

České vysoké učení technické v Praze

Fakulta stavební

Katedra betonových a zděných konstrukcí



Diplomová práce

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, pouze za odborného vedení vedoucího Doc. Ing. Marka Foglara, Ph.D.

Dále prohlašuji, že veškeré podklady, ze kterých jsem čerpal, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

.....

podpis

Rád bych poděkoval panu Doc. Ing. Marku Foglarovi, Ph.D. za ochotu, metodické vedení práce a cenné rady, které mi usnadnily vypracování této diplomové práce.



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Tháškova 7, 166 29 Praha 6

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: <u>Majer</u>	Jméno: <u>Jiří</u>	Osobní číslo: <u>396429</u>
Zadávající katedra: <u>Katedra betonových a zděných konstrukcí</u>		
Studijní program: <u>SI</u>		
Studijní obor: <u>Konstrukce a dopravní stavby</u>		

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: <u>Návrh lávky přes Berouнку v Radotíně</u>	
Název diplomové práce anglicky: <u>Footbridge over Berounka River in Radotín</u>	
Pokyny pro vypracování: Rešerše na téma visutých lávek pro pěší Zpracování konstrukčního a statického návrhu konstrukce	
Seznam doporučené literatury:	
Jméno vedoucího diplomové práce: <u>doc. ing. Marek Foglar, Ph.D.</u>	
Datum zadání diplomové práce: <u>14/10/2016</u>	Termín odevzdání diplomové práce: <u>8/1/2016</u> <i>Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ok. roku</i>
Podpis vedoucího práce	Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutně uvést v diplomové práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.

<u>14. 10. 2016</u>	Podpis studenta(ky)
Datum převzetí zadání	

Návrh lávky přes Berounku v Radotíně

Footbridge over Berounka River in Radotín

Anotace:

Cílem této diplomové práce je návrh a posouzení visuté lávky. Jedná se o ocelovou lávku o třech polích s mostovkou z visutého pásu z betonových prefabrikátů. Hlavní nosnou konstrukci tvoří dva ocelové kabely, které jsou vedeny přes dva betonové pylony tvaru „Y“. Lana jsou k mostovce připevněna šikmými ocelovými táhly a uprostřed hlavního rozpětí se mostovky přímo dotýkají. Most byl modelován jako roštová 3D konstrukce v programech Scia Engineer a Midas Civil a počítán nelineárním řešením. Diplomová práce se zabývá statickým návrhem a posouzením, návrhem a analýzou fází výstavby a dynamickou analýzou.

Klíčová slova: *visutá lávka, předpjatý pás, visutá lana, ocel, beton, mostovka, pylony, Midas Civil, Scia Engineer, nelineární výpočet, fáze výstavby, vlastní tvary, vlastní frekvence, dynamická analýza*

Abstract:

The objective of this master's thesis is the design and analysis of a suspension footbridge. The footbridge is of a steel construction with three spans with concrete deck made of suspended stress ribbon. The main load-bearing part of the construction is made of two steel cables which are placed on 2 concrete pylons of a "Y-shape" design. The cables are connected with the deck by steel suspensions and are in direct contact with the deck in the middle of the main span. The bridge was implemented as a 3D grid construction in programs Scia Engineer and Midas Civil and was calculated by a non-linear solution. This master's thesis consists of the static design and analysis of the bridge, design and analysis of construction stages and dynamic analysis.

Keywords: *suspension footbridge, stress ribbon, suspension cables, steel, concrete, bridge deck, pylons, Midas Civil, Scia Engineer, non-linear solution, construction stages, natural modes, natural frequencies, dynamic analysis*

Obsah:

Seznam použitých symbolů	12
1 Úvod	14
2 Rešerše	17
2.1 Visuté mosty	17
2.1.1 Visuté mosty obecně	17
2.1.2 Historie visutých mostů	18
2.1.3 Typy visutých mostů	20
2.1.4 Základní komponenty visutých mostů	23
2.1.4.1 Lana a kabely	23
2.1.4.2 Závěsy	27
2.1.4.3 Pylony	28
2.1.4.4 Výztužný nosník a mostovka	28
2.2 Výhody a nevýhody visutých mostů	31
2.3 Kritéria návrhu lávek	35
2.3.1 Geometrie	35
2.3.1.1 Pochozí šířka lávky	35
2.3.1.2 Sklony	36
2.3.1.3 Povrchové úpravy, zábradlí, osvětlení	36
2.3.2 Zatížení	37
2.3.3 Dynamika	38
2.3.3.1 Zatížení chodci	38
2.3.3.2 Zatížení větrem	39
2.3.3.3 Zatížení seismicitou	40
2.4 Fáze výstavby visutých mostů	41
2.4.1 Výstavba pylonů	42
2.4.2 Instalace nosných kabelů	42
2.4.3 Instalace mostovky	43
2.4.4 Zakotvení kabelů a předepnutí mostovky	43
2.5 Příklady stávajících lávek	44
2.5.1 Lávka přes Švýcarskou zátoku Vranovské přehrady	44

2.5.2 Millenium Bridge v Londýně	47
2.5.3 Max-Eyth-See Bridge přes řeku Neckar	51
3 Technická zpráva	53
3.1 Popis stavby	54
3.1.1 Poloha stavby	54
3.1.2 Zhodnocení staveniště	54
3.1.3 Urbanistické řešení	54
3.1.4 Architektonické řešení	55
3.1.5 Navrhované řešení	57
3.1.6 Technické řešení	61
3.1.7 Stávající stav	65
3.2 Inženýrsko-geologický průzkum	66
3.3 Návrh řešení pro užívání stavby osobami s omezenou schopností pohybu a orientace	66
3.4 Návrh řešení ochrany stavby před negativními účinky vnějšího prostředí	66
3.4.1 Povodně	66
3.4.1 Sesuv půdy	66
3.4.3 Poddolování	66
3.4.4 Seismicita	66
3.4.5 Radon	66
3.4.6 Hluk	66
4 Tvorba výpočetního modelu konstrukce	67
4.1 Podklady pro tvorbu výpočetního modelu	68
4.1.1 Geometrie modelu v programu AutoCAD	68
4.1.2 Prvotní návrh průřezů a materiálu	69
4.2 Úpravy geometrie návrhu konstrukce	71
4.3 Postup modelování v programu Scia Engineer	74
4.3.1 Nastavení projektu a funkcionalit v programu Scia Engineer	74
4.3.2 Výpočetní model v programu Scia Engineer	76
4.3.2.1 Podpory	76
4.3.2.2 Klouby na prutech	77
4.3.2.3 Předpjaté kabely	78

4.3.3 Zatížení v programu Scia Engineer	79
4.3.3.1 Zatížení vlastní tíhou, ostatní stále zatížení a nahodilé zatížení	79
4.3.3.2 Hmoty	79
4.3.3.3 Předpětí nosných lan a šikmých závěsů	79
4.3.4 Nastavení výpočtu v programu Scia Engineer	79
4.4 Postup modelování v programu Midas Civil	80
4.4.1 Nastavení projektu v programu Midas Civil	80
4.4.2 Předpětí nosných lan a šikmých závěsů v programu Midas Civil.....	80
4.4.3 Nastavení výpočtu v programu Midas Civil	80
4.5 Vyhodnocení výsledků z výpočetních programů	81
4.5.1 Srovnání reakcí v podporách	82
4.5.2 Srovnání vlastních frekvencí a vlastních tvarů	83
5 Analýza fází výstavby	89
5.1 Popis navrhovaného postupu výstavby	89
5.2 Popis analýzy	94
5.2.1 Návrh konstrukce	94
5.2.1.1 Visutá lana	94
5.2.1.2 Závěsy	95
5.2.1.3 Mostovka	96
5.2.1.4 Pylony	96
5.2.1.5 Montážní lávka	97
5.2.1.6 Montážní táhla	97
5.2.2 Zatížení při fázích výstavby	98
5.2.2.1 Zatížení vlastní tíhou	98
5.2.2.2 Zatížení vneseným napětím	98
5.2.3 Omezení napětí	98
5.2.3.1 Omezení napětí v tažených (ocelových) prvcích	98
5.2.3.2 Omezení napětí v betonových prvcích	99
5.3 Analýza jednotlivých fází	100
5.3.1 Fáze č. 4: Osazení montážní lávky	100
5.3.2 Fáze č. 5: Osazení visutého lana a středového segmentu mostovky	101
5.3.3 Fáze č. 6: Předepnutí visutého lana	103

5.3.4 Fáze č. 7 a fáze č. 8: Montáž segmentů mostovky (přímé závěsy)	104
5.3.5 Fáze č. 9: Montáž segmentů mostovky (první šikmý závěs)	106
5.3.6 Fáze č. 10 až č. 21: Montáž segmentů mostovky (šikmé závěsy)	108
5.3.7 Fáze č. 22 a č. 23: Montáž segmentů mostovky (závěsy u pylonů)	113
5.3.8 Fáze č. 24 až č. 31: Montáž segmentů mostovky (závěsy v krajních polích)	114
5.3.9 Fáze č. 32 až č. 37: Montáž segmentů mostovky (poslední šikmý závěs a segmenty bez závěsů)	118
5.3.10 Fáze č. 38: Předepnutí mostovky	120
5.3.11 Fáze č. 39: Betonáž závěrné zídky a dokončovací práce	120
5.3.12 Fáze č. 40: Uvedení do provozu	122
5.3.13 Obálky maxim a minim napětí v sledovaných prvcích	122
5.3.14 Průhyb lávky během fází výstavby	124
6 Statická analýza	131
6.1 Zatížení	131
6.1.1 Stálé zatížení	131
6.1.1.1 Zatížení vlastní tíhou	131
6.1.1.2 Ostatní stálé zatížení	131
6.1.2 Proměnné zatížení	131
6.1.2.1 Zatížení chodci	131
6.1.2.2 Zatížení obslužným vozidlem	132
6.1.2.3 Zatížení větrem	132
6.1.2.4 Zatížení teplotou	136
6.1.3 Kombinace zatížení	137
6.2 Návrh a posouzení na omezení napětí	138
6.2.1 Návrh a posouzení pylonů	138
6.2.2 Návrh a posouzení visutých lan	143
6.2.3 Návrh a posouzení závěsů	144
6.2.4 Návrh a posouzení mostovky	148
6.3 Posouzení průhybu lávky	152
6.4 Problematika zakotvení lan	153

7 Dynamická analýza	155
7.1 Vlastní frekvence a vlastní tvary	156
7.2 Dynamické zatížení ve výpočetním programu	163
7.2.1 Nastavení dynamické analýzy v programu Midas Civil	163
7.2.2 Odhad poměrného útlumu	164
7.2.3 Návrh dynamického zatížení skupinou chodců	164
7.3 Posouzení třídy pohody chodců	166
7.3.1 Posouzení přechodu skupin chodců s frekvencí kroku 1,4618 Hz	166
7.3.2 Posouzení přechodu skupin chodců s frekvencí kroku 2,1081 Hz	170
7.3.3 Posouzení přechodu skupin chodců s frekvencí kroku 2,2368 Hz	173
7.3.4 Posouzení přechodu skupin chodců s frekvencí kroku 2,7049 Hz	176
7.3.5 Posouzení přechodu skupin chodců s frekvencí kroku 2,9938 Hz	179
7.3.6 Posouzení přechodu skupin chodců s frekvencí kroku 3,0309 Hz	182
7.3.7 Posouzení přechodu skupin chodců s frekvencí kroku 3,0552 Hz	185
7.3.8 Posouzení přechodu skupin chodců s frekvencí kroku 3,2284 Hz	188
7.3.9 Posouzení přechodu skupin chodců s frekvencí kroku 3,4524 Hz	190
7.3.10 Posouzení přechodu skupin chodců s frekvencí kroku 3,7235 Hz	192
7.3.11 Posouzení přechodu skupin chodců s frekvencí kroku 4,5214 Hz	194
7.3.12 Posouzení přechodu skupin chodců s frekvencí kroku 4,5979 Hz	197
7.4 Souhrn nevyhovujících dynamických posouzení a návrh jejich řešení	199
7.4.1 Nepřiměřené kmitání lan	200
7.4.2 Nepřiměřené kroucení mostovky	204
7.4.3 Nepřiměřené svislé kmitání krajních polí mostovky	205
8 Závěr	206
Použitá literatura	208
Seznam příloh	212
Seznam obrázků	213
Seznam tabulek	223
Přílohy	228

Seznam použitých symbolů

B	šířka
C_e	součinitel expozice
C_{dir}	součinitel směru větru
C_{fx}	součinitel síly větru
C_{season}	součinitel ročního období
EI	ohybová tuhost
F	síla
$G_{k,j}$	stálé zatížení
H	výška
I	moment setrvačnosti
M	ohybový moment
N	normálová síla
P	zatížení předpětím
P_j	jmenovitá pevnost lana
P_v	výpočtová pevnost lana
P_s	skutečná pevnost lana
$Q_{k,1}$	hlavní nahodilé zatížení
$Q_{k,i}$	ostatní nahodilá zatížení
$Q_{SV,1}$	tíha přední nápravy
$Q_{SV,2}$	tíha zadní nápravy
R	poloměr oblouku
R_m	pevnost v tahu taženého ocelového prvku
S_d	maximální namáhání taženého ocelového prvku
S	obsah
T	teplota
ΔT	změna teploty
a	zrychlení
b	šířka
b_r	poměrný útlum

d	délka, průměr
f	frekvence, rovnoměrná síla
f_{cd}	návrhová pevnost betonu v tlaku
f_{ck}	charakteristická pevnost betonu v tlaku
f_{ctd}	návrhová pevnost betonu v tahu
f_{ctm}	charakteristická pevnost betonu v tahu
f_{R1k}	charakteristická pevnost v tahu za ohybu UHPC
$f_{w,k}$	tlak od větru na osu lávky
q_b	základní dynamický tlak větru
k_I	součinitel turbulence
k_r	součinitel terénu
l	délka
l_1	rozvor nápravy
l_2	rozchod kol nápravy
$l_v(z)$	intenzita turbulence větru
q	rovnoměrné zatížení
v_b	základní rychlost větru
v_m	střední rychlost větru
w	průhyb
y	výkmit
z_{min}	minimální výška dle kategorie terénu
z_o	parametr drsnosti terénu
$z_{0,II}$	parametr drsnosti terénu kat. II
α_{cc}	součinitel uvažující dlouhodobé a nepříznivé účinky ze způsobu zatížení
γ_c	součinitel spolehlivosti betonu
σ_{cc}	tlakové napětí v betonu
σ_{ct}	tahové napětí v betonu
σ_y	napětí v taženém ocelovém prvku
ρ	hustota, měrná hmotnost vzduchu
$\psi_{0,i}$	součinitel pro ostatní nahodilá zatížení

1 Úvod

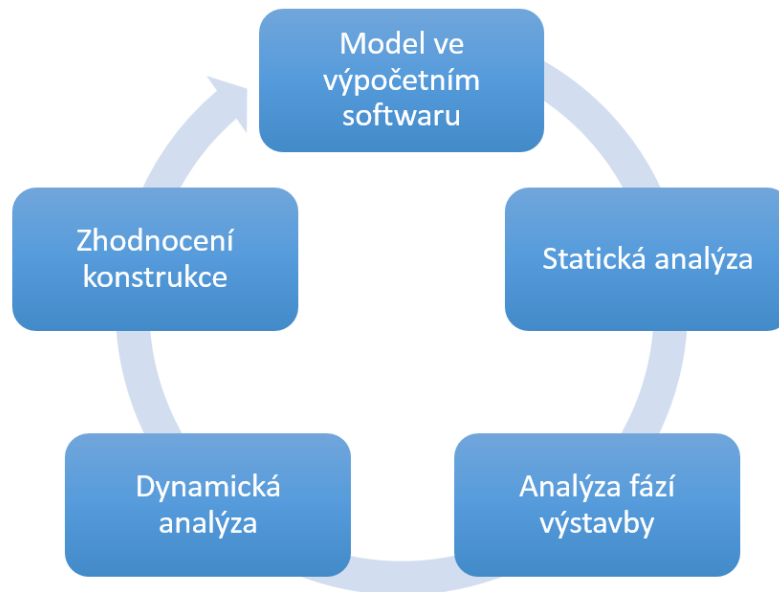
První část této diplomové práce tvoří rešerše na téma visuté mosty. V této části je rozebrána historie visutých mostů, jsou zde popsány různé typy visutých mostů a jejich základní komponenty. V rešerši jsou dále popsány výhody a nevýhody visutých mostů. Jelikož bylo jako hlavní téma diplomové práce zadáno posouzení visuté lávky, jsou v této části rozebrána kritéria návrhu lávek. Je zde detailně popsán postup výstavby visutých mostů a na konci je uvedeno několik příkladů realizovaných konstrukcí.

Druhá část této diplomové práce se zabývá statickou a dynamickou analýzou visuté lávky pro pěší a cyklisty přes řeku Berounku v Radotíně. Tato hlavní část práce je rozdělena do několika kapitol.

Práce vychází z architektonického návrhu mostu, který byl vypracován v rámci projektu firmy SUDOP PRAHA a ke kterému mi poskytl podklady vedoucí diplomové práce doc. Ing. Marek Foglar, Ph.D. Mezi poskytnutou dokumentaci patřily výkresy návrhu mostu, průvodní zpráva, souhrnná technická zpráva a 3D vizualizace. Tyto podklady jsou shrnuty a popsány v kapitole 3.

Cílem práce byl návrh visuté ocelové lávky s mostovkou, kterou tvoří visutý pás z UHPC, a její následné posouzení. Během návrhu lávky byla snaha o zachování architektonického vzhledu původního návrhu a tedy o co nejmenší zásahy do zadané geometrie konstrukce. Pro tento návrh byly vypracovány 3D roštové výpočetní modely v programech SCIA Engineer a Midas Civil. Práce ve dvou výpočetních programech byla zvolena vzhledem ke složitosti a netradičnosti konstrukce a tedy kvůli možnosti vzájemné kontroly výsledků ze dvou modelů. Tvorba těchto výpočetních modelů a jejich porovnání je popsáno v kapitole 4.

Lávka byla ve výpočetních programech primárně navhována tak, aby v provozní fázi splnila statické požadavky MSP, tedy aby vyhověla na omezení napětí a deformací. Poté byly analyzovány jednotlivé fáze výstavby a návrh byl upravován tak, aby lávka vyhověla na omezení napětí v každé fázi. Po splnění požadavků statických analýz byla lávka posouzena z dynamického hlediska. Na obr. 1 je znázorněn proces návrhu lávky.



Obr. 1: Postup práce při idealizaci návrhu lávky.

V kapitole 5 je popsán navrhovaný postup výstavby. Dále je zde vysvětlen postup, kterým byla konstrukce v jednotlivých fázích posuzována a nakonec jsou v této kapitole posouzeny všechny fáze výstavby.

V kapitole 6 je popsána podrobná statická analýza v provozní fázi konstrukce. Kapitola se zabývá popisem zatížení, které bylo při analýze uvažováno. V kapitole je popsán finální návrh jednotlivých částí mostu a posouzení mezních stavů použitelnosti všech těchto částí.

Kapitola 7 na závěr zkoumá konstrukci z hlediska dynamiky. Jsou zde popsány vlastní tvary a frekvence lávky. Kapitola dále popisuje, jak byl vytvořen model pro posouzení odezvy lávky při dynamickém zatěžování skupinami chodců při kritických frekvencích budících sil. Nakonec jsou v této kapitole shrnuty problematické části návrhu z hlediska dynamiky a je zde navrženo jejich řešení.

Na obr. 2 je znázorněn grafický návrh konstrukce, který byl součástí podkladů od vedoucího práce.



Obr. 2: Grafický model lávky v Radotíně.

2 Rešerše

2.1 Visuté mosty

2.1.1 Visuté mosty obecně [1]

Visuté mosty, podobně jako zavěšené využívají k přenosu zatížení tažené prvky s prakticky zanedbatelnou ohybovou tuhostí. Obecně tyto konstrukce můžeme dělit na

- zavěšené konstrukce,
- visuté konstrukce,
- hybridní konstrukce (z hlediska závěsného nosného trámu),
- visutý předpjatý pás.

V současné době se používají visuté konstrukce hlavně pro mosty o největším rozpětí polí, jaká jsou realizována a pro lávky pro pěší s důrazem na architektonický vzhled konstrukcí. Základní součásti visutých mostů jsou:

- pylony,
- hlavní visuté kabely,
- závěsy,
- mostovka.

Princip těchto konstrukcí funguje tak, že svislé zatížení, které působí na vodorovnou mostovku, je přenášeno většinou svislými závěsy do visutých kabelů. Ty následně přenášejí toto zatížení přes pylony do kotevních bloků. V nejčastějším případě, kdy jsou závěsy svislé a kotevní bloky jsou uloženy nezávisle na konstrukci, nevnášejí se do konstrukce ze závěsného systému žádné vodorovné síly, díky čemuž jsou tyto mosty použitelné pro velmi dlouhá rozpětí. V současné době je most s největším rozpětím Akashi Kaykio v Japonsku (1991 m).

U standardních visutých mostů bývá mostovka velmi tuhá a většinou ocelová. To však neplatí pro tzv. visutý předpjatý pás, který může být doplněn o vnější visutá lana a závěsy.

Jednotlivé typy visutých konstrukcí, jejich součásti a materiály používané pro tyto součásti jsou popsány v dalších kapitolách.

2.1.2 Historie visutých mostů [3][4]

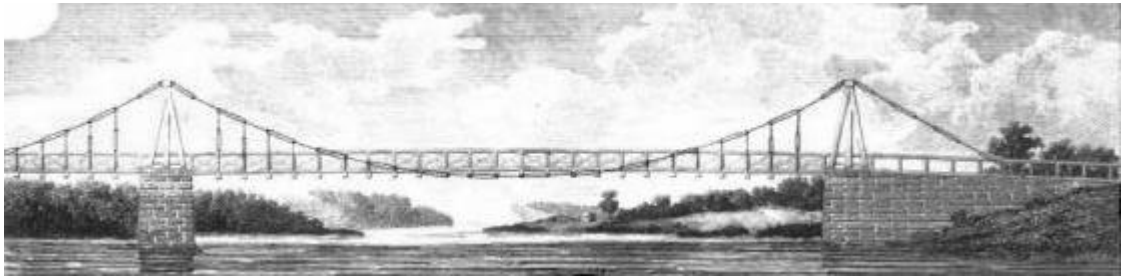
Visuté mosty, tak jak je známe dnes, se začaly stavět na začátku 19. století. Tyto konstrukce se však vyvinuly z jedné z nejstarších mostů, které kdy člověk vytvořil. Nejranější verze visutých mostů postavil Thangtong Gyapo (tibetský světec a stavitel mostů) v 15. století. Hlavním nosným prvkem jeho konstrukcí byly tažené kabely, avšak v těchto prvních visutých mostech chyběly pilony. Většina mostů měla visuté kabely tvořené železnými řetězy, avšak v úplných začátcích stavěl Thangtong Gyapo tyto mosty z vrbových prutů nebo jačích kůží. Na obr. 3 je fotografie jednoho z jeho mostů v Bhutánu, který se zachoval až do roku 2004, kdy ho zničila povodeň.



Obr. 3: Železný visutý most v Bhutánu postavený Thangtong Gyapo. [2]

První moderní visutý most byl postaven v USA v Jacob's Creek ve Westmoreland County v Pensylvánii v roce 1801 (viz obr. 4). Most byl tvořený ze železa, hlavní rozpětí měl 21

metrů a šířku 3,81 metru. Navrhl ho James Finley, který si v roce 1808 nechal patentovat systém na zavěšení tuhé mostovky pomocí kabelů.



Obr. 4: Visutý most v Jacob's Creek ve Westmoreland Country v Pensylvánii. [4]

Další dva visuté mosty byly postaveny v Anglii: Dryburgh Abbey Bridge (postavený roku 1817) a Union Bridge (postavený roku 1820). První velký most, kde byla použita technika patentována Finleym, byl most Menai Straits v Anglii postavený Thomasem Telfordem, dokončený byl roku 1826. V roce 1930 francouzští inženýři prvně použili kabely tvořené z mnoha pramenů drátů namísto železných řetězů. Ve stejném roce pak Američan John Roebling vynalezl způsob, jak kabely splétat přímo na stavbě namísto transportování prefabrikátů. Od té doby nabyly visuté mosty na popularitě hlavně kvůli výhodám, jako jsou velké rozpětí (viz obr. 5 - most s největším rozpětím na světě je Akashi Kaikyo) a možnost výstavby bez přístupu z terénu pod mostem.



Obr. 5: Akashi Kaikyō Bridge (1991 m). [5]

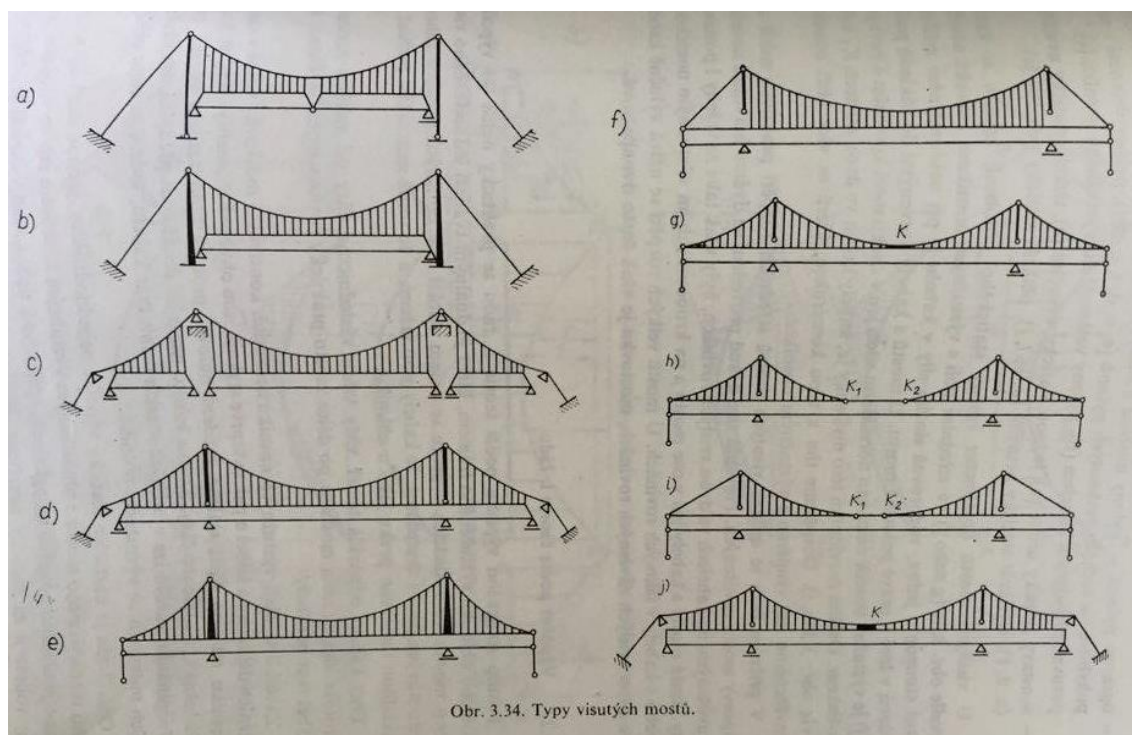
2.1.3 Typy visutých mostů

Visuté mosty mají velké množství kombinací úprav. Základní vlastnosti, podle kterých se rozlišují visuté mosty s tuhou mostovkou, jsou:

- kotvení kabelů do země (a, b, c, d, j) nebo do nosníku (e, f, g, h, i)
- úprava krajních polí, zavěšené (c, d, e, g, h, j) nebo nezavěšené (a, b, f, i);
- úprava výztužného nosníku a jeho uložení – kloubové a prosté nosníky uložené na pylonech (a, b, c) nebo spojitě nosníky uložené nezávisle na pylonech (d, e, f, g, h, i, j);
- úprava pylonů – pylony uložené kloubově nebo s lanovým sedlem uloženým pohyblivě na vrcholu vetknutých pylonů (a, c, d, f, g až j), pylony vetknuté s neposuvně připojeným kabelem (b), pylony vetknuté do výztužného nosníku (e);
- soustavy staticky určité (a) nebo staticky neurčité (b až j).

Některé z klasických typů visutých mostů s tuhou mostovkou jsou znázorněny na obr. 6.

[6]



Obr. 6: Typy visutých mostů s tuhou mostovkou. [6]

Dalším typem visutých konstrukcí je tzv. visutý předpjatý pás. Stejně jako u standardních visutých konstrukcí zde hlavní nosný prvek ve tvaru řetězovky přenáší účinky zatížení především prostřednictvím tahové normálové síly. Předpjatý pás tvoří většinou

prefabrikované díly z vysokohodnotného betonu, které jsou předpjaté předpínací výztuží a tahové síly jsou zakotveny v zemních nebo skalních kotvách. Narozdíl od klasických visutých konstrukcí je ohybová tuhost mostovky visutého pásu velmi nízká. Typické konstrukce visutých předpjatých pásů jsou zobrazeny na obr. 7 a obr. 8. [1]



Obr. 7: Lávka přes Vltavu v Troji. [7]



Obr. 8: Lávka přes Sázavu ve Hvězdonicích. [8]

Pro větší rozpětí bývá již visutý předpjatý pás doplněn vnějším závěsným systémem – obvykle visutým kabelem a závěsy. Závěsy bývají většinou svislé, ale dají se použít obdobným způsobem i jako systém konstrukce zavěšený se šikmými závěsy. Působení těchto konstrukcí se blíží lanové předpjaté konstrukci, jejíž stabilita je ve svislém, případně i ve vodorovném směru zajištěna protisměrně zakřivenými tažnými prvky. Ve svislém směru jsou tyto tažené prvky představovány předpjatým pásem a visutým kabelem a ve vodorovném směru je možné obdobným způsobem použít volné kabely vedené podél zakřivených okrajů mostovky. Narozdíl od standardních visutých konstrukcí, u kterých bývá nutná vyšší tuhost mostovky, je v tomto případě naopak žádoucí, aby byla mostovka co nejmíň tuhá, aby v ní v důsledku deformací celé konstrukce vznikala co nejnižší namáhání. Příklad takové konstrukce je vyobrazen na obr. 9. [1]

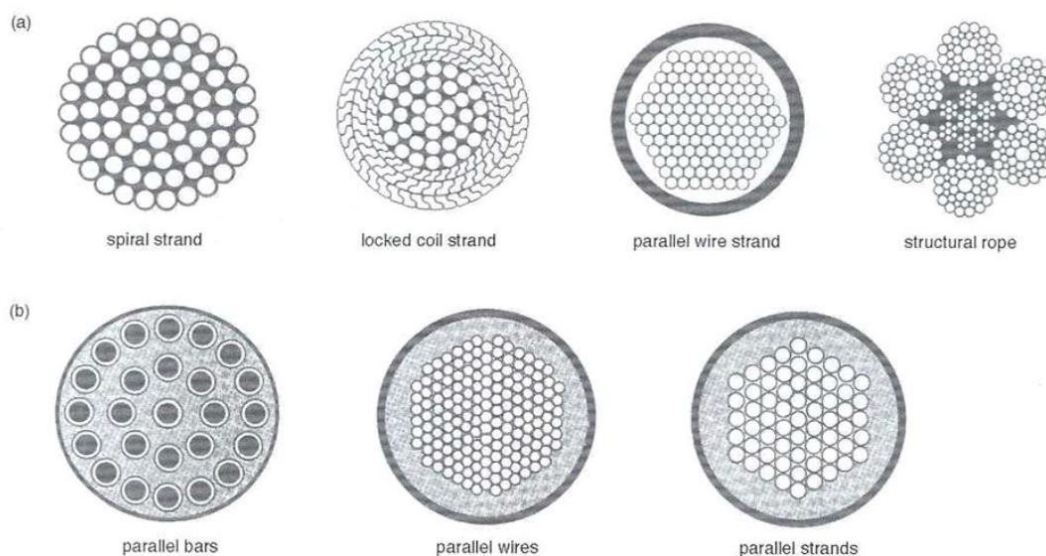


Obr. 9: Lávka přes Švýcarskou zátoku Vranovské přehrady. [9]

2.1.4 Základní komponenty visutých mostů [6] [17]

2.1.4.1 Lana a kabely

Pro stavbu visutých mostů a použití jako hlavní prvek nosné konstrukce se využívají hlavně drátěná lana vinutá z jednotlivých ocelových drátů. Tato lana mohou být splétána různými způsoby, které jdou obecně rozdělit do tří skupin.



Obr. 10: Typické průřezy kabelů a závěsů. [18]

První skupinu tvoří lana používaná především ve strojírenství. U tohoto typu je důležité, aby byla ohebná. Na ohebnost se kladě kromě pevnosti velký důraz, protože je potřeba tato lana vést přes kladky, které mají často malý průměr. Dále je důležitá odolnost povrchu proti mechanickému opotřebení, které vzniká při převodu přes tyto kladky. Ohebnost lan způsobují tenké dráty o průměru maximálně 3 mm, ze kterých jsou tato lana vyráběná. Dráty bývají svinuty do pramenů, které jsou dále obtáčeny kolem textilní duše do vlastního lana.

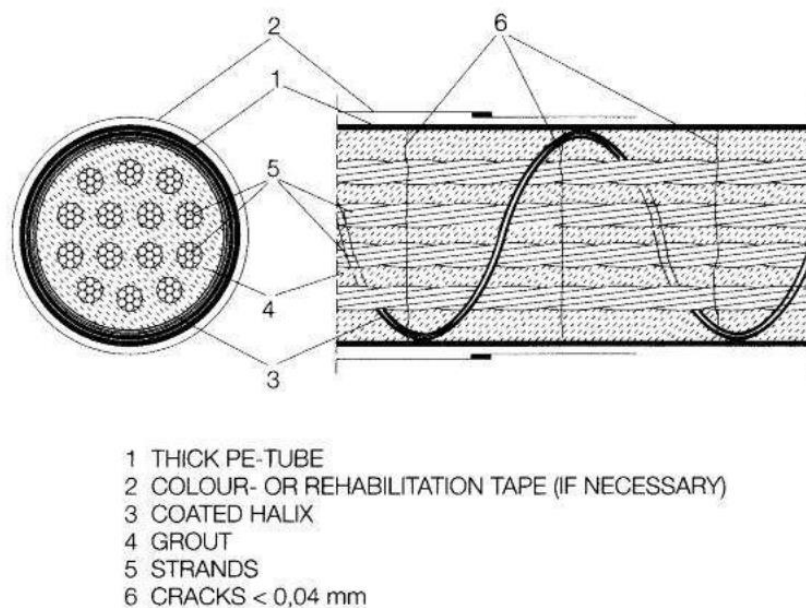
Druhou skupinou, nejvíce používanou ve stavebnictví, jsou nosná, neboli tuhá lana. U této skupiny je důraz kladen hlavně na únostost. Nosná lana se vyrábí ze silnějších drátů, nejčastěji o průměru 5 mm, které mívají kruhový nebo profilovaný průřez. Jelikož se u těchto lan nepředpokládá pohyb a potřeba měnit tvar, nemají textilní vložku. Narozdíl od první skupiny je střed lana, kolem něhož se vinou vrstvy drátů, vždy kovový. Tento kov však někdy bývá měkčí než zbytek lana. Lana mohou být buď jednopramenná,

nebo složená z více pramenů. Vícepramenná mívají 6 a více pramenů. Směr vinutí drátů v pramenu je zpravidla shodný jako směr vinutí pramenů, někdy však tyto dva směry mohou být opačné. Při použití na mostech se zpravidla používají jednopramenná uzavřená lana, která jsou vinutá z drátů kruhového průřezu. Dále jsou opatřena jednou nebo více vstvy z profilovaných drátů, těsně doléhajících na sebe a tak chránících vnitřek lana proti korozi. Tento typ uzavřených lan se běžně vyrábí do průměru maximálně 60 mm. Dráty jsou proti korozi chráněny buď pozinkováním, nebo protikorozními nátěry. Povrch kabelu je pak chráněn nátěrem, vrstvou z plastické hmoty nebo je celé lano zainjektováno v ochranné trubce, například z plastu.

Lana jsou na staveništi dopravována na bubnech, na které jsou ve výrobě navíjena. Maximální délka závisí na průměru lana a na možnosti dopravy. Výrobní délky mohou být podstatně větší, než umožňuje přeprava. Uzavřená lana se vyrábějí v délkách 850 m při průměru 40 mm, 600 m při průměru 50 mm či 450 m při průměru 60 mm. Větší průřezy jsou vytvářeny skládáním těchto jednotlivých lan do kabelů, které mívají tvar šestiúhelníku či obdélníků. Toto skládání probíhá přímo na stavbě a dále se lana už nepřemisťují. Pro tvorbu lan se dají použít i lana různých průměrů, která pak tvoří co nejvíce dokonalý kruhový a kompaktní průřez.

Třetí skupinu tvoří kabely, které se skládají ze souběžných drátů. Vyrábí se skládáním přímých vyrovnaných drátů do kruhového nebo šestiúhelníkového průřezu. Tento typ kabelů je velice tuhý a tudíž není možné takové kabely převážet navinuté na bubny. Dráhy se skládají přímo na staveništi do požadovaného tvaru a průměru a jsou buď na své místo dopravovány ve finálním tvaru, nebo jsou skládány přímo na místě v konstrukci.

U visutých mostů velkých rozpětí se kabely skládají z jednotlivých drátů zavěšovaných přímo na pylony mostu ve vzduchu.



Obr. 11: Příklad konstrukce závěsu. [18]

Postup výroby visutého lana přímo na konstrukci je následovný. Po zhotovení spodní stavby mostu (pylonů a opěr) se pod budoucími kabely postaví pracovní lávka, která je často visutá. Nad lávkou jsou umístěny lanové dráhy, které složí k poježdění vozíku s kladkou. Lanová kladka přetahuje při přejezdu po dráze smyčku drátu. Jeden konec drátu je zakotven a druhý se odvíjí z bubnu, umístěném na vozíku. Na druhém konci mostu se pak smyčka sejme z kladky a zakotví se. Po umístění všech svazků se dráty lisují do finálního tvaru strojem, který po kabelu poježdí. Následně jsou kabely opatřeny povrchovými úpravami.

Dráty pro výrobu lan a kabelů jsou taženy za studena z uhlíkové oceli, výjimečně z lagované oceli. Tažením za studena se dosahuje vysokých pevností, u drátů malých průměrů lze dosáhnout vyšší pevnosti než u větších průměrů. Dráty se stykují z výrobních délek. Užívá se buď táhlého přeplátování a spájení natvrdo nebo spájení natupo s dodatečným vyžiháním ve svářečce.

U lan rozlišujeme tři pojmy pevnosti:

P_j – jmenovitá pevnost lana,

P_v – výpočtová pevnost lana,

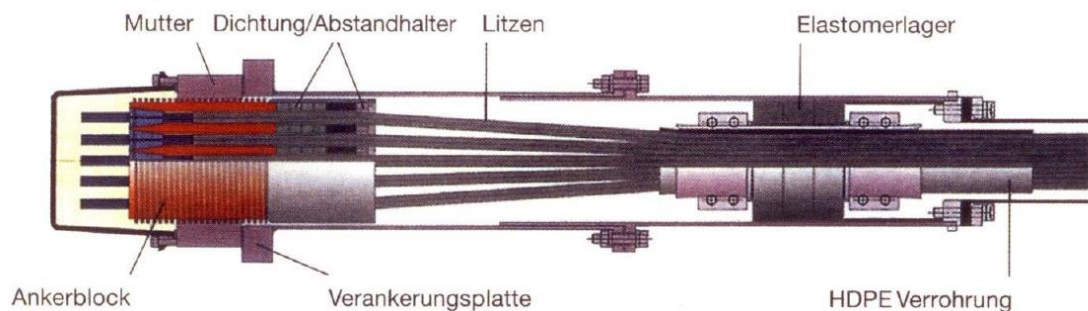
P_s – skutečná pevnost lana.

Ve statických výpočtech pracujeme s hodnotou P_j , která je uvedena v normách a katalozích. Poklesu P_s oproti P_j se dbá při volbě součinitele bezpečnosti. Pro výpočet i stavbu mostů je důležitá znalost reologických vlastností lan a kabelů, tj. vztahu mezi zatížením a přetvořením v závislosti na čase.

Problém s prodloužením lan se řeší předpínáním. Lana se napínají buď hned v továrně nebo až na stavništi. Na stavništi je to lepší, protože při napínání v továrně může vliv napětí narušit navíjení kabelů na bubny, na kterých jsou lana na stavbu dopravována.

Lana jsou do konstrukce či do základů kotvena zpravidla prostřednictvím kónických koncovek. V těchto koncovkách jsou jednotlivé prameny drátů, z kterých je lano tvořeno, rozpletené a zalité. Vnější tvar koncovky je přizpůsobený druhu, kterým je lano ke konstrukci či základu upnuté.

Abb. 4.19 Dywidag- Kabelanker /27/



Obr. 12: Kotvení závěsu. [18]

Ke změně směru lana či kabelu se používají tzv. sedla. Toto je třeba například při vedení přes pylon. Vzhledem k tuhosti lana je nutné zachovat minimální poloměr zakřivení. Čím větší je poloměr, tím menší přídavné namáhání na lano v ohybu působí. Pro tuhá lana se doporučuje volit poměr poloměru oblouku a průměru jednotlivých lan ve svazku R/d asi 30 až 40. Důležitá je také délka sedla. Sedlo musí být dostatečně dlouhé, aby se lano nelámalo o jeho hranu.



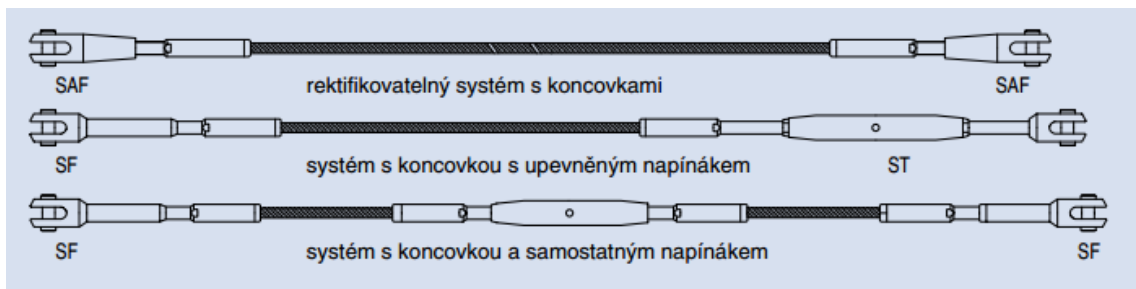
Obr. 13: Model sedla. [18]

2.1.4.2 Závěsy

V minulosti se závěsy navrhovali z kulatiny nebo zprofilovaných ocelí, stejně jako se to dělalo u obloukových mostů se zavěšenou mostovkou. Dnes převládá provedení z ocelových lan nebo z ocelových tyčí.

Závěsy se na visuté kabely upěvňují pomocí objímek, které bývají sevřeny šrouby, a přenášejí sílu ve směru osy kabelu třením. Závěsy tvořené lany mohou být jednoduché nebo i dvojité či čtyřnásobné. Jednoduché se připojují prostřednictvím koncového kónusu, vícenásobné jsou převedené přes žlábkové v objímce. K výztužnému nosníku, příčníku nebo mostovce jsou závěsy připojeny kloubově.

Závěsy stejně jako lana je v některých případech zapotřebí napínat. Mohou být předepnutá v továrně, praktičtější způsob je však použít speciální táhla s upevněným napínákem. Na trhu je k dostání speciální systém, kde je přímo na závěsu zařízení, které během výstavby i provozu konstrukce umožňuje vnášet potřebné napětí do táhla. Příklady takových systémů jsou znázorněny na obr. 14. [20]



Obr. 14: Příklady závěsů [20]

2.1.4.3 Pylony

Z architektonického hlediska jsou dominantou visutých mostů pylony. Z tohoto důvodu je důležité se náležitě věnovat jejich ztvárnění. Z hlediska statiky plní pylon dvě funkce. Zaprvé přenáší svislé zatížení z lan do základů, za druhé je pak namáhán větrem, který působí i na zbytek konstrukce a síly z ní jsou do pylonů také přenášeny. Před položením kabelu působí pylon ve směru osy mostu jako krakorec, u hotového mostu je pak vrchol držen kabely. U mostů velkých rozpětí bývají pylony vetknuté ve směru osy mostu. Pokud je pylon dostatečně štíhlý, je rozdíl statického působení celé konstrukce mezi statickými pylony a vetknutými pylony nepatrný. Možností designu pylonů je opravdu mnoho. Na obr. 15 jsou fotografie několika příkladů pylonů.

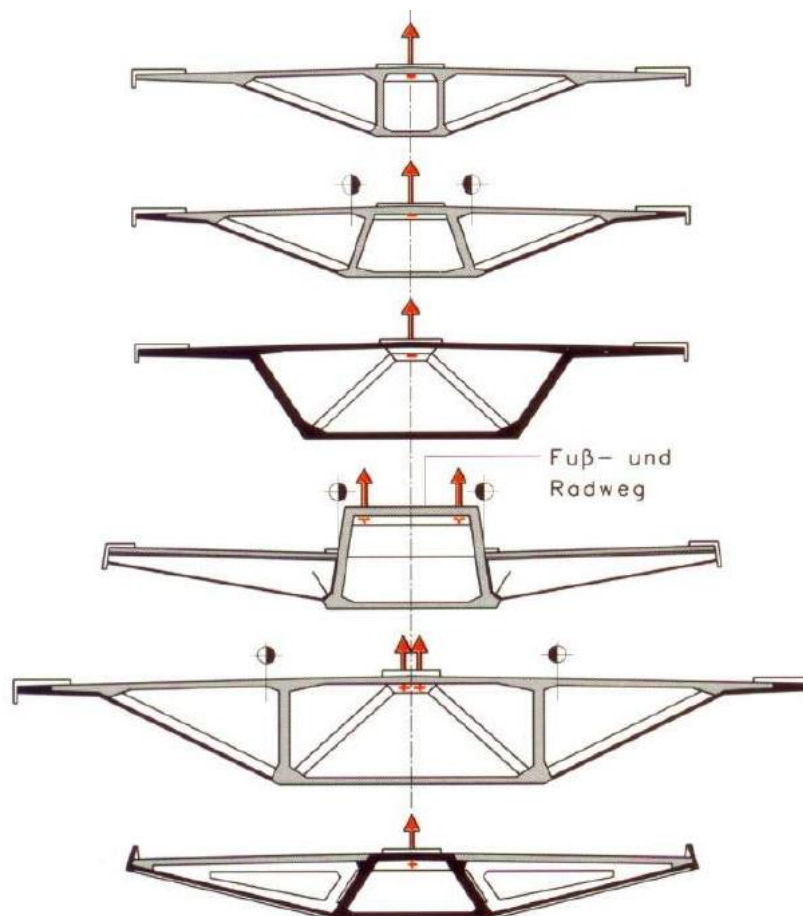


Obr. 15: Příklady pylonů visutých mostů. [18]

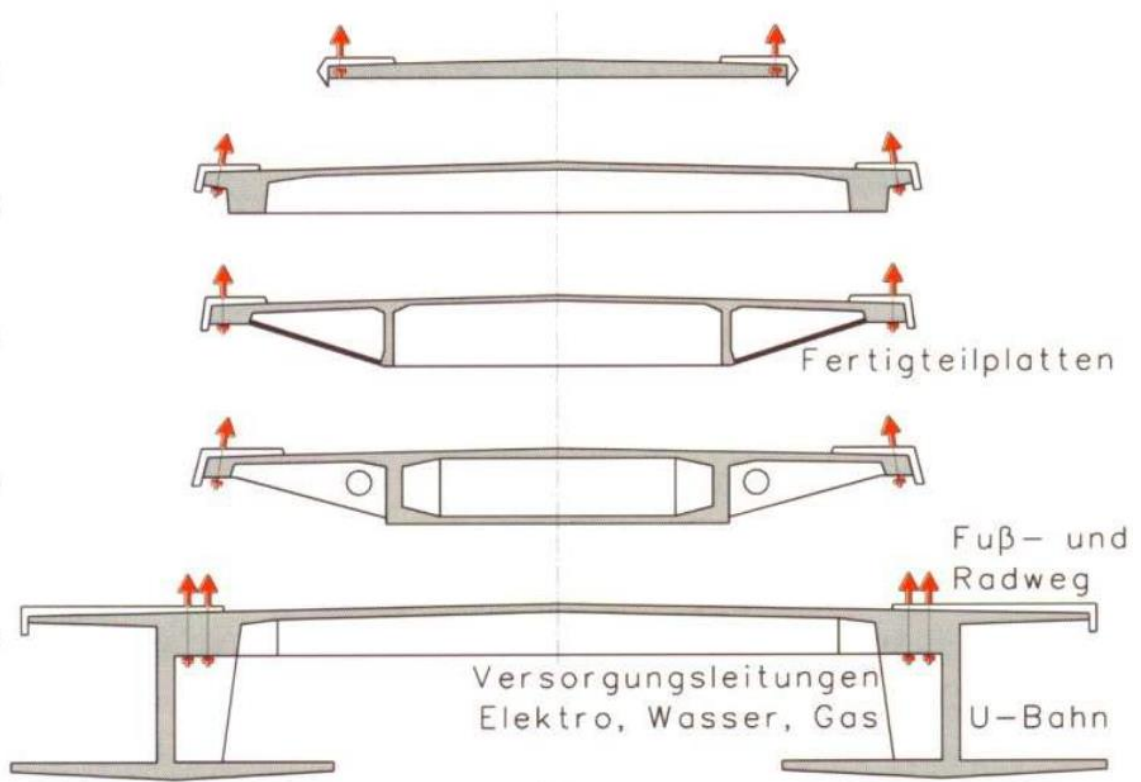
2.1.4.4 Výztužný nosník a mostovka

U visutých mostů s velkým rozpětím není výhodné, aby byly výztužné nosníky spojitě. Proto se v těchto případech navrhuje většinou přerušené v místech pylonů. Na pylony pak působí poměrně malé podporové tlaky. V podélném směru je důležité, aby bylo

uložení pohyblivé na obou stranách, aby byla tepelná dilatace rozdělena na dvě dilatační spáry. Výztužný nosník bývá většinou zavěšen na konzolu pylonu. Je také možné pylony a mostovku úplně oddělit. Výztužné nosníky bývají příhradové, jelikož tak vzniká tuhý uzavřený průřez. Takový průřez je tuhý v kroucení a zároveň lehký, což je podstatné, jelikož má vlastní tíha mostovky a nosníku zásadní vliv na celou hmotnost mostu, a tím je ovlivněna i cena konstrukce. Z tohoto důvodu převládají konstrukce s ocelovou mostovkou. Lehká mostovka však může být kontraproduktivní z hlediska dynamiky, jelikož je lehkou konstrukci jednodušší rozkmitat. Na obr. 16 jsou znázorněny příklady příčných řezů mostovek s jednou rovinou závěsů, na obr. 17 pak příklady mostovek se dvěma rovinami závěsů.



Obr. 16: Příčné řezy mostů s 1 rovinou závěsů. [18]



Obr. 17: Příčné řezy mostů s 2 rovinami závěsů. [18]

2.2 Výhody a nevýhody visutých mostů

Nejzásadnější výhodou visutých mostů je patrná na první pohled. Je to schopnost překonat ta největší rozpětí, jakých bylo zatím v mostním stavitelství dosaženo. Jak už bylo zmíněno výše, most s největším rozpětím na světě 1990 m je Akashi Kaikyo a nalézá se v Japonsku. Další známé obří konstrukce jsou například most Storebaelt s rozpětím 1924 m v Dánsku (viz obr. 18), nebo asi nejznámější most vůbec Golden Gate v Kalifornii s rozpětím hlavního pole 1280 m (viz obr. 19). [18]



Obr. 18: Storebaelt bridge, Dánsko. [18]



Obr. 19: Golden Gate, Kalifornie. [18]

Ve stavění největších visutých konstrukcí sahají ambice stavitelů ještě dále. Známy je například návrh mostu Messina, který má spojovat Itálii a Sicílii a jehož rozpětí hlavního pole má činit 3300 m. Jeho grafický návrh je znázorněn na obr. 20. [18]



Obr. 20: Grafický model plánovaného mostu Messina, Sicílie. [27]

Visuté mosty se však staví i s mnohem menším rozpětím. Rozpětí hlavních polí visutých silničních konstrukcí se běžně pohybuje mezi 1000 a 1500 m, hospodárné jsou však již od 300 m. Často se visuté mosty staví i o ještě menších rozpětích, kdy jde o hospodárnost kvůli estetické stránce stranou. Tyto většinou visuté lávky se staví běžně od rozpětí 100 m, výjimečně i menších a klade se zde důraz na vzhled. [19]

Tím se dostáváme k druhé velké výhodě visutých mostů, a to je jejich estetický vzhled. Kombinace jednotlivých možností typů visutých konstrukcí, různé možnosti trajektorie nosných lan a různé druhy pylonů dávají velkou volnost v architektonickém návrhu, a tak mohou být realizovány opravdu zajímavé konstrukce.

Z výhod je důležité ještě zmínit způsob výstavby visutých konstrukcí, který probíhá ve vzduchu tzv. vyvěšováním mostovky, a tím může realizace konstrukce probíhat

nezávisle na terénu pod mostem. Způsob výstavby visutých mostů je podrobně popsán v kapitole 2.4. [16]

První nevýhodou, kterou je třeba zmínit, je cena visutých konstrukcí. I když je u visutých mostů s velkým rozpětím poměr použitého materiálu k rozpětí malý, celková cena bývá velmi vysoká. Vzhledem ke složitosti konstrukcí a důrazu na estetický vzhled, se může doba návrhu mostu velmi protáhnout. Kromě architektonického návrhu je nutné rozsáhlé testování návrhu ve výpočetních programech s důrazem hlavně na dynamiku. Kromě klasických výpočetních modelů bývá také nutné testovat model mostu ve větrném tunelu, jelikož je u těchto konstrukcí často velmi složitý výpočet odezvy na náhodné dynamické účinky větru na počítači. [19]

Z toho vyplývá největší nevýhoda těchto konstrukcí, kterou je jejich aerodynamická nestabilita. Nižší hmotnost konstrukce oproti jiným stylům mostů způsobuje problémy s dynamikou. Aerodynamická nestabilita může být zvýšena nevhodnou volbou tvaru a dimenze průřezu výztužného nosníku. Při působení účinků větrů pak dochází k rozkmitání konstrukce, které může způsobit až jejich zřícení. Pro příklad této možnosti je zde uveden popis zřícení Tacoma Bridge z roku 1940 (viz obr. 21). [18][19]



Obr. 21: Zřícení mostu Tacoma bridge, Washington. [28]

Při návrhu Tacoma bridge byl z důvodu snahy o ušetření nákladů pozměněn návrh mostky z příhradového ocelového nosníku na plnostěnný. Tímto byla konstrukce značně odlehčena, mostovka však byla vystavena většímu náporu větru. Už během stavby mostu se objevovaly drobné kmity mostovky způsobené vlivem větru, z toho důvodu byl most opatřen hydraulickými tlumiči a vyztužen dalšími lany, což však nepřineslo žádané výsledky. Dne 7. 11. 1940 vítr rozkmital mostovku tak, že začala kmitat s výkmitem až 1,5 m. Následně se pohyb změnil ve vlnění, při němž se vozovka kroutila a její strany se nakláněly až do úhlu 45° . Nakonec se střední část mostu rozlomila a most se zřítíl. [28]

2.3 Kritéria návrhu lávek

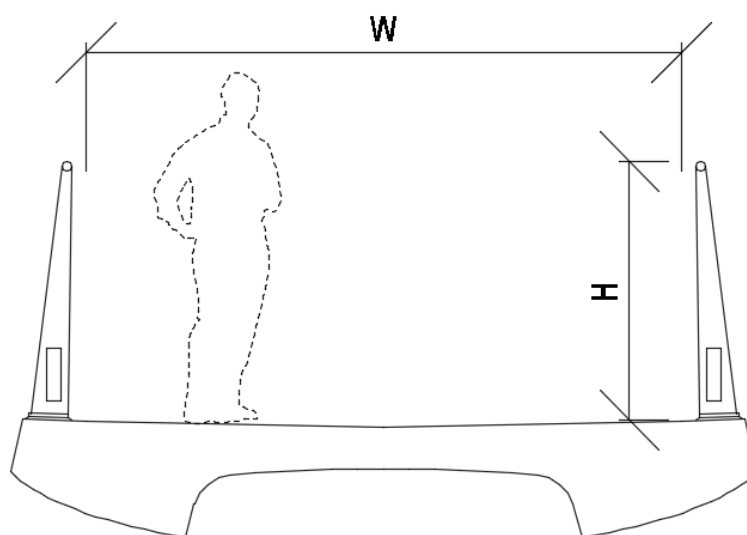
Jelikož se v druhé části této diplomové práce zabývám posouzením visuté lávky pro pěší, je v této kapitole rozebráno navrhování lávek. Kritéria návrhu lávek jsou podrobně popsána v národní normě. Tato kapitola se věnuje několika základním tématům návrhu. Jsou to geometrie lávek, zatížení a dynamika.

2.3.1 Geometrie

2.3.1.1 Pochozí šířka lávky

V knize Stráský, J.: Stress ribbon and cable-supported pedestrian bridges [16], je popsáno 43 příkladů visutých lávek z celého světa. Pochozí šířka se na nich pohybuje mezi 0,85 m a 6,6 m. Návrh této šířky závisí hlavně na prostorových podmínkách v místě stavby a na očekávaném provozu na lávce. Šířku dále ovlivňují požadavky na design lávky a to, zda je umístěna ve volné přírodě či ve městě. Pro zajímavost pochozí šířky lávek v Japonsku jsou průměrně mnohem menší než ostatní lávky na světě.

Pro běžné lávky, které jsou určeny pouze pro chodce, se doporučuje pochozí šířka minimálně 3 m. Pokud je lávka určena kromě chodců také pro kola, šířka by měla být minimálně 3,5 m. (obr. 22) [16]



Obr. 22: Pochozí šířka a výška zábradlí.

2.3.1.2 Sklony

Maximální podélný sklon závisí stejně jako pochozí šířka na umístění konstrukce. Existují lávky v horských oblastech, kde podélný sklon dosahuje až 20 %. Pro běžné lávky jsou sklony definovány v normě tak, aby umožňovaly na lávku přístup tělesně postiženým chodcům.

V ideálním případě nepřesahuje podélný sklon 5 %. Maximální podélný sklon je 8,33 %, ve výjimečných případech pak 12,5 % pro krátké rampy o maximální délce 3 m. Visuté lávky mají podélný sklon často proměnný, proto je nutné ověřit, že nepřesahuje maximální hodnotu v žádném z bodů konstrukce.

Příčný sklon na lávce by měl mít minimální hodnotu 0,5 %, aby byl zabezpečený odtok dešťové vody. [16] [21]

2.3.1.3 Povrchové úpravy, zábradlí, osvětlení

U mostovky je důležitý hlavně odtok dešťové vody pryč z konstrukce. Pokud je mostovka z oceli, dá se odtok řešit tím způsobem, že je povrch mostovky vyroben z dřevého materiálu, sítí nebo mříží a voda jednoduše protéká skrz ni. Je-li mostovka vyrobená z betonu, je odvedení dešťové vody složitější. U betonového povrchu je důležité, aby byl vodotěsný a bez trhlin, aby nekorodovala výztužná ocel. Mostovky bývají buď z UHPC, případně mají na povrchu asfaltovou vrstvu, což zajišťuje hladký povrch a tím i odvod vody. Voda je odváděna příčným sklonem do žlabů buď na krajích mostovky, nebo uprostřed. Z těchto žlabů může být voda odvedena při kratším rozpětí podélným sklonem ven z lávky, u delších konstrukcí bývají instalována potrubí pro odtok.



Obr. 23: Příklad řešení odvodu dešťové vody z betonové mostovky (Maidstone Bridge, UK). [16]

Zatížení od zábradlí bývá u lávek výrazně menší než u silničních mostů, protože může být méně pevné a tedy z lehčího materiálu. Výška zábradlí na lávce určené pouze pro chodce se pohybuje mezi 1,0 a 1,1 m. U lávek pro chodce a cyklisty se pohybuje mezi 1,3 a 1,4 m. Možností designu a materiálů, z kterých je možné zábradlí vytvořit, je mnoho. Důležité je zvážit design vzhledem k vodorovnému zatížení od větru, které je u vyplněného zábradlí výrazně větší než u zábradlí například z ocelových prutů.

Na moderních lávkách je žádoucí vyhnout se stojanům pro lampy a osvětlení začlenit do designu lávky. Osvětlení může být instalováno do madel nebo sloupků zábradlí. V poslední době se v tomto případě osvědčily LED diody, které vyzařují dostatek světla, zapadají do úzkých mezer v zábradlí, nevyzařují teplo a spotřebovávají velmi málo energie. Dalším oblíbeným způsobem osvětlení jsou tzv. letištní světla, která jsou vyrobena z mléčného skla, které svítí na parapet ze síťoviny, a tento celek pak v noci vytváří světelnou auru. [16]



Obr. 24: Příklad vhodné instalování LED osvětlení do konstrukce lávky. [22]

2.3.2 Zatížení

Lávky jsou ve statické části navrhovány na zatížení od vlastní tíhy, zatížení od chodců, teploty a větru dle příslušných státních norem. V některých případech mohou být dále zatíženy sněhem, obslužným vozidlem nebo mohou být navrženy pro přejezd záchranné služby nebo policejního vozu. Zatížení od chodců je 5 kN/m^2 , ale může být sníženo vzhledem k umístění lávky.

Podrobnému návrhu statického zatížení na lávku se věnuje druhá část této diplomové práce v kapitole 6.1.

2.3.3 Dynamika

Zatímco konstrukce silničních mostů se navrhuje na statické zatížení zvětšené dynamickým součinitelem a nemusí být posuzovány z hlediska komfortu uživatele, lávky musí vyhovovat nejen statickému, ale hlavně dynamickému zatížení. Vzhledem k tomu, že má většina lávek nízké hodnoty vlastních frekvencí a útlumu, je nutné posuzovat je na požadavky komfortu chodců. Toto je většinou vyjádřeno rychlostí odezvy.

2.3.3.1 Zatížení chodci

Posouzení na zatížení chodci se provádí podle článku 5.7 Dynamické modely zatížení chodci a přílohy NA.2.49 Článek 5.7 Dynamické modely zatížení chodci, odstavec (3) v normě ČSN EN 1991-2-Zatížení-dopravou.

Ověření lávky z hlediska dynamického zatížení chodců se provede, pokud je některá vlastní frekvence svislého kmitání nosné konstrukce lávky v oblasti 1,3 Hz až 2,3 Hz

a 2,5 Hz až 4,6 Hz a/nebo vlastní frekvence vodorovného kmitání v příčném směru v oblasti frekvencí 0,5 Hz až 1,2 Hz a 2,6 Hz až 3,4 Hz. Analýza musí obsahovat výpočet vlastních frekvencí a tvarů kmitání lávky ve vhodném výpočtovém modelu, odhad tlumení konstrukce a výpočet vynuceného kmitání od účinku chodců.

Normálně se pohybující chodci budí periodické síly ve svislém směru v rozmezí frekvencí 1 Hz až 3 Hz a ve vodorovném směru v rozmezí frekvencí 0,5 Hz až 1,5 Hz. Je proto nutné definovat vhodné dynamické modely zatížení chodci vzhledem k vlastním frekvencím posuzované lávky a zjistit tak, zda nemůže dojít k možné rezonanci.

Pro ověření přípustných vibrací se použije třída provozu na lávce podle tabulky 1. Následně se zjistí odezva konstrukce – výkmit a zrychlení lávky, což se posoudí podle tabulky 2. [34] [23]

Třída provozu	Intenzita provozu
	Počet osob P na m ²
Velmi nízký	0.10, nejméně však 15P/(BxL)
Nízký	0.20, nejméně však 15P/(BxL)
Hustý	0.50, nejméně však 15P/(BxL)
Velmi hustý	1.00
Mimořádně hustý	< 1.5
Kde B [m] je šířka průchozího prostoru lávky a L [m] je délka lávky.	

Tab. 1: Třídy provozu a zatížení lávek pro chodce. [34]

Třída pohody	Svislé zrychlení	Vodorovné zrychlení
Vysoká	< 0.50	< 0.10
Normální	< 0.70	< 0.20
Nízká	< 1.00	< 0.40

Tab. 2: Třídy pohody lávek pro chodce [34]

2.3.3.2 Zatížení větrem

Až do druhé poloviny 20. století byl vítr u staveb posuzován pouze jako statické zatížení. Zkušenost však ukázala, že především štíhlé konstrukce mohou být větrem rozkmitávány. Vítr začal být tedy intenzivně sledován meteorology z hlediska velikosti nárazů větru, rychlosti jejich vzrůstu, počtu a period jejich opakování, aby bylo možné uvést je do dynamického výpočtu. Tato měření však neuměla poskytnout takto jednoduché podklady, které by bylo možné zavést do výpočtu.

V dnešní době je vítr brán jako náhodný proces. Kromě proměny v čase se u rozměrných konstrukcí uplatňuje i náhodnost rychlosti po povrch konstrukce. To znamená, že náraz větru na velkou konstrukci nedopadne na celou délku současně, ale v různých místech, v různých okamžicích a v různé síle.

Kromě těchto náhodných zatížení se vyskytuje i zatížení pravidelné. Toto zatížení je pozorované hlavně na kruhových profilech, kde působí tzv. Karmánovy víry. Vítr obtéká válcové těleso, které, pokud je pružné a jeho vlastní frekvence se blíží frekvenci oddělování vírů, může být vlivem rezonance rozkmitáno.

V případě, že se za tělesem, které vytváří tyto víry, nachází v blízkosti další překážka, rozkmitávají víry i tuto překážku. Tento jev se nazývá buffeting a v případě visutých konstrukcí se často vyskytuje u závěsů, které jsou blízko za sebou a tvoří je ocelová lana kruhového průřezu.

U složitějších konstrukcí je výpočet dynamického zatížení vetrem velmi složitý a ve většině případů je zapotřebí experiment v aerodynamickém tunelu nebo monitorování na již postavené konstrukci. [23]

2.3.3.3 Zatížení seismicitou

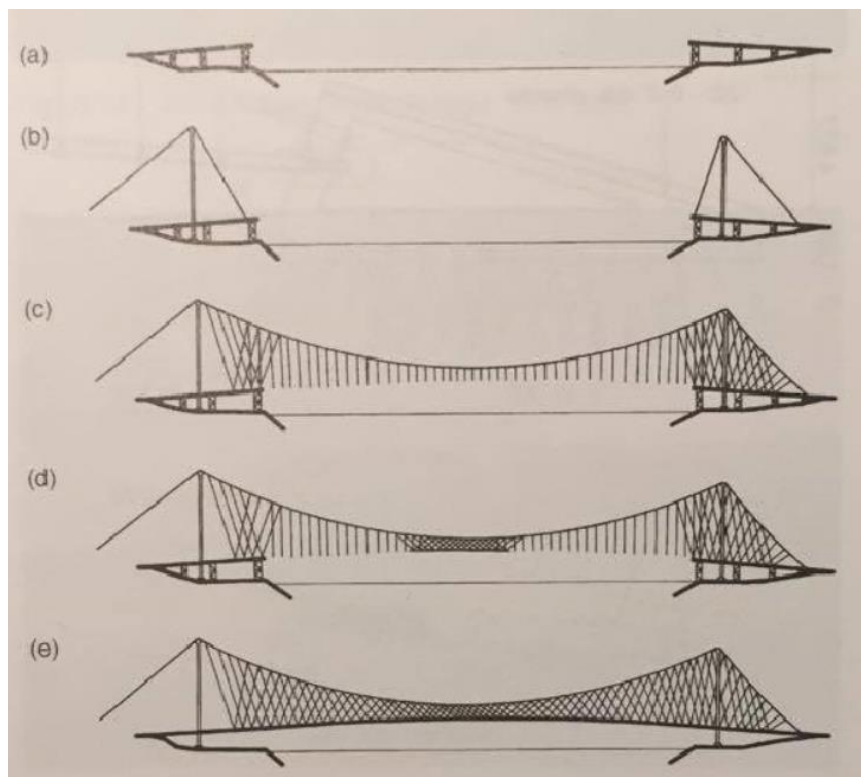
Protože mají visuté lávky výrazně nízké vlastní frekvence, nejsou příliš náchylné na zatížení od seismicity. V seismicky aktivních oblastech je však důležité, aby byla provedena dynamická analýza odezvy na zrychlení podloží konstrukce. Tuhost lávky musí být navržena dostatečně vysoká, aby zajišťovala pohodlnou chůzi chodců, ale na druhou stranu musí být dostatečně flexibilní, aby snižovala případné seismické účinky. [16] [23]

2.4 Fáze výstavby visutých mostů

Jak už bylo zmíněno v kapitole 2.2, visuté mosty bývají stavěny ve vzduchu, což přináší velkou výhodu, protože mohou být realizovány nezávisle na terénu, který se pod nimi nachází. Stavba obvykle začíná tím, že jsou postaveny kotevní bloky, opěry a pylony. Na pylony jsou dále zavěšené nosné kabely z předpínacího materiálu. Poté může být realizována mostovka. Segmenty mostovky mohou být postaveny pomocí jeřábů umístěných na pontonech, případně pomocí technologie, která byla vyvinuta pro výstavbu visutých pásů. Tento postup je podrobně popsán v této kapitole.

Výstavba visutých mostů sestává ze 4 hlavních částí:

- výstavba tzv. spodní stavby, tedy opěr, kotevních bloků a pylonů,
- instalace nosných kabelů,
- instalace mostovky,
- zakotvení kabelů a předepnutí mostovky. [16]

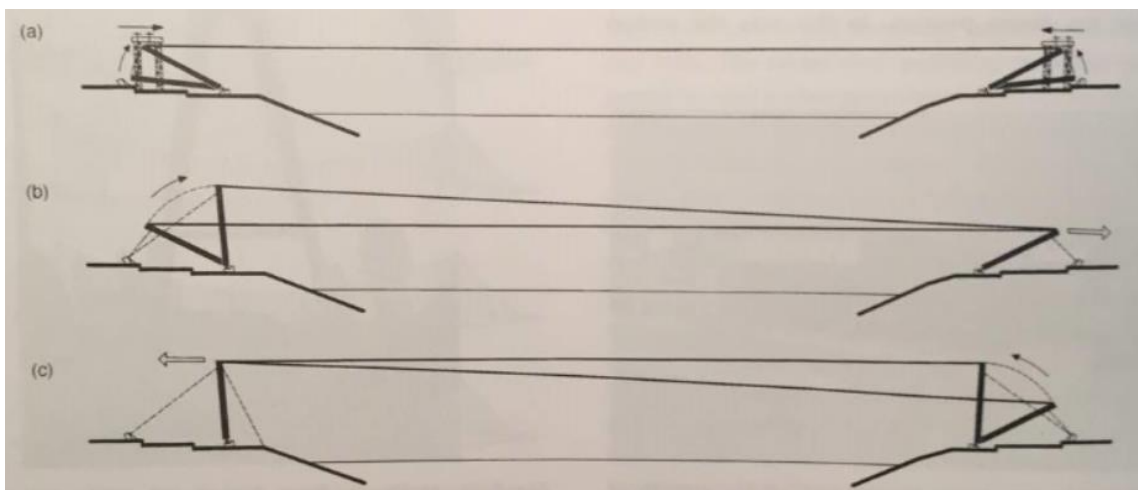


Obr. 25: Fáze výstavby Max-Eyth-See Bridge, Stuttgart, Německo. [16]

2.4.1 Výstavba pylonů [16]

Betonové pylony jsou většinou betonovány ve vodorovné poloze s prvky připravenými ke zdvihnutí pylonů pomocí závěsů do finální polohy. Stejně tak ocelové věže bývají montovány v horizontální poloze poblíž finální polohy a tam bývají zvedány pomocí jeřábů. Dočasná poloha během výstavby bývá zajištěna vzpěrami, případně protisměrnými táhly, protože během výstavby vznikají síly od vyvěšování mostovky a navíc není poloha pylonu stabilizována již předepnutými visutými lany, jak je tomu ve finální fázi výstavby.

Zajímavý příklad výstavby pylonů nabízí lávka přes Vranovskou přehradu. Pylony byly montovány ve vodorovné poloze, ale v místě stavby nebylo místo pro zdvihnutí pylonů pomocí jeřábů. Místo toho byly pylony zdvihnuty pomocí lan, která byla zakotvena ve vrcholu pylonu na druhé straně lávky. Znázornění toho procesu je vidět na obr. 26. Postup výstavby lávky přes Vranovskou přehradu je detailně popsán v kapitole 2.5.1.



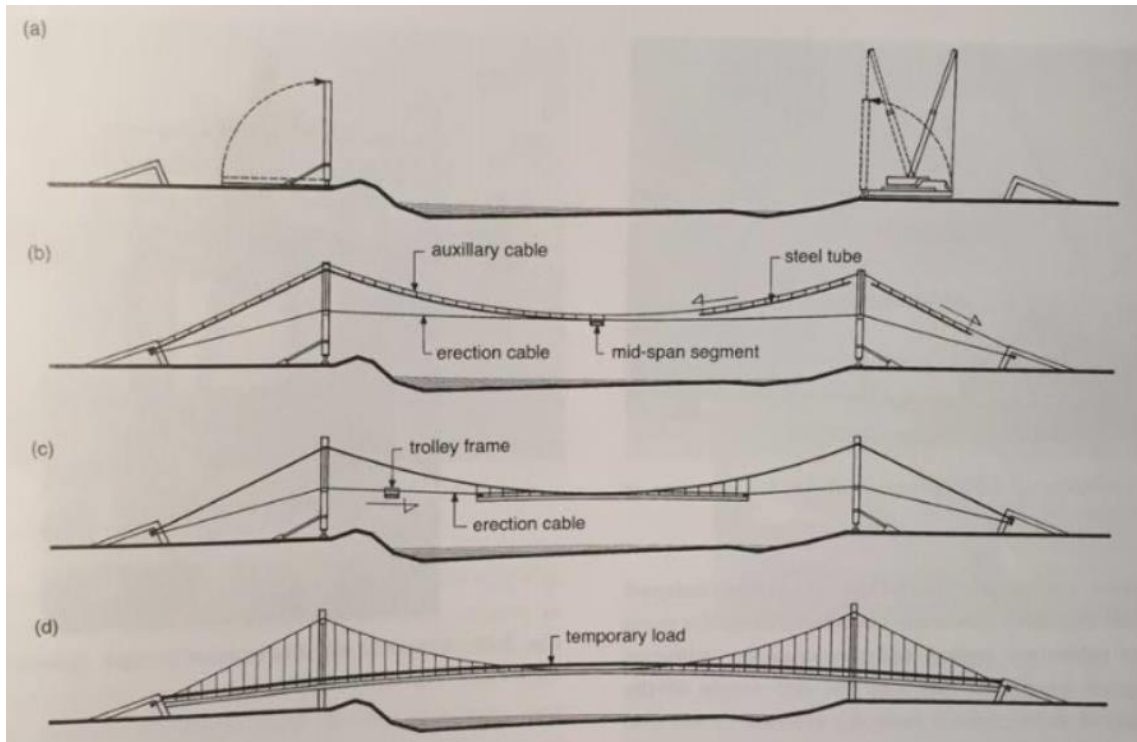
Obr. 26: Výstavba pylonů lávky přes Vranovskou přehradu. [16]

2.4.2 Instalace nosných kabelů

Montáž nosných kabelů začíná instalací prostředního segmentu mostovky. Je vytvořena tzv. montážní lávka, kterou často tvoří visuté kabely ukotvené v opěrách a opřené o pylony. Po této lávce je dopraven do středu rozpětí první segment mostovky.

Následně mohou být instalovány nosné kabely. Kabely jsou splétány přímo na konstrukci a pomocí ocelových trubek, které jsou postupně upevňovány na kabely, se závěsy upravují do finální podoby. Kabely jsou spojeny s prostředním segmentem mostovky a

podle návrhu jsou poté napnuty. Tím začne fungovat jejich nosná funkce a převezmou vlastní tíhu mostovky od montážní lávky. Tento postup dobře ilustruje obr. 27. [16]



Obr. 27: Fáze výstavby mostu přes řeku McKenzie, Orlando, USA. [16]

2.4.3 Instalace mostovky

K výstavbě mostovky se využívá provizorní lávka, kterou byl dopraven její prostřední segment. Segmenty se pohybují po kabelech k navrženým pozicím. Přední konec segmentu se připojí k již postavenému segmentu a zadní konec je zavěšen pomocí závěsů na nosná lana. Tento proces je doplňován případným napínáním a povolováním jak nosných kabelů, tak závěsů, čímž se kontrolují průběžné deformace konstrukce a lávka tak postupně dostává finální vzhled. [16]

2.4.4 Zakotvení kabelů a předepnutí mostovky

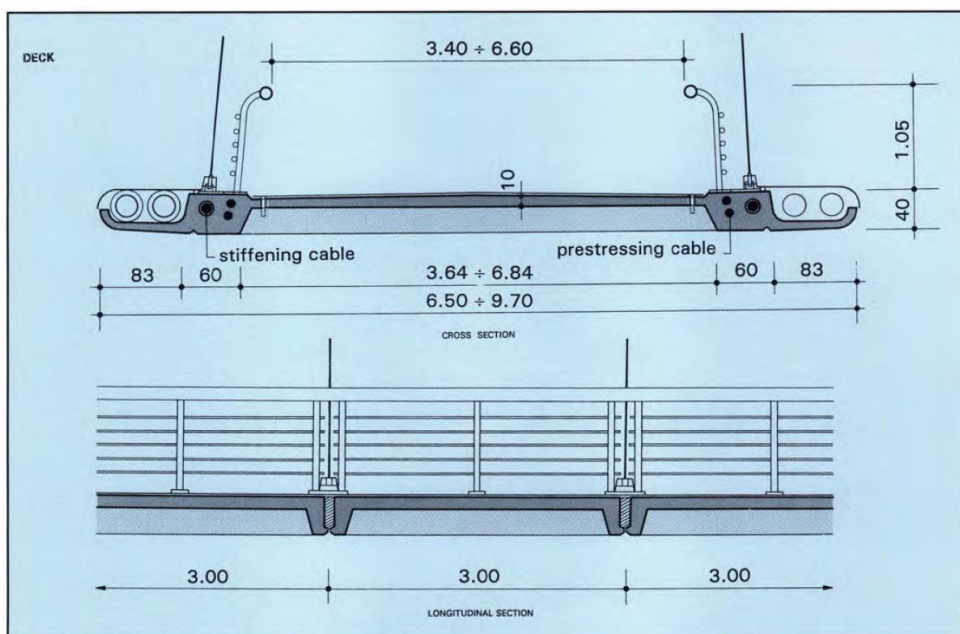
Po vztyčení všech segmentů mostovky jsou spáry mezi nimi zality, mostovka je předepnuta a předpínací kabely jsou zainjektovány. Následně je odstraněna provizorní lávka a visuté kabely jsou napnuté finálním napětím a ukotvené. [16]

2.5 Příklady stávajících lávek

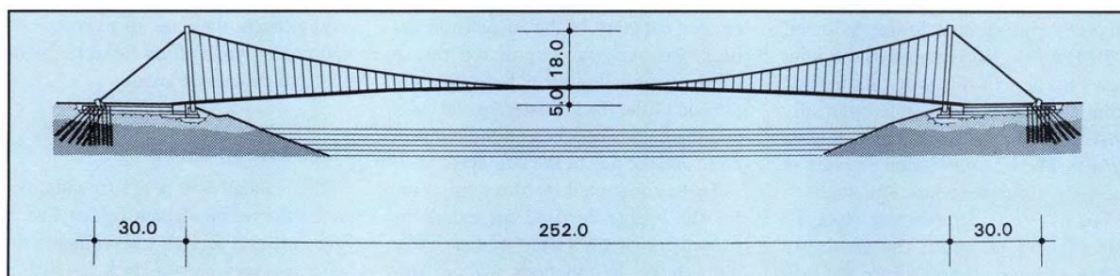
Jelikož se výpočetní část této práce zabývá návrhem a posouzením lávky tvořené visutým předpjatým pásem, který je zavěšen šikmými závěsy na visutých lanech, je v této kapitole uvedeno několik obdobných konstrukcí, doplněných o fotografie a podrobný rozbor.

