

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**  
**FAKULTA STAVEBNÍ**



# **BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**2017**

**PAVEL VRBA**

České vysoké učení technické v Praze  
Fakulta stavební  
Katedra betonových a zděných konstrukcí

# Návrh lávky přes ulici Rokycanskou v Plzni

Bakalářská práce

Vypracoval: Pavel Vrba  
Vedoucí bakalářské práce: Doc. Ing. Marek Foglar, Ph.D.  
Studijní obor: Konstrukce a dopravní stavby

Praha 2017



## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

### I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Vrba	Jméno: Pavel	Osobní číslo: 426342
Zadávající katedra: K133 Katedra betonových a zděných konstrukcí		
Studijní program: (B3651) Stavební inženýrství		
Studijní obor: (3647R013) Konstrukce a dopravní stavby		

### II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Návrh lávky přes ulici Rokycanskou v Plzni	
Název bakalářské práce anglicky: Footbridge over Rokycanska street in Pilsen	
Pokyny pro vypracování: Součástí řešení bude: <ul style="list-style-type: none"><li>- návrh přemostění ulice Rokycanské - propojení ulic Sousedská a Rodinná</li><li>- řešerše na téma půdorysně zakřivených lávek pro pěší</li><li>- zpracování a posouzení koncepčního návrhu dvou hlavních variant</li><li>- detailní posouzení hlavních konstrukčních prvků výsledné varianty</li></ul>	
Seznam doporučené literatury:	
Jméno vedoucího bakalářské práce: Doc. Ing. Marek Foglar, Ph.D.	
Datum zadání bakalářské práce: 23/2/2017	Termín odevzdání bakalářské práce: 28/5/2017 <i>Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku</i>
Podpis vedoucího práce	Podpis vedoucího katedry

### III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

*Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v bakalářské 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“.*

Datum převzetí zadání	Podpis studenta(ky)
-----------------------	---------------------

# Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto práci vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Jsem si vědom toho, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., ve znění zákona č. 81/2005 Sb. (autorský zákon).

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Ústřední knihovně Fakulty stavební a Fakulty architektury ČVUT.

V Praze dne 28.5.2017

.....

Pavel Vrba



# Poděkování

Rád bych na tomto místě poděkoval panu Doc. Ing. Marku Foglarovi, Ph.D. za konzultace, užitečné rady a pomoc při vypracování této bakalářské práce.

# Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá návrhem lávky pro chodce přes Rokycanskou ulici v Plzni. V první části práce se zaměřuji na průzkum již existujících lávek v Praze a Plzni, kde zkoumám jejich funkční podstatu. Druhou částí jsou vlastní variantní návrhy lávky samotné. Další částí je rozbor vybraných variant s ohledem na jejich mechanické a dynamické chování. V závěrečné kapitole je dopracována výsledná varianta, která je zjednodušeně posouzena.

Výsledná varianta s délkou hlavního pole 75,1 m je tvořena půdorysně zakřiveným komorovým nosníkem o poloměru 26,0 m. Takto tvořená mostovka je jednostranně zavěšena za betonový pylon výšky 30,2 m se sklonem 64°.

## Klíčová slova

Lávka pro pěší, zavěšená konstrukce, zakřivená konstrukce, zatížení, beton, namáhání, deformace, vlastní tvary kmitání.

# Abstract

The focus of the bachelor thesis is designing a new footbridge over Rokycanská Street in Pilsen. The first part of the thesis presents a research of already existing footbridges in Prague and Pilsen, where their functional basis is explored. The second part contains variant draughts of the footbridge itself. The next part is analysis of selected versions considering their mechanical and dynamical behaviour. In the last chapter the final variant is finished and it is reviewed in a simplified way.

The final variant with central span 75,1 m constitutes of curved chamber beam with radius 26,0 m. So formed bridge deck is unilaterally suspended on a concrete pylon 30,2 m high with 64° gradient.

## Key words

Footbridge, suspended bridge, curved structure, load, concrete, stress, deformation, dynamic analysis.

## Obsah

Obsah .....	8
Seznam tabulek .....	10
1. Úvod .....	13
2. Rešerše .....	14
2.1. Téma rešerše.....	14
2.2. Zdroje rešerše.....	14
2.3. Zpracování.....	14
2.4. Lávka Hůrka - metro .....	15
2.5. Lávka Hůrka - bus.....	17
2.6. Lávka přes Wassermannovu ulici.....	19
2.7. Lávka k Barrandovu .....	21
2.8. Lávka přes Modřanskou ulici.....	23
2.9. Lávka Ke Kateřinkám.....	25
2.10. Lávka u Kulturního domu Opatov.....	27
2.11. Lávka Metodějova.....	29
2.12. Lávka TJ Chodov .....	31
2.13. Lávka na Spořilově .....	34
2.14. Lávka u Nuselského mostu .....	36
2.15. Lávka u Kongresového centra .....	38
2.16. Lávka přes Ocelkovu ulici .....	40
2.17. Lávka na Nové Hospodě.....	42
2.18. Lávka U Prazdroje .....	44
3. Variantní řešení.....	48
3.1. Zájmová oblast .....	48
3.2. Charakteristika území .....	48
3.3. Výtvarné ztvárnění .....	49

3.4.	Cíle dopravního řešení.....	49
3.5.	Okrajové podmínky .....	50
3.6.	Varianta 1 .....	50
3.7.	Varianta 2 .....	53
3.8.	Varianta 3 .....	55
3.9.	Porovnání variant.....	58
3.10.	Volba zpracovávané varianty .....	61
4.	Analýza výpočetních modelů .....	62
4.1.	Varianta 1 – prutový model .....	63
4.2.	Varianta 1 – deskostěnový model .....	65
4.3.	Varianta 1 – porovnání modelů .....	67
4.4.	Varianta 1 – variace zavěšení .....	69
4.5.	Varianta 1 – ladění modelu .....	74
4.6.	Varianta 2 – prutový model .....	78
4.7.	Varianta 2 – deskostěnový model .....	80
4.8.	Varianta 2 – porovnání výpočetních modelů .....	82
4.9.	Varianta 2 – modifikace podpor.....	83
4.10.	Varianta 2 – zhodnocení a výběr statického řešení.....	85
4.11.	Srovnání výsledných variant .....	89
5.	Řešení výsledné varianty .....	90
5.1.	Návrh pylonu.....	90
5.2.	Zatížení.....	94
5.3.	Materiály .....	101
5.4.	Návrh předpětí.....	102
5.5.	Kombinace MSP .....	108
5.6.	Posouzení MSP .....	109
5.7.	Kombinace MSÚ.....	112

5.8.	Posouzení MSÚ .....	114
5.9.	Kombinace zatížení pylonu .....	118
5.10.	Posouzení pylonu .....	119
5.11.	Ověření průhybů .....	126
5.12.	Postup výstavby.....	128
6.	Závěr .....	129
7.	Seznam použité literatury .....	130
8.	Seznam obrázků a fotografií.....	132
8.1.	Seznam obrázků.....	132
8.2.	Seznam fotografií.....	136
9.	Přílohy .....	138

## Seznam tabulek

Tabulka 1 - Varianta 1 - srovnání deformací prutového a deskostěnového modelu .....	67
Tabulka 2 - Varianta 1 - srovnání reakcí prutového a deskostěnového modelu .....	68
Tabulka 3 - Varianta 1 - deformace v závislosti na zavěšení .....	71
Tabulka 4 - Varianta 1 - natočení průřezů .....	73
Tabulka 5 - Varianta 1 - frekvence vlastního kmitání .....	74
Tabulka 6 - Varianta 1 - ochlazení prutů .....	75
Tabulka 7 - Varianta 1 - deformace po předpětí závěsů .....	76
Tabulka 8 - Varianta 1 - vlastní frekvence kmitání .....	76
Tabulka 9 - Varianta 2 - srovnání deformací modelů .....	82
Tabulka 10 - Varianta 2 - srovnání reakcí modelů .....	83
Tabulka 11 - Varianta 2 - deformace v závislosti na podepření .....	86
Tabulka 12 - Varianta 2 - frekvence vlastního kmitání .....	87
Tabulka 13 - Varianta 2 - model 29 .....	87

Tabulka 14 - Vliv sklonu pylonu .....	90
Tabulka 15 - Chování konstrukce s ocelovým pylonem .....	91
Tabulka 16 - Chování konstrukce s ocelobetonovým pylonem .....	92
Tabulka 17 - Chování konstrukce s betonovým pylonem .....	93
Tabulka 18 - Vnesení předpětí závěsných lan ochlazením - po doplnění pylonu .....	93
Tabulka 19 - Charakteristiky betonu C90/105 .....	101
Tabulka 20 - Charakteristiky betonu C50/60 .....	102
Tabulka 21 - Charakteristické kombinace MSP bez předpětí, sestava .....	103
Tabulka 22 - Vnitřní síly použité pro sestavení kombinací .....	105
Tabulka 23 - Charakteristická kombinace MSP bez předpětí, Řez 1 .....	105
Tabulka 24 - Charakteristická kombinace MSP bez předpětí, Řez 2 .....	106
Tabulka 25 - Charakteristická kombinace MSP bez předpětí, Řez 3 .....	106
Tabulka 26 - Charakteristická kombinace MSP bez předpětí, Řez 4 .....	106
Tabulka 27 - Charakteristická kombinace MSP bez předpětí, Řez 5 .....	106
Tabulka 28 - Charakteristická kombinace MSP bez předpětí, Řez 6 .....	106
Tabulka 29 - Maxima a minima napětí v průřezech .....	107
Tabulka 30 - Hodnoty kvazistálých kombinací MSP bez předpětí .....	108
Tabulka 31 - Hodnoty častých kombinací MSP bez předpětí .....	109
Tabulka 32 - Příspěvky normálových sil vyvolaných předpětím v čase .....	109
Tabulka 33 - Posouzení normálových napětí MSP, kombinace 1 .....	110
Tabulka 34 - Posouzení normálových napětí MSP, kombinace 2 .....	111
Tabulka 35 - Sestava kombinací pro MSÚ s předpětím na konci životnosti .....	112
Tabulka 36 - Kombinace MSÚ, řez 2 .....	113
Tabulka 37 - Kombinace MSÚ, řez 3 .....	113
Tabulka 38 - Kombinace MSÚ, řez 6 .....	113
Tabulka 39 - Posouzení smykové únosnosti .....	117
Tabulka 40 - Kombinace mezního stavu únosnosti .....	119

Tabulka 41 - Charakteristické kombinace mezního stavu použitelnosti .....	119
Tabulka 42 - Kvizistálé kombinace mezního stavu použitelnosti.....	119
Tabulka 43 - Návrh minimální plochy výztuže.....	123
Tabulka 44 - Ověření extrémů interakčních diagramů .....	124
Tabulka 45 - Ověření smykové únosnosti pylonu .....	126



# 1. Úvod

Obsahem zadání je návrh a umístění konstrukčního řešení lávky pro chodce a cyklisty přes Rokycanskou propojující Sousedskou a Rodinnou ulici se zastávkami trolejbusu Letná. V rámci práce budu respektovat zadání investora a splněním následující podmínky. Jízdní pásy Rokycanské třídy (silnice I/26) zůstanou beze změn. Průchozí šířka lávky bude minimálně 3,5m. Dále musím zajistit bezbariérový přístup jak přes lávku samotnou, tak k zastávkám trolejbusu.

Ve stávajícím stavu je propojení ulic Rodinná a Sousedská a jejich napojení na zastávkové zálivy řešeno bariérovým přístupem pomocí podchodu pod komunikaci I/26. Podchod nedisponuje dostatečným osvětlením, trasa je vedena ostrými lomy a prostor působí nepříjemně na procházející osoby. Z těchto důvodů si chodci úroveň zkracují cestu přes komunikaci I/26 a ohrožují tím sebe i provoz na komunikaci. Vzhledem k blízké škole, divadlu a k hustotě obytné zástavby je stávající dopravní řešení není vyhovující. Tato práce se snaží tento problém vyřešit návrhem lávky, která umožní pohodlný bezpečný a bezbariérový přístup přes ulici Rokycanská pro chodce i cyklisty.

Předmětem práce je zpracování variantního návrhu lávky pro pěší a cyklisty přes Rokycanskou třídu v Plzni za účelem propojení ulic Rodinná a Sousedská. V první části se zaměřím na samotný návrh a zároveň provedu průzkum již existujících lávek v Praze a Plzni. Při průzkumu budu hledat inspiraci a zároveň důvody, proč jsou některé lávky využívány hojně, zatímco jiné nikoli. Na základě nabytých informací z tohoto šetření provedu výběr dvou variant, které budu rozvíjet v další části mé práce.

V druhé části práce se zaměřím na statické a dynamické vlastnosti mých návrhů. Obě vybrané varianty budu upravovat, abych dosáhl co nejlepšího chování konstrukce. Následně vyberu finální variantu, kterou dopracuji a posoudím. Posouzení provedu pouze pro hlavní nosné prvky lávky. Ve své práci se nebudu zabývat základovými poměry ani detailním návrhem spodní stavby. Předmětem práce zároveň není ani podrobný dynamický posudek.

## 2. Rešerše

### 2.1. Téma rešerše

Tématem rešerše jsou zakřivené a zalomené lávky, řešené z důvodu stísněných podmínek měst či s ohledem na urbanismus řešeného území. Zadání se odvíjí od tématu celé práce, kdy mojí snahou je zpracování co nejoptimálnějšího řešení pro lávku, která by měla být umístěna v Plzni přes Rokycanskou ulici.

Formou rešerše jsem hledal inspiraci a různé možnosti jak konstrukčního, tak dopravního řešení pro svou lávku. Zároveň sem se snažil hledat důvody, proč jsou některé lávky používanější než jiné. Z nedostatků bych se chtěl poučit a dále jim předejít. Ještě v začátku bych chtěl citovat následující větu, která tuto problematiku krátce popisuje.

*„Návrh lávek pro pěší vyžaduje zvláštní pozornost. Konstrukce lávek by měly mít lidský rozměr, měly by být lehké, transparentní a pohodlné pro chodce.“ [12]*

### 2.2. Zdroje rešerše

Vedoucím práce mi bylo doporučeno provést terénní průzkum existujících lávek, které jsou situovány ve městech a přemostují pozemní komunikace v okolí obytné zástavby.

Jako zdroje pro zpracování rešerše budou proto sloužit již existující lávky, které jsou nestandardně řešeny konstrukčně, směrově nebo svou vazbou na urbanismus. Vybrané lávky jsou vybírány na území města Plzně a hlavního města Prahy. Hlavním kritériem pro tyto lávky je jejich umístění na území města, kde přemostují pozemní komunikaci a plní funkci bezpečného, bezbariérového řešení.

### 2.3. Zpracování

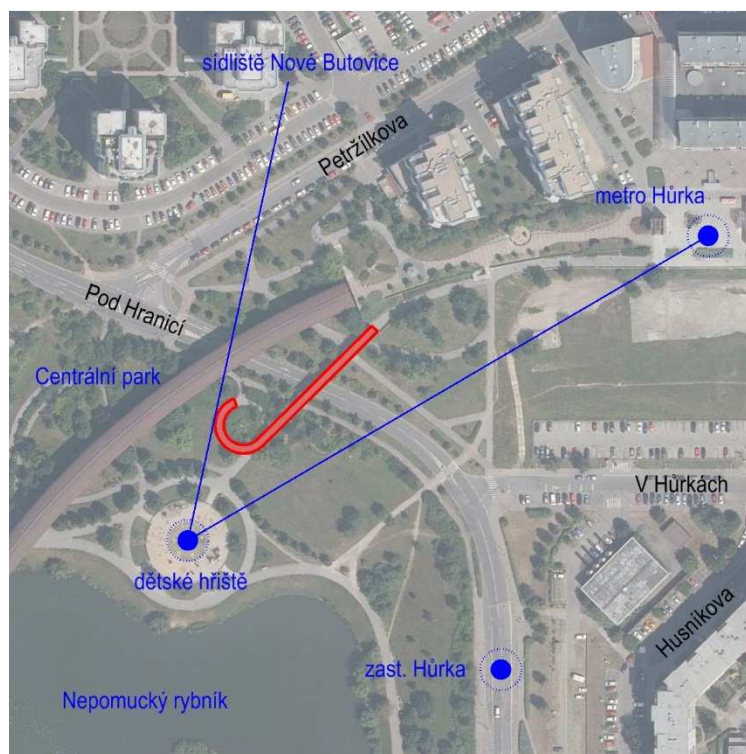
Vybrané lávky jsem osobně navštívil, pořídil fotodokumentaci a zjišťoval jsem, kdo je jejich uživatelem. Zároveň jsem se lávky pokusil zhodnotit s ohledem na jejich výtvarnou stránku, vhodné umístění, volbu konstrukce, uživatelskou přívětivost a dopravní řešení. Ze všech navštívených lávek jsem vybral nejzajímavější konstrukce, které jsem na následujících stranách popsal.

