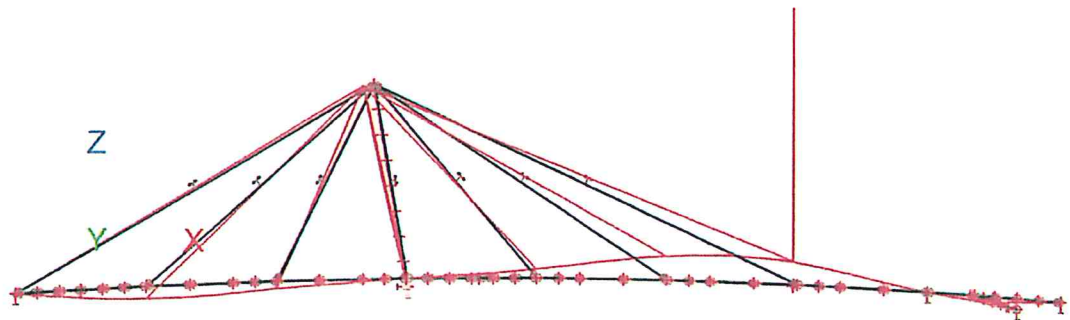
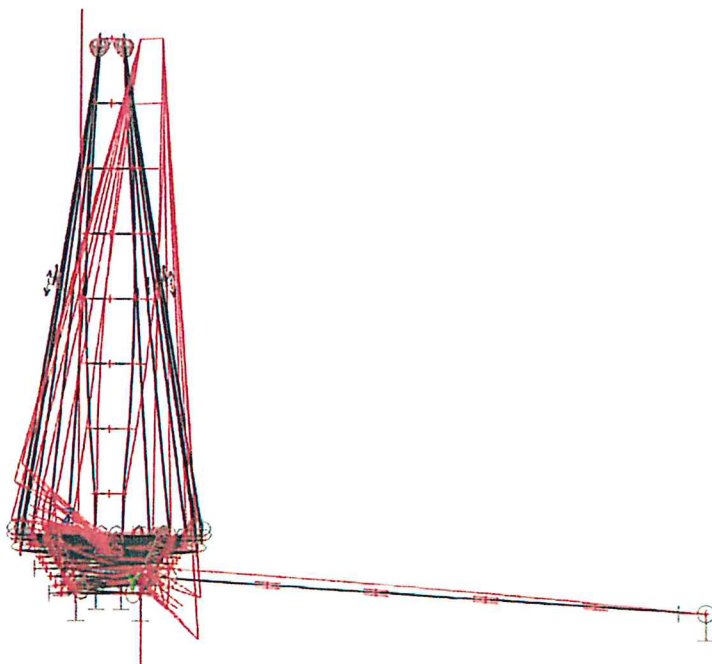
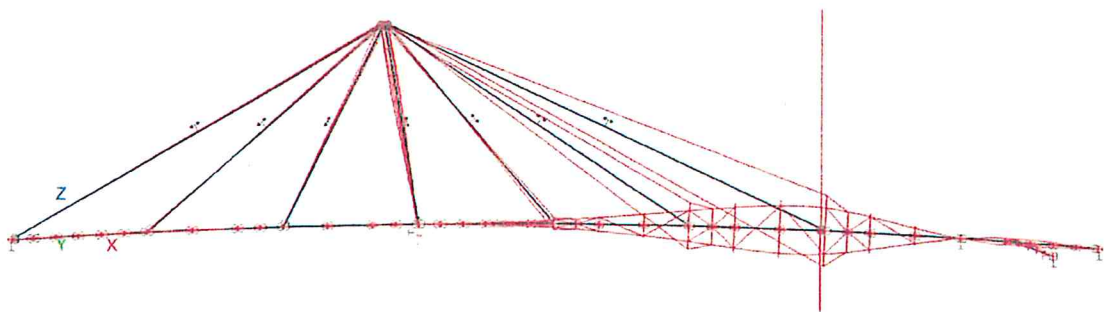


