



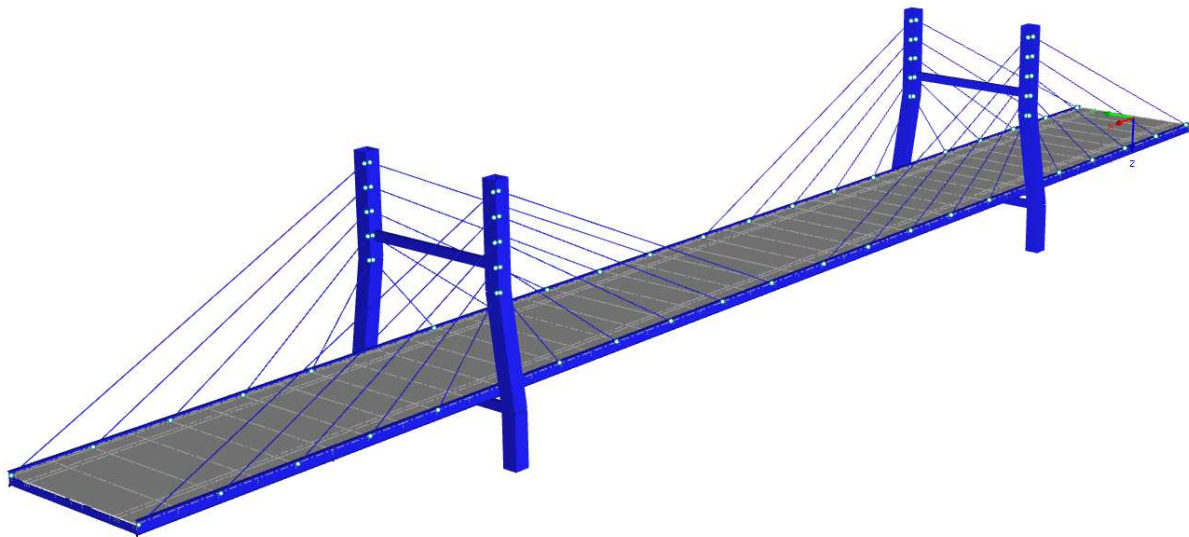
ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební, katedra ocelových a dřevěných konstrukcí

Thákurova 7, 166 29 Praha 6

Podklad k předmětu Ocelové mosty 2

Předběžný statický návrh zavěšeného mostu



Zpracovatelé zprávy:

Datum:

Ing. Petr Kubiš

Ing. Vojtěch Stančík

21. 12. 2019

Obsah

1. ÚVOD:	3
1.1. ZADÁNÍ – ZÁKLADNÍ ÚDAJE	3
1.2. CHARAKTERISTIKA NOSNÉHO SYSTÉMU	3
1.2.1. Přehledné schéma nosné konstrukce	4
2. MATERIÁL	5
2.1. OCEL S 355 J2.....	5
2.2. BETON C 30/37	5
2.1. ZÁVĚSY MACCALOY 460	5
3. POUŽITÉ PRŮŘEZY	6
3.1. NAVRŽENÉ PRŮŘEZY	6
4. ZATÍŽENÍ	7
4.1. STÁLÁ ZATÍŽENÍ.....	8
4.1.1. Položky stálého zatížení.....	8
4.1.1. Obsah zatěžovacích stavů	8
4.2. OSTATNÍ STÁLÉ ZATÍŽENÍ.....	9
4.2.1. Obsah zatěžovacích stavů	9
4.3. MONTÁŽNÍ ZATÍŽENÍ – PROMĚNNÉ	10
4.4. PROMĚNNÉ ZATÍŽENÍ DOPRAVOU	11
4.5. PROMĚNNÉ – ZATÍŽENÍ TEPLOTOU	12
4.5.1. Typ konstrukce 1.....	12
4.5.1. Typ konstrukce 2.....	12
4.5.1. Typ konstrukce 3.....	12
4.5.2. Aplikace zatížení na konstrukci.....	12
4.6. PROMĚNNÉ ZATÍŽENÍ VĚTREM.....	13
4.6.1. Zatížení větrem – definitivní.....	13
4.6.1. Zatížení větrem – montážní.....	15
5. VÝPOČETNÍ MODEL	16
6. FÁZE VÝSTAVBY	17
7. PŘEDPÍNÁNÍ V JEDNOTLIVÝCH FÁZÍCH	19
7.1.1. Kritéria kontrolovaná při předpínání:.....	20
7.2. NALADĚNÍ KONSTRUKCE A SÍLY V ZÁVĚSECH	20
7.3. KONTROLA DEFORMACÍ	22
8. POSOUZENÍ MEZNÍHO STAVU ÚNOSNOSTI	23
8.1. HLAVNÍ NOSNÍKY.....	23
8.1.1. Obálka vnitřních sil pro MSÚ	23
8.1.2. Zatřídění průřezu	24
8.1.1. Ruční posouzení hlavních nosníků – posudek 3.	24
8.1.2. Přehledné posouzení extrémních kombinací vnitřních sil hlavního nosníku.....	28
8.1. POSOUZENÍ PYLONU	28
8.1.1. Stanovení globálních imperfekcí pylonu.....	28
8.1.2. Obálka vnitřních sil MSÚ	29
Přehled rozhodujících návrhových vnitřních sil.....	30



8.1.1.	Určení vzpěrných délek pro posouzení pylonu.....	30
8.1.1.	Ruční posouzení pylonu.....	30
8.1.2.	Přehledné posouzení extrémní kombinace vnitřních sil pylonu.....	32
8.2.	POSOUZENÍ ZÁVĚSŮ.....	32
9.	ZÁVĚR.....	32
10.	POUŽITÉ PŘEDPISY A NORMY.....	33
11.	POUŽITÝ SOFTWARE.....	33
12.	PŘÍLOHA 1 – REFERENCE.....	33
12.1.	POČÁTEČNÍ PŘEDPĚTÍ.....	33



1. Úvod:

Předmětem řešeného příkladu je předběžný návrh nosné konstrukce silničního zavěšeného ocelobetonového mostu dle ČSN EN 1990 – ČSN EN 1999. Most převádí pozemní komunikaci o volné šířce 9,5 m a dva veřejné chodníky šířky 1,5 m přes řeku. Ve výpočtu bude uvážěn postup výstavby.

1.1. Zadání – Základní údaje

Rozpětí $L = \dots\dots 77 \dots\dots$ m

Šířka vozovky $\dots\dots 9,5 \dots\dots$ m

Oboustranné chodníky šířky 1,5 m

Zemina typu $\dots\dots F6 \dots\dots$ do hloubky $\dots\dots 14 \dots\dots$ m, následuje hornina typu $\dots\dots R5 \dots\dots$

Obsah předběžného statického výpočtu:

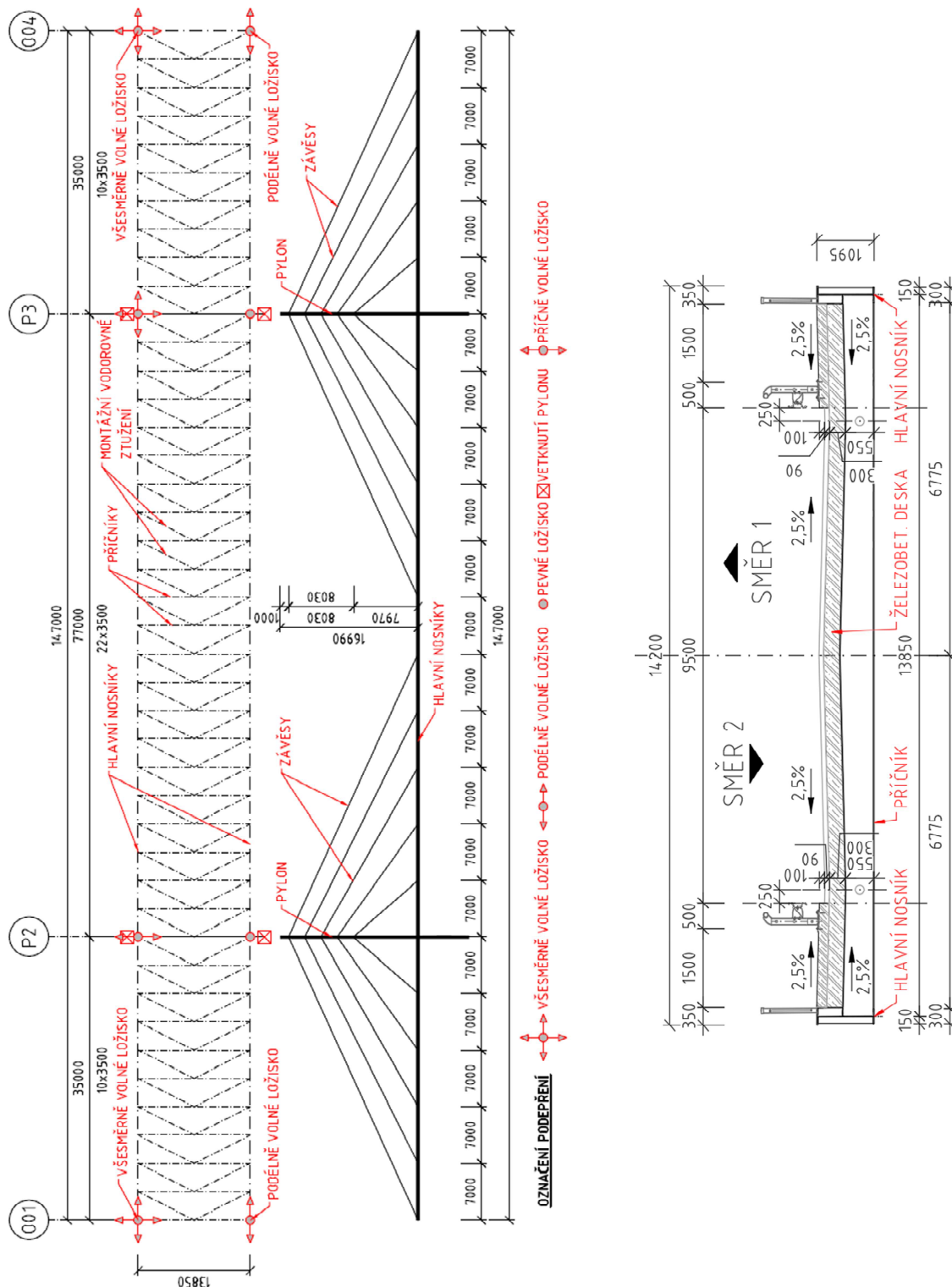
- a)
- b) Posouzení návrh a posudek
 - a. trámu, pylonu a závěsů, návrh založení.
- c) Konstrukční řešení připojení závěsu k trámu a k pylonu.
- d) Posuďte náchylnost na aerodynamickou nestabilitu – flutter.
- e) Dispoziční výkres (příčný řez vzorový 1:25-50, příčný řez u pylonu cca 1:100, pohled, podélný řez a půdorys 1:100-250).

1.2. Charakteristika nosného systému

Jedná se o zavěšený nepohyblivý přímý silniční most o třech polích. Nosná konstrukce se skládá ze dvou hlavních plnostěnných svařovaných nosníků I – průřezu osově vzdálených 13,85 m. Mezi hlavními nosníky jsou pnuty ocelové svařované příčníky I – průřezu v rastru $a = 3,5$ m. Minimální výška příčníků je 550 mm. Na příčnicích je uložena železobetonová mostovka tloušťky 300 mm. Spodní stavba mostu se skládá ze dvou pylonů se symetricky uspořádanými závěsy. Každý z pylonů se skládá z dvojice ocelových svařovaných komorových průřezů s podélnými výztuhami, které jsou vzájemně propojeny horní a dolní příčlí taktéž komorového průřezu. Spodní paty pylonů jsou vetknuty do podloží prostřednictvím hlubinného založení (použití velkorozměrových pilot). Závěsy jsou vedeny ve dvou svislých rovinách a podporují hlavní nosník každých 7,0 m. Systém uspořádání závěsů v pohledu je poloharfovitý. Předpětí závěsů je stanoveno na základě detailního výpočtu zohledňující fáze výstavby.



1.2.1. Přehledné schéma nosné konstrukce



2. Materiál

Objemové tíhy materiálů jsou určeny dle [4].

