


FAKULTA STAVEBNÍ ČVUT V PRAZE KATEDRA OCELOVÝCH A DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ		
VYPRACOVAL: JAKUB ZIGMUND	VEDOUcí PRÁCE: DOC. DR. ING. JAKUB DOLEJŠ	
TÉMA DIPLOMOVÉ PRÁCE: LÁVKA V ČERNOŠÍCÍCH		MĚŘÍTKO:
		DATUM: leden 2017
NÁZEV PŘÍLOHY: STATICKÝ VÝPOČET		ČÍSLO PŘÍLOHY: 3

Obsah

1	Charakteristika lávky	4
1.1	Stručný popis konstrukce	4
1.2	Dispoziční schémata	4
2	Průřezové charakteristiky	6
2.1	Hlavní nosník	6
2.2	Příčník	6
2.3	Stojka pylonu	6
2.4	Příčel pylonu	7
2.5	Závěsy	7
3	Materiály	8
3.1	Konstrukční ocel	8
3.2	Lana	8
3.3	Beton	8
3.4	Betonářská výztuž	8
4	Zatížení	9
4.1	Zatížení stálé	9
4.2	Zatížení proměnné	9
5	Kombinace zatížení	13
5.1	Mezní stav únosnosti	13
5.2	Mezní stav použitelnosti	13
5.3	Použité součinitele	13
6	Návrh příčníku	14
6.1	Posouzení celkové ohybové únosnosti	14
6.2	Posouzení ve smyku	16
6.3	Posouzení ohybové únosnosti v montážním stavu	17
6.4	Návrh spřažení	18
7	Návrh hlavního nosníku, závěsů a pylonu	20
7.1	Výpočetní model	20
7.2	Fáze výstavby	21
7.3	Zatížení	25
7.4	Kombinace zatížení	34
7.5	Posouzení hlavního nosníku	35
7.6	Posouzení závěsů	42
7.7	Posouzení pylonu	44

7.8	Průběh fází výstavby.....	47
8	Posouzení MSP	52
8.1	Napětí na příčniku	52
8.2	Průhyb hlavního nosníku	53
8.3	Omezení napětí v lanech	53
8.4	Dynamická analýza	54
9	Návrh detailů.....	64
9.1	Ložiska	64
9.2	Uložení pylonu.....	67
9.3	Kotvení lanových závěsů	69
10	Výkaz materiálu.....	71

1 CHARAKTERISTIKA LÁVKY

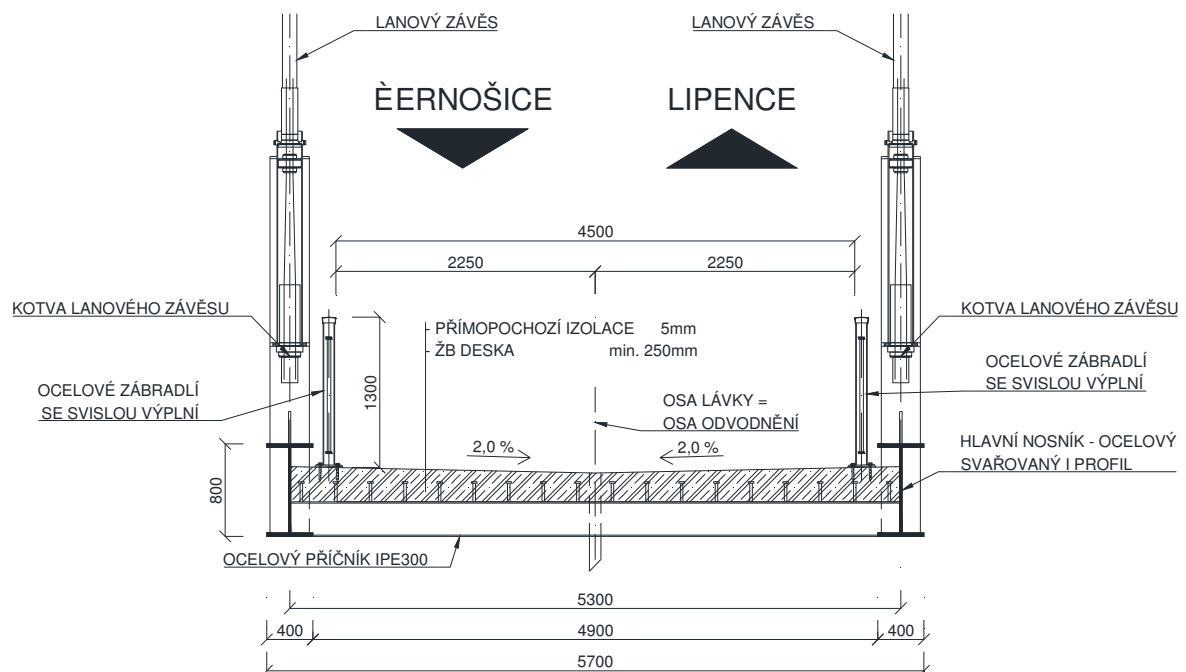
1.1 STRUČNÝ POPIS KONSTRUKCE

Lávka přemostuje řeku Berouнку mezi Černošicemi a Lipenci, jedná se o zavěšenou konstrukci s rozpětím 100 m. Lávka je směrově přímá, výškově je uprostřed rozpětí převážně z estetických důvodů nadvýšena o 1 m a tvoří tak vypuklý parabolický oblouk. Křížení s překážkou je kolmé, přístup na lávku je na obou březích umožněn jak po schodišti, tak po šikmé rampě.

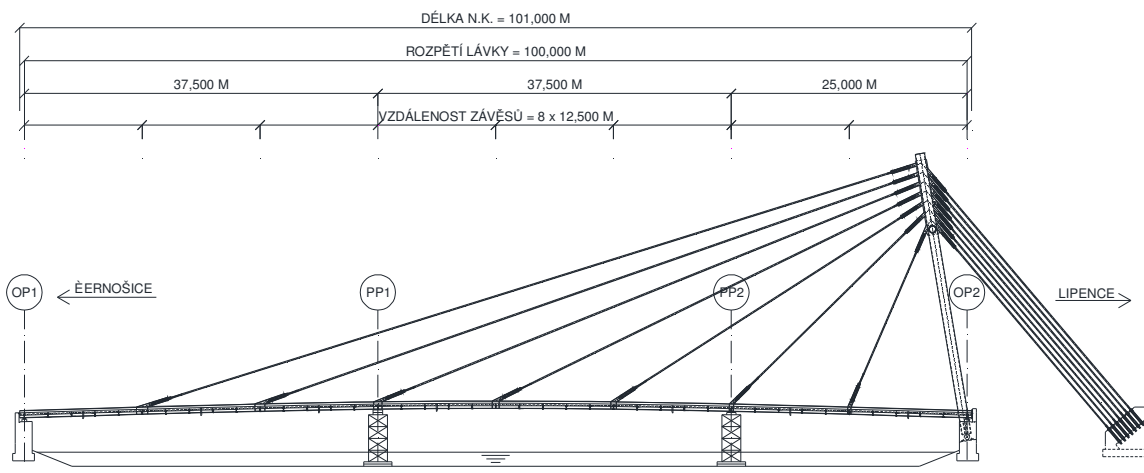
Nosnou konstrukci tvoří 2 hlavní nosníky ocelového profilu I výšky 800 mm s osovou vzdáleností 5,3 m. Příčníky s osovou vzdáleností 2,5 m jsou tvořené ocelovými profily IPE300. Na nich je monolitická ŽB deska s dostředným sklonem 2 % a minimální tloušťkou 250 mm. Most je zavěšen na 7 ocelových lanech, které působí jako pružné podpory a jejichž vzdálenost činí 12,5 m. Lana jsou kotvena do ocelového pylonu kruhového průřezu, jehož průměr činí 1000 mm, a dále pomocí zpětných závěsů do kotevního bloku za opěrou OP2. Nosná konstrukce je uložena na železobetonových krajních opěrách. Všechny ocelové prvky jsou z oceli S355, vyjma závěsů, které jsou z oceli Y1770S7. Na desku je použit beton třídy C30/37 s výztuží B500B.

Lávka je určena pro chodce i cyklisty, průchozí profil je široký 4,5 metru a vysoký 3,5 metru, zábradlí má výšku 1,3 metru. Konstrukce umožňuje přejezd vozidel IZS do hmotnosti 12 tun.

1.2 DISPOZIČNÍ SCHÉMATA



Příčné uspořádání lávky

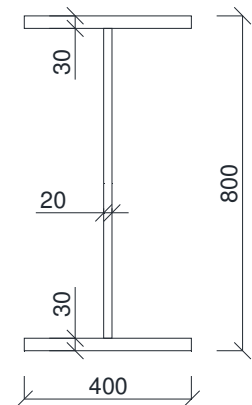


Podélné uspořádání lávky

2 PRŮŘEZOVÉ CHARAKTERISTIKY

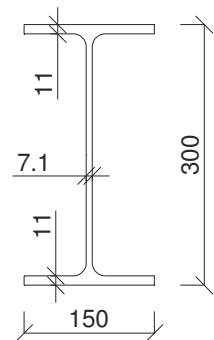
2.1 HLAVNÍ NOSNÍK

OCELOVÝ SVAŘOVANÝ I PROFIL		
Celková výška	$h =$	800 mm
Šířka pásnic	$b =$	400 mm
Tloušťka stojiny	$t_w =$	20 mm
Tloušťka pásnic	$t_f =$	30 mm
Průřezová plocha	$A =$	38 800 mm ²
Moment setrvačnosti k ose y	$I_y =$	4 234 600 000 mm ⁴
Elastický průřezový modul k ose y	$W_{el,y} =$	10 586 000 mm ³



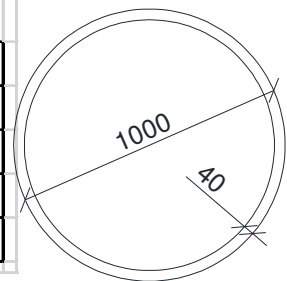
2.2 PŘÍČNÍK

OCELOVÝ VÁLCOVANÝ PROFIL IPE300		
Celková výška	$h =$	300 mm
Šířka pásnic	$b =$	150 mm
Tloušťka stojiny	$t_w =$	7 mm
Tloušťka pásnic	$t_f =$	11 mm
Průřezová plocha	$A =$	5 380 mm ²
Moment setrvačnosti k ose y	$I_y =$	83 560 000 mm ⁴
Elastický průřezový modul k ose y	$W_{el,y} =$	557 000 mm ³



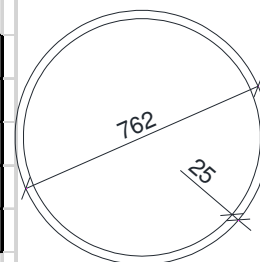
2.3 STOJKA PYLONU

OCELOVÁ SVAŘOVANÁ KRUHOVÁ TRUBKA		
Vnější průměr	$D =$	1 000 mm
Tloušťka stěny	$t =$	40 mm
Průřezová plocha	$A =$	122 600 mm ²
Moment setrvačnosti k ose y	$I_y =$	14 630 000 000 mm ⁴
Elastický průřezový modul k ose y	$W_{el,y} =$	28 800 000 mm ³



2.4 PŘÍČEL PYLONU

OCELOVÁ SVAŘOVANÁ KRUHOVÁ TRUBKA		
Vnější průměr	D =	762 mm
Tloušťka stěny	t =	25 mm
Průřezová plocha	A =	57 900 mm ²
Moment setrvačnosti k ose y	I _y =	3 935 000 000 mm ⁴
Elastický průřezový modul k ose y	W _{el,y} =	10 330 000 mm ³



2.5 ZÁVĚSY

Závěsy jsou tvořeny třináctipramencovými, respektive devatenáctipramencovými lany. Jmenovitý průměr jednoho pramence je **15,7 mm**, jeho jmenovitá průřezová plocha je pak **150 mm²**. Třináctipramencové lano má tedy jmenovitou průřezovou plochu **1950 mm²**, devatenáctipramencové pak **2850 mm²**.

3 MATERIÁLY

3.1 KONSTRUKČNÍ OCEL

Pro hlavní nosníky, příčníky a pylon je použita ocel S355 J2+N.

Mez kluzu	$f_y =$	355 MPa
Mez pevnosti	$f_u =$	510 MPa
Modul pružnosti	$E =$	210 000 MPa
Poissonův součinitel	$\nu =$	0,3
Objemová hmotnost	$\rho =$	7 850 kg/m ³

3.2 LANA

Jako materiál závěsů jsou použita ocelová sedmidrátová stabilizovaná lana (pramence) Y1770S7-15,7. Hodnoty v tabulce jsou pro jeden prameneček.

Pevnost v tahu	$f_k =$	1 770 MPa
Char. mez kluzu 0,1 %	$F_{0,1k} =$	234 kN
Char. pevnost	$F_k =$	266 kN
Modul pružnosti	$E =$	195 000 MPa
Jednotková hmotnost	$m =$	1,18 kg/m

3.3 BETON

Objemová hmotnost betonu všech pevností vyztuženého betonářskou výztuží je uvažována 2500 kg/m³ pro železobeton po vytvrdnutí a 2600 kg/m³ pro čerstvý železobeton.

Piloty: C25/30 – XA1, XC2

Základové bloky: C25/30 – XA2, XC2

Opěry, křídla: C30/37 – XF4, XD2, XC4

Deska: C30/37 – XF4, XD3, XC4

C25/30	Pevnost v tlaku	$f_{ck} =$	25 MPa
	Modul pružnosti	$E_{cm} =$	30 500 MPa
C30/37	Pevnost v tlaku	$f_{ck} =$	30 MPa
	Modul pružnosti	$E_{cm} =$	32 000 MPa

3.4 BETONÁŘSKÁ VÝZTUŽ

Je použita výztuž třídy B500B.

Mez kluzu	$f_{yk} =$	500 MPa
Modul pružnosti	$E =$	200 000 MPa

4 ZATÍŽENÍ

4.1 ZATÍŽENÍ STÁLÉ

4.1.1 Vlastní tíha konstrukčních prvků

	plocha [mm ²]	tl. [mm]	obj. tíha [kN/m ³]	zatížení	
hlavní nosník	38800		78,5	3,05	kN/m
příčník	5380		78,5	0,42	kN/m
stojka pylonu	92928		78,5	7,29	kN/m
příčel pylonu	37071		78,5	2,91	kN/m
závěs 13-pram.				0,15	kN/m
závěs 19-pram.				0,22	kN/m
čerstvý beton		275	26,0	7,15	kN/m ²
bednění				1,00	kN/m ²
deska		275	25,0	6,88	kN/m ²
zábradlí				0,50	kN/m

4.1.2 Předepnutí závěsů

Pro eliminaci průvěsu závěsů, pro dodržení teoretického tvaru hlavní nosné konstrukce, pro účely nadvýšení a pro eliminaci ohybového namáhání pylonu byly všechny lanové závěsy předepnuty tak, aby v žádném z nich nevznikala tlaková síla.

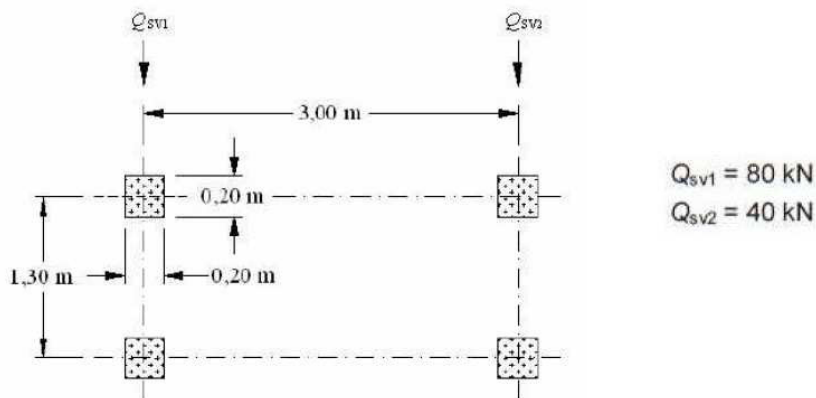
4.2 ZATÍŽENÍ PROMĚNNÉ

4.2.1 Rovnoměrné zatížení davem

Bylo uvažováno rovnoměrné zatížení davem lidí $q_{fk} = 4 \text{ kN/m}^2$, které je součástí sestavy zatížení gr1. Toto zatížení bylo na lávku aplikováno v celém průchozím profilu, tzn. na šířce 4,5 m, a po celé délce konstrukce, ale jen v těch místech, kde mělo na daný konstrukční prvek přitěžující účinek.

4.2.2 Servisní vozidlo

Dále bylo uvažováno se servisním vozidlem o hmotnosti 12 t, které je součástí sestavy zatížení gr2. Toto vozidlo se na celé lávce může vyskytovat nejvýše jedno a bylo na ní umísťováno tak, aby mělo vždy největší přitěžující účinek na daný konstrukční prvek, a to dle zatěžovacího schématu Q_{serv} na obrázku níže.



Zatěžovací schéma servisního vozidla

4.2.3 Vodorovné zatížení

Vodorovné zatížení se má uvažovat jako vyšší z hodnot 10 % rovnoměrného zatížení davem nebo 60 % z hmotnosti servisního vozidla a má být aplikováno společně se svislým zatížením.

a) 10 % z q_{fk} : $Q_{fk} = 0,1 \cdot q_{fk} \cdot B \cdot L = 0,1 \cdot 4 \cdot 4,5 \cdot 100 = 180 \text{ kN}$

b) 60 % z Q_{serv} : $Q_{fk} = 0,6 \cdot Q_{serv} = 0,6 \cdot 120 = 72 \text{ kN}$

Rozhodující je hodnota 10 % z q_{fk} , na konstrukci bylo aplikováno plošné vodorovné zatížení 0,4 kN/m² směrem doleva i doprava a to společně se svislým zatížením dle následující tabulky.

Druh zatížení		Svislé zatížení		Vodorovné zatížení
Zatěžovací systém		Rovnoměrné zatížení	Servisní vozidlo	
Sestava zatížení	gr1	q_{fk}	0	Q_{fk}
	gr2	0	Q_{serv}	Q_{fk}

4.2.4 Zatížení větrem – provozní stadium

Větrná oblast II $\rightarrow v_{b,0} = 25 \text{ m/s}$

$$v_b = C_{dir} \cdot C_{season} \cdot v_{b,0} = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 25 = 25 \text{ m/s}$$

$$q_b = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2 = \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 25^2 = 390,625 \text{ Pa}$$

Kategorie terénu I

Výška hlavního nosníku nad hladinou řeky 4,0 m

$$c_e = 2,3 \text{ (odečteno z grafu)}$$

$$d_{tot} = 1,4 \text{ (0,8 m hlavní nosník + 2 x 0,3 m za každé zábradlí)}$$

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

$$b/d_{tot} = 5,7/1,4 = 4,07$$

$$c_{fx,0} = 1,3 \text{ (odečteno z grafu)}$$

$$f_w = c_e \cdot c_{fx,0} \cdot q_b = 2,3 \cdot 1,3 \cdot 390,625 = 1168 \text{ Pa} = 1,168 \text{ kN/m}^2$$

$$f_{w,k} = f_w \cdot h_n = 1,168 \cdot 0,8 = 0,934 \text{ kN/m}$$

4.2.5 Zatížení větrem – montážní stadium

$$v_{b,0} = 20 \text{ m/s}$$

$$v_b = c_{dir} * c_{season} * v_{b,0} = 1,0 * 1,0 * 20 = 20 \text{ m/s}$$

$$q_b = \frac{1}{2} * \rho * v_b^2 = \frac{1}{2} * 1,25 * 20^2 = 250 \text{ Pa}$$

Kategorie terénu I

Výška hlavního nosníku nad hladinou řeky 4,0 m

$$c_e = 2,3 \text{ (odečteno z grafu)}$$

$$d_{tot} = 0,8 \text{ m}$$

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

$$b/d_{tot} = 5,7/0,8 = 7,125$$

$$c_{fx,0} = 1,3 \text{ (odečteno z grafu)}$$

$$f_w = c_e * c_{fx,0} * q_b = 2,3 * 1,3 * 250 = 748 \text{ Pa} = 0,748 \text{ kN/m}^2$$

$$f_{w,k} = f_w * h_n = 0,748 * 0,8 = 0,598 \text{ kN/m}$$

4.2.6 Zatížení teplotou

4.2.6.1 Oteplení

$$T_0 = 10 \text{ °C}$$

$$T_{max} = 40 \text{ °C (dle teplotní mapy)}$$

1. typ (ocelová nosná konstrukce – pylon, závěsy, hlavní nosník)

$$T_{e,max} = T_{max} + 16 = 40 + 16 = 56 \text{ °C} > 50 \text{ °C} \rightarrow T_{e,max} = 50 \text{ °C}$$

$$\Delta T_{N,exp} = - T_0 + T_{e,max} = - 10 + 50 = 40 \text{ °C}$$

2. typ (ocelobetonová nosná konstrukce – příčníky)

$$T_{e,max} = T_{max} + 4,5 = 40 + 4,5 = 44,5 \text{ °C} < 50 \text{ °C}$$

$$\Delta T_{N,exp} = - T_0 + T_{e,max} = - 10 + 44,5 = 34,5 \text{ °C}$$

3. typ (betonová nosná konstrukce – ŽB deska)

$$T_{e,max} = T_{max} + 1,5 = 40 + 1,5 = 41,5 \text{ °C} < 50 \text{ °C}$$

$$\Delta T_{N,exp} = - T_0 + T_{e,max} = - 10 + 41,5 = 31,5 \text{ °C}$$

4.2.6.2 Ochlazení

$$T_0 = 10 \text{ °C}$$

$$T_{\min} = -32 \text{ °C (dle teplotní mapy)}$$

1. typ (ocelová nosná konstrukce – pylon, závěsy, hlavní nosník)

$$T_{e,\min} = T_{\min} - 3 = -32 - 3 = -35 \text{ °C}$$

$$\Delta T_{N,\text{con}} = -T_0 + T_{e,\min} = -10 - 35 = -45 \text{ °C}$$

2. typ (ocelobetonová nosná konstrukce – příčníky)

$$T_{e,\min} = T_{\min} + 4,5 = -32 + 4,5 = -27,5 \text{ °C}$$

$$\Delta T_{N,\text{con}} = -T_0 + T_{e,\min} = -10 - 27,5 = -37,5 \text{ °C}$$

3. typ (betonová nosná konstrukce – ŽB deska)

$$T_{e,\min} = T_{\min} + 8 = -32 + 8 = -24 \text{ °C}$$

$$\Delta T_{N,\text{con}} = -T_0 + T_{e,\min} = -10 - 24 = -34 \text{ °C}$$

5 KOMBINACE ZATÍŽENÍ

5.1 MEZNÍ STAV ÚNOSNOSTI

Pro účely posouzení jednotlivých konstrukčních prvků v mezním stavu únosnosti byly vytvořeny vždy obě normové kombinace 6.10 a) a 6.10 b) a následně vybrána hodnota s méně příznivým účinkem na konstrukci.

$$\text{Rovnice 6.10 a) } \sum \gamma_{G,j} * G_{k,j} + \gamma_P * P + \gamma_{Q,1} * \psi_{0,1} * Q_{k,1} + \sum \gamma_{Q,i} * \psi_{0,i} * Q_{k,i}$$

$$\text{Rovnice 6.10 b) } \sum \xi_j * \gamma_{G,j} * G_{k,j} + \gamma_P * P + \gamma_{Q,1} * Q_{k,1} + \sum \gamma_{Q,i} * \psi_{0,i} * Q_{k,i}$$

5.2 MEZNÍ STAV POUŽITELNOSTI

Pro účely posouzení konstrukce v mezním stavu použitelnosti byly vytvořeny charakteristické kombinace: $\sum G_{k,j} + P + Q_{k,1} + \sum \psi_{0,i} * Q_{k,i}$. Konkrétní použitá kombinace je uvedena u jednotlivých posouzení.

5.3 POUŽITÉ SOUČINITELE

5.3.1 Součinitele zatížení

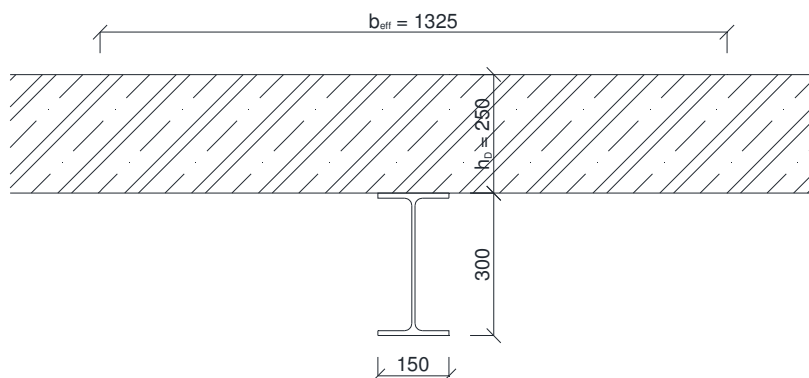
Součinitel nepříznivého stálého zatížení	γ_G	1,35
Součinitel příznivého stálého zatížení	γ_G	1,00
Redukční součinitel	ξ	0,85
Součinitel nepříznivého proměnného zatížení dopravou (gr1, gr2)	γ_Q	1,35
Součinitel nepříznivého proměnného klimatického zatížení (vítr, teplota)	γ_Q	1,50
Součinitel příznivého proměnného zatížení	γ_Q	0,00

5.3.2 Kombinační součinitele

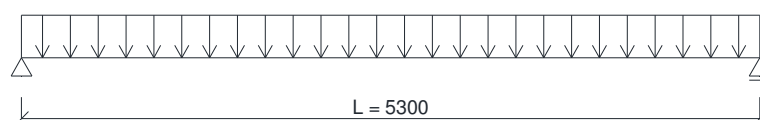
Zatížení	Značka	ψ_0
Zatížení dopravou	gr1	0,4
	gr2	0,0
Zatížení větrem	$F_{w,k}$	0,3
Zatížení teplotou	T_k	0,6

6 NÁVRH PŘÍČNÍKU

Příčnick bude v MSÚ posouzen plasticky jako spřažený průřez podle obrázku níže, staticky příčnick působí jako prostý nosník. Průřez je třídy 1 (dle tabulek). Pro účely výpočtu vnitřních sil na příčnicku byl vytvořen jednoduchý 2D model v programu Scia Engineer.



Spřažený průřez příčnicku

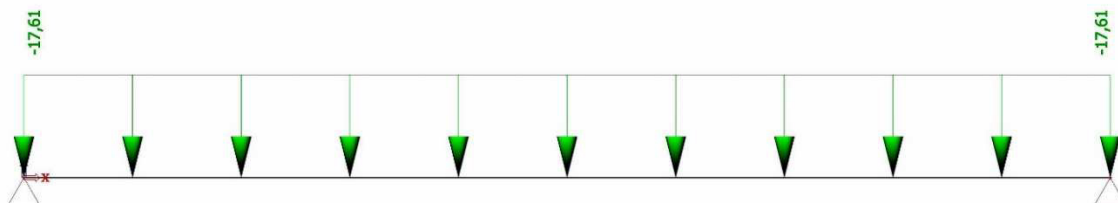


Statické schéma příčnicku

6.1 POSOUZENÍ CELKOVÉ OHYBOVÉ ÚNOSNOSTI

6.1.1 Zatížení

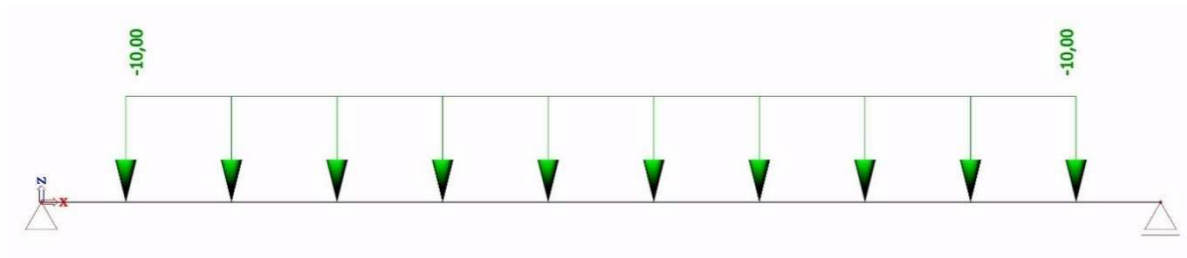
Stálé zatížení:	Vlastní tíha IPE300		0,42 kN/m
	Vlastní tíha ŽB desky	25*0,275*2,5	17,19 kN/m
	Celkem		17,61 kN/m



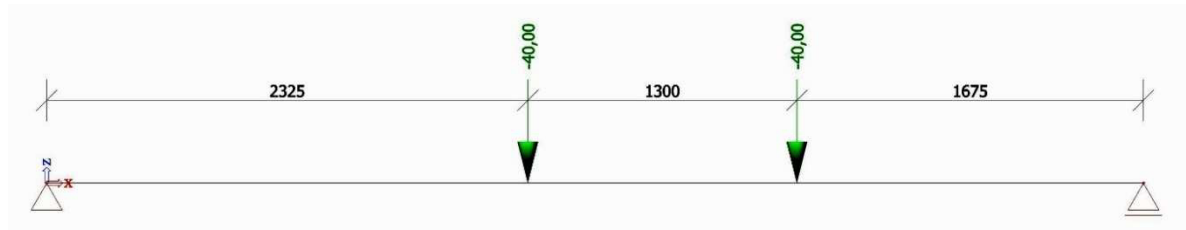
Stálé zatížení na příčnick

Proměnné zatížení:	Dav lidí gr1	4*2,5	10,00 kN/m
	Vozidlo gr2		2x40 kN

Vozidlo bylo na příčnick umístěno podle kritéria max max M.



Zatížení davem lidí – skupina zatížení gr1

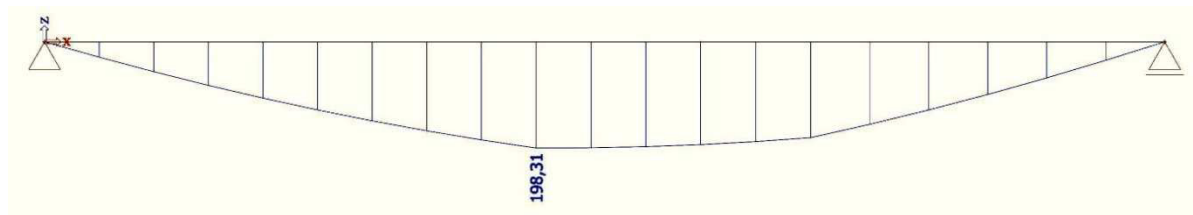


Zatížení servisním vozidlem – skupina zatížení gr2

6.1.2 Vnitřní síly

Rozhodující kombinace zatížení: rovnice 6.10 b) $\sum \xi_j \cdot \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$

Jako dominantní proměnné zatížení je uvažováno zatížení gr2.



Průběh ohybového momentu M_y

6.1.3 Vlastní posouzení

Návrhový ohybový moment: $M_{Ed} = 198,31$ kNm

Účinná šířka desky: $b_{eff} = \min(2 \cdot L/8; \text{zat. šířka}) = \min(2 \cdot 5300/8; 2500) = \min(1325; 2500) = 1325$ mm

Návrhová pevnost betonu: $f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot f_{ck} / \gamma_c = 0,85 \cdot 30 / 1,5 = 17$ MPa

Návrhová pevnost oceli: $f_{yd} = f_{yk} / \gamma_{M0} = 355 / 1,0 = 355$ MPa

Předpoklad: plastická neutrální osa prochází deskou.

Vzdálenost N.O. od horního povrchu desky: $z_{pl} = A_a \cdot f_{yd} / (b_{eff} \cdot f_{cd}) = 5381 \cdot 355 / (1325 \cdot 17) = 85$ mm

Předpoklad splněn.

Rameno momentu únosnosti: $z = h_{IPE}/2 + h_D - z_{pl}/2 = 300/2 + 250 - 85/2 = 357$ mm

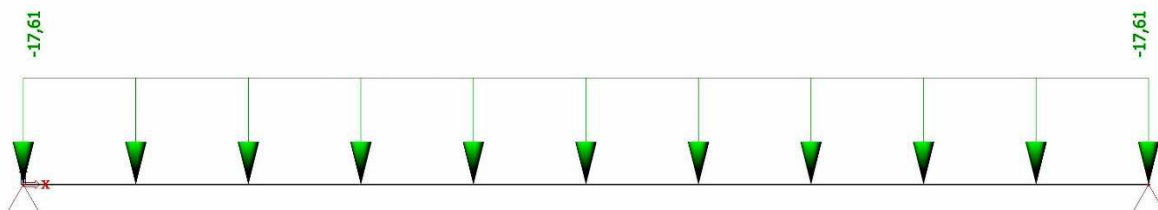
Plastický moment únosnosti: $M_{pl,Rd} = A_a \cdot f_{yd} \cdot z = 5381 \cdot 355 \cdot 357 = 681,96 \cdot 10^6$ Nmm = 681,96 kNm

Posouzení: $M_{Ed} = 198,31 < M_{pl,Rd} = 681,96$ kNm → VYHOVUJE.

6.2 POSOUZENÍ VE SMYKU

6.2.1 Zatížení

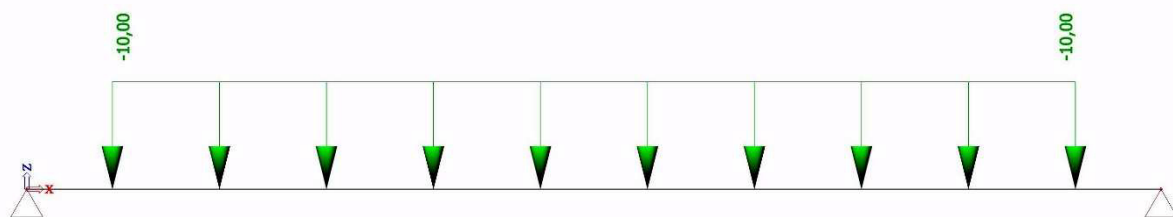
Stálé zatížení:	Vlastní tíha IPE300		0,42 kN/m
	Vlastní tíha ŽB desky	25*0,275*2,5	17,19 kN/m
	Celkem		17,61 kN/m



Stálé zatížení na příčník

Proměnné zatížení:	Dav lidí gr1	4*2,5	10,00 kN/m
	Vozidlo gr2		2x40 kN

Vozidlo bylo na příčník umístěno co nejbližže podpoře (v tomto případě hlavnímu nosníku)



Zatížení davem lidí – skupina zatížení gr1

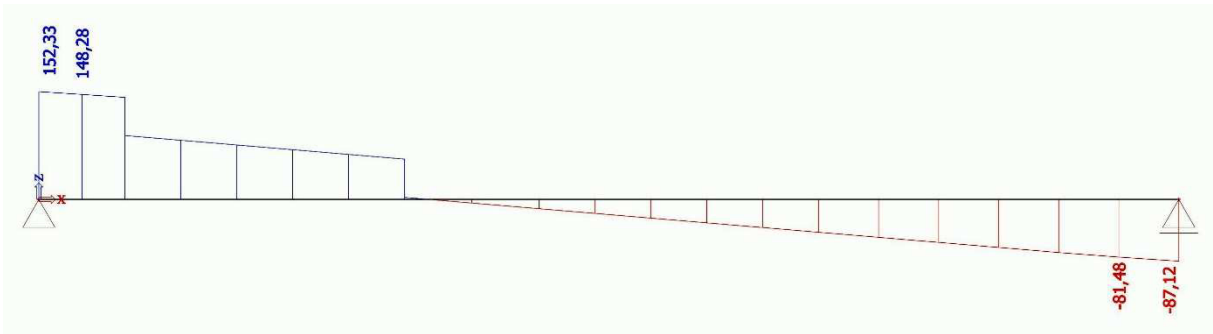


Zatížení servisním vozidlem – skupina zatížení gr2

6.2.2 Vnitřní síly

Rozhodující kombinace zatížení: rovnice 6.10 b) $\sum \xi_j \cdot \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$

Jako dominantní proměnné zatížení je uvažováno zatížení gr2.



Průběh posouvající síly Vz

6.2.3 Vlastní posouzení

Průřez je třídy 1, posouzení proběhne bez vlivu boulení.

Návrhová posouvající síla: $V_{Ed} = 152,33$ kN

Únosnost ve smyku: $V_{Rd} = A_w/3^{1/2} * f_v / \gamma_{M0} = 2178/3^{1/2} * 355 / 1,0 = 446\,401$ N

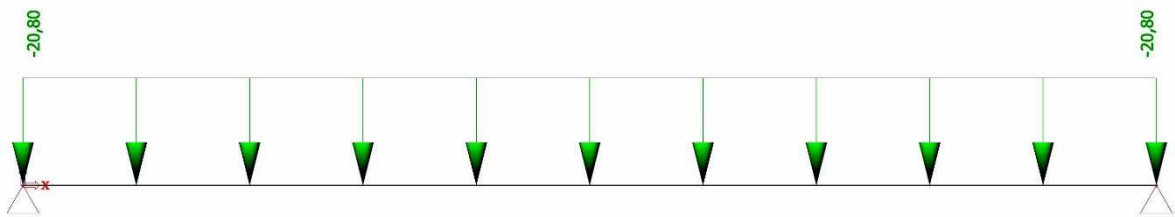
Posouzení: $V_{Ed}/V_{Rd} = 152,33/446,40 = 0,341 < 1,000 \rightarrow$ VYHOVUJE.

Spolupůsobení M+V: $V_{Ed} = 152,33 < 0,5 * V_{Rd} = 223,20$ [kN] \rightarrow spolupůsobení není třeba uvažovat.

6.3 POSOUZENÍ OHYBOVÉ ÚNOSNOSTI V MONTÁŽNÍM STAVU

6.3.1 Zatížení

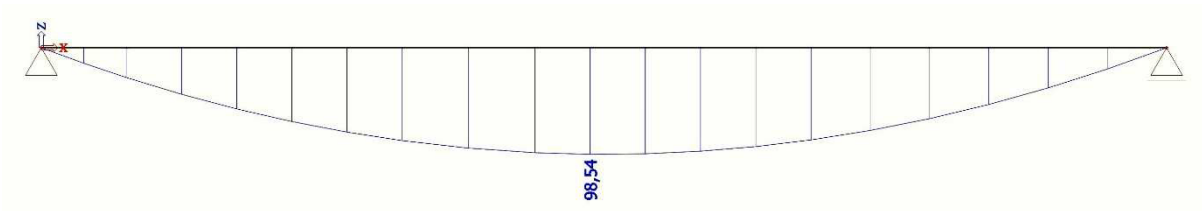
Stálé zatížení:	Vlastní tíha IPE300		0,42 kN/m
	Tíha čerstvého betonu	26*0,275*2,5	17,19 kN/m
	Bednění	1*2,5	2,50 kN/m
	Celkem		20,80 kN/m



Stálé zatížení na příčník

6.3.2 Vnitřní síly

$M_{Ed} = \gamma_G * 1/8 * f_{g,k} * L^2 = 1,35 * 1/8 * 20,8 * 5,3^2 = 98,54$ kNm



Průběh ohybového momentu M_y

6.3.3 Vlastní posouzení

Montážní stav byl posouzen pružně.

Napětí v krajních vláknech ocelového nosníku: $\sigma_a = M_{Ed,a}/W_{el,y} = 98,54 \cdot 10^6 / 557000 = 176,9 \text{ MPa}$

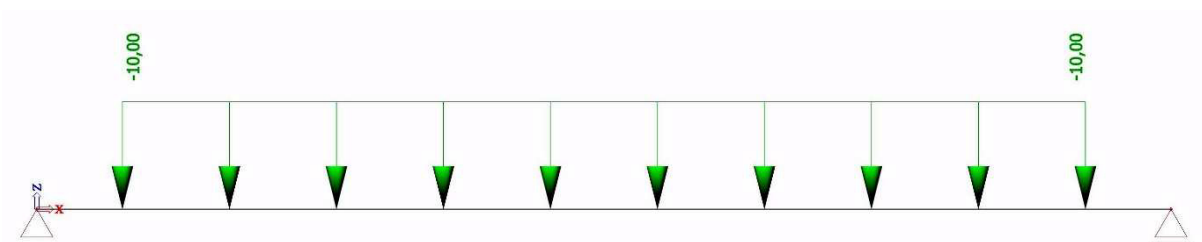
Posouzení: $\sigma_a = 176,9 \text{ MPa} < f_y = 355,0 \text{ [MPa]} \rightarrow \text{VYHOVUJE.}$

6.4 NÁVRH SPŘAŽENÍ

6.4.1 Zatížení

Proměnné zatížení:	Dav lidí gr1	4*2,5	10,00 kN/m
	Vozidlo gr2		2x40 kN

Vozidlo bylo na příčnici umístěno co nejbližže podpoře (v tomto případě hlavnímu nosníku)



Zatížení davem lidí – skupina zatížení gr1

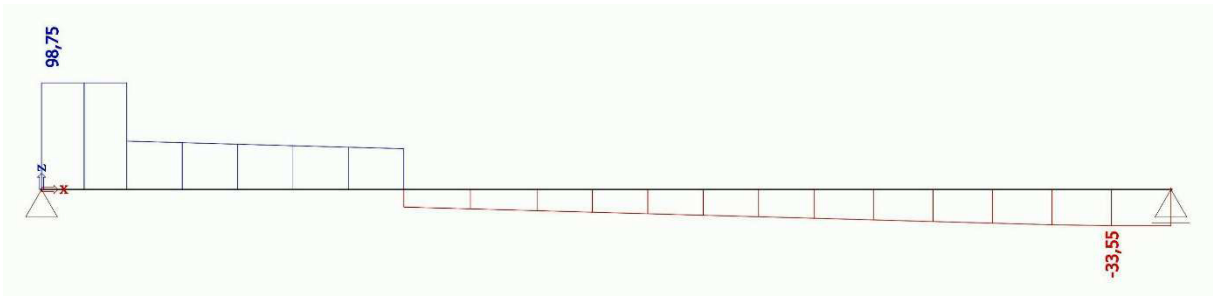


Zatížení servisním vozidlem – skupina zatížení gr2

6.4.2 Vnitřní síly

Rozhodující kombinace zatížení: rovnice 6.10 b) $\sum \xi_j \cdot \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} \text{ "+" } \gamma_P \cdot P \text{ "+" } \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} \text{ "+" } \sum \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$

Jako dominantní proměnné zatížení je uvažováno zatížení gr2.



Průběh posouvající síly Vz

6.4.3 Návrh trnu

Průměr trnu: $d = 22 \text{ mm}$

Výška trnu: $h_{sc} = 175 \text{ mm}$

$h_{sc}/d = 175/22 = 7,95 > 4 \rightarrow \alpha = 1,0$

Pevnost trnu: $f_u = 310 \text{ MPa}$

Únosnost jednoho trnu: $P_{Rd} = \min(0,8 \cdot f_u \cdot (\pi \cdot d^2/4) / \gamma_V; 0,29 \cdot \alpha \cdot d^2 \cdot (f_{ck} \cdot E_{cm})^{1/2} / \gamma_V) =$
 $= \min(0,8 \cdot 310 \cdot (\pi \cdot 22^2/4) / 1,25; 0,29 \cdot 1,0 \cdot 22^2 \cdot (30 \cdot 32000)^{1/2} / 1,25) =$
 $= \min(75418; 110019) = 75 \text{ 418 N}$

6.4.4 Průřezové charakteristiky spřaženého průřezu

Účinný modul pružnosti betonu (zjednodušeně): $E_c' = E_{cm}/2 = 32000/2 = 16 \text{ 000 MPa}$

Pracovní součinitel: $n = E_a/E_c' = 210000/16000 = 13,125$

Poloha neutrální osy od spodních vláken: $z_{NO} = (A_a \cdot z_a + h_D \cdot b_{eff}/n \cdot z_D) / (A_a + h_D \cdot b_{eff}/n) = (5380 \cdot 150 +$
 $+ 250 \cdot 1325 / 13,125 \cdot 425) / (5380 + 250 \cdot 1325 / 13,125) = 377 \text{ mm}$

Moment setrvačnosti k ose y: $I_{y,i} = 548,89 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$

6.4.5 Vlastní posouzení

Spřažení bude posouzeno pružně.

Návrhová posouvající síla: $V_{Ed} = 98,75 \text{ kN}$

Stat. moment připojené plochy: $S_i = b_{eff}/n \cdot d_p \cdot z = 1325/13,125 \cdot 250 \cdot (300+250/2-377) = 1 \text{ 211 429 mm}^3$

Smykový tok ve spřažení: $V_1 = V_{Ed} \cdot S_i / I_i = 98750 \cdot 1211429 / (548,89 \cdot 10^6) = 218 \text{ N/mm}$

Minimální vzdálenost trnů: $e_{min} = i \cdot P_{Rd} / V_1 = 1 \cdot 75418 / 218 = 345 \text{ mm}$

Maximální vzdálenost trnů: $e_{max} = \min(6 \cdot d_p; 800) = \min(6 \cdot 250; 800) = \min(1500; 800) = 800 \text{ mm}$

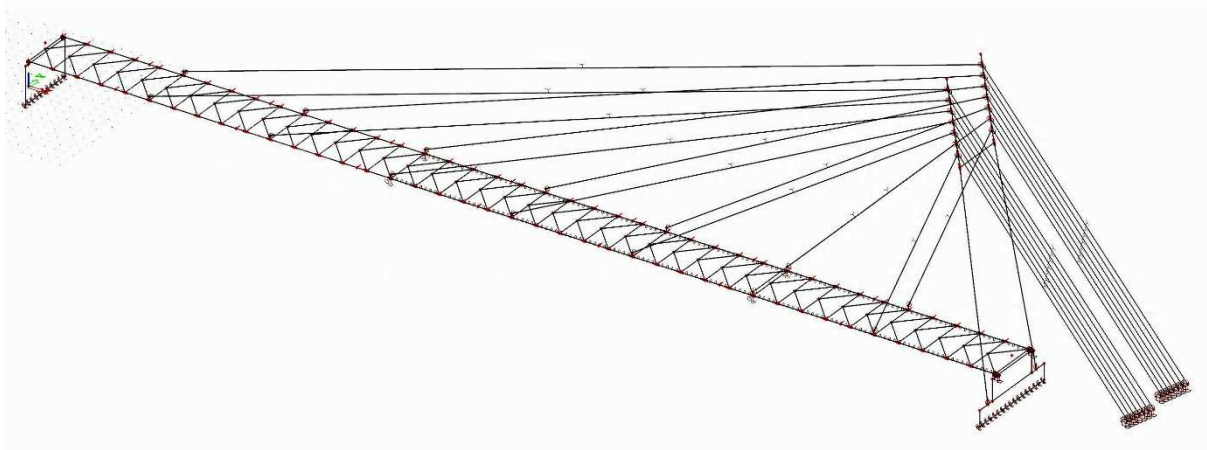
Navrhovaná vzdálenost trnů: $e = 300 \text{ mm}$

Posouzení: $N_{E,p,d} = V_1 \cdot e = 218 \cdot 300 = 65 \text{ 400 N} < P_{Rd} = 75 \text{ 418 N} \rightarrow \text{VYHOVUJE.}$

7 NÁVRH HLAVNÍHO NOSNÍKU, ZÁVĚSŮ A PYLONU

7.1 VÝPOČETNÍ MODEL

Pro účely výpočtu byl vytvořen prostorový model v programu Scia Engineer 14. Pro získání kompletních a především nejvíce realitě se blížících výsledků byly zapnuty následující funkcionality.



Celkový axonometrický pohled na výpočetní model

Nelinearity – vzhledem k tomu, že závěsy jsou tvořeny dlouhými lany s minimální ohybovou tuhostí, vycházely na těchto lanech při standardním lineárním výpočtu nesmyslně veliké průhyby (na nejdelším závěsu dokonce v řádu kilometrů). Při výpočtu konstrukce pomocí teorie druhého řádu, tedy nelineárním výpočtem, kdy byla použita modifikovaná Newton-Raphsonova metoda, již vyšly reálné hodnoty průhybu (na nejdelším laně cca 30 cm). Když byla navíc na každý závěs aplikovaná nelinearita na prutu – typ lano, vyšly na nich při nelineárním výpočtu nulové ohybové momenty.

Fáze výstavby – pro simulaci postupu výstavby lávky byly jednotlivé části konstrukce do modelu přidávány postupně v jednotlivých fázích, stejně tak stálá zatížení jsou rozdělena do fází, protože betonáž železobetonové desky probíhá postupně po taktech a stejně tak předpínání závěsů. Podrobněji se fázím výstavby věnuje kapitola 6.2.

Stabilita – vzhledem k tomu, že se na konstrukci nacházejí tlačené pruty s nejasnou vzpěrnou délkou (pylon, hlavní nosník), byl proveden stabilitní výpočet, jehož výsledkem byly jak součinitele kritického zatížení α , tak tvary vybočení příslušné jednotlivým součinitelům α .

Předpětí – aby mohl být jako materiál lanových závěsů použit Y1770S7, byla aktivována též funkcionality předpětí. Samotné předpínání lan však bylo do modelu vneseno pomocí zatížení teplotou, a to rovnoměrným ochlazením celého prutu.

Pohyblivá zatížení – zejména z důvodu, aby mohlo v modelu být zohledněno zatížení od servisního vozidla, byla zapnuta funkcionality pohyblivá zatížení. Stejně tak rovnoměrné zatížení

davem lidí bylo do modelu vneseno pomocí pohyblivého zatížení, protože výpočetní program toto zatížení umístí tak, aby mělo největší účinek pro danou veličinu podle příčinkových čar.

Dynamika – pro výpočet vlastních tvarů kmitání konstrukce byly ze stálých zatížení vytvořeny hmoty a následně spuštěna modální analýza, jejímž výsledkem byly vlastní frekvence a příslušné vlastní tvary této konstrukce.

Návrh mostů – tato funkcionality byla zapnuta z důvodu vnesení do modelu příslušných skupin proměnného zatížení a následné automatické generace kombinací zatěžovacích stavů včetně správných součinitelů zatížení γ a kombinačních součinitelů ψ .

7.2 FÁZE VÝSTAVBY

Do výpočetního modelu byly zavedeny následující fáze výstavby.

- ST1 – výstavba obou opěr OP1 a OP2, vztyčení pylonu, výstavba dočasné podpory pižmo PP2, montáž první části nosného roštu tvořeného hlavními nosníky a příčníky včetně ztužení (28,5 m), montáž a předepnutí první a druhé řady nosných i zpětných závěsů
- ST2 – montáž druhé části nosného roštu včetně ztužení (25 m), montáž třetí a čtvrté řady nosných i zpětných závěsů, předepnutí všech doposud namontovaných závěsů
- ST3 – výstavba dočasné podpory pižmo PP1, montáž třetí části nosného roštu včetně ztužení (25 m), montáž páté a šesté řady nosných i zpětných závěsů, předepnutí třetí až šesté řady nosných i zpětných závěsů
- ST4 – montáž čtvrté části nosného roštu včetně ztužení (21,5 m), montáž sedmé řady nosných i zpětných závěsů, předepnutí všech závěsů
- ST5 – betonáž prvního úseku desky mezi OP2 a PP2 (25 m)
- ST6 – předepnutí druhé řady nosných i zpětných závěsů
- ST7 – předepnutí první řady nosných i zpětných závěsů
- ST8 – odbednění a aktivace prvního úseku desky, betonáž druhého úseku mezi PP2 a PP1 (37,5 m)
- ST9 – předepnutí páté řady nosných i zpětných závěsů
- ST10 – předepnutí čtvrté řady nosných i zpětných závěsů
- ST11 – předepnutí třetí řady nosných i zpětných závěsů
- ST12 – předepnutí druhé řady nosných i zpětných závěsů
- ST13 – předepnutí první řady nosných i zpětných závěsů
- ST14 – předepnutí sedmé řady nosných i zpětných závěsů
- ST15 – odbednění a aktivace druhého úseku desky, betonáž třetího úseku mezi PP1 a OP1 (37,5 m)
- ST16 – předepnutí páté řady nosných i zpětných závěsů
- ST17 – předepnutí šesté řady nosných i zpětných závěsů

ST18 – předeprnutí sedmé řady nosných i zpětných závěsů

ST19 – předeprnutí čtvrté řady nosných i zpětných závěsů

ST20 – předeprnutí třetí řady nosných i zpětných závěsů

ST21 – předeprnutí druhé řady nosných i zpětných závěsů

ST22 – předeprnutí první řady nosných i zpětných závěsů

ST23 – odbednění a aktivace třetího úseku desky, odstranění provizorních podpor PP1 a PP2, demontáž ztužení

ST24 – předeprnutí páté řady nosných i zpětných závěsů

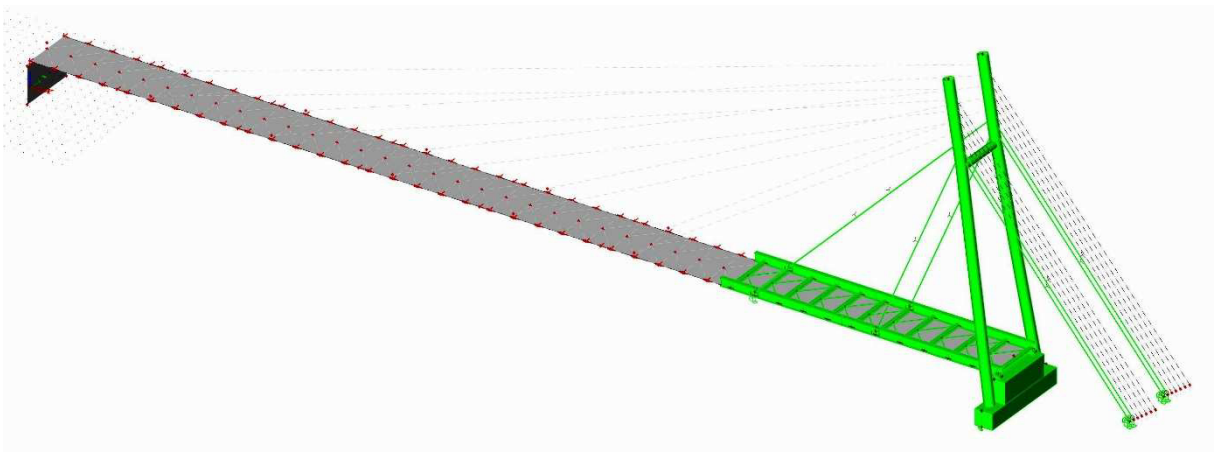
ST25 – předeprnutí druhé řady nosných i zpětných závěsů

ST26 – předeprnutí čtvrté řady nosných i zpětných závěsů

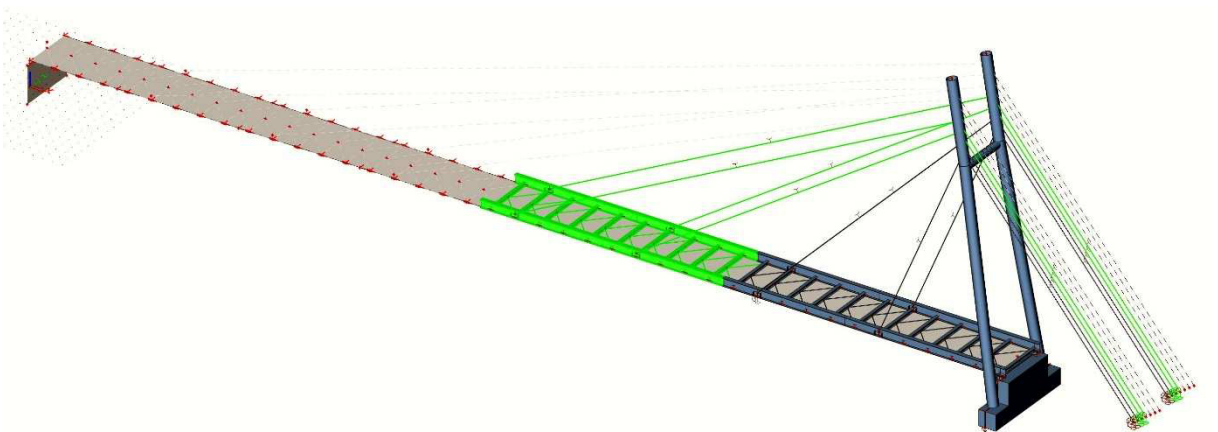
ST27 – předeprnutí třetí řady nosných i zpětných závěsů

ST28 – předeprnutí první řady nosných i zpětných závěsů

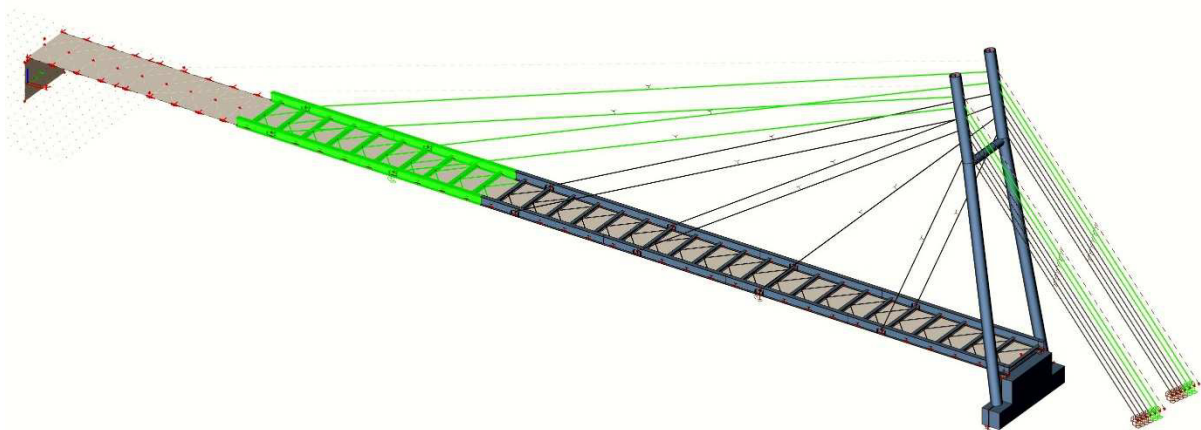
ST29 – osazení zábradlí



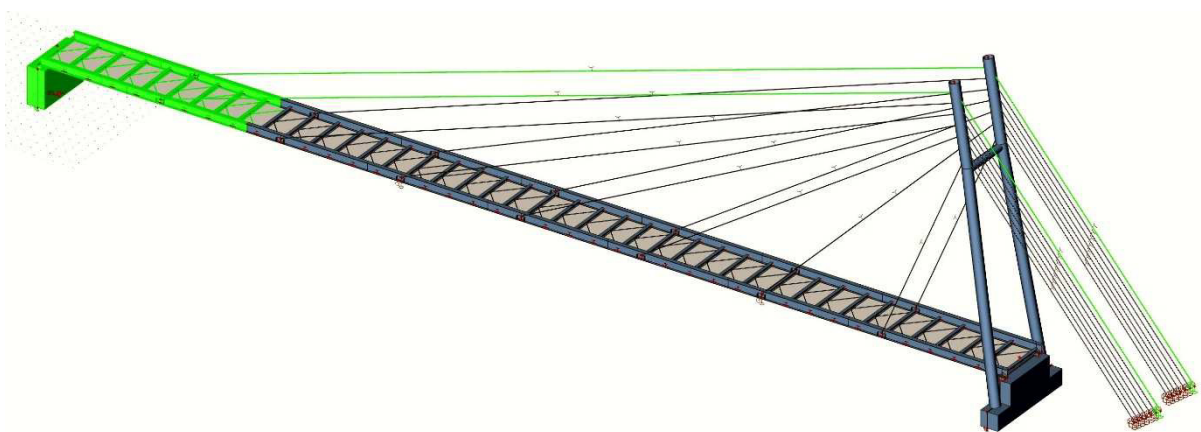
Fáze výstavby ST1 – montáž první části OK



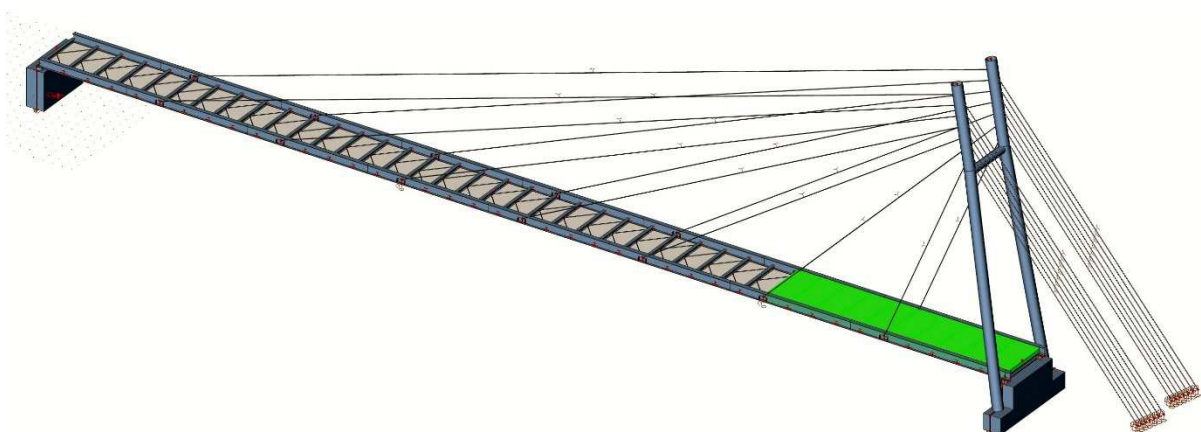
Fáze výstavby ST2 – montáž druhé části OK



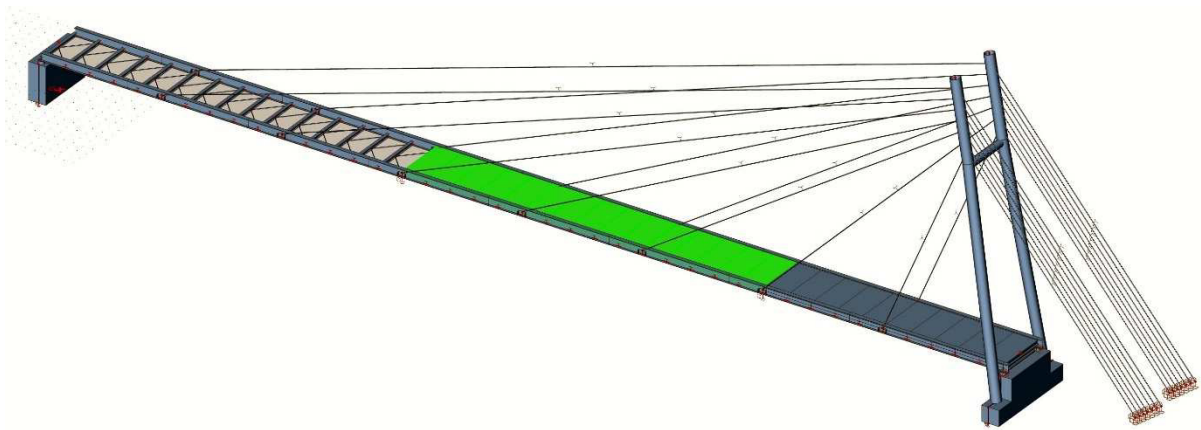
Fáze výstavby ST3 – montáž třetí části OK



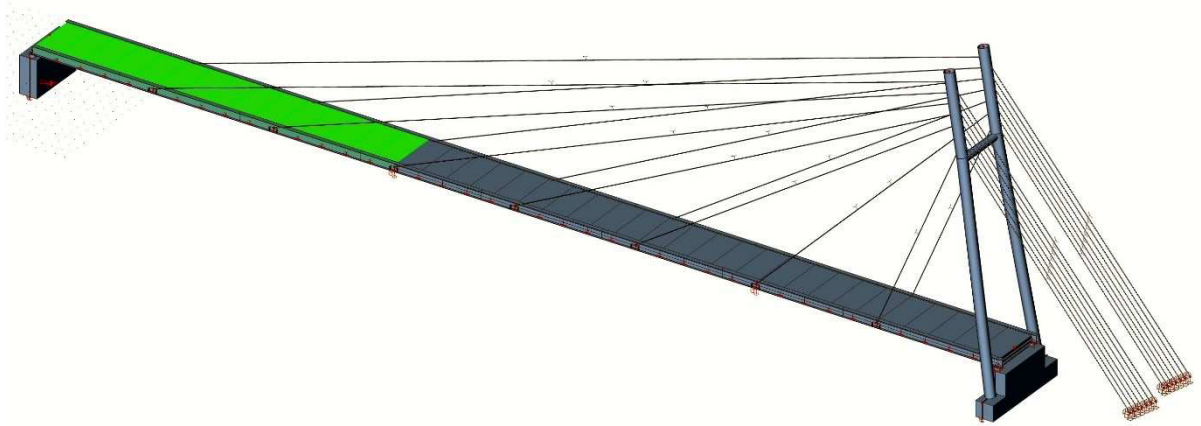
Fáze výstavby ST4 – montáž čtvrté části OK



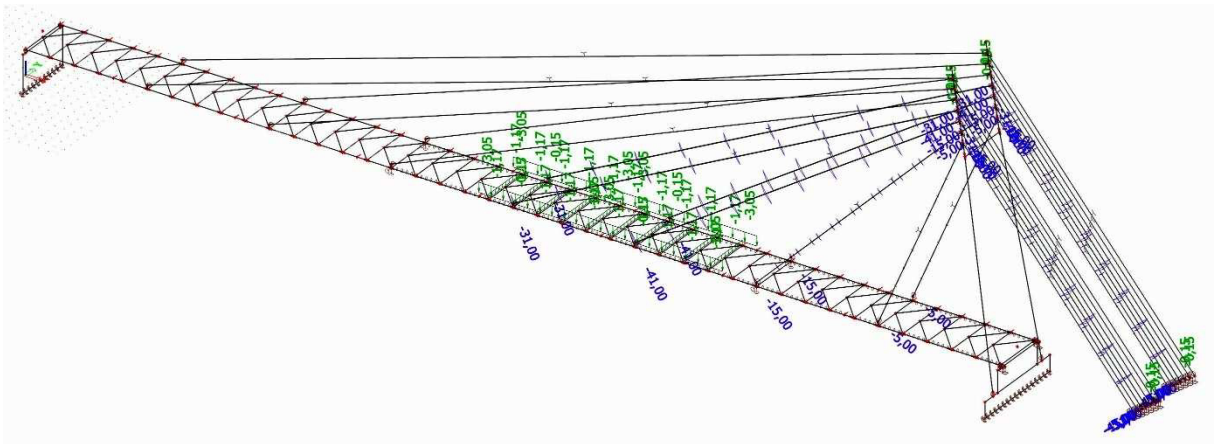
Fáze výstavby ST8 – betonáž prvního úseku desky



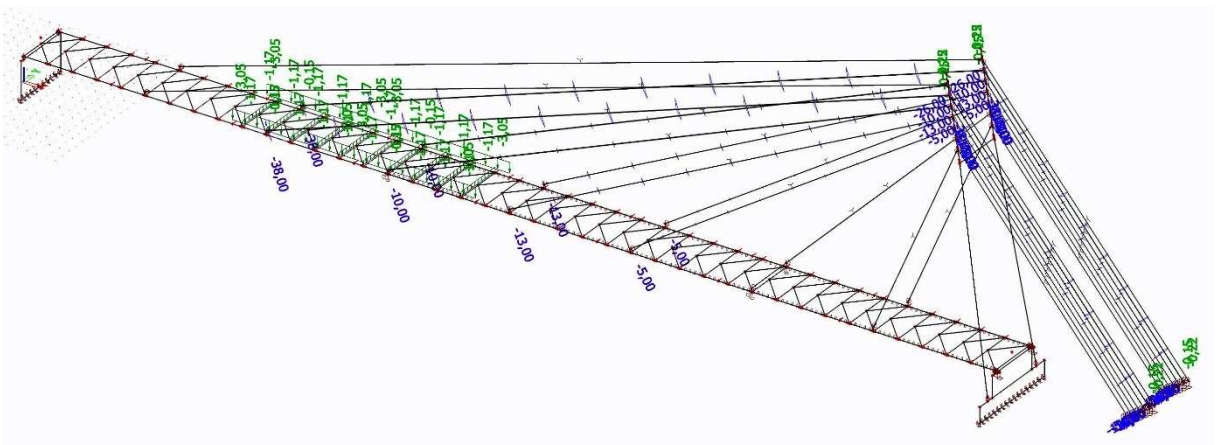
Fáze výstavby ST14 – betonáž druhého úseku desky



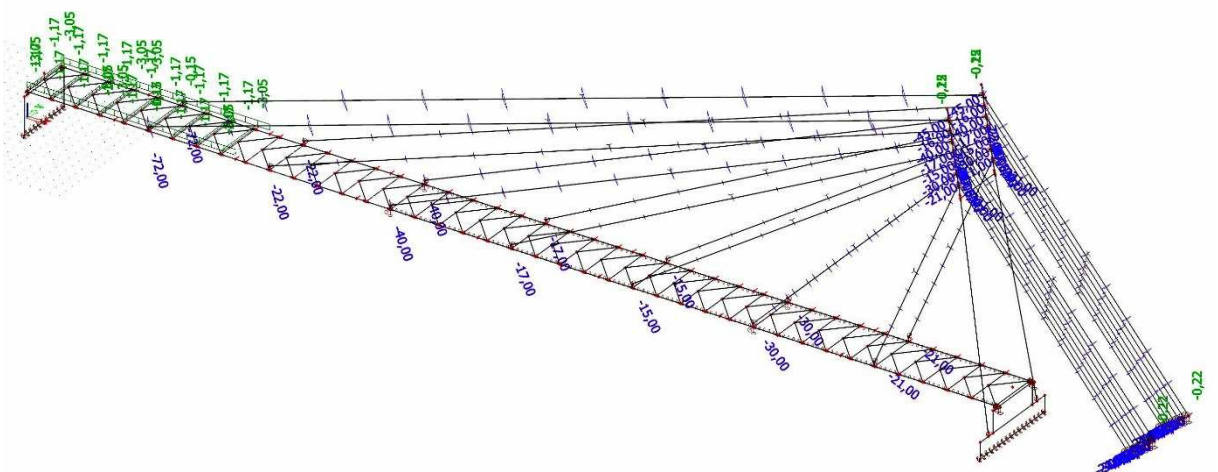
Fáze výstavby ST23 – betonáž třetího úseku desky



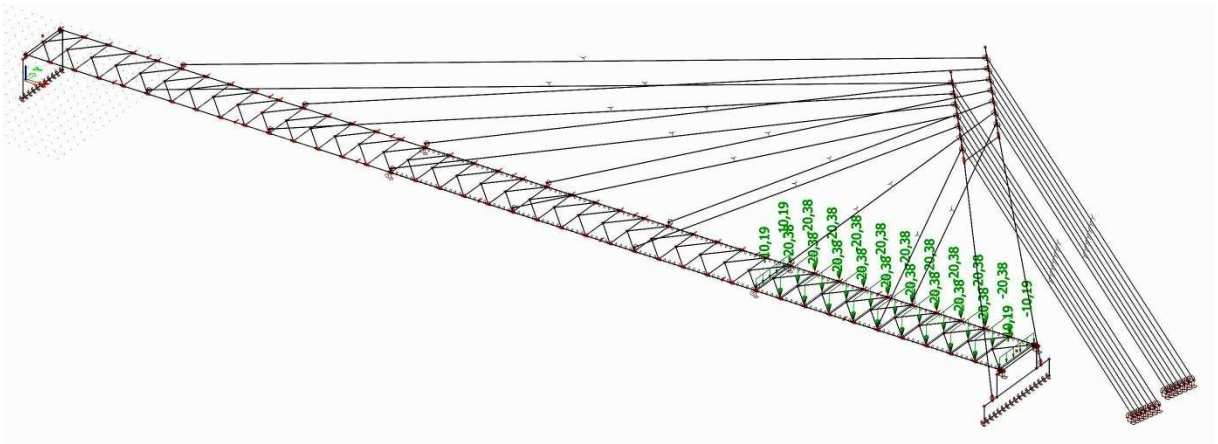
LC2 – vlastní tíha druhé části ocelového roštu a příslušných závěsů, předepnutí



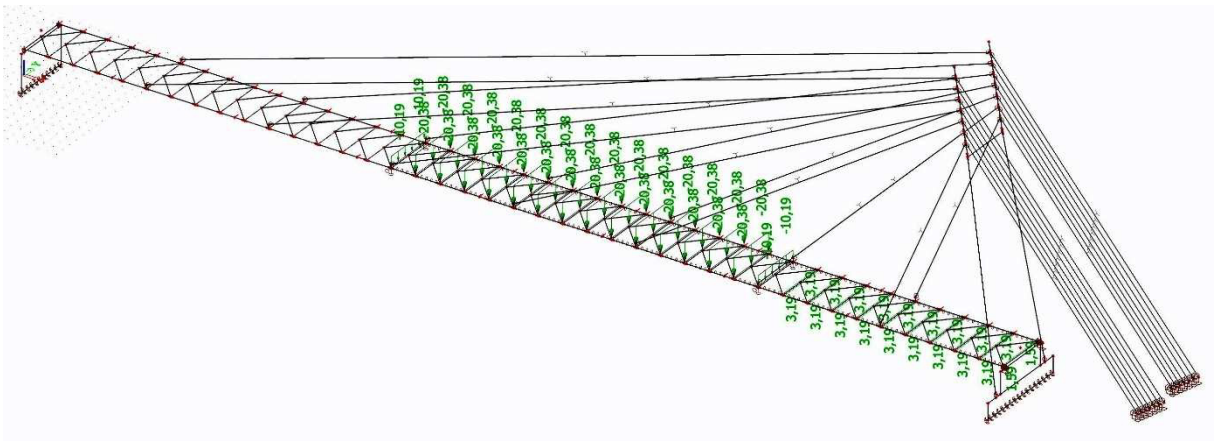
LC3 - vlastní tíha třetí části ocelového roštu a příslušných závěsů, předepnutí



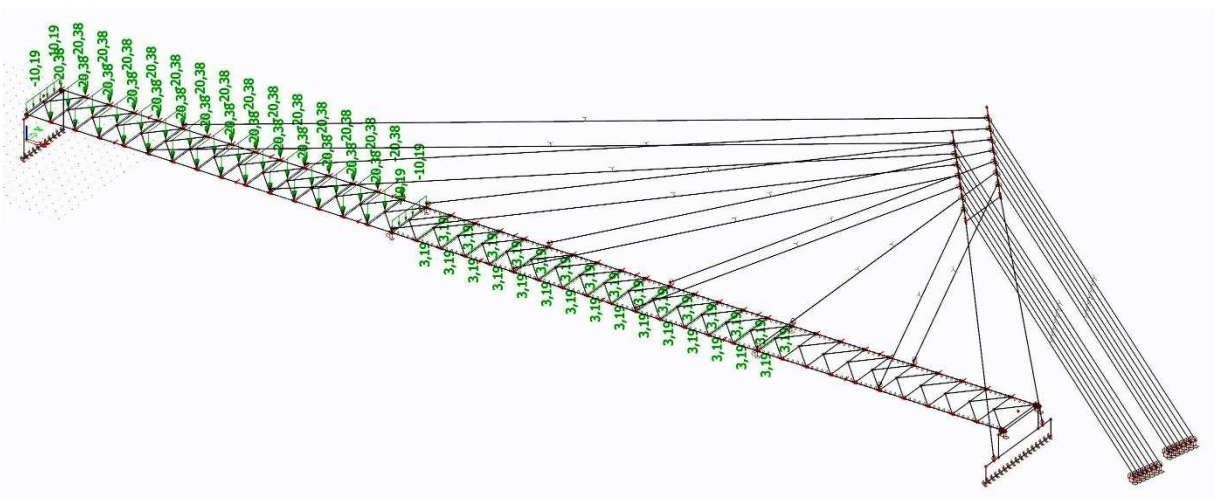
LC4 - vlastní tíha čtvrté části ocelového roštu a příslušných závěsů, předepnutí



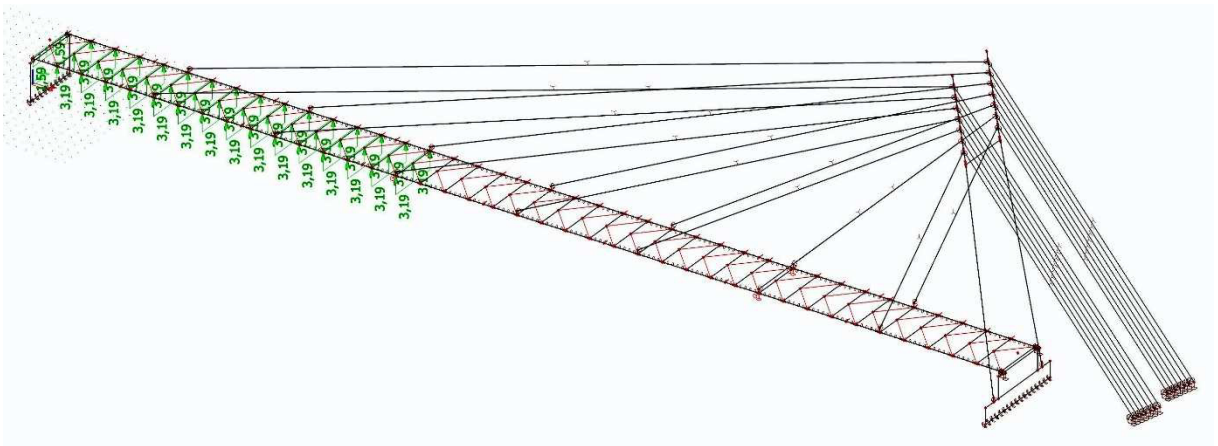
LC5 – tíha čerstvého betonu a bednění prvního úseku betonáže na příčnici



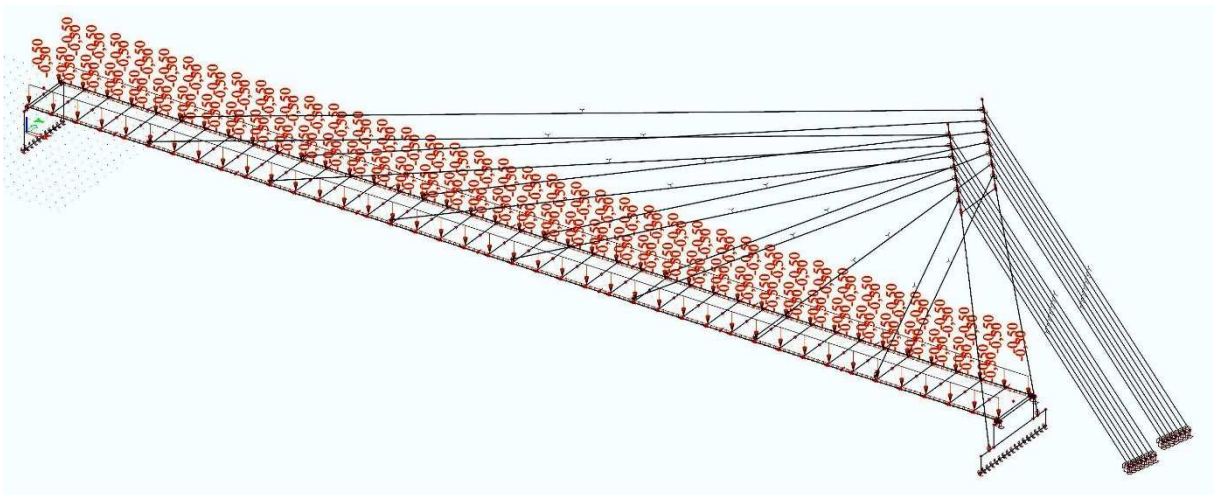
LC8 - tíha čerstvého betonu a bednění druhého úseku betonáže na příčnici, odbednění prvního úseku



LC15 - tíha čerstvého betonu a bednění třetího úseku betonáže na příčnici, odbednění druhého úseku



LC23 – odbednění třetího úseku betonáže

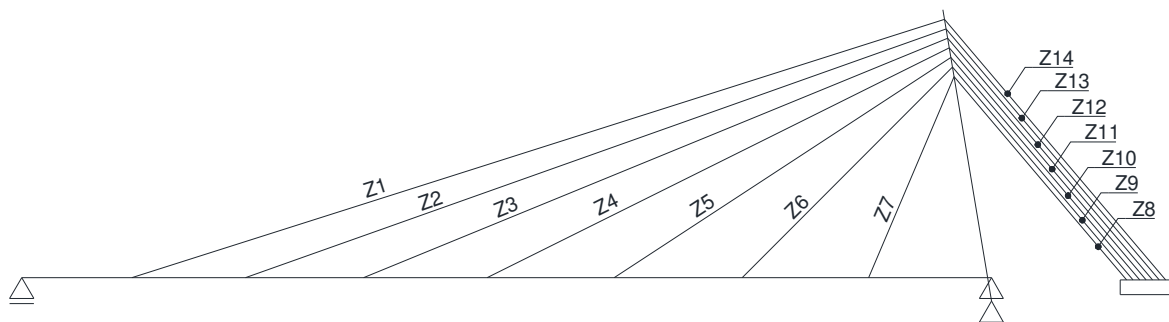


LC29 – vlastní tíha zábradlí

7.3.1.2 Předepnutí závěsů

Předepnutí jednotlivých závěsů bylo do výpočetního modelu vneseno pomocí rovnoměrného ochlazení po celé délce každého závěsu dle tabulky níže.

	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z6	Z7	Z8	Z9	Z10	Z11	Z12	Z13	Z14
LC1						-12	-24	-24	-12					
LC2				-27	-34	-15	-7	-7	-15	-34	-27			
LC3		-35	-10	-12	-5					-5	-12	-10	-24	
LC4	-59	-21	-40	-13	-11	-30	-16	-16	-30	-11	-13	-40	-14	-37
LC5	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
LC6						-60			-60					
LC7							-110	-110						
LC8	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
LC9			-60									-60		
LC10				-190							-190			
LC11					-180					-180				
LC12						-30			-30					
LC13							-20	-20						
LC14	-30													-20
LC15	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
LC16			-20									-20		
LC17		-270											-200	
LC18	-280													-180
LC19				-20							-20			
LC20					-30					-30				
LC21						-15			-15					
LC22							-20	-20						
LC23	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
LC24			-200									-100		
LC25						-130			-80					
LC26				-60							-25			
LC27					-40					-20				
LC28							-40	-30						
Σ	-369	-326	-330	-322	-300	-292	-237	-227	-242	-280	-287	-230	-238	-237

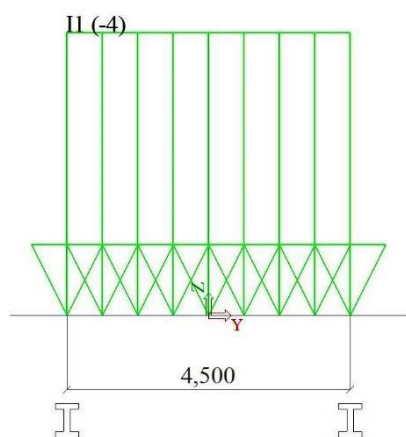


Označení závěsů

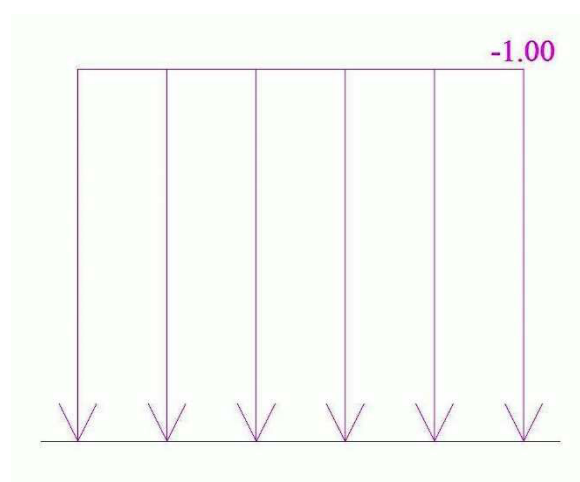
7.3.2 Zatížení proměnné

7.3.2.1 Rovnoměrné zatížení davem

Uvažované rovnoměrné zatížení davem lidí $q_{fk} = 4 \text{ kN/m}^2$ bylo do modelu vneseno pomocí pohyblivého zatížení v sestavě gr1 dle následujících obrázků.



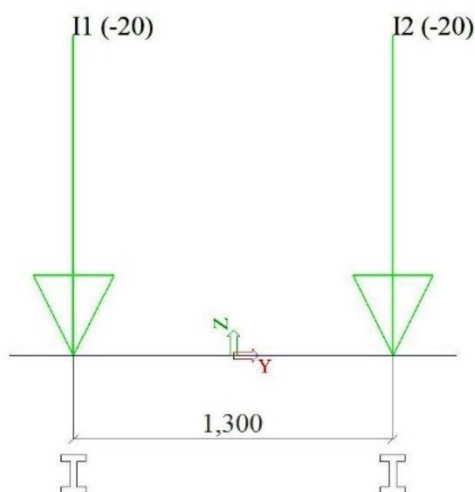
gr1 – schéma zatížení v příčném směru



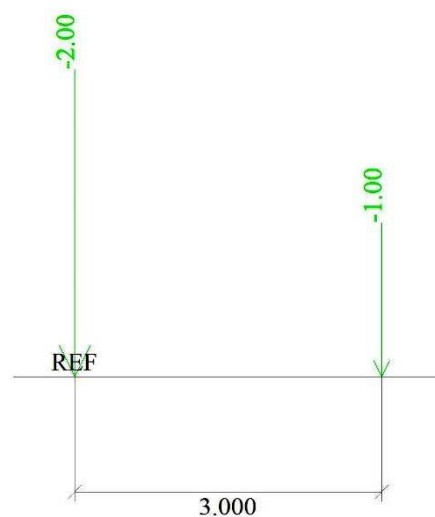
gr1 – schéma zatížení v podélném směru

7.3.2.2 Servisní vozidlo

Uvažované zatížení servisním vozidlem $Q_{serv} = 120 \text{ kN}$ bylo do modelu vneseno pomocí pohyblivého zatížení v sestavě gr2 dle následujících obrázků.



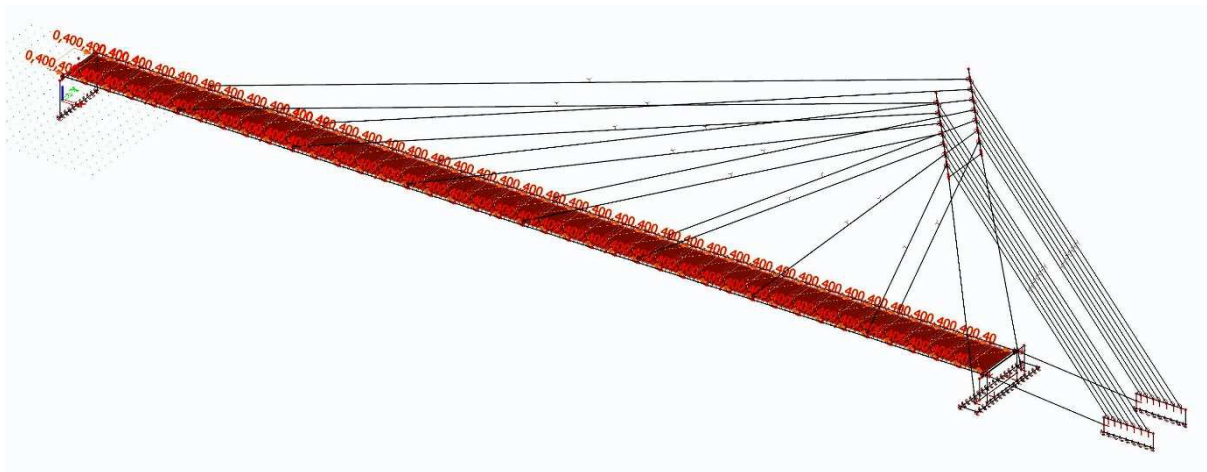
gr2 – schéma zatížení v příčném směru



gr2 – schéma zatížení v podélném směru

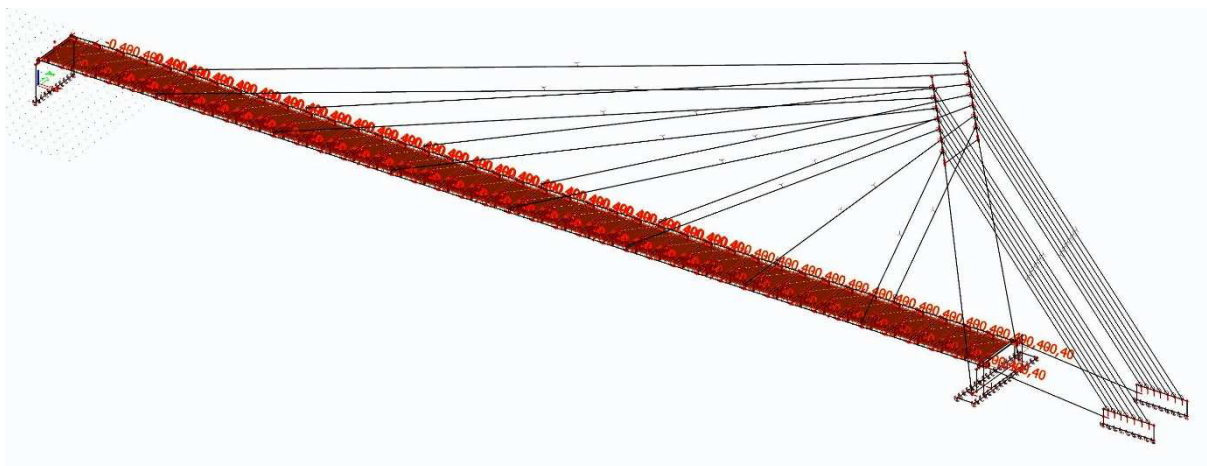
7.3.2.3 Vodorovné zatížení

Uvažované vodorovné zatížení $Q_{fk} = 0,4 \text{ kN/m}^2$ bylo do modelu vneseno jako plošné zatížení ve směru doleva i doprava. Toto zatížení bylo na lávku aplikováno v celém průchozím profilu, tzn. na šířce 4,5 m, a po celé délce konstrukce.



LC48 – vodorovné zatížení směrem doprava pro sestavu gr1

LC50 – vodorovné zatížení směrem doprava pro sestavu gr2

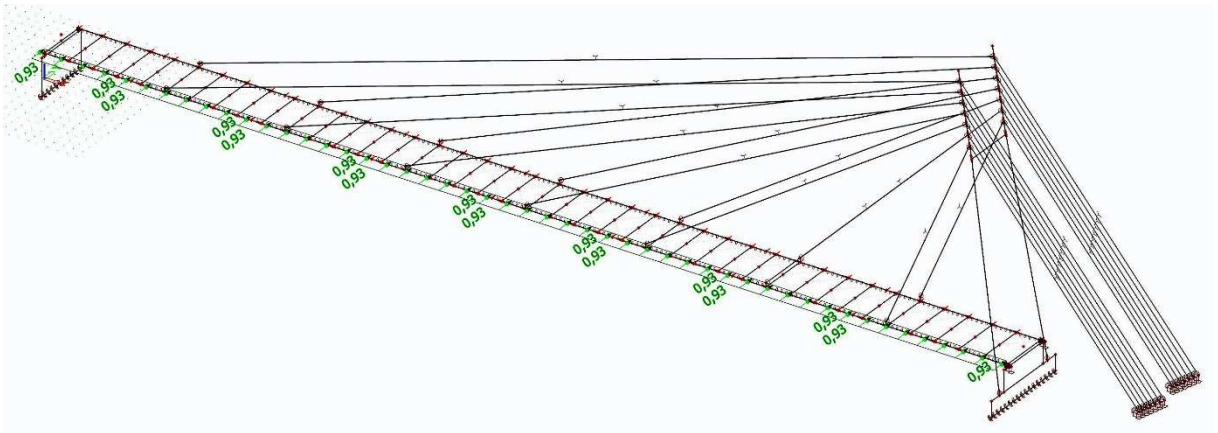


LC49 – vodorovné zatížení směrem doleva pro sestavu gr1

LC51 – vodorovné zatížení směrem doleva pro sestavu gr2

7.3.2.4 Zatížení větrem – provozní stadium

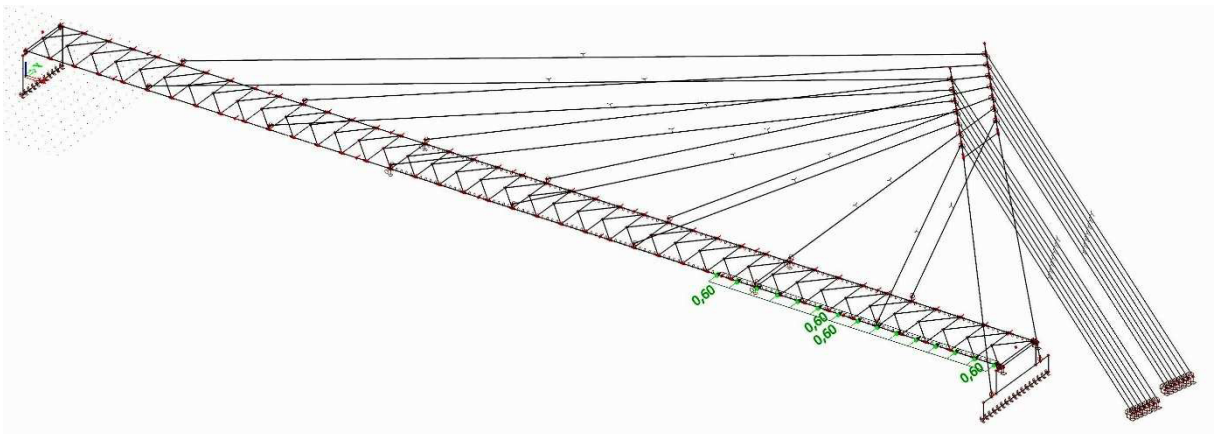
Zatížení větrem v provozním stadiu $f_{w,k} = 0,934 \text{ kN/m}$ bylo na konstrukci aplikováno jako liniové zatížení v příčném směru na hlavní nosník.



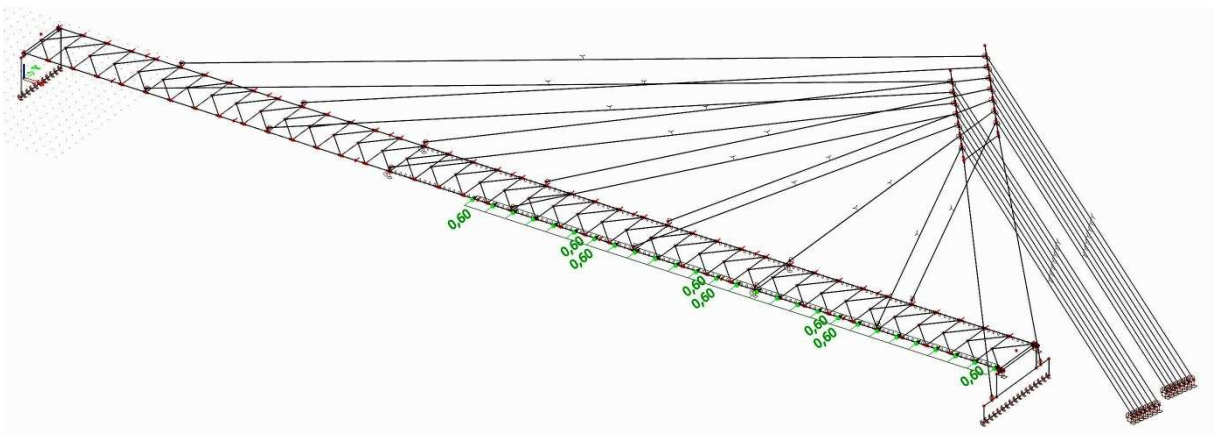
LC45 – zatížení větrem v provozním stadiu

7.3.2.5 Zatížení větrem – montážní stadium

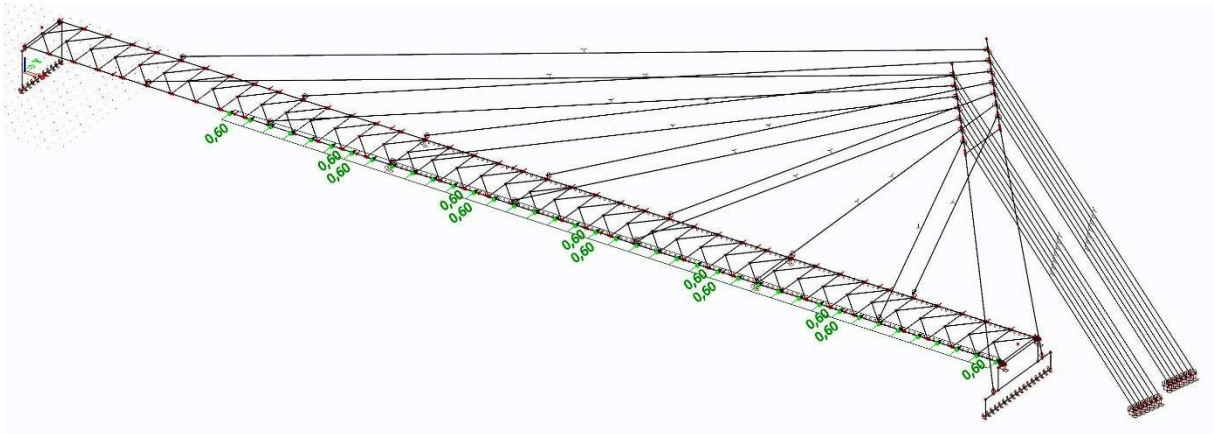
Zatížení větrem v montážním stadiu $f_{w,k} = 0,598 \text{ kN/m}$ bylo na konstrukci aplikováno v prvních čtyřech fázích výstavby, tedy ve fázích montáže ocelové konstrukce, a to jako liniové zatížení v příčném směru na hlavní nosník.



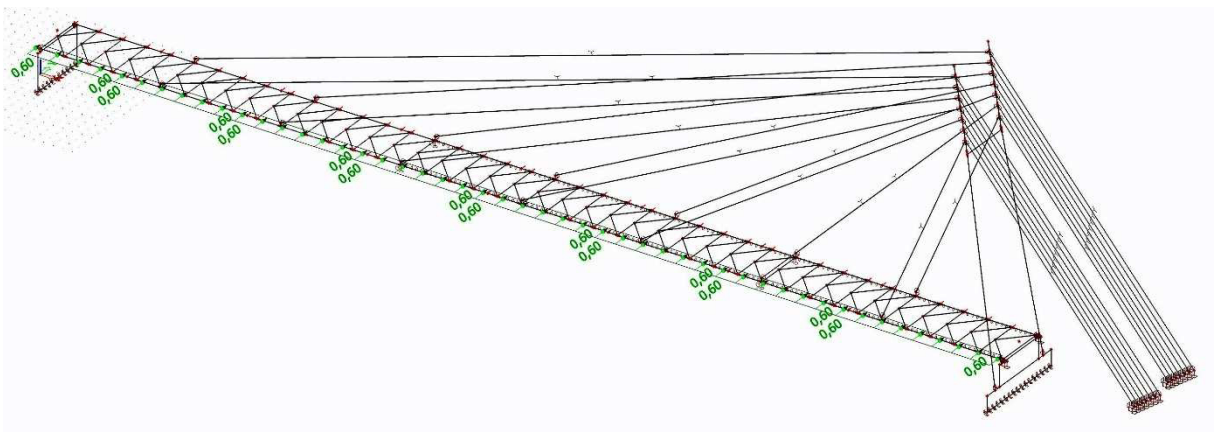
LC41 – zatížení větrem ve fázi výstavby ST1



LC42 – zatížení větrem ve fázi výstavby ST2



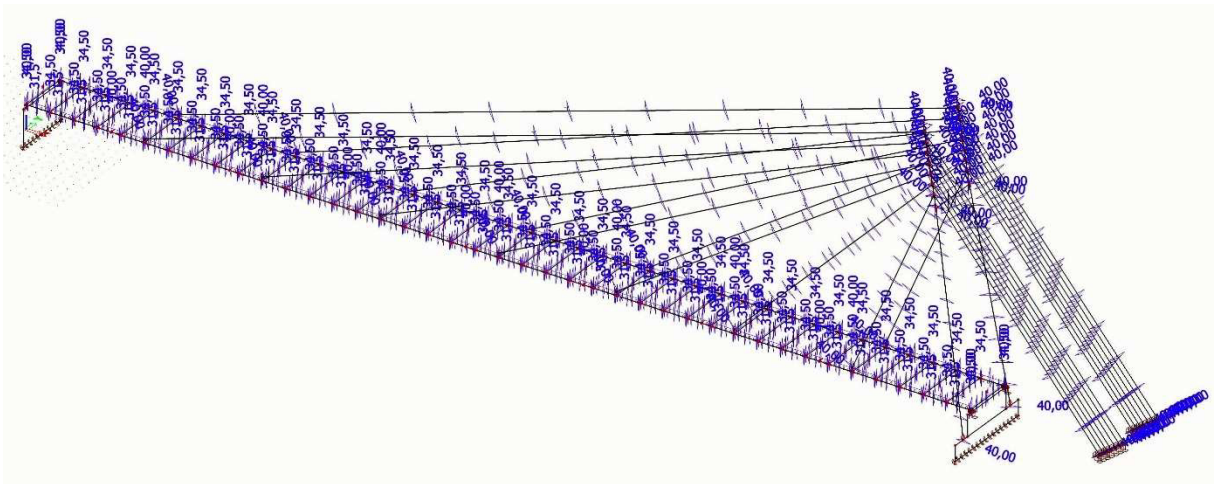
LC43 – zatížení větrem ve fázi výstavby ST3



LC44 – zatížení větrem ve fázi výstavby ST4

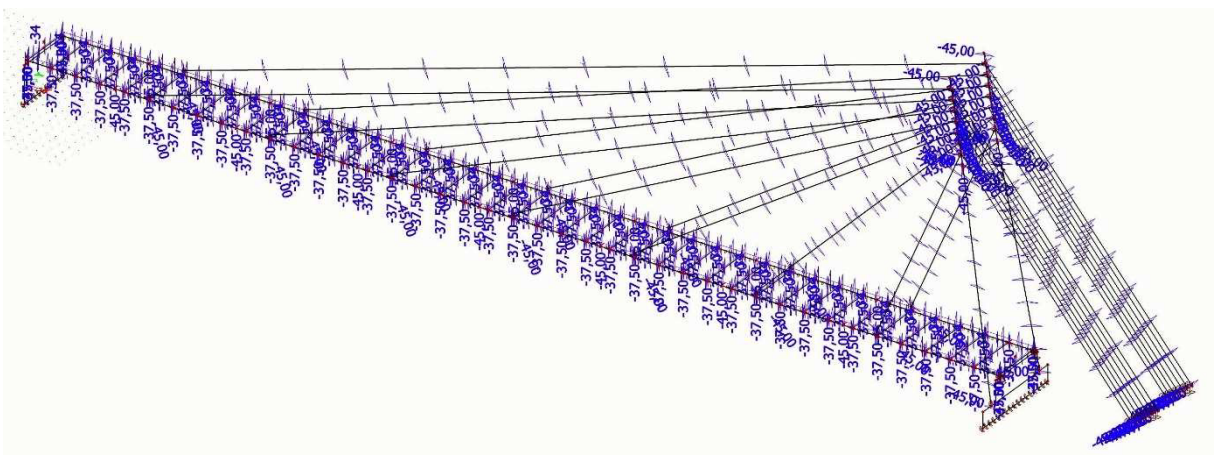
7.3.2.6 Zatížení teplotou

Oteplení:	Pylon, závěsy, hlavní nosník	$\Delta T_{N,exp} = 40\text{ °C}$
	Příčníky	$\Delta T_{N,exp} = 34,5\text{ °C}$
	Deska	$\Delta T_{N,exp} = 31,5\text{ °C}$



LC46 – zatížení teplotou oteplením konstrukce

Ochlazení:	Pylon, závěsy, hlavní nosník	$\Delta T_{N,con} = - 45 \text{ } ^\circ\text{C}$
	Příčnice	$\Delta T_{N,con} = - 37,5 \text{ } ^\circ\text{C}$
	Deska	$\Delta T_{N,con} = - 34 \text{ } ^\circ\text{C}$



LC47 – zatížení teplotou ochlazením konstrukce

7.4 KOMBINACE ZATÍŽENÍ

Kombinace zatížení ve fázích výstavby byly generovány automaticky programem, a to tak, že každá kombinace příslušná dané fázi výstavby obsahovala zatěžovací stav přiřazený této fázi plus stálé zatěžovací stavy přiřazené všem předešlým fázím. Pokud se ve fázi vyskytovalo také proměnné zatížení, projevilo se v kombinaci příslušné pouze této fázi.

Kombinace pro provozní stadium byly sestaveny ručně. U posouzení jednotlivých konstrukčních prvků je vždy uvedena rozhodující kombinace, zde je uveden přehled všech ručně

vytvořených kombinací. První kombinace z každé z těchto dvojic je bez vodorovného zatížení dopravou, druhá je včetně něho.

$$CO1+2: 1,35*G + 1,35*(0,4*gr1 + 0*gr2) + 1,5*(0,3*F_w + 0,6*T)$$

$$CO3+4: 1,35*0,85*G + 1,35*gr1 + 1,35*0*gr2 + 1,5*(0,3*F_w + 0,6*T)$$

$$CO5+6: 1,35*0,85*G + 1,35*gr2 + 1,35*0,4*gr1 + 1,5*(0,3*F_w + 0,6*T)$$

$$CO7+8: 1,35*0,85*G + 1,5*F_w + 1,35*(0,4*gr1 + 0*gr2) + 1,5*0,6*T$$

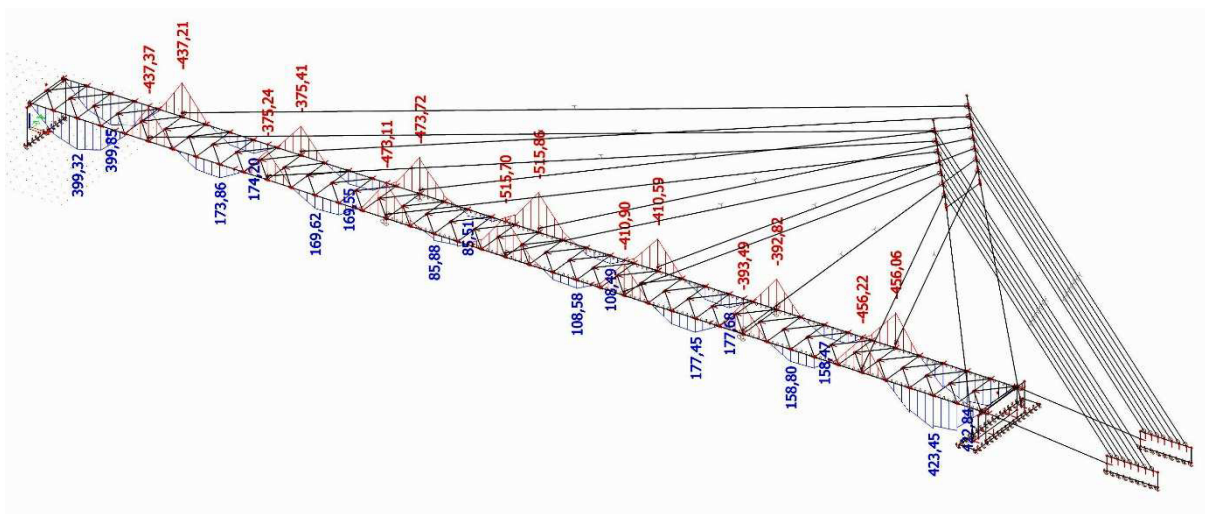
$$CO9+10: 1,35*0,85*G + 1,5*T + 1,35*(0,4*gr1 + 0*gr2) + 1,5*0,3*F_w$$

7.5 POSOUZENÍ HLAVNÍHO NOSNÍKU

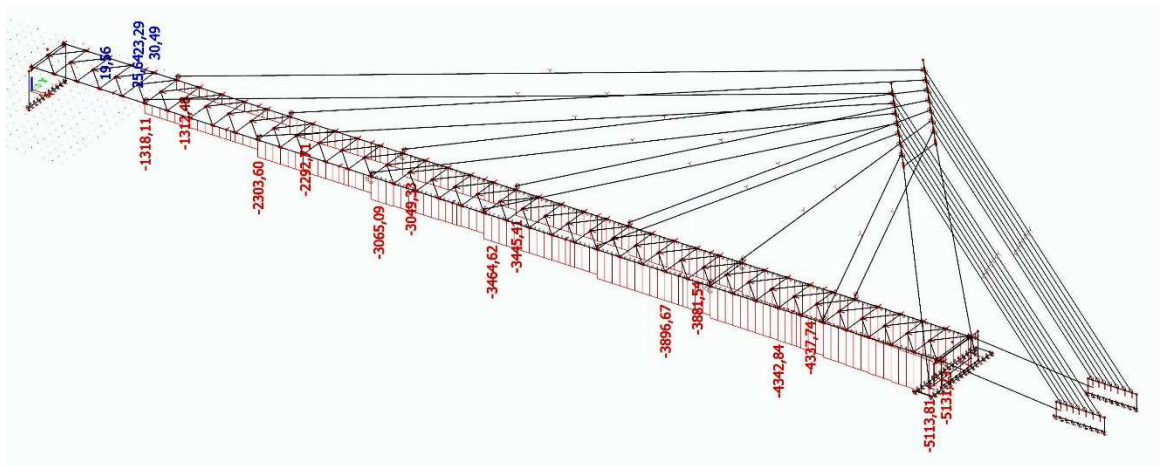
7.5.1 Provozní fáze

Při posouzení hlavního nosníku v provozním stadiu byly sečteny vnitřní síly z kombinace příslušné poslední fázi výstavby, které obsahují veškeré stálé zatížení, a z ručně vytvořených kombinací, které obsahují veškeré proměnné zatížení.

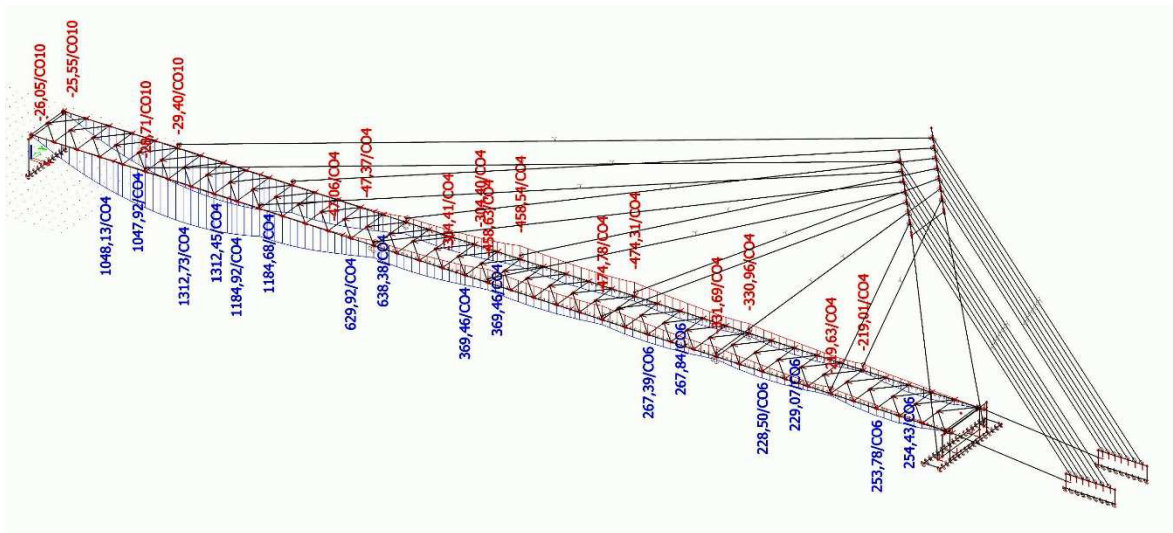
7.5.1.1 Průběh vnitřních sil



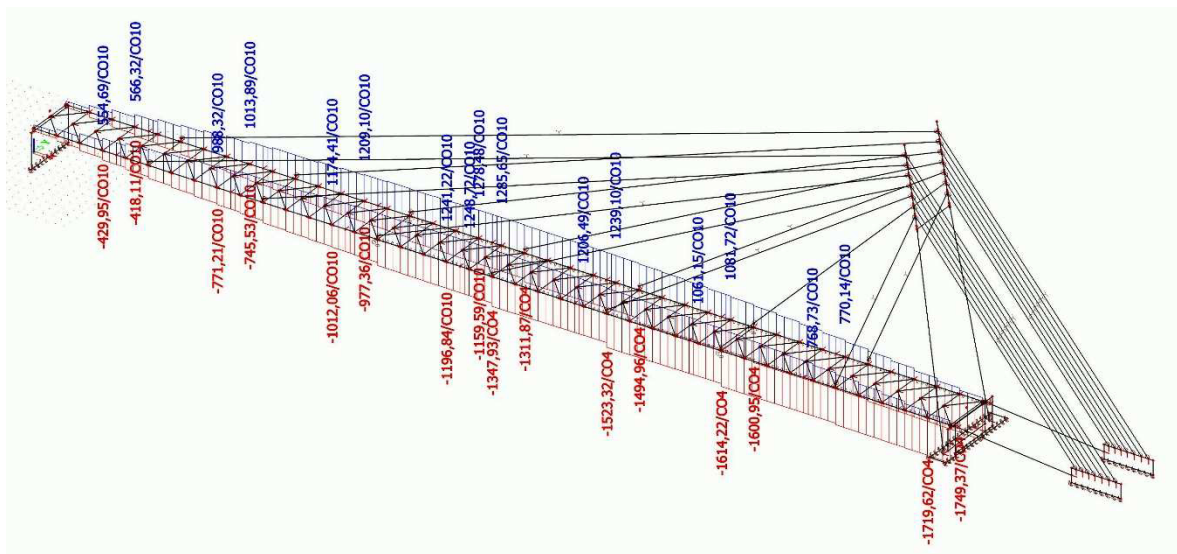
Průběh ohybového momentu z kombinace F29



Průběh normálové síly z kombinace F29



Obálka ohybového momentu kombinací proměnného zatížení



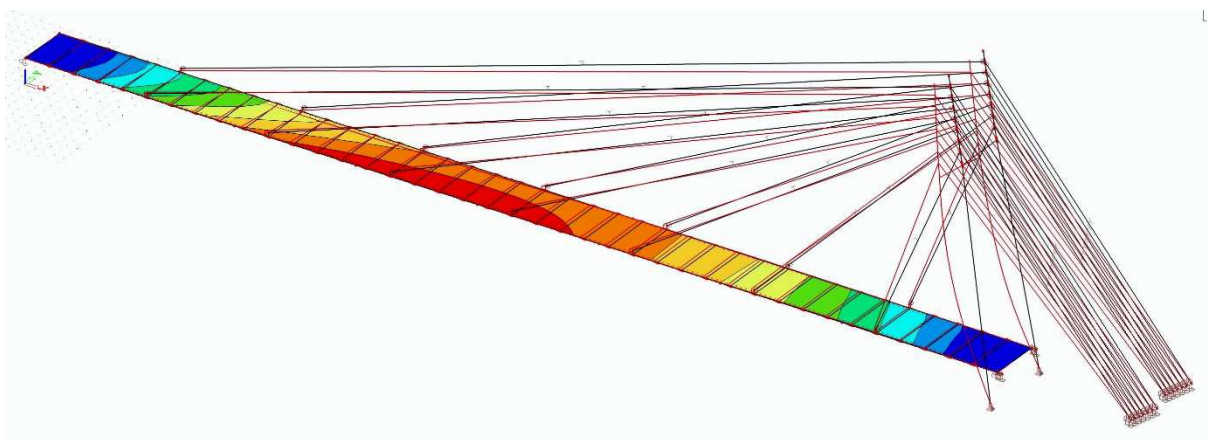
Obálka normálových sil kombinací proměnného zatížení

7.5.1.2 Stabilitní výpočet

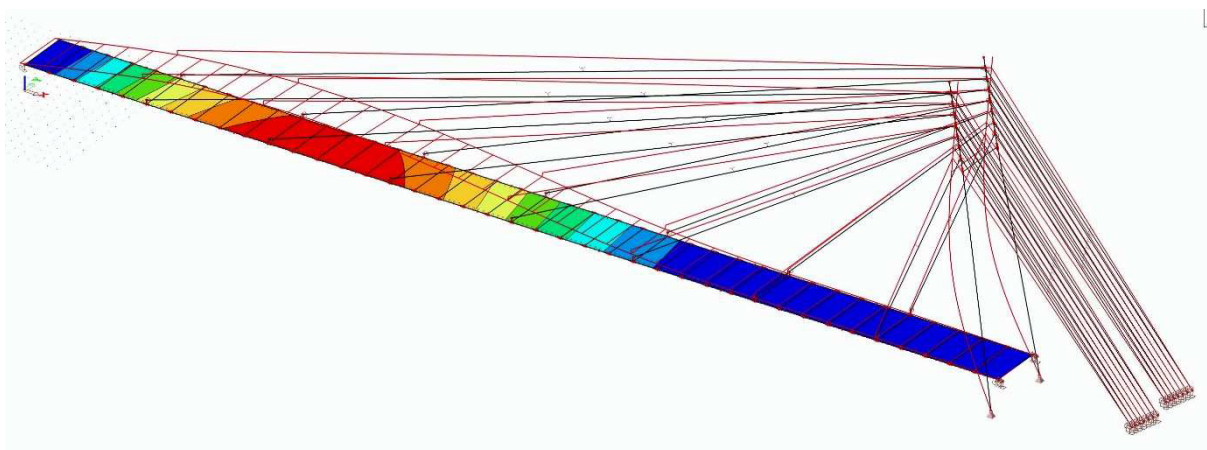
Protože je hlavní nosník v tlaku, je potřeba provést posudek na vzpěrnou únosnost. Protože ale není možné jednoznačně určit vzpěrnou délku ani směr vybočení, byl proveden stabilitní výpočet, který určil součinitele kritického zatížení a jim příslušné tvary vybočení.

Vzhledem k tomu, že ohybový moment i normálová síla proměnného zatížení jsou z kombinace CO4, byla na základě této kombinace vytvořena stabilitní kombinace pro výpočet součinitele kritického zatížení α_{cr} .

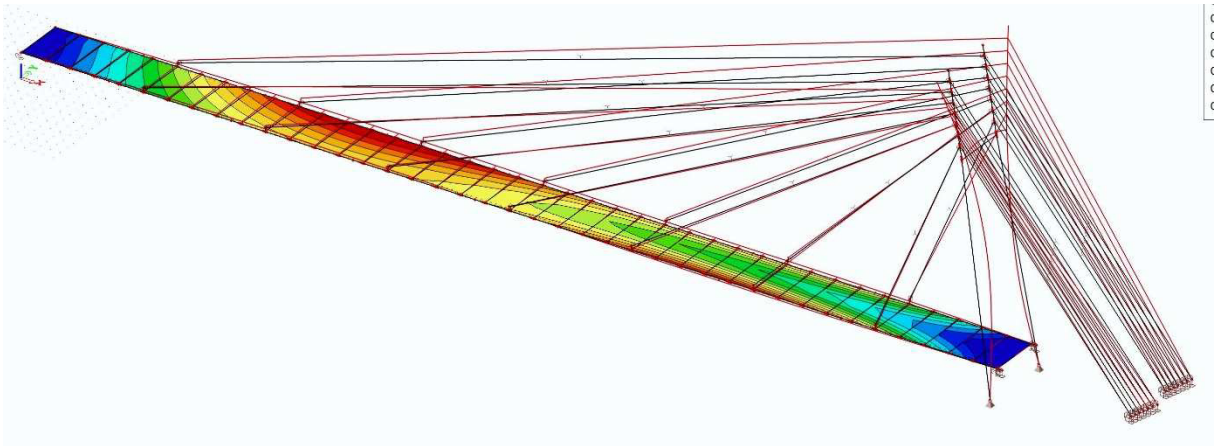
$$S1: \sum 0,85 * 1,35 * G_{k,j} + 1,35 * gr1 + 1,5 * (0,3 * F_{w,k} + 0,6 * T_k)$$



Tvar vybočení konstrukce při $\alpha_{cr} = 3,80$



Tvar vybočení konstrukce při $\alpha_{cr} = 4,73$



Tvar vybočení konstrukce při $\alpha_{cr} = 5,33$

Ačkoliv hlavní nosník vybočí až při vyšším součiniteli α_{cr} , byl pro posouzení hlavního nosníku bezpečně uvažován nejnižší součinitel kritického zatížení $\alpha_{cr} = 3,80$.

7.5.1.3 Posouzení v místě kotvení závěsu Z7

Hlavní nosník byl posouzen v místě kotvení závěsu Z7, kde se nachází extrém normálových sil stálého i proměnného zatížení.

Ohybový moment z kombinace F29: $M_{Ed} = 456,22 \text{ kNm}$

Normálová síla z kombinace F29: $N_{Ed} = 5131,23 \text{ kN}$

Ohybový moment z kombinace proměnného zatížení: $M_{Ed} = 219,63 \text{ kNm}$

Normálová síla z kombinací proměnného zatížení: $N_{Ed} = 1749,37 \text{ kN}$

Součinitel kritického zatížení: $\alpha_{cr} = 3,80$

Návrhová normálová síla: $N_{Ed} = 5131,23 + 1749,37 = 6880,60 \text{ kN}$

Pružná kritická síla: $N_{cr} = \alpha_{cr} * N_{Ed} = 3,80 * 6880,60 = 26\,146,28 \text{ kN}$

Poměrná štíhlost: $\lambda_{rel} = (A * f_y / N_{cr})^{1/2} = (38800 * 355 / 26146280)^{1/2} = 0,726$

Součinitel imperfekce: $\alpha = 0,34$ (křivka „b“)

$$\phi = 0,5 * [1 + \alpha * (\lambda_{rel} - 0,2) + \lambda_{rel}^2] = 0,5 * [1 + 0,34 * (0,726 - 0,2) + 0,726^2] = 0,853$$

Součinitel vzpěrnosti: $\chi = [\phi + (\phi^2 - \lambda_{rel}^2)^{1/2}]^{-1} = [0,853 + (0,853^2 - 0,726^2)^{1/2}]^{-1} = 0,769$

Charakteristická únosnost v prostém tlaku: $N_{Rk} = A * f_y = 38800 * 355 = 13\,774\,000 \text{ N}$

Vzpěrná únosnost: $N_{b,Rd} = \chi * A * f_y / \gamma_{M1} = 0,769 * 38800 * 355 / 1,0 = \mathbf{10\,591\,277 \text{ N}}$

Ohybová únosnost: $M_{el,Rd} = W_{el,Rd} * f_y / \gamma_{M0} = 10,586 * 10^6 * 355 / 1,0 = \mathbf{3758,03 \text{ kNm}}$

Součinitel k_{yy}

$$\alpha_s = M_s/M_h = 423,45/(-456,22) = -0,928$$

$$\psi = 0$$

$$C_{my} = 0,1 - 0,8 * \alpha_s = 0,1 + 0,8 * 0,928 = 0,843$$

$$k_{yy} = C_{my} * [1 + 0,6 * \lambda_{rel} * N_{Ed} / (\chi_y * N_{Rk} / \gamma_{M1})] \leq C_{my} * [1 + 0,6 * N_{Ed} / (\chi_y * N_{Rk} / \gamma_{M1})]$$

$$k_{yy} = 0,843 * [1 + 0,6 * 0,726 * 6880600 / (0,769 * 13774000 / 1,0)] \leq \\ \leq 0,843 * [1 + 0,6 * 6880600 / (0,769 * 13774000 / 1,0)]$$

$$k_{yy} = 1,081 < 1,171$$

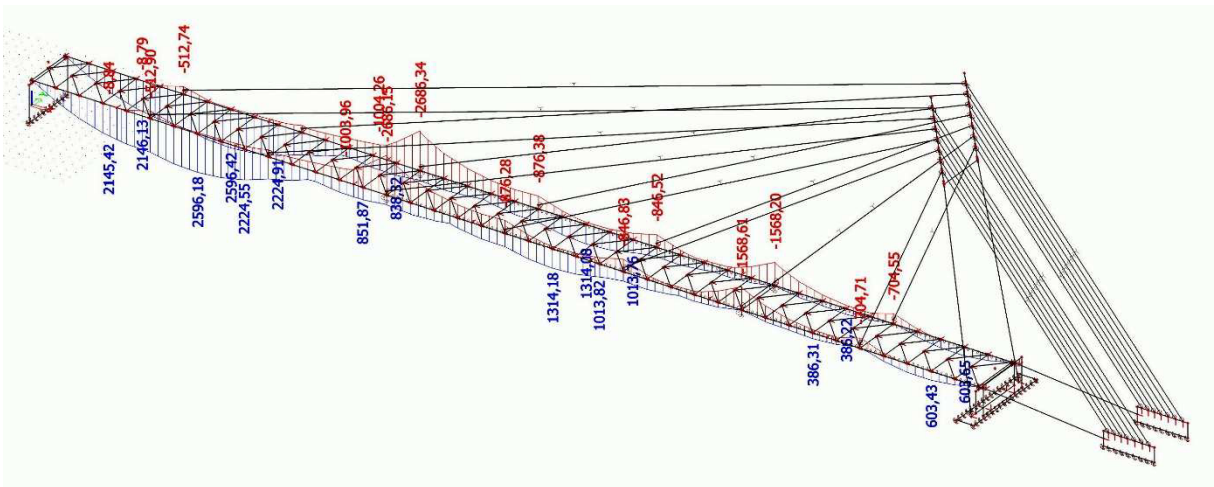
$$N_{Ed}/N_{b,Rd} + k_{yy} * M_{y,Ed}/M_{Rd} = 6880600/10591277 + 1,081 * (456,22 + 219,63)/3758,03 = 0,860 < 1,0$$

VYHOVUJE.

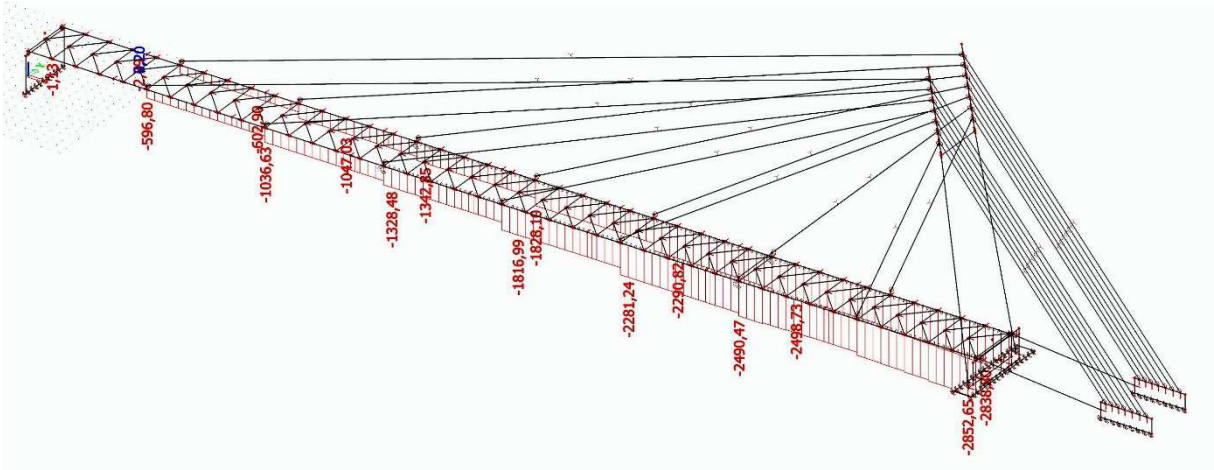
7.5.2 Montážní fáze

Při posouzení hlavního nosníku v montážním stadiu byla vybrána kombinace příslušná té fázi, ve které na hlavní nosník působí největší ohybový moment, což nastalo v kombinaci F16.

7.5.2.1 Průběh vnitřních sil



Obálka ohybových momentů všech fází výstavby



Průběh normálové síly v kombinaci F16

7.5.2.2 Posouzení v místě kotvení závěsu Z3

Hlavní nosník byl posouzen v místě kotvení závěsu Z3, kde se nachází extrém ohybového momentu ze všech fází výstavby, konkrétně z fáze ST16, kdy se v tomto místě ještě nachází provizorní podpora.

Ohybový moment z kombinace F16: $M_{Ed} = 2686,34$ kNm

Normálová síla z kombinace F16: $N_{Ed} = 1342,85$ kN

Součinitel kritického zatížení α_{cr} byl bezpečně uvažován stejný jako v provozním stadiu, ve skutečnosti by byl větší, protože je konstrukce v této fázi ještě podepřena dvojicí provizorních podpor.

Součinitel kritického zatížení: $\alpha_{cr} = 3,80$

Návrhová normálová síla: $N_{Ed} = 1342,85$ kN

Pružná kritická síla: $N_{cr} = \alpha_{cr} * N_{Ed} = 3,80 * 1342,85 = 5102,83$ kN

Poměrná štíhlost: $\lambda_{rel} = (A * f_y / N_{cr})^{1/2} = (38800 * 355 / 5102830)^{1/2} = 1,643$

Součinitel imperfekce: $\alpha = 0,34$ (křivka „b“)

$$\phi = 0,5 * [1 + \alpha * (\lambda_{rel} - 0,2) + \lambda_{rel}^2] = 0,5 * [1 + 0,34 * (1,643 - 0,2) + 1,643^2] = 2,095$$

Součinitel vzpěrnosti: $\chi = [\phi + (\phi^2 - \lambda_{rel}^2)^{1/2}]^{-1} = [2,095 + (2,095^2 - 1,643^2)^{1/2}]^{-1} = 0,295$

Charakteristická únosnost v prostém tlaku: $N_{Rk} = A * f_y = 38800 * 355 = 13\,774\,000$ N

Vzpěrná únosnost: $N_{b,Rd} = \chi * A * f_y / \gamma_{M1} = 0,295 * 38800 * 355 / 1,0 = 4\,057\,435$ N

Ohybová únosnost: $M_{el,Rd} = W_{el,Rd} * f_y / \gamma_{M0} = 10,586 * 10^6 * 355 / 1,0 = 3758,03$ kNm

Součinitel k_{yy}

$$\psi = 868,64 / 2686,34 = 0,323$$

$$C_{my} = 0,6 + 0,4 \cdot \psi = 0,6 + 0,4 \cdot 0,323 = 0,729$$

$$k_{yy} = C_{my} \cdot [1 + 0,6 \cdot \lambda_{rel} \cdot N_{Ed} / (\chi_y \cdot N_{Rk} / \gamma_{M1})] \leq C_{my} \cdot [1 + 0,6 \cdot N_{Ed} / (\chi_y \cdot N_{Rk} / \gamma_{M1})]$$

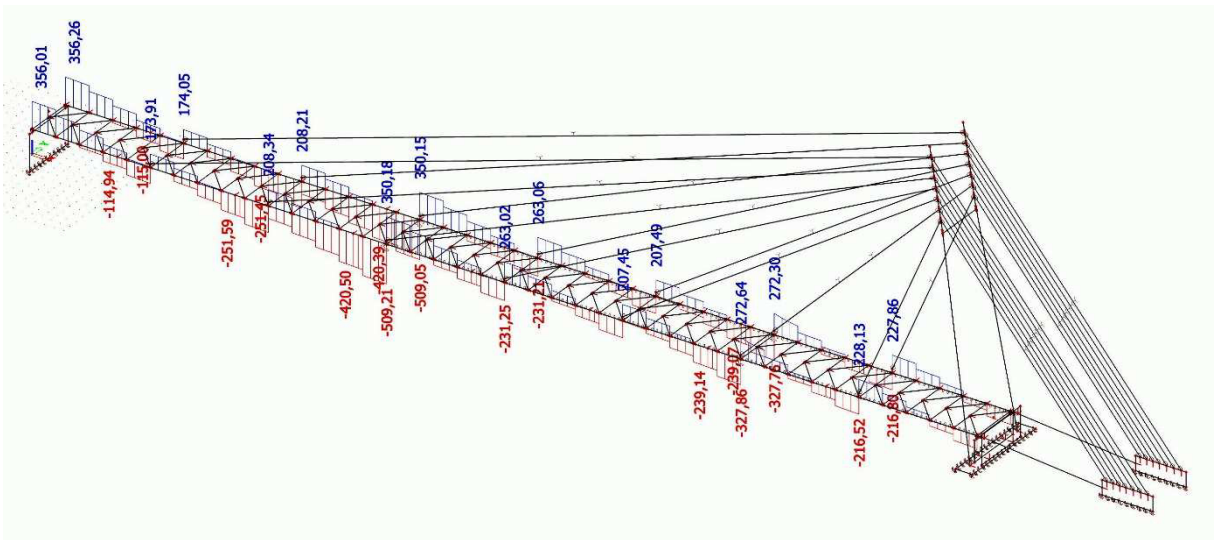
$$k_{yy} = 0,729 \cdot [1 + 0,6 \cdot 1,643 \cdot 1342850 / (0,0295 \cdot 13774000 / 1,0)] \leq 0,729 \cdot [1 + 0,6 \cdot 1342850 / (0,295 \cdot 13774000 / 1,0)]$$

$$k_{yy} = 0,967 > 0,874 \rightarrow k_{yy} = 0,874$$

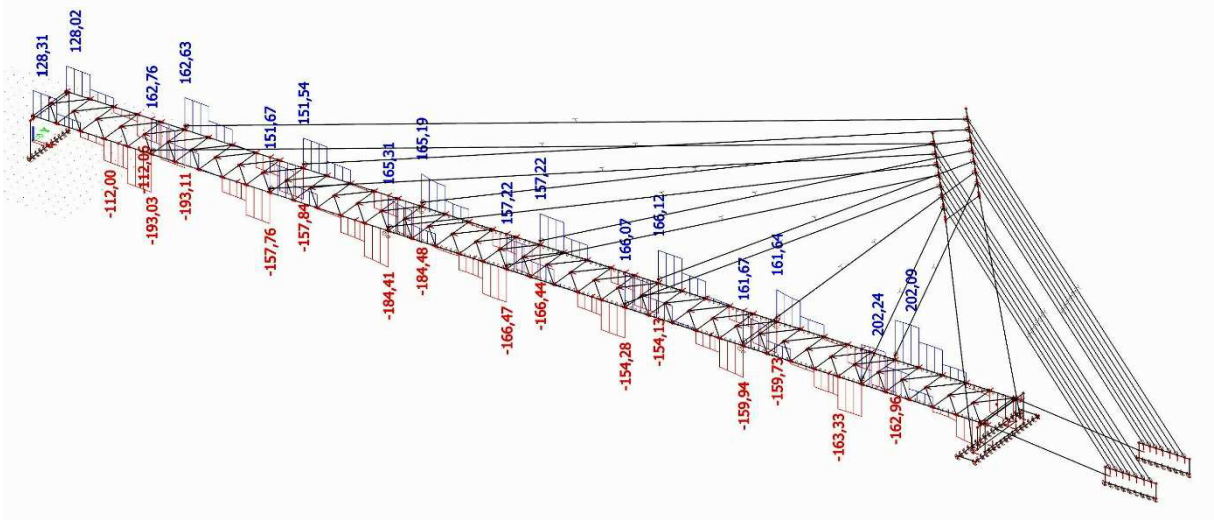
$$N_{Ed} / N_{b,Rd} + k_{yy} \cdot M_{y,Ed} / M_{Rd} = 1342850 / 4057435 + 0,874 \cdot 2686,34 / 3758,03 = 0,956 < 1,0$$

VYHOVUJE.

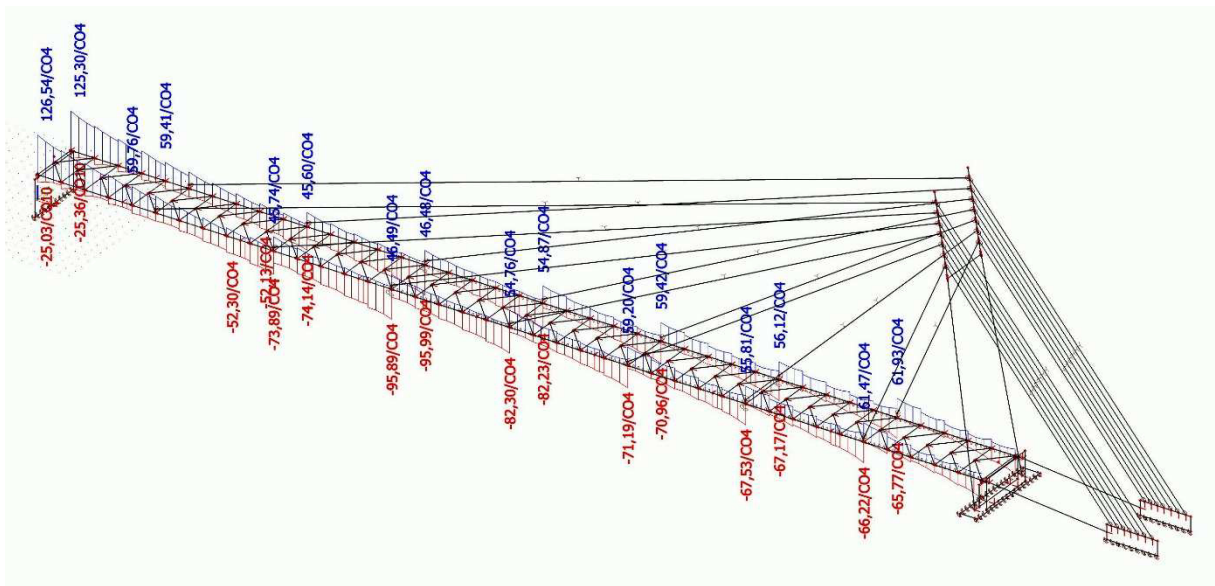
7.5.3 Posouzení na smyk



Obálka posouvajících sil všech fází výstavby



Průběh posouvajících síly z kombinace F29



Obálka posouvajících sil kombinací proměnného zatížení

Smyk byl posouzen pouze v montážním stadiu, ve kterém se nacházela největší posouvající síla – konkrétně 509,21 kN v kombinaci F16 v místě kotvení závěsu Z3, kde se ve fázi ST16 ještě nachází provizorní podpora, zatímco v provozním stadiu je největší posouvající síla od stálého zatížení 202,24 kN a od proměnného zatížení 126,54 kN, což ani v součtu nedosahuje hodnoty z kombinace F16, nehledě k tomu, že každá z těchto hodnot z provozní fáze se nachází v jiném místě nosníku.

Průřez je třídy 3, posouzení proběhne bez vlivu boulení.

Návrhová posouvající síla: $V_{Ed} = 509,21$ kN

Únosnost ve smyku: $V_{Rd} = A_w/3^{1/2} * f_v / \gamma_{M0} = 740 * 20 / 3^{1/2} * 355 / 1,0 = 3\ 033\ 398$ N

Posouzení: $V_{Ed}/V_{Rd} = 509,21/3033,40 = 0,168 < 1,000 \rightarrow$ VYHOVUJE.

Spolupůsobení M+V: $V_{Ed} = 509,21 < 0,5 * V_{Rd} = 1516,70$ [kN] \rightarrow spolupůsobení není třeba uvažovat.

7.6 POSOUZENÍ ZÁVĚSŮ

7.6.1 Výpočet únosnosti

7.6.1.1 Údaje od výrobce

Jmenovitá průřezová plocha jednoho pramence: $A_1 = 150$ mm²

Charakteristická hodnota síly na mezi kluzu 0,1%: $F_k = F_{0,1k} = 234$ kN

Charakteristická hodnota síly na mezi pevnosti: $F_{uk} = 266$ kN

Na všechny závěsy jsou použity třináctipramencová lana, vyjma závěsů Z13 a Z14, kde jsou použity devatenáctipramencová lana.

7.6.1.2 Únosnost třináctipramencového lana

$$F_{k,13} = 13 \cdot 234 = 3042 \text{ kN}$$

$$F_{uk,13} = 13 \cdot 266 = 3458 \text{ kN}$$

$$F_{Rd,13} = \min(F_{uk,13}/(1,5 \cdot \gamma_R); F_{k,13}/\gamma_R) = \min(3458/(1,5 \cdot 1,0); 3042/1,0) = \min(2305; 3042) = \mathbf{2305 \text{ kN}}$$

7.6.1.3 Únosnost devatenáctipramencového lana

$$F_{k,19} = 19 \cdot 234 = 4446 \text{ kN}$$

$$F_{uk,19} = 19 \cdot 266 = 5054 \text{ kN}$$

$$F_{Rd,19} = \min(F_{uk,19}/(1,5 \cdot \gamma_R); F_{k,19}/\gamma_R) = \min(5054/(1,5 \cdot 1,0); 4446/1,0) = \min(3369; 4446) = \mathbf{3369 \text{ kN}}$$

7.6.2 Montážní fáze

Během montáže se v každé fázi mění v jednotlivých lanech velikost normálových sil, proto byl každý závěs posouzen v té fázi, ve které se v něm nachází největší tahová síla.

	Fáze	F_{Ed}	F_{Rd}	F_{Ed}/F_{Rd}	Vyhoví?
Z1	F20	1522,11	2305,33	0,66	ano
Z2	F17	1532,53	2305,33	0,66	ano
Z3	F25	1091,78	2305,33	0,47	ano
Z4	F10	1120,63	2305,33	0,49	ano
Z5	F14	837,46	2305,33	0,36	ano
Z6	F25	615,72	2305,33	0,27	ano
Z7	F7	569,70	2305,33	0,25	ano
Z8	F23	1186,87	2305,33	0,51	ano
Z9	F25	1333,72	2305,33	0,58	ano
Z10	F23	1575,73	2305,33	0,68	ano
Z11	F23	1627,90	2305,33	0,71	ano
Z12	F24	1416,88	2305,33	0,61	ano
Z13	F23	2289,00	3369,33	0,68	ano
Z14	F23	2309,85	3369,33	0,69	ano

Z každé dvojice závěsů byl vybrán ten, ve kterém byla větší normálová síla. Všechny závěsy v mezním stavu únosnosti vyhovují na zatížení z montážní fáze.

7.6.3 Provozní fáze

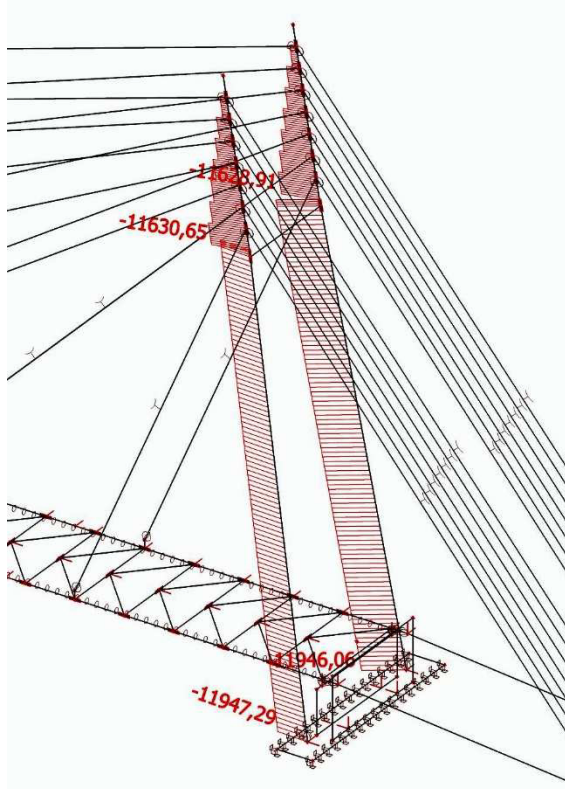
Při posouzení v provozní fázi byla pro každý závěs sečtena síla z kombinace příslušné poslední fázi výstavby (tedy F29), která představuje účinek stálého zatížení, a největší síla ze všech kombinací pro proměnné zatížení, kde se jako rozhodující ukázala kombinace CO4.

	F _{F29} [kN]	Komb.	F _{COx} [kN]	F _{Ed} [kN]	F _{Rd} [kN]	F _{Ed} /F _{Rd}	Vyhoví?
Z1	1419,24	CO4	109,72	1528,96	2305,33	0,66	ano
Z2	1105,96	CO4	350,65	1456,61	2305,33	0,63	ano
Z3	1037,75	CO4	454,72	1492,47	2305,33	0,65	ano
Z4	857,52	CO4	413,81	1271,33	2305,33	0,55	ano
Z5	656,19	CO4	316,29	972,48	2305,33	0,42	ano
Z6	533,83	CO4	247,48	781,31	2305,33	0,34	ano
Z7	430,39	CO4	198,35	628,74	2305,33	0,27	ano
Z8	1178,31	CO4	445,93	1624,24	2305,33	0,70	ano
Z9	1301,64	CO4	441,51	1743,15	2305,33	0,76	ano
Z10	1532,33	CO4	437,19	1969,52	2305,33	0,85	ano
Z11	1618,70	CO4	432,46	2051,16	2305,33	0,89	ano
Z12	1357,09	CO4	428,63	1785,72	2305,33	0,77	ano
Z13	2111,12	CO4	620,83	2731,95	3369,33	0,81	ano
Z14	2142,42	CO4	615,14	2757,56	3369,33	0,82	ano

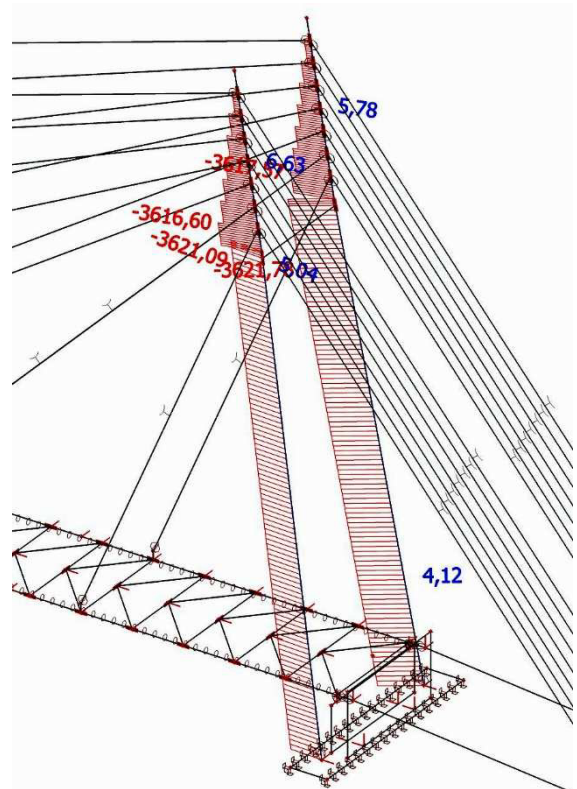
Z každé dvojice závěsů byl vybrán ten, ve kterém byla větší normálová síla. Všechny závěsy v mezním stavu únosnosti vyhovují na zatížení z provozní fáze.

7.7 POSOUZENÍ PYLONU

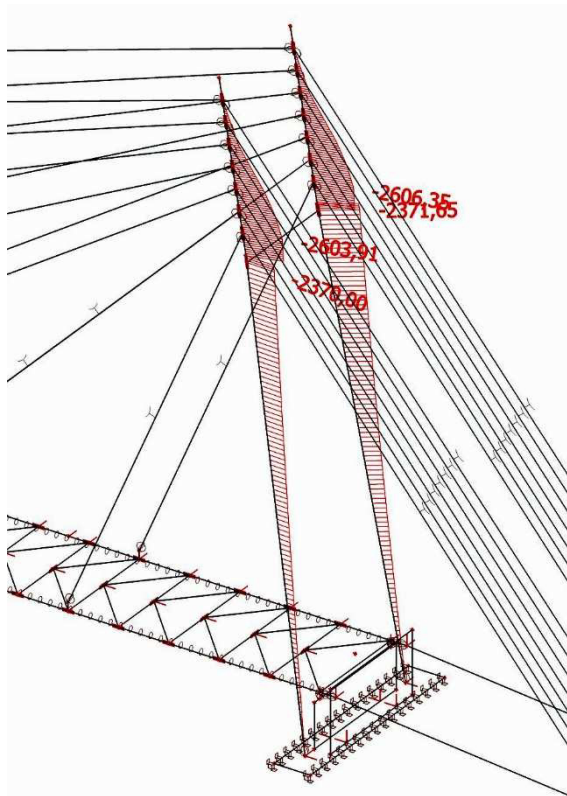
7.7.1 Průběh vnitřních sil



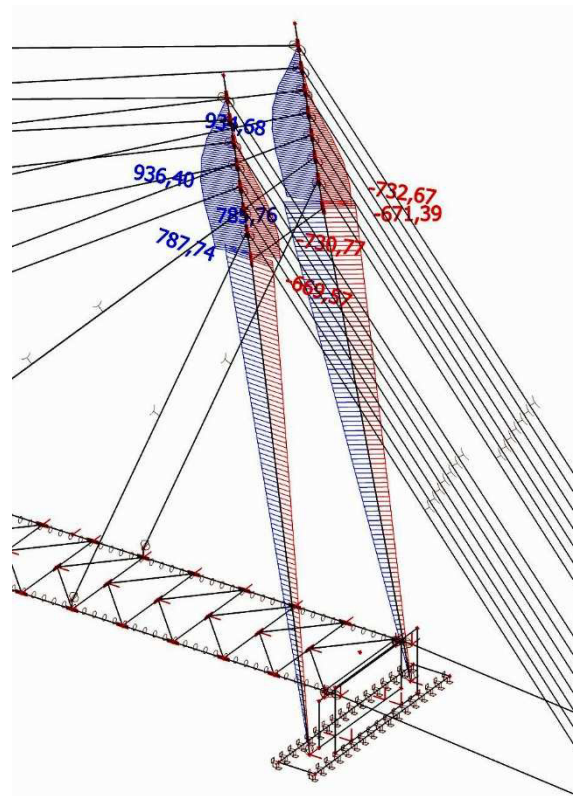
Normálová síla z kombinace F29



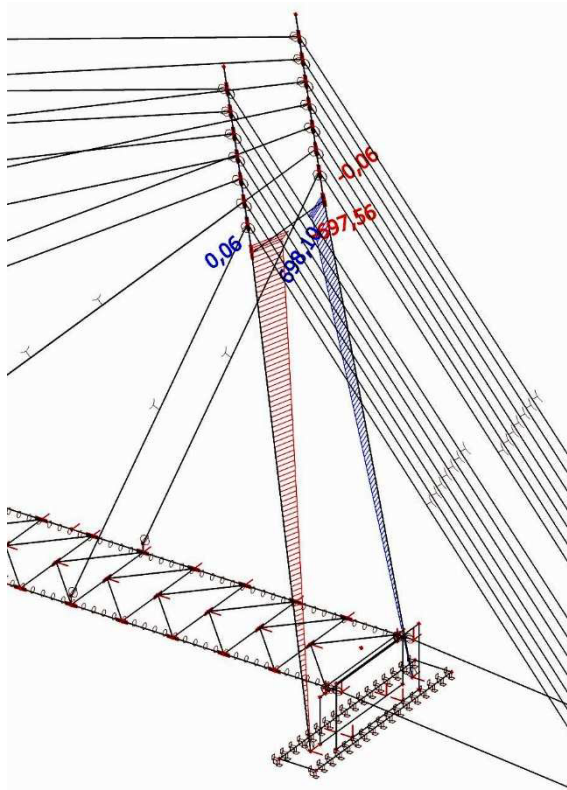
Normálová síla z kombinace CO4



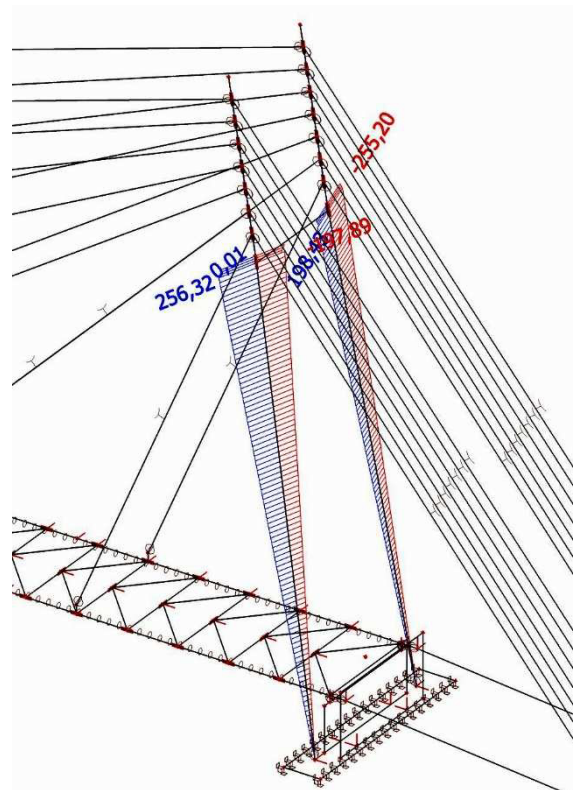
Ohybový moment M_y z kombinace F29



Ohybový moment M_y z kombinace CO4



Ohybový moment M_z z kombinace F29



Ohybový moment M_z z kombinace CO4

7.7.2 Posouzení v místě příčle

Pylon byl posouzen pouze v provozní fázi, protože největší vnitřní síly vznikají v pylonu v poslední fázi výstavby. Z kombinací proměnného zatížení byla opět rozhodující kombinace CO4. Pylon byl posouzen v místě průniku stojky a příčle.

Přehled vnitřních sil:

	F29	CO4	Σ
N_{Ed} [kN]	11630,65	3621,09	15251,74
$M_{y,Ed}$ [kNm]	2371,65	787,74	3159,39
$M_{z,Ed}$ [kNm]	698,10	256,32	954,42

Součinitel kritického zatížení: $\alpha_{cr} = 3,80$

Návrhová normálová síla: $N_{Ed} = 15\,251,74$ kN

Pružná kritická síla: $N_{cr} = \alpha_{cr} \cdot N_{Ed} = 3,80 \cdot 15251,74 = 57\,956,61$ kN

Poměrná štíhlost: $\lambda_{rel} = (A \cdot f_y / N_{cr})^{1/2} = (122648 \cdot 355 / 57956612)^{1/2} = 0,867$

Součinitel imperfekce: $\alpha = 0,34$ (křivka „b“)

$$\phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\lambda_{rel} - 0,2) + \lambda_{rel}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,34 \cdot (0,867 - 0,2) + 0,867^2] = 0,989$$

Součinitel vzpěrnosti: $\chi = [\phi + (\phi^2 - \lambda_{rel}^2)^{1/2}]^{-1} = [0,989 + (0,989^2 - 0,867^2)^{1/2}]^{-1} = 0,682$

Charakteristická únosnost v prostém tlaku: $N_{Rk} = A \cdot f_y = 122648 \cdot 355 = 43\,540\,040$ N

Vzpěrná únosnost: $N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_y / \gamma_{M1} = 0,682 \cdot 122648 \cdot 355 / 1,0 = \mathbf{29\,715\,561\,N}$

Ohybová únosnost: $M_{Rd} = W_{el} \cdot f_y / \gamma_{M0} = 28,8 \cdot 10^6 \cdot 355 / 1,0 = \mathbf{10\,224,00\,kNm}$

Součinitel k_{yy}

$$\alpha_h = M_h / M_s = 0$$

$$C_{my} = 0,90 + 0,10 \cdot \alpha_h = 0,90 + 0,10 \cdot 0 = 0,90$$

$$k_{yy} = C_{my} \cdot [1 + 0,6 \cdot \lambda_{rel} \cdot N_{Ed} / (\chi_y \cdot N_{Rk} / \gamma_{M1})] \leq C_{my} \cdot [1 + 0,6 \cdot N_{Ed} / (\chi_y \cdot N_{Rk} / \gamma_{M1})]$$

$$k_{yy} = 0,90 \cdot [1 + 0,6 \cdot 0,867 \cdot 15251740 / (0,682 \cdot 43540040 / 1,0)] \leq$$

$$\leq 0,90 \cdot [1 + 0,6 \cdot 15251740 / (0,682 \cdot 43540040 / 1,0)]$$

$$\mathbf{k_{yy} = 1,140 < 1,177}$$

Součinitel k_{zz}

$$\psi = 0$$

$$C_{mz} = 0,6 + 0,4 \cdot \psi = 0,6 + 0,4 \cdot 0 = 0,6$$

$$k_{zz} = C_{mz} \cdot [1 + 0,6 \cdot \lambda_{rel} \cdot N_{Ed} / (\chi_z \cdot N_{Rk} / \gamma_{M1})] \leq C_{mz} \cdot [1 + 0,6 \cdot N_{Ed} / (\chi_z \cdot N_{Rk} / \gamma_{M1})]$$

$$k_{zz} = 0,6 \cdot [1 + 0,6 \cdot 0,867 \cdot 15251740 / (0,682 \cdot 43540040 / 1,0)] \leq$$

$$\leq 0,6 * [1 + 0,6 * 15251740 / (0,682 * 43540040 / 1,0)]$$

$$k_{zz} = 0,760 < 0,785$$

Součinitel k_{yz}

$$k_{yz} = k_{zz} = 0,760$$

Součinitel k_{zy}

$$k_{zy} = 0,8 * k_{yy} = 0,8 * 1,140 = 0,912$$

$$1) N_{Ed} / N_{b,Rd} + k_{yy} * M_{y,Ed} / M_{Rd} + k_{yz} * M_{z,Ed} / M_{Rd} =$$

$$= 15251740 / 29715561 + 1,140 * 3159,39 / 10224 + 0,760 * 954,42 / 10224 = 0,937 < 1,000$$

VYHOVUJE.

$$2) N_{Ed} / N_{b,Rd} + k_{zy} * M_{y,Ed} / M_{Rd} + k_{zz} * M_{z,Ed} / M_{Rd} =$$

$$= 15251740 / 29715561 + 0,912 * 3159,39 / 10224 + 0,760 * 954,42 / 10224 = 0,866 < 1,000$$

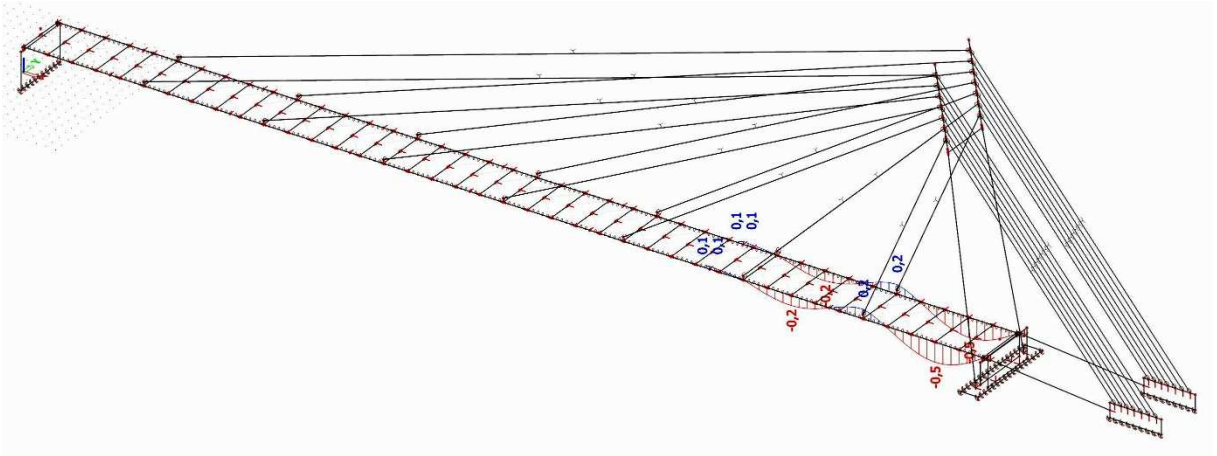
VYHOVUJE.

7.8 PRŮBĚH FÁZÍ VÝSTAVBY

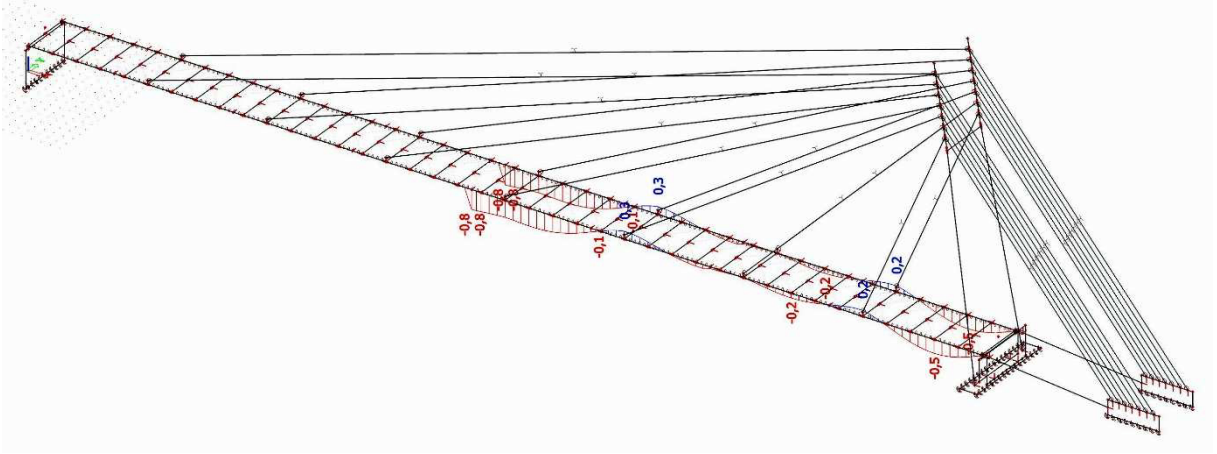
Konstrukce byla po přidání každého dalšího montážního dílu ocelové konstrukce a po vybetonování každého úseku železobetonové desky vyrovnána do teoretické polohy pomocí postupného předpínání jednotlivých lanových závěsů. Závěrečným předpínáním byla uvedena do stavu mírného nadvýšení 54 mm. V tabulce pod obrázky je přehled

7.8.1 Deformace hlavního nosníku

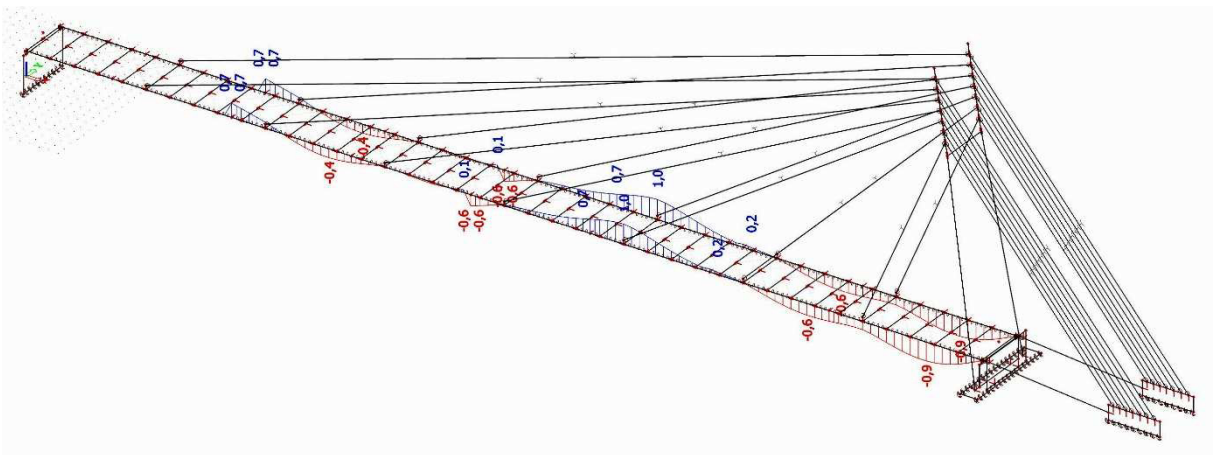
Na obrázcích níže je zobrazen svislý průhyb hlavního nosníku (hodnoty jsou v milimetrech) po vybraných fázích výstavby.



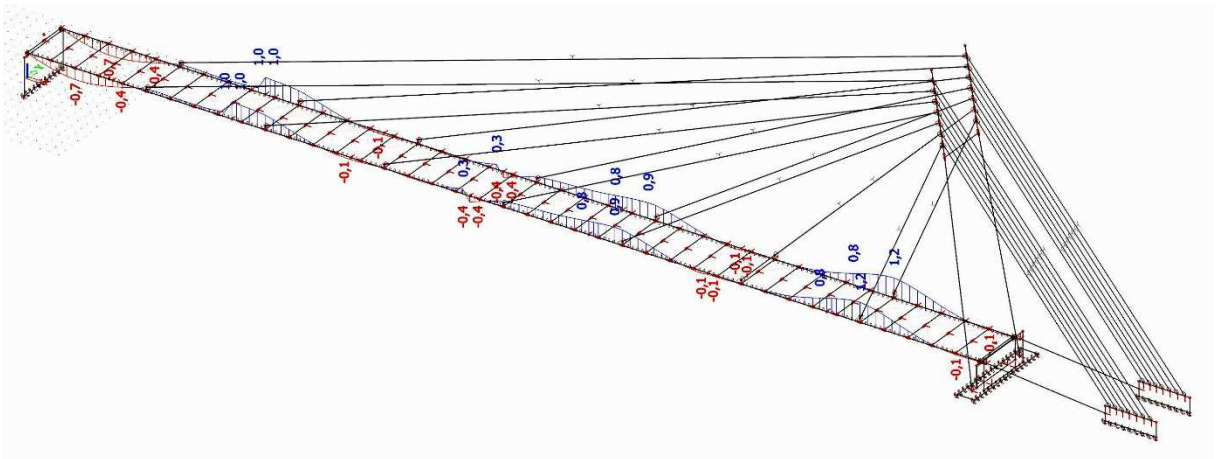
Průhyb po fázi ST1 (montáž první části OK, napnutí lan)



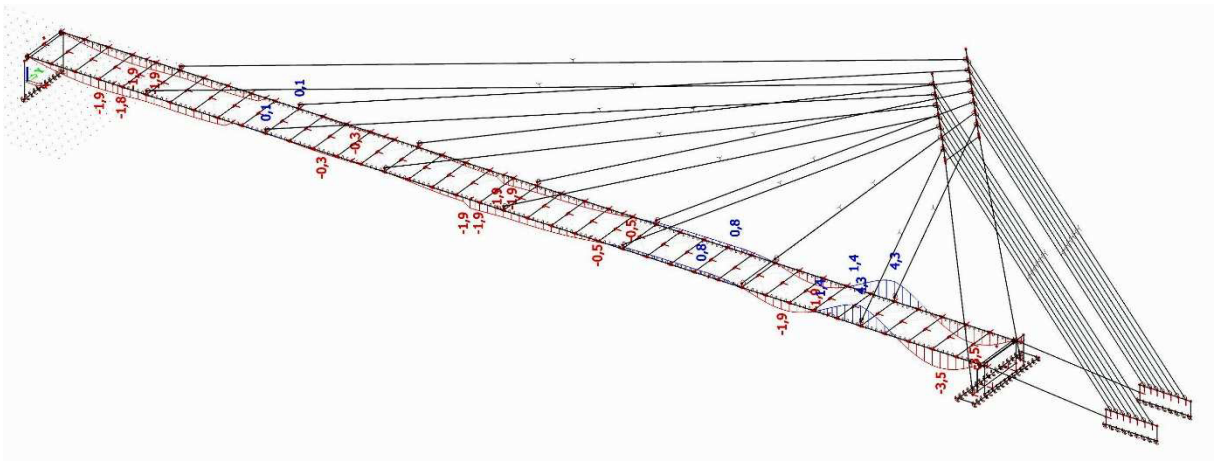
Průhyb po fázi ST2 (montáž druhé části OK, napnutí lan)



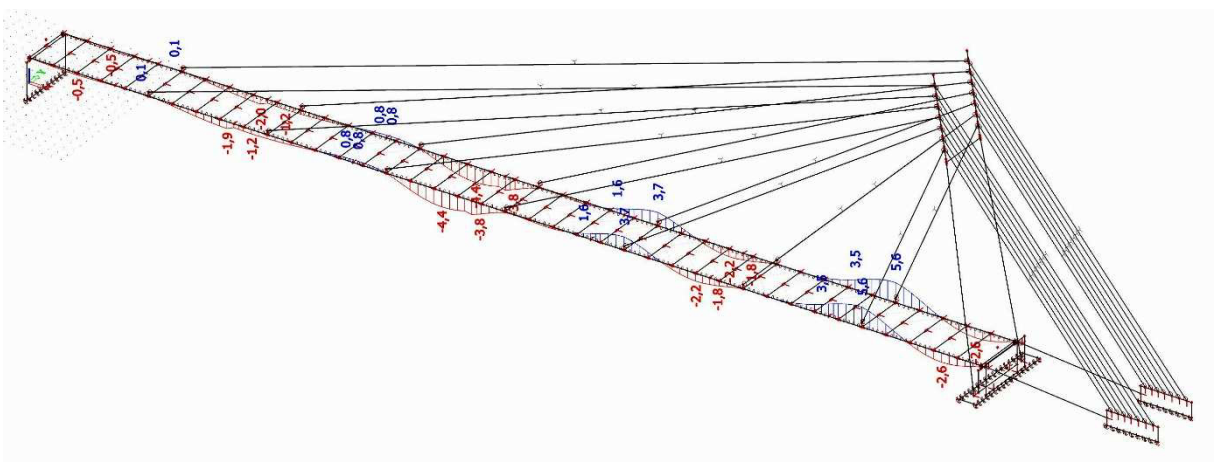
Průhyb po fázi ST3 (montáž třetí části OK, napnutí lan)



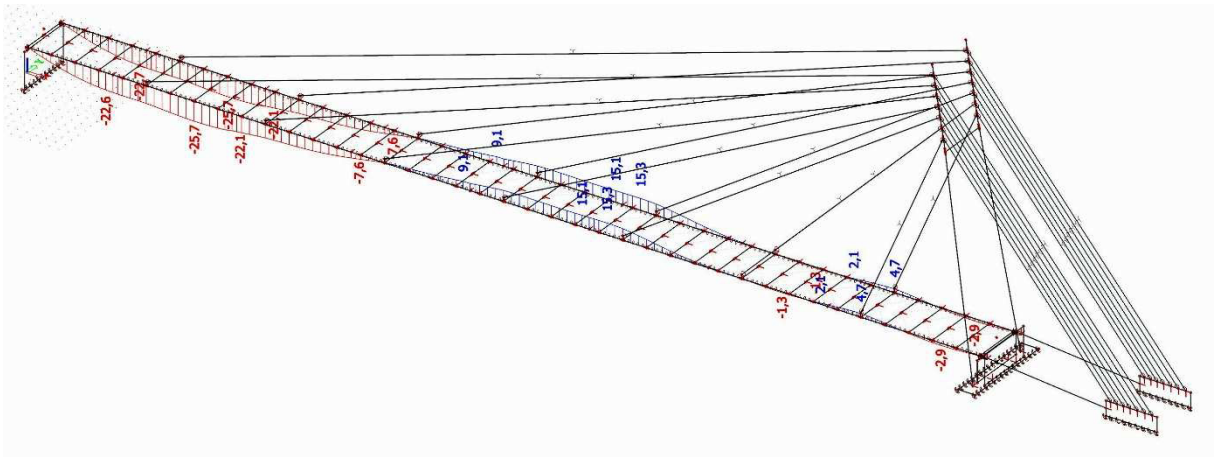
Průhyb po fázi ST4 (montáž čtvrté části OK, napnutí lan)



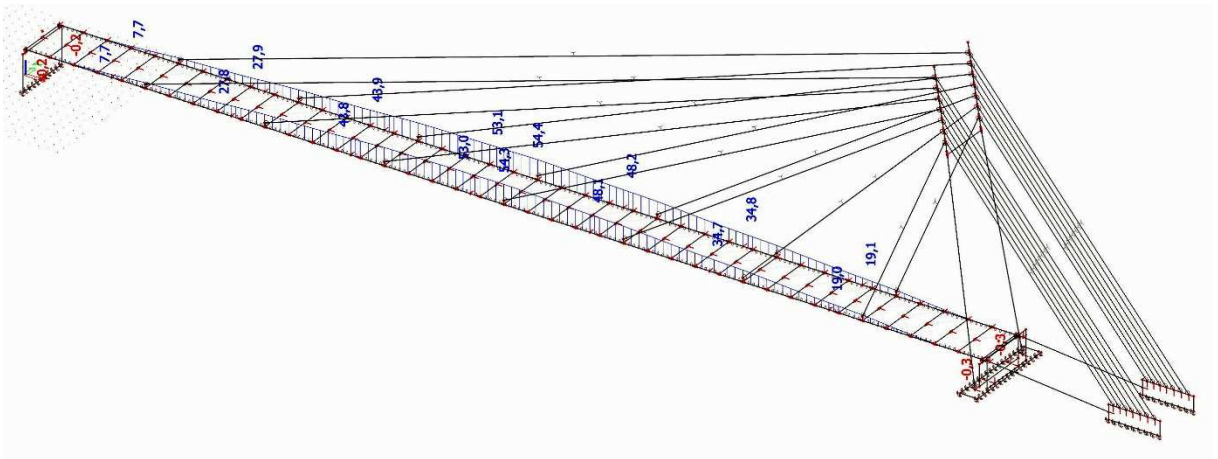
Průhyb po fázi ST7 (dopnutí lan po betonáži prvního úseku desky)



Průhyb po fázi ST14 (dopnutí lan po betonáži druhého úseku desky)



Průhyb po fázi ST22 (dopnutí lan po betonáži třetího úseku desky)



Průhyb po fázi ST29 (montáž zábradlí, nadvýšení konstrukce)

7.8.2 Normálové síly v závěsech

Zde jsou přehledně v tabulce uvedeny velikosti normálových sil (hodnoty jsou v kN) v každém závěsu po každé fázi výstavby. Dle této tabulky je tak možné při výstavbě dosáhnout teoretické polohy nosné konstrukce během výstavby i po dokončení dle předchozí kapitoly.

	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z6	Z7	Z8	Z9	Z10	Z11	Z12	Z13	Z14
F1	x	x	x	x	x	27	82	141	78	x	x	x	x	x
F2	x	x	x	106	132	60	80	190	170	193	159	x	x	x
F3	x	155	28	138	128	37	77	192	174	225	230	66	206	x
F4	249	205	175	147	130	139	87	271	330	290	311	292	350	329
F5	249	200	165	128	71	91	445	303	356	310	325	301	355	327
F6	245	193	154	120	60	368	435	314	673	317	330	304	357	327
F7	243	196	162	135	109	411	570	831	634	285	306	286	340	319
F8	167	63	92	486	589	270	337	915	712	358	370	342	410	376
F9	152	47	375	470	578	244	328	921	719	366	380	661	427	395
F10	169	95	350	1121	339	235	358	898	699	351	1344	655	425	400
F11	183	122	352	949	832	235	464	876	677	1252	1322	633	395	371
F12	181	118	346	945	826	373	459	881	836	1255	1324	635	396	371
F13	181	119	348	948	835	381	485	976	829	1249	1320	632	393	369
F14	300	89	341	952	837	375	483	974	828	1250	1321	634	398	525
F15	634	478	258	640	630	368	520	949	825	1270	1365	703	535	697
F16	629	473	352	634	626	360	517	951	827	1273	1369	810	541	703
F17	410	1532	296	726	667	280	479	963	839	1284	1380	820	2054	715
F18	1518	1255	227	762	686	226	454	952	837	1291	1396	845	2105	2129
F19	1520	1260	225	833	661	225	458	950	835	1290	1498	845	2105	2130
F20	1522	1264	225	805	747	224	475	947	832	1441	1495	842	2101	2125
F21	1521	1263	222	802	744	293	473	950	912	1443	1496	843	2101	2125
F22	1521	1263	223	805	753	301	500	1044	905	1437	1492	840	2099	2124
F23	1454	1329	475	1013	829	349	499	1187	1045	1576	1628	973	2289	2310
F24	1397	1095	1083	720	761	378	512	1128	984	1512	1561	1417	2183	2201
F25	1407	1104	1092	710	628	616	366	1061	1334	1457	1514	1377	2134	2160
F26	1410	1084	1021	878	540	609	376	1043	1316	1440	1625	1359	2109	2135
F27	1415	1086	1012	832	636	554	382	1027	1301	1529	1612	1347	2093	2121
F28	1417	1087	1013	835	639	521	420	1153	1277	1508	1595	1333	2077	2108
F29	1419	1106	1038	857	656	533	430	1178	1302	1532	1619	1357	2111	2142

8 POSOUZENÍ MSP

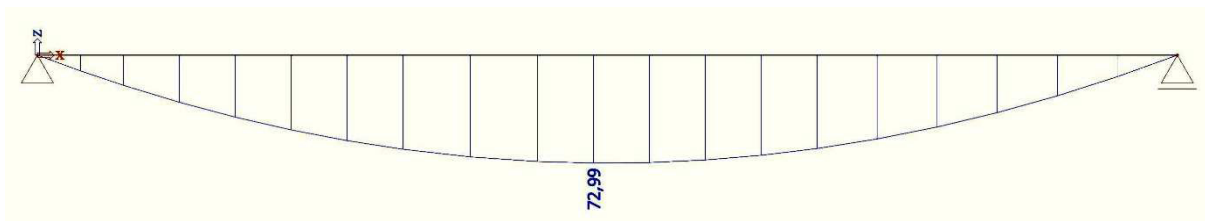
8.1 NAPĚTÍ NA PŘÍČNÍKU

8.1.1 Montážní fáze

Montážní zatížení (vlastní tíha ocelového profilu, zatížení čerstvým betonem a bedněním):

$$f_{k,g} = 20,80 \text{ kN/m (viz kapitola 5.3.1)}$$

Ohybový moment od montážního zatížení: $M_{Ek,g} = 1/8 * f_{k,g} * L^2 = 1/8 * 20,8 * 5,3^2 = 72,99 \text{ kNm}$



Průběh ohybového momentu $M_{Ek,g}$

Napětí v krajních vláknech ocelového nosníku: $\sigma_{a,1} = M_{Ek,g}/W_{el,y,a} = 72,99 * 10^6 / 557000 = 131,0 \text{ MPa}$

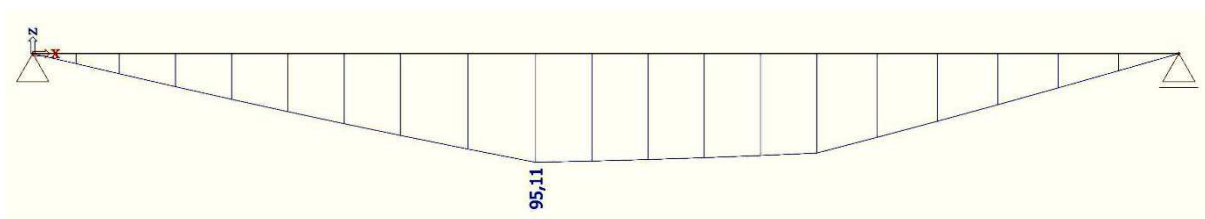
8.1.2 Provozní fáze

Provozní zatížení gr1: $f_{k,gr1} = 4 * 2,5 = 10 \text{ kN/m (viz kapitola 5.1.1)}$

Provozní zatížení gr2: $2x F_{k,gr2} = 40 \text{ kN (viz kapitola 5.1.1)}$

Charakteristická kombinace provozního zatížení: $1,0 * F_{k,gr2} + 0,4 * f_{k,gr1}$

Ohybový moment od provozního zatížení: $M_{Ek,q} = 95,11 \text{ kNm}$



Průběh ohybového momentu $M_{Ek,q}$

Napětí ve spodních vláknech ocelového nosníku:

$$\sigma_{a,2} = M_{Ek,q}/I_{y,i} * z_{No} = 95,11 * 10^6 / (548,89 * 10^6) * 377 = 65,3 \text{ MPa}$$

Napětí v horních vláknech betonové desky:

$$\sigma_c = 1/n * M_{Ek,q}/I_{y,i} * (h_a + h_D - z_{No}) = 1/13,125 * 95,11 * 10^6 / (548,89 * 10^6) * (300 + 250 - 377) = 2,3 \text{ MPa}$$

8.1.3 Posouzení na ohyb

Spodní vlákna ocelového nosníku:

$$\sigma_a = \sigma_{a,1} + \sigma_{a,2} = 131,0 + 65,3 = 196,3 \text{ MPa} < f_y = 355,0 \text{ MPa} \rightarrow \text{VYHOVUJE.}$$

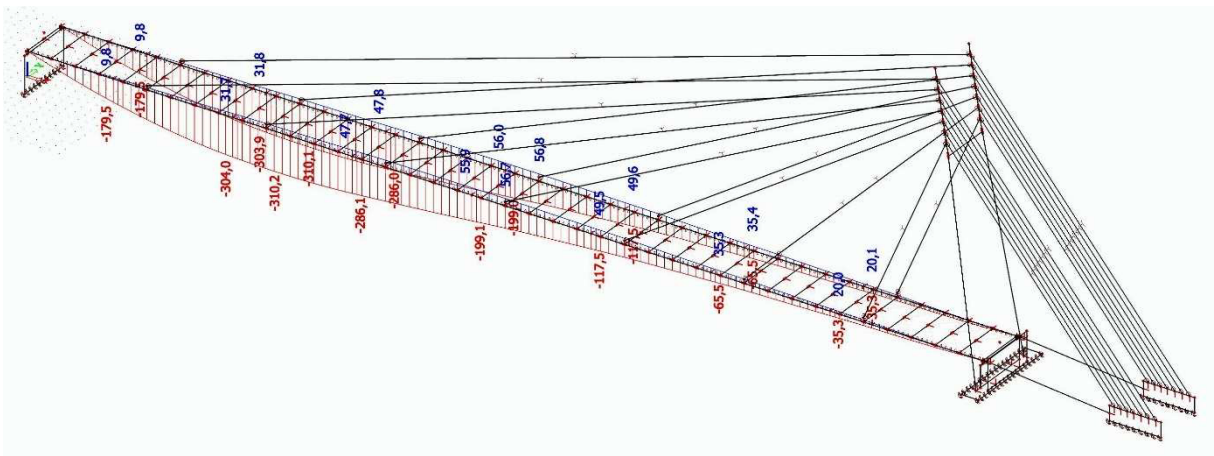
Horní vlákna betonové desky:

$$\sigma_c = 2,3 \text{ MPa} < \alpha_{cc} * f_{ck} = 0,85 * 30 = 25,5 \text{ MPa} \rightarrow \text{VYHOVUJE.}$$

8.2 PRŮHYB HLAVNÍHO NOSNÍKU

Pro účely posouzení hlavního nosníku na průhyb byla vytvořena charakteristické kombinace. Při její tvorbě bylo použito zkušeností z posouzení konstrukce v mezním stavu únosnosti, kde v naprosté většině rozhodovala kombinace CO4, proto bylo jako dominantní zatížení zvoleno zatížení dopravou od skupiny gr1.

$$\text{CO21: } 1,0 * G + 1,0 * gr1 + 0,0 * gr2 + 0,3 * F_w + 0,6 * T$$



Průběh svislé deformace hlavního nosníku z kombinace CO21

Maximální hodnota průhybu: $\delta = 310 \text{ mm}$

Maximální dovolená hodnota průhybu: $\delta_{\max} = L/300 = 100000/300 = 333 \text{ mm}$

Posouzení: $\delta = 310 < \delta_{\max} = 333 \text{ [mm]} \rightarrow \text{VYHOVUJE.}$

8.3 OMEZENÍ NAPĚTÍ V LANECH

V mezním stavu použitelnosti budou všechny lanové závěsy posouzeny v mezním stavu omezení napětí, kdy napětí v charakteristické kombinaci nemá překročit 45% hodnotu síly při přetržení. Pro posouzení byly použity výsledky z kombinace CO21 (viz předchozí kapitola).

Pro třináctipramencové lano: $F_{SLS} = 0,45 * F_{uk} = 0,45 * 3458 = 1556,1 \text{ kN}$

Pro devatenáctipramencové lano: $F_{SLS} = 0,45 * F_{uk} = 0,45 * 5054 = 2274,3 \text{ kN}$

	F_{ek}	F_{SLS}	F_{Ek}/F_{SLS}	Vyhoví?
Z1	1132,31	1556,10	0,73	ano
Z2	1078,90	1556,10	0,69	ano
Z3	1105,47	1556,10	0,71	ano
Z4	941,66	1556,10	0,61	ano
Z5	720,31	1556,10	0,46	ano
Z6	578,62	1556,10	0,37	ano
Z7	465,50	1556,10	0,30	ano
Z8	1202,95	1556,10	0,77	ano
Z9	1291,06	1556,10	0,83	ano
Z10	1458,79	1556,10	0,94	ano
Z11	1519,27	1556,10	0,98	ano
Z12	1322,66	1556,10	0,85	ano
Z13	2023,46	2274,30	0,89	ano
Z14	2042,36	2274,30	0,90	ano

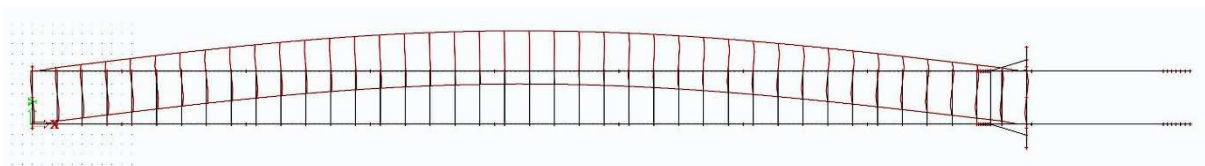
Z každé dvojice závěsů byl stejně jako v mezním stavu únosnosti vybrán ten, ve kterém se nacházela větší normálová síla. Všechny závěsy v mezním stavu použitelnosti vyhoví.

8.4 DYNAMICKÁ ANALÝZA

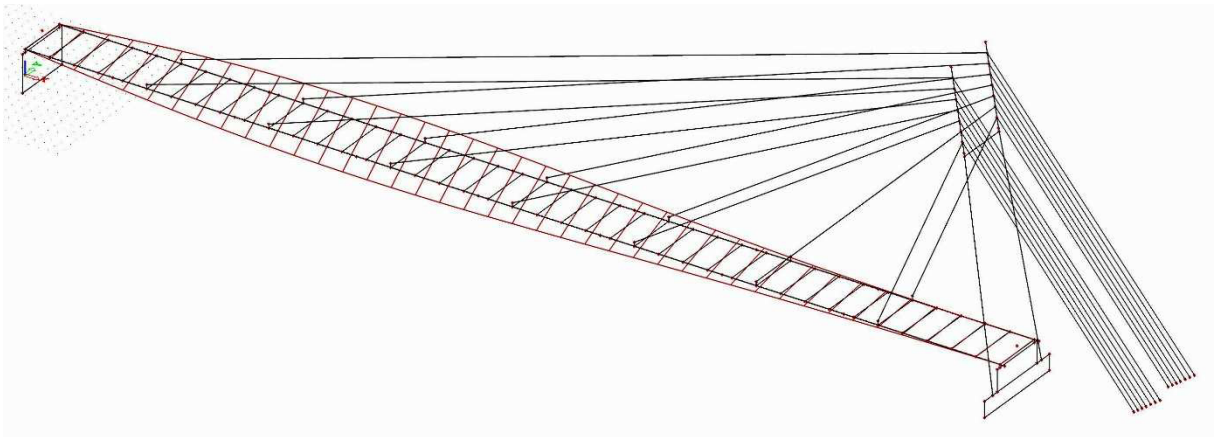
8.4.1 Vlastní tvary a vlastní frekvence

Nejprve byly na 3D modelu ze zatěžovacích stavů vlastní tíhy nosné konstrukce generovány hmoty. Následně byla spuštěna modální analýza, jejímž výsledkem byly vlastní frekvence a jim příslušné vlastní tvary kmitání.

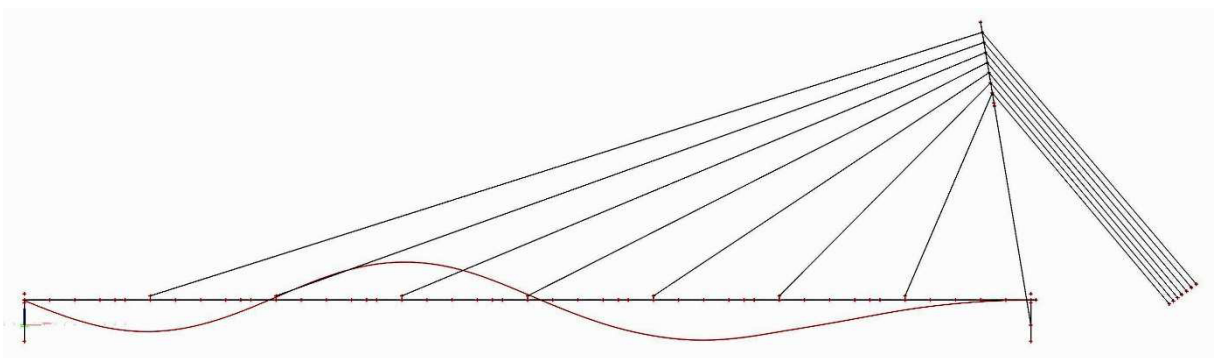
Byly vybrány všechny vlastní tvary příslušné frekvencím v rozmezí 1,0 – 2,6 Hz pro svislé kmitání a v rozmezí 0,3 – 1,3 pro příčné kmitání. V těchto frekvenčních rozmezích totiž hrozí riziko rezonance.



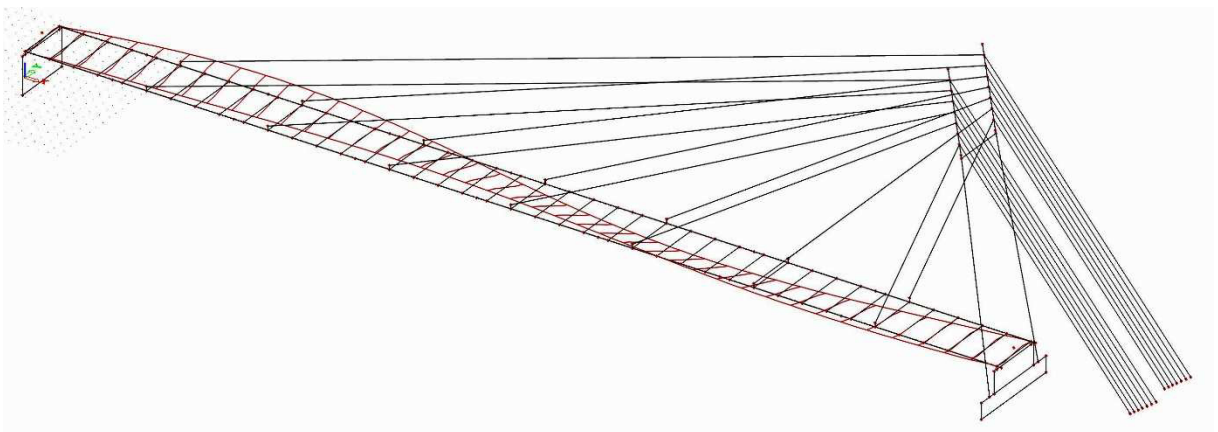
Půdorys vlastního tvaru příčného kmitání o frekvenci 0,53 Hz



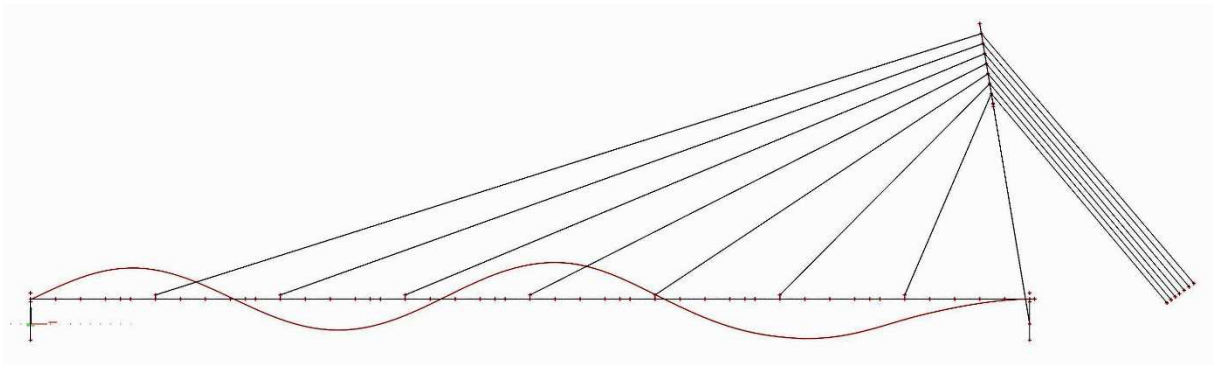
Axonometrie vlastního tvaru odpovídajícímu frekvenci 1,10 Hz



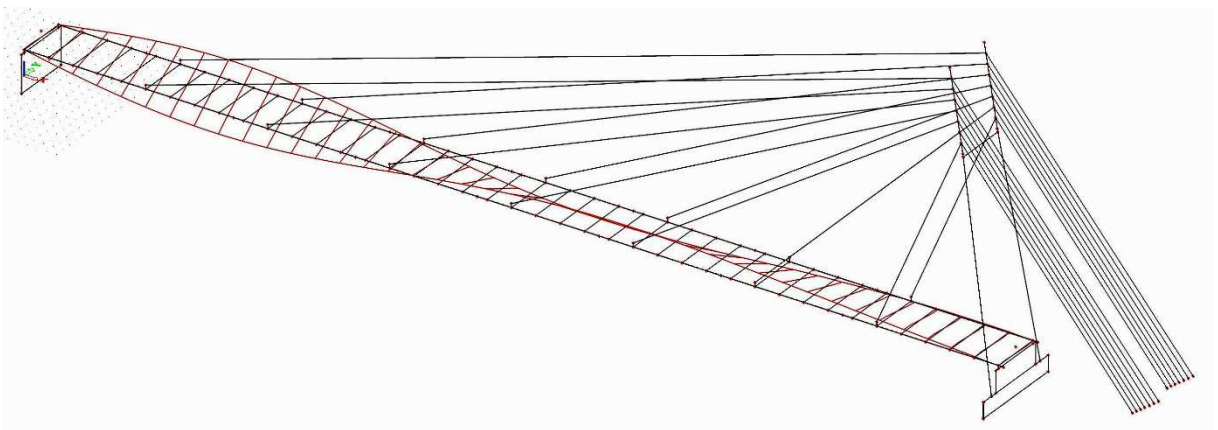
Pohled na vlastní tvar odpovídající frekvenci 1,31 Hz



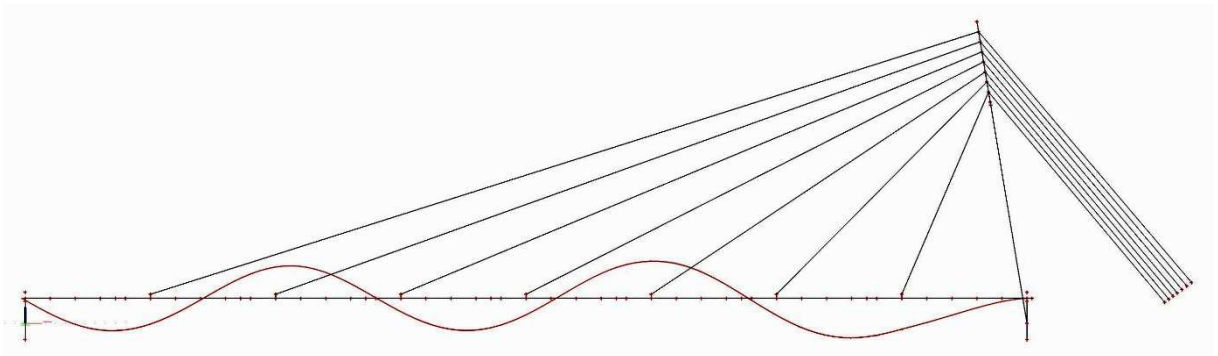
Axonometrie vlastního tvaru odpovídajícímu frekvenci 1,56 Hz



Pohled na vlastní tvar odpovídající frekvenci 1,84 Hz



Axonometrie vlastního tvaru odpovídajícímu frekvenci 2,01 Hz



Pohled na vlastní tvar odpovídající frekvenci 2,47 Hz

8.4.2 Výpočet dynamického zatížení

Protože je první vlastní frekvence lávky menší než 5 Hz, bylo nutné ověřit dynamické chování. K tomuto ověření byla použita technická příručka Sétra. Nejprve byla lávka zatříděna podle dopravního zatížení do třídy III, následně bylo pro každou vlastní frekvenci spočítáno dynamické zatížení dle následujících vzorců:

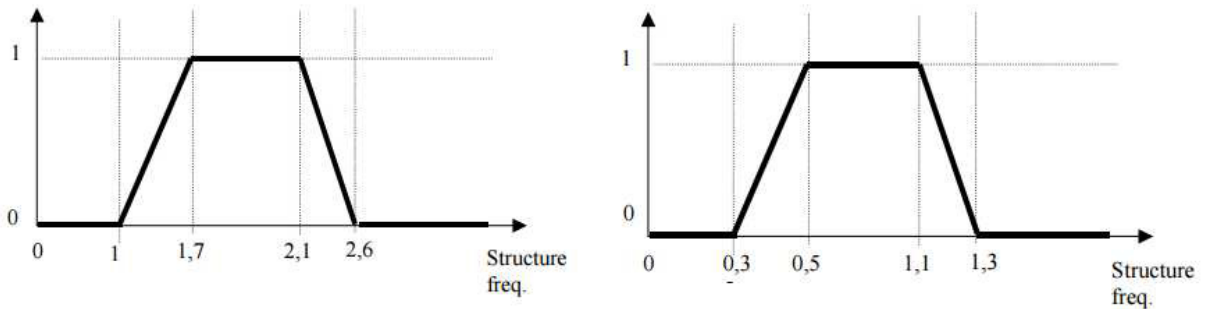
Svislé kmitání: $q_v = d \cdot 280 \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f_v \cdot t) \cdot 10,8 \cdot (\xi/n)^{1/2} \cdot \psi$ [N/m²]

Příčné kmitání: $q_t = d \cdot 35 \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f_t \cdot t) \cdot 10,8 \cdot (\xi/n)^{1/2} \cdot \psi$ [N/m²]

Hustota davu: $d = 0,5$ (pro třídu III)

Útlum: $\xi = 0,6 \% = 0,006$ (pro ocelobetonovou konstrukci)

Počet chodců na mostě: $n = d \cdot L \cdot B = 0,5 \cdot 100 \cdot 4,5 = 225$



Součinitel ψ – vlevo pro svislé vibrace, vpravo pro vodorovné

1. $f_t = 0,53$ Hz: $q_1 = 0,5 \cdot 35 \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot 0,53 \cdot t) \cdot 10,8 \cdot (0,006/225)^{1/2} \cdot 1,00 = 0,976 \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot 0,53 \cdot t)$
2. $f_v = 1,10$ Hz: $q_2 = 0,5 \cdot 280 \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot 1,10 \cdot t) \cdot 10,8 \cdot (0,006/225)^{1/2} \cdot 0,14 = 1,117 \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot 1,10 \cdot t)$
3. $f_v = 1,31$ Hz: $q_3 = 0,5 \cdot 280 \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot 1,31 \cdot t) \cdot 10,8 \cdot (0,006/225)^{1/2} \cdot 0,44 = 3,459 \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot 1,31 \cdot t)$
4. $f_v = 1,56$ Hz: $q_4 = 0,5 \cdot 280 \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot 1,56 \cdot t) \cdot 10,8 \cdot (0,006/225)^{1/2} \cdot 0,80 = 6,246 \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot 1,56 \cdot t)$
5. $f_v = 1,84$ Hz: $q_5 = 0,5 \cdot 280 \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot 1,84 \cdot t) \cdot 10,8 \cdot (0,006/225)^{1/2} \cdot 1,00 = 7,808 \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot 1,84 \cdot t)$
6. $f_v = 2,01$ Hz: $q_6 = 0,5 \cdot 280 \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot 2,01 \cdot t) \cdot 10,8 \cdot (0,006/225)^{1/2} \cdot 1,00 = 7,808 \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot 2,01 \cdot t)$
7. $f_v = 2,47$ Hz: $q_7 = 0,5 \cdot 280 \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot 2,47 \cdot t) \cdot 10,8 \cdot (0,006/225)^{1/2} \cdot 0,26 = 2,030 \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot 2,47 \cdot t)$

Takto vypočtené zatížení bylo pro zjednodušení diskretizováno do uzlů a následně aplikováno na konstrukci v harmonických zatěžovacích stavech s příslušnou vlastní frekvencí a ve směru vybočení příslušného vlastního tvaru.

$$Q_1 = q_1 \cdot B \cdot L = 0,976 \cdot 2,65 \cdot 2,5 = 6,47 \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot 0,53 \cdot t) \text{ [N]}$$

$$Q_2 = q_2 \cdot B \cdot L = 1,117 \cdot 2,65 \cdot 2,5 = 7,40 \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot 1,10 \cdot t) \text{ [N]}$$

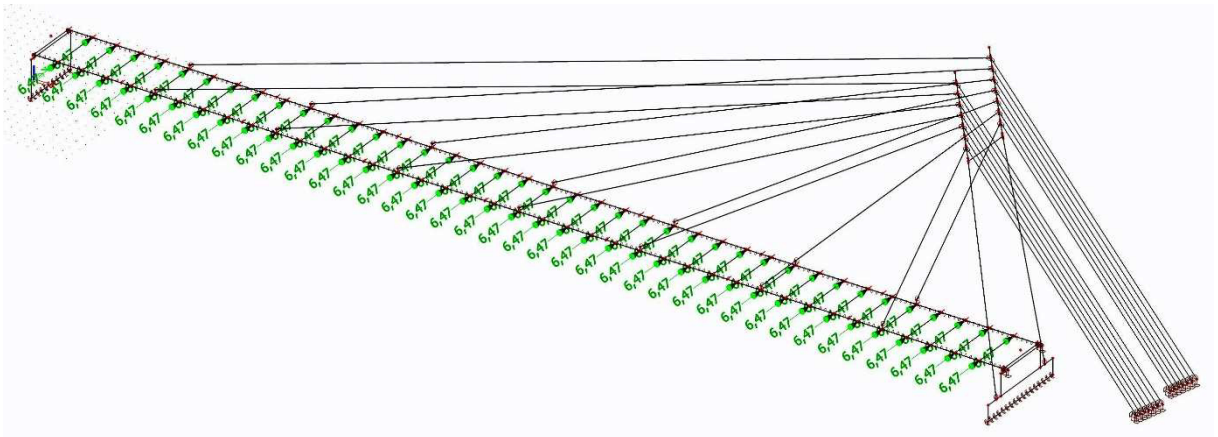
$$Q_3 = q_3 \cdot B \cdot L = 3,459 \cdot 2,65 \cdot 2,5 = 22,92 \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot 1,31 \cdot t) \text{ [N]}$$

$$Q_4 = q_4 \cdot B \cdot L = 6,246 \cdot 2,65 \cdot 2,5 = 41,38 \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot 1,56 \cdot t) \text{ [N]}$$

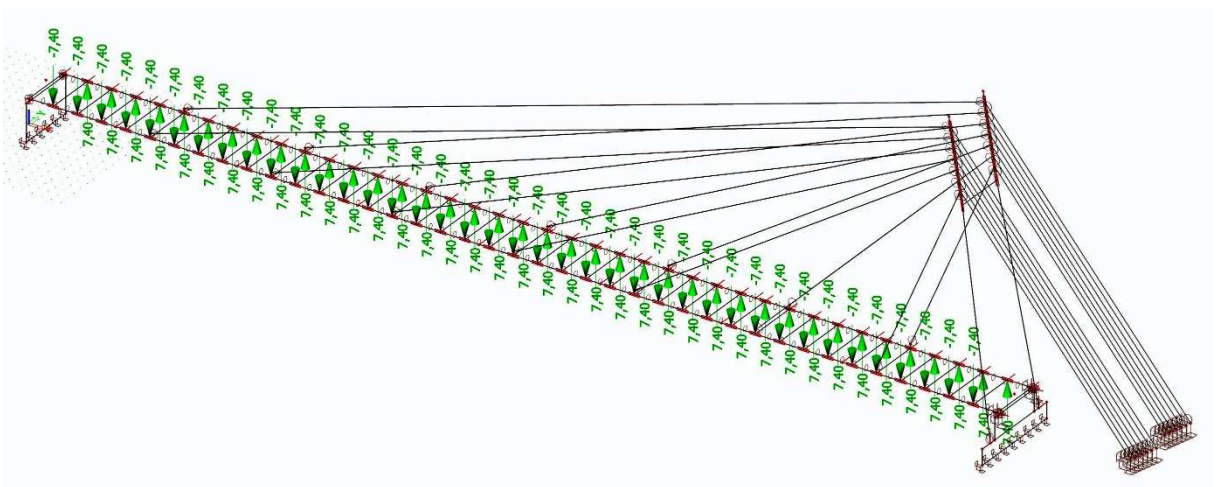
$$Q_5 = q_5 \cdot B \cdot L = 7,808 \cdot 2,65 \cdot 2,5 = 51,73 \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot 1,84 \cdot t) \text{ [N]}$$

$$Q_6 = q_6 \cdot B \cdot L = 7,808 \cdot 2,65 \cdot 2,5 = 51,73 \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot 2,01 \cdot t) \text{ [N]}$$

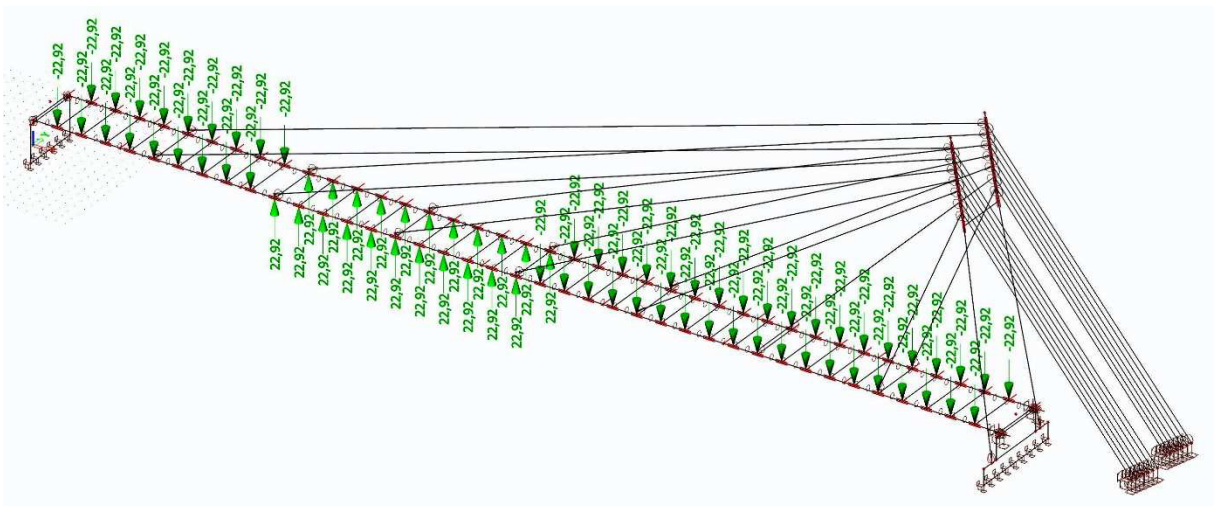
$$Q_7 = q_7 \cdot B \cdot L = 2,030 \cdot 2,65 \cdot 2,5 = 13,45 \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot 2,47 \cdot t) \text{ [N]}$$



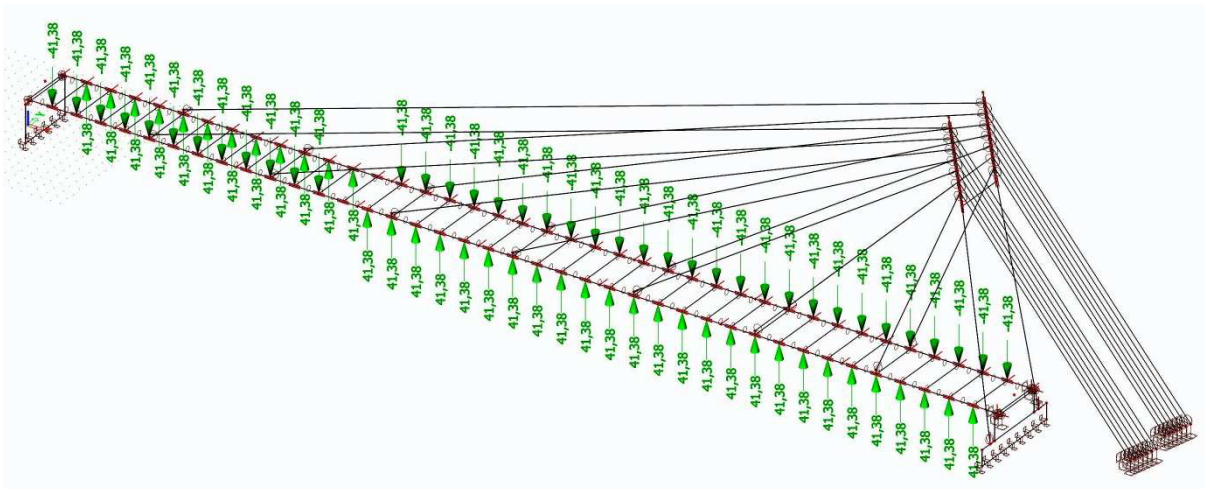
Harmonické zatížení pro výpočet vodorovného zrychlení při kmitání o frekvenci 0,53 Hz



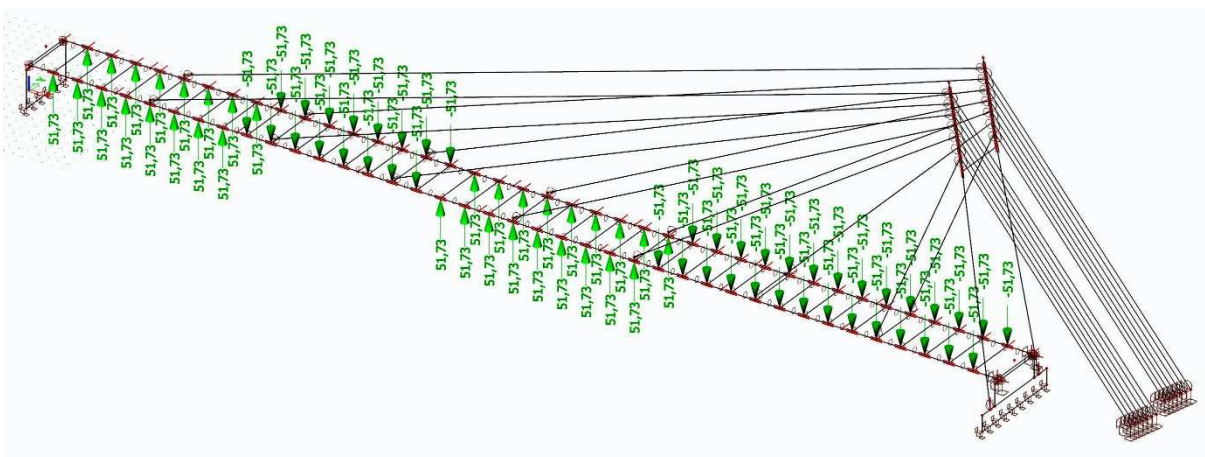
Harmonické zatížení pro výpočet svislého zrychlení při kmitání o frekvenci 1,10 Hz



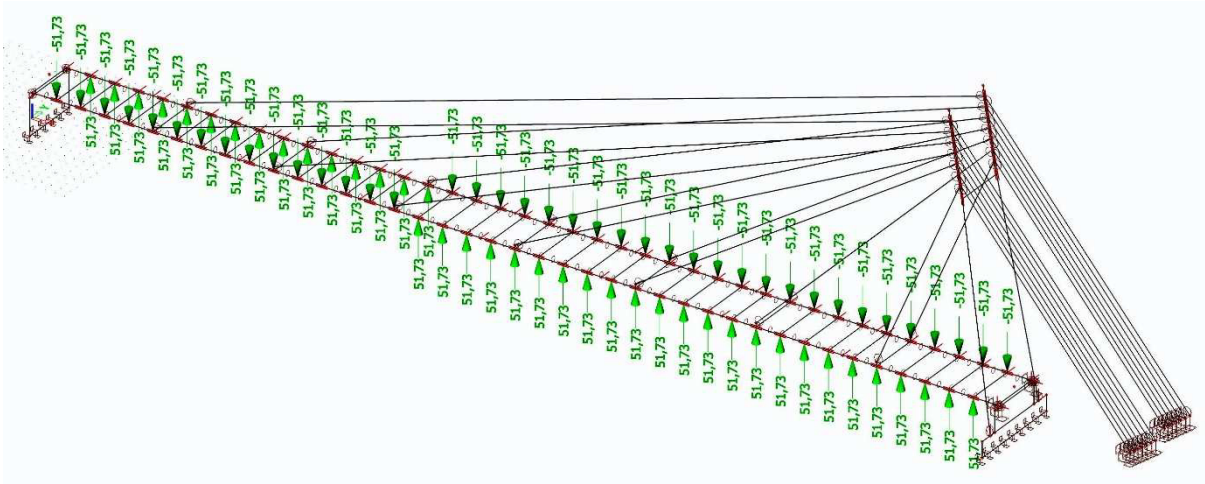
Harmonické zatížení pro výpočet svislého zrychlení při kmitání o frekvenci 1,31 Hz



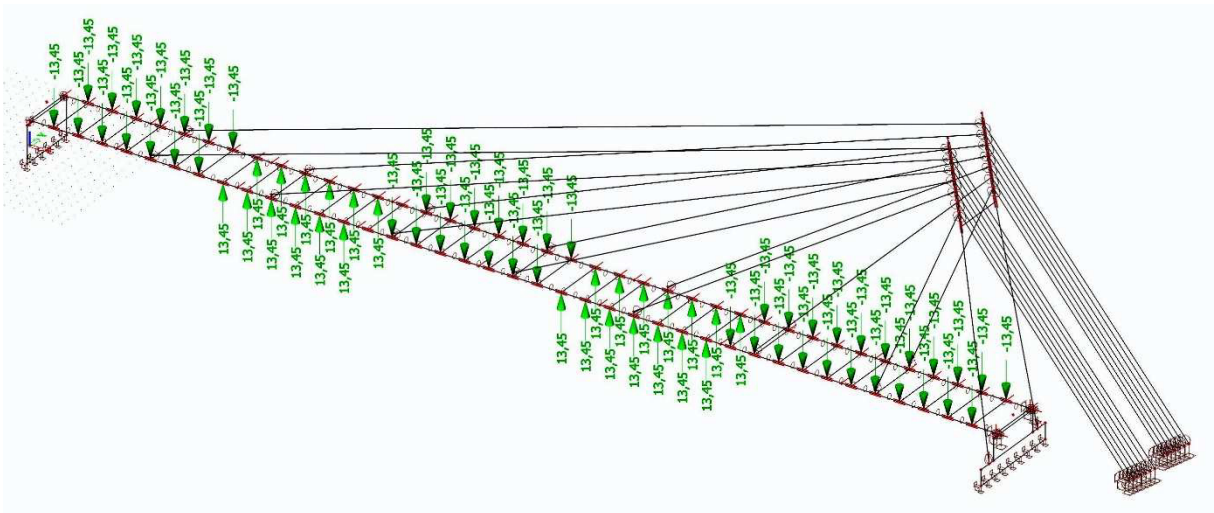
Harmonické zatížení pro výpočet svislého zrychlení při kmitání o frekvenci 1,56 Hz



Harmonické zatížení pro výpočet svislého zrychlení při kmitání o frekvenci 1,84 Hz



Harmonické zatížení pro výpočet svislého zrychlení při kmitání o frekvenci 2,01 Hz



Harmonické zatížení pro výpočet svislého zrychlení při kmitání o frekvenci 2,47 Hz

8.4.3 Posouzení zrychlení

Přehled maximálních hodnot zrychlení pro každou uvažovanou vlastní frekvenci.

$$a_1 = 55 \text{ mm/s}^2$$

$$a_2 = 112 \text{ mm/s}^2$$

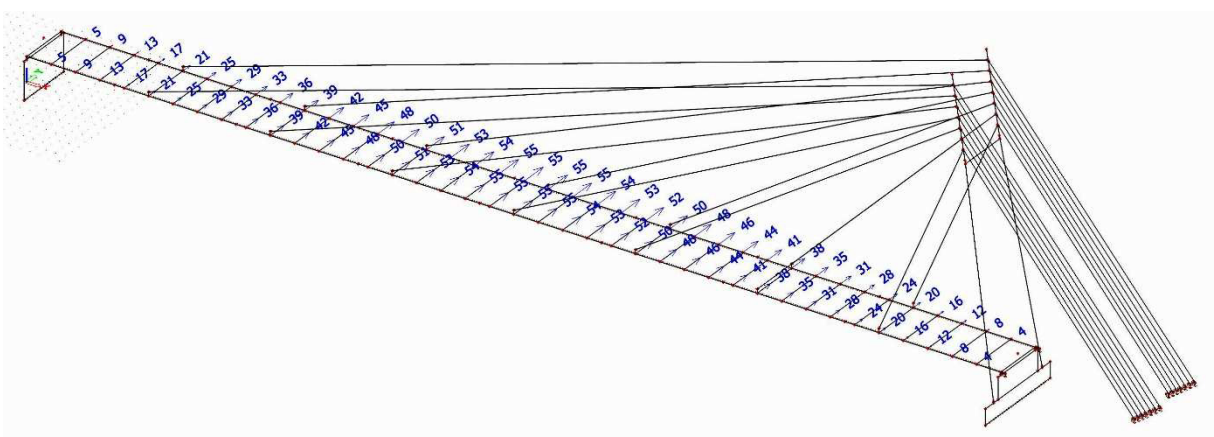
$$a_3 = 196 \text{ mm/s}^2$$

$$a_4 = 74 \text{ mm/s}^2$$

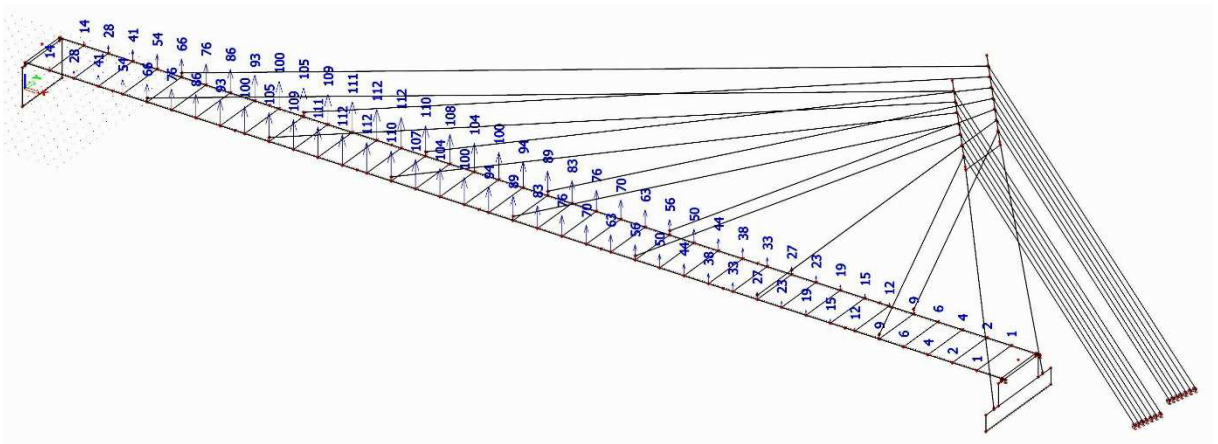
$$a_5 = 523 \text{ mm/s}^2$$

$$a_6 = 932 \text{ mm/s}^2$$

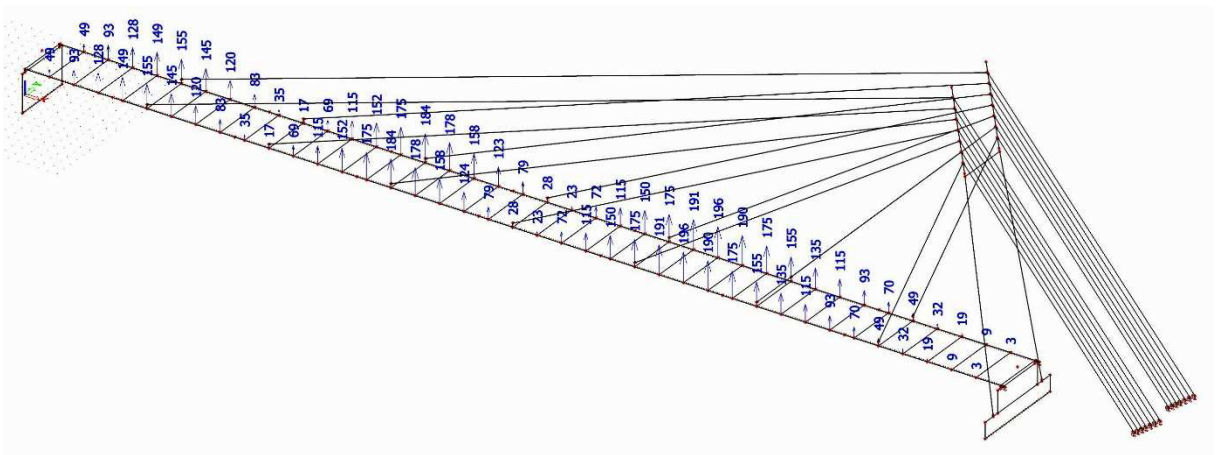
$$a_7 = 127 \text{ mm/s}^2$$



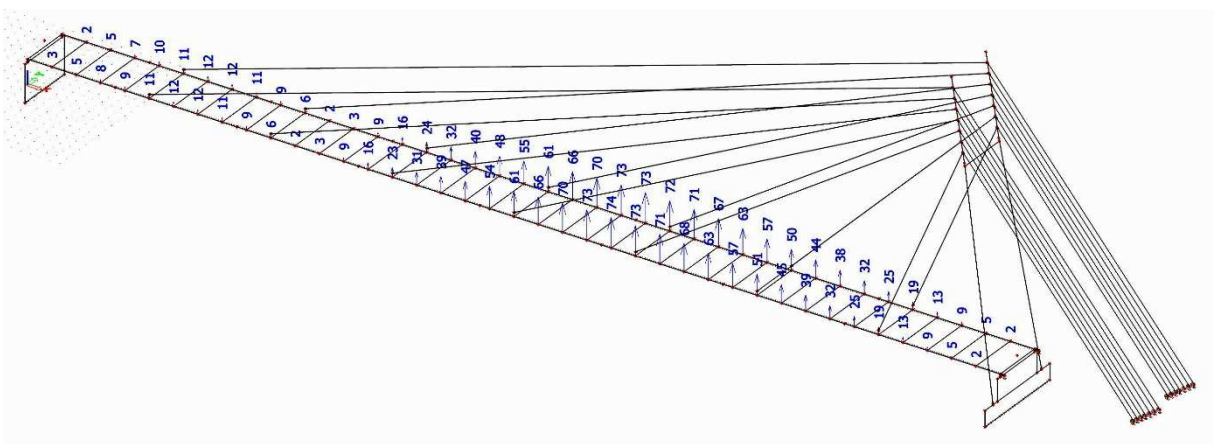
Zrychlení uzlů konstrukce [mm/s²] při příčném kmitání o frekvenci 0,53 Hz



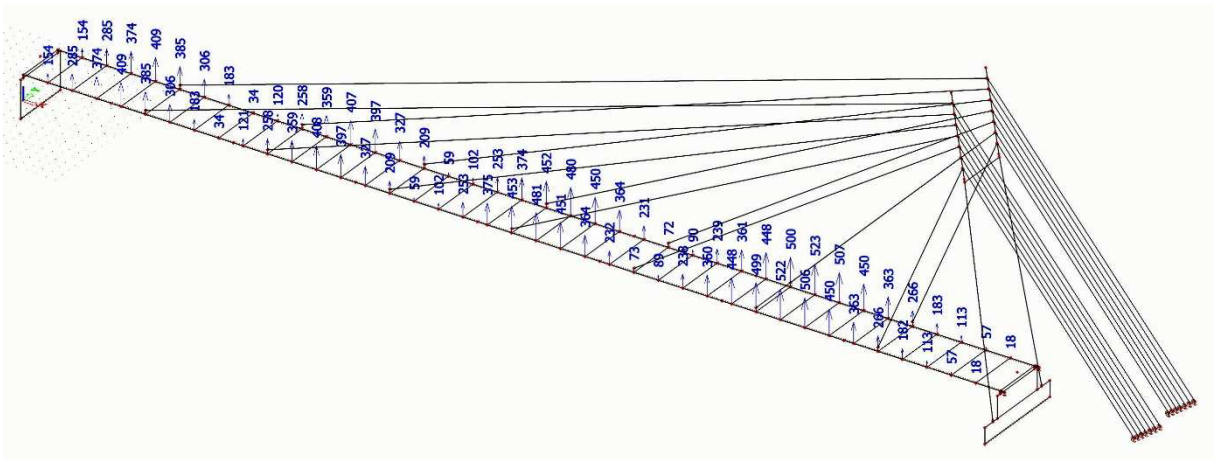
Zrychlení uzlů konstrukce [mm/s²] při svislém kmitání o frekvenci 1,10 Hz



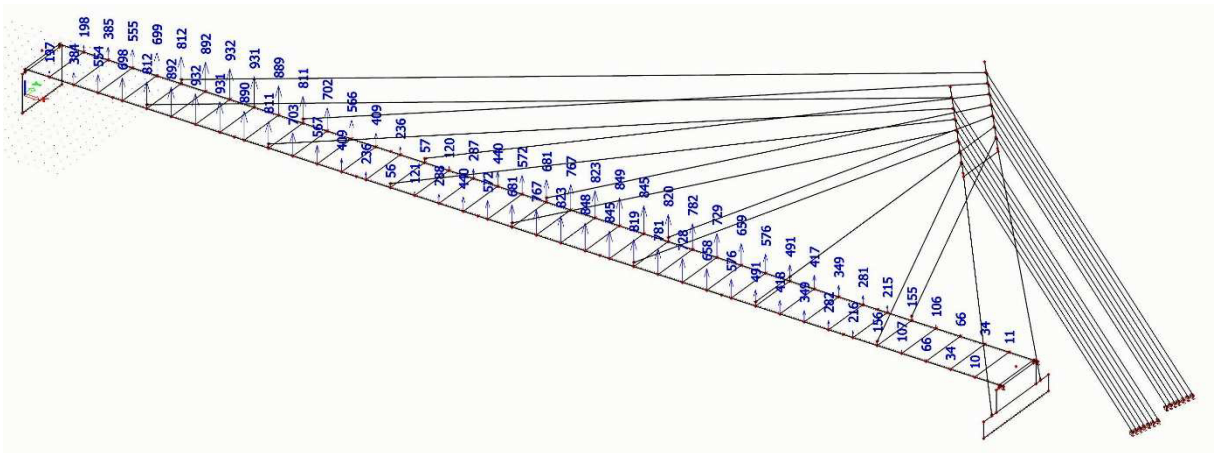
Zrychlení uzlů konstrukce [mm/s²] při svislém kmitání o frekvenci 1,31 Hz



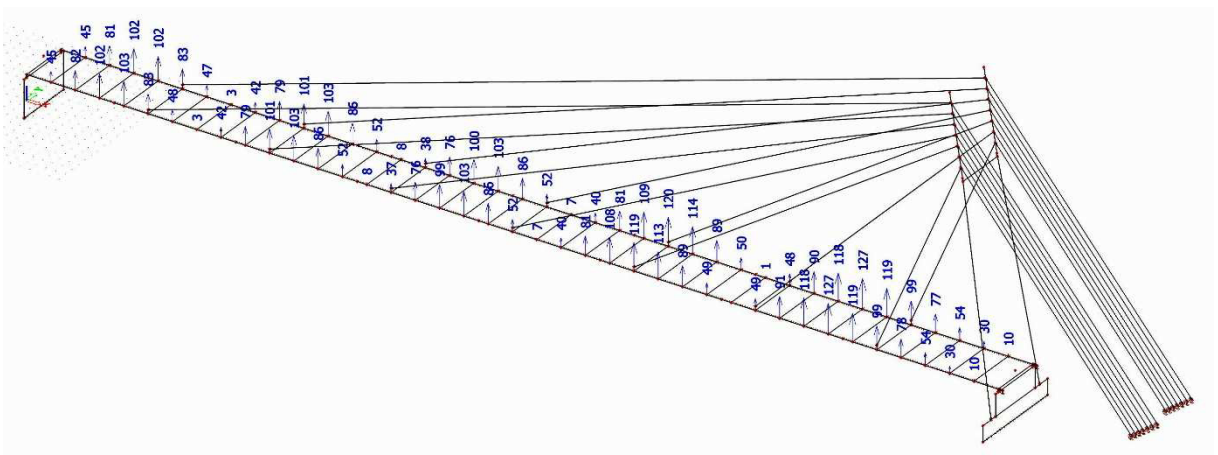
Zrychlení uzlů konstrukce [mm/s²] při svislém kmitání o frekvenci 1,56 Hz



Zrychlení uzlů konstrukce [mm/s²] při svislém kmitání o frekvenci 1,84 Hz



Zrychlení uzlů konstrukce [mm/s²] při svislém kmitání o frekvenci 2,01 Hz



Zrychlení uzlů konstrukce [mm/s²] při svislém kmitání o frekvenci 2,47 Hz

Dle doporučení EC 1990 má být maximální hodnota zrychlení pro vodorovné vibrace rovna $0,2 \text{ m/s}^2$. Maximální hodnota zrychlení v příčném směru je pro tuto lávku $0,055 \text{ m/s}^2$ a nepřekračuje tak doporučenou hodnotu z EC 1990. Zároveň příčné zrychlení lávky nepřekračuje hodnotu $0,15 \text{ m/s}^2$ a splňuje tak dle hodnocení Sétra maximální komfortní kritérium, kdy je zrychlení uživateli nepostřehnutelné.

Při svislém kmitání má lávka pro frekvenci $2,01 \text{ Hz}$ maximální hodnotu zrychlení 932 mm/s^2 a překračuje tak doporučenou hodnotu z EC 1990, která je rovna $0,7 \text{ m/s}^2$. Nepřekračuje však hodnotu $1,0 \text{ m/s}^2$ a splňuje tak dle hodnocení Sétra průměrné komfortní kritérium, kdy je zrychlení uživateli obtížně zaznamatelné.

9 NÁVRH DETAILŮ

9.1 LOŽISKA

Na lávce jsou použita kluzná hrncová ložiska, na každé opěře vždy jedno podélně a jedno všesměrně posuvné ložisko dle obrázku níže. Podélný posun, respektive podélné síly konstrukce jsou zachyceny pevným bodem na opěře OP2. Detail uložení hlavních nosníků viz výkres 8c.



Schéma ložisek lávky

9.1.1 Návrhové hodnoty reakcí

Návrhové hodnoty svislé reakce a podélného posunu jsou stejné pro obě ložiska na dané opěře, vodorovná reakce v příčném směru platí jen pro podélně posuvné ložisko.

9.1.1.1 Opěra OP1 – montážní fáze

Největší svislá reakce je z kombinace příslušné fázi F16: $R_z = 394,23$ kN

Největší vodorovná reakce v příčném směru je z kombinace příslušné fázi F4: $R_y = 15,77$ kN

9.1.1.2 Opěra OP2 – montážní fáze

Největší svislá reakce je z kombinace příslušné fázi F6: $R_z = 206,29$ kN

Největší vodorovná reakce v příčném směru je z kombinace příslušné fázi F29: $R_y = 12,37$ kN

9.1.1.3 Opěra OP1 – provozní fáze

Svislá reakce od stálého zatížení z kombinace F29: $R_z = 151,54$ kN

Svislá reakce od proměnného zatížení z kombinace CO4: $R_z = 192,15$ kN

Vodorovná reakce v příčném směru z kombinace F29: $R_y = 2,70$ kN

Vodorovná reakce v příčném směru z kombinace CO8: $R_y = 64,53$ kN

9.1.1.4 Opěra OP2 – provozní fáze

Svislá reakce od stálého zatížení z kombinace F29: $R_z = 175,40$ kN

Svislá reakce od proměnného zatížení z kombinace CO4: $R_z = 83,20$ kN

Vodorovná reakce v příčném směru z kombinace F29: $R_y = 12,37$ kN

Vodorovná reakce v příčném směru z kombinace CO8: $R_y = 75,61$ kN

9.1.2 Návrhové hodnoty posunů

Všechny hodnoty posunů se vztahují k ložiskům na opěře OP1 v provozním stadiu, kde se nachází volný konec mostu. Podélný posun se týká obou ložisek, příčný pouze všesměrného. V ložiskách na opěře OP2 nedochází vzhledem k pevnému uložení ve vodorovném směru prostřednictvím závěrné zdi a železobetonové vzpěry k žádným posunům.

Podélný posun doleva: $u = 42,3$ mm

Podélný posun doprava: $u = 47,1$ mm

Příčný posun doleva: $v = 2,0$ mm

Příčný posun doprava: $v = 2,2$ mm

9.1.3 Návrh konkrétních typů ložisek

Byla použita hrncová ložiska TETRON CD od výrobce FREYSSINET CS.

9.1.3.1 Všesměrně posuvná ložiska

GL 500 – 50 – 20

Maximální vertikální síla: $R_{z,max} = 500$ kN

Maximální podélný posun: $u_{max} = 50$ mm

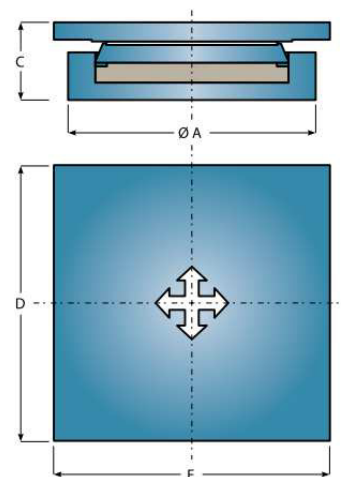
Maximální příčný posun: $v_{max} = 20$ mm

Rozměry: $\varnothing A = 170$ mm

$C = 90$ mm

$D = 245$ mm

$E = 225$ mm



9.1.3.2 Jednosměrně posuvná ložiska

GG 1000 – 100 – 50

Maximální vertikální síla: $R_{z,max} = 1000 \text{ kN}$

Maximální příčná síla: $R_{y,max} = 100 \text{ kN}$

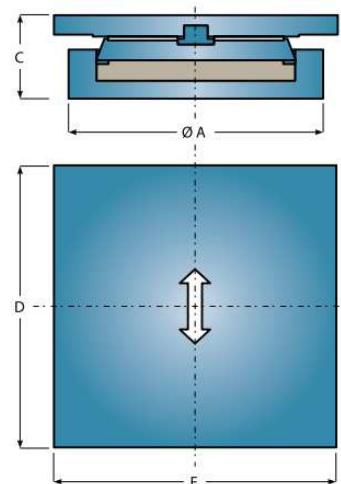
Maximální podélný posun: $u_{max} = 50 \text{ mm}$

Rozměry: $\varnothing A = 270 \text{ mm}$

$C = 104 \text{ mm}$

$D = 325 \text{ mm}$

$E = 290 \text{ mm}$



9.1.4 Posouzení

9.1.4.1 Všesměrně posuvné ložisko

Montážní fáze: $R_z = 394,23 < R_{z,max} = 500,00 \text{ [kN]} \rightarrow \text{VYHOVUJE.}$

Provozní fáze: $R_z = \max(151,54 + 192,15; 175,40 + 83,20) = \max(343,69; 258,60) = 343,69 \text{ kN}$

$R_z = 343,69 < R_{z,max} = 500,00 \text{ [kN]} \rightarrow \text{VYHOVUJE.}$

Podélný posun: $u = \max(42,3; 47,1) = 47,1 < u_{max} = 50,0 \text{ [mm]} \rightarrow \text{VYHOVUJE.}$

Příčný posun: $v = \max(2,0; 2,2) = 2,2 < 20 \text{ [mm]} \rightarrow \text{VYHOVUJE.}$

9.1.4.2 Podélně posuvné ložisko

Montážní fáze: $R_z = 394,23 < R_{z,max} = 500,00 \text{ [kN]} \rightarrow \text{VYHOVUJE.}$

$R_y = 15,77 < 100,00 \text{ [kN]} \rightarrow \text{VYHOVUJE.}$

Provozní fáze: $R_z = \max(151,54 + 192,15; 175,40 + 83,20) = \max(343,69; 258,60) = 343,69 \text{ kN}$

$R_z = 343,69 < R_{z,max} = 500,00 \text{ [kN]} \rightarrow \text{VYHOVUJE.}$

$R_y = \max(2,70 + 64,53; 12,37 + 75,61) = \max(67,23; 87,98) = 87,98 \text{ kN}$

$R_y = 87,98 < R_{z,max} = 100,00 \text{ [kN]} \rightarrow \text{VYHOVUJE.}$

Podélný posun: $u = \max(42,3; 47,1) = 47,1 < u_{max} = 50,0 \text{ [mm]} \rightarrow \text{VYHOVUJE.}$

9.1.5 Ověření detailu OK v místě nad ložiskem

Největší působící svíslá reakce: $R_z = 394,23 \text{ kN}$

Plocha stojiny hlavního nosníku nad ložiskem: $A = t_w * D = 20 * 245 = 4900 \text{ mm}^2$

Únosnost stojiny HN nad ložiskem: $F_{Rd} = A * f_y / \gamma_{M0} = 4900 * 355 / 1,0 = 1\,739\,500 \text{ N}$

Posouzení: $R_z = 394,23 < 1739,50 \text{ [kN]} \rightarrow \text{VYHOVUJE!}$

9.1.6 Návrh pevného bodu hlavního nosníku

9.1.6.1 Geometrie plechu

Rozměry plechu: $a = 1000 \text{ mm}$

$b = 600 \text{ mm}$

$t = 40 \text{ mm}$

Rozměry závěrné zídky: $h = 400 \text{ mm}$

$a_c = 1200 \text{ mm}$

$b_c = 800 \text{ mm}$

9.1.6.2 Posouzení

$a_1 = \min(3 \cdot a; a + h; a_c) = \min(3 \cdot 1000; 1000 + 400; 1200) = 1200 \text{ mm}$

$b_1 = \min(3 \cdot b; b + h; b_c) = \min(3 \cdot 600; 600 + 400; 800) = 800 \text{ mm}$

$k_j = [(a_1 \cdot b_1)/(a \cdot b)]^{1/2} = [(1200 \cdot 800)/(1000 \cdot 600)]^{1/2} = 1,265$

$f_{jd} = \beta_j \cdot k_j \cdot f_{ck} / \gamma_c = 2/3 \cdot 1,265 \cdot 30 / 1,5 = 16,87 \text{ MPa}$

$c = t \cdot [f_y / (3 \cdot f_{jd})]^{1/2} = 40 \cdot [355 / (3 \cdot 16,87)]^{1/2} = 106 \text{ mm}$

$A_{eff} = 2 \cdot 242 \cdot 612 + 232 \cdot 528 = 418\,704 \text{ mm}^2$

$N_{Rd} = A_{eff} \cdot f_{jd} = 418\,704 \cdot 16,87 = 7\,063\,536 \text{ N}$

Posouzení: $N_{Ed} = 6880,60 < 7063,54 \text{ [kN]} \rightarrow \text{VYHOVUJE.}$

9.2 ULOŽENÍ PYLONU

Detail uložení pylonu viz výkres 8d.

9.2.1 Návrh čepu

9.2.1.1 Geometrie

Průměr čepu: $d = 180 \text{ mm}$

Materiál čepu: ocel S355

Průměr otvoru: $d_0 = 190 \text{ mm}$

Tloušťka plechu na pylonu: $t_1 = 2 \cdot 90 = 180 \text{ mm}$

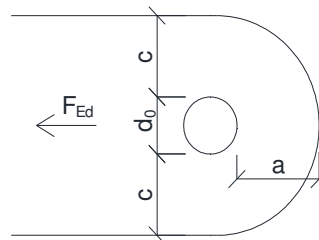
Tloušťka plechu na patce: $t_2 = 3 \cdot 60 = 180 \text{ mm}$

Materiál plechů: ocel S355

$a \geq F_{Ed} \cdot \gamma_{M0} / (2 \cdot t_1 \cdot f_y) + 2 \cdot d_0 / 3 = 15251740 \cdot 1,0 / (2 \cdot 180 \cdot 335) + 2 \cdot 190 / 3 = 253 \text{ mm}$

Návrh: $a = 255 \text{ mm}$

$c \geq F_{Ed} \cdot \gamma_{M0} / (2 \cdot t_1 \cdot f_y) + d_0 / 3 = 15251740 \cdot 1,0 / (2 \cdot 180 \cdot 335) + 190 / 3 = 190 \text{ mm}$



Návrh: $c = 255 \text{ mm}$

9.2.1.2 Posouzení

Únosnost pro 1 rovinu stříhu: $F_{v,Rd,1} = 0,6 \cdot A \cdot f_{up} / \gamma_{M2} = 0,6 \cdot \pi \cdot 180^2 / 4 \cdot 335 / 1,25 = 4\,091\,862 \text{ N}$

Únosnost ve stříhu pro celý spoj: $F_{v,Rd} = n \cdot F_{v,Rd,1} = 4 \cdot 4091862 = 16\,367\,446 \text{ N}$

Únosnost v otláčení: $F_{b,Rd} = 1,5 \cdot t_1 \cdot d \cdot f_y / \gamma_{M0} = 1,5 \cdot 180 \cdot 180 \cdot 335 / 1,0 = 16\,281\,000 \text{ N}$

Celková únosnost: $F_{Rd} = \min(F_{v,Rd}; F_{b,Rd}) = \min(16367,45; 16281,00) = 16\,281,00 \text{ kN}$

Posouzení: $F_{Ed} = 15\,251,74 < F_{Rd} = 16\,281,00 \text{ [kN]} \rightarrow \text{VYHOVUJE.}$

9.2.2 Návrh výztuh pylonu

9.2.2.1 Geometrie

Počet výztuh: $n = 3$

Tloušťka plechu: $t = 40 \text{ mm}$

Výška výztuhy: $h = 900 \text{ mm}$

Šířka výztuhy: $b = 1200 \text{ mm}$

9.2.2.2 Posouzení

Předpoklad: do výztuh se roznáší reakce z čepu pylonu skrz koncový plech pod úhlem 45° .

Účinná plocha výztuh: $A = 3 \cdot (4 \cdot 90 + 60) \cdot 40 = 50\,400 \text{ mm}^2$

Únosnost výztuh: $F_{Rd} = A \cdot f_y / \gamma_{M0} = 50400 \cdot 355 / 1,0 = 17\,892\,000 \text{ N} = 17\,892,00 \text{ kN}$

Posouzení: $F_{Ed} = 15\,251,74 < 17\,892,00 \text{ [kN]} \rightarrow \text{VYHOVUJE.}$

9.2.2.3 Svařovaný přípoj výztuh a pylonu

Tloušťka svaru: $a_w = 6 \text{ mm}$

Délka svaru: $L_w = 900 \text{ mm}$

Počet svarů: $n = 12$

Působící napětí: $\tau_{II} = F_{Ed} / (n \cdot a_w \cdot L_w) = 15251740 / (12 \cdot 6 \cdot 900) = 235,37 \text{ MPa}$

$$\tau_L = \sigma_L = 0$$

Posouzení: $[\sigma_L^2 + 3 \cdot (\tau_L + \tau_{II}^2)]^{1/2} \leq f_u / (\beta_w \cdot \gamma_{M2})$

$$(3 \cdot 235,37^2)^{1/2} \leq 510 / (0,9 \cdot 1,25)$$

$407,67 < 453,33 \text{ [MPa]} \rightarrow \text{VYHOVUJE.}$

9.2.3 Návrh patního plechu

9.2.3.1 Geometrie

Rozměry plechu: $a = 1300$ mm

$b = 1000$ mm

$t = 50$ mm

Rozměry základu: $h = 2050$ mm

$a_c = 1600$ mm

$b_c = 1300$ mm

9.2.3.2 Posouzení

$a_1 = \min(3 \cdot a; a + h; a_c) = \min(3 \cdot 1300; 1300 + 2050; 1600) = 1600$ mm

$b_1 = \min(3 \cdot b; b + h; b_c) = \min(3 \cdot 1000; 1000 + 2050; 1300) = 1300$ mm

$k_j = [(a_1 \cdot b_1)/(a \cdot b)]^{1/2} = [(1600 \cdot 1300)/(1300 \cdot 1000)]^{1/2} = 1,265$

$f_{jd} = \beta_j \cdot k_j \cdot f_{ck} / \gamma_c = 2/3 \cdot 1,265 \cdot 30 / 1,5 = 16,87$ MPa

$c = t \cdot [f_y / (3 \cdot f_{jd})]^{1/2} = 50 \cdot [355 / (3 \cdot 16,87)]^{1/2} = 130$ mm

$A_{eff} = 973\,200$ mm² (odměřeno ve výkresu)

$N_{Rd} = A_{eff} \cdot f_{jd} = 973\,200 \cdot 16,87 = 16\,413\,486$ N

Posouzení: $N_{Ed} = 15\,251,74 < 16\,413,49$ [kN] → VYHOVUJE.

9.3 KOTVENÍ LANOVÝCH ZÁVĚSŮ

Detail kotvení závěsů k pylonu a k hlavním nosníkům viz výkresy 8a a 8b.

9.3.1 Návrh styčnickového plechu

Rozměry: $h = 300$ mm

$t = 25$ mm

Únosnost: $F_{Rd} = A \cdot f_y / \gamma_{M0} = 340 \cdot 25 \cdot 355 / 1,0 = 3\,017\,500$ N

Posouzení: $N_{Ed} = 2757,56 < 3017,50$ [kN] → VYHOVUJE.

9.3.2 Návrh svaru

9.3.2.1 Třináctipramencová kotva

tloušťka svaru: $a_w = 5$ mm

délka svaru: $L_w = 400$ mm

počet svarů: $n = 4$

působící napětí: $\tau_{II} = F_{Ed}/(n \cdot a_w \cdot L_w) = 2051160/(4 \cdot 5 \cdot 400) = 256,40 \text{ MPa}$

$$\tau_L = \sigma_L = 0$$

posouzení: $[\sigma_L^2 + 3 \cdot (\tau_L + \tau_{II}^2)]^{1/2} \leq f_u / (\beta_w \cdot \gamma_{M2})$

$$(3 \cdot 256,40^2)^{1/2} \leq 510 / (0,9 \cdot 1,25)$$

444,09 < 453,33 [MPa] → VYHOVUJE.

9.3.2.2 Devatenáctipramencová kotva

tloušťka svaru: $a_w = 5 \text{ mm}$

délka svaru: $L_w = 550 \text{ mm}$

počet svarů: $n = 4$

působící napětí: $\tau_{II} = F_{Ed}/(n \cdot a_w \cdot L_w) = 2757560/(4 \cdot 5 \cdot 550) = 250,69 \text{ MPa}$

$$\tau_L = \sigma_L = 0$$

posouzení: $[\sigma_L^2 + 3 \cdot (\tau_L + \tau_{II}^2)]^{1/2} \leq f_u / (\beta_w \cdot \gamma_{M2})$

$$(3 \cdot 250,69^2)^{1/2} \leq 510 / (0,9 \cdot 1,25)$$

434,20 < 453,33 [MPa] → VYHOVUJE.

10 VÝKAZ MATERIÁLU

Prvek	Materiál	MJ	Počet MJ	Jedn. hm. [kg]	Celk. hm. [kg]
Příčník IPE300	S355	m	217,300	42,23	9 176,6
Hlavní nosník	S355	m	202,000	304,58	61 525,2
Stojka pylonu	S355	m	60,228	962,79	57 986,9
Příčel pylonu	S355	m	4,300	454,39	1 953,9
Třináctipramencový závěs	Y1770	m	1 025,262	15,31	15 696,8
Devatenáctipramencový závěs	Y1770	m	129,252	22,40	2 895,2
Zábradlí	S235	m	202,000	50,00	10 100,0
Celkem					159 334,5

Ve výkazu nejsou započteny drobné položky jako např. čelní desky, patní plechy, šrouby apod.