Ke každé z vybraných lávek jsem vypracoval situaci širších vztahů, do které jsem červenou barvou zakreslil konstrukci lávky a modrou naznačil hlavní dopravní směry

v okolí. Dalším schématem je statické schéma lávky. U všech lávek je uveden stručný popis, konstrukční řešení, dopravní řešení a moje subjektivní hodnocení dané konstrukce. Popis je doplněn vybranými fotografiemi, které jsem pořídil.

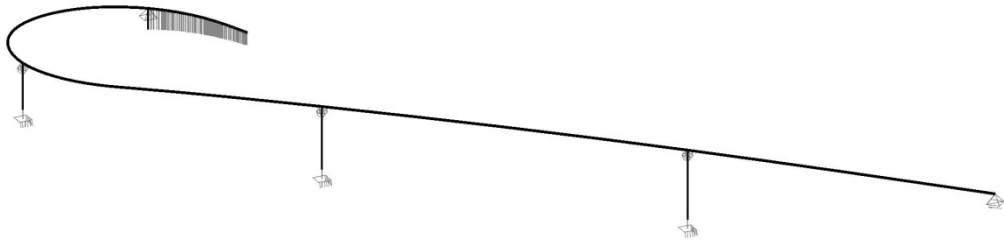
## 2.4. Lávka Hůrka - metro

Tato lávka se nachází v Praze Stodůlkách asi 150 m od stanice metra Hůrka. Zajišťuje bezpečné propojení mezi stanicí metra a sídlištěm Nové Butovice na jedné straně a na druhé straně městskou zelení v Centrálním parku, dětským hřištěm a autobusovou zastávkou Hůrka. Lávka je navržena pro bezbariérový přístup a je součástí cyklotrasy.



Obrázek 1 - dopravní schéma lávky Hůrka - metro

Jedná se o ocelovou, trémovou, komorovou konstrukci, která je výtvarně ztvárněna v podobném duchu jako souběžný most pro vedení metra. Konstrukce je uložena na třech železobetonových pilířích a dvou opěrách.



Obrázek 2 - statické schéma lávky Hůrka - metro

Směrové řešení vychází z dopravního řešení, kdy hlavní směry pohybu chodců jsou především mezi metrem a městskou zelení, dále pak pohyb rezidentů z přílehlého sídliště na dětské hřiště, případně autobusovou zastávku umístěnou jižně od konstrukce lávky.



Foto 1 - Hůrka - metro, pohled od parku

Severní opěra lávky je v dostatečné výšce pro přemostění ulice Pod Hranicí, proto je z této opěry vedena přímo. Po překonání komunikace se niveleta lávky svažuje na úroveň terénu místního parku. Točitá rampa s poloměrem cca 10 m zde umožňuje pohodlný pohyb chodců i cyklistů. Zároveň rampa nepůsobí násilně, je přehledná a celkově neodpuzuje od používání.

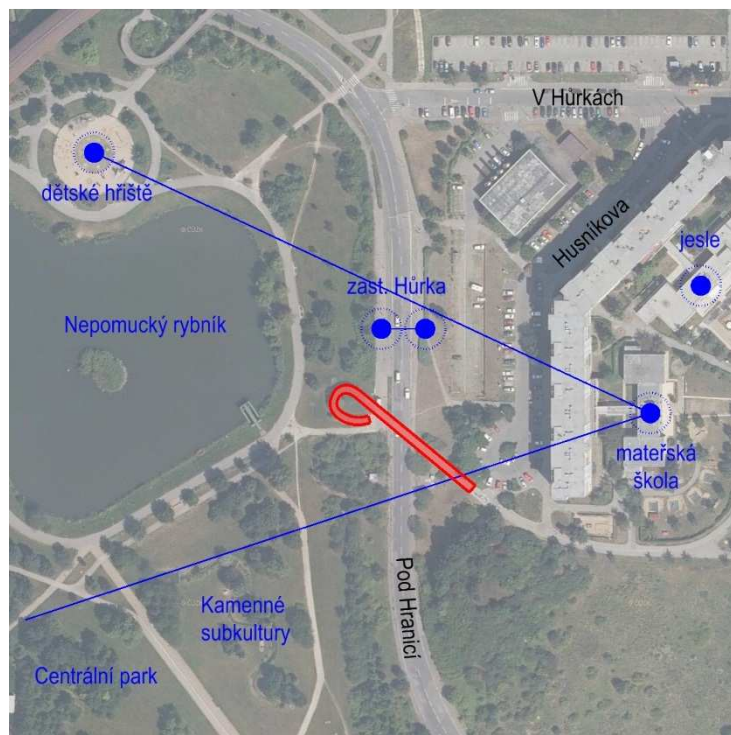




Foto 2 - Hůrka - metro, pohled od zastávky metra

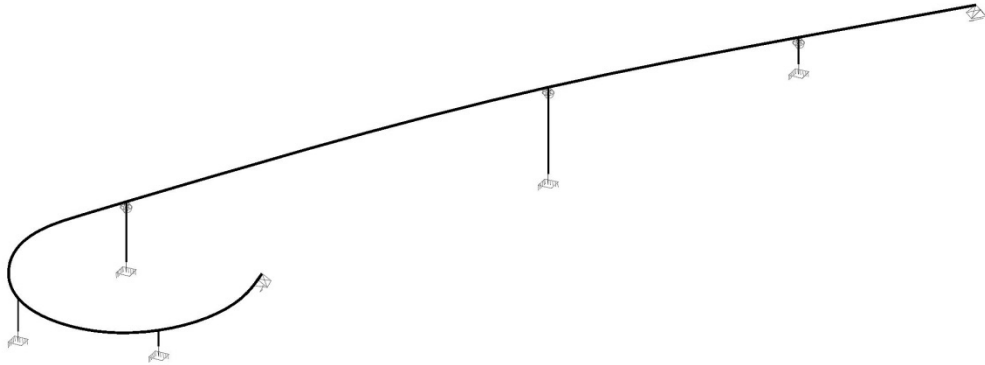
## 2.5. Lávka Hůrka - bus

Lávka je situována 50 m jižně od autobusové zastávky Hůrka v Praze na Stodůlkách. Lávka zde tvoří přemostění přes ulici Pod Hranicí, kdy západně od této hranice se nachází městská zeleň Centrální park a na východě se rozléhá Sídliště Nové Butovice. Zároveň slouží, jako spojnice protilehlých autobusových zastávek a je součástí cyklotrasy.



Obrázek 3 - dopravní schéma lávky Hůrka - bus

Nosnou konstrukcí je železobetonový trám průřezu T, který je v přímé části uložen pomocí elastomerových ložisek na trojici železobetonových tuhých pilířích. Části zakřivené rampy je podepřena poddajnými ocelovými pruty.



Obrázek 4 - dopravní schéma lávky Hůrka - bus

Směrové řešení lávky ovlivnily především okolní terénní podmínky. Z východní strany od obytné oblasti se vstupuje z vysokého terénu na přímou lávku, která se po překonání přemostňované ulice směrově stáčí v levotočivou rampu. Rampa končí na přilehlém chodníku. Nejmenší vnitřní poloměr zakřivení rampy je cca 3,0 m a je tedy vhodná i pro cyklisty.



Foto 3 - Hůrka – bus, pohled z parku

Lávka je zde vhodně umístěna především vzhledem k terénním podmínkám, kdy je přemostňovaná komunikace položena níže než hrana svahu, na kterém je lávka

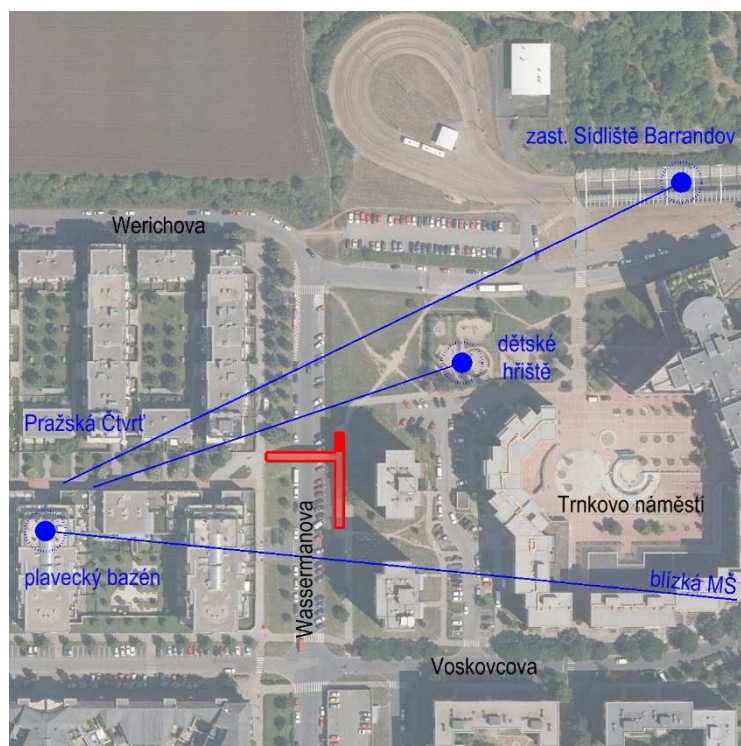
ukončena. Zároveň pak absence přechodů pro chodce a charakter lávky jakožto spojení obyvatel s volnočasovými aktivitami ji přidává na funkčnosti.



Foto 4 - Hůrka – bus, pohled z ulice Pod Hranicí

## 2.6. Lávka přes Wassermannovu ulici

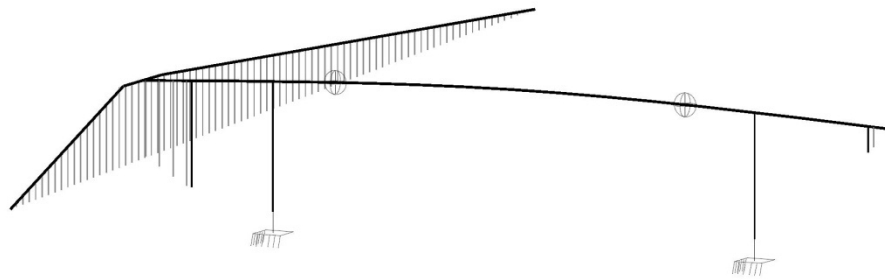
Lávka se nachází v Praze Hlubočepích. Přemostňuje Wassermannovu ulici, která je v tomto místě zahloblena pod okolní terén. Slouží zde především pro propojení obytné zóny Pražská čtvrť s dalšími potřebami obyvatelstva, jako jsou spoje městské hromadné dopravy a blízkou mateřskou školou, dále pak místní plavecký bazén s potenciálními návštěvníky.



Obrázek 5 - dopravní schéma lávky přes Wassermannovu ulici



Lávka je zde tvořena železobetonovým trémovým nosníkem s dolní mostovkou (parapetní nosník). Samotné přemostění tvoří dva nosníky s převislým koncem, kdy krajní podpory jsou řešeny jako vetknutí do terénu na západě a do přístupové rampy na východě. Mezi tyto nosníky je pak vložen prostřední díl nad samotnou komunikací.



Obrázek 6 - statické schéma lávky přes Wassermannovu ulici

Půdorysně se jedná o nesymetrický tvar T, kdy na západním svahu navazuje lávka přímo na terén, ze kterého přemostňuje Wassermannovu ulici v přímé, až ke svahu východnímu, na kterém je umístěna rampa. Severní větev této rampy tvoří schodiště a jižní pak bezbariérová rampa. Souběžně s touto rampou je z východu veden i chodník pro chodce, kteří se nepohybují přemostňovaným směrem.



Foto 5 - Lávka přes Wassermannovu ulici, pohled z Wassermannovi ulice

Vzhledem k zahlobení komunikace zde lávka překonává zmíněnou ulici téměř úrovně. Na okolní chodníky a ulice je vhodně napojena, tedy přímo do Kovaříkově



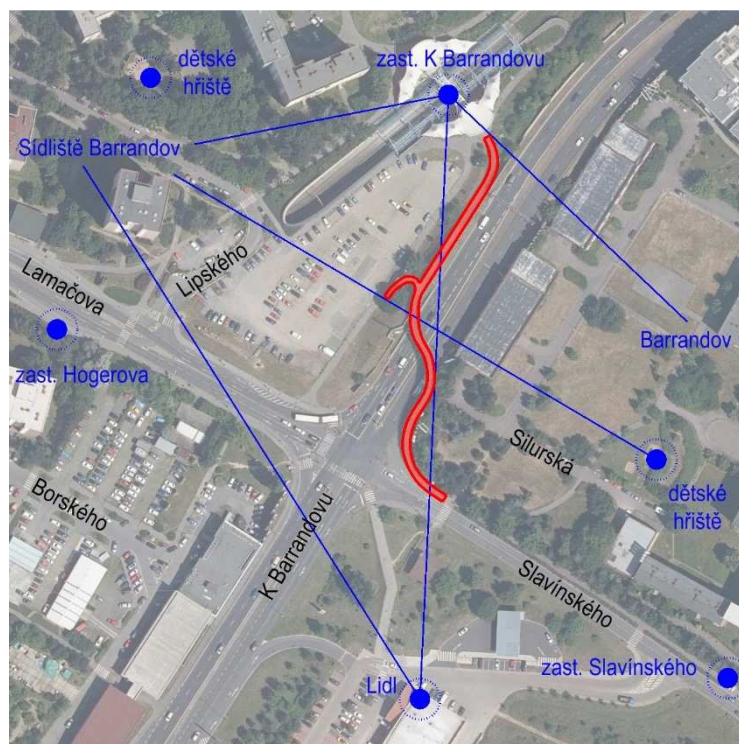
ulice na západním svahu, rovnoběžně s Wassermannovou ulicí. Lávka působí svou konstrukcí i vzhledem jednoduše, přehledně a pro chodce přívětivě.



Foto 6 - Lávka přes Wassermannovu ulici, pohled z Pražské čtvrti

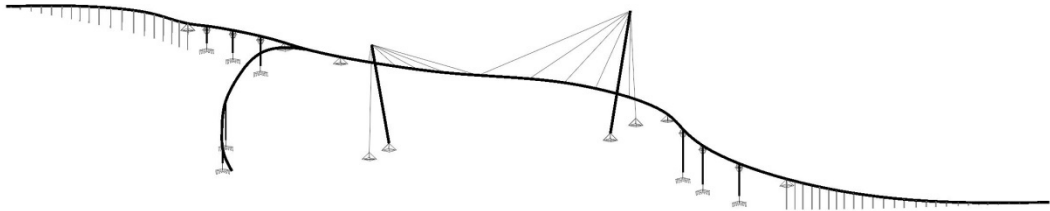
## 2.7. Lávka k Barrandovu

Lávka přemostňuje ulici K Barrandovu, která tvoří průtah městem, poblíž tramvajové zastávky K Barrandovu v Praze Hlubočepch. Lávka propojuje přílehlou zastávku tramvaje a blízké parkoviště s obytnou zónou v okolí Silurské ulice. Dále pak může sloužit k bezpečnému překonání ulice mezi Sídlištěm Barrandov na jedné straně k obchodu na druhé straně.