Vlastní tvary - s pohlcovači kmitání

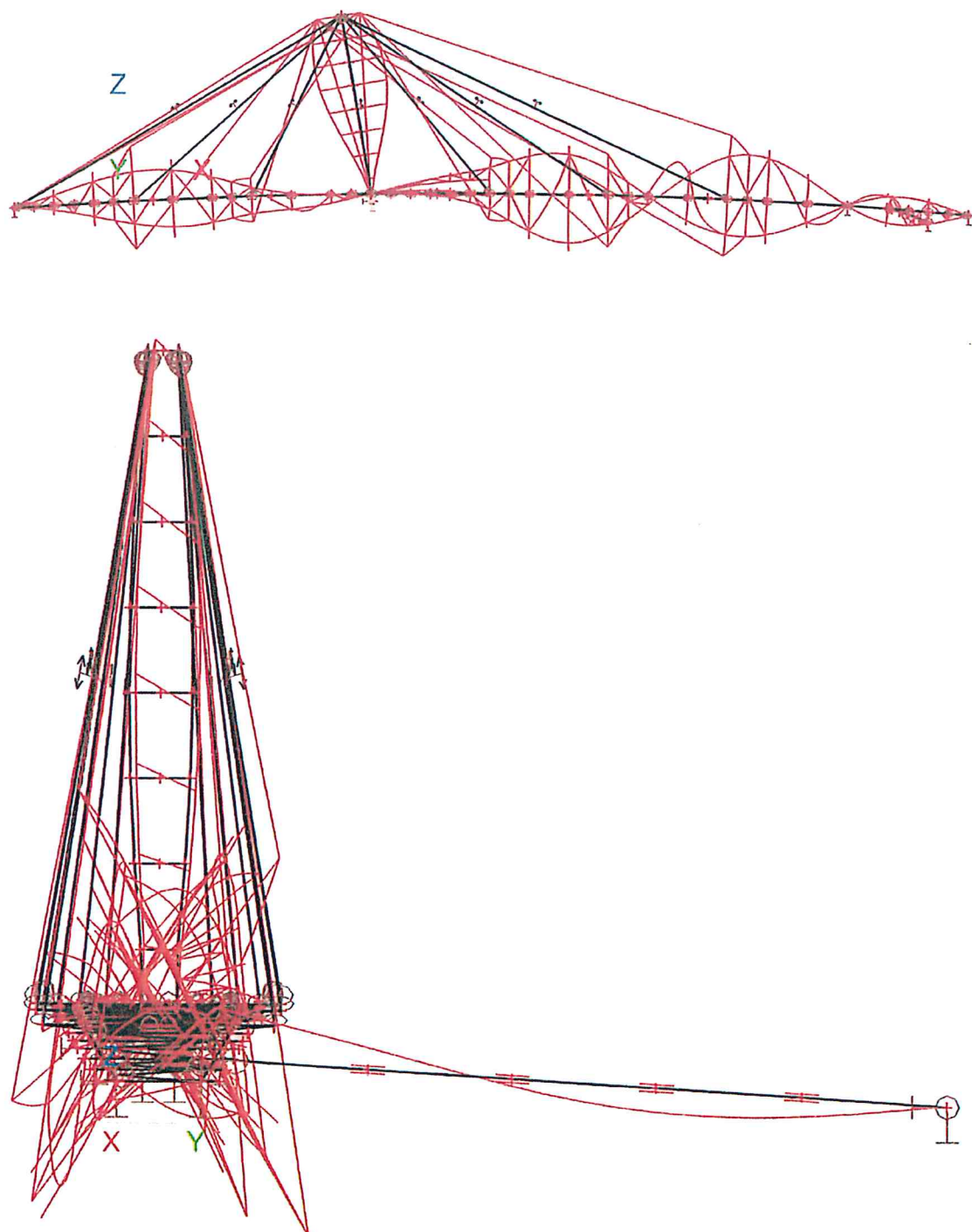
1. Vlastní tvar



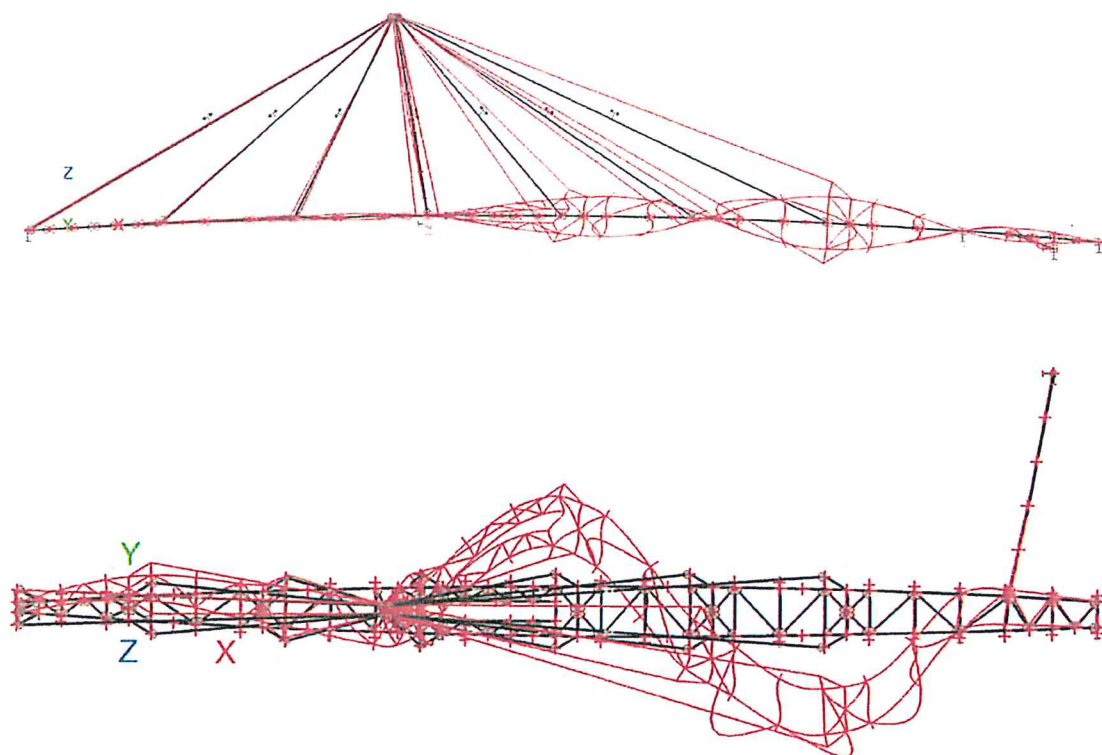
2. Vlastní tvar



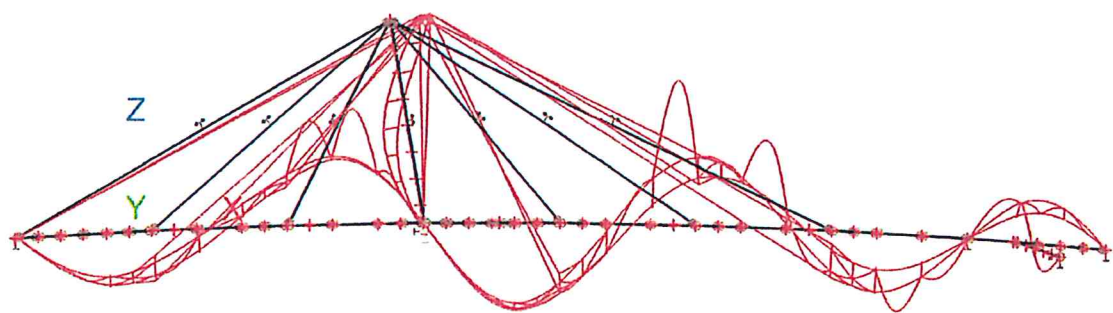
13. Vlastní tvar



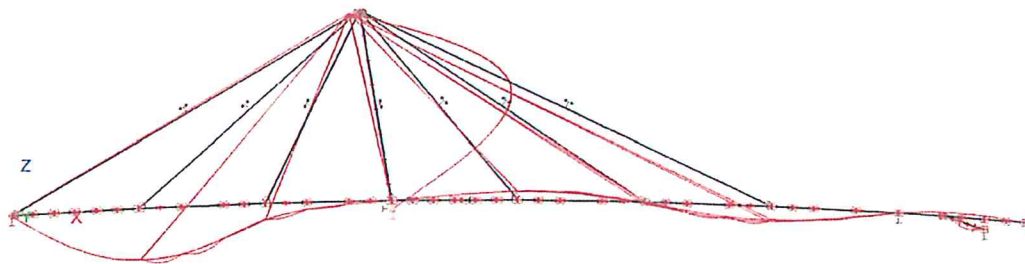
11. Vlastní tvar



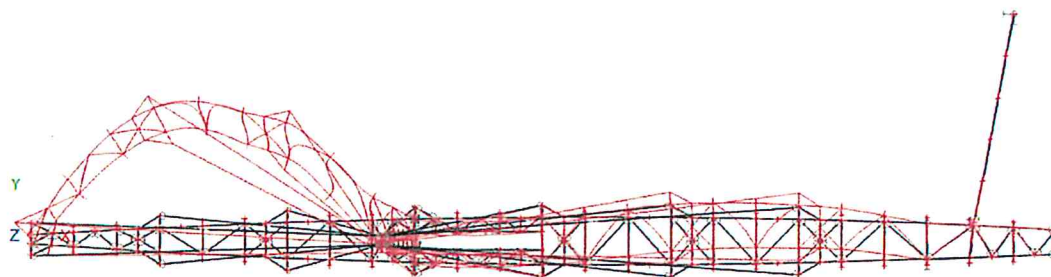
