

ČÍSLO PŘE

PROJEKT:	LÁVKA PRO PĚŠÍ A CYKLISTY PŘES VLTAVU V LUŽCI NAD VLTAVOU	
STUPEŇ PROJEKTU:	DOKUMENTACE PRO STAVEBNÍ POVOLENÍ	
INVESTOR:	OBEC LUŽEC NAD VLTAVOU 1. Máje 176, 277 06 – Lužec nad Vltavou	
HLAVNÍ PROJEKTANT:	Ing. Petr Tej, Ph.D., Ing.arch. Marek Blank Nad Tratí 386/15, 160 00 Praha 6 – Dejvice, t: +420 775602006, e: marek.blank@seznam.cz	
ZODPOVĚDNÝ PROJEKTANT:	Ing.arch. Marek Blank	
PROJEKTANT ČÁSTI:	Doc.Ing. Lukáš Vráblík, Ph.D. Jeseniova 1892/109, 130 00 Praha 3 – Žižkov	
ČÁST DOKUMENTACE:	C	STAVEBNÍ ČÁST
VÝKRES:	C.1.12	STATICKÝ VÝPOČET
		DATUM: 09/2017
		MĚŘÍTKO: —

Lávka pro pěší a cyklisty přes Vltavu v Lužci nad Vltavou

Předběžné statické a dynamické posouzení konstrukce

Zpracoval:

Doc. Ing. Lukáš Vráblík, Ph.D.

Praha, prosinec 2014

OBSAH

SEZNAM OBRÁZKŮ	II
1 ÚVOD.....	- 3 -
2 POPIS KONSTRUKCE	- 3 -
3 POPIS MODELU KONSTRUKCE	- 3 -
4 ZATÍŽENÍ	- 3 -
5 STATICKÝ VÝPOČET MOSTNÍ KONSTRUKCE	- 4 -
6 MODÁLNÍ ANALÝZA KONSTRUKCE.....	- 6 -
7 ZÁVĚR	- 9 -

SEZNAM OBRÁZKŮ

OBR. 1 VÝPOČETNÍ MODEL KONSTRUKCE	- 4 -
OBR. 2 UKÁZKA VÝSLEDNÉHO CHOVÁNÍ KONSTRUKCE – DEFORMACE (SVISLÝ PRŮHYB) OD VLASTNÍ TÍHY MOSTOVKY	- 5 -
OBR. 3 1. VLASTNÍ TVAR KMITÁNÍ KONSTRUKCE.....	- 6 -
OBR. 4 2. VLASTNÍ TVAR KMITÁNÍ KONSTRUKCE.....	- 6 -
OBR. 5 3. VLASTNÍ TVAR KMITÁNÍ KONSTRUKCE.....	- 7 -
OBR. 6 4. VLASTNÍ TVAR KMITÁNÍ KONSTRUKCE.....	- 7 -
OBR. 7 5. VLASTNÍ TVAR KMITÁNÍ KONSTRUKCE.....	- 7 -
OBR. 8 6. VLASTNÍ TVAR KMITÁNÍ KONSTRUKCE.....	- 7 -
OBR. 9 7. VLASTNÍ TVAR KMITÁNÍ KONSTRUKCE.....	- 8 -
OBR. 10 8. VLASTNÍ TVAR KMITÁNÍ KONSTRUKCE.....	- 8 -
OBR. 11 9. VLASTNÍ TVAR KMITÁNÍ KONSTRUKCE.....	- 8 -
OBR. 12 10. VLASTNÍ TVAR KMITÁNÍ KONSTRUKCE.....	- 8 -

1 Úvod

Tento výpočet je zpracován jako součást předběžného statického a dynamického posouzení mostní konstrukce navržené lávky pro pěší a cyklisty přes Vltavu v Lužci nad Vltavou. Analyzováno bylo chování mostní konstrukce s ohledem na její statické namáhání a dynamické charakteristiky.

Posouzení spodní stavby a založení nebylo předmětem tohoto statického výpočtu, detailně bude řešeno v následujícím stupni projektové dokumentace.