Obrázek 7 - dopravní schéma lávky K Barrandovu

Na přemostění ulice K Barrandovu se jedná se o ocelovou jednostranně zavěšenou konstrukci s horní ocelovou ortotropní mostovkou. Nosný prvek zde krom pylonů a závěsných lan tvoří ocelová trouba umístěná pod mostovkou, která přenáší torzní namáhání způsobené nesymetričností závěsů. K samotnému přemostění pak vedou rampy železobetonové deskové konstrukce.



Obrázek 8 - statické schéma lávky K Barrandovu

Rozlehlost lávky je dána především okolním terénem, kdy je přemostěvaná komunikace dokonce nad některými nástupními body, z čehož vyplývají velké délky přístupových ramp. Celé přemostění je vedeno bez ostrých lomů díky čemuž je lávka plynulá a přehledná. Dále je lávka osazena schodištěm pro zkrácení cesty k blízkému parkovišti a to na severním okraji přemísťované komunikace.



Foto 7 - Lávka k Barrandovu, pohled od Barrandova

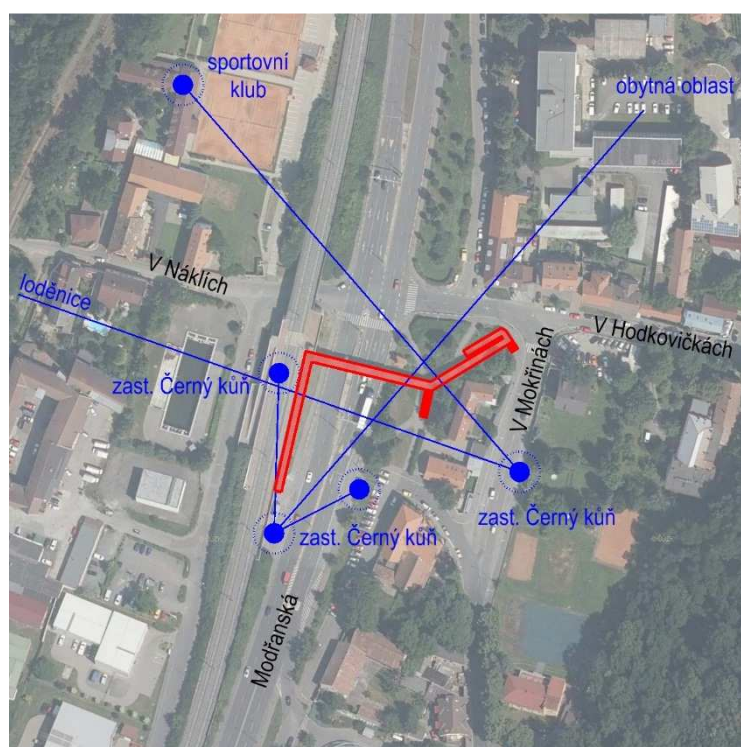
Konstrukce lávky se jeví vzdušně a elegantně avšak vzhledem k umístění lávky poblíž světelně řízené křižovatky s přechody pro chodce, nutnosti překonávání velkých výškových rozdílů a ústím bezbariérových ramp se lávka jeví uživatelsky nepřívětivě.



Foto 8 - Lávka k Barrandovu, pohled od zastávky tramvaje

## 2.8. Lávka přes Modřanskou ulici

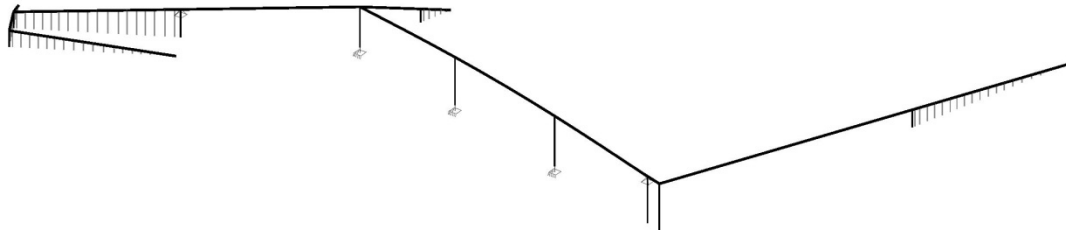
Pěší lávka přes Modřanskou ulici se nachází v Praze Hodkovičkách. Slouží především jako rampa pro blízkou tramvajovou zastávku Černý kůň, dále pak pro bezpečné přemostění zmíněné ulice, avšak o tuto funkci se lávka dělí s přechodem pro chodce, který se nachází v bezprostřední blízkosti.



Obrázek 9 - dopravní schéma lávky přes Modřanskou ulici



Lávka je řešena jako železobetonový trámový nosník průřezu T, s horní mostovkou. Nosník je podepřen třemi pilíři, se kterými je zmonolitněn a krajními opěrami, kde je trám uložen kloubově.



Obrázek 10 - statické schéma lávky přes Modřanskou ulici

Nástupní bod na severní straně je uložen na úrovni tramvajové zastávky a napojen na původní rampu k této zastávce náležící. Z tohoto místa konstrukce přemostňuje Modřanskou ulici přímo až k poslednímu pilíři kruhového průřezu, kde se větví mezi schodišťové rameno vpravo a rampu pro bezbariérový přístup nalevo. Vzhledem k délce bezbariérového přístupu je zde použita zalomená rampa.



Foto 9 - Lávka přes Modřanskou ulici, pohled z Modřanské

Lávka skýtá na východním okraji Modřanské ulice možnost přístupu z několika stran, včetně přístupu bezbariérového. Na druhé straně je lávka pohodlně přístupná z tramvajové zastávky, méně příznivě pak od autobusové zastávky, kde je nutno překonat velký výškový rozdíl. Přístup z ulice V Náklich je pro chodce krajně

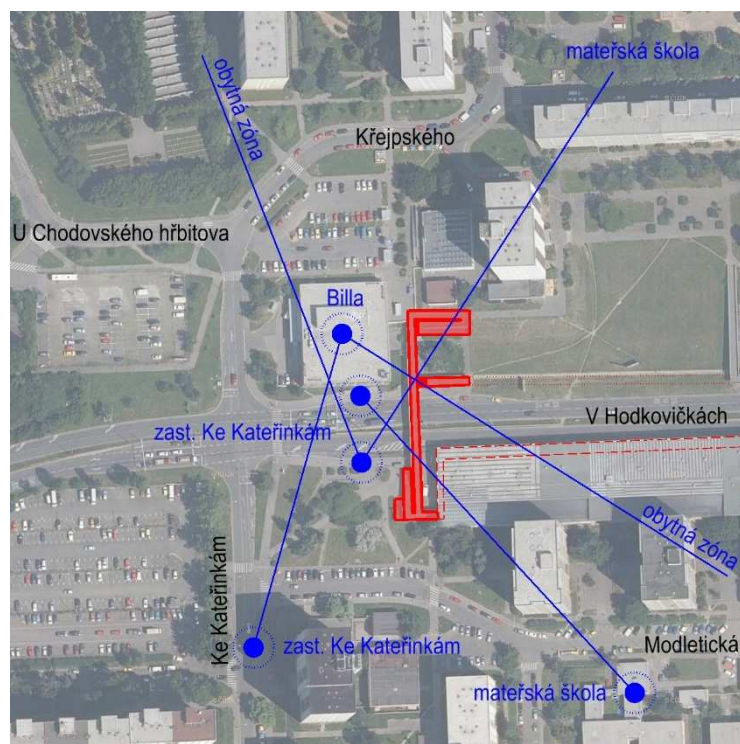
nepohodlný díky složitosti přístupových ramp. Z toho důvodu je zde zřejmě osazen přechod pro chodce.



Foto 10 - Lávka přes Modřanskou ulici, pohled pod zastávkou Černý kůň

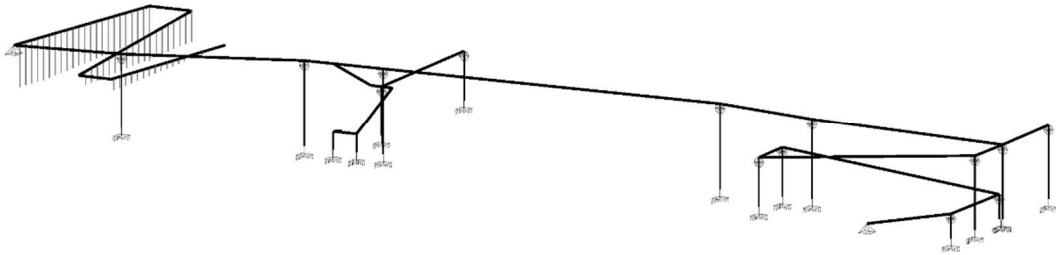
## 2.9. Lávka Ke Kateřinkám

Tato lávka se nachází u autobusové zastávky Ke Kateřinkám poblíž místního obchodu Billa v Praze na Opatově. Lávka zajišťuje spojení přes Opatovskou ulici mezi zmíněnými zastávkami a dále pak mezi okolními obchody a obytnou zónou.



Obrázek 11 - dopravní schéma lávky Ke Kateřinkám

Konstrukčně je lávka řešena jako betonový, plnostěnný, trémový nosník se spodní mostovkou. Lávka je na severní straně pevně uložena na opěrné zdi u parkoviště místního obchodu. Ve své délce přes komunikaci je podepřena čtyřmi dvojicemi betonových pilířů, na které je uložena pomocí posuvných ložisek. Na jižní straně pak lávka přechází k lomené rampě uložené v blízkosti mezipodest.



Obrázek 12 - statické schéma lávky Ke Kateřinkám

Jak již bylo zmíněno, lávka především propojuje obytné zóny od protilehlých autobusových zastávek a obchodním domem. Na severní straně ulice je přístup od parkoviště obchodního domu řešen úrovně. Jedním směrem z blízkého sídliště a východním směrem vedoucí rampou vedoucí z východu o úroveň níže k autobusové zastávce. Při okraji silnice se dále pak nachází schodiště pro zkrácení cesty a zároveň s balkonem, jenž měl tuto konstrukci propojovat s lávkou následující. Na jižní straně ulice konstrukce přechází na lomenou rampu vedoucí k blízké zastávce a zároveň na terasu přílehlého víceúčelového domu.



Foto 11 - Ke Kateřinkám, pohled z víceúčelového domu



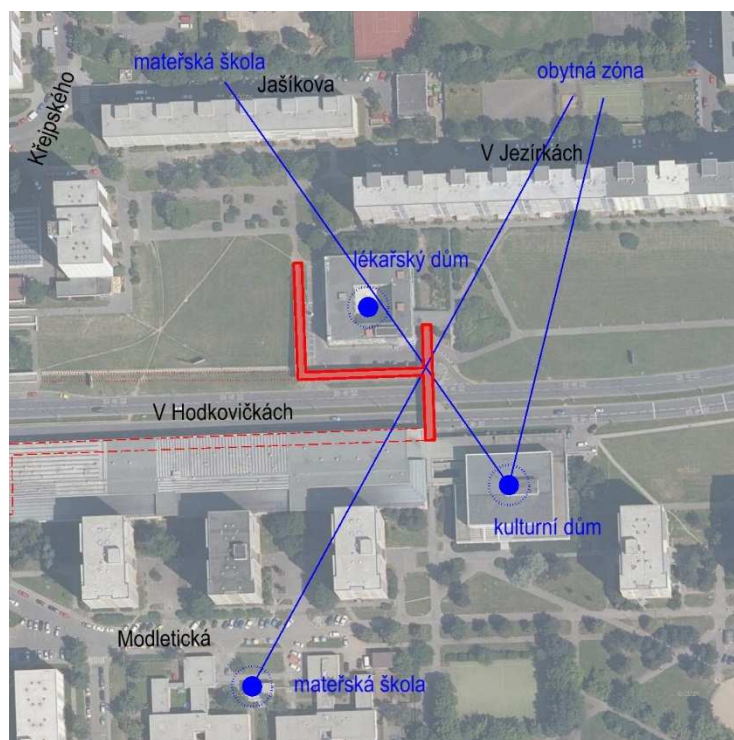
Terén svažující se jižním směrem má na pěší lávku poměrně velký vliv. Zatímco ze severu umožňuje pohodlný bezbariérový přístup, rampa na jižní straně může působit až odpudivě. Jednak stísněností prostorů (malá světlá výška mezi rameny), čímž je poněkud nepřehledná a především pak vizuálně nepůsobí dobře při pohledu od přilehlých obytných objektů na jižní straně.



Foto 12 - Ke Kateřinkám, pohled na jižní rampu

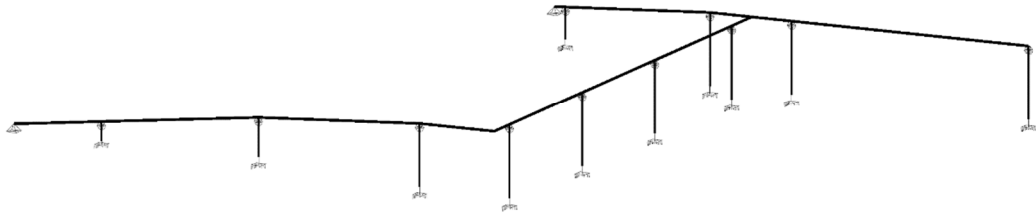
## 2.10. Lávka u Kulturního domu Opatov

Konstrukce této lávky se nachází v Praze na Opatově poblíž místního kulturního domu. Od předchozí lávky je v nejbližším bodě vzdálena cca 115 m a to v místech, kde měly tyto lávky být propojeny. Lávka zde spojuje kulturní dům a víceúčelový dům se sídlištěm na druhé straně Opatovské ulice.



Obrázek 13 - dopravní schéma lávky u Kulturního domu Opatov

Samotná konstrukce lávky je řešena v obdobném duchu jako výše zmíněná lávka poblíž zastávky Ke Kateřinkám. Jedná se tedy o betonový, plnostěnný nosník s dolní mostovkou. Lávka je ve svém hlavním směru podepřena jako spojitý nosník o třech polích, kdy v prostředním poli se připojuje rampa vedoucí západním směrem. Obě lávky mají i obdobné architektonické řešení.



Obrázek 14 - statické schéma lávky u Kulturního domu Opatov

Na jižní straně Opatovské ulice se lávka napojuje na terasu místního kulturního domu, která je zároveň propojena s terasou víceúčelového domu. Po překonání komunikace se lávka rozvětjuje tak, že v přímém směru se napojuje na přístupovou rampu lékařského domu, odkud ve stejné úrovni přechází na okolní terén. Druhým směrem je rampa vedoucí na západ k lávce Ke Kateřinkám. Tato rampa je 50 metrů vedena ve stejné výškové úrovni až ke svému lomu, odtud se stáčí na sever a klesá k terénu.