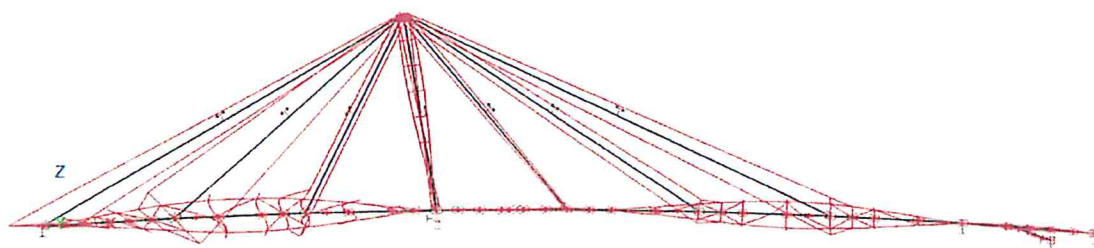
12. Vlastní tvar



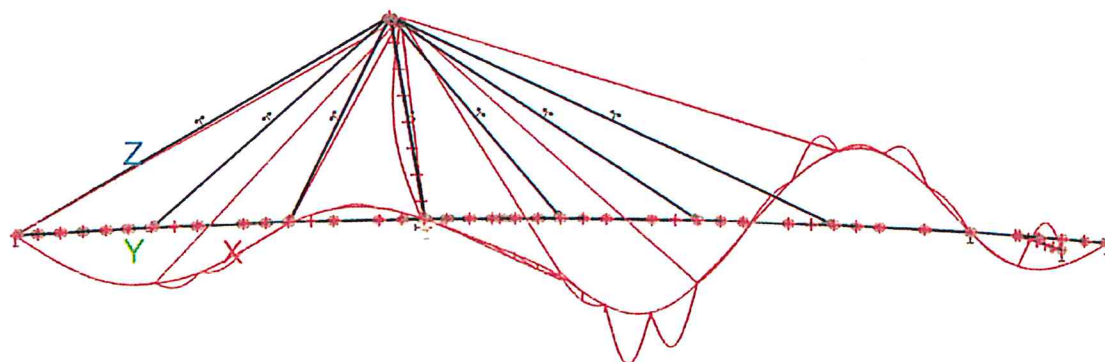
8. Vlastní tvar



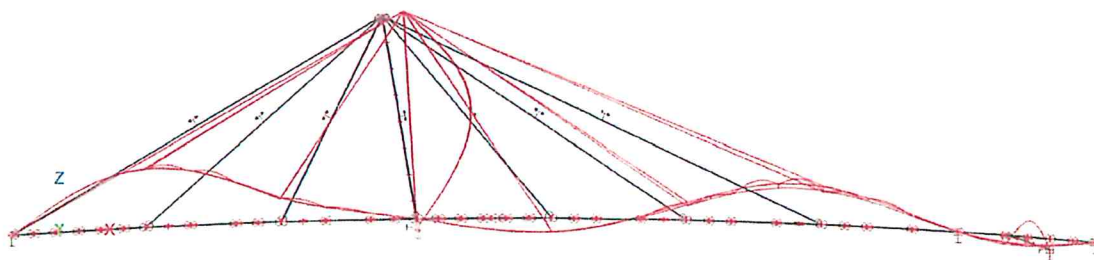
9. Vlastní tvar



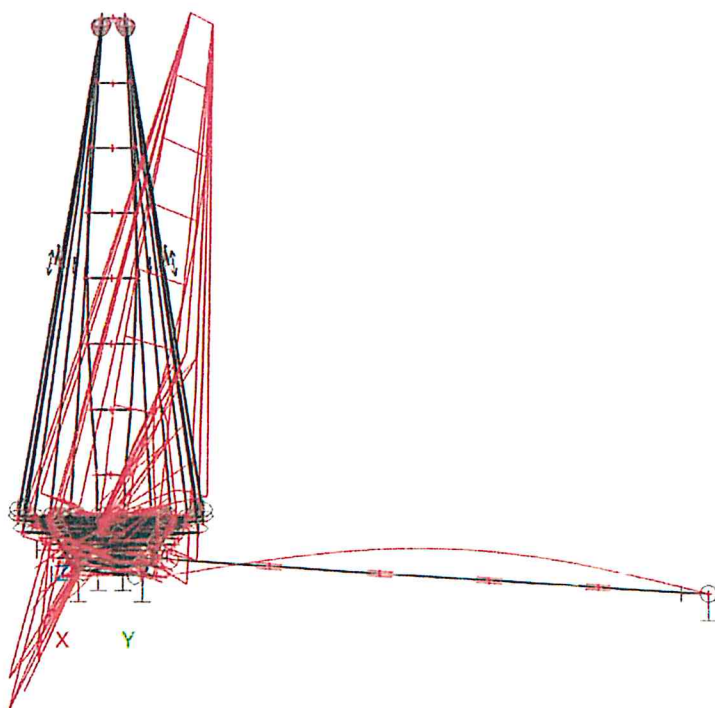
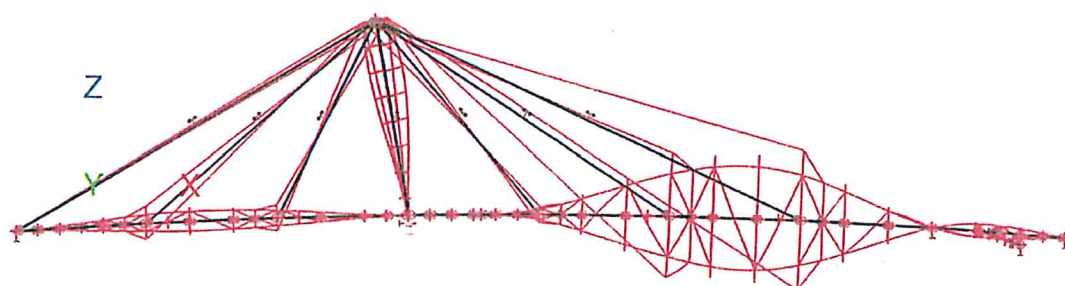
10. Vlastní tvar