2.5.1 Lávka přes Švýcarskou zátoku Vranovské přehrady

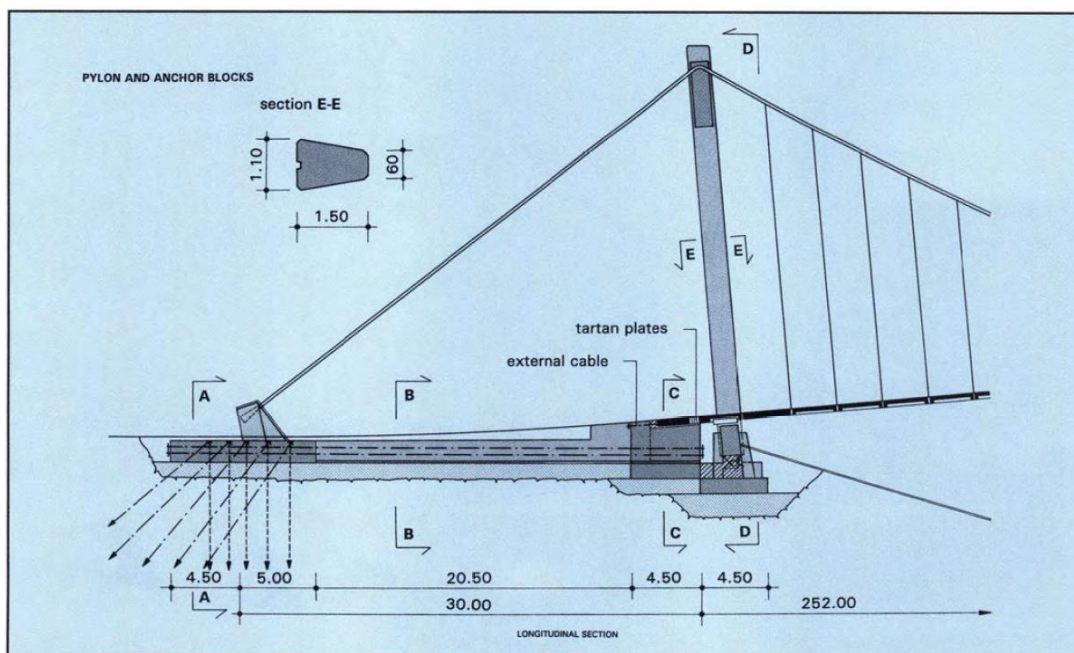
Mostovka lávky je sestavena z prefabrikovaných segmentů o délce 3,0 m, její celková šířka je proměnná od 6,5 m uprostřed rozpětí do 9,7 m u opěr. V podélném směru je mostovka dodatečně předpjatá čtyřmi vnitřními kabely se soudržností. Pro zvýšení aerodynamické stability konstrukce v příčném směru jsou použity ještě dva nesoudržné kabely vedené podél zakřivených okrajů mostovky. Hlavní visuté kabely jsou z předpínacích lan zainjektovaných cementovou maltou v ocelových trubkách. Pylony jsou betonové a mají tvar „A“ se zakřivenými dříky. Pro eliminaci ohybových momentů vznikajících v důsledku tohoto zakřivení jsou dříky pylonu předpjaté. Na obr. 28 až obr. 30 jsou dobové výkresy příčného řezu, detailu podélného řezu, podélného pohledu a detailu uložení mostu. [1]



Obr. 28: Příčný a podélný řez mostem. [10]



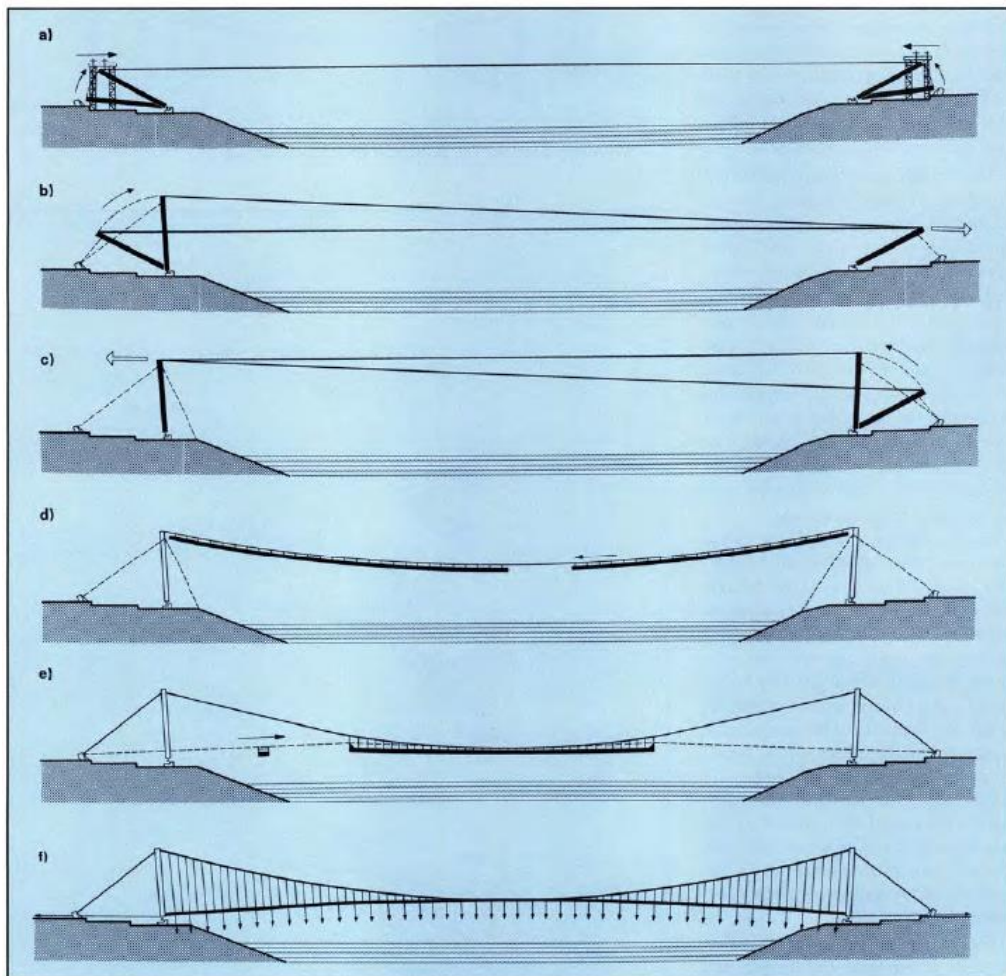
Obr. 29: Pohled na most. [10]



Obr. 30: Detail uložení mostu. [10]

Pylony byly vybetonovány ve vodorovné poloze a následně byly zdviženy pomocí dočasných podpěr a pomocí montážních kabelů, natažených přes zátoku. Během výstavby byly pylony v patě uloženy kloubově, na závěr byly do základů vetknuty. Montážní kabely použité pro zdvižení pylonů byly poté využity i pro montáž částí vnějších ocelových trubek hlavních visutých kabelů. Následně byla ocelovými trubkami protažena předpínací lana. Prefabrikované segmenty byly montovány od středu rozpětí k okrajům konstrukce s pomocí vozíku pojíždějícího po dalších montážních lanech. V definitivní poloze byl montovaný segment ocelovými čepy připojen k předcházejícímu segmentu a zavěšen na závěsy vedené z hlavních visutých kabelů. Na závěr byly svařeny části vnějších ocelových trubek hlavních visutých kabelů, dobetonovány spáry mezi segmenty a visuté kabely i mostovka byly předepnuty. Lávka byla uvedena do provozu v roce 1993.

Na obr. 31 je naznačený postup výstavby lávky a na obr. 32 je fotografie její finální podoby. [1]



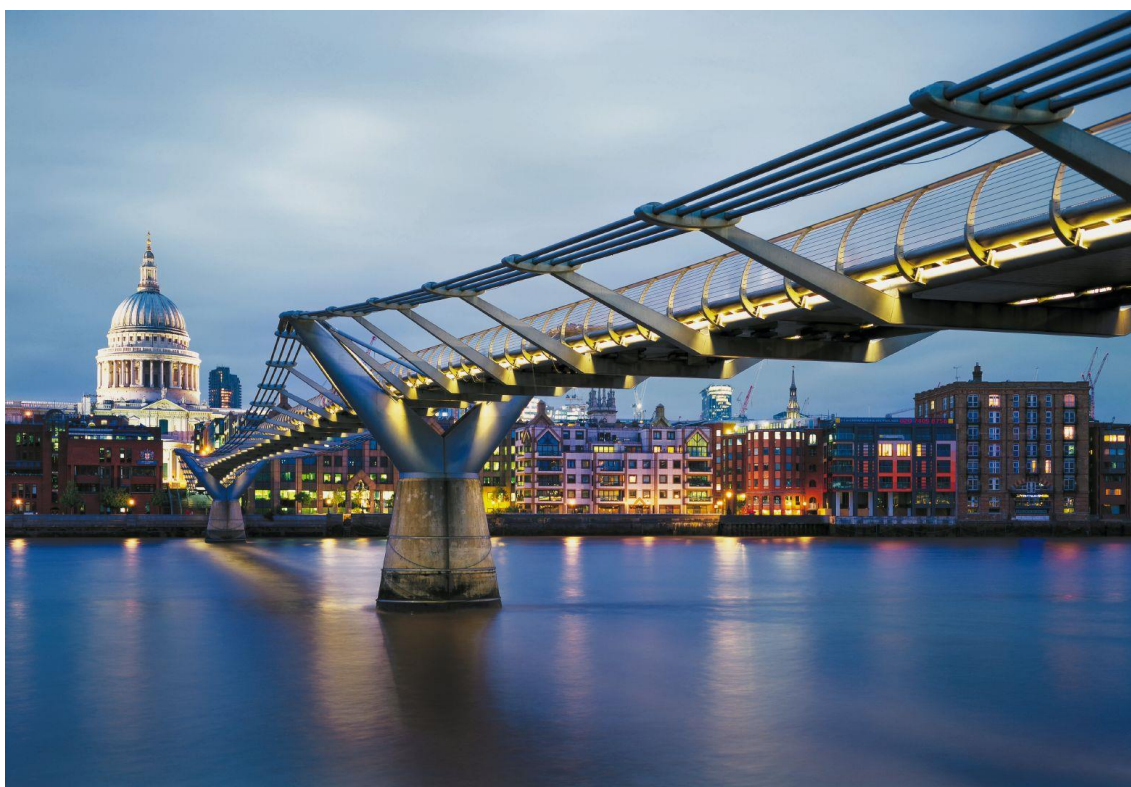
Obr. 31: Fáze výstavby. [10]



Obr. 32: Fotografie realizovaného mostu. [9]

2.5.2 Millenium Bridge v Londýně [11]

Známa lávka pro pěší Millenium Bridge, která přemostuje řeku Temži, leží mezi mosty Southwark bridge a Blackfriars bridge. Most byl navržen jako mělký visutý most, kde jsou nosné kabely co nejvíce pod úrovní mostovky, aby byl z lávky volný výhled. Hlavní nosnou konstrukci tvoří dvě skupiny čtyř ocelových kabelů o průměru 120 mm, které jsou v pravidelných intervalech zamčeny do ocelových zámků, a které visí na dvou pilířích tvaru „Y“. Rozpětí třech polí je 81 m, 144 m a 108 m. Výškový rozdíl mezi nejvyšším a nejnižším umístění kabelů je 2 až 3m. Fotografie mostu je zobrazena na obr. 33.



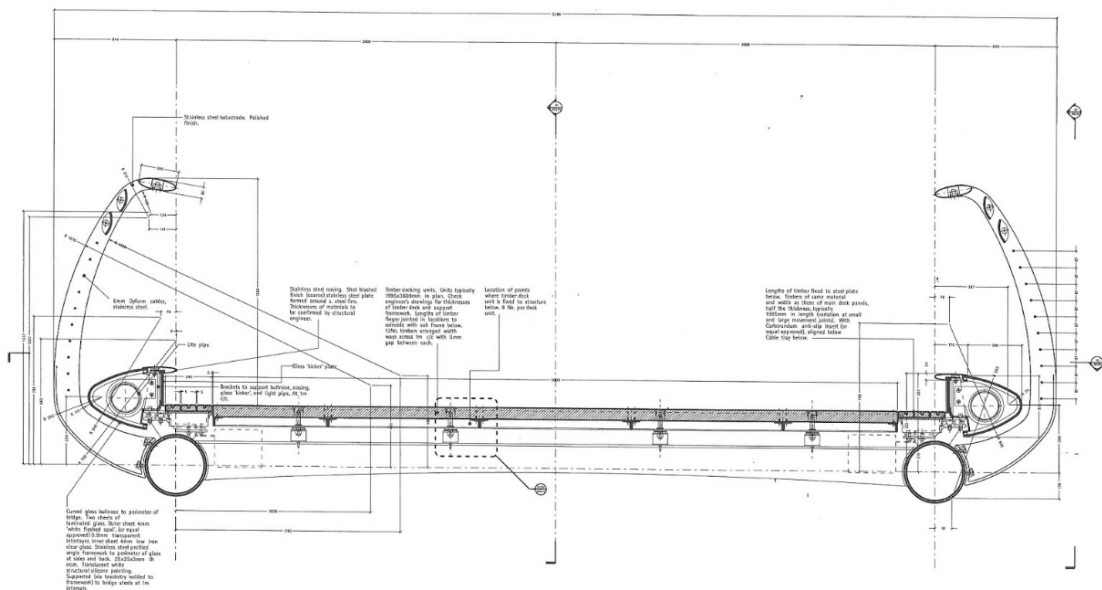
Obr. 33: Fotografie Millenium Bridge v Londýně. [12]

Každých 8 metrů jsou čtveřice kabelů spojeny prefabrikovanými ocelovými traverzami, na kterých je umístěna 4 m široká mostovka. Mostovku tvoří dvě ocelové trubky, mezi kterými je hliníková deska. Osvětlení a zábradlí je umístěno na trubkách. Skupiny kabelů jsou ukotveny na každém břehu v masivních betonových opěrách založených na skupině pilot o průměru 2,1 m. Na severním břehu je 12 pilot a na jižním 16. Pilíře tvoří ocelové „V“ umístěné na vysokopevnostních betonových sloupech o průměru 6 m. Na obr. 34 je fotografie detailu spojení kabelů a uložení mostovky.



Obr. 34: Detailní fotografie Millenium Bridge v Londýně. [12]

Kabely tvoří primární nosnou část mostu a mají velmi mělký průhyb, jak je popsáno výše. Visuté mosty, které mají podobně mělké profily, mívají typicky jen jedno pole, aby mohly být kabely hned za pilířem zakotveny. Millenium Bridge je v tomto ohledu netypický tím, že má tři pole. Pilíře na řece jsou poměrně štíhlé a tak neposkytují mostu srovnatelnou tuhost jako masivní opěry, aby jednotlivá pole mostu mohla interagovat. Na obr. 35 je znázorněn příčný řez mostovkou.



Obr. 35: Příčný řez mostovkou Millenium Bridge v Londýně. [13]

Mělké zavěšení kabelů má za následek velké napětí v kabelech. Výsledné celkové napětí v kabelu je 22,5 MN. V konvenčních mostech je mostovka vyztužena tak, aby odolávala bočnímu působení větru. V případě Millenium Bridge je konstrukční systém ve vertikálním i horizontálním směru podobný (závěsy nejsou svislé), protože se většina jeho tuhosti odvíjí z napínací tuhosti kabelů. Most je navržen tak, aby jeho tuhost zvládla mezní deformaci od svislého zatížení, které je vyšší než zatížení větrem, takže není potřeba žádné další vyztužení kvůli větru. Další výhodou plynoucí z umístění nosných kabelů je zvýšená torzní tuhost, způsobená tím, že jsou kabely daleko od sebe a také daleko od hranic mostovky. Na obr. 36 je zobrazena fotografie z ptáčích perspektivy, na které je jasně vidět netradiční uspořádání nosných kabelů a závěsů.



Obr. 36: Pohled z ptáčích perspektivy na Millenium Bridge v Londýně. [14]

Tělo pilíře má zužující se eliptický průřez z monolitického železobetonu C60. Bednění pilíře bylo prefabrikováno ze tří částí, z nichž každá byla přibližně 5 m vysoká. Ocelový vrchol pilíře ve tvaru „V“ je k betonové části připojený pomocí tyčí z vysokopevnostní oceli o průměru 75 mm. „V“ část pilíře je z části předepruta ocelovými tyčemi.

Základy pro každý pilíř tvoří pár kesonů o průměru 6 m, který sahá do hloubky 18 m pod dno koryta řeky. Tyto kesony jsou navrženy tak, aby pilíře vydržely náraz lodi o síle 35,9 MN.

Největší zatížení, které působí na základy opěr, jsou vodorovné síly od kabelů, které dosahují až 30 MN. Základové piloty musí navíc odolat horizontálnímu zatížení od půdy. Základy opěr tvoří skupina betonovaných pilot o průměru 2,1 m a délce 28 m z betonu C40. Na pilotách se nachází 3 m vysoká monolitická betonová opěra. Opěry jsou navíc obaleny stlačitelným roštem z pěnového polystyrenu, který je odděluje od půdy, a tím zabraňuje narušení říční stěny, které by mohlo způsobit posun nebo deformace opěr.

Tato lávka je známá hlavně tím, že byla hned po otevření v roce 2000 z důvodu kmitání uzavřena. Během prvních dnů provozu byla návštěvnost lávky tak vysoká (až 2000 lidí v jeden okamžik), že začala nepatrně kmitat. Chodci na kmitání reagovali přizpůsobeným rytmem chůze, čímž kmitání mnohonásobně zvyšovali. Lávka byla následně uzavřena a problém byl odstraněn instalací hydraulických tlumičů pro horizontální i vertikální směr. Most byl opět uveden do provozu až v roce 2002.

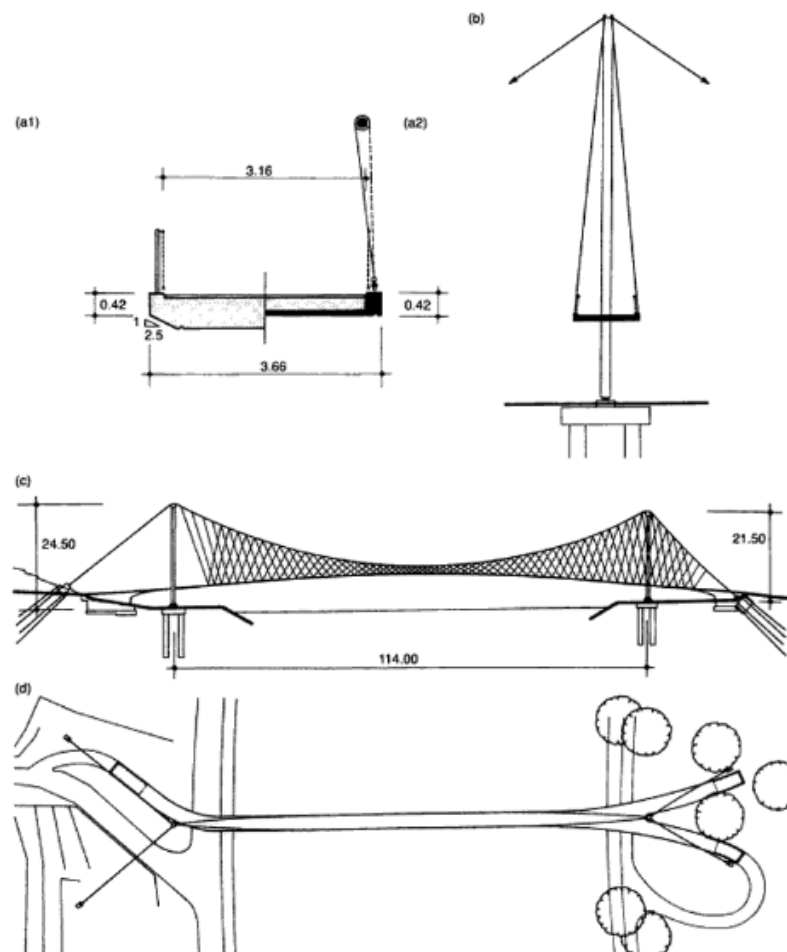


Obr. 37: Fotografie z otevření mostu Millenium Bridge v Londýně. [15]

2.5.3 Max-Eyth-See Bridge přes řeku Neckar

Tato lávka byla postavena roku 1987 přes řeku Neckar ve Stuttgartu v Německu. Visutá konstrukce byla vybrána, protože designově vhodně spojuje strmý břeh řeky na jedné straně a plochý park na druhé.

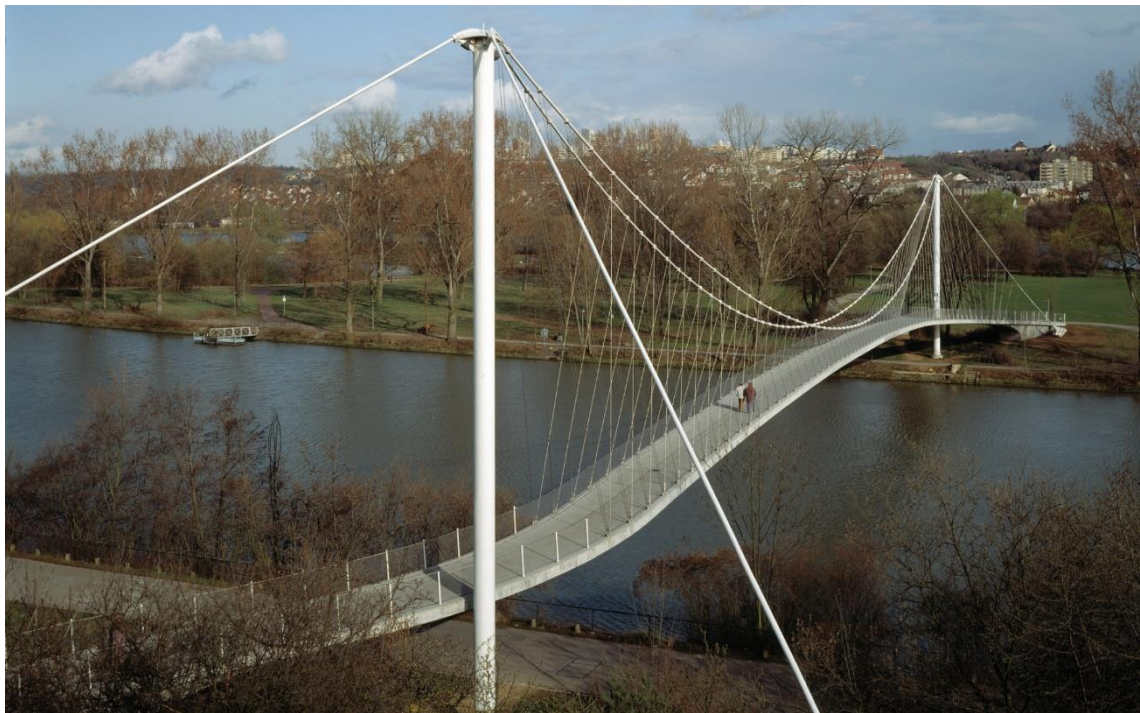
Rožpětí mostu je 114 m. Most je zavěšen na dvou pylonech rozdílné výšky (24,5 m a 21,5 m). Mostovka je navržena jako betonová deska tloušťky 0,42 m a půdorysně má velmi zajímavý tvar, kdy na jednom přechu zatáčí, aby se napojila na strmý chodník v kopci, a na druhém břehu se rozdvouje kolem pylonu a napojuje na dva různé chodníky. Mostovka je zavěšena šikmými táhly (na každé straně mostovky jsou táhla nakloněna na jinou stranu a tím přispívají k tuhosti celé konstrukce) na dvě lana, která se na pylonech spojují a směrem do středu rozpětí se rozšiřují. Pylony jsou stabilizovány táhly, která jsou upevněna do základů. Geometrie mostu je zobrazena na obr. 38, fotografie mostu jsou na obr. 39 a 40.[16] [24]



Obr. 38: Geometrie Max-Eyth-See Bridge, Stuttgart, Německo. [16]



Obr. 39: Max-Eyth-See Bridge, Stuttgart, Německo. [25]



Obr. 40: Max-Eyth-See Bridge, Stuttgart, Německo. [24]

3 Technická zpráva

V této kapitole je zpracována zjednodušená technická zpráva, která vychází z podkladů projektu firmy SUDOP PRAHA. Zpráva se zabývá částmi, které souvisí s obsahem této diplomové práce. Tyto podklady se skládaly z těchto dokumentů:

1. Úvodní údaje,
2. průvodní zpráva,
3. Souhrnná technická zpráva,
4. Přehledná situace stavby,
5. Celková situace stavby,
6. Podélný řez,
7. Podélný řez v místě pilíře,
8. Příčný řez,
9. Půdorys,
10. Fotografie s grafickým modelem konstrukce.

Předmětem projektu je návrh visuté lávky přes řeku Berouнку v Radotíně, která byla navržena jako alternativa k rekonstrukci stávající lávky, která by v tomto případě byla stržena.

3.1 Popis stavby

3.1.1 Poloha stavby

Stavba se nachází v intravilánu městské části Praha 16 – Radotín poblíž kostela sv. Petra a Pavla. Nová lávka je oproti současnému stavu umístěna proti proudu Berounky. Z urbanistického hlediska dochází na levém břehu k napřímení spojnice mezi náměstím sv. Petra a Pavla v Radotíně a ulicí K Radotínu na pravém břehu. Stávající lávka bude odstraněna až po uvedení do provozu nové lávky.

3.1.2 Zhodnocení staveniště

Stavba se nachází na pomezí intravilánu MČ Praha – Radotín a extravilánu MČ Praha – Zbraslav. Na levém břehu je vedena cyklostezka, nad níž je na svahu umístěno historické jádro Radotína. Na pravém břehu je neupravený terén a nivy Berounky. Z toho vyplývá, že co největší část výstavby bude provedena ze strany Zbraslavi, aby došlo k minimalizaci omezení souvisejících s výstavbou v obci Radotín.

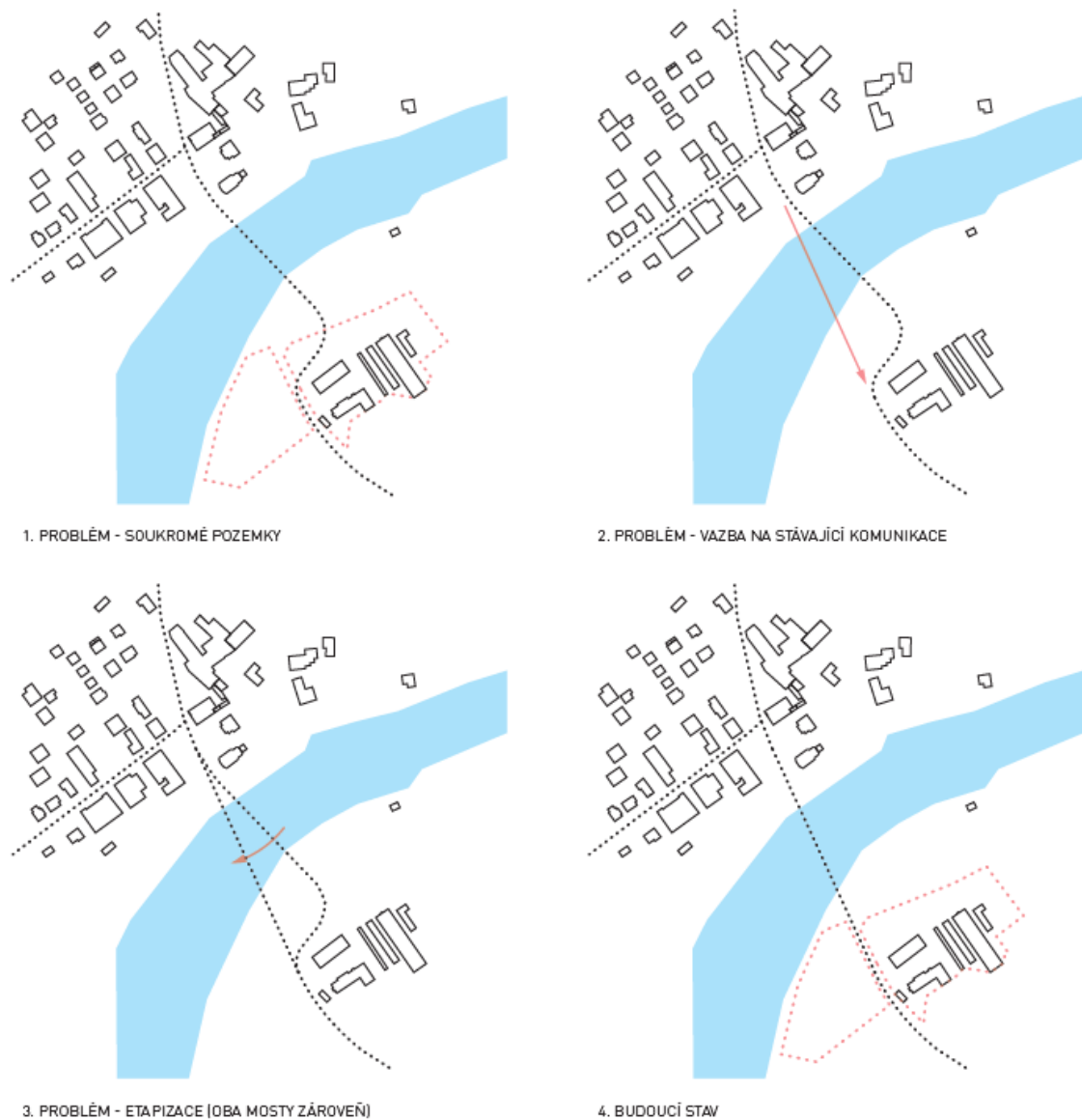


Obr. 41: Umístění novotavby vzhledem k stávajícímu stavu.

3.1.3 Urbanistické řešení

V urbanistickém řešení původní konstrukce je zjevný záměr minimalizovat rozpětí lávky. Toto umístění bylo nově vyhodnoceno jako problématické ze dvou důvodů. Za prvé původní umístění lávky neakceptuje stávající komunikační síť a nenavazuje na stávající veřejnou komunikaci K Radotínu. Za druhé ignoruje stávající vyústění lávky majetkové vztahy a navazující komunikace jsou umístěny na soukromých pozemcích.

Vzhledem k těmto skutečnostem a požadavku provozovatele stávající lávky zachovat její funkčnost do doby uvedení do provozu nové lávky, došlo k posunutí a pootočení nové lávky vzhledem k stávající. Toto řešení vedlo k prodloužení trasy lávky, které mělo zásadní vliv na konstrukční a architektonické řešení. Změna půdorysné stopy lávky je zobrazena na obr. 42.



Obr. 42: Urbanistické řešení – změna půdorysné stopy.

3.1.4 Architektonické řešení

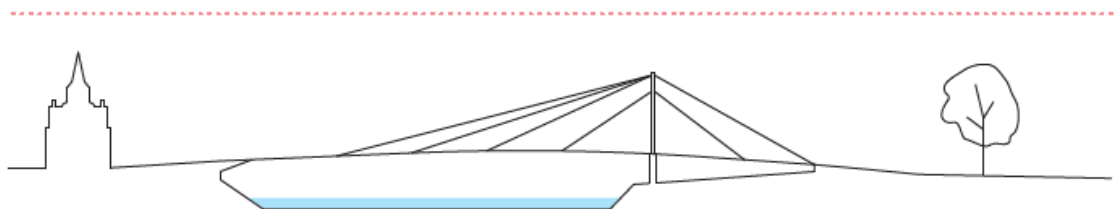
Architektonické řešení vychází z architektonického návrhu zpracovaného firmou Atelier Anta spol. s r. o. v roce 2014.

„Nový návrh opouští předchozí přístup, kdy dominanta jednoho nosného pilíře na protějším břehu tvořila pandán historickému centru a aspirovala na to stát se jakýmsi návěštím v budoucnu uvažovaného rozvoje pravého břehu.

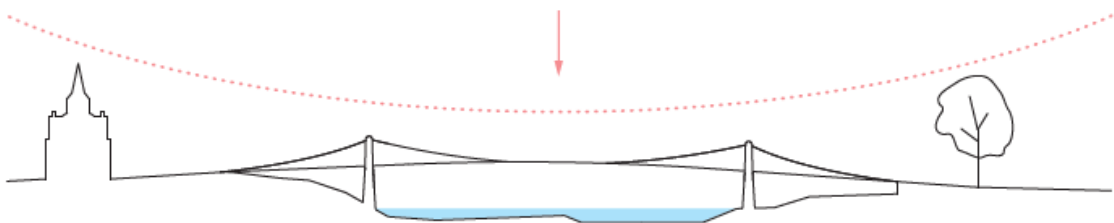
Nový návrh usiluje o zklidnění, navozuje snahu naznačit možnosti rozvoje pravého břehu neambiciózní, přírodní cestou. To vyvolává potřebu hledání tvarosloví (volbu organického řešení), které by napomáhalo vyjádřit spojení ambice levého (městské centrum, barokní kostel sv. Petra a Pavla) a zklidnění pravého (přírodní charakter) břehu.

Tomuto záměru bylo podříženo konstrukční a tvarové řešení lávky. Návrh konstrukce nosných pylonů i mostovky je volen tak, aby při dodržení požadovaného plavebního profilu, uvažovaného pro případ budoucího splavnění Berounky, tvořil výškově minimalizovaný podélný profil průběhu lávky. Toto bylo dosaženo volbou dvou nosných pilířů tvaru „Y“, sklopených směrem k hladině řeky a odhmotněním tvaru mostovky i ostatních konstrukčních prvků lávky – nosných lan, zábradlí apod.“

Ing. Arch. Karel Scheib

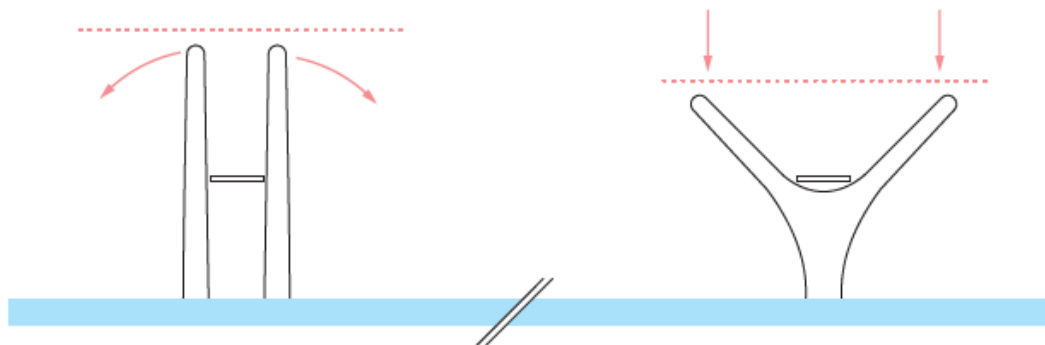


PŮVODNÍ LÁVKA JAKO NEPŘÍROZENÁ DOMINANTA V OPOZICI KE KOSTELU A KE KRAJINĚ



NOVÁ LÁVKA JAKO PŘÍROZENĚJŠÍ SPOJENÍ SÍDLA A KRAJINY

Obr. 43: Architektonické řešení – změna podélného profilu lávky.



KONSTRUKCE JE NAVRŽENA TAK, ABY VÝŠKA LÁVKY BYLA CO MOŽNĀ NEJNIŽŠÍ

Obr. 44: Architektonické řešení – návrh tvaru nosného pylonu.

3.1.5 Navrhované řešení

Hlavní nosnou konstrukci tvoří dvě visutá ocelová lana, která jsou vyvěšena na dvou nosných pilířích ve tvaru „Y“. První pilíř, blíže k radotínskému břehu, je umístěn v korytě řeky, druhý je umístěn mimo koryto na zbraslavském břehu. Na nosných lanech je pomocí ocelových závěsů zavěšena mostovka. Konstrukce mostovky se skládá z železobetonových prefabrikátů z UHPC, které jsou navzájem spojené předpjatými lany a tak tvoří tzv. předpjatý pás.

Obě opěry mostovky jsou řešeny jako železobetonové a monolitické.

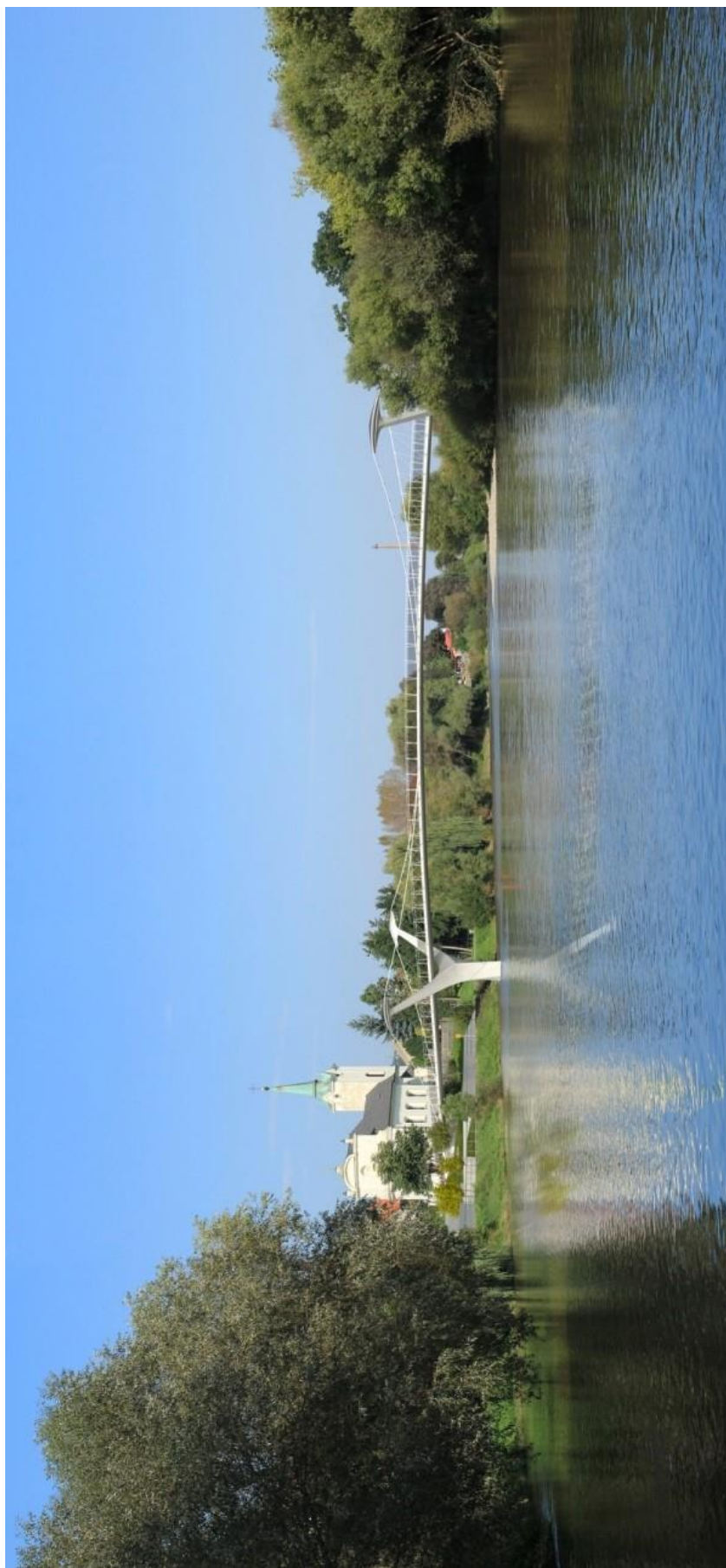
Pilíře ve tvaru „Y“ jsou monolitické.

Hlavní rozpětí konstrukce je 70,7 m, vedlejší pole jsou dlouhá 26,8 m. Volná šířka lávky mezi zábradlím je 3,0 m.

Půdorysně je lávka přímá, výškově je ve střední části tvořená obloukem o poloměru 500 m. Na tento oblouk navazují rampy v křivce o spádu 4,2 % a 7,0 %. Pod lávkou je umožněný plavební profil o šířce 20,0 m a výšce 5,25 m. Na obr. 45 až 47 jsou fotografie s grafickým modelem konstrukce z různých pohledů.



Obr. 45: Pohled na lávku z levého břehu z cyklostezky.



Obr. 46: Pohled na lávku směrem od koupaliště Biotop Radotín.



Obr. 47: Pohled na lávku směrem od úřadu MČ Praha 16.

3.1.6 Technické řešení

Lávka je navržena jako visutá konstrukce o třech polích s rozpětím 26,8 m, 70,7 m a 26,8 m. Mezi zábradlími je lávka široká 3,0 m. Na lávku na obou stranách navazují násypy z armované zeminy, které svádějí komunikaci z lávky na stávající terén.

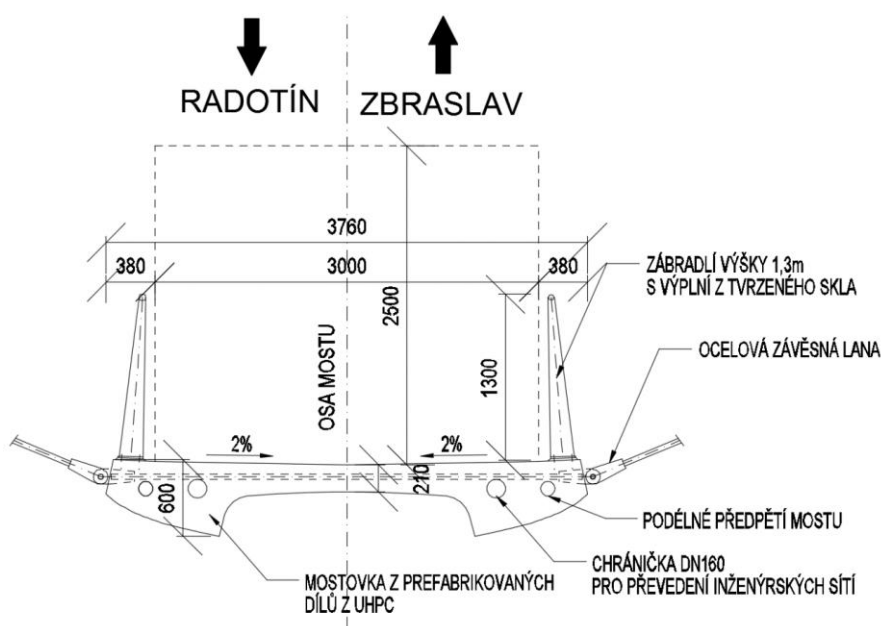
Opěry a pilíře jsou založeny na velkopřůměrových pilotách, které jsou opřené o skalní podloží. Návrh spodní stavby a jejího založení není součástí této diplomové práce.

Na konci pilířů, které mají tvar písmene „Y“, jsou umístěna sedla pro uložení nosných lan.

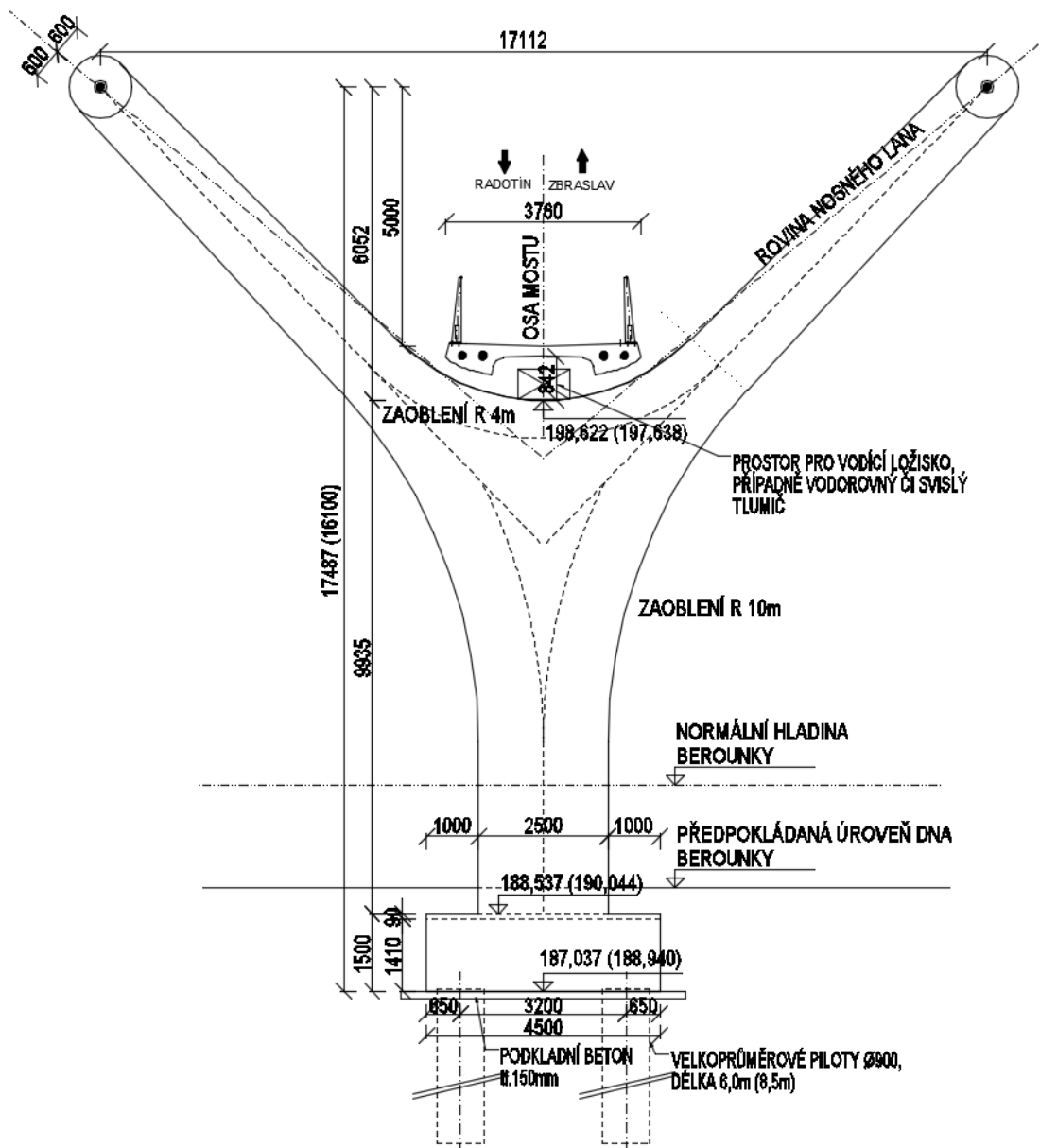
Nosná lana vychází z opěry, prochází přes sedlo na pilíři, vynáší střední pole, prochází přes druhé sedlo na druhém pilíři a končí na druhé opěře. V půdorysu jsou nosná lana ve středním poli vedena ve tvaru paraboly. Spojení mostovky a nosných lan zajišťují šikmé závěsy. Uprostřed rozpětí jsou lana k mostovce připojena krátkými přímými ocelovými prvky kruhového průměru.

Na lávce je navrženo zábradlí o výšce 1,3 m z tvrzeného skla. Veřejné osvětlení lávky je navrženo v madlech zábradlí.

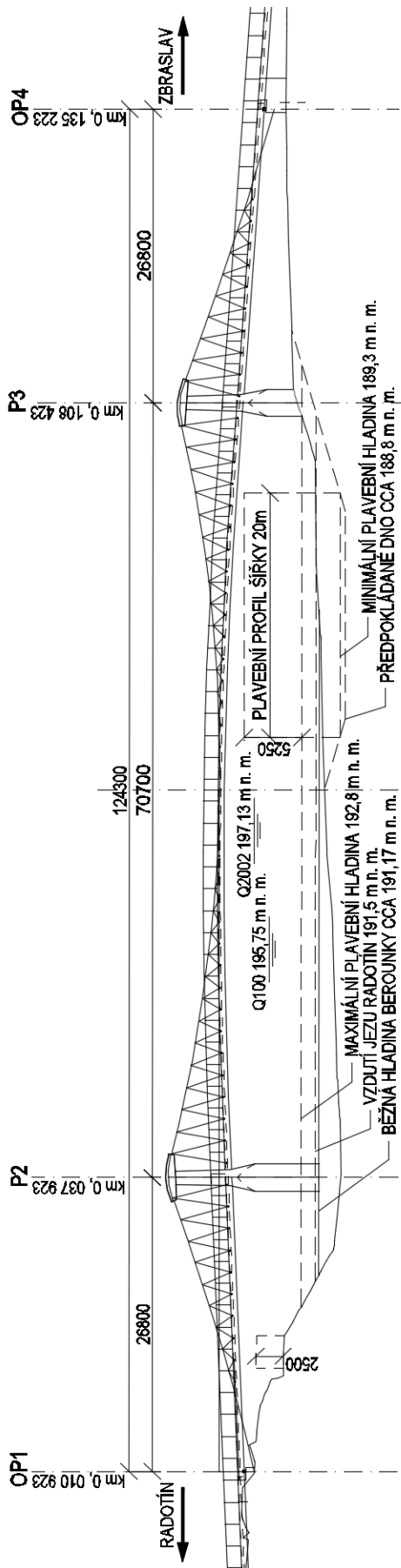
Na obr. 48 až 51 jsou zobrazeny zjednodušené výkresy příčného řezu v poli, příčného řezu v místě pilíře, podélného řezu a půdorysu zobrazující základní rozměry konstrukce. Detailní výkresy finálního návrhu konstrukce jsou v příloze.



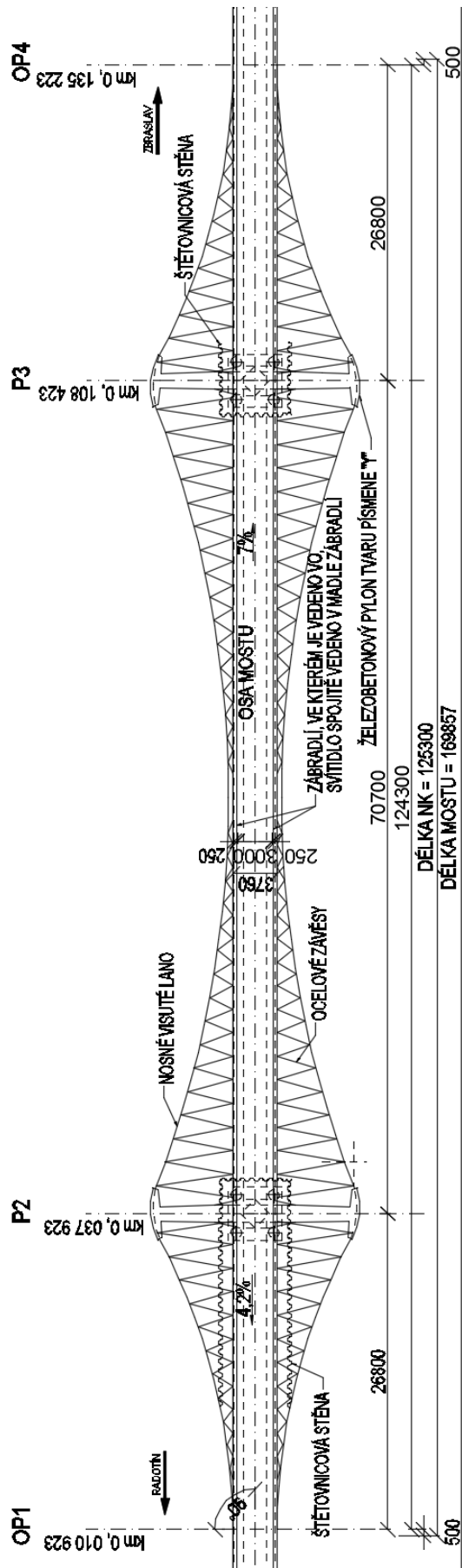
Obr. 48: Příčný řez v poli.



Obr. 49: Příčný řez v místě pilíře.



Obr. 50: Podélný řez.



Obr. 51: Půdorys.

3.1.7 Stávající stav

Stávající lávka vede z křižovatky ulic Nad Berouňkou a náměstí Sv. Petra a Pavla a klesá k nábrežní cyklostezce. Řeku přechází půdorysně kolmo. Na zbraslavském břehu je umístěn pylon a opěra. Z opěry přechází lávka v 3 m vysoký násep. Na náspe se chodník stáčí směrem k jihozápadu k ulici K Radotínu.

Mostovka stávající lávky je dřevěná. Je v neuspokojivém technickém stavu. Kvůli zabránění kolapsu je konstrukce podepřena v korytě řeky dvěma ocelovými portály. Zatížitelnost lávky je tedy značně omezena. Stávající konstrukce je zobrazena na obr. 52.



Obr. 52: Fotografie stávající lávky přes řeku Berouňku v Radotíně. [36]

3.2 Inženýrsko-geologický průzkum

Geologické podmínky nebyly zjištěny, spodní stavba není součástí diplomové práce.

3.3 Návrh řešení pro užívání stavby osobami s omezenou schopností pohybu a orientace

Požadavky ustanovení vyhlášky č. 398/2009 Sb., o obecných požadavcích zabezpečujících bezbariérové užívání staveb, které se vztahují k řešení stavby, jsou splněny.

3.4 Návrh řešení ochrany stavby před negativními účinky vnějšího prostředí

3.4.1 Povodně

Stavba je umístěna v záplavové oblasti. Výškové řešení lávky je vedeno nad hladinou Q100, Q2002 a nad plánovaným plavebním profilem řeky Berounky při maximální plavební hladině.

3.4.2 Sesuv půdy

Stavba není umístěna v oblasti náchylné k sesuvům půdy.

3.4.3 Poddolování

Stavba není umístěna na poddolovaném území.

3.4.4 Seismicita

Stavba není umístěna v seismicky aktivní oblasti.

3.4.5 Radon

Stavba není ohrožena působením radonu.

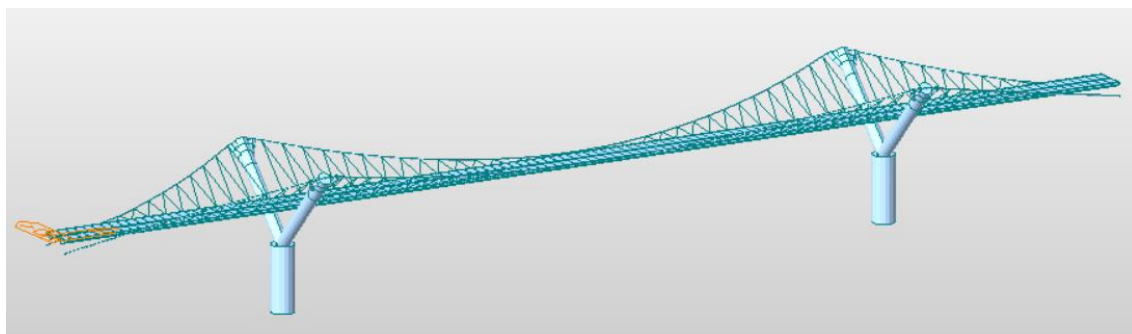
3.4.6 Hluk

Stavba není v prostředí ohrožovaném působením hluku.

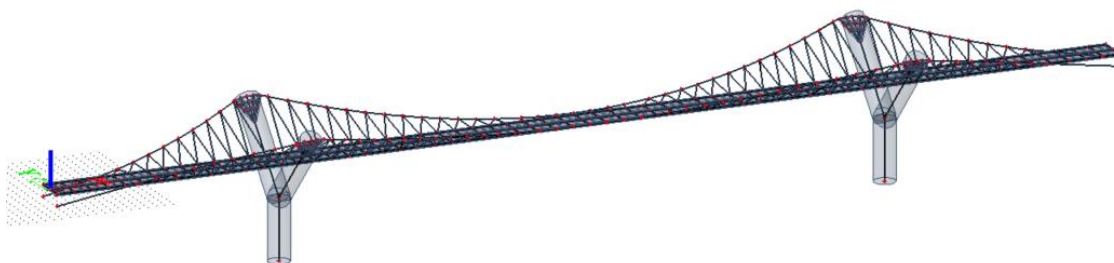
4 Tvorba výpočetního modelu konstrukce

Zásadní část této diplomové práce tvořilo lazení výpočetního modelu zadané konstrukce. Vzhledem ke složitosti a netradičnosti konstrukce byl zvolen postup modelování stejné konstrukce ve dvou výpočetních programech. Byly to programy Midas Civil 2015 a Scia Engineer 16.1. Hlavním důvodem k práci ve dvou výpočetních programech bylo porovnání výsledků (např. vlastních tvarů) z obou programů a tím i posouzení správnosti jednotlivých modelů.

Konstrukce byla modelována jako 3D roštový model skládající se z jednotlivých prutů. Cílem této činnosti bylo dosáhnout co nejrealističtějšího modelu konstrukce, který by popsal statické a dynamické vlastnosti reálné konstrukce co nejvíce se podobající skutečnosti. Na obr. 53 a 54 jsou znázorněny finální modely z jednotlivých programů. V následujících kapitolách je podrobně popsán postup tvorby těchto výpočetních modelů.



Obr. 53: Finální výpočetní model v programu Midas Civil.



Obr. 54: Finální výpočetní model v programu Scia Engineer.

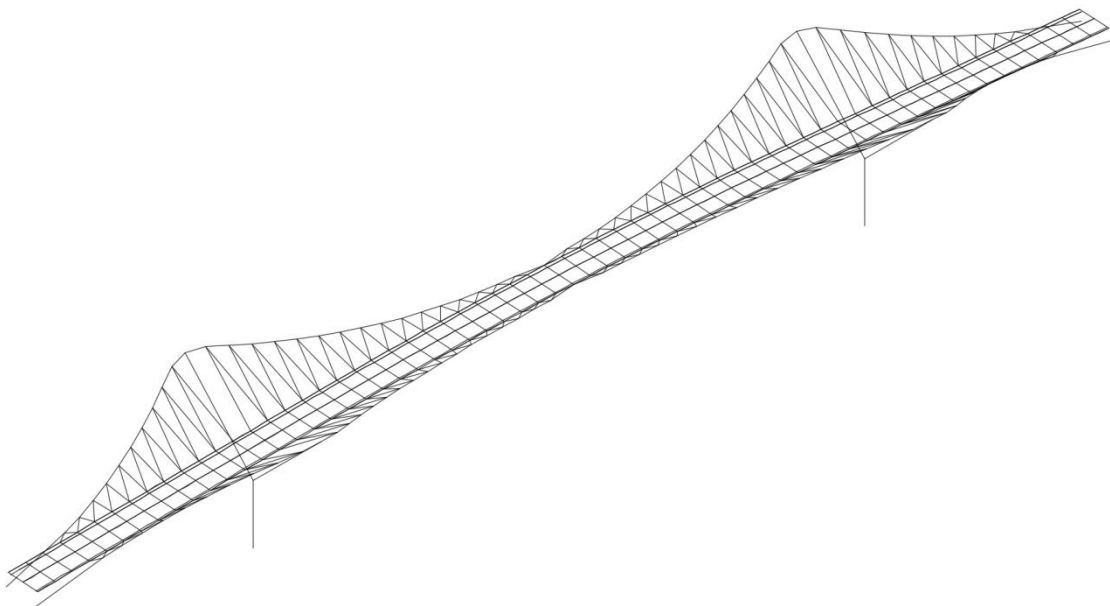
4.1 Podklady pro tvorbu výpočetního modelu

Tvorba modelu konstrukce pro výpočetní programy vycházela z podkladů, které mi byly poskytnuty vedoucím diplomové práce a které jsou součástí projektu firmy SUDOP Praha.

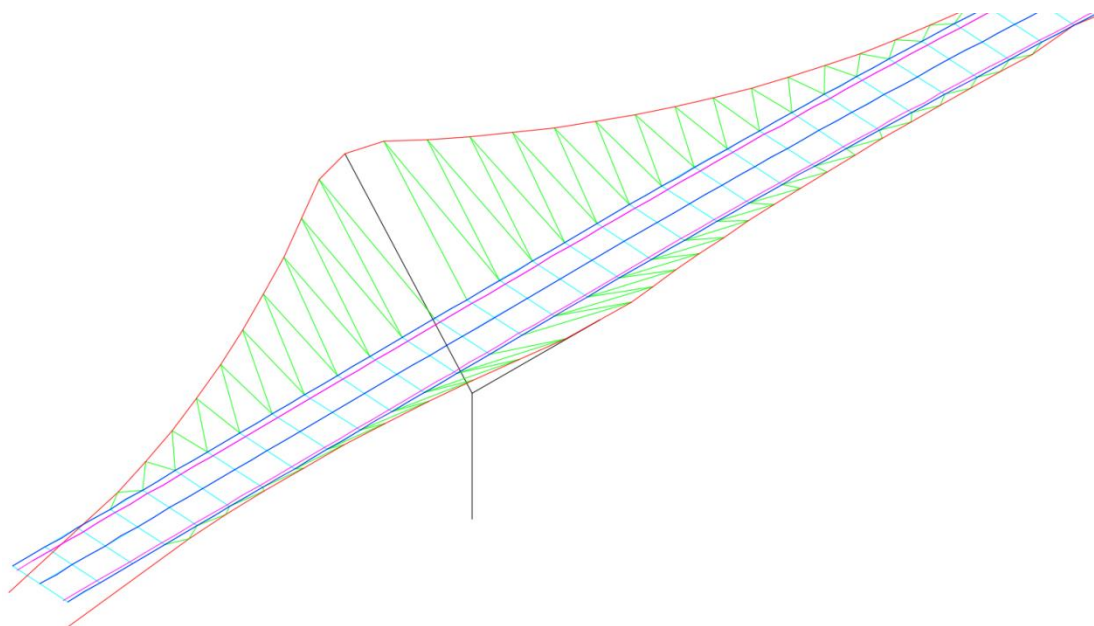
4.1.1 Geometrie modelu v programu AutoCAD

Pro modelování konstrukce ve výpočetních programech byl zvolen postup importování geometrie ze studentské verze programu AutoCAD 2015. Tvorba 3D modelu v AutoCADu vycházela z poskytnutých výkresů, které jsou znázorněné v kapitole 3.1.6 a v příloze diplomové práce.

Jednotlivé komponenty mostu (pilíře, pylony, lana a závěsy) byly nahrazeny úsečkami. Mostovka byla vymodelována jako rošt. Příčně byla rozdělena na tři části (levá část průřezu, pravá část průřezu a střední část průřezu), podélně pak byla rozdělena každé 2 m prutem. Volba této vzdálenosti vycházela ze vzdálenosti jednotlivých závěsů, které jsou s mostovkou spojeny právě každé 2 m. Geometrie prvotního návrhu konstrukce v AutoCADu je znázorněna na obr. 55. Na obr. 56 je pak znázorněna detailněji polovina mostu s barevným rozlišením jednotlivých hladin, které vždy znázorňují jeden typ prutu v modelu.



Obr. 55: Prvotní návrh geometrie modelu v programu AutoCAD.



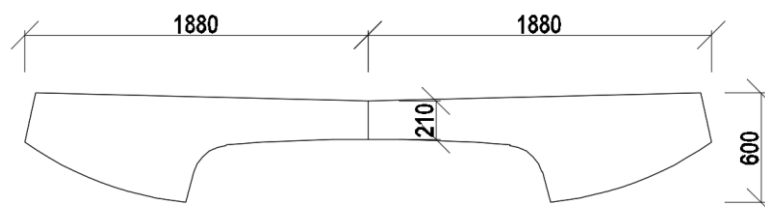
Obr. 56: Barevné rozlišení jednotlivých prutů konstrukce (červená – visutá lana, zelená – závěsy, černá – pylony, tmavě modrá – podélné části mostovky, světle modrá – příčné části mostovky, fialová – trajektorie předpínacích lan v mostovce).

4.1.2 Prvotní návrh průřezů a materiálu

Vzhledem k problémům se studentskou licencí k programu Midas Civil byl první pokus o modelování mostu proveden pouze v programu Scia Engineer. Při importu geometrie z programu AutoCAD bylo nutné přiřadit prutům určité průřezy a materiály. Tyto byly v prvotním návrhu určené „odborným odhadem“ po konzultaci s vedoucím diplomové práce.

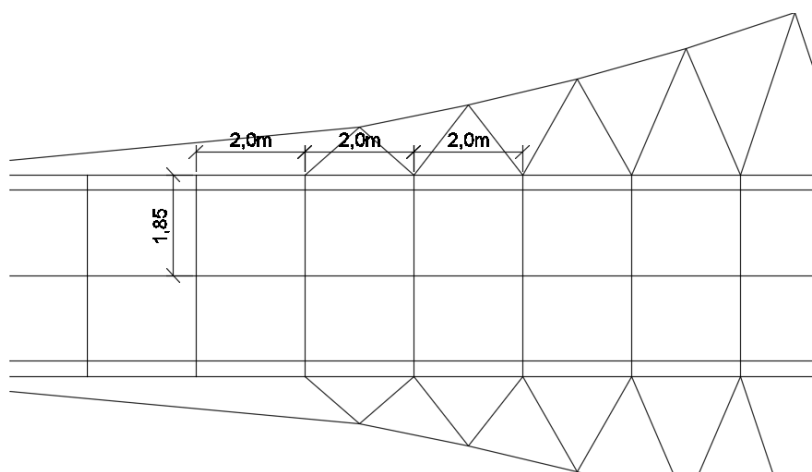
Visutá lana byla navržena jako kruhový masivní průřez o průměru $R = 72 \text{ mm}$ z předpínací oceli Y1860C. Závěsy byly navrženy jako kruhový masivní průřez o průměru $R = 30 \text{ mm}$ z oceli třídy S 450. Návrh pylonů vycházel z výkresu příčného řezu v místě pylonu. Tento objekt „Y“ byl rozdělen na dvě části. Spodní části, tj. „pilíři“ byl přidělen kruhový průřez o průměru $R = 2500 \text{ mm}$ a horním částem nazvaným „pylony“ byl přidělen kruhový průřez o průměru $R = 1400 \text{ mm}$. Oba průřezy byly navrženy z betonu třídy C55/67.

Jak bylo zmíněno výše, byla mostovka složena z několika různých průřezů. Podélný průřez mostovky vycházel z původního návrhu mostu. Tento průřez byl rozdělen na dvě části „levá mostovka“ a „pravá mostovka“ a jeho geometrie byla importována z programu AutoCAD. Geometrie těchto průřezů je znázorněna na obr. 57.



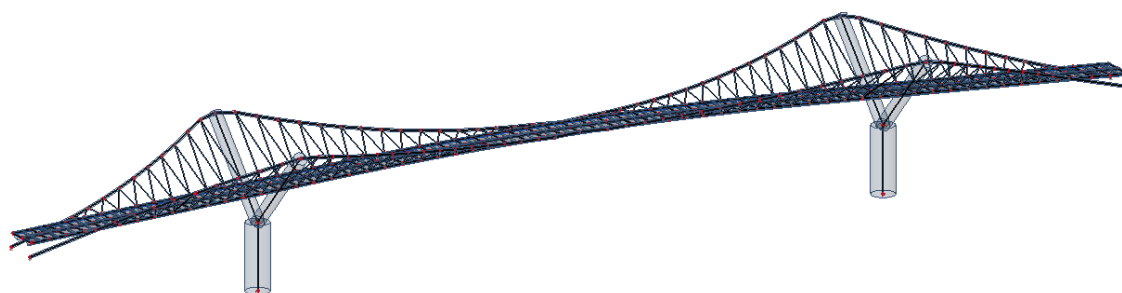
Obr. 57: Rozměry levého a pravého podélného průřezu mostovky.

Podélný průřez byl navíc doplněn středovým čtvercovým prvkem o hraně $a = 210$ mm. V příčném směru byl rošt doplněn průřezy tvaru obdélníku o výšce $H = 210$ mm a šířce $B = 2000$ mm. Šířka odpovídá vzdálenosti průřezů, která je 2000 mm a vychází ze vzdálenosti úchytů šikmých závěsů na mostovce. Mostovka byla navržena z betonu třídy C80/95. Detail rozměrů jednotlivých dílů mostovky je znázorněn na obr. 58.



Obr. 58: Vzdálenost příčných průřezů (půdorys).

Po zobrazení takto navržené rendrované konstrukce ve Scia Engineer bylo zjevné, že je třeba upravit několik vad na návrhu konstrukce, které z jednotlivých 2D výkresů a prutového 3D modelu v AutoCADu nebyly vidět. Změnou geometrie výpočetního modelu se podrobně zabývá následující kapitola 4.2.



Obr. 59: Rendrovaný model prvního návrhu konstrukce v programu Scia Engineer.

4.2 Úpravy geometrie návrhu konstrukce

Na obr. 59 je znázorněn první rendrovaný model v programu Scia Engineer. Po konzultaci s vedoucím diplomové práce bylo rozhodnuto o jeho zjednodušení v několika směrech.

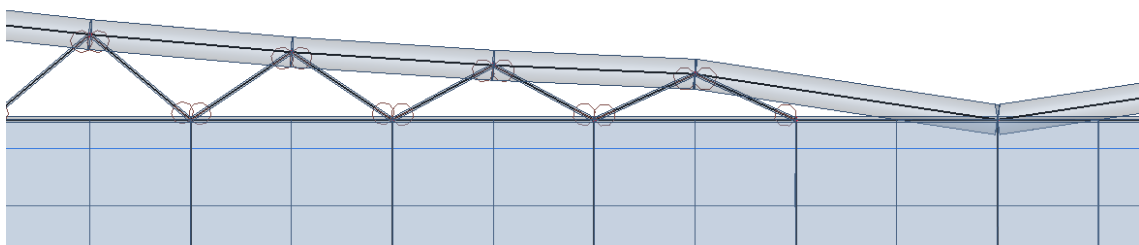
V podélném směru byl zanedbán výškový oblouk $R = 500$ m (viz obr. 60).



Obr. 60: Idealizace modelu.

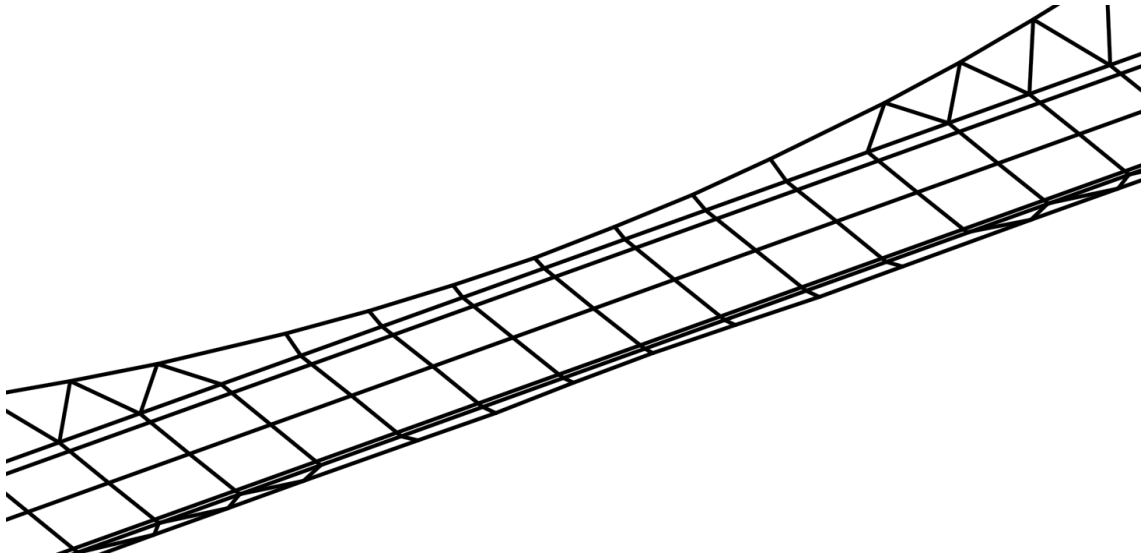
Výška pilířů byla sjednocena a v jejich místě byla vyrovnána niveleta mostovky. Konstrukce se tak stala pro zjednodušení v podélném i příčném směru souměrná. Vzhledem k celkové změně geometrie konstrukce byla upravena trajektorie visutých lan a tím i umístění závěsů. Toto zjednodušení mělo za následek také úpravu geometrie vedení předpínacích kabelů v mostovce, které se tak změnilo z proměnné trajektorie na přímku.

Při detailním zobrazení středu hlavních rozpětí mostu ve Scia Engineer došlo ke zjištění, že zde konstrukce není podle původního návrhu realizovatelná. Hmoty závěsů a visutých kabelů se zde překrývaly (viz obr. 61) a středové pole mostovky zde nebylo dořešené vzhledem k plánovanému postupu výstavy, proto zde byl původní návrh upraven.



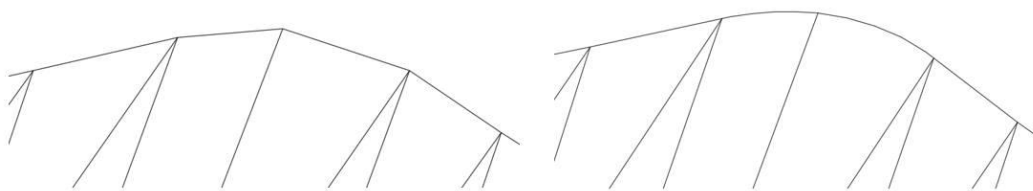
Obr. 61: Půdorysné zobrazení střední části modelu vytvořeného podle původních výkresů.

Změna návrhu tohoto detailu byla realizována tak, že bylo na každé straně konstrukce 7 závěsů uprostřed rozpětí změněno z šikmých na přímé kruhové ocelové prvky s větším průměrem než původní šikmé závěsy (viz obr. 62). Kromě realizovatelnosti tohoto návrhu byla tímto krokem také dořešena trajektorie nosných kabelů v této části konstrukce.



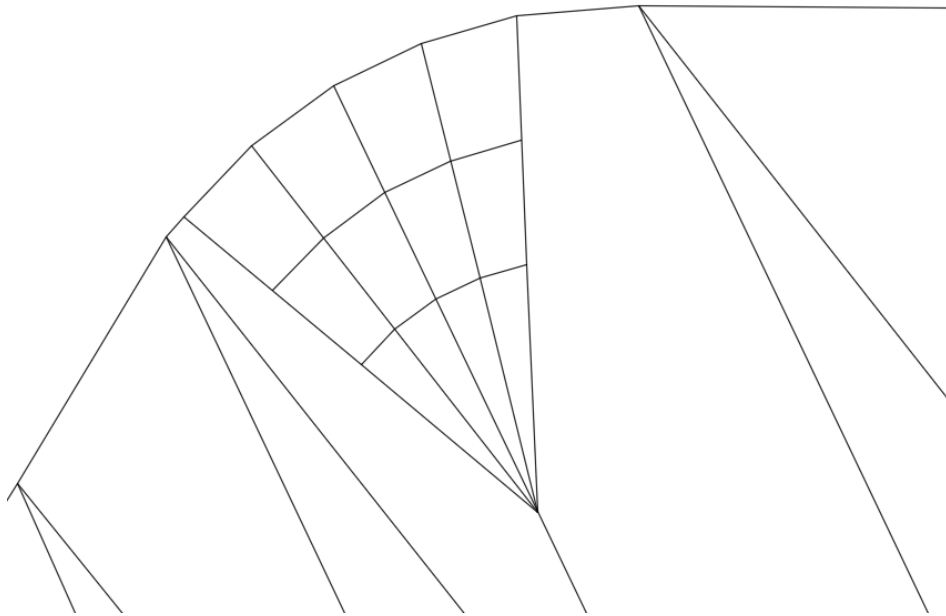
Obr. 62: Geometrie závěsů ve středu hlavního rozpětí mostu.

Poslední úpravou geometrie byla změna detailu uložení nosných kabelů na pylonech. Jelikož je na reálné konstrukci nosný kabel podepírán tzv. sedlem, aby byla snížena hodnota ohybového momentu na kraji uložení kabelu, bylo nutné simulaci tohoto sedla vymodelovat i ve výpočetním modelu. Tohoto bylo dosaženo soustavou prutů s vysokou tuhostí, které podepírají lano vějířovitě na několika místech v poměrně malé blízkosti a tím sedlo simulují. Tímto krokem také byla dořešena plynulá trajektorie visutého kabelu v tomto detailu konstrukce. Úprava trajektorie kabelu nad pylonem je znázorněna na obr. 63.

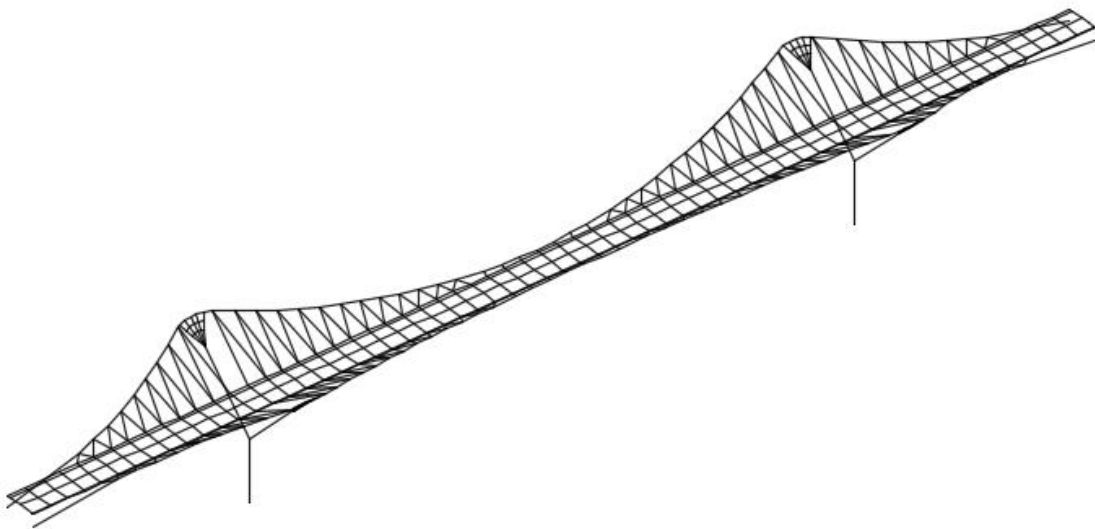


Obr. 63: Úprava geometrie kabelů nad pylonem.