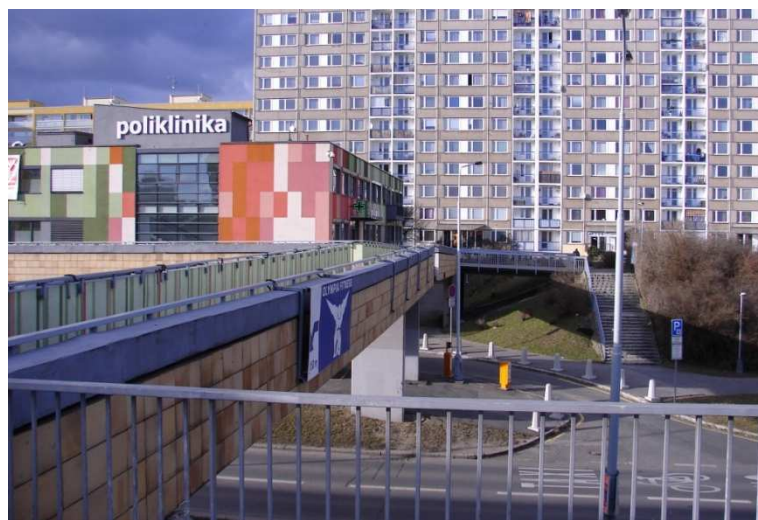


Foto 13 - Lávka u Kulturního domu Opatov, pohled od KD



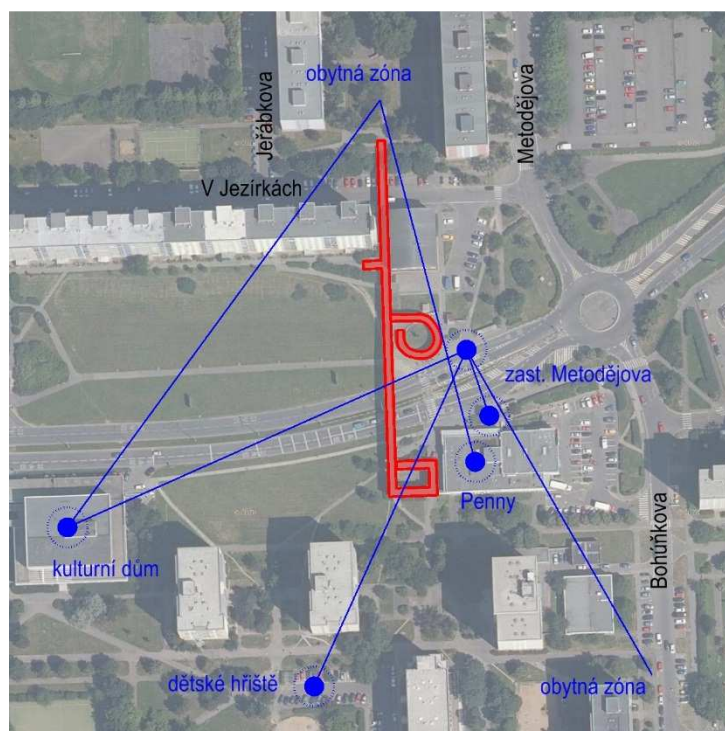
Ze severovýchodní strany je lávka dobře přístupna díky úroňovému přístupu od lékařského domu. Z jižní strany pak plynule navazuje na terasu kulturního domu a tedy jako spojnice mezi kulturním domem a obyvateli ze severního okraje ulice může dobře fungovat. Jako záporné lze pak hodnotit délku západní rampy a především absenci jejího propojení s chodníkem souběžným s Opatovskou ulicí.



Foto 14 - Lávka u Kulturního domu Opatov, pohled na západní rampu

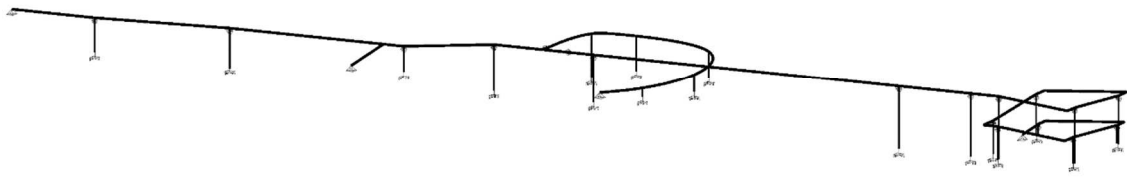
## 2.11. Lávka Metodějova

Lávka u zastávky Metodějova na Pražském Opatově zajišťuje spojení přes ulice Opatovská (jižní část) a zároveň ulici V Jezírkách na severu. Sloužit by měla k bezpečnému spojení mezi jednotlivými autobusovými zastávkami a dále pak pro spojení přílehlých obytných zón s protějšími stranami Opatovské ulice. V neposlední řadě lávka slouží také pro pohyb chodců přes ulici V Jezírkách.



Obrázek 15 - dopravní schéma lávky Metodějova

Lávka je tvořena betonovým, trémovým nosníkem se spodní mostovkou v celé své délce. V hlavním směru se jedná o spojitý nosník od severního okraje až po napojení se směrově zakřivenou rampou. Tato rampa je podepírána ocelovými stojkami malých profilů a tvoří tak zakřivený spojitý nosník. Jižně od tohoto napojení se nachází dilatace. Lávka dále pokračuje jižně přes Opatovskou ulici opět jako spojitý nosník, který následně přechází v zalamovanou přístupovou rampu podepíranou v rozích betonovými pilíři.



Obrázek 16 - statické schéma lávky Metodějova

Na severním konci je přístup na lávku řešen jako úrovnňový, ze severního svahu ulice V Jezírkách. Po překonání této ulice je lávka vedena mezi dvěma budovami směrem na jih, kde se vyskytuje další možnost přístupu z terénu západním směrem a následně pak zakřivená rampa připojující se na tuto konstrukci z východu. Tímto úsekem konstrukce se lze pohodlně dostat z obytné zóny na severu k autobusové zastávce Metodějova. Dále pak lávka pokračuje přes Opatovskou ulici k lomené rampě poblíž obchodu Penny na jižní straně.



Foto 15 - Metodějova, pohled ze západu

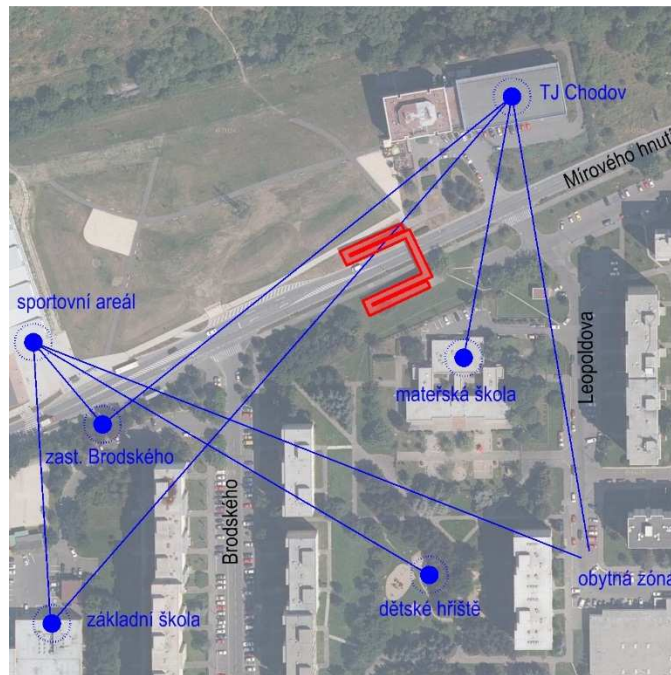
Dle popisu výše lze tedy lávku použít pro překonání dvou ulic. Pro překonání ulice V Jezírkách je lávka dobře vyřešena množstvím přístupů přímo z terénu a točitou rampou, která poskytuje pohodlný a dobře přehledný přístup. Jižní část lávky je na tom o poznání hůře. Dle mě se jedná především a nešťastné výškové řešení lávky a jediné možnosti přístupu skrze lomenou rampu. Rampa svými ostrými rohy a rozměry působí nepříjemně pro potenciálního uživatele a proto musel být pod lávkou zřízen přechod pro chodce.



*Foto 16 - Metodějova, pohled na jižní rampu*

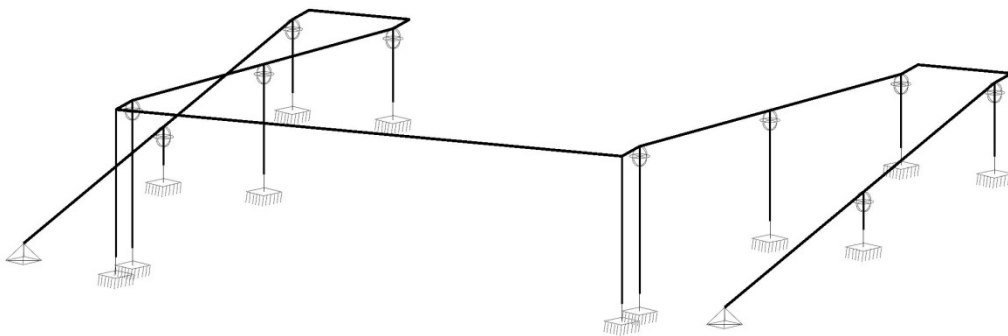
## 2.12. Lávka TJ Chodov

Tuto lávku nalezneme na severu městské čtvrti Chodov v Praze. Lávka přemostňuje ulici Mírového hnutí v místech sportovní haly TJ Chodov. Lávka by v těchto místech měla zajišťovat bezpečný pohyb mezi sportovními halami na sever od komunikace a obytnou zónou včetně mateřské školy na jihu. Popřípadě jde o spojení městskou zelení mezi pražskými částmi Chodovec a Chodov.



Obrázek 17 - dopravní schéma lávky TJ Chodov

Celá konstrukce přemostění včetně přístupových bezbariérových ramp je řešena jako zalomený spojitý nosník, kdy hlavním vodorovným nosným prvkem tvoří železobetonový, plnostěnný, trémový nosník se spodní mostovkou. Konstrukce je na každé straně komunikace podporována šesticí stěnových pilířů, na které je uložena pomocí ložisek.



Obrázek 18 - statické schéma lávky TJ Chodov

Směrové řešení lávky ovlivnil okolní terén, který je ve stejné úrovni jako přemostěvaná komunikace. Z toho plyne potřeba překonání velkých převýšení na obou přístupových rampách, a tedy i jejich délka. Přístup na lávku je z východního směru, tedy přímo od sportovní haly. Rampa vede západním směrem, kde se asi po třiceti



metrech lomí o 180°, dalších 30 metrů vede směrem na východ, kde se lomí pod úhlem 90° a směřuje přes komunikaci. Na druhé straně je pak trasa obdobná.



*Foto 17 - TJ Chodov, pohled na lávku*

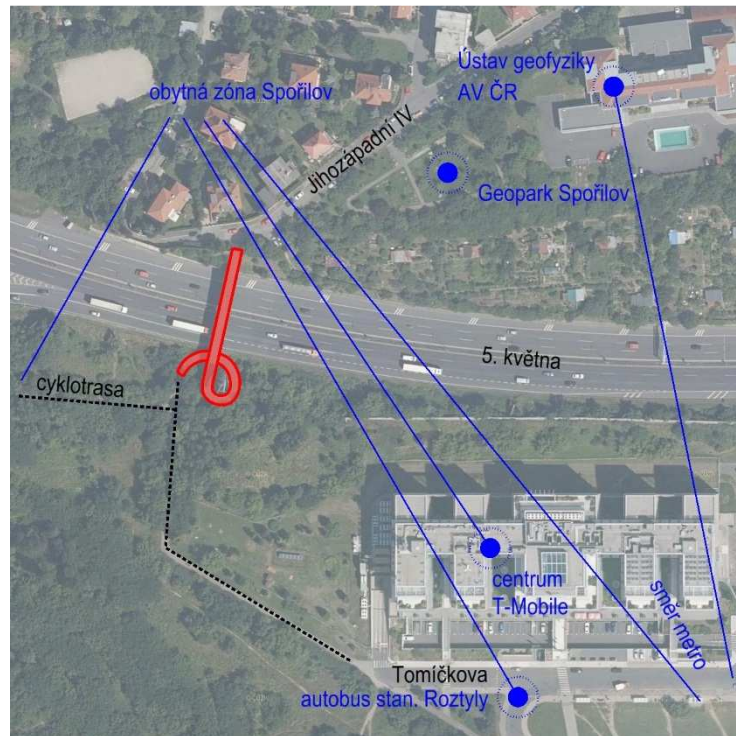
Samotná konstrukce lávky je přehledná, jednoduchá a účelná, avšak zvolené umístění je při nejmenším nešťastné. Již na první pohled je chodci patrné, že si jejím použitím podstatně prodlouží cestu, a tudíž je lávka nevyužívána. Vzhledem k intenzitě dopravy jak automobilů, tak chodců, šířkou komunikace mezi obrubami cca 9 m a okolním téměř vodorovným terénem se jako vhodnější řešení jeví přechod pro chodce, obdobný jako je použit o 200 m dále západním směrem.



*Foto 18 - TJ Chodov, pohled do rampy*

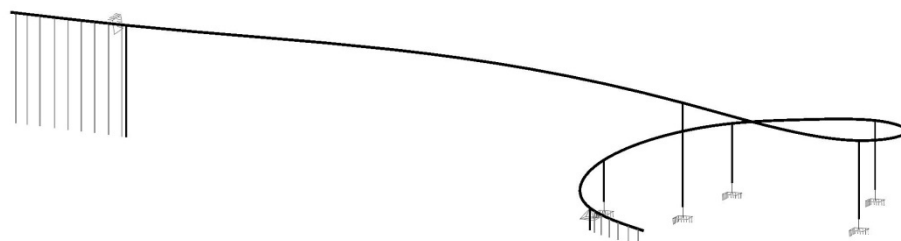
## 2.13. Lávka na Spořilově

Lávka se nachází asi 400 m od stanice metra Roztyly v Praze na Spořilově, kde přemostňuje ulici 5. května. Lávka pro pěší zde slouží především jako spojnice severně umístěné obytné zóny a na druhé straně situovanou zastávkou metra, autobusovým stanovištěm, administrativní budovou a popřípadě cyklostezkou.



Obrázek 19 - dopravní schéma lávky Na Spořilově

Konstrukci lávky tvoří prostorově zakřivený spojitý nosník, který je na severním okraji komunikace vetknut do přilehlého svahu, zatímco na druhé straně komunikace je pevně uložen na betonovém pilíři. V zakřivené části na jižní straně ulice je pak lávka podpíraná soustavou tenkých ocelových pruhů. V přímé části nad komunikací je jako hlavní nosný prvek použit železobetonový, předpínaný, trémový nosník s průřezem T. Za pilířem pak T průřez přechází v deskovou zakřivenou rampu.



Obrázek 20 - statické schéma lávky na Spořilově

Lávka je řešena ve snaze co nejefektivněji se napojit na okolní terén a potřeby dopravy. Přístup z ulice Jihozápadní IV je úrovnňový, následně lávka kolmo překonává ulici 5. května, kde po jejím překonání přechází v levotočivou rampu. Zakřivená rampa je zde volena z důvodu napojení lávky na cyklostezku, tedy pro komfortnější užívání lávky cyklisty.



Foto 19 - Lávka na Spořilově, pohled na přemostění

Přemostění dobře využívá terénních podmínek v okolí a vhodně se napojuje na okolní infrastrukturu. Lávka je uživatelsky přívětivá chodců i cyklistům, je přehledná a plynulá. Splňuje tedy snad všechny požadavky ze strany uživatelů a zároveň jde o elegantně ztvárněnou konstrukci.