2 POPIS KONSTRUKCE

Konstrukce lávky je navržena jako zavěšená předpjatá konstrukce s mostovkou s prefabrikovaných dílců z UHPC a s ocelovým pylonem ve tvaru písmena „A“. Mostovka je spojitým nosníkem o dvou polích s délkami 100,0 a 24,0 m. V hlavním poli je zavěšena pomocí 15-ti závěsů na pylon. V krajním poli pak pomocí tří závěsů opět na pylon a jedním „reversním“ závěsem, který slouží k ukotvení pylonu a zaručuje tak celkovou stabilitu systému. Mostovka je složena z prefabrikovaných dílců z UHPC, které jsou uloženy do monolitických dvou krajních a jednoho vnitřního příčnicku.

Vzhledem k požadavku na zachování minimálního tlakového napětí **-1 MPa** ve spáře mezi prefabrikáty pro všechny přípustné kombinace zatížení je navrženo montážní sepnutí prefabrikátů pomocí předpínacích tyčí a následně finální předpětí pomocí dvojice volných kabelů procházejících skrze otvory prefabrikovaných dílců.

Konstrukce je na krajních opěrách a na pylonu uložena vždy na dvojici ložisek. Pevný bod z hlediska podélného posunu je na krajní opěře O3.

Krajní opěry jsou masivní betonové, pylon je navržen jako svařovaný z oceli S 355.

Založení konstrukce je uvažováno hlubinné na pilotách.

3 POPIS MODELU KONSTRUKCE

Výpočetní analýzy konstrukce byla provedena v programu SCIA ENGINEER 2013. Výpočetní model je koncipován jako deskostěnový se skořepinovými prvky pro modelování mostovky a pylonu a prvky prutovými pro modelování závěsů. Závěsy jsou uvažovány jako lanové prvky schopné přenášet pouze osovou tahovou sílu.

Výpočet je s ohledem na charakter konstrukce prováděn jako fyzikálně a materiálově nelineární.

4 ZATÍŽENÍ

Zatížení uvažované ve statickém výpočtu odpovídá charakteru konstrukce a platným normám pro navrhování takovýchto konstrukcí. Obecně je možné rozdělit toto zatížení do dvou základních skupin:

- zatížení stálé - reprezentuje vlastní tíhu samotné konstrukce a veškerých dodatečných trvalých součástí mostní konstrukce v souladu s ČSN EN 1991-1-1 (zábradlí,)
- zatížení nahodilé (užitné) - reprezentuje přetížení mostní konstrukce dané její funkcí – pěší provoz na mostě, pojezd vozidla integrovaného záchranného systému, klimatická zatížení (vítr, teplota, sníh)

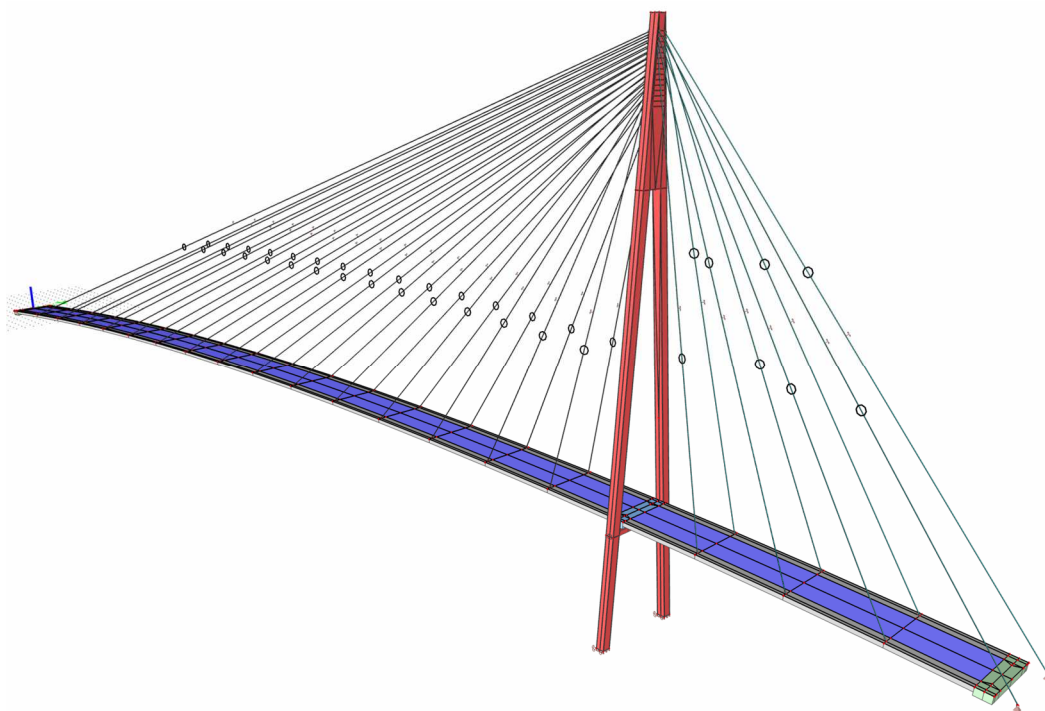
Pro předběžné statické posouzení byla uvažena následující rozhodující zatížení:

Označení	Popis	Poznámka
ZS_1	Vlastní tíha nosné konstrukce - automaticky generováno programem ze zadané geometrie	$\gamma = 26,0 \text{ kN/m}^3$
ZS_2	Ostatní stálé zatížení – zábradlí a rezerva	2 kN/m'
ZS_3	Poklesy podpor vyvolané imperfekcí podpůrné konstrukce a sedáním	
ZS_4a*)	Užitné zatížení – pohyb chodců na konstrukci	4 kN/m^2
ZS_4b*)	Užitné zatížení sněhem – vozidlo integrovaného záchranného systému	$3,5 \text{ t} = 35 \text{ kN}$
ZS_5	Účinek teploty - rovnoměrné ohřátí celé konstrukce	
ZS_6	Účinek teploty - rovnoměrné ochlazení celé konstrukce	
ZS_7	Účinek teploty - nerovnoměrné ohřátí celé konstrukce	
ZS_8	Účinek teploty - nerovnoměrné ochlazení celé konstrukce	

*) Při výpočtu uvaženo zatížení v polohách vyvolávající extrémní účinky pro analyzované části konstrukce, využito příčinkových ploch

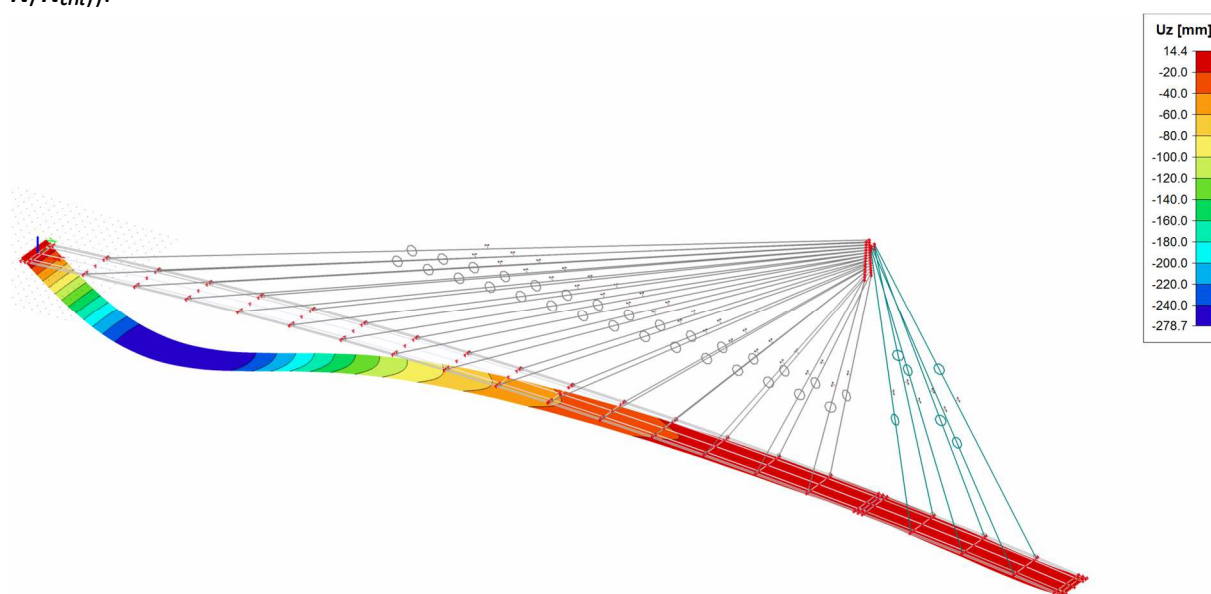
5 STATICKÝ VÝPOČET MOSTNÍ KONSTRUKCE

Pro výpočetní analýzu konstrukce byl vytvořen prostorový výpočetní model respektující přesně veškeré geometrické parametry konstrukce. Pro výpočetní model mostovky a pylonu byly použity 2D skořepinové konečné prvky. Pro modelování



Obr. 1 Výpočetní model konstrukce

Výpočetní analýza konstrukce probíhala v několika úrovních. Snaha byla postihnout v maximální možné míře reálné chování konstrukce ovlivněné postupem výstavby. Při řešení konstrukce bylo vzhledem k jejím dimenzím a statickému působení zohledněno geometricky nelineární chování. Řešena byla i stabilita konstrukce. Výpočet stability konstrukce byl proveden dvěma základními způsoby. Nejdříve byl proveden výpočet klasickým způsobem dle Eulerovského pojetí stability způsobené bifurkační rovnováhy. Při tomto způsobu se hledal násobitel daného zatížení (tzv. kritický násobek), při kterém dojde ke ztrátě stability. Druhý výpočetní postup vycházel z nelineárního řešení konstrukce podle teorie II. řádu. Pro výpočet byly uváženy možné výrobní nepřesnosti (konstrukce byla „předdeformována“). Jejich zadání bylo vždy vztaženo k příslušnému vlastnímu tvaru. Samotný výpočet pak probíhal jako iterační proces, kdy bylo nezbytné stále kontrolovat a porovnávat výsledky dle teorie II. řádu s výsledky přibližné metody (stanovení účinků II. řádu z výsledků statického výpočtu dle teorie I. řádu pomocí součinitele $\chi = 1/(1 - N/N_{crit})$).



Obr. 2 Ukázka výsledného chování konstrukce – deformace (svislý průhyb) od vlastní tíhy mostovky

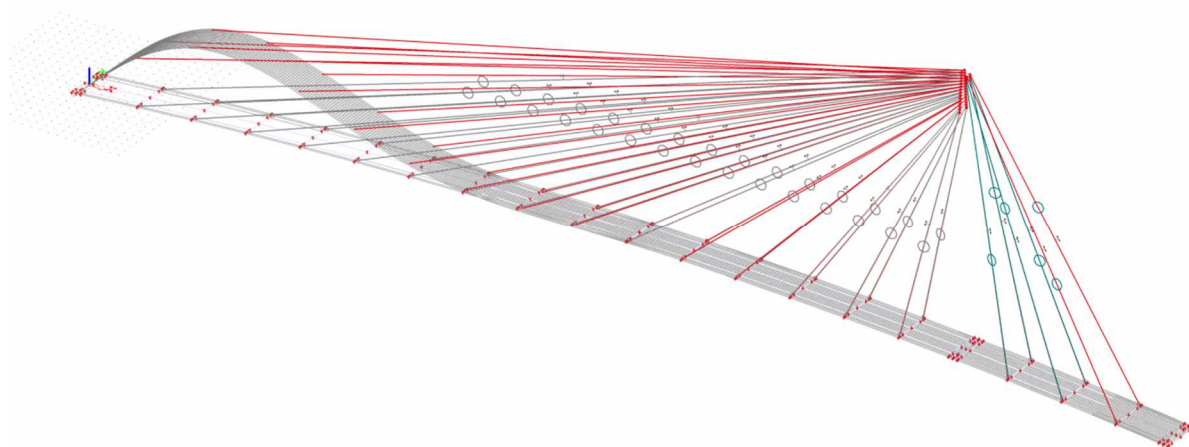
Výsledky základní statické analýzy prokázaly schopnost konstrukce odolávat předepsaným zatížením. Jako rozhodující podmínka pro návrh systému podélného předpětí je požadavek na minimální tlakové napětí ve spáře mezi prefabrikáty rovné alespoň **-1 MPa**.

Závěsy mostovky jsou ve statickém posouzení uváženy jako lana. Pro každé lano je vzhledem k jeho geometrii a průřezovým charakteristikám stanovena minimální tahová síla, která zaručuje jeho téměř lineární chování. Vzhledem k relativně malé hmotnosti mostovky a velkému sklonu závěsů je tak nutné závěsy v průběhu výstavby napínat a následně po dokončení výstavby provést jejich rektifikaci. Jako ideální se tak jeví kontinuální měření indikující síly v těchto závěsech s ohledem na aplikované zatížení a jejich realizované předpětí.

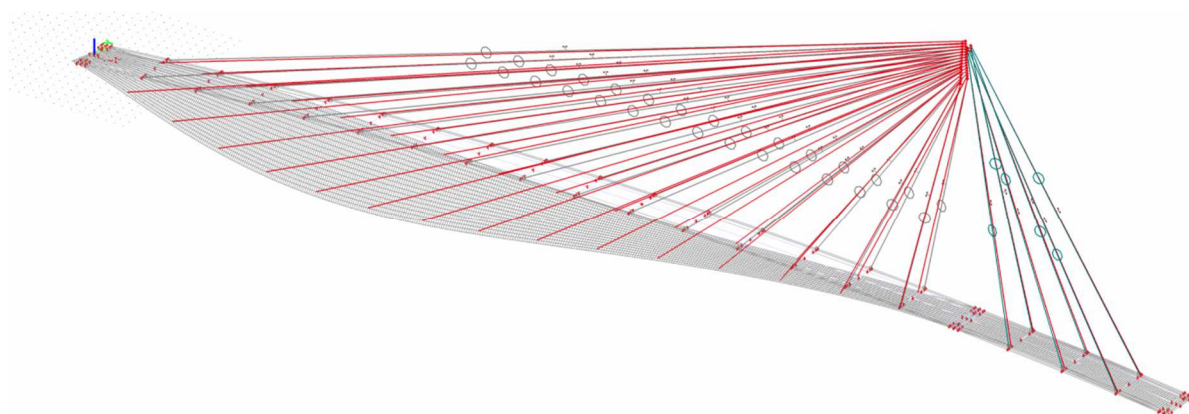
6 MODÁLNÍ ANALÝZA KONSTRUKCE

S ohledem na charakter chování konstrukce byla provedena její základní modální analýza pro stanovení velikosti vlastních frekvencí a příslušných vlastních tvarů. Z výsledků je možné usuzovat o chování konstrukce a pro další stupně projektové dokumentace zvážit použití tlumičů, případně upravit tuhostní a hmotové (rozdělení hmoty po konstrukci) charakteristiky konstrukce. Přehled vlastních frekvencí a popis vlastních tvarů je ukázán v následující tabulce.

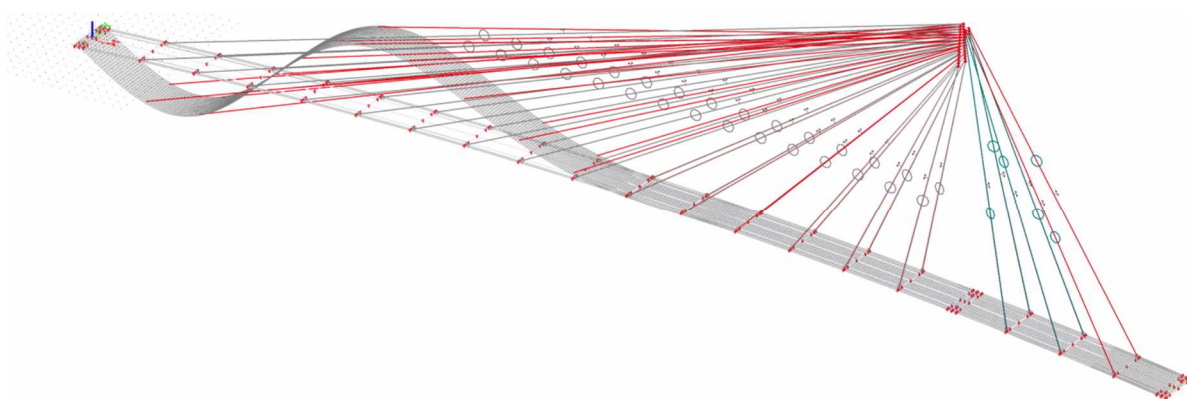
Číslo vlastního tvaru	Frekvence [Hz]	Popis vlastního tvaru
1	1,001	Ohyb mostovky
2	1,344	Příčný ohyb mostovky
3	1,435	Ohyb mostovky
4	1,924	Ohyb mostovky
5	2,269	Kroucení mostovky
6	2,456	Ohyb mostovky
7	3,033	Ohyb mostovky
8	3,178	Kroucení mostovky
9	3,641	Ohyb mostovky
10	3,980	Kroucení mostovky



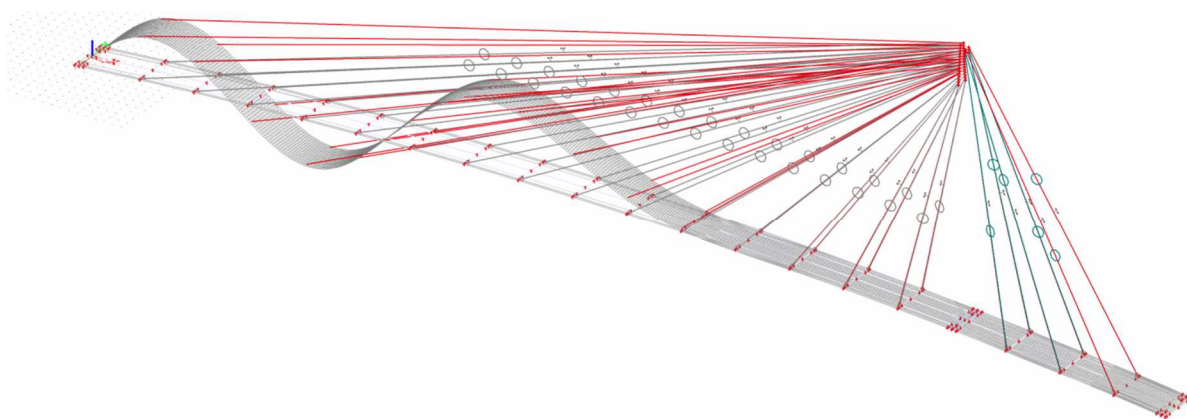
Obr. 3 1. vlastní tvar kmitání konstrukce



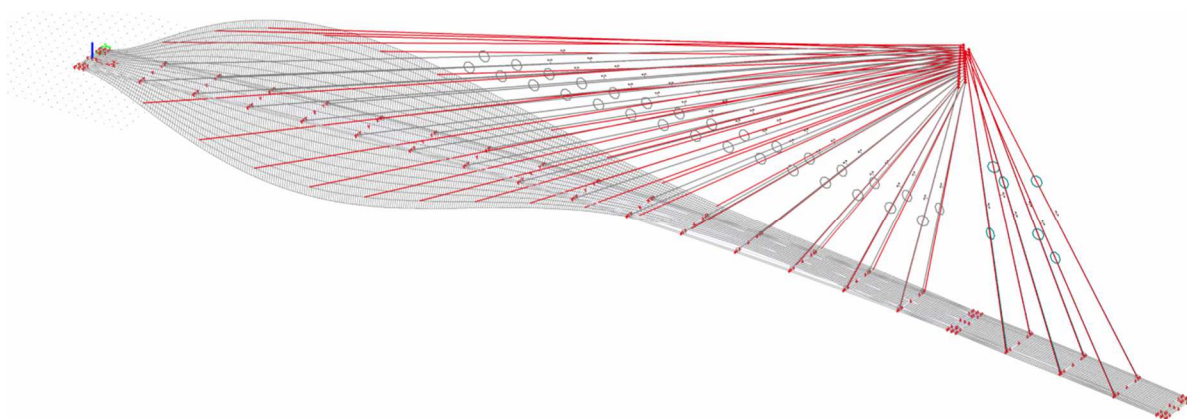
Obr. 4 2. vlastní tvar kmitání konstrukce



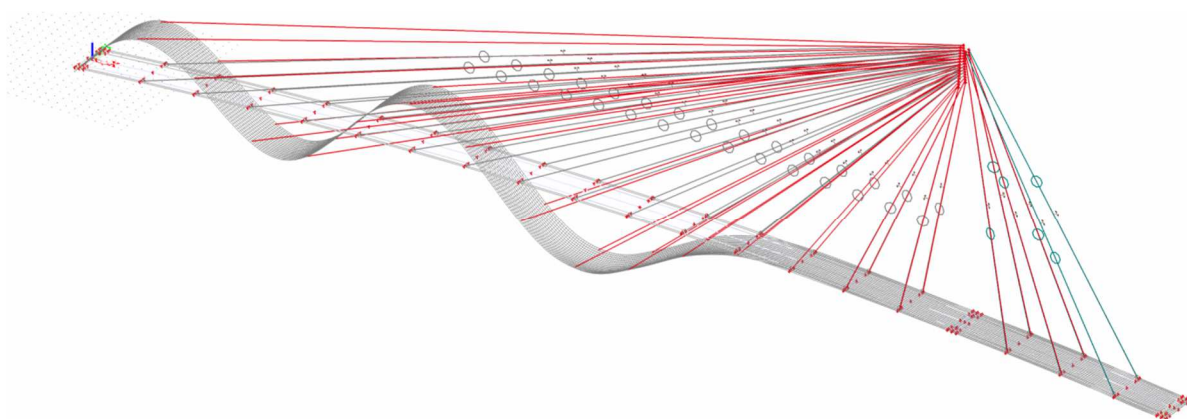
Obr. 5 3. vlastní tvar kmitání konstrukce