Detail způsobu vymodelování sedla pro nosné kabely je znázorněný na obr. 64. Znázornění finálního návrhu celého 3D modelu v programu AutoCAD, který byl použit pro importování do výpočetních programů, použitých pro návrh konstrukce, je na obr. 65.



Obr. 64: Detail nahrazení sedla pylonu pruty s vysokou tuhostí.



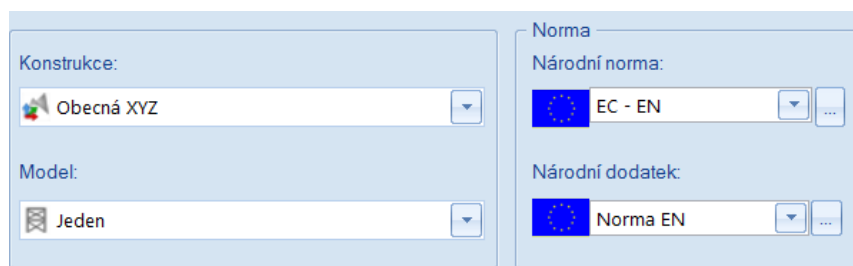
Obr. 65: Geometrie 3D prutového modelu konstrukce.

4.3 Postup modelování v programu Scia Engineer

V následující kapitole je popsáno ladění výpočetního modelu v programu Scia Engineer, které vycházelo z geometrie konstrukce znázorněné na obr. 64. Kapitola se nejprve zabývá nastavením funkcionalit pro správný výpočet modelu a dále importováním geometrie a přiřazením jednotlivých průřezů. Následně jsou zde popsány jednotlivé detaily modelu, jako je uložení, úprava prutových spojů a podobně. Dále je v této kapitole rozebrán způsob zadání zatížení na konstrukci a skupin hmot pro dynamický výpočet. Nakonec je zde popsáno nastavení výpočtu a vyhodnocení získaných výsledků z modelu.

4.3.1 Nastavení projektu a funkcionalit v programu Scia Engineer

Projekt v programu byl nastaven jako obecná XYZ konstrukce. (obr. 66). Fáze výstavby v této fázi výpočtu zatím uvažovány nebyly, proto byl Model nastaven jako „jeden“, tedy bez fází výstavby.

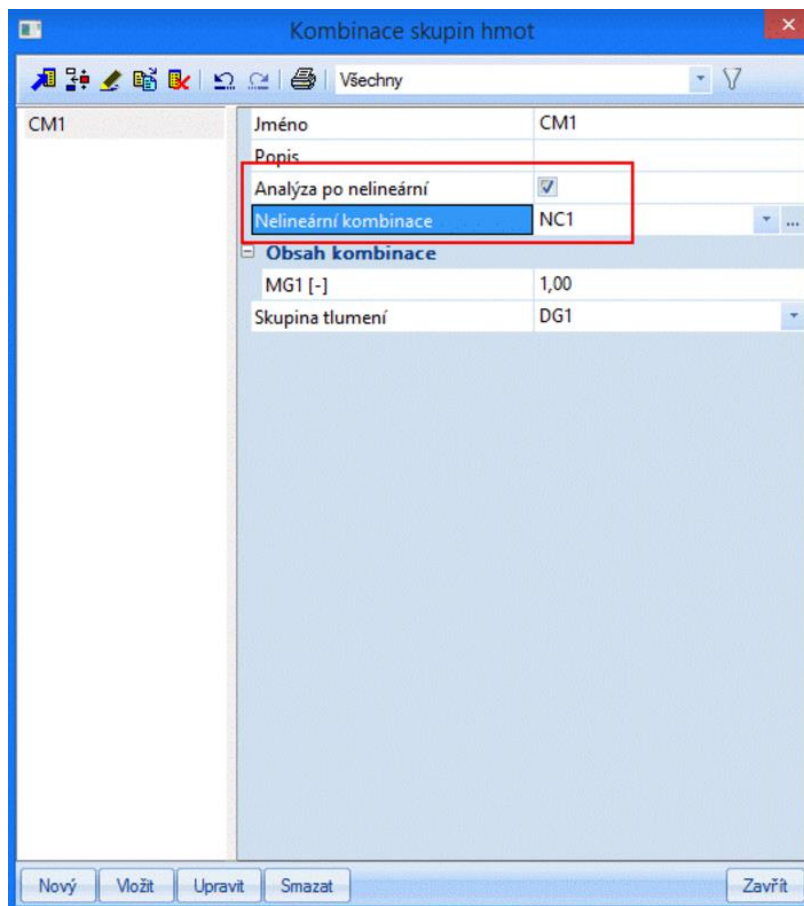
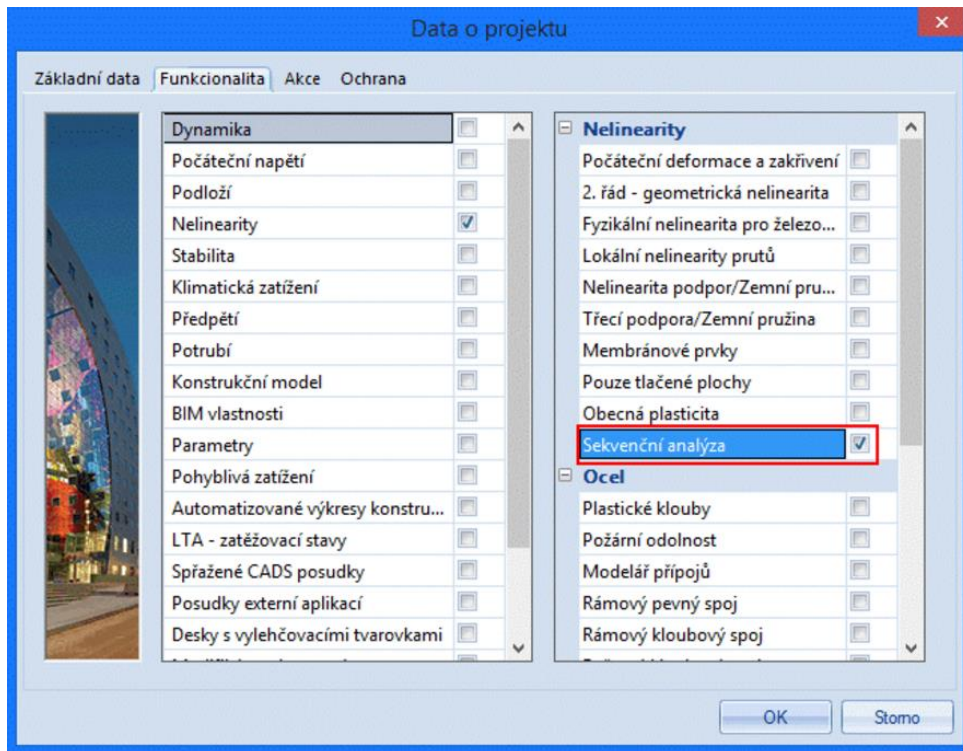


Obr. 66: Základní data o projektu.

Pro výpočetní model bylo důležité hlavně správné nastavení funkcionalit. Vzhledem k důležitosti dynamického výpočtu byla použita funkcionalita „Dynamika“. Dynamickým výpočtem se podrobně zabývá kapitola 7. Co se dynamiky týče, byl u takového typu konstrukce požadavek na to, aby byly vlastní frekvence a tvary spočítány až po nelineárním výpočtu. Do tohoto nelineárního výpočtu měl být zadán počáteční stav předpětí nosných kabelů a závěsných táhel tak, jak to vyplývá z fází výstavby, kterým se věnuje kapitola 5. Protože není tento postup popsán v návodu k programu, kontaktoval jsem technickou podporu.

Dynamický výpočet na nelineární konstrukci byl proveden následovně. Ve funkcionalitách byla do programu zařazena „Sekvenční analýza“, která otevřela

možnost tvoření nelineárních kombinací. Tato nelineární kombinace poté byla zadána do kombinace skupiny hmot (obr. 67).



Obr. 67: Zavedení nelineárních kombinací do dynamického výpočtu.

Nelineární výpočet nebyl požadován jen ve výpočtu modální analýzy, ale také ve statické analýze. Pro nastavení tohoto výpočtu bylo zapotřebí nastavit dle návodu na help.scia.net ve funkcionalitách také „Počáteční napětí“, „Lokální nelinearity prutů“, „Výpočet 2. řádu“ a „Lano“. Na doporučení vedoucího diplomové práce bylo však počáteční napětí prutů modelováno ochlazením teplotou dle Hookova zákona a dle zákona o teplotní roztažnosti.

Poslední nutnou funkcionalitou bylo „Předpětí“, jelikož předpínací kabely, které byly navrženy do mostovky, měly být modelovány pomocí této funkce.

4.3.2 Výpočetní model v programu Scia Engineer

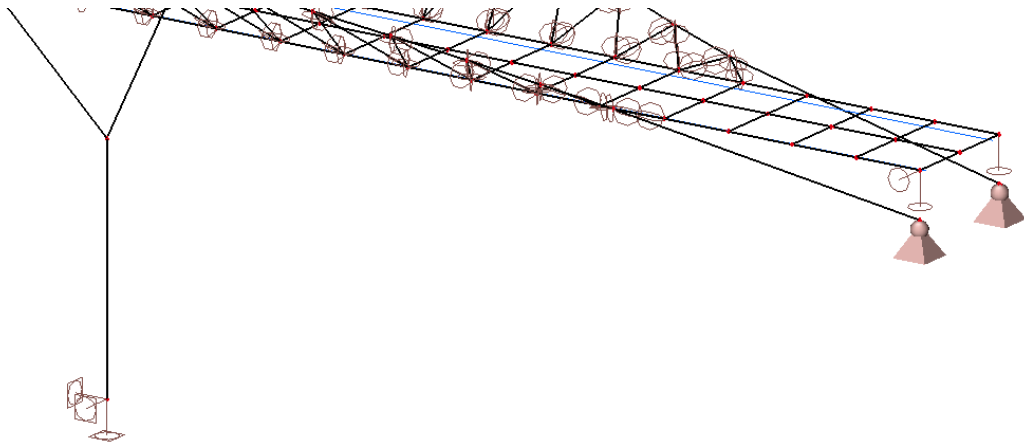
Výpočetní model konstrukce byl navržen jako roštový model skládající se z jednotlivých prutů. Prvotní návrhy materiálů a průřezů byly již popsány v kapitole 4.1.2. Finální návrhy těchto hodnot jsou popsány v kapitole 5.1.2 a finální statické posouzení v kapitole 6.

4.3.2.1 Podpory

Konstrukce byla podepřena celkem na deseti místech. Každý pilíř byl na spodní straně všesměrně vetknut (všesměrné posuny tuhé, všesměrné pootočení tuhé). Zakončení visutých nosných lan bylo na obou koncích mostu modelováno jako kloubová podpora se třemi stupni volnosti (všesměrné posuny tuhé, všesměrné pootočení volné). Mostovka je uložena na čtyřech podporách, které byly modelovány různými styly. Vzhledem ke snaze o souměrné reakce v závěsech a podle informací z odborné literatury byly nakonec uloženy s co nejvíce volnými stupni volnosti, aby byla dovolena deformace konstrukce (všesměrné pootočení volné, posun ve svislém směru tuhý, ostatní posuny dle schématu, viz obr. 68). Pohled na podpory v programu Scia Engineer je na obr. 69.



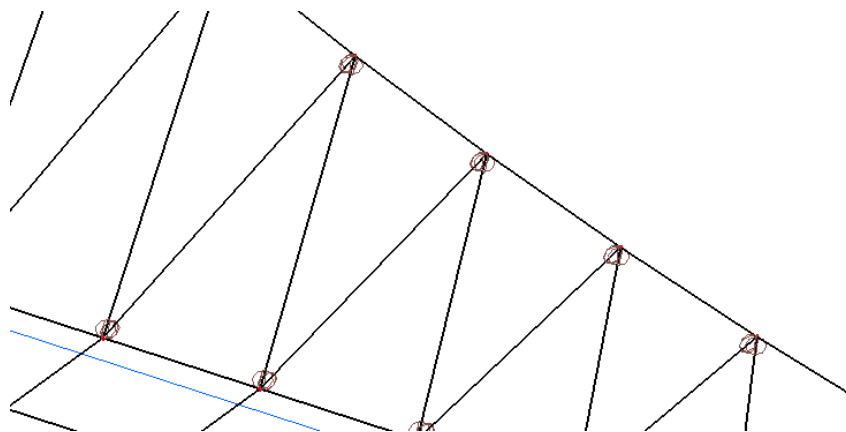
Obr. 68: Schéma uložení mostovky (půdorys).



Obr. 69: Znáznění podpor v programu Scia Engineer (uložení je na nezobrazené části konstrukce stejně jako na této).

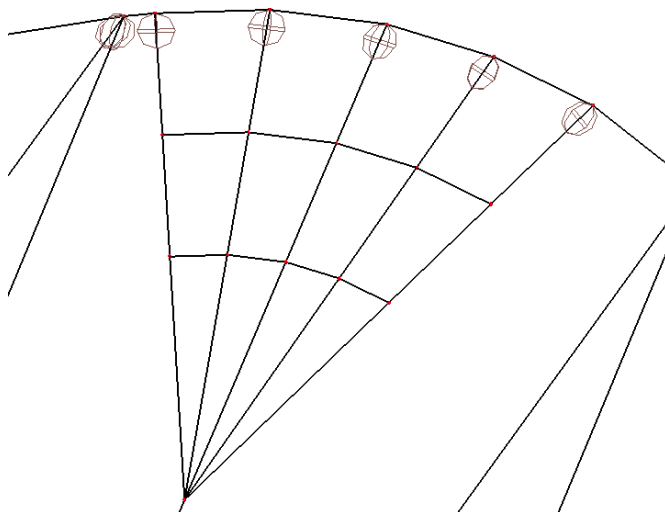
4.3.2.2 Klouby na prutech

Jak je znázorněno na obr. 70, byly ocelové závěsy připojené k ostatním částem konstrukce všesměrnými klouby.



Obr. 70: Detail znázornění kloubového spojení závěsů se zbytkem konstrukce v programu Scia Engineer.

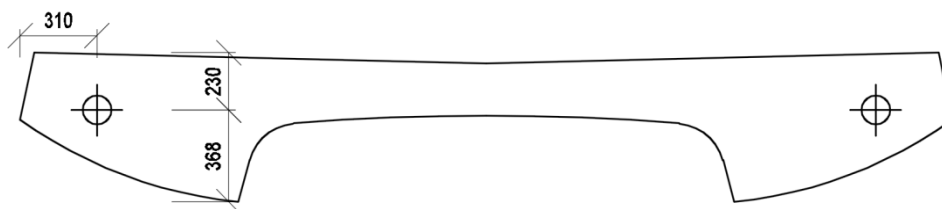
Na obr. 71 je znázorněno řešení modelu sedla na vrcholu pylonů, který podpírá visuté lano. Sedlo bylo vymodelováno pomocí systému tuhých prutů. Na styku těchto prutů a visutých lan byly definovány kloubové spoje s volným posunem ve směru vedení lana. Tento princip byl použit ve snaze přiblížit se k chování tohoto detailu konstrukce ve skutečnosti.



Obr. 71: Detail modelu spojení pylonu a visutého lana v programu Scia Engineer.

4.3.2.3 Předpjaté kabely

Mostovka byla dle prvotního návrhu předepnutá dvěma kabely. Kabely jsou umístěny v kanálcích v prefabrikovaných dílech mostovky na vodorovné ose těžiště mostovky. Jelikož byla v modelu mostovka idealizována a není zakřivena, jsou kabely vedeny po přímce. Umístění kabelů v mostovce je znázorněno na obr. 72. Tabulka s vlastnostmi jednotlivých kabelů je znázorněna na obr. 73.



Obr. 72: Znázornění umístění předpínacích kabelů.

Materiál	
Materiál	Y1770S7-15,7
Počet prvků v kabelu (ns)	19
Počet kabelů ve skupině (ng)	1
Plocha [mm ²]	2850,00
Průměr kanálku [mm]	60,00

Obr. 73: Specifikace návrhu předpínacích kabelů.

4.3.3 Zatížení v programu Scia Engineer

4.3.3.1 Zatížení vlastní tíhou, ostatní stálé zatížení a nahodilé zatížení

Vzhledem k tomu, že byla konstrukce modelována jako roštová, překrývají se hmoty jednotlivých prutů v mostovce. Z tohoto důvodu nebyla pro vlastní tíhu použita automatická generace vlastní tíhy z programu, ale zatížení bylo modelováno liniovým zatížením na pruty. Stejným způsobem bylo modelováno i ostatní stálé zatížení a nahodilé zatížení. Tabulka hodnot těchto zatížení se nachází v kapitole 6.1.

4.3.3.2 Hmoty

Pro dynamické výpočty se v programu Scia Engineer používá specifický typ zatížení „hmoty“. Hmoty modelují účinky skutečného reálného zatížení. Toto zatížení je idealizováno zavedením hmotných bodů nebo hmotných prutů.

Pro dynamický výpočet této konstrukce byly použity spojitě hmoty na prut vycházející ze stálého zatížení.

4.3.3.3 Předpětí nosných lan a šikmých závěsů

Předpětí nosných lan a závěsů bylo ve výpočetním programu modelováno pomocí ochlazení teplotou. Hodnoty ochlazení byl vypočítány tak, aby v závěsech byla vyvozena požadovaná vnitřní síla. Návrhu tohoto ochlazení se podrobně věnuje kapitola 5.

4.3.4 Nastavení výpočtu v programu Scia Engineer

Při nastavení výpočtu byla vzhledem k nelinearitám dle návodu hep.scia.net použita Newton-Raphsonova metoda. Timošenkova metoda 2. řádu je při použití visutých lan v analýze nepřesná.

V nastavení řešiče bylo přidáno Počáteční napětí, které bylo definováno teplotou, viz. kapitola 4.3.3.3.

V modální analýze byl nastaven počet sledovaných vlastních tvarů vždy takový, aby se pokryly vlatní frekvence do 5 Hz.

4.4 Postup modelování v programu Midas Civil

V této kapitole je popsáno ladění výpočetního modelu v programu Midas Civil. Model vycházel stejně jako u Scia Engineer z konstrukce znázorněné na obr. 64. Protože byl postup v mnoha ohledech stejný jako v kapitole 4.3, je postup v Midasu Civil popsán stručněji.

4.4.1 Nastavení projektu v programu Midas Civil

Vzhledem k netradičnosti konstrukce a kombinaci visutého mostu s mostovkou z předpjatého visutého pásu nebyl v programu použit „Suspension Bridge Wizard“, který slouží k návrhu visutých mostů.

Geometrie byla do programu importována z připraveného 3D modelu v AutoCADu. Materiály a průřezy byly přiděleny stejně jako v programu Scia Engineer. Stejným způsobem jako ve Scia Engineer byly nastaveny i podpory, klouby na prutech, předpjaté kabely, zatížení a hmoty.

4.4.2 Předpětí nosných lan a šikmých závěsů v programu Midas Civil

Nelineární předpětí zde bylo na rozdíl od Scia modelováno přímo pomocí funkce „Initial Forces“, která přímo definuje sílu v kN na prutu. Byla snaha lana předepnout teplotou jako v programu Scia Engineer, aby se zachoval naprosto stejný postup u obou modelů, ale bohužel nebylo zjištěno, jak tento postup v Midasu aplikovat. Technická podpora na zasílané dotazy nereagovala.

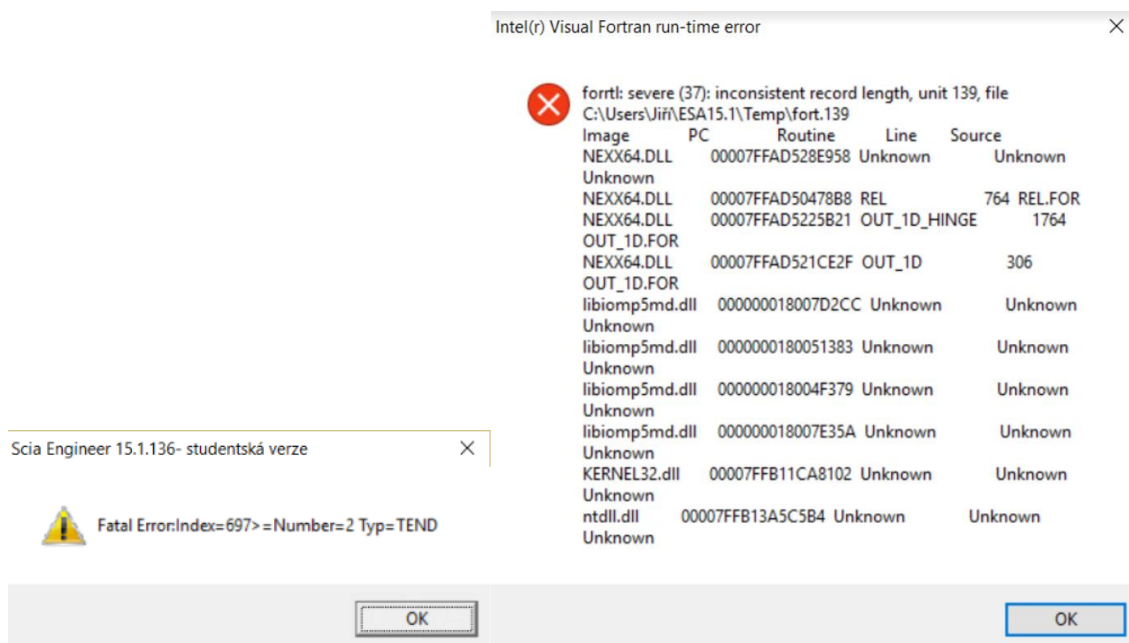
4.4.3 Nastavení výpočtu v programu Midas Civil

Nelineární výpočet byl stejně jako ve Scie nastavený s iterační metodou Newton-Raphson. Jelikož Midas Civil nepovoluje nelineární výpočet a dynamický výpočet najednou, byl pro dynamický výpočet vytvořen druhý model, kde byla nastavena dynamická analýza s uvažováním nelineárního napětí lan.

4.5 Vyhodnocení výsledků z výpočetních programů

Jak již bylo zmíněno výše, byl zvolen postup ve dvou výpočetních programech kvůli vzájemné kontrole výsledků. V následujících kapitolách jsou srovnány reakce v podporách a prvních 10 vlastních frekvencí a tvarů z obou modelů.

V programu Scia Engineer bohužel nefungoval nelineární výpočet u výsledného modelu. Program hlásil singularitu vždy v jednom uzlu konstrukce, po nahrazení tohoto uzlu hlásil singularitu v dalším uzlu, atd. Při opravě všech uzlů hlásil program chyby znázorněné na obr. 74. Problém byl konzultován s technickou podporou, kde mi bylo řečeno, že u takto složité konstrukce při nelineárním výpočtu padá 64-bit solver. Bylo mi doporučeno stáhnout si nejnovější verzi programu, která měla být v tomto směru stabilnější. Problém však přetrvával i s novým softwarem a řešení tohoto problému se nepodařilo nalézt. Model ze Scia Engineer byl tedy použit pouze ke srovnání hodnot výsledků z lineárního výpočtu. Tyto hodnoty nemají bohužel žádnou výpovědní hodnotu o mostu vzhledem k tomu, že v tomto případě nemohou být kabely konstrukce nelineárně předeptnuté a model tedy neodpovídá reálné konstrukci. I tak však mohl být model použit k srovnání výsledků a ověření správnosti modelování v Midas Civil.

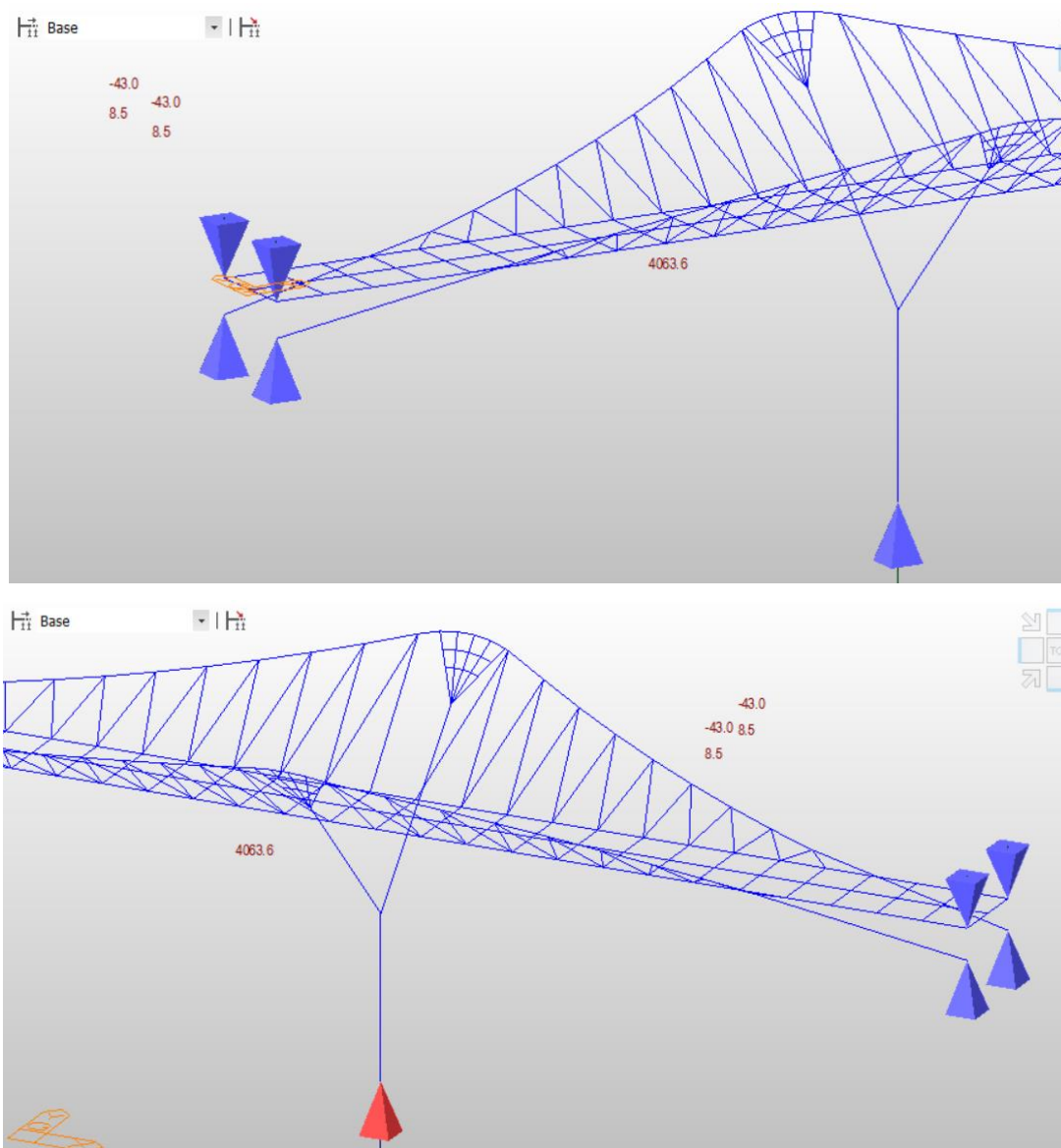


Obr. 74: Chyby zobrazované při použití nelineárního výpočtu v programu Scia Engineer.

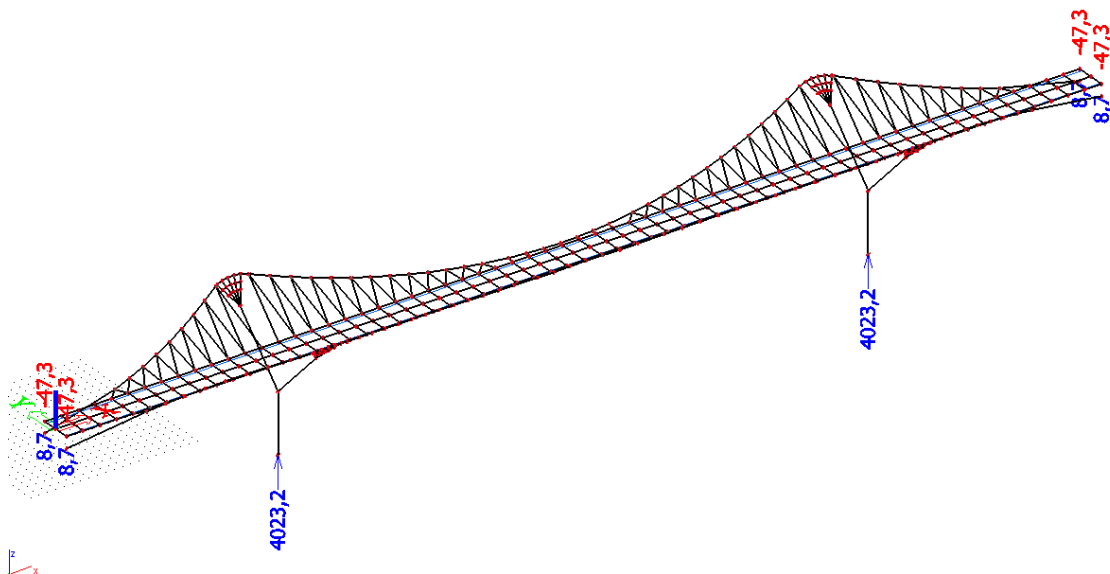
4.5.1 Srovnání reakcí v podporách

Jak bylo zmíněno v úvodu kapitoly 4.5, proběhlo srovnání modelů jen při lineárním výpočtu. Limit pro úspěšné srovnání modelů byl konzultován s vedoucím diplomové práce a bylo určeno, že za úspěšné řešení výpočetních modelů bude považováno, pokud budou rozdíly výsledných hodnot maximálně 10 %.

Na obr. 75 jsou znázorněny svislé reakce v podporách modelu zatíženým vlastní tíhou při lineárním výpočtu v programu Midas Civil, na obr. 76 poté v programu Scia Engineer.



Obr. 75: Reakce od vlastní tíhy při lineárním výpočtu v programu Scia Engineer.



Obr. 76: Reakce od vlastní tíhy při lineárním výpočtu v programu Midas Civil.

Z výpočtů vyplývá tato tabulka:

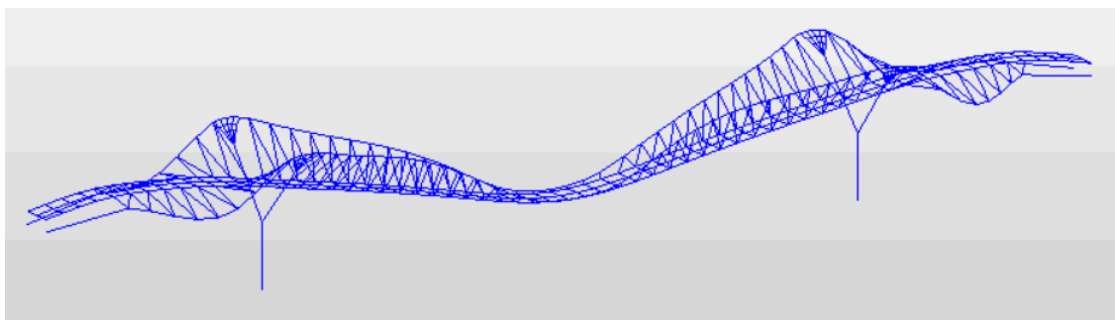
	Reakce ve směru osy Z		Střední hodnota [kN]	Shoda		Rozdíl [%]
	Scia	Midas		Scia	Midas	
	[kN]	[kN]		[%]	[%]	
Pilíř 1	4063.6	4023.2	4043.4	100.50	99.50	1.00
Pilíř 2	4063.6	4023.2	4043.4	100.50	99.50	1.00
Lano 1	8.5	8.7	8.6	98.84	101.16	2.33
Lano 2	8.5	8.7	8.6	98.84	101.16	2.33
Lano 3	8.5	8.7	8.6	98.84	101.16	2.33
Lano 4	8.5	8.7	8.6	98.84	101.16	2.33
Mostovka 1	43.0	47.3	45.2	95.24	104.76	9.52
Mostovka 2	43.0	47.3	45.2	95.24	104.76	9.52
Mostovka 3	43.0	47.3	45.2	95.24	104.76	9.52
Mostovka 4	43.0	47.3	45.2	95.24	104.76	9.52

Tab. 3: Shoda svislých reakcí z jednotlivých výpočetních modelů.

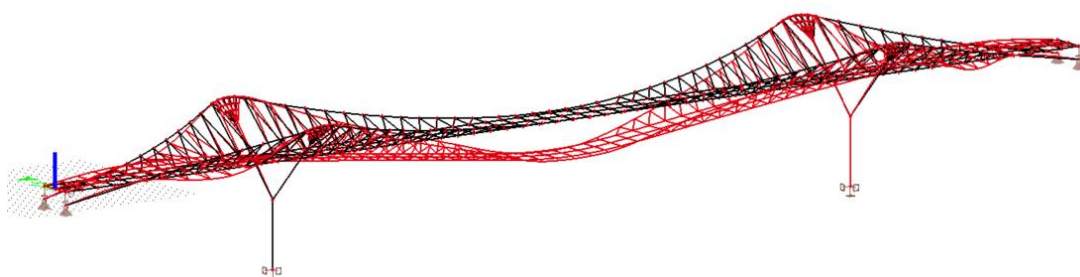
Z tabulky lze vyčíst, že rozdíly mezi reakcemi jednotlivých modelů nepřesahují 10 %. Výpočet byl tedy v tomto směru úspěšný.

4.5.2 Srovnání vlastních frekvencí a vlastních tvarů

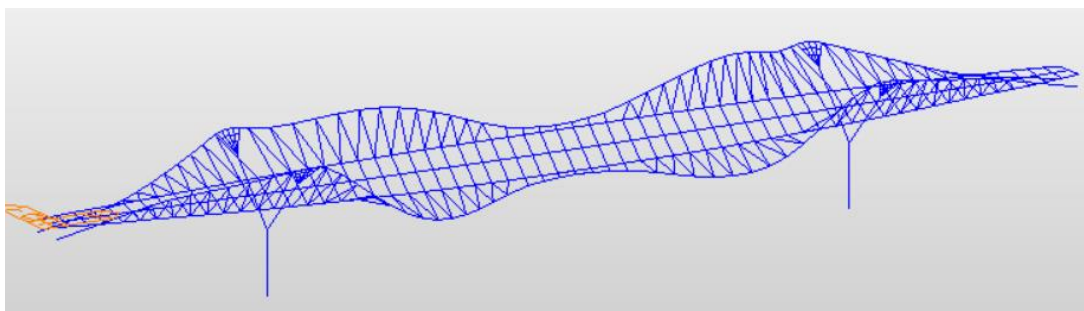
V této kapitole je pro srovnání zobrazeno prvních 10 vl. tvarů z obou výpočetních modelů. Vl. frekvence jsou uvedeny vždy v popisu obrázku. Podrobnou dynamickou analýzou se zabývá kapitola 7.



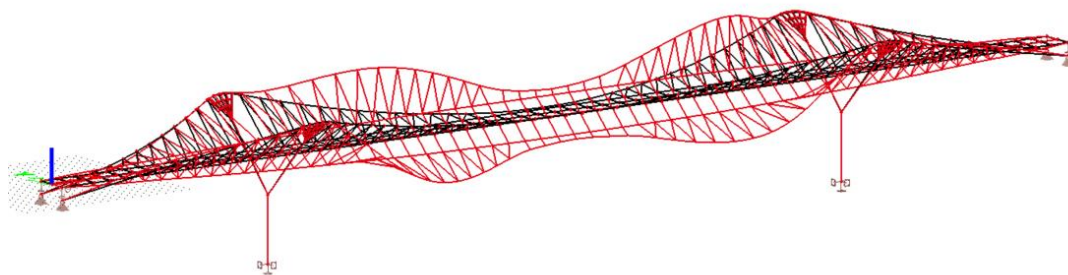
Obr. 77: Midas Civil, 1. vl. tvar, $f=0,8499$ Hz.



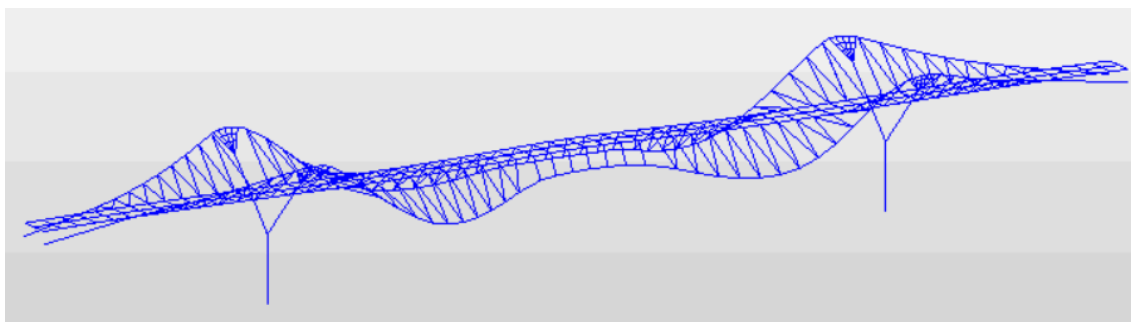
Obr. 78: Scia Engineer, 1. vl. tvar, $f=0,8431$ Hz.



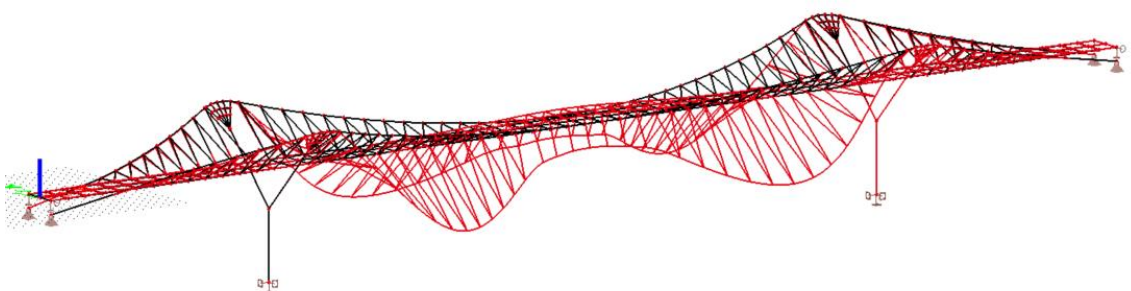
Obr. 79: Midas Civil, 2. vl. tvar, $f=1,0221$ Hz.



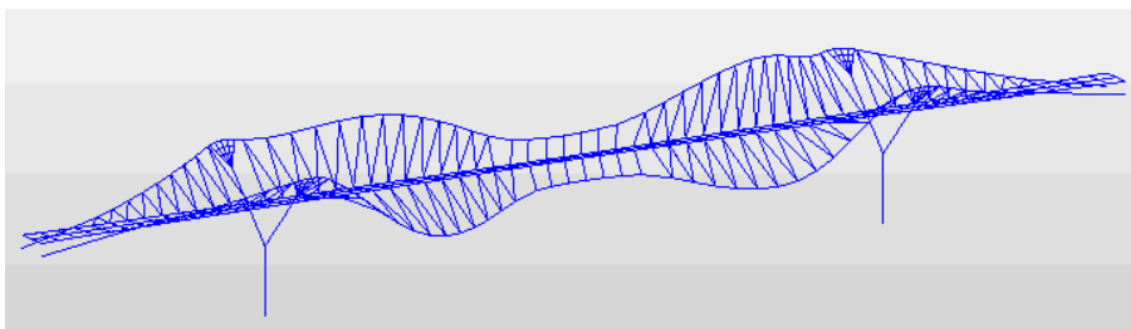
Obr. 80: Scia Engineer, 2. vl. tvar, $f=1,0175$ Hz.



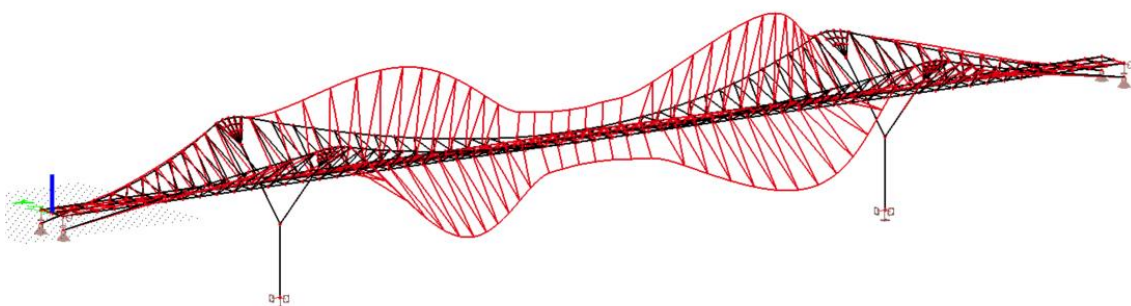
Obr. 81: Midas Civil, 3. vl. tvar, $f=1,1175$ Hz.



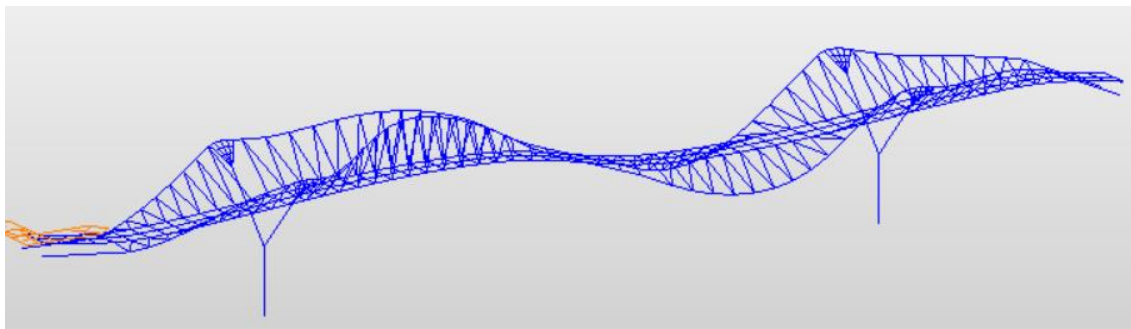
Obr. 82: Scia Engineer, 3. vl. tvar, $f=1,1091$ Hz.



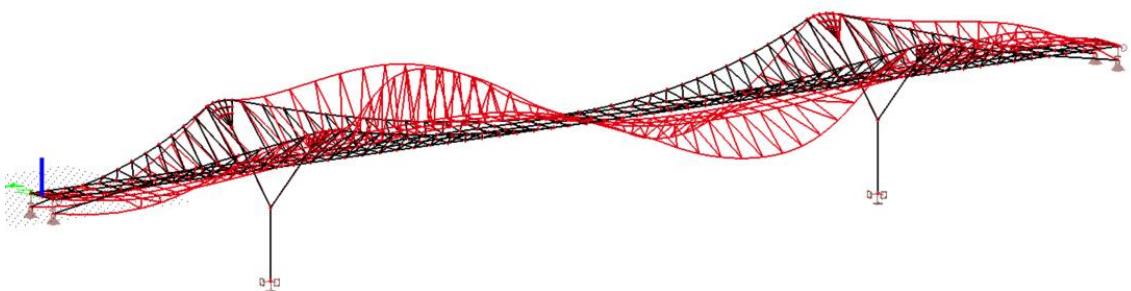
Obr. 83: Midas Civil, 4. vl. tvar, $f=1,1995$ Hz.



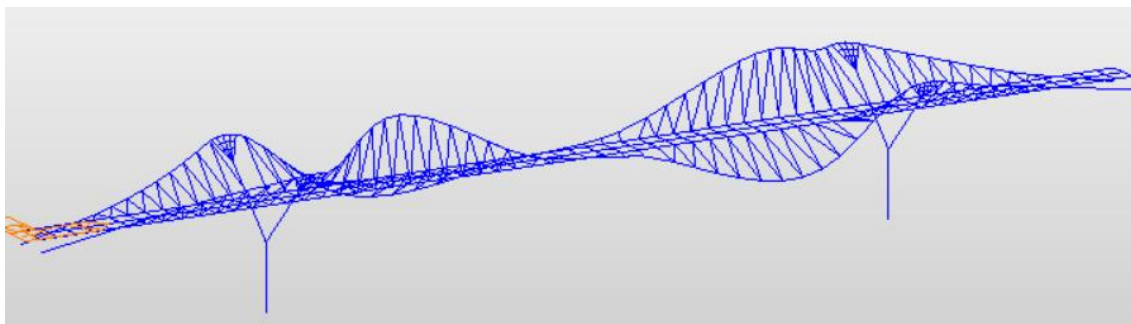
Obr. 84: Scia Engineer, 4. vl. tvar, $f=1,1981$ Hz.



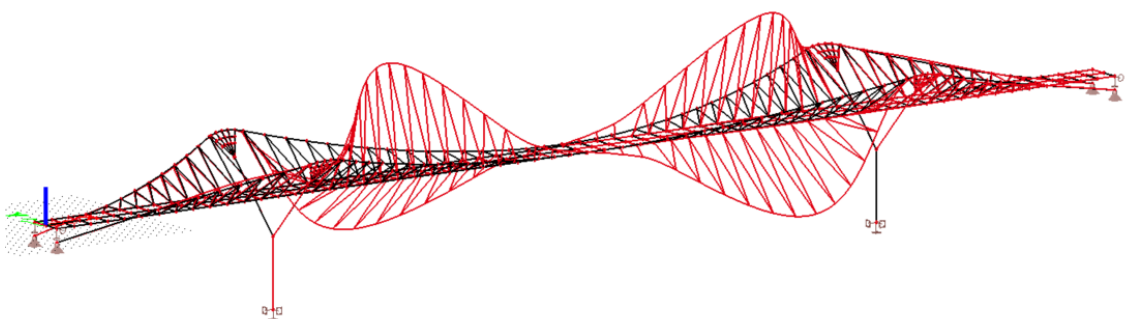
Obr. 85: Midas Civil, 5. vl. tvar, $f=1,2467$ Hz.



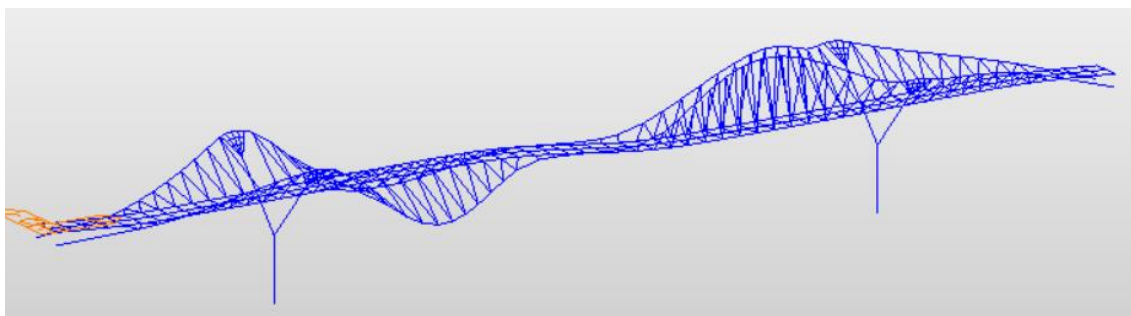
Obr. 86: Scia Engineer, 5. vl. tvar, $f=1,2409$ Hz.



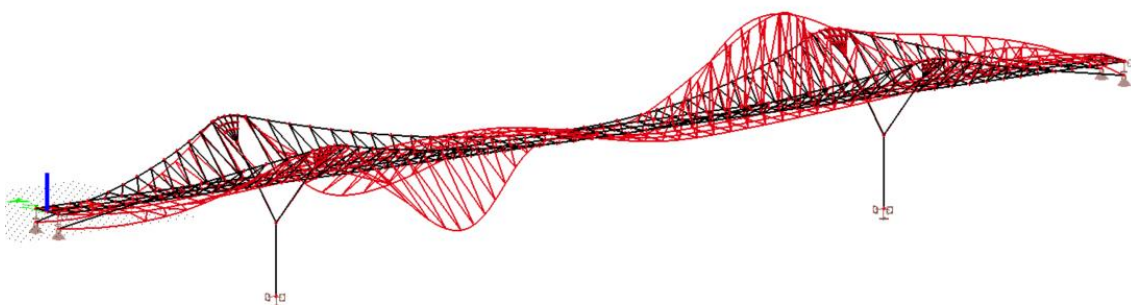
Obr. 87: Midas Civil, 6. vl. tvar, $f=1,4063$ Hz.



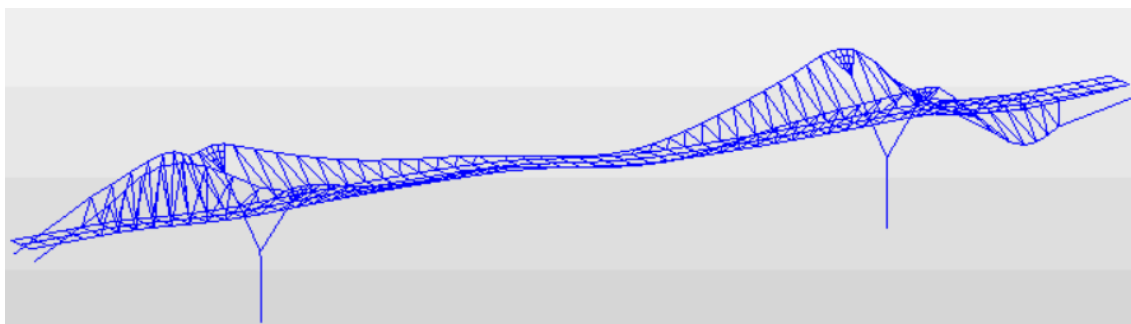
Obr. 88: Scia Engineer, 6. vl. tvar, $f=1,4021$ Hz.



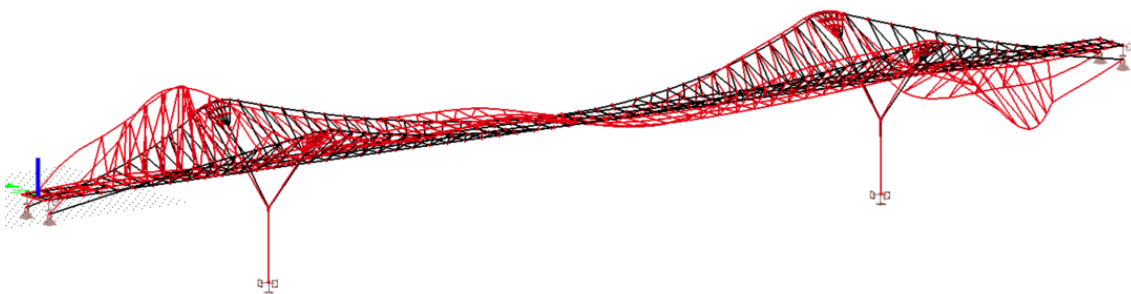
Obr. 89: Midas Civil, 7. vl. tvar, $f=1,4618$ Hz.



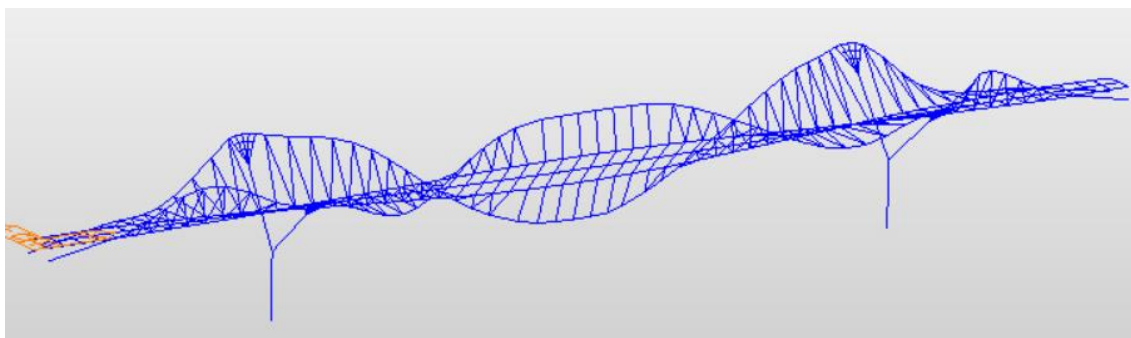
Obr. 90: Scia Engineer, 7. vl. tvar, $f=1,4642$ Hz.



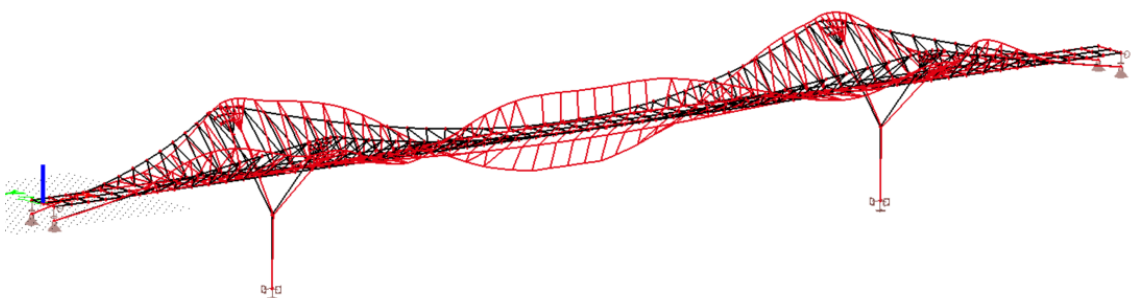
Obr. 91: Midas Civil, 8. vl. tvar, $f=2,1081$ Hz.



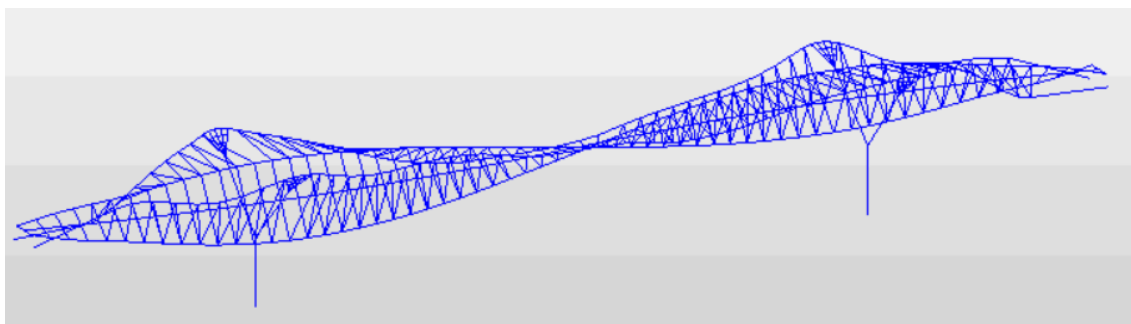
Obr. 92: Scia Engineer, 8. vl. tvar, $f=2,0976$ Hz.



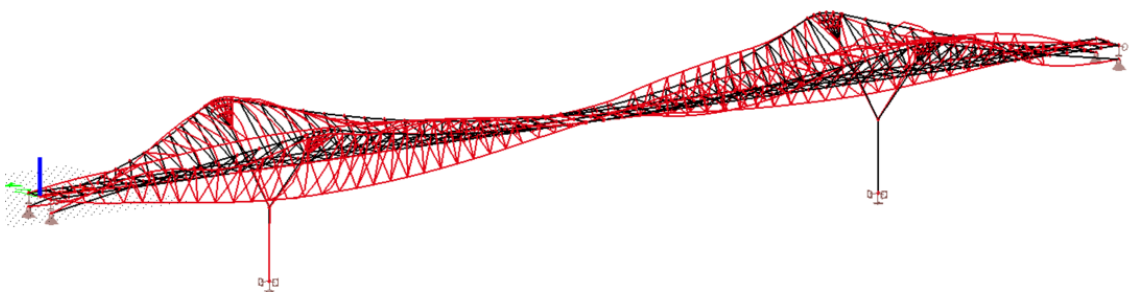
Obr. 93: Midas Civil, 9. vl. tvar, $f=2,2368$ Hz.



Obr. 94: Scia Engineer, 9. vl. tvar, $f=2,2185$ Hz.



Obr. 95: Midas Civil, 10. vl. tvar, $f=2,2498$ Hz.



Obr. 96: Scia Engineer, 10. vl. tvar, $f=2,2378$ Hz.

Vlastní tvary a vlastní frekvence z obou výpočetních programů se shodují.

5 Analýza fází výstavby

5.1 Popis navrhovaného postupu výstavby

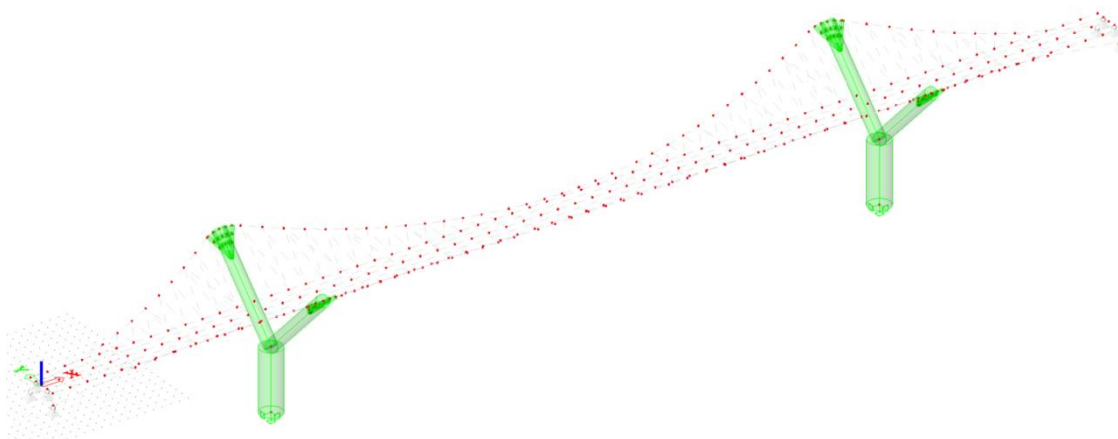
Návrh postupu výstavby vycházel z informací získaných z odborné literatury, kterými se zabývá kapitola 2.4. Postup byl navržen jako kombinace klasického postupu výstavby visutých konstrukcí a postupu pro výstavbu mostovky tvořené visutým pásem. Postup byl tedy navržen takto:

Poznámka: Návrh fází 1 až 3 nebyl součástí této diplomové práce, proto jsou zde tyto fáze popsány jen orientačně.

1. fáze: Geodetické práce a příprava staveniště. Tato fáze, která probíhá ještě před začátkem vlastní stavby, spočívá ve vytyčení stavby a přípravě staveniště (zázemí, elektřina, voda, apod.). Dále sem spadá provedení výkopů pro základy.

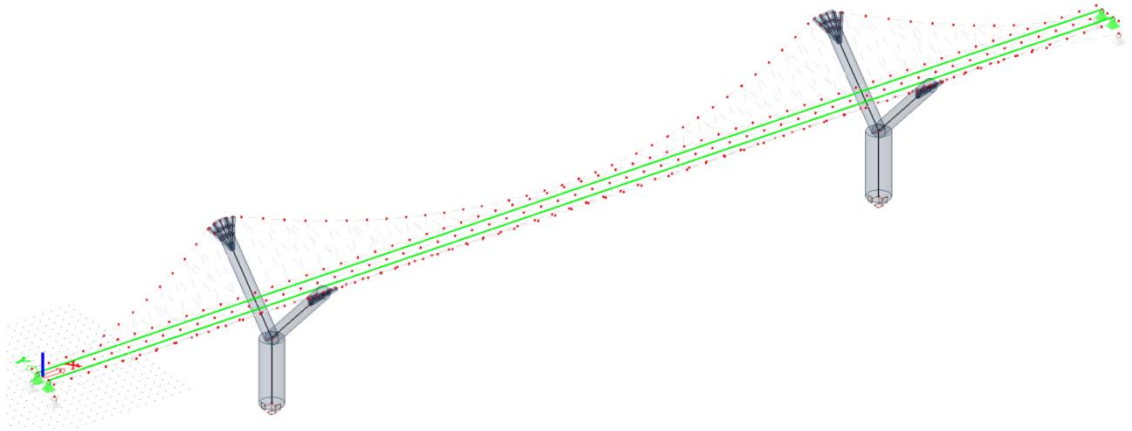
2. fáze: Instalace základů. V této fázi je provedena instalace hlubinných pilot, která spočívá ve vrtání, sestavení armokoše a betonáži pilot. Na nich jsou následně vybetonovány základy.

3. fáze: Dokončení výstavby spodní stavby konstrukce. To zahrnuje vybetonování krajních opěr a kotevních stěn, vybetonování pylonů a jejich instalaci do finální polohy. Dále pak do této fáze patří instalace ložisek na opěry a sedel pro vedení visutých lan na vrcholy pylonů. (obr. 97)



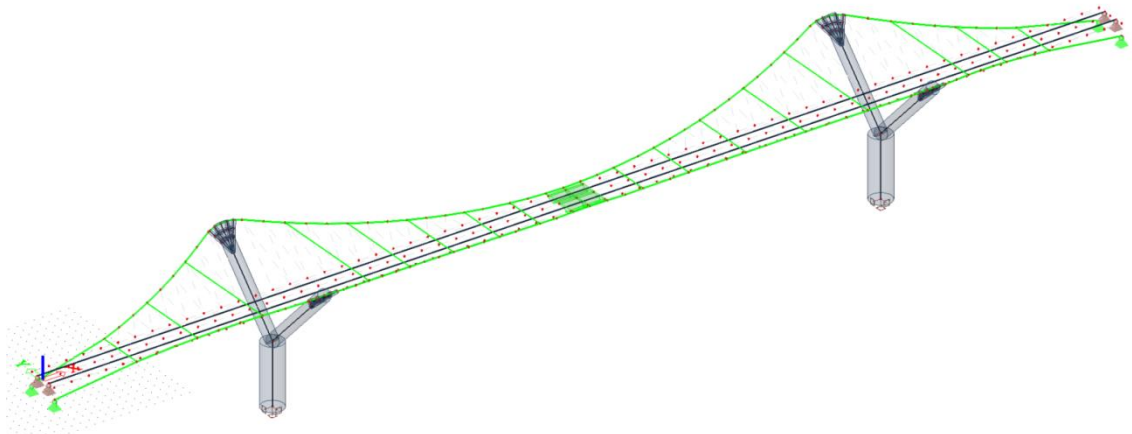
Obr. 97: Dokončení výstavby spodní stavby konstrukce (3. fáze).

4. fáze: Osazení montážní lávky. Tato montážní lávka je tvořena dvěma předepnutými ocelovými lany a slouží k dopravě segmentů mostovky po konstrukci. (obr. 98)



Obr. 98: Osazení montážní lávky (4. fáze).

5. fáze: Osazení visutého lana a středového segmentu mostovky. Do předem připravených kotevnicích stěn a sedel na pylonech jsou v této fázi instalovány lana. Visutá lana jsou zakryta ocelovými trubkami, na kterých jsou přivařeny kotevní plechy pro kotvení závěsů a montážních táhel. Jelikož jsou lana zakřivena i půdorysně, jsou v pravidelných vzdálenostech spojena ocelovými táhly a uprostřed rozpětí je v této fázi instalován střední segment mostovky, a tak je zajištěn tvar visutých lan. (obr. 99)

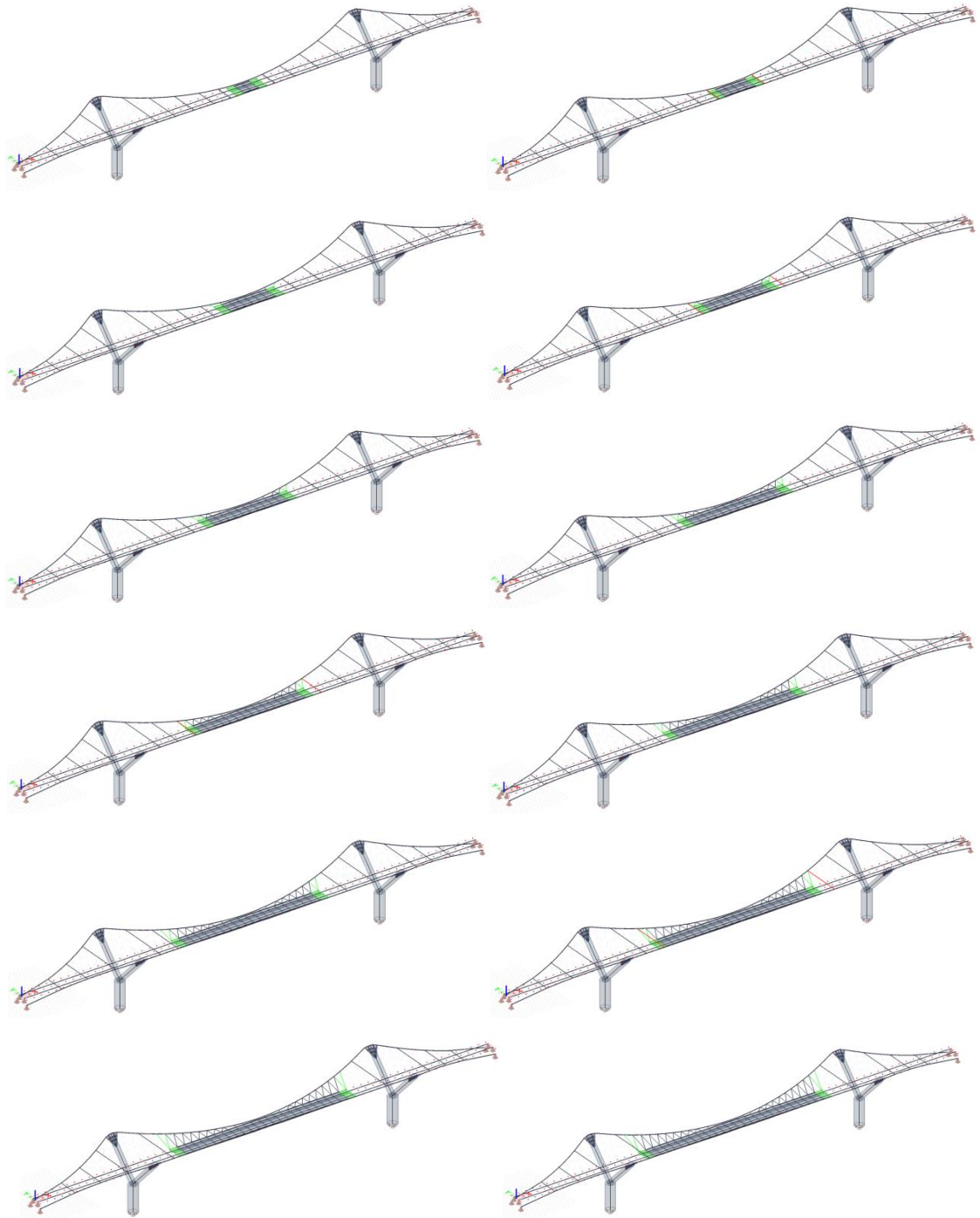


Obr. 99: Osazení visutého lana a středového segmentu mostovky (5. fáze).

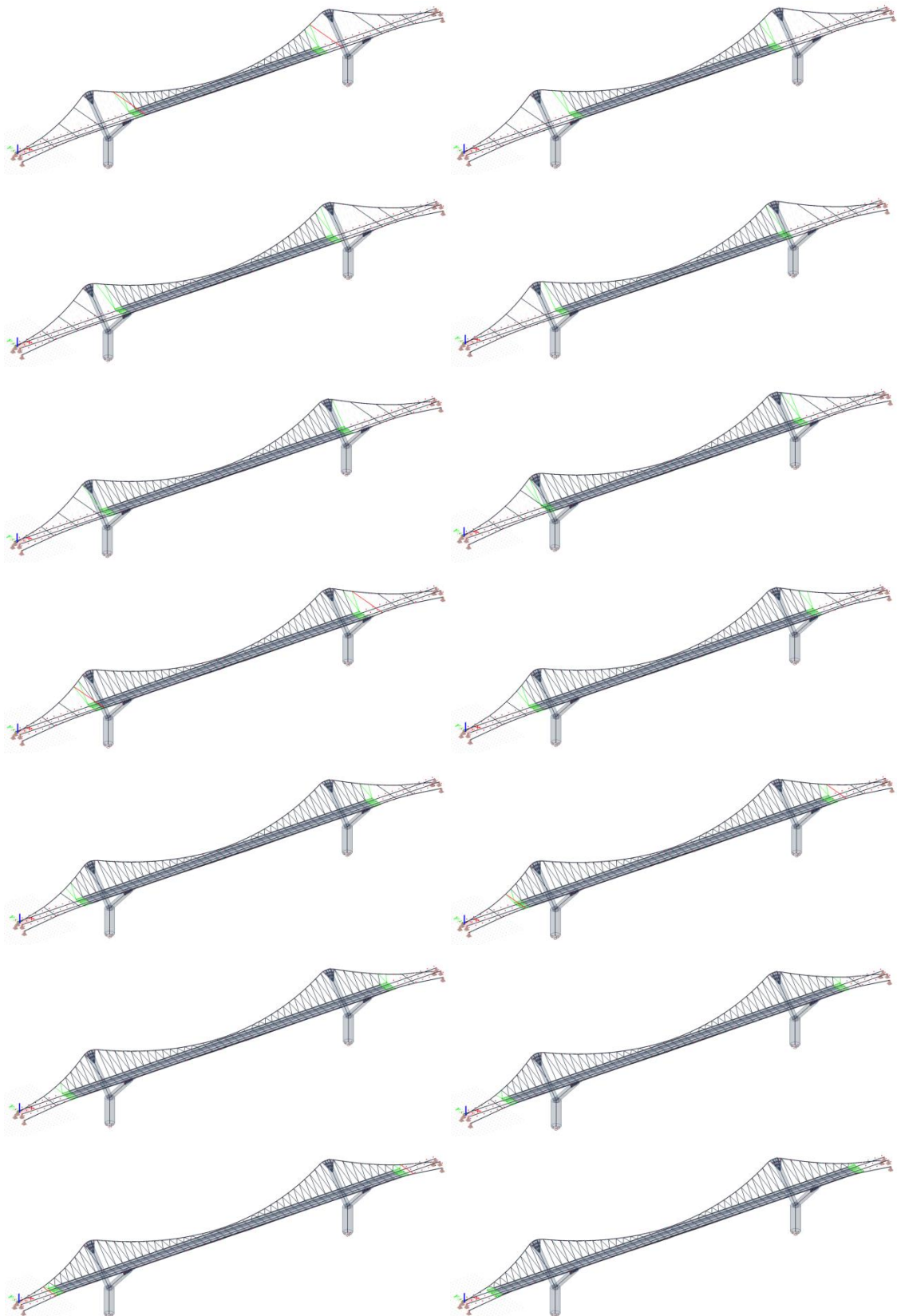
6. fáze: Předepnutí visutého lana. V této fázi jsou visutá lana předepnutá navrhovanou silou. Následně jsou svařeny ocelové trubky, které lana kryjí.

7. až 36. fáze: Montáž segmentů mostovky. Pomocí montážní lávky jsou segmenty vyvěšovány od středu rozpětí ke krajům. Segmenty jsou transportovány po montážní

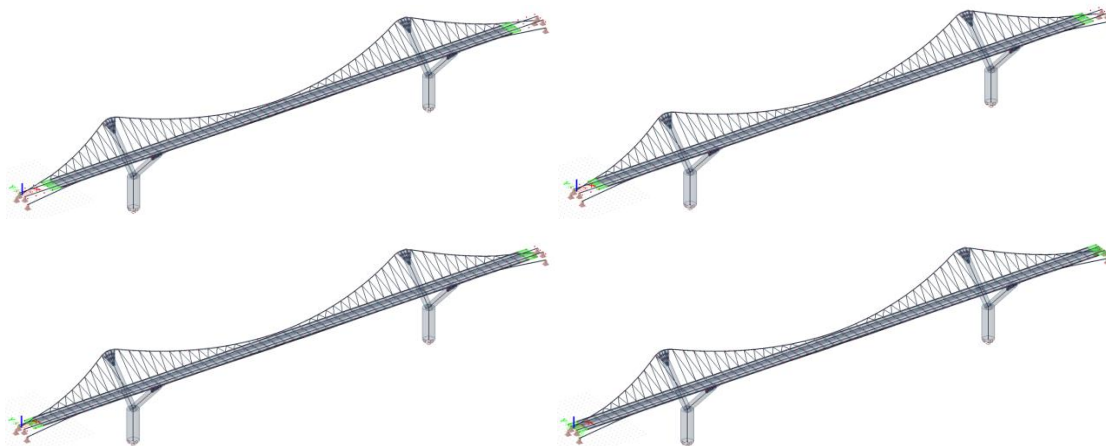
lávce na navrhované místo, kde dojde k montážnímu spojení nového segmentu s předchozím a k instalaci závěsů, které spojují mostovku s visutým lanem. Montáž segmentů probíhá symetricky vždy postupě z každé strany po jednom segmentu. Během těchto fází jsou také odstraňována táhla, která před instalací příslušných závěsů a částí mostovky držela tvar visutých lan. (obr. 100 až 102)



Obr. 100: Montáž segmentů mostovky (7. až 18. fáze)



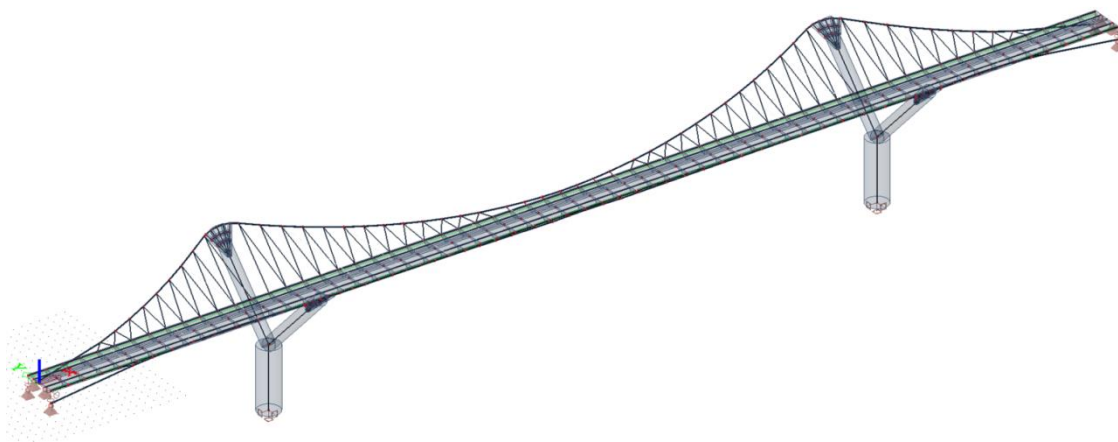
Obr. 101: Montáž segmentů mostovky (19. až 32. fáze)



Obr. 102: Montáž segmentů mostovky (33. až 36. fáze)

37. fáze: Instalace předpínacích lan a zmonolitnění mostovky. V této fázi jsou instalována předpínací lana v mostovce a zmonolitnění spár mezi segmenty mostovky. Krajní segmenty jsou uloženy na ložiska.

38. fáze: Předepnutí mostovky. V této fázi je do mostovky vnesené předpětí pomocí předpínacích lan. (obr. 103)



Obr. 103: Předepnutí mostovky (38. fáze).

39. fáze: Betonáž závěrné zídky a dokončovací práce. Montážní lana jsou odstraněna. V této fázi je dále provedeno bednění a betonáž závěrné zídky. Provede se instalace zábradlí, finální terénní úpravy a provede se napojení navazující komunikace na konstrukci lávky.

40. fáze: Uvedení lávky do provozu.

5.2 Popis analýzy

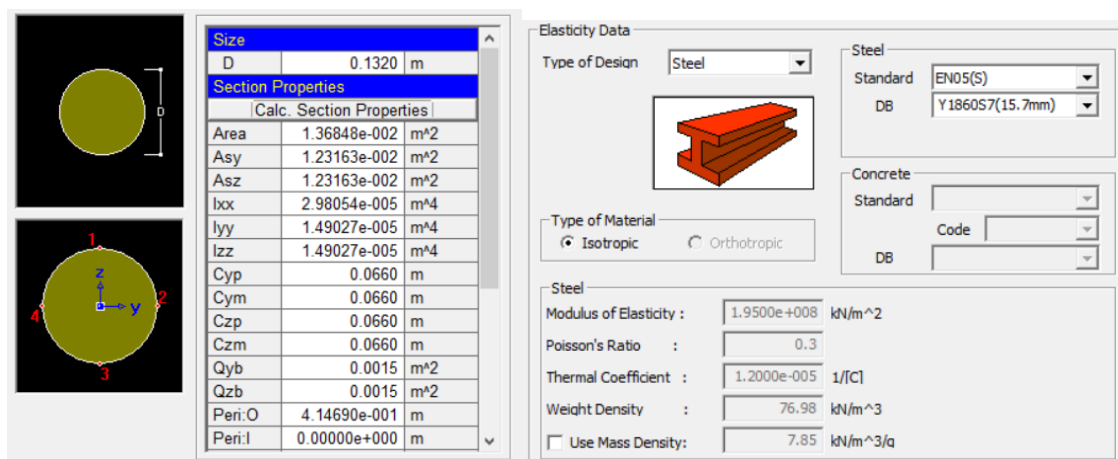
Analýza jednotlivých fází výstavby probíhala tak, že byly vymodelovány výpočetní modely s fázemi podle návrhu v kapitole 5.1. Jak už bylo popsáno v kapitole 4.5, nepodařilo se zprovoznit nelineární výpočet konstrukce v programu Scia Engineer. Z toho důvodu byla konstrukce posuzována pouze v programu Midas Civil.

Při analýze se postupovalo tak, že byla konstrukce zatěžována během fází výstavby vlastní tíhou a bylo sledováno napětí v jednotlivých prvcích konstrukce. Toto napětí pak bylo posuzováno, aby vyhovělo na omezení napětí u jednotlivých prvků. Do některých prvků bylo dle výpočtů vnášeno napětí předpětím, případně byly prvky povolovány, a tím bylo napětí snižováno. U jednotlivých fází byl dále sledován průhyb konstrukce. V následujících kapitolách je tedy popsán předběžný návrh prvků mostu, výpočet zatížení působících ve fázích výstavby a požadavky na omezení napětí v jednotlivých prvcích konstrukce. V kapitole 5.3 je poté analýza fází provedena.

5.2.1 Návrh konstrukce

5.2.1.1 Visutá lana

Hlavní nosná konstrukce byla navržena z kabelového systému od firmy DYWIDAG – DYWIDAG Multistrand Cable Systems. Nosná lana byla navržena jako kabely z 91 rovnoběžných lan, každé o ploše 150 mm². Tento návrh byl ve výpočetním programu modelován jako kruhový průřez o ploše 0,0137 m². Jako materiál pro tyto kabely byla zvolena ocel Y1860S7. Specifika návrhu visutých lan v programu Midas Civil jsou na obr. 104.



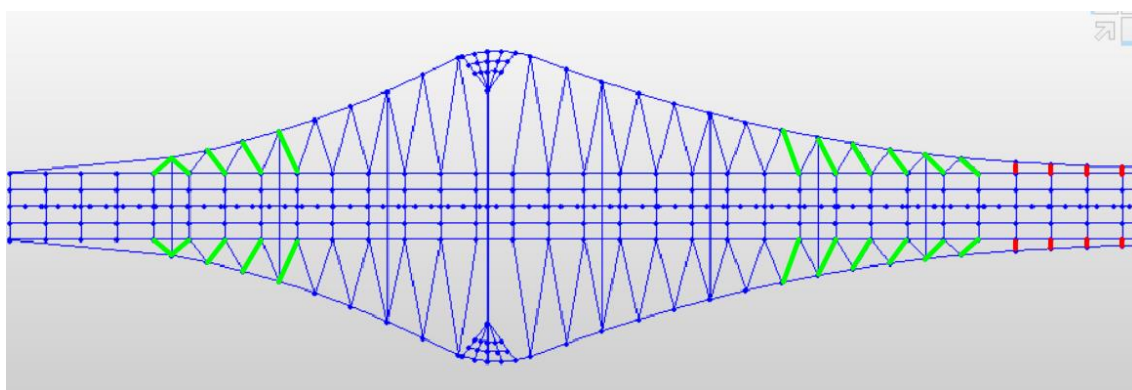
Obr. 104: Specifika průřezů visutých lan v programu Midas Civil.

5.2.1.2 Závěsy

Při návrhu závěsů bylo zjištěno, že jeden průřez nepokryje statické potřeby, proto byly průřezy rozděleny do tří kategorií.

Přímé krátké spoje uprostřed rozpětí byly navrženy jako ocelové kruhové prvky o průměru 120 mm. Zbývající táhla byla navržena z tyčových táhel Macalloy 520 z dvou průměrů. První část těchto závěsů byla navržena o průměru 52 mm a druhá část o průměru 97 mm. Všechny závěsy byly navrženy jednotně z oceli třídy S 520. Rozdělení průřezů závěsů je znázorněno na obr. 105. Jejich specifika jsou potom na obr. 106.

Návrh závěsů je z pohledu provozní fáze předimenzován, bylo však nutné zvolit závěsy o takovém průměru z hlediska fází výstavby, jak je popsáno v kapitole 5.3.



Obr. 105: Půdorys poloviny mostu s vyznačením rozdělení průřezů závěsů. Červená – průměr 120 mm, zelená – průměr 97 mm, modrá – průměr 52 mm.

Size	D	0.1200 m
Section Properties		
Calc. Section Properties		
Area	1.13097e-002	m ²
Asy	1.01788e-002	m ²
Asz	1.01788e-002	m ²
Ixx	2.03575e-005	m ⁴
Iyy	1.01788e-005	m ⁴
Izz	1.01788e-005	m ⁴
Cyp	0.0600	m
Cym	0.0600	m
Czp	0.0600	m
Czm	0.0600	m
Qyb	0.0012	m ²
Qzb	0.0012	m ²
Peri:O	3.76991e-001	m
Peri:I	0.00000e+000	m

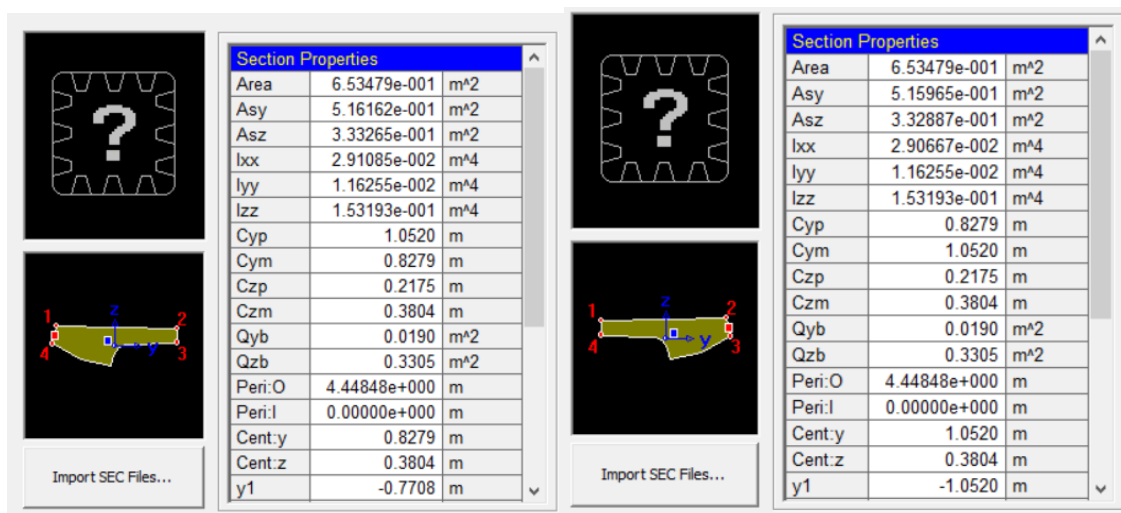
Size	D	0.0970 m
Section Properties		
Calc. Section Properties		
Area	7.38981e-003	m ²
Asy	6.65083e-003	m ²
Asz	6.65083e-003	m ²
Ixx	8.69134e-006	m ⁴
Iyy	4.34567e-006	m ⁴
Izz	4.34567e-006	m ⁴
Cyp	0.0485	m
Cym	0.0485	m
Czp	0.0485	m
Czm	0.0485	m
Qyb	0.0008	m ²
Qzb	0.0008	m ²
Peri:O	3.04734e-001	m
Peri:I	0.00000e+000	m

Size	D	0.0520 m
Section Properties		
Calc. Section Properties		
Area	2.12372e-003	m ²
Asy	1.91134e-003	m ²
Asz	1.91134e-003	m ²
Ixx	7.17816e-007	m ⁴
Iyy	3.58908e-007	m ⁴
Izz	3.58908e-007	m ⁴
Cyp	0.0260	m
Cym	0.0260	m
Czp	0.0260	m
Czm	0.0260	m
Qyb	0.0002	m ²
Qzb	0.0002	m ²
Peri:O	1.63363e-001	m
Peri:I	0.00000e+000	m

Obr. 106: Specifika průřezů závěsů v programu Midas Civil.

5.2.1.3 Mostovka

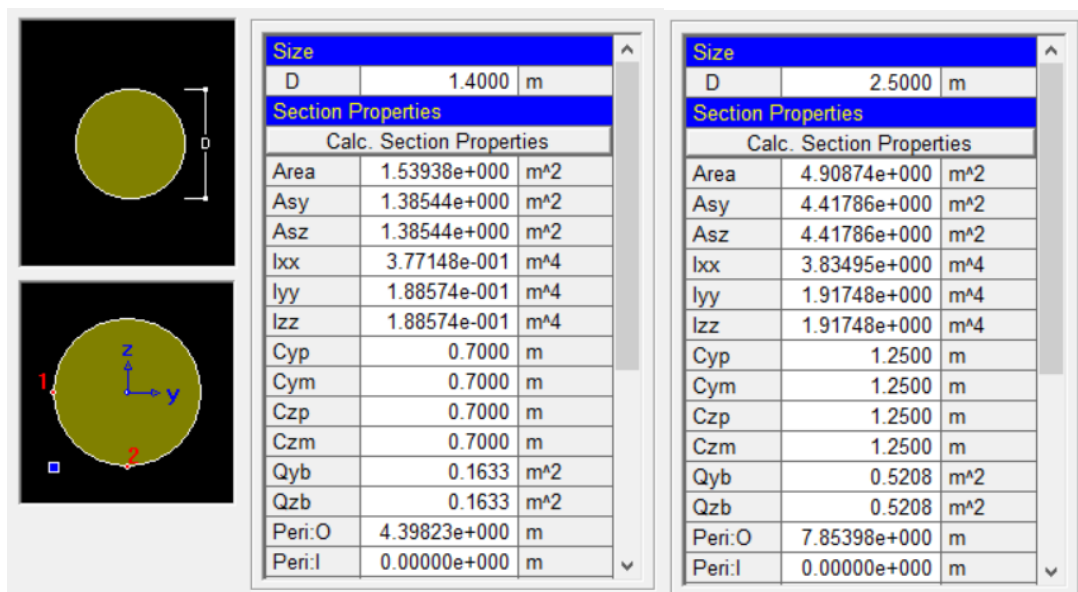
Mostovka byla navržena jako importovaný průřez podle původního návrhu. Geometrie průřezu je blíže popsána v kapitole 4.1.2. Na obr. 107 je znázorněna specifikace průřezu v programu Midas Civil. Mostovka byla navržena z UHPC třídy C 110.



Obr. 107: Specifika průřezu mostovky v programu Midas Civil.

5.2.1.4 Pylony

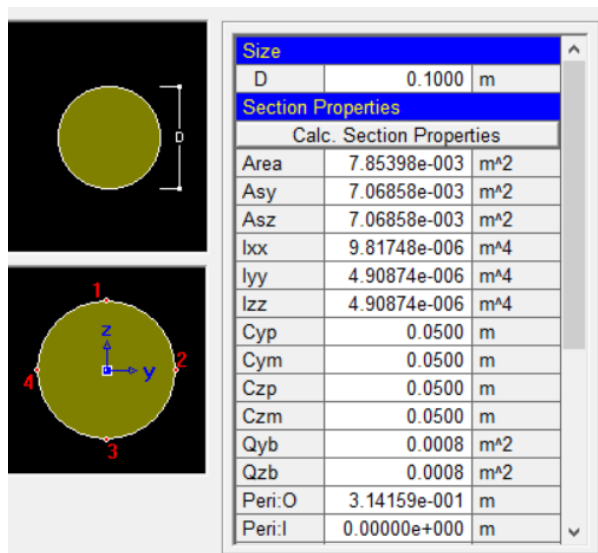
Pylony byly navrženy z dvou průřezů. Horní část o průměru 1,4 m, spodní o průměru 2,5 m. Obě části byly navrženy z betonu třídy C 35/45 Specifikace průřezů v programu midas civil jsou na obr. 108.



Obr. 108: Specifika průřezu pylonu v programu Midas Civil.

5.2.1.5 Montážní lávka

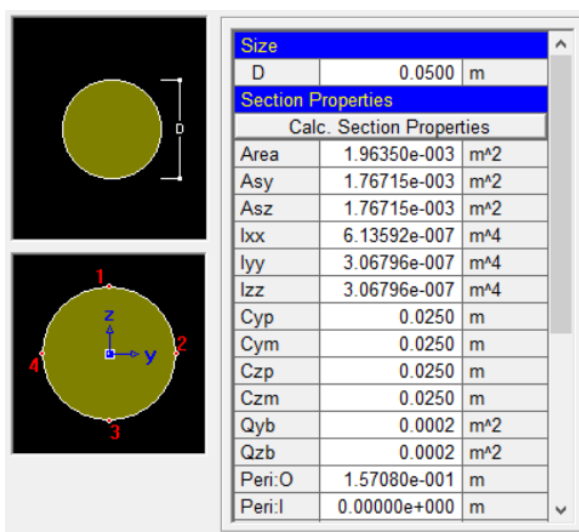
Montážní lávka, která slouží k dopravě segmentů mostovky na jejich místo v konstrukci, byla navržena ze dvou lan z předpínací oceli Y1770S7, každé o průměru 100 mm. Specifika jsou na obr. 109.



Obr. 109: Specifika průřezu lan montážní lávky v programu Midas Civil.

5.2.1.6 Montážní táhla

Montážní táhla, která drží ve fázích výstavby visutá lana v požadované geometrii, byla navržena z oceli třídy S 520 o poloměru 52 mm. Specifika průřezu v programu Midas Civil jsou zobrazena na obr. 110.



Obr. 110: Specifika průřezu montážních táhel v programu Midas Civil.

5.2.2 Zatížení při fázích výstavby

Zatížení uvažované při analýze fází výstavby bylo dvojí. Prvním bylo stálé zatížení, které bylo generované spojitým zatížením simulujícím vlastní tíhu konstrukčních prvků. Druhým zatížením bylo napínání visutých lan, závěsů a lan montážních lávek.

5.2.2.1 Zatížení vlastní tíhou

Zatížení vlastní tíhou bylo počítáno podle následujícího vztahu

$$f = S * \rho \quad (1)$$

Výpočet zatížení vlastní tíhou jednotlivých prvků konstrukce je uveden v tab. 4.

	r	d	S	ρ	$S*\rho$	f
	[m]	[m]	[m ²]	[kg/m ³]	[kg/m]	[kN/m]
Lana	0.0659	0.1319	0.0137	7850	107.153	1.072
Závěsy 1	0.0260	0.0520	0.0021	7850	16.663	0.167
Závěsy 2	0.0485	0.0970	0.0074	7850	57.981	0.580
Závěsy 3	0.0600	0.1200	0.0113	7850	88.736	0.887
Pilíř	1.2503	2.5006	4.9087	2500	12271.750	122.718
Pylon	0.7002	1.4004	1.5394	2500	3848.500	38.485
Mostovka levá	-	-	0.6535	2500	1633.750	16.338
Mostovka pravá	-	-	0.6535	2500	1633.750	16.338
Montážní lávka	0.0500	0.1000	0.0079	7850	61.623	0.616
Montážní lana	0.0260	0.0520	0.0021	7850	16.663	0.167

Tab. 4: Zatížení vlastní tíhou.

5.2.2.2 Zatížení vneseným napětím

Zatížení vneseným napětím bylo vnášeno dle potřeby během fází výstavby. Detailně je popsáno v kapitole 5.3 v jednotlivých fázích.

5.2.3 Omezení napětí

5.2.3.1 Omezení napětí v tažených (ocelových) prvcích

Tažené ocelové prvky v konstrukci byly navrhovány tak, aby vyhověly na omezení napětí dle [20]. V článku 20.B.2.1 Závěs a visuté lano je uvedeno, že dle ČSN EN 1993-1-11 musí pro tažená lana, resp. tyče platit:

$$R_m \geq 1/0,45 * S_d \quad (2),$$

kde

R_m je pevnost v tahu prvku

a

S_d je maximální namáhání prvku.

Omezení napětí v tažených prvcích je znázorněno v tab. 5:

Třída oceli	R_m	$0.45 R_m$
	[MPa]	[MPa]
Y1860	1860	837
Y1770	1770	796.5
S 520	520	234

Tab. 5: Zatížení vlastní tíhou.

Druhou podmínkou návrhu bylo, aby v žádném taženém prvku nevznikal tlak. Ve všech fázích výstavby muselo tedy platit, že:

$$0 \leq \sigma_y \leq 0,45 * R_m \quad (3).$$

5.2.3.2 Omezení napětí v betonových prvcích

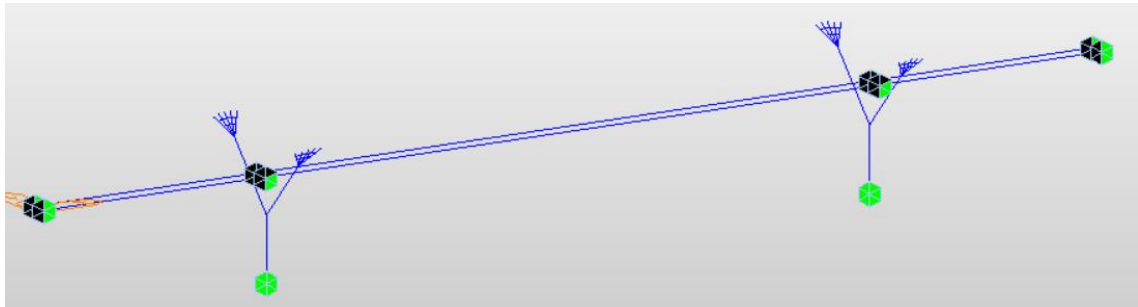
Napětí v pylonech nebylo během fází výstavby posuzováno. Bylo zjištěno, že v pylonech vzniká jednoznačně největší napětí až v provozní fázi, proto jsou pylony posuzovány až ve statické analýze v kapitole 6.

Jak již bylo popsáno v kapitole 5.1, jednotlivé fáze výstavby mostovky byly navrženy tak, že jsou jednotlivé segmenty mostovky vyskládávány na provizorní lávku. Až do fáze 38, kdy je mostovka předepnuta, v nich tedy nevznikají žádné síly, protože všechny tahové síly přenáší lana provizorní lávky. Příčné síly od závěsů jsou přenášeny táhlem uvnitř segmentů mostovky, které je posouzeno v kapitole 6. Omezení napětí v mostovce bylo tedy sledováno až od fáze 38, kdy nesmělo překročit maximální tlakovou únosnost navrženého betonu.

5.3 Analýza jednotlivých fází

Jak již bylo zmíněno v úvodu kapitoly 5.1, nezabývá se tato diplomová práce návrhem spodní stavby. Analýza fází výstavby tedy začíná fází číslo 4.

5.3.1 Fáze č. 4: Osazení montážní lávky



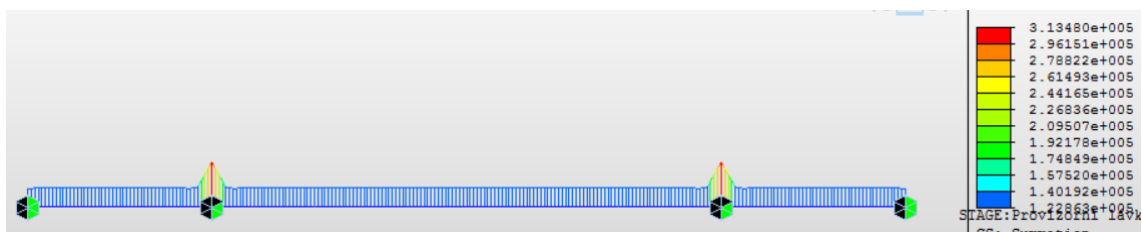
Obr. 111: Fáze č. 4 v programu Midas Civil.

V této fázi byla osezena lana montážní lávky.

Do lan bylo vneseno napětí silou 800 kN:

$$\sigma = \frac{F}{S} = \frac{800}{0,0079} * 10^{-3} = 101,91 \text{ MPa}.$$

Bylo posuzováno pouze napětí v lanech montážní lávky.



Obr. 112: Průběh napětí po montážní lávce (fáze č. 4). (boční pohled) [kPa]

Z obr. 112 je patrné, že pro lana montážní lávky platí (3):

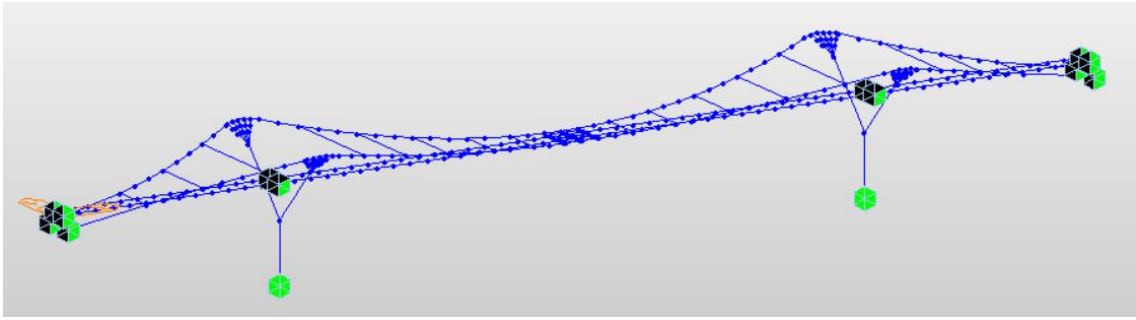
$$\sigma_{y,max} = 313,48 \text{ MPa} \leq 0,45 * R_m = 796,5 \text{ MPa}$$

a

$$\sigma_{y,min} = 122,86 \text{ MPa} \geq 0.$$

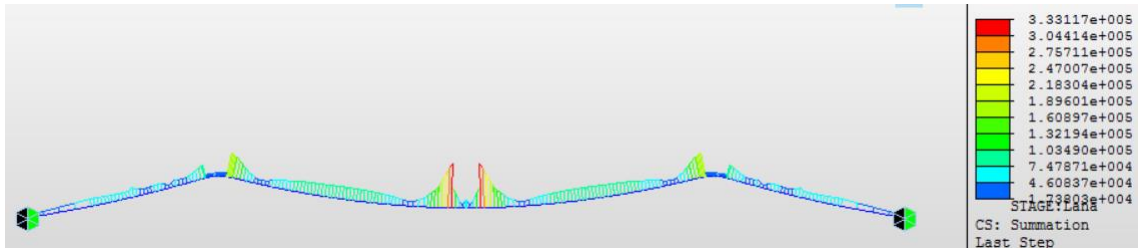
Posouzení fáze č. 4 vyhoví.

5.3.2 Fáze č. 5: Osazení visutého lana a středového segmentu mostovky



Obr. 113: Fáze č. 5 v programu Midas Civil.

V této fázi byla přidána visutá lana, střední segment mostovky uchycený třemi přímými závěsy ke každému lanu (dohromady tedy 6 závěsů) a 16 táhel spojujících visutá lana v pravidelných vzdálenostech.



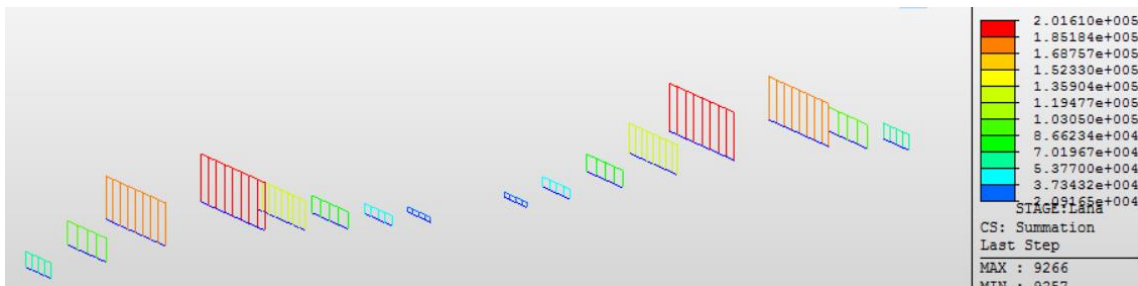
Obr. 114: Průběh napětí po visutých lanech (fáze č. 5). (boční pohled) [kPa]

Z obr. 114 lze vyčíst, že ve všech fázích bylo nutné sledovat napětí hlavně na krajích sedel pylonů a v místech napojení nejnovějšího segmentu. Je z něj také patrné, že pro visutá lana platí (3):

$$\sigma_{y,max} = 333,12 \text{ MPa} \leq 0,45 * R_m = 837 \text{ MPa}$$

a

$$\sigma_{y,min} = 17,380 \text{ MPa} \geq 0.$$



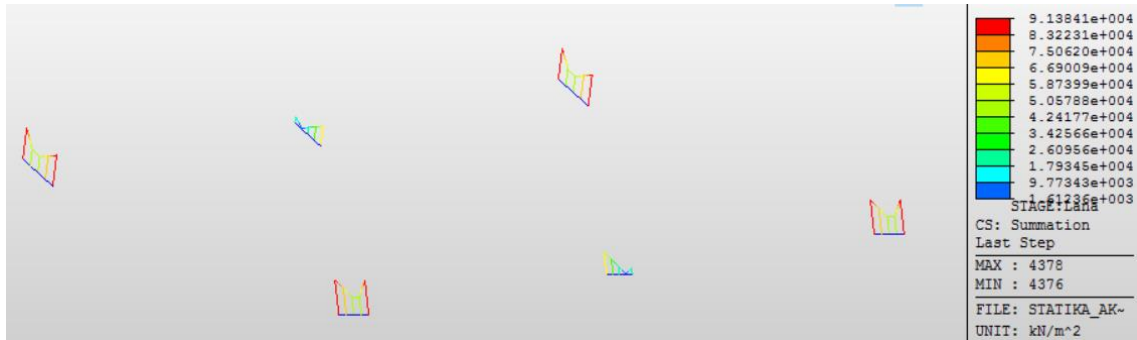
Obr. 115: Průběh napětí po táhlech spojujících visutá lana (fáze č. 5). [kPa]

Z obr. 115 je patrné, že pro montážní táhla platí (3):

$$\sigma_{y,max} = 201,61 \text{ MPa} \leq 0,45 * R_m = 234 \text{ MPa}$$

a

$$\sigma_{y,min} = 20,92 \text{ MPa} \geq 0.$$



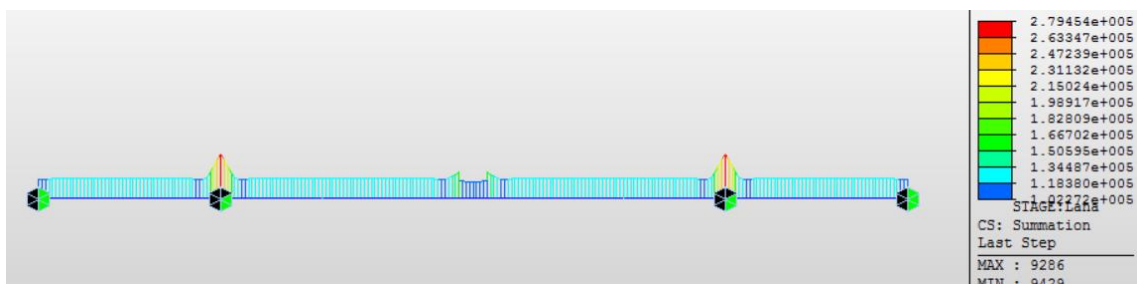
Obr. 116: Průběh napětí po závěsech spojujících střední segment mostovky s lany (fáze č. 5). [kPa]

Z obr. 116 je patrné, že pro přímé závěsy platí (3):

$$\sigma_{y,max} = 91,38 \text{ MPa} \leq 0,45 * R_m = 234 \text{ MPa}$$

a

$$\sigma_{y,min} = 1,61 \text{ MPa} \geq 0.$$



Obr. 117: Průběh napětí po montážní lávce lávce (fáze č. 5). (boční pohled) [kPa]

Z obr. 117 je patrné, že pro lana montážní lávky platí (3):

$$\sigma_{y,max} = 279,45 \text{ MPa} \leq 0,45 * R_m = 234 \text{ MPa}$$

a

$$\sigma_{y,min} = 10,23 \text{ MPa} \geq 0.$$

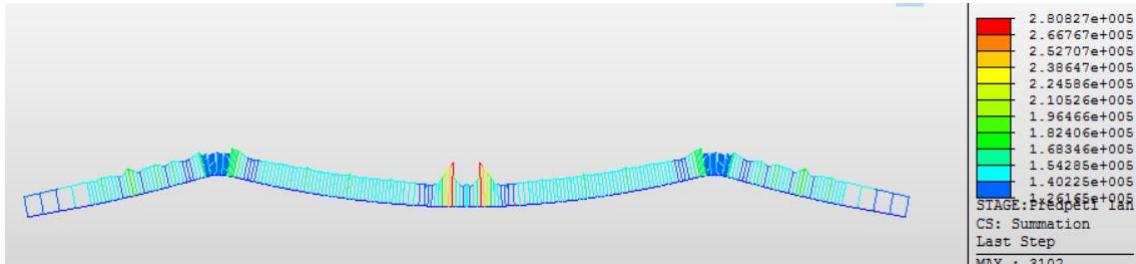
Posouzení fáze č. 5 vyhoví.

5.3.3 Fáze č. 6: Předepnutí visutého lana

V této fázi bylo do lan vneseno napětí silou 1500 kN. Platí:

$$\sigma = \frac{F}{S} = \frac{1500}{0,0137} * 10^{-3} = 109,89 \text{ MPa}.$$

Kromě změny napětí v lanech, které je zobrazeno na obr. 118, byla v této fázi důležitá hlavně celková změna průhybu lávky, která je zobrazena na obr. 119.



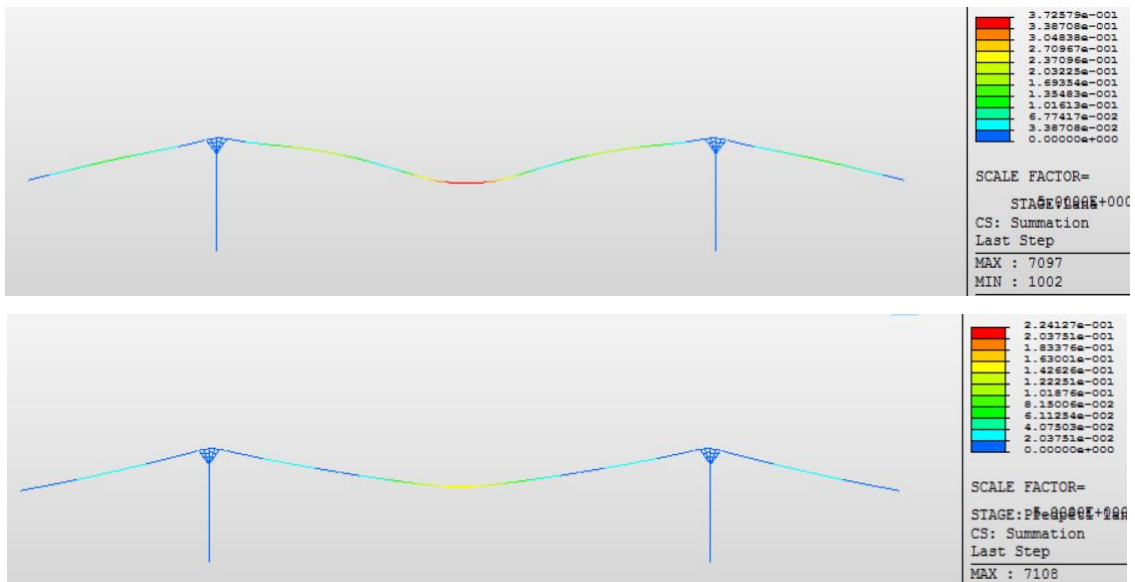
Obr. 118: Průběh napětí po visutých lanech (fáze č. 6). (boční pohled) [kPa]

Z obr. 118 je patrné, že pro visutá lana platí (3):

$$\sigma_{y,max} = 280,83 \text{ MPa} \leq 0,45 * R_m = 837 \text{ MPa}$$

a

$$\sigma_{y,min} = 126,17 \text{ MPa} \geq 0.$$



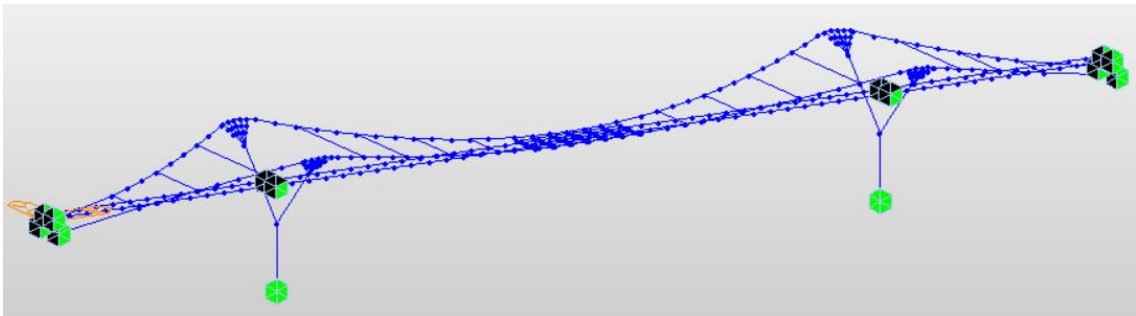
Obr. 119: Průhyb konstrukce před napnutím visutých lan (nahore) a po napnutí (dole). (boční pohled)

[m]

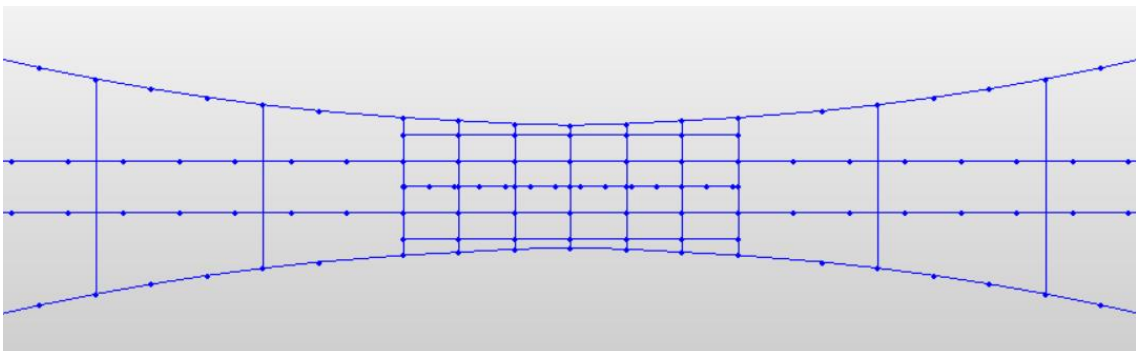
Posouzení fáze č. 6 vyhoví.

Obálka maxim a minim napětí v lanech montážní lávky a montážních táhlech, stejně tak jako postupné průhyby lávky jsou rozebrány na konci kapitoly 5.3. Následující analýza se zabývala hlavně napětím visutých lan a závěsů, které byly v této části diplomové práce zásadní.

5.3.4 Fáze č. 7 a fáze č. 8: Montáž segmentů mostovky (přímé závěsy)

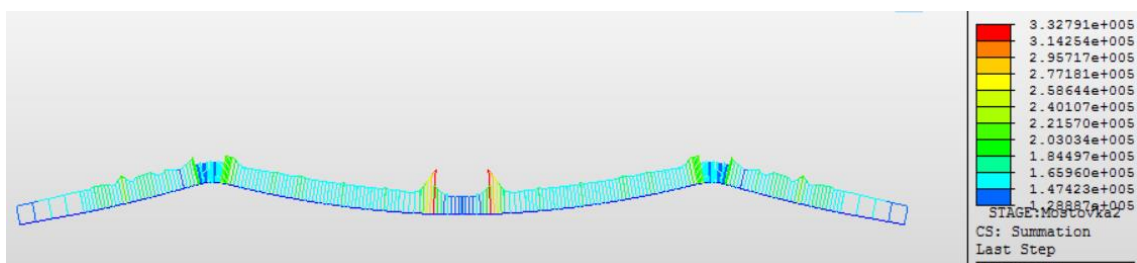


Obr. 120: Fáze č. 7 v programu Midas Civil.

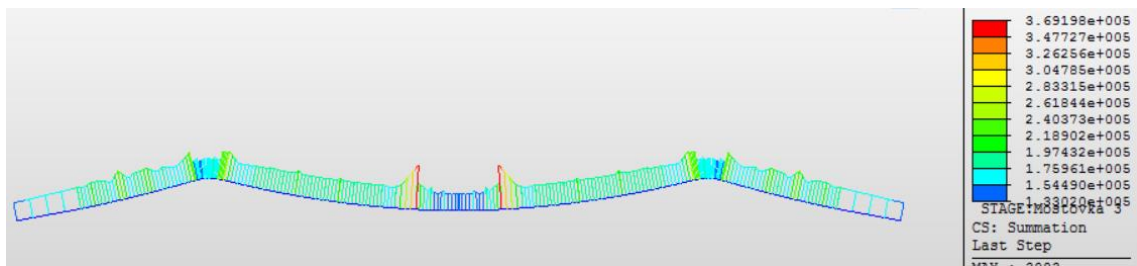


Obr. 121: Detail fáze č. 7 v programu Midas Civil (půdorys).

Na obr. 120 a 121 je znázorněno, že v těchto fázích přibýly z každé strany strany mostovky dva segmenty, vždy upevněné dvěma přímými závěsy k visutým lanům.



Obr. 122: Průběh napětí po visutých lanech (fáze č. 7). (boční pohled) [kPa]



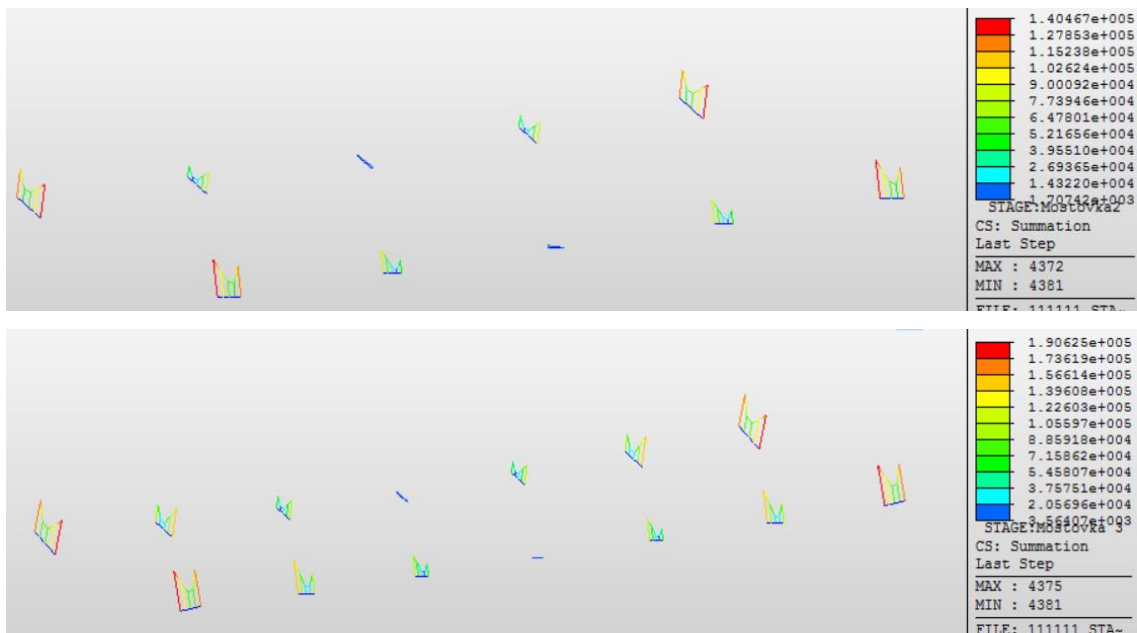
Obr. 123: Průběh napětí po visutých lanech (fáze č. 8). (boční pohled) [kPa]

Z obr. 122 a 123 je patrné, že pro visutá lana platí (3):

$$\sigma_{y,max} = 369,20 \text{ MPa} \leq 0,45 * R_m = 837 \text{ MPa}$$

a

$$\sigma_{y,min} = 133,02 \text{ MPa} \geq 0.$$



Obr. 124: Průběh napětí po závěsech spojující střední segment mostovky s visutými lany (fáze č. 7 – nahoře a č. 8 – dole). [kPa]

Z obr. 124 je patrné, že pro přímé závěsy platí (3):

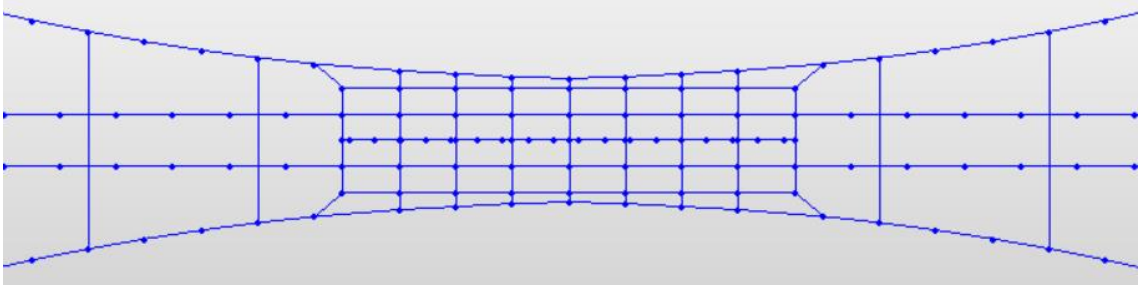
$$\sigma_{y,max} = 190,62 \text{ MPa} \leq 0,45 * R_m = 234 \text{ MPa}$$

a

$$\sigma_{y,min} = 1,71 \text{ MPa} \geq 0.$$

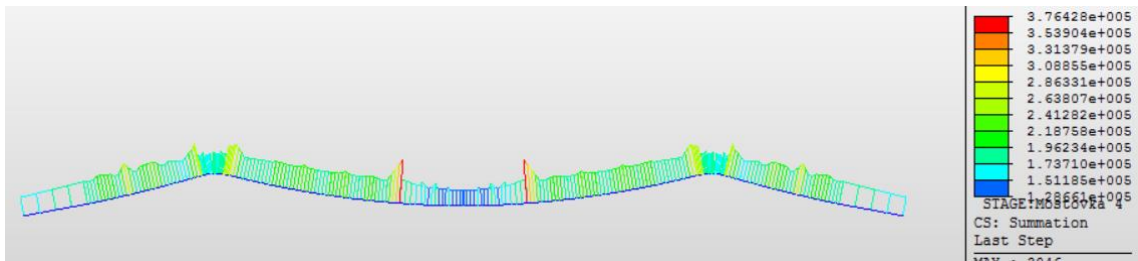
Posouzení fází č. 7 a č. 8 vyhoví.

5.3.5 Fáze č. 9: Montáž segmentů mostovky (první šikmý závěs)



Obr. 125: Detail fáze č. 9 v programu Midas Civil (půdorys).

Na obr. 125 je znázorněno, že ve fázi č. 9 přibyl segment mostovky s prvním šikmým závěsem. Kromě tohoto šikmého závěsu bylo opět sledováno napětí ve visutých lanech a přímých závěsech.



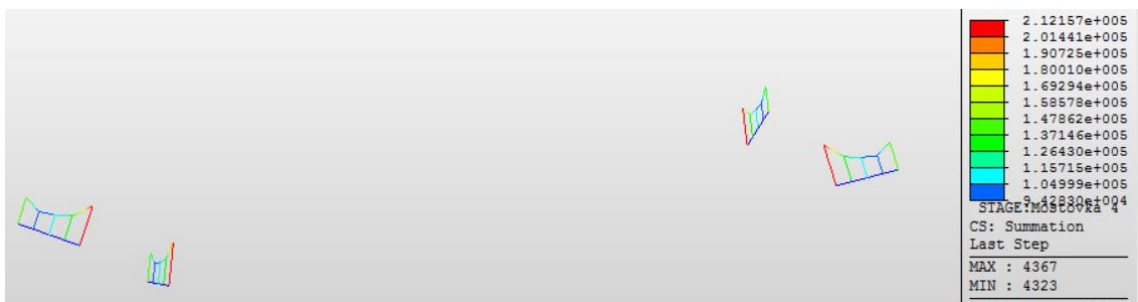
Obr. 126: Průběh napětí po visutých lanech (fáze č. 9). (boční pohled) [kPa]

Z obr. 126 je patrné, že pro visutá lana platí (3):

$$\sigma_{y,max} = 376,43 \text{ MPa} \leq 0,45 * R_m = 837 \text{ MPa}$$

a

$$\sigma_{y,min} = 128,66 \text{ MPa} \geq 0.$$



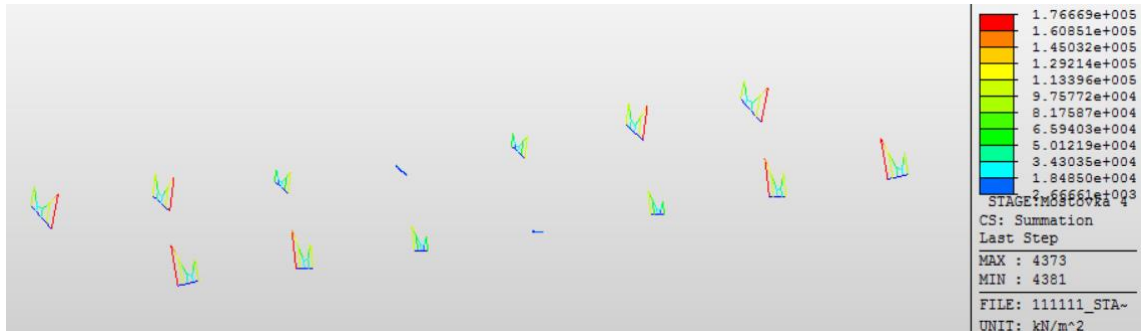
Obr. 127: Průběh napětí po šikmých závěsech spojujících střední segmenty mostovky s visutými lany (fáze č. 9). [kPa]

Z obr. 127 je patrné, že pro šikmé závěsy platí (3):

$$\sigma_{y,max} = 212,16 \text{ MPa} \leq 0,45 * R_m = 234 \text{ MPa}$$

a

$$\sigma_{y,min} = 94,2 \text{ MPa} \geq 0.$$



Obr. 128: Průběh napětí po přímých závěsech spojujících střední segmenty mostovky s visutými lany (fáze č. 9). [kPa]

Z obr. 128 je patrné, že pro přímé závěsy platí (3):

$$\sigma_{y,max} = 176,67 \text{ MPa} \leq 0,45 * R_m = 234 \text{ MPa}$$

a

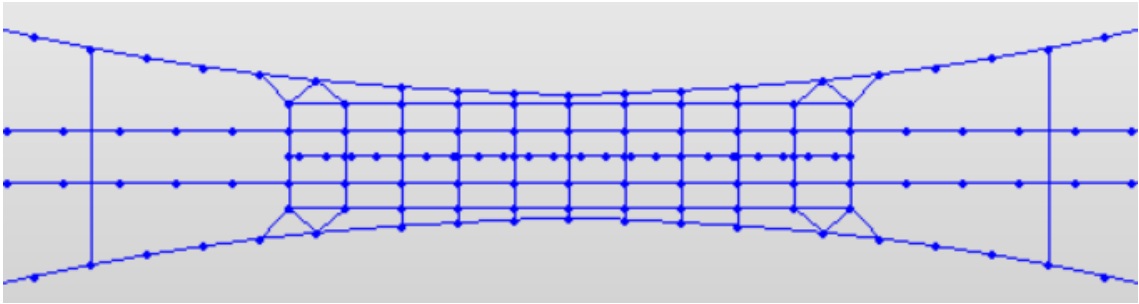
$$\sigma_{y,min} = 2,67 \text{ MPa} \geq 0.$$

Průběh napětí v těchto přímých závěsech není v dalších fázích zobrazován. Obálky maxim a minim napětí v přímých závěsech jsou rozebrány na konci kapitoly 5.3.

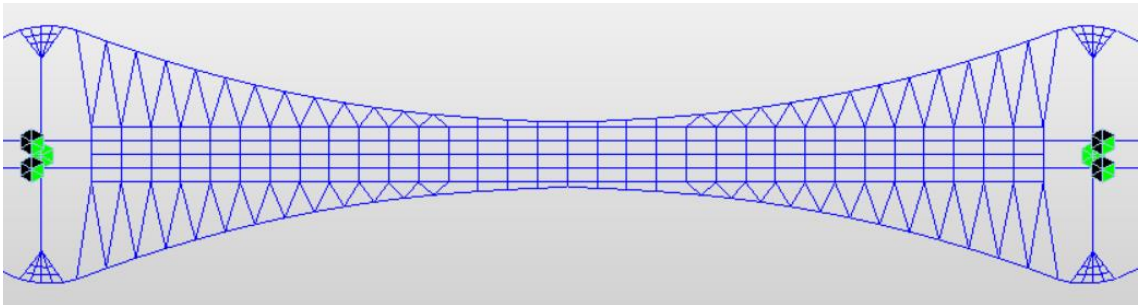
Posouzení fáze č. 9 vyhoví.

Jelikož je lávka souměrná podle dvou rovin, je napětí v následujících kapitolách v některých případech pro větší přehlednost obrázků zobrazováno na polovině, případně čtvrtině konstrukce.

5.3.6 Fáze č. 10 až č. 21: Montáž segmentů mostovky (šikmé závěsy)

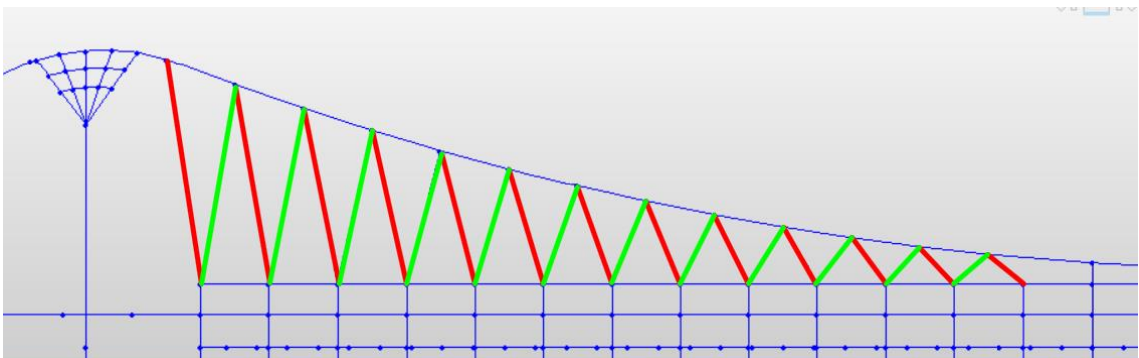


Obr. 129: Detail fáze č. 10 v programu Midas Civil (půdorys).



Obr. 130: Detail fáze č. 21 v programu Midas Civil (půdorys).

Ve fázích 10 až 21 byl vždy z každé strany přidáván jeden segment mostovky zavěšený na čtyřech závěsech. Na obr. 131 jsou barevně rozlišené přidávané závěsy. V červených kabelech bylo nutné omezit horní hranici napětí, protože tam vždy vznikl největší tah. V zelených kabelech naopak v těchto fázích vznikal tlak. Proto muselo být do těchto závěsů vnášeno napětí, aby vyhověly podmínce (3).



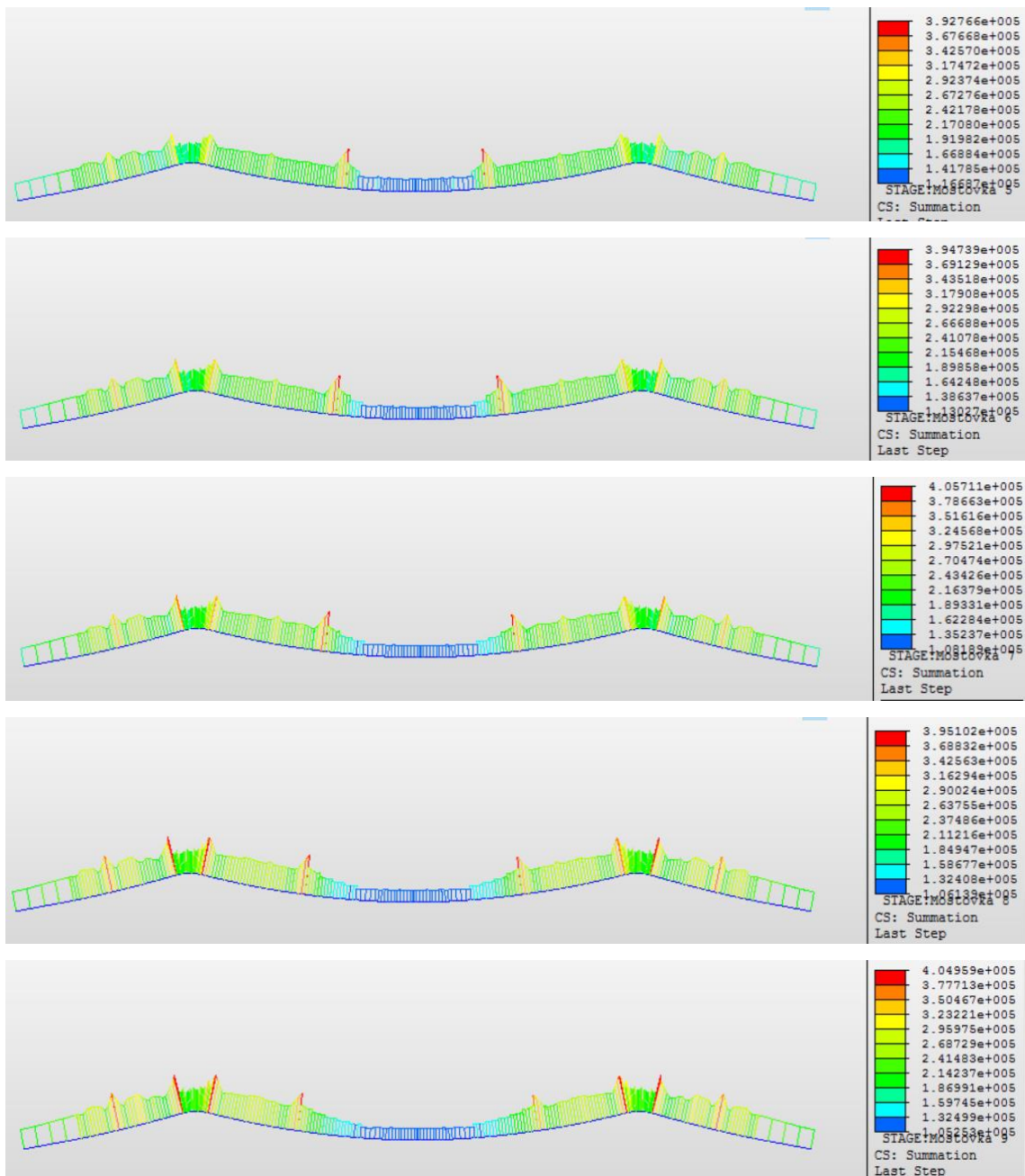
Obr. 131: Znáznornění tlačených (zelená) a tažených (červená) prutů během fází výstavby.

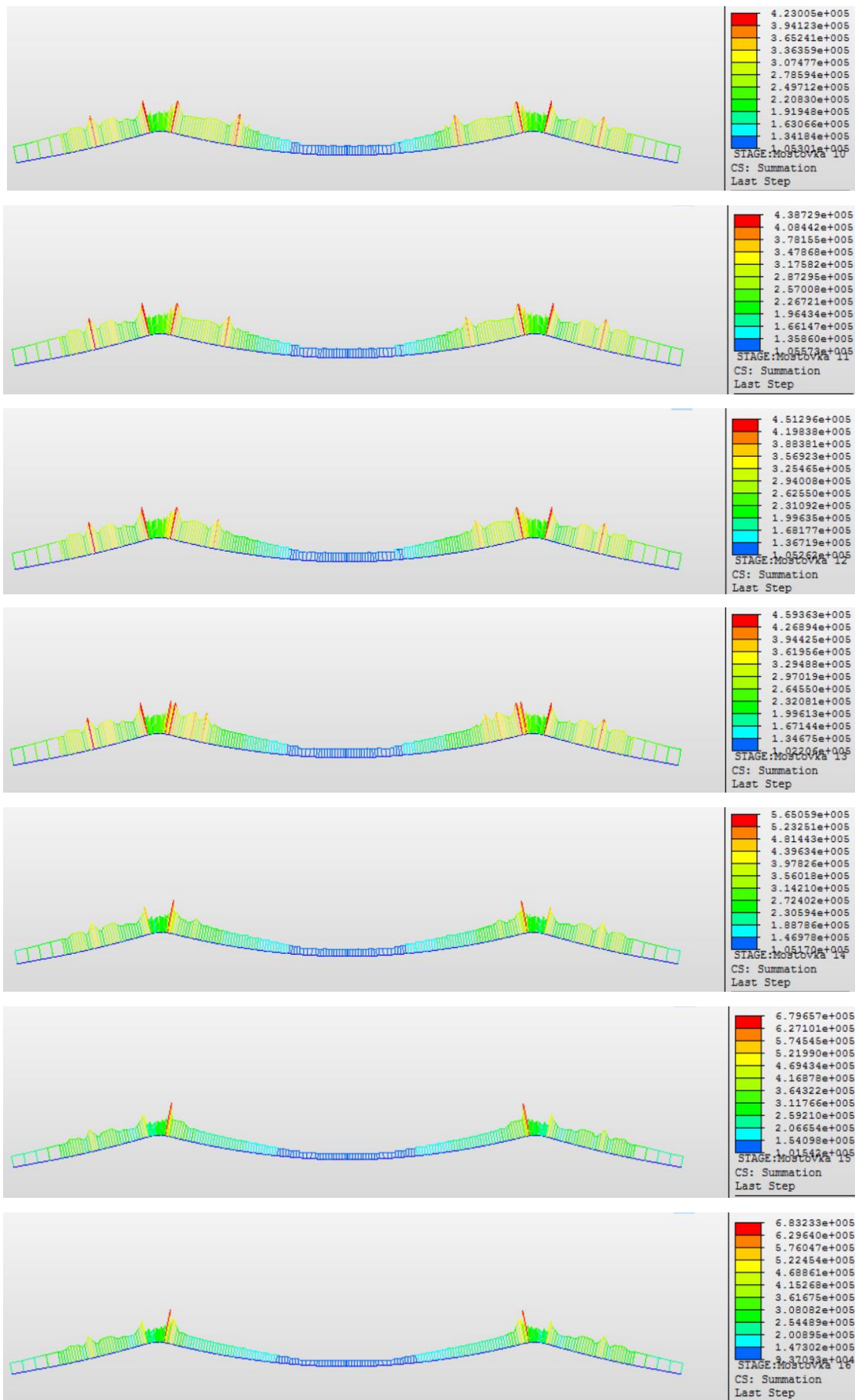
Po analýze jednotlivých fází bylo zjištěno, že je třeba během těchto fází výstavby do „zelených“ prutů vnášet napětí, které bylo pro jednoduchost při výstavbě sjednoceno na zhruba 100 MPa.

Všechna lana, do kterých bylo v těchto fázích nutné vnášet tah, mají průměr 52 mm. Z následujícího výpočtu vyplývá, že do těchto táhel bylo třeba vnést napětí silou 250 kN:

$$\sigma = \frac{F}{S} = \frac{250}{0,0021} * 10^{-3} = 117,78 \text{ MPa.}$$

Na následujícím obrázku je znázorněný průběh napětí na visutém lanu v jednotlivých fázích. Je z nich patrné, jak s přibývajícými segmenty mostovky roste maximální napětí v laně na kraji sedla pylonu.





Obr. 132: Průběh napětí po visutých lanech (fáze č. 10 až č. 21). (boční pohled) [kPa]

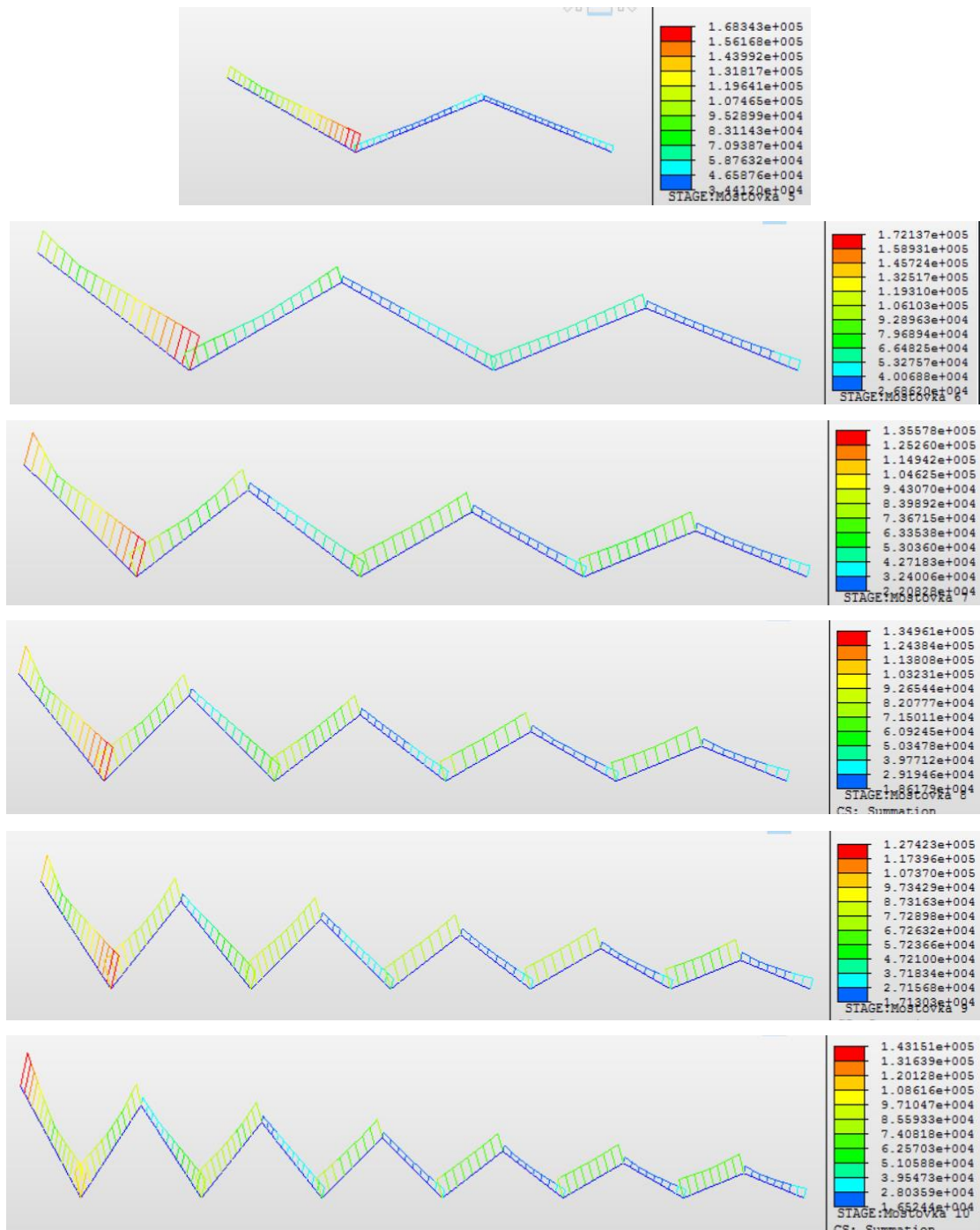
Z obr. 132 je patrné, že pro visutá lana platí (3):

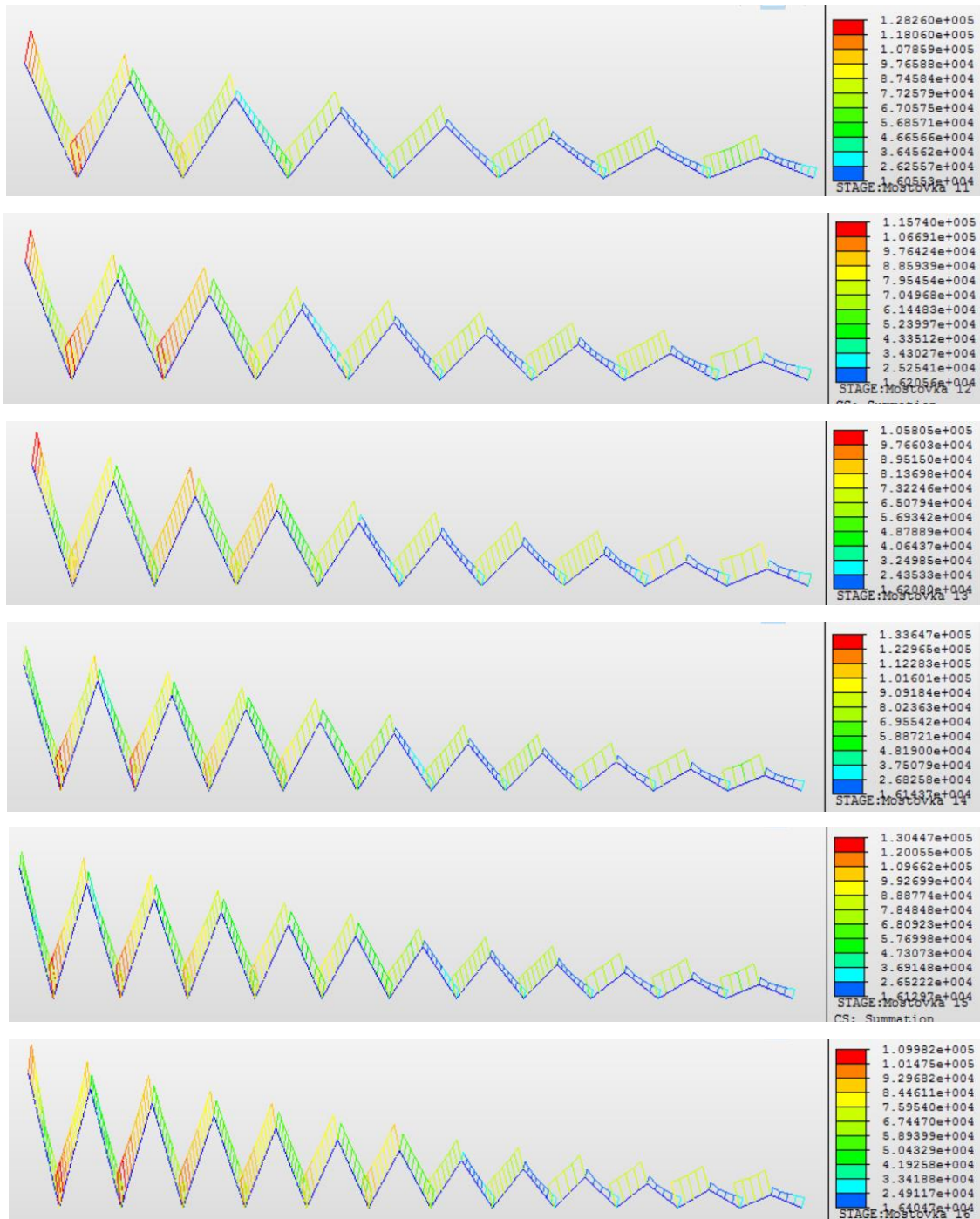
$$\sigma_{y,max} = 683,23 \text{ MPa} \leq 0,45 * R_m = 837 \text{ MPa}$$

a

$$\sigma_{y,min} = 93,71 \text{ MPa} \geq 0.$$

Na následujícím obrázku je znázorněno napětí na šikmých závěsech





Obr. 133: Průběh napětí po šikmých závěsech (fáze č. 10 až č. 21). [kPa]

Z obr. 133 je patrné, že pro šikmé závěsy platí (3):

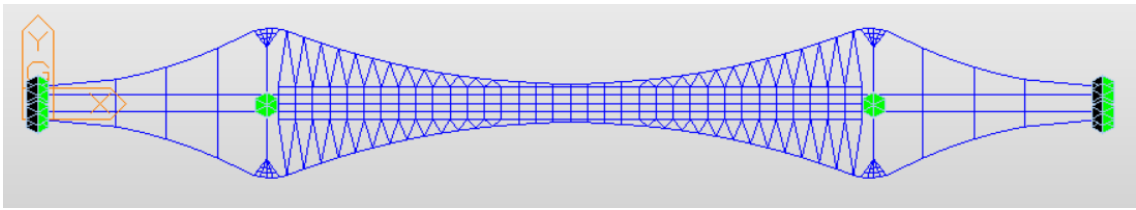
$$\sigma_{y,max} = 212,16 \text{ MPa} \leq 0,45 * R_m = 234 \text{ MPa}$$

a

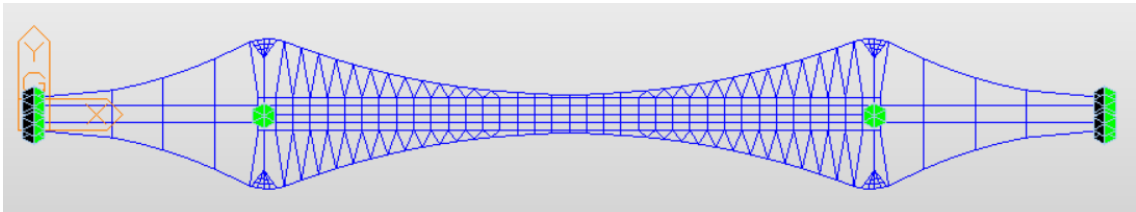
$$\sigma_{y,min} = 16,13 \text{ MPa} \geq 0.$$

Posouzení fází č. 10 až č. 21 vyhoví.

5.3.7 Fáze č. 22 a č. 23: Montáž segmentů mostovky (závěsy u pylonů)



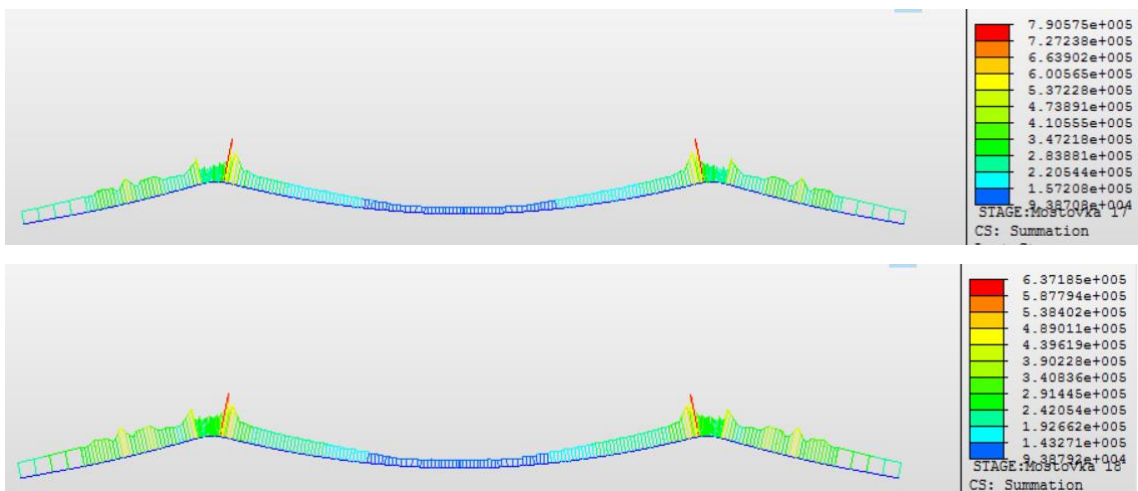
Obr. 134: Zobrazení fáze č. 22 v programu Midas Civil (půdorys).



Obr. 135: Zobrazení fáze č. 23 v programu Midas Civil (půdorys).

V těchto dvou fázích byl vždy přidán segment uchycený jen jedním párem závěsů. Ve fázi č. 22 (obr. 134) byla odstraněna podpora montážní lávky, aby bylo dovoleno závěsům přejít do tahu. Ve fázi č. 23 by vznikl v závěsech z fáze č. 22 tlak, byly proto závěsy ve fázi č. 22 napnuté stejně jako v předchozích případech tak, aby vyhověly podmínce (3). V pozdějších fázích by vznikl tah i v závěsech z fáze č. 23, byly proto napnuty také.

Na obr. 136 je znázorněn průběh napětí ve visutých lanech. Na obr. 137 je pak zobrazen průběh napětí na závěsech v jednotlivých fázích.



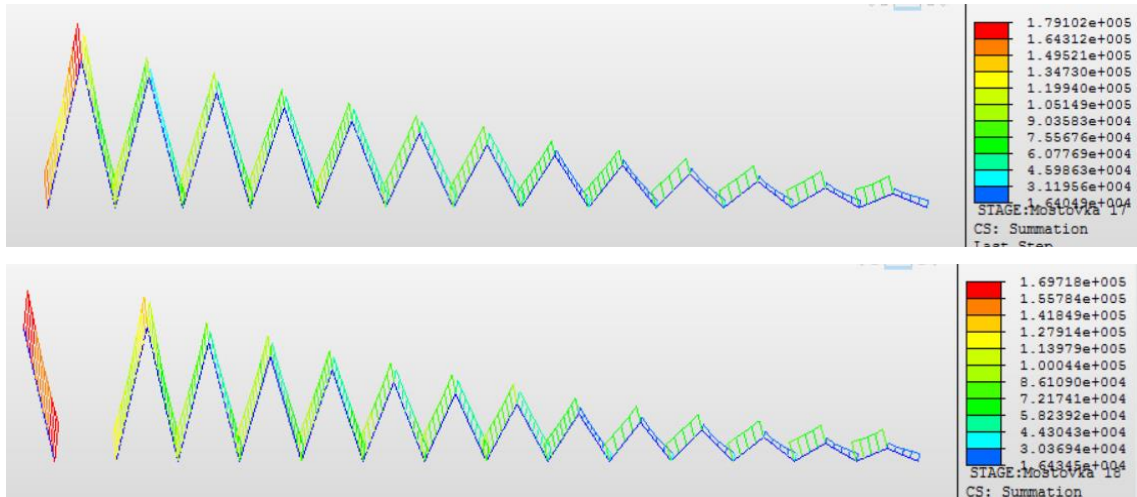
Obr. 136: Průběh napětí po visutých lanech (fáze č. 22 a č. 23). (boční pohled) [kPa]

Z obr. 136 je patrné, že pro visutá lana platí (3):

$$\sigma_{y,max} = 790,58 \text{ MPa} \leq 0,45 * R_m = 837 \text{ MPa}$$

a

$$\sigma_{y,min} = 93,87 \text{ MPa} \geq 0.$$



Obr. 137: Průběh napětí po šikmých závěsích (fáze č. 22 a č. 23). (boční pohled) [kPa]

Z obr. 137 je patrné, že pro šikmé závěsy platí (3):

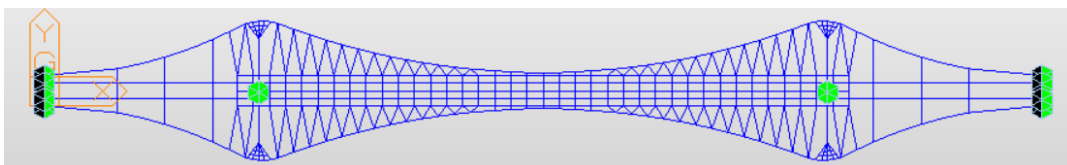
$$\sigma_{y,max} = 179,10 \text{ MPa} \leq 0,45 * R_m = 234 \text{ MPa}$$

a

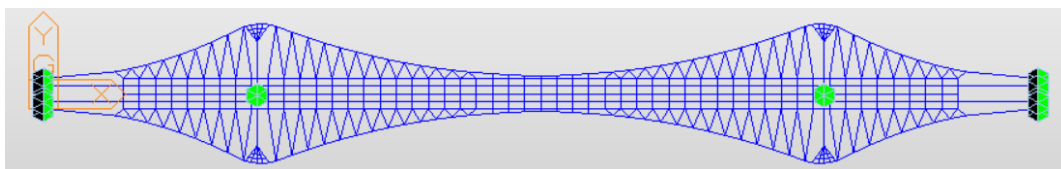
$$\sigma_{y,min} = 16,40 \text{ MPa} \geq 0.$$

Posouzení fází č. 22 a č. 23 vyhoví.

5.3.8 Fáze č. 24 až č. 31: Montáž segmentů mostovky (závěsy v krajních polích)



Obr. 138: Zobrazení fáze č. 24 v programu Midas Civil (půdorys).

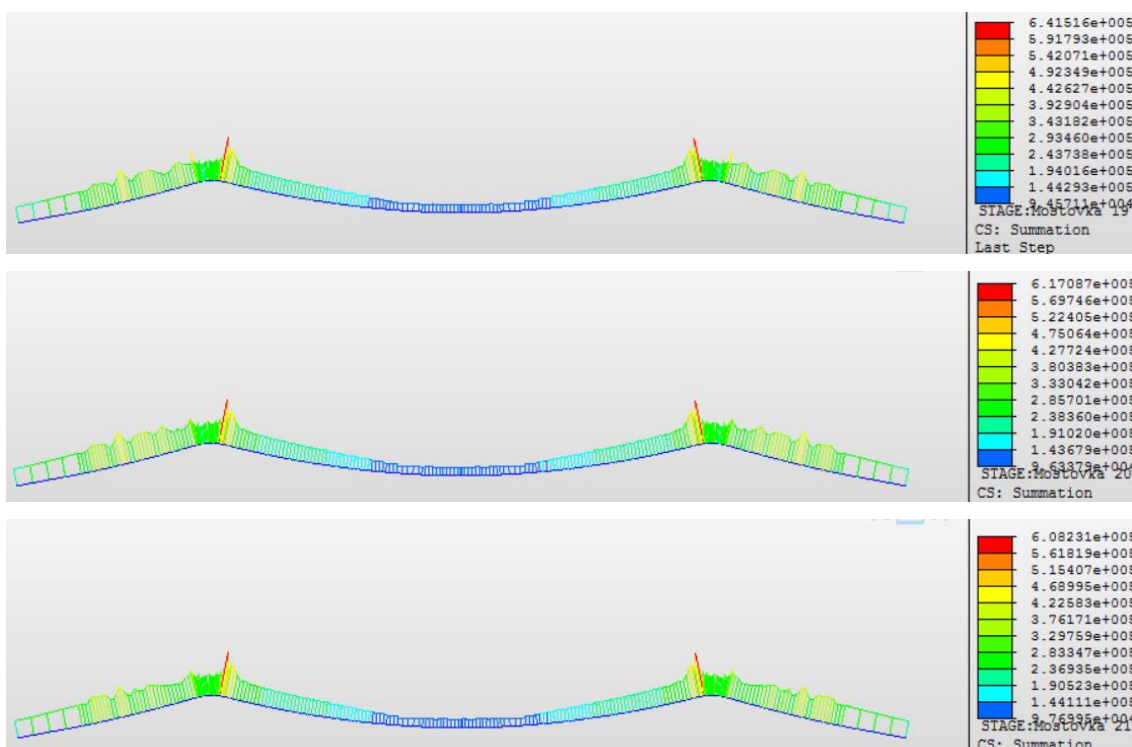


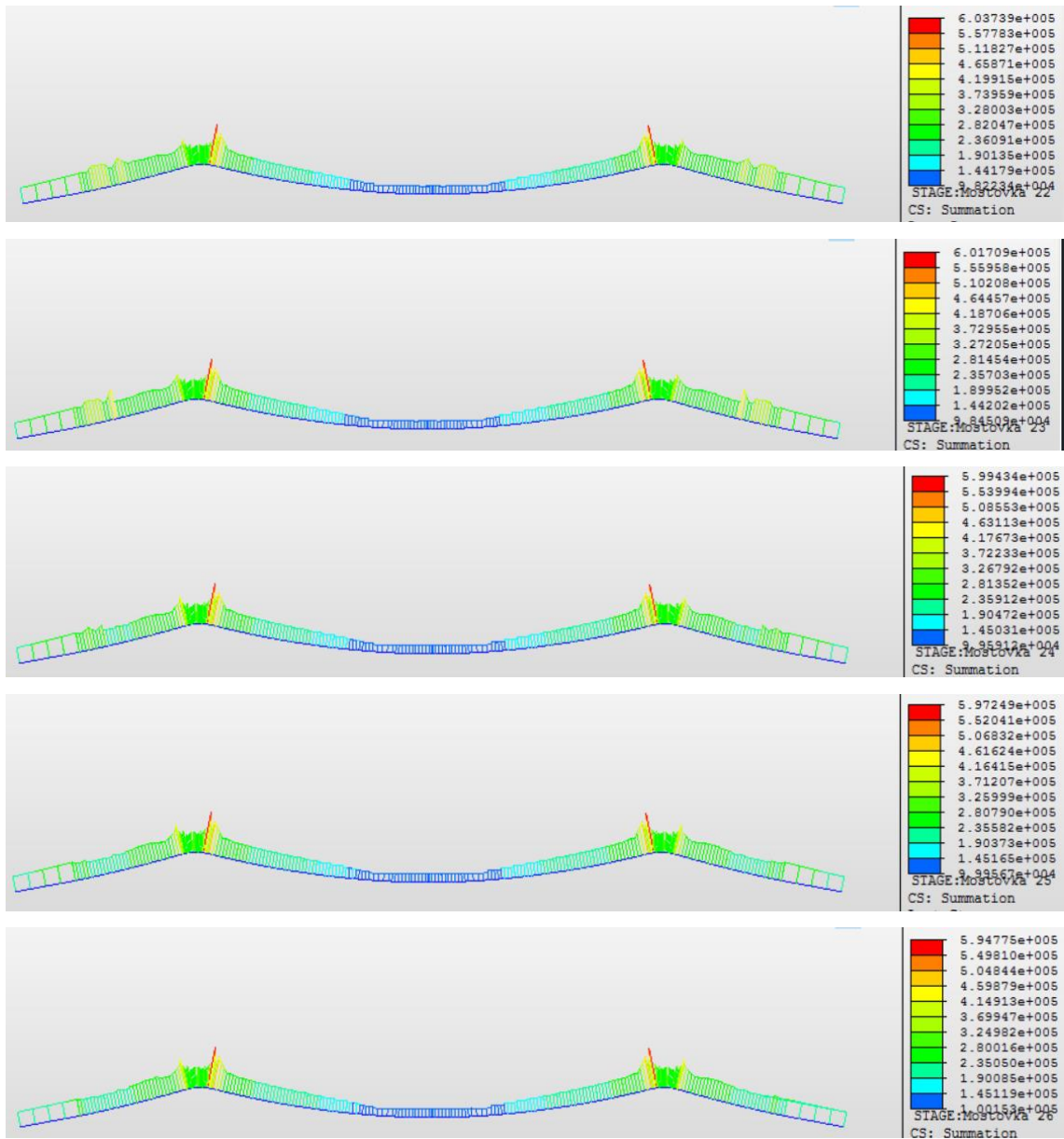
Obr. 139: Zobrazení fáze č. 31 v programu Midas Civil (půdorys).

Ve fázích č. 24 až č. 31 jsou přidávány segmenty mostovky v krajních polích, které jsou uchycené vždy čtyřmi závěsy k visutým lanům. Narozdíl od hlavního rozpětí mostu jsou zde na minimální hodnotu napětí 100 MPa napínány všechny závěsy, aby v nich v žádné fázi výstavby nepřešlo napětí do tlaku. Napínány jsou zde závěsy o dvou různých průměrech. Do závěsů o průměru 52 mm je vnášeno napětí silou 250 kN. Následující výpočet ukazuje, že do závěsů o průměru 97 bylo nutné vnášet napětí silou 800 kN:

$$\sigma = \frac{F}{S} = \frac{800}{0,0074} * 10^{-3} = 108,31 \text{ MPa}.$$

Níže jsou opět znázorněny a posouzeny průběhy napětí ve visutých lanech a v závěsech v jednotlivých fázích.





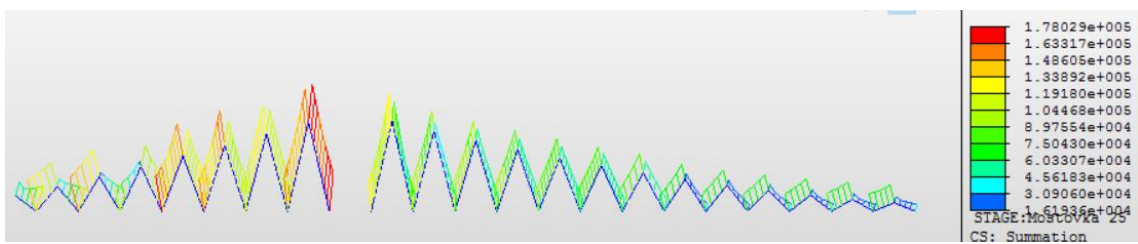
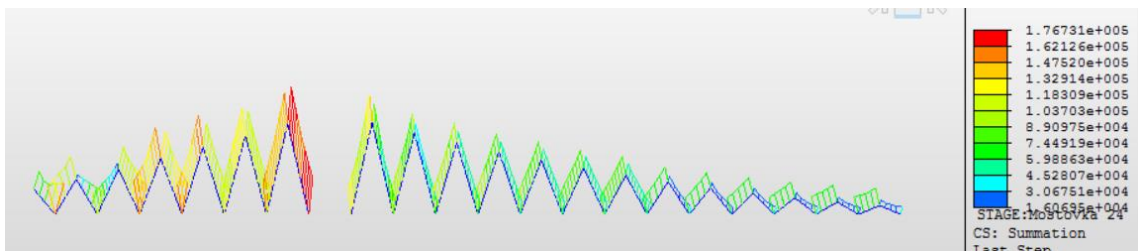
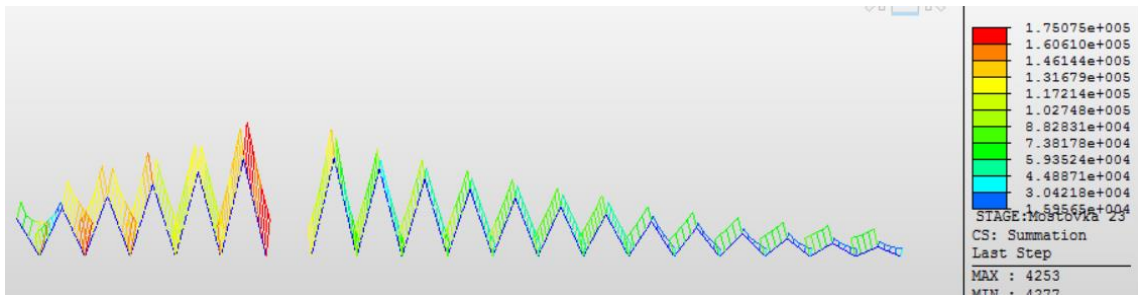
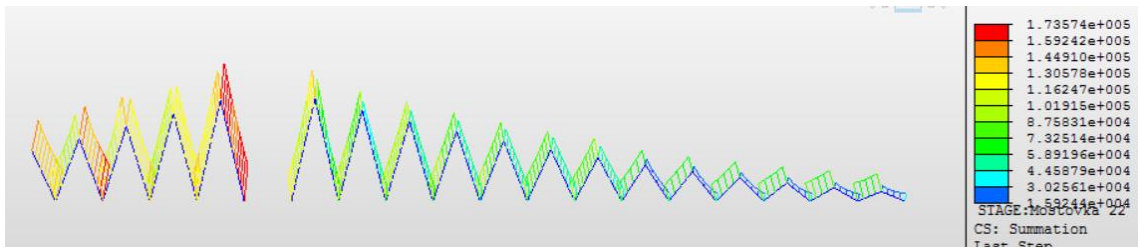
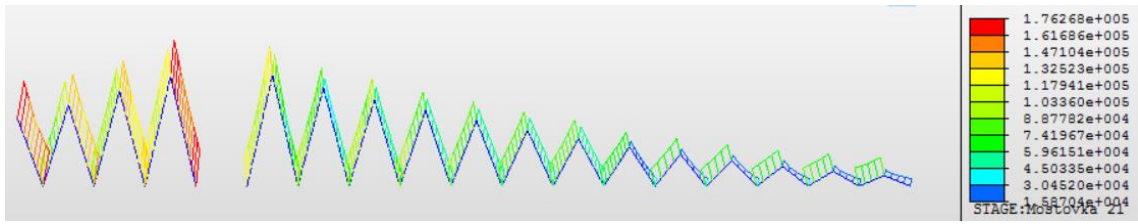
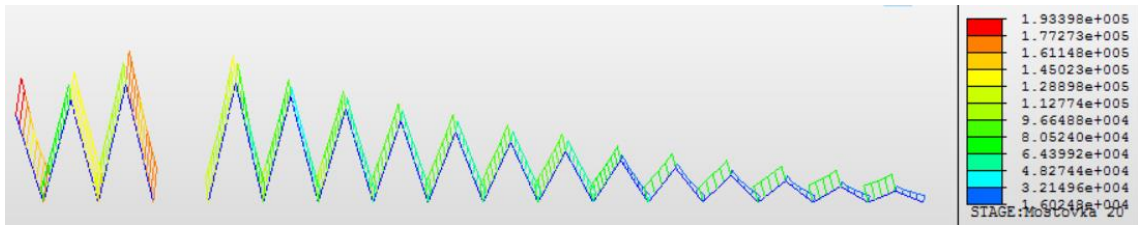
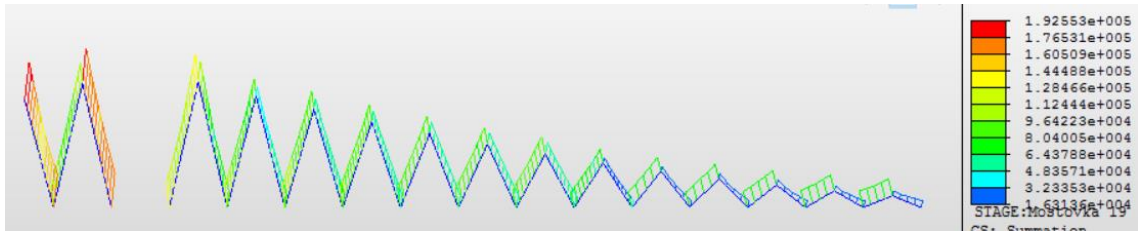
Obr. 140: Průběh napětí po visutých lanech (fáze č. 24 až č. 31). (boční pohled) [kPa]

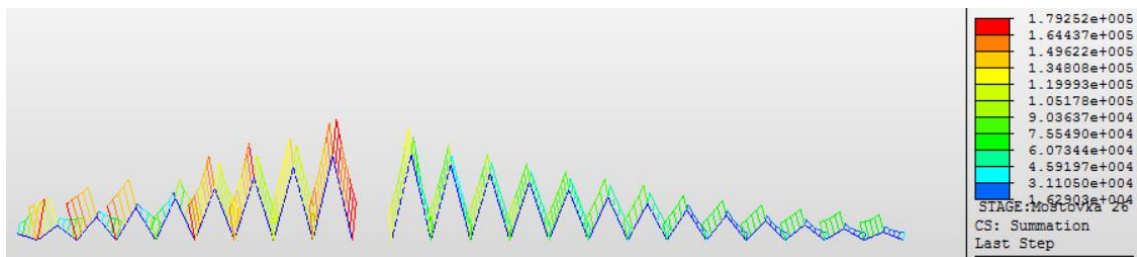
Z obr. 140 je patrné, že pro visutá lana platí (3):

$$\sigma_{y,max} = 641,52 \text{ MPa} \leq 0,45 * R_m = 837 \text{ MPa}$$

a

$$\sigma_{y,min} = 94,57 \text{ MPa} \geq 0.$$





Obr. 141: Průběh napětí po šikmých závěsech (fáze č. 24 a č. 31). (boční pohled) [kPa]

Z obr. 141 je patrné, že pro šikmé závěsy platí (3):

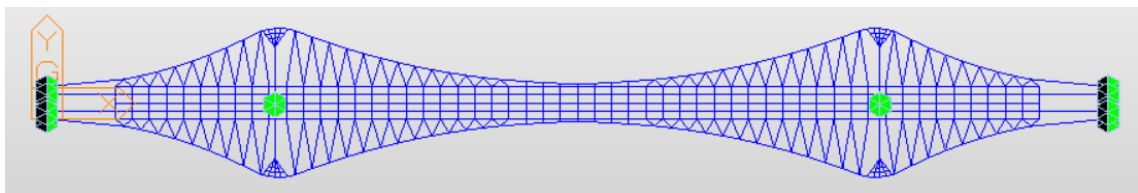
$$\sigma_{y,max} = 193,40 \text{ MPa} \leq 0,45 * R_m = 234 \text{ MPa}$$

a

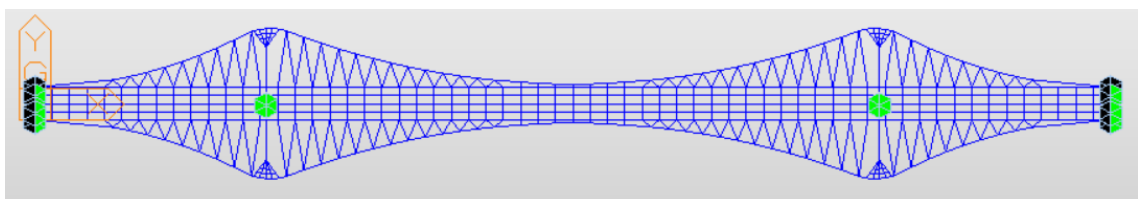
$$\sigma_{y,min} = 15,87 \text{ MPa} \geq 0.$$

Posouzení fází č. 24 až č. 31 vyhoví.

5.3.9 Fáze č. 32 až č. 37: Montáž segmentů mostovky (poslední šikmý závěs a segmenty bez závěsů)

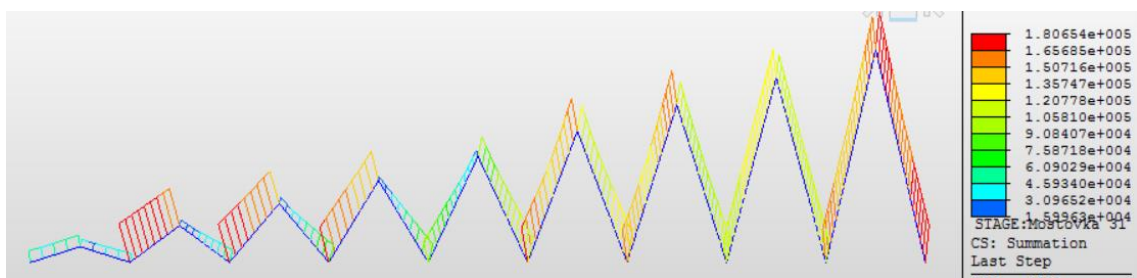
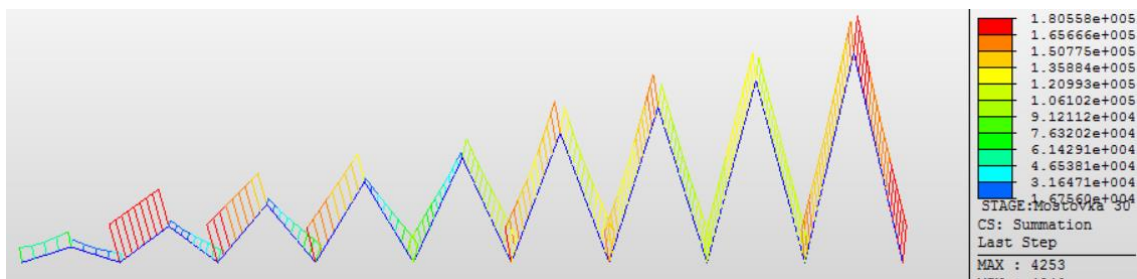
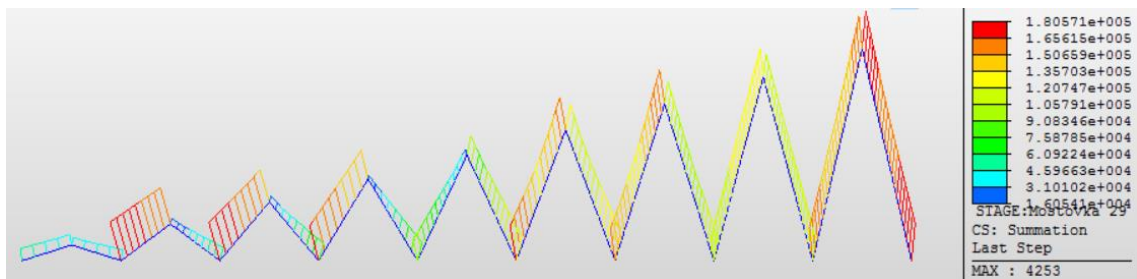
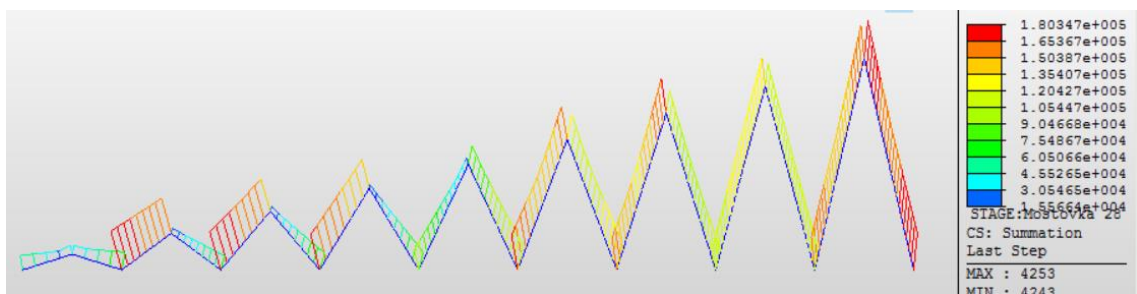
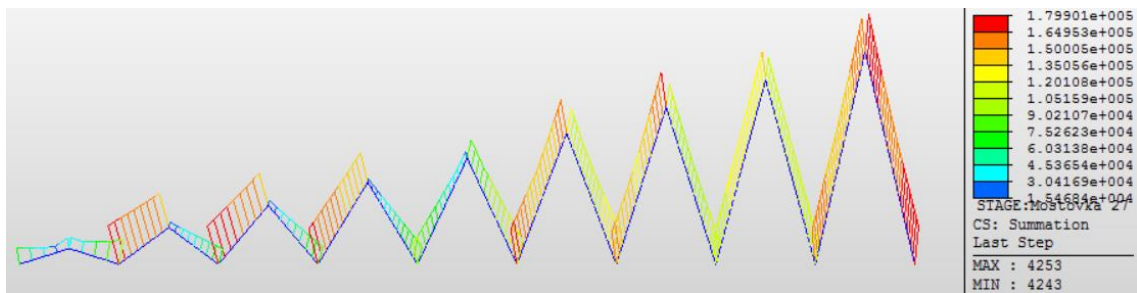


Obr. 142: Zobrazení fáze č. 32 v programu Midas Civil (půdorys).



Obr. 143: Zobrazení fáze č. 37 v programu Midas Civil (půdorys).

V těchto fázích byly instalovány zbylé segmenty mostovky. Jak je vidět již na obr. 140 v přechodí kapitole, průběh napětí ve visutých lanech se již příliš neměnil. Stejně tak napětí v závěsech ve středním poli bylo velmi stabilizováno. Níže je tedy znázorněna pouze analýza závěsů v krajním poli mostu. Fáze č. 37 není v mostu modelována – během výstavby jsou v této fázi instalovány předpínací kabely do mostovky.



Obr. 144: Průběh napětí po šikmých závěsech (fáze č. 32 a č. 36). (boční pohled) [kPa]

Z obr. 144 je patrné, že pro šikmé závěsy platí (3):

$$\sigma_{y,max} = 180,65 \text{ MPa} \leq 0,45 * R_m = 234 \text{ MPa}$$

a

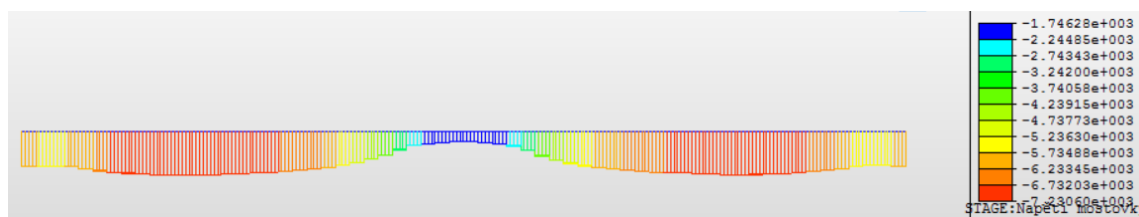
$$\sigma_{y,min} = 16,00 \text{ MPa} \geq 0.$$

Posouzení fází č. 3 až č. 37 vyhoví.

5.3.10 Fáze č. 38: Předepnutí mostovky

V této fázi byla mostovka předepnuta dvěma kabely vedenými na vodorovné ose těžiště mostovky. Předpínací lana byla z oceli třídy Y1770S7 – 15,7 a počet kabelů v jednom lanu byl 19. Celková plocha jednoho lana byla tedy 2850 mm². Počáteční napětí v kabelech bylo předepsané 1440,0 MPa.

Napětí bylo navrženo tak, že má v celé mostovce být pouze tlak ve všech zatěžovacích stavech. Na následujícím obrázku je znázorněn průběh napětí po jeho vnesení. Mostovka je posouzena v kapitole 6.



Obr. 145: Průběh napětí v mostovce po předpětí (fáze č. 38). (boční pohled) [kPa]

Z obrázku 145 je patrné, že je dle požadavků mostovka po celé délce pouze v oblasti tlaku.

Jiné prvky v této fázi nebyly posuzovány. Jsou však zmíněny v obálce minim a maxim napětí v kapitole 5.3.13.

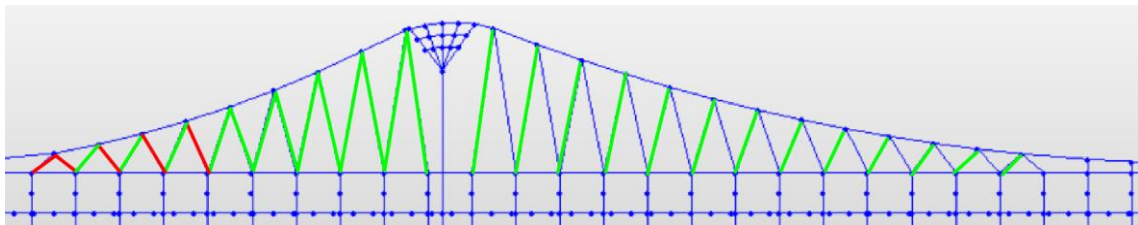
Posouzení fáze č. 38 vyhoví.

5.3.11 Fáze č. 39: Betonáž závěrné zídky a dokončovací práce

V této fázi byla ve výpočetním programu uvolněna montážní lávka a instalováno zábradlí. Ve statické analýze finálního návrhu lávky, kterým se zabývá kapitola 6, bylo zjištěno, že při některých kombinacích zatížení závěsy, do kterých bylo vneseno během fází výstavby napětí, přesahují mezní hodnotu tahového napětí, a že při některých kombinacích (například při kombinacích s působením zatížení od větru) některé závěsy

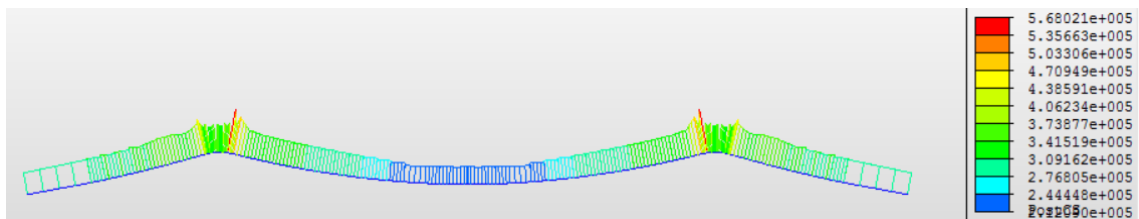
přecházejí do tlaku. Z tohoto důvodu bylo před uvedením do provozu změněno napětí v závěsech.

Na obr. 146 jsou barevně rozlišeny závěsy, do kterých bylo během výstavby vnášeno zatížení. Červeně jsou označeny závěsy, které mají průměr 97 mm, a původně do nich bylo vneseno napětí silou 800 kN. Zeleně jsou označeny kabely s průměrem 52 mm a původně do nich bylo vneseno napětí silou 250 kN. Opět byl kladen důraz na jednoduchost návrhu z důvodu jednoduché realizace. Pro všechny kombinace zatížení vyšla změna napětí ve všech závěsech na polovinu. V této poslední fázi výstavby tedy byla síla vnesená do červeně označených závěsů změněna na 400 kN a síla vnesená do zeleně označených závěsů změněna na 125 kN. Modře označené kabely zůstaly bez vneseného napětí.



Obr. 146: Schéma vnesení napětí do závěsů ve fázi č. 39. (půdorys)

Níže je popsáno posouzení všech sledovaných prvků v poslední konstrukční fázi výstavby.



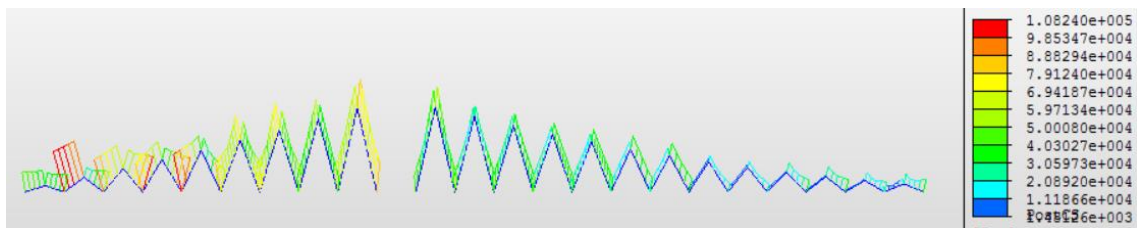
Obr. 147: Průběh napětí po visutých lanech (fáze č. 39). (boční pohled) [kPa]

Z obr. 147 je patrné, že pro visutá lana platí (3):

$$\sigma_{y,max} = 568,02 \text{ MPa} \leq 0,45 * R_m = 837 \text{ MPa}$$

a

$$\sigma_{y,min} = 212,90 \text{ MPa} \geq 0.$$



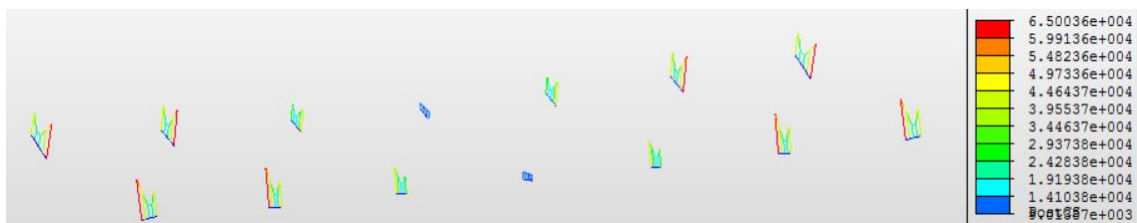
Obr. 148: Průběh napětí po šikmých závěsech (39). (boční pohled) [kPa]

Z obr. 148 je patrné, že pro šikmé závěsy platí (3):

$$\sigma_{y,max} = 108,24 \text{ MPa} \leq 0,45 * R_m = 234 \text{ MPa}$$

a

$$\sigma_{y,min} = 1,47 \text{ MPa} \geq 0.$$



Obr. 149: Průběh napětí po přímých závěsech (fáze č. 39). [kPa]

Z obr. 149 je patrné, že pro přímé závěsy platí (3):

$$\sigma_{y,max} = 65,00 \text{ MPa} \leq 0,45 * R_m = 234 \text{ MPa}$$

a

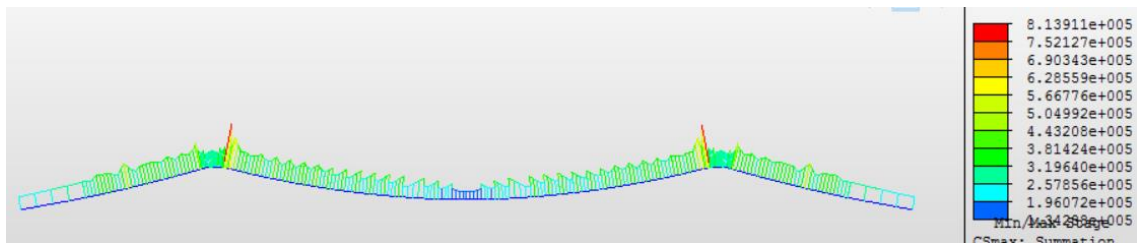
$$\sigma_{y,min} = 9,01 \text{ MPa} \geq 0.$$

Posouzení fáze č. 39 vyhoví.

5.3.12 Fáze č. 40: Uvedení do provozu

V této fázi je provedena podrobná statická analýza v kapitole 6.

5.3.13 Obálky maxim a minim napětí ve sledovaných prvcích



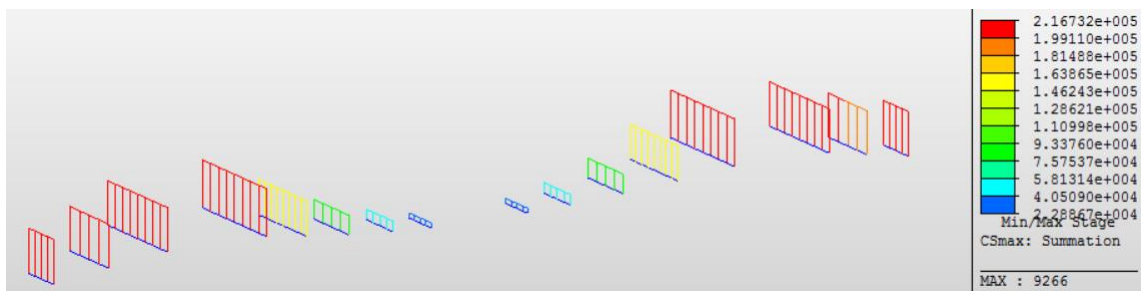
Obr. 150: Obálka průběhu napětí po visutých lanech během fází výstavby. (boční pohled) [kPa]

Z obr. 150 je patrné, že pro visutá lana platí (3):

$$\sigma_{y,max} = 813,91 \text{ MPa} \leq 0,45 * R_m = 837 \text{ MPa}$$

a

$$\sigma_{y,min} = 134,27 \text{ MPa} \geq 0.$$



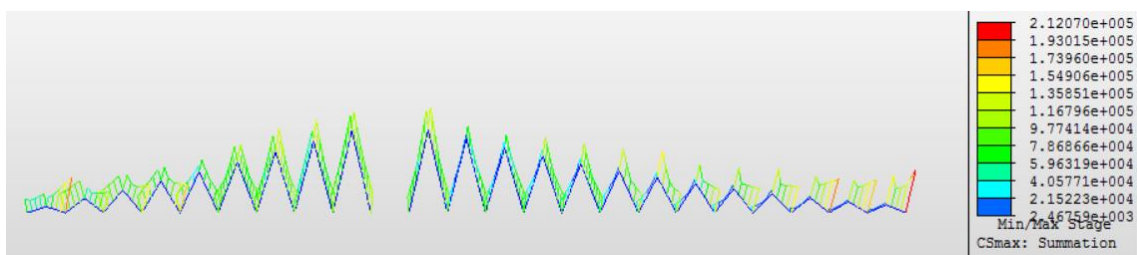
Obr. 151: Obálka průběhu napětí po montážních táhlech během fází výstavby. (boční pohled) [kPa]

Z obr. 151 je patrné, že pro montážní táhla platí (3):

$$\sigma_{y,max} = 216,73 \text{ MPa} \leq 0,45 * R_m = 234 \text{ MPa}$$

a

$$\sigma_{y,min} = 22,89 \text{ MPa} \geq 0.$$



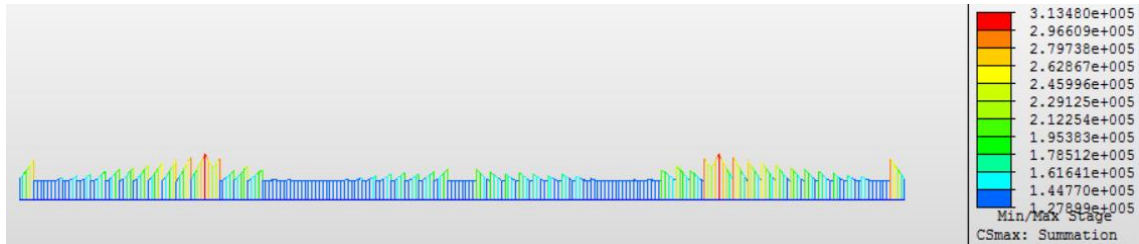
Obr. 152: Obálka průběhu napětí po šikmých závěsech během fází výstavby. (boční pohled) [kPa]

Z obr. 152 je patrné, že pro šikmé závěsy platí (3):

$$\sigma_{y,max} = 212,07 \text{ MPa} \leq 0,45 * R_m = 234 \text{ MPa}$$

a

$$\sigma_{y,min} = 2,47 \text{ MPa} \geq 0.$$



Obr. 153: Obálka průběhu napětí po montážní lávce během fází výstavby. (boční pohled) [kPa]

Z obr. 153 je patrné, že pro lana montážní lávky platí (3):

$$\sigma_{y,max} = 313,48 \text{ MPa} \leq 0,45 * R_m = 796,5 \text{ MPa}$$

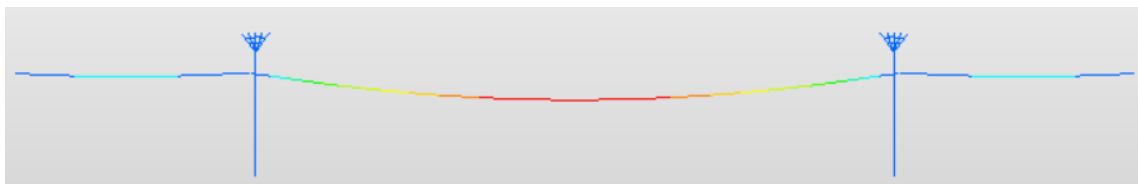
a

$$\sigma_{y,min} = 127,90 \text{ MPa} \geq 0.$$

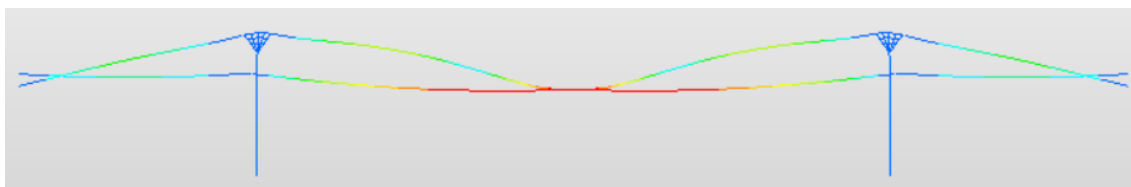
Všechny sledované prvky během fází výstavby vyhoví na omezení napětí.

5.3.14 Průhyb lávky během fází výstavby

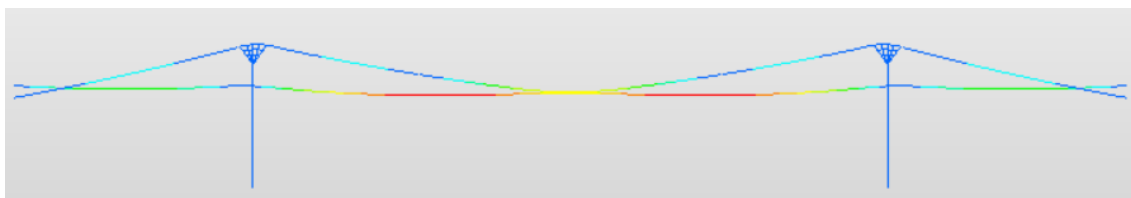
Na následujících obrázcích jsou znázorněny deformace konstrukce v jednotlivých fázích v 5x zvětšeném měřítku. Hodnota maximálního průhybu konstrukce, který je ve všech fázích uprostřed hlavního rozpětí, je uvedena vždy u popisu obrázku. Deformace lávky nedosahuje v žádné z fází vysokých hodnot. Posouzení průhybu je popsáno v kapitole 6.



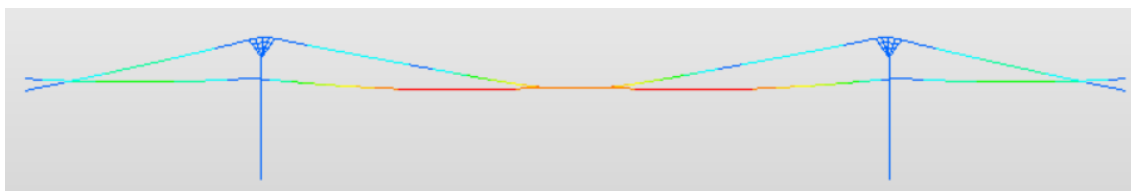
Obr. 154: Deformovaná konstrukce ve fázi č. 4. Max. průhyb 0,584 m.



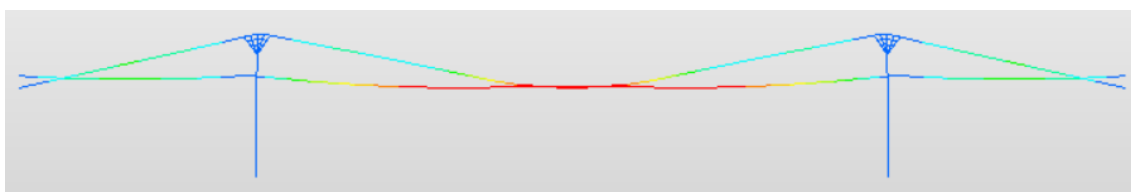
Obr. 155: Deformovaná konstrukce ve fázi č. 5. Max. průhyb 0,372 m.



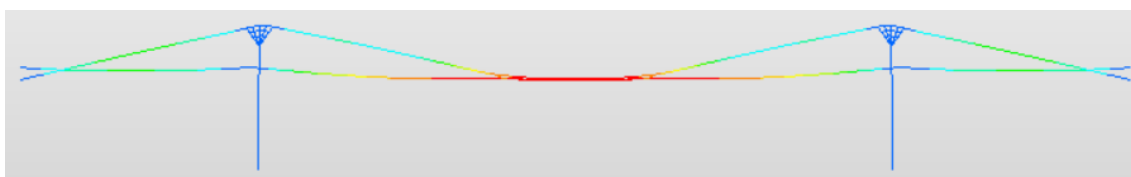
Obr. 156: Deformovaná konstrukce ve fázi č. 6. Max. průhyb 0,224 m.



Obr. 157: Deformovaná konstrukce ve fázi č. 7. Max. průhyb 0,249 m.



Obr. 158: Deformovaná konstrukce ve fázi č. 8. Max. průhyb 0,263 m.



Obr. 159: Deformovaná konstrukce ve fázi č. 9. Max. průhyb 0,272 m.



Obr. 160: Deformovaná konstrukce ve fázi č. 10. Max. průhyb 0,283 m.



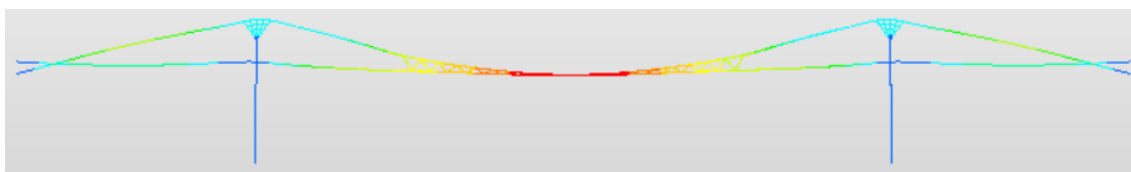
Obr. 161: Deformovaná konstrukce ve fázi č. 11. Max. průhyb 0,295 m.



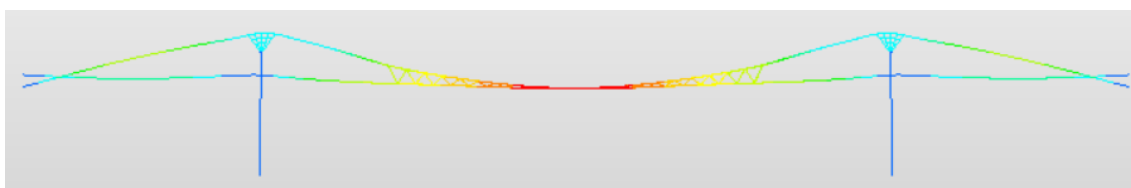
Obr. 162: Deformovaná konstrukce ve fázi č. 12. Max. průhyb 0,302 m.



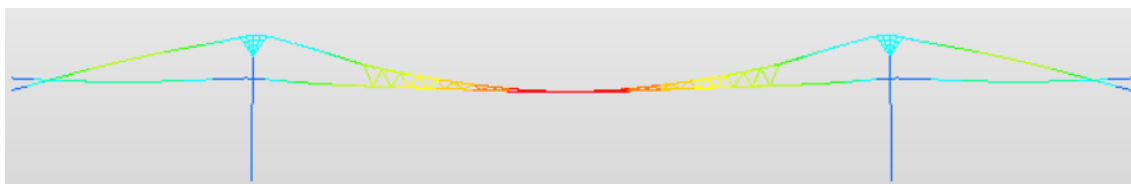
Obr. 163: Deformovaná konstrukce ve fázi č. 13. Max. průhyb 0,307 m.



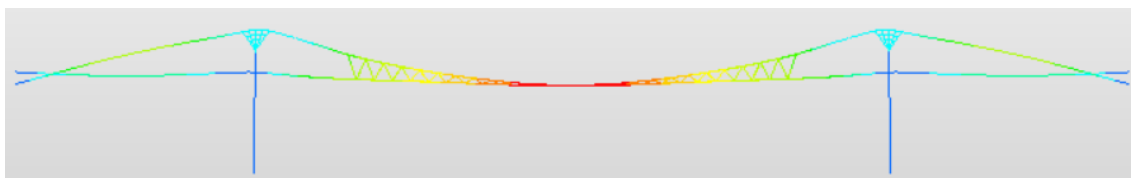
Obr. 164: Deformovaná konstrukce ve fázi č. 14. Max. průhyb 0,311 m.



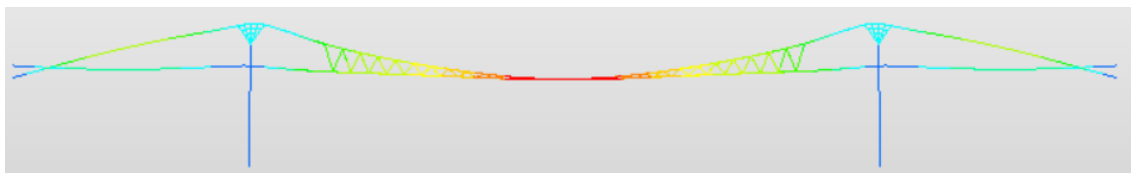
Obr. 165: Deformovaná konstrukce ve fázi č. 15. Max. průhyb 0,315 m.



Obr. 166: Deformovaná konstrukce ve fázi č. 16. Max. průhyb 0,313 m.



Obr. 167: Deformovaná konstrukce ve fázi č. 17. Max. průhyb 0,313 m.



Obr. 168: Deformovaná konstrukce ve fázi č. 18. Max. průhyb 0,316 m.



Obr. 169: Deformovaná konstrukce ve fázi č. 19. Max. průhyb 0,316 m.



Obr. 170: Deformovaná konstrukce ve fázi č. 20. Max. průhyb 0,326 m.



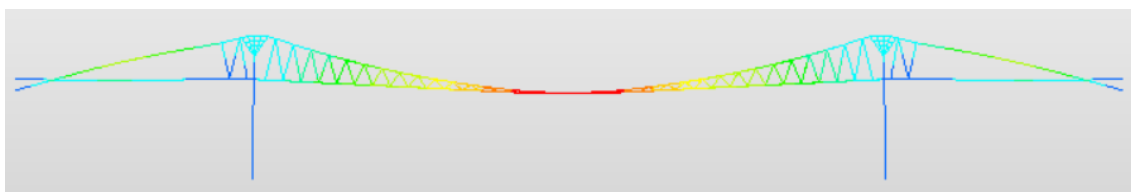
Obr. 171: Deformovaná konstrukce ve fázi č. 21. Max. průhyb 0,345 m.



Obr. 172: Deformovaná konstrukce ve fázi č. 22. Max. průhyb 0,348 m.



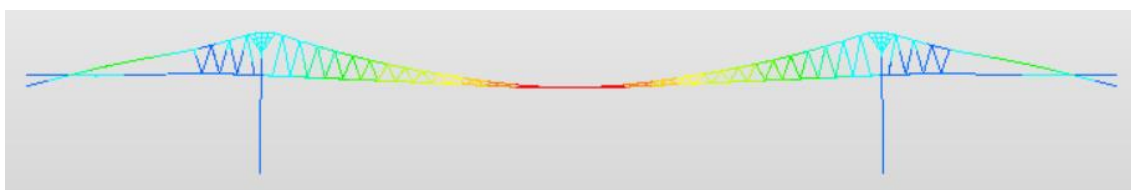
Obr. 173: Deformovaná konstrukce ve fázi č. 23. Max. průhyb 0,350 m.



Obr. 174: Deformovaná konstrukce ve fázi č. 24. Max. průhyb 0,343 m.



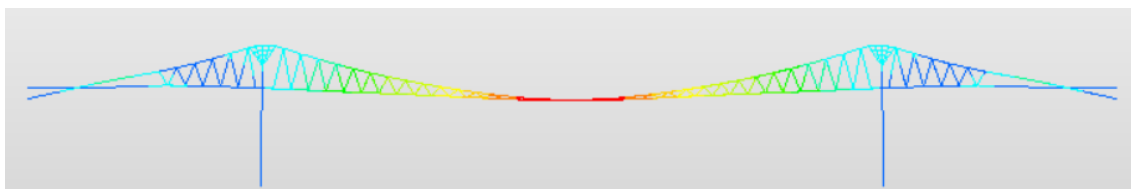
Obr. 175: Deformovaná konstrukce ve fázi č. 25. Max. průhyb 0,327 m.



Obr. 176: Deformovaná konstrukce ve fázi č. 26. Max. průhyb 0,316 m.



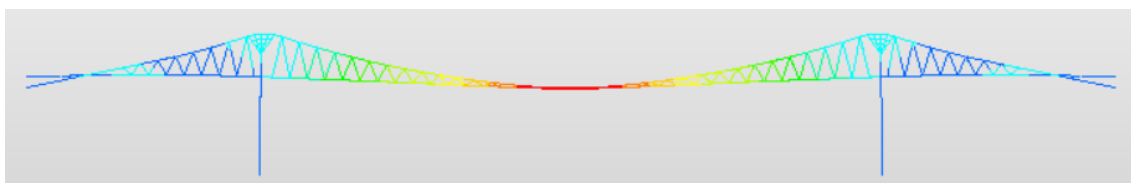
Obr. 177: Deformovaná konstrukce ve fázi č. 27. Max. průhyb 0,310 m.



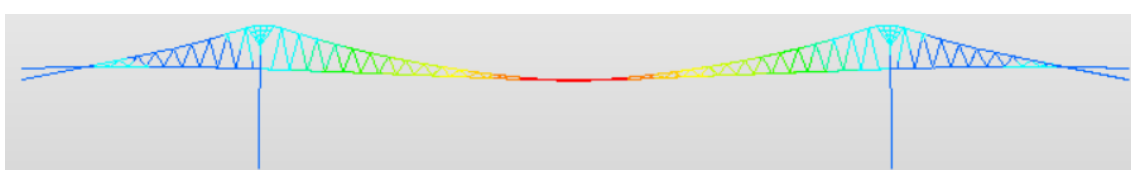
Obr. 178: Deformovaná konstrukce ve fázi č. 28. Max. průhyb 0,307 m.



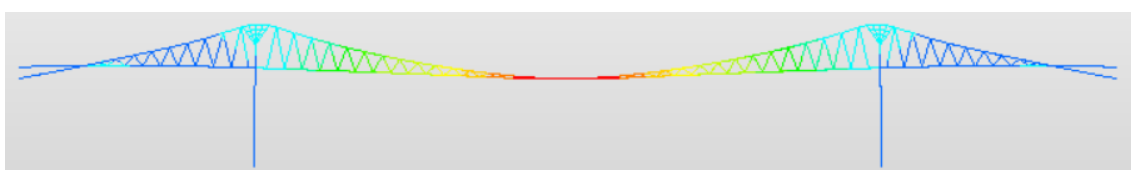
Obr. 179: Deformovaná konstrukce ve fázi č. 29. Max. průhyb 0,296 m.



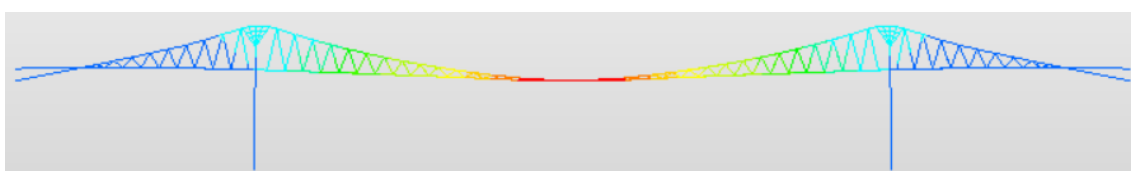
Obr. 180: Deformovaná konstrukce ve fázi č. 30. Max. průhyb 0,289 m.



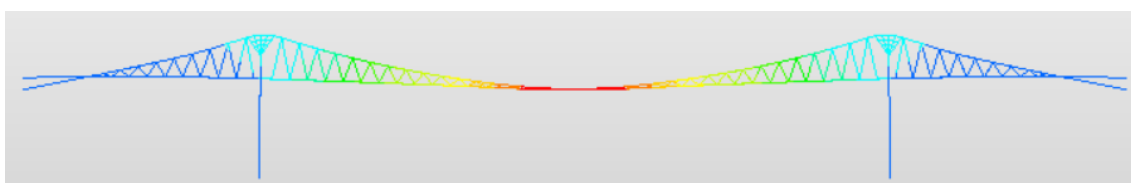
Obr. 181: Deformovaná konstrukce ve fázi č. 31. Max. průhyb 0,283 m.



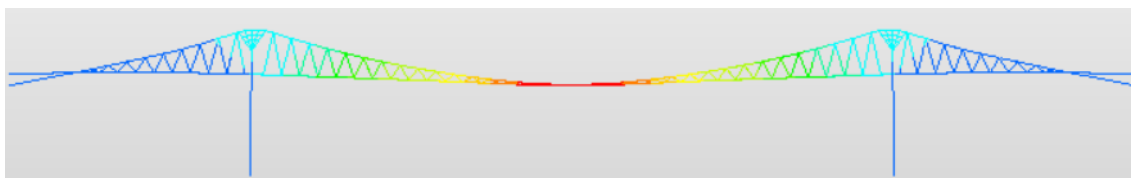
Obr. 182: Deformovaná konstrukce ve fázi č. 32. Max. průhyb 0,278 m.



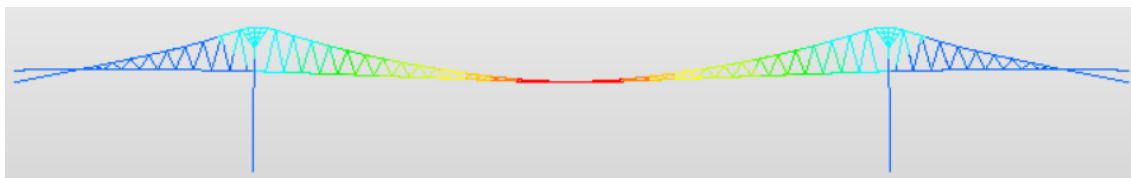
Obr. 183: Deformovaná konstrukce ve fázi č. 33. Max. průhyb 0,275 m.



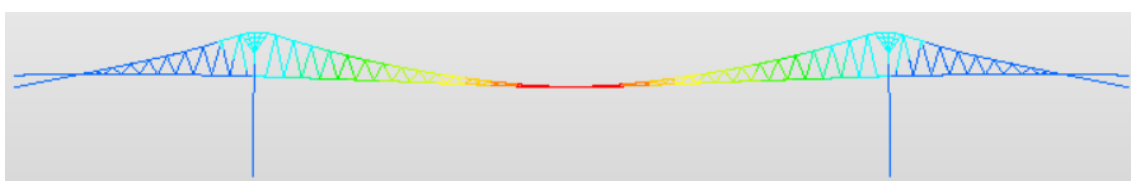
Obr. 184: Deformovaná konstrukce ve fázi č. 34. Max. průhyb 0,273 m.



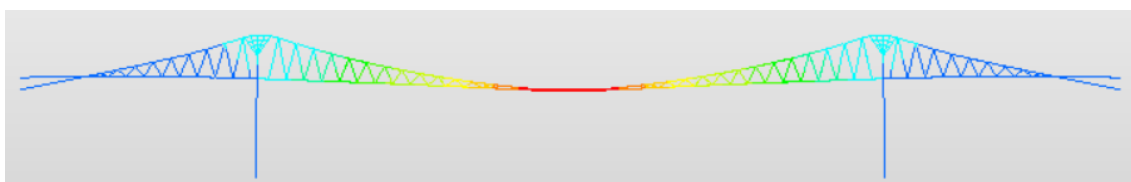
Obr. 185: Deformovaná konstrukce ve fázi č. 35. Max. průhyb 0,270 m.



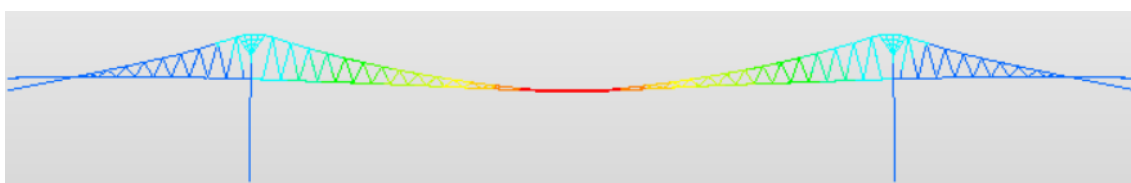
Obr. 186: Deformovaná konstrukce ve fázích č. 36. Max. průhyb 0,270 m.



Obr. 187: Deformovaná konstrukce ve fázích č. 37. Max. průhyb 0,270 m.



Obr. 188: Deformovaná konstrukce ve fázi č. 38. Max. průhyb 0,270 m.



Obr. 189: Deformovaná konstrukce ve fázi č. 39. Max. průhyb 0,270 m.

Z obrázků je zřejmé, že během fází výstavby nedocházelo k žádným nepřiměřeným deformacím konstrukce. K největšímu průhybu lávky došlo v provozní fázi, jejímž posouzením se zabývá kapitola 6. Průhyb konstrukce byl tedy posuzován v kapitole 6.3.

6 Statická analýza

V této kapitole jsem se zabýval posouzením konstrukce z hlediska mezních stavů použitelnosti. V kapitole 6.1 je popsáno zatížení, které bylo uvažováno při statické analýze konstrukce. Kapitola 6.2 se dále zabývá omezením napětí v jednotlivých částech konstrukce a kapitola 6.3 posuzuje deformace z hlediska vzhledu konstrukce a pohody uživatelů. U betonových částí konstrukce bylo posouzeno omezení šířky trhlin. Kapitola 6.4 se zabývá problematikou zakotvení nosných lan. Kapitola 7 se poté podrobně zabývá kmitáním a posouzením na pohodu chodců. Návrhem a posouzením založení se tato práce nezabývá.

6.1 Zatížení

6.1.1 Stálé zatížení

6.1.1.1 Zatížení vlastní tíhou

Vlastní tíha nosné konstrukce byla na prutovém modelu simulována spojitým liniovým zatížením vypočteným podle tab. 6.

	r	d	S	ρ	$S \cdot \rho$	f
	[m]	[m]	[m ²]	[kg/m ³]	[kg/m]	[kN/m]
Lana	0.0659	0.1319	0.0137	7850	107.153	1.072
Závěsy 1	0.0260	0.0520	0.0021	7850	16.663	0.167
Závěsy 2	0.0485	0.0970	0.0074	7850	57.981	0.580
Závěsy 3	0.0600	0.1200	0.0113	7850	88.736	0.887
Pilíř	1.2503	2.5006	4.9087	2500	12271.750	122.718
Pylon	0.7002	1.4004	1.5394	2500	3848.500	38.485
Mostovka levá	-	-	0.6535	2500	1633.750	16.338
Mostovka pravá	-	-	0.6535	2500	1633.750	16.338

Tab. 6: Výpočet zatížení vlastní tíhou.

6.1.1.2 Ostatní stálé zatížení

Tíha zábradlí:

$$q = 1,0 \text{ kN/m}$$

6.1.2 Proměnné zatížení

6.1.2.1 Zatížení chodci

$$q = 5,0 \text{ kN/m}^2$$

Zatížení bylo přepočítáno na liniové zatížení, kterým byly zatíženy 2 průřezy mostovky (každá simulující jednu polovinu mostovky):

$$q = 7,5 \text{ kN/m.}$$

6.1.2.2 Zatížení obslužným vozidlem

Bylo uvažováno jedno vozidlo o hmotnosti maximálně 5 t obsluhy, záchranného systému či hasičů. Dle článku 5.3.2.3 ČSN EN 1991-2 byl uvažován typ Mercedes _benz Sprinter.

Tíha přední nápravy:

$$Q_{SV,1} = 18 \text{ kN}$$

Tíha zadní nápravy:

$$Q_{SV,2} = 32 \text{ kN}$$

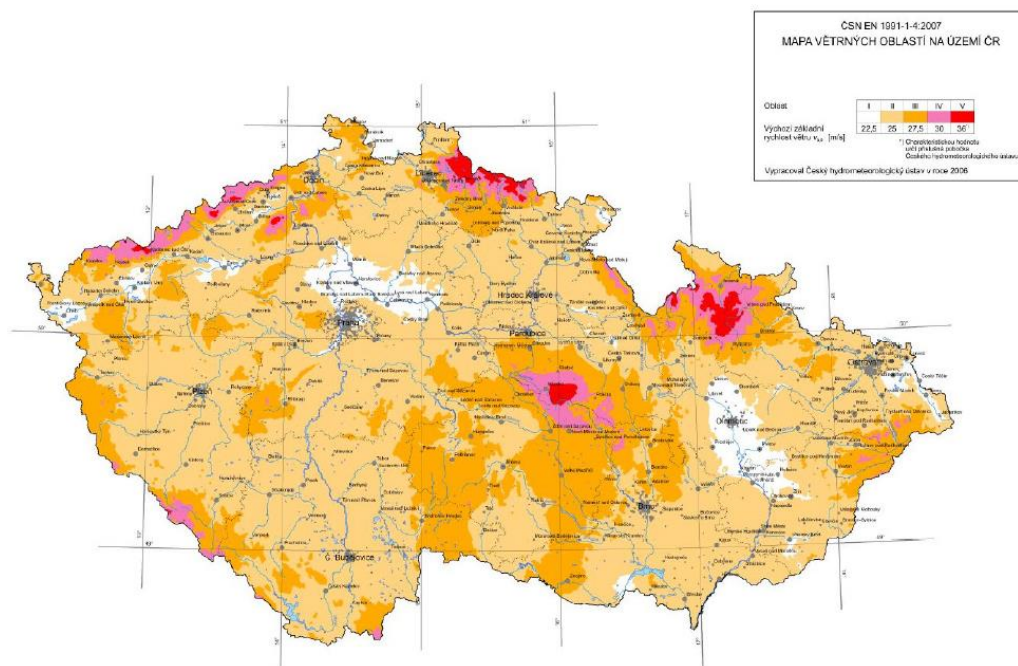
Rozvor nápravy:

$$l_1 = 3665 \text{ mm}$$

Rozchod kol nápravy:

$$l_2 = 1800 \text{ mm}$$

6.1.2.3 Zatížení větrem



Obr. 190: Mapa větrných oblastí na území ČR. [32]

Kategorie terénu	z_0 [m]	z_{min} [m]
0 Moře nebo pobřežní oblasti vystavené otevřenému moři	0,003	1
I Jezera nebo vodorovné oblasti se zanedbatelnou vegetací a bez překážek	0,01	1
II Oblasti s nízkou vegetací jako je tráva a s izolovanými překážkami (stromy, budovy), jejichž vzdálenost je větší než 20násobek výšky překážek	0,05	2
III Oblasti rovnoměrně pokryté vegetací nebo budovami nebo s izolovanými překážkami, jejichž vzdálenost je maximálně 20násobek výšky překážek (jako jsou vesnice, předměstský terén, souvislý les)	0,3	5
IV Oblasti, ve kterých je nejméně 15 % povrchu pokryto pozemními stavbami, jejichž průměrná výška je větší než 15 m	1,0	10

Tab. 7: Kategorie terénů a jejich parametry. [32]

Zatížení větrem je následujícím postupem navrženo pouze orientačně. Reálné součinitele síly větru, drsnosti terénu a ortografie pro výpočet zatížení větrem musí být navrženy ze zkoušek konstrukce ve větrném tunelu.

Lávka se nachází ve větrné oblasti číslo I. Základní rychlost větru je tedy

$$v_{b,0} = 22,5 \text{ m/s}$$

a

$$v_b = C_{dir} * C_{season} * v_{b,0} = 1 * 1 * 22,5 = 22,5 \text{ m/s},$$

kde

$$C_{dir} = 1$$

a

$$C_{season} = 1.$$

Kategorie terénu, kde se lávka nachází, je II (viz tab. 7). Platí tedy, že

$$z_o = 0,05 \text{ m},$$

$$z_{0,II} = 0,05 \text{ m}$$

a

$$z_{min} = 2 \text{ m}.$$

Součinitel drsnosti terénu se spočítá následovně

$$k_r = 0,19 * (z_0/z_{0,II})^{0,07} = 0,19 * (0,05/0,05)^{0,07} = 0,19,$$

$$C_r(z) = k_r * \ln(z/z_0) = 0,19 * \ln(0,05/0,05) = 1,08.$$

Střední rychlost větru je

$$v_m = C_r(z) * C_0(z) * v_b = 1,08 * 1 * 22,5 = 24,24 \text{ m/s},$$

kde

$$C_0 = 1.$$

Intenzita turbulence větru se vypočte jako

$$l_v(z) = \frac{k_I}{C_0(z) * \ln(z/z_0)} = \frac{1}{1 * 5,67} = 0,176,$$

kde

$$k_I = 1.$$

Základní dynamický tlak větru je

$$q_b = \rho * \frac{v_b^2}{2} = 1,25 * \frac{22,5^2}{2} = 0,316 \text{ kN/m}^2,$$

kde

$$\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3.$$

Maximální dynamický tlak větru je

$$q_p(z) = C_e(z) * q_b = 2,235 * 0,316 = 0,707 \text{ kN/m}^2,$$

kde

$$C_e(z) = 1 + 7 * l_v(z) = 1 + 7 * 0,176 = 2,235.$$

Stavební výška konstrukce je

$$d = 0,60 \text{ m},$$

přídavek na mostní vybavení je

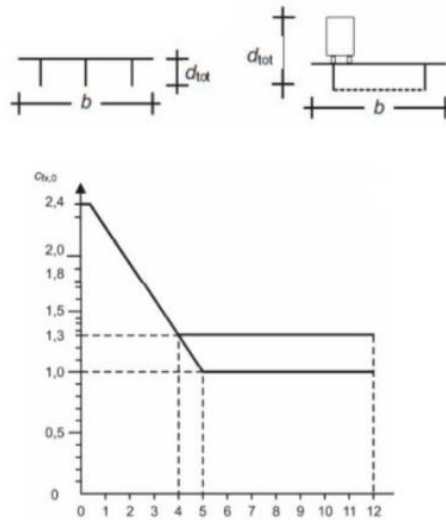
$$d_1 = 1,30 \text{ m}.$$

Celková výška konstrukce je tedy

$$d_{tot} = 1,90 \text{ m}.$$

Šířka konstrukce je

$$b = 3,76 \text{ m.}$$



Obr. 191: Graf stanovení součinitele síly větru. [32]

Z výpočtu

$$b/d_{tot} = 1,979$$

a grafu na obr. 191 vyplývá, že

$$C_{fx} = 1,906$$

a

$$C = C_e * C_{fx} = 2,235 * 1,906 = 4,26.$$

Tlak kolmo na osu lávky je

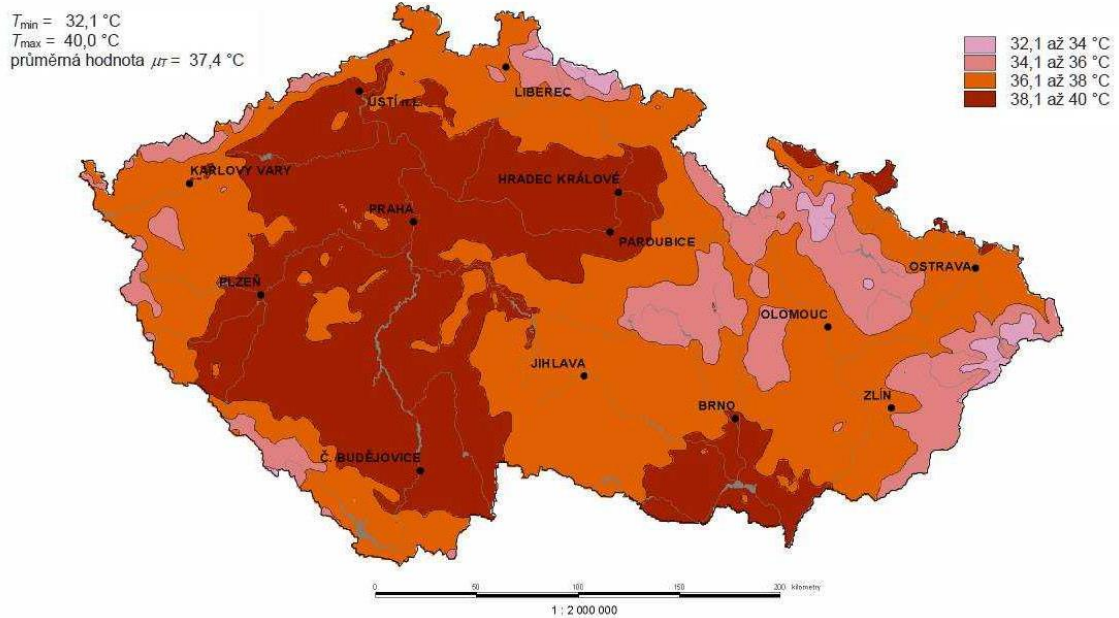
$$f_{w,k} = q_b * C = 0,316 * 4,26 = 1,348 \text{ kN/m}^2.$$

Zatížení ve výpočetním modelu tedy vychází

$$f_{w,k} = d_{tot} * f_{w,k} = 1,9 * 1,348 = 2,56 \text{ kN/m.}$$

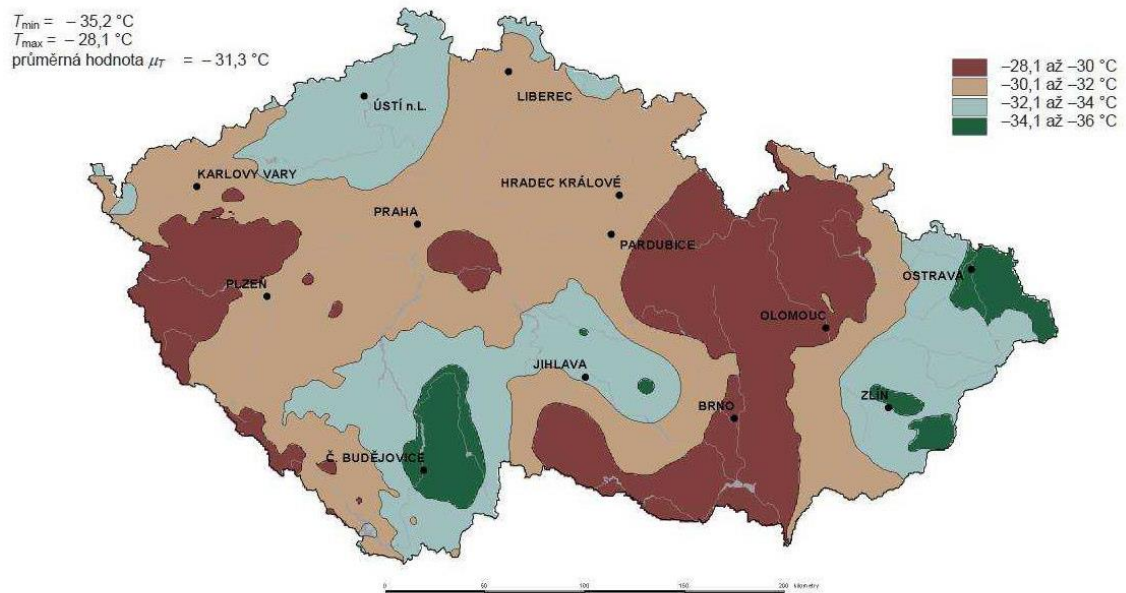
6.1.2.4 Zatížení teplotou

Hodnoty maximální teploty vzduchu ve stínu, která je překročena ročními maximy s pravděpodobností 0,02.



Obr. 192: Mapa maximálních teplot vzduchu ve stínu v ČR. [32]

Hodnoty minimální teploty vzduchu ve stínu, která je překročena ročními minimy s pravděpodobností 0,02.



Obrázek NA.2 – Mapa minimálních teplot vzduchu ve stínu.

Obr. 193: Mapa minimálních teplot vzduchu ve stínu v ČR. [32]

Z map na obr. 192 a 193 lze vyčíst, že

$$T_{max} = 40 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

a

$$T_{min} = -32 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Posuzovaná lávka byla dle normy EN 1991-1-5 zařazena do typu 2: ocelobetonová nosná konstrukce. Pro výpočet teploty tedy platí:

$$T_{e,max} = 40 + 4,5 = 44,5 \text{ }^{\circ}\text{C},$$

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

Oteplení mostu je:

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

Ochlazení mostu je:

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

6.1.3 Kombinace zatížení

Statická analýza byla provedena jako posouzení omezení napětí v jednotlivých částech konstrukce. Pro toto posouzení byla použita charakteristická kombinace číslo 6.14b dle ČSN EN 1990:

$$\Sigma G_{k,j} + "P" + "Q_{k,1}" + \Sigma \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (4).$$

Jako hlavní nahodilé zatížení bylo určeno jednoznačně zatížení chodci. Součinitele $\psi_{0,i}$ byly pro ostatní nahodilá zatížení určené takto:

$$\psi_{0,1} = 0,6 \text{ pro zatížení větrem}$$

a

$$\psi_{0,2} = 0,6 \text{ pro zatížení teplotou.}$$

Kombinace proměnných zatížení byly zvoleny takto:

1. Chodci + vítr

2. Chodci + teplota max
3. Chodci + teplota min
4. Chodci + vítr + teplota max
5. Chodci + vítr + teplota min

Účinky kombinací s obslužným vozidlem byly proti kombinacím s chodci zanedbatelné.

6.2 Návrh a posouzení na omezení napětí

6.2.1 Návrh a posouzení pylonů

Horní část pylonu byla navržena z kruhového průřezu o průměru

$$d = 1,4 \text{ m}$$

a dolní část pylonu z kruhového průřezu o průměru

$$d = 2,5 \text{ m.}$$

Obě části byly navrženy z železobetonu. Beton byl navržen třídy C 50/60 a ocel třídy B500B.

Charakteristická pevnost betonu třídy C50/60 je

$$f_{ck} = 50 \text{ MPa}$$

a charakteristická pevnost v tahu je

$$f_{ctm} = 4,1 \text{ MPa.}$$

Návrhové hodnoty pevnosti betonu se vypočtou jako

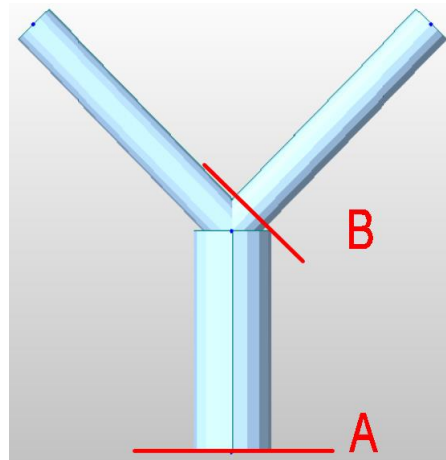
$$f_{cd} = \frac{\alpha_{cc} * f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{0,85 * 50}{1,5} = 26,67 \text{ MPa}$$

a

$$f_{ctd} = \frac{f_{ctm}}{\gamma_c} = \frac{4,1}{1,5} = 2,73 \text{ MPa.}$$

Pylon byl navržen ve tvaru „Y“. Na obr. 194 jsou znázorněny 2 kritické průřezy, které byly posuzovány na kombinaci normálové síly a ohybových momentů. Pro výpočet napětí

v ideálním průřezu v posuzovaných řezech pylonu byla použita cloud aplikace IDEA StatiCa od firmy IDEA rs.



Obr. 194: Znárodnění posuzovaných průřezů pylonu na kombinaci N+M.

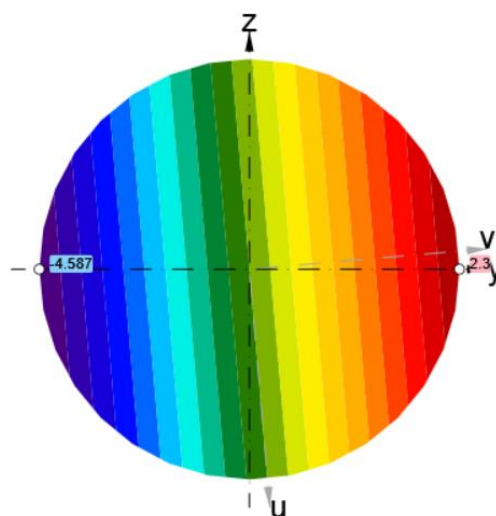
Maximální síly v pylonu vznikaly při kombinaci „chodci + vítr + teplota min“. V průřezu A byla uvažována normálová svislá normálová síla a ohybový moment od tření nosného lana v sedlech. V programu Midas Civil bylo při kombinaci tohoto zatížení zjištěno, že

$$N_{ek} = -5,577 MN$$

a

$$M_{ek} = 5,235 MNm.$$

Na obr. 195 je znázorněn průběh napětí po ideálním průřezu v řezu A.



Obr. 195: Průběh napětí v kritickém průřezu spodní části pylonu.

Z obr. 195 lze vyčíst, že je v průřezu A maximální tlakové napětí

$$\sigma_{cc} = 4,587 \text{ MPa}$$

a maximální tahové napětí

$$\sigma_{ct} = 2,300 \text{ MPa.}$$

Při posouzení průřezu A na omezení napětí tedy platí

$$\sigma_{cc} = 4,587 \text{ MPa} < f_{cd} = 26,67 \text{ MPa}$$

a

$$\sigma_{ct} = 2,300 \text{ MPa} < f_{ctd} = 2,73 \text{ MPa.}$$

V průřezu A beton vyhovuje na omezení napětí v tahu i tlaku. Z toho vyplývá, že v taženém betonu nevznikají trhliny a není tedy nutné posuzovat taženou betonářskou výztuž. Výztuž tedy byla navržena jen konstrukční.

V průřezu B působila na rozdíl od řezu A kombinace normálové síly a dvou ohybových momentů. Kromě ohybového momentu od tření nosného lana v sedle zde navíc působil moment od svislého zatížení, jelikž není tato část pylonu svislá. V programu Midas Civil bylo při kombinaci tohoto zatížení zjištěno, že

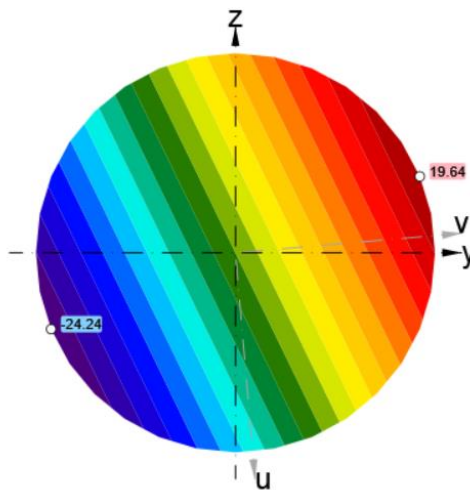
$$N_{ek} = -3,514 \text{ MN},$$

$$M_{ek,y} = 5,461 \text{ MNm}$$

a

$$M_{ek,z} = 2,086 \text{ MNm}$$

Na obr. 196 je znázorněn průběh napětí po ideálním průřezu v řezu B.



Obr. 196: Průběh napětí v kritickém průřezu horní části pylonu.

Z obr. 196 lze vyčíst, že je v průřezu B maximální tlakové napětí

$$\sigma_{cc} = 24,24 \text{ MPa}$$

a maximální tahové napětí

$$\sigma_{ct} = 19,64 \text{ MPa}.$$

Při posouzení průřezu na omezení napětí tedy platí

$$\sigma_{cc} = 24,24 \text{ MPa} < f_{cd} = 26,67 \text{ MPa}$$

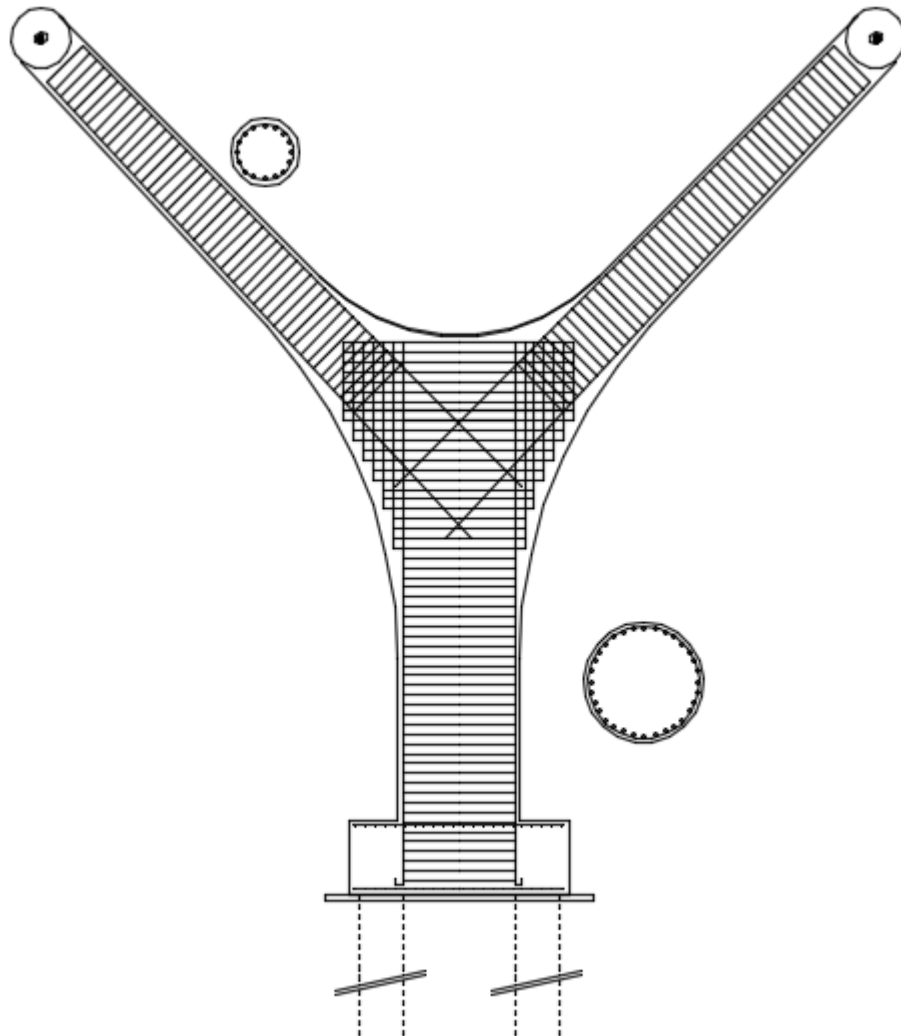
a

$$\sigma_{ct} = 19,64 \text{ MPa} > f_{ctd} = 2,73 \text{ MPa}.$$

Průřez v tlačené oblasti betonu vyhovuje. V tažené oblasti průřez nevyhovuje. Bylo zjištěno, že vznikající tahové napětí $\sigma_{ct} = 19,64 \text{ MPa}$ není možné v průřezu pokrýt betonářskou výztuží. Jako vhodné řešení bylo navrženo předepnutí horní části pylonu pomocí lan předpínací výztuže. Návrh tohoto předepnutí nebyl v rámci této diplomové práce řešen. Na obr. 197 je znázorněna skica odhadu konstrukční betonářské výztuže v pylonu.

Vyztužení pylonu bylo řešeno pouze okrajově. Ve spodní, svislé části pylonu bylo navrženo 32 svislých drátů o průměru 16 mm rovnoměrně rozmístěných po obvodu s osovou vzdáleností 215 mm. Tyto byly doplněny vodorovnými kruhovými třmínky z drátů o průměru 12 mm s osovou vzdáleností 200mm. Stejným způsobem byly

výztuženy horní části pylonu s tím rozdílem, že „svislých“ výztuží bylo vždy 20 ks se stejnou osovou vzdáleností 215 mm. Středová část pylonu byla z důvodu jednoduchosti realizace navržena z vodorovných a svislých prutů, jak je zobrazeno na skice, vždy s osovou vzdáleností 200 mm. U svislé výztuže nejsou ve skice pro přehlednost zobrazeny všechny dráty. Všechny svislé dráty jsou zobrazeny v „půdorysných“ řezech vedle jednotlivých částí.



Obr. 197: Skica odhadované konstrukční výztuže.

6.2.2 Návrh a posouzení visutých lan

Visutá lana byla navržena z kabelového systému DYWIDAG. Byla navržena jako kabely z 91 rovnoběžných lan zainjektovaných v ocelové trubce, každé o ploše 150 mm². Dohromady tedy průřez jednoho kabelu tvořila ocel o ploše

$$S = 0,0137 \text{ m}^2.$$

Lana byla vytvořena z oceli třídy Y1860. Pevnost v tahu této oceli je

$$R_m = 1860 \text{ MPa}.$$

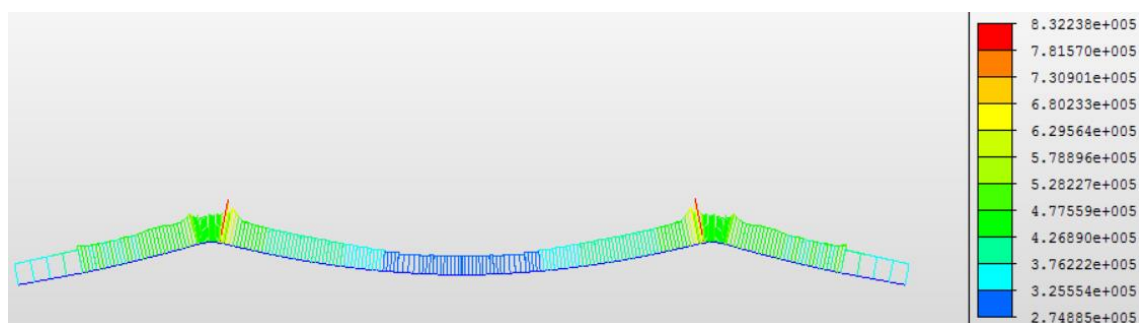
Jak již bylo posuzováno v kapitole 5, visutá lana musí vyhovět dle výrazu (3), tedy

$$0 \leq \sigma_y \leq 0,45 * R_m,$$

kde

$$0,45 * R_m = 0,45 * 1860 = 837 \text{ MPa}.$$

Maximální napětí v lanech vzniklo při kombinaci „chodci + vítr + teplota min“. Průběh napětí ve visutých lanech je znázorněn na obr. 198. Je zde vidět, že maximální napětí vzniká u pylonů na konci „sedla“. Na tuto hodnotu byla lana také dimenzována.



Obr. 198: Průběh napětí po visutých lanech při kombinaci „chodci + vítr + teplota min“. [kPa]

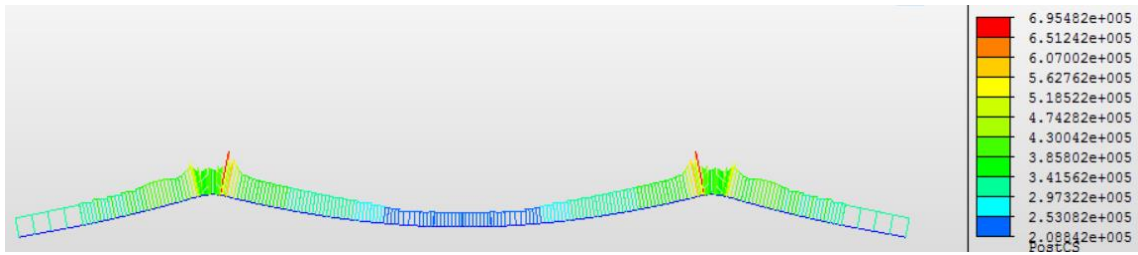
Z obrázku vyplývá, že

$$\sigma_{y,max} = 832,238 \text{ MPa}$$

Při posouzení visutých lan na omezení napětí tedy platí

$$\sigma_{y,max} = 832,238 \text{ MPa} \leq 0,45 * R_m = 837 \text{ MPa}.$$

Minimální napětí v nosných lanech vzniká při kombinaci „chodci + vítr“. Průběh napětí při této kombinaci zatížení je zobrazen na obr. 199.



Obr. 199: Průběh napětí po visutých lanech „chodci + vítr“. [kPa]

Z obr. 199 vyplývá, že

$$\sigma_{y,min} = 208,84 \text{ MPa.}$$

Při posouzení lan na minimální napětí pak tedy platí

$$\sigma_{y,min} = 208,84 \text{ MPa} \geq 0.$$

Návrh visutých lan vyhovuje.

6.2.3 Návrh a posouzení závěsů

Závěsy byly navrženy jako tyčová táhla Macalloy 520 ze třech různých průřezů o následujících průměrech:

$$d_1 = 52 \text{ mm,}$$

$$d_2 = 97 \text{ mm}$$

a

$$d_3 = 120 \text{ mm.}$$

Závěsy byly navrženy z oceli třídy S 520. Pevnost této oceli v tahu je

$$R_m = 520 \text{ MPa.}$$

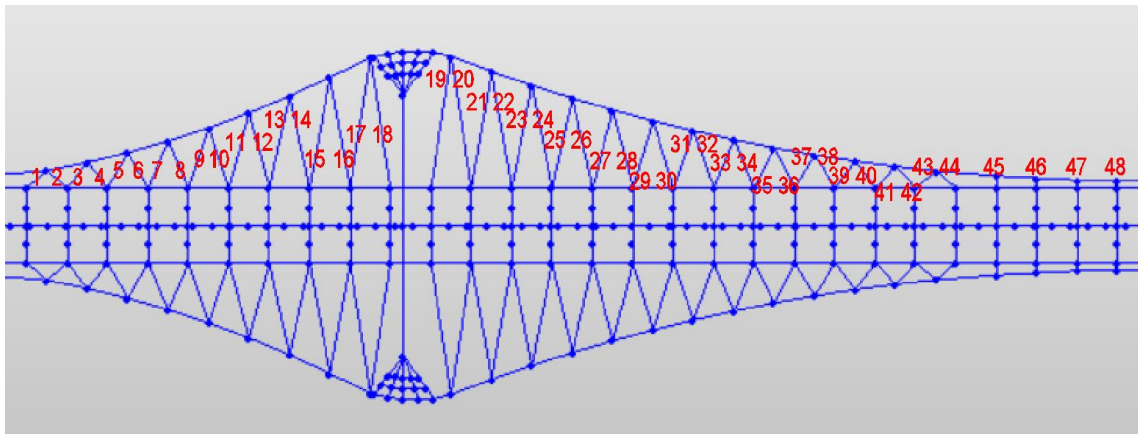
Stejně jako u visutých lan musí platit vztah

$$0 \leq \sigma_y \leq 0,45 * R_m,$$

kde

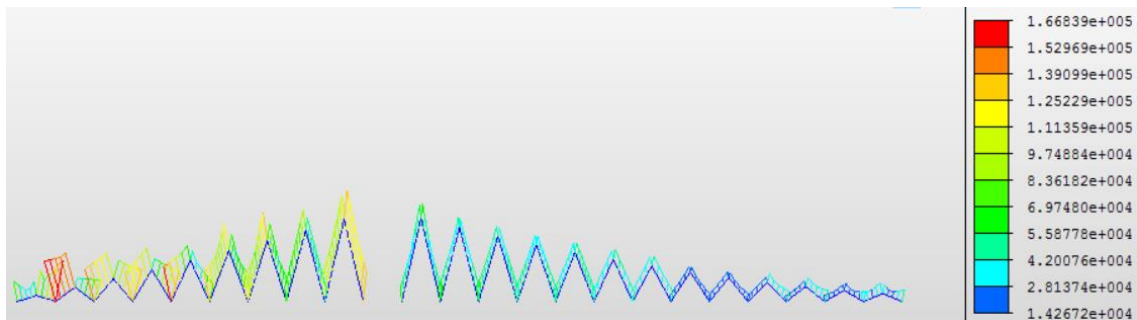
$$0,45 * R_m = 0,45 * 520 = 234 \text{ MPa.}$$

Jelikož je lávka souměrná podle dvou rovin, je pro přehlednost, stejně jako tomu bylo u fází výstavby, zobrazena jen jedna čtvrtina lan. Na obr. 200 je pro orientaci zobrazeno označení těchto závěsů v půdorysném detailu.

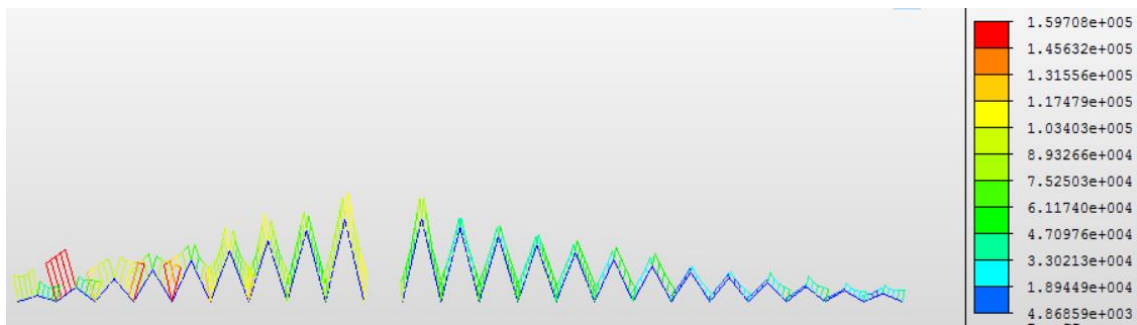


Obr. 200: Orientační očíslování závěsů.

Maximální napětí v šikmých závěsech vzniklo při kombinaci „chodci + vítr + teplota min“. Průběh napětí po šikmých závěsech při této kombinaci je znázorněn na obr. 201. Minimální napětí v šikmých závěsech vzniklo při kombinaci „chodci + vítr + teplota max“. Průběh tohoto napětí je znázorněn na obr. 202.



Obr. 201: Průběh napětí po šikmých závěsech při kombinaci „chodci + vítr + teplota min“. [kPa]



Obr. 202: Průběh napětí po šikmých závěsech při kombinaci „chodci + vítr + teplota max“. [kPa]

Z obrázků vyplývá, že maximální napětí vzniklo v závěsu č. 3 a minimální napětí v závěsu číslo 41. Platí tedy

$$\sigma_{y,max} = 166,839 \text{ MPa}$$

a

$$\sigma_{y,min} = 4,869 \text{ MPa}.$$

Při posouzení šikmých závěsů na omezení napětí tedy platí následující vztahy:

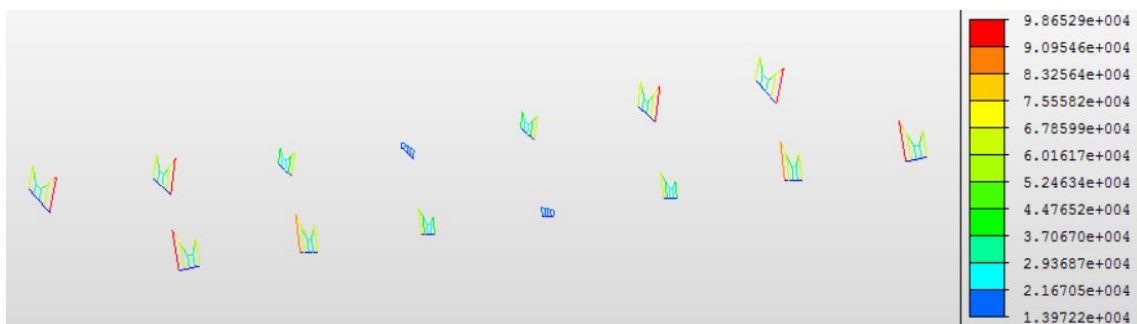
$$\sigma_{y,max} = 166,839 \text{ MPa} \leq 0,45 * R_m = 234 \text{ MPa}$$

a

$$\sigma_{y,min} = 4,869 \text{ MPa} \geq 0.$$

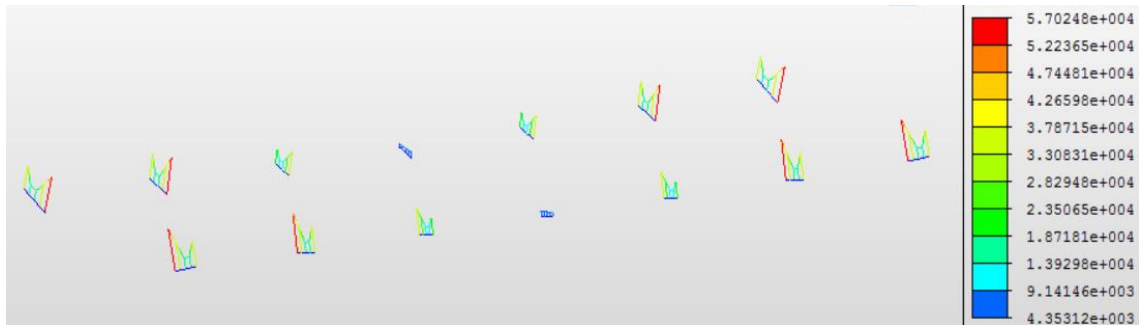
Návrh šikmých závěsů vyhovuje.

Největší napětí v přímých závěsech ve středu rozpětí mostovky vznikalo při zatížení kombinací „chodci + vítr + teplota min“. Na obr. 203 je znázorněný průběh napětí při této kombinaci zatížení.



Obr. 203: Průběh napětí po šikmých závěsech při kombinaci „chodci + vítr + teplota min“. [kPa]

Nejnižší napětí vznikalo v těchto závěsech při zatížení od kombinace „chodci + vítr“. Průběh napětí po přímých závěsech při této kombinaci zatížení je zobrazen na obr. 204.



Obr. 204: Průběh napětí po přímých závěsech při kombinaci „chodci + vítr“. [kPa]

Z obrázků vyplývá, že maximální napětí vzniklo v závěsu č. 45 a minimální napětí v závěsu č. 48. Platí tedy

$$\sigma_{y,max} = 98,653 \text{ MPa}$$

a

$$\sigma_{y,min} = 4,353 \text{ MPa}.$$

Při posouzení přímých závěsů na omezení napětí tedy platí následující vztahy:

$$\sigma_{y,max} = 98,653 \text{ MPa} \leq 0,45 * R_m = 234 \text{ MPa}$$

a

$$\sigma_{y,min} = 4,353 \text{ MPa} \geq 0.$$

Návrh přímých závěsů vyhovuje. Maximální napětí v závěsech je shrnuto v tab. 8.

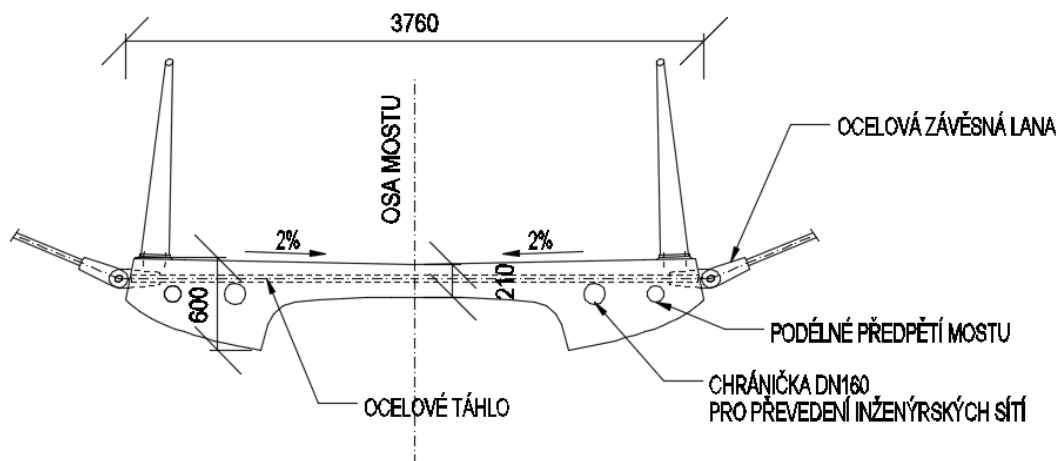
Číslo	Průměr	Max. napětí	Číslo	Průměr	Max. napětí
	[mm]	[MPa]		[mm]	[MPa]
1	97	82.215	25	52	62.071
2	97	164.234	26	52	68.124
3	52	166.839	27	52	59.357
4	97	110.156	28	52	94.016
5	52	135.412	29	52	51.906
6	97	127.239	30	52	63.217
7	52	129.264	31	52	48.994
8	97	145.21	32	52	62.225
9	52	161.235	33	52	18.254
10	52	103.681	34	97	38.448
11	52	146.678	35	52	17.524
12	52	122.27	36	97	37.5
13	52	140.294	37	52	17.025
14	52	97.954	38	97	54.088
15	52	95.334	39	52	16.245
16	52	67.129	40	97	57.125
17	52	122.151	41	52	14.267
18	52	145.618	42	97	45.414
19	52	85.306	43	52	25.822
20	52	94.761	44	97	54.35
21	52	74.563	45	120	98.653
22	52	77.897	46	120	97.241
23	52	74.08	47	120	67.841
24	52	74.123	48	120	13.972

Tab. 8: Přehled napětí v závěsech při kombinaci „chodci + vítr + teplota min“.

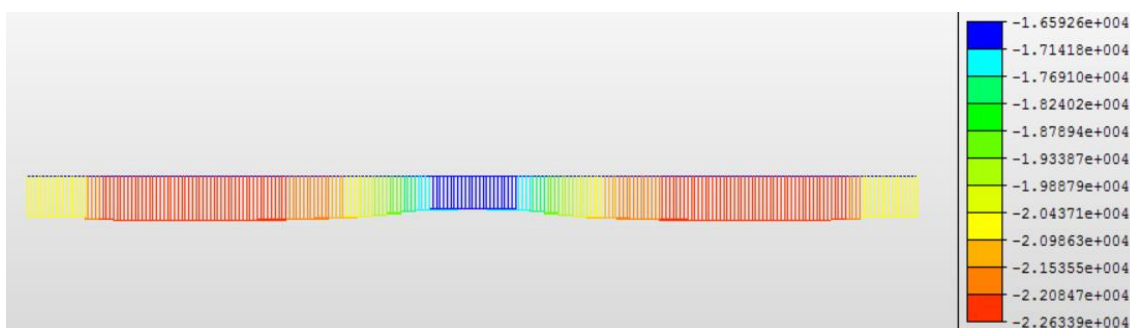
6.2.4 Návrh a posouzení mostovky

Mostovka byla navržena jako předpjatý pás z betonových segmentů se speciálním příčným táhlem spřaženým trny s mostovkou, spojujícím závěsy lávky. Zjednodušený příčný řez mostovkou je zobrazen na obr. 205. Tyto segmenty byly každý o délce 2 m. Pás byl předpjatý dvěma předpínacími kabely z oceli Y1770 S7 – 15,7. Každý předpínací kabel měl plochu 2850 mm² a byl vedený těžištěm mostovky. Tímto předpětím bylo dosaženo toho, že v podélném směru vzniká v celé mostovce tlak. Největší napětí v podélném směru mostovky vzniká při zatížení kombinací „chodci + vítr + teplota max“.

Průběh napětí při této kombinaci je znázorněn na obr. 206.



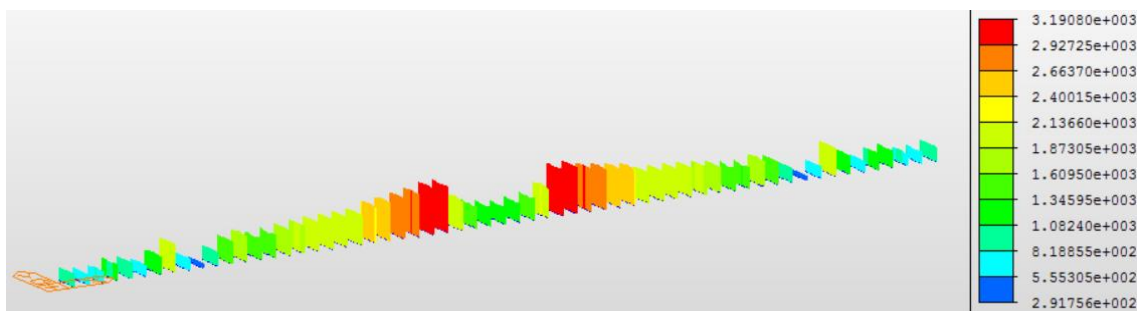
Obr. 205: Zjednodušený detail příčného řezu mostovky.



Obr. 206: Průběh napětí v podélném směru po mostovce při kombinaci „chodci + vítr + teplota max“.

[kPa]

Na rozdíl od toho v příčném směru vzniká z důvodů zatížení od závěsů v mostovce tahové napětí. Jak již bylo popsáno v kapitole 4, byla mostovka v příčném směru modelována jako „pruty“ o výšce 210 mm, což odpovídá nejtenčí části mostovky a šířce 2,0 m, což odpovídá délce jednoho segmentu. Každý tento „prut“ byl připojen kloubově k táhlům (viz obr. 202). Nejvyšší napětí v tomto směru bylo dosaženo při kombinaci zatížení „chodci + teplota min“. Na obr. 207 je znázorněn průběh napětí v příčném směru mostovky po těchto „prutech“.



Obr. 207: Průběh napětí v příčném směru po mostovce při kombinaci „chodci + teplota min“. [kPa]

Z toho je zřejmé, že návrh mostovky musel vyhovět v podélném směru na tlak a v příčném na tah. Z důvodu zvýšení životnosti konstrukce tím, že bude zamezeno trhlinám v mostovce a tedy i korozi výztuže, byla po konzultaci s vedoucím práce navržena mostovka z UHPC bez betonářské výztuže.

K návrhu UHPC pro mostovku bylo přistupováno dle Metodiky pro navrhování prvků z UHPC. [30]

Byla navržena třída UHPC C 110, pro kterou platí

$$f_{ck} = 110 \text{ Mpa},$$

s požadavky na pevnost v tahu za ohybu

$$f_{R1k} = \frac{1}{10} f_{ck} = \frac{1}{10} * 110 = 11 \text{ Mpa}.$$

V [30] jsou dále uvedeny vztahy pro mezní hodnoty napětí v UHPC pro mezní stavy použitelnosti. Pro charakteristickou kombinaci zatížení platí, že pro napětí betonu v tahu musí platit vztah

$$\sigma_{max,ct} < f_{ctd} = 0,5 * f_{R1k} \tag{5}$$

a pro napětí betonu v tlaku musí platit vztah

$$\sigma_{max,c} < f_{cd} = 0,6 * f_{ck} \tag{6}.$$

Pro navržené UHPC třídy C 110 tedy platí

$$f_{ctd} = 0,5 * f_{R1k} = 0,5 * 11 = 5,5 \text{ MPa},$$

$$f_{cd} = 0,6 * f_{ck} = 0,6 * 110 = 66 \text{ MPa}.$$

Při posouzení mostovky na omezení napětí v podélném směru platí

$$\sigma_{max,c} = 22,634 \text{ MPa} < f_{cd} = 66 \text{ MPa}.$$

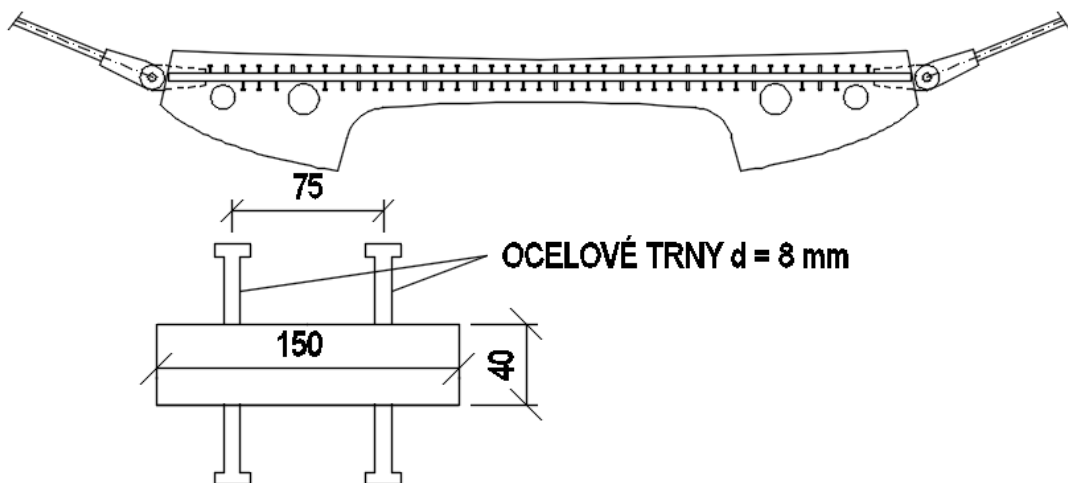
Při posouzení mostovky na omezení napětí v příčném směru platí

$$\sigma_{max,ct} = 3,191 \text{ MPa} < f_{ctd} = 5,5 \text{ MPa}.$$

Při posouzení betonu na tah a na tlak mostovka vyhovuje.

Pokud jsou v UHPC dodrženy podmínky pro kontrolu napětí, není nutno posuzovat mezní šířku trhlin. [30]

Jak již bylo zmíněno výše, je mostovka doplněna příčným ocelovým táhlem, které je s mostovkou spřaženo pomocí trnů. Toto táhlo přenáší tahové síly ze závěsů. Táhlo bylo navrženo z oceli třídy S 520. Výška táhla byla navržena 40 mm a šířka 150 mm. Délka táhla odpovídá šířce mostovky, tedy 3760 mm. Návrh táhla je zobrazen na obr. 208.



Obr. 208: Návrh ocelového táhla v mostovce.

Do nejvíce namáhaného táhla v konstrukci je ze závěsů při zatížení od kombinace „chodci + taplota min“ vnesena tahová síla

$$F_t = 1340,22kN.$$

Plocha průřezu táhla je

$$A_t = 0,04 * 0,15 = 0,006 m^2.$$

Těmto hodnotám odpovídá napětí

$$\sigma_t = \frac{F_t}{A_t} = \frac{1,34022}{0,006} = 223,37MPa.$$

Táhlo bylo posuzováno jako tažený prvek, musí tedy platit

$$\sigma_t \leq 0,45 * R_m.$$

Platí tedy, že

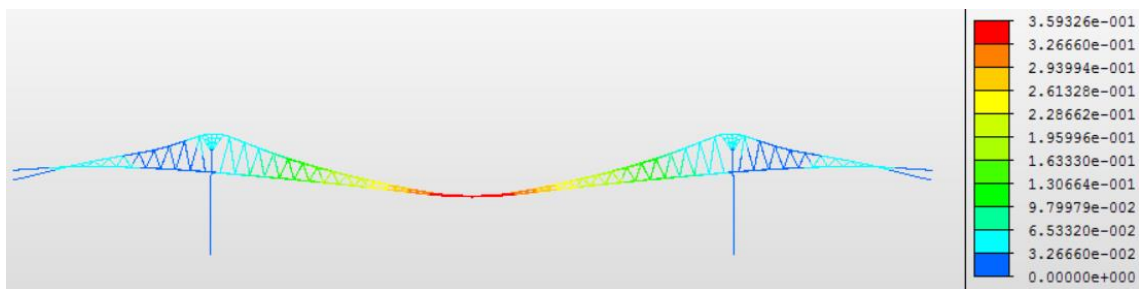
$$\sigma_t = 223,37 \text{ MPa} \leq 0,45 * R_m = 234 \text{ MPa}.$$

Návrh ocelového táhla v mostovce vyhovuje.

Z nerovností při posouzení betonu je patrné, že je mostovka předimenzovaná a bylo by reálné ji vylehčit. Z pohledu dynamické analýzy, kdy je její vyšší hmotnost žádoucí, byl však tento návrh ponechán.

6.3 Posouzení průhybu lávky

K maximálnímu průhybu lávky dochází při kombinaci „chodci + vítr + teplota max“. Deformovaná konstrukce v 10x zvětšeném měřítku deformací je znázorněna na obr. 209. Maximálního průhybu na konstrukci dosahuje segment mostovky uprostřed rozpětí.



Obr. 209: Průběh napětí v příčném směru po mostovce při kombinaci „chodci + teplota min“. [kPa]

V normě ČSN EN 1992-1-1 je uvedeno kritérium pro splnění požadavku mezního stavu přetvoření „Průhyb při kvazi-stále kombinaci zatížení by neměl překročit hodnotu 1/250 rozpětí prvku mezi podporami“.

Jelikož mostovka není podepřena pevnými podporami v místě pylonů, byla její délka uvažována jako

$$l = 124 \text{ m}.$$

Platí tedy

$$\frac{l}{250} = \frac{124}{250} = 0,496 \text{ m} > w = 0,359 \text{ m}.$$

Návrh konstrukce z tohoto hlediska vyhovuje.

Jelikož se navíc nejedná o klasický betonový nosník, ale o předpjatý betonový pás, který byl navíc zatížen charakteristickou kombinací, mohl by být průhyb teoreticky větší. Deformace prvků by dle normy neměly překročit hodnoty, které mohou zapříčinit poškození napojených prvků. Jelikož ve všech prvcích konstrukce vyhovělo posouzení na omezení napětí, byl tento požadavek považován za splněný.

Jelikož má dle kapitoly 3.3 technické zprávy splňovat lávka požadavky pro bezbariérové užívání staveb, byl průhyb mostovky posouzen navíc z hlediska používání osob se sníženou schopností pohybu a orientace.

Z tohoto hlediska nemá v ideálním případě přesahovat podélný sklon lávky 5 %.

Maximální podélný sklon na lávce při maximálním průhybu je 0,58 %.

Platí, že

$0,58 \% < 5 \%$.

Návrh konstrukce tedy vyhovuje i z tohoto hlediska.

6.4 Problematika zakotvení lan

Návrh zakotvení lan vycházel z architektonického návrhu firmy SUDOP Praha. Jak je znázorněno na obr. 210, bylo navrženo, že budou nosná lana zakotvena přímo do opěr a nebudou použity samostatné kotevní bloky. Výpočet a posouzení návrhu opěr a zakotvení lan není součástí této diplomové práce. Problematika zakotvení lan je tedy v této kapitole řešena jen teoreticky.

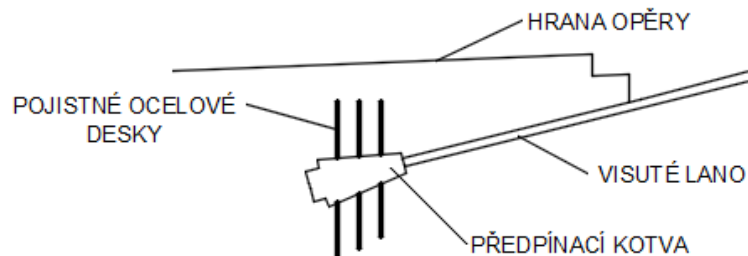


Obr. 210: Detail grafického modelu opěry mostu.

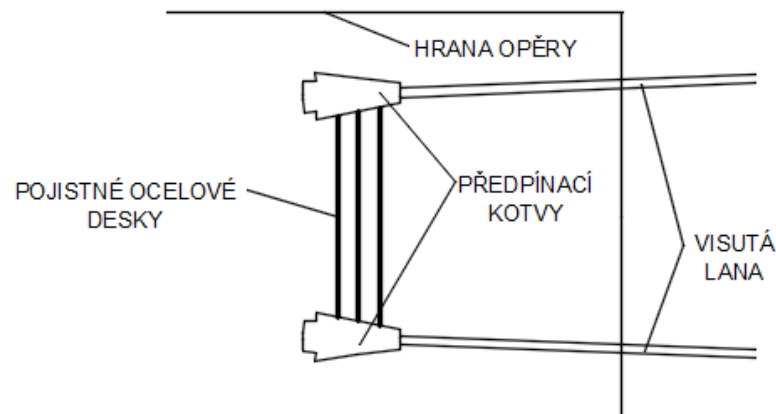
Jak je již popsáno v kapitole 6.2.2 byla visutá lana navržena z kabelového systému DYWIDAG. Byla navržena jako kabely z 91 rovnoběžných lan zainjektovaných v ocelové trubce, každé o ploše 150 mm^2 . Dohromady tedy průřez jednoho kabelu tvořila ocel o ploše $S = 0,0137 \text{ m}^2$. Lana byla navržena z oceli třídy Y1860. Do lan bylo vneseno napětí silou 1500 kN.

Jelikož jsou visutá lana hlavním nosným prvkem konstrukce, bylo při návrhu zakotvení požadováno, aby byla v opěrách instalována „pojistka“ proti vytržení. Lana jsou v opěře ukotvena klasickým způsobem, jako tomu bývá u kotevních bloků. Kabel je proveden kotvou, ve které je rozpleten na skupiny lan, která jsou za kotvou napínána. Při návrhu této pojistky bylo využito výhody, že jsou kotvy obou hlavních nosných lan v jednom prvku – v opěře. Kotvy tedy jsou spojené třemi ocelovými deskami s otvory (pro vedení výztuže opěry) kolmo k visutým kabelům, které jsou zabetonované do opěry. Tím je zabráněno případnému vytržení kotvy z opěry. Na obr. 211 je znázorněno schématické řešení ukotvení lan.

PODÉLNÝ ŘEZ



PŮDORYS



Obr. 211: Schématické znázornění systému ukotvení lan v opěře.

7 Dynamická analýza

Postup dynamické analýzy byl prováděn dle normy ČSN EN 1991-2. Dle této normy musí dynamická analýza obsahovat tyto kroky:

- výpočet vlastních tvarů a vlastních frekvencí ve vhodném výpočetním programu,
- odhad tlumení konstrukce,
- výpočet vynuceného kmitání od účinku chodců.

K dynamické analýze lávky bylo přistupováno následujícím způsobem. Ve výpočetním programu byly zjištěny vlastní frekvence a vlastní tvary. Dle článku 5.7 normy ČSN EN 1991-2 byly určeny vl. frekvence, které se nacházejí v tzv. kritických oblastech, to znamená v oblasti 1,3 Hz až 2,3 Hz a 2,5 Hz až 4,6 Hz pro svislé kmitání a 0,5 Hz až 1,2 Hz a 2,6 Hz až 3,4 Hz pro vodorovné kmitání. Protože byla tato dynamická analýza prováděna z důvodu posouzení na pohodu chodců, byly uvažovány jen vl. tvary, ve kterých kmitá mostovka. Bylo zjištěno, že do této kategorie spadá 12 vl. tvarů.

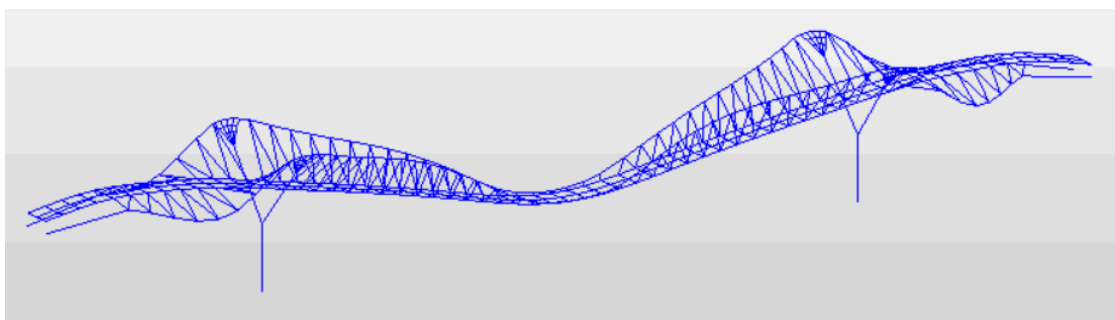
V programu Midas Civil byla dále definována pomocí „Time History Analysis“ funkce kroku člověka. Byla nastavena různá dynamická zatížení, kdy přes lávku přešel jeden chodec, skupina různého počtu chodců za sebou, skupina chodců po dvojicích vedle sebe a podobně. Každému tomuto zatížení byly přiděleny frekvence, které náležejí vlastním frekvencím mostu v kritických oblastech. Tímto způsobem bylo ve výpočetním modelu vytvořeno 115 modelů dynamického zatížení chodci pro zjišťování odezvy konstrukce.

Od těchto zatížení byla zjišťována odezva jednotlivých částí mostu. V kapitole 7.3 je most posouzen na dynamické odezvy mostovky na třídu pohody chodců a odezvy lan z hlediska „estetiky“ konstrukce v provozu.

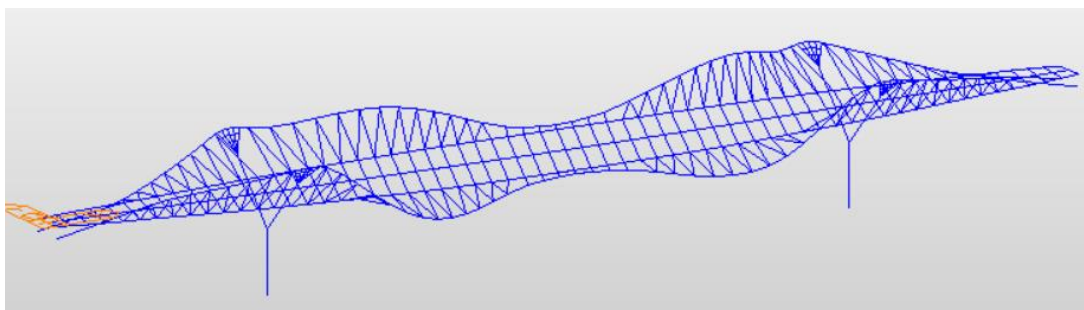
V kapitole 7.4 jsou pak rozebrány nevyhovující posudky a jsou navrženy možnosti řešení těchto problémů.

7.1 Vlastní frekvence a vlastní tvary

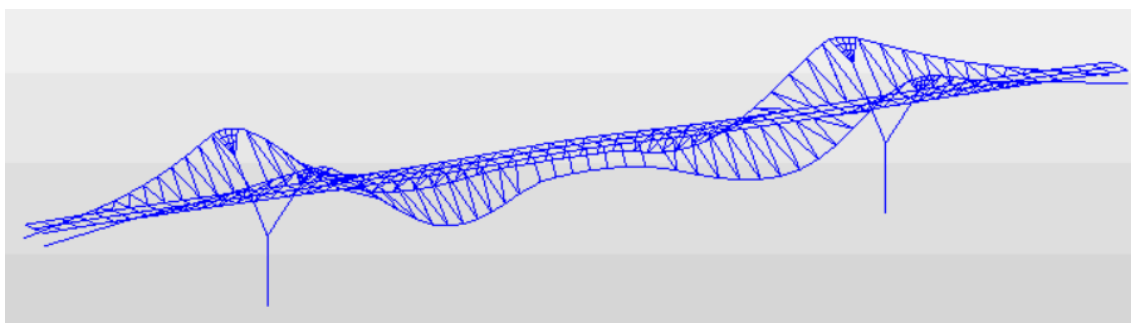
Na následujících obrázcích jsou znázorněny vlastní tvary konstrukce v programu Midas Civil. Jak je zmíněno v úvodu dynamické analýzy, byly zjištěny vlastní tvary pokrývající kritické oblasti vlastních frekvencí, tedy do frekvence 4,6 Hz. Pod hranici této vl. frekvence spadá prvních 22 vlastních tvarů. Vlastní frekvence příslušného tvaru je vždy uvedena v popisku obrázku. V popisu obrázku je také vždy uvedena krátká charakteristika vl. tvaru, která popisuje, zda mostovka kmitá a zda kmitá vodorovně nebo svisle. K tomuto bylo používána animace vlastních tvarů v Midas Civil.



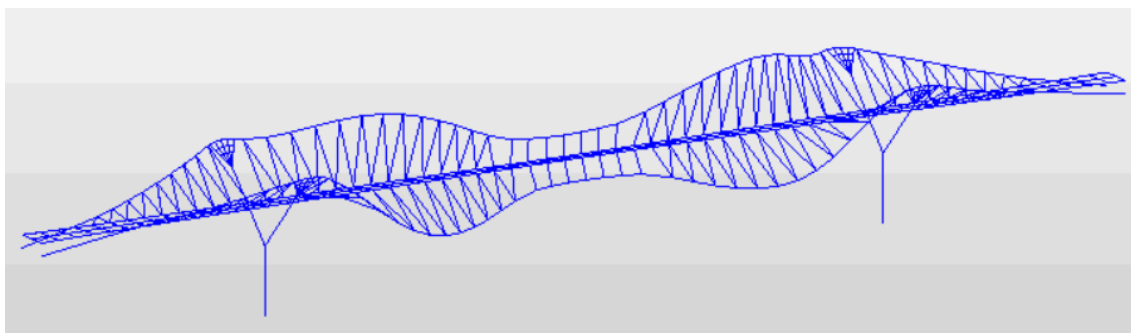
Obr. 212: Midas Civil, 1. vl. tvar, $f=0,8499$ Hz. Svislé kmitání mostovky.



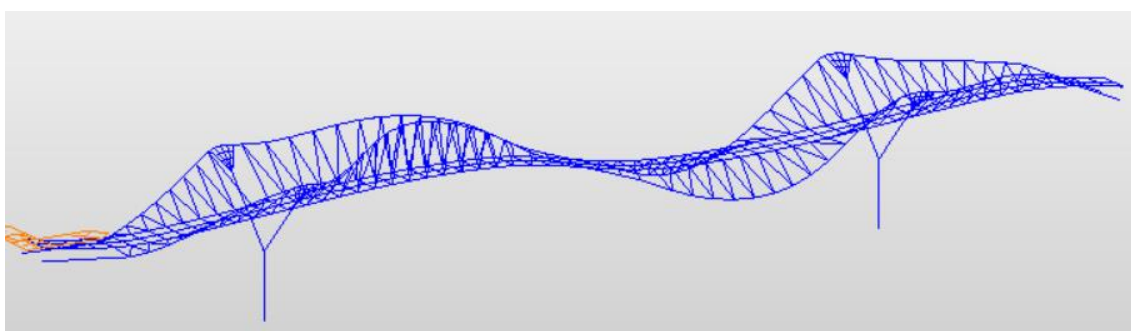
Obr. 213: Midas Civil, 2. vl. tvar, $f=1,0221$ Hz. Kroucení mostovky, svislé i vodorovné kmitání mostovky.



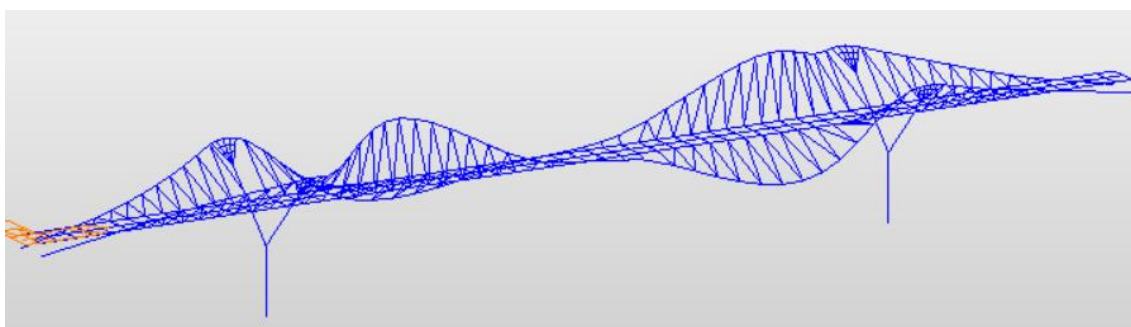
Obr. 214: Midas Civil, 3. vl. tvar, $f=1,1175$ Hz. Mostovka nekmitá.



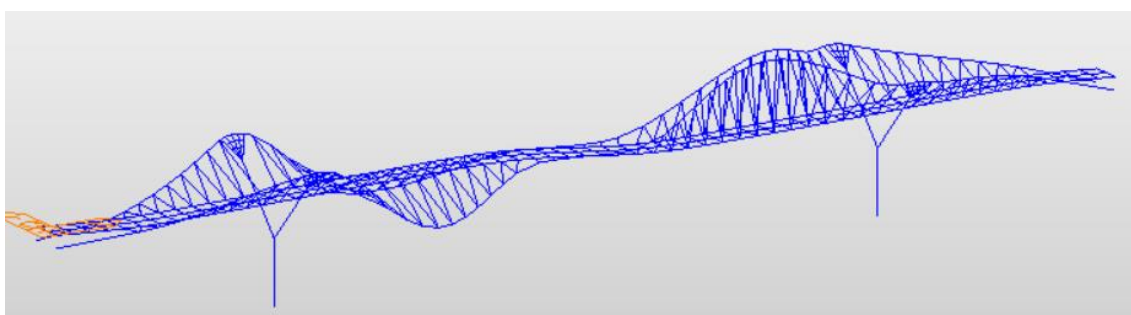
Obr. 215: Midas Civil, 4. vl. tvar, $f=1,1995$ Hz. Mostovka nekmitá.



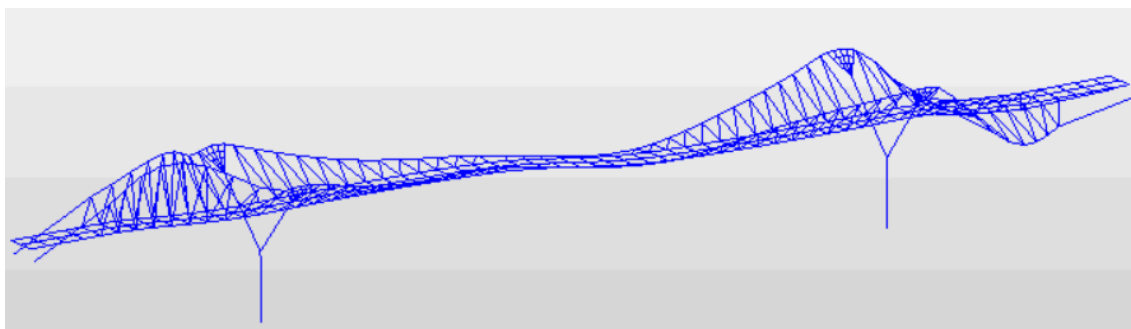
Obr. 216: Midas Civil, 5. vl. tvar, $f=1,2467$ Hz. Svislé kmitání mostovky



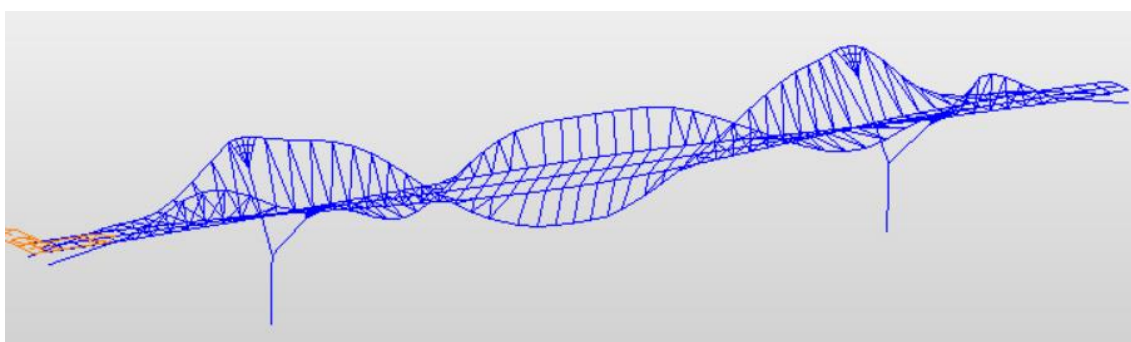
Obr. 217: Midas Civil, 6. vl. tvar, $f=1,4063$ Hz. Mostovka nekmitá.



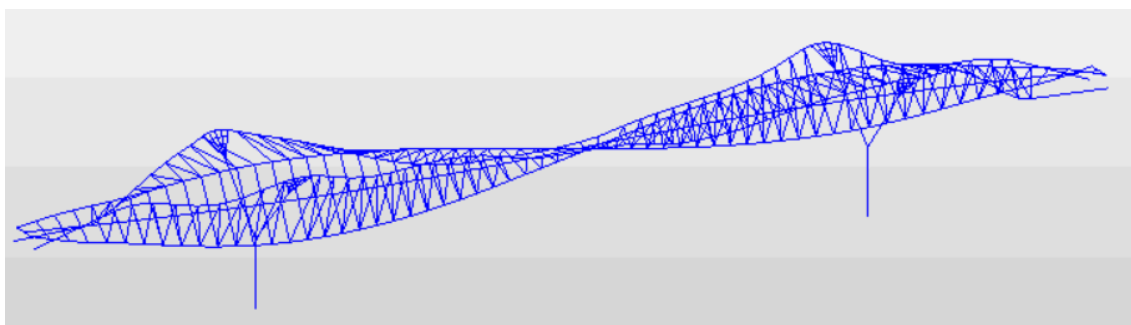
Obr. 218: Midas Civil, 7. vl. tvar, $f=1,4618$ Hz. Svislé kmitání mostovky.



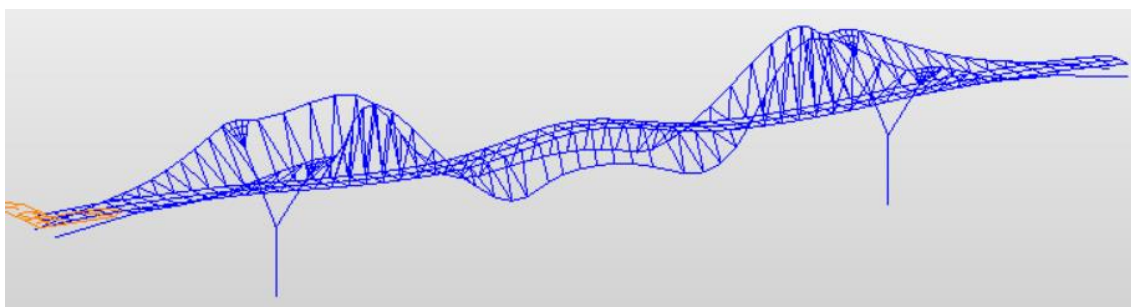
Obr. 219: Midas Civil, 8. vl. tvar, $f=2,1081$ Hz. Svislé kmitání mostovky.



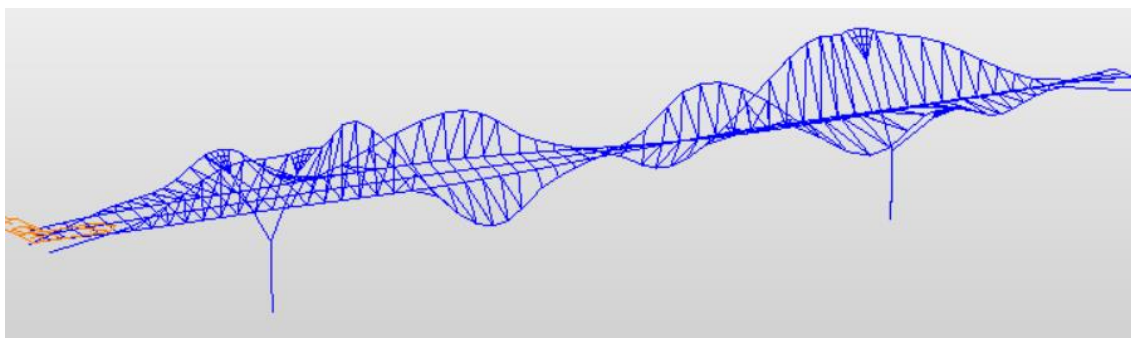
Obr. 220: Midas Civil, 9. vl. tvar, $f=2,2368$ Hz. Kroucení mostovky, svislé i vodorovné kmitání mostovky.



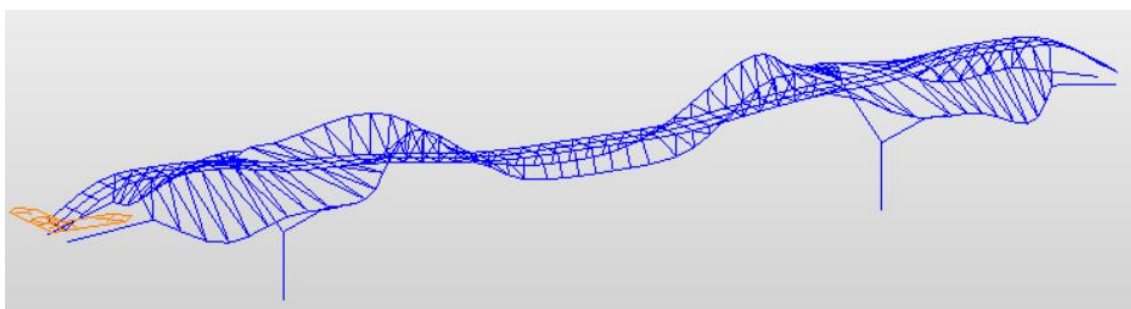
Obr. 221: Midas Civil, 10. vl. tvar, $f=2,2498$ Hz. Kroucení mostovky, svislé i vodorovné kmitání mostovky.



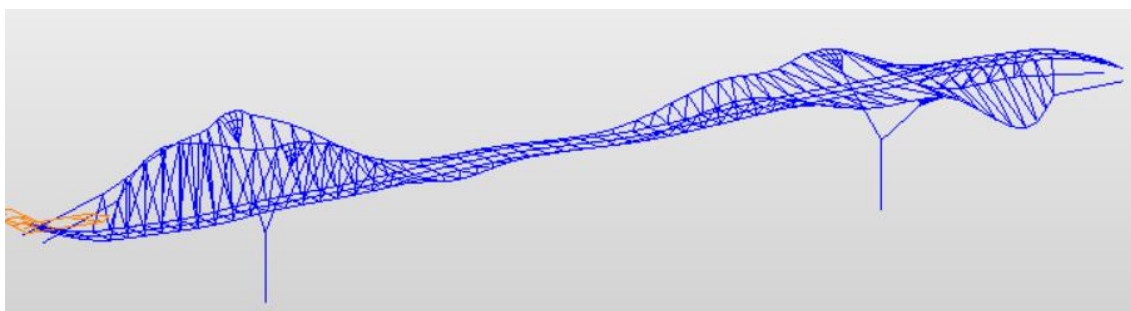
Obr. 222: Midas Civil, 11. vl. tvar, $f=2,7049$ Hz. Svislé kmitání mostovky.



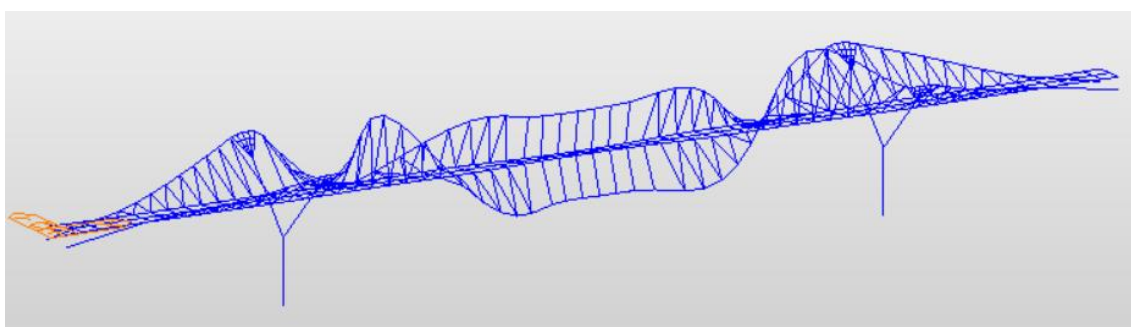
Obr. 223: Midas Civil, 12. vl. tvar, $f=2,9938$ Hz. Kroucení mostovky, svislé i vodorovné kmitání mostovky.



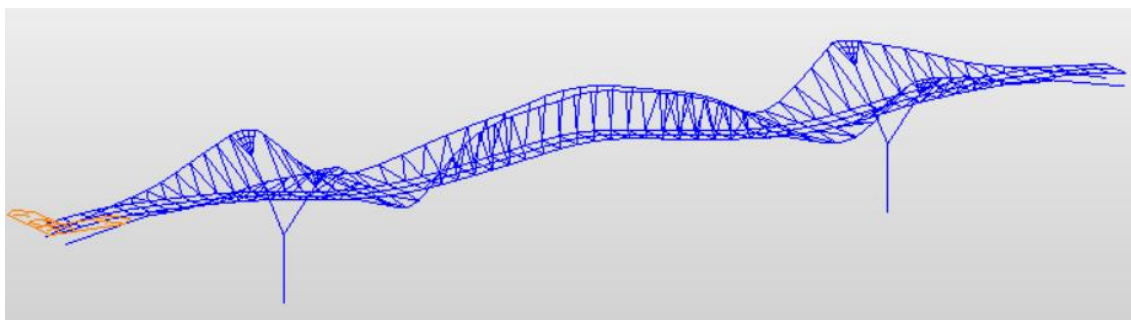
Obr. 224: Midas Civil, 13. vl. tvar, $f=3,0309$ Hz. Svislé kmitání mostovky.



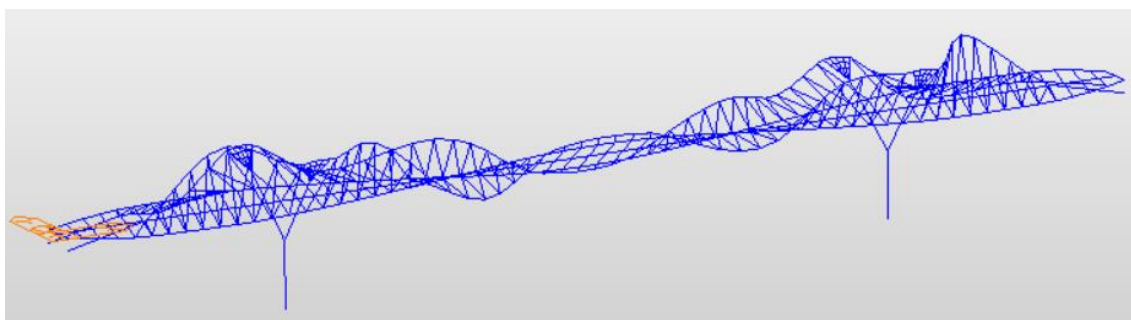
Obr. 225: Midas Civil, 14. vl. tvar, $f=3,0552$ Hz. Svislé kmitání mostovky.



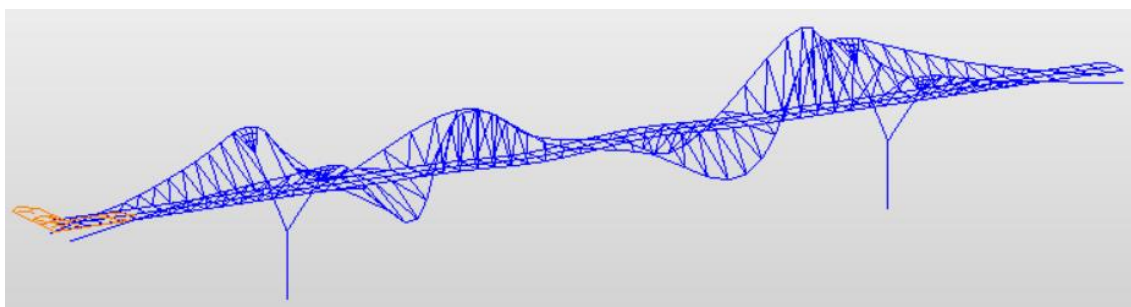
Obr. 226: Midas Civil, 15. vl. tvar, $f=3,0722$ Hz. Mostovka nekmitá.



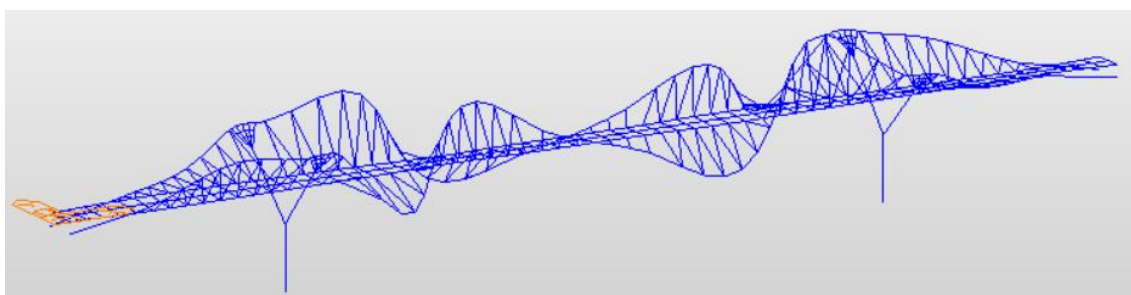
Obr. 227: Midas Civil, 16. vl. tvar, $f=3,2284$ Hz. Svislé kmitání mostovky.



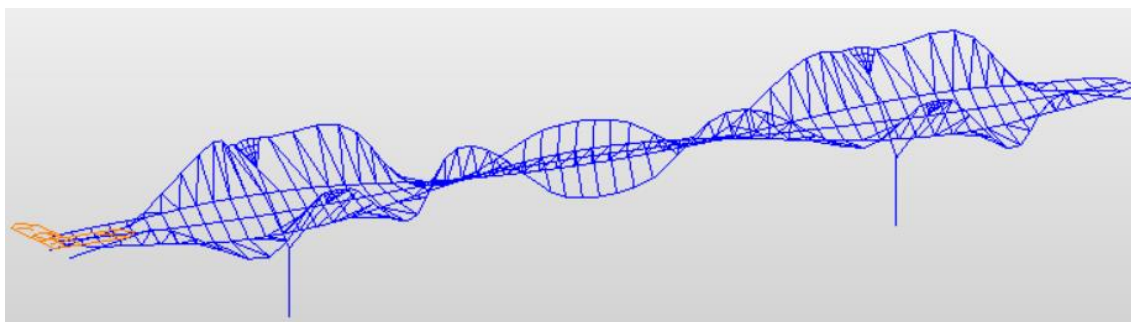
Obr. 228: Midas Civil, 17. vl. tvar, $f=3,4524$ Hz. Svislé kmitání mostovky.



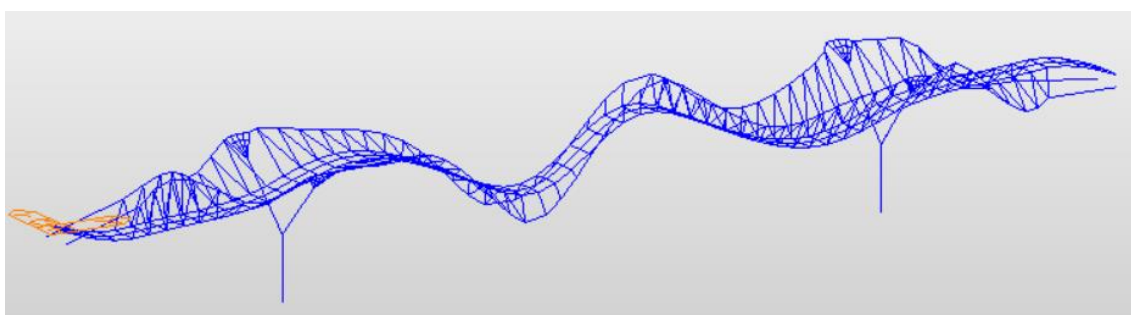
Obr. 229: Midas Civil, 18. vl. tvar, $f=3,5595$ Hz. Mostovka nekmitá.



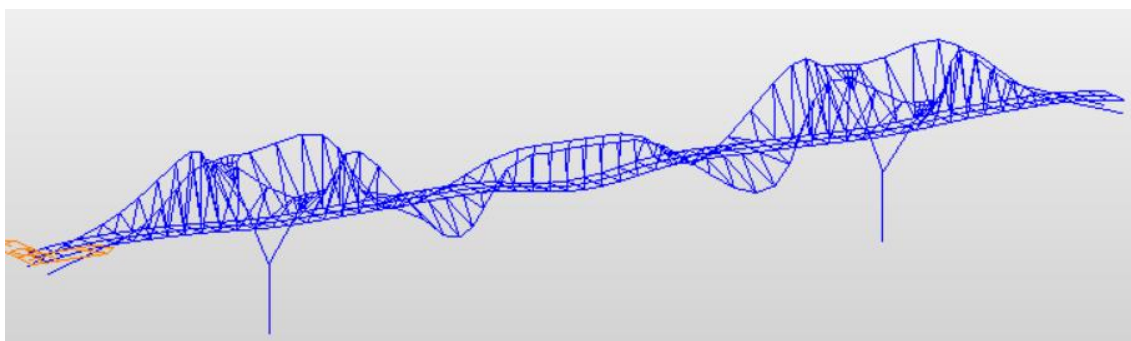
Obr. 230: Midas Civil, 19. vl. tvar, $f=3,5847$ Hz. Mostovka nekmitá.



Obr. 231: Midas Civil, 20. vl. tvar, $f=3,7235$ Hz. Kroucení mostovky, svislé i vodorovné kmitání mostovky.



Obr. 232: Midas Civil, 21. vl. tvar, $f=4,5214$ Hz. Svislé kmitání mostovky.



Obr. 233: Midas Civil, 22. vl. tvar, $f=4,5979$ Hz. Svislé kmitání mostovky.

V následující tabulce jsou barevně vyznačeny vl. frekvence, které spadají do kritické oblasti. Z důvodu existence těchto vl. frekvencí bylo nutné posoudit zrychlení lávky na pohodu chodců. Tomuto se věnují následující kapitoly 7.2 a 7.3.

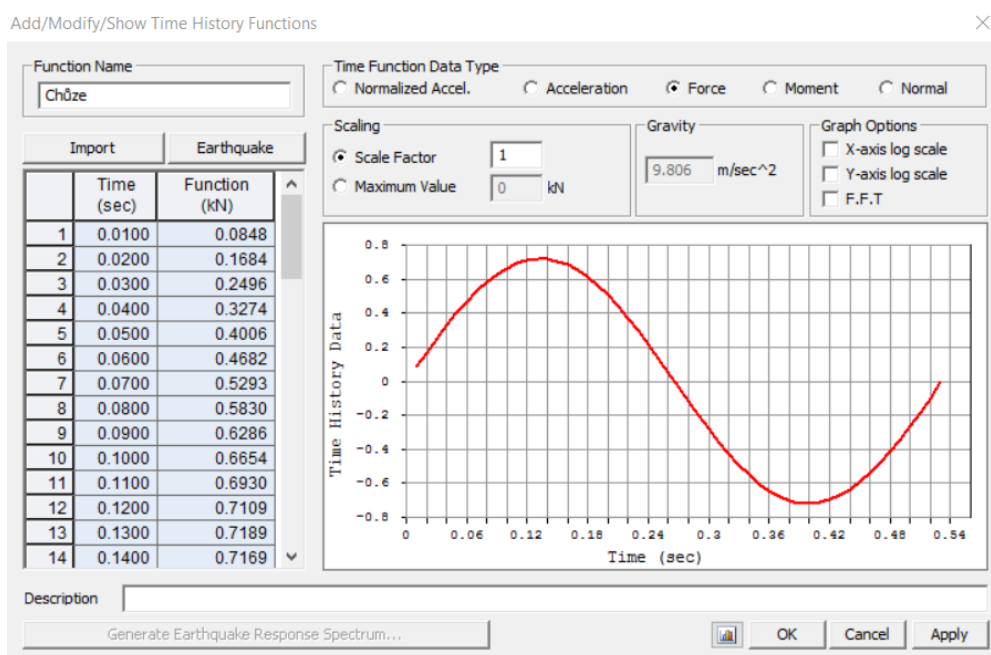
Vlastní tvary	Vlastní frekvence	Charakteristika
	[Hz]	
1	0.8499	Svislé kmitání mostovky
2	1.0221	Svislé i vodorovné kmitání mostovky
3	1.1175	Mostovka nekmitá
4	1.1995	Mostovka nekmitá
5	1.2467	Svislé kmitání mostovky
6	1.4063	Mostovka nekmitá
7	1.4618	Svislé kmitání mostovky
8	2.1081	Svislé kmitání mostovky
9	2.2368	Svislé i vodorovné kmitání mostovky
10	2.2498	Svislé i vodorovné kmitání mostovky
11	2.7049	Svislé kmitání mostovky
12	2.9938	Svislé i vodorovné kmitání mostovky
13	3.0309	Svislé kmitání mostovky
14	3.0552	Svislé kmitání mostovky
15	3.0722	Mostovka nekmitá
16	3.2284	Svislé kmitání mostovky
17	3.4524	Svislé kmitání mostovky
18	3.5595	Mostovka nekmitá
19	3.5847	Mostovka nekmitá
20	3.7235	Svislé i vodorovné kmitání mostovky
21	4.5214	Svislé kmitání mostovky
22	4.5979	Svislé kmitání mostovky

Tab. 9: Vlastní tvary a vlastní frekvence.

7.2 Dynamické zatížení ve výpočetním programu

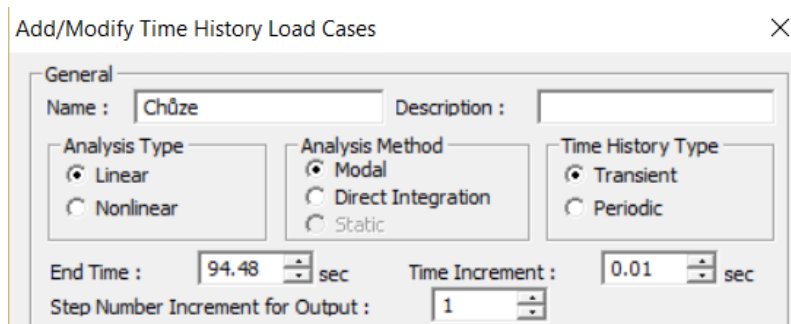
7.2.1 Nastavení dynamické analýzy v programu Midas Civil

Dynamické zatížení v programu Midas Civil bylo nastaveno podle videa „Dynamic Analysis of Footbridge to Eurocode“ na oficiálním YouTube kanálu programu Midas. [31] Nejprve byla nastavena zjednodušená funkce jednoho kroku, jak je zobrazeno na obr. 234.



Obr. 234: Funkce popisující krok v programu Midas Civil.

Následně byla nastavena délka časové analýzy podle doby potřebné pro přechod celého mostu. Na obr. 235 je znázorněn příklad nastavení pro analýzu přechodu jednoho chodce s frekvencí kroku 1,4618 Hz. Jelikož je délka mostu 124,3 m, doba, kterou chodec potřeboval k přechodu mostu, je 94,48 s.



Obr. 235: Nastavení dynamického zatížení v programu Midas Civil.

7.2.2 Odhad poměrného útlumu

Odhad poměrného útlumu byl konzultován s prof. Michalem Polákem a na základně podobných typů konstrukcí byl zvolen jako

$$b_r = 0,006.$$

7.2.3 Návrh dynamického zatížení skupinou chodců

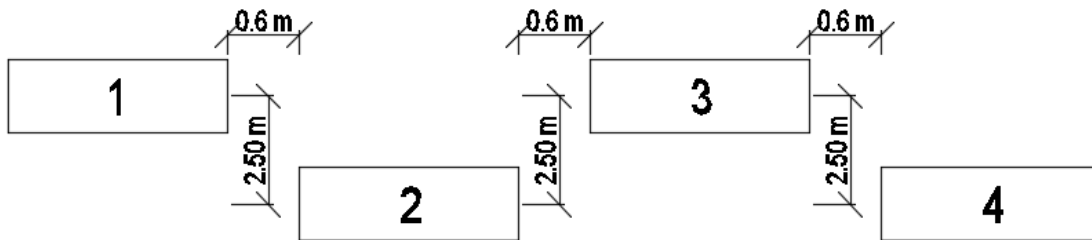
Návrh dynamického zatížení chodci není v normách ČSN specifikován přesně. V příloze k ČSN EN 1990 A2, článku A2.4.3.1 Návrhové situace a souvisící předpoklady provozu na lávce se píše, že se návrhové situace mají volit v závislosti na provozu, který bude přípustný po dobu návrhové životnosti příslušné lávky. Uvádí se zde, že se má v závislosti na velikosti plochy nosné konstrukce lávky uvážit zatížení skupinou 8 až 15 chodců jdoucích běžným způsobem na lávce. Zároveň se však doporučuje uvážit další zatížení chodci, které souvisí s trvalou, dočasnou nebo mimořádnou návrhovou situací. Mezi takové patří například souvislý proud chodců na lávce (podstatně více než 15 osob) nebo například taneční události apod.

Vzhledem k tomu, že norma neudává žádný přesný model zatížení a vzhledem k zvláštnímu typu navrhované lávky, byla snaha o co nejkomplexnější pokrytí možných kombinací chodců, které mohou na lávce nastat.

Pro běžný provoz byly vytvořeny následující varianty skupin chodců:

- 8 až 15 chodců v řadě za sebou uprostřed mostovky,
- 8 až 15 chodců v řadě za sebou na „levém“ okraji mostovky,
- 8 až 15 chodců v řadě za sebou na „pravém“ okraji mostovky,
- 8 až 16 chodců po dvojicích v řadě za sebou,
- 9 až 15 chodců po trojicích v řadě za sebou.

Podle experimentů v [23] byla navíc přidána varianta, kdy jde 8 až 16 chodců „cik cak“, viz obr. 236.



Obr. 236: Schéma zatížení chodců „cik cak“.

Délka jednoho kroku byla pro všechny frekvence nastavena jako

$$d = 0,9 \text{ m.}$$

V následujících kapitolách byly tedy analyzovány všechny tyto skupiny chodců pro všechny kritické vlastní frekvence. Pro první sledovanou frekvenci, tedy $f = 1,4618 \text{ Hz}$ jsou zde uvedeny výkmity a zrychlení pro všechny uvedené skupiny chodců. V následujících frekvencích pak bylo sledováno, v kterém případě je odezva konstrukce největší, a v analýze jsou uváděny tabulky pouze s těmito největšími hodnotami. Ve všech případech to bylo při maximálním počtu chodců. Ve všech těchto variantách byly sledovány následující hodnoty:

- max. zrychlení lan a závěsů ve směru osy Y (vodorovné),
- max. zrychlení lan a závěsů ve směru osy Z (svislé),
- max. zrychlení mostovky ve směru osy Y (vodorovné),
- max. zrychlení mostovky ve směru osy Z (svislé),
- max. výkmit lan a závěsů ve směru osy Y (vodorovné),
- max. výkmit lan a závěsů ve směru osy Z (svislé),
- max. výkmit mostovky ve směru osy Y (vodorovné),
- max. výkmit mostovky ve směru osy Z (svislé).

7.3 Posouzení třídy pohody chodců

Třída pohody chodců byla posuzována podle následující tabulky:

Třída pohody	Svislé zrychlení	Vodorovné zrychlení
Vysoká	< 0.50	< 0.10
Normální	< 0.70	< 0.20
Nízká	< 1.00	< 0.40

Tab. 10: Třídy pohody lávek pro chodce. [34]

V následujících tabulkách bylo kromě maximálního zrychlení mostovky sledováno také maximální zrychlení lan, maximální výkmit mostovky a maximální výkmit lan. Tyto hodnoty mají vliv na „estetiku“ konstrukce v provozu, a bylo proto považováno za důležité věnovat jim pozornost. Maximální přípustný výkmit lan byl stanoven v obou směrech jako

$$y_{l,lim} = 0,005 \text{ m.}$$

7.3.1 Posouzení přechodu skupin chodců s frekvencí kroku 1,4618 Hz

ŘADA UPROSTŘED MOSTOVKY				
MAX. ZRYCHLENÍ	Max. zrychlení	Max. zrychlení	Max. zrychlení	Max. zrychlení
Počet chodců	lan ve směru Y	lan ve směru Z	mostovky ve směru Y	mostovky ve směru Z
	[m/s ²]	[m/s ²]	[m/s ²]	[m/s ²]
8	1.67223	2.34883	0.00015	0.38038
9	1.85509	2.57407	0.00016	0.41337
10	2.00805	2.78656	0.00018	0.44485
11	2.14650	2.98196	0.00019	0.47511
12	2.27140	3.15380	0.00020	0.50071
13	2.37520	3.29189	0.00021	0.52378
14	2.46478	3.41521	0.00022	0.54671
15	2.54102	3.52999	0.00023	0.56388
MAX. VÝKMIT	Max. výkmit	Max. výkmit	Max. výkmit	Max. výkmit
Počet chodců	lan ve směru Y	lan ve směru Z	mostovky ve směru Y	mostovky ve směru Z
	[m]	[m]	[m]	[m]
8	0.01994	0.02769	0.000008	0.00417
9	0.02191	0.03047	0.000009	0.00460
10	0.02372	0.03293	0.000009	0.00507
11	0.02537	0.03506	0.000010	0.00542
12	0.02674	0.03714	0.000010	0.00578
13	0.02805	0.03684	0.000011	0.00608
14	0.02915	0.04040	0.000012	0.00633
15	0.03014	0.04187	0.000012	0.00656

Tab. 11: Max. zrychlení a výkmity při přechodu chodců v jedné řadě uprostřed mostovky s frekvencí kroku 1,4618 Hz.

ŘADA NA "LEVÉM" OKRAJI MOSTOVKY				
MAX. ZRYCHLENÍ	Max. zrychlení	Max. zrychlení	Max. zrychlení	Max. zrychlení
Počet chodců	lan ve směru Y	lan ve směru Z	mostovky ve směru Y	mostovky ve směru Z
	[m/s ²]	[m/s ²]	[m/s ²]	[m/s ²]
8	1.73036	2.39878	0.0487421	0.387554
9	1.88894	2.62498	0.0548195	0.42144
10	2.04467	2.83395	0.0608188	0.451445
11	2.18418	3.03171	0.0665406	0.478928
12	2.3054	3.20673	0.0717575	0.507258
13	2.40623	3.34679	0.0765445	0.534403
14	2.50556	3.48241	0.081013	0.555508
15	2.58428	3.59614	0.0854711	0.570243
MAX. VÝKMIT	Max. výkmit	Max. výkmit	Max. výkmit	Max. výkmit
Počet chodců	lan ve směru Y	lan ve směru Z	mostovky ve směru Y	mostovky ve směru Z
	[m]	[m]	[m]	[m]
8	0.0200704	0.0279219	0.000385817	0.00424348
9	0.0221128	0.0307174	0.000433241	0.00476035
10	0.0239509	0.0330396	0.000480088	0.00518187
11	0.0256236	0.0355268	0.000527039	0.00556158
12	0.0270081	0.0372842	0.000573483	0.00587787
13	0.0282884	0.0390656	0.000619212	0.00616773
14	0.0294412	0.0408799	0.000664197	0.00641248
15	0.0304529	0.0423045	0.000708999	0.0066301

Tab. 12: Max. zrychlení a výkmity při přechodu chodců v jedné řadě na „levém“ okraji mostovky s frekvencí kroku 1,4618 Hz.

ŘADA NA "PRAVÉM" OKRAJI MOSTOVKY				
MAX. ZRYCHLENÍ	Max. zrychlení	Max. zrychlení	Max. zrychlení	Max. zrychlení
Počet chodců	lan ve směru Y	lan ve směru Z	mostovky ve směru Y	mostovky ve směru Z
	[m/s ²]	[m/s ²]	[m/s ²]	[m/s ²]
8	1.7304	2.39883	0.0487408	0.387551
9	1.88872	2.62485	0.0548211	0.42153
10	2.04472	2.83405	0.0608115	0.451462
11	2.18423	3.03172	0.0665665	0.478992
12	2.30544	3.20685	0.0717603	0.507325
13	2.40615	3.34684	0.0765452	0.534472
14	2.50572	3.48222	0.081019	0.555321
15	2.58434	3.59621	0.0854677	0.570235
MAX. VÝKMIT	Max. výkmit	Max. výkmit	Max. výkmit	Max. výkmit
Počet chodců	lan ve směru Y	lan ve směru Z	mostovky ve směru Y	mostovky ve směru Z
	[m]	[m]	[m]	[m]
8	0.0200685	0.0280051	0.000385838	0.00424323
9	0.0221234	0.0307145	0.000433281	0.00476041
10	0.0239592	0.0330405	0.000480082	0.00518194
11	0.0256247	0.0355274	0.000527045	0.00556206
12	0.0270283	0.0372854	0.000573501	0.00587775
13	0.0282941	0.0390662	0.000619234	0.00616784
14	0.0294505	0.0408809	0.000664201	0.00641285
15	0.0303391	0.0423054	0.000708925	0.00662999

Tab. 13: Max. zrychlení a výkmity při přechodu chodců v jedné řadě na „pravém“ okraji mostovky s frekvencí kroku 1,4618 Hz.

2 ŘADY				
MAX. ZRYCHLENÍ	Max. zrychlení	Max. zrychlení	Max. zrychlení	Max. zrychlení
Počet chodců	lan ve směru Y	lan ve směru Z	mostovky ve směru Y	mostovky ve směru Z
	[m/s ²]	[m/s ²]	[m/s ²]	[m/s ²]
8	1.82897	2.53991	0.000197283	0.42169
10	2.25764	3.13453	0.000233263	0.515274
12	2.66213	3.6967	0.000258787	0.606214
14	3.03486	4.21189	0.000293311	0.687415
16	3.39585	4.71348	0.000323481	0.764029
MAX. VÝKMIT	Max. výkmit	Max. výkmit	Max. výkmit	Max. výkmit
Počet chodců	lan ve směru Y	lan ve směru Z	mostovky ve směru Y	mostovky ve směru Z
	[m]	[m]	[m]	[m]
8	0.0214453	0.0298416	9.79115E-07	0.0044888
10	0.0265012	0.0367112	1.21464E-06	0.00569508
12	0.0311615	0.04336	1.43115E-06	0.00671319
14	0.0358131	0.0496381	1.6265E-06	0.00762726
16	0.040002	0.0555575	1.81605E-06	0.00841629

Tab. 14: Max. zrychlení a výkmity při přechodu chodců ve dvou řadách s frekvencí kroku 1,4618 Hz.

3 ŘADY				
MAX. ZRYCHLENÍ	Max. zrychlení	Max. zrychlení	Max. zrychlení	Max. zrychlení
Počet chodců	lan ve směru Y	lan ve směru Z	mostovky ve směru Y	mostovky ve směru Z
	[m/s ²]	[m/s ²]	[m/s ²]	[m/s ²]
9	1.92354	2.64218	0.000201485	0.44285
12	2.74004	3.80517	0.000299612	0.631581
15	3.3824	4.69551	0.000353609	0.771911
MAX. VÝKMIT	Max. výkmit	Max. výkmit	Max. výkmit	Max. výkmit
Počet chodců	lan ve směru Y	lan ve směru Z	mostovky ve směru Y	mostovky ve směru Z
	[m]	[m]	[m]	[m]
9	0.0219548	0.0305123	1.15246E-06	0.00452478
12	0.0321288	0.0447083	1.46673E-06	0.00672551
15	0.0397049	0.0550019	1.8198E-06	0.00853249

Tab. 15: Max. zrychlení a výkmity při přechodu chodců ve třech řadách s frekvencí kroku 1,4618 Hz.

2 ŘADY "CIK CAK"				
MAX. ZRYCHLENÍ	Max. zrychlení	Max. zrychlení	Max. zrychlení	Max. zrychlení
Počet chodců	lan ve směru Y	lan ve směru Z	mostovky ve směru Y	mostovky ve směru Z
	[m/s ²]	[m/s ²]	[m/s ²]	[m/s ²]
8	1.69956	2.36084	0.0030584	0.383073
10	2.01518	2.79736	0.00359307	0.447401
12	2.27795	3.16322	0.00397951	0.503777
14	2.4722	3.42555	0.0042702	0.549048
16	2.6171	3.63263	0.00449996	0.578751
MAX. VÝKMIT	Max. výkmit	Max. výkmit	Max. výkmit	Max. výkmit
Počet chodců	lan ve směru Y	lan ve směru Z	mostovky ve směru Y	mostovky ve směru Z
	[m]	[m]	[m]	[m]
8	0.0200243	0.0278323	1.17534E-05	0.00420894
10	0.0238086	0.0330544	1.54028E-05	0.00511062
12	0.0268112	0.0373239	1.75602E-05	0.00582234
14	0.0292293	0.0405119	1.94219E-05	0.00636919
16	0.0310731	0.0430761	2.04781E-05	0.00681626

Tab. 16: Max. zrychlení a výkmity při přechodu chodců ve dvou řadách „cik cak“ s frekvencí kroku 1,4618 Hz.

Z tab. 11 až 16 lze vyčíst, že maximálního vodorovného zrychlení mostovky bylo dosaženo při přechodu 15 chodců na kraji mostovky v řadě za sebou. Maximálního svislého zrychlení mostovky bylo dosaženo při přechodu 15 chodců ve třech řadách. Bylo tedy zjištěno, že

$$a_{y,m,max} = 0,085 \text{ m/s}^2$$

a

$$a_{z,m,max} = 0,772 \text{ m/s}^2.$$

Platí

$$a_{y,m,max} = 0,085 \text{ m/s}^2 < a_{y,lim} = 0,10 \text{ m/s}^2$$

a

$$a_{z,m,max} = 0,772 \text{ m/s}^2 < a_{z,lim} = 1,00 \text{ m/s}^2.$$

V tomto případě tedy při posouzení třídy pohody chodců lávka vyhovuje ve vodorovném směru na vysokou třídu pohody a ve svislém směru na nízkou třídu pohody chodců.

Maximálního vodorovného i svislého zrychlení u lan bylo dosaženo při přechodu chodců ve dvou řadách za sebou. Bylo zjištěno, že

$$a_{y,l,max} = 3,396 \text{ m/s}^2$$

a

$$a_{z,l,max} = 4,713 \text{ m/s}^2.$$

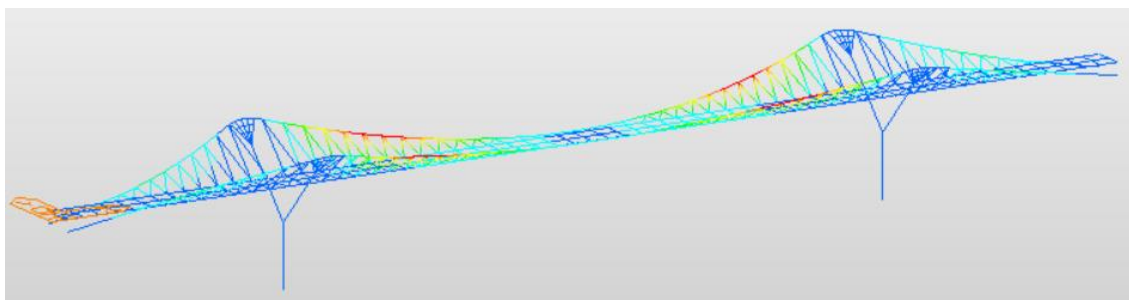
Výkmit byl při těchto maximálních zrychleních

$$y_{y,l,max} = 0,040 \text{ m}$$

a

$$y_{z,l,max} = 0,056 \text{ m}.$$

Takový výkmit lan byl z estetického hlediska vyhodnocen jako nepřijatelný. Na obr. 237 je červeně znázorněno, které části lávky takto nepřijatelně kmitají. Kapitola 7.4 se potom zabývá řešením nevyhovujících dynamických posudků.



Obr. 237: Znárodnění částí lávky dosahujících maximálního zrychlení a výkmitu při dynamickém zatížení s frekvencí 1,4618 Hz.

7.3.2 Posouzení přechodu skupin chodců s frekvencí kroku 2,1081 Hz

ŘADA UPROSTŘED MOSTOVKY				
MAX. ZRYCHLENÍ	Max. zrychlení lan ve směru Y	Max. zrychlení lan ve směru Z	Max. zrychlení mostovky ve směru Y	Max. zrychlení mostovky ve směru Z
Počet chodců	[m/s ²]	[m/s ²]	[m/s ²]	[m/s ²]
8	1.97557	2.94350	0.00050	0.48390
12	2.76060	4.12695	0.00070	0.69084
15	3.23038	4.83593	0.00082	0.80449
MAX. VÝKMIT	Max. výkmit lan ve směru Y	Max. výkmit lan ve směru Z	Max. výkmit mostovky ve směru Y	Max. výkmit mostovky ve směru Z
Počet chodců	[m]	[m]	[m]	[m]
8	0.01201	0.01342	0.0000028	0.00281
12	0.01573	0.02348	0.0000039	0.00397
15	0.01837	0.02744	0.0000046	0.00461

Tab. 17: Max. zrychlení a výkmity při přechodu chodců v jedné řadě uprostřed mostovky s frekvencí kroku 2,1081 Hz.

ŘADA NA "LEVÉM" OKRAJI MOSTOVKY				
MAX. ZRYCHLENÍ	Max. zrychlení lan ve směru Y	Max. zrychlení lan ve směru Z	Max. zrychlení mostovky ve směru Y	Max. zrychlení mostovky ve směru Z
Počet chodců	[m/s ²]	[m/s ²]	[m/s ²]	[m/s ²]
15	3.25831	4.88501	0.23595	0.83405
MAX. VÝKMIT	Max. výkmit lan ve směru Y	Max. výkmit lan ve směru Z	Max. výkmit mostovky ve směru Y	Max. výkmit mostovky ve směru Z
Počet chodců	[m]	[m]	[m]	[m]
15	0.01847	0.02761	0.00138	0.00489

Tab. 18: Max. zrychlení a výkmity při přechodu chodců v jedné řadě na „levém“ okraji mostovky s frekvencí kroku 2,1081 Hz.

ŘADA NA "PRAVÉM" OKRAJI MOSTOVKY				
MAX. ZRYCHLENÍ	Max. zrychlení	Max. zrychlení	Max. zrychlení	Max. zrychlení
Počet chodců	lan ve směru Y	lan ve směru Z	mostovky ve směru Y	mostovky ve směru Z
	[m/s ²]	[m/s ²]	[m/s ²]	[m/s ²]
15	3.25826	4.88477	0.23598	0.83401
MAX. VÝKMIT	Max. výkmit	Max. výkmit	Max. výkmit	Max. výkmit
Počet chodců	lan ve směru Y	lan ve směru Z	mostovky ve směru Y	mostovky ve směru Z
	[m]	[m]	[m]	[m]
15	0.01845	0.02758	0.00138	0.00481

Tab. 19: Max. zrychlení a výkmity při přechodu chodců v jedné řadě na „pravém“ okraji mostovky s frekvencí kroku 2,1081 Hz.

2 ŘADY				
MAX. ZRYCHLENÍ	Max. zrychlení	Max. zrychlení	Max. zrychlení	Max. zrychlení
Počet chodců	lan ve směru Y	lan ve směru Z	mostovky ve směru Y	mostovky ve směru Z
	[m/s ²]	[m/s ²]	[m/s ²]	[m/s ²]
16	3.94863	5.91936	0.01910	0.98837
MAX. VÝKMIT	Max. výkmit	Max. výkmit	Max. výkmit	Max. výkmit
Počet chodců	lan ve směru Y	lan ve směru Z	mostovky ve směru Y	mostovky ve směru Z
	[m]	[m]	[m]	[m]
16	0.02250	0.03360	0.0001352	0.00568

Tab. 20: Max. zrychlení a výkmity při přechodu chodců ve dvou řadách s frekvencí kroku 2,1081 Hz.

3 ŘADY				
MAX. ZRYCHLENÍ	Max. zrychlení	Max. zrychlení	Max. zrychlení	Max. zrychlení
Počet chodců	lan ve směru Y	lan ve směru Z	mostovky ve směru Y	mostovky ve směru Z
	[m/s ²]	[m/s ²]	[m/s ²]	[m/s ²]
15	3.86651	5.75061	0.00097	0.94768
MAX. VÝKMIT	Max. výkmit	Max. výkmit	Max. výkmit	Max. výkmit
Počet chodců	lan ve směru Y	lan ve směru Z	mostovky ve směru Y	mostovky ve směru Z
	[m]	[m]	[m]	[m]
15	0.02188	0.03265	0.0000055	0.00543

Tab. 21: Max. zrychlení a výkmity při přechodu chodců ve třech řadách s frekvencí kroku 2,1081 Hz.

2 ŘADY "CIK CAK"				
MAX. ZRYCHLENÍ	Max. zrychlení	Max. zrychlení	Max. zrychlení	Max. zrychlení
Počet chodců	lan ve směru Y	lan ve směru Z	mostovky ve směru Y	mostovky ve směru Z
	[m/s ²]	[m/s ²]	[m/s ²]	[m/s ²]
16	3.38397	5.06614	0.00950	0.83754
MAX. VÝKMIT	Max. výkmit	Max. výkmit	Max. výkmit	Max. výkmit
Počet chodců	lan ve směru Y	lan ve směru Z	mostovky ve směru Y	mostovky ve směru Z
	[m]	[m]	[m]	[m]
16	0.01920	0.02865	0.0000493	0.00481

Tab. 22: Max. zrychlení a výkmity při přechodu chodců ve dvou řadách „cik cak“ s frekvencí kroku 2,1081 Hz.

Z tab. 17 až 22 lze vyčíst, že maximálního vodorovného zrychlení mostovky bylo dosaženo při přechodu 15 chodců na kraji mostovky v řadě za sebou. Maximálního svislého zrychlení mostovky bylo dosaženo při přechodu 16 chodců ve dvou řadách. Bylo tedy zjištěno, že

$$a_{y,m,max} = 0,236 \text{ m/s}^2$$

a

$$a_{z,m,max} = 0,988 \text{ m/s}^2.$$

Platí

$$a_{y,m,max} = 0,236 \text{ m/s}^2 < a_{y,lim} = 0,40 \text{ m/s}^2$$

a

$$a_{z,m,max} = 0,988 \text{ m/s}^2 < a_{z,lim} = 1,00 \text{ m/s}^2.$$

V tomto případě tedy při posouzení třídy pohody chodců lávka vyhovuje ve vodorovném i svislém směru na nízkou třídu pohody chodců.

Maximálního vodorovného i svislého zrychlení u lan bylo dosaženo při přechodu chodců ve dvou řadách za sebou. Bylo zjištěno, že

$$a_{y,l,max} = 3,949 \text{ m/s}^2$$

a

$$a_{z,l,max} = 5,919 \text{ m/s}^2.$$

Výkmit byl při těchto maximálních zrychleních

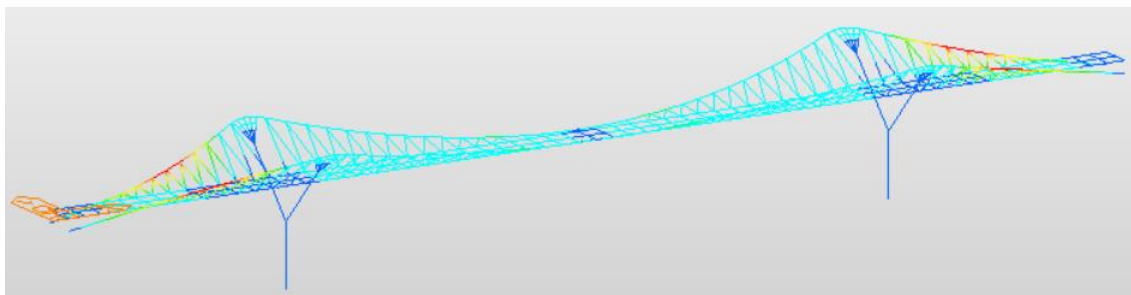
$$y_{y,l,max} = 0,023 \text{ m}$$

a

$$y_{z,l,max} = 0,034 \text{ m}.$$

Takový výkmit lan byl z estetického hlediska vyhodnocen jako nepřijatelný. Na obr. 238 je červeně znázorněno, které části lávky takto nepřijatelně kmitají. Kapitola 7.4 se potom zabývá řešením nevyhovujících dynamických posudků.

Během posouzení těchto prvních dvou kritických vlastních frekvencí bylo ověřeno, že je lávka opravdu symetrická, proto byl dále vynechán přechod chodců na „pravém“ okraji mostovky.



Obr. 238: Znárodnění částí lávky dosahujících maximálního zrychlení a výkmitu při dynamickém zatížení s frekvencí 2,1081 Hz.

7.3.3 Posouzení přechodu skupin chodců s frekvencí kroku 2,2368 Hz

ŘADA UPROSTŘED MOSTOVKY				
MAX. ZRYCHLENÍ	Max. zrychlení	Max. zrychlení	Max. zrychlení	Max. zrychlení
Počet chodců	lan ve směru Y	lan ve směru Z	mostovky ve směru Y	mostovky ve směru Z
	[m/s ²]	[m/s ²]	[m/s ²]	[m/s ²]
8	0.50414	0.64255	0.00032	0.35833
12	0.70169	0.89829	0.00041	0.43542
15	0.79313	1.04012	0.00046	0.45466
MAX. VÝKMIT	Max. výkmit	Max. výkmit	Max. výkmit	Max. výkmit
Počet chodců	lan ve směru Y	lan ve směru Z	mostovky ve směru Y	mostovky ve směru Z
	[m]	[m]	[m]	[m]
8	0.00207	0.00279	0.0000011	0.00106
12	0.00288	0.00395	0.0000015	0.00147
15	0.00325	0.00449	0.0000017	0.00148

Tab. 23: Max. zrychlení a výkmity při přechodu chodců v jedné řadě uprostřed mostovky s frekvencí kroku 2,2368 Hz.

ŘADA NA "LEVÉM" OKRAJI MOSTOVKY				
MAX. ZRYCHLENÍ	Max. zrychlení	Max. zrychlení	Max. zrychlení	Max. zrychlení
Počet chodců	lan ve směru Y	lan ve směru Z	mostovky ve směru Y	mostovky ve směru Z
	[m/s ²]	[m/s ²]	[m/s ²]	[m/s ²]
15	2.58199	4.65609	1.83863	2.24065
MAX. VÝKMIT	Max. výkmit	Max. výkmit	Max. výkmit	Max. výkmit
Počet chodců	lan ve směru Y	lan ve směru Z	mostovky ve směru Y	mostovky ve směru Z
	[m]	[m]	[m]	[m]
15	0.01079	0.02298	0.00928	0.01076

Tab. 24: Max. zrychlení a výkmity při přechodu chodců v jedné řadě na „levém“ okraji mostovky s frekvencí kroku 2,2368 Hz.

2 ŘADY				
MAX. ZRYCHLENÍ	Max. zrychlení	Max. zrychlení	Max. zrychlení	Max. zrychlení
Počet chodců	lan ve směru Y	lan ve směru Z	mostovky ve směru Y	mostovky ve směru Z
	[m/s ²]	[m/s ²]	[m/s ²]	[m/s ²]
16	1.01083	1.29314	0.00060	0.72217
MAX. VÝKMIT	Max. výkmit	Max. výkmit	Max. výkmit	Max. výkmit
Počet chodců	lan ve směru Y	lan ve směru Z	mostovky ve směru Y	mostovky ve směru Z
	[m]	[m]	[m]	[m]
16	0.00416	0.00560	0.0000013	0.00214

Tab. 25: Max. zrychlení a výkmity při přechodu chodců ve dvou řadách s frekvencí kroku 2,2368 Hz.

3 ŘADY				
MAX. ZRYCHLENÍ	Max. zrychlení	Max. zrychlení	Max. zrychlení	Max. zrychlení
Počet chodců	lan ve směru Y	lan ve směru Z	mostovky ve směru Y	mostovky ve směru Z
	[m/s ²]	[m/s ²]	[m/s ²]	[m/s ²]
15	1.03630	1.35737	0.00068	0.77569
MAX. VÝKMIT	Max. výkmit	Max. výkmit	Max. výkmit	Max. výkmit
Počet chodců	lan ve směru Y	lan ve směru Z	mostovky ve směru Y	mostovky ve směru Z
	[m]	[m]	[m]	[m]
15	0.00413	0.00544	0.0000014	0.00213

Tab. 26: Max. zrychlení a výkmity při přechodu chodců ve třech řadách s frekvencí kroku 2,2368 Hz.

2 ŘADY "CIK CAK"				
MAX. ZRYCHLENÍ	Max. zrychlení	Max. zrychlení	Max. zrychlení	Max. zrychlení
Počet chodců	lan ve směru Y	lan ve směru Z	mostovky ve směru Y	mostovky ve směru Z
	[m/s ²]	[m/s ²]	[m/s ²]	[m/s ²]
16	0.82835	1.08516	0.06400	0.45601
MAX. VÝKMIT	Max. výkmit	Max. výkmit	Max. výkmit	Max. výkmit
Počet chodců	lan ve směru Y	lan ve směru Z	mostovky ve směru Y	mostovky ve směru Z
	[m]	[m]	[m]	[m]
16	0.00341	0.00474	0.0031930	0.00159

Tab. 27: Max. zrychlení a výkmity při přechodu chodců ve dvou řadách „cik cak“ s frekvencí kroku 2,2368 Hz.

Z tab. 23 až 27 lze vyčíst, že maximálního vodorovného i svislého zrychlení mostovky bylo dosaženo při přechodu 15 chodců na kraji mostovky v řadě za sebou. Bylo tedy zjištěno, že

$$a_{y,m,max} = 1,839 \text{ m/s}^2$$

a

$$a_{z,m,max} = 2,241 \text{ m/s}^2.$$

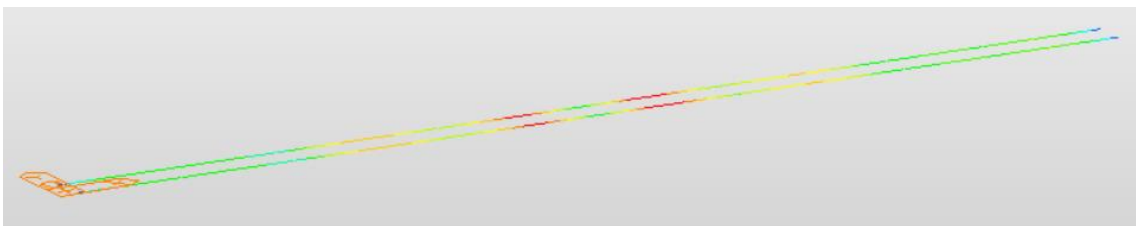
Platí

$$a_{y,m,max} = 1,839 \text{ m/s}^2 > a_{y,lim} = 0,40 \text{ m/s}^2$$

a

$$a_{z,m,max} = 2,241 \text{ m/s}^2 > a_{z,lim} = 1,00 \text{ m/s}^2.$$

V tomto případě při posouzení třídy pohody chodců návrh lávky nevyhovuje ani v jednom směru. Na obr. 239 je červeně znázorněno, že mostovka takto nepřiměřeně kmitá ve středním poli. Rozebráním a řešením tohoto problému se zabývá kapitola 7.4.



Obr. 239: Znázornění částí mostovky dosahujících maximálního zrychlení a výkmitu při dynamickém zatížení s frekvencí 2,2368 Hz.

Maximálního vodorovného i svislého zrychlení u lan bylo dosaženo při přechodu chodců na kraji mostovky v řadě za sebou. Bylo zjištěno, že

$$a_{y,l,max} = 2,582 \text{ m/s}^2$$

a

$$a_{z,l,max} = 4,656 \text{ m/s}^2.$$

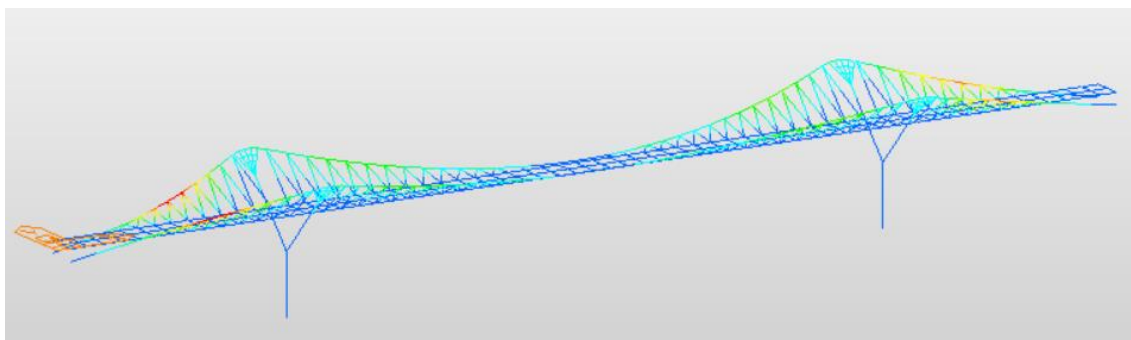
Výkmit byl při těchto maximálních zrychleních

$$y_{y,l,max} = 0,011 \text{ m}$$

a

$$y_{z,l,max} = 0,023 \text{ m}.$$

Takový výkmit lan byl z estetického hlediska vyhodnocen jako nepřijatelný. Na obr. 240 je červeně znázorněno, které části lávky takto nepřijatelně kmitají. Kapitola 7.4 se potom zabývá řešením nevyhovujících dynamických posudků.



Obr. 240: Znáznornění částí lávky dosahujících maximálního zrychlení a výkmitu při dynamickém zatížení s frekvencí 2,2368 Hz.

7.3.4 Posouzení přechodu skupin chodců s frekvencí kroku 2,7049 Hz

ŘADA UPROSTŘED MOSTOVKY				
MAX. ZRYCHLENÍ	Max. zrychlení	Max. zrychlení	Max. zrychlení	Max. zrychlení
Počet chodců	lan ve směru Y	lan ve směru Z	mostovky ve směru Y	mostovky ve směru Z
	[m/s ²]	[m/s ²]	[m/s ²]	[m/s ²]
8	1.42535	1.88817	0.00022	0.56854
12	1.71061	2.26099	0.00026	0.68274
15	1.71109	2.26239	0.00028	0.67862
MAX. VÝKMIT	Max. výkmit	Max. výkmit	Max. výkmit	Max. výkmit
Počet chodců	lan ve směru Y	lan ve směru Z	mostovky ve směru Y	mostovky ve směru Z
	[m]	[m]	[m]	[m]
8	0.00499	0.00662	0.0000008	0.00202
12	0.00593	0.00783	0.0000009	0.00246
15	0.00597	0.00791	0.0000009	0.00245

Tab. 28: Max. zrychlení a výkmity při přechodu chodců v jedné řadě uprostřed mostovky s frekvencí kroku 2,7049 Hz.

ŘADA NA "LEVÉM" OKRAJI MOSTOVKY				
MAX. ZRYCHLENÍ	Max. zrychlení	Max. zrychlení	Max. zrychlení	Max. zrychlení
Počet chodců	lan ve směru Y	lan ve směru Z	mostovky ve směru Y	mostovky ve směru Z
	[m/s ²]	[m/s ²]	[m/s ²]	[m/s ²]
15	1.74478	2.29375	0.09420	0.68442
MAX. VÝKMIT	Max. výkmit	Max. výkmit	Max. výkmit	Max. výkmit
Počet chodců	lan ve směru Y	lan ve směru Z	mostovky ve směru Y	mostovky ve směru Z
	[m]	[m]	[m]	[m]
15	0.00609	0.00806	0.00032	0.00249

Tab. 29: Max. zrychlení a výkmity při přechodu chodců v jedné řadě na „levém“ okraji mostovky s frekvencí kroku 2,7049 Hz.

2 ŘADY				
MAX. ZRYCHLENÍ	Max. zrychlení	Max. zrychlení	Max. zrychlení	Max. zrychlení
Počet chodců	lan ve směru Y	lan ve směru Z	mostovky ve směru Y	mostovky ve směru Z
	[m/s ²]	[m/s ²]	[m/s ²]	[m/s ²]
16	2.27326	3.20632	0.00044	0.84621
MAX. VÝKMIT	Max. výkmit	Max. výkmit	Max. výkmit	Max. výkmit
Počet chodců	lan ve směru Y	lan ve směru Z	mostovky ve směru Y	mostovky ve směru Z
	[m]	[m]	[m]	[m]
16	0.01006	0.01335	0.0000015	0.00308

Tab. 30: Max. zrychlení a výkmity při přechodu chodců ve dvou řadách s frekvencí kroku 2,7049 Hz.

3 ŘADY				
MAX. ZRYCHLENÍ	Max. zrychlení	Max. zrychlení	Max. zrychlení	Max. zrychlení
Počet chodců	lan ve směru Y	lan ve směru Z	mostovky ve směru Y	mostovky ve směru Z
	[m/s ²]	[m/s ²]	[m/s ²]	[m/s ²]
15	2.48472	3.34642	0.00047	0.89654
MAX. VÝKMIT	Max. výkmit	Max. výkmit	Max. výkmit	Max. výkmit
Počet chodců	lan ve směru Y	lan ve směru Z	mostovky ve směru Y	mostovky ve směru Z
	[m]	[m]	[m]	[m]
15	0.01041	0.01377	0.0000016	0.00323

Tab. 31: Max. zrychlení a výkmity při přechodu chodců ve třech řadách s frekvencí kroku 2,7049 Hz.

2 ŘADY "CIK CAK"				
MAX. ZRYCHLENÍ	Max. zrychlení	Max. zrychlení	Max. zrychlení	Max. zrychlení
Počet chodců	lan ve směru Y	lan ve směru Z	mostovky ve směru Y	mostovky ve směru Z
	[m/s ²]	[m/s ²]	[m/s ²]	[m/s ²]
16	1.68439	2.22492	0.00537	0.67172
MAX. VÝKMIT	Max. výkmit	Max. výkmit	Max. výkmit	Max. výkmit
Počet chodců	lan ve směru Y	lan ve směru Z	mostovky ve směru Y	mostovky ve směru Z
	[m]	[m]	[m]	[m]
16	0.00588	0.00780	0.0000164	0.00239

Tab. 32: Max. zrychlení a výkmity při přechodu chodců ve dvou řadách „cik cak“ s frekvencí kroku 2,7049 Hz.

Z tab. 28 až 32 lze vyčíst, že maximálního vodorovného zrychlení mostovky bylo dosaženo při přechodu chodců na kraji mostovky v řadě za sebou. Maximálního svislého zrychlení mostovky bylo dosaženo při přechodu chodců ve třech řadách. Bylo tedy zjištěno, že

$$a_{y,m,max} = 0,094 \text{ m/s}^2$$

a

$$a_{z,m,max} = 0,897 \text{ m/s}^2.$$

Platí

$$a_{y,m,max} = 0,094 \text{ m/s}^2 < a_{y,lim} = 0,10 \text{ m/s}^2$$

a

$$a_{z,m,max} = 0,897 \text{ m/s}^2 < a_{z,lim} = 1,00 \text{ m/s}^2.$$

V tomto případě tedy při posouzení třídy pohody chodců lávka vyhovuje ve vodorovném směru na vysokou třídu pohody a ve svislém směru na nízkou třídu pohody chodců.

Maximálního vodorovného i svislého zrychlení u lan bylo dosaženo při přechodu chodců ve dvou řadách za sebou. Bylo zjištěno, že

$$a_{y,l,max} = 2,485 \text{ m/s}^2$$

a

$$a_{z,l,max} = 3,346 \text{ m/s}^2.$$

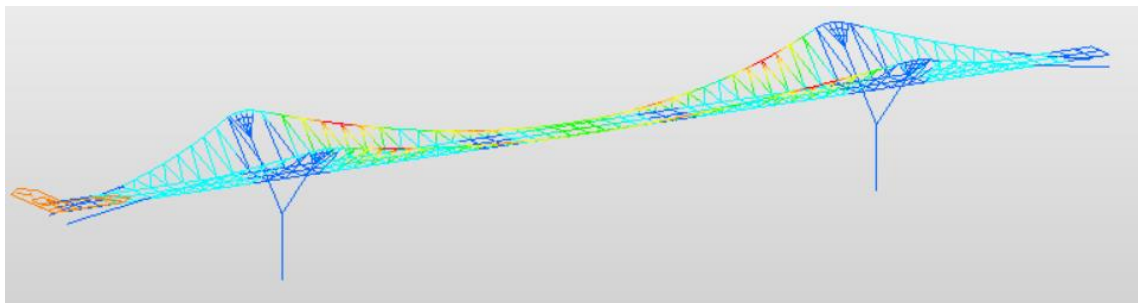
Výkmit byl při těchto maximálních zrychleních

$$y_{y,l,max} = 0,010 \text{ m}$$

a

$$y_{z,l,max} = 0,014 \text{ m}.$$

Takový výkmit lan byl z estetického hlediska vyhodnocen jako nepřijatelný. Na obr. 241 je barevně znázorněno, které části lávky takto nepřijatelně kmitají. Kapitola 7.4 se potom zabývá řešením nevyhovujících dynamických posudků.



Obr. 241: Znázornění částí lávky dosahujících maximálního zrychlení a výkmitu při dynamickém zatížení s frekvencí 2,7049 Hz.

7.3.5 Posouzení přechodu skupin chodců s frekvencí kroku 2,9938 Hz

ŘADA UPROSTŘED MOSTOVKY				
MAX. ZRYCHLENÍ	Max. zrychlení	Max. zrychlení	Max. zrychlení	Max. zrychlení
Počet chodců	lan ve směru Y	lan ve směru Z	mostovky ve směru Y	mostovky ve směru Z
	[m/s ²]	[m/s ²]	[m/s ²]	[m/s ²]
8	1.29818	1.02992	0.00065	0.82168
12	1.81429	1.43737	0.00088	1.15947
15	2.11781	1.68113	0.00102	1.36170
MAX. VÝKMIT	Max. výkmit	Max. výkmit	Max. výkmit	Max. výkmit
Počet chodců	lan ve směru Y	lan ve směru Z	mostovky ve směru Y	mostovky ve směru Z
	[m]	[m]	[m]	[m]
8	0.00358	0.00287	0.0000017	0.00236
12	0.00503	0.00402	0.0000024	0.00334
15	0.00590	0.00479	0.0000028	0.00391

Tab. 33: Max. zrychlení a výkmity při přechodu chodců v jedné řadě uprostřed mostovky s frekvencí kroku 2,9938 Hz.

ŘADA NA "LEVÉM" OKRAJI MOSTOVKY				
MAX. ZRYCHLENÍ	Max. zrychlení	Max. zrychlení	Max. zrychlení	Max. zrychlení
Počet chodců	lan ve směru Y	lan ve směru Z	mostovky ve směru Y	mostovky ve směru Z
	[m/s ²]	[m/s ²]	[m/s ²]	[m/s ²]
15	2.48590	1.91614	0.19165	1.44987
MAX. VÝKMIT	Max. výkmit	Max. výkmit	Max. výkmit	Max. výkmit
Počet chodců	lan ve směru Y	lan ve směru Z	mostovky ve směru Y	mostovky ve směru Z
	[m]	[m]	[m]	[m]
15	0.00683	0.00572	0.00057	0.00421

Tab. 34: Max. zrychlení a výkmity při přechodu chodců v jedné řadě na „levém“ okraji mostovky s frekvencí kroku 2,9938 Hz.

2 ŘADY				
MAX. ZRYCHLENÍ	Max. zrychlení	Max. zrychlení	Max. zrychlení	Max. zrychlení
Počet chodců	lan ve směru Y	lan ve směru Z	mostovky ve směru Y	mostovky ve směru Z
	[m/s ²]	[m/s ²]	[m/s ²]	[m/s ²]
16	2.59112	2.05579	0.00125	1.64045
MAX. VÝKMIT	Max. výkmit	Max. výkmit	Max. výkmit	Max. výkmit
Počet chodců	lan ve směru Y	lan ve směru Z	mostovky ve směru Y	mostovky ve směru Z
	[m]	[m]	[m]	[m]
16	0.00715	0.00580	0.0000033	0.00471

Tab. 35: Max. zrychlení a výkmity při přechodu chodců ve dvou řadách s frekvencí kroku 2,9938 Hz.

3 ŘADY				
MAX. ZRYCHLENÍ	Max. zrychlení	Max. zrychlení	Max. zrychlení	Max. zrychlení
Počet chodců	lan ve směru Y	lan ve směru Z	mostovky ve směru Y	mostovky ve směru Z
	[m/s ²]	[m/s ²]	[m/s ²]	[m/s ²]
15	2.52282	1.99370	0.00125	1.59989
MAX. VÝKMIT	Max. výkmit	Max. výkmit	Max. výkmit	Max. výkmit
Počet chodců	lan ve směru Y	lan ve směru Z	mostovky ve směru Y	mostovky ve směru Z
	[m]	[m]	[m]	[m]
15	0.00696	0.00568	0.0000033	0.00458

Tab. 36: Max. zrychlení a výkmity při přechodu chodců ve třech řadách s frekvencí kroku 2,9938 Hz.

2 ŘADY "CIK CAK"				
MAX. ZRYCHLENÍ	Max. zrychlení	Max. zrychlení	Max. zrychlení	Max. zrychlení
Počet chodců	lan ve směru Y	lan ve směru Z	mostovky ve směru Y	mostovky ve směru Z
	[m/s ²]	[m/s ²]	[m/s ²]	[m/s ²]
16	2.21421	1.74988	0.01027	1.42665
MAX. VÝKMIT	Max. výkmit	Max. výkmit	Max. výkmit	Max. výkmit
Počet chodců	lan ve směru Y	lan ve směru Z	mostovky ve směru Y	mostovky ve směru Z
	[m]	[m]	[m]	[m]
16	0.00618	0.00503	0.0000274	0.00409

Tab. 37: Max. zrychlení a výkmity při přechodu chodců ve dvou řadách „cik cak“ s frekvencí kroku 2,9938 Hz.

Z tab. 33 až 37 lze vyčíst, že maximálního vodorovného zrychlení mostovky bylo dosaženo při přechodu chodců na kraji mostovky v řadě za sebou. Maximálního svislého zrychlení mostovky bylo dosaženo při přechodu chodců ve dvou řadách. Bylo tedy zjištěno, že

$$a_{y,m,max} = 0,192 \text{ m/s}^2$$

a

$$a_{z,m,max} = 1,640 \text{ m/s}^2.$$

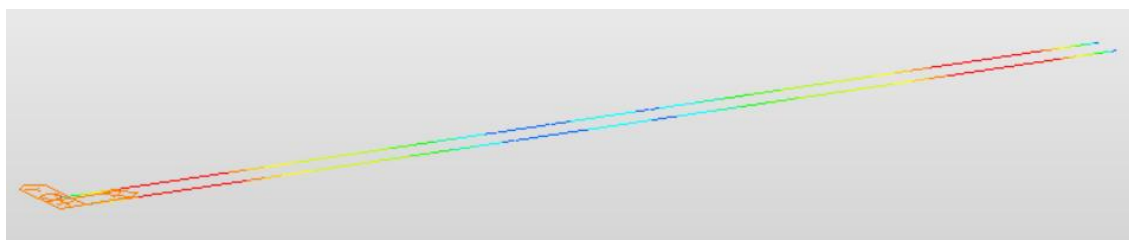
Platí

$$a_{y,m,max} = 0,192 \text{ m/s}^2 < a_{y,lim} = 0,20 \text{ m/s}^2$$

a

$$a_{z,m,max} = 1,640 \text{ m/s}^2 > a_{z,lim} = 1,00 \text{ m/s}^2.$$

Při posouzení třídy pohody chodců lávka ve vodorovném směru vyhovuje na normální třídu pohody. Při posouzení ve svislém směru lávka nevyhovuje. Na obr. 242 je červeně znázorněno, že mostovka takto nepřiměřeně kmitá v krajních polích. Rozebráním a řešením tohoto problému se zabývá kapitola 7.4.



Obr. 242: Znázornění částí mostovky dosahujících maximálního zrychlení a výkmitu při dynamickém zatížení s frekvencí 2,9938 Hz.

Maximálního vodorovného i svislého zrychlení u lan bylo dosaženo při přechodu chodců ve dvou řadách. Bylo zjištěno, že

$$a_{y,l,max} = 2,591 \text{ m/s}^2$$

a

$$a_{z,l,max} = 2,056 \text{ m/s}^2.$$

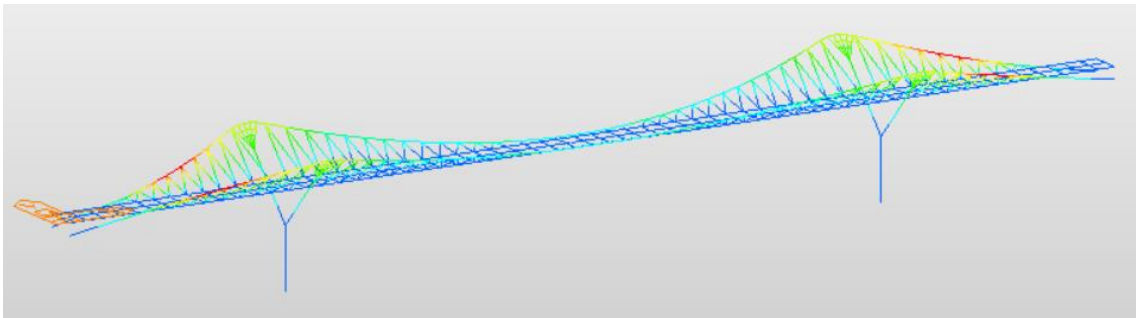
Výkmit byl při těchto maximálních zrychleních

$$y_{y,l,max} = 0,007 \text{ m}$$

a

$$y_{z,l,max} = 0,006 \text{ m}.$$

Takový výkmit lan byl z estetického hlediska vyhodnocen jako nepřijatelný. Na obr. 243 je červeně znázorněno, které části lávky takto nepřijatelně kmitají. Kapitola 7.4 se potom zabývá řešením nevyhovujících dynamických posudků.



Obr. 243: Znázornění částí lávky dosahujících maximálního zrychlení a výkmitu při dynamickém zatížení s frekvencí 2,9938 Hz.

7.3.6 Posouzení přechodu skupin chodců s frekvencí kroku 3,0309 Hz

ŘADA UPROSTŘED MOSTOVKY				
MAX. ZRYCHLENÍ	Max. zrychlení	Max. zrychlení	Max. zrychlení	Max. zrychlení
Počet chodců	lan ve směru Y	lan ve směru Z	mostovky ve směru Y	mostovky ve směru Z
	[m/s ²]	[m/s ²]	[m/s ²]	[m/s ²]
8	1.88028	1.51190	0.00081	1.15660
12	2.64337	2.10962	0.00113	1.64334
15	3.13905	2.49742	0.00135	1.96218
MAX. VÝKMIT	Max. výkmit	Max. výkmit	Max. výkmit	Max. výkmit
Počet chodců	lan ve směru Y	lan ve směru Z	mostovky ve směru Y	mostovky ve směru Z
	[m]	[m]	[m]	[m]
8	0.00508	0.00404	0.0000022	0.00318
12	0.00721	0.00572	0.0000031	0.00451
15	0.00860	0.00644	0.0000037	0.00538

Tab. 38: Max. zrychlení a výkmity při přechodu chodců v jedné řadě uprostřed mostovky s frekvencí kroku 3,0309 Hz.

ŘADA NA "LEVÉM" OKRAJI MOSTOVKY				
MAX. ZRYCHLENÍ	Max. zrychlení	Max. zrychlení	Max. zrychlení	Max. zrychlení
Počet chodců	lan ve směru Y	lan ve směru Z	mostovky ve směru Y	mostovky ve směru Z
	[m/s ²]	[m/s ²]	[m/s ²]	[m/s ²]
15	3.26328	2.63090	0.13991	2.05429
MAX. VÝKMIT	Max. výkmit	Max. výkmit	Max. výkmit	Max. výkmit
Počet chodců	lan ve směru Y	lan ve směru Z	mostovky ve směru Y	mostovky ve směru Z
	[m]	[m]	[m]	[m]
15	0.00830	0.00694	0.00035	0.00544

Tab. 39: Max. zrychlení a výkmity při přechodu chodců v jedné řadě na „pravém“ okraji mostovky s frekvencí kroku 3,0309 Hz.

2 ŘADY				
MAX. ZRYCHLENÍ	Max. zrychlení	Max. zrychlení	Max. zrychlení	Max. zrychlení
Počet chodců	lan ve směru Y	lan ve směru Z	mostovky ve směru Y	mostovky ve směru Z
	[m/s ²]	[m/s ²]	[m/s ²]	[m/s ²]
16	3.75477	3.01940	0.00162	2.30961
MAX. VÝKMIT	Max. výkmit	Max. výkmit	Max. výkmit	Max. výkmit
Počet chodců	lan ve směru Y	lan ve směru Z	mostovky ve směru Y	mostovky ve směru Z
	[m]	[m]	[m]	[m]
16	0.01114	0.00806	0.0000044	0.00634

Tab. 40: Max. zrychlení a výkmity při přechodu chodců ve dvou řadách s frekvencí kroku 3,0309 Hz.

3 ŘADY				
MAX. ZRYCHLENÍ	Max. zrychlení	Max. zrychlení	Max. zrychlení	Max. zrychlení
Počet chodců	lan ve směru Y	lan ve směru Z	mostovky ve směru Y	mostovky ve směru Z
	[m/s ²]	[m/s ²]	[m/s ²]	[m/s ²]
15	3.66890	2.97022	0.00158	2.23631
MAX. VÝKMIT	Max. výkmit	Max. výkmit	Max. výkmit	Max. výkmit
Počet chodců	lan ve směru Y	lan ve směru Z	mostovky ve směru Y	mostovky ve směru Z
	[m]	[m]	[m]	[m]
15	0.00982	0.00781	0.0000043	0.00614

Tab. 41: Max. zrychlení a výkmity při přechodu chodců ve třech řadách s frekvencí kroku 3,0309 Hz.

2 ŘADY "CIK CAK"				
MAX. ZRYCHLENÍ	Max. zrychlení	Max. zrychlení	Max. zrychlení	Max. zrychlení
Počet chodců	lan ve směru Y	lan ve směru Z	mostovky ve směru Y	mostovky ve směru Z
	[m/s ²]	[m/s ²]	[m/s ²]	[m/s ²]
16	3.29498	2.61851	0.00887	2.06238
MAX. VÝKMIT	Max. výkmit	Max. výkmit	Max. výkmit	Max. výkmit
Počet chodců	lan ve směru Y	lan ve směru Z	mostovky ve směru Y	mostovky ve směru Z
	[m]	[m]	[m]	[m]
16	0.00903	0.00714	0.0000212	0.00565

Tab. 42: Max. zrychlení a výkmity při přechodu chodců ve dvou řadách „cik cak“ s frekvencí kroku 3,0309 Hz.

Z tab. 38 až 42 lze vyčíst, že maximálního vodorovného zrychlení mostovky bylo dosaženo při přechodu chodců na kraji mostovky v řadě za sebou. Maximálního svislého zrychlení mostovky bylo dosaženo při přechodu chodců ve dvou řadách. Bylo tedy zjištěno, že

$$a_{y,m,max} = 0,120 \text{ m/s}^2$$

a

$$a_{z,m,max} = 2,310 \text{ m/s}^2.$$

Platí

$$a_{y,m,max} = 0,120 \text{ m/s}^2 < a_{y,lim} = 0,20 \text{ m/s}^2$$

a

$$a_{z,m,max} = 2,310 \text{ m/s}^2 > a_{z,lim} = 1,00 \text{ m/s}^2.$$

Při posouzení třídy pohody chodců lávka ve vodorovném směru vyhovuje na normální třídu pohody. Při posouzení ve svislém směru lávka nevyhovuje. Na obr. 244 je červeně znázorněno, že mostovka takto nepřiměřeně kmitá v krajních polích stejně jako v kapitole 7.3.5. Rozebráním a řešením tohoto problému se zabývá kapitola 7.4.



Obr. 244: Znázornění částí mostovky dosahujících maximálního zrychlení a výkmitu při dynamickém zatížení s frekvencí 3,0309 Hz.

Maximálního vodorovného i svislého zrychlení u lan bylo dosaženo při přechodu chodců ve dvou řadách za sebou. Bylo zjištěno, že

$$a_{y,l,max} = 3,755 \text{ m/s}^2$$

a

$$a_{z,l,max} = 3,019 \text{ m/s}^2.$$

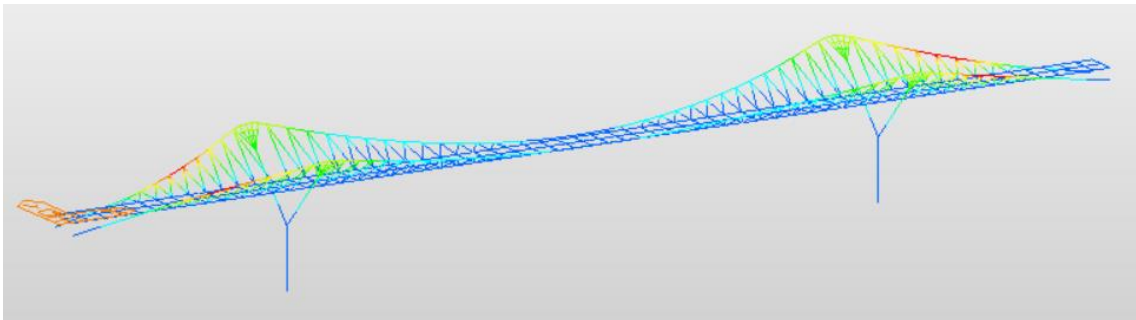
Výkmit byl při těchto maximálních zrychleních

$$y_{y,l,max} = 0,011 \text{ m}$$

a

$$y_{z,l,max} = 0,008 \text{ m}.$$

Takový výkmit lan byl z estetického hlediska vyhodnocen jako nepřijatelný. Na obr. 245 je červeně znázorněno, které části lávky takto nepřijatelně kmitají. Kapitola 7.4 se potom zabývá řešením nevyhovujících dynamických posudků.



Obr. 245: Znázornění částí lávky dosahujících maximálního zrychlení a výkmitu při dynamickém zatížení s frekvencí 3,0309 Hz.

7.3.7 Posouzení přechodu skupin chodců s frekvencí kroku 3,0552 Hz

ŘADA UPROSTŘED MOSTOVKY				
MAX. ZRYCHLENÍ	Max. zrychlení	Max. zrychlení	Max. zrychlení	Max. zrychlení
Počet chodců	lan ve směru Y	lan ve směru Z	mostovky ve směru Y	mostovky ve směru Z
	[m/s ²]	[m/s ²]	[m/s ²]	[m/s ²]
8	1.75127	1.46590	0.00072	1.03441
12	2.45205	2.03333	0.00102	1.45506
15	2.94152	2.40837	0.00121	1.75394
MAX. VÝKMIT	Max. výkmit	Max. výkmit	Max. výkmit	Max. výkmit
Počet chodců	lan ve směru Y	lan ve směru Z	mostovky ve směru Y	mostovky ve směru Z
	[m]	[m]	[m]	[m]
8	0.00489	0.00405	0.0000017	0.00286
12	0.00689	0.00566	0.0000027	0.00405
15	0.00808	0.00656	0.0000032	0.00481

Tab. 43: Max. zrychlení a výkmity při přechodu chodců v jedné řadě uprostřed mostovky s frekvencí kroku 3,0552 Hz.

ŘADA NA "LEVÉM" OKRAJI MOSTOVKY				
MAX. ZRYCHLENÍ	Max. zrychlení	Max. zrychlení	Max. zrychlení	Max. zrychlení
Počet chodců	lan ve směru Y	lan ve směru Z	mostovky ve směru Y	mostovky ve směru Z
	[m/s ²]	[m/s ²]	[m/s ²]	[m/s ²]
15	3.07739	2.49756	0.14094	1.83343
MAX. VÝKMIT	Max. výkmit	Max. výkmit	Max. výkmit	Max. výkmit
Počet chodců	lan ve směru Y	lan ve směru Z	mostovky ve směru Y	mostovky ve směru Z
	[m]	[m]	[m]	[m]
15	0.00839	0.00700	0.00047	0.00502

Tab. 44: Max. zrychlení a výkmity při přechodu chodců v jedné řadě na „levém“ okraji mostovky s frekvencí kroku 3,0552 Hz.

2 ŘADY				
MAX. ZRYCHLENÍ	Max. zrychlení	Max. zrychlení	Max. zrychlení	Max. zrychlení
Počet chodců	lan ve směru Y	lan ve směru Z	mostovky ve směru Y	mostovky ve směru Z
	[m/s ²]	[m/s ²]	[m/s ²]	[m/s ²]
16	3.49603	2.92754	0.00143	2.06471
MAX. VÝKMIT	Max. výkmit	Max. výkmit	Max. výkmit	Max. výkmit
Počet chodců	lan ve směru Y	lan ve směru Z	mostovky ve směru Y	mostovky ve směru Z
	[m]	[m]	[m]	[m]
16	0.01216	0.00808	0.0000039	0.00571

Tab. 45: Max. zrychlení a výkmity při přechodu chodců ve dvou řadách s frekvencí kroku 3,0552 Hz.

3 ŘADY				
MAX. ZRYCHLENÍ	Max. zrychlení	Max. zrychlení	Max. zrychlení	Max. zrychlení
Počet chodců	lan ve směru Y	lan ve směru Z	mostovky ve směru Y	mostovky ve směru Z
	[m/s ²]	[m/s ²]	[m/s ²]	[m/s ²]
15	3.40579	2.83836	0.00141	2.02325
MAX. VÝKMIT	Max. výkmit	Max. výkmit	Max. výkmit	Max. výkmit
Počet chodců	lan ve směru Y	lan ve směru Z	mostovky ve směru Y	mostovky ve směru Z
	[m]	[m]	[m]	[m]
15	0.00945	0.00786	0.0000037	0.00558

Tab. 46: Max. zrychlení a výkmity při přechodu chodců ve třech řadách s frekvencí kroku 3,0552 Hz.

2 ŘADY "CIK CAK"				
MAX. ZRYCHLENÍ	Max. zrychlení	Max. zrychlení	Max. zrychlení	Max. zrychlení
Počet chodců	lan ve směru Y	lan ve směru Z	mostovky ve směru Y	mostovky ve směru Z
	[m/s ²]	[m/s ²]	[m/s ²]	[m/s ²]
16	3.10259	2.53978	0.00711	1.85837
MAX. VÝKMIT	Max. výkmit	Max. výkmit	Max. výkmit	Max. výkmit
Počet chodců	lan ve směru Y	lan ve směru Z	mostovky ve směru Y	mostovky ve směru Z
	[m]	[m]	[m]	[m]
16	0.00847	0.00695	0.0000209	0.00505

Tab. 47: Max. zrychlení a výkmity při přechodu chodců ve dvou řadách „cik cak“ s frekvencí kroku 3,0552 Hz.

Z tab. 43 až 47 lze vyčíst, že maximálního vodorovného zrychlení mostovky bylo dosaženo při přechodu chodců na kraji mostovky v řadě za sebou. Maximálního svislého zrychlení mostovky bylo dosaženo při přechodu chodců ve dvou řadách. Bylo tedy zjištěno, že

$$a_{y,m,max} = 0,141 \text{ m/s}^2$$

a

$$a_{z,m,max} = 2,065 \text{ m/s}^2.$$

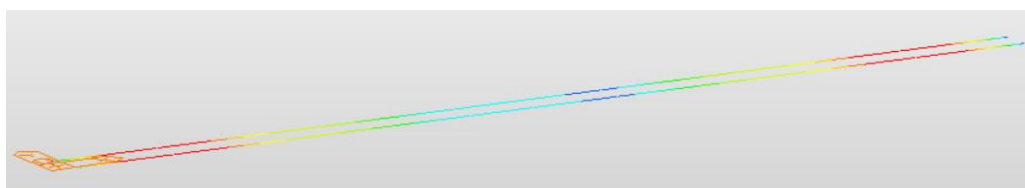
Platí

$$a_{y,m,max} = 0,141 \text{ m/s}^2 < a_{y,lim} = 0,20 \text{ m/s}^2$$

a

$$a_{z,m,max} = 2,065 \text{ m/s}^2 > a_{z,lim} = 1,00 \text{ m/s}^2.$$

Při posouzení třídy pohody chodců lávka ve vodorovném směru vyhovuje na normální třídu pohody. Při posouzení ve svislém směru lávka nevyhovuje. Na obr. 246 je červeně znázorněno, že mostovka takto opět nepřiměřeně kmitá v krajních polích stejně jako ve dvou předchozích kapitolách. Rozebráním a řešením tohoto problému se zabývá kapitola 7.4



Obr. 246: Znázornění částí mostovky dosahujících maximálního zrychlení a výkmitu při dynamickém zatížení s frekvencí 3,0552 Hz.

Maximálního vodorovného i svislého zrychlení u lan bylo dosaženo při přechodu chodců ve dvou řadách za sebou. Bylo zjištěno, že

$$a_{y,l,max} = 3,496 \text{ m/s}^2$$

a

$$a_{z,l,max} = 2,928 \text{ m/s}^2.$$

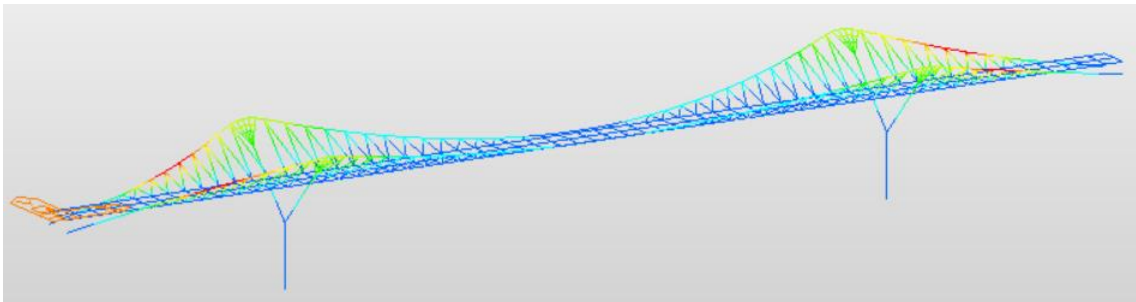
Výkmit byl při těchto maximálních zrychleních

$$y_{y,l,max} = 0,011 \text{ m}$$

a

$$y_{z,l,max} = 0,008 \text{ m}.$$

Takový výkmit lan byl z estetického hlediska vyhodnocen jako nepřijatelný. Na obr. 247 je červeně znázorněno, které části lávky takto nepřijatelně kmitají. Kapitola 7.4 se potom zabývá řešením nevyhovujících dynamických posudků.



Obr. 247: Znázornění částí lávky dosahujících maximálního zrychlení a výkmitu při dynamickém zatížení s frekvencí 3,0552 Hz.

7.3.8 Posouzení přechodu skupin chodců s frekvencí kroku 3,2284 Hz

ŘADA UPROSTŘED MOSTOVKY				
MAX. ZRYCHLENÍ	Max. zrychlení	Max. zrychlení	Max. zrychlení	Max. zrychlení
Počet chodců	lan ve směru Y	lan ve směru Z	mostovky ve směru Y	mostovky ve směru Z
	[m/s ²]	[m/s ²]	[m/s ²]	[m/s ²]
8	0.44418	1.25670	0.00019	0.27834
12	0.59754	1.65709	0.00024	0.37672
15	0.66871	1.83130	0.00027	0.41652
MAX. VÝKMIT	Max. výkmit	Max. výkmit	Max. výkmit	Max. výkmit
Počet chodců	lan ve směru Y	lan ve směru Z	mostovky ve směru Y	mostovky ve směru Z
	[m]	[m]	[m]	[m]
8	0.00108	0.00312	0.0000004	0.00071
12	0.00140	0.00409	0.0000006	0.00095
15	0.00156	0.00455	0.0000006	0.00104

Tab. 48: Max. zrychlení a výkmity při přechodu chodců v jedné řadě uprostřed mostovky s frekvencí kroku 3,2284 Hz.

ŘADA NA "LEVÉM" OKRAJI MOSTOVKY				
MAX. ZRYCHLENÍ	Max. zrychlení	Max. zrychlení	Max. zrychlení	Max. zrychlení
Počet chodců	lan ve směru Y	lan ve směru Z	mostovky ve směru Y	mostovky ve směru Z
	[m/s ²]	[m/s ²]	[m/s ²]	[m/s ²]
15	0.70166	1.85946	0.03342	0.43282
MAX. VÝKMIT	Max. výkmit	Max. výkmit	Max. výkmit	Max. výkmit
Počet chodců	lan ve směru Y	lan ve směru Z	mostovky ve směru Y	mostovky ve směru Z
	[m]	[m]	[m]	[m]
15	0.00164	0.00464	0.00009	0.00107

Tab. 49: Max. zrychlení a výkmity při přechodu chodců v jedné řadě na „levém“ okraji mostovky s frekvencí kroku 3,2284 Hz.

2 ŘADY				
MAX. ZRYCHLENÍ	Max. zrychlení	Max. zrychlení	Max. zrychlení	Max. zrychlení
Počet chodců	lan ve směru Y	lan ve směru Z	mostovky ve směru Y	mostovky ve směru Z
	[m/s ²]	[m/s ²]	[m/s ²]	[m/s ²]
16	0.89112	2.52352	0.00039	0.55848
MAX. VÝKMIT	Max. výkmit	Max. výkmit	Max. výkmit	Max. výkmit
Počet chodců	lan ve směru Y	lan ve směru Z	mostovky ve směru Y	mostovky ve směru Z
	[m]	[m]	[m]	[m]
16	0.00217	0.00627	0.0000009	0.00142

Tab. 50: Max. zrychlení a výkmity při přechodu chodců ve dvou řadách s frekvencí kroku 3,2284 Hz.

3 ŘADY				
MAX. ZRYCHLENÍ	Max. zrychlení	Max. zrychlení	Max. zrychlení	Max. zrychlení
Počet chodců	lan ve směru Y	lan ve směru Z	mostovky ve směru Y	mostovky ve směru Z
	[m/s ²]	[m/s ²]	[m/s ²]	[m/s ²]
15	0.87948	2.52924	0.00039	0.55642
MAX. VÝKMIT	Max. výkmit	Max. výkmit	Max. výkmit	Max. výkmit
Počet chodců	lan ve směru Y	lan ve směru Z	mostovky ve směru Y	mostovky ve směru Z
	[m]	[m]	[m]	[m]
15	0.00215	0.00528	0.0000009	0.00138

Tab. 51: Max. zrychlení a výkmity při přechodu chodců ve třech řadách s frekvencí kroku 3,2284 Hz.

2 ŘADY "CIK CAK"				
MAX. ZRYCHLENÍ	Max. zrychlení	Max. zrychlení	Max. zrychlení	Max. zrychlení
Počet chodců	lan ve směru Y	lan ve směru Z	mostovky ve směru Y	mostovky ve směru Z
	[m/s ²]	[m/s ²]	[m/s ²]	[m/s ²]
16	0.68066	1.87230	0.00192	0.43542
MAX. VÝKMIT	Max. výkmit	Max. výkmit	Max. výkmit	Max. výkmit
Počet chodců	lan ve směru Y	lan ve směru Z	mostovky ve směru Y	mostovky ve směru Z
	[m]	[m]	[m]	[m]
16	0.00159	0.00460	0.0000045	0.00109

Tab. 52: Max. zrychlení a výkmity při přechodu chodců ve dvou řadách „cik cak“ s frekvencí kroku 3,2284 Hz.

Z tab. 48 až 52 lze vyčíst, že maximálního vodorovného zrychlení mostovky bylo dosaženo při přechodu chodců na kraji mostovky v řadě za sebou. Maximálního svislého zrychlení mostovky bylo dosaženo při přechodu chodců ve dvou řadách. Bylo tedy zjištěno, že

$$a_{y,m,max} = 0,033 \text{ m/s}^2$$

a

$$a_{z,m,max} = 0,558 \text{ m/s}^2.$$

Platí

$$a_{y,m,max} = 0,033 \text{ m/s}^2 < a_{y,lim} = 0,10 \text{ m/s}^2$$

a

$$a_{z,m,max} = 0,558 \text{ m/s}^2 < a_{z,lim} = 0,70 \text{ m/s}^2.$$

V tomto případě tedy při posouzení třídy pohody chodců lávka vyhovuje ve vodorovném směru na vysokou pohodu a ve svislém směru na normální třídu pohody chodců.

Maximálního vodorovného zrychlení u lan bylo dosaženo při přechodu chodců ve dvou řadách za sebou. Svislého zrychlení u lan bylo dosaženo při přechodu chodců ve třech řadách za sebou. Bylo zjištěno, že

$$a_{y,l,max} = 0,891 \text{ m/s}^2$$

a

$$a_{z,l,max} = 2,529 \text{ m/s}^2.$$

Výkmit byl při těchto maximálních zrychleních

$$y_{y,l,max} = 0,002 \text{ m}$$

a

$$y_{z,l,max} = 0,005 \text{ m}.$$

Takový výkmit lan byl z estetického hlediska vyhodnocen jako přípustný.

7.3.9 Posouzení přechodu skupin chodců s frekvencí kroku 3,4524 Hz

ŘADA UPROSTŘED MOSTOVKY				
MAX. ZRYCHLENÍ	Max. zrychlení	Max. zrychlení	Max. zrychlení	Max. zrychlení
Počet chodců	lan ve směru Y	lan ve směru Z	mostovky ve směru Y	mostovky ve směru Z
	[m/s ²]	[m/s ²]	[m/s ²]	[m/s ²]
8	0.20356	0.51764	0.00012	0.11565
12	0.22313	0.53368	0.00013	0.12112
15	0.22401	0.54826	0.00014	0.13500
MAX. VÝKMIT	Max. výkmit	Max. výkmit	Max. výkmit	Max. výkmit
Počet chodců	lan ve směru Y	lan ve směru Z	mostovky ve směru Y	mostovky ve směru Z
	[m]	[m]	[m]	[m]
8	0.00041	0.00068	0.0000001	0.00020
12	0.00049	0.00082	0.0000001	0.00028
15	0.00054	0.00089	0.0000001	0.00030

Tab. 53: Max. zrychlení a výkmity při přechodu chodců v jedné řadě uprostřed mostovky s frekvencí kroku 3,4524 Hz.

ŘADA NA "LEVÉM" OKRAJI MOSTOVKY				
MAX. ZRYCHLENÍ	Max. zrychlení	Max. zrychlení	Max. zrychlení	Max. zrychlení
Počet chodců	lan ve směru Y	lan ve směru Z	mostovky ve směru Y	mostovky ve směru Z
	[m/s ²]	[m/s ²]	[m/s ²]	[m/s ²]
15	0.73927	0.80957	0.07105	0.31451
MAX. VÝKMIT	Max. výkmit	Max. výkmit	Max. výkmit	Max. výkmit
Počet chodců	lan ve směru Y	lan ve směru Z	mostovky ve směru Y	mostovky ve směru Z
	[m]	[m]	[m]	[m]
15	0.00155	0.00172	0.00018	0.00084

Tab. 54: Max. zrychlení a výkmity při přechodu chodců v jedné řadě na „levém“ okraji mostovky s frekvencí kroku 3,4524 Hz.

2 ŘADY				
MAX. ZRYCHLENÍ	Max. zrychlení	Max. zrychlení	Max. zrychlení	Max. zrychlení
Počet chodců	lan ve směru Y	lan ve směru Z	mostovky ve směru Y	mostovky ve směru Z
	[m/s ²]	[m/s ²]	[m/s ²]	[m/s ²]
16	0.41676	1.04703	0.00034	0.23377
MAX. VÝKMIT	Max. výkmit	Max. výkmit	Max. výkmit	Max. výkmit
Počet chodců	lan ve směru Y	lan ve směru Z	mostovky ve směru Y	mostovky ve směru Z
	[m]	[m]	[m]	[m]
16	0.00084	0.00136	0.0000003	0.00043

Tab. 55: Max. zrychlení a výkmity při přechodu chodců ve dvou řadách s frekvencí kroku 3,4524 Hz.

3 ŘADY				
MAX. ZRYCHLENÍ	Max. zrychlení	Max. zrychlení	Max. zrychlení	Max. zrychlení
Počet chodců	lan ve směru Y	lan ve směru Z	mostovky ve směru Y	mostovky ve směru Z
	[m/s ²]	[m/s ²]	[m/s ²]	[m/s ²]
15	0.46190	1.11549	0.00037	0.24027
MAX. VÝKMIT	Max. výkmit	Max. výkmit	Max. výkmit	Max. výkmit
Počet chodců	lan ve směru Y	lan ve směru Z	mostovky ve směru Y	mostovky ve směru Z
	[m]	[m]	[m]	[m]
15	0.00089	0.00147	0.0000003	0.00048

Tab. 56: Max. zrychlení a výkmity při přechodu chodců ve třech řadách s frekvencí kroku 3,4524 Hz.

2 ŘADY "CIK CAK"				
MAX. ZRYCHLENÍ	Max. zrychlení	Max. zrychlení	Max. zrychlení	Max. zrychlení
Počet chodců	lan ve směru Y	lan ve směru Z	mostovky ve směru Y	mostovky ve směru Z
	[m/s ²]	[m/s ²]	[m/s ²]	[m/s ²]
16	0.23222	0.43283	0.00431	0.14468
MAX. VÝKMIT	Max. výkmit	Max. výkmit	Max. výkmit	Max. výkmit
Počet chodců	lan ve směru Y	lan ve směru Z	mostovky ve směru Y	mostovky ve směru Z
	[m]	[m]	[m]	[m]
16	0.00057	0.00094	0.0000100	0.00032

Tab. 57: Max. zrychlení a výkmity při přechodu chodců ve dvou řadách „cik cak“ s frekvencí kroku 3,4524 Hz.

Z tab. 53 až 57 lze vyčíst, že maximálního vodorovného i svislého zrychlení mostovky bylo dosaženo při přechodu chodců na kraji mostovky v řadě za sebou. Bylo tedy zjištěno, že

$$a_{y,m,max} = 0,071 \text{ m/s}^2$$

a

$$a_{z,m,max} = 0,315 \text{ m/s}^2.$$

Platí

$$a_{y,m,max} = 0,071 \text{ m/s}^2 < a_{y,lim} = 0,10 \text{ m/s}^2$$

a

$$a_{z,m,max} = 0,315 \text{ m/s}^2 < a_{z,lim} = 0,50 \text{ m/s}^2.$$

V tomto případě tedy při posouzení třídy pohody chodců lávka vyhovuje ve vodorovném i svislém směru na vysokou třídu pohody chodců.

Maximálního vodorovného zrychlení u lan bylo dosaženo při přechodu chodců na kraji mostovky v řadě za sebou. Svislého zrychlení u lan bylo dosaženo při přechodu chodců ve třech řadách za sebou. Bylo zjištěno, že

$$a_{y,l,max} = 0,739 \text{ m/s}^2$$

a

$$a_{z,l,max} = 1,115 \text{ m/s}^2.$$

Výkmit byl při těchto maximálních zrychleních

$$y_{y,l,max} = 0,002 \text{ m}$$

a

$$y_{z,l,max} = 0,001 \text{ m}.$$

Takový výkmit lan byl z estetického hlediska vyhodnocen jako přípustný.

7.3.10 Posouzení přechodu skupin chodců s frekvencí kroku 3,7235 Hz

ŘADA UPROSTŘED MOSTOVKY				
MAX. ZRYCHLENÍ	Max. zrychlení	Max. zrychlení	Max. zrychlení	Max. zrychlení
Počet chodců	lan ve směru Y	lan ve směru Z	mostovky ve směru Y	mostovky ve směru Z
	[m/s ²]	[m/s ²]	[m/s ²]	[m/s ²]
8	0.09644	0.14508	0.00003	0.03452
12	0.08164	0.12361	0.00003	0.04050
15	0.07538	0.12129	0.00003	0.04022
MAX. VÝKMIT	Max. výkmit	Max. výkmit	Max. výkmit	Max. výkmit
Počet chodců	lan ve směru Y	lan ve směru Z	mostovky ve směru Y	mostovky ve směru Z
	[m]	[m]	[m]	[m]
8	0.00030	0.00046	0.0000001	0.00016
12	0.00030	0.00045	0.0000001	0.00021
15	0.00029	0.00043	0.0000001	0.00023

Tab. 58: Max. zrychlení a výkmity při přechodu chodců v jedné řadě uprostřed mostovky s frekvencí kroku 3,7235 Hz.

ŘADA NA "LÉVÉM" OKRAJI MOSTOVKY				
MAX. ZRYCHLENÍ	Max. zrychlení	Max. zrychlení	Max. zrychlení	Max. zrychlení
Počet chodců	lan ve směru Y	lan ve směru Z	mostovky ve směru Y	mostovky ve směru Z
	[m/s ²]	[m/s ²]	[m/s ²]	[m/s ²]
15	0.12115	0.19008	0.03502	0.05496
MAX. VÝKMIT	Max. výkmit	Max. výkmit	Max. výkmit	Max. výkmit
Počet chodců	lan ve směru Y	lan ve směru Z	mostovky ve směru Y	mostovky ve směru Z
	[m]	[m]	[m]	[m]
15	0.00047	0.00072	0.00014	0.00029

Tab. 59: Max. zrychlení a výkmity při přechodu chodců v jedné řadě na „levém“ okraji mostovky s frekvencí kroku 3,7235 Hz.

2 ŘADY				
MAX. ZRYCHLENÍ	Max. zrychlení	Max. zrychlení	Max. zrychlení	Max. zrychlení
Počet chodců	lan ve směru Y	lan ve směru Z	mostovky ve směru Y	mostovky ve směru Z
	[m/s ²]	[m/s ²]	[m/s ²]	[m/s ²]
16	0.19713	0.29655	0.00005	0.06964
MAX. VÝKMIT	Max. výkmit	Max. výkmit	Max. výkmit	Max. výkmit
Počet chodců	lan ve směru Y	lan ve směru Z	mostovky ve směru Y	mostovky ve směru Z
	[m]	[m]	[m]	[m]
16	0.00062	0.00094	0.0000001	0.00032

Tab. 60: Max. zrychlení a výkmity při přechodu chodců ve dvou řadách s frekvencí kroku 3,7235 Hz.

3 ŘADY				
MAX. ZRYCHLENÍ	Max. zrychlení	Max. zrychlení	Max. zrychlení	Max. zrychlení
Počet chodců	lan ve směru Y	lan ve směru Z	mostovky ve směru Y	mostovky ve směru Z
	[m/s ²]	[m/s ²]	[m/s ²]	[m/s ²]
15	0.23564	0.37110	0.00006	0.06933
MAX. VÝKMIT	Max. výkmit	Max. výkmit	Max. výkmit	Max. výkmit
Počet chodců	lan ve směru Y	lan ve směru Z	mostovky ve směru Y	mostovky ve směru Z
	[m]	[m]	[m]	[m]
15	0.00068	0.00103	0.0000001	0.00031

Tab. 61: Max. zrychlení a výkmity při přechodu chodců ve třech řadách s frekvencí kroku 3,7235 Hz.

2 ŘADY "CIK CAK"				
MAX. ZRYCHLENÍ	Max. zrychlení	Max. zrychlení	Max. zrychlení	Max. zrychlení
Počet chodců	lan ve směru Y	lan ve směru Z	mostovky ve směru Y	mostovky ve směru Z
	[m/s ²]	[m/s ²]	[m/s ²]	[m/s ²]
16	0.08176	0.12782	0.00228	0.04103
MAX. VÝKMIT	Max. výkmit	Max. výkmit	Max. výkmit	Max. výkmit
Počet chodců	lan ve směru Y	lan ve směru Z	mostovky ve směru Y	mostovky ve směru Z
	[m]	[m]	[m]	[m]
16	0.00031	0.00045	0.0000078	0.00023

Tab. 62: Max. zrychlení a výkmity při přechodu chodců ve dvou řadách „cik cak“ s frekvencí kroku 3,7235 Hz.

Z tab. 58 až 62 lze vyčíst, že maximálního vodorovného zrychlení mostovky bylo dosaženo při přechodu chodců na kraji mostovky v řadě za sebou. Svislého maximálního zrychlení mostovky bylo dosaženo při přechodu chodců ve dvou řadách za sebou. Bylo tedy zjištěno, že

$$a_{y,m,max} = 0,035 \text{ m/s}^2$$

a

$$a_{z,m,max} = 0,070 \text{ m/s}^2.$$

Platí

$$a_{y,m,max} = 0,035 \text{ m/s}^2 < a_{y,lim} = 0,10 \text{ m/s}^2$$

a

$$a_{z,m,max} = 0,070 \text{ m/s}^2 < a_{z,lim} = 0,50 \text{ m/s}^2.$$

V tomto případě tedy při posouzení třídy pohody chodců lávka vyhovuje ve vodorovném i svislém směru na vysokou třídu pohody chodců.

Maximálního vodorovného i svislého zrychlení u lan bylo dosaženo při přechodu chodců ve třech řadách za sebou. Bylo zjištěno, že

$$a_{y,l,max} = 0,236 \text{ m/s}^2$$

a

$$a_{z,l,max} = 0,371 \text{ m/s}^2.$$

Výkmit byl při těchto maximálních zrychleních

$$y_{y,l,max} = 0,001 \text{ m}$$

a

$$y_{z,l,max} = 0,001 \text{ m}.$$

Takový výkmit lan byl z estetického hlediska vyhodnocen jako přípustný.

7.3.11 Posouzení přechodu skupin chodců s frekvencí kroku 4,5214 Hz

ŘADA UPROSTŘED MOSTOVKY				
MAX. ZRYCHLENÍ	Max. zrychlení	Max. zrychlení	Max. zrychlení	Max. zrychlení
Počet chodců	lan ve směru Y	lan ve směru Z	mostovky ve směru Y	mostovky ve směru Z
	[m/s ²]	[m/s ²]	[m/s ²]	[m/s ²]
8	0.40222	0.61693	0.00025	0.21555
12	0.50571	0.76802	0.00030	0.28533
15	0.57546	0.86815	0.00032	0.31434
MAX. VÝKMIT	Max. výkmit	Max. výkmit	Max. výkmit	Max. výkmit
Počet chodců	lan ve směru Y	lan ve směru Z	mostovky ve směru Y	mostovky ve směru Z
	[m]	[m]	[m]	[m]
8	0.00050	0.00076	0.0000003	0.00035
12	0.00061	0.00095	0.0000004	0.00050
15	0.00072	0.00107	0.0000004	0.00053

Tab. 63: Max. zrychlení a výkmity při přechodu chodců v jedné řadě uprostřed mostovky s frekvencí kroku 4,5214 Hz.

ŘADA NA "LEVÉM" OKRAJI MOSTOVKY				
MAX. ZRYCHLENÍ	Max. zrychlení	Max. zrychlení	Max. zrychlení	Max. zrychlení
Počet chodců	lan ve směru Y	lan ve směru Z	mostovky ve směru Y	mostovky ve směru Z
	[m/s ²]	[m/s ²]	[m/s ²]	[m/s ²]
15	0.94115	1.34832	0.09410	0.42381
MAX. VÝKMIT	Max. výkmit	Max. výkmit	Max. výkmit	Max. výkmit
Počet chodců	lan ve směru Y	lan ve směru Z	mostovky ve směru Y	mostovky ve směru Z
	[m]	[m]	[m]	[m]
15	0.00126	0.00169	0.00017	0.00074

Tab. 64: Max. zrychlení a výkmity při přechodu chodců v jedné řadě na „levém“ okraji mostovky s frekvencí kroku 4,5214 Hz.

2 ŘADY				
MAX. ZRYCHLENÍ	Max. zrychlení	Max. zrychlení	Max. zrychlení	Max. zrychlení
Počet chodců	lan ve směru Y	lan ve směru Z	mostovky ve směru Y	mostovky ve směru Z
	[m/s ²]	[m/s ²]	[m/s ²]	[m/s ²]
16	0.81723	1.25375	0.00049	0.43421
MAX. VÝKMIT	Max. výkmit	Max. výkmit	Max. výkmit	Max. výkmit
Počet chodců	lan ve směru Y	lan ve směru Z	mostovky ve směru Y	mostovky ve směru Z
	[m]	[m]	[m]	[m]
16	0.00101	0.00155	0.0000005	0.00071

Tab. 65: Max. zrychlení a výkmity při přechodu chodců ve dvou řadách s frekvencí kroku 4,5214 Hz.

3 ŘADY				
MAX. ZRYCHLENÍ	Max. zrychlení	Max. zrychlení	Max. zrychlení	Max. zrychlení
Počet chodců	lan ve směru Y	lan ve směru Z	mostovky ve směru Y	mostovky ve směru Z
	[m/s ²]	[m/s ²]	[m/s ²]	[m/s ²]
15	0.85199	1.31658	0.00052	0.45261
MAX. VÝKMIT	Max. výkmit	Max. výkmit	Max. výkmit	Max. výkmit
Počet chodců	lan ve směru Y	lan ve směru Z	mostovky ve směru Y	mostovky ve směru Z
	[m]	[m]	[m]	[m]
15	0.00102	0.00159	0.0000006	0.00074

Tab. 66: Max. zrychlení a výkmity při přechodu chodců ve třech řadách s frekvencí kroku 4,5214 Hz.

2 ŘADY "CIK CAK"				
MAX. ZRYCHLENÍ	Max. zrychlení	Max. zrychlení	Max. zrychlení	Max. zrychlení
Počet chodců	lan ve směru Y	lan ve směru Z	mostovky ve směru Y	mostovky ve směru Z
	[m/s ²]	[m/s ²]	[m/s ²]	[m/s ²]
16	0.59895	0.88965	0.00807	0.32484
MAX. VÝKMIT	Max. výkmit	Max. výkmit	Max. výkmit	Max. výkmit
Počet chodců	lan ve směru Y	lan ve směru Z	mostovky ve směru Y	mostovky ve směru Z
	[m]	[m]	[m]	[m]
16	0.00076	0.00113	0.0000122	0.00056

Tab. 67: Max. zrychlení a výkmity při přechodu chodců ve dvou řadách „cik cak“ s frekvencí kroku 4,5214 Hz.

Z tab. 63 až 67 lze vyčíst, že maximálního vodorovného zrychlení mostovky bylo dosaženo při přechodu chodců na kraji mostovky v řadě za sebou. Svislého maximálního zrychlení mostovky bylo dosaženo při přechodu chodců ve třech řadách za sebou. Bylo tedy zjištěno, že

$$a_{y,m,max} = 0,094 \text{ m/s}^2$$

a

$$a_{z,m,max} = 0,453 \text{ m/s}^2.$$

Platí

$$a_{y,m,max} = 0,094 \text{ m/s}^2 < a_{y,lim} = 0,10 \text{ m/s}^2$$

a

$$a_{z,m,max} = 0,453 \text{ m/s}^2 < a_{z,lim} = 0,50 \text{ m/s}^2.$$

V tomto případě tedy při posouzení třídy pohody chodců lávka vyhovuje ve vodorovném i svislém směru na vysokou třídu pohody chodců.

Maximálního vodorovného i svislého zrychlení u lan bylo dosaženo při přechodu chodců na kraji mostovky v řadě za sebou. Bylo zjištěno, že

$$a_{y,l,max} = 0,941 \text{ m/s}^2$$

a

$$a_{z,l,max} = 1,348 \text{ m/s}^2.$$

Výkmit byl při těchto maximálních zrychleních

$$y_{y,l,max} = 0,001 \text{ m}$$

a

$$y_{z,l,max} = 0,002 \text{ m}.$$

Takový výkmit lan byl z estetického hlediska vyhodnocen jako přípustný.

7.3.12 Posouzení přechodu skupin chodců s frekvencí kroku 4,5979 Hz

ŘADA UPROSTŘED MOSTOVKY				
MAX. ZRYCHLENÍ	Max. zrychlení	Max. zrychlení	Max. zrychlení	Max. zrychlení
Počet chodců	lan ve směru Y	lan ve směru Z	mostovky ve směru Y	mostovky ve směru Z
	[m/s ²]	[m/s ²]	[m/s ²]	[m/s ²]
8	0.46948	0.83840	0.00036	0.33062
12	0.63853	1.06404	0.00042	0.39474
15	0.74452	1.19143	0.00042	0.39652
MAX. VÝKMIT	Max. výkmit	Max. výkmit	Max. výkmit	Max. výkmit
Počet chodců	lan ve směru Y	lan ve směru Z	mostovky ve směru Y	mostovky ve směru Z
	[m]	[m]	[m]	[m]
8	0.00060	0.00109	0.0000005	0.00058
12	0.00079	0.00140	0.0000005	0.00066
15	0.00091	0.00152	0.0000005	0.00070

Tab. 68: Max. zrychlení a výkmity při přechodu chodců v jedné řadě uprostřed mostovky s frekvencí kroku 4,5979 Hz.

ŘADA NA "LEVÉM" OKRAJI MOSTOVKY				
MAX. ZRYCHLENÍ	Max. zrychlení	Max. zrychlení	Max. zrychlení	Max. zrychlení
Počet chodců	lan ve směru Y	lan ve směru Z	mostovky ve směru Y	mostovky ve směru Z
	[m/s ²]	[m/s ²]	[m/s ²]	[m/s ²]
15	1.34100	1.90819	0.11054	0.61046
MAX. VÝKMIT	Max. výkmit	Max. výkmit	Max. výkmit	Max. výkmit
Počet chodců	lan ve směru Y	lan ve směru Z	mostovky ve směru Y	mostovky ve směru Z
	[m]	[m]	[m]	[m]
15	0.00162	0.00236	0.00024	0.00102

Tab. 69: Max. zrychlení a výkmity při přechodu chodců v jedné řadě na „levém“ okraji mostovky s frekvencí kroku 4,5979 Hz.

2 ŘADY				
MAX. ZRYCHLENÍ	Max. zrychlení	Max. zrychlení	Max. zrychlení	Max. zrychlení
Počet chodců	lan ve směru Y	lan ve směru Z	mostovky ve směru Y	mostovky ve směru Z
	[m/s ²]	[m/s ²]	[m/s ²]	[m/s ²]
16	0.95046	1.69206	0.00073	0.66675
MAX. VÝKMIT	Max. výkmit	Max. výkmit	Max. výkmit	Max. výkmit
Počet chodců	lan ve směru Y	lan ve směru Z	mostovky ve směru Y	mostovky ve směru Z
	[m]	[m]	[m]	[m]

Tab. 70: Max. zrychlení a výkmity při přechodu chodců ve dvou řadách s frekvencí kroku 4,5979 Hz.

3 ŘADY				
MAX. ZRYCHLENÍ	Max. zrychlení	Max. zrychlení	Max. zrychlení	Max. zrychlení
Počet chodců	lan ve směru Y	lan ve směru Z	mostovky ve směru Y	mostovky ve směru Z
	[m/s ²]	[m/s ²]	[m/s ²]	[m/s ²]
15	0.95685	1.76704	0.00076	0.73665
MAX. VÝKMIT	Max. výkmit	Max. výkmit	Max. výkmit	Max. výkmit
Počet chodců	lan ve směru Y	lan ve směru Z	mostovky ve směru Y	mostovky ve směru Z
	[m]	[m]	[m]	[m]
15	0.00123	0.00222	0.0000010	0.00125

Tab. 71: Max. zrychlení a výkmity při přechodu chodců ve třech řadách s frekvencí kroku 4,5979 Hz.

2 ŘADY "CIK CAK"				
MAX. ZRYCHLENÍ	Max. zrychlení	Max. zrychlení	Max. zrychlení	Max. zrychlení
Počet chodců	lan ve směru Y	lan ve směru Z	mostovky ve směru Y	mostovky ve směru Z
	[m/s ²]	[m/s ²]	[m/s ²]	[m/s ²]
16	0.79926	1.28035	0.00090	0.40173
MAX. VÝKMIT	Max. výkmit	Max. výkmit	Max. výkmit	Max. výkmit
Počet chodců	lan ve směru Y	lan ve směru Z	mostovky ve směru Y	mostovky ve směru Z
	[m]	[m]	[m]	[m]
16	0.00098	0.00159	0.0000163	0.00070

Tab. 72: Max. zrychlení a výkmity při přechodu chodců ve dvou řadách „cik cak“ s frekvencí kroku 4,5979 Hz.

Z tab. 68 až 72 lze vyčíst, že maximálního vodorovného zrychlení mostovky bylo dosaženo při přechodu chodců na kraji mostovky v řadě za sebou. Svislého maximálního zrychlení mostovky bylo dosaženo při přechodu chodců ve třech řadách za sebou. Bylo tedy zjištěno, že

$$a_{y,m,max} = 0,111 \text{ m/s}^2$$

a

$$a_{z,m,max} = 0,737 \text{ m/s}^2.$$

Platí

$$a_{y,m,max} = 0,111 \text{ m/s}^2 < a_{y,lim} = 0,20 \text{ m/s}^2$$

a

$$a_{z,m,max} = 0,737 \text{ m/s}^2 < a_{z,lim} = 1,00 \text{ m/s}^2.$$

V tomto případě tedy při posouzení třídy pohody chodců lávka vyhovuje ve vodorovném směru na normální třídu pohody chodců a ve svislém směru na nízkou třídu pohody chodců.

Maximálního vodorovného i svislého zrychlení u lan bylo dosaženo při přechodu chodců na kraji mostovky v řadě za sebou. Bylo zjištěno, že

$$a_{y,l,max} = 1,341 \text{ m/s}^2$$

a

$$a_{z,l,max} = 1,908 \text{ m/s}^2.$$

Výkmit byl při těchto maximálních zrychleních

$$y_{y,l,max} = 0,002 \text{ m}$$

a

$$y_{z,l,max} = 0,002 \text{ m}.$$

Takový výkmit lan byl z estetického hlediska vyhodnocen jako přípustný.

7.4 Souhrn nevyhovujících dynamických posouzení a návrh jejich řešení

V přecházející kapitole (7.3) byly zjištěny případy, při kterých dynamické posouzení nevyhovovalo mezním hodnotám. Tyto situace se dají zjednodušit do těchto bodů:

- nepřiměřené kmitání lan,
- kroucení mostovky,
- svislé kmitání krajních polí mostovky.

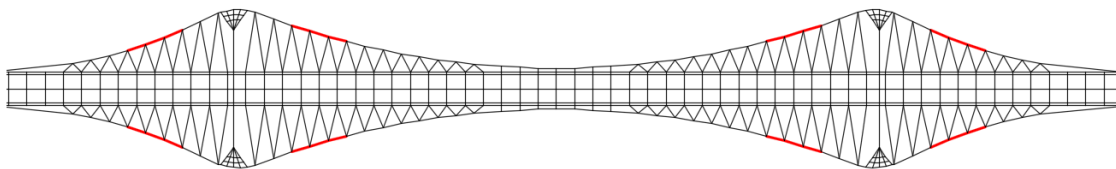
V tab. 73 je znázorněno, při kterých frekvencích nevyhovoval posudek a jaký byl problém v daném případě. Návrhem řešení těchto problémů se zabývají kapitoly 7.4.1, 7.4.2 a 7.4.3.

Kapitola posudku	Pořadí vlastního tvaru	Vlastní frekvence [Hz]	Problém		
			Kmitání lan	Kroucení mostovky	Svislé kmitání krajních polí mostovky
7.3.1	7	1.4618	NEVYHOVUJE	VYHOVUJE	VYHOVUJE
7.3.2	8	2.1081	NEVYHOVUJE	VYHOVUJE	VYHOVUJE
7.3.3	9	2.2368	NEVYHOVUJE	NEVYHOVUJE	VYHOVUJE
7.3.4	11	2.7049	NEVYHOVUJE	VYHOVUJE	VYHOVUJE
7.3.5	12	2.9938	NEVYHOVUJE	VYHOVUJE	NEVYHOVUJE
7.3.6	13	3.0309	NEVYHOVUJE	VYHOVUJE	NEVYHOVUJE
7.3.7	14	3.0552	NEVYHOVUJE	VYHOVUJE	NEVYHOVUJE
7.3.8	16	3.2284	VYHOVUJE	VYHOVUJE	VYHOVUJE
7.3.9	17	3.4524	VYHOVUJE	VYHOVUJE	VYHOVUJE
7.3.10	20	3.7235	VYHOVUJE	VYHOVUJE	VYHOVUJE
7.3.11	32	4.5214	VYHOVUJE	VYHOVUJE	VYHOVUJE
7.3.12	22	4.5979	VYHOVUJE	VYHOVUJE	VYHOVUJE

Tab. 73: Přehled dynamického posouzení.

7.4.1 Nepřiměřené kmitání lan

Nadměrná odezva visutých lan při dynamickém zatížení vznikala celkem na osmi místech na konstrukci. Části s největším výkmitem lan jsou vyznačeny na obr. 248.



Obr. 248: Znárodnění maximálního výkmitu lan. (půdorys)

První možné vysvětlení této nadměrné odezvy je nepřesnost výpočtu v programu Midas Civil z hlediska poměrného útlumu. V tomto programu jde zadat pouze jednotný poměrný útlum pro celou konstrukci. Jak je popsáno v kapitole 7.2.2, tento útlum byl zvolen

$$b_r = 0,006.$$

V praxi má každá část mostu jiný útlum, tudíž bylo shledáno jako pravděpodobné, že by se lana při dynamickém zatížení sama tlumila a k vypočteným nadměrným odezvám by nedocházelo. Jelikož tuto domněnku nebylo možné na výpočetním modelu ověřit, bylo nutné navrhnout řešení této nadměrné odezvy.

Jako první a nejjednodušší řešení se nabízelo větší napnutí nosného lana. Tímto by se konstrukce více stabilizovala a docházelo by k menšímu kmitání. Pro ověření, zda je toto řešení účinné a reálné, byla vybrána frekvence, kdy byl výkmit lan největší, tj. 1,4618 Hz. Síla, kterou bylo vnesené napětí do nosných lan, byla zvýšena o 500 kN. Na takovéto konstrukci byla provedena analýza dynamické odezvy při přechodu 16 chodců ve dvou řadách za sebou. Bylo zjištěno, že změna maximálních výkmitů je v řádech pouze desetin milimetrů. Vzhledem k tomu, že by zvýšení předpínací síly zvýšilo také napětí v kritických místech statického výpočtu a bylo by pravděpodobně nutné zvětšit průřez lana, byl tento způsob řešení vyhodnocen jako nevhodný.

Jako druhé řešení bylo zvoleno větší napětí závěsů, které byly, co se týče statického výpočtu, navrženy pro provozní fázi jako předdimenzované, aby vyhověly ve fázích výstavby. Změna výkmitů však byla stejně jako u předchozího řešení minimální z toho důvodu, že lana při dynamickém zatížení kmitají v rovině kolmé na závěsy a jejich napětí

tedy nemá výrazný vliv na kmitání. Tento způsob řešení byl tedy také posouzen jako nevhodný.

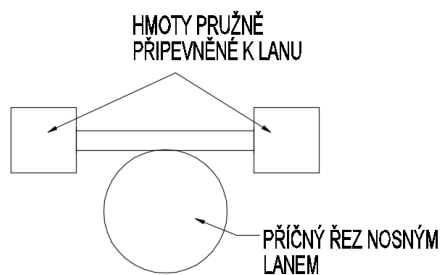
Jako třetí možné řešení bylo navrženo instalování hydraulických tlumičů na několik míst mezi lana a mostovku. Toto řešení nebylo v rámci této diplomové práce počítáno a ověřováno. Příklad takového řešení je znázorněn na obr. 249, kde byly tyto hydraulické tlumiče použity na zvýšení útlumu na mostě Millenium Bridge v Londýně.



Obr. 249: Detail hydraulických tlumičů na mostě Millenium Bridge v Londýně.

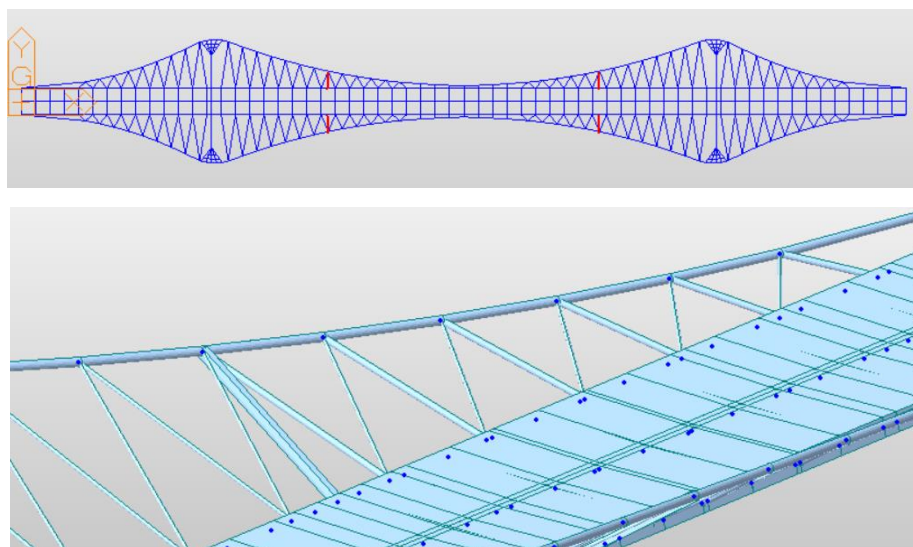
Toto třetí řešení bylo vyhodnoceno jako pravděpodobně účinné. Jeho velkou nevýhodou jsou však náklady na provoz, údržbu a případné opravy těchto tlumičů. Další nevýhodou je estetické narušení konstrukce.

Čtvrtým návrhem řešení bylo umístění pohlcovačů kmitání na nosná lana v pravidelných intervalech. Taková zařízení by tvořila hmota dvou závaží, která by byla pružně připojena k lanu pomocí silného ohebného lana. Při vhodném návrhu takto připojené hmoty by bylo možné dosáhnout toho, že by byla snížena amplituda lana, protože by se energie vnášená do lana projevovala převážně pohybem přidané hmoty. Schéma fungování takového pohlcovače je znázorněné na obr. 250. Tímto návrhem se výpočet v rámci této diplomové práce nezabýval. Nevýhody tohoto řešení jsou stejné jako u hydraulických tlumičů. Jsou jimi vysoká cena za provoz, údržbu a případné opravy a dále narušení estetiky návrhu mostu.



Obr. 250: Schéma navržených pohlcovačů umístitelných na nosné lano.

Pátým navrženým řešením nepřiměřeného kmitání lan bylo přidání ztužujících prvků, které by spojovaly mostovku a lana a k mostovce by byly připojeny tuhými spoji, tedy bez kloubů. Závěsy tvoří štíhlá tyčová táhla kruhového průřezu, která jsou ke konstrukci i lanům upevněna kloubově. Tento systém tedy jako celek není příliš tuhý a dovoluje velké kmitání. Pro zjištění, zda je toto řešení reálné a účinné, byly do modelu v programu Midas Civil instalovány ocelové prvky s „I“ průřezem o výšce 15 cm a šířce 10 cm, jak je znázorněno na obr. 251.

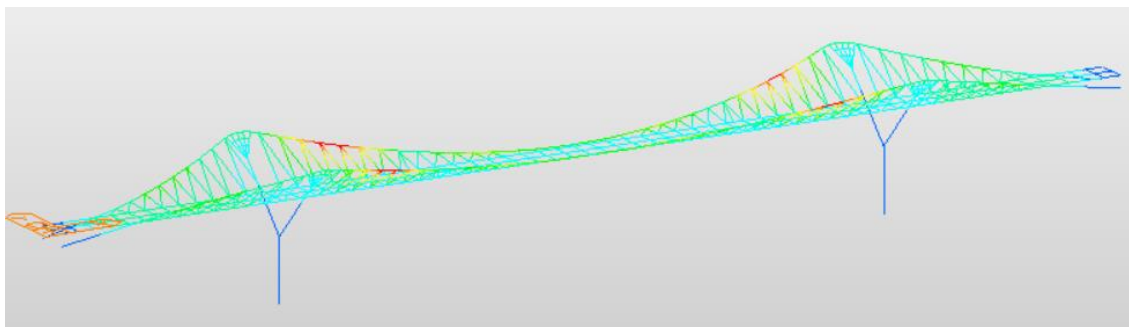


Obr. 251: Příklad návrhu instalovaného ztužidla do konstrukce.

Takto ztužená konstrukce byla posouzena při přechodu 16 chodců ve dvou řadách za sebou s frekvencí jednoho kroku 1,4618 Hz. V tab. 74 je srovnání výkmitů lan po tomto ztužení. Na obr. 252 je pak červeně vyznačeno, že se oblast s maximálním výkmitem po instalaci ztužidel nepřesunula na jinou část visutých lan.

MAX. VÝKMIT	Max. výkmit	Max. výkmit	Max. výkmit	Max. výkmit
Počet chodců	lan ve směru Y	lan ve směru Z	lan ve směru Y	lan ve směru Z
	[m]	[m]	[m]	[m]
16	0.040002	0.0555575	0.00478	0.00666

Tab. 74: Max. výkmit před ztužením a po ztužení při přechodu 16 chodců ve dvou řadách s frekvencí jednoho kroku 1,4618 Hz.



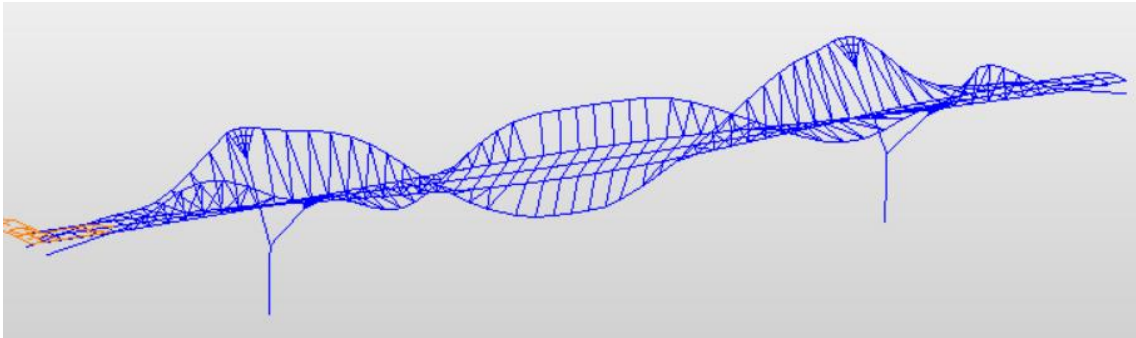
Obr. 252: Příklad návrhu instalovaného ztužidla do konstrukce.

Z tab. 73 je patrné, že takto navržené ocelové ztužidlo snížilo maximální výkmit lan téměř o jeden řád. Taková změna v geometrii konstrukce by změnila vlastní tvary a frekvence mostu, tudíž by bylo nutné udělat celou dynamickou analýzu s novým návrhem konstrukce znovu. Řešení tímto stylem by však mělo z principu snížit kmitání lan při jakémkoliv dynamickém zatížení. Jelikož by takto instalované ztužidlo přenášelo i ohybový moment, vznikalo by v něm velké napětí, a proto by bylo třeba posoudit, zda takto umístěný prvek vyhoví při esteticky přijatelné velikosti průřezu na statické posouzení. Další variantou tohoto řešení by byla instalace většího množství takovýchto ztužidel, případně náhrada některých kratších kloubově uložených závěsů za tato ztužidla. Stejným způsobem by bylo navrženo řešení nevyhovujícího výkmitu lan v krajních polích mostu.

Řešení formou pevně připojených ztužidel bylo určeno jako nejvýhodnější, vzhledem k tomu, že narozdíl od tlumičů a pohlcovačů nevyžaduje finančně nákladnou údržbu a provoz.

7.4.2 Nepříměřené kroucení mostovky

K nadměrnému kmitání mostovky docházelo při analýze v jednom případě, a to při přechodu chodců na okraji mostovky v řadě za sebou s frekvencí kroku 2,2368 Hz. Tato frekvence náleží 9. vl. tvaru, kdy dochází ke kroucení konstrukce, jak je znázorněno na obr. 253.



Obr. 253: 9. vl. tvar konstrukce. (vl. frekvence 2,2368 Hz)

Při tomto zatížení docházelo k odezvě konstrukce v tom smyslu, že byla rozhoupávána celá střední část mostu.

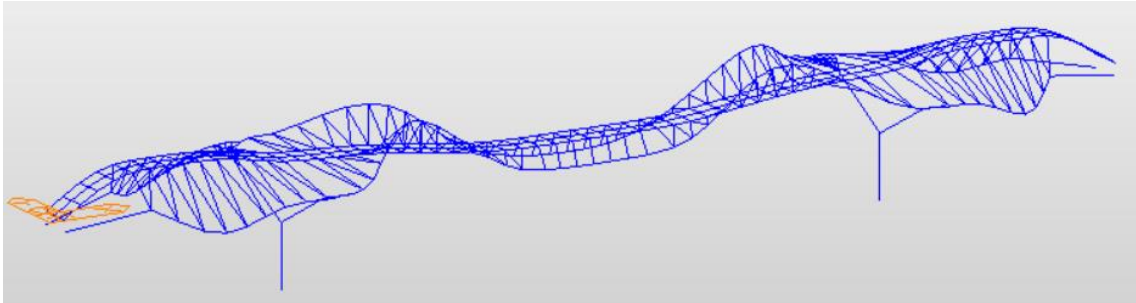
Jelikož bylo toto „rozhoupání“ mostovky velmi podobné problémům, které byly řešeny na Millenium Bridge, byla jako první možnost řešení tohoto problému navržena stejná idea jako v Londýně. Na mostovku by zespodu byly instalovány pružinové pohlcovače kmitů v místech s největšími deformacemi, a tím by bylo „rozhoupání“ mostovky zabráněno. Nevýhodou tohoto řešení jsou opět náklady na kontrolu, údržbu a případné opravy těchto tlumičů.

Dalším možným řešením by bylo zvýšení hmotnosti mostovky, a tím zvýšení útlumu. Tato změna by však narušila statický návrh konstrukce a velmi by zvýšila cenu celého projektu.

V programu Midas Civil bylo ověřeno, že tomuto typu odezvy mostovky pomáhá zabraňovat navržené páteře řešení z kapitoly 7.4.1, kdy jsou mezi lana a mostovku instalována ztužidla, viz obr. 251 v předchozí kapitole. Jak je však popsáno v předchozí kapitole, tato změna mění vlastní tvary a frekvence a bylo by třeba detailní dynamické analýzy pro nově navrženou konstrukci.

7.4.3 Nepříměřené svislé kmitání krajních polí mostovky

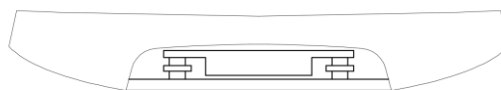
Na obr. 254 je znázorněn 13. vl. tvar, na kterém je vidět, jak kmitala konstrukce v tomto případě.



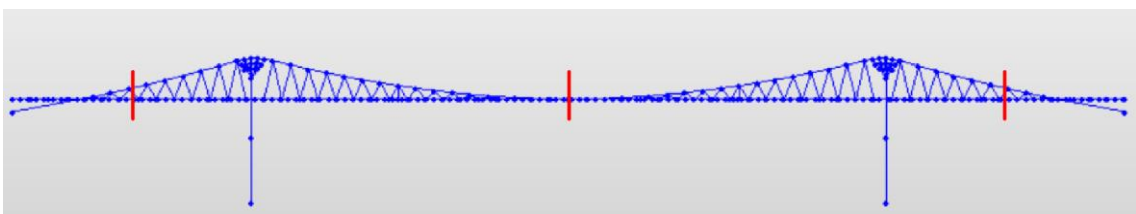
Obr. 254: 13. vl. tvar, $f=3,0309$ Hz.

Největší vodorovný výkmit mostovky vzniká v krajních polích, mostovka ve středním poli však kmitá také. Tento problém by byl řešen podobně jako bylo navrženo v předchozí kapitole a to instalací pohlcovačů do mostovky.

Tvar mostovky nabízí elegantní řešení instalace pružinových pohlcovačů tak, aby nebyla příliš narušená estetika návrhu mostu. Pohlcovače by byly umístěny do třech míst s největšími výkmity mostovky a tím by bylo zabráněno jak problému popsaném v kapitole 7.4.2, tak problému řešeném v této kapitole. Na obr. 255 je znázorněna skica navrhovaného pohlcovače a na obr. 256 jeho umístění v rámci konstrukce



Obr. 255: Skica návrhu pohlcovače.



Obr. 256: Navrhované umístění pohlcovačů v rámci celé konstrukce.

8 Závěr

Tato diplomová práce se primárně zabývala návrhem a posouzením visuté lávky přes řeku Berounku dle předlohy ve formě architektonického návrhu. Hlavní nosné prvky konstrukce tvoří dvě nosná lana, která jsou převedena přes dva betonové pylony ve tvaru „Y“. Takto je tedy lávka rozdělena na tři pole o rozpětích 26,8 m, 70,7 m a 26,8 m. K lanům je pomocí ocelových táhel připojena mostovka, kterou tvoří předpjatý pás segmentů z UHPC.

Práce se v úvodní části zabývala visutými mosty z teoretického hlediska. Byly popsány visuté mosty z různých hledisek, byla zde popsána kritéria návrhu lávek pro chodce, fáze výstavby visutých mostů a bylo zde uvedeno několik příkladů realizovaných visutých lávek. Ve třetí kapitole byla prezentována předloha, podle které byla lávka navrhována.

Čtvrtá kapitola obsahuje průběh tvorby a lazení výpočetních modelů konstrukce v programech Midas Civil 2015 a Scia Engineer 16.1. Byla zde podrobně popsána cesta od tvorby modelu v programu AutoCAD, který tvořil geometrie pro roštové 3D modely ve výpočetních programech, až k porovnání obou výpočetních modelů konstrukce. V kapitole byly uvedeny „slepé uličky“ a úpravy původní zadané geometrie, způsoby modelování jednotlivých detailů konstrukce a způsoby modelování zatížení na konstrukci. V programu Scia Engineer se nepodařilo zprovoznit nelineární výpočet u výsledného modelu, proto bylo srovnání obou modelů provedeno bez uvažování nelineárního předpětí některých částí konstrukce. Jelikož však bylo toto předpětí nezbytné pro posouzení mostu, byl v dalším postupu použit pouze model z programu Midas Civil.

V páté kapitole byla popsána analýza fází výstavby. V této části diplomové práce byl nejdříve navržen způsob výstavby, kdy byly segmenty mostovky pomocí montážní lávky dopravovány na své místo a od středu lávky vyvěšovány na nosná visutá lana. Dále zde byl popsán návrh mostovky a vysvětlen způsob analýzy fází výstavby, kdy bylo v každé fázi sledováno napětí ve všech částech konstrukce a závěsy byly dle potřeby napínány či povolovány, aby v nich nevznikl tlak a nedošlo k vybočení. Konstrukce ve fázích výstavby vyhověla ve všech uvažovaných posudcích.

V šesté kapitole pak byla provedena podrobná statická analýza finální konstrukce v provozní fázi. Byl zde popsán finální návrh jednotlivých částí mostu a konstrukce byla posouzena z hlediska mezních stavů použitelnosti, tedy na omezení napětí a omezení deformací. Pro posouzení pylonů byl použit program IDEA rs, kde při posouzení na kombinaci normálové síly a momentů bylo zjištěno, že navržený pylon nemůže vyhovět. Byla zde teoreticky navržena alternativa návrhu v podobě předpjatého pylonu. V ostatních uvažovaných posudcích konstrukce v této kapitole vyhověla. Nakonec se tato kapitola zabývala problematikou zakotvení lan do opěr.

V sedmé kapitole byla konstrukce posouzena z dynamického hlediska. V programu Midas Civil byla provedena modální analýza konstrukce, kdy byly zjištěny vlastní tvary a vlastní frekvence. Jelikož 12 vlastních frekvencí spadalo do kritické oblasti frekvencí, byla provedena analýza odezvy lávky na dynamické zatížení různými skupinami chodců a lávka byla posouzena na třídu pohody chodců. V několika případech bylo zjištěno nevyhovující zrychlení nebo výkmit některých částí konstrukce. V závěru této kapitoly byla navržena různá řešení těchto nevyhovujících posouzení.

Použitá literatura

1. ŠAFÁŘ, R. *Betonové mosty 2 Přednášky*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2014. ISBN 978-80-01-05543-4.
2. *A Glimpse of Bhutan* [online]. Trifin. [vid. 2013]. Dostupné z: <http://aglimpseofbhutan.weebly.com/iron-chain-bridge-and-tachog-lhakhang-dzong-paro.html>
3. *History of Bridges* [online]. Liquid lioness. [vid. 2016_06_18]. Dostupné z: <http://www.historyofbridges.com/facts-about-bridges/suspension-bridges/>
4. NUNN, Elodie: History of Suspension Bridges. In: *Extendedprojectelodie* [online]. Wordpress.com, 2012. [vid. 2016_06_18]. Dostupné z: <https://extendedprojectelodie.wordpress.com/2012/11/04/history-of-suspension-bridges/>
5. *Steel Bridges* [online]. Yokogawa Bridge Corp. [vid. 2016_06_18]. Dostupné z: http://www.en.yokogawa-bridge.co.jp/05_steelbridges/index.html
6. FALTUS, F. *Ocelové mosty příhradové, obloukové a visuté*. Praha: Academia, nakladatelství Československých věd, 1971. ISBN 509-21-875.
7. Lávka v Troji. In: *Lidovky* [online]. MAFRA, a.s., 2011. [vid. 2016_06_19]. Dostupné z: http://www.lidovky.cz/foto.aspx?foto1=MPR3a87b5_most_lavka_troja.jpg
8. Visutá lávka Hvězdonce. In: Mapio.net [online]. Jaroslava Hašková – Mapio.net, 2015. [vid. 2016_06_19]. Dostupné z: <http://mapio.net/o/4974503/>
9. Vranovská přehrada – Lávka přes Švýcarskou zátoku. In: *Turistika.cz* [online]. © 2007-20016 Turistika.cz s.r.o. [vid. 2016_12_18]. Dostupné z: <http://www.turistika.cz/fotogalerie/30230/vranovska-prehrada-lavka-pres-svycarskou-zatoku?layout=phone>
10. STRASKY, Jiri: Design-Construction of Vranov Lake Pedestrian Bridge, Czech Republic. In: *PCI* [online]. Precast/Prestressed Concrete Institute, 1997. [vid. 2016_6_15]. Dostupné z: http://www.pci.org/uploadedFiles/Siteroot/Publications/PCI_Journal/1997/DOI_Articles/jl-97-november-december-7.pdf

11. DALLARD, P., FITZPATRICK, A. J., FLINT, A., LE BOURVA, S., LOW, A., RIDSDILL SMITH, R. M., WILLFORD, M.: The London Millennium Footbridge. In: *Team BCPS* [online]. Baltimore County Public Schools, 2001. [vid. 2016_06_15]. Dostupné z: https://bcps.org/offices/lis/researchcourse/images/structural_engineering.pdf
12. The Millenium Bridge. In: *My travel book* [online]. Blogspot.cz, 2015. [vid. 2016_06_17]. Dostupné z: <http://my-cute-travel-book.blogspot.cz/2015/06/londyn-london.html>
13. Innovation Experience. In: *DeisgnBox Architecture* [online]. Blogspot.cz, 2013. [vid. 2016_06_17]. Dostupné z: <http://dgnbx.blogspot.cz/2013/08/innovation-experience.html>
14. Millenium Bridge, London. In: *Wikipedie: otevřená encyklopedie* [online]. Wikimedia Foundation, 2016. [2016_06_17]. English version. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Millennium_Bridge,_London
15. Thousands of people cross the Millennium Bridge for the first time in February 2002. In: *BBC LONDON* [online]. © 2016 BBC. [vid. 2016_06_17]. Dostupné z: http://news.bbc.co.uk/local/london/hi/things_to_do/newsid_8668000/866824_3.stm
16. STRÁSKÝ, J. *Stress ribbon and cable-supported pedestrian bridges*. Bristol: Thomas Telford Publishing, 2005. ISBN 07277-3282-X.
17. GIMSING, N. J., GEORGAKIS, CH. T. *Cable Supported Bridges*. 3rd ed. Konges Lyngby: Technical University of Denmark, 2011. ISBN 978-0-470-66628-9.
18. VÍTEK, Jan. *Mosty zavěšené, extradosed a visuté* [přednáška]. Praha: ČVUT, 2. května 2016.
19. KARMAZÍNOVÁ, M.: Kovové mosty 1. In: Mária Lenčేశ [online]. © 2008-2017 Mária Lenčేశ. [vid. 2016_12_15]. Dostupné z: http://lences.cz/domains/lences.cz/skola/subory/Skripta/BO09-Kovove%20mosty%20I-Opory/BO09_M02.pdf
20. MACALLOY LTD [online]. *Tension systems*. 2016. [vid. 2016_12_16]. Dostupné z: http://www.tension.cz/www/media/files/pdf-k-pripojeni_12/macalloy-system-konstrukcnich-tahel_57.pdf

21. MAHDALOVÁ. *Nemotoristické komunikace* [online]. In: Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava. [vid. 2016_12_17]. Dostupné z: <http://fast10.vsb.cz/mahdalova/doprstav/pred09mi.pdf>
22. FORMÁNEK, M., BARTOŇ, J., STRÁSKÝ, J., KOZEL, M. Lávka přes řeku Svratku. In: *Earch*. [online]. © 2012 EARCH. [vid. 2016_12_17]. Dostupné z: <http://www.earch.cz/cs/stavitelstvi/lavka-pres-reku-svratku>
23. PIRNER, M., FISHER, O. *Dynamika ve stavební praxi*. Praha: Informační centrum ČKAIT, 2010. ISBN 978-80-87438-18-3.
24. SBP [online]. Footbridge Lake May Eyth across Neckar River. 2016. [vid. 2016_12_18]. Dostupné z: <http://www.sbp.de/en/project/footbridge-lake-max-eyth-across-neckar-river/>
25. PFEIFER [online]. *Pedestrian Bridge Max-Eyth-Sea Crossing the River Neckar, Stuttgart, Germany*. 1988. [vid. 2016_12_18]. Dostupné z: https://www.pfeifer.info/out//epim/files/_165916_EN.PDF
26. Lávka v Radotíně. In: Braunstein.cz [online]. © 2011 Braunstein.cz. [vid. 2016_12_18]. Dostupné z: <http://old.braunstein.cz/picture-6585>
27. BROWN, J. M: Strait of Messina Bridge: Construction Will Begin on the World's Largest Suspension Bridge. In: Buildipedia.com [online]. © 2009-2017 Bulidipedia.com [vid. 2016_12_20]. Dostupné z: <http://buildipedia.com/aec-pros/public-infrastructure/strait-of-messina-bridge-construction-will-begin-on-the-worlds-largest-suspension-bridge>
28. Něco z historie ... Zřícení Tacomského mostu v r. 1940 [online]. IZDoprava. [vid. 2017_12_20]. Dostupné z: <http://www.izdoprava.cz/dopravni-stavby-2/mosty/2006/neco-z-historie-zriceni-tacomskeho-mostu-v-r-1940/>
29. VAVŘENA, M.: Kapitola 20: Pylony a mostní závěsy. In: *Technické kvalitativní podmínky staveb pozemních komunikací*. Praha: PRAGOPROJEKT, a.s., 2008.
30. KALNÝ, M., KOMANEC, J., KVASNÍČKA, V., KOLÍSKO, J., TEJ, P.: Metodika pro navrhování prvků z UHPC. In: Kloknerův ústav [online]. České vysoké učení technické v Praze, 2015. [vid. 2017_01_04]. Dostupnost z: <http://www.klok.cvut.cz/wp-content/uploads/2016/02/Methodika-2-Navrhov%C3%A1n%C3%AD-UHPC.pdf>

31. Dynamic Analysis of Footbridge to Eurocode [video]. YouTube [online]. Midas UK, 2014. [vid. 2016_12_20]. Dostupné z <https://www.youtube.com/watch?v=uYjeJUH30jE>
32. RYJÁČEK, Pavel: Ocelové mosty 3, cvičení 1 [přednáška]. Praha: ČVUT, 2. března 2016.
33. ČSN EN 1990 – Eurokód: *Zásady navrhování konstrukcí.*
34. ČSN EN 1991 – *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí*
35. ČSN EN 1992 – *Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí.*
36. ČSN EN 1993 – *Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí.*

Seznam příloh

Výkres č. 1: Půdorys

Výkres č. 2: Podélný řez

Výkres č. 3: Příčné řezy

Výkres č. 4: Tvar segmentu mostovky

Výkres č. 5: Schéma postupu výstavby

Seznam obrázků

Obr. 1: Postup práce při idealizaci návrhu lávky.	15
Obr. 2: Grafický model lávky v Radotíně.	16
Obr. 3: Železný visutý most v Bhutánu postavený Thangtong Gaylpo. [2]	18
Obr. 4: Visutý most v Jacob's Creek ve Westmoreland Country v Pensylvánii. [4]	19
Obr. 5: Akashi Kaikyō Bridge (1991 m). [5]	19
Obr. 6: Typy visutých mostů s tuhou mostovkou. [6].....	20
Obr. 7: Lávka přes Vltavu v Troji. [7].....	21
Obr. 8: Lávka přes Sázavu ve Hvězdonicích. [8].....	21
Obr. 9: Lávka přes Švýcarskou zátoku Vranovské přehrady. [9].....	22
Obr. 10: Typické průřezy kabelů a závěsů. [18]	23
Obr. 11: Příklad konstrukce závěsu. [18]	25
Obr. 12: Kotvení závěsu. [18].....	26
Obr. 13: Model sedla. [18]	27
Obr. 14: Příklady závěsů [20]	28
Obr. 15: Příklady pylonů visutých mostů. [18]	28
Obr. 16: Příčné řezy mostů s 1 rovinou závěsů. [18]	29
Obr. 17: Příčné řezy mostů s 2 rovinami závěsů. [18]	30
Obr. 18: Storebaelt bridge, Dánsko. [18]	31
Obr. 19: Golden Gate, Kalifornie. [18]	31
Obr. 20: Grafický model plánovaného mostu Messina, Sicílie. [27]	32
Obr. 21: Zřícení mostu Tacoma bridge, Washington. [28]	33
Obr. 22: Pochozí šířka a výška zábradlí.	25
Obr. 23: Příklad řešení odvodu dešťové vody z betonové mostovky (Maidstone Bridge, UK). [16]	36
Obr. 24: Příklad vhodné instalování LED osvětlení do konstrukce lávky. [22]	37
Obr. 25: Fáze výstavby Max-Eyth-See Bridge, Stuttgart, Německo. [16]	41
Obr. 26: Výstavba pylonů lávky přes Vranovskou přehradu. [16].....	42
Obr. 27: Fáze výstavby mostu přes řeku McKenzie, Orlando, USA. [16].....	43
Obr. 28: Příčný a podélný řez mostem. [10]	44
Obr. 29: Pohled na most. [10].....	45

Obr. 30: Detail uložení mostu. [10].....	45
Obr. 31: Fáze výstavby. [10].....	46
Obr. 32: Fotografie realizovaného mostu. [9]	46
Obr. 33: Fotografie Millenium Bridge v Londýně. [12]	47
Obr. 34: Detailní fotografie Millenium Bridge v Londýně. [12]	48
Obr. 35: Příčný řez mostovkou Millenium Bridge v Londýně. [13].....	48
Obr. 36: Pohled z ptáčích perspektivy na Millenium Bridge v Londýně. [14]	49
Obr. 37: Fotografie z otevření mostu Millenium Bridge v Londýně. [15].....	50
Obr. 38: Geometrie Max-Eyth-See Bridge, Stuttgart, Německo. [16]	51
Obr. 39: Max-Eyth-See Bridge, Stuttgart, Německo. [25]	52
Obr. 40: Max-Eyth-See Bridge, Stuttgart, Německo. [24]	52
Obr. 41: Umístění novotavby vzhledem k stávajícímu stavu.	54
Obr. 42: Urbanistické řešení – změna půdorysné stopy.	55
Obr. 43: Architektonické řešení – změna podélného profilu lávky.	56
Obr. 44: Architektonické řešení – návrh tvaru nosného pylonu.	57
Obr. 45: Pohled na lávku z levého břehu z cyklostezky.	59
Obr. 46: Pohled na lávku směrem od koupaliště Biotop Radotín.	59
Obr. 47: Pohled na lávku směrem od úřadu MČ Praha 16.	60
Obr. 48: Příčný řez v poli.....	61
Obr. 49: Příčný řez v místě pilíře.....	62
Obr. 50: Podélný řez.	63
Obr. 51: Půdorys.	64
Obr. 52: Fotografie stávající lávky přes řeku Berounku v Radotíně. [36].....	65
Obr. 53: Finální výpočetní model v programu Midas Civil.	67
Obr. 54: Finální výpočetní model v programu Scia Engineer.	67
Obr. 55: Prvotní návrh geometrie modelu v programu AutoCAD.....	68
Obr. 56: Barevné rozlišení jednotlivých prutů konstrukce (červená – visutá lana, zelená – závěsy, černá – pylony, tmavě modrá – podélné části mostovky, světle modrá – příčné části mostovky, fialová – trajektorie předpínacích lan v mostovce).	69
Obr. 57: Rozměry levého a pravého podélného průřezu mostovky.	70
Obr. 58: Vzdálenost příčných průřezů (půdorys).	70
Obr. 59: Rendrovaný model prvního návrhu konstrukce v programu Scia Engineer. ...	70

Obr. 60: Idealizace modelu.	71
Obr. 61: Půdorysné zobrazení střední části modelu vytvořeného podle původních výkresů.	71
Obr. 62: Geometrie závěsů ve středu hlavního rozpětí mostu.	72
Obr. 63: Úprava geometrie kabelů nad pylonem.	72
Obr. 64: Detail nahrazení sedla pylonu pruty s vysokou tuhostí.	73
Obr. 65: Geometrie 3D prutového modelu konstrukce.	73
Obr. 66: Základní data o projektu.	74
Obr. 67: Zavedení nelineárních kombinací do dynamického výpočtu.	75
Obr. 68: Schéma uložení mostovky (půdorys).	76
Obr. 69: Znázornění podpor v programu Scia Engineer (uložení je na nezobrazené části konstrukce stejné jako na této).	77
Obr. 70: Detail znázornění kloubového spojení závěsů se zbytkem konstrukce v programu Scia Engineer.	77
Obr. 71: Detail modelu spojení pylonu a visutého lana v programu Scia Engineer.	78
Obr. 72: Znázornění umístění předpínacích kabelů.	78
Obr. 73: Specifikace návrhu předpínacích kabelů.	78
Obr. 74: Chyby zobrazované při použití nelineárního výpočtu v programu Scia Engineer.	81
Obr. 75: Reakce od vlastní tíhy při lineárním výpočtu v programu Scia Engineer.	82
Obr. 76: Reakce od vlastní tíhy při lineárním výpočtu v programu Midas Civil.	83
Obr. 77: Midas Civil, 1. vl. tvar, $f=0,8499$ Hz.	84
Obr. 78: Scia Engineer, 1. vl. tvar, $f=0,8431$ Hz.	84
Obr. 79: Midas Civil, 2. vl. tvar, $f=1,0221$ Hz.	84
Obr. 80: Scia Engineer, 2. vl. tvar, $f=1,0175$ Hz.	84
Obr. 81: Midas Civil, 3. vl. tvar, $f=1,1175$ Hz.	85
Obr. 82: Scia Engineer, 3. vl. tvar, $f=1,1091$ Hz.	85
Obr. 83: Midas Civil, 4. vl. tvar, $f=1,1995$ Hz.	85
Obr. 84: Scia Engineer, 4. vl. tvar, $f=1,1981$ Hz.	85
Obr. 85: Midas Civil, 5. vl. tvar, $f=1,2467$ Hz.	86
Obr. 86: Scia Engineer, 5. vl. tvar, $f=1,2409$ Hz.	86
Obr. 87: Midas Civil, 6. vl. tvar, $f=1,4063$ Hz.	86

Obr. 88: Scia Engineer, 6. vl. tvar, $f=1,4021$ Hz.	86
Obr. 89: Midas Civil, 7. vl. tvar, $f=1,4618$ Hz.	87
Obr. 90: Scia Engineer, 7. vl. tvar, $f=1,4642$ Hz.	87
Obr. 91: Midas Civil, 8. vl. tvar, $f=2,1081$ Hz.	87
Obr. 92: Scia Engineer, 8. vl. tvar, $f=2,0976$ Hz.	87
Obr. 93: Midas Civil, 9. vl. tvar, $f=2,2368$ Hz.	88
Obr. 94: Scia Engineer, 9. vl. tvar, $f=2,2185$ Hz.	88
Obr. 95: Midas Civil, 10. vl. tvar, $f=2,2498$ Hz.	88
Obr. 96: Scia Engineer, 10. vl. tvar, $f=2,2378$ Hz.	88
Obr. 97: Dokončení výstavby spodní stavby konstrukce (3. fáze).	89
Obr. 98: Osazení montážní lávky (4. fáze).	90
Obr. 99: Osazení visutého lana a středového segmentu mostovky (5. fáze).	90
Obr. 100: Montáž segmentů mostovky (7. až 18. fáze).	91
Obr. 101: Montáž segmentů mostovky (19. až 32. fáze).	92
Obr. 102: Montáž segmentů mostovky (33. až 36. fáze).	93
Obr. 103: Předepnutí mostovky (38. fáze).	93
Obr. 104: Specifika průřezů visutých lan v programu Midas Civil.	94
Obr. 105: Půdorys poloviny mostu s vyznačením rozdělení průřezů závěsů. Červená – průměr 120 mm, zelená – průměr 97 mm, modrá – průměr 52 mm.	95
Obr. 106: Specifika průřezů závěsů v programu Midas Civil.	95
Obr. 107: Specifika průřezu mostovky v programu Midas Civil.	96
Obr. 108: Specifika průřezu pylonu v programu Midas Civil.	96
Obr. 109: Specifika průřezu lan montážní lávky v programu Midas Civil.	97
Obr. 110: Specifika průřezu montážních táhel v programu Midas Civil.	97
Obr. 111: Fáze č. 4 v programu Midas Civil.	100
Obr. 112: Průběh napětí po montážní lávce (fáze č. 4). (boční pohled) [kPa]	100
Obr. 113: Fáze č. 5 v programu Midas Civil.	101
Obr. 114: Průběh napětí po visutých lanech (fáze č. 5). (boční pohled) [kPa]	101
Obr. 115: Průběh napětí po táhlech spojujících visutá lana (fáze č. 5). [kPa]	101
Obr. 116: Průběh napětí po závěsech spojujících střední segment mostovky s lany (fáze č. 5). [kPa]	102
Obr. 117: Průběh napětí po montážní lávce (fáze č. 5). (boční pohled) [kPa] ..	102

Obr. 118: Průběh napětí po visutých lanech (fáze č. 6). (boční pohled) [kPa]	103
Obr. 119: Průhyb konstrukce před napnutím visutých lan (nahore) a po napnutí (dole). (boční pohled) [m]	103
Obr. 120: Fáze č. 7 v programu Midas Civil.	104
Obr. 121: Detail fáze č. 7 v programu Midas Civil (půdorys).	104
Obr. 122: Průběh napětí po visutých lanech (fáze č. 7). (boční pohled) [kPa]	104
Obr. 123: Průběh napětí po visutých lanech (fáze č. 8). (boční pohled) [kPa]	105
Obr. 124: Průběh napětí po závěsech spojující střední segment mostovky s visutými lany (fáze č. 7 – nahore a č. 8 – dole). [kPa]	105
Obr. 125: Detail fáze č. 9 v programu Midas Civil (půdorys).	106
Obr. 126: Průběh napětí po visutých lanech (fáze č. 9). (boční pohled) [kPa]	106
Obr. 127: Průběh napětí po šikmých závěsech spojujících střední segmenty mostovky s visutými lany (fáze č. 9). [kPa]	106
Obr. 128: Průběh napětí po přímých závěsech spojujících střední segmenty mostovky s visutými lany (fáze č. 9). [kPa]	107
Obr. 129: Detail fáze č. 10 v programu Midas Civil (půdorys).	108
Obr. 130: Detail fáze č. 21 v programu Midas Civil (půdorys).	108
Obr. 131: Znázornění tlačných (zelená) a tažených (červená) prutů během fází výstavby.	108
Obr. 132: Průběh napětí po visutých lanech (fáze č. 10 až č. 21). (boční pohled) [kPa]	110
Obr. 133: Průběh napětí po šikmých závěsech (fáze č. 10 až č. 21). [kPa]	112
Obr. 134: Zobrazení fáze č. 22 v programu Midas Civil (půdorys).	113
Obr. 135: Zobrazení fáze č. 23 v programu Midas Civil (půdorys).	113
Obr. 136: Průběh napětí po visutých lanech (fáze č. 22 a č. 23). (boční pohled) [kPa]	113
Obr. 137: Průběh napětí po šikmých závěsech (fáze č. 22 a č. 23). (boční pohled) [kPa]	114
Obr. 138: Zobrazení fáze č. 24 v programu Midas Civil (půdorys).	114
Obr. 139: Zobrazení fáze č. 31 v programu Midas Civil (půdorys).	115
Obr. 140: Průběh napětí po visutých lanech (fáze č. 24 až č. 31). (boční pohled) [kPa]	116

Obr. 141: Průběh napětí po šikmých závěsech (fáze č. 24 a č. 31). (boční pohled) [kPa]	118
Obr. 142: Zobrazení fáze č. 32 v programu Midas Civil (půdorys).	118
Obr. 143: Zobrazení fáze č. 37 v programu Midas Civil (půdorys).	118
Obr. 144: Průběh napětí po šikmých závěsech (fáze č. 32 a č. 36). (boční pohled) [kPa]	119
Obr. 145: Průběh napětí v mostovce po předpětí (fáze č. 38). (boční pohled) [kPa]..	120
Obr. 146: Schéma vnesení napětí do závěsů ve fázi č. 39. (půdorys)	121
Obr. 147: Průběh napětí po visutých lanech (fáze č. 39). (boční pohled) [kPa].	121
Obr. 148: Průběh napětí po šikmých závěsech (39). (boční pohled) [kPa]	122
Obr. 149: Průběh napětí po přímých závěsech (fáze č. 39). [kPa]	122
Obr. 150: Obálka průběhu napětí po visutých lanech během fází výstavby. (boční pohled) [kPa]	123
Obr. 151: Obálka průběhu napětí po montážních táhlech během fází výstavby. (boční pohled) [kPa]	123
Obr. 152: Obálka průběhu napětí po šikmých závěsech během fází výstavby. (boční pohled) [kPa]	123
Obr. 153: Obálka průběhu napětí po montážní lávce během fází výstavby. (boční pohled) [kPa].	124
Obr. 154: Deformovaná konstrukce ve fázi č. 4. Max. průhyb 0,584 m.	124
Obr. 155: Deformovaná konstrukce ve fázi č. 5. Max. průhyb 0,372 m.	125
Obr. 156: Deformovaná konstrukce ve fázi č. 6. Max. průhyb 0,224 m.	125
Obr. 157: Deformovaná konstrukce ve fázi č. 7. Max. průhyb 0,249 m.	125
Obr. 158: Deformovaná konstrukce ve fázi č. 8. Max. průhyb 0,263 m.	125
Obr. 159: Deformovaná konstrukce ve fázi č. 9. Max. průhyb 0,272 m.	125
Obr. 160: Deformovaná konstrukce ve fázi č. 10. Max. průhyb 0,283 m.	125
Obr. 161: Deformovaná konstrukce ve fázi č. 11. Max. průhyb 0,295 m.	126
Obr. 162: Deformovaná konstrukce ve fázi č. 12. Max. průhyb 0,302 m.	126
Obr. 163: Deformovaná konstrukce ve fázi č. 13. Max. průhyb 0,307 m.	126
Obr. 164: Deformovaná konstrukce ve fázi č. 14. Max. průhyb 0,311 m.	126
Obr. 165: Deformovaná konstrukce ve fázi č. 15. Max. průhyb 0,315 m.	126
Obr. 166: Deformovaná konstrukce ve fázi č. 16. Max. průhyb 0,313 m.	126

Obr. 167: Deformovaná konstrukce ve fázi č. 17. Max. průhyb 0,313 m.....	127
Obr. 168: Deformovaná konstrukce ve fázi č. 18. Max. průhyb 0,316 m.	127
Obr. 169: Deformovaná konstrukce ve fázi č. 19. Max. průhyb 0,316 m.....	127
Obr. 170: Deformovaná konstrukce ve fázi č. 20. Max. průhyb 0,326 m.....	127
Obr. 171: Deformovaná konstrukce ve fázi č. 21. Max. průhyb 0,345 m.....	127
Obr. 172: Deformovaná konstrukce ve fázi č. 22. Max. průhyb 0,348 m.....	127
Obr. 173: Deformovaná konstrukce ve fázi č. 23. Max. průhyb 0,350 m.	128
Obr. 174: Deformovaná konstrukce ve fázi č. 24. Max. průhyb 0,343 m.....	128
Obr. 175: Deformovaná konstrukce ve fázi č. 25. Max. průhyb 0,327 m.....	128
Obr. 176: Deformovaná konstrukce ve fázi č. 26. Max. průhyb 0,316 m.....	128
Obr. 177: Deformovaná konstrukce ve fázi č. 27. Max. průhyb 0,310 m.....	128
Obr. 178: Deformovaná konstrukce ve fázi č. 28. Max. průhyb 0,307 m.....	128
Obr. 179: Deformovaná konstrukce ve fázi č. 29. Max. průhyb 0,296 m.....	129
Obr. 180: Deformovaná konstrukce ve fázi č. 30. Max. průhyb 0,289 m.....	129
Obr. 181: Deformovaná konstrukce ve fázi č. 31. Max. průhyb 0,283 m.....	129
Obr. 182: Deformovaná konstrukce ve fázi č. 32. Max. průhyb 0,278 m.....	129
Obr. 183: Deformovaná konstrukce ve fázi č. 33. Max. průhyb 0,275 m.....	129
Obr. 184: Deformovaná konstrukce ve fázi č. 34. Max. průhyb 0,273 m.....	129
Obr. 185: Deformovaná konstrukce ve fázi č. 35. Max. průhyb 0,270 m.	130
Obr. 186: Deformovaná konstrukce ve fázích č. 36. Max. průhyb 0,270 m.	130
Obr. 187: Deformovaná konstrukce ve fázích č. 37. Max. průhyb 0,270 m.	130
Obr. 188: Deformovaná konstrukce ve fázi č. 38. Max. průhyb 0,270 m.....	130
Obr. 189: Deformovaná konstrukce ve fázi č. 39. Max. průhyb 0,270 m.....	130
Obr. 190: Mapa větrných oblastí na území ČR. [32]	132
Obr. 191: Graf stanovení součinitele síly větru. [32]	135
Obr. 192: Mapa maximálních teplot vzduchu ve stínu v ČR. [32]	136
Obr. 193: Mapa minimálních teplot vzduchu ve stínu v ČR. [32]	136
Obr. 194: Znázornění posuzovaných průřezů pylonu na kombinaci N+M.	139
Obr. 195: Průběh napětí v kritickém průřezu spodní části pylonu.....	139
Obr. 196: Průběh napětí v kritickém průřezu horní části pylonu.	141
Obr. 197: Skica odhadované konstrukční výztuže.	142

Obr. 198: Průběh napětí po visutých lanech při kombinaci „chodci + vítr + teplota min“. [kPa].	143
Obr. 199: Průběh napětí po visutých lanech „chodci + vítr“. [kPa]	144
Obr. 200: Orientační očíslování závěsů.	145
Obr. 201: Průběh napětí po šikmých závěsech při kombinaci „chodci + vítr + teplota min“. [kPa]	145
Obr. 202: Průběh napětí po šikmých závěsech při kombinaci „chodci + vítr + teplota max“. [kPa]	146
Obr. 203: Průběh napětí po šikmých závěsech při kombinaci „chodci + vítr + teplota min“. [kPa]	146
Obr. 204: Průběh napětí po přímých závěsech při kombinaci „chodci + vítr“. [kPa] ..	147
Obr. 205: Zjednodušený detail příčného řezu mostovky.	149
Obr. 206: Průběh napětí v podélném směru po mostovce při kombinaci „chodci + vítr + teplota max“. [kPa]	149
Obr. 207: Průběh napětí v příčném směru po mostovce při kombinaci „chodci + teplota min“. [kPa].	149
Obr. 208: Návrh ocelového táhla v mostovce.	151
Obr. 209: Průběh napětí v příčném směru po mostovce při kombinaci „chodci + teplota min“. [kPa].	152
Obr. 210: Detail grafického modelu opěry mostu.	153
Obr. 211: Schématické znázornění systému ukotvení lan v opěře.....	154
Obr. 212: Midas Civil, 1. vl. tvar, $f=0,8499$ Hz. Svislé kmitání mostovky.....	156
Obr. 213: Midas Civil, 2. vl. tvar, $f=1,0221$ Hz. Kroucení mostovky, svislé i vodorovné kmitání mostovky.....	156
Obr. 214: Midas Civil, 3. vl. tvar, $f=1,1175$ Hz. Mostovka nekmitá.	156
Obr. 215: Midas Civil, 4. vl. tvar, $f=1,1995$ Hz. Mostovka nekmitá.	157
Obr. 216: Midas Civil, 5. vl. tvar, $f=1,2467$ Hz. Svislé kmitání mostovky.....	157
Obr. 217: Midas Civil, 6. vl. tvar, $f=1,4063$ Hz. Mostovka nekmitá.	157
Obr. 218: Midas Civil, 7. vl. tvar, $f=1,4618$ Hz. Svislé kmitání mostovky.....	157
Obr. 219: Midas Civil, 8. vl. tvar, $f=2,1081$ Hz. Svislé kmitání mostovky.	158
Obr. 220: Midas Civil, 9. vl. tvar, $f=2,2368$ Hz. Kroucení mostovky, svislé i vodorovné kmitání mostovky.....	158

Obr. 221: Midas Civil, 10. vl. tvar, $f=2,2498$ Hz. Kroucení mostovky, svislé i vodorovné kmitání mostovky.	158
Obr. 222: Midas Civil, 11. vl. tvar, $f=2,7049$ Hz. Svislé kmitání mostovky.	158
Obr. 223: Midas Civil, 12. vl. tvar, $f=2,9938$ Hz. Kroucení mostovky, svislé i vodorovné kmitání mostovky.....	159
Obr. 224: Midas Civil, 13. vl. tvar, $f=3,0309$ Hz. Svislé kmitání mostovky.....	159
Obr. 225: Midas Civil, 14. vl. tvar, $f=3,0552$ Hz. Svislé kmitání mostovky.....	159
Obr. 226: Midas Civil, 15. vl. tvar, $f=3,0722$ Hz. Mostovka nekmitá.	159
Obr. 227: Midas Civil, 16. vl. tvar, $f=3,2284$ Hz. Svislé kmitání mostovky.	160
Obr. 228: Midas Civil, 17. vl. tvar, $f=3,4524$ Hz. Svislé kmitání mostovky.....	160
Obr. 229: Midas Civil, 18. vl. tvar, $f=3,5595$ Hz. Mostovka nekmitá.	160
Obr. 230: Midas Civil, 19. vl. tvar, $f=3,5847$ Hz. Mostovka nekmitá.	160
Obr. 231: Midas Civil, 20. vl. tvar, $f=3,7235$ Hz. Kroucení mostovky, svislé i vodorovné kmitání mostovky.....	161
Obr. 232: Midas Civil, 21. vl. tvar, $f=4,5214$ Hz. Svislé kmitání mostovky.....	161
Obr. 233: Midas Civil, 22. vl. tvar, $f=4,5979$ Hz. Svislé kmitání mostovky.....	161
Obr. 234: Funkce popisující krok v programu Midas Civil.	163
Obr. 235: Nastavení dynamického zatížení v programu Midas Civil.	163
Obr. 236: Schéma zatížení chodců „cik cak“.	165
Obr. 237: Znázornění částí lávky dosahujících maximálního zrychlení a výkmitu při dynamickém zatížení s frekvencí $1,4618$ Hz.....	170
Obr. 238: Znázornění částí lávky dosahujících maximálního zrychlení a výkmitu při dynamickém zatížení s frekvencí $2,1081$ Hz.....	173
Obr. 239: Znázornění částí mostovky dosahujících maximálního zrychlení a výkmitu při dynamickém zatížení s frekvencí $2,2368$ Hz.....	175
Obr. 240: Znázornění částí lávky dosahujících maximálního zrychlení a výkmitu při dynamickém zatížení s frekvencí $2,2368$ Hz.....	176
Obr. 241: Znázornění částí lávky dosahujících maximálního zrychlení a výkmitu při dynamickém zatížení s frekvencí $2,7049$ Hz.....	178
Obr. 242: Znázornění částí mostovky dosahujících maximálního zrychlení a výkmitu při dynamickém zatížení s frekvencí $2,9938$ Hz.....	180

Obr. 243: Znázornění částí lávky dosahujících maximálního zrychlení a výkmitu při dynamickém zatížení s frekvencí 2,9938 Hz.....	181
Obr. 244: Znázornění částí mostovky dosahujících maximálního zrychlení a výkmitu při dynamickém zatížení s frekvencí 3,0309 Hz.....	183
Obr. 245: Znázornění částí lávky dosahujících maximálního zrychlení a výkmitu při dynamickém zatížení s frekvencí 3,0309 Hz.	184
Obr. 246: Znázornění částí mostovky dosahujících maximálního zrychlení a výkmitu při dynamickém zatížení s frekvencí 3,0552 Hz.	186
Obr. 247: Znázornění částí lávky dosahujících maximálního zrychlení a výkmitu při dynamickém zatížení s frekvencí 3,0552 Hz.....	187
Obr. 248: Znázornění maximálního výkmitu lan. (půdorys).....	200
Obr. 249: Detail hydraulických tlumičů na mostě Millenium Bridge v Londýně.	201
Obr. 250: Schéma navržených pohlcovačů umístitelných na nosné lano.	202
Obr. 251: Příklad návrhu instalovaného ztužidla do konstrukce.....	202
Obr. 252: Příklad návrhu instalovaného ztužidla do konstrukce.....	203
Obr. 253: 9. vl. tvar konstrukce. (vl. frekvence 2,2368 Hz)	204
Obr. 254: 13. vl. tvar, $f=3,0309$ Hz.	205
Obr. 255: Skica návrhu pohlcovače.	205
Obr. 256: Navrhované umístění pohlcovačů v rámci celé konstrukce.	205

Seznam tabulek

Tab. 1: Třídy provozu a zatížení lávek pro chodce. [34]	39
Tab. 2: Třídy pohody lávek pro chodce [34]	39
Tab. 3: Shoda svislých reakcí z jednotlivých výpočetních modelů.	83
Tab. 4: Zatížení vlastní tíhou.	98
Tab. 5: Zatížení vlastní tíhou.	99
Tab. 6: Výpočet zatížení vlastní tíhou.	131
Tab. 7: Kategorie terénů a jejich parametry. [32].	133
Tab. 8: Přehled napětí v závěsech při kombinaci „chodci + vítr + teplota min“	148
Tab. 9: Vlastní tvary a vlastní frekvence.	162
Tab. 10: Třídy pohody lávek pro chodce. [34]	166
Tab. 11: Max. zrychlení a výkmity při přechodu chodců v jedné řadě uprostřed mostovky s frekvencí kroku 1,4618 Hz.	166
Tab. 12: Max. zrychlení a výkmity při přechodu chodců v jedné řadě na „levém“ okraji mostovky s frekvencí kroku 1,4618 Hz.	167
Tab. 13: Max. zrychlení a výkmity při přechodu chodců v jedné řadě na „pravém“ okraji mostovky s frekvencí kroku 1,4618 Hz.	167
Tab. 14: Max. zrychlení a výkmity při přechodu chodců ve dvou řadách s frekvencí kroku 1,4618 Hz.	168
Tab. 15: Max. zrychlení a výkmity při přechodu chodců ve třech řadách s frekvencí kroku 1,4618 Hz.	168
Tab. 16: Max. zrychlení a výkmity při přechodu chodců ve dvou řadách „cik cak“ s frekvencí kroku 1,4618 Hz.	168
Tab. 17: Max. zrychlení a výkmity při přechodu chodců v jedné řadě uprostřed mostovky s frekvencí kroku 2,1081 Hz.	170
Tab. 18: Max. zrychlení a výkmity při přechodu chodců v jedné řadě na „levém“ okraji mostovky s frekvencí kroku 2,1081 Hz.	170
Tab. 19: Max. zrychlení a výkmity při přechodu chodců v jedné řadě na „pravém“ okraji mostovky s frekvencí kroku 2,1081 Hz.	171
Tab. 20: Max. zrychlení a výkmity při přechodu chodců ve dvou řadách s frekvencí kroku 2,1081 Hz.	171

Tab. 21: Max. zrychlení a výkmity při přechodu chodců ve třech řadách s frekvencí kroku 2,1081 Hz.	171
Tab. 22: Max. zrychlení a výkmity při přechodu chodců ve dvou řadách „cik cak“ s frekvencí kroku 2,1081 Hz.	171
Tab. 23: Max. zrychlení a výkmity při přechodu chodců v jedné řadě uprostřed mostovky s frekvencí kroku 2,2368 Hz.	173
Tab. 24: Max. zrychlení a výkmity při přechodu chodců v jedné řadě na „levém“ okraji mostovky s frekvencí kroku 2,2368 Hz.	173
Tab. 25: Max. zrychlení a výkmity při přechodu chodců ve dvou řadách s frekvencí kroku 2,2368 Hz.	174
Tab. 26: Max. zrychlení a výkmity při přechodu chodců ve třech řadách s frekvencí kroku 2,2368 Hz.	174
Tab. 27: Max. zrychlení a výkmity při přechodu chodců ve dvou řadách „cik cak“ s frekvencí kroku 2,2368 Hz.	174
Tab. 28: Max. zrychlení a výkmity při přechodu chodců v jedné řadě uprostřed mostovky s frekvencí kroku 2,7049 Hz.	176
Tab. 29: Max. zrychlení a výkmity při přechodu chodců v jedné řadě na „levém“ okraji mostovky s frekvencí kroku 2,7049 Hz.	176
Tab. 30: Max. zrychlení a výkmity při přechodu chodců ve dvou řadách s frekvencí kroku 2,7049 Hz.	177
Tab. 31: Max. zrychlení a výkmity při přechodu chodců ve třech řadách s frekvencí kroku 2,7049 Hz.	177
Tab. 32: Max. zrychlení a výkmity při přechodu chodců ve dvou řadách „cik cak“ s frekvencí kroku 2,7049 Hz.	177
Tab. 33: Max. zrychlení a výkmity při přechodu chodců v jedné řadě uprostřed mostovky s frekvencí kroku 2,9938 Hz.	179
Tab. 34: Max. zrychlení a výkmity při přechodu chodců v jedné řadě na „levém“ okraji mostovky s frekvencí kroku 2,9938 Hz.	179
Tab. 35: Max. zrychlení a výkmity při přechodu chodců ve dvou řadách s frekvencí kroku 2,9938 Hz.	179
Tab. 36: Max. zrychlení a výkmity při přechodu chodců ve třech řadách s frekvencí kroku 2,9938 Hz.	179

Tab. 37: Max. zrychlení a výkmity při přechodu chodců ve dvou řadách „cik cak“ s frekvencí kroku 2,9938 Hz.	180
Tab. 38: Max. zrychlení a výkmity při přechodu chodců v jedné řadě uprostřed mostovky s frekvencí kroku 3,0309 Hz.	182
Tab. 39: Max. zrychlení a výkmity při přechodu chodců v jedné řadě na „pravém“ okraji mostovky s frekvencí kroku 3,0309 Hz.	182
Tab. 40: Max. zrychlení a výkmity při přechodu chodců ve dvou řadách s frekvencí kroku 3,0309 Hz.	182
Tab. 41: Max. zrychlení a výkmity při přechodu chodců ve třech řadách s frekvencí kroku 3,0309 Hz.	182
Tab. 42: Max. zrychlení a výkmity při přechodu chodců ve dvou řadách „cik cak“ s frekvencí kroku 3,0309 Hz.	183
Tab. 43: Max. zrychlení a výkmity při přechodu chodců v jedné řadě uprostřed mostovky s frekvencí kroku 3,0552 Hz.	185
Tab. 44: Max. zrychlení a výkmity při přechodu chodců v jedné řadě na „levém“ okraji mostovky s frekvencí kroku 3,0552 Hz.	185
Tab. 45: Max. zrychlení a výkmity při přechodu chodců ve dvou řadách s frekvencí kroku 3,0552 Hz.	185
Tab. 46: Max. zrychlení a výkmity při přechodu chodců ve třech řadách s frekvencí kroku 3,0552 Hz.	185
Tab. 47: Max. zrychlení a výkmity při přechodu chodců ve dvou řadách „cik cak“ s frekvencí kroku 3,0552 Hz.	186
Tab. 48: Max. zrychlení a výkmity při přechodu chodců v jedné řadě uprostřed mostovky s frekvencí kroku 3,2284 Hz.	188
Tab. 49: Max. zrychlení a výkmity při přechodu chodců v jedné řadě na „levém“ okraji mostovky s frekvencí kroku 3,2284 Hz.	188
Tab. 50: Max. zrychlení a výkmity při přechodu chodců ve dvou řadách s frekvencí kroku 3,2284 Hz.	188
Tab. 51: Max. zrychlení a výkmity při přechodu chodců ve třech řadách s frekvencí kroku 3,2284 Hz.	188
Tab. 52: Max. zrychlení a výkmity při přechodu chodců ve dvou řadách „cik cak“ s frekvencí kroku 3,2284 Hz.	189

Tab. 53: Max. zrychlení a výkmity při přechodu chodců v jedné řadě uprostřed mostovky s frekvencí kroku 3,4524 Hz.	190
Tab. 54: Max. zrychlení a výkmity při přechodu chodců v jedné řadě na „levém“ okraji mostovky s frekvencí kroku 3,4524 Hz.	190
Tab. 55: Max. zrychlení a výkmity při přechodu chodců ve dvou řadách s frekvencí kroku 3,4524 Hz.	190
Tab. 56: Max. zrychlení a výkmity při přechodu chodců ve třech řadách s frekvencí kroku 3,4524 Hz.	191
Tab. 57: Max. zrychlení a výkmity při přechodu chodců ve dvou řadách „cik cak“ s frekvencí kroku 3,4524 Hz.	191
Tab. 58: Max. zrychlení a výkmity při přechodu chodců v jedné řadě uprostřed mostovky s frekvencí kroku 3,7235 Hz.	192
Tab. 59: Max. zrychlení a výkmity při přechodu chodců v jedné řadě na „levém“ okraji mostovky s frekvencí kroku 3,7235 Hz.	192
Tab. 60: Max. zrychlení a výkmity při přechodu chodců ve dvou řadách s frekvencí kroku 3,7235 Hz.	193
Tab. 61: Max. zrychlení a výkmity při přechodu chodců ve třech řadách s frekvencí kroku 3,7235 Hz.	193
Tab. 62: Max. zrychlení a výkmity při přechodu chodců ve dvou řadách „cik cak“ s frekvencí kroku 3,7235 Hz.	193
Tab. 63: Max. zrychlení a výkmity při přechodu chodců v jedné řadě uprostřed mostovky s frekvencí kroku 4,5214 Hz.	194
Tab. 64: Max. zrychlení a výkmity při přechodu chodců v jedné řadě na „levém“ okraji mostovky s frekvencí kroku 4,5214 Hz.	195
Tab. 65: Max. zrychlení a výkmity při přechodu chodců ve dvou řadách s frekvencí kroku 4,5214 Hz.	195
Tab. 66: Max. zrychlení a výkmity při přechodu chodců ve třech řadách s frekvencí kroku 4,5214 Hz.	195
Tab. 67: Max. zrychlení a výkmity při přechodu chodců ve dvou řadách „cik cak“ s frekvencí kroku 4,5214 Hz.	195
Tab. 68: Max. zrychlení a výkmity při přechodu chodců v jedné řadě uprostřed mostovky s frekvencí kroku 4,5979 Hz.	197

Tab. 69: Max. zrychlení a výkmity při přechodu chodců v jedné řadě na „levém“ okraji mostovky s frekvencí kroku 4,5979 Hz.	197
Tab. 70: Max. zrychlení a výkmity při přechodu chodců ve dvou řadách s frekvencí kroku 4,5979 Hz.	197
Tab. 71: Max. zrychlení a výkmity při přechodu chodců ve třech řadách s frekvencí kroku 4,5979 Hz.	197
Tab. 72: Max. zrychlení a výkmity při přechodu chodců ve dvou řadách „cik cak“ s frekvencí kroku 4,5979 Hz.	198
Tab. 73: Přehled dynamického posouzení.	199
Tab. 74: Max. výkmit před ztužením a po ztužení při přechodu 16 chodců ve dvou řadách s frekvencí jednoho kroku 1,4618 Hz.	203

Přílohy