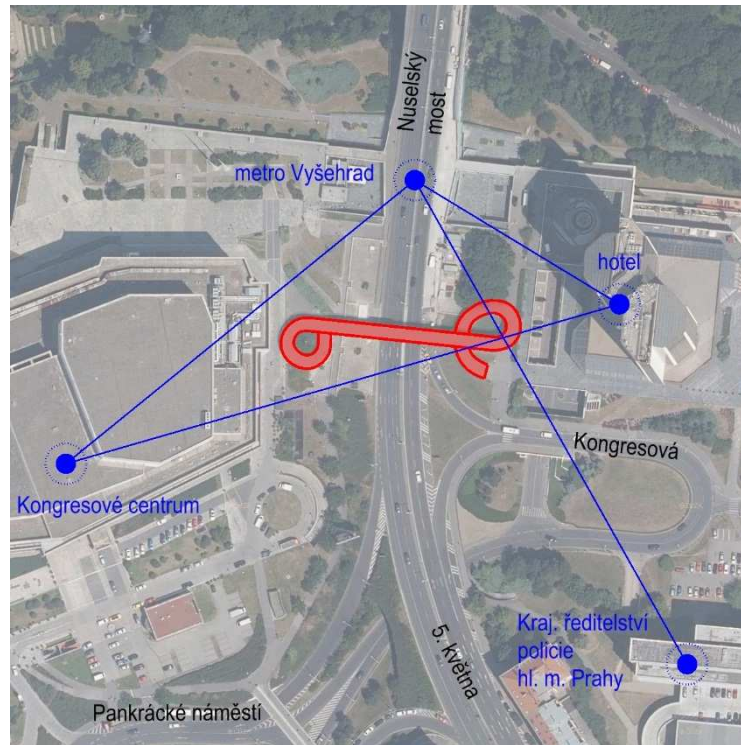


Foto 20 - Lávka na Spořilově, pohled na rampu



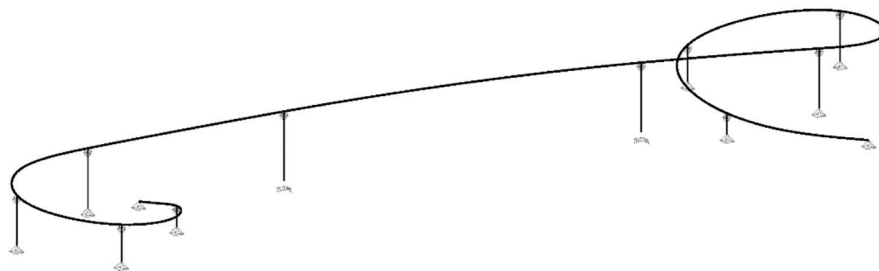
## 2.14. Lávka u Nuselského mostu

Lávka se nachází za jižním koncem Nuselského mostu, nad stanicí metra Vyšehrad, v Praze na Vyšehradě. Přemostňuje zde ulici 5. května ve směru mezi Kongresovým centrem na západní straně a hotelem na straně druhé. Dále pak může spojit výše zmíněné budovy s protilehlými nástupišti zastávky metra.



Obrázek 21 - dopravní schéma lávky u Nuselského mostu

Jedná se o ocelovou, trámovou, komorovou konstrukci s horní, ocelovou, ortotropní mostovkou. Hlavní pole lávky je kloubově uloženo na dvojici betonových deskových pilířů, nacházejících se každý na jedné straně komunikace. Zakřivené rampy jsou poté podepírány ocelovými stojinami, které se chovají jako kyvné pruhy.



Obrázek 22 - statické schéma lávky u Nuselského mostu



Hlavní pole nosné konstrukce je v půdorysném průmětu přímé a z obou stran se na něj napojují zakřivené přístupové rampy. Tyto rampy zajišťují uživatelský komfort pro cyklisty a zároveň jsou přehledné, s mírným stoupáním čímž splňuje požadavky na bezbariérový přístup. Zakřivení ramp je zde zvoleno především z důvodu stísněných prostorových podmínek, zároveň pak v návaznosti na dopravní směry chodců, kdy východní rampa ústí směrem k blízkému hotelu a západní rampa směrem k zastávce metra.



*Foto 21 - Lávka u Nuselského mostu, pohled na rampu*

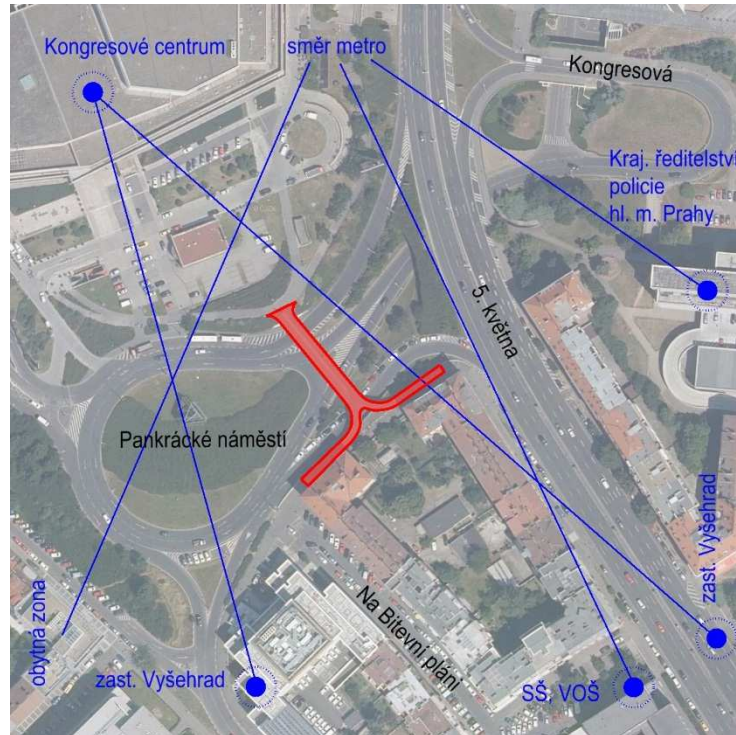
Lávka je zde vhodně umístěna zejména z důvodu vysokých intenzit dopravy na přemostované komunikaci. Zároveň splňuje kritéria pro bezbariérové používání a svým plynulým charakterem i pro použití cyklisty. Jedná se o jednoduchou, funkční konstrukci, která svými rozměry neruší okolí.



*Foto 22 - Lávka u Nuselského mostu, pohled na konstrukci*

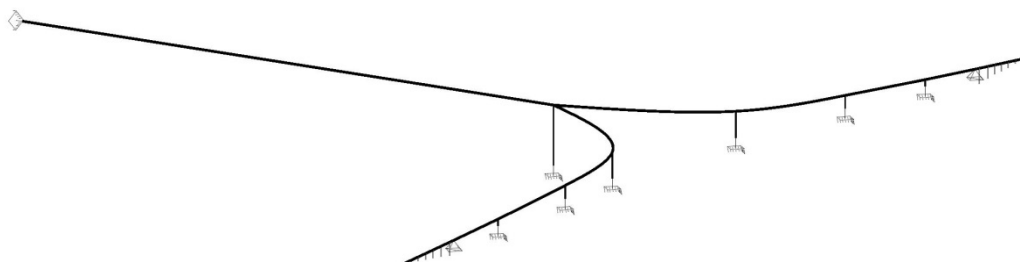
## 2.15. Lávka u Kongresového centra

Lávka se nachází jižně od Kongresového centra na Pražském Vyšehradě. Zajišťuje zde přemostění přes Pankrácké náměstí, mezi severně umístěným Kongresovým centrem, přilehlou zastávkou metra a jižně situovanými zastávkami autobusů, obytnou zónou nebo blízkými školami.



Obrázek 23 - dopravní schéma lávky u Kongresového centra

Konstrukce přemostění je zde řešena jako železobetonová, desková konstrukce, která je pomocí předpínaného žebra vystupujícího nad konstrukcí vetknuta do svahu před Kongresovým centrem. Po překonání Pankráckého náměstí je na jižní straně podepřena deskovým, železobetonovým pilířem, se kterým je zmonolitněna. Za tímto pilířem se mostovka člení na dvě rampy, jednu vedoucí západním a druhou východním směrem. Tyto rampy jsou podepírány poddajnými ocelovými stojinami.



Obrázek 24 - statické schéma lávky u Kongresového centra

Směrové řešení lávky je ovlivněno především na jižním okraji konstrukce, kde vzhledem k nedostatku místa pro zakřivenou rampu jako například u lávky předešlé, bylo zvoleno řešení napojení lávky na terén pomocí dvou ramp opačných směrů. Toto řešení umožňuje plynulé napojení chodců jak do ulice 5. května, tak i do ulice Na Pankráci. Za severním koncem probíhá napojení lávky na okolí pomocí chodníků obdobným způsobem, čímž není omezován prostor parkoviště před Kongresovým centrem.



*Foto 23 - Lávka u Kongresového centra, pohled na žebro*

Lávka vhodně využívá výšky severního svahu a zároveň nízké nivelety přemostňované komunikace. Vzhledem k volbě konstrukce s malou stavební výškou se jedná o výškově přívětivé řešení. Směrově je lávka složena převážně z přímých úseků a vzhledem k poloměru zakřivení při rozdělení ramp lze říci, že je vhodná i pro užití cyklisty. Za zápor lze označit situování výztužného žebra uprostřed konstrukce, což snižuje přehlednost na severním ústí lávky.

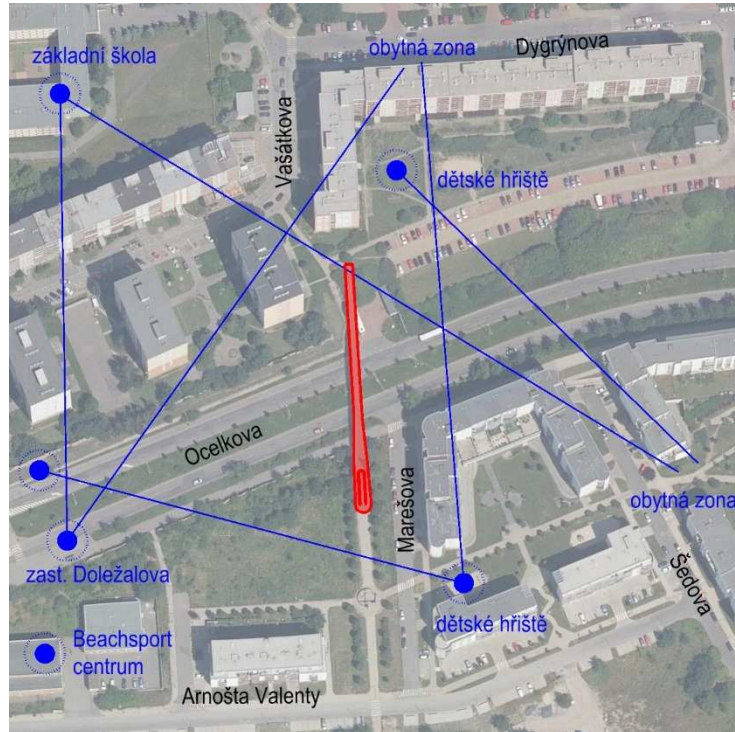




Foto 24 - Lávka u Kongresového centra, pohled od Kongresového centra

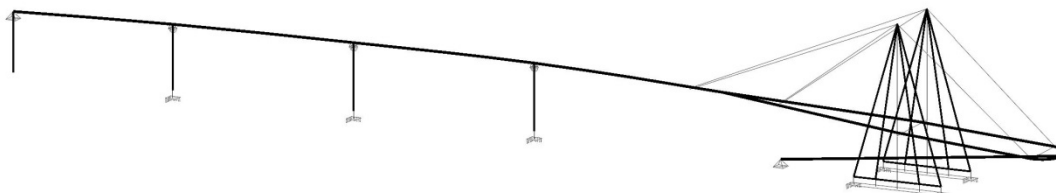
## 2.16. Lávka přes Ocelkovu ulici

Tato z části zavěšená konstrukce se nachází asi 150 m od autobusové zastávky Doležalova, v Praze na Černém mostě. Slouží zde k přemostění Ocelkovi ulice, čímž zajišťuje spojení mezi severně situovanými stavbami občanské vybavenosti a obytnou zónou na jižní straně ulice. Zároveň se jedná o jediný bezbariérový přístup na severně ležící sídliště v okruhu 200 m.



Obrázek 25 - dopravní schéma lávky přes Ocelkovu ulici

Jedná se o ocelovou konstrukci, kdy hlavními nosnými prvky v podélném směru jsou dva plnostěnné ocelové nosníky, na nichž je uložena horní, ortotropní ocelová mostovka. Na severním okraji je konstrukce posuvně uložena na přilehlý svah. V okolí komunikace je podepřena třemi kruhovými ocelovými sloupy a na jižní straně komunikace, v místě přístupové rampy, je zavěšena na dvojici betonových pylonů.



Obrázek 26 - statické schéma lávky přes Ocelkovu ulici

Lávka zde zajišťuje plynulý a bezpečný pohyb chodců mezi obytnými zónami na obou stranách komunikace. Dále pak spojuje severně umístěnou základní školu a mateřskou školku s městskou zelení na jihu. Směrově je lávka vedena přímo, až na jižní zavěšený okraj, kde se mostovka rozděluje a vytváří tak prostor pro rampu, která k povrchu klesá středem konstrukce v opačném směru.



Foto 25 - Lávka přes Ocelkovu ulici, pohled z Ocelkovi ulice

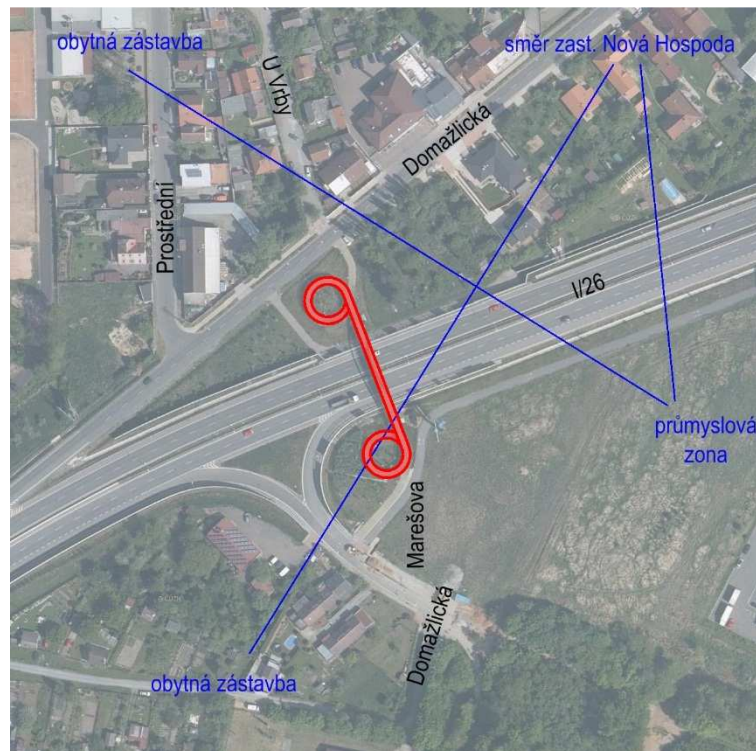
Přemostění je zde vhodně situováno vzhledem k výšce svahu na severním okraji komunikace, kde se napojuje na horní povrch a doplňuje tak absenci bezbariérového přístupu v blízkém okolí. Za zajímavé lze označit řešení přístupové rampy na jižním cípu, které bylo zřejmě zvoleno vzhledem ke zde se svažujícímu svahu. Jako nešťastné bych označil pylony zavěšené části, zejména pak jejich rozměry, které činí přístupovou rampu stísněnou a nepřehlednou.



Foto 26 - Lávka přes Ocelkovu ulici, pohled ze severního svahu

## 2.17. Lávka na Nové Hospodě

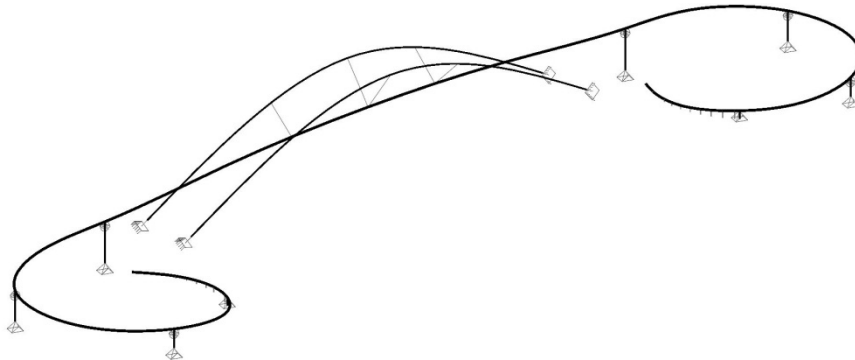
Pěší lávka se nachází na jihozápadním okraji města Plzně, kde přemostňuje komunikaci I/26, vedoucí z Plzně směrem na Domažlice. Lávka zde zajišťuje spojení mezi obytnou čtvrtí Nová Hospoda na sever od komunikace a průmyslovou zónou na jihu. Zároveň pak plní roli pomyslné brány do města.