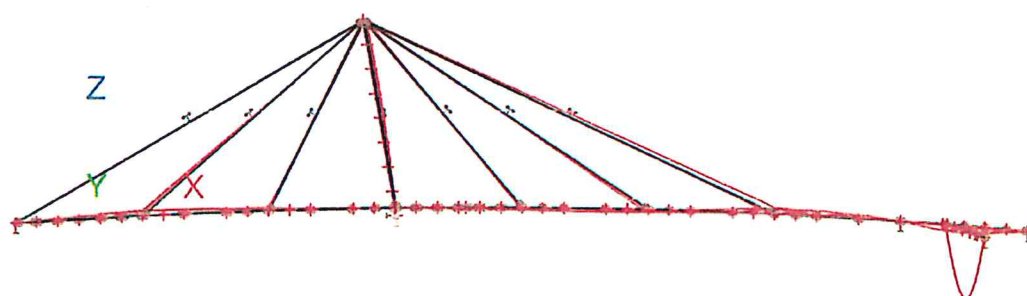
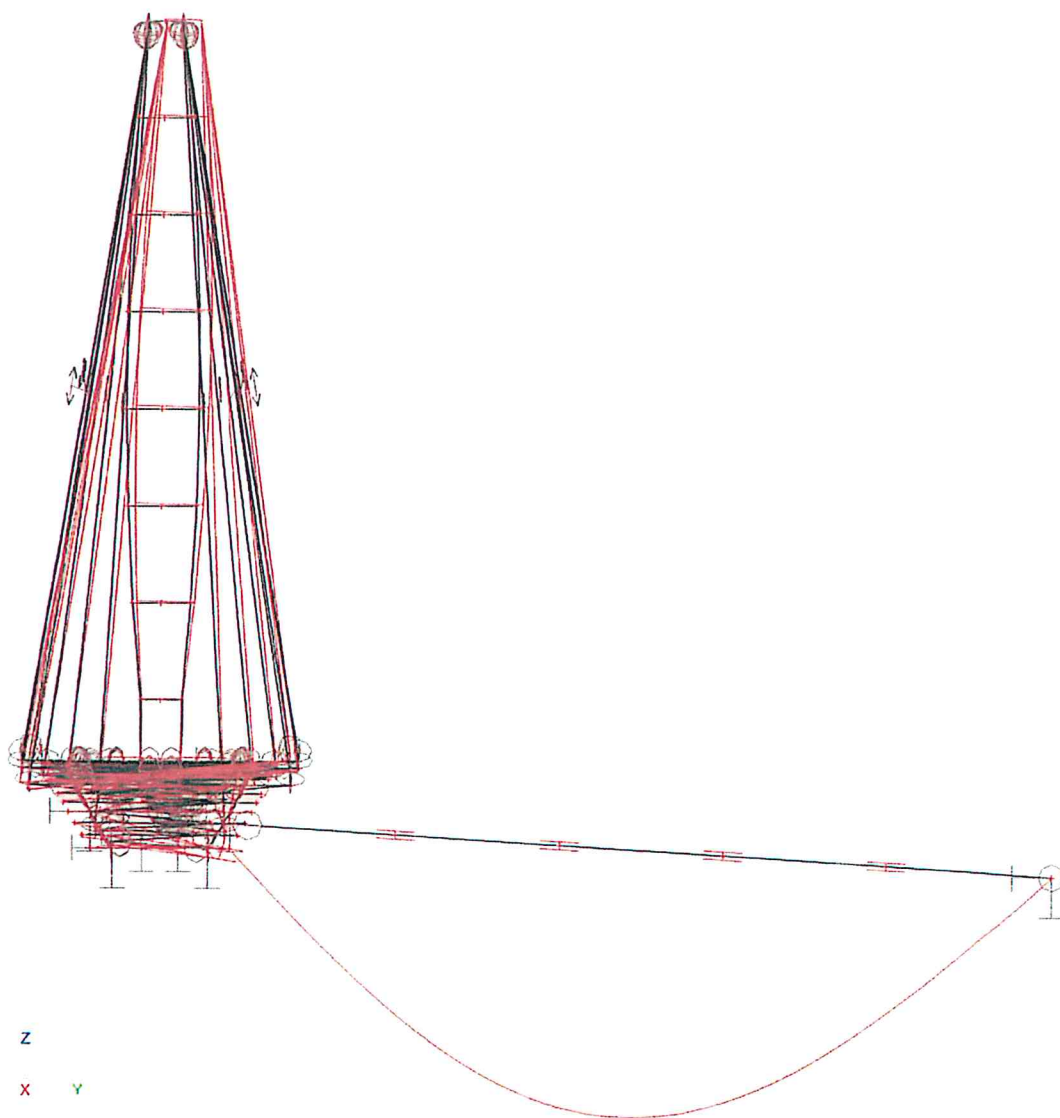
6. Vlastní tvar



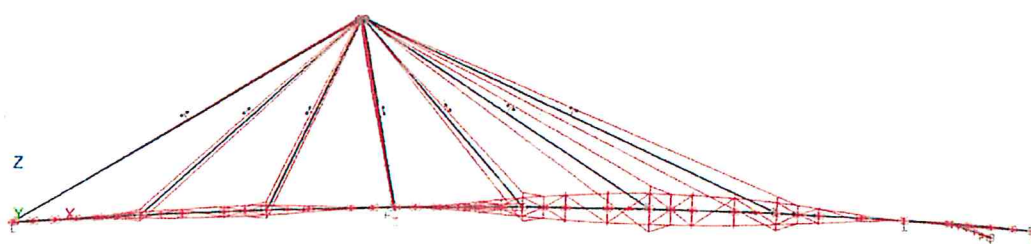
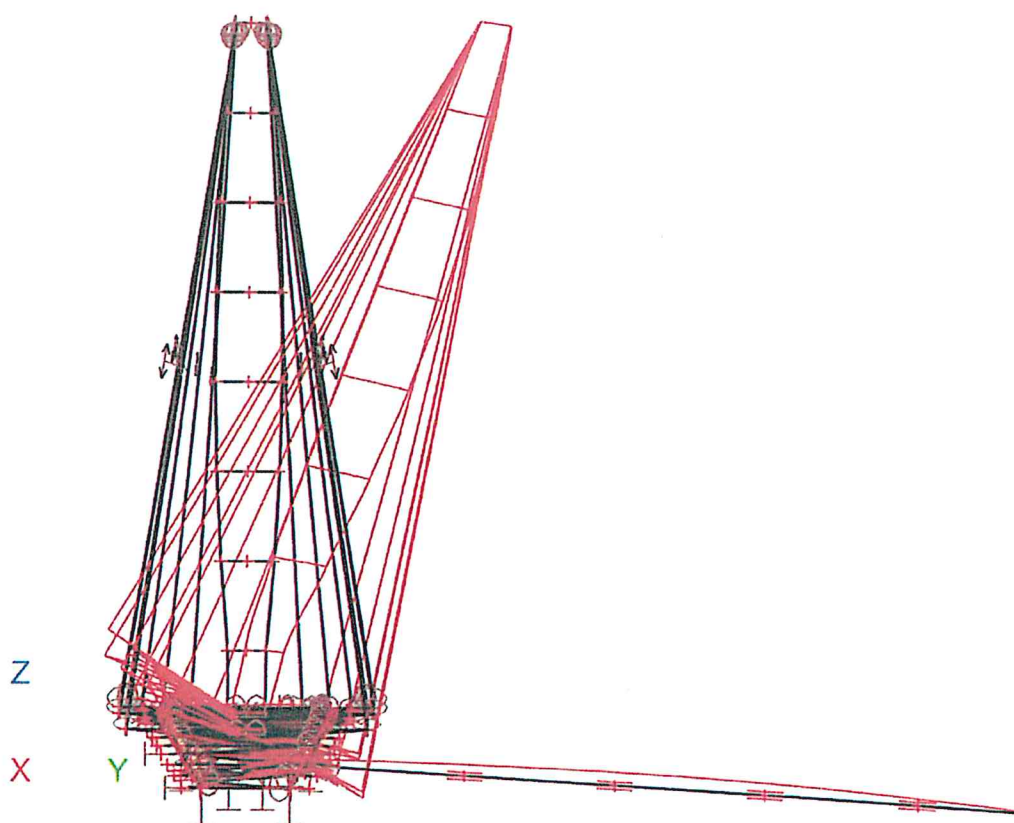
7. Vlastní tvar



5. Vlastní tvar

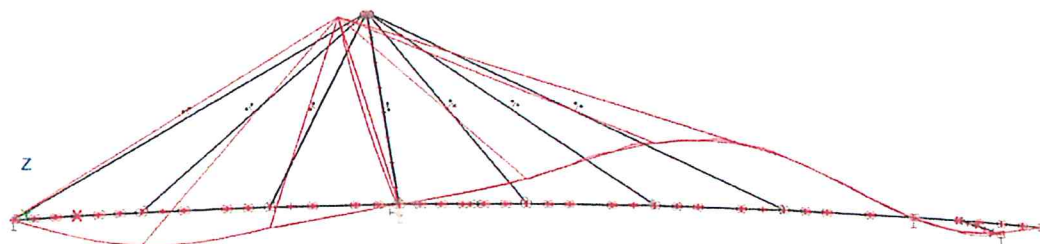


4. Vlastní tvar



Vlastní tvary - bez pohlcovače

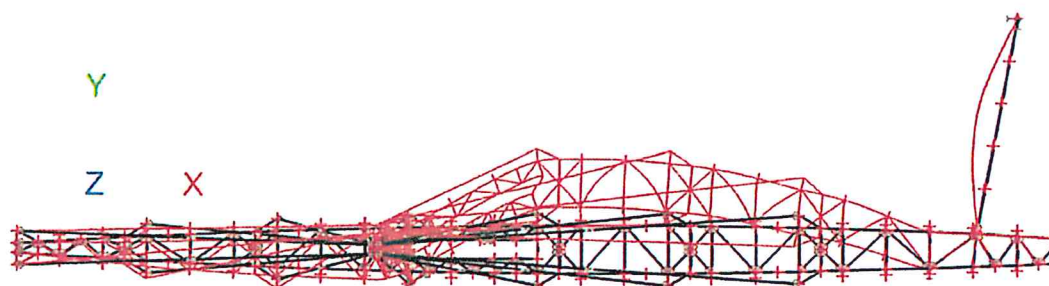
1. Vlastní tvar



2. Vlastní tvar



3. Vlastní tvar



9 PŘÍLOHA 1 – VLASTNÍ TVARY

7 ZÁVĚR

Dynamický výpočet ukazuje, že nosná konstrukce lávky je náchylná ke kmitání a že některé vlastní frekvence spadají do rozmezí krokových frekvencí vyvolávaných chodci. Z provedené dynamické analýzy vyplynulo, že konstrukce lávky bez pohlcovačů tlumení může při buzení chodci vykazovat výrazně vyšší úroveň vibrací mostovky, než dovolují platné normy [1]. Proto byly navrženy pohlcovače tlumení, které mají vibrace snížit. Dynamický výpočet s pohlcovači potvrdil jejich účinnost a prokázal, že vibrace se jejich vlivem sníží pod povolené limity.

Nutno zdůraznit, že výsledky výpočtu bude nutné ověřit experimentálně dynamickou zatěžovací zkouškou, jejíž výsledky rozhodnou o nutnosti instalace pohlcovačů kmitání. Výsledné parametry pohlcovačů kmitání budou upraveny na základě výsledků zatěžovací zkoušky.

8 LITERATURA

- [1] EN 1990: Zásady navrhování konstrukcí
- [2] Studničková M: Ověření lávek od dynamického zatížení chodci. Stavební obzor 5/2011.

Grafické znázornění vlastních tvarů viz příloha 1. Z tabulky je patrné, že první vlastní frekvence se vlivem osazení pohlcovačů rozdělila na dvě (1,34 Hz a 1,52 Hz) a přibyla vlastní frekvence 1,39 Hz reprezentující možné protiběžné kmitání pohlcovačů. Ostatní vlastní frekvence zůstaly stejné.

6 ZATÍŽENÍ KONSTRUKCE BUDÍCÍM ZATÍŽENÍM OD CHODCŮ S POHLCOVAČI TLUMENÍ

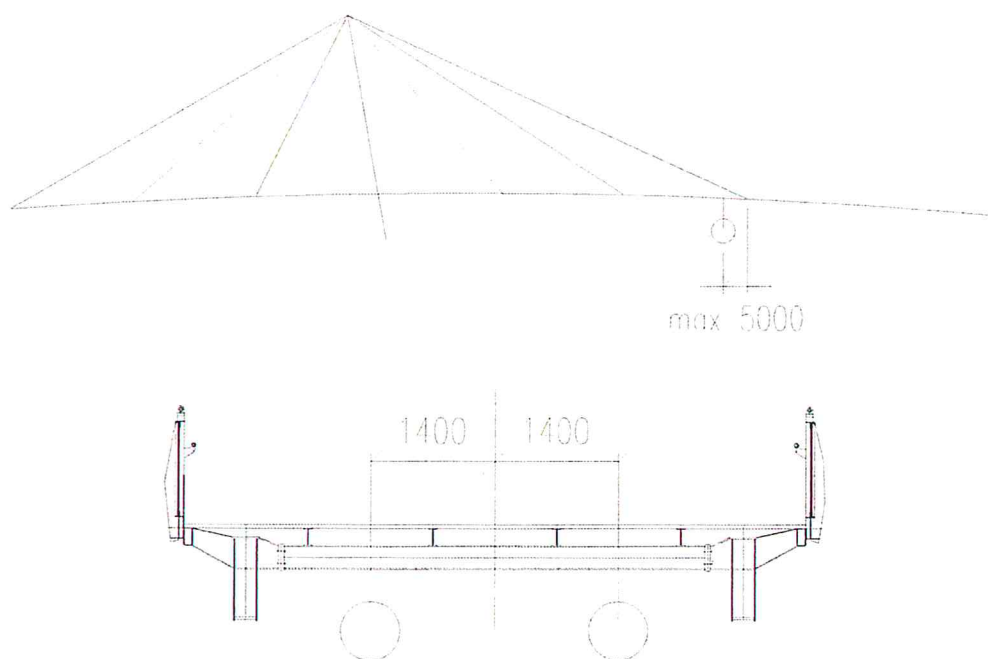
Vzhledem k tomu, že vlivem pohlcovačů kmitání došlo ke změnám ve vlastních frekvencích, upravíme budící zatížení pro jednotlivé frekvence, viz následující tabulka:

	f [Hz]	1 Chodec N	d osob / m ²	χ -	ξ -	S m ²	N osoby	Neq osoby	F(t) N/m ²
1	1,34	280	0,5	0,49	0,004	708	354	12,9	$F(t) = 2,47 \times \cos(8,4 \text{ t})$
2	1,39	280	0,5	0,56	0,004	708	354	12,9	$F(t) = 2,83 \times \cos(8,7 \text{ t})$
3	1,52	280	0,5	0,74	0,004	708	354	12,9	$F(t) = 3,78 \times \cos(9,5 \text{ t})$
4	1,97	7	0,8	1,00	0,004	50	40	4,3	$F(t) = 0,60 \times \cos(12,4 \text{ t})$
5	2,01	7	0,8	1,00	0,004	633	506	15,4	$F(t) = 0,17 \times \cos(12,6 \text{ t})$
6	2,17	280	0,5	0,86	0,004	583	292	11,7	$F(t) = 4,82 \times \cos(13,6 \text{ t})$
7	2,53	280	0,5	0,14	0,004	50	25	3,4	$F(t) = 2,68 \times \cos(15,9 \text{ t})$
8	2,88	70	0,8	0,35	0,004	708	566	16,3	$F(t) = 0,56 \times \cos(18,1 \text{ t})$
9	3,14	70	0,8	0,68	0,004	708	566	16,3	$F(t) = 1,08 \times \cos(19,7 \text{ t})$
10	3,27	70	0,8	0,84	0,004	708	566	16,3	$F(t) = 1,35 \times \cos(20,5 \text{ t})$
12	3,95	70	0,8	1,00	0,004	708	566	16,3	$F(t) = 1,61 \times \cos(24,8 \text{ t})$

Vypočtenou odezvu na budící zatížení pro jednotlivé vlastní frekvence shrnuje následující tabulka:

	f [Hz]	Typ kmitání	$u_{\max, \text{dyn}}$ mm	a_{\max} m/s ²
1	1,34	Svislé - Mostovka	0,8	0,06
2	1,39	Torzni mostovka (svislé)	0,1	0,01
3	1,52	Svislé - Mostovka	1,7	0,15
4	1,97	Vodorovné - Rampa	1,2	0,18
5	2,01	Vodorovné příčné mostovka a rampa	0,4	0,06
6	2,17	Torzni mostovka (svislé)	3,2	0,59
7	2,53	Svislé - Rampa	2,6	0,66
8	2,88	Svislé mostovka a rampa	0,6	0,20
9	3,14	Torzni mostovka (svislé)	1,5	0,58
10	3,27	Svislé mostovka	0,6	0,25
12	3,95	Svislé mostovka a rampa	1,0	0,62

Z tabulky je patrné, že instalace pohlcovačů tlumení výrazně snižuje hodnoty zrychlení na mostovce, které se nyní dostávají do normou povolených limitů.



5 VYŠETŘENÍ VLASTNÍCH FREKVENCÍ A TVARŮ NOSNÉ KCE S POHLCOVAČI TLUMENÍ

Do výpočetního modelu lávky byly vloženy pohlcovače tlumení s výše uvedenými parametry. Výpočet vlastních tvarů a frekvencí proběhl se zohledněním nerovnoměrného útlumu způsobeného viskózním útlumem pohlcovačů. Vypočtené vlastní frekvence a tvary, viz následující tabulka:

	f [Hz]	Typ kmitání
1	1,34	Svislé - Mostovka
2	1,39	Torzní mostovka (svislé)
3	1,52	Svislé - Mostovka
4	1,97	Vodorovné - Rampa
5	2,01	Vodorovné příčné mostovka a rampa
6	2,17	Torzní mostovka (svislé)
7	2,53	Svislé - Rampa
8	2,88	Svislé mostovka a rampa
9	3,14	Torzní mostovka (svislé)
10	3,27	Svislé mostovka
11	3,74	Vodorovné mostovka
12	3,95	Svislé mostovka a rampa
13	5,04	Vodorovné a torzní mostovka
14	5,48	Svislé - Mostovka
15	5,59	Torzní mostovka
16	6,38	Torzní mostovka

Vypočtenou odezvu na budící zatížení pro jednotlivé vlastní frekvence shrnuje následující tabulka:

	f [Hz]	Typ kmitání	$u_{\max, \text{dyn}}$ mm	a_{\max} m/s ²
1	1,47	Svislé - Mostovka	20	1,70
2	1,97	Vodorovné - Rampa	2,4	0,37
3	2,02	Vodorovné příčné mostovka a rampa	1	0,16
4	2,17	Torzni mostovka (svislé)	34	6,31
5	2,53	Svislé - Rampa	6	1,51
6	2,88	Svislé mostovka a rampa	1	0,33
7	3,14	Torzni mostovka (svislé)	1,9	0,74
8	3,27	Svislé mostovka	1	0,42
10	3,97	Svislé mostovka a rampa	1,7	1,06

Z tabulky je zřejmé, že vypočtené maximální hodnoty zrychlení na mostovce a_{\max} překračují limitní hodnoty uvedené v [1]:

$a \leq 0,7 \text{ m/s}^2$ pro svislé kmitání

$a \leq 0,2 \text{ m/s}^2$ pro vodorovné kmitání za běžného provozu

4 NÁVRH POHLCOVAČE TLUMENÍ

Z výše uvedených výsledků je zřejmé, že je nutné návrhem vhodného pohlcovače tlumení utlumit zejména tyto vlastní frekvence:

	f [Hz]	Typ kmitání	$u_{\max, \text{dyn}}$ mm	a_{\max} m/s ²
1	1,47	Svislé - Mostovka	20	1,70
4	2,17	Torzni mostovka (svislé)	34	6,31
5	2,53	Svislé - Rampa	6	1,51
7	3,14	Torzni mostovka (svislé)	1,9	0,74
10	3,97	Svislé mostovka a rampa	1,7	1,06

Pro utlumení svislého a torzního kmitání byla navržena dvojice pohlcovačů kmitání s těmito parametry:

Hmotnost jednoho pohlcovače:	500 kg
Celková tuhost pružin jednoho pohlcovače:	38,5 kN/m
Poměrný viskózní útlum pohlcovače	0,2

Hmotnost obou pohlcovačů je 1000 kg, což odpovídá cca 5% kmitající hmoty (pro 1. Vlastní tvar s frekvencí 1,47 Hz činí kmitající hmota cca 19000 kg). Tuhost pružin vychází z požadovaného naladění tlumiče na 95% 1. vlastní frekvence, tj. $0,95 \times 1,47 = 1,4 \text{ Hz}$. Poměrný útlum pohlcovače udávaný výrobcem (Gerb) činí 0,2.

Umístění pohlcovačů v konstrukci (podélně a příčně) ukazuje následující obrázek:

3 ZATÍŽENÍ KONSTRUKCE BUDÍCÍM ZATÍŽENÍM OD CHODCŮ

Dle [1] je nutné vyšetřit odezvu chodců na tyto vlastní frekvence:

- Pro svislé kmitání pro $f < 5$ Hz
- Pro vodorovné kmitání $f < 2,5$ Hz

Budící zatížení bylo uvažováno jako harmonické zatížení afinní k příslušným vlastním tvarům s frekvencemi odpovídajícími vlastním frekvencím. Budící zatížení působí vždy na kmitající ploše lávky nebo boční rampy. Budící zatížení bylo uvažováno obecně dle [2]:

$$\begin{aligned} F(t) &= 280 \cdot \chi \cdot (N_{eq} / S) \cdot \cos(2\pi \cdot f \cdot t) \quad \text{N/m}^2 && \text{Pro svislé kmitání } f < 2,6 \text{ Hz} \\ F(t) &= 70 \cdot \chi \cdot (N_{eq} / S) \cdot \cos(2\pi \cdot f \cdot t) \quad \text{N/m}^2 && \text{Pro svislé kmitání } 2,6 < f < 5,0 \text{ Hz} \\ F(t) &= 35 \cdot \chi \cdot (N_{eq} / S) \cdot \cos(2\pi \cdot f \cdot t) \quad \text{N/m}^2 && \text{Pro vodorovné kmitání } f < 1,3 \text{ Hz} \\ F(t) &= 7 \cdot \chi \cdot (N_{eq} / S) \cdot \cos(2\pi \cdot f \cdot t) \quad \text{N/m}^2 && \text{Pro vodorovné kmitání } 1,3 \text{ Hz} < f < 2,5 \text{ Hz} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kde: } N_{eq} &= 10,8 \cdot (\xi \cdot N) \\ N &= d \cdot S \end{aligned}$$

X – Redukční součinitel

N_{eq} – Ekvivalentní počet chodců osoby/m²

S – Zatížená (kmitající) plocha lávky m²

d – Hustota chodců (dle frekvence uvažovaná hodnotou 0,5 nebo 0,8 osoby / m²)

N – Počet chodců na lávce

ξ – Hodnota poměrného útlumu, pro ocelové lávky uvažovaná 0,4%

Parametry budícího zatížení a výsledné rovnice pro jednotlivé vlastní frekvence shrnuje následující tabulka:

	1 Chodec	d	χ	ξ	S	N	Neq	F(t)	
	f [Hz]	N	osob / m2	-	-	m2	osoby	osoby	N/m2
1	1,47	280	0,5	0,67	0,004	708	354	12,9	F(t) = 3,41 x cos(9,2 t)
2	1,97	7	0,8	1,00	0,004	50	40	4,3	F(t) = 0,60 x cos(12,4 t)
3	2,02	7	0,8	1,00	0,004	633	506	15,4	F(t) = 0,17 x cos(12,7 t)
4	2,17	280	0,5	0,86	0,004	583	292	11,7	F(t) = 4,82 x cos(13,6 t)
5	2,53	280	0,5	0,14	0,004	50	25	3,4	F(t) = 2,68 x cos(15,9 t)
6	2,88	70	0,8	0,35	0,004	708	566	16,3	F(t) = 0,56 x cos(18,1 t)
7	3,14	70	0,8	0,68	0,004	708	566	16,3	F(t) = 1,08 x cos(19,7 t)
8	3,27	70	0,8	0,84	0,004	708	566	16,3	F(t) = 1,35 x cos(20,5 t)
10	3,97	70	0,8	1,00	0,004	708	566	16,3	F(t) = 1,61 x cos(24,9 t)

1 ÚVOD

Vzhledem k tomu, že ocelová konstrukce lávky je náchylná ke kmitání vyvolaném pohybem chodců, byl proveden dynamický výpočet. K tomu byl použit statický program Scia Engineer 2012. Výpočet se sestává z následujících kroků:

- 1) Vyšetření vlastních frekvencí a tvarů nosné konstrukce
- 2) Zatížení konstrukce budícím zatížením od pohybu chodců a vyšetření odezvy
- 3) Návrh pohlcovače tlumení
- 4) Vyšetření vlastních frekvencí a tvarů nosné konstrukce s pohlcovačem tlumení
- 5) Zatížení konstrukce budícím zatížením od pohybu chodců a vyšetření odezvy na konstrukci opatřené pohlcovačem kmitání

2 VYŠETŘENÍ VLASTNÍCH FREKVENCÍ A TVARŮ NOSNÉ KCE

Vlastní frekvence a tvary byly vyšetřeny za těchto předpokladů:

- Do statického modelu vloženy podélníky mostovky zvyšující tuhost nosné konstrukce
- Konstrukce zatížena vlastní tíhou nosné konstrukce - do výpočtu zahrnuto automaticky
- Konstrukce zatížena vlastní tíhou mostovky – do výpočtu zahrnuto jako skupina hmot vygenerovaná ze zatěžovacího stavu vlastní tíhy mostovky a zábradlí
- Konstrukce zatížena spojitým proudem chodců po celé ploše mostovky včetně boční rampy. Zatížení chodci odpovídá 0,35 kN/m², do výpočtu je zahrnuto jako skupina hmot.

Vypočtené vlastní frekvence viz následující tabulka:

	f [Hz]	Typ kmitání
1	1,47	Svislé – Mostovka
2	1,97	Vodorovné – Rampa
3	2,02	Vodorovné příčné mostovka a rampa
4	2,17	Torzní mostovka (svislé)
5	2,53	Svislé – Rampa
6	2,88	Svislé mostovka a rampa
7	3,14	Torzní mostovka (svislé)
8	3,27	Svislé mostovka
9	3,74	Vodorovné mostovka
10	3,97	Svislé mostovka a rampa
11	5,07	Vodorovné a torzní mostovka
12	5,48	Svislé – Mostovka
13	5,6	Torzní mostovka
14	6,38	Torzní mostovka

Grafické znázornění vlastních tvarů viz příloha 1.

**DYNAMICKÝ VÝPOČET****OBSAH**

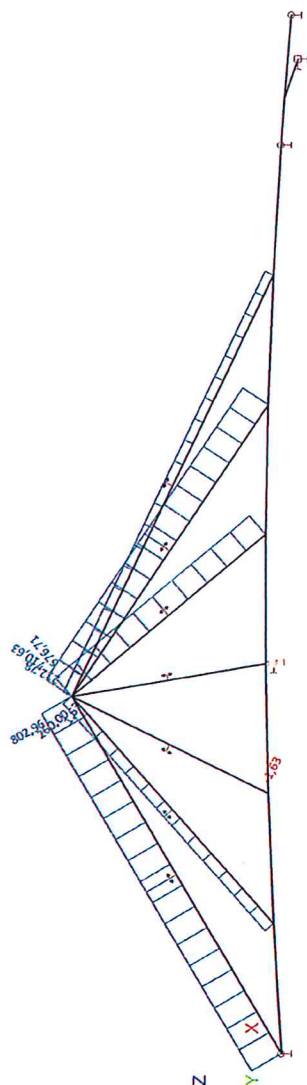
1	ÚVOD	3
2	VYŠETŘENÍ VLASTNÍCH FREKVENCÍ A TVARŮ NOSNÉ KCE	3
3	ZATÍŽENÍ KONSTRUKCE BUDÍCÍM ZATÍŽENÍM OD CHODCŮ	4
4	NÁVRH POHLCOVAČE TLUMENÍ.....	5
5	VYŠETŘENÍ VLASTNÍCH FREKVENCÍ A TVARŮ NOSNÉ KCE S POHLCOVAČÍ TLUMENÍ.....	6
6	ZATÍŽENÍ KONSTRUKCE BUDÍCÍM ZATÍŽENÍM OD CHODCŮ S POHLCOVAČÍ TLUMENÍ.....	7
7	ZÁVĚR.....	8
8	LITERATURA	8
9	PŘÍLOHA 1 – VLASTNÍ TVARY.....	9

KREJCAROVÁ LÁVKA

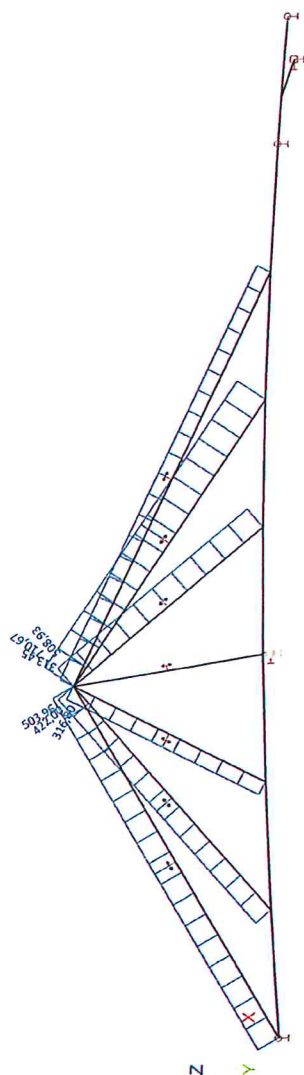
OCELOVÉ KONSTRUKCE

DYNAMICKÝ VÝPOČET

58. SÍLY V ZÁVĚSECH-STAV NC7



57. SÍLY V ZÁVĚSECH-STAV NC5



56. SÍLY V ZÁVĚSECH - STAV NC3