2.1. Ocel S 355 J2

Charakteristiky použité oceli byly převzaty z [2]. str. 29. – tab. 3.1. a dále v odst. 3.2.6.

modul pružnosti v tahu a tlaku	$E_s = 210 \text{ GPa}$
modul pružnosti ve smyku	$G_s = 81 \text{ GPa}$
objemová tíha	$\gamma_s = 78,50 \text{ kN/m}^3$
poissonův součinitel	$\nu_s = 0,3$
součinitel tepelné roztažnosti	$\alpha_s = 1,2 \times 10^{-5}$
mez kluzu	$f_{y,s} = 355 \text{ MPa}$
mez pevnosti	$f_{u,h} = 510 \text{ MPa}$

2.2. Beton C 30/37

Charakteristiky betonu byly převzaty z [2] str. 31. – tab. 3.1.

modul pružnosti	$E_{cm} = 33 \text{ GPa}$
objemová tíha	$\gamma_b = 24 + 1 = 25 \text{ kN/m}^3$
poissonův součinitel	$\nu = 0,2$
součinitel tepelné roztažnosti	$\alpha = 1,0 \times 10^{-5}$
char. válcová pevnost tlaku	$f_{ck} = 30 \text{ MPa}$
char. válcová pevnost tlaku	$f_{cu,k} = 37 \text{ MPa}$
Střední osová pevnost v tahu	$f_{ctm} = 2,9 \text{ MPa}$

2.1. Závěsy Maccaloy 460

Modul pružnosti	$E_h = 205 \text{ GPa}$
objemová tíha	$\gamma_h = 78,50 \text{ kN/m}^3$
součinitel tepelné roztažnosti	$\alpha = 1,2 \times 10^{-5}$
mez kluzu	$f_{y,h} = 460 \text{ MPa}$
mez pevnosti	$f_{u,h} = 610 \text{ MPa}$



3. Použité průřazy

V této podkapitole jsou uvedeny průřazy uvažované při návrhu. V rámci tohoto předběžného návrhu je pozornost věnována pouze

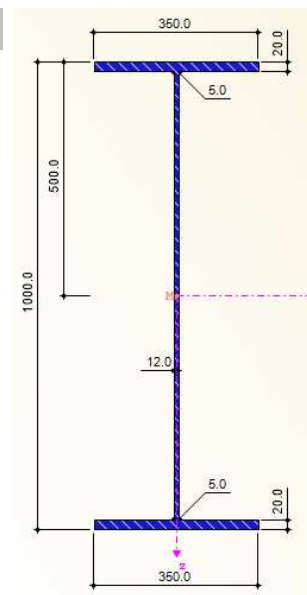
- Hlavním nosníkům
- Závěsům
- Pylonům

Zbylé nosné prvky byly pouze odhadnuty a jejich návrh není obsahem této práce.

3.1. Navržené průřazy

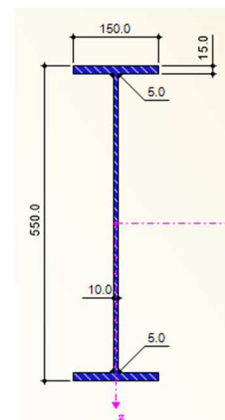
Hlavní nosník

Průřezová charakteristika	Symbol	Hodnota	Jednotky
Výška	h	1095,000	mm
Šířka pásnice nahoře	b_h	350,000	mm
Tloušťka pásnice nahoře	t_h	20,000	mm
Tloušťka stojiny	s	12,000	mm
Šířka pásnice dole	b_d	300,000	mm
Tloušťka pásnice dole	t_d	20,000	mm
Plocha průřezu	A	2,666E-02	m ²
Vzdálenost těžiště	e_z	547,5	mm
Moment setrvačnosti (plošný moment 2. stupně)	I_y	0,005219	m ⁴
Moment setrvačnosti (plošný moment 2. stupně)	I_z	0,001431	m ⁴
Polární moment setrvačnosti	I_p	0,005362	m ⁴
Poloměr setrvačnosti	i_y	442,5	mm
Poloměr setrvačnosti	i_z	73,3	mm
Polární poloměr setrvačnosti	i_p	448,5	mm



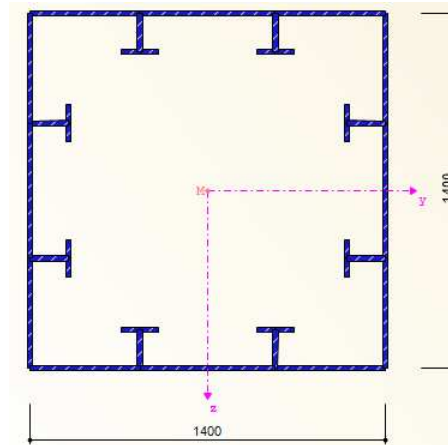
Příčník

Průřezová charakteristika	Symbol	Hodnota	Jednotky
Výška	h	550,000	mm
Šířka	b	150,000	mm
Tloušťka stojiny	s	10,000	mm
Tloušťka pásnice	t	15,000	mm
Plocha průřezu	A	9,700E-03	m ²
Moment setrvačnosti (plošný moment 2. stupně)	I_y	4,3930E-04	m ⁴
Moment setrvačnosti (plošný moment 2. stupně)	I_z	8,4808E-06	m ⁴
Polární moment setrvačnosti	I_p	4,4770E-04	m ⁴
Poloměr setrvačnosti	i_y	212,800	mm
Poloměr setrvačnosti	i_z	29,600	mm
Polární poloměr setrvačnosti	i_p	214,800	mm



Pylon

Průřezová charakteristika	Symbol	Hodnota	Jednotky
Výška	h	1420	mm
Šířka	b	1420	mm
Tloušťka stojiny	s	20	mm
Plocha průřezu	A	0,15684	m ²
Smyková plocha	A_w	0,0419	m ²
Moment setrvačnosti (plošný moment 2. stupně)	I_y	0,04580	m ⁴
Moment setrvačnosti (plošný moment 2. stupně)	I_z	0,04580	m ⁴
Polární moment setrvačnosti	I_p	0,09154	m ⁴
Poloměr setrvačnosti	i_y	540,2	mm
Poloměr setrvačnosti	i_z	540,2	mm
Polární poloměr setrvačnosti	i_p	764,0	mm



Závěs M85

Průřezová charakteristika	Symbol	Hodnota	Jednotky
nominální průměr	d	105	mm
zatížení na mezi kluzu	F_{yk}	3520	kN
zatížení na mezi pevnosti	F_{ub}	4667	kN
návrhová únosnost podle EC3	F_{Rd}	3360	kN
váha bm	G_r	64,1	kg



4. Zatížení

Pro návrh a posouzení 1. a 2. mezního stavu byly na nosnou konstrukci aplikovány následující typy zatížení:

stálá zatížení – vlastní tíha, ostatní stálé	ČSN EN 1991-1-1
zatížení během provádění – montážní zatížení	ČSN EN 1991-1-6
zatížení dopravou	ČSN EN 1991-2
vítr na konstrukci	ČSN EN 1991-1-4
zatížení teplotou	ČSN EN 1991-1-5
smrštění	ČSN EN 1991-2



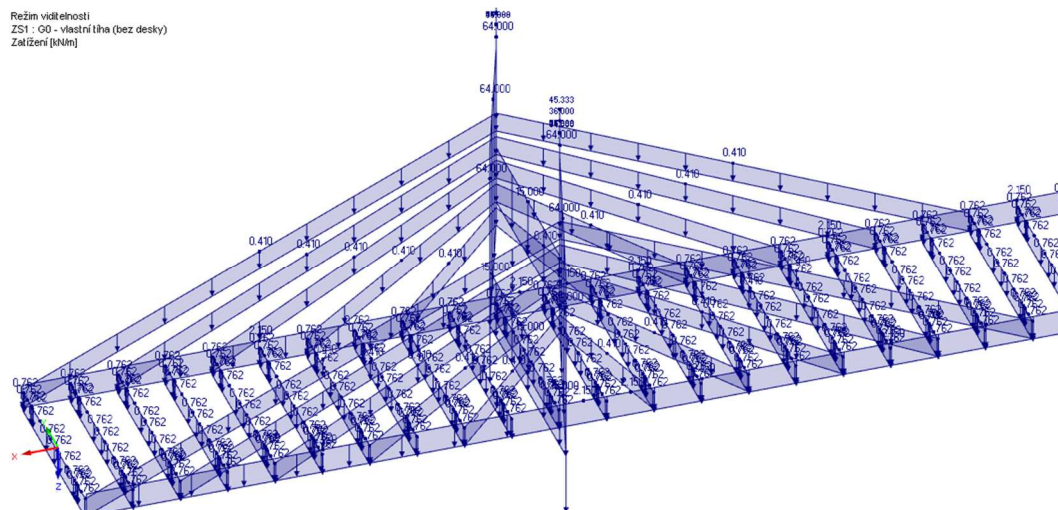
4.1. Stálá zatížení

4.1.1. Položky stálého zatížení

Ozn.	část	šířka b [m]	tloušťka h[m]	plocha A [mm ²]	tíha γ [kN/m ³]	zatížení f [kN/m]	poznámka
Ocel							
g ₀₁	příčník	-	-	9700	78,5	0,76	na počátku odhad
g ₀₂	hlavní nosník			27350	78,5	2,15	
g ₀₃	závěsy			5675	78,5	0,41	odhad odpovídá ø 82 mm
Železobeton							
g ₀₄	betonová deska – montáž	3,5	0,3	1050000	26	27,30	s čerstvým betonem
g ₀₅	betonová deska – definitivní	3,5	0,3	1050000	25	26,25	definitivní železobeton
g ₀₆	sloup pylonu	1,6	1,6	2560000	25	64,00	
g ₀₇	příčle pylonu	0,6	1	600000	25	15,00	

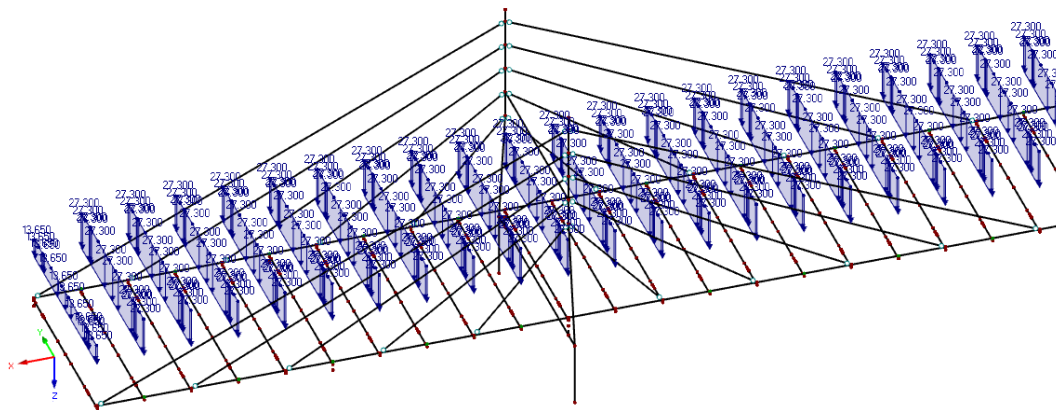
4.1.1. Obsah zatěžovacích stavů

ZS	Označení	obsah stavů
ZS1	G0 – vlastní tíha (bez desky)	g ₀₁ g ₀₂ g ₀₃ g ₀₆ g ₀₇
ZS2	G0 – vlastní tíha (deska) - montážní	g ₀₄
ZS3	G0 – vlastní tíha (deska) - definitivní	g ₀₅

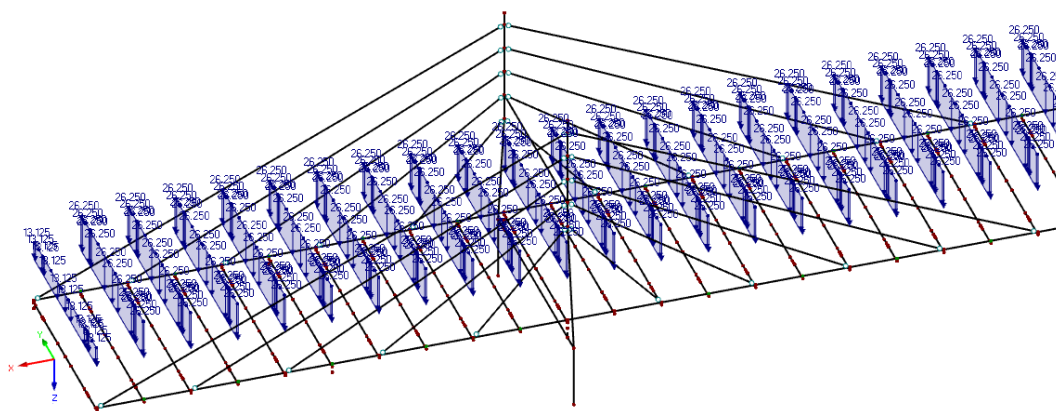


Obr. 1. ZS1 – G0 – vlastní tíha (bez desky)





Obr. 2.ZS2 – G0 – vlastní tíha (deska) - montážní



Obr. 3. ZS3 – G0 – vlastní tíha (deska) - definitivní

4.2. Ostatní stálé zatížení

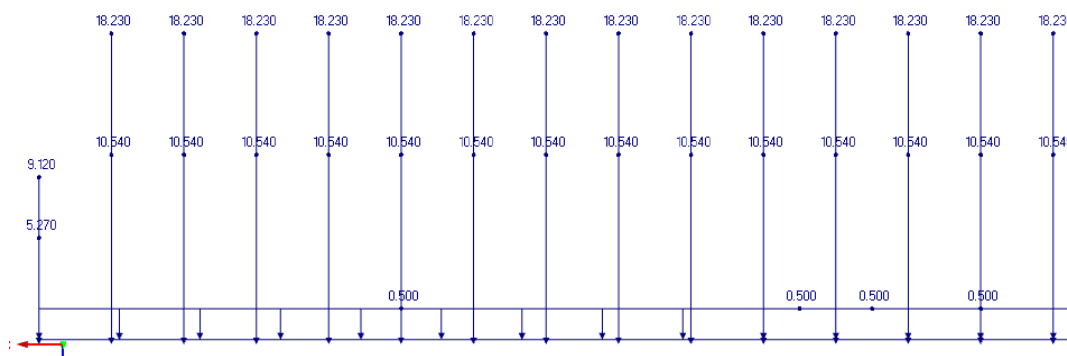
4.2.1. Obsah zatěžovacích stavů

ozn.	část	šířka b [m]	tloušťka h[m]	plocha A [mm ²]	tíha γ [kN/m ³]	zatížení f [kN/m]	poznámka
od vozovka							
g ₁	Izolace NAIP	3,5	0,005	17500	22	0,39	
g ₂	vozovkové souvrství	3,5	0,085	297500	24	7,14	
g ₃	zavěsy					3,01	+ 40%
Σ zatížení na příčnicky v místě vozovky						10,54	
od římsy							
g ₄	římsa - žb.	3,5	0,19	665000	25	16,63	
g ₅	svodidla	3,5		3,5 x 1 / 2,175 =		1,61	rozložené na délku římsy
Σ zatížení na příčnicky v místě římsy						18,23	

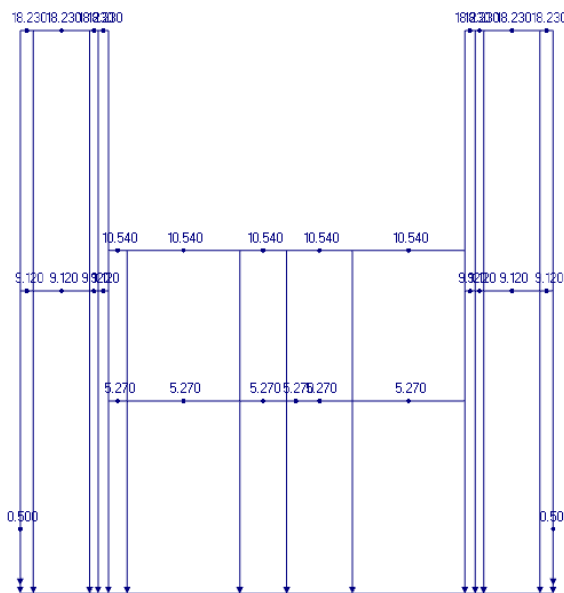


Zábradlí je aplikováno přímo na hlavní nosník

0,5 kN/m



Obr. 4. Ostatní stálé zatížení – podélný řez (část konstrukce)



Obr. 5. Ostatní stálé zatížení – příčný řez

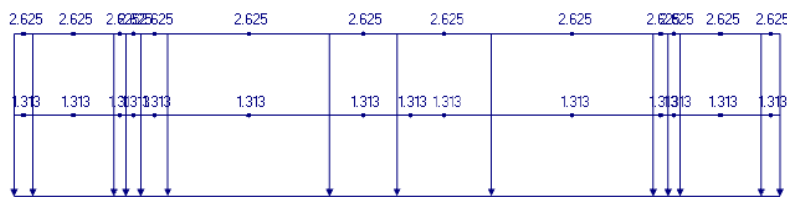
4.3. Montážní zatížení – proměnné

ozn.	část	šířka b [m]	zatížení [kN/m ²]	zatížení f [kN/m]
q _c	staveništní	3,5	0,75	2,625

Pro koncový příčník

$$2,625/2 = 1,313 \text{ kN/m}$$





Obr. 6. Staveništní – příčný řez

4.4. Proměnné zatížení dopravou

- Skupina pozemních komunikací 1

$$\alpha_{Q1} = 1,0 \quad \alpha_{q1} = 1,0$$

$$\alpha_{Q2} = 1,0 \quad \alpha_{q2} = 2,4$$

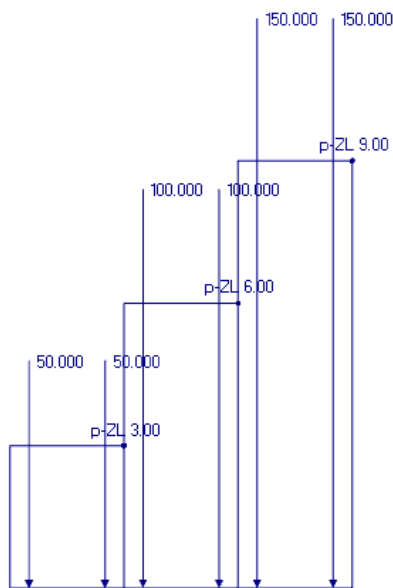
$$\alpha_{Q3} = 1,0 \quad \alpha_{q3} = 1,2$$

Nápravové síly / rovnoměrné zatížení

Pruh číslo 1. $Q_{1k} \times \alpha_{Q1} = 1,0 \times 300 = 300 \text{ kN}$; $q_{1k} \times \alpha_{q1} = 1,0 \times 9,0 = 9,0 \text{ kN/m}^2$

Pruh číslo 2. $Q_{2k} \times \alpha_{Q2} = 1,0 \times 200 = 200 \text{ kN}$; $q_{2k} \times \alpha_{q2} = 2,4 \times 2,5 = 6 \text{ kN/m}^2$

Pruh číslo 2. $Q_{3k} \times \alpha_{Q3} = 1,0 \times 100 = 100 \text{ kN}$; $q_{3k} \times \alpha_{q3} = 1,2 \times 2,5 = 3 \text{ kN/m}^2$



Obr. 7. proměnné zatížení dopravou – příčný řez

4.5. Proměnné – zatížení teplotou

referenční teplota $T_0 = 10^\circ\text{C}$
 Hodnoty maximální teploty vzduchu ve stínu $T_{max} = 38^\circ\text{C}$
 Hodnoty minimální teploty vzduchu ve stínu $T_{min} = -32^\circ\text{C}$

4.5.1. Typ konstrukce 1.

maximální teplota $T_{e,max} = T_{max} + 16 = 38 + 16 = 54^\circ\text{C}$
 minimální teploty $T_{e,min} = T_{min} - 3 = -32 - 3 = -35^\circ\text{C}$
 oteplení $T_{N,exp} = -T_0 + T_{e,max} = -10 + 51 = 44^\circ\text{C}$
 ochlazení $T_{N,con} = -T_0 + T_{e,min} = -10 - 35 = -45^\circ\text{C}$

4.5.1. Typ konstrukce 2.

maximální teplota $T_{e,max} = T_{max} + 16 = 38 + 4,5 = 42,5^\circ\text{C}$
 minimální teploty $T_{e,min} = T_{min} - 3 = -32 + 4,5 = -27,5^\circ\text{C}$
 oteplení $T_{N,exp} = -T_0 + T_{e,max} = -10 + 42,5 = 32,5^\circ\text{C}$
 ochlazení $T_{N,con} = -T_0 + T_{e,min} = -10 - 27,5 = -37,5^\circ\text{C}$

4.5.1. Typ konstrukce 3.

maximální teplota $T_{e,max} = T_{max} + 16 = 38 + 1,5 = 39,5^\circ\text{C}$
 minimální teploty $T_{e,min} = T_{min} - 3 = -32 + 8 = -24^\circ\text{C}$
 oteplení $T_{N,exp} = -T_0 + T_{e,max} = -10 + 39,5 = 29,5^\circ\text{C}$
 ochlazení $T_{N,con} = -T_0 + T_{e,min} = -10 - 24 = -34^\circ\text{C}$

4.5.2. Aplikace zatížení na konstrukci

Budou vytvořeny 4 zatěžovací stavy pro fáze výstavby a pro definitivní stav.

- montáž – oteplení
- montáž – ochlazení
- definitivní – oteplení
- definitivní – ochlazení
-

rekapitulace teplot

typ konstrukce		1	2	3
oteplení	$T_{N,exp}$	44	32,5	29,5
ochlazení	$T_{N,con}$	-45	-37,5	-34
jednotky °C				



Aplikace na konstrukci v jednotlivých zatěžovacích stavech

			hlavní nosník	příčník	závěsy	mont. ztužení	Žb. deska	pylon
Montážní	oteplení	$T_{N,exp}$	44	44	44	44	-	29,5
	ochlazení	$T_{N,con}$	-45	-45	-45	-45	-	-34
Definitivní	oteplení	$T_{N,exp}$	44	32,5	44	-	29,5	29,5
	ochlazení	$T_{N,con}$	-45	-45	-45	-	-34	-34
jednotky °C								

4.6. Proměnné zatížení větrem

4.6.1. Zatížení větrem – definitivní

Zatížení na mostovku

základní parametry zatížení větrem

$$c_{dir} = 1 \quad c_{season} = 1 \quad v_{b0} = 25 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

kategorie terénu

II.

výška mostu nad terénem

8,0 m

základní rychlost větru

$$v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b0} = 25 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

šířka mostu

$b = 14,2 \text{ m}$

výška silniční dopravy

$h_d = 2,0 \text{ m}$

stavební výška mostu

$h_s = 1,105$

celková výška

$d_{tot} = 2,0 + 1,105 = 3,105 \text{ m}$

poměr rozměrů

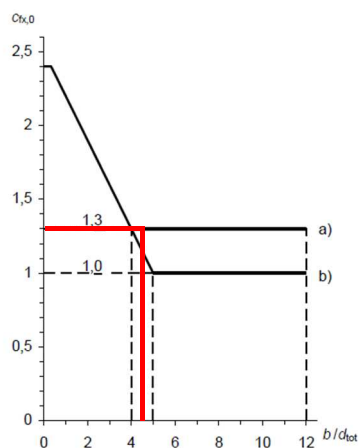
$$b/d_{tot} = \frac{14,2}{3,105} = 4,573$$

součinitel c_{fx}

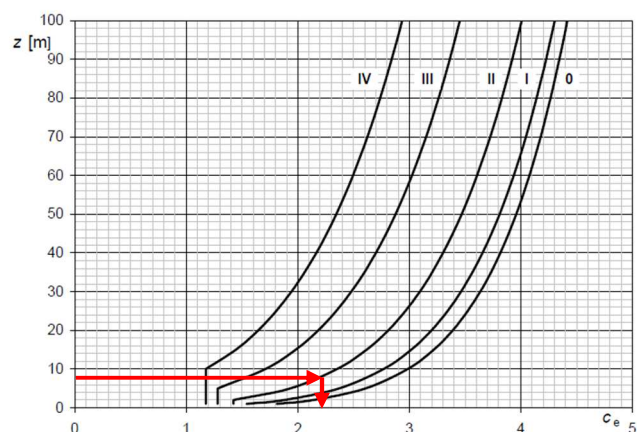
$c_{fx,0} = 1,3$

součinitel expozice

$c_e = 2,21$



Obr. 8. součinitel $c_{fx,0}$ pro mosty



Obr. 9. součinitel c_e



Spojité zatížení od větru $f_w = \frac{1}{2} \cdot v_b^2 \cdot c_e \cdot c_{fx,0} \cdot d_{tot} = \frac{1}{2} \cdot 25^2 \cdot 2,21 \cdot 1,3 \cdot 3,105 = 2,78 \text{ kN/m}$

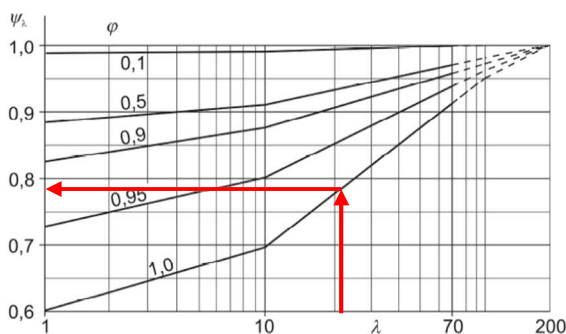
Zatížení pylonu

rozměry pylonu	$d = 1,6 \text{ m} \quad b = 1,6 \text{ m} \quad l = 23,34 \text{ m}$
základní parametry zatížení větrem	$\lambda = 20,83$
součinitel koncového efektu	$\psi_\lambda = 0,785$
součinitel $c_{f,0}$	$c_{f,0} = 2,1$
redukční součinitel pro zaoblené rohy	$\psi_r = 1 \text{ zjednodušeně}$
součinitel c_f	$c_f = c_{f,0} \cdot \psi_\lambda \cdot \psi_r = 2,1 \cdot 0,785 \cdot 1 = 1,65$

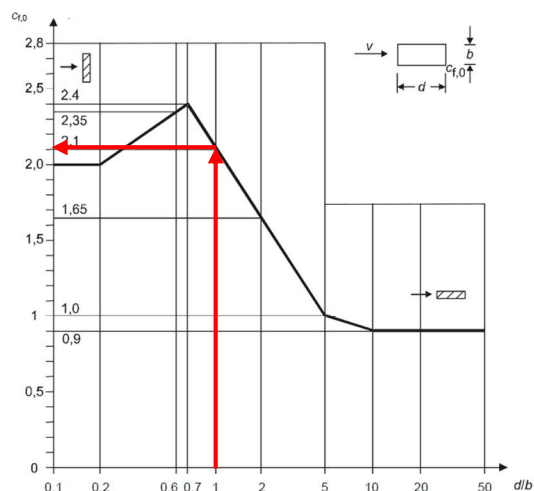
poměr rozměrů $b/d = \frac{1,6}{1,6} = 1,0$

součinitel expozice $c_e = 2,82$

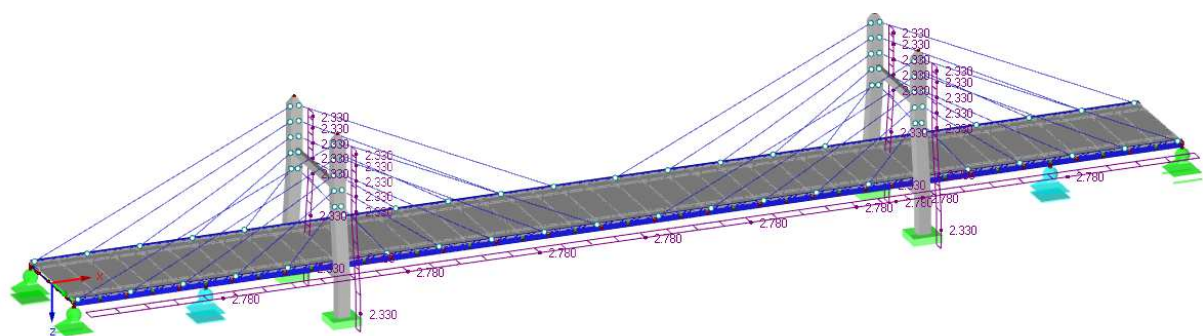
Spojité zatížení od větru $f_w = \frac{1}{2} \cdot v_b^2 \cdot c_e \cdot c_f \cdot b = \frac{1}{2} \cdot 25^2 \cdot 2,82 \cdot 1,65 \cdot 1,6 = 2,33 \text{ kN/m}$



Obr. 10. součinitel koncového efektu

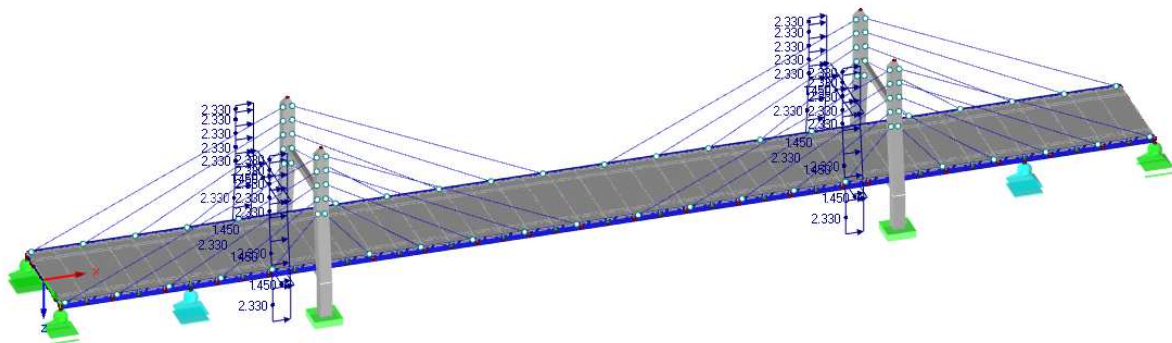


Obr. 11. součinitel $c_{f,0}$ pro pylon



Obr. 12. příčný vítr na most v definitivním stavu

Obdobně byly spočteny i síly v podélném směru



Obr. 13. příčný vítr na most v definitivním stavu

4.6.1. Zatížení větrem – montážní

Zatížení na mostovku

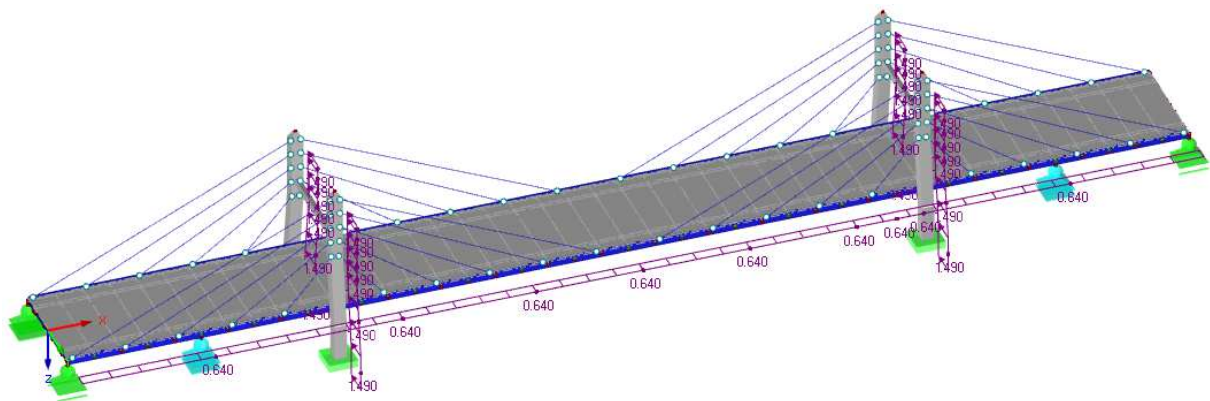
základní parametry zatížení větrem	$c_{dir} = 1 \quad c_{season} = 1 \quad v_{b0} = 20 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
kategorie terénu	II.
výška mostu nad terémem	8,0 m
základní rychlost větru	$v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b0} = 20 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
šířka mostu	$b = 14,2 \text{ m}$
stavební výška mostu	$h_s = 1,105 \text{ m}$
celková výška	$d_{tot} = 1,105 \text{ m}$
poměr rozměrů	$b/d_{tot} = \frac{14,2}{1,105} = 12,85$
součinitel c_{fx}	$c_{fx} = 1,3$
součinitel expozice	$c_e = 2,21$
Spojité zatížení od větru	$f_w = \frac{1}{2} \cdot v_b^2 \cdot c_e \cdot c_{fx} \cdot d_{tot} = \frac{1}{2} \cdot 20^2 \cdot 2,21 \cdot 1,3 \cdot 1,105 = 0,64 \text{ kN/m}$

Zatížení pylonu

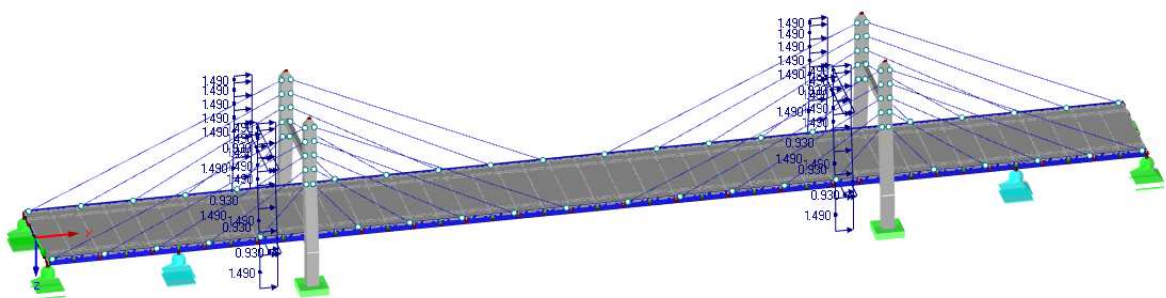
Součinitele jsou vyčísleny v předchozím textu.

$$\text{Spojité zatížení od větru} \quad f_w = \frac{1}{2} \cdot v_b^2 \cdot c_e \cdot c_f \cdot b = \frac{1}{2} \cdot 20^2 \cdot 2,82 \cdot 1,65 \cdot 1,6 = 1,49 \text{ kN/m}$$





Obr. 14. příčný vítr na most v montážním stavu



Obr. 15. podélný vítr na most v montážním stavu

5. Výpočetní model

Výpočetní model byl vytvořen v softwaru [8]. Jedná se o prostorový model využívající **prutové elementy** (typ nosník) pro ocelové prvky – hlavní nosníky, prvky mostovky, závěsy, pylon a příčle pylonu. **2D deskové prvky** jsou dále použity pro konstrukci železobetonové desky. Další použitou entitou jsou **tuhé pruty**, které jsou použity 1) k vymezení excentricity připojení příčniců k hlavním nosníkům 2) uložení hlavních nosníků na spodní příčli pylonu. Vzájemné propojení prutů je ve většině případů nastaveno jako vetknutí. Pouze závěsy mají nastavené oboustranné klouby s uvolněnou rotací okolo osy y a z ($C\varphi_y=0, C\varphi_z=0$). Poloha desky vzhledem k uložení na příčnicí je vyřešena zadáním příslušné excentricity.

Při postupu sestavování výpočetního modelu byl nejprve vytvořen **definitivní model**, na který bylo aplikováno veškeré definitivní zatížení. Tento model slouží k:

- návrhu dimenzí jednotlivých prvků
- předběžnému ověření provozního stavu vzhledem k 1. MS
- ověření průhybů a deformací 2. MS v provozním stavu
- návrh předpětí v závěsech v definitivním stavu

Následně byl v softwaru [8] využit modul RF-/STAGES k nadefinování stavebních fází pro postupný výpočet. Přehled úkonů prováděných v konkrétních fázích je uveden v kap 6. Za zdůraznění stojí následující upozornění:

- zatížení v zatěžovacích stavech zadávaných v jednotlivých fázích výstavby mohou působit pouze na prvcích aktivovaných v jednotlivých fázích.



- Konstrukce musí být vždy podepřená

Postup využívající fáze výstavby zaručí přílehavější výsledky pro průběžné i celkové posouzení zájmových prvků konstrukce a návrh předpínání.

6. Fáze výstavby

Při předběžném návrhu budou zohledněny jednotlivé fáze výstavby zavěšeného mostu. V kapitole jsou přehledně popsány montážní fáze s označením přibývajících, či odejmutých částí nosné konstrukce.

1. Fáze



Označení: **Montáž předpolí**

Popis úprav:

Je vystavěn pylon a probíhá montáž ocelové konstrukce na předpolí (v pole 1 a 3). Konstrukce není podporována závěsy.

+ Pylon

+ Konstrukce OK prvního pole – hlavní nosníky, příčníky, vodorovné montážní ztužení

+ Příslušné podpory, včetně montážní bárky (střed pole 1. a 3.)

2. Fáze



Označení: **Letmá montáž**

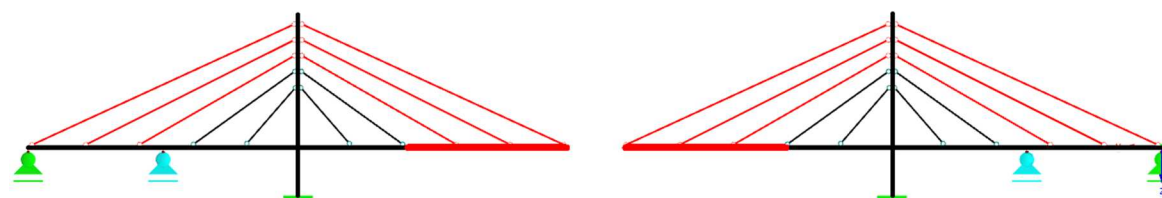
Popis úprav:

Zavěšení prvního letmo montovaného dílce mostovky

+ konstrukce OK prvního dílce – hlavní nosníky, příčníky, vodorovné montážní ztužení

+ závěsy s označením 1.1.; 1.2.; 2.1.; 2.2. viz. obr. 16.

3. Fáze



Označení: **Letmá montáž II.**

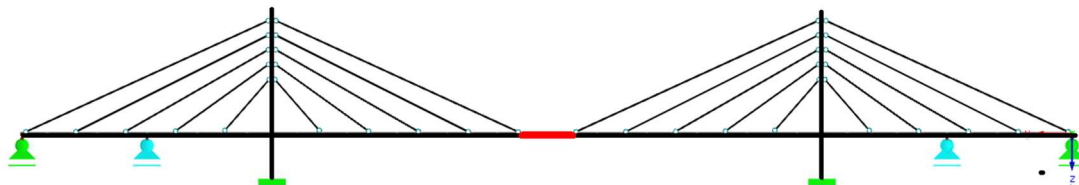
Popis úprav:

Zavěšení druhého letmo montovaného dílce mostovky

+ konstrukce OK druhého dílce – hlavní nosníky, příčnéky, vodorovné montážní ztužení

+ závěsy s označením 1.3.; 1.4.; 1.5.; 2.3.; 2.4.; 2.5.; viz. obr. 16.

4. Fáze



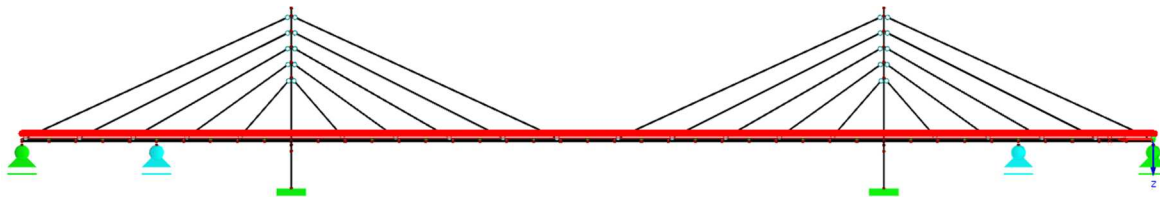
Označení: **Propojení mostovky**

Popis úprav:

Propojení obou polovin letmo betonovaných částí mostu posledním dílcem

+ konstrukce OK mezilehlého dílce – hlavní nosníky, příčnéky, vodorovné montážní ztužení

5. Fáze



Označení: **Betonáž mostovky**

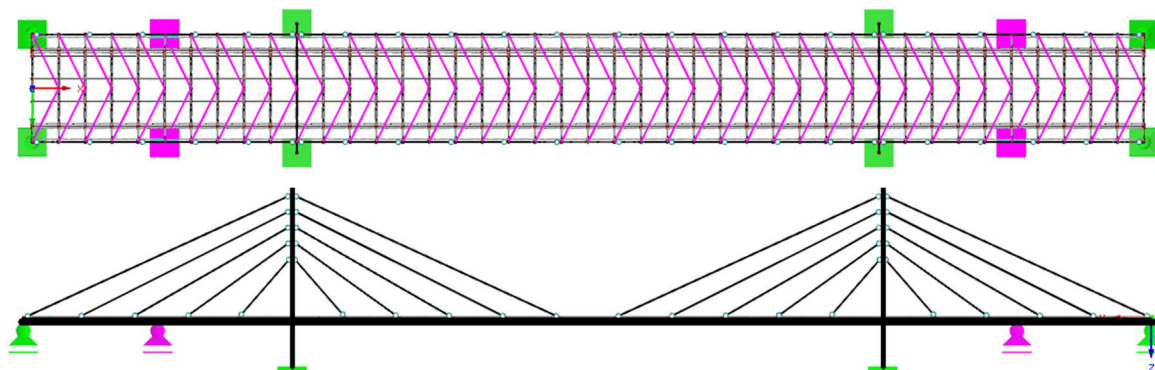
Popis úprav:

ukládání čerstvého betonu mostovky

+ zatížení čerstvým betonem [ZS2 – G0 – vlastní tíha (deska) - montážní]

+ železobetonová deska

6. Fáze



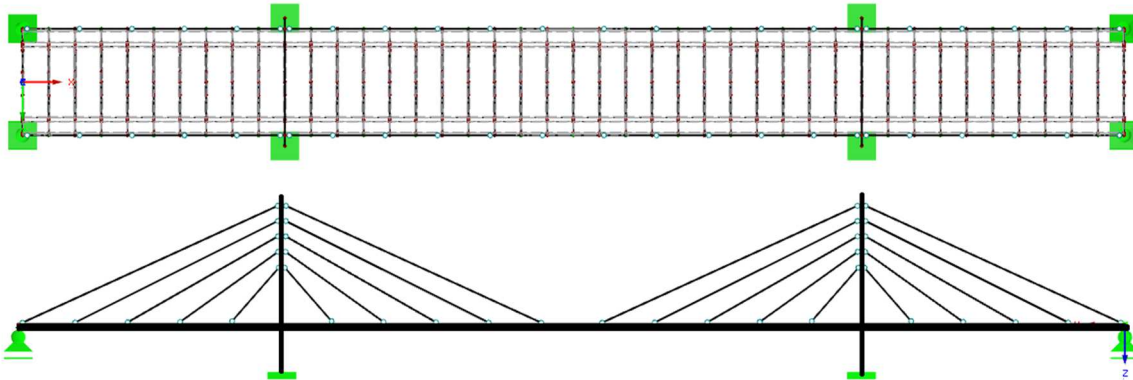
Označení: **Demontáž ztužení a dočasné podpurné bárky**



Popis úprav:

- odebrání prvků vodorovného ztužení
- odebrání podpůrných bárek v 1 a 3. poli
- + odlehčení způsobené vysycháním betonu
- + smršťování betonu

7. Fáze



Označení: **Provoz**

Popis úprav:

- + aplikace definitivních zatížení – doprava, definitivní předpětí,

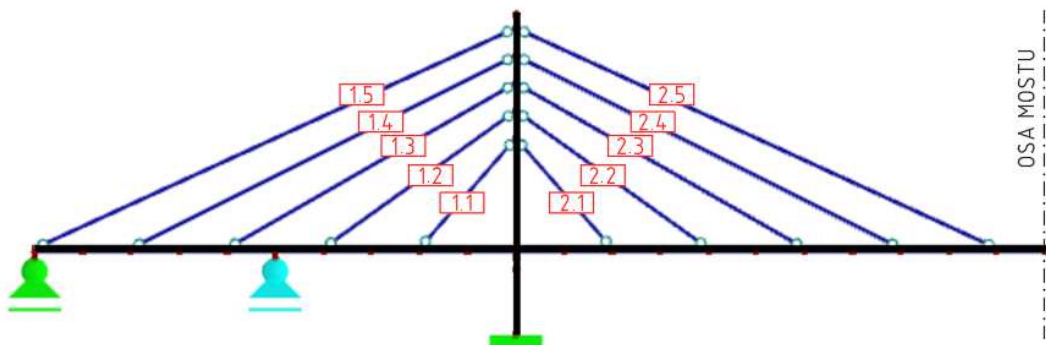
7. Přepínání v jednotlivých fázích

Předpětí bylo zadáváno jako zatížení stálého charakteru, tak jak je klasifikováno v [1]. V softwaru Dlubal [8] bylo při řešení využito zatížení na prut typu, Počáteční předpětí“ a jeho vlastnosti jsou stručně popsány v příloze viz kapitola 12. Obdobně je možné v zatěžovacím stavu předpětí využít například zatížení rovnoměrnou teplotou aplikovanou na předpínací lana. V obou případech se jedná o zatížení předepsaným přetvořením ε_p .

$$[\text{osová síla}] - \frac{F_p}{EA} = \varepsilon_p = \Delta t_p \alpha_t - [\text{teplota}]$$

V řešeném příkladu bylo předpětí aplikováno v 2.,3.,6. fázi a pro definitivní stav (fáze 7.). Předpětí bylo iterativně upravováno tak aby byla splněna kritéria viz odstavec 7.1.1.

Označení přepínaných závěsů je číslováno dle obrázku obr. 16. Přepínání bude prováděno symetricky podle naznačené osy mostu.



Obr. 16. Označení závěsů na polovině mostu



7.1.1. Kritéria kontrolovaná při přepínání:

- Deformace hlavního nosníku při fázích výstavby pro kombinaci MSP.
- Kontrola únosnosti MSÚ

7.2. Naladění konstrukce a síly v závěsech

Níže je přehledně uvedené zatížení aplikované na závěsy pro dosažení vhodného naladění konstrukce. Postupováno bylo iterativním postupem na základě kritérií uvedených v odstavci 7.1.1.7.2

A= 5674 mm²
 E= 205 GPa použítí tyčí
 α= 1,2E-05 K⁻¹

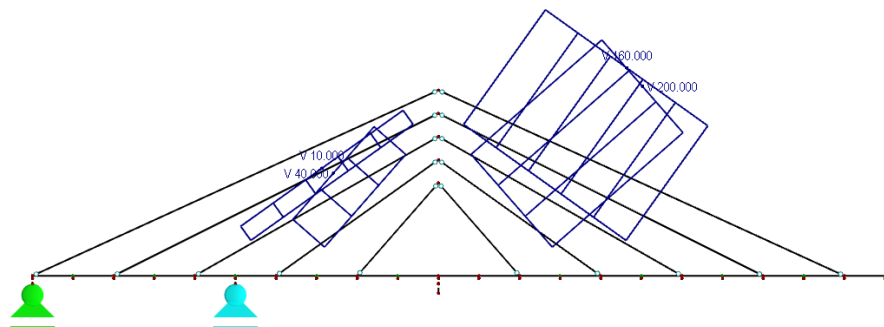
Naladění závěsů

Přepínací fáze	přepínání /	Zatížení																					
		1.1.		1.2.		1.3.		1.4.		1.5.		2.1.		2.2.		2.3.		2.4.		2.5.			
		[K]	kN	[K]	kN	[K]	kN	[K]	kN	[K]	kN	[K]	kN	[K]	kN	[K]	kN	[K]	kN	[K]	kN		
1	Ne																						
2	ANO	-0,7	10	-2,9	40									-14,3	200	-11,5	160						
3	ANO					-7,9	110	-8,6	120	-2,9	40					-10,7	150	-20,8	290	-20,8	290	-16,5	230
4	NE																						
5	NE																						
6	ANO	-86,7	1210	-113,2	1580	-139,0	1940	-143,3	2000	-157,6	2200	-86,7	1210	-127,5	1780	-139,0	1940	-153,3	2140	-164,8	2300		
7	ANO	-190,6	2660	-246,5	3440	-288,7	4030	-320,2	4470	-344,6	4810	-19,0	265	-24,7	345	-28,7	400	-32,2	450	-34,4	480		

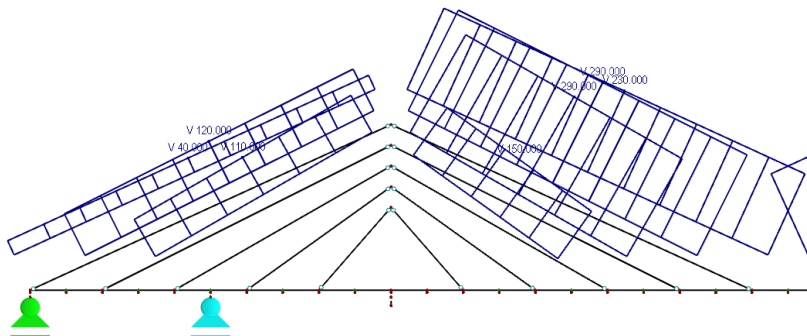
Návrhové hodnoty normálových sil v táhlech, které představují požadované předpětí jsou uvedeny v tabulce níže

Přepínací fáze	přepínání / dopínání	Návrhové síly v závěsech									
		1.1.	1.2.	1.3.	1.4.	1.5.	2.1.	2.2.	2.3.	2.4.	2.5.
		kN	kN	kN	kN	kN	kN	kN	kN	kN	
1	Ne	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
2	ANO	68,7	120,5	-	-	-	144,3	104,8	-	-	
3	ANO	101,8	187,9	195,7	186,7	149,9	121,9	143,8	205,5	217,5	
4	NE	102,7	199,4	204,7	202,6	189,7	123,6	140,8	213,9	251,3	
5	NE	747,1	1121,7	1254,9	1277,5	1197,5	722,8	1062,3	1348,6	1450,4	
6	ANO	795,5	1019,7	1271,1	1294,6	1404,1	827,1	1002,1	1126,1	1323,1	
7	ANO	1980,3	2720,3	3079,5	2777,6	3317,3	2125,4	2720,2	3039,3	3165,3	

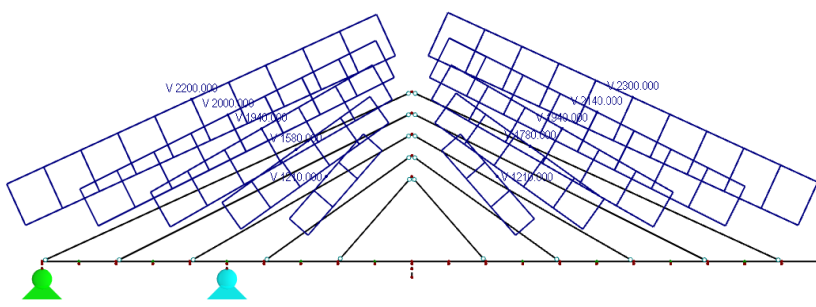
2. Fáze – první přepínání



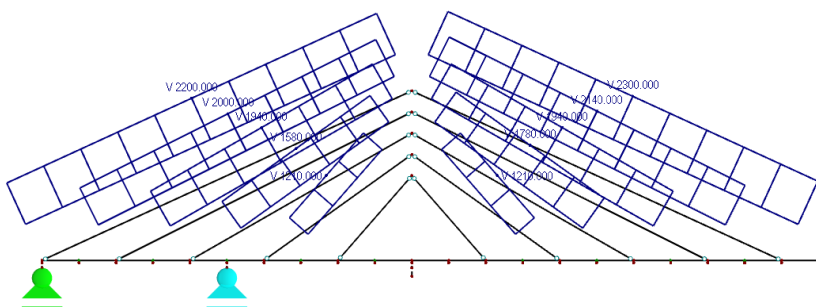
3. Fáze – dopínání závěsů



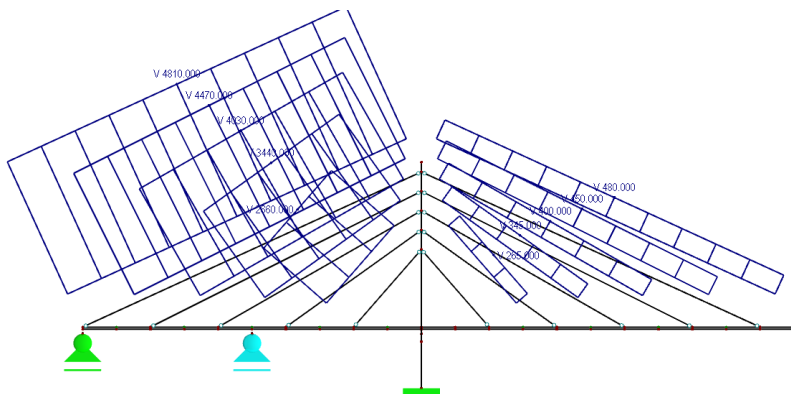
5. Fáze – dopínání závěsů



6. Fáze – dopnutí



7. Fáze – finální dopnutí



7.3. Kontrola deformací

Hodnoty na pořadnicích průhybu jsou vykresleny v milimetrech.

1. Fáze – bez předpínání



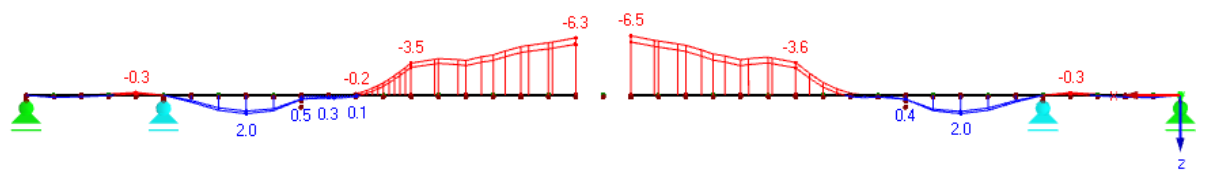
2. Fáze – první přepínání

Přepínané závěsy: 1.1. 1.2. 2.1. 2.2

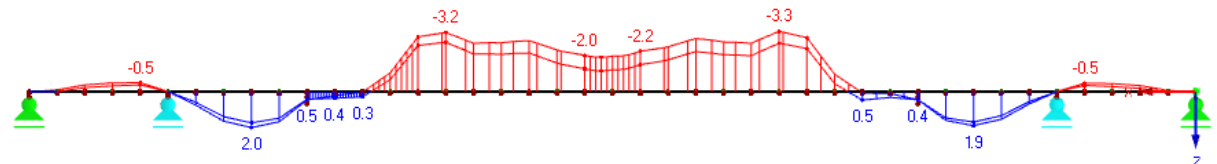


3. Fáze – dopínání závěsů

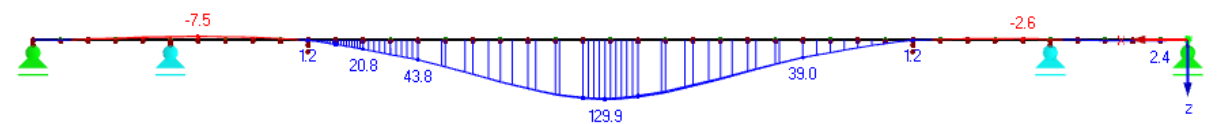
dopínané závěsy: 1.1. 1.2. 2.1. 2.2



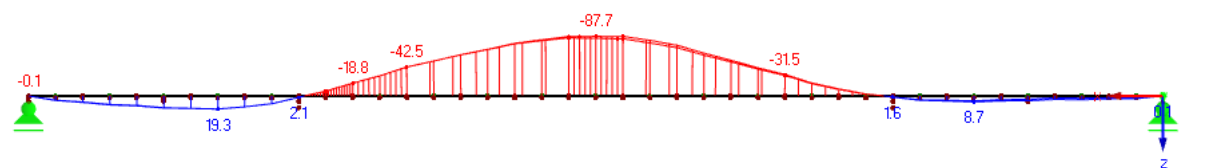
4. Fáze – bez dopínání



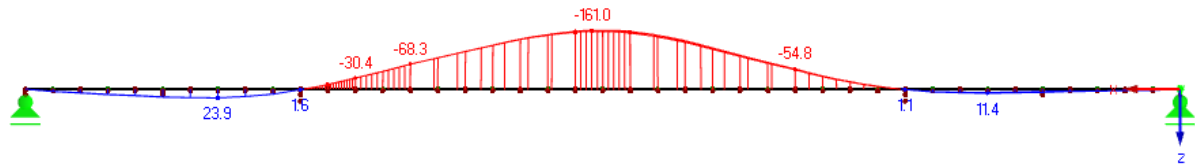
5. Fáze – bez dopínání



6. Fáze – dopnutí



7. Fáze – finální dopnutí



8. Posouzení Mezního stavu únosnosti

Předmětem posouzení jsou:

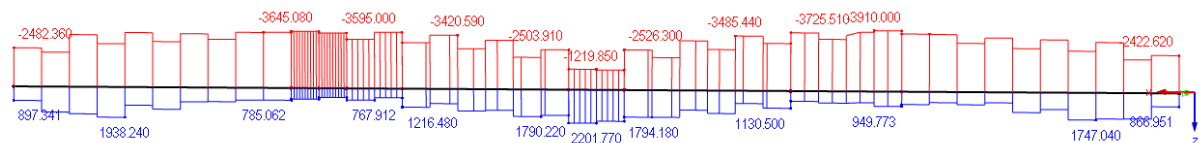
- 1) Hlavní nosníky
- 2) Pylon
- 3) Závěsy

8.1. Hlavní nosníky

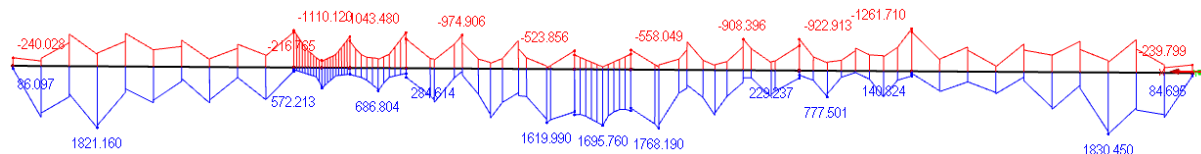
V předběžném návrhu budou hlavní nosníky v mezním stavu únosnosti (MSÚ) posouzeny na obálku vnitřních sil od kombinací vytvořených z výpočtu zohledňující všechny fáze výstavby.

8.1.1. Obálka vnitřních sil pro MSÚ

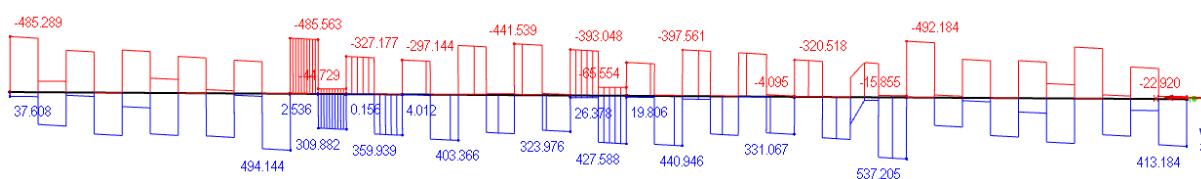
Normálové síly N_x [kN]



Moment M_y [kNm]



Posouvající síla V_z [kN]

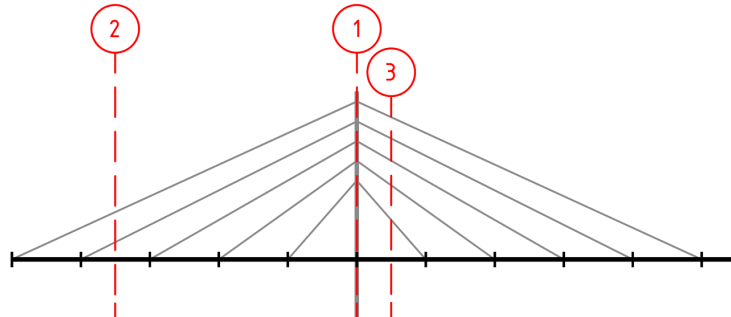


Přehled rozhodujících návrhových vnitřních sil

Posouzení		Síly [kN]			Momenty [kNm]		
		N	V_y	V_z	M_T	M_y	M_z
1	min M_y , max V_z	-3687,8	5,0	537,2	-0,2	-1261,7	9,2
2	max M_y	-1643,1	6,8	295,0	-0,1	1830,5	7,5
3	min N	-3909,9	2,1	332,6	-0,1	-1204,6	4,1



Budou provedeny tři posudky hlavního nosníku. Místa na konstrukci, ve kterých dochází k těmto extrémním kombinacím namáhání jsou zakresleny na obrázku obr. 17. Výsledky jsou pak uvedeny v podkapitole 8.1.2. na konci kapitoly. Nejnepříznivější z nich je podrobně rozpracována s ručním výpočtem.



Obr. 17. řezy s rozhodujícími kombinacemi vnitřních sil

8.1.2. Zatřídění průřezu

Rozměry hlavního nosníku jsou uvedeny v kap. 3.1.

Odhad velikosti koutového svaru $a_w = 5 \text{ mm}$

Stranový rozměr svaru: $b_w = a_w \cdot \sqrt{2} = 7,1 \text{ mm}$

Výška stojiny $h_w = 1050 \text{ mm}$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,814$$

Pásnice:

přechýlající část horní pásnice $c = (b_h - s - 2 \cdot b_w)/2 = (350 - 12 - 2 \cdot 7,1) = 162 \text{ mm}$

$$\frac{c}{t_h} = \frac{162}{25} = 6,48 < 10 \varepsilon = 8,14 \quad (\text{třída 2})$$

Stojina:

Výška nosníku: $h = 1095 \text{ mm}$

Stojina $c = h - t_h - t_d - 2 \cdot b_w = 1095 - 25 - 20 - 2 \cdot 7,1 = 1035,8 \text{ mm}$

$$\frac{c}{s} = \frac{1035,8}{12} = 85 < 124 \cdot \varepsilon = 124 \cdot 0,814 = 100,9 \quad (\text{třída 3})$$

Průřez je zařazen do třídy 3.

8.1.1. Ruční posouzení hlavních nosníků – posudek 3.

S355		materiálové součinitele	
$f_y =$	355 MPa	$\gamma_{M0} =$	1
$E =$	210000 MPa	$\gamma_{M1} =$	1,1
$G =$	80700 MPa	$\gamma_{M2} =$	1,25
$\varepsilon =$	$\sqrt{\frac{235}{f_y}} =$		0,81



Průřezová charakteristika	Symbol	Hodnota
Výška	h	= 1095 mm
Šířka pásnice nahoře	b_h	= 350 mm
Tloušťka pásnice nahoře	t_h	= 20 mm
Tloušťka stojiny	s	= 12 mm
Šířka pásnice dole	b_d	= 350 mm
Tloušťka pásnice dole	t_d	= 20 mm
Plocha průřezu	A	= 0,02666 m ²
Smyková plocha ve směru y	A_v	= 0,01169 m ²
Smyková plocha ve směru z	A_z	= 0,01247 m ²
Vzdálenost těžiště k horním vláknům	e_{zh}	= 547,5 mm
Vzdálenost těžiště ke spodním vláknům	e_{zd}	= 547,5 mm
Moment setrvačnosti k ose y	I_y	= 0,00522 m ⁴
Moment setrvačnosti k ose z	I_z	= 0,00143 m ⁴
Polární moment setrvačnosti	I_p	= 0,00536 m ⁴
Poloměr setrvačnosti	i_y	= 442,5 mm
Poloměr setrvačnosti	i_z	= 73,3 mm
Polární poloměr setrvačnosti	i_p	= 448,5 mm
Moment tuhosti v kroucení	I_t	= 2,42E-06 m ⁴
Výsečový moment setrvačnosti vztažený na M	I_w	= 4,08E-05 m ⁶

vzpěrná délka	délka klopení
$L_{cr,y} = 7$ m	$L_{LT} = 7$ m
$L_{cr,z} = 3,5$ m	
$L_{cr,w} = 7$ m	

Únosnost ve vzpěrném tlaku

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = 15,82 \quad \lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = 47,75 \quad \lambda_w = \sqrt{\frac{I_p}{L_{cr,w}^2 + 25}} = 75,97$$

$$\lambda_{y1} = 93,9 \varepsilon = 76,4$$

relativní štíhlost

$$\lambda_{y,D} = \lambda_y / \lambda_{y1} = 0,207 \quad \lambda_{z,D} = \lambda_z / \lambda_{z1} = 0,625 \quad \lambda_{w,D} = \lambda_w / \lambda_{w1} = 0,994$$

vzpěrná křivka

$$\alpha_y = 0,21 \quad \alpha_z = 0,21 \quad \alpha_w = 0,21$$

$$\phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha (\lambda_{y,D} - 0,2) + \lambda_{y,D}^2] \quad \phi_z = 0,739936 \quad \phi_w = 1,07786$$

součinitel vzpěru

$$\chi = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \lambda_{y,D}^2}} \quad \chi_z = 0,880266 \quad \chi_w = 0,6695$$

$$N_{b,Rd} = \chi A f_y / \gamma_{M1} = 8590,6 \text{ kN} \quad N_{b,z,Rd} = 7573,727 \text{ kN} \quad N_{b,w,Rd} = 5760,3 \text{ kN}$$

Rozhodující únosnost ve vzpěru $N_{b,Rd} = 5760,3 \text{ kN}$

Momentová únosnost při prostém ohybu

ohyb okolo osy y

$$\text{horní vl. } W_{v,el,h} = 0,0095 \text{ m}^3 \quad \text{dolní vl. } W_{v,el,d} = 0,01 \text{ m}^3$$

$$M_{el,y,Rd} = W_{el} f_y / \gamma_{M0} = 3384,0 \text{ kNm}$$

ohyb okolo osy z

$$\text{horní vl. } W_{el,z} = 0,0082 \text{ m}^3$$

$$M_{el,z,Rd} = W_{el} f_y / \gamma_{M0} = 2902,9 \text{ kNm}$$

Momentová únosnost s vlivem klopení

okrajové podmínky uložení v krouce $k_w = 1$ není bráněno deplanací

součinitel vzpěru v rovině kolém k z $k_z = 1$

bezrozměrný parametr kroucení

$$k_w = \frac{\pi}{k_w L} \sqrt{\frac{EI_w}{G I_t}} = 2,97$$

$$c_{1,0} = 1,49$$

$$c_{1,1} = 1,52$$

$$c_1 = c_{1,0} + (c_{1,1} - c_{1,0}) \cdot k_w = 1,5792$$

bezrozměrný parametr působení zatížení vzhledem ke středu smyku

$$c_g = \frac{\pi z_g}{k_z L} \sqrt{\frac{EI_z}{G I_t}} = 0$$



Podklad k předmětu Ocelové mosty 2
Předběžný statický návrh zavěšeného mostu

Poznámka: vzhledem k tomu, že zatížení působí na příčnicích, bezrozměrný parametr působíště zatížení vzhledem ke středu smyku je roven 0.

bezrozměrný parametr nesymetrie průřezu

$$\zeta_1 = \frac{\pi z_1}{k_z L} \sqrt{\frac{EI_z}{GI_t}} = 0$$

Poznámka: posuzován je dvojose symetrický průřez I je možné uvažovat bezrozměrný parametr nesymetrie průřezu roven 0.

bezrozměrný kritický moment v obecném tvaru $\mu_{cr} = \frac{C_1}{k_z} \left[\sqrt{1 + \kappa_{wt}^2 + (C_2 \cdot \zeta_g - C_3 \cdot \zeta_j)^2} - (C_2 \cdot \zeta_g - C_3 \cdot \zeta_j) \right]$ je za výše uvedených předpokladů možné zredukovat na

$$\mu_{cr} = \frac{C_1}{k_z} \sqrt{1 + \kappa_{wt}^2} = 4,95$$

Kritický moment $M_{cr} = \mu_{cr} \frac{\pi \sqrt{EI_z GI_t}}{L_{cr}} = 17025 \text{ kNm}$

poměrná štíhlost $\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{y,el} f_y}{M_{cr}}} = 0,45 > 0,4$ Nosník bude klopit

Poznámka: Pro 3.třidu průřezu se použije pružné průřezový modul

přřazení křivky klopení svařovaný průřez
 $h/b = 3,13 > 2$ - volíme tedy křivku d

$$\alpha_{LT} = 0,76$$

$$\phi_{LT} = 0,5 \left[1 + \alpha_{LT} (\bar{\lambda}_{LT} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2 \right] = 0,69$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} = 0,82$$

Ohybová únosnost s vlivem klopení

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \frac{W_{y,el} f_y}{\gamma_{M1}} = 2515 \text{ kNm}$$

Posouzení smyku

Nutnost zohlednění boulení ve smyku dle 1993-1-5 kap. 5.

výška stojiny nosníku $h_w = h - t_f - t_w = 1055 \text{ mm}$
 tloušťka stojiny nosníku $t = s = 12 \text{ mm}$

$\eta = 1,2$ dle poznámky v 1993-1-1 str. 50.

Ověření nutnosti posouzení boulení stěny ve smyku

uvážení nevytužené stěny $\frac{h_w}{t} = \frac{1055}{12} = 87,9 < \frac{72 \epsilon}{\eta} = 48,8$

Podmínka nevyhovuje

vytužená stojina $\frac{h_w}{t} = \frac{1055}{12} = 87,9 < \frac{31 \epsilon \sqrt{k_t}}{\eta} = 52,63$

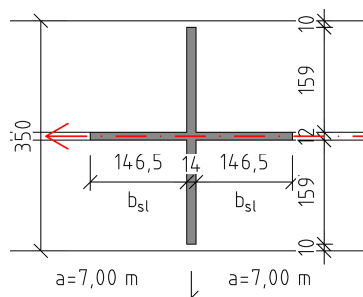
Podmínka nevyhovuje

vzdálenost svislých výztuh $a = 7 \text{ m}$
 $a/h_w = 6,635 > 1$ - součinitel kritického napětí je tedy:
 $k_{tsf} = 4,00 + 5,34 \cdot (h_w/a)^2 + k_{tsf} = 6,27$
 $k_{tsf} = 9 \left(\frac{h_w}{a} \right)^2 \sqrt[4]{\left(\frac{I_{sf}}{t^3 h_w} \right)^3} = 2,15 > \frac{2,1}{t} \sqrt[3]{\frac{I_{sf}}{h_w}} = 0,5974$

geometrie výztuh

šířka výztuh $a_{s1} = (\min(b_h, b_d) - 2 \cdot 10 \text{ mm} - t) = 159 \text{ mm}$
 spolupůsobící část stojiny hl.n $b_{s1} = 15 \cdot \epsilon \cdot t = 146,5 \text{ mm}$
 tloušťka výztuh $t_{s1} = 14 \text{ mm}$
 zatřídění průřezu výztuh v tlaku $b_{s1} / t_{s1} = 10,5 < 14 \epsilon = 11,4$
 Výztuhy spadají do třídy 3. Není třeba uvažovat boulení části průřezu.
 moment setrvačnosti průřezu výztuh $I_{s1} = 4,197 \text{E-05 m}^4$





Obr. 18. Výztuhy se spolupůsobící šířkou

upravená štíhlost pro výztuhy $\bar{\lambda}_w = \frac{h_w}{37,4 t \varepsilon \sqrt{k_\tau}} = 1,15$ vzorec 1993-1-5 (5.6.) str 25.

součinitel příspěvku stojiny χ_w k únosnosti v boulení při smyku tabulka 5.1.

	Tuhá koncová výztuha	Netuhá koncová výztuha
$\bar{\lambda}_w < 0,83/\eta$	η	η
$0,83/\eta \leq \bar{\lambda}_w < 1,08$	$0,83/\bar{\lambda}_w$	$0,83/\bar{\lambda}_w$
$\bar{\lambda}_w \geq 1,08$	$1,37/(0,7 + \bar{\lambda}_w)$	$0,83/\bar{\lambda}_w$

- netuhá koncová výztuha

$$\bar{\lambda}_w < 0,83/\eta = 0,69 \quad \text{nevyhovuje}$$

$$\bar{\lambda}_w < 1,08 \quad \text{nevyhovuje}$$

$$\chi_w = 0,83/\bar{\lambda}_w = 0,719$$

Výpočet únosnosti ve smyku s vlivem boulení

$$V_{b,Rd} = V_{bw,Rd} + V_{bf,Rd} \leq \frac{\eta f_{yw} h_w t}{\sqrt{3} \gamma_{M1}} = 1697 + 0 = 1697 \text{ kN}$$

$$\frac{\eta f_{yw} h_w t}{\sqrt{3} \gamma_{M1}} = 2831 \text{ kN}$$

$$V_{b,Rd} < \frac{\eta f_{yw} h_w t}{\sqrt{3} \gamma_{M1}} \quad \text{vyhovuje}$$

Príspevek stojiny $V_{bw,Rd} = \frac{\chi_w f_{yw} h_w t}{\sqrt{3} \gamma_{M1}} = 1697 \text{ kN}$

Posouzení smyku $V_{z,ed} = 332,6 \text{ kN} < V_{bw,Rd} = 1697 \text{ kN}$
 $V_{z,ed}/V_b = 0,196$ Malý smyk
 Vyhovuje

Interakční součinitele: 1993-1-1 Příloha B. str. 74.

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} M_{y,Rk}} + k_{yz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\gamma_{M1} M_{z,Rk}} \leq 1 \quad \text{1993-1-1 výraz 6.61}$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} M_{y,Rk}} + k_{zz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\gamma_{M1} M_{z,Rk}} \leq 1 \quad \text{1993-1-1 výraz 6.62}$$

$$k_w = c_{my} \left(1 + 0,6 \bar{\lambda}_y \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right) \leq c_{my} \left(1 + 0,6 \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$$

$$k_{zv} = \begin{bmatrix} 1 - \frac{0,05 \bar{\lambda}_z}{(C_{mLT} - 0,25)} \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \\ 1 - \frac{0,05}{(C_{mLT} - 0,25)} \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \end{bmatrix}$$

$$M_h = 774,3 \text{ kNm}$$

$$M_s = -1204,6 \text{ kNm}$$

$$\psi M_h = 36,6 \text{ kNm}$$

$$\alpha_h = M_h/M_s = -0,64$$

$$c_{my} = c_{mLT} = 0,9 + 0,1 \alpha_h = 0,84$$



$k_{Ny} = 0,88$ $k_{zV} = 0,94$

Posouzení interakce

1993-1-1 výraz 6.6: $\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk}} + k_{yy} \frac{M_{yEd} + \Delta M_{yEd}}{\chi_{LT} M_{yRk}}$

$$\frac{3909,9}{8590,6} + 0,88 \frac{1204,6}{2515} = 0,46 + 0,423 = 0,878 < 1$$

Vyhovuje

1993-1-1 výraz 6.62: $\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk}} + k_{zy} \frac{M_{yEd} + \Delta M_{yEd}}{\chi_{LT} M_{yRk}}$

$$\frac{3909,9}{7573,7} + 0,94 \frac{1204,6}{2515} = 0,52 + 0,449 = 0,965 < 1$$

Vyhovuje

8.1.2. Přehledné posouzení extrémních kombinací vnitřních sil hlavního nosníku

Posouzení	Normálová síla			Smyk	Moment	interakce	
	N _y	N _z	N _w	V _z	Klopení	výraz 6.61	výraz 6.62
1	43%	49%	64%	32%	50%	87%	96%
2	19%	22%	29%	17%	73%	89%	93%
3	46%	52%	68%	20%	48%	88%	97%

8.1. Posouzení Pylonu

8.1.1. Stanovení globálních imperfekcí pylonu

Globální imperfekce jsou zavedeny pomocí ekvivalentních vodorovných sil stanovených následujícím způsobem:

výška $h = 22,4$ m

$\phi = \phi_0 \alpha_h \alpha_m$

$\frac{\phi_0}{2/3} < \alpha_h = \frac{2}{\sqrt{h}} = 0,423 < 1$

$\alpha_h = \frac{2}{\sqrt{h}} =$

$\alpha_h = 0,67$

Globální směr y

$m = 2$

$\alpha_m = \sqrt{0,5 \left(1 + \frac{1}{m}\right)} = 0,866$

$\phi_y = 0,0038$

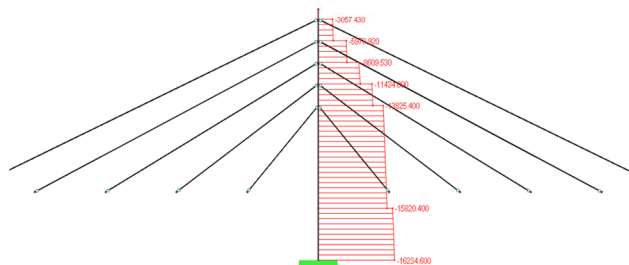
Návrhové normálové N_{Ed}

Globální směr x

$m = 1$

$\alpha_m = \sqrt{0,5 \left(1 + \frac{1}{m}\right)} = 1,000$

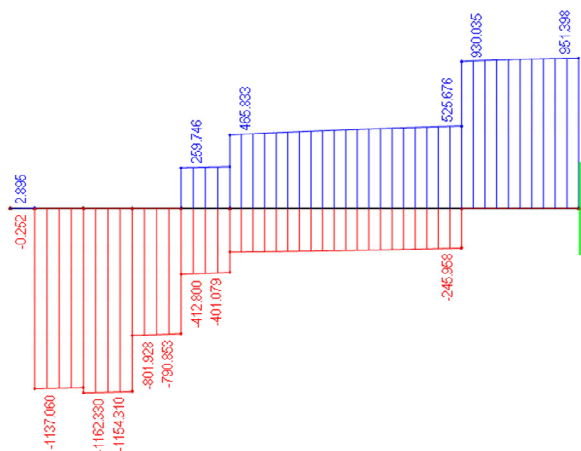
$\phi_x = 0,0044$



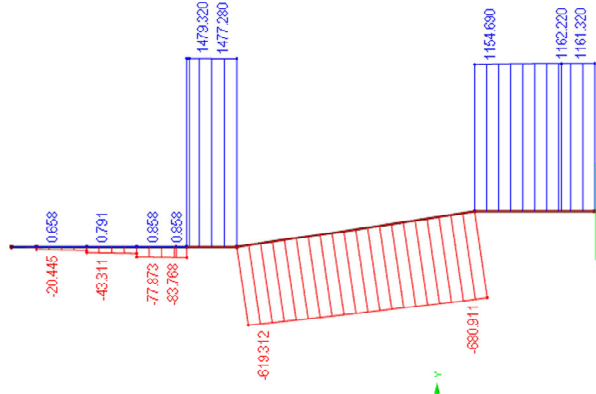
úroveň	N_{Ed} [kN]	V_{hy} [kN]	V_{hx} [kN]
1	3057	11,8	13,6
2	2922	11,2	13,0
3	5687	21,9	25,3
4	5748	22,1	25,5
5	8078	31,1	35,9



Posouvající síla Vz [kN]



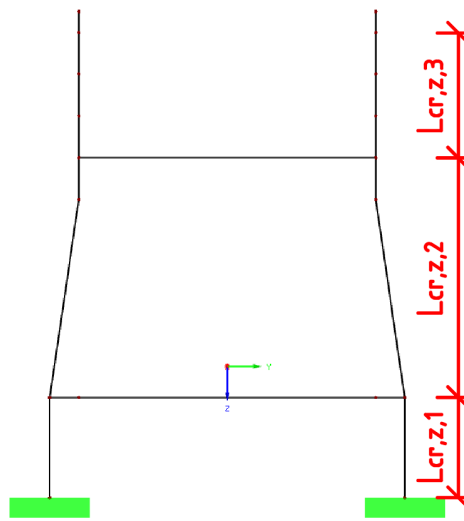
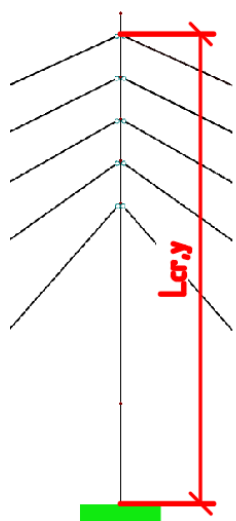
Posouvající síla Vy [kN]



Přehled rozhodujících návrhových vnitřních sil

	Síly [kN]			Momenty [kNm]	
	N	V _y	V _z	M _y	M _z
min N	-13389,5	465,8	1477,3	5820,0	-5422,0

8.1.1. Určení vzpěrných délek pro posouzení pylonu



8.1.1. Ruční posouzení pylonu

S355

$f_y = 355 \text{ MPa}$
 $E = 210000 \text{ MPa}$
 $G = 80700 \text{ MPa}$
 $\epsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 0,81$

materiálové součinitele

$\gamma_{M0} = 1$
 $\gamma_{M1} = 1,1$
 $\gamma_{M2} = 1,25$



Průřezová charakteristika	Symbol	Hodnota
Výška	h	= 1500 mm
Šířka	b_h	= 1500 mm
Tloušťka stojny	s	= 25 mm
Plocha průřezu	A	= 0,15684 m ²
Smyková plocha ve směru y	A_v	= 0,04191 m ²
Smyková plocha ve směru z	A_z	= 0,04191 m ²
Vzdálenost těžiště k horním vláknům	e_{zh}	= 750 mm
Vzdálenost těžiště ke spodním vláknům	e_{zd}	= 750 mm
Moment setrvačnosti k ose y	I_y	= 0,04580 m ⁴
Moment setrvačnosti k ose z	I_z	= 0,04580 m ⁴
Polární moment setrvačnosti	I_p	= 0,09154 m ⁴
Poloměr setrvačnosti	i_y	= 540,2 mm
Poloměr setrvačnosti	i_z	= 540,2 mm
Plastický průřezový modul	W_{pl}	= 0,0777
Polární poloměr setrvačnosti	i_p	= 770,6 mm
Moment tuhosti v kroucení	I_t	= 1,02E-01 m ⁴
Výsečový moment setrvačnosti vztažený na M	I_w	= 6,81E-05 m ⁶

vzpěrná délka	délka klopení
$L_{cr,y} = 22,3$ m	$L_{LT} = 11,6$ m
$L_{cr,z} = 11,6$ m	
$L_{cr,w} = 11,6$ m	

Únosnost ve vzpěrném tlaku

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = 41,28 \quad \lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = 21,47 \quad \lambda_w = \sqrt{\frac{I_p}{L_{cr,w}^2 + \frac{I_t}{25}}} = 4,7$$

$$\lambda_1 = 93,9 \quad \varepsilon = 76,4$$

relativní štíhlost

$$\lambda_{y,D} = \lambda_y / \lambda_1 = 0,540 \quad \lambda_{z,D} = \lambda_z / \lambda_1 = 0,281 \quad \lambda_{w,D} = \lambda_w / \lambda_1 = 0,062$$

vzpěrná křivka

$$\alpha_y = 0,21 \quad \alpha_z = 0,21 \quad \alpha_w = 0,21$$

$$\phi = 0,5 [1 + \alpha (\lambda_b - 0,2) + \lambda_b^2]$$

$$\phi_y = 0,6817 \quad \phi_z = 0,548013 \quad \phi_w = 0,48741$$

součinitel vzpěru

$$\chi = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \lambda_b^2}} \quad \chi_z = 0,981878 \quad \chi_w = 1$$

$$\chi_{y,Rd} = \chi A f_y / \gamma_{M1} = 46125 \text{ kN}$$

$$N_{b,y,Rd} = 46125 \text{ kN} \quad N_{b,z,Rd} = 49699,32 \text{ kN} \quad N_{b,w,Rd} = 50616,6 \text{ kN}$$

Rozhodující únosnost ve vzpěru $N_{b,Rd} = 46124,997 \text{ kN}$

Momentová únosnost při prostém ohybu

ohyb okolo osy y

$$\text{horní vl. } W_{pl,y} = 0,0777 \text{ m}^3$$

$$M_{bl,y,Rd} = W_{pl,y} f_y / \gamma_{M0} = 27583,5 \text{ kNm}$$

$$M_y / M_{bl,y,Rd} = 0,21$$

ohyb okolo osy z

$$\text{horní vl. } W_{pl,z} = 0,0777 \text{ m}^3$$

$$M_{bl,z,Rd} = W_{pl,z} f_y / \gamma_{M0} = 27583,5 \text{ kNm}$$

$$M_z / M_{bl,z,Rd} = 0,20$$

Interakční součinitele:

$$k_{my} = C_{my} \left(1 + 0,6 \frac{\lambda_y}{\lambda_1} \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right) \leq C_{my} \left(1 + 0,6 \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$$

$$k_{zy} = \begin{cases} 1 - \frac{0,05 \lambda_z}{(C_{mLT} - 0,25) \lambda_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \\ \geq 1 - \frac{0,05}{(C_{mLT} - 0,25) \lambda_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \end{cases}$$



$$\begin{aligned}
 M_{hV} &= 817 \text{ kNm} & M_{hV} &= -3583 \text{ kNm} \\
 M_{SV} &= 5820,0 \text{ kNm} & M_{SV} &= -5422,0 \text{ kNm} \\
 \psi M_{hV} &= 0 \text{ kNm} & \psi M_{hV} &= 0 \text{ kNm} \\
 \alpha_h = M_{hV}/M_{SV} &= 0,14 & \alpha_h = M_{hV}/M_{SV} &= 0,66 \\
 c_{my} = 0,9+0,1 \alpha_h &= 0,91 & c_{mz} = 0,2+0,8 \alpha_h &= 0,73 \\
 k_{W} = C_{my} \left(1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right) &= 1,00 & k_{yZ} = 0,6 k_{zZ} &= 0,45 \\
 &\leq C_{my} \left(1 + 0,8 \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right) & & \\
 k_{zV} = k_{zV} = 0,6 k_{W} &= 0,60 & k_{zZ} = C_{mz} \left(1 + (\bar{\lambda}_z - 0,2) \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right) &= 0,74 \\
 & & &\leq C_{mz} \left(1 + 0,8 \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right) \\
 \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk}} + k_{yy} \frac{M_{yEd} + \Delta M_{yEd}}{\chi_{LT} M_{yRk}} + k_{yz} \frac{M_{zEd} + \Delta M_{zEd}}{M_{zRk}} &\leq 1 \\
 \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk}} + k_{zy} \frac{M_{yEd} + \Delta M_{yEd}}{\chi_{LT} M_{yRk}} + k_{zz} \frac{M_{zEd} + \Delta M_{zEd}}{M_{zRk}} &\leq 1
 \end{aligned}$$

Posouzení interakce

1993-1-1 výraz 6.61 $\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk}} + k_{yy} \frac{M_{yEd} + \Delta M_{yEd}}{\chi_{LT} M_{yRk}} + k_{yz} \frac{M_{zEd} + \Delta M_{zEd}}{M_{zRk}} \leq 1$

$$\frac{13389,5}{46125} + 1,00 \frac{5820,0}{27584} + 0,45 \frac{5422}{27584} = 0,29 + 0,212 + 0,088 = 0,590 < 1$$

Vyhovuje

1993-1-1 výraz 6.62 $\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk}} + k_{zy} \frac{M_{yEd} + \Delta M_{yEd}}{\chi_{LT} M_{yRk}} + k_{zz} \frac{M_{zEd} + \Delta M_{zEd}}{M_{zRk}} \leq 1$

$$\frac{13389,5}{46125} + 0,60 \frac{5820,0}{27584} + 0,74 \frac{5422}{27584} = 0,29 + 0,127 + 0,146 = 0,564 < 1$$

Vyhovuje

8.1.2. Přehledné posouzení extrémní kombinace vnitřních sil pylonu

Normálová síla			ohyb		interakce	
N _y	N _z	N _w	M _y	M _z	výraz 6.61	výraz 6.62
29%	27%	26%	21%	20%	59%	56%

8.2. Posouzení závěsů

Maximální návrhová normálová síla v závěsu s uvážením fází výstavby $N_{Ed} = 3317,3 \text{ kN}$
 Jelikož je od výrobce známá únosnost prvku dle [2] bude posouzení provedeno následujícím způsobem:

$$N_{ed} < F_{Rd} \\
 N_{ed} = 3317,3 < F_{Rd} = 3360 \text{ kN}$$

9. Závě □

V rámci zpracovaného „Předběžný statický návrh zavěšeného mostu“ byly pospány jednotlivé kroky tvorby výpočetního modulu, zadávání zatěžovacích stavů, detaily zadávání fází výstavby



a finálního posouzení vybraných prvků (hlavních nosníků, pylonu a závěsů). Při práci bylo postupováno podle ČSN EN 1990 – ČSN EN 1999.

10. Použité předpisy a normy

- [1] ČSN EN 1990 (730002) Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí (1.3. 2004)
- [2] ČSN EN 1993-1-1 (731401) Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby (1. 1. 2007)
- [3] ČSN EN 1992-1-1 (731201) Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby (1. 11. 2006)
- [4] ČSN EN 1991-1-1 (730035) - Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-1: Obecná zatížení - Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb (1. 4. 2004)
- [5] ČSN 73 6222 Zatížitelnost mostů pozemních komunikací
- [6] Předpis ČD S5/4 Protikorozní ochrana ocelových konstrukcí
- [7] ČSN 736201 Projektování mostních objektů

11. Použitý software

- [8] Dlubal 5.21 (2019) – studentská verze

12. Příloha 1 – Reference

12.1. Počáteční předpětí

[zdroj: <https://www.dlubal.com/cs/podpora-a-skoleni/podpora/faq/002484>]

Počáteční předpětí můžeme představit jako teplotní zatížení: prut se ochladí a zkrátí se sama. Pokud je prut držen na koncích, působí v prutu tahová síla. Pokud je prut pevně uchycen na koncích, přesnost tahové síly přesně odpovídá předpínací síle. Pokud je prut podepřen pružně, je tahová síla v prutu odpovídajícím způsobem menší.