Obrázek 27 - dopravní schéma lávky Nová Hospoda



Lávku tvoří dvojice točitých ramp umístěných každá na jedné straně komunikace. Samotné přemostění zajišťuje oblouková konstrukce s mezilehlou mostovkou. Hlavní nosný prvek v celé délce přemostění tvoří ocelový, komorový nosník, na němž je uložena ocelová mostovka. Tento nosný prvek je v opěrách uložen na elastomerových ložiscích a pod točitými rampami na soustavě ocelových, kyvných prutů. V přímé části je na krajích uložen na příčnicích ocelového oblouku a v poli pak zavěšen na třech dvojicích ocelových tyčí.



Obrázek 28 - statické schéma lávky Nová Hospoda

Směrově je lávka tvořena přímým úsekem přes komunikaci I/26 a dvojicí krajních ramp. Točité rampy jsou zde zvoleny především s ohledem na zařazení lávky do městské soustavy cyklotras a zároveň pak z důvodu stísněných podmínek na severním okraji komunikace. Hlavním úkolem lávky je možnost propojení severně žijících obyvatel s navazujícími cyklostezkami a průmyslovou částí na jih od komunikace. Dále pak zajišťuje spojení jižně umístěné chatové oblasti s nejbližší zastávkou MHD Nová Hospoda.



*Foto 27 - Lávka na Nové Hospodě, rampa na severní straně ulice*

Překonávaná komunikace je zde v mírném zářezu, zároveň se jedná o komunikaci první třídy, která je z obou stran osazena protihlukovými stěnami, a tedy je řešení pohybu chodců pomocí přemostění na místě. Konstrukce je přehledná, z obou stran plynule navazuje na okolní infrastrukturu a zároveň je poloměry zakřivení vhodná i pro pohyb cyklistů.



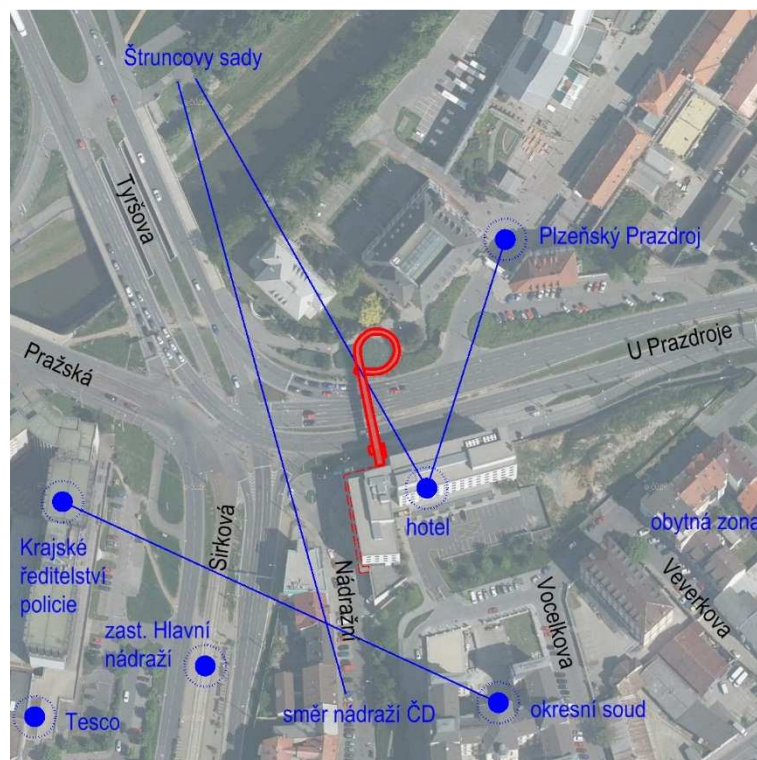
*Foto 28 - Lávka na Nové Hospodě, rampa na jižní straně ulice*

## 2.18. Lávka U Prazdroje

Lávka je umístěna v centru města Plzně asi 350 m severně od místního hlavního vlakového nádraží. Lávka zde zajišťuje bezpečné a bezbariérové přemostění

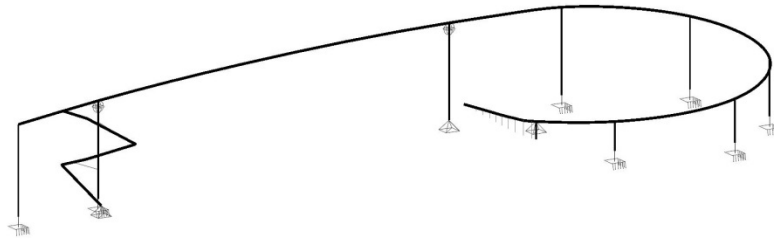


komunikace, která slouží jako průtah městem, směrem na Prahu. V dané lokalitě je tato lávka jediným prvkem pro pohyb chodců přes ulici U Prazdroje.



Obrázek 29 - dopravní schéma lávky U Prazdroje

Jedná se o ocelový, trámový, komorový nosník, který je od přilehlé budovy hotelu oddělen dilatací. V severní opěře je lávka pevně kloubově uložena, v zakřivené části je pak rampa uložena na soustavě ocelových stojin malých rozměrů, řešených jako kyvné pruhy. Při severním okraji komunikace se nachází podpora v podobě ocelového stěnového prvku, který funguje jako kyvný prut, umožňující posun pouze ve směru hlavního pole. Na jižní straně komunikace je konstrukce pevně kloubově uložena na ocelovém pilíři a jako poslední podpora je použit kyvný prut na jižním okraji, kde lávka následně přechází v balkon hotelu.



Obrázek 30 - statické schéma lávky U Pivovaru

Za hlavní směr pohybu chodců lze označit spojnice mezi vlakovým nádražím na jihu a areálem pivovaru Plzeňský prazdroj na straně severní. Druhý směr pohybu chodců je z nádraží k fotbalovému stadionu na severu. Dále pak lávka zajišťuje spojení mezi nedalekými trolejbusovými zastávkami. Lávka je směrově vedena z balkonu druhého nadzemního patra přilehlého hotelu na jižní straně, směrem na sever, kde se po překonání komunikace stáčí v pravotočivou, klesající rampu, jež ústí západním směrem.



Foto 29 - U Prazdroje, pohled na jižní ústí

Lávka je přehledná, ze severní strany komunikace dobře přístupná a jako jediné místo pro přecházení v okolí je často používána chodci směřujícími od hlavního nádraží. Za problematický lze označit přístup na lávku z východní strany, kde točitá rampa směřuje opačným směrem a na jižní straně je jedinou možností strmé schodiště.



*Foto 30 - U Prazdroje, pohled na severní rampu*

## 3. Variantní řešení

V následující kapitole jsou představena území, kde by měla lávka být umístěna, specifika okrajových podmínek a přístupů k tvorbě. Hlavně jsou zde představeny a popsány zpracované varianty. Jednotlivé návrhy jsou v závěru porovnány s ohledem ke zpracované rešerši a dopravnímu řešení. Toto srovnání určuje varianty, které budou zpracovávány dále.

### 3.1. Zájmová oblast

Oblast, kterou tato studie řeší, se nachází v intravilánu města Plzně na rozhraní čtvrtí Doubravka a Lobzy. Územím prochází ulice Rokycanská s páteří komunikací první třídy I/26 ve směru Plzeň centrum - Praha, která tvoří pomyslnou hranici mezi jednotlivými čtvrtěmi.

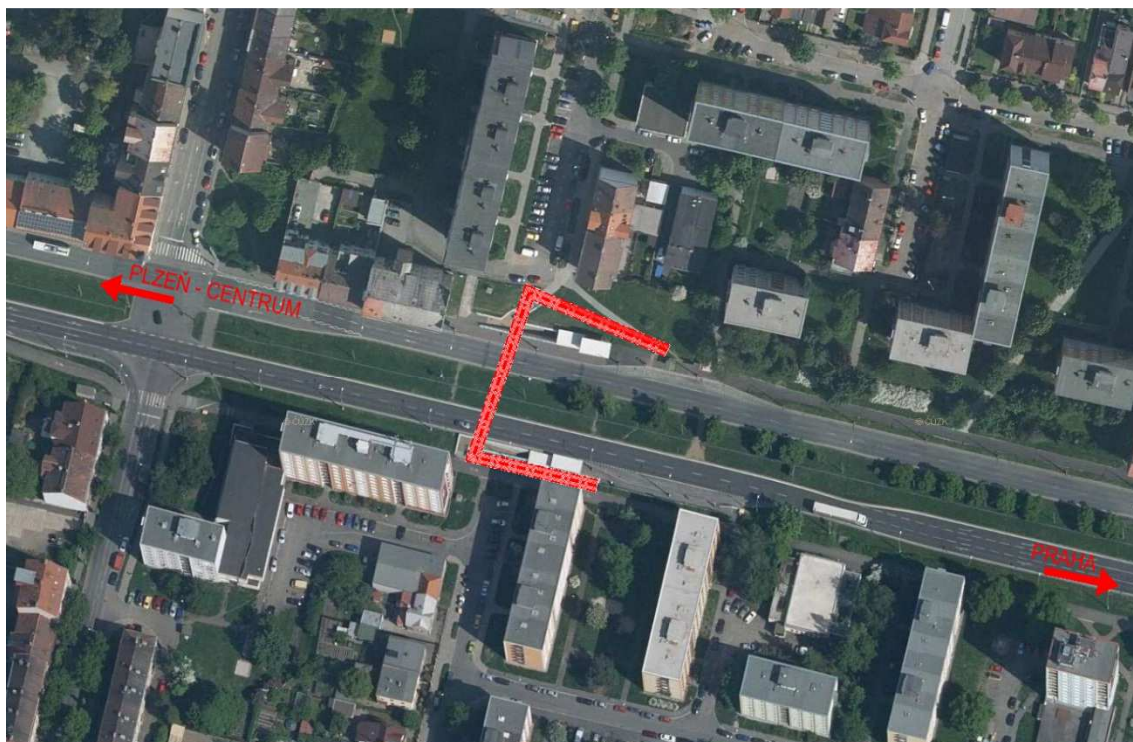
Zájmová oblast je vymezena ze severu a jihu okolní zástavbou. Z východu zasahuje oblast do vzdálenosti cca 75,0 m od osy podchodu. Západní strana zájmového území sahá do vzdálenosti cca 45,0 m od osy podchodu.

### 3.2. Charakteristika území

Komunikace I/26 vedoucí po Rokycanské ulici je rozdělena středním dělicím pásem s výsadbou stromů. Studie předpokládá zachování nebo případnou obnovu této aleje. Hlavní ulice je v mírném zářezu a podélném sklonu cca 5,0 % (ve směru do centra). Při jízdě směrem do centra města Plzně se otevírá pohled na centrum města. Vzhledem ke struktuře okolní zástavby a rozdílu výšky komunikace v zářezu vůči výšce budov, se městské dominanty výrazně neuplatňují.

Okolní zástavba je smíšená s převahou bytových domů. Tvoří ji jádro blokové zástavby v severní části a novější struktura deskových a bodových bytových domů na obou stranách. Zájmové území tedy nemá jednotnou strukturu ani výrazný architektonický charakter, který by limitoval výtvarné ztvárnění nově navržené konstrukce lávky. Přilehlé okolí postrádá architektonicky výrazný prvek nebo dominantu, které by nově umístěný výrazný objekt konkuroval. Místo tak nabízí široké možnosti pro uplatnění architektonicky zajímavé konstrukce, která svým charakterem vtiskne svému okolí nový ráz. Lávka má šanci se stát pomyslnou vstupní branou do města, bude to první výrazná stavba, kterou bude řidič vnímat při příjezdu do Plzně. Proto je možné přistoupit k návrhu s větší velkorysostí a rozmachem.





Obrázek 31 - Ortofoto dotčené oblasti

### 3.3. Výtvarné ztvárnění

Okolí lávky se jeví jako málo výrazné, území postrádající krajinný, architektonický nebo objemově dominantní prvek. Umístění lávky takový prvek v každém případě vytvoří. S ohledem na tento fakt se nabízí odlišné možnosti přístupu k pojetí konstrukce:

- výrazná x minimalistická
- jemná x agresivní vůči prostředí
- konstrukce vystupující x nevystupující nad mostovku

Lávka bude tvořit výrazný architektonický prvek - „Brána do města“.

### 3.4. Cíle dopravního řešení

V řešeném území jsou z hlediska pěší dopravy 4 zásadní uzlové body: dvě trolejbusové zastávky a propojení obou obytných lokalit rozdělených hlavní silnicí na severní a jižní část. Dále je zde zásadním vstupem existující cyklostezka, která vede v souběhu s Rokycanskou ulicí.



Zajistit pohodlné spojení čtyř zmíněných uzlových bodů pro pěší v kombinaci s převedením cyklistů z jedné strany hlavní silnice na druhou je základním úkolem návrhu z hlediska dopravního řešení.

### 3.5. Okrajové podmínky

#### 3.5.1. Půdorysné okrajové podmínky

Z hlediska půdorysného uspořádání jsou pro návrh lávky limitující tyto faktory:

- plynulé propojení trolejbusových zastávek Letná, ulic Sousedská a Rodinná
- respektování stávající zástavby
- nepředpokládá se změna polohy zastávek, je nutno respektovat šířkové uspořádání ulice Rokycanská
- minimální světlá šířka lávky 3,5 m požadovaná zadáním
- neopomenout při návrhu užívání lávky cyklisty.

#### 3.5.2. Výškové okrajové podmínky

Z hlediska výškového uspořádání nově navržené lávky a přístupům na ní existují tyto základní vstupy, které je třeba v návrhu respektovat:

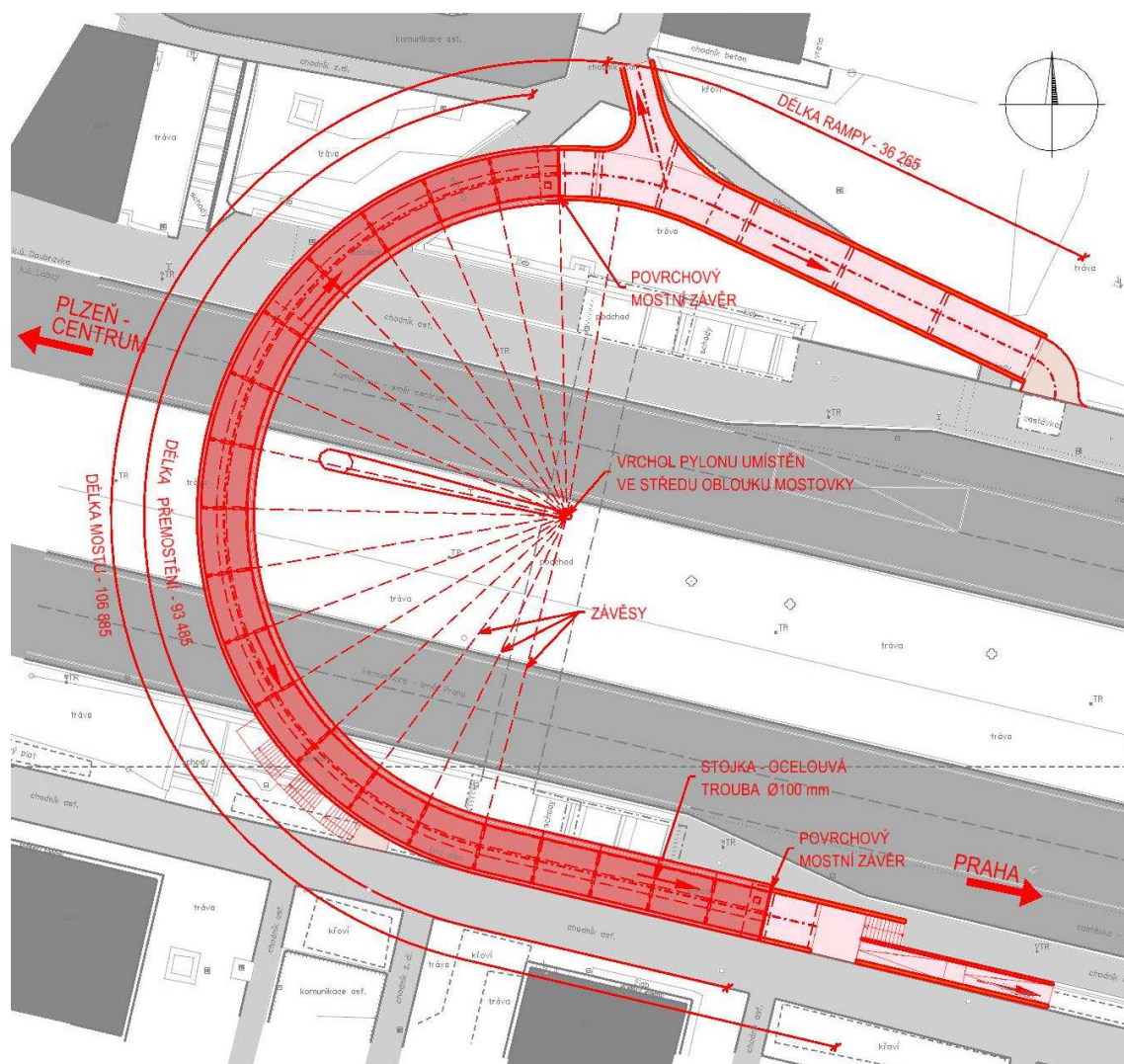
- minimální průjezdná světlá výška požadovaná normou (4,8 m nad niveletou)
- výška stávajícího trakčního vedení trolejbusu je (5,7 m nad niveletou)
- výškový rozdíl mezi zastávkami trolejbusu a úrovní chodníku
- vliv podélného sklonu komunikace na délku rampy.

### 3.6. Varianta 1

#### 3.6.1. Popis

Varianta číslo 1 klade velký důraz na estetiku a vliv konstrukce jako prvku určujícímu architektonický ráz nejbližšího okolí. Přináší neobyčejné konstrukční řešení „brány do města“ prostřednictvím betonového pylonu a vějířovitě zavěšené mostovky. Velkým přínosem je komfortní trasa pro pohyb cyklistů bez lomů a nepřehledných úseků.

Varianta je při jižním okraji oblouku vybavena schodištěm pro zkrácení cesty směrem do centra. Na severní hraně zářezu pozemní komunikace si varianta vyžaduje demolici stávajícího schodiště, které bude přesunuto. Zároveň však nabízí nejpříznivější přístup do ulice Sousedská.



Obrázek 32 - Varianta 1 – půdorysné schéma

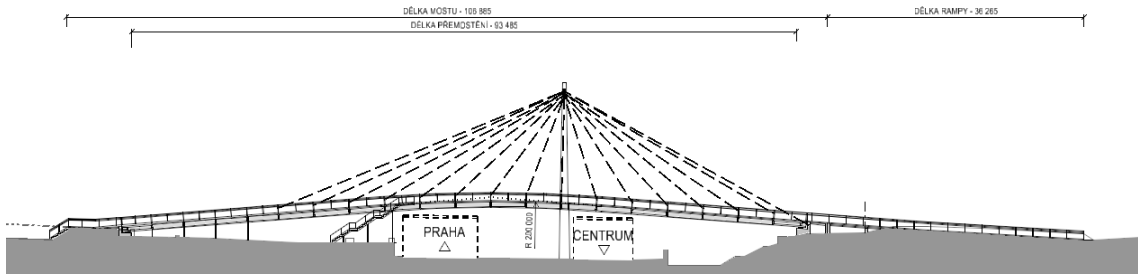
### 3.6.2. Směrové vedení

Varianta v půdorysném řešení připomíná tvar podkovy. Od zastávky Letná na severní straně Rokycanské ulice směrem k ulici Sousedská kopíruje v přímé existující chodník se schodištěm. Po dosažení Sousedské ulice se pomocí oblouku o poloměru  $R = 26,5$  m přenáší přes Rokycanskou ulici, kde pak zpět přechází v přímou rampu souběžnou s přemostěnou ulicí. Po překonání komunikace I/26 se při vnější straně oblouku přimyká schodiště pro zkrácení trasy směrem do centra města.

### 3.6.3. Výškové vedení

Výškově je konstrukce řešena s co největším souladem s okolím. V severní části stoupá sklonem 6,2% a nahrazuje tak stávající chodník a schodiště rampou konstantního sklonu. Po dosažení úrovně ulice sousedská se sklon mění v 7,8%. následně po změně podélného sklonu začíná samotné přemostění, které je nad

komunikací zaobleno poloměrem  $R_v = 200,000$  m, který přechází v klesající větev na jižní straně Rokycanské ulice ve sklonu 7,8%.

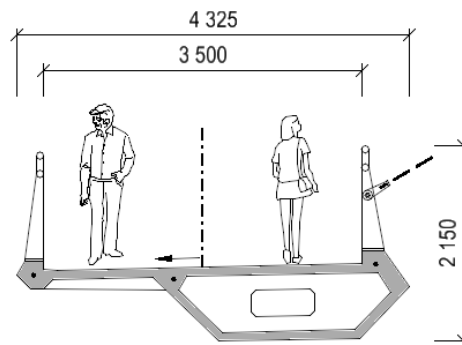


Obrázek 33 - Varianta 1 - schéma podélného profilu

#### 3.6.4. Konstrukce

Pro výše zmiňovanou konstrukci byl vzhledem ke směrovému zaoblení vybrán zavěšený konstrukční systém. Konstrukce mostovky bude z důvodů zachování průchozího prostoru jednostranně zavěšena.

Z důvodu jednostranného zavěšení je třeba použít příčný průřez, který bude schopen odolat torznímu namáhání od zatížení. Nabízí se zde betonový průřez (viz schéma níže). Jako materiál pro tento betonový průřez je navržen vysokohodnotný beton.



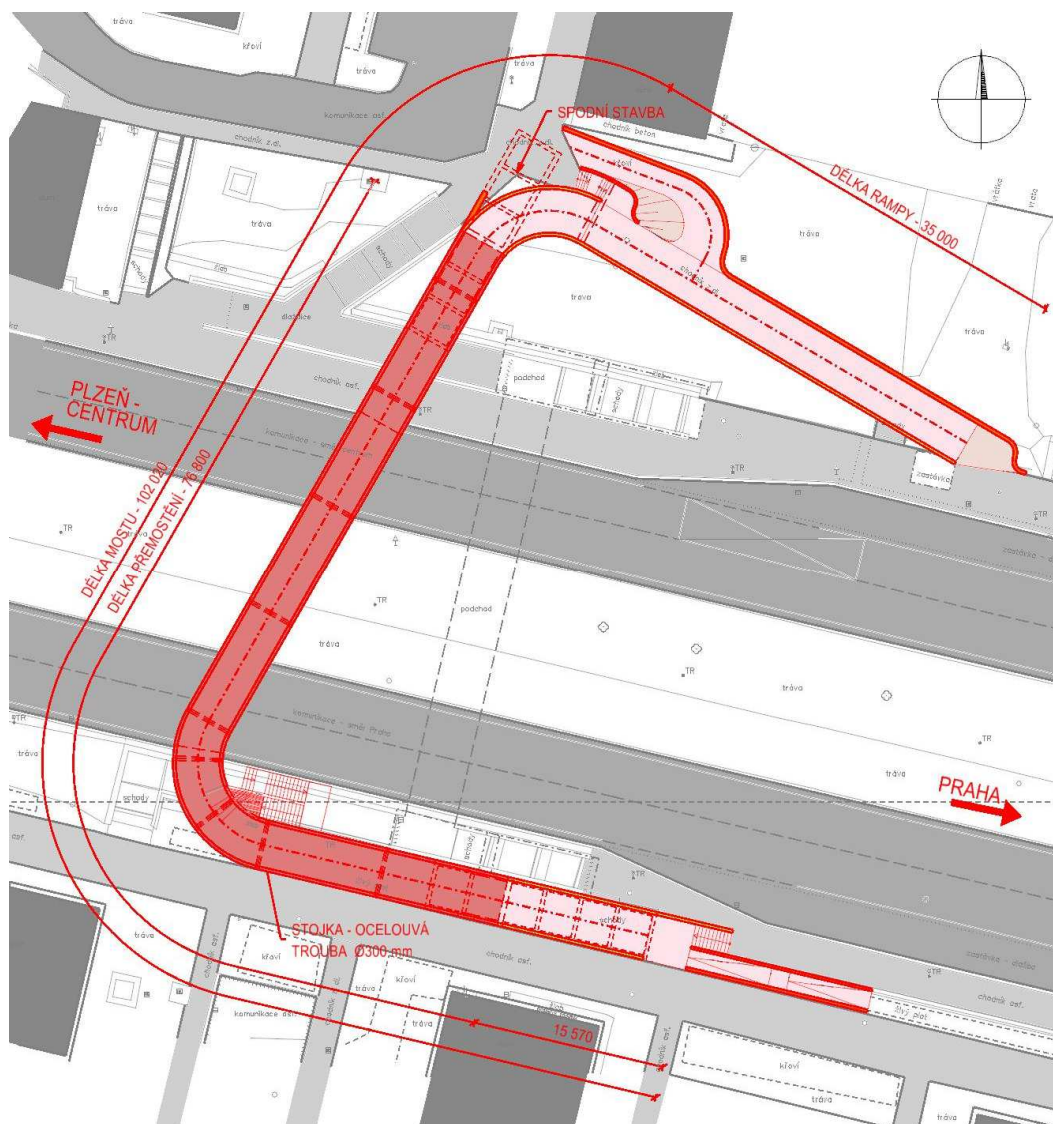
Obrázek 34 - Varianta 1 - schématický příčný řez

Z důvodu omezení nežádoucího kmitání konstrukce nad přemostěnou komunikací a vzhledem k náročnosti na údržbu jednotlivých variant je pro další návrh vybrán průřez z vysokohodnotného betonu. Pro urychlení montáže a s ohledem k vybranému materiálu budou jednotlivé segmenty nosné konstrukce prefabrikovány a na místě poté sestaveny.

### 3.7. Varianta 2

#### 3.7.1. Popis

Varianta číslo 2 je navržena s úmyslem na zachování co nejvíce prostoru pod nosnou konstrukcí, avšak s důrazem na sebe samotnou. Tento návrh nepočítá s umístěním mezilehlých podpór na přemostění Rokycanské ulice jednak z důvodů vzdušnějšího působení a dále také pro možné doplnění tramvajového pásu do středního dělicího pruhu (s tímto záměrem aktuální územní plán nepočítá).



Obrázek 35 - Varianta 2 - půdorysné schéma

Varianta je navržena jako co nejpřímější a zároveň pro cyklotrasu příznivější (než varianta 3). Ostré lomy vedení trasy jsou při vnitřní straně zaobleny poloměrem  $R = 2,5$  m. Pro zkrácení trasy chodců pohybujících se mezi lávkou a západní stranou

území uvažuje varianta se zřízením přístupových schodišť v místě ostrého zalomení trasy. Při severní straně Rokycanské ulice rampa lávky nahrazuje stávající chodník ze zastávky Letná do ulice Sousedská. Vzhledem k podélnému sklonu rampy a poloze terénu je při pravé straně navržena rampa a přístupový chodník do ulice Sousedská tak, aby bylo možné tuto rampu využívat samostatně jako spojnici k zastávce Letná.

### 3.7.2. Směrové vedení

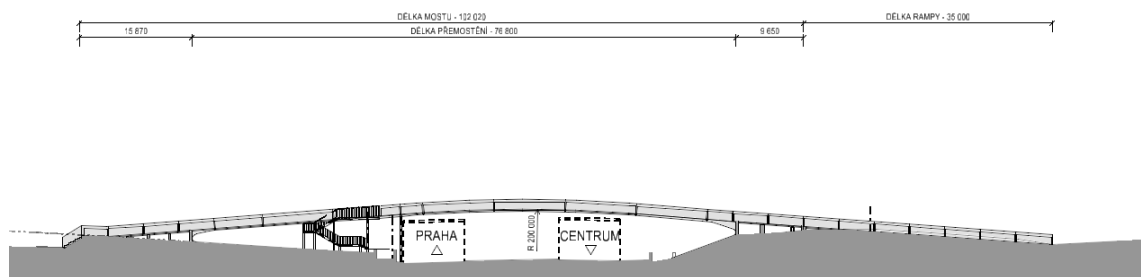
Lávka začíná na severním okraji Rokycanské ulice, kde její přístupová rampa nahrazuje stávající chodník. Na přímou rampu se na střetu se Sousedskou ulicí připojuje rampa a schodiště směřující do zmíněné ulice. Následně se směrové vedení stáčí poloměrem  $R = 6,75$  m (měřeno v ose nosné konstrukce), aby pod úhlem  $73,27^\circ$  přemostilo komunikaci I/26.

Z důvodu zachování stávajícího stavu trolejbusových zastávek je navrženo šikmé přemostění přes zmíněnou komunikaci. Po překonání překážky se lávka pod ostrým úhlem stáčí k rovnoběžnému vedení s Rokycanskou ulicí.

### 3.7.3. Výškové vedení

Výškové řešení této varianty je obdobné jako u ostatních variant. Rampa nahrazující chodník se schodištěm na severní straně Rokycanské ulice je vedena ve stoupajícím sklonu 7,5%. Tento sklon přejímá za závěrnou zdi i nosná konstrukce lávky. Nad dělicím pruhem komunikace I/26 dochází k zakřivení nosné konstrukce o poloměru

$R = 200,000$  m, které mění orientaci sklonu. Sklon nyní klesá s hodnotou 7,5% až k místu, kde se lávka opět setkává s terénem.



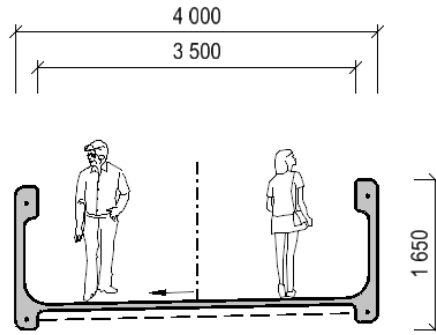
Obrázek 36 - Varianta 2 - schéma podélného profilu

### 3.7.4. Konstrukce

Tato varianta zároveň využívá vyššího svahu při severní straně zájmového území, do které bude nosná konstrukce lávky vetknuta. Obdobný systém bude použit i pro



rampu na jižní straně ulice. Zde nikoli z důvodů svahu, avšak z důvodu možné eliminace mostního ložiska a závěru čímž budou sníženy náklady na údržbu konstrukce. Takto vzniklé schéma integrovaného mostu bude v zaoblení u ulice Rodinná podírat trojice poddajných stojin, která umožní vodorovné vybočení vlivem působení atmosférických vlivů.