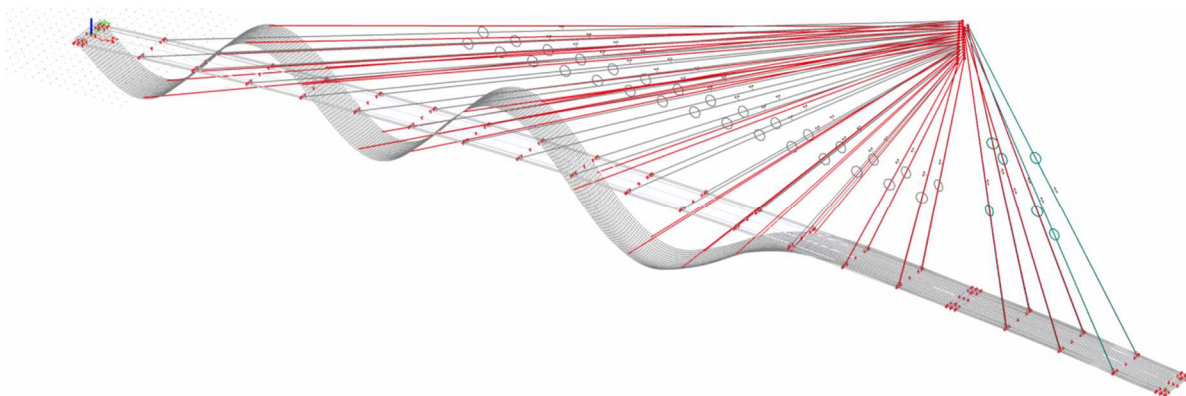
Obr. 6 4. vlastní tvar kmitání konstrukce



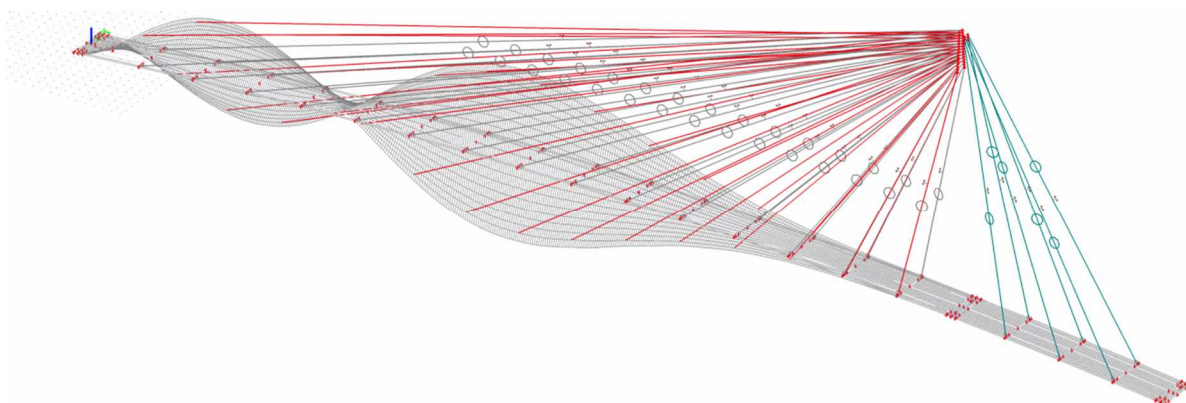
Obr. 7 5. vlastní tvar kmitání konstrukce



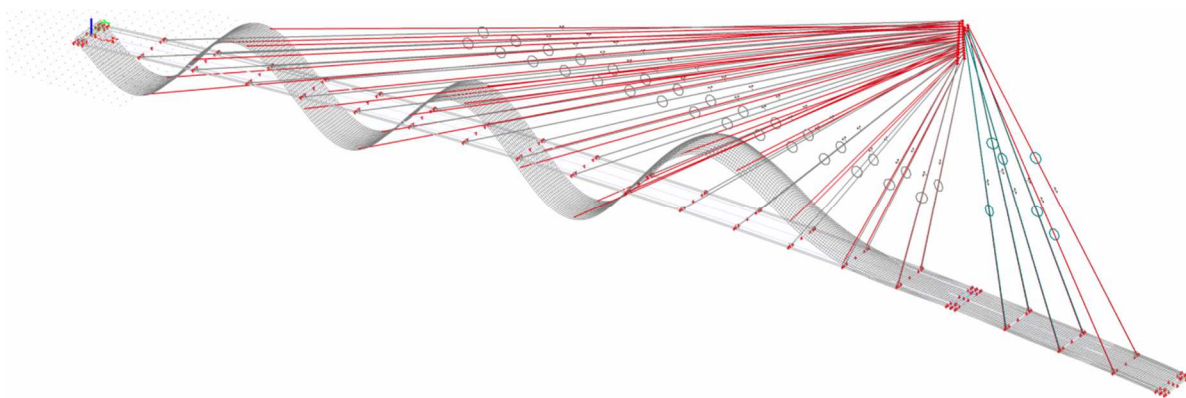
Obr. 8 6. vlastní tvar kmitání konstrukce



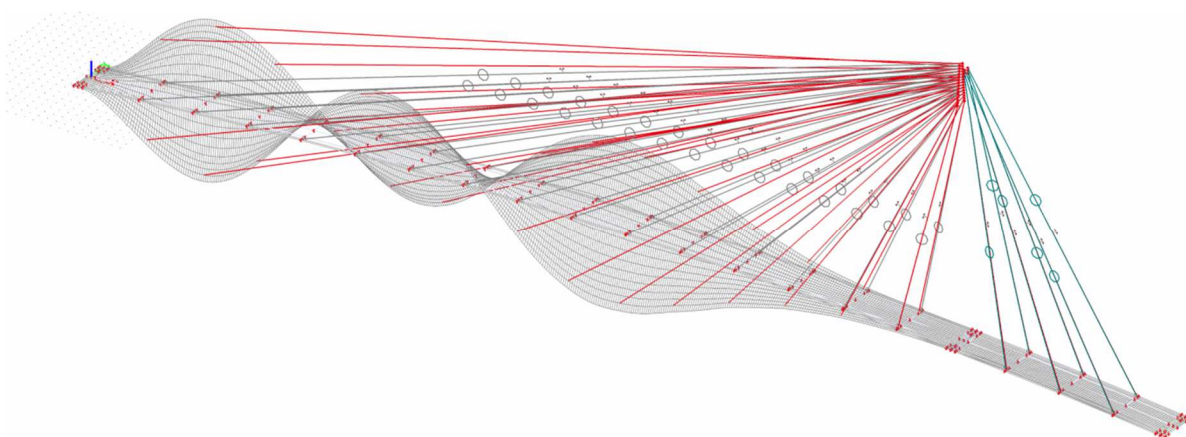
Obr. 9 7. vlastní tvar kmitání konstrukce



Obr. 10 8. vlastní tvar kmitání konstrukce



Obr. 11 9. vlastní tvar kmitání konstrukce



Obr. 12 10. vlastní tvar kmitání konstrukce

V oblasti „nebezpečných“ frekvencí z hlediska možného nadměrného kmitání vlivem pohybu chodců jsou dva ohybové vlastní tvary – 4. a 6. Bude tak nutné v dalším stupni projektové dokumentace provést detailnější dynamické posouzení konstrukci simulující přesně dynamické zatížení pohybujícími se chodci a stanovit odezvu konstrukce na toto zatížení. Možné je případně zvážit i umístění tlumiče.

7 ZÁVĚR

Provedeno bylo základní statické a dynamické posouzení konstrukce. Uvažována byla veškerá zatížení s ohledem na návrh mostní konstrukce tohoto druhu. Vzhledem na výrazné nelineární chování dílčích částí konstrukce (lanové prvky vykazující „tension stiffening“) bylo nutné konstrukci řešit jako geometricky a fyzikálně nelineární úlohu.

Velmi důležité bylo pro správné pochopení fungování konstrukce zohlednit celý proces výstavby, zejména s ohledem na změny statických systémů (letmá montáž segmentů mostovky a jejich vyvěšování) a změny zatížení.

Konstrukce pro předběžné posouzení vyhověla z hlediska všech rozhodujících kritérií a je možné usoudit, že konstrukce je realizovatelná a splňuje požadavky na takový typ konstrukce.

V Praze 15.12.2014

Doc. Ing. Lukáš Vráblík, Ph.D.