



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

NÁVRH TRÁMOVÉHO MOSTU O JEDNOM POLI DESIGN OF A ONE-SPAN BEAM BRIDGE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

PŘÍLOHA P2 STATICKÝ VÝPOČET

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

JAN FOJTŮ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. RADIM NEČAS, Ph.D.

BRNO 2013

OBSAH

1.	Materiály...	5
2.	Krycí vrstva	5
3.	Maximální napínací napětí	6
4.	Návrh rozměrů	6
5.	Tvorba výpočtového modelu	7
5.1	Model pro zjednodušené řešení	7
5.2	Model pro přesný výpočet	8
5.3	Spolupůsobící šířka desky	9
6.	Zatížení	9
6.1	Stálé	9
6.2	Nahodilé - dopravou	10
6.3	Kombinace účinků zatížení	12
7.	Podélný směr	14
7.1	Zjednodušené ruční řešení	14
7.1.1	Průhyby od jednotlivých složek zatížení....	14
7.1.2	Výsledné hodnoty zatížení	17
7.1.3	Vnitřní síly na prutovém modelu	18
7.1.4	Průřezové charakteristiky	19
7.1.5	Návrh předpínací síly	20
7.1.6	Napětí od jednotlivých zatížení	20
7.1.7	Mezní stav použitelnosti–omezení napětí..	22
7.1.8	Určení počtu lan	23
7.2	Přesný výpočet	24
7.2.1	Návrh trasování kabelů	24
7.2.2	Průřezové charakteristiky	24
7.2.3	Krátkodobé ztráty předpětí	25
7.2.4	Časový harmonogram výstavby	25
7.2.5	Dlouhodobé ztráty předpětí	26
7.2.6	Výsledné hodnoty ztrát	29
7.2.7	Mezní stav použitelnosti	30
7.2.8	Mezní stav únosnosti	33
7.2.9	Smyk	35
7.2.10	Kotevní oblast	41
8.	Příčný směr	44

8.1	Průřez nad podporou	45
8.1.1	Návrh výztuže a posouzení na ohyb	45
8.1.2	Posouzení na smyk	46
8.2	Průřez v poli	48
8.1.1	Návrh výztuže a posouzení na ohyb	48
8.1.2	Posouzení na smyk	49
9.	Přílohy.....	50
9.1	Vnitřní síly od zatěžovacích stavů	50
9.1.1	Moment M_{g0k}	50
9.1.2	Moment M_{g1k}	50
9.1.3	Moment M_p	51
9.1.4	Normálová síla N_p	51
9.2	Vnitřní síly od kombinací zatížení bez předpětí	52
9.2.1	Moment $M_{qk,gr1a}$	52
9.2.2	Moment $M_{qk\psi,gr1a}$	52
9.2.3	Moment $M_{qk,gr5}$	52
9.2.4	Moment $M_{Ek,gr1a}$	53
9.2.5	Moment $M_{Ek\psi,gr1a}$	53
9.2.6	Moment $M_{Ek,gr5}$	53
9.3	Vnitřní síly od kombinací zatížení s předpětím	54
9.3.1	Moment M_{Ek}	54
9.3.2	Normálová síla N_{Ek}	54
9.4	Návrhové vnitřní síly	55
9.4.1	Moment M_{Ed}	55
9.4.2	Normálové síly N_{Ed}	55
9.4.3	Posouvající síly V_{Ed}	55
9.5	Návrhové vnitřní síly pro příčný směr	56
9.5.1	Dimenzační moment m_{yD^+}	56
9.5.2	Dimenzační moment m_{yD^-}	56
9.5.3	Posouvající síly v_y – na převislém konc...57	
9.5.4	Posouvající síly v_y – v poli	57
9.6	Průhyby	58
9.6.1	Od vlastní tíhy	58
9.6.1	Od ostatního stálého	58
9.6.1	Od předpětí	59
9.6.1	Od nahodilého zatížení	59

9.7	Krátkodobé ztráty – přímý kabel	60
9.8	Krátkodobé ztráty – zakřivený kabel	61
9.9	Součinitel dotvarování	62
9.10	Kombinace účinků zatížení	63
9.11	Mezní stav únosnosti	65

1 MATERIÁLY

Beton C35/45 $f_{ck} = 35\text{MPa}$ $f_{cd} = \alpha_{cc} \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 0,85 \frac{35}{1,5} = 19,833\text{MPa}$
 $f_{ctk,0,05} = 2,2\text{MPa}$ $f_{ctd} = \alpha_{ct} \frac{f_{ctk,0,05}}{\gamma_c} = 1 \frac{2,2}{1,5} = 1,467\text{MPa}$
 $f_{ctm} = 3,2\text{MPa}$

Předpínací výztuž Y-1860-S7-15,7-A

$f_{pk} = 1860\text{MPa}$ $f_{p0,1k} = 1600\text{MPa}$ $f_{p0,2k} = 1660\text{MPa}$
 $f_{pd} = \frac{f_{p0,1k}}{\gamma_s} = \frac{1600}{1,15} = 1391,304\text{MPa}$

Betonářská výztuž B550 B

$f_{yk} = 550\text{MPa}$ $f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{550}{1,15} = 478,261\text{MPa}$

2 KRYCÍ VRSTVA

- pro předpínací výztuž

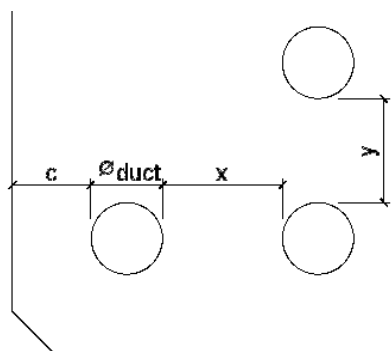
Stupeň vlivu prostředí XF, konstrukční třída S6 100let.

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

$c_{min} = \max(c_{min,b}; c_{min,dur} + \Delta c_{dur,y} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add}; 10\text{mm}) =$
 $= \max(106; 60; 10) = 106\text{mm}$

$\Delta c_{dev} = 10\text{mm}$ $c_{nom} = 106 + 10 = 116\text{mm}$

Navrženo $c = 115\text{mm}$



$x \geq \varnothing_{duct} = 106\text{mm}$
 $\geq dg + 5 = 16 + 5 = 21\text{mm}$
 $\geq 50\text{mm}$

$y \geq \varnothing_{duct} = 106\text{mm}$
 $\geq dg + 5 = 16 + 5 = 21\text{mm}$
 $\geq 40\text{mm}$

- pro betonářskou výztuž

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

$c_{min} = \max(c_{min,b}; c_{min,dur} + \Delta c_{dur,y} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add}; 10\text{mm}) =$
 $= \max(18; 60; 10) = 60\text{mm}$

$\Delta c_{dev} = 10\text{mm}$ $c_{nom} = 60 + 10 = 70\text{mm}$

Navrženo $c = 70\text{mm}$

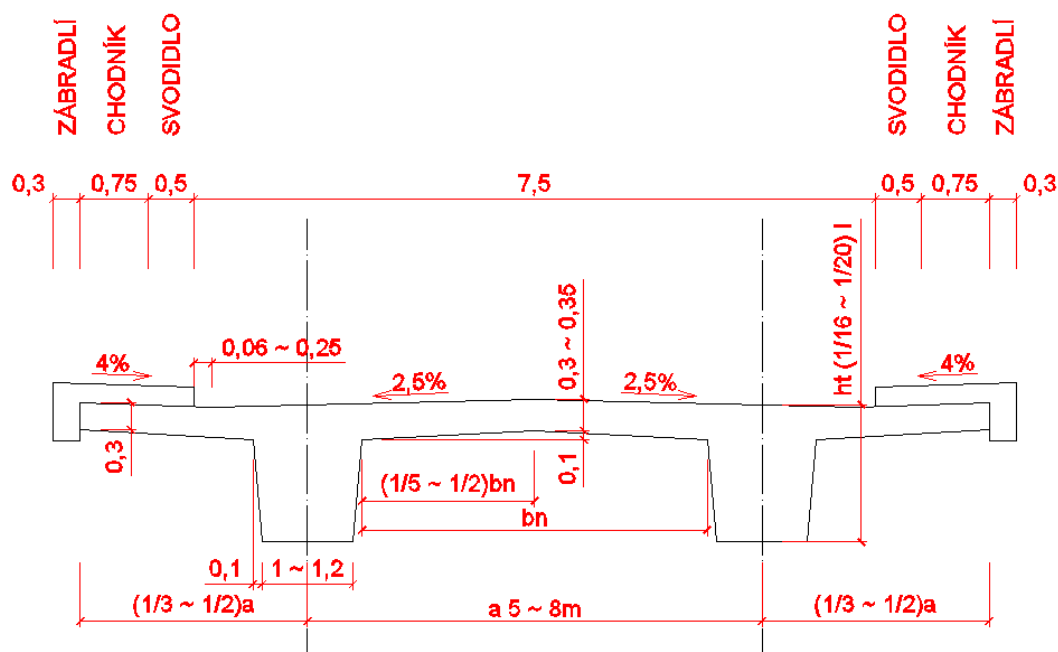
3 MAXIMÁLNÍ NAPÍNACÍ NAPĚTÍ

$$\sigma_{p,\max} = \min(0,8f_{pk}; 0,9f_{p0,1k}) = \min(0,8 * 1860; 0,9 * 1600) = \min(1488; 1440)$$

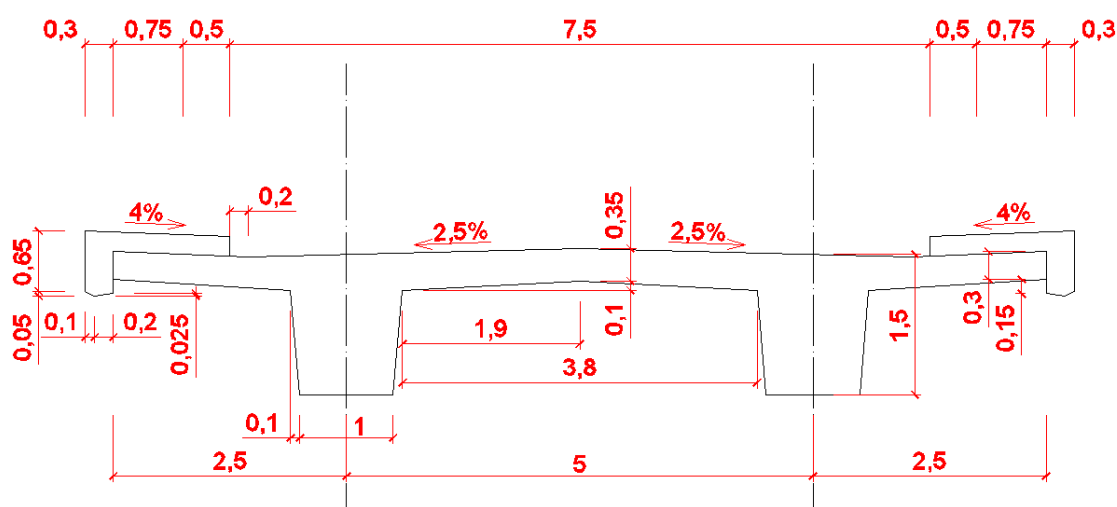
$$\sigma_{p,\max} = 1440 \text{ MPa}$$

4 NÁVRH ROZMĚRŮ

Podle doporučených poměrů tloušťky a šířky.



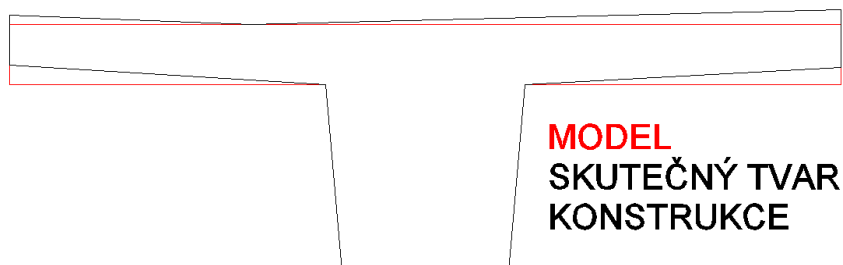
Navržené rozměry v metrech



5 TVORBA VÝPOČTOVÉHO MODELU

5.1 Model pro zjednodušené řešení

Porovnání tvaru modelu a reálné konstrukce



Rozměry modelu zadávané do programu Scia v mm

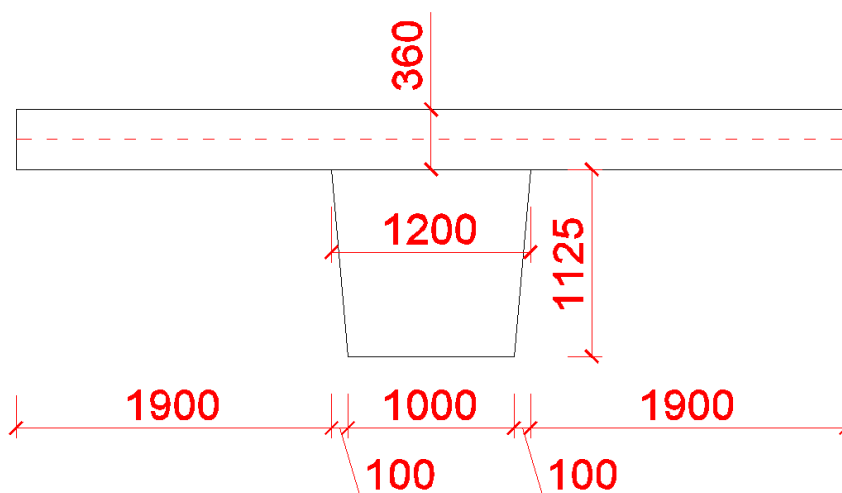
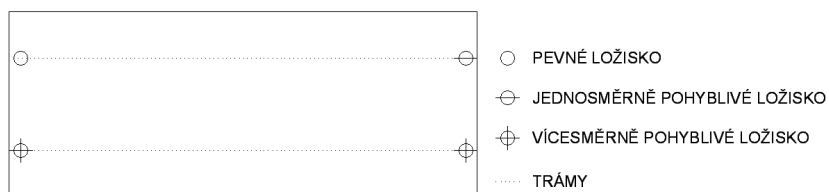
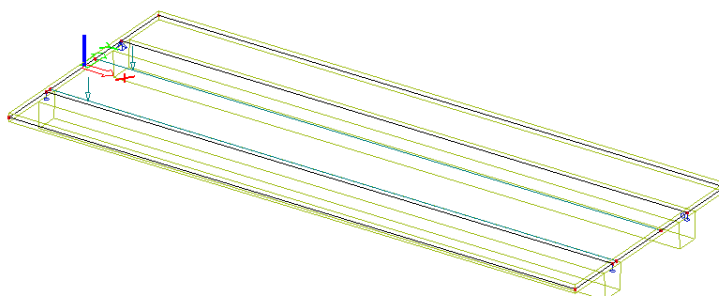


Schéma uložení

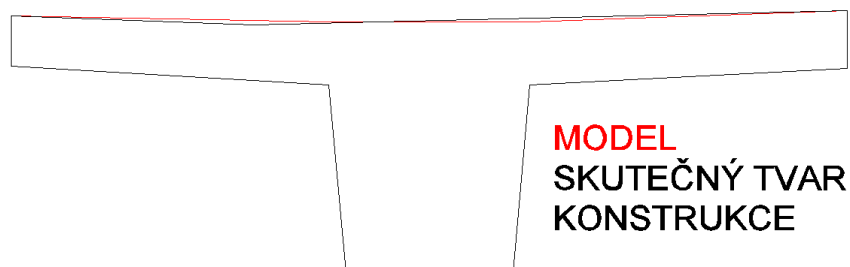


Axonometrický pohled na model



5.2 Model pro přesný výpočet

Porovnání tvaru modelu a reálné konstrukce



Rozměry modelu v mm

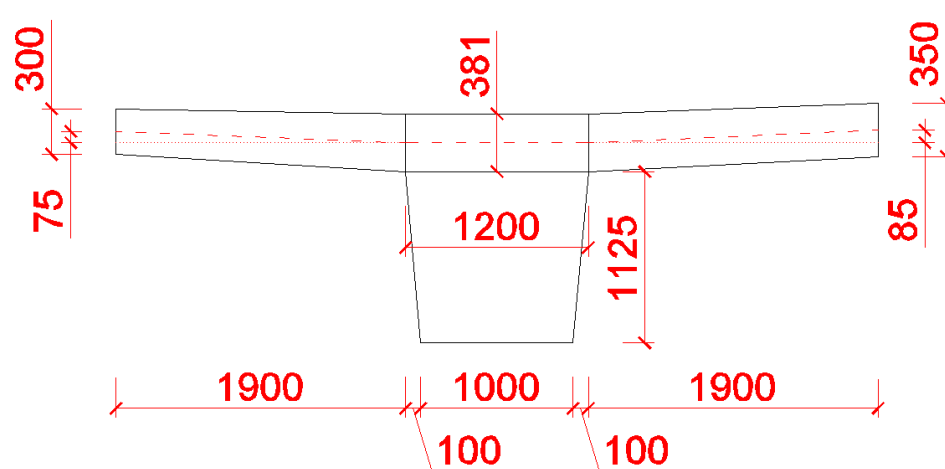
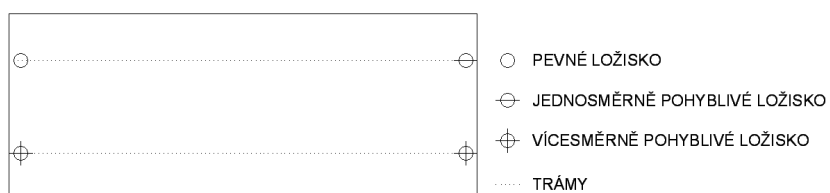
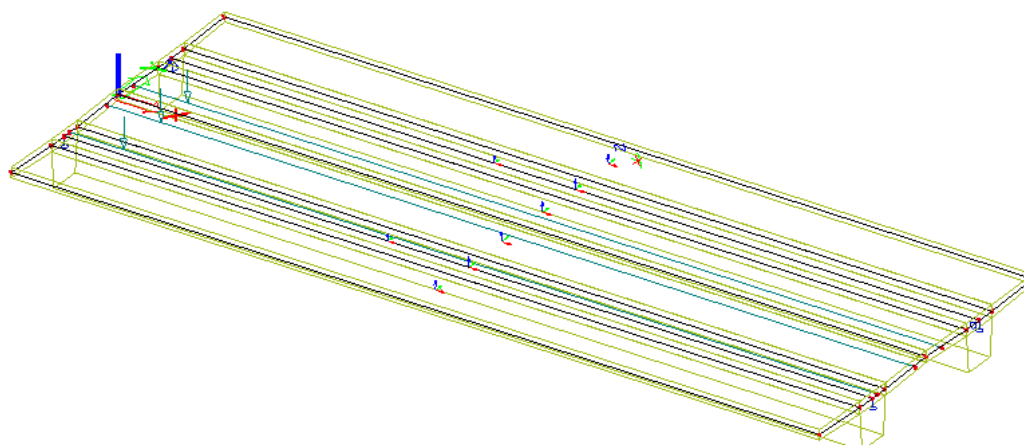


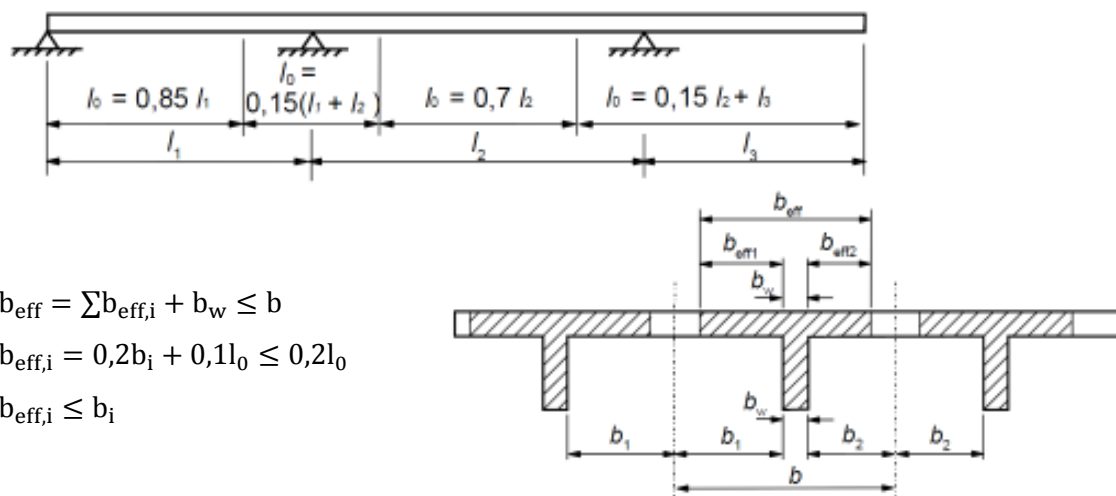
Schéma uložení



Axonometrický pohled na model



5.3 Spolupůsobící šířka desky



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

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

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

$$b_{eff,1} = 0,2 * 2 + 0,1 * 25,25 = 2,925m \leq 0,2 * 25,25 = 5,05m$$

$$b_{eff,1} = 2,925m \leq b_1 = 2m \quad \rightarrow \quad b_{eff,1} = 2m$$

$$b_{eff,2} = 0,2 * 2 + 0,1 * 25,25 = 2,925m \leq 0,2 * 25,25 = 5,05m$$

$$b_{eff,2} = 2,925m \leq b_2 = 2m$$

$$b_{eff,2} = 2m$$

$$b_{eff} = b_{eff,1} + b_{eff,2} + b_w = 2 + 2 + 1 = 5m \leq 5m$$

$$b_{eff} = 5m$$

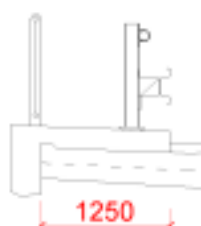
6. ZATÍŽENÍ

6.1 Stálé

Pro potřeby zjednodušeného řešení

Na jeden trám	Plocha $A_c[m^2]$	Objemová tíha $[KN/m^3]$	Charakteristická hodnota zatížení $g_k [KN/m^1]$
Deska + trám	3,034	25	75,85
Římsa	0,465	25	11,625
Vozovka	0,375	24	9,0
Zábradlí + svodidlo			1,0
Celkem			97,475

Pro přesný výpočet - ostatní stálé zatížení



Římsa, zábradlí a svodidlo uvažují jako rovnoměrné spojitě zatížení na šířce 1,25m

$$g_{k,r} = (11,625 + 0,5 + 0,5)/1,25 = 10,1 \text{ kNm}^{-2}$$

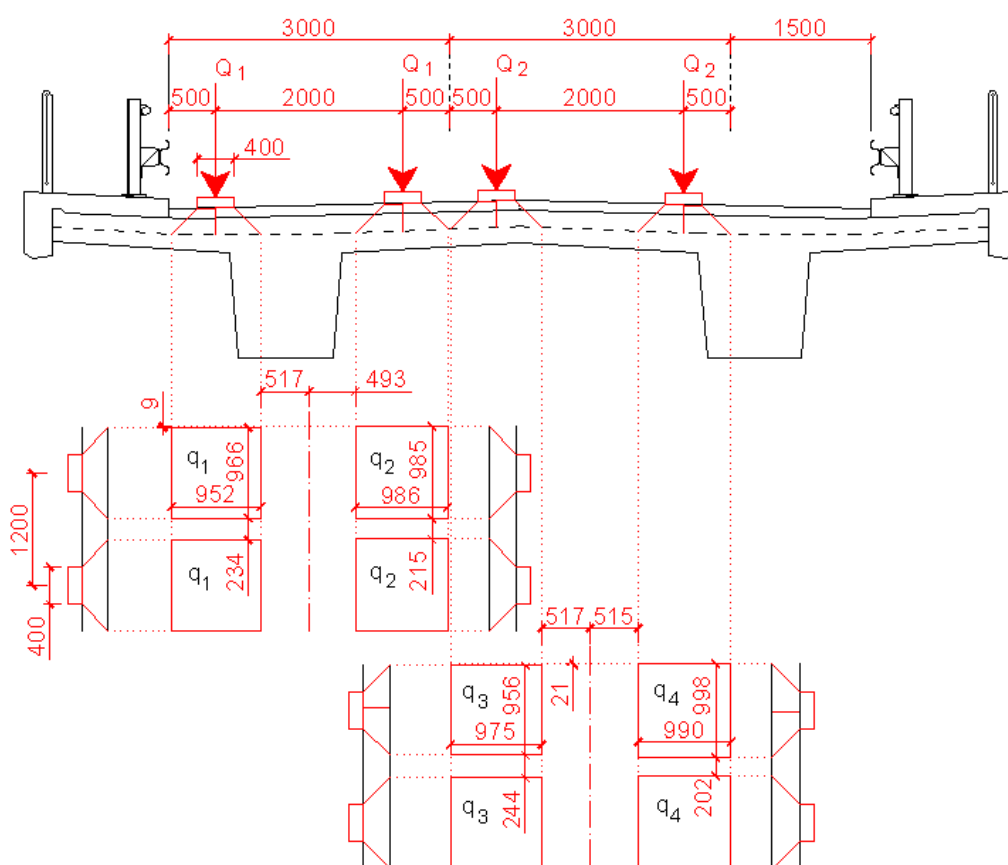
Vozovka v tloušťce 100mm

$$g_{k,v} = 0,1 * 1 * 1 * 24 = 2,4 \text{ kNm}^{-2}$$

6.2 Nahodilé – dopravou

Roznos soustředěných zatížení pro LM1

Soustředěná zatížení od tandem systému se roznáší pod úhlem 45° do střednicové roviny desky.



Spojité rovnoměrná zatížení:

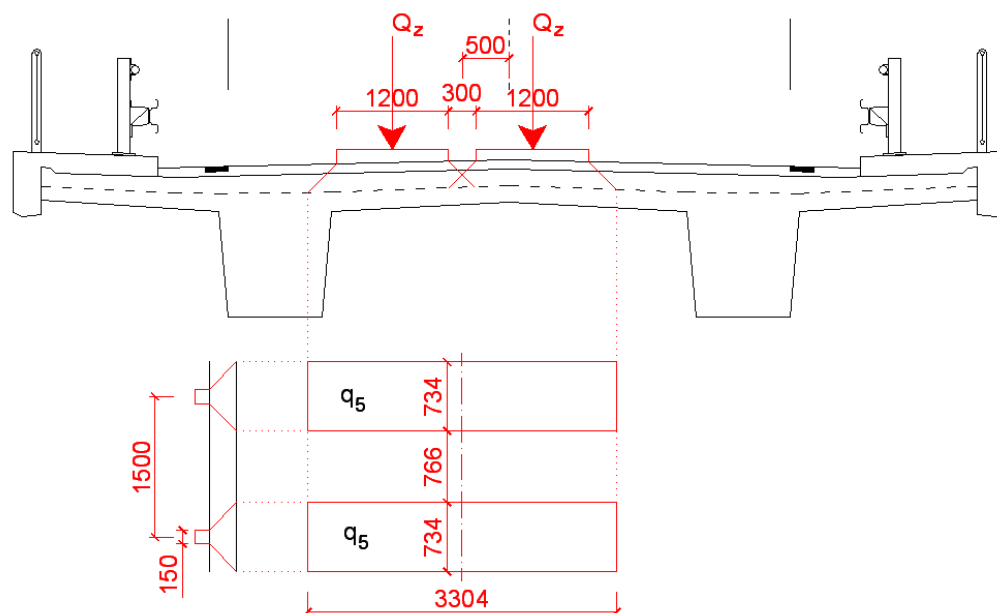
$$q_1 = Q_1/A_1 = 150/(0,952 * 0,966) = 163,109 \text{ kNm}^{-2}$$

$$q_2 = Q_1/A_2 = 150/(0,986 * 0,985) = 154,447 \text{ kNm}^{-2}$$

$$q_3 = Q_2/A_3 = 100/(0,975 * 0,956) = 107,285 \text{ kNm}^{-2}$$

$$q_4 = Q_2/A_4 = 100/(0,990 * 0,998) = 101,213 \text{ kNm}^{-2}$$

Roznos soustředěných zatížení pro LM3

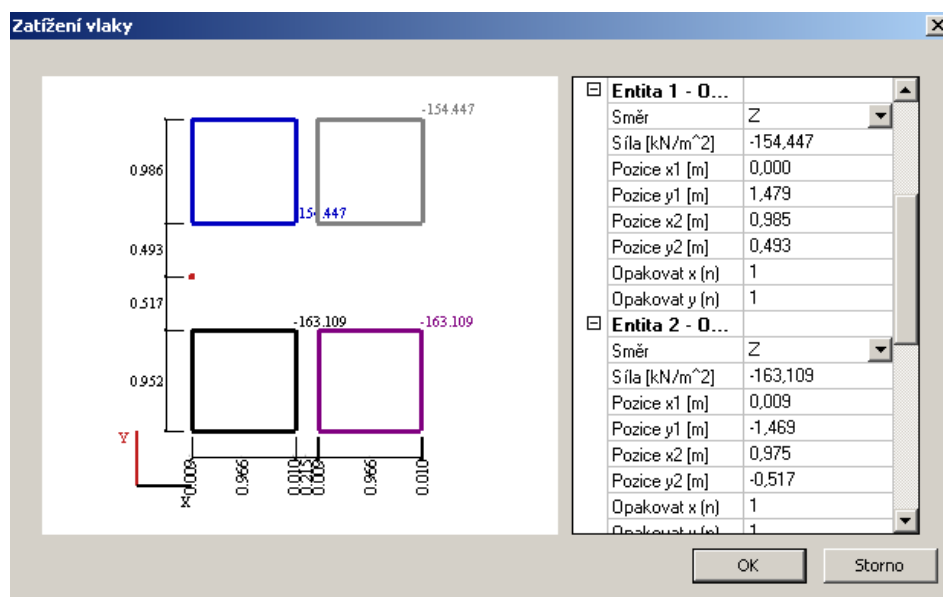


Spojité rovnoměrné zatížení:

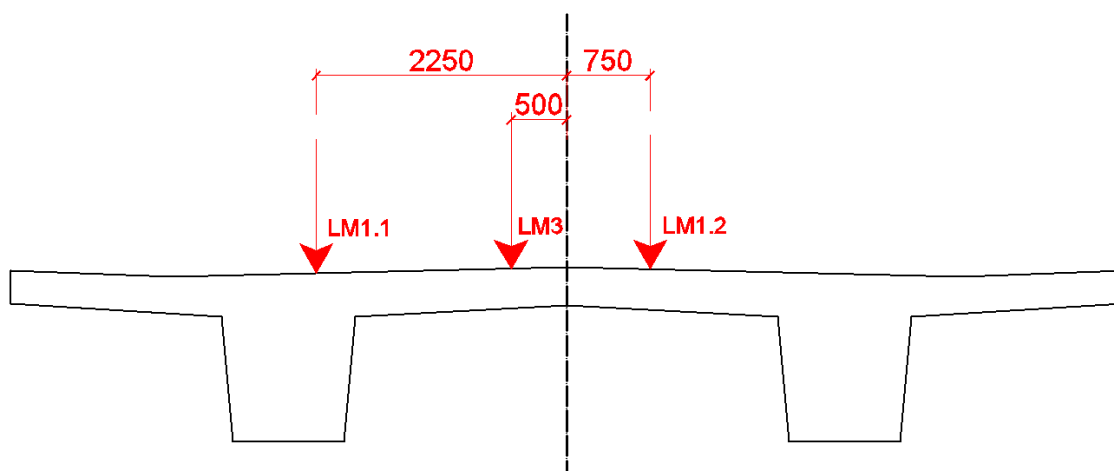
$$q_5 = Q_z / A_5 = 200 / (3,304 \cdot 0,734) = 82,470 \text{ kNm}^{-2}$$

Pro zjištění obálek vnitřních sil je nutné zadat do výpočtového softwaru pohyblivé zatížení pomocí šablony zatížení vytvořené ze spojitých zatížení od jednotlivých kol a dopravního pruhu.

Šablona zatížení – model LM1, pruh 1



Poloha jednotlivých dopravních pruhů



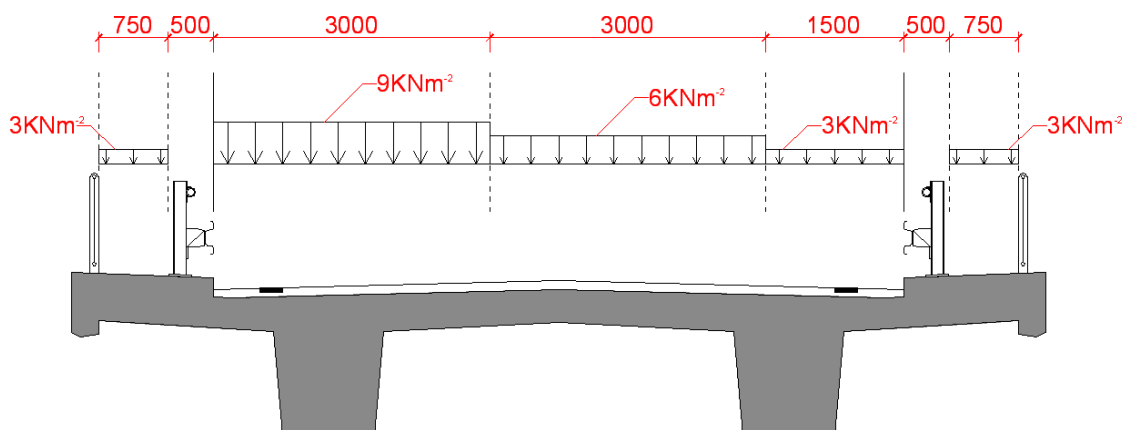
LM1.1 – dopravní pruh pro model zatížení LM1, tandem systém v pruhu 1

LM1.2 – dopravní pruh pro model zatížení LM1, tandem systém v pruhu 2

LM3 – dopravní pruh pro model zatížení LM3, zvláštní vozidlo

Konkrétní hodnoty spojitých rovnoměrných zatížení

Spojitá zatížení jsou zadána v celé ploše mostu.



6.3 Kombinace účinků zatížení

- pro mezní stav únosnosti

$$6.10 \quad \sum \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} G_{k,1} + \sum \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} G_{k,i}$$

$$6.10a \quad \sum \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} \psi_{0,1} G_{k,1} + \sum \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} G_{k,i}$$

$$6.10b \quad \sum \xi_j \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} G_{k,1} + \sum \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} G_{k,i}$$

- uvažují méně příznivé hodnoty ze vztahů 6.10a ,6.10b

- pro mezní stavy použitelnosti

- charakteristická kombinace $\sum G_{k,j} + P_k + G_{k,i}$

- častá kombinace $\sum G_{k,j} + P_k + \psi_{0,i} G_{k,i}$

- kvazistálá kombinace $\sum G_{k,j} + P_k + \psi_{2,i} G_{k,i}$

- POZN.: zatížení dopravou se uvažuje jako jedno nahodilé zatížení

7 PODÉLNÝ SMĚR

7.1 Zjednodušené ruční řešení

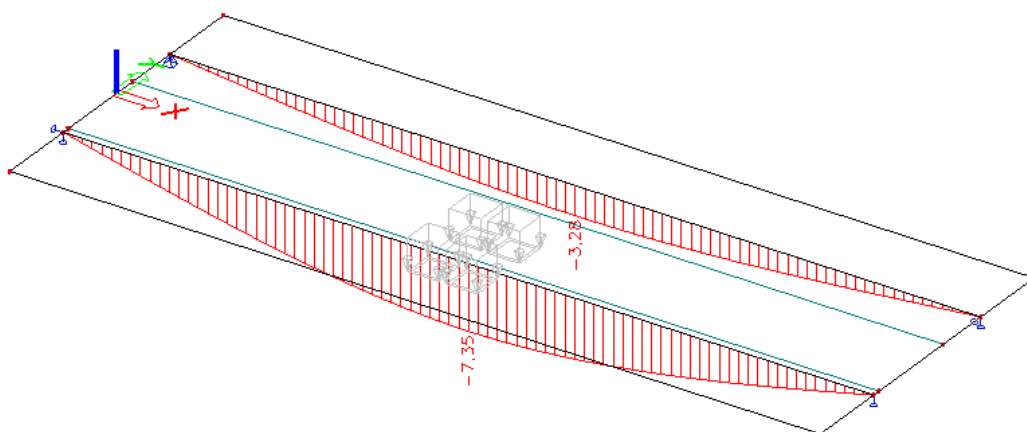
Napětí v čase životnosti a v čase napínání s odhadnutými ztrátami předpětí, uvažují krátkodobé i dlouhodobé ztráty po 10%.

$$\sigma_{p,m0} = 0,9\sigma_{p,max} = 0,9 * 1440 = 1296\text{MPa}$$

$$\sigma_{p,m\infty} = 0,9\sigma_{p,m0} = 0,9 * 1296 = 1166,4\text{MPa}$$

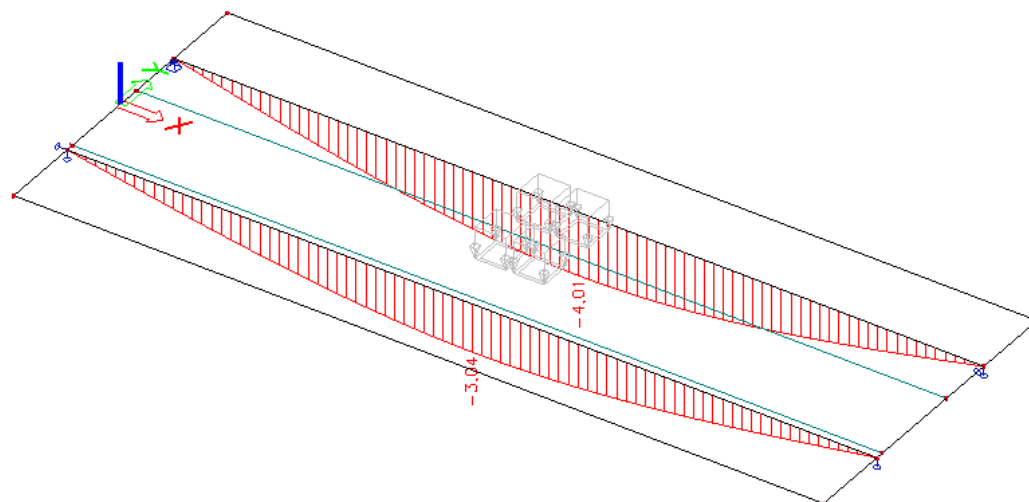
7.1.1 Průhyby od jednotlivých složek zatížení

LM1 – tandem systém v 1. pruhu



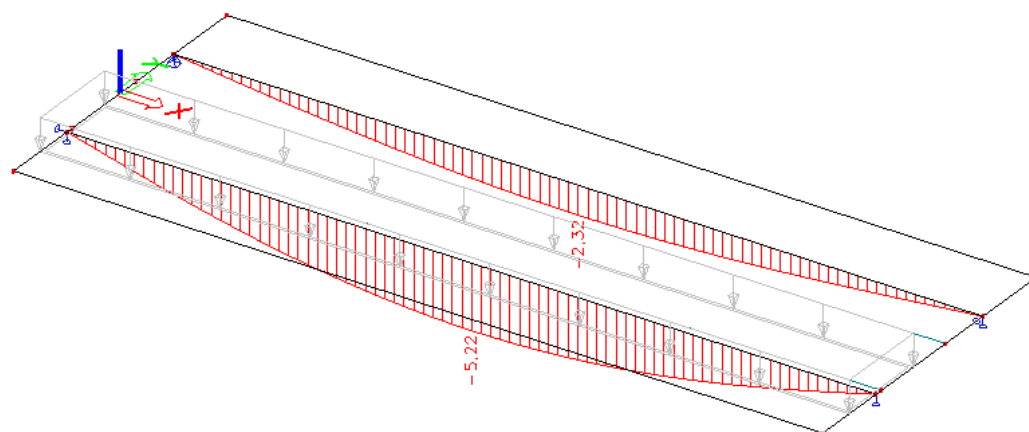
Trám 1	7,35		$(7,35/10,63)*100=69,1\%$
Trám 2	3,28	$100\%=7,35+3,28=10,63$	$(3,28/10,63)*100=30,9\%$

LM1 – tandem systém v 2. pruhu



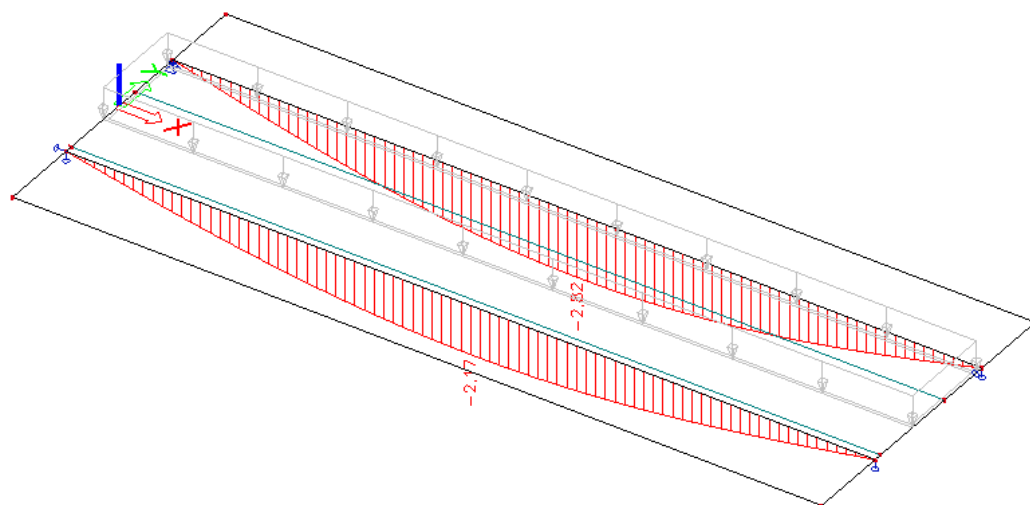
Trám 1	3,04		$(3,04/7,05)*100=43,1\%$
Trám 2	4,01	$100\%=3,04+4,01=7,05$	$(4,01/7,05)*100=56,9\%$

LM1 – UDL v 1. pruhu



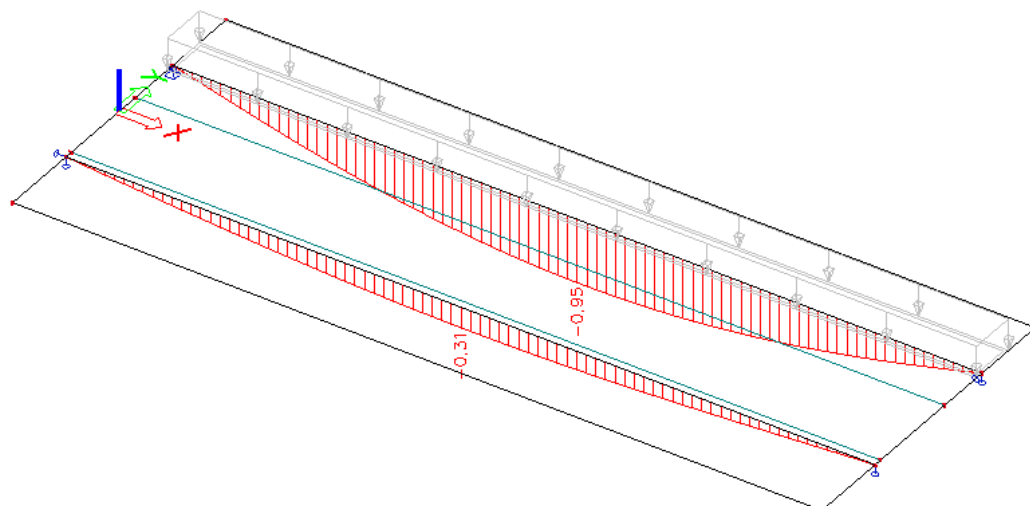
Trám 1	5,22		$(5,22/7,54)*100=69,2\%$
Trám 2	2,32	$100\%=5,22+2,32=7,54$	$(2,32/7,54)*100=30,8\%$

LM1 – UDL v 2. pruhu



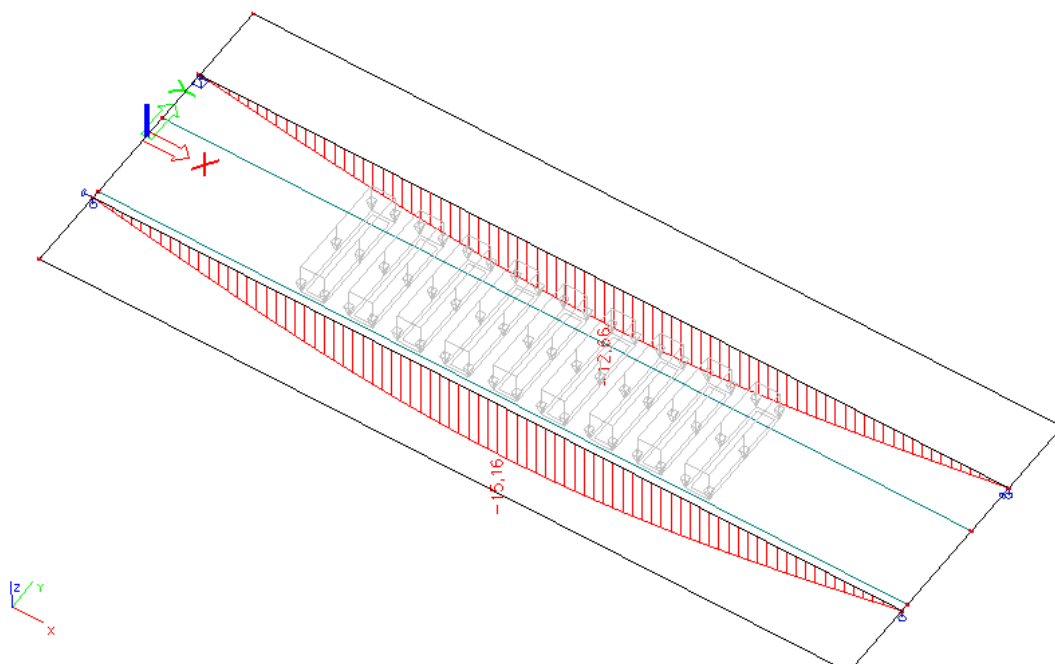
Trám 1	2,17		$(2,17/4,99)*100=43,5\%$
Trám 2	2,82	$100\%=2,17+2,82=4,99$	$(2,82/4,99)*100=56,5\%$

LM1 – UDL v 3. pruhu



Trám 1	0,31		$(0,31/1,26)*100=24,6\%$
Trám 2	0,95	$100\%=0,31+0,95=1,26$	$(0,95/1,26)*100=75,4\%$

LM3 (v excentrické poloze)



Trám 1	15,16	$(15,16/27,82)*100=54,5\%$
Trám 2	12,66	$(12,66/27,82)*100=45,5\%$
$100\%=12,66+15,16=27,82$		

7.1.2 Výsledné hodnoty zatížení

Hodnoty získám vynásobením intenzity zatížení procentuálním podílem přenosu jednotlivých složek zatížení.

Trám 1

$$Q_{k,LM1} = 300 * 0,691 + 200 * 0,431 = 293,5\text{KN}$$

$$q_{k,LM1} = 9 * 3 * 0,692 + 6 * 3 * 0,435 + 3 * 1,5 * 0,246 = 27,621\text{KNm}^{-1}$$

$$q_{k,ch} = 3 * 0,75 = 2,25\text{KNm}^{-1}$$

$$Q_{k,LM3} = 200 * 0,545 = 109\text{KN}$$

Trám 2

$$Q_{k,LM1} = 300 * 0,309 + 200 * 0,569 = 206,5\text{KN}$$

$$q_{k,LM1} = 9 * 3 * 0,308 + 6 * 3 * 0,565 + 3 * 1,5 * 0,754 = 21,879\text{KNm}^{-1}$$

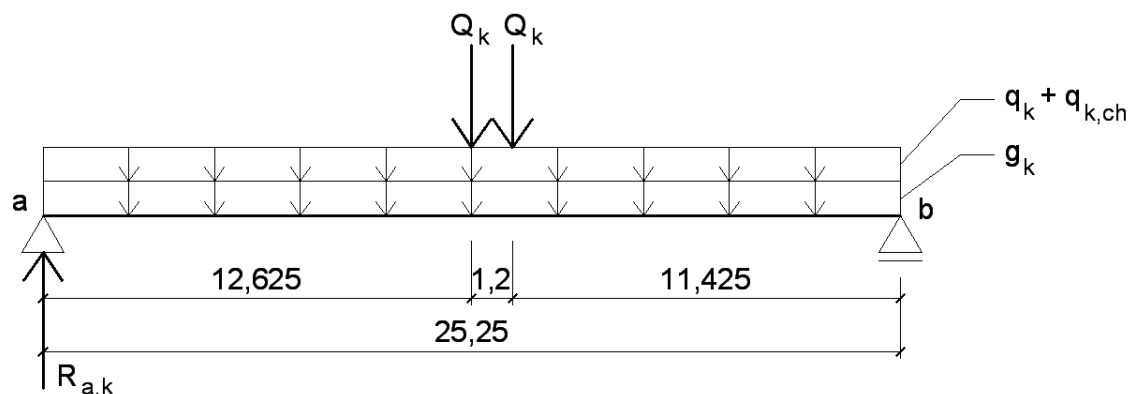
$$q_{k,ch} = 3 * 0,75 = 2,25\text{KNm}^{-1}$$

$$Q_{k,LM3} = 200 * 0,455 = 91\text{KN}$$

Více zatíženým trémem je trám 1 (pod prvním zatěžovacím pruhem).

7.1.3 Vnitřní síly na prutovém modelu

Od LM1



Pro tandem systém

$$\sum M_{ib} = 0$$

$$R_{a,k} \cdot 25,25 - Q_k \cdot (12,625 + 11,425) = 0$$

$$R_{a,k} = Q_k \cdot (12,625 + 11,425) / 25,25 = 293,5 \cdot (12,625 + 11,425) / 25,25 = 279,551 \text{ kN}$$

$$M_{l/2,TS} = R_{a,k} \cdot 12,625 = 279,551 \cdot 12,625 = 3529,331 \text{ kNm}$$

Pro UDL

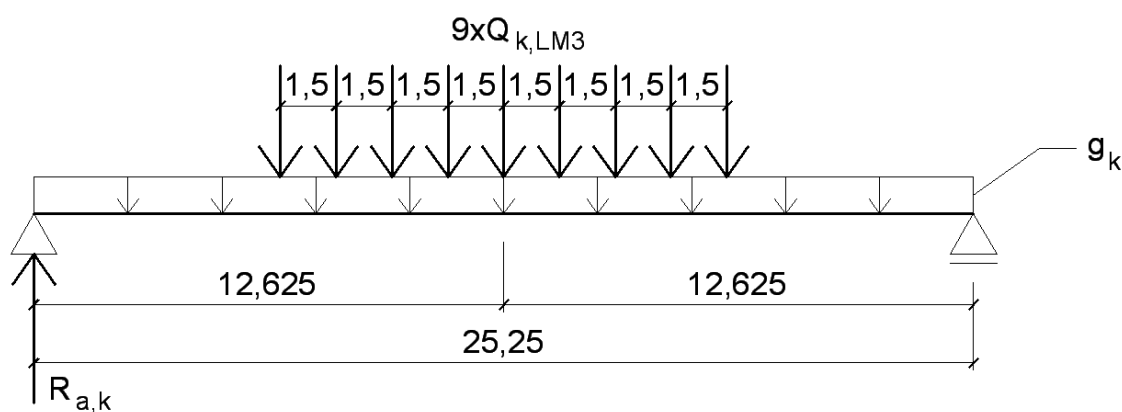
$$M_{l/2,UDL} = 1/8 (q_{k,LM1} + q_{k,ch}) \cdot l^2 = 1/8 \cdot (27,621 + 2,25) \cdot 25,25^2 = 2380,579 \text{ kNm}$$

Výsledné hodnoty

$$M_{qk,LM1} = M_{l/2,TS} + M_{l/2,UDL} = 3529,331 + 2380,579 = 5909,910 \text{ kNm}$$

$$M_{gk} = 1/8 \cdot g_k \cdot l^2 = 1/8 \cdot 97,475 \cdot 25,25^2 = 7768,301 \text{ kNm}$$

Od LM3



Pro kolové tlaky

$$R_{a,k} = \sum Q_{k,LM3} / 2 = 9 * 109 / 2 = 490,5 \text{ kN}$$

$$M_{l/2,Qk} = R_{a,k} * 12,625 - Q_{k,LM3} * (6 + 4,5 + 3 + 1,5) \\ = 490,5 * 12,625 - 109 * (6 + 4,5 + 3 + 1,5) = 4557,563 \text{ kNm}$$

Ohybové momenty od jednotlivých zatížení

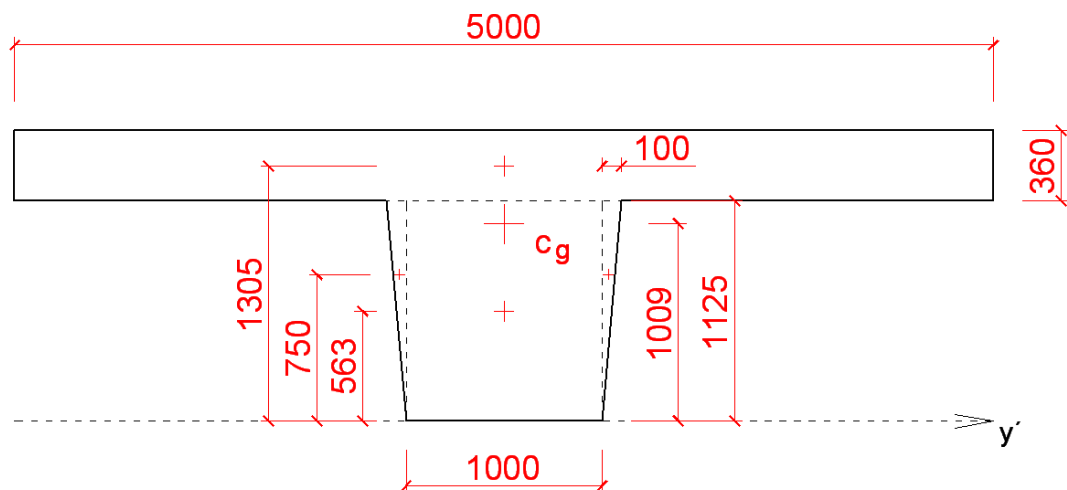
$$M_{gk} = 7768,301 \text{ kNm}$$

$$M_{qk,LM1} = 5909,910 \text{ kNm}$$

$$M_{qk,LM3} = M_{l/2,Qk} * \varphi = 4557,563 * 1,25 = 5696,954 \text{ kNm}$$

$$M_{qk,LM1} = 5909,910 \text{ kNm} > M_{qk,LM3} = 5696,954 \text{ kNm}$$

Pro návrh předpínací síly je rozhodující větší z momentů $M_{qk,LM1}$

7.1.4 Průřezové charakteristiky

$$Z_{cg} = \frac{\sum A_i * z_i}{\sum A_i} = \frac{5 * 0,36 * 1,305 + 1 * 1,25 * 0,563 + 0,1 * 1,125 * 0,75}{(5 * 0,36 + 1 * 1,25 + 0,1 * 1,125)} = 1,009 \text{ m}$$

$$I_y = \sum \left(\frac{1}{12} * b_i * h_i^3 + A_i * z_i^2 \right) = \frac{1}{12} * 5 * 0,36^3 + 5 * 0,36 * (1,305 - 1,009)^2 + \\ + \frac{1}{12} * 1 * 1,125^3 + 1 * 1,125 * (0,563 - 1,009)^2 + 2 * \left(\frac{1}{36} * 0,1 * 1,125^3 + \right. \\ \left. + 0,5 * 0,1 * 1,125 * (0,563 - 1,009)^2 \right) = 0,5355 \text{ m}^4$$

$$w_1 = \frac{I_y}{Z_{cg}} = \frac{0,5355}{1,009} = 0,531 \text{ m}^3$$

$$w_2 = \frac{I_y}{h - Z_{cg}} = \frac{0,5355}{1,125 + 0,36 - 1,009} = 1,125 \text{ m}^3$$

$$A = 5 * 0,36 + 1 * 1,125 + 0,1 * 1,125 = 3,0375 \text{ m}^2$$

7.1.5 Návrh předpínací síly

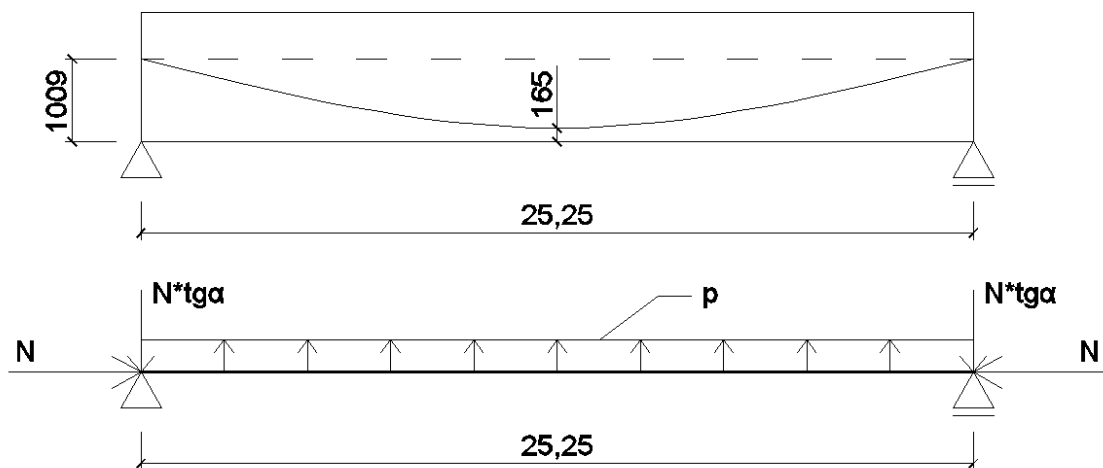
Pro návrh předpětí je použita metoda vyrovnání zatížení, kdy je předpětím vyrovnáno 70% veškerého zatížení.

$$M_{qk,LM1} = 5909,910 \text{KNm}$$

$$M = \frac{1}{8} * q * l^2 \rightarrow q = \frac{8 * M}{l^2}$$

$$q_k = \frac{8 * 5909,910}{25,25^2} = 74,156 \text{KNm}^{-1}$$

$$p = 0,7 * (g_k + q_k) = 0,7 * (97,475 + 74,156) = 120,142 \text{KNm}^{-1}$$



$$N = \frac{pl^2}{8f} = \frac{120,142 * 25,25^2}{8 * 0,835} = 11466,772 \text{KN}$$

$$N_{p\infty} = 11500 \text{KN}$$

$$N_{p0} = \frac{N_{p\infty}}{1 - 0,10} = \frac{11500}{1 - 0,10} = 12777,778 \text{KN}$$

7.1.6 Napětí od jednotlivých zatížení

Od stálého zatížení

$$\sigma_1 = \frac{M_{gk}}{w_1} = \frac{7768,301 * 10^{-3}}{0,531} = +14,630 \text{MPa}$$

$$\sigma_2 = \frac{M_{gk}}{w_2} = \frac{7768,301 * 10^{-3}}{1,125} = -6,905 \text{MPa}$$

Od vlastní tíhy

$$M_{gk,v} = \frac{1}{8} * g_{k,v} * l^2 = \frac{1}{8} * 75,85 * 25,25^2 = 6044,889 \text{KNm}$$

$$\sigma_1 = \frac{M_{gk,v}}{w_1} = \frac{6044,889 * 10^{-3}}{0,531} = +11,384 \text{MPa}$$

$$\sigma_2 = \frac{M_{gk,v}}{w_2} = \frac{6044,889 * 10^{-3}}{1,125} = -5,373 \text{MPa}$$

Od nahodilého zatížení – charakteristická kombinace

$$\sigma_1 = \frac{M_{qk}}{w_1} = \frac{5909,910 * 10^{-3}}{0,531} = +11,130 \text{MPa}$$

$$\sigma_2 = \frac{M_{qk}}{w_2} = \frac{5909,910 * 10^{-3}}{1,125} = -5,253 \text{MPa}$$

Od nahodilého zatížení – častá kombinace

$$M_{l/2,TS} = 3529,331 \text{KNm}$$

$$M_{l/2,UDL} = 2380,579 \text{KNm}$$

$$M_{l/2,\psi} = M_{l/2,TS} * \psi + M_{l/2,UDL} * \psi = 3529,331 * 0,75 + 2380,579 * 0,4 = 3599,230 \text{KNm}$$

$$\sigma_1 = \frac{M_{qk,\psi}}{w_1} = \frac{3599,230 * 10^{-3}}{0,531} = +6,778 \text{MPa}$$

$$\sigma_2 = \frac{M_{qk,\psi}}{w_2} = \frac{3599,230 * 10^{-3}}{1,125} = -3,199 \text{MPa}$$

Od předpětí v čase t_∞

$$\sigma_{1,M} = \frac{N_{p\infty} * 0,835}{w_1} = \frac{11500 * 10^{-3} * 0,835}{0,531} = -18,084 \text{MPa}$$

$$\sigma_{2,M} = \frac{N_{p\infty} * 0,835}{w_2} = \frac{11500 * 10^{-3} * 0,835}{1,125} = +8,536 \text{MPa}$$

$$\sigma_{1,2,N} = \frac{N_{p\infty}}{A} = \frac{11500 * 10^{-3}}{3,0375} = -3,786 \text{MPa}$$

Od předpětí v čase t_0

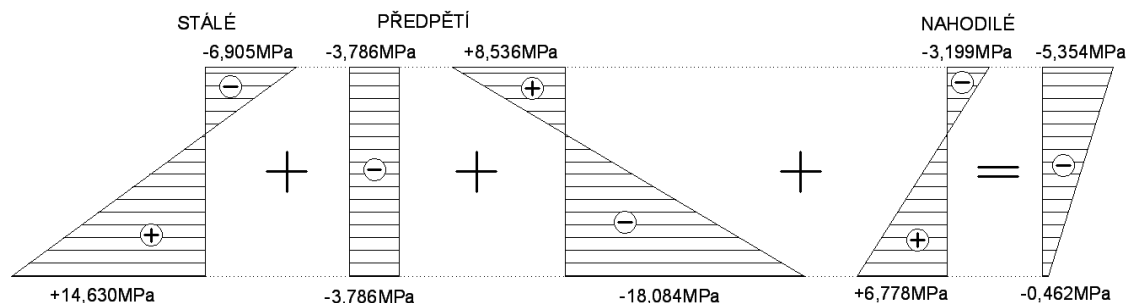
$$\sigma_{1,M} = \frac{N_{p0} * 0,835}{w_1} = \frac{12777,778 * 10^{-3} * 0,835}{0,531} = -20,093 \text{MPa}$$

$$\sigma_{2,M} = \frac{N_{p0} * 0,835}{w_2} = \frac{12777,778 * 10^{-3} * 0,835}{1,125} = +9,484 \text{MPa}$$

$$\sigma_{1,2,N} = \frac{N_p}{A} = \frac{12777,778 * 10^{-3}}{3,0375} = -4,207 \text{MPa}$$

7.1.7 Mezní stav použitelnosti - omezení napětí

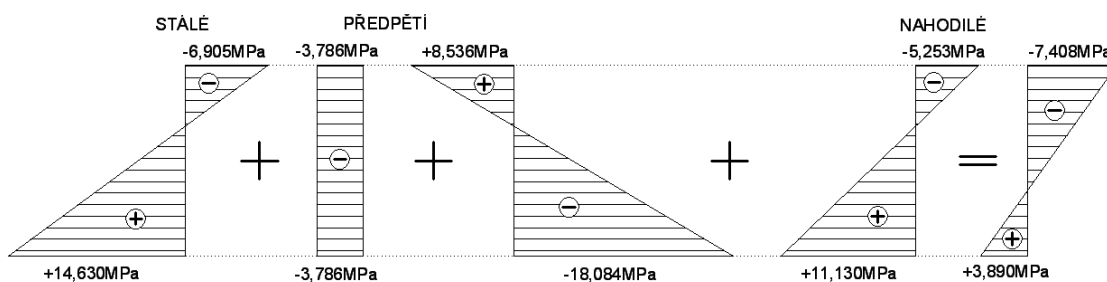
Častá kombinace v čase t_{∞}



$$\sigma_{c1} \leq 0$$

$$\sigma_{c1} = -0,462\text{MPa} \leq 0$$

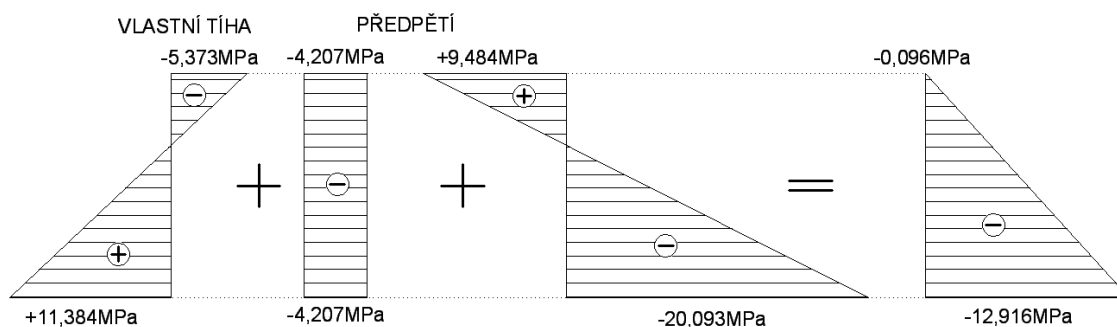
Charakteristická kombinace v čase t_{∞}



$$\sigma_{c2} \leq 0,6f_{ck}$$

$$\sigma_{c2} = -7,408\text{MPa} \leq 0,6f_{ck} = 0,6 * 35 = -21\text{MPa}$$

Charakteristická kombinace v čase t_0



$$\sigma_{c1} \leq 0,6f_{ck}$$

$$\sigma_{c1} = -12,916\text{MPa} \leq 0,6f_{ck} = 0,6 * 35 = -21\text{MPa}$$

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

$$\sigma_{c2} = -0,096 \leq f_{ctm} = 3,2\text{MPa}$$

7.1.8 Určení počtu kabelů

Plocha a počet lan

$$A_{p,req} = \frac{N_{p0}}{\sigma_{p,m0}} = \frac{12777,77812}{1296 * 10^3} = 9,8594 * 10^{-3}$$

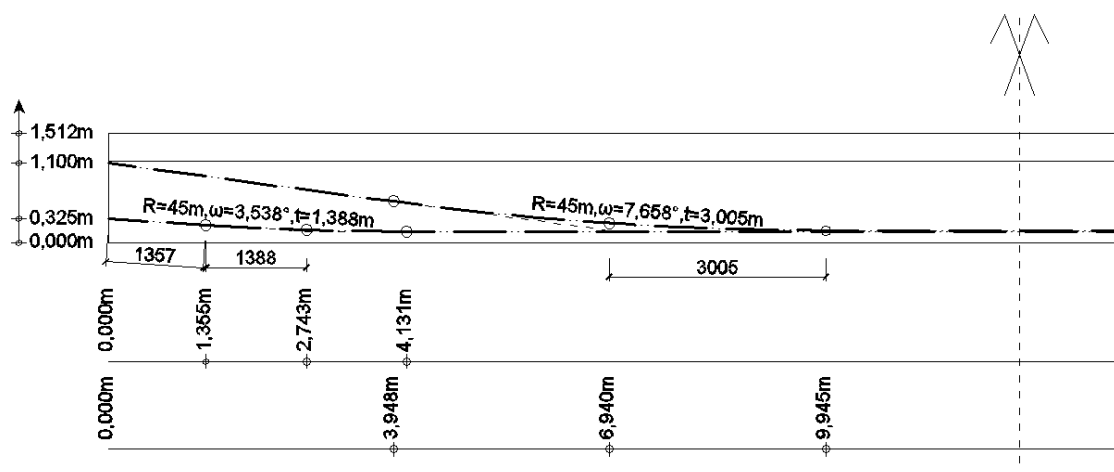
$$n = \frac{A_{p,req}}{A_{p,1}} = \frac{9,8594 * 10^{-3}}{150 * 10^{-6}} = 65,73$$

Navrženo 66 lan/ trám

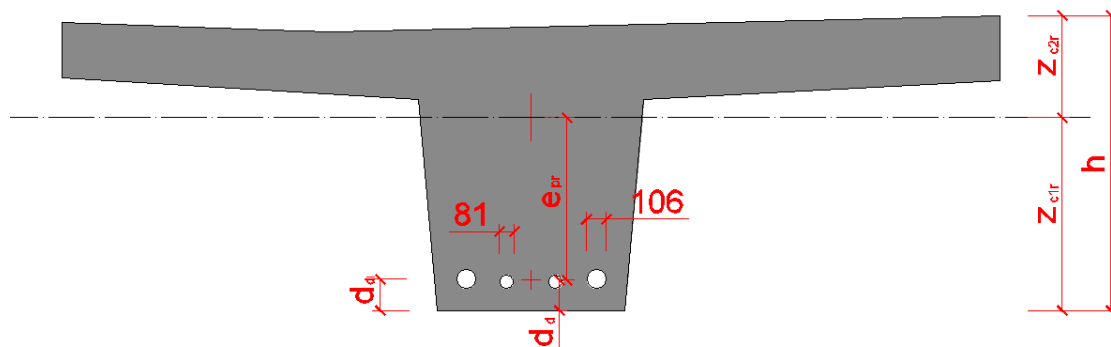
21*2+12*2

7.2 Přesný výpočet

7.2.1 Návrh trasování kabelů



7.2.2 Průřezové charakteristiky



$$A_c = 3,0357\text{m}^2$$

$$A_{d1} = \left(\frac{0,081}{2}\right)^2 * \pi = 0,005153\text{m}^2 \quad A_{d2} = \left(\frac{0,106}{2}\right)^2 * \pi = 0,008825\text{m}^2$$

$$A_d = 2 * 0,008825 + 2 * 0,005153 = 0,028\text{m}^2$$

$$A_{cr} = A_c - A_d = 3,0357 - 0,028 = 3,008\text{m}^2$$

$$d_{d1} = 0,155\text{m}$$

$$d_{d2} = 0,168\text{m}$$

$$d_d = \frac{2A_{d1} * d_{d1} + 2A_{d2} * d_{d2}}{A_d} = \frac{2 * 0,005153 * 0,155 + 2 * 0,008825 * 0,168}{0,028} = 0,163\text{m}$$

$$z_c = 1,033\text{m} \quad \text{z Autocadu}$$

$$z_{c1r} = \frac{A_c * z_c + A_d * d_d}{A_{cr}} = \frac{3,0357 * 1,033 + 0,028 * 0,163}{3,008} = 1,041\text{m}$$

$$z_{c2r} = z_{c1r} - h = 1,575 - 1,041 = 0,534\text{m}$$

$$e_{pr} = z_{c1r} - d_d = 1,041 - 0,163 = 0,878\text{m}$$

$$I_d = 0,5804\text{m}^4 \quad \text{z Autocadu}$$

$$I_d = \sum[A_{di} * (d_{di} - d_d)^2] = 2 * (0,005153 * (0,155 - 0,163)^2) + 2 * (0,008825 * (0,168 - 0,163)^2) = 1,0996 * 10^{-6}$$

$$I_{cr} = I_c - I_d - \frac{A_c A_d (z_{c1r} - d_d)^2}{A_{cr}} = 0,5802 - 1,099 * 10^{-6} - \frac{3,0357 * 0,028 * (1,041 - 0,163)^2}{3,008} = 0,5585\text{m}^4$$

$$W_{c1r} = \frac{I_{cr}}{z_{c1r}} = \frac{0,5585}{1,041} = 0,536\text{m}^3$$

$$W_{c2r} = \frac{I_{cr}}{z_{c2r}} = \frac{0,5585}{0,534} = 1,046\text{m}^3$$

$$J_{1r} = \frac{W_{c2r}}{A_{cr}} = \frac{1,046}{3,008} = 0,348\text{m}$$

$$J_{2r} = \frac{W_{c1r}}{A_{cr}} = \frac{0,536}{3,008} = 0,178\text{m}$$

7.2.3 Časový harmonogram výstavby

Most bude předepnut 1 měsíc po vybetonování, zatížení svrškem bude působit po 7 měsících a do provozu bude uveden po 9 měsících. Doba ošetřování betonu bude 5 dní.

7.2.4 Krátkodobé ztráty předpětí

Krátkodobé ztráty jednotlivých kabelů viz příloha číslo 9.7 a 9.8

1, Třením

$$\Delta\sigma_{p\mu(l/2)} = \frac{n_p^- * \Delta\sigma_{p\mu(l/2)}^- + \hat{n}_p * \Delta\sigma_{p\mu(l/2)}^+}{n_p} = \frac{12 * 2 * (-14,92) + 19 * 2 * (-29,16)}{62} = -23,648\text{MPa}$$

2, Pokluzem

$$\Delta\sigma_{psl(l/2)} = \frac{n_p^- * \Delta\sigma_{psl(l/2)}^- + \hat{n}_p * \Delta\sigma_{psl(l/2)}^+}{n_p} = \frac{12 * 2 * (-46,37) + 19 * 2 * (-43,99)}{62} = -44,911\text{MPa}$$

3, Postupným napínáním

$$P_{msl(l/2)} = \sigma_{psl} A_p = 1371,441 * 10^3 * 62 * 150 * 10^{-6} = 12754,401\text{KN}$$

$$\sigma_{psl} = \sigma_{KOT} - \Delta\sigma_{p\mu(l/2)} - \Delta\sigma_{psl(l/2)} = 1440 - 23,648 - 44,911 = 1371,441\text{MPa}$$

$$\Delta\sigma_{cp(t)} = \frac{-P_{msl(l/2)}}{A_{cr}} (-P_{msl(l/2)} e_{pr}^2) = \frac{-12754,401 * 10^{-3}}{3,008} - 12754,401 * 10^{-3} * 0,878^2 = -14,072\text{MPa}$$

$$\Delta\sigma_{cg_0(t)} = \frac{M_{g_0k} \cdot e_{pr}}{I_{cr}} = \frac{5998,989 \cdot 10^{-3} \cdot 0,878}{0,5585} = 9,431 \text{ MPa}$$

$$\Delta\sigma_{c(t)} = \Delta\sigma_{cp(t)} + \Delta\sigma_{cg_0(t)} = -14,072 + 9,431 = -4,641 \text{ MPa}$$

$$\delta = \frac{n_p - 1}{2n_p} = \frac{62 - 1}{2 \cdot 62} = 0,492$$

$$\Delta\sigma_{petg1} = E_p \frac{\Delta\sigma_{c(t)} \cdot \delta}{E_{cm}} = 195 \cdot \frac{-4,641 \cdot 0,492}{34} = -13,096 \text{ MPa}$$

4, Relaxací výztuže

$$\Delta\sigma_{pr(l/2)} = \frac{n_p^- \cdot \Delta\sigma_{pr(l/2)} + \hat{n}_p \cdot \Delta\sigma_{pr(l/2)}}{n_p} = \frac{12 \cdot 2 \cdot (-4,83) + 19 \cdot 2 \cdot (-4,23)}{62} = -4,462 \text{ MPa}$$

5, Celkem

$$\sigma_{pm0(l/2)} = \sigma_{kot} - \Delta\sigma_{p\mu(l/2)} - \Delta\sigma_{psl(l/2)} - \Delta\sigma_{petg1} - \Delta\sigma_{pr(l/2)} = 1440 - 23,648 - 44,911 - 13,096 - 4,462 = 1357,422 \text{ MPa} \dots 5,73\%$$

Z programu Scia

$$\sigma_{pm0(l/2)} = 1370,518 \text{ MPa}$$

7.2.5 Dlouhodobé ztráty předpětí

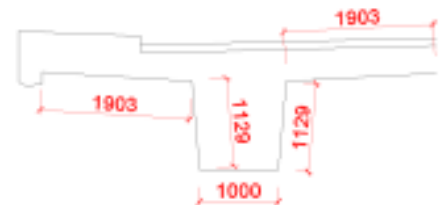
1, Smršťováním betonu

Vysychání

$$h_0 = \frac{2A_c}{u} = \frac{2 \cdot 3,0357}{7,064} = 0,859 \text{ m} > 500 \text{ mm} \rightarrow k_n = 0,7$$

$$u = 1,903 + 1,129 + 1 + 1,129 + 1,903 = 7,064 \text{ m}$$

C	20/25	40/50	60/75
$\varepsilon_{cd,0} [\text{‰}]$	0,30	0,24	0,19



$$\text{Pro C35/45 } \varepsilon_{cd,0} = 0,30 - \frac{0,3-0,24}{40-20} (35 - 20) = 0,255$$

$$\beta_{ds(t,t_s)} = \frac{t - t_s}{(t - t_s) + 0,04 \sqrt{h_0^3}} \quad \beta_{ds(t_i, t_0)} = \beta_{ds(t_i, t_s)} - \beta_{ds(t_0, t_s)}$$

$$\beta_{ds(t_{\infty}, t_s)} = \frac{t_{\infty} - t_s}{(t_{\infty} - t_s) + 0,04 \sqrt{h_0^3}} = \frac{36500 - 5}{(36500 - 5) + 0,04 \cdot \sqrt{859^3}} = 0,97315$$

$$\beta_{ds(t_0, t_s)} = \frac{t_0 - t_s}{(t_0 - t_s) + 0,04 \sqrt{h_0^3}} = \frac{28 - 5}{(28 - 5) + 0,04 \cdot \sqrt{859^3}} = 0,02233$$

$$\beta_{ds(t_{\infty}, t_0)} = \beta_{ds(t_{\infty}, t_s)} - \beta_{ds(t_0, t_s)} = 0,97315 - 0,02233 = 0,9508$$

$$\varepsilon_{cd(t_{\infty}, t_0)} = \beta_{ds(t_{\infty}, t_0)} k_n \varepsilon_{cd,0} = 0,9508 \cdot 0,7 \cdot 0,255 = 0,170 \text{ ‰}$$

Autogenní

$$\varepsilon_{ca}(t, \approx 0) = \beta_{as}(t) \varepsilon_{cd, \infty} \quad \beta_{ca}(t, \approx 0) = 1 - e^{-0,2\sqrt{t}}$$

$$\varepsilon_{ca, \infty} = 2,5(f_{ck} - 10) * 10^{-6} = 2,5 * (35 - 10) * 10^{-6} = 0,0625\text{‰}$$

$$\beta_{as}(t_{\infty}, t_0) = \beta_{as}(t_{\infty}) - \beta_{as}(t_0) = (1 - e^{-0,2\sqrt{t_{\infty}}}) - (1 - e^{-0,2\sqrt{t_0}})$$

$$= (1 - e^{-0,2\sqrt{36500}}) - 1 - e^{-0,2\sqrt{5}} = 0,347$$

$$\varepsilon_{as}(t_{\infty}, t_0) = \beta_{as}(t_{\infty}, t_0) \varepsilon_{ca, \infty} = 0,347 * 0,0625 = 0,0217\text{‰}$$

$$\varepsilon_{cs}(t_{\infty}, t_0) = \varepsilon_{cd}(t_{\infty}, t_0) + \varepsilon_{as}(t_{\infty}, t_0) = 0,170 + 0,0217 = 0,1917\text{‰}$$

$$\Delta\sigma_{p's} = \varepsilon_{cs}(t_{\infty}, t_0) E_p = 0,1917 * 10^{-3} * 195 * 10^3 = -37,382\text{MPa}$$

2, Od ostatního stálého zatížení v čase t_q

$$\Delta\sigma_{pctg1} = \frac{M_{g1k} * e_{pr}}{I_{cr}} * \frac{E_p}{E_{cm}} = \frac{1725,193 * 10^{-3} * 0,878}{0,5585} * \frac{195}{34} = 15,555\text{MPa}$$

$$\Delta P_{metg1} = \Delta\sigma_{pctg1} * A_p = 15,555 * 10^3 * 62 * 150 * 10^{-6} = 144,662\text{KN}$$

3, Dotvarování betonu

Interval (t_{∞} , t_0)

$$\beta_H = 1,5[1 + (0,012R_H)^{18}]h_0 + 250 = 1,5[1 + (0,012 * 80)^{18}] * 859 + 250 = 2156,469$$

$$\beta_H < \alpha_3 1500$$

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

$$2156,469 < 0,902 * 1500 = \underline{1353} \quad \text{rozhoduje menší hodnota}$$

$$\beta_{c(t_{\infty}, t_0)} = \left[\frac{t_{\infty} - t_0}{\beta_H + t_{\infty} - t_0} \right]^{0,3} = \left[\frac{36500 - 28}{1353 + 36500 - 28} \right]^{0,3} = 0,969$$

Z grafu v příloze 9.9 plyne $\varphi_{(t, t_0)} = 1,65$

$$\varphi_{(t_{\infty}, t_0)} = \varphi_{(t, t_0)} * \beta_{c(t_{\infty}, t_0)} = 1,65 * 0,969 = 1,632$$

Interval (t_{∞} , t_g)

$$\beta_H = 1,5[1 + (0,012R_H)^{18}]h_0 + 250 = 1,5[1 + (0,012 * 80)^{18}] * 859 + 250 = 2156,469$$

$$\beta_H < \alpha_3 1500$$

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

$$2156,469 < 0,902 * 1500 = \underline{1353} \quad \text{rozhoduje menší hodnota}$$

$$\beta_{c(t_{\infty}, t_g)} = \left[\frac{t_{\infty} - t_g}{\beta_H + t_{\infty} - t_g} \right]^{0,3} = \left[\frac{36500 - 196}{1353 + 36500 - 196} \right]^{0,3} = 0,989$$

Z grafu v příloze 9.9 plyne $\varphi_{(t, t_0)} = 1,5$

$$\varphi_{(t_{\infty}, t_g)} = \varphi_{(t, t_0)} * \beta_{c(t_{\infty}, t_g)} = 1,5 * 0,989 = 1,484$$

$$\begin{aligned}\Delta\sigma_{pQc'(t_0)} &= \frac{-P_{m,0}}{A_{cr}} - \frac{-P_{m,0} * e_{pr}^2}{I_{cr}} + \frac{M_{g_0k} * e_{pr}}{I_{cr}} = \\ &= \left(\frac{-12624,025}{3,008} - \frac{12624,025 * 0,878^2}{0,5585} + \frac{5998,989 * 0,878}{0,5585} \right) * 10^{-3} \\ &= -12,191 \text{ MPa}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta\sigma_{pQc'(t_g)} &= \frac{-\Delta P_{metg1}}{A_{cr}} - \frac{\Delta P_{metg1} * e_{pr}^2}{I_{cr}} + \frac{M_{g_1k} * e_{pr}}{I_{cr}} = \\ &= \left(\frac{-144,662}{3,008} - \frac{144,662 * 0,878^2}{0,5585} + \frac{1725,193 * 0,878}{0,5585} \right) * 10^{-3} \\ &= 2,464 \text{ MPa}\end{aligned}$$

$$\Delta\sigma_{pc'(t_0, t_g)} = \varphi(t_{\infty}, t_g) \frac{\Delta\sigma_{pQc'}}{E_{cm}} E_p = 1,484 \frac{-12,191}{34} 195 = -103,760 \text{ MPa}$$

$$\Delta\sigma_{pc'(t_0, t_{\infty})} = \varphi(t_{\infty}, t_0) \frac{\Delta\sigma_{pQc'}}{E_{cm}} E_p = 1,632 \frac{2,464}{34} 195 = 23,063 \text{ MPa}$$

4, Relaxací oceli

$$\Delta\sigma_{pr} = k_R \sigma_{pr}$$

$$k_{R(t_{\infty}, t_0)} = k_{R(t_{\infty}, t_i)} - k_{R(t_0, t_i)}$$

$$\begin{aligned}k_{R(t_1, t_{\infty})} &= -0,66 * 10^{-5} * \rho_{1000} * e^{9,09\mu} \left(\frac{t}{1000} \right)^{0,75(1-\mu)} = \\ &= -0,66 * 10^{-5} * 2,5 * e^{9,09*0,737} \left(\frac{500000}{1000} \right)^{0,75(1-0,737)} = -4,564 * 10^{-2}\end{aligned}$$

$$\sigma_{pr} = \sigma_{kot} - \Delta\sigma_{p\mu} - \Delta\sigma_{psl} = 1440 - 23,648 - 44,911 = 1371,441 \text{ MPa}$$

$$\mu = \frac{\sigma_{pr}}{f_{pk}} = \frac{1371,441}{1860} = 0,737$$

$$\begin{aligned}k_{R(t_1, t_0)} &= -0,66 * 10^{-5} * \rho_{1000} * e^{9,09\mu} \left(\frac{t}{1000} \right)^{0,75(1-\mu)} = \\ &= -0,66 * 10^{-5} * 2,5 * e^{9,09*0,737} \left(\frac{672}{1000} \right)^{0,75(1-0,737)} = -1,239 * 10^{-2}\end{aligned}$$

$$k_{R(t_{\infty}, t_0)} = -4,564 * 10^{-2} - (-1,239 * 10^{-2}) = -3,325 * 10^{-2}$$

$$\Delta\sigma_{pr} = -3,325 * 10^{-2} * 1371,441 = -45,600 \text{ MPa}$$

5, Od nahodilého zatížení v čase t_q

$$\Delta\sigma_{pctq1, LM1, char} = \frac{M_{q1LM1, ch} * e_{pr}}{I_{cr}} * \frac{E_p}{E_{cm}} = \frac{5959,721 * 10^{-3} * 0,878}{0,5585} * \frac{195}{34} = 53,734 \text{ MPa}$$

$$\Delta\sigma_{pctq1, LM1, častá} = \frac{M_{q1LM1, č} * e_{pr}}{I_{cr}} * \frac{E_p}{E_{cm}} = \frac{3641,673 * 10^{-3} * 0,878}{0,5585} * \frac{195}{34} = 32,834 \text{ MPa}$$

$$\Delta\sigma_{pctq1, LM3} = \frac{M_{q1LM3} * e_{pr}}{I_{cr}} * \frac{E_p}{E_{cm}} = \frac{5703,836 * 10^{-3} * 0,878}{0,5585} * \frac{195}{34} = 51,427 \text{ MPa}$$

7.2.6 Výsledné hodnoty ztrát

$$v_{c,r} = \frac{E_p A_p}{E_{cm} A_c} = \frac{195 * 62 * 150 * 10^{-6}}{34 * 3,0357} = 1,757 * 10^{-2}$$

$$\psi_{c,r} = v_{c,r} \left(1 + \frac{A_c}{I_0} e_{pr}^2 \right) = 1,757 * 10^{-2} * \left(1 + \frac{3,0357}{0,5802} 0,878^2 \right) = 8,844 * 10^{-2}$$

$$\Delta \sigma_{p,c+r+s(t_i,x)} = \frac{\varepsilon_{cs} E_p + 0,8 * \Delta \sigma_{pr} + \frac{E_p}{E_{cm}} \varphi(t, t_i) \Delta \sigma_{pQC'}}{1 + \psi_{c,r} (1 + 0,8 \varphi(t, t_i))}$$

$$\Delta \sigma_{p,c+r+s(t_g, l/2)} = \frac{-37,382 + 0,8 * (-45,600) + 23,063}{1 + 8,844 * 10^{-2} * (1 + 0,8 * 1,484)} = -42,565 \text{ MPa}$$

$$\Delta \sigma_{p,c+r+s(t_{\infty}, l/2)} = \frac{-37,382 + 0,8 * (-45,600) - 103,760}{1 + 8,844 * 10^{-2} * (1 + 0,8 * 1,632)} = -147,538 \text{ MPa}$$

$$t_0: \sigma_{pm0} = 1357,422 \text{ MPa}$$

$$t_g^-: \sigma_{pm0} + \Delta \sigma_{p,c+r+s(t_g, l/2)} = 1357,422 - 42,565 = 1314,857 \text{ MPa}$$

$$t_g^+: \sigma_{pm0} + \Delta \sigma_{pctg1} = 1314,857 + 15,555 = 1330,412 \text{ MPa}$$

$$t_{\infty}: \sigma_{pm0} + \Delta \sigma_{pctg1} + \Delta \sigma_{p,c+r+s(t_{\infty}, l/2)} = 1357,422 + 15,555 - 147,538 = 1225,459 \text{ MPa}$$

$$t_{\infty}^-: \sigma_{pm\infty} + \Delta \sigma_{pctq1} = 1225,459 + 53,734 = 1279,193 \text{ MPa}$$

$$1225,459 + 32,834 = 1258,293 \text{ MPa}$$

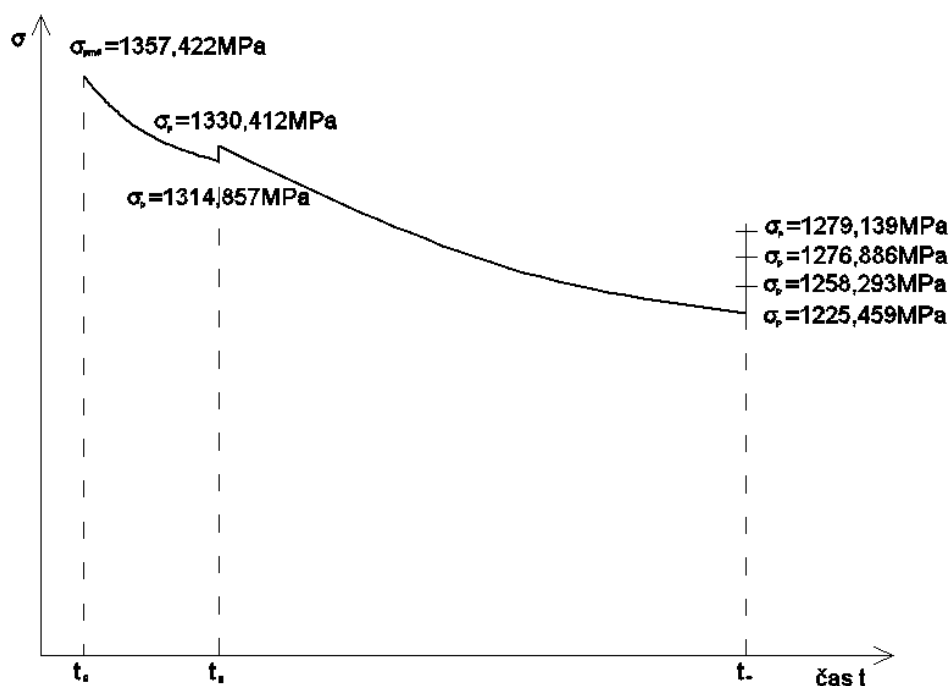
$$1225,459 + 51,427 = 1276,886 \text{ MPa}$$

$$1357,422 \text{ MPa} \quad 1225,459 \text{ MPa} \dots\dots\dots 9,72\%$$

Do kombinace v softwaru včetně ztráty postupným napínáním

$$1370,518 \text{ MPa} \quad 1225,459 \text{ MPa} \dots\dots\dots 10,58\%$$

Časový průběh ztrát



7.2.7 Mezní stav použitelnosti

$$P_{m,t0} = \sigma_{m,t0} A_p = 1357,422 \cdot 10^3 \cdot 62 \cdot 150 \cdot 10^{-6} = 12624,025 \text{ kN}$$

$$P_{m,t\infty} = \sigma_{m,t\infty} A_p = 1225,459 \cdot 10^3 \cdot 62 \cdot 150 \cdot 10^{-6} = 11396,767 \text{ kN}$$

$$P_{kt,sup} = r \cdot P_{m,t0} = 1,0 \cdot 12624,025 = 12624,025 \text{ kN}$$

$$P_{kt,inf} = r \cdot P_{m,t\infty} = 1,0 \cdot 11396,767 = 11396,767 \text{ kN} \quad (\text{proveden protokol o napínání})$$

Omezení napětí

Průběhy vnitřních sil od jednotlivých zatížení viz přílohy číslo 9.1 a 9.2

Čas napínání t_0

- dolní vlákna

$$\sigma_{c1} = -\frac{N_p}{A_{cr}} - \frac{M_p}{w_1} + \frac{M_{gk}}{w_1} = \left(-\frac{0,99 \cdot 12745,813}{3,008} - \frac{0,99 \cdot 11091,004}{0,536} + \frac{5998,989}{0,536} \right) \cdot 10^{-3} \\ = -13,491 \text{ MPa}$$

- horní vlákna

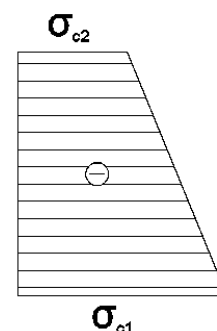
$$\sigma_{c2} = -\frac{N_p}{A_{cr}} + \frac{M_p}{w_2} - \frac{M_{gk}}{w_2} = \left(-\frac{0,99 \cdot 12745,813}{3,008} + \frac{0,99 \cdot 11091,004}{1,046} - \frac{5998,989}{1,046} \right) \cdot 10^{-3} \\ = -7,302 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c1} \leq 0,6f_{ck}$$

$$\sigma_{c1} = -13,491 \text{ MPa} < 0,6f_{ck} = 0,6 \cdot 35 = -21 \text{ MPa}$$

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

$$\sigma_{c2} = -7,302 < f_{ctm} = 3,2 \text{ MPa}$$

**Čas životnosti t_∞ charakteristická kombinace**

- dolní vlákna

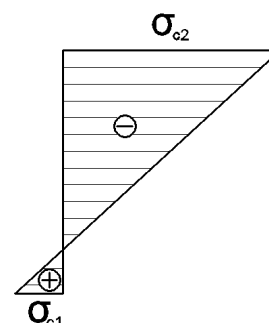
$$\sigma_{c1} = -\frac{N_p}{A_{cr}} - \frac{M_p}{w_1} + \frac{M_{Fk}}{w_1} = \left(-\frac{0,89 \cdot 12745,813}{3,008} - \frac{0,89 \cdot 11091,004}{0,536} + \frac{13683,903}{0,536} \right) \cdot 10^{-3} \\ = +3,192 \text{ MPa}$$

- horní vlákna

$$\sigma_{c2} = -\frac{N_p}{A_{cr}} + \frac{M_p}{w_2} - \frac{M_{Fk}}{w_2} = \left(-\frac{0,89 \cdot 12745,813}{3,008} + \frac{0,89 \cdot 11091,004}{1,046} - \frac{13683,903}{1,046} \right) \cdot 10^{-3} \\ = -14,50 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c2} \leq 0,6f_{ck}$$

$$\sigma_{c2} = -14,50 \text{ MPa} < 0,6f_{ck} = 0,6 \cdot 35 = -21 \text{ MPa}$$



Čas životnosti t_{∞} častá kombinace

- dolní vlákna

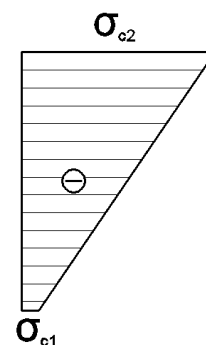
$$\sigma_{c1} = -\frac{N_p}{A_{cr}} - \frac{M_p}{w_1} + \frac{M_{Fk\psi 1}}{w_1} = \left(-\frac{0,89 * 12745,813}{3,008} - \frac{0,89 * 11091,004}{0,536} + \frac{11365,854}{0,536} \right) * 10^{-3} = -1,089 \text{ MPa}$$

- horní vlákna

$$\sigma_{c2} = -\frac{N_p}{A_{cr}} + \frac{M_p}{w_2} - \frac{M_{Fk\psi 1}}{w_2} = \left(-\frac{0,89 * 12745,813}{3,008} + \frac{0,89 * 11091,004}{1,046} - \frac{11365,854}{1,046} \right) * 10^{-3} = -12,281 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c1} \leq 0$$

$$\sigma_{c1} = -1,089 \text{ MPa} < 0$$

**Čas životnosti t_{∞} kvazistálá kombinace**

- dolní vlákna

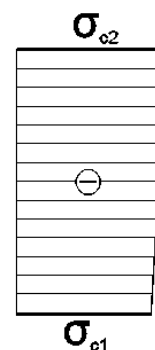
$$\sigma_{c1} = -\frac{N_p}{A_{cr}} - \frac{M_p}{w_1} + \frac{M_{Fk\psi 2}}{w_1} = \left(-\frac{0,89 * 12745,813}{3,008} - \frac{0,89 * 11091,004}{0,536} + \frac{7224,182}{0,536} \right) * 10^{-3} = -7,878 \text{ MPa}$$

- horní vlákna

$$\sigma_{c2} = -\frac{N_p}{A_{cr}} + \frac{M_p}{w_2} - \frac{M_{Fk\psi 2}}{w_2} = \left(-\frac{0,89 * 12745,813}{3,008} + \frac{0,89 * 11091,004}{1,046} - \frac{7224,182}{1,046} \right) * 10^{-3} = -8,799 \text{ MPa}$$

$$\sigma_c \leq 0,45 f_{ck}$$

$$\sigma_c = -8,799 < 0,45 * 35 = 15,75 \text{ MPa}$$

**V předpínací výztuži**

$$\sigma_p \leq 0,75 f_{pk}$$

$$1357,422 \text{ MPa} < 0,75 * 1860 = 1395 \text{ MPa}$$

$$\sigma_c \leq f_{ct,ef} \quad f_{ct,ef} = f_{ctm} = 3,2 \text{ MPa}$$

$$3,192 \text{ MPa} < 3,2 \text{ MPa} \rightarrow \text{Neporušený průřez}$$

Omezení trhlin

Pro třídu prostředí XF - požadavek stavu dekomprese pro častou kombinaci Z předešlého plyne, že trhliny od časté kombinace zatížení nevzniknou.

Omezení přetvoření

Průběhy průhybů od jednotlivých zatížení viz příloha číslo 9.6

Průhyb v čase napínání t_0 od

-vlastní tíhy

$$v_{st,g0} = +21,0\text{mm}$$

- předpětí ($\sigma_{0,s}$ je hodnota ze softwaru, σ_{pm0} je skutečná hodnota napětí)

$$\frac{\sigma_{pm0}}{\sigma_{0,s}} = \frac{1357,422}{1370,518} = 0,9904$$

$$v_{st,p0} = -41,7 * 0,9904 = -41,3\text{mm} \quad \text{zohlednění ztráty postupným napínáním}$$

$$v_{st,0} = v_{st,g0} + v_{st,p0} = 21,0 - 41,3 = -20,3\text{mm}$$

Průhyb v čase životnosti t_∞ od

-vlastní tíhy

$$v_{st,g0} + v_{lt,g0} = v_{st,g0} + v_{st,g0} * \varphi(t_\infty, t_0) = 21,0 + 21,0 * 1,632 = 55,27\text{mm}$$

- ostatního stálého

$$v_{st,g1} + v_{lt,g1} = v_{st,g1} + v_{st,g1} * \varphi(t_\infty, t_g) = 6,1 + 6,1 * 1,484 = 15,15\text{mm}$$

- předpětí

$$\sigma' = \sigma_0 - \frac{3}{4}(\sigma_0 - \sigma_\infty) = 1357,422 - \frac{3}{4} * (1357,422 - 1225,459) = 1258,450\text{MPa}$$

$$\frac{\sigma_{pm0}}{\sigma_{0,s}} = \frac{1258,450}{1370,518} = 0,918$$

$$v_{st,p'} = -41,7 * 0,918 = -38,29\text{mm}$$

$$v_{st,p0} + v_{lt,p'} = v_{st,p0} + v_{st,p'} * \varphi(t_\infty, t_0) = -41,3 - 38,29 * 1,632 = -103,79\text{mm}$$

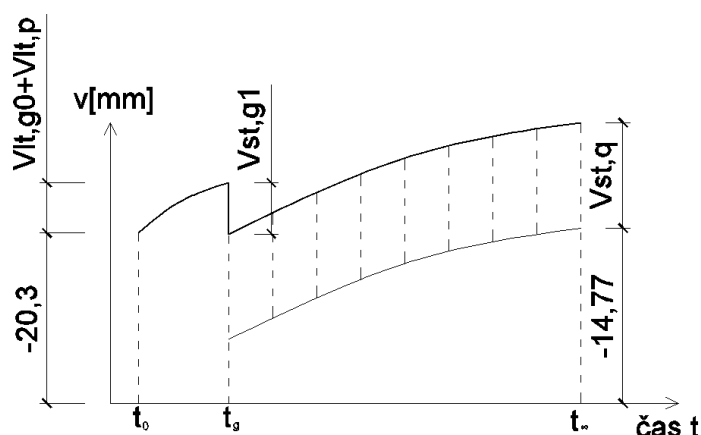
-zatížení dopravou

$$v_{st,q} = 18,6\text{mm}$$

$$v_{lt,\infty} = v_{st,g0} + v_{lt,g0} + v_{st,g1} + v_{lt,g1} + v_{st,p0} + v_{lt,p'} = 55,272 + 15,152 - 103,79$$

$$v_{lt,\infty} = -33,37\text{mm}$$

$$v_{lt,g0} + v_{lt,p'} = 21 * 1,632 - 38,29 * 1,632 = -28,22\text{mm}$$



7.2.8 Mezní stav únosnosti

Průběhy vnitřních sil od zatížení viz přílohy číslo 9.3 a 9.4

V čase životnosti t_{∞} , v $l/2$ rozpětí, charakteristická kombinace zatížení

Základní napětí

$$\sigma_{pc} = -\frac{N_{Ek}}{A_{cr}} + \frac{M_{Ek}}{I_{1cr}} e_{pr} = \left(-\frac{11603,553}{3,008} + \frac{3769,544 * 0,878}{0,5585} \right) * 10^{-3} = 2,067 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{p\infty}^0 = \sigma_{pt} - \frac{E_p}{E_{cm}} \sigma_{pc} = 1279,193 - \frac{195}{34} * 2,067 = 1267,338 \text{ MPa}$$

Vnitřní síly

$$N_{Ed} = 11673,533 \text{ KN}$$

$$M_{Ed} = 6997,626 \text{ KNm}$$

$$e_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{N_{Ed}} = \frac{6997,626}{11673,533} = 0,599 \text{ m}$$

Výška tlačené oblasti

$$\varepsilon_p^0 = \frac{\sigma_{p\infty}^0}{E_p} = \frac{1267,338}{195 * 10^3} = 6,499\text{‰}$$

$$\varepsilon_{pd} = \frac{f_{pd}}{E_p} = \frac{1391,304}{195 * 10^3} = 7,135\text{‰}$$

$$\Delta\sigma = f_{pd} - \sigma_{p\infty}^0 = 1391,304 - 1267,338 = 123,966 \text{ MPa}$$

Uvažuji pracovní diagram předpínací výztuže se stoupající větví

$$\varepsilon_{cu} = 3,5\text{‰} \quad \varepsilon_{ud} = 20\text{‰}$$

$$N_{Ed} = N_{Rd}$$

$$N_{Ed} = F_{cc} - \Delta F_{p1} - \Delta F_{p2}$$

$$F_{cc} = A_{cc} * f_{cd}$$

$$A_{cc} = A_{cc,obd} + A_{cc,tr}$$

$$A_{cc} = (x * 0,8 - h_{tr}) * 5 + A_{cc,tr}$$

$$A_{cc,tr} = A_{tr1} + A_{tr2} = 0,196681 \text{ m}^2$$

$$\Delta F_{p1} = \Delta\sigma_{p1} * A_{p1} \quad \Delta F_{p2} = \Delta\sigma_{p2} * A_{p2}$$

$$\Delta\sigma_{p1} = f_{pk}/\gamma_s - \sigma_{p\infty}^0 = 1860/1,15 - 1267,338 = 350,053 \text{ MPa}$$

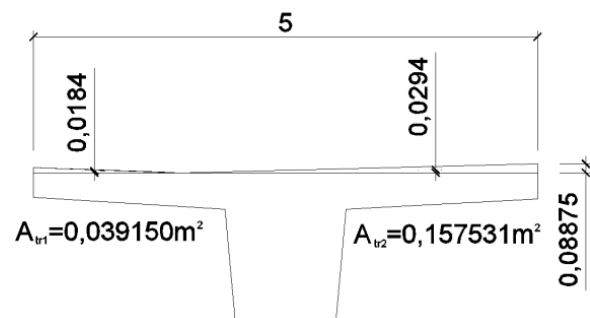
$$\Delta\sigma_{p2} = \Delta\sigma + \frac{f_{pk} - f_{pd}}{\varepsilon_{ud} - \varepsilon_{pd}} * (\varepsilon_{p2} - (\varepsilon_{pd} - \varepsilon_p^0))$$

$$A_{p1} = 12 * 2 * 150 * 10 - 6 = 0,0036 \text{ m}^2$$

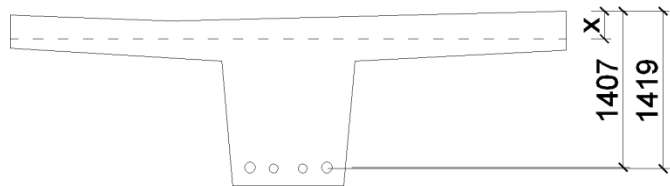
$$A_{p2} = 19 * 2 * 150 * 10 - 6 = 0,0057 \text{ m}^2$$

$$F_{cc} = N_{Ed} + \Delta F_{p1} + \Delta F_{p2}$$

$$\varepsilon_{p1} = \frac{\varepsilon_{cu} * (h_1 - x)}{x}$$



$$\varepsilon_{p2} = \frac{\varepsilon_{cu} * (h_2 - x)}{x}$$



Postupným volením hodnoty x tak, aby byla splněna silová podmínka rovnováhy je zjištěno, že $x = 0,250\text{m}$

$$\varepsilon_{p1} = \frac{\varepsilon_{cu} * (h_1 - x)}{x} = \frac{3,5 * (1,419 - 0,25)}{0,25} = 16,366\text{‰}$$

$$\varepsilon_{p1} + \varepsilon_p^0 \leq \varepsilon_{ud}$$

$$16,366 + 6,499 = 22,865\text{‰} > 20\text{‰}$$

Není splněna podmínka maximálního poměrného přetvoření ve výztuži, proto je nutno uvažovat, že poměrné přetvoření v betonu bude menší než hodnota $\varepsilon_{cu} = 3,5\text{‰}$ a dojde k **tlakovému porušení** viz příloha č 9.11

$$\text{Volím } \varepsilon_{p1} = \varepsilon_{ud} - \varepsilon_p^0 = 20 - 6,499 = 13,501\text{‰}$$

Postupným volením zjistím, že $x = 0,24977\text{m}$

$$\varepsilon_{cu} = \frac{\varepsilon_{p1} * x}{(h_1 - x)} = \frac{13,501 * 0,24977}{(1,419 - 0,24977)} = 2,884\text{‰}$$

$$\varepsilon_{p2} = \frac{\varepsilon_{p1}}{(h_1 - x)} (h_2 - x) = \frac{13,501}{(1,419 - 0,24977)} * (1,409 - 0,24977) = 13,362\text{‰}$$

$$\Delta\sigma_{p1} = 350,053\text{MPa}$$

$$\Delta\sigma_{p2} = 123,966 + \frac{\frac{1860}{1,15} - 1391,304}{20 - 6,499} * (13,362 - (7,135 - 6,499)) = 347,618\text{MPa}$$

$$\Delta F_{p1} = 350,053 * 103 * 0,0036 = 1260,191\text{KN}$$

$$\Delta F_{p2} = 347,618 * 103 * 0,0057 = 1981,422\text{KN}$$

$$A_{cc} = (0,24977 * 0,8 - 0,08875) * 5 + 0,03915 + 0,157531 = 0,752\text{m}^2$$

$$F_{cc} = 0,752 * 19,833 * 103 = 14915,143\text{KN}$$

$$N_{Rd} = 14915,143 - 1260,191 - 1981,422 = 11673,533\text{KN} = N_{Ed}$$

$$A_{cc,obd} = A_{cc} - A_{cc,tr} = 0,752 - 0,1967 = 0,555\text{m}^2$$

$$c_{cg} = \frac{A_{tr1}(z_{tr1} + h_{tr}) + A_{tr2}(z_{tr2} + h_{tr}) + A_{cc,obd}(A_{cc,obd}/2)}{A_{cc}}$$

$$= \frac{0,03915 * (0,0184 + 0,08875) + 0,157531 * (0,0294 + 0,08875) + 0,555 * (0,555/2)}{0,752}$$

$$= 0,0772\text{m}$$

$$z_{cc} = h - z_{c1r} - x * 0,8 + c_{cg} = 1,575 - 1,041 - 0,24977 * 0,8 + 0,0772 = 0,411\text{m}$$

$$z_{c1} = 0,889\text{m} \quad z_{c2} = 0,876\text{m}$$

$$M_{Rd} = F_{cc}z_{cc} + \Delta F_{p1}z_{c1} + \Delta F_{p2}z_{c2} = 14915,143 * 0,411 + 1260,191 * 0,889 + 1981,422 * 0,876 = 8991,436\text{KNm}$$

$$M_{Rd} = 9881,436\text{KNm} > M_{Ed} = 6997,626\text{KNm}$$

7.2.9 Smyk

Průběhy vnitřních sil viz příloha číslo 9.4

Určení rozhraní vzniku trhlin

- dolní vlákna

$$\sigma_{c1} = -\frac{N_{Ed}}{A_{cr}} + \frac{M_{Ed}}{W_{1cr}} = \left(-\frac{10650,406}{3,008} + \frac{-3056,859}{0,536} \right) * 10^{-3} = -9,240 \text{ MPa}$$

- horní vlákna

$$\sigma_{c2} = -\frac{N_{Ed}}{A_{cr}} - \frac{M_{Ed}}{W_{1cr}} = \left(-\frac{10650,406}{3,008} - \frac{-3056,859}{1,046} \right) * 10^{-3} = -0,618 \text{ MPa}$$

průřez 1/8 rozpětí

- dolní vlákna

$$\sigma_{c1} = -\frac{N_{Ed}}{A_{cr}} + \frac{M_{Ed}}{W_{1cr}} = \left(-\frac{11485,908}{3,008} + \frac{1335,250}{0,536} \right) * 10^{-3} = -1,330 \text{ MPa}$$

- horní vlákna

$$\sigma_{c2} = -\frac{N_{Ed}}{A_{cr}} - \frac{M_{Ed}}{W_{1cr}} = \left(-\frac{11485,908}{3,008} - \frac{1335,250}{1,046} \right) * 10^{-3} = -5,095 \text{ MPa}$$

průřez 2/8 rozpětí

- dolní vlákna

$$\sigma_{c1} = -\frac{N_{Ed}}{A_{cr}} + \frac{M_{Ed}}{W_{1cr}} = \left(-\frac{11566,907}{3,008} + \frac{4022,062}{0,536} \right) * 10^{-3} = +3,652 \text{ MPa}$$

- horní vlákna

$$\sigma_{c2} = -\frac{N_{Ed}}{A_{cr}} - \frac{M_{Ed}}{W_{1cr}} = \left(-\frac{11566,907}{3,008} - \frac{4022,062}{1,046} \right) * 10^{-3} = -7,691 \text{ MPa}$$

průřez 3/8 rozpětí

- dolní vlákna

$$\sigma_{c1} = -\frac{N_{Ed}}{A_{cr}} + \frac{M_{Ed}}{W_{1cr}} = \left(-\frac{11669,862}{3,008} + \frac{6021,845}{0,536} \right) * 10^{-3} = +7,346 \text{ MPa}$$

- horní vlákna

$$\sigma_{c2} = -\frac{N_{Ed}}{A_{cr}} - \frac{M_{Ed}}{W_{1cr}} = \left(-\frac{11669,862}{3,008} - \frac{6021,845}{1,046} \right) * 10^{-3} = -9,637 \text{ MPa}$$

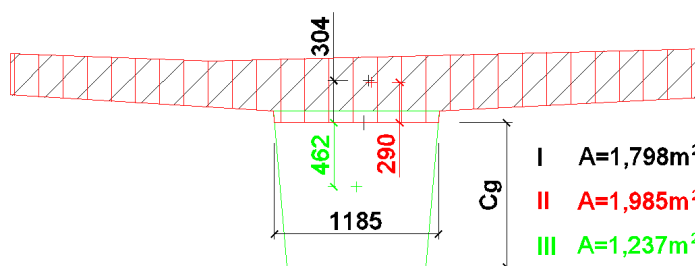
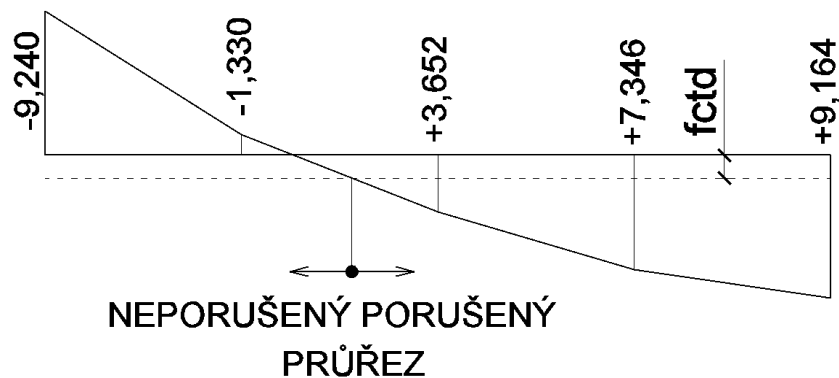
průřez 4/8 rozpětí

- dolní vlákna

$$\sigma_{c1} = -\frac{N_{Ed}}{A_{cr}} + \frac{M_{Ed}}{W_{1cr}} = \left(-\frac{11673,533}{3,008} + \frac{6997,626}{0,536} \right) * 10^{-3} = +9,164 \text{ MPa}$$

- horní vlákna

$$\sigma_{c2} = -\frac{N_{Ed}}{A_{cr}} - \frac{M_{Ed}}{W_{1cr}} = \left(-\frac{11673,533}{3,008} - \frac{6997,626}{1,046} \right) * 10^{-3} = -10,571 \text{ MPa}$$



Statické momenty

$$S_I = A_I \cdot z_I = 1,798 \cdot 0,304 = 0,574 \text{ m}^3$$

$$S_{II} = A_{II} \cdot z_{II} = 1,985 \cdot 0,290 = 0,576 \text{ m}^3$$

$$S_{III} = A_{III} \cdot z_{III} = 1,798 \cdot 0,304 = 0,572 \text{ m}^3$$

Rozhoduje nejvyšší hodnota S_{II} – průřez v těžišti

Únosnost v jednotlivých řezech

podporový průřez 0 - neporušený

$$V_{Rd,c} = \frac{I_{cr} b_w}{S} \sqrt{f_{ctd}^2 + \alpha_l \sigma_{cd} f_{ctd}} = \frac{0,5585 \cdot 1,185}{0,576} \sqrt{((1,467 \cdot 10^3)^2 + 1(3,541 \cdot 1,467)10^3)} = 3115,965 \text{ kN}$$

$$\sigma_{cd} = -\frac{N_{Ed}}{A_{cr}} + \frac{M_{Ed}}{I_{1cr}} h_{II} = \left(-\frac{10650,406}{3,008} + \frac{-3022,859}{0,5585} \cdot 0 \right) \cdot 10^{-3} = -3,541 \text{ MPa}$$

$$V_{Rd,c} = 3115,965 \text{ kN} < V_{Ed} = 1676,304 \text{ kN} \rightarrow \text{smyková výztuž konstrukčně}$$

průřez 1/8 rozpětí - neporušený

$$V_{Rd,c} = \frac{I_{cr} b_w}{S} \sqrt{f_{ctd}^2 + \alpha_l \sigma_{cd} f_{ctd}} = \frac{0,5585 \cdot 1,185}{0,576} \sqrt{((1,467 \cdot 10^3)^2 + 1(3,818 \cdot 1,467)10^3)} = 3200,979 \text{ kN}$$

$$\sigma_{cd} = -\frac{N_{Ed}}{A_{cr}} + \frac{M_{Ed}}{I_{1cr}} h_{II} = \left(-\frac{11485,908}{3,008} + \frac{1335,250}{0,5585} \cdot 0 \right) \cdot 10^{-3} = -3,818 \text{ MPa}$$

$$V_{Rd,c} = 3200,979 \text{ kN} < V_{Ed} = 1169,809 \text{ kN} \rightarrow \text{smyková výztuž konstrukčně}$$

průřez 2/8 rozpětí - porušený

$$V_{Rd,c} = V_{Rd,cm} + V_{Rd,cn}$$

$$V_{Rd,cm} = C_{Rd,c} k (100 \cdot \rho_e f_{ck})^{1/3} b_w d$$

$$C_{Rd,c} = \frac{0,18}{\gamma_c} = \frac{0,18}{1,5} = 0,12$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{1346}} = 1,385 < 2 \quad \text{hodnotu } d \text{ uvažují k přímému kabelu}$$

$$\rho_e = \frac{A_{sl}}{b_w d} = \frac{12 \cdot 2 \cdot 150 \cdot 10^{-6}}{0,581 \cdot 1,346} = 4,603 \cdot 10^{-3}$$

$$b_w = b_w - 1,2 \sum \emptyset = 1,03 - 1,2 \cdot 2 \cdot (0,106 + 0,081) = 0,581 \text{ m}$$

v nejnepriznivějši poloze

$$V_{Rd,cm} = 0,12 \cdot 1,385 \cdot (100 \cdot 4,603 \cdot 10^{-3} \cdot 35)^{1/3} \cdot 581 \cdot 1346 \cdot 10^{-3} = 328,263 \text{ KN}$$

$$V_{Rd,cn} = k_1 \sigma_{cd} b_w d$$

$$\sigma_{cd} = -\frac{N_{Ed}}{A_{cr}} + \frac{M_{Ed}}{I_{1cr}} h_{II} = \left(-\frac{11566,907}{3,008} + \frac{4022,062}{0,5585} \cdot 0 \right) \cdot 10^{-3} = -3,845 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{cd} = -3,845 \text{ MPa} < 0,2 f_{cd} = 0,2 \cdot 19,833 = 3,967 \text{ MPa}$$

$$V_{Rd,cn} = 0,15 \cdot 3,845 \cdot 10^3 \cdot 0,581 \cdot 1,346 = 451,033 \text{ KN}$$

$$V_{Rd,c} = 328,263 + 451,033 = 779,296 \text{ KN}$$

$$V_{Rd,c} > V_{Rd,c,min}$$

$$V_{Rd,c,min} = (v_{min} + k_1 \sigma_{cd}) b_w d = (0,338 + 0,15 \cdot 3,845) \cdot 518 \cdot 1346 \cdot 10^{-3} = 637,779 \text{ KN}$$

$$v_{min} = 0,035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} = 0,035 \cdot 1,385^{3/2} \cdot 35^{1/2} = 0,338$$

$$V_{Rd,c} = 779,296 \text{ KN} > V_{Rd,c,min} = 637,779 \text{ KN}$$

$$V_{Rd,c} = 779,296 \text{ KN} < V_{Ed} = 969,814 \text{ KN} \rightarrow \text{nutno návrhnout smykovou výztuž}$$

Podle konstrukčních zásad – minimální stupeň vyztužení

$$\rho_{min} = \frac{0,08 \sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} = \frac{0,08 \cdot \sqrt{35}}{550} = 8,605 \cdot 10^{-4}$$

$$\rho_w = \frac{A_{sw}}{s \cdot b_w \cdot \sin \alpha}$$

$$\rightarrow A_{sw} = \rho_w \cdot s \cdot b_w \cdot \sin \alpha = 8,605 \cdot 10^{-4} \cdot 0,15 \cdot 1,185 \cdot \sin 90 = 1,53 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

volím úhel tlakové diagonály

$$\text{Navržen 4 střižný třmínek } \emptyset R8 \text{ á } 150 \text{ mm } A_{sw} = 2,01 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} z \cdot \cotg \theta \cdot f_{yw} = \frac{2,01 \cdot 10^{-4}}{0,15} \cdot 0,9 \cdot 1,346 \cdot \cotg 30 \cdot 478,261 \cdot 10^3 = 1344,677 \text{ KN}$$

$$V_{Rd,s} = 1344,677\text{KN} > V_{Ed} = 969,814\text{KN}$$

$$V_{Rd,max} = \frac{\alpha_{cw} v_1 f_{cd} b_w z}{\cot \theta + \tan \theta} =$$

$$\sigma_{cp} = -\frac{N_{Ed}}{A_{cr}} = \left(-\frac{11566,907}{3,008} \right) * 10^{-3} = -3,845\text{MPa}$$

$$\sigma_{cp} < 0; \frac{1}{4} f_{cd} > = < 0; \frac{1}{4} 19,833 > = < 0; 4,958 >$$

$$\rightarrow \alpha_{cw} = 1 + \frac{\sigma_{cp}}{f_{cd}} = 1 + \frac{3,845}{19,833} = 1,194$$

$$v_1 = v = 0,6 \left(1 - \frac{f_{ck}}{250} \right) = 0,6 \left(1 - \frac{35}{250} \right) = 0,516$$

$$V_{Rd,max} = \frac{1,194 * 0,516 * 19,833 * 10^3 * 0,518 * 0,9 * 1,346}{\cot 30 + \tan 30} = 3320,171\text{KN}$$

$$V_{Rd,max} = 3320,171\text{KN} > V_{Ed} = 969,814\text{KN}$$

průřez 3/8 rozpětí - porušený

$$V_{Rd,c} = V_{Rd,cm} + V_{Rd,cn}$$

$$V_{Rd,cm} = C_{Rd,c} k (100 * \rho_e f_{ck})^{1/3} b_w d$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{1357}} = 1,384 < 2 \quad \text{hodnotu } d \text{ uvažují k přímému kabelu}$$

$$\rho_e = \frac{A_{sl}}{b_w d} = \frac{12 * 2 * 150 * 10^{-6}}{0,581 * 1,357} = 4,566 * 10^{-3}$$

$$V_{Rd,cm} = 0,12 * 1,384 * (100 * 4,566 * 10^{-3} * 35)^{1/3} * 581 * 1357 * 10^{-3} = 329,818\text{KN}$$

$$V_{Rd,cn} = k_1 \sigma_{cd} b_w d$$

$$\sigma_{cd} = -\frac{N_{Ed}}{A_{cr}} + \frac{M_{Ed}}{I_{1cr}} h_{II} = \left(-\frac{11669,862}{3,008} + \frac{6021,845}{0,5585} * 0 \right) * 10^{-3} = -3,880\text{MPa}$$

$$\sigma_{cd} = -3,880\text{MPa} < 0,2 f_{cd} = 0,2 * 19,833 = 3,967\text{MPa}$$

$$V_{Rd,cn} = 0,15 * 3,880 * 10^3 * 0,581 * 1,357 = 458,859\text{KN}$$

$$V_{Rd,c} = 329,818 + 458,859 = 788,677\text{KN}$$

$$V_{Rd,c} > V_{Rd,c,min}$$

$$V_{Rd,c,min} = (v_{min} + k_1 \sigma_{cd}) b_w d = (0,337 + 0,15 * 3,880) * 518 * 1357 * 10^{-3} = 645,989\text{KN}$$

$$v_{min} = 0,035 * k^{3/2} * f_{ck}^{1/2} = 0,035 * 1,384^{3/2} * 35^{1/2} = 0,337$$

$$V_{Rd,c} = 788,677\text{KN} > V_{Rd,c,min} = 645,989\text{KN}$$

$$V_{Rd,c} = 788,677\text{KN} < V_{Ed} = 864,217\text{KN} \rightarrow \text{nutno návrhnout smykovou výztuž}$$

Návržen 4 střížný třmínek Ø R8 á 150mm $A_{sw}=2,01*10^{-4}\text{m}^2$

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{z} \cot \theta * f_{yw} = \frac{2,01 * 10^{-4}}{0,15} * 0,9 * 1,346 * \cot 30 * 478,261 * 10^3$$

$$= 1344,677 \text{ KN}$$

$$V_{Rd,s} = 1344,677 \text{ KN} > V_{Ed} = 864,217 \text{ KN}$$

$$V_{Rd,max} = \frac{\alpha_{cw} v_1 f_{cd} b_w z}{\cot \theta + \tan \theta} =$$

$$\sigma_{cp} = -\frac{N_{Ed}}{A_{cr}} = \left(-\frac{11669,862}{3,008} \right) * 10^{-3} = -3,880 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{cp} < 0; \frac{1}{4} f_{cd} > = < 0; \frac{1}{4} 19,833 > = < 0; 4,958 >$$

$$\rightarrow \alpha_{cw} = 1 + \frac{\sigma_{cp}}{f_{cd}} = 1 + \frac{3,880}{19,833} = 1,196$$

$$v_1 = v = 0,6 \left(1 - \frac{f_{ck}}{250} \right) = 0,6 \left(1 - \frac{35}{250} \right) = 0,516$$

$$V_{Rd,max} = \frac{1,196 * 0,516 * 19,833 * 10^3 * 0,518 * 0,9 * 1,357}{\cot 30 + \tan 30} = 3352,911 \text{ KN}$$

$$V_{Rd,max} = 3352,911 \text{ KN} > V_{Ed} = 864,217 \text{ KN}$$

průřez 4/8 rozpětí - porušený

$$V_{Rd,c} = V_{Rd,cm} + V_{Rd,cn}$$

$$V_{Rd,cm} = C_{Rd,c} k (100 * \rho_e f_{ck})^{1/3} b_w d$$

$$V_{Rd,cm} = 329,818 \text{ KN}$$

$$V_{Rd,cn} = k_1 \sigma_{cd} b_w d$$

$$\sigma_{cd} = -\frac{N_{Ed}}{A_{cr}} + \frac{M_{Ed}}{I_{1cr}} h_{II} = \left(-\frac{11673,533}{3,008} + \frac{6997,626}{0,5585} * 0 \right) * 10^{-3} = -3,881 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{cd} = -3,881 \text{ MPa} < 0,2 f_{cd} = 0,2 * 19,833 = 3,967 \text{ MPa}$$

$$V_{Rd,cn} = 0,15 * 3,881 * 10^3 * 0,581 * 1,357 = 458,977 \text{ KN}$$

$$V_{Rd,c} = 329,818 + 458,977 = 788,795 \text{ KN}$$

$$V_{Rd,c} > V_{Rd,c,min}$$

$$V_{Rd,c,min} = (v_{min} + k_1 \sigma_{cd}) b_w d = (0,337 + 0,15 * 3,881) * 518 * 1357 * 10^{-3} =$$

$$= 646,094 \text{ KN}$$

$$V_{Rd,c} = 788,795 \text{ KN} > V_{Rd,c,min} = 645,989 \text{ KN}$$

$$V_{Rd,c} = 788,795 \text{ KN} < V_{Ed} = 386,188 \text{ KN} \rightarrow \text{smykovou výztuž konstrukčně}$$

Navržen 4 střížný trmínek Ø R8 á 150mm $A_{sw}=2,01*10^{-4} \text{ m}^2$

$$V_{Rd,s} = 1344,677 \text{ KN} > V_{Ed} = 386,188 \text{ KN}$$

$$V_{Rd,max} = \frac{\alpha_{cw} v_1 f_{cd} \bar{b}_w z}{\cot \theta + \tan \theta}$$

$$\sigma_{cp} = -\frac{N_{Ed}}{A_{cr}} = \left(-\frac{11673,533}{3,008} \right) * 10^{-3} = -3,881 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{cp} < 0; \frac{1}{4} f_{cd} > = < 0; \frac{1}{4} 19,833 > = < 0; 4,958 >$$

$$\rightarrow \alpha_{cw} = 1 + \frac{\sigma_{cp}}{f_{cd}} = 1 + \frac{3,881}{19,833} = 1,196$$

$$V_{Rd,max} = \frac{1,196 * 0,516 * 19,833 * 10^3 * 0,518 * 0,9 * 1,357}{\cot 30 + \tan 30} = 3352,911 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,max} = 3352,911 \text{ kN} > V_{Ed} = 386,188 \text{ kN}$$

kontrola konstrukčních zásad

$$s < s_{max}$$

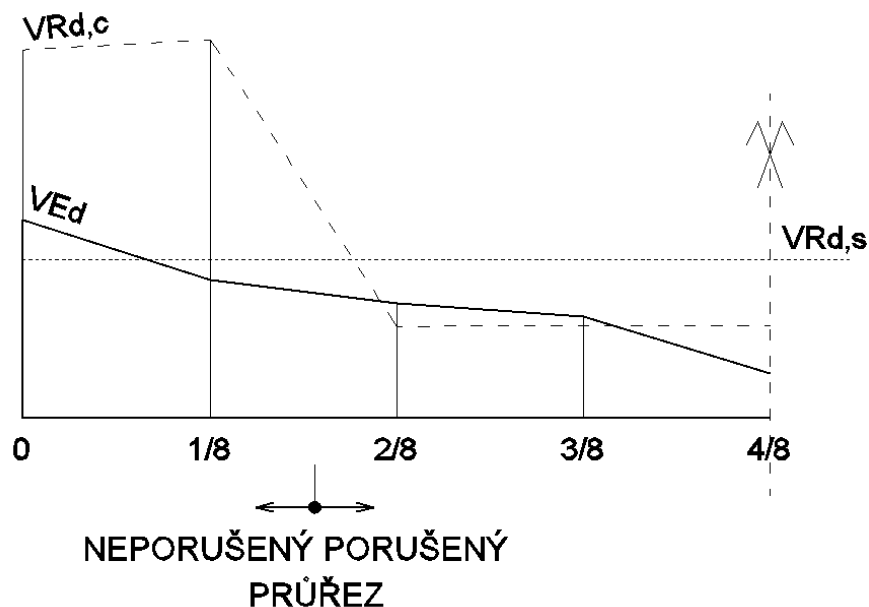
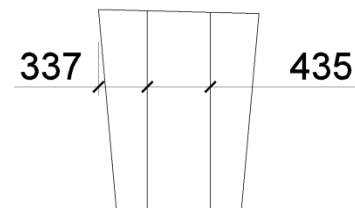
$$s_{max} = 0,75 * d (1 + \cot \alpha) = 0,75 * 1,346 * (1 + \cot 90) = 1,01 \text{ m}$$

$$0,15 \text{ m} < 1,01 \text{ m}$$

$$s_t < s_{t,max}$$

$$s_{t,max} = 0,75 * d = 0,75 * 1,346 = 1,01 \text{ m}$$

$$0,435 \text{ m} < 1,01 \text{ m}$$



7.2.10 Kotevní oblast

Kotva 1 VSL – E 6-12

Kotva 2 VSL – E 6-19

Posouzení kotev

- Kotva 1

$$F_{Ed} = \sigma_{p,max} A_p = 1440 * 10^3 * 12 * 150 * 10^{-6} = 2592 \text{ kN}$$

$$b_1 = h_1 = 0,270 \text{ m} \quad b_2 = h_2 = 0,500 \text{ m} < 3b_1 = 3 * 0,27 = 0,81 \text{ m}$$

$$b_2 = h_2 = 0,500 \text{ m} \quad h > h_2 - b_2 = 0,5 - 0,27 = 0,23 \text{ m}$$

$$h = 0,25 \text{ m}$$

$$F_{Rd} = A_{c0} f_{cd} \sqrt{\frac{A_{c1}}{A_{c0}}} = 0,27^2 * 19,833 * 10^3 \sqrt{\frac{0,5^2}{0,27^2}} = 2677,455 \text{ kN}$$

$$F_{Rd} = 2677,455 \text{ kN} \leq 3A_{c0} f_{cd} \leq 3 * 0,27^2 * 19,833 * 10^3 = 4337,474 \text{ kN}$$

$$F_{Rd} = 2677,455 \text{ kN} < F_{Ed} = 2592 \text{ kN}$$

- Kotva 2

$$F_{Ed} = \sigma_{p,max} A_p = 1440 * 10^3 * 19 * 150 * 10^{-6} = 4104 \text{ kN}$$

$$b_1 = h_1 = 0,340 \text{ m} \quad b_2 = h_2 = 0,625 \text{ m} < 3b_1 = 3 * 0,34 = 1,02 \text{ m}$$

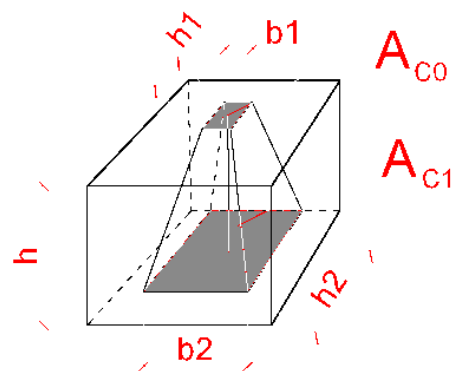
$$b_2 = h_2 = 0,625 \text{ m} \quad h > h_2 - b_2 = 0,625 - 0,34 = 0,285 \text{ m}$$

$$h = 0,30 \text{ m}$$

$$F_{Rd} = A_{c0} f_{cd} \sqrt{\frac{A_{c1}}{A_{c0}}} = 0,34^2 * 19,833 * 10^3 \sqrt{\frac{0,625^2}{0,34^2}} = 4214,513 \text{ kN}$$

$$F_{Rd} = 4212,513 \text{ kN} \leq 3A_{c0} f_{cd} \leq 3 * 0,34^2 * 19,833 * 10^3 = 6878,084 \text{ kN}$$

$$F_{Rd} = 4214,513 \text{ kN} < F_{Ed} = 4104 \text{ kN}$$

**Posouzení kotevní oblasti**

- pod kotvou 1

$$F_{Ed} = \gamma_p P_{max} = 1,2 * 2592 = 3110,4 \text{ kN}$$

$$cc' < \frac{P_{max}}{0,6 f_{ck(t)}} = \frac{2592}{0,6 * 35 * 10^3} = 0,123 \text{ m}^2 \rightarrow c = c' = 0,351 \text{ m}$$

$$\frac{c}{a} = \frac{c'}{a'} = \frac{0,351}{0,27} = 1,3 < 1,25 \sqrt{\frac{cc'}{aa'}} = 1,25 \sqrt{\frac{0,351^2}{0,27^2}} = 1,625$$

$$T_{bu,1} = \frac{1}{4} \frac{c-a}{c} F_{Ed} = \frac{1}{4} * \frac{0,351 - 0,27}{0,351} * 3110,4 = 179,446 \text{ kN}$$

$$A_{s,req1} = \frac{T_{bu,1}}{\sigma_{sd}} = \frac{179,446}{250 * 10^3} = 7,178 * 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{s,min} = 0,15 \frac{F_{Ed}}{\sigma_{sd}} = 0,15 * \frac{3110,4}{250 * 10^3} = 18,662 * 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{s,req1} = 7,178 * 10^{-4} \text{ m}^2 < A_{s,min} = 18,662 * 10^{-4} \text{ m}^2 \quad \text{rozhoduje v\u011bt\u0161\u00ed plocha}$$

Nap\u011bt\u00ed ve v\u00fdztu\u017e\u00ed je omezeno hodnotou $\sigma_{sd} = 250 \text{ MPa}$, aby nevznikly trhliny.

Dostate\u010dnou plochu v\u00fdztu\u017e\u00ed pod kotvou zaru\u010duje v\u00fdrobce (\u0161roubovice).

- pod kotvou 2

$$F_{Ed} = \gamma_p P_{max} = 1,2 * 4104 = 4924,8 \text{ kN}$$

$$cc' < \frac{P_{max}}{0,6 f_{ck}(t)} = \frac{4104}{0,6 * 35 * 10^3} = 0,195 \text{ m}^2 \rightarrow c = c' = 0,441 \text{ m}$$

$$\frac{c}{a} = \frac{c'}{a'} = \frac{0,441}{0,34} = 1,3 < 1,25 \sqrt{\frac{cc'}{aa'}} = 1,25 \sqrt{\frac{0,351^2}{0,27^2}} = 1,621$$

$$T_{bu,2} = \frac{1}{4} \frac{c-a}{c} F_{Ed} = \frac{1}{4} * \frac{0,441 - 0,34}{0,441} * 4924,8 = 281,976 \text{ kN}$$

$$A_{s,req2} = \frac{T_{bu,2}}{\sigma_{sd}} = \frac{281,976}{250 * 10^3} = 11,279 * 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{s,min} = 0,15 \frac{F_{Ed}}{\sigma_{sd}} = 0,15 * \frac{4924,8}{250 * 10^3} = 29,549 * 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{s,req2} = 11,279 * 10^{-4} \text{ m}^2 < A_{s,min} = 29,549 * 10^{-4} \text{ m}^2 \quad \text{rozhoduje v\u011bt\u0161\u00ed plocha}$$

Dostate\u010dnou plochu v\u00fdztu\u017e\u00ed pod kotvou zaru\u010duje v\u00fdrobce (\u0161roubovice).

Posouzen\u00ed povrchu \u010dela

- kotva 1

$$T_{sp,1} = 0,03 F_{Ed} = 0,03 * 3110,4 = 93,312 \text{ kN}$$

$$A_{s,req1} = \frac{T_{sp,1}}{\sigma_{sd}} = \frac{93,312}{250 * 10^3} = 3,732 * 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$\underline{\underline{\text{Navr\u017eno } 4 \text{ } \varnothing \text{ R12 } A_{sw} = 4,52 * 10^{-4} \text{ m}^2}}$$

- kotva 2

$$T_{sp,2} = 0,03 F_{Ed} = 0,03 * 4924,9 = 147,744 \text{ kN}$$

$$A_{s,req2} = \frac{T_{sp,2}}{\sigma_{sd}} = \frac{147,744}{250 * 10^3} = 5,91 * 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$\underline{\underline{\text{Navr\u017eno } 4 \text{ } \varnothing \text{ R14 } A_{sw} = 6,28 * 10^{-4} \text{ m}^2}}$$

Posouzení celkové oblasti

$$z = \frac{2 * 12 * 350 + 2 * 19 * 1154}{2 * (12 + 19)} = 843 \text{ mm}$$

$$c'_\Sigma = 2z = 2 * 0,843 = 1,686 \text{ m}$$

$$x_h = 1,154 - 0,843 = 0,311 \text{ m}$$

$$x_d = 0,843 - 0,35 = 0,493 \text{ m}$$

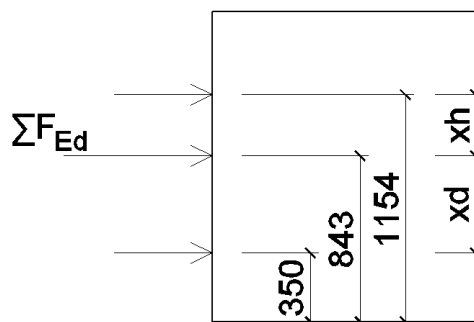
$$\begin{aligned} a'_\Sigma &= \min(x_d + x_h; x_d + \frac{1}{2}c'_\Sigma; x_h + \frac{1}{2}c'_\Sigma) \\ &= \min(0,311 + 0,493; 0,493 + 0,5 * 1,686; 0,311 + 0,5 * 1,686) \\ &= \min(0,804; 1,336; 1,154) = 0,804 \text{ m} \end{aligned}$$

$$h'_\Sigma = 1,2 \max(c; c') = 1,2 * \max(1,686; 1,686) = 2,023 \text{ m}$$

$$T_\Sigma = \frac{1}{4} \frac{c'_\Sigma - a'_\Sigma}{c'_\Sigma} \sum F_{Ed} = \frac{1}{4} * \frac{1,686 - 0,804}{1,686} (4924,8 + 3110,4) * 2 = 2101,734 \text{ kN}$$

$$A_{s\Sigma} = \frac{T_\Sigma}{\sigma_{sd}} = \frac{2101,734}{250 * 10^3} = 84,07 * 10^{-4} \text{ m}^2$$

Navržen 14 x 4střížný třmínek Ø R14 $A_{sw}=86,24 * 10^{-4} \text{ m}^2$



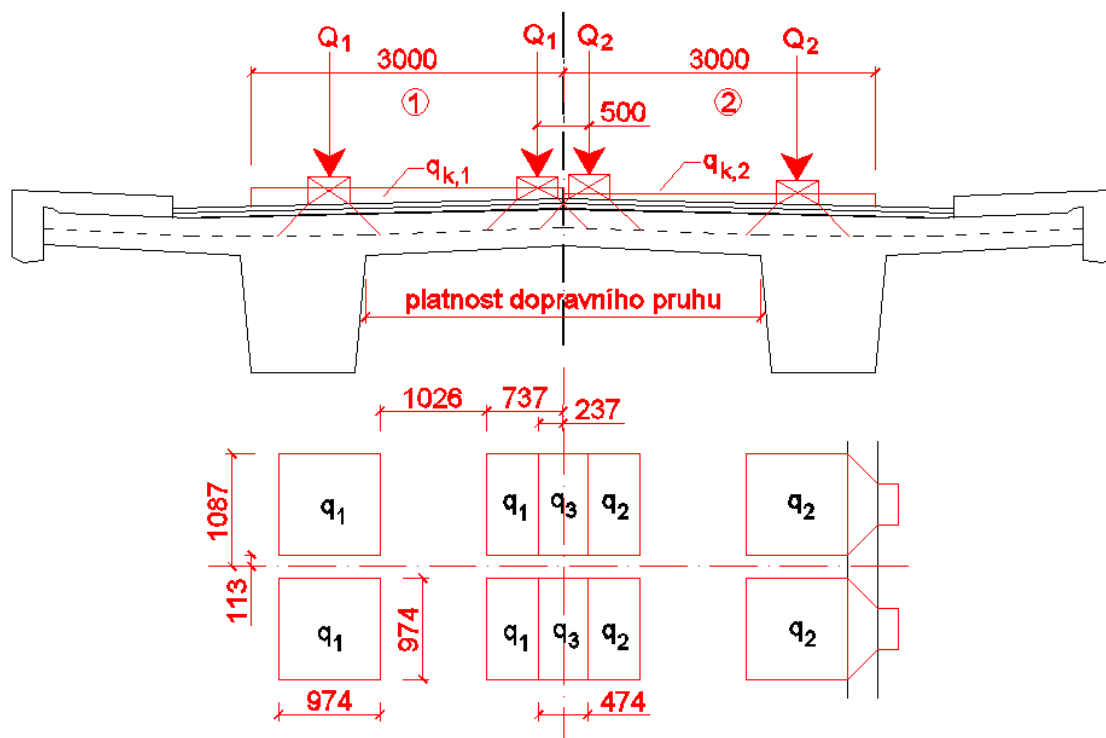
$$\sum T_{bu} = T_{bu,1} + T_{bu,2} + \max(T_{bu,3} + T_{bu,4}) = 2 * 281,976 + 179,446 = 743,398 \text{ kN}$$

$$A_{su} = \frac{\sum T_{bu}}{\sigma_{sd}} = \frac{743,398}{250 * 10^3} = 29,736 * 10^{-4} \text{ m}^2$$

Navržen 5 x 4střížný třmínek Ø R14 $A_{sw}=30,80 * 10^{-4} \text{ m}^2$

8 PŘÍČNÝ SMĚR

. Rozmístění pohyblivého zatížení pro maximální statické veličiny v poli



Spojité rovnoměrné zatížení:

$$q_1 = Q_1/A_1 = 150/(0,974^2) = 158,115 \text{KNm}^{-2}$$

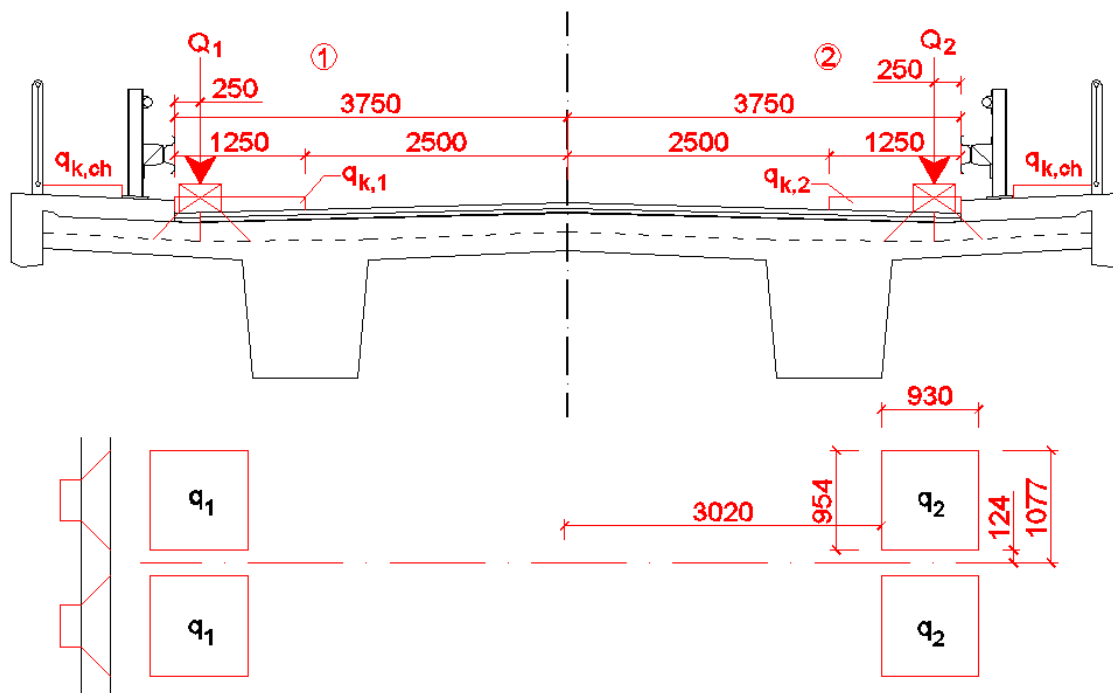
$$q_2 = Q_2/A_1 = 100/(0,974^2) = 105,410 \text{KNm}^{-2}$$

$$q_3 = q_1 + q_2 = 158,115 + 105,410 = 263,525 \text{KNm}^{-2}$$

$$q_{k,1} = 9 \text{KNm}^{-2}$$

$$q_{k,2} = 6 \text{KNm}^{-2}$$

Umístění zatížení pro maximální statické veličiny nad podporou



$$q_1 = Q_1/A_1 = 150/(0,954 * 0,930) = 169,067 \text{ kN/m}^2$$

$$q_2 = Q_2/A_1 = 100/(0,954 * 0,930) = 112,712 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{k,1} = 9 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{k,2} = 6 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{k,ch} = 3 \text{ kN/m}^2$$

Hodnoty posouvajících sil uvažují v líci podpory.

Vnitřní síly viz příloha číslo 9.5

8.1 Průřez nad podporou

ØR18, d=0,287m, $M_{Ed} = -190,538 \text{ kNm}$

$$A_{s1} = \frac{M_{Ed}}{f_{yd} * z} = \frac{190,538}{478,261 * 10^3 * 0,9 * 0,287} = 15,424 * 10^{-4}$$

Navržen Ø R18 á150mm $A_s = 16,96 * 10^{-4} \text{ m}^2$

8.1.1 Návrh výztuže a posouzení na ohyb

$$x = \frac{A_s * f_{yd}}{0,8 * b * f_{cd}} = \frac{16,96 * 10^{-4} * 478,261}{0,8 * 1 * 19,833} = 0,0511 \text{ m}$$

$$\varepsilon_{s1} = \frac{|\varepsilon_{cu}|}{1} * \frac{d-x}{x} = \frac{|-3,5|}{1} * \frac{0,287 - 0,0511}{0,0511} = 16,158\text{‰}$$

$$\varepsilon_{yd} = \frac{f_{yd}}{E} = \frac{478,261}{200} = 2,391\text{‰}$$

$$\varepsilon_{s1} = 16,158\text{‰} > \varepsilon_{yd} = 2,391\text{‰} \rightarrow \sigma_{s1} = f_{yd}$$

$$z = d - 0,4x = 0,287 - 0,4 * 0,0511 = 0,267\text{m}$$

$$M_{Rd} = z * f_{yd} * A_s = 0,267 * 478,261 * 10^3 * 16,96 * 10^{-4} = 216,572\text{KNm}$$

$$M_{Rd} = 216,572\text{KNm} > M_{Ed} = 190,538\text{KNm}$$

-návrh rozdělovací výztuže

$$A_{s,rv} = 0,2 * A_s = 0,2 * 16,96 * 10^{-4} = 3,392 * 10^{-4}\text{m}^2$$

$$\underline{\text{Navržen } \varnothing R10 \text{ á } 200\text{mm } A_{sw}=3,93*10^{-4}\text{m}^2}$$

- ověření výztužení

$$A_s \leq A_{s,max}$$

$$A_{s,max} = 0,04 * A_c = 0,04 * 1 * 0,372 = 148,8 * 10^{-4}\text{m}^2$$

$$A_s = 16,96 * 10^{-4}\text{m}^2 < A_{s,max} = 148,8 * 10^{-4}\text{m}^2$$

$$A_s \geq A_{s,min}$$

$$A_{s,min} = \max\left(0,26 \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} * b * d; 0,0013 * b * d\right) = \max\left(0,26 \frac{3,2}{550} * 1 * 0,287; 0,0013 * 1 * 0,287\right) =$$

$$= \max(4,34 * 10^{-4}; 3,73 * 10^{-4}) = 4,34 * 10^{-4}\text{m}^2$$

$$A_s = 16,96 * 10^{-4}\text{m}^2 > A_{s,min} = 4,34 * 10^{-4}\text{m}^2$$

hlavní nosná výztuž

$$s_{max} \leq 2h; 250\text{mm}$$

$$150\text{mm} < 744; 250\text{mm}$$

rozdělovací výztuž

$$s_{max} \leq 3h; 400\text{mm}$$

$$200\text{mm} < 1116; 400\text{mm}$$

8.1.2 Posouzení na smyk

$$V_{Rd,c} = C_{Rd,c} k (100 * \rho_e f_{ck})^{1/3} b_w d$$

$$C_{Rd,c} = \frac{0,18}{\gamma_c} = \frac{0,18}{1,5} = 0,12$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{287}} = 1,835 < 2$$

$$\rho_e = \frac{A_{sl}}{b_w d} = \frac{16,96 * 10^{-4}}{1,0 * 0,287} = 5,909 * 10^{-3}$$

$$V_{Rd,cm} = 0,12 * 1,835 * (100 * 5,909 * 10^{-3} * 35)^{1/3} * 1000 * 287 * 10^{-3} = 173,471\text{KN}$$

$$V_{Rd,c} > V_{Rd,c,min}$$

$$V_{Rd,c,min} = v_{min} b_w d = 0,515 * 1000 * 287 * 10^{-3} = 147,805 \text{ kN}$$

$$v_{min} = 0,035 * k^{3/2} * f_{ck}^{1/2} = 0,035 * 1,835^{3/2} * 35^{1/2} = 0,515$$

$$V_{Rd,c} = 173,471 \text{ kN} > V_{Rd,c,min} = 147,805 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,c} = 173,471 \text{ kN} > V_{Ed} = 166,501 \text{ kN}$$

→ smyková výztuž podle konstrukčních zásad

- minimální stupeň vyztužení

$$\rho_{min} = \frac{0,08 \sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} = \frac{0,08 * \sqrt{35}}{550} = 8,605 * 10^{-4}$$

$$\rho_w = \frac{A_{sw}}{s * b_w * \sin \alpha}$$

$$\rightarrow A_{sw} = \rho_w * s * b_w * \sin \alpha = 8,605 * 10^{-4} * 0,2 * 1,0 * \sin 90 = 1,724 * 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$\text{Navržen třmínek } \varnothing R6 \text{ á } 150 \text{ mm} \times 200 \text{ mm } A_{sw1} = 0,28 * 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{sw} = \frac{1000}{s_t} A_{s1} = \frac{1000}{150} 0,28 * 10^{-4} = 1,867 * 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s_t} z * \cot \theta * f_{yk} = \frac{1,867 * 10^{-4}}{0,200} * 0,267 * \cot 30 * 478,261 * 10^3 = 206,467 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,s} = 206,467 \text{ kN} > V_{Ed} = 166,501 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,max} = \frac{\alpha_{cu} * b_w * z * v f_{cd}}{\cot \theta + \tan \theta} = \frac{1 * 1 * 0,267 * 0,516 * 19,833 * 10^3}{\cot 30 + \tan 30} = 1183,178 \text{ kN}$$

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

$$V_{Rd,max} = 1183,178 \text{ kN} > V_{Ed} = 166,501 \text{ kN}$$

kontrola únosnosti pro beton

$$V_{Rd,max} = 0,5 * b_w * d * v f_{cd} = 0,5 * 1,0 * 0,287 * 0,516 * 19,833 * 10^3 = 1468,554 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,max} = 1468,554 \text{ kN} > V_{Ed} = 166,501 \text{ kN}$$

$$s_t \leq 0,75d(1 + \cot \alpha)$$

$$s_t = 200 \text{ mm} = 0,75d(1 + \cot \alpha) = 0,75 * 267(1 + \cot 30) = 200 \text{ mm}$$

$$s_t \leq 1,5d$$

$$s_t = 150 \text{ mm} < 1,5d = 1,5 * 267 = 401 \text{ mm}$$

8.2 Průřez v poli

ØR16, $d=0,265\text{m}$, $M_{Ed}=125,097\text{KNm}$

$$A_{s1} = \frac{M_{Ed}}{f_{yd} * z} = \frac{125,097}{478,261 * 10^3 * 0,9 * 0,265} = 10,967 * 10^{-4}$$

Navržen Ø R16 á150mm $A_s=13,40*10^{-4}\text{m}^2$

8.2.1 Návrh výztuže a posouzení na ohyb

$$x = \frac{A_s * f_{yd}}{0,8 * b * f_{cd}} = \frac{13,40 * 10^{-4} * 478,261}{0,8 * 1 * 19,833} = 0,0404\text{m}$$

$$\varepsilon_{s1} = \frac{|\varepsilon_{cu}|}{1} * \frac{d-x}{x} = \frac{|-3,5|}{1} * \frac{0,265 - 0,0404}{0,0404} = 19,458\text{‰}$$

$$\varepsilon_{yd} = \frac{f_{yd}}{E} = \frac{478,261}{200} = 2,391\text{‰}$$

$$\varepsilon_{s1} = 19,458\text{‰} > \varepsilon_{yd} = 2,391\text{‰} \rightarrow \sigma_{s1} = f_{yd}$$

$$z = d - 0,4x = 0,265 - 0,4 * 0,0404 = 0,249\text{m}$$

$$M_{Rd} = z * f_{yd} * A_s = 0,249 * 478,261 * 10^3 * 13,40 * 10^{-4} = 159,577\text{KNm}$$

$$M_{Rd} = 159,577\text{KNm} > M_{Ed} = 125,097\text{KNm}$$

-návrh rozdělovací výztuže

$$A_{s,rv} = 0,2 * A_s = 0,2 * 13,40 * 10^{-4} = 2,68 * 10^{-4}\text{m}^2$$

Navržen Ø R10 á150mm $A_{sw}=5,24*10^{-4}\text{m}^2$

- ověření vyztužení

$$A_s \leq A_{s,max}$$

$$A_{s,max} = 0,04 * A_c = 0,04 * 1 * 0,372 = 148,8 * 10^{-4}\text{m}^2$$

$$A_s = 13,40 * 10^{-4}\text{m}^2 < A_{s,max} = 148,8 * 10^{-4}\text{m}^2$$

$$A_s \geq A_{s,min}$$

$$A_{s,min} = \max\left(0,26 \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} * b * d; 0,0013 * b * d\right) = \max\left(0,26 \frac{3,2}{550} * 1 * 0,265; 0,0013 * 1 * 0,265\right) =$$

$$= \max(4,01 * 10^{-4}; 3,45 * 10^{-4}) = 4,01 * 10^{-4}\text{m}^2$$

$$A_s = 13,40 * 10^{-4}\text{m}^2 > A_{s,min} = 4,34 * 10^{-4}\text{m}^2$$

hlavní nosná výztuž

$$s_{max} \leq 2h; 250\text{mm}$$

$$150\text{mm} < 700; 250\text{mm}$$

rozdělovací výztuž

$$s_{max} \leq 3h; 400\text{mm}$$

$$150\text{mm} < 1050; 400\text{mm}$$

8.2.2 Posouzení na smyk

$$V_{Rd,c} = C_{Rd,c} k (100 \cdot \rho_e f_{ck})^{1/3} b_w d$$

$$C_{Rd,c} = \frac{0,18}{\gamma_c} = \frac{0,18}{1,5} = 0,12$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{265}} = 1,869 < 2$$

$$\rho_e = \frac{A_{sl}}{b_w d} = \frac{13,40 \cdot 10^{-4}}{1,0 \cdot 0,265} = 5,057 \cdot 10^{-3}$$

$$V_{Rd,cm} = 0,12 \cdot 1,869 \cdot (100 \cdot 5,057 \cdot 10^{-3} \cdot 35)^{1/3} \cdot 1000 \cdot 265 \cdot 10^{-3} = 154,890 \text{ KN}$$

$$V_{Rd,c} > V_{Rd,c,min}$$

$$V_{Rd,c,min} = v_{min} b_w d = 0,529 \cdot 1000 \cdot 265 \cdot 10^{-3} = 140,185 \text{ KN}$$

$$v_{min} = 0,035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} = 0,035 \cdot 1,869^{3/2} \cdot 35^{1/2} = 0,529$$

$$V_{Rd,c} = 154,890 \text{ KN} > V_{Rd,c,min} = 140,185 \text{ KN}$$

$$V_{Rd,c} = 154,890 \text{ KN} < V_{Ed} = 221,825 \text{ KN} \rightarrow \text{je nutný návrh smykové výztuže}$$

$$\underline{\text{Navržen třmínek } \varnothing R6 \text{ á } 150 \text{ mm} \times 150 \text{ mm } A_{sw1} = 0,28 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2}$$

$$A_{sw} = \frac{1000}{z} A_{s1} = \frac{1000}{150} 0,28 \cdot 10^{-4} = 1,867 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{z} \cdot z \cdot \cot \theta \cdot f_{yk} = \frac{1,867 \cdot 10^{-4}}{0,150} \cdot 0,249 \cdot \cot 30 \cdot 478,261 \cdot 10^3 = 256,731 \text{ KN}$$

$$V_{Rd,s} = 256,731 \text{ KN} > V_{Ed} = 224,131 \text{ KN}$$

$$V_{Rd,max} = \frac{\alpha_{cu} \cdot b_w \cdot z \cdot v \cdot f_{cd}}{\cot \theta + \tan \theta} = \frac{1 \cdot 1 \cdot 0,249 \cdot 0,516 \cdot 19,833 \cdot 10^3}{\cot 30 + \tan 30} = 1103,413 \text{ KN}$$

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

$$V_{Rd,max} = 1103,413 \text{ KN} > V_{Ed} = 224,131 \text{ KN}$$

kontrola únosnosti pro beton

$$V_{Rd,max} = 0,5 \cdot b_w \cdot d \cdot v \cdot f_{cd} = 0,5 \cdot 1,0 \cdot 0,265 \cdot 0,516 \cdot 19,833 \cdot 10^3 = 1355,982 \text{ KN}$$

$$V_{Rd,max} = 1355,982 \text{ KN} > V_{Ed} = 224,131 \text{ KN}$$

$$z \leq 0,75d(1 + \cot \alpha)$$

$$z = 150 \text{ mm} = 0,75d(1 + \cot \alpha) = 0,75 \cdot 265(1 + \cot 30) = 199 \text{ mm}$$

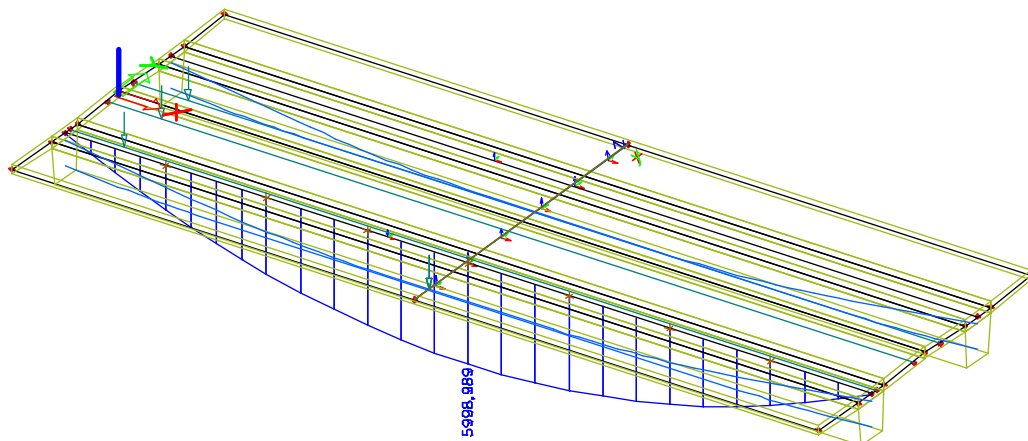
$$z \leq 1,5d$$

$$z = 150 \text{ mm} < 1,5d = 1,5 \cdot 265 = 398 \text{ mm}$$

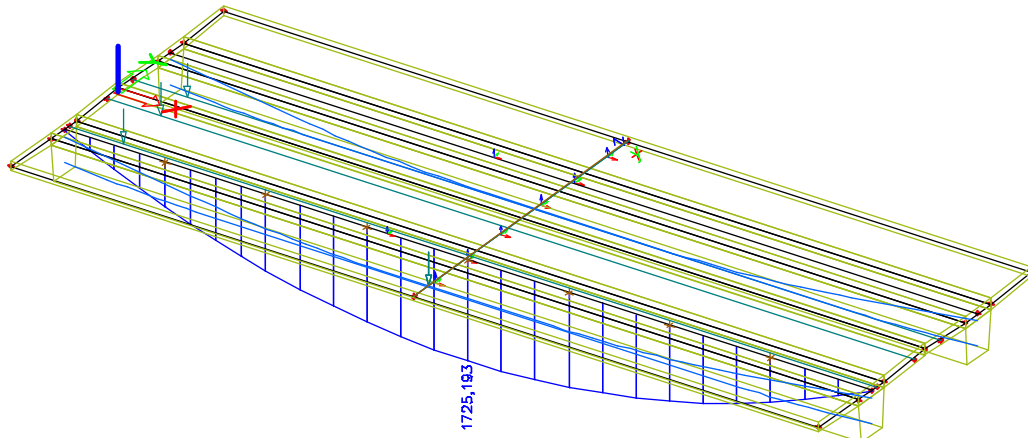
9 PŘÍLOHY

9.1 Vnitřní síly od zatěžovacích stavů

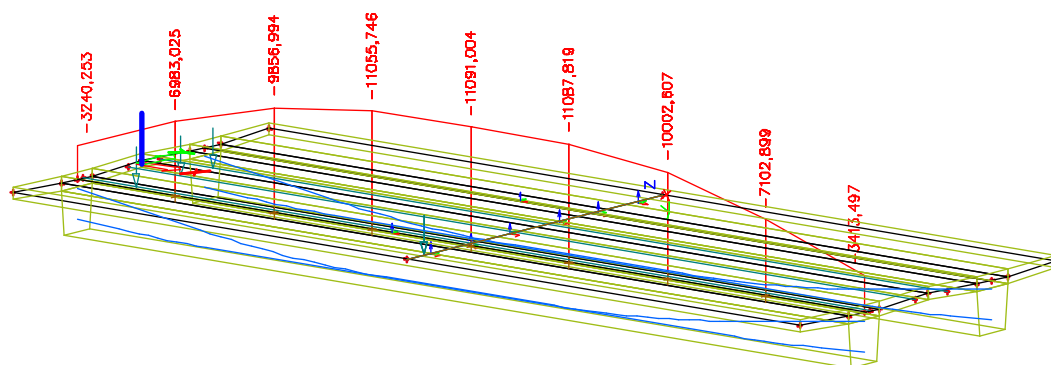
9.1.1 Moment M_{g0k}



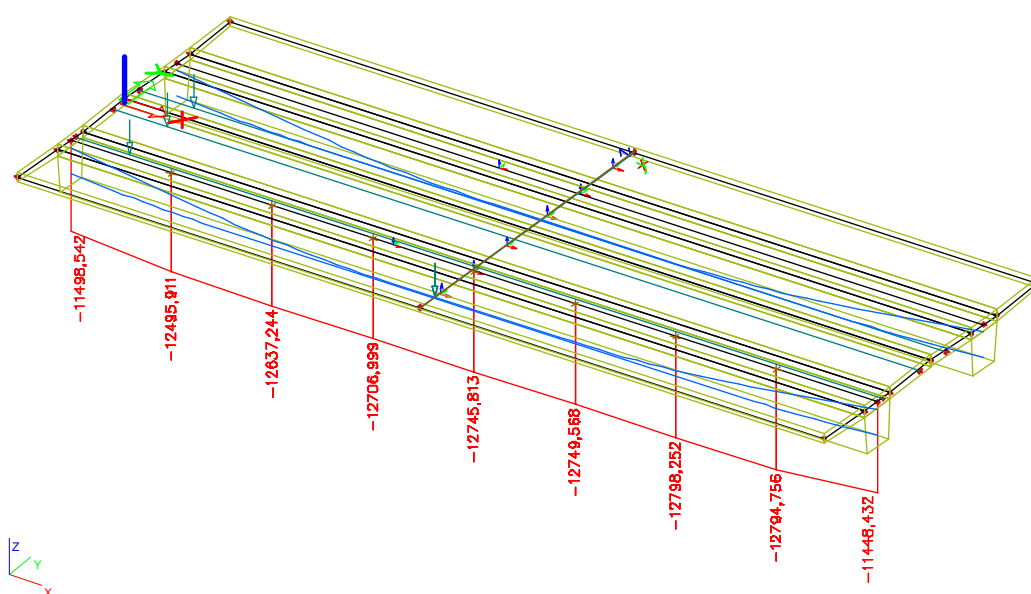
9.1.2 Moment M_{g1k}



9.1.3 Moment M_p

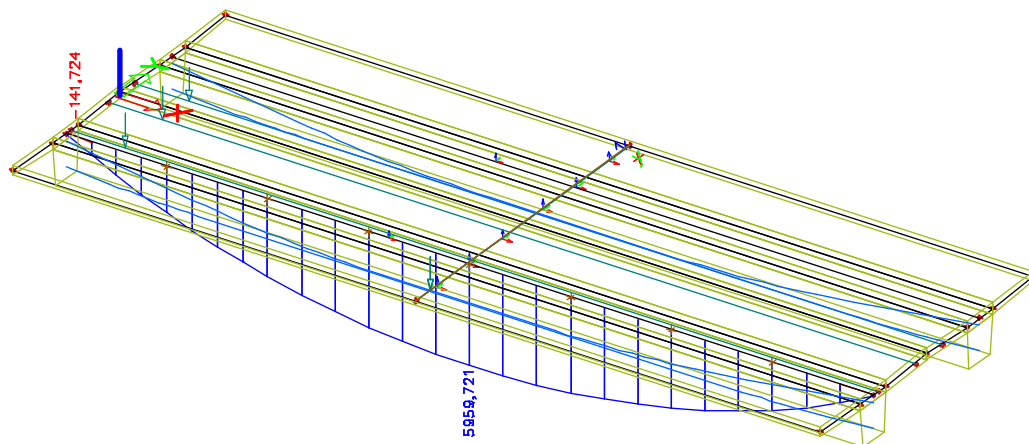


9.1.4 Normálová síla N_p

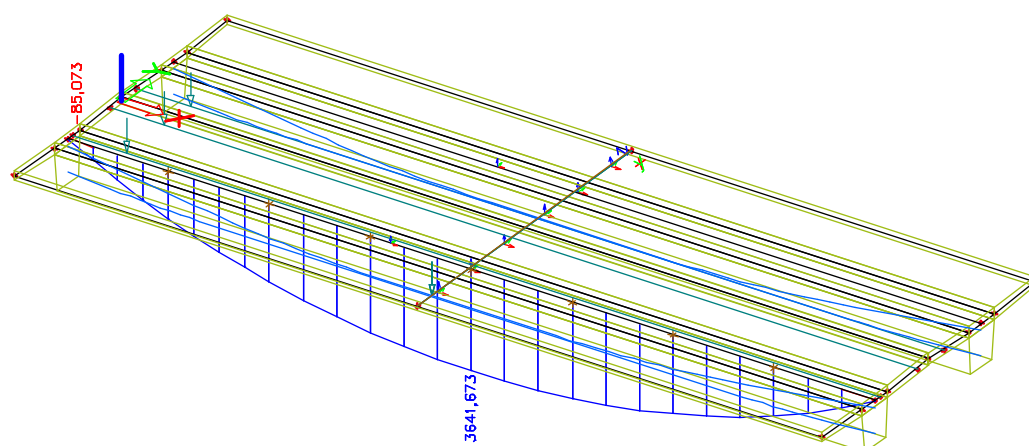


9.2 Vnitřní síly od kombinací zatížení bez předpětí

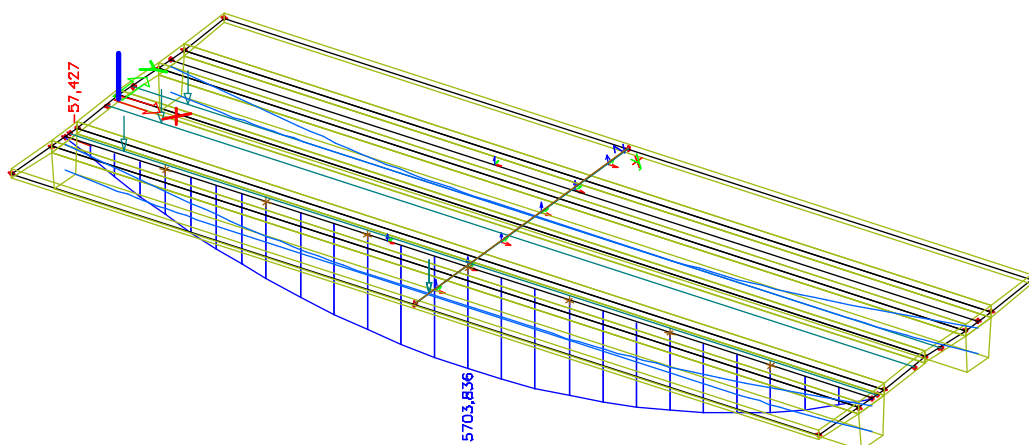
9.2.1 Moment $M_{qk,gr1a}$

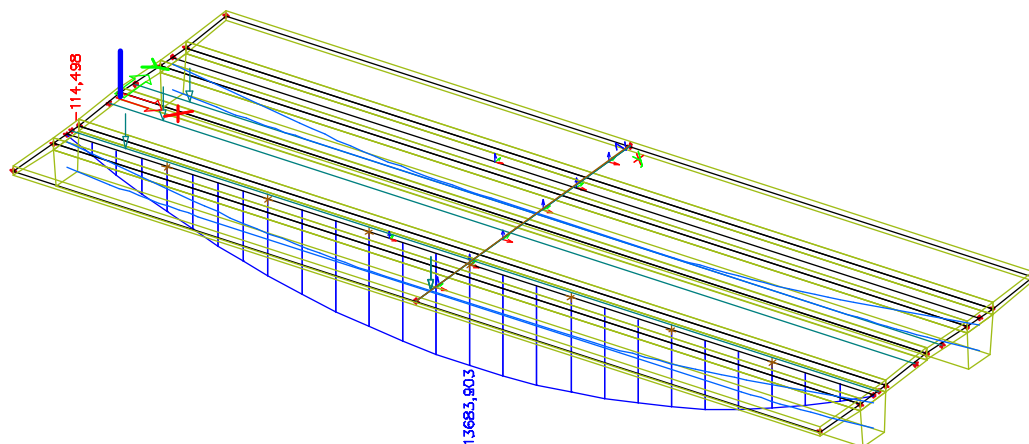
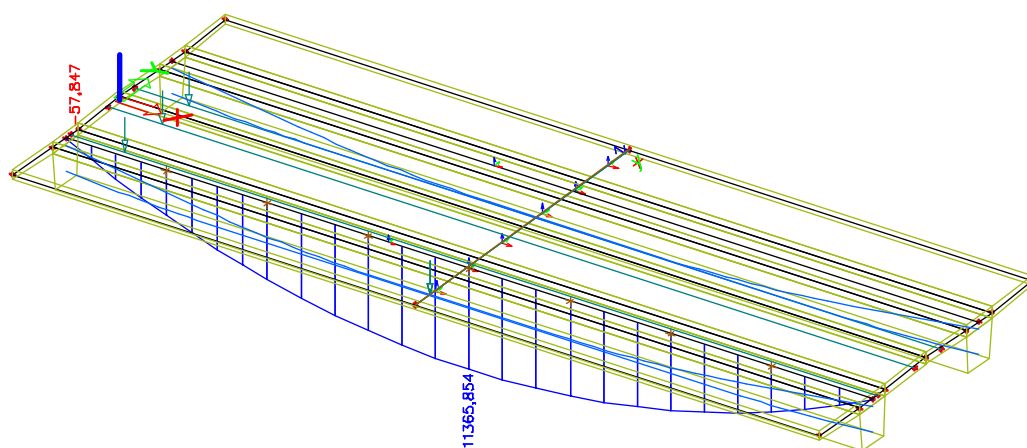
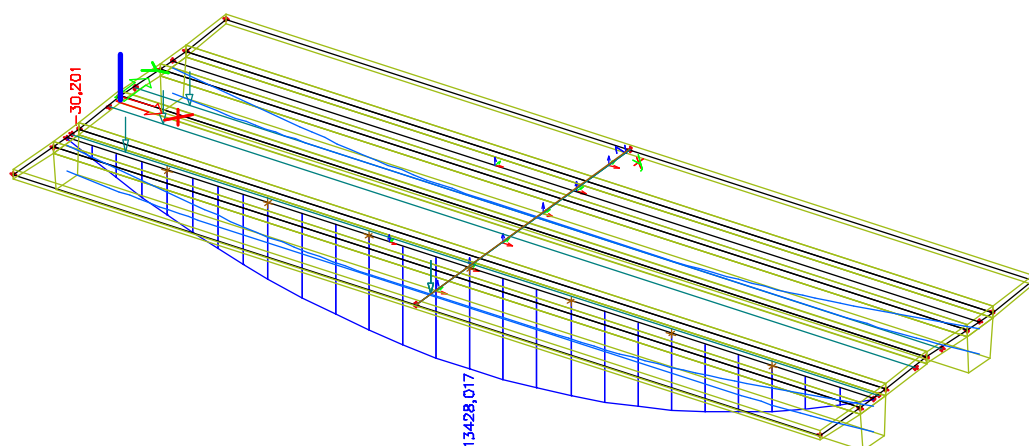


9.2.2 Moment $M_{qk,\psi,gr1a}$



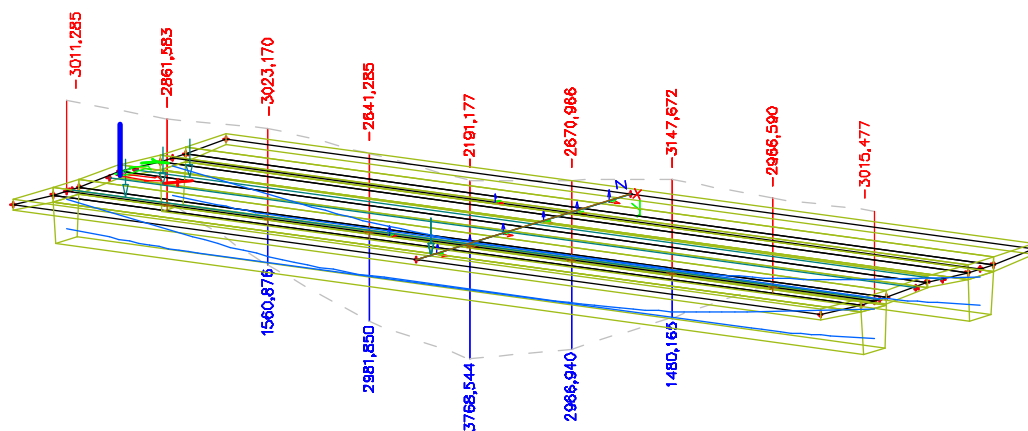
9.2.3 Moment $M_{qk,gr5}$



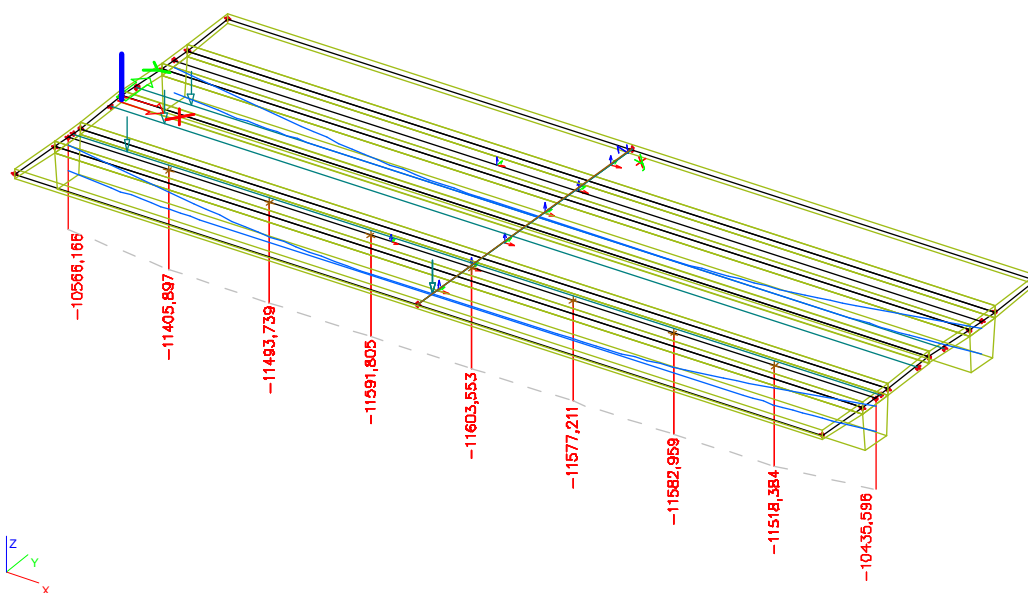
9.2.4 Moment $M_{Ek,gr1a}$ **9.2.5 Moment $M_{Ek,\psi,gr1a}$** **9.2.6 Moment $M_{Ek,gr5}$** 

9.3 Vnitřní síly od kombinací zatížení s předpětím

9.3.1 Moment M_{Ek}

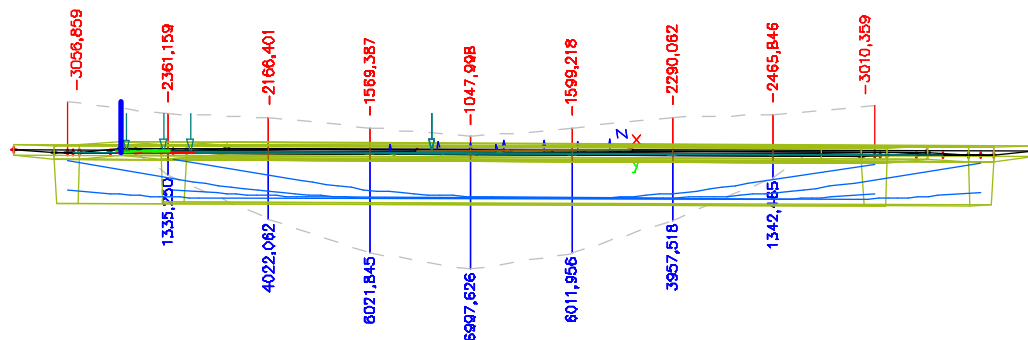


9.3.2 Normálová síla N_{Ek}

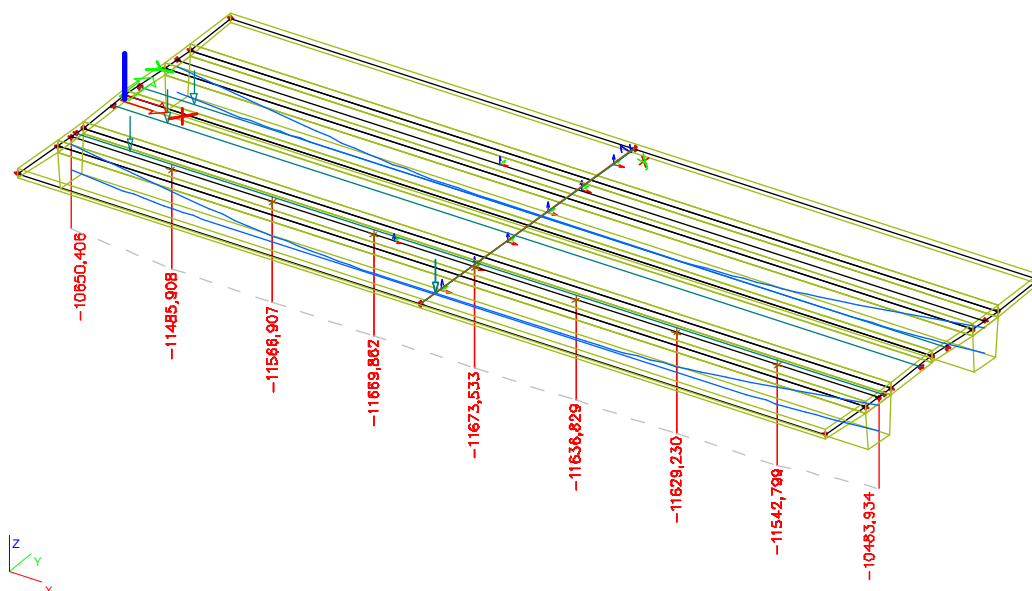


9.4 Návrhové vnitřní síly

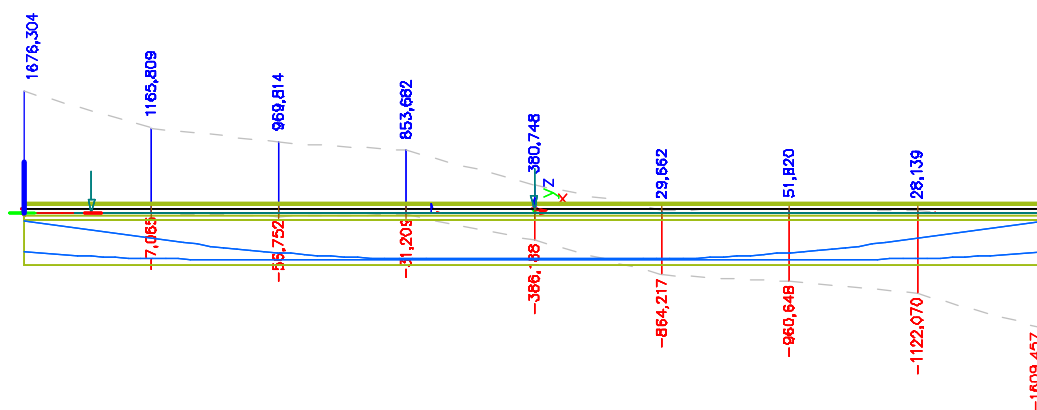
9.4.1 Moment M_{Ed}



9.4.2 Normálové síly N_{Ed}

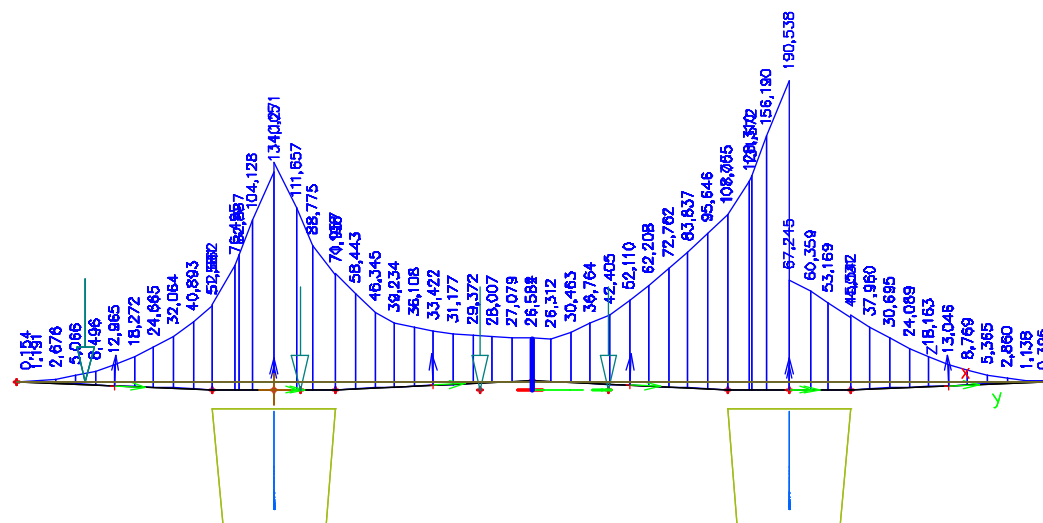


9.4.3 Posouvající síly V_{Ed}

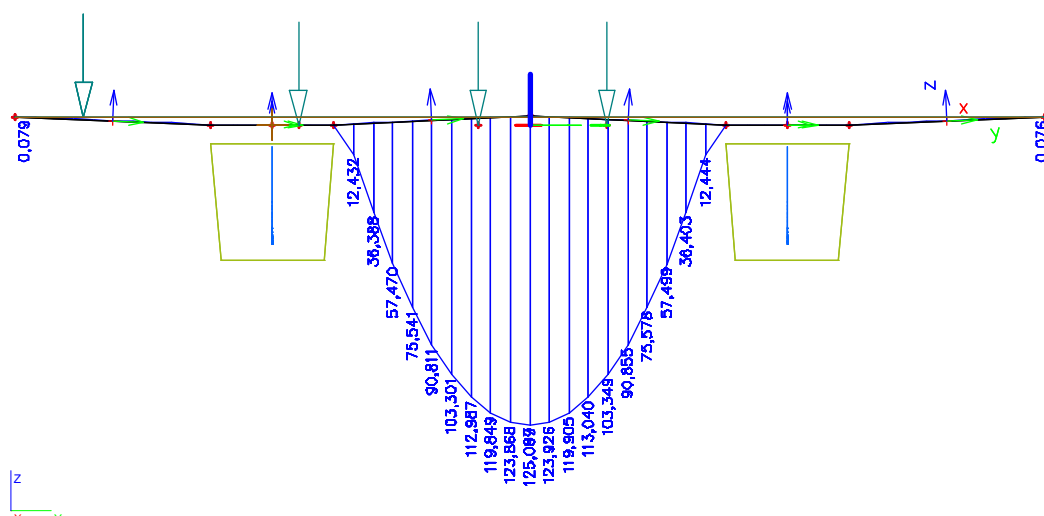


9.5 Návrhové vnitřní síly pro příčný směr

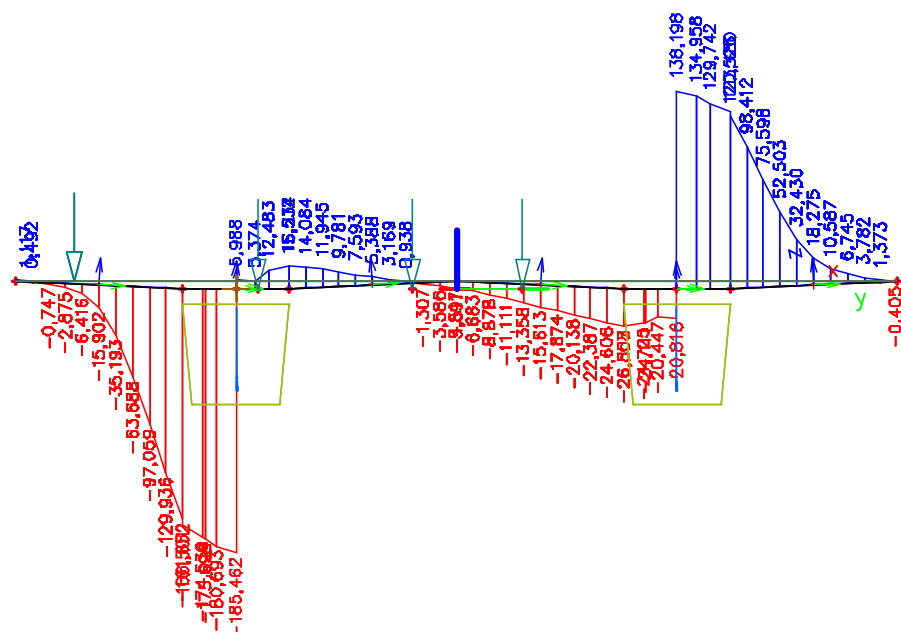
9.5.1 Dimenzační moment myD^+



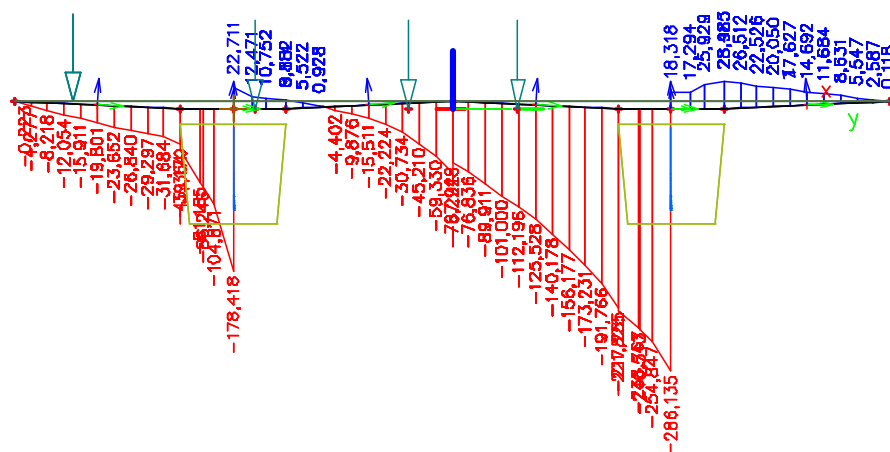
9.5.2 Dimenzační moment myD^-



9.5.3 Posouvající síly vy – maximum na převislém konci

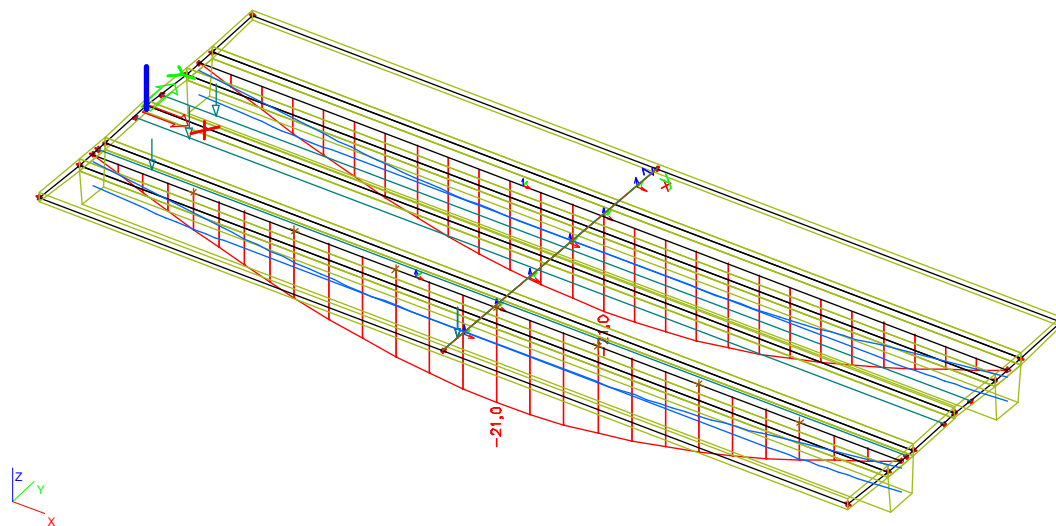


9.5.4 Posouvající síly vy – maximum v poli

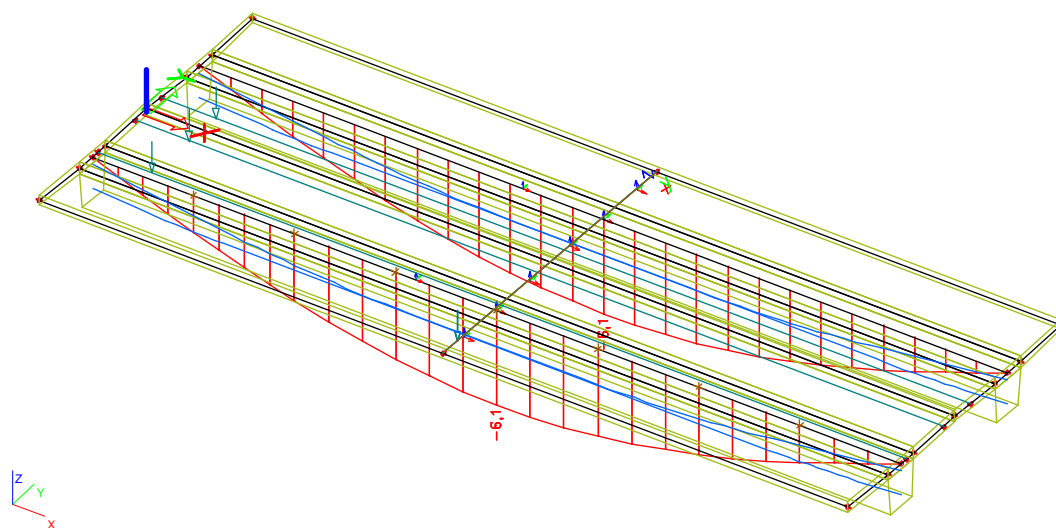


9.6 Průhyby

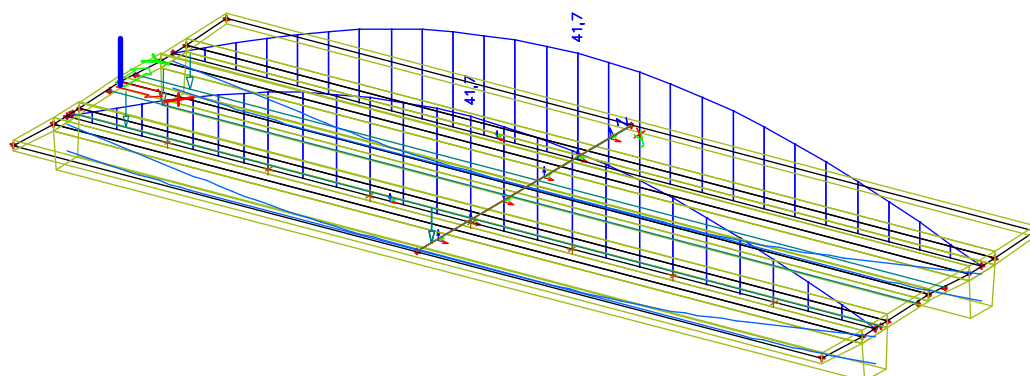
9.6.1 *Od vlastní tíhy*



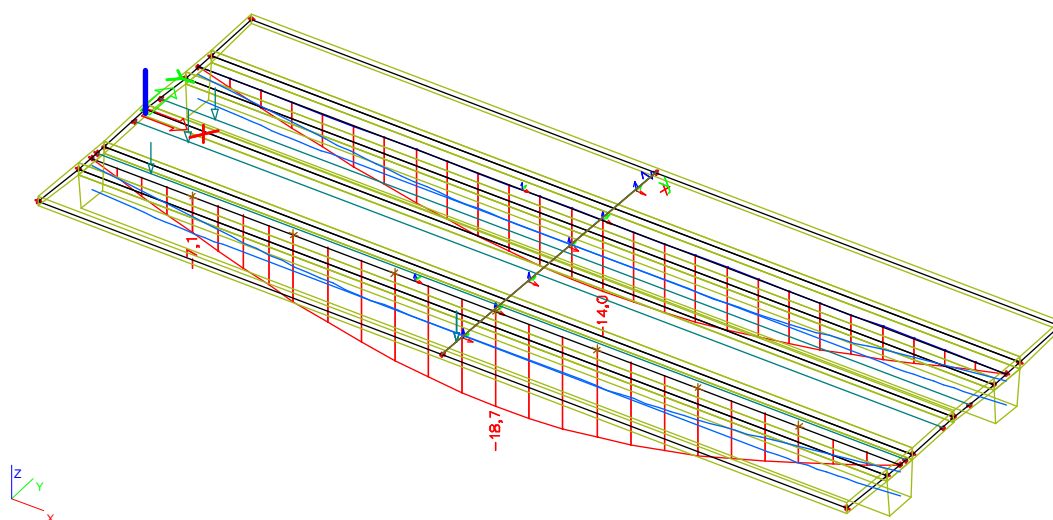
9.6.2 *Od ostatního stálého zatížení*



9.6.3 Od předpětí



9.6.4 Od nahodilého zatížení



9.7 Krátkodobé ztráty – přímý kabel

Jméno kabelu: KBL

Typ historie napínání: 3

Výpočet ztráty třením, pokluzem a dlouhodobou relaxací z počátečního kolevního napětí

Kabel napínáný z počátku

Pokluz se projeví po celé délce kabelu

Teoretické prodloužení kabelu před přenosem 0,185 [m]

Teoretické prodloužení kabelu po přenosu 0,179 [m]

x [m]	Ztráty třením [MPa]	Ztráta pokluzem [MPa]	Krátkodobá relaxace [MPa]	Nap. po zakotvení / po vnesení předpětí [MPa]	Relaxace proběhla [MPa]	Relaxace proběhne [MPa]
Studentů věze	*Studentů věze*	*Studentů věze*	*Studentů věze*	*Studentů věze*	*Studentů věze*	*Studentů věze*
0,000	0,00	-75,58	0,00	1364,42	-5,56	-57,31
0,500	-0,10	-75,38	0,00	1364,52	-5,55	-57,33
1,000	-0,20	-75,18	0,00	1364,62	-5,54	-57,35
1,500	-0,96	-73,70	0,00	1365,34	-5,51	-57,53
2,000	-3,30	-69,13	0,00	1367,56	-5,39	-58,06
2,500	-5,64	-64,57	0,00	1369,79	-5,27	-58,59
3,000	-7,97	-60,01	0,00	1372,02	-5,16	-59,13
3,500	-10,30	-55,45	0,00	1374,25	-5,04	-59,67
4,000	-12,62	-50,89	0,00	1376,49	-4,94	-60,21
4,500	-13,32	-49,51	0,00	1377,17	-4,90	-60,37
5,000	-13,42	-49,31	0,00	1377,26	-4,90	-60,39
5,500	-13,52	-49,12	0,00	1377,36	-4,89	-60,42
6,000	-13,62	-48,92	0,00	1377,46	-4,89	-60,44
6,500	-13,72	-48,72	0,00	1377,55	-4,88	-60,46
7,000	-13,82	-48,53	0,00	1377,65	-4,88	-60,49
7,500	-13,92	-48,33	0,00	1377,75	-4,88	-60,51
8,000	-14,02	-48,14	0,00	1377,84	-4,87	-60,53
8,500	-14,12	-47,94	0,00	1377,94	-4,87	-60,56
9,000	-14,22	-47,74	0,00	1378,03	-4,86	-60,58
9,500	-14,32	-47,55	0,00	1378,13	-4,86	-60,60
10,000	-14,42	-47,35	0,00	1378,23	-4,85	-60,63
10,500	-14,52	-47,15	0,00	1378,32	-4,85	-60,65
11,000	-14,62	-46,96	0,00	1378,42	-4,84	-60,67
11,500	-14,72	-46,76	0,00	1378,52	-4,84	-60,70
12,000	-14,82	-46,57	0,00	1378,61	-4,83	-60,72
12,500	-14,92	-46,37	0,00	1378,71	-4,83	-60,74
13,000	-15,02	-46,17	0,00	1378,81	-4,83	-60,76
13,500	-15,12	-45,98	0,00	1378,90	-4,82	-60,79
14,000	-15,22	-45,78	0,00	1379,00	-4,82	-60,81
14,500	-15,32	-45,58	0,00	1379,10	-4,81	-60,83
15,000	-15,42	-45,39	0,00	1379,19	-4,81	-60,86
15,500	-15,52	-45,19	0,00	1379,29	-4,80	-60,88
16,000	-15,62	-45,00	0,00	1379,39	-4,80	-60,90
16,500	-15,72	-44,80	0,00	1379,48	-4,79	-60,93
17,000	-15,82	-44,60	0,00	1379,58	-4,79	-60,95
17,500	-15,92	-44,41	0,00	1379,68	-4,78	-60,97
18,000	-16,02	-44,21	0,00	1379,77	-4,78	-61,00
18,500	-16,12	-44,01	0,00	1379,87	-4,78	-61,02
19,000	-16,22	-43,82	0,00	1379,97	-4,77	-61,04
19,500	-16,32	-43,62	0,00	1380,06	-4,77	-61,07
20,000	-16,42	-43,43	0,00	1380,16	-4,76	-61,09
20,500	-16,52	-43,23	0,00	1380,26	-4,76	-61,11
21,000	-16,62	-43,03	0,00	1380,35	-4,75	-61,14
21,500	-18,42	-39,47	0,00	1382,11	-4,67	-61,56
22,000	-20,73	-34,91	0,00	1384,36	-4,57	-62,11
22,500	-23,04	-30,35	0,00	1386,61	-4,48	-62,65
23,000	-25,34	-25,79	0,00	1388,87	-4,38	-63,20
23,500	-27,64	-21,23	0,00	1391,13	-4,29	-63,75
24,000	-29,49	-17,56	0,00	1392,95	-4,21	-64,19
24,500	-29,59	-17,36	0,00	1393,05	-4,21	-64,22
25,000	-29,69	-17,17	0,00	1393,15	-4,20	-64,24
25,250	-29,74	-17,07	0,00	1393,19	-4,20	-64,25
x [m]	y [m]	z [m]	Maximální napětí po přenosu [MPa]			
Studentů věze	*Studentů věze*	*Studentů věze*	*Studentů věze*	*Studentů věze*	*Studentů věze*	*Studentů věze*
25,250	0,000	0,000	1393,19			

9.8 Krátkodobé ztráty – zakřivený kabel

Jméno kabelu: KBL2

Typ historie napínání: 3

Výpočet ztráty třením, pokluzem a dlouhodobou relaxací z počátečního tečevního napětí

Kabel napínaný z počátku

Pokluz vymizí uvnitř kabelu

dosah pokluzu: přímá část : 20,048 [m]

oblouk: 13,71 [deg]

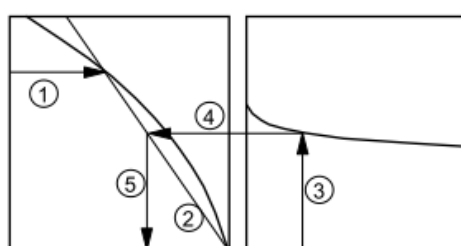
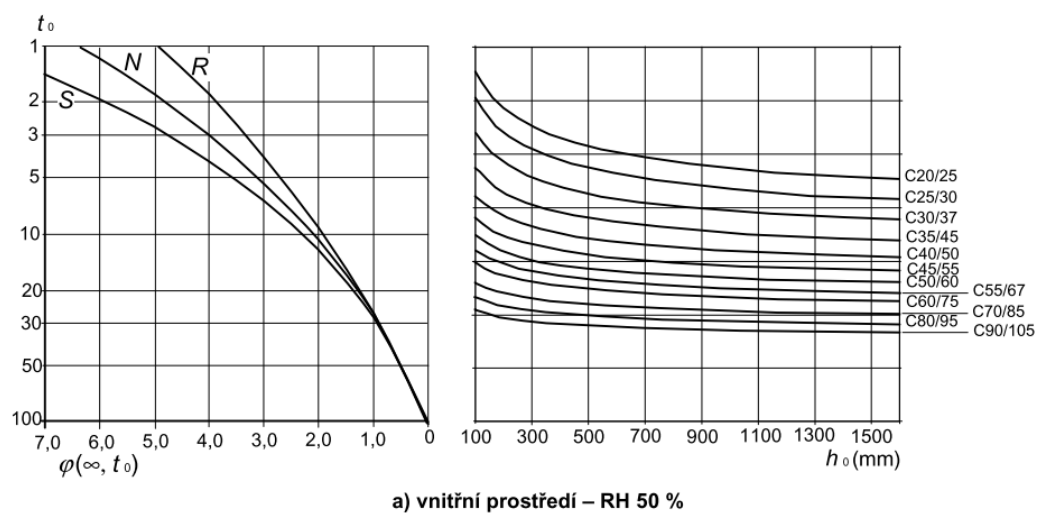
Teoretické prodloužení kabelu před přenosem 0,183 [m]

Teoretické prodloužení kabelu po přenosu 0,177 [m]

x [m]	Ztráty třením [MPa]	Ztráta pokluzem [MPa]	Krátkodobá relaxace [MPa]	Nap. po zakotvení / po vnesení předpětí [MPa]	Relaxace proběhla [MPa]	Relaxace proběhne [MPa]
Studentův vzorec	*Studentův vzorec*	*Studentův vzorec*	*Studentův vzorec*	*Studentův vzorec*	*Studentův vzorec*	*Studentův vzorec*
0,000	0,00	-100,83	0,00	1339,17	-5,56	-52,54
0,500	-0,10	-100,64	0,00	1339,26	-5,55	-52,56
1,000	-0,20	-100,44	0,00	1339,36	-5,54	-52,58
1,500	-0,30	-100,25	0,00	1339,45	-5,54	-52,60
2,000	-0,40	-100,05	0,00	1339,54	-5,53	-52,62
2,500	-0,50	-99,86	0,00	1339,64	-5,53	-52,64
3,000	-0,60	-99,66	0,00	1339,73	-5,52	-52,67
3,500	-0,71	-99,47	0,00	1339,83	-5,52	-52,69
4,000	-1,04	-98,83	0,00	1340,13	-5,50	-52,76
4,500	-3,39	-94,27	0,00	1342,33	-5,38	-53,26
5,000	-5,74	-89,73	0,00	1344,53	-5,26	-53,76
5,500	-8,08	-85,19	0,00	1346,73	-5,15	-54,26
6,000	-10,42	-80,65	0,00	1348,93	-5,04	-54,76
6,500	-12,75	-76,12	0,00	1351,13	-4,93	-55,26
7,000	-15,07	-71,59	0,00	1353,33	-4,82	-55,76
7,500	-17,39	-67,07	0,00	1355,54	-4,72	-56,26
8,000	-19,70	-62,55	0,00	1357,75	-4,62	-56,77
8,500	-22,01	-58,03	0,00	1359,96	-4,52	-57,27
9,000	-24,32	-53,51	0,00	1362,17	-4,42	-57,78
9,500	-26,62	-49,00	0,00	1364,39	-4,33	-58,29
10,000	-28,97	-44,46	0,00	1366,37	-4,25	-58,74
10,500	-28,77	-44,77	0,00	1366,47	-4,24	-58,76
11,000	-28,86	-44,58	0,00	1366,56	-4,24	-58,78
11,500	-28,96	-44,38	0,00	1366,66	-4,23	-58,81
12,000	-29,06	-44,19	0,00	1366,75	-4,23	-58,83
12,500	-29,16	-43,99	0,00	1366,85	-4,23	-58,85
13,000	-29,26	-43,80	0,00	1366,94	-4,22	-58,87
13,500	-29,36	-43,60	0,00	1367,04	-4,22	-58,89
14,000	-29,46	-43,41	0,00	1367,13	-4,21	-58,92
14,500	-29,56	-43,21	0,00	1367,23	-4,21	-58,94
15,000	-29,65	-43,02	0,00	1367,33	-4,21	-58,96
15,500	-30,60	-41,15	0,00	1368,25	-4,17	-59,17
16,000	-32,89	-36,63	0,00	1370,47	-4,08	-59,68
16,500	-35,18	-32,12	0,00	1372,70	-3,99	-60,20
17,000	-37,46	-27,60	0,00	1374,94	-3,91	-60,71
17,500	-39,74	-23,08	0,00	1377,18	-3,83	-61,23
18,000	-42,02	-18,56	0,00	1379,42	-3,74	-61,75
18,500	-44,30	-14,04	0,00	1381,67	-3,67	-62,27
19,000	-46,57	-9,51	0,00	1383,92	-3,59	-62,80
19,500	-48,84	-4,98	0,00	1386,18	-3,51	-63,33
20,000	-51,11	-0,44	0,00	1388,45	-3,44	-63,86
20,500	-53,38	0,00	0,00	1386,62	-3,37	-63,53
21,000	-55,65	0,00	0,00	1384,35	-3,29	-63,12
21,500	-57,05	0,00	0,00	1382,95	-3,25	-62,86
22,000	-57,15	0,00	0,00	1382,85	-3,25	-62,85
22,500	-57,25	0,00	0,00	1382,75	-3,25	-62,83
23,000	-57,34	0,00	0,00	1382,66	-3,24	-62,81
23,500	-57,44	0,00	0,00	1382,56	-3,24	-62,79
24,000	-57,54	0,00	0,00	1382,46	-3,24	-62,78
24,500	-57,63	0,00	0,00	1382,37	-3,23	-62,76
25,000	-57,73	0,00	0,00	1382,27	-3,23	-62,74
25,250	-57,78	0,00	0,00	1382,22	-3,23	-62,73
x [m]	y [m]	z [m]	Maximální napětí po přenosu [MPa]			
Studentův vzorec	*Studentův vzorec*	*Studentův vzorec*	*Studentův vzorec*	*Studentův vzorec*	*Studentův vzorec*	*Studentův vzorec*
20,000	0,000	-0,686	1388,45			

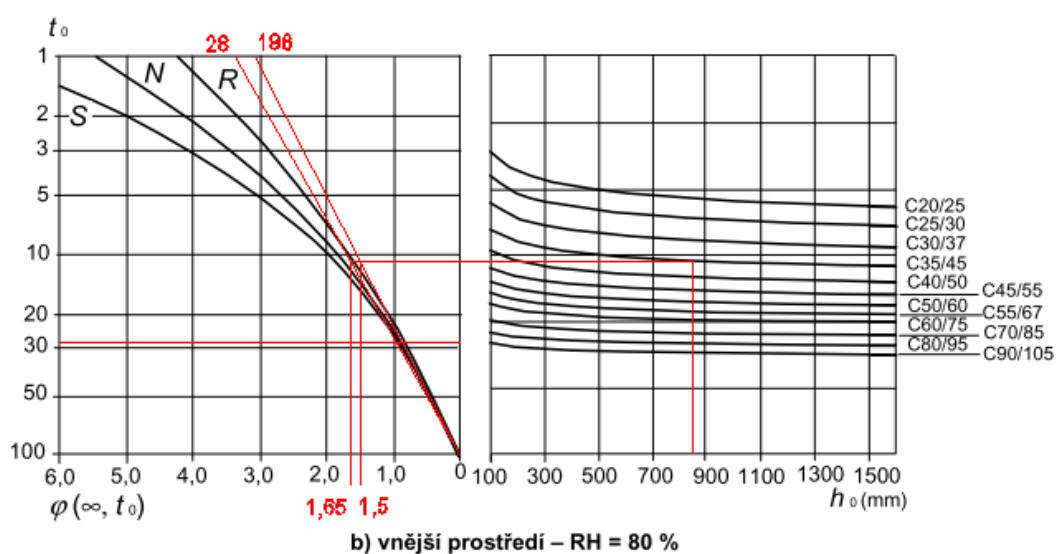
9.9 Součinitel dotvarování

ČSN EN 1992-1-1



POZNÁMKA

- průsečík čar 4 a 5 může být též nad bodem 1
- pro $t_0 > 100$ je dostatečně přesné předpokládat $t_0 = 100$ (a použít tečnu)



Obrázek 3.1 – Postup stanovení součinitele dotvarování $\phi(\infty, t_0)$ pro beton uložený v běžném prostředí

9.10 Kombinace účinků zatížení

Kombinace pro mezní stav použitelnosti

gr1a - častá

gr1a - charakteristická

The screenshot shows the 'Kombinace' application window. On the left is a file explorer pane listing files like 'g1a - ch.obl', 'g1a - č.obl', 'g1a - kv.obl', 'g1a - ch.obl', 'g1a - ch.in', 'g1a - č.in', 'g1a - ch.in', 'g1a - č.in', 'g1a - kv.obl', 'g1a - kv.in', 'g1a - kv

Kombinace		
gr1a - ch.abl	Jinero	gr1a - ch.obl
gr1a - l.abl	Popis	
gr1a - kv.abl	Týp	Obluka - používání
gr5 - ch.abl	<input checked="" type="checkbox"/> Oblast kombinace	
gr1a - ch.ln	MLT1H4 []	1,00
gr5 - ch.ln	OS.STALE []	1,00
vy.nac - pole	CHODNIK []	1,00
U gr1a - 6.10a	UDL1 []	1,00
U gr1a - 6.10b	UDL2 []	1,00
U gr5 - 6.10b	UDL2 []	1,00
U 6.10b/p pole 1	PREDPETI []	0,89
U 6.10b/p pole 2	LM1 - TR1.LM1.1/0.00m []	1,00
U 6.10b/p pole 3	LM2 - TR1.LM1.1/0.50m []	1,00
U 6.10b/p podp 1	LM3 - TR1.LM1.1/1.00m []	1,00
U 6.10b/p podp 2	LM4 - TR1.LM1.1/1.50m []	1,00
	LM5 - TR1.LM1.1/2.00m []	1,00
	LM6 - TR1.LM1.1/2.50m []	1,00
	LM7 - TR1.LM1.1/3.00m []	1,00
	LM8 - TR1.LM1.1/3.50m []	1,00
	LM9 - TR1.LM1.1/4.00m []	1,00
	LM10 - TR1.LM1.1/4.50m []	1,00
	LM11 - TR1.LM1.1/5.00m []	1,00
	LM12 - TR1.LM1.1/5.50m []	1,00
	LM13 - TR1.LM1.1/6.00m []	1,00
	LM14 - TR1.LM1.1/6.50m []	1,00
	LM15 - TR1.LM1.1/7.00m []	1,00
	LM16 - TR1.LM1.1/7.50m []	1,00
	LM17 - TR1.LM1.1/8.00m []	1,00
	LM18 - TR1.LM1.1/8.50m []	1,00
	LM19 - TR1.LM1.1/9.00m []	1,00
	LM20 - TR1.LM1.1/9.50m []	1,00
	LM21 - TR1.LM1.1/10.00m []	1,00
	LM22 - TR1.LM1.1/10.50m []	1,00
	LM23 - TR1.LM1.1/11.00m []	1,00
	LM24 - TR1.LM1.1/11.50m []	1,00
	LM25 - TR1.LM1.1/12.00m []	1,00
Alice		
Rozsah nehlásení		

Nový Vložit Opravit Smazat Znovu

gr5 - charakteristická

The screenshot displays the 'Kombinace' application interface. On the left, a sidebar contains a hierarchical tree view with items like 'grla - ch obl', 'grla - l obl', 'grla - kv obl', 'g5 - ch obl' (selected), 'grla - ch ln', 'grla - č ln', 'g5 - č ln', 'vy max - pole', 'U grla - 6.10a', 'U grla - 6.10b', 'U g5 - 6.10b', 'U 6.10b p^o pole 1', 'U 6.10b p^o pole 2', 'U 6.10b p^o pole 3', 'U 6.10b p^o pond 1', and 'U 6.10b p^o pond 2'. The main window title is 'Zadané kombinace'. It features a search bar at the top right containing 'g5 - ch obl'. Below it, a table lists combinations with three columns: 'Jedno', 'Popis', and 'Tvo'. The table entries include codes like 'VL TH4 {}' through 'LM133 - TR3/LM3/14.00m {}' with corresponding numerical values ranging from 1.00 to 1.25. At the bottom of the window, a row of buttons includes 'Nový', 'Vložit', 'Opravit', 'Smazat', and 'Zavřít'.

Jedno	Popis	Tvo
	VL TH4 {}	1.00
	DS STALE {}	1.00
	PREDPĚT {}	0.88
	LM105 - TR3/LM3/0.00m {}	1.25
	LM106 - TR3/LM3/0.50m {}	1.25
	LM107 - TR3/LM3/1.00m {}	1.25
	LM108 - TR3/LM3/1.50m {}	1.25
	LM109 - TR3/LM3/2.00m {}	1.25
	LM110 - TR3/LM3/2.50m {}	1.25
	LM111 - TR3/LM3/3.00m {}	1.25
	LM112 - TR3/LM3/3.50m {}	1.25
	LM113 - TR3/LM3/4.00m {}	1.25
	LM114 - TR3/LM3/4.50m {}	1.25
	LM115 - TR3/LM3/5.00m {}	1.25
	LM116 - TR3/LM3/5.50m {}	1.25
	LM117 - TR3/LM3/6.00m {}	1.25
	LM118 - TR3/LM3/6.50m {}	1.25
	LM119 - TR3/LM3/7.00m {}	1.25
	LM120 - TR3/LM3/7.50m {}	1.25
	LM121 - TR3/LM3/8.00m {}	1.25
	LM122 - TR3/LM3/8.50m {}	1.25
	LM123 - TR3/LM3/9.00m {}	1.25
	LM124 - TR3/LM3/9.50m {}	1.25
	LM125 - TR3/LM3/10.00m {}	1.25
	LM126 - TR3/LM3/10.50m {}	1.25
	LM127 - TR3/LM3/11.00m {}	1.25
	LM128 - TR3/LM3/11.50m {}	1.25
	LM129 - TR3/LM3/12.00m {}	1.25
	LM130 - TR3/LM3/12.50m {}	1.25
	LM131 - TR3/LM3/13.00m {}	1.25
	LM132 - TR3/LM3/13.50m {}	1.25
	LM133 - TR3/LM3/14.00m {}	1.25

Kombinace pro mezní stav únosnosti