Obrázek 37 - Varianta 2 - schématický příčný řez

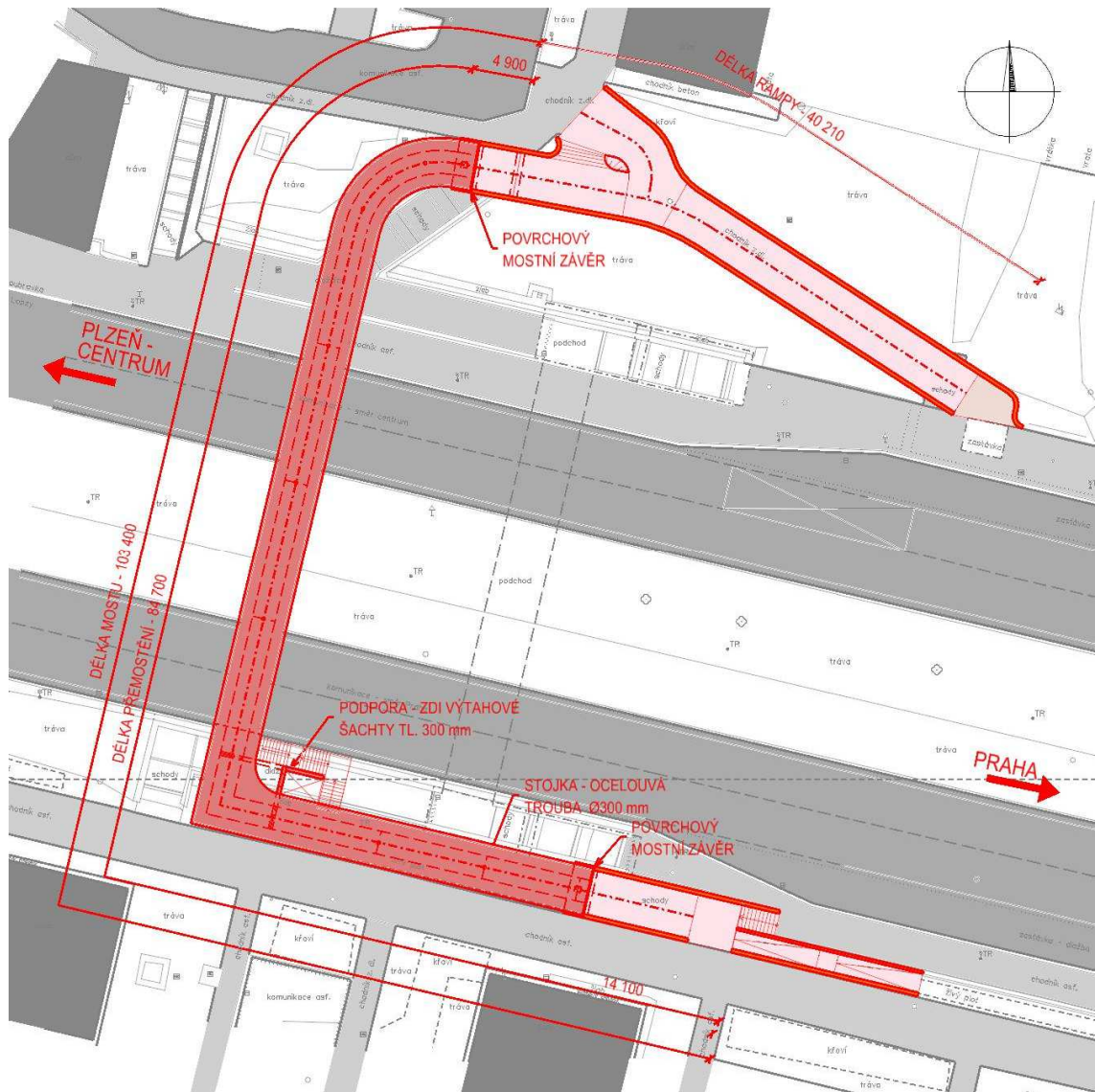
Vzhledem k rozpětí hlavního pole konstrukce je třeba zvolit únosný průřez větší výšky. Z toho důvodu je navržen betonový plnostěnný (parapetní) nosník se spodní mostovkou. Tento příčný řez konstrukce je zvolen vzhledem k ideje návrhu, značným normálovým napětím v horních a dolních vláknech a snížení nákladů na údržbu.

### 3.8. Varianta 3

#### 3.8.1. Popis

Varianta číslo 3 je koncipována jako nejušpornější a nejjednodušší z navržených variant. Pro minimalizaci stavebních nákladů bylo přistoupeno na velké množství podpor a z toho vyplývající malou konstrukční a stavební výšku nosné konstrukce.

Vzhledem ke kolmému vedení přes Rokycanskou ulici byla do jižního rohu navržena železobetonová tuhá opěra, která skýtá možnost pro osazení výtahovou šachtou.



Obrázek 38 - Varianta 3 - půdorysné schéma

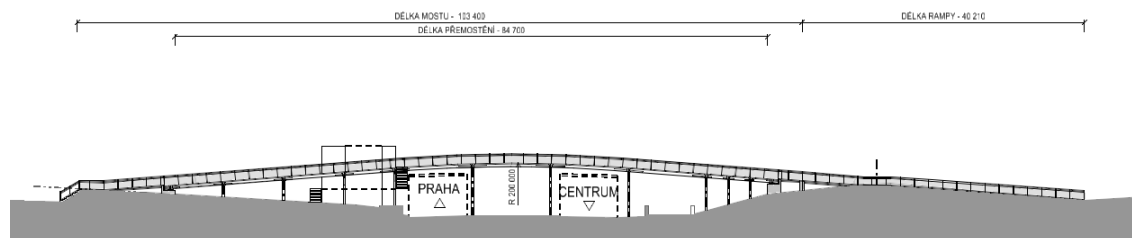
### 3.8.2. Směrové vedení

Směrově je varianta 3 vedena obdobně jako varianta 2. V severní větvi začíná lávka přímou rampou směrem do ulice Sousedská. Na rohu se zmiňovanou ulicí se nachází schodiště a rampa pro další pokračování například do blízkého Lidlu. Konstrukce za podestou pokračuje 14 m vodorovně s ulicí Rokycanská (pro získání dostatečné výšky pro překlenutí komunikace), následuje směrové zaoblení  $R = 6,75$  m a dále kolmo přes Rokycanskou ulici.

Na druhé straně komunikace se konstrukce lávky obtáčí okolo železobetonové podpory. Poslední úsek je přímý, rovnoběžný s Rokycanskou ulicí směrem na Prahu.

### 3.8.3. Výškové vedení

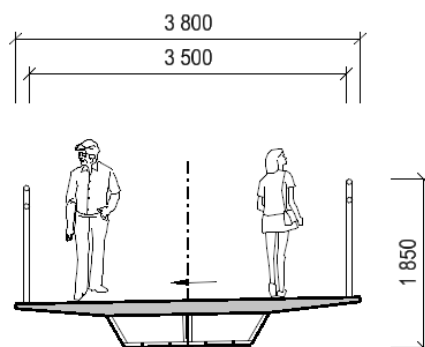
Jak již bylo řečeno, tato varianta je jakousi zjednodušenou formou varianty 2 jen s drobnými obměnami. Severní rampa lávky nejprve stoupá sklonem 7,4% a to až do podesty na odbočení do ulice Sousedská. Dále pokračuje sklon nosné konstrukce 7,7%, nad komunikací zaoblení  $R = 200,000$  m a následné klesání, které nyní dosahuje hodnoty 7,7%.



Obrázek 39 - Varianta 3 - schéma podélného profilu

### 3.8.4. Konstrukce

Vzhledem ke snaze snížení finanční náklady na výstavbu, vyplývá minimalizace rozpětí, a tedy i potřebných rozměrů k přenesení zatížení. Z toho plyne možnost zvolit konstrukci s nízkou stavební výškou. Volíme konstrukci trémovou, s horní mostovkou. Schéma níže zobrazuje ocelovou komoru s horní spřaženou mostovkou. Průřez je zvolený z důvodu nižších nákladů na výrobu železobetonové mostovky a z důvodu vyšší torzní únosnosti uzavřeného průřezu.



Obrázek 40 - Varianta 3 - schématický příčný řez

### 3.9. Porovnání variant

#### 3.9.1. Klady a zápory varianty 1

- + konstrukce umožňuje velký rozpon
- + reprezentativní konstrukce vhodná pro umístění do frekventovaného místa
- + komfortní a přehledná trasa bez lomů
- + esteticky a technicky zajímavé řešení
- + možnost přístupu na severní větev přímo ze stávajícího terénu.
  
- vyšší investiční náklady
- náročnější na návrh a provedení
- výstavba pylonu si vyžádá omezení dopravy.

#### 3.9.2. Klady a zápory varianty 2

- + nízké náklady na údržbu
- + uživatelsky přívětivé pro cyklisty
- + konstrukce bez podpor ve středním dělicím pásu
- + estetika konstrukce agresivně nevstupuje do uličního prostoru (avšak je vidět)
- + při použití prefabrikátů se minimalizuje dopad na provoz na Rokycanské ulici.
  
- větší rozpon = nárůst rozměrů konstrukce
- náročné na založení stavby
- přístup ze Sousedské ulice 1,5m nad terénem.

#### 3.9.3. Klady a zápory varianty 3

- + snížení nároků na tloušťku mostovky vlivem většího množství podpor
- + nejnižší finanční náklady
- + nejnižší konstrukční nároky
- + nejpřímější konstrukční řešení
- + výtahová kabina.
  
- nejnižší komfort pro cyklisty (ostré rohy)
- velké množství podpor (často v blízkosti komunikace)
- náklady na údržbu a provoz výtahu.

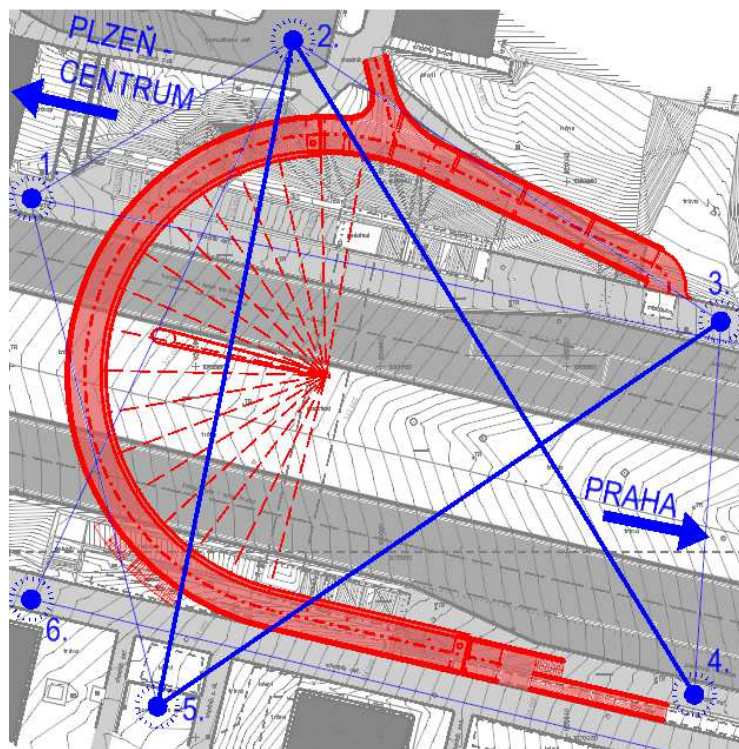
### 3.9.4. Dopravní řešení variant

Na základě přiložených dopravních schémat jednotlivých variant lze provést porovnání a zvolit mezi nimi nejefektivnější řešení. Jednotlivými body ve schématu jsou reprezentovány důležité směry pohybu chodců v dané lokalitě.

#### Legenda bodů:

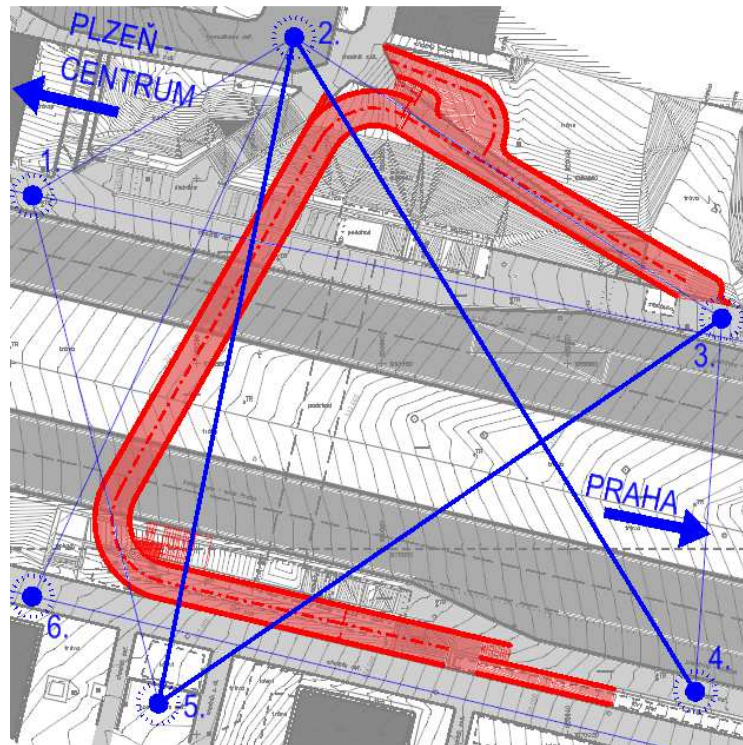
1. Směr centrum (Divadlo Alfa)
2. Ulice Sousedská, Lidl Těšínská
3. Zastávka trolejbusu Letná, směr Doubravka
4. Zastávka trolejbusu Letná, směr centrum
5. Ulice Rodinná, ŽS
6. Směr centrum

Za nejdůležitější dopravní směr pro existenci dané stavby lze předpokládat spojnici bodů 2 - 4. Dále jsou velice důležité směry mezi body 3 – 5, 2 – 4 a neméně pak směr 2 – 3, který u všech variant nahrazuje stávající bariérový přístup do ulice Sousedská bezbariérovou rampou. Vzhledem k zadání je důležitá i spojnice zastávek Letná (body 3 a 4), avšak pro efektivního spojení těchto bodů lze docílit pouze pomocí řešení s úrovnovým přechodem pro chodce, které by ale omezilo automobilovou dopravu v dané lokalitě.

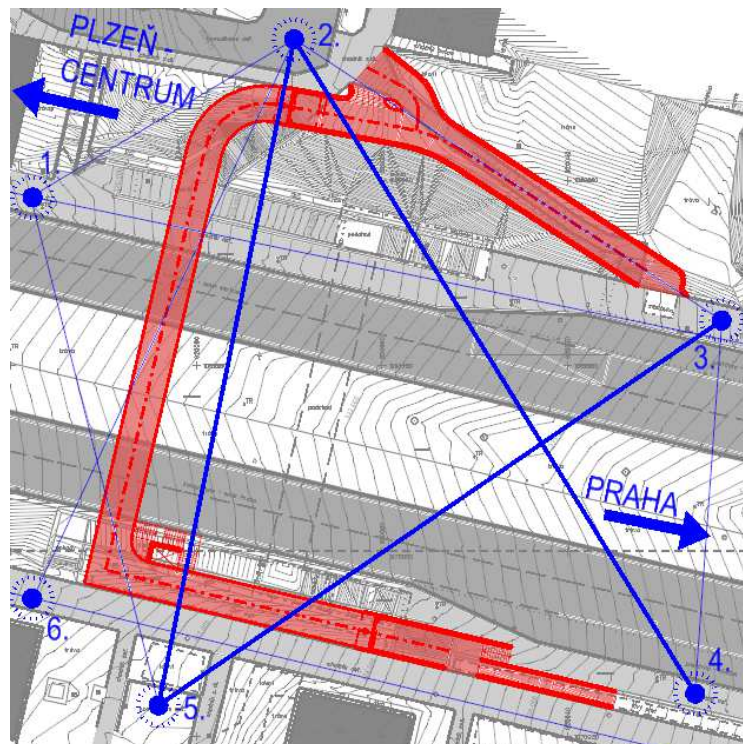


Obrázek 41 - Varianta 1 - dopravní schéma





Obrázek 42 - Varianta 2 - dopravní schéma



Obrázek 43 - Varianta 3 - dopravní schéma

Z příložených schémat tedy vyplývá, že pro chodce nevhodnější variantou pro propojení ulic Sousedská a Rodinná je varianta 2. Nejplynulejší směrové vedení, nejpříznivější přístup na konstrukci, a tudíž nejpříznivější pro cyklisty se jeví varianta 1.

Varianta 3 je vzhledem k umístění výtahové šachty zase nejpříznivější pro bezbariérový pohyb mezi ulicí Sousedskou, Rodinnou a jižním směrem do centra města.

### 3.10. Volba zpracovávané varianty

S ohledem na poznatky z rešerše a výše uvedeného srovnání dopravního řešení jednotlivých variant je potřeba vybrat vhodné varianty pro další postup.

Z uvedených variant se jako nejtