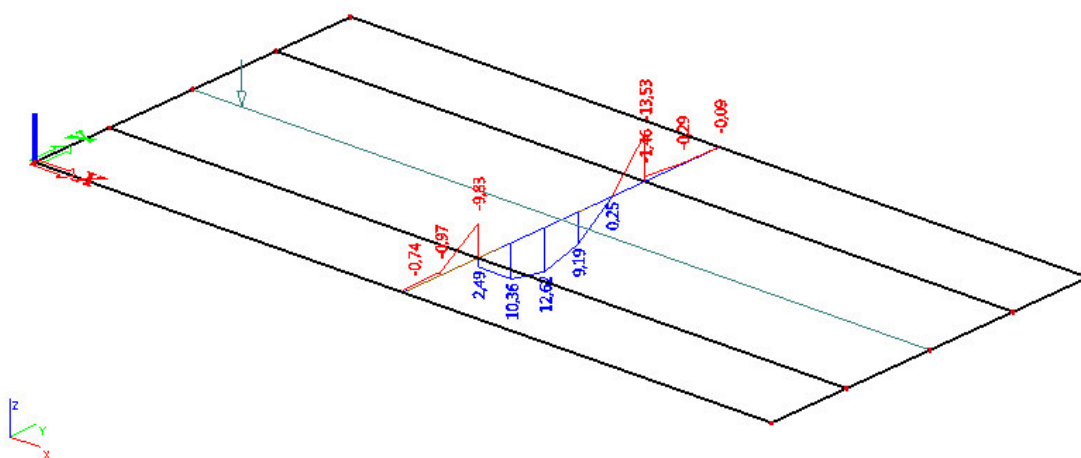


13.2.1 DVOUNÁPRAVA TS



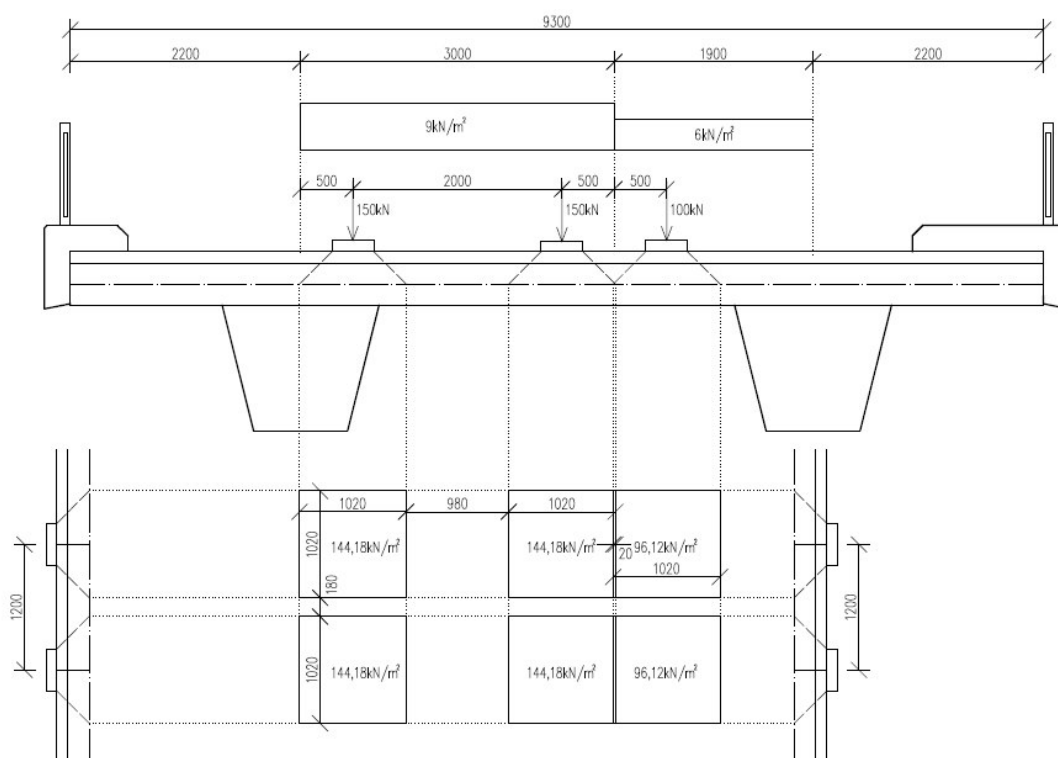
$$M_{TS, \text{PODPORA}} = -75,51 \text{ kN}$$

13.2.2 ROVNOMĚRNÉ ZATÍŽENÍ UDL

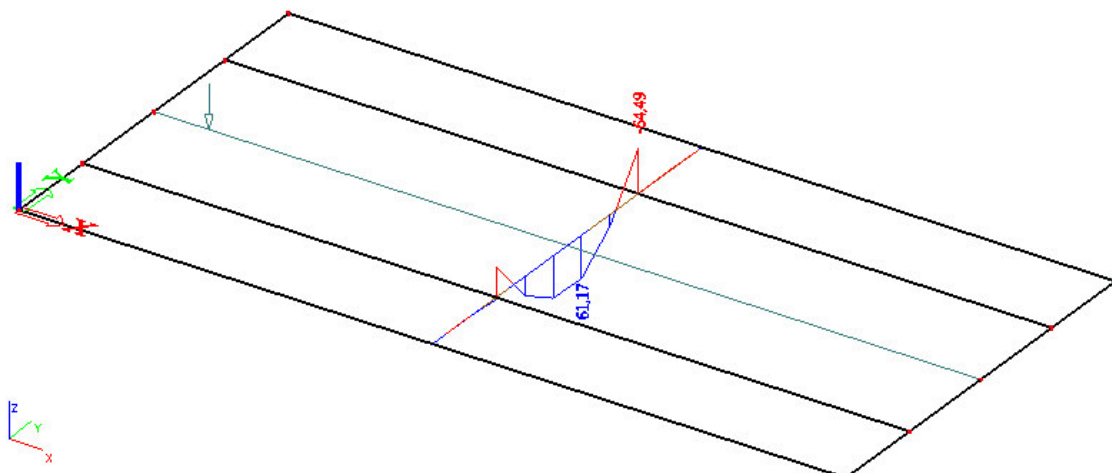


$$M_{UDL,PODPORA} = -9,83 \text{ kN}$$

13.3 MODEL ZATÍŽENÍ LM1 – PRO MAXIMÁLNÍ OHYBOVÝ MOMENT V POLI

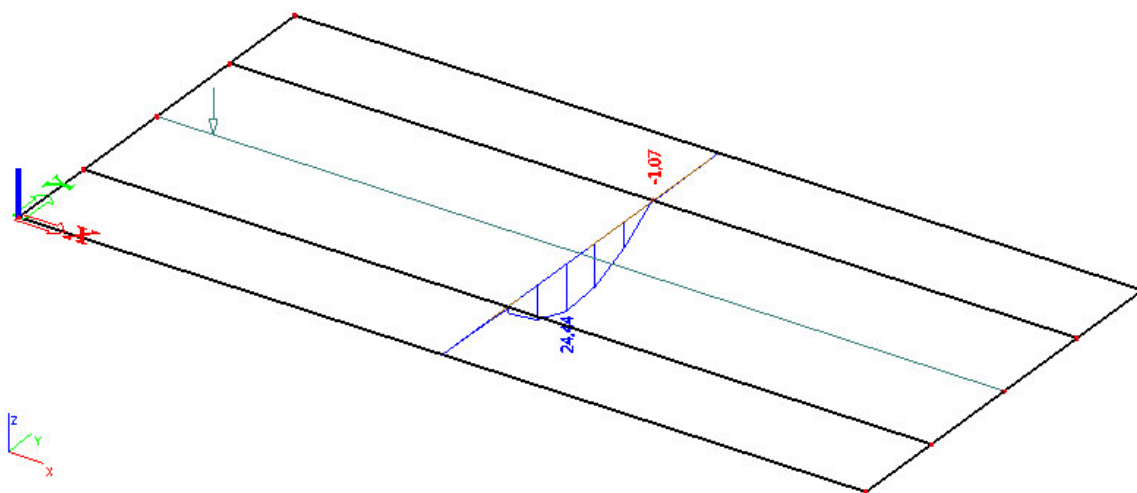


13.3.1 DVOUNÁPRAVA TS



$$M_{TS} = 61,17 \text{ kNm}$$

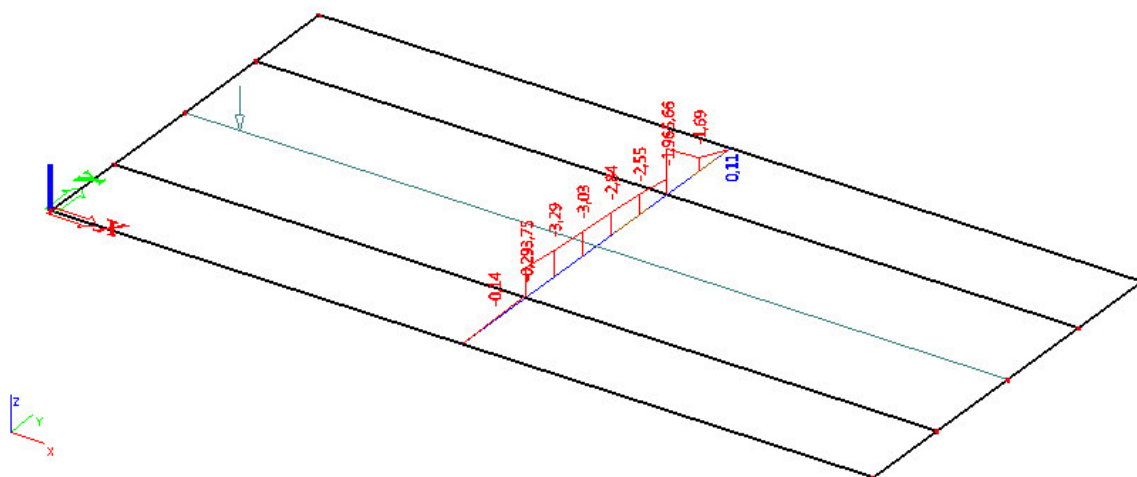
13.3.2 ROVNOMĚRNÉ ZATÍŽENÍ UDL



$$M_{UDL} = 24,44 \text{ kNm}$$

13.4 ZATÍŽENÍ CHODCI

umístění zatížení viz. 7.3.



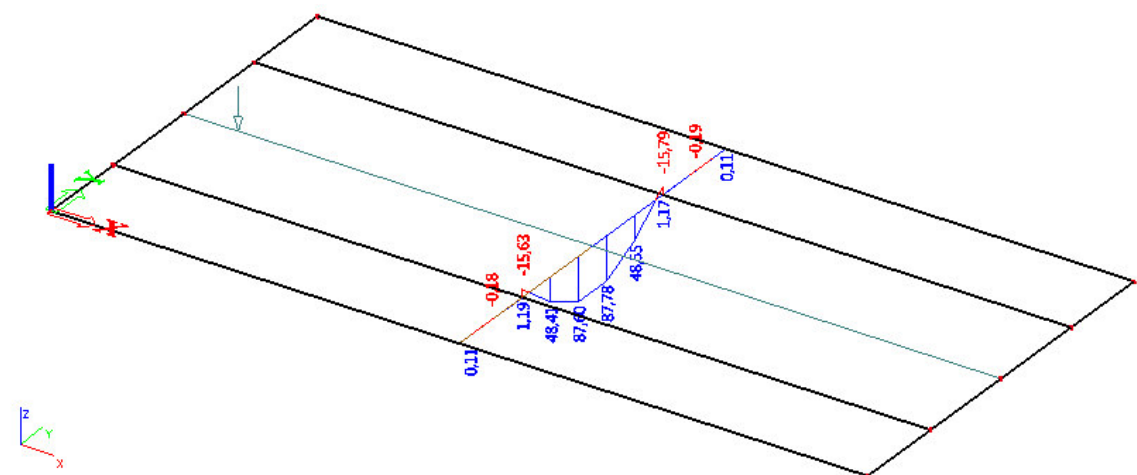
$$M_{CH,PODORA} = -3,75 \text{ kNm}$$

$$M_{CH,POLE} = -2,94 \text{ kNm}$$

13.5 MODEL ZATÍŽENÍ LM3

pohyb vozidla v ideální stopě

umístění zatížení viz 7.4.



$$M_{LM3,PODPORA} = -15,63 \text{ kNm}$$

$$M_{LM3,POLE} = 87,78 \text{ kNm}$$

14 NÁVRH PŘÍČNÉ OHYBOVÉ VÝZTUŽE A POSOUZENÍ NA OHYB

pro kombinaci účinků zatížení určené ručním výpočtem

14.1 NAD PODPOROU

$$M_{Ed} = -171,42 \text{ kNm}$$

$$c = 55 \text{ mm}$$

$$d_1 = c + \emptyset/2 = 55 + 8 = 63 \text{ mm} = 0,063 \text{ m}$$

$$d = h - d_1 = 400 - 63 = 337 \text{ mm} = 0,337 \text{ m}$$

$$A_{s,req} = b \cdot d \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}}}\right)$$

$$A_{s,req} = 1 \cdot 0,337 \cdot \frac{21 \cdot 10^6}{434,783 \cdot 10^6} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 171,42 \cdot 10^3}{1 \cdot 0,337^2 \cdot 21 \cdot 10^6}}\right)$$

$$A_{s,req} = 12,15 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

návrh: Ø16 á 140mm

$$A_s = 14,36 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

poloha neutrálné osy ze silové rovnováhy sil: $0 = F_s - F_c$

$$x = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{b \cdot \lambda \cdot f_{cd}} = \frac{14,36 \cdot 10^{-4} \cdot 434,783 \cdot 10^6}{1 \cdot 0,8 \cdot 21 \cdot 10^6} = 0,0371 \text{ m}$$

kontrola přetvoření výztuže

$$\varepsilon_s = \frac{\varepsilon_{cu3}}{x} \cdot (d - x) = \frac{0,0035}{0,0371} \cdot (0,337 - 0,0371) = 0,0028 > \varepsilon_{yd} = 0,0022$$

$$\sigma_s = f_{yd}$$

rameno vnitřních sil

$$z_c = d - 0,5 \cdot \lambda \cdot x = 0,337 - 0,5 \cdot 0,8 \cdot 0,0371 = 0,3222 \text{ m}$$

kontrola únosnosti průřezu – moment na mezi únosnosti

$$M_{Rd} = A_s \cdot f_{yd} \cdot z_c = 14,36 \cdot 10^{-4} \cdot 434,783 \cdot 10^6 \cdot 0,3222 = 201,17 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd} = 201,7 \text{ kNm} > M_{Ed} = 171,42 \text{ kNm}$$

VYHOVÍ

kontrola míry vyztužení

$$A_{s,min} = 0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b_t \cdot d = 0,26 \cdot \frac{3,2}{500} \cdot 1 \cdot 0,337 = 5,60 \cdot 10^{-4} m^2$$

$$A_{s,min} = 0,013 \cdot b_t \cdot d = 0,0013 \cdot 1 \cdot 0,337 = 4,39 \cdot 10^{-4} m^2$$

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot b_t \cdot x = 0,04 \cdot 1 \cdot 0,0371 = 14,84 \cdot 10^{-4} m^2$$

$$A_{s,min} = 5,60 \cdot 10^{-4} m^2 < A_s = 22,44 \cdot 10^{-4} m^2 < A_{s,max} = 14,84 \cdot 10^{-4} m^2 \quad \text{VYHOVÍ}$$

kontrola vzdálenosti výztuže:

$$s_{min} = \max \{1,2\varnothing; d_g + 5mm; 20mm\} = \max \{1,2 \cdot 16; 32 + 5; 20mm\} = \max \{19,2; 37; 20\}mm = 37mm$$

$$s_{min} = 37mm < s = 140mm < s_{max} = 300mm$$

VYHOVÍ

návrh rozdělovací výztuže:

$$A_{sr} \geq 0,13 \cdot A_s = 0,25 \cdot 14,36 \cdot 10^{-4} m^2 = 3,59 \cdot 10^{-4} m^2$$

návrh: $\varnothing 10$ á $140mm$

$$A_{sr} = 5,61 \cdot 10^{-4} m^2$$

$$s_{min} = 37mm < s_r = 140mm < s_{max} = 300mm$$

VYHOVÍ

14.2 V POLI

$$M_{Ed} = 203,42 kNm$$

$$c = 55mm$$

$$d_1 = c + \varnothing/2 = 55 + 9 = 64mm = 0,064m$$

$$d = h - d_1 = 400 - 64 = 336mm = 0,336m$$

$$A_{s,req} = b \cdot d \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}}}\right)$$

$$A_{s,req} = 1 \cdot 0,336 \cdot \frac{21 \cdot 10^6}{434,783 \cdot 10^6} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 203,42 \cdot 10^3}{1 \cdot 0,336^2 \cdot 21 \cdot 10^6}}\right)$$

$$A_{s,req} = 14,53 \cdot 10^{-4} m^2$$

návrh: $\varnothing 18$ á $140mm$

$$A_s = 18,18 \cdot 10^{-4} \text{m}^2$$

poloha neutrálné osy ze silové rovnováhy sil: $0 = F_s - F_c$

$$x = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{b \cdot \lambda \cdot f_{cd}} = \frac{18,18 \cdot 10^{-4} \cdot 434,783 \cdot 10^6}{1 \cdot 0,8 \cdot 21 \cdot 10^6} = 0,0470 \text{m}$$

kontrola přetvoření výztuže

$$\varepsilon_s = \frac{\varepsilon_{cu3}}{x} \cdot (d - x) = \frac{0,0035}{0,0470} \cdot (0,336 - 0,0470) = 0,0215 > \varepsilon_{yd} = 0,0022$$

$$\sigma_s = f_{yd}$$

rameno vnitřních sil

$$z_c = d - 0,5 \cdot \lambda \cdot x = 0,336 - 0,5 \cdot 0,8 \cdot 0,0470 = 0,3172 \text{m}$$

kontrola únosnosti průřezu – moment na mezi únosnosti

$$M_{Rd} = A_s \cdot f_{yd} \cdot z_c = 18,18 \cdot 10^{-4} \cdot 434,783 \cdot 10^6 \cdot 0,3172 = 250,73 \text{kNm}$$

$$M_{Rd} = 250,73 \text{kNm} > M_{Ed} = 203,42 \text{kNm}$$

VYHOVÍ

kontrola míry vyztužení

$$A_{s,min} = 0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b_t \cdot d = 0,26 \cdot \frac{3,2}{500} \cdot 1 \cdot 0,336 = 5,06 \cdot 10^{-4} \text{m}^2$$

$$A_{s,min} = 0,013 \cdot b_t \cdot d = 0,0013 \cdot 1 \cdot 0,336 = 4,37 \cdot 10^{-4} \text{m}^2$$

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot b_t \cdot x = 0,04 \cdot 1 \cdot 0,0470 = 18,80 \cdot 10^{-4} \text{m}^2$$

$$A_{s,min} = 5,06 \cdot 10^{-4} \text{m}^2 < A_s = 18,18 \cdot 10^{-4} \text{m}^2 < A_{s,max} = 18,80 \cdot 10^{-4} \text{m}^2 \quad \text{VYHOVÍ}$$

kontrola vzdálenosti výztuže:

$$s_{min} = \max \{1,2\varnothing; d_g + 5\text{mm}; 20\text{mm}\} = \max \{1,2 \cdot 18; 32 + 5; 20\text{mm}\} = \max \{21,6; 37; 20\}\text{mm} = 37\text{mm}$$

$$s_{min} = 37\text{mm} < s = 140\text{mm} < s_{max} = 300\text{mm}$$

VYHOVÍ

návrh rozdělovací výztuže:

$$A_{sr} \geq 0,13 \cdot A_s = 0,13 \cdot 18,18 \cdot 10^{-4} \text{m}^2 = 2,36 \cdot 10^{-4} \text{m}^2$$

návrh: $\varnothing 8 \text{ á } 140\text{mm}$

$$A_{sr} = 3,59 \cdot 10^{-4} \text{m}^2$$

$$s_{min} = 37\text{mm} < s_r = 140\text{mm} < s_{max} = 300\text{mm}$$

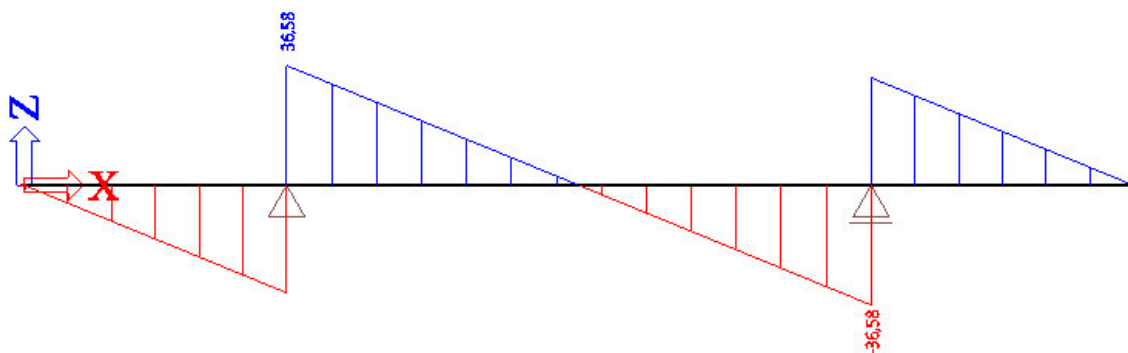
VYHOVÍ

15 PŘÍČNÝ SMĚR – SMYK – RUČNÍ VÝPOČET

zatížení nad levou podporou

15.1 ZATÍŽENÍ STÁLÉ

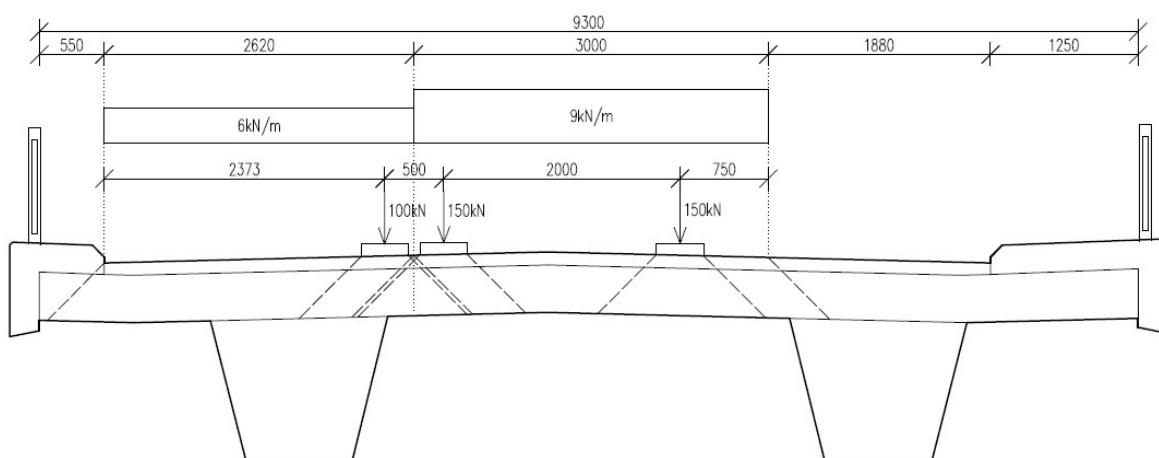
$$g_k = 14,93 \text{ kN/m}$$

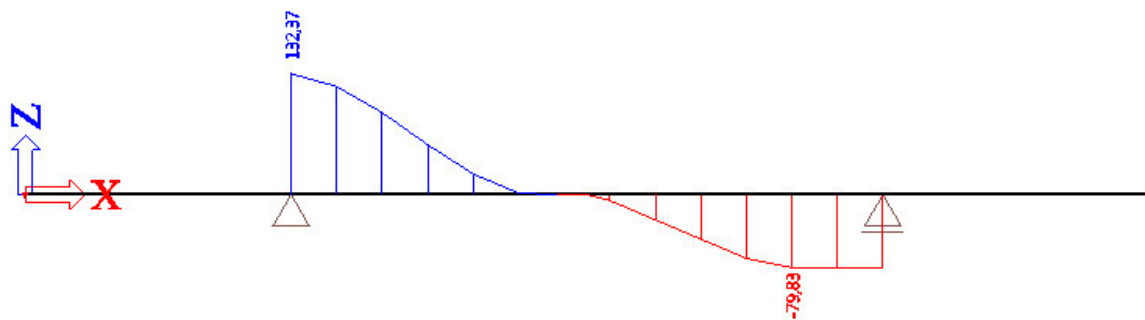


$$V_{Gk} = 36,58 \text{ kN}$$

15.2 MODEL ZATÍŽENÍ LM1

rozmístění pohyblivého zatížení pro maximální ohybové momenty nad podporou

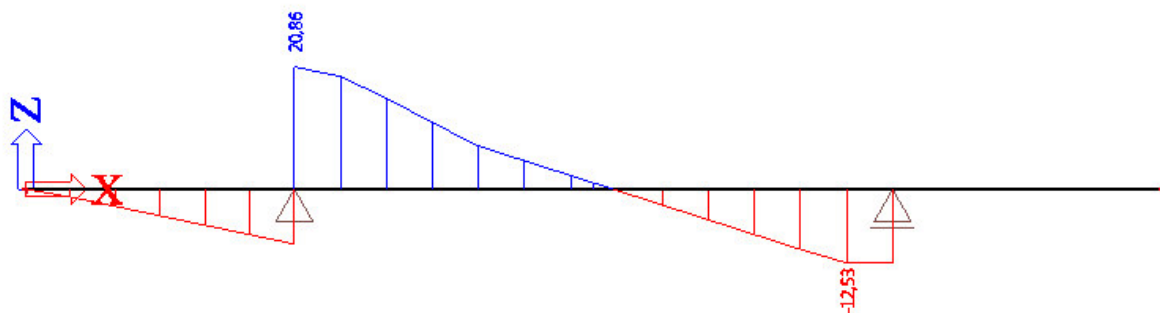
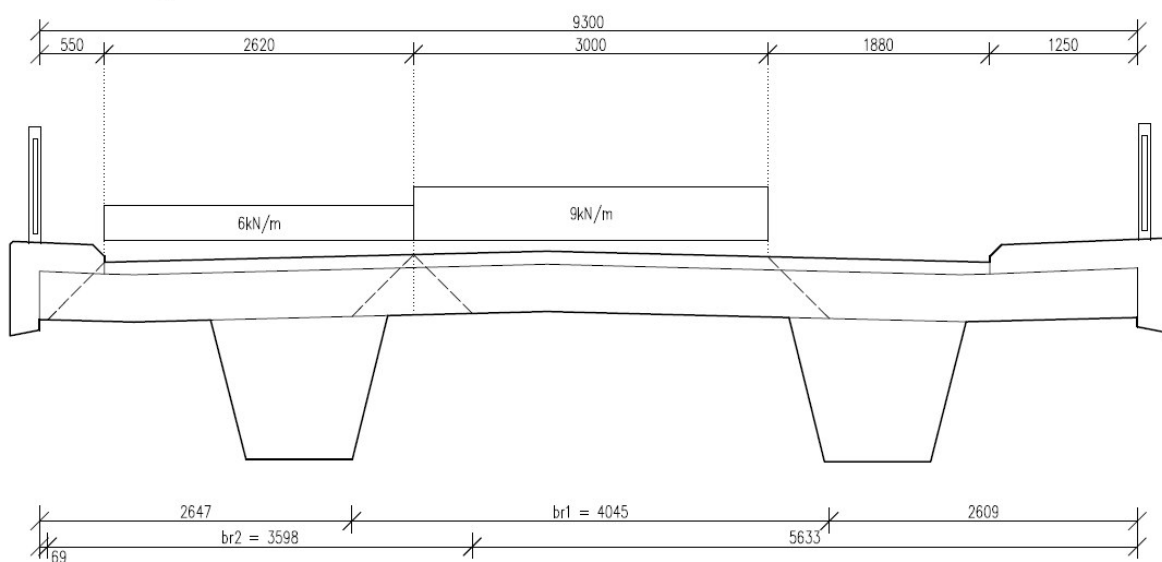




$$V_{TS} = 132,37 \text{ kN}$$

15.2.2 ROVNOMĚRNÉ ZATÍŽENÍ UDL

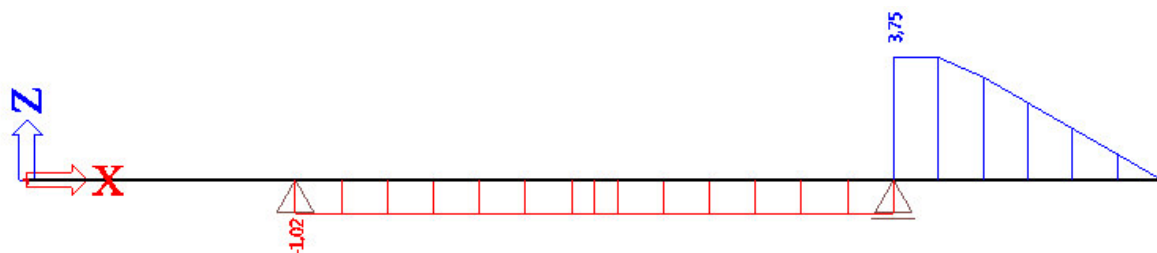
roznos rovnoměrných spojitých zatížení pod úhlem 45° na spodní líc desky



$$V_{UDL} = 20,86 \text{ kN}$$

15.3 ZATÍŽENÍ CHODCI

umístění zatížení viz. 7.3.



$$V_{CH} = -1,02 \text{ kN}$$

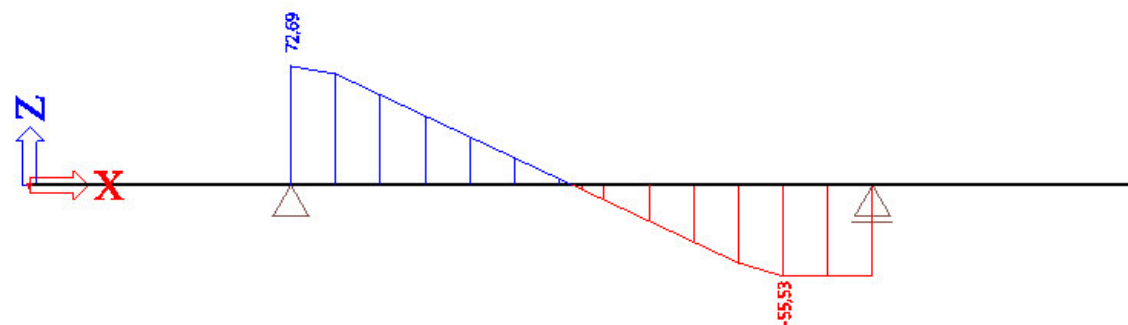
15.4 MODEL ZATÍŽENÍ LM3

pohyb vozidla v ideální stopě

umístění a roznos zatížení viz 12.5.

$$x = 2,45 \text{ m}$$

$$b_s = 14,404$$



$$V_{LM3} = 72,69 \text{ kN}$$

15.5 KOMBINACE ÚČINKŮ ZATÍŽENÍ

pro mezní stav únosnosti

uvažují nejméně příznivou hodnotu ze vztahů 6.10.a a 6.10.b pro soustavy zatížení gr1a a LM3

$$6.10.a \quad \gamma_G \cdot G_k + \gamma_Q \cdot \psi_0 \cdot Q_k$$

$$6.10.b \quad \xi \cdot \gamma_G \cdot G_k + \gamma_Q \cdot Q_k$$

gr1a:

$$6.10.a \quad V_{Ed} = 1,35 \cdot 36,58 + 1,35 \cdot (0,75 \cdot 132,37 + 0,4 \cdot 20,86 + 0,4 \cdot (-1,02)) \\ V_{Ed} = 194,12 \text{ kN}$$

$$6.10.b \quad V_{Ed} = 0,85 \cdot 1,35 \cdot 36,58 + 1,35 \cdot (132,37 + 20,86 - 1,02) \\ V_{Ed} = 247,45 \text{ kN}$$

LM3:

$$6.10.a \quad V_{Ed} = 1,35 \cdot 36,58 + 1,35 \cdot 0 \cdot 72,69 \\ V_{Ed} = 49,38 \text{ kN}$$

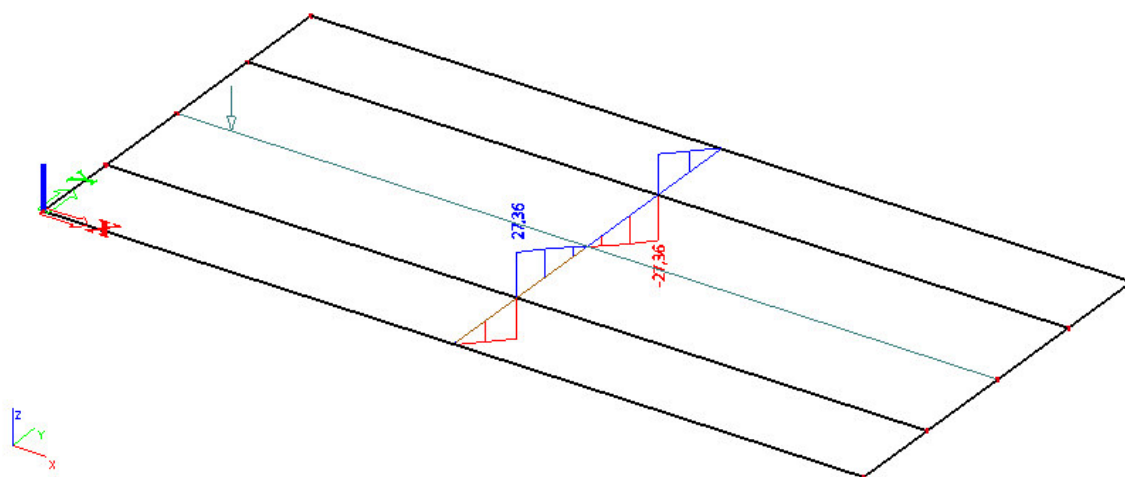
$$6.10.b \quad V_{Ed} = 0,85 \cdot 1,35 \cdot 36,58 + 1,35 \cdot 72,69 \\ V_{Ed} = 140,10 \text{ kN}$$

$$V_{Ed, \max} = 247,45 \text{ kN}$$

16 PŘÍČNÝ SMĚR – SMYK – SCIA ENGINEER

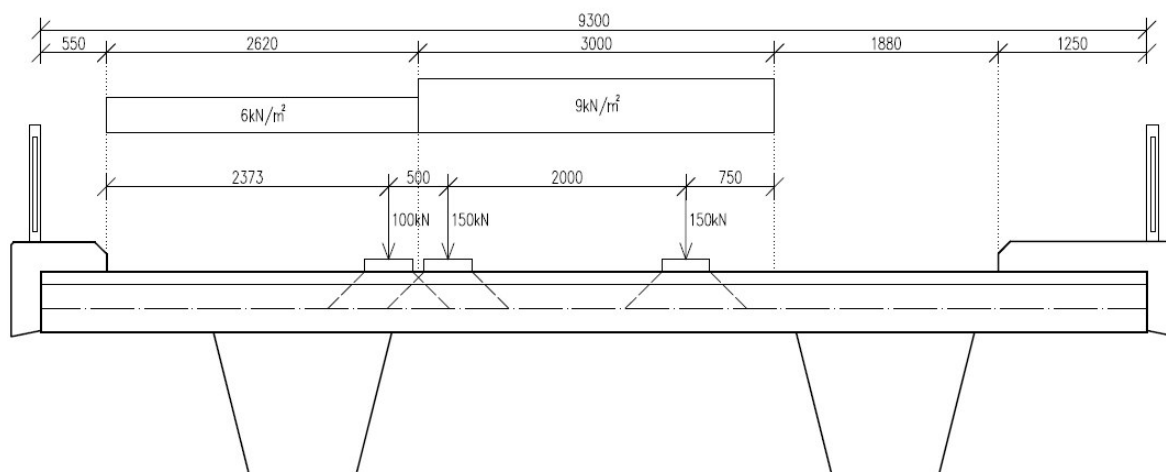
zatížení nad levou podporou a uprostřed rozpětí v $x = 9,5\text{m}$

16.1 STÁLÉ ZATÍŽENÍ

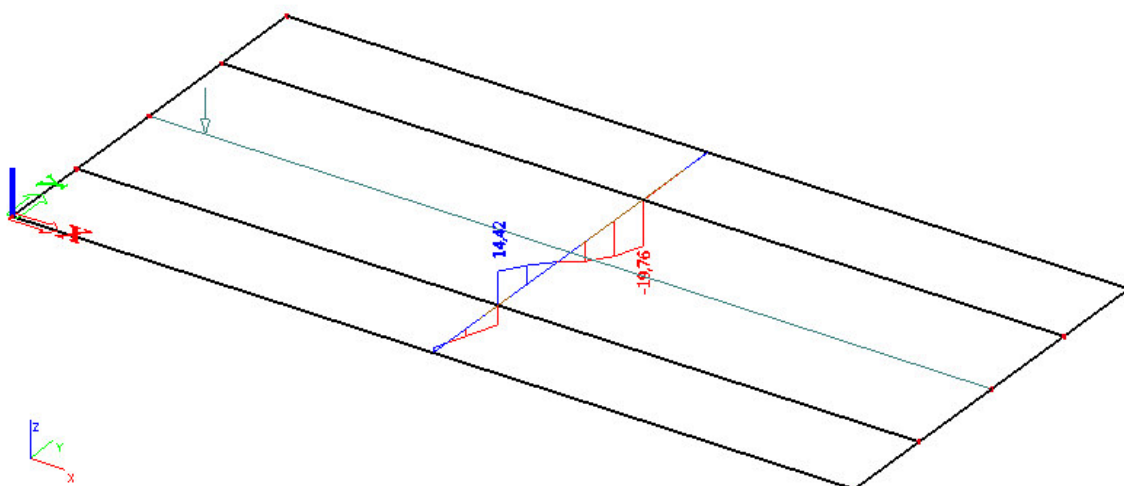
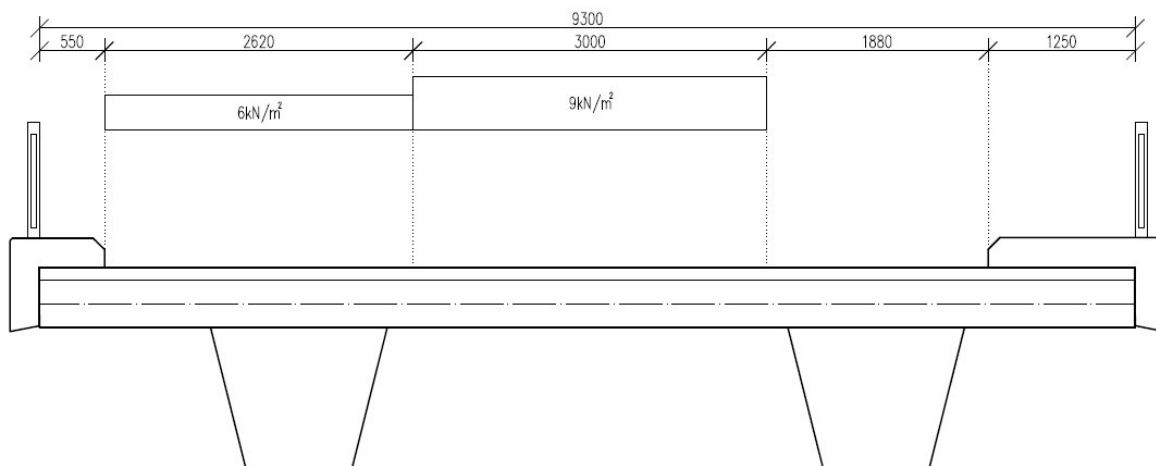


$$V_{Gk} = 27,36\text{kN}$$

16.2 MODEL ZATÍŽENÍ LM1



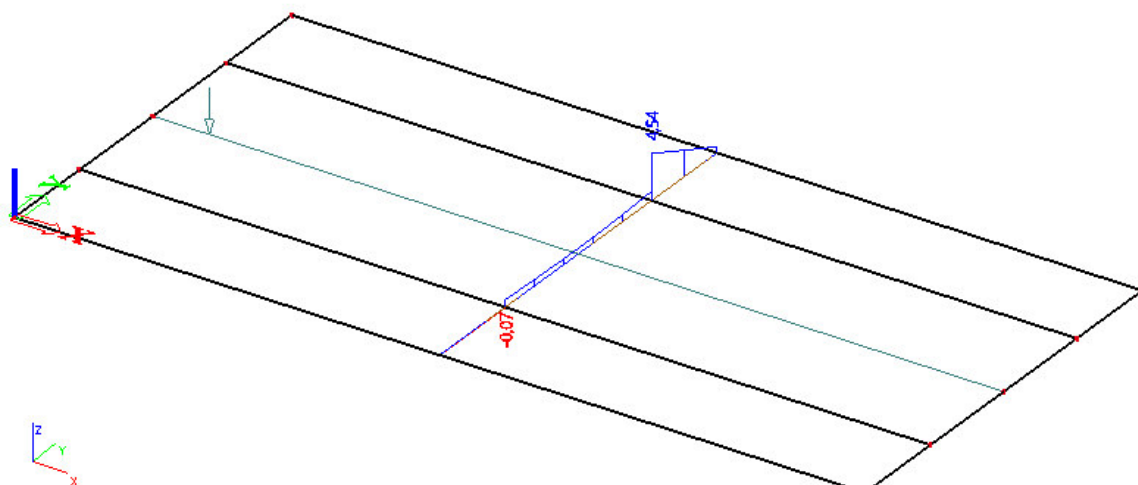
16.3 ROVNOMĚRNÉ ZATÍŽENÍ UDL



$$V_{UDL} = 14,42 \text{ kN}$$

16.4 ZATÍŽENÍ CHODCI

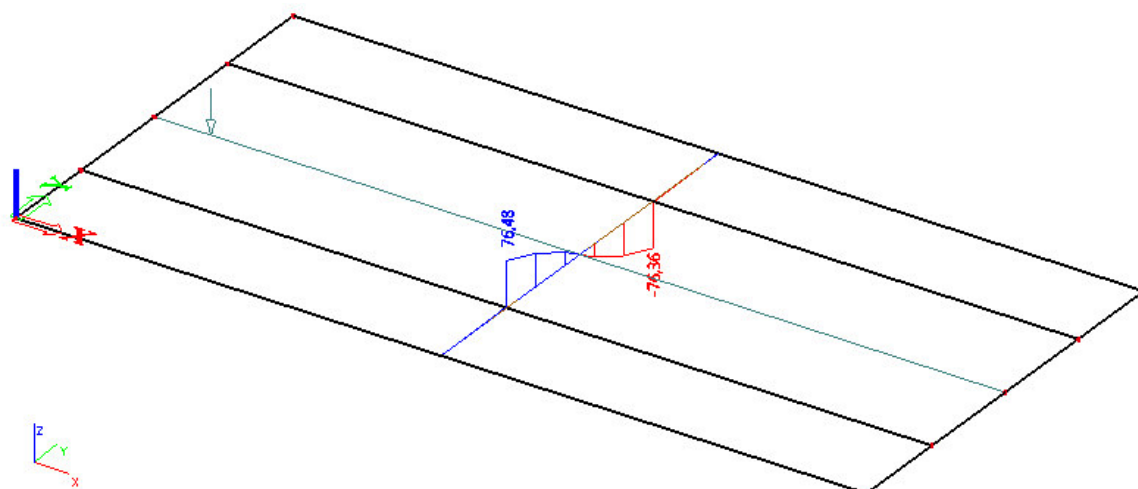
umístění zatížení viz 7.3.



$$V_{CH} = -0,07 \text{ kN}$$

16.5 MODEL ZATÍŽENÍ LM3

umístění zatížení viz 7.3.



$$V_{LM3} = 76,48 \text{ kN}$$

17 NÁVRH PŘÍČNÉ SMYKOVÉ VÝZTUŽE A POSOUZENÍ NA SMYK

pro kombinaci účinků zatížení určené ručním výpočtem

$$V_{Ed} = 247,45 \text{ kN}$$

návrhová smyková únosnost betonu a podélné výztuže

$$V_{Rd,c} = [C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} + k_1 \cdot \sigma_{cp}] \cdot b_w \cdot d \geq (v_{min} + k_1 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$$

$$C_{Rd,c} = 0,18 / \gamma = 0,18 / 1,5 = 0,12$$

$$k_1 \cdot \sigma_{cp} = 0 \text{ bez vlivu normálové síly}$$

součinitel výšky

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{330}} = 1,778$$

$$b_w \cdot d = 1000 \cdot 330 = 330000 \text{ mm}^2$$

$$\rho_l = A_{sl} / (b_w \cdot d) = 0,5 \cdot 0,002121 / (1 \cdot 0,330) = 0,0032 \leq 0,02$$

$$v_{min} = 0,035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} = 0,035 \cdot 1,778^{3/2} \cdot 35^{1/2} = 0,491 \text{ MPa}$$

$$V_{Rd,c} = [0,12 \cdot 1,778 \cdot (100 \cdot 0,0032 \cdot 35)^{1/3} + 0] \cdot 330000 \geq (0,491 + 0) \cdot 330000$$

$$V_{Rd,c} = 152,90 \text{ kN} > 162,03 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 247,45 \text{ kN} > V_{Rd,c} = 152,90 \text{ kN}$$

NUTNO NAVRHNOUT SMYKOVOU VÝZTUŽ

$$\alpha = 90^\circ$$

$$\theta = 35^\circ$$

$$V_{Rd} = \min\{V_{Rd,max}; V_{Rd,s}\}$$

$$V_{Rd,max} = \frac{\alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot v_l \cdot f_{cd}}{\cot\theta + \tan\theta}$$

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot \cot\theta$$

$$\alpha_{cw} = 1,0$$

$$v_l = v = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{35}{250}\right) = 0,516$$

návrh: Ø6 á = 140mm (7,14 stříhů/1m)

$$A_{sw} = 7,14 \cdot 0,28 \cdot 10^{-4} = 2,00 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$f_{ywd} = f_{yd} = 434,783 \text{ MPa}$$

posouzení smykové výztuže

$$V_{Rd,s} = \frac{2,00 \cdot 10^{-4}}{0,14} \cdot (0,9 \cdot 0,33) \cdot 434,783 \cdot 10^6 \cdot \cotg 30^\circ = 319,52 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,max} = \frac{1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,9 \cdot 0,33 \cdot 21 \cdot 10^6}{\cotg 30^\circ + \tg 30^\circ} = 2700,70 \text{ kN}$$

$$V_{Rd} = \min\{319,52; 2700,70\} \text{ kN} = 319,52 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 319,52 \text{ kN} < V_{Rd} = 297,34 \text{ kN}$$

VYHOVÍ

kontrola míry vyztužení

$$\rho_w = \frac{A_{sw}}{s \cdot b_w \cdot \sin \alpha} = \frac{2,00 \cdot 10^{-4}}{0,14 \cdot 1,0 \cdot \sin 90^\circ} = 0,0014$$

$$\rho_{w,min} = \frac{0,08 \cdot \sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} = \frac{0,08 \cdot \sqrt{35}}{500} = 0,0009$$

$$\rho_w = 0,0014 > \rho_{w,min} = 0,0009$$

VYHOVÍ

osová vzdálenost třmínek

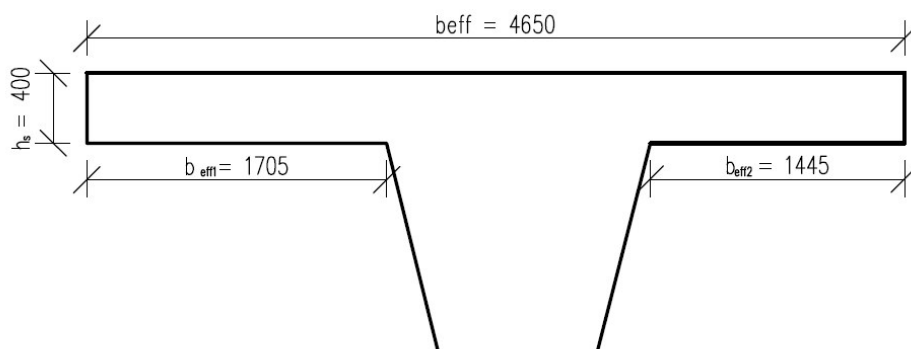
$$s_{max} = 0,75 \cdot d \cdot (1 + \cotg \alpha) = 0,75 \cdot 330 \cdot (1 + \cotg 90^\circ) = 247,5 \text{ mm} \leq 400 \text{ mm}$$

$$s = 140 \text{ mm} < 247,5 \text{ mm}$$

VYHOVÍ

18 PODÉLNÝ SMYK MEZI DESKOU A TRÁMEM

$$V_{Ed}(x = 1\text{m}) = 2147,12\text{kN}$$



$$\Delta F_{cc} = \frac{V_{Ed}}{z} = \frac{2147,12 \cdot 10^3}{0,9 \cdot 1,483} = 1603,45\text{kN}$$

$$\Delta F_{d1} = \Delta F_{cc} \cdot \frac{b_{eff1}}{b_{eff}} = 1603,45 \cdot 10^3 \cdot \frac{1,705}{4,65} = 587,93\text{kN}$$

$$\Delta F_{d2} = \Delta F_{cc} \cdot \frac{b_{eff2}}{b_{eff}} = 1603,45 \cdot 10^3 \cdot \frac{1,445}{4,65} = 498,28\text{kN}$$

$$\Delta F_d = \max\{\Delta F_{d1}; \Delta F_{d2}\} = \{587,93; 498,28\} = 587,93\text{kN}$$

$$v_{Ed} = \frac{\Delta F_d}{h_s \cdot \Delta x} = \frac{587,93 \cdot 10^3}{0,4 \cdot 1} = 1,47\text{MPa}$$

$$f_{ctd} = \frac{\alpha_{ct} \cdot 0,7 \cdot f_{ctm}}{\gamma_c} = \frac{1,0 \cdot 0,7 \cdot 3,2}{1,5} = 1,49\text{MPa}$$

$$0,4f_{ctd} = 0,4 \cdot 1,49 = 0,60\text{MPa}$$

$$v_{Ed} = 1,47\text{MPa} > 0,4f_{ctd} = 0,60\text{MPa}$$

NÁVRH VÝZTUŽE PRO PŘENESENÍ PODÉLNÉHO SMYKU

$$\frac{A_{sf} \cdot f_{yd}}{s_f} \geq \frac{v_{Ed} \cdot h_s}{\cotg\theta_f}$$

$$\frac{A_{sf}}{s_f} \geq \frac{v_{Ed} \cdot h_s}{\cotg\theta_f \cdot f_{yd}}$$

tlačená příruba

$$\text{volím } \theta_f = 26,5^\circ, \cotg\theta_f = 2,0$$

$$\frac{A_{sf}}{s_f} \geq \frac{v_{Ed} \cdot h_s}{\cot \theta_f \cdot f_{yd}} = \frac{1,47 \cdot 0,4}{2 \cdot 434,783} = 6,76 \cdot 10^{-4} \text{m}^2$$

$$v_{Ed} \leq v \cdot f_{cd} \cdot \sin \theta_f \cdot \cos \theta_f$$

$$v_{Ed} = 0,47 \text{MPa} \leq 0,516 \cdot 21 \cdot 10^6 \cdot \sin 26,5^\circ \cdot \cos 26,5^\circ = 4,33 \text{MPa}$$

VYHOVÍ

nad podporou:

horní výztuž

$$A_{s,req} = 12,15 \cdot 10^{-4} \text{m}^2$$

$$A_{s,horní} \geq \max \left\{ \begin{array}{l} 0,25 \cdot \frac{A_{sf}}{s_f} + A_{s,req}; \\ 0,5 \cdot \frac{A_{sf}}{s_f} \end{array} \right\}$$

$$A_{s,horní} \geq \max \left\{ \begin{array}{l} 0,25 \cdot 6,76 \cdot 10^{-4} + 12,15 \cdot 10^{-4}; \\ 0,5 \cdot 6,76 \cdot 10^{-4} \end{array} \right\} = \max \left\{ \begin{array}{l} 13,84 \cdot 10^{-4}; \\ 3,38 \cdot 10^{-4} \end{array} \right\}$$

$$A_{s,horní} \geq 13,84 \cdot 10^{-4} \text{m}^2$$

dolní výztuž

$$A_{s,req} = 0 \text{m}^2$$

$$A_{s,dolní} \geq \max \left\{ \begin{array}{l} 0,25 \cdot \frac{A_{sf}}{s_f} + A_{s,req}; \\ 0,5 \cdot \frac{A_{sf}}{s_f} \end{array} \right\}$$

$$A_{s,dolní} \geq \max \left\{ \begin{array}{l} 0,25 \cdot 6,76 \cdot 10^{-4} + 0; \\ 0,5 \cdot 6,76 \cdot 10^{-4} \end{array} \right\} = \max \left\{ \begin{array}{l} 1,69 \cdot 10^{-4}; \\ 3,38 \cdot 10^{-4} \end{array} \right\}$$

$$A_{s,dolní} \geq 3,38 \cdot 10^{-4} \text{m}^2$$

v poli

horní výztuž

$$A_{s,req} = 0 \text{m}^2$$

$$A_{s,horní} \geq \max \left\{ \begin{array}{l} 0,25 \cdot \frac{A_{sf}}{s_f} + A_{s,req}; \\ 0,5 \cdot \frac{A_{sf}}{s_f} \end{array} \right\}$$

$$A_{s, \text{horní}} \geq \max \left\{ \begin{array}{l} 0,25 \cdot 6,76 \cdot 10^{-4} + 0; \\ 0,5 \cdot 6,76 \cdot 10^{-4} \end{array} \right\} = \max \left\{ \begin{array}{l} 1,69 \cdot 10^{-4}; \\ 3,38 \cdot 10^{-4} \end{array} \right\}$$

$$A_{s, \text{horní}} \geq 3,38 \cdot 10^{-4} \text{m}^2$$

dolní výztuž

$$A_{s, \text{req}} = 14,53 \cdot 10^{-4} \text{m}^2$$

$$A_{s, \text{dolní}} \geq \max \left\{ \begin{array}{l} 0,25 \cdot \frac{A_{sf}}{s_f} + A_{s, \text{req}}; \\ 0,5 \cdot \frac{A_{sf}}{s_f} \end{array} \right\}$$

$$A_{s, \text{dolní}} \geq \max \left\{ \begin{array}{l} 0,25 \cdot 6,76 \cdot 10^{-4} + 14,53 \cdot 10^{-4}; \\ 0,5 \cdot 6,76 \cdot 10^{-4} \end{array} \right\} = \max \left\{ \begin{array}{l} 16,22 \cdot 10^{-4}; \\ 3,38 \cdot 10^{-4} \end{array} \right\}$$

$$A_{s, \text{dolní}} \geq 16,22 \cdot 10^{-4} \text{m}^2$$

návrh:	dolní výztuž	nad podporou	Ø8 á 140mm
			$A_s = 3,59 \cdot 10^{-4} \text{m}^2$
		v poli	Ø18 á 140mm
			$A_s = 18,18 \cdot 10^{-4} \text{m}^2$
	horní výztuž	nad podporou	Ø16 á 140mm
			$A_s = 14,36 \cdot 10^{-4} \text{m}^2$
		v poli	Ø8 á 140mm
			$A_s = 3,59 \cdot 10^{-4} \text{m}^2$

19 MEZNÍ STAV POUŽITELNOSTI

19.1 KOMBINACE ÚČINKŮ ZATÍŽENÍ

pro mezní stav použitelnosti

charakteristická kombinace

$$M_{Ek} = G_k + Q_k + \Sigma \psi_0 \cdot Q_{ki} = 4597,34 + 2634,17 + 1191,75 + 2,26 = 8425,52 \text{ kNm}$$

častá kombinace

$$M_{Ek, \psi 1} = G_k + \psi_1 \cdot Q_k = 4597,34 + 0,75 \cdot 2634,17 + 0,4 \cdot 1191,75 + 0,4 \cdot 2,26 = 7050,57 \text{ kNm}$$

kvazistálá kombinace

$$M_{Ek, \psi 2} = G_k + \psi_2 \cdot Q_k = 4597,34 + 0 \cdot 2634,17 + 0 \cdot 1191,75 + 0 \cdot 2,26 = 4597,34 \text{ kNm}$$

19.2 OMEZENÍ NAPĚTÍ

$$|\sigma_c| \leq 0,6 \cdot f_{ck} \text{ pro charakteristickou kombinaci}$$

$$|\sigma_c| \leq 0,4 \cdot f_{ck} \text{ pro kvazistálou kombinaci}$$

$$|\sigma_s| \leq 0,8 \cdot f_{yk} \text{ pro kvazistálou kombinaci}$$

častá kombinace

$$E_{c,eff,\psi 1} = \frac{(M_{st} + M_{lt}) \cdot E_{cm}}{M_{st} + (1 + \varphi_{(t; t_0)}) \cdot M_{lt}}$$

$$E_{c,eff,\psi 1} = \frac{7050,57 \cdot 10^3 \cdot 34 \cdot 10^9}{(7050,57 \cdot 10^3 - 4597,34 \cdot 10^3) + (1 + 1,6) \cdot 4597,34 \cdot 10^3}$$

$$E_{c,eff,\psi 1} = 16,64 \text{ GPa}$$

$$\alpha_e = \frac{E_s}{E_{c,eff,\psi 1}} = \frac{200 \cdot 10^9}{16,64 \cdot 10^9} = 12,02$$

$$A_c = 3,302 \text{ m}^2 \text{ (odečteno z AutoCADu)}$$

$$I_c = 0,660 \text{ m}^4 \text{ (odečteno z AutoCADu)}$$

$$a_g = 0,525 \text{ m (odečteno z AutoCADu)}$$

$$A_i = A_c + \alpha_e \cdot A_{st} = 3,302 + 12,02 \cdot 176,88 \cdot 10^{-4} = 3,515 \text{m}^2$$

$$a_{gi} = x_i = \frac{A_c \cdot a_g + \alpha_e \cdot A_{st} \cdot d}{A_i}$$

$$a_{gi} = x_i = \frac{3,302 \cdot 0,525 + 12,02 \cdot 176,88 \cdot 10^{-4} \cdot 1,483}{3,515}$$

$$a_{gi} = x_i = 0,583 \text{m}$$

$$I_i = I_c + A_c \cdot (a_{gi} - a_g)^2 + \alpha_e \cdot A_{st} \cdot (d - a_{gi})^2$$

$$I_i = 0,660 + 3,302 \cdot (0,583 - 0,525)^2 + 12,02 \cdot 176,88 \cdot 10^{-4} \cdot (1,483 - 0,583)^2 = 0,843 \text{m}^4$$

$$\sigma_{c1} = \frac{M_{Ek,\psi1}}{I_i} \cdot (h - x_i) = \frac{7050,57 \cdot 10^3}{0,843} \cdot (1,6 - 0,583) = 8,51 \text{MPa}$$

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

$$\sigma_{c1} = 8,51 \text{MPa} > f_{ct,eff} = 3,2 \text{MPa}$$

VZNIK TRHLIN

$$\sigma_{c2} = \frac{M_{Ek,\psi1}}{I_i} \cdot x_i = \frac{7050,57 \cdot 10^3}{0,843} \cdot 0,583 = 4,88 \text{MPa}$$

$$\sigma_{c2} = 4,88 \text{MPa} < f_{ck} = 35 \text{MPa}$$

VYHOVÍ

napětí v betonu - charakteristická kombinace

$$E_{c,eff} = \frac{M_{Ek} \cdot E_{cm}}{(M_{Ek} - M_{Ek,\psi,2}) + (1 + \varphi(t; t_0)) \cdot M_{Ek,\psi,2}}$$

$$E_{c,eff} = \frac{8425,52 \cdot 10^3 \cdot 34 \cdot 10^9}{(8425,52 \cdot 10^3 - 4597,34 \cdot 10^3) + (1 + 1,6) \cdot 4597,34 \cdot 10^3}$$

$$E_{c,eff} = 18,15 \text{GPa}$$

$$\alpha_e = \frac{E_s}{E_{c,eff}} = \frac{200 \cdot 10^9}{18,15 \cdot 10^9} = 11,02$$

$$S_{cc} = b_{eff} \cdot \frac{x_{ir}^2}{2}; \alpha_e \cdot S_{cc} = \alpha_e \cdot A_s \cdot (d - x_{ir})$$

$$x_{ir} = \frac{-\alpha_e \cdot A_s + \sqrt{(\alpha_e \cdot A_s)^2 + 2 \cdot b_{eff} \cdot \alpha_e \cdot A_s \cdot d}}{b_{eff}}$$

$$x_{ir} = \frac{-11,02 \cdot 176,88 \cdot 10^{-4}}{4,65} +$$

$$+ \frac{\sqrt{(11,02 \cdot 176,88 \cdot 10^{-4})^2 + 2 \cdot 4,65 \cdot 11,02 \cdot 176,88 \cdot 10^{-4} \cdot 1,483}}{4,65}$$

$$x_{ir} = 0,313\text{m} < h_s = 0,4\text{m}$$

$$I_{ir} = \frac{1}{3} \cdot b_{eff} \cdot x_{ir}^3 + \alpha_e \cdot A_s \cdot (d - x_{ir})^2$$

$$I_{ir} = \frac{1}{3} \cdot 4,65 \cdot 0,313^3 + 11,02 \cdot 176,88 \cdot 10^{-4} \cdot (1,483 - 0,313)^2$$

$$I_{ir} = 0,314 \text{ m}^4$$

$$\sigma_c = \frac{M_{Ek}}{I_{ir}} \cdot x_{ir} = \frac{8425,52 \cdot 10^3}{0,314} \cdot 0,313 = 8,40\text{MPa}$$

$$0,6 \cdot f_{ck} = 0,6 \cdot 35 = 21\text{MPa}$$

$$\sigma_c = 8,40\text{MPa} < 0,6 \cdot f_{ck} = 21\text{MPa}$$

VYHOVÍ

napětí v betonu - kvazistálá kombinace

$$E_{c,eff,\psi_2} = \frac{E_{cm}}{1 + \varphi} = \frac{34}{1 + 1,6} = 13,07\text{GPa}$$

$$\alpha_e = \frac{E_s}{E_{c,eff,\psi_2}} = \frac{200 \cdot 10^9}{13,07 \cdot 10^9} = 15,29$$

$$x_{ir} = \frac{-\alpha_e \cdot A_s + \sqrt{(\alpha_e \cdot A_s)^2 + 2 \cdot b_{eff} \cdot \alpha_e \cdot A_s \cdot d}}{b_{eff}}$$

$$x_{ir} = \frac{-15,29 \cdot 176,88 \cdot 10^{-4}}{4,65} + \frac{\sqrt{(15,29 \cdot 176,88 \cdot 10^{-4})^2 + 2 \cdot 4,65 \cdot 15,29 \cdot 176,88 \cdot 10^{-4} \cdot 1,483}}{4,65}$$

$$x_{ir} = 0,361\text{m} < h_s = 0,4\text{m}$$

$$I_{ir} = \frac{1}{3} \cdot b_{eff} \cdot x_{ir}^3 + \alpha_e \cdot A_s \cdot (d - x_{ir})^2$$

$$I_{ir} = \frac{1}{3} \cdot 4,65 \cdot 0,361^3 + 15,29 \cdot 176,88 \cdot 10^{-4} \cdot (1,483 - 0,361)^2$$

$$I_{ir} = 0,413\text{m}^4$$

$$\sigma_c = \frac{M_{Ek,\psi_2}}{I_{ir}} \cdot x_{ir} = \frac{4597,34 \cdot 10^3}{0,413} \cdot 0,361 = 4,02\text{MPa}$$

$$0,45 \cdot f_{ck} = 0,45 \cdot 35 = 15,75\text{MPa}$$

$$\sigma_c = 4,02 \text{ MPa} < 0,6 \cdot f_{ck} = 15,75 \text{ MPa}$$

VYHOVÍ

napětí ve výztuži – charakteristická kombinace

$$\sigma_{st} = \alpha_e \cdot \frac{M_{Ek}}{I_{ir}} \cdot (d - x_{ir}) = 11,02 \cdot \frac{8425,52 \cdot 10^3}{0,314} \cdot (1,483 - 0,313) = 345,97 \text{ MPa}$$

$$0,8 \cdot f_{yk} = 0,8 \cdot 500 = 400 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{st} = 345,97 \text{ MPa} < 0,8 \cdot f_{yk} = 400 \text{ MPa}$$

VYHOVÍ

napětí ve výztuži – kvazistálá kombinace

$$\sigma_{st} = \alpha_e \cdot \frac{M_{Ek,\psi^2}}{I_{ir}} \cdot (d - x_{ir}) = 15,29 \cdot \frac{4597,34 \cdot 10^3}{0,413} \cdot (1,483 - 0,361) = 190,97 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{st} = 190,97 \text{ MPa} < 0,8 \cdot f_{yk} = 400 \text{ MPa}$$

VYHOVÍ

19.3 OMEZENÍ TRHLIN

$$w_k \leq w_{k,max} = 0,2 \text{ mm}$$

minimální stupeň vyztužení

$$A_{ct} = 0,357 \text{ m}^2 \text{ (odečteno z AutoCADu)}$$

$$A_i = A_c + \alpha_e \cdot A_{st} = 3,302 + 15,29 \cdot 176,88 \cdot 10^{-4} = 3,572 \text{ m}^2$$

$$x_i = \frac{A_c \cdot a_g + \alpha_e \cdot A_{st} \cdot d}{A_i} = \frac{3,302 \cdot 0,525 + 15,29 \cdot 176,88 \cdot 10^{-4} \cdot 1,483}{3,572}$$

$$x_i = 0,598 \text{ m}$$

$$h_{cr} = h - x_i = 1,6 - 0,598 = 1,002 \text{ m}$$

$$\sigma_s = \sigma_s^* \cdot \frac{f_{ct,eff}}{2,9} \cdot \frac{k_c \cdot h_{cr}}{2 \cdot (h - d)} = 32 \cdot \frac{2,9}{3,2} \cdot \frac{2 \cdot (1,6 - 1,483)}{0,4 \cdot 1,002} = 16,93 \text{ MPa}$$

$$\sigma_s = 160 \text{ MPa}$$

$$A_{s,min} = k_c \cdot k \cdot f_{ct,eff} \cdot A_{ct} / \sigma_s = 0,4 \cdot 0,65 \cdot 3,2 \cdot 10^6 \cdot 0,357 / 160 \cdot 10^3$$

$$A_{s,min} = 18,56 \cdot 10^{-4} \text{m}^2$$

$$A_s = 176,88 \cdot 10^{-4} \text{m}^2 > A_{s,min} = 18,56 \cdot 10^{-4} \text{m}^2$$

VYHOVÍ

efektivní výška

$$h_{c,eff} = \min \left\{ \frac{2,5 \cdot (h - d);}{\frac{h - x_{ir}}{3}} \right\} = \min \left\{ \frac{2,5 \cdot (1,6 - 1,483)}{\frac{1,6 - 0,361}{1,6/2}} \right\} = \min \left\{ \begin{matrix} 0,293 \\ 0,413 \\ 0,8 \end{matrix} \right\} = 0,293 \text{m}$$

efektivní plocha

$$A_{c,eff} = 0,260 \text{m}^2 \text{ (odečteno z AutoCADu)}$$

efektivní stupeň vyztužení

$$\rho_{p,eff} = \frac{A_s}{A_{c,eff}} = \frac{176,88 \cdot 10^{-4}}{0,260} = 0,068$$

maximální vzdálenost trhlin

$$s_{r,max} = 3,4 \cdot c + 0,425 \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot \emptyset_s / \rho_{p,eff} = 3,4 \cdot 0,055 + 0,425 \cdot 0,8 \cdot 0,5 \cdot 0,032 / 0,068 = 0,219 \text{m}$$

rozdíl poměrných deformací v betonu a ve výztuži

$$(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = \frac{1}{E_s} \cdot \left[\sigma_s - k_t \cdot \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}} \cdot (1 - \alpha_e \cdot \rho_{p,eff}) \right]$$

$$(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = \frac{1}{200 \cdot 10^9} \cdot \left[190,97 \cdot 10^6 - 0,4 \cdot \frac{3,2 \cdot 10^6}{0,068} \cdot (1 - 15,29 \cdot 0,068) \right]$$

$$(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = 9,58 \cdot 10^{-4}$$

výsledná šířka trhlin

$$w_k = s_{r,max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = 219 \cdot 9,58 \cdot 10^{-4} = 0,26 \text{mm}$$

$$w_k = 0,20 \text{mm} = w_{k,max} = 0,2 \text{mm}$$

VYHOVÍ

19.4 OMEZENÍ PŘETVOŘENÍ

19.4.1 KRÁTKODOBÉ ZATÍŽENÍ

$$\alpha_e = \frac{E_s}{E_{cm}} = \frac{200 \cdot 10^9}{34 \cdot 10^9} = 5,88$$

$$A_i = A_c + \alpha_e \cdot A_{st} = 3,302 + 6,25 \cdot 176,88 \cdot 10^{-4} = 3,413 \text{m}^2$$

$$x_i = \frac{A_c \cdot a_g + \alpha_e \cdot A_{st} \cdot d}{A_i}$$

$$x_i = \frac{3,302 \cdot 0,525 + 5,88 \cdot 176,88 \cdot 10^{-4} \cdot 1,483}{3,413} = 0,553\text{m}$$

$$I_i = I_c + A_c \cdot (a_{gi} - a_g)^2 + \alpha_e \cdot A_{st} \cdot (d - a_{gi})^2$$

$$I_i = 0,660 + 3,302 \cdot (0,553 - 0,525)^2 + 5,88 \cdot 176,88 \cdot 10^{-4} \cdot (1,483 - 0,553)^2 = 0,753\text{m}^4$$

$$x_{ir} = \frac{-\alpha_e \cdot A_s + \sqrt{(\alpha_e \cdot A_s)^2 + 2 \cdot b_{eff} \cdot \alpha_e \cdot A_s \cdot d}}{b_{eff}}$$

$$x_{ir} = \frac{-5,88 \cdot 176,88 \cdot 10^{-4}}{4,65} + \frac{\sqrt{(5,88 \cdot 176,88 \cdot 10^{-4})^2 + 2 \cdot 4,65 \cdot 5,88 \cdot 176,88 \cdot 10^{-4} \cdot 1,483}}{4,65}$$

$$x_{ir} = 0,236\text{m} < h_s = 0,4\text{m}$$

$$I_{ir} = \frac{1}{3} \cdot b_{eff} \cdot x_{ir}^3 + \alpha_e \cdot A_s \cdot (d - x_{ir})^2$$

$$I_{ir} = \frac{1}{3} \cdot 4,65 \cdot 0,236^3 + 5,88 \cdot 176,88 \cdot 10^{-4} \cdot (1,483 - 0,236)^2 = 0,413 \text{ m}^4$$

$$M_{cr} = f_{ct,eff} \cdot \frac{I_i}{h - x_i} = 3,2 \cdot 10^6 \cdot \frac{0,753}{1,6 - 0,553} = 2301,43\text{kNm}$$

$$\xi = 1 - \beta \cdot \left(\frac{M_{cr}}{M_{Ek,\psi 1}} \right)^2 = 1 - 1 \cdot \left(\frac{2301,43 \cdot 10^3}{7050,57 \cdot 10^3} \right)^2 = 0,893$$

$$\frac{1}{r_I} = \frac{M_{Ek,\psi 1}}{E \cdot I_i} = \frac{7050,57 \cdot 10^3}{34 \cdot 10^9 \cdot 0,753} = 2,754 \cdot 10^{-4}$$

$$\frac{1}{r_{II}} = \frac{M_{Ek,\psi 1}}{E \cdot I_{ir}} = \frac{7050,57 \cdot 10^3}{34 \cdot 10^9 \cdot 0,182} = 1,139 \cdot 10^{-3}$$

$$\frac{1}{r_{st}} = \xi \cdot \frac{1}{r_{II}} + (1 - \xi) \cdot \frac{1}{r_I}$$

$$\frac{1}{r_{st}} = 0,893 \cdot 1,139 \cdot 10^{-3} + (1 - 0,893) \cdot 2,754 \cdot 10^{-4} = 1,047 \cdot 10^{-3}$$

$$\frac{1}{r_{Gk}} = \frac{M_{Gk}}{E \cdot I_{ir}} = \frac{4597,34 \cdot 10^3}{34 \cdot 10^9 \cdot 0,182} = 7,429 \cdot 10^{-4}$$

$$v_{st} = \left(0,098 \cdot \frac{1}{r_{st}} - \frac{5}{48} \cdot \frac{1}{r_{Gk}} \right) \cdot l^2$$

$$v_{st} = (0,098 \cdot 1,047 \cdot 10 - 3 - \frac{5}{48} \cdot 7,429 \cdot 10 - 4) \cdot 19^2$$

$$v_{st} = 9,10 \text{ mm}$$

19.4.2 DLOUHODOBÉ ZATÍŽENÍ

$$E_{c,eff} = \frac{E_{cm}}{1 + \varphi} = \frac{34 \cdot 10^6}{1 + 1,8} = 12,14 \text{ GPa}$$

$$\alpha_e = \frac{E_s}{E_{c,eff}} = \frac{200 \cdot 10^9}{12,14 \cdot 10^9} = 16,47$$

$$A_i = A_c + \alpha_e \cdot A_{st} = 3,302 + 16,47 \cdot 176,88 \cdot 10^{-4} = 3,593 \text{ m}^2$$

$$x_i = \frac{A_c \cdot a_g + \alpha_e \cdot A_{st} \cdot d}{A_i}$$

$$x_i = \frac{3,302 \cdot 0,525 + 16,47 \cdot 176,88 \cdot 10^{-4} \cdot 1,483}{3,593} = 0,603 \text{ m}$$

$$I_i = I_c + A_c \cdot (a_{gi} - a_g)^2 + \alpha_e \cdot A_{st} \cdot (d - a_{gi})^2$$

$$I_i = 0,660 + 3,302 \cdot (0,603 - 0,525)^2 + 16,47 \cdot 176,88 \cdot 10^{-4} \cdot (1,483 - 0,603)^2 = 0,906 \text{ m}^4$$

$$x_{ir} = \frac{-\alpha_e \cdot A_s + \sqrt{(\alpha_e \cdot A_s)^2 + 2 \cdot b_{eff} \cdot \alpha_e \cdot A_s \cdot d}}{b_{eff}}$$

$$x_{ir} = \frac{-16,47 \cdot 176,88 \cdot 10^{-4}}{4,65} +$$

$$+ \frac{\sqrt{(16,47 \cdot 176,88 \cdot 10^{-4})^2 + 2 \cdot 4,65 \cdot 16,47 \cdot 176,88 \cdot 10^{-4} \cdot 1,483}}{4,65}$$

$$x_{ir} = 0,349 \text{ m} < h_s = 0,4 \text{ m}$$

$$I_{ir} = \frac{1}{3} \cdot b_{eff} \cdot x_{ir}^3 + \alpha_e \cdot A_s \cdot (d - x_{ir})^2$$

$$I_{ir} = \frac{1}{3} \cdot 4,65 \cdot 0,349^3 + 16,47 \cdot 176,88 \cdot 10^{-4} \cdot (1,483 - 0,349)^2 = 0,441 \text{ m}^4$$

$$M_{cr} = f_{ct,eff} \cdot \frac{I_i}{h - x_i} = 3,2 \cdot 10^6 \cdot \frac{0,906}{1,6 - 0,603} = 2907,92 \text{ kNm}$$

$$\xi = 1 - \beta \cdot \left(\frac{M_{cr}}{M_{Ek,\psi 1}} \right)^2 = 1 - 0,5 \cdot \left(\frac{2907,92 \cdot 10^3}{7050,57 \cdot 10^3} \right) = 0,915$$

$$\frac{1}{r_I} = \frac{M_{Ek,\psi 1}}{E \cdot I_i} = \frac{7050,57 \cdot 10^3}{34 \cdot 10^9 \cdot 0,906} = 2,289 \cdot 10^{-4}$$

$$\frac{1}{r_{II}} = \frac{M_{Ek,\psi 1}}{E \cdot I_{ir}} = \frac{7050,57 \cdot 10^3}{34 \cdot 10^9 \cdot 0,441} = 4,702 \cdot 10^{-4}$$

$$\frac{1}{r_{lt}} = \xi \cdot \frac{1}{r_{II}} + (1 - \xi) \cdot \frac{1}{r_I}$$

$$\frac{1}{r_{lt}} = 0,915 \cdot 4,702 \cdot 10^{-4} + (1 - 0,915) \cdot 2,289 \cdot 10^{-4} = 4,497 \cdot 10^{-4}$$

$$v_{lt} = 0,098 \cdot \frac{1}{r_{lt}} \cdot l^2$$

$$v_{lt} = 0,098 \cdot 4,497 \cdot 10^{-4} \cdot 19^2$$

$$v_{lt} = 15,91 \text{ mm}$$

19.4.3 SMRŠŤOVÁNÍ

$$E_{c,eff} = \frac{E_{cm}}{1 + \varphi} = \frac{34 \cdot 10^6}{1 + 2,0} = 11,33 \text{ GPa}$$

$$\alpha_e = \frac{E_s}{E_{c,eff}} = \frac{200 \cdot 10^9}{11,33 \cdot 10^9} = 17,65$$

$$A_i = A_c + \alpha_e \cdot A_{st} = 3,302 + 17,65 \cdot 176,88 \cdot 10^{-4} = 3,614 \text{ m}^2$$

$$x_i = \frac{A_c \cdot a_g + \alpha_e \cdot A_{st} \cdot d}{A_i}$$

$$x_i = \frac{3,302 \cdot 0,525 + 17,65 \cdot 176,88 \cdot 10^{-4} \cdot 1,483}{3,614} = 0,608 \text{ m}$$

$$I_i = I_c + A_c \cdot (a_{gi} - a_g)^2 + \alpha_e \cdot A_{st} \cdot (d - a_{gi})^2$$

$$I_i = 0,660 + 3,302 \cdot (0,608 - 0,525)^2 + 17,65 \cdot 176,88 \cdot 10^{-4} \cdot (1,483 - 0,608)^2 = 0,922 \text{ m}^4$$

$$x_{ir} = \frac{-\alpha_e \cdot A_s + \sqrt{(\alpha_e \cdot A_s)^2 + 2 \cdot b_{eff} \cdot \alpha_e \cdot A_s \cdot d}}{b_{eff}}$$

$$x_{ir} = \frac{-17,65 \cdot 176,88 \cdot 10^{-4}}{4,65} +$$

$$+ \frac{\sqrt{(17,65 \cdot 176,88 \cdot 10^{-4})^2 + 2 \cdot 4,65 \cdot 17,65 \cdot 176,88 \cdot 10^{-4} \cdot 1,483}}{4,65}$$

$$x_{ir} = 0,384\text{m} < h_s = 0,4\text{m}$$

$$I_{ir} = \frac{1}{3} \cdot b_{eff} \cdot x_{ir}^3 + \alpha_e \cdot A_s \cdot (d - x_{ir})^2$$

$$I_{ir} = \frac{1}{3} \cdot 4,65 \cdot 0,384^3 + 17,65 \cdot 176,88 \cdot 10^{-4} \cdot (1,483 - 0,384)^2 = 0,464\text{m}^4$$

$$M_{cr} = f_{ct,eff} \cdot \frac{I_i}{h - x_i} = 3,2 \cdot 10^6 \cdot \frac{0,922}{1,6 - 0,608} = 2974,19\text{kNm}$$

$$\xi = 1 - \beta \cdot \left(\frac{M_{cr}}{M_{Ek,\psi 1}} \right)^2 = 1 - 0,5 \cdot \left(\frac{2974,19 \cdot 10^3}{7050,57 \cdot 10^3} \right) = 0,911$$

$$s_I = A_{st} \cdot (d - x_i) = 176,88 \cdot 10^{-4} \cdot (1,483 - 0,608) = 0,0155$$

$$s_{II} = A_{st} \cdot (d - x_{ir}) = 176,88 \cdot 10^{-4} \cdot (1,483 - 0,384) = 0,0194$$

$$\frac{1}{r_{csI}} = \varepsilon_{cs} \cdot \alpha_e \cdot \frac{s_I}{I_i} = 0,00025 \cdot 17,65 \cdot \frac{0,0155}{0,922} = 7,418 \cdot 10^{-5}$$

$$\frac{1}{r_{csII}} = \varepsilon_{cs} \cdot \alpha_e \cdot \frac{s_{II}}{I_{ir}} = 0,00025 \cdot 17,65 \cdot \frac{0,0194}{0,464} = 1,845 \cdot 10^{-4}$$

$$\frac{1}{r_{cs}} = \xi \cdot \frac{1}{r_{csII}} + (1 - \xi) \cdot \frac{1}{r_{csI}}$$

$$\frac{1}{r_{cs}} = 0,911 \cdot 1,845 \cdot 10^{-4} + (1 - 0,911) \cdot 7,418 \cdot 10^{-5} = 1,747 \cdot 10^{-4}$$

$$v_{lt} = \frac{1}{8} \cdot \frac{1}{r_{cs}} \cdot l^2$$

$$v_{lt} = \frac{1}{8} \cdot 1,747 \cdot 10^{-4} \cdot 19^2$$

$$v_{lt} = 7,88\text{mm}$$

19.4.4 CELKOVÝ PRŮHYB

$$v = v_{st} + v_{lt} + v_{cs} = 9,10 + 15,91 + 7,88 = 32,89\text{mm}$$

$$v_{lim} = l/350 = 19000/350 = 54,29\text{mm}$$

$$v = 32,89\text{mm} < v_{lim} = 54,29\text{mm}$$

VYHOVÍ

pozn.: Hodnoty součinitele dotvarování φ byly zvoleny odhadem.

Byly použity průměrné hodnoty koeficientu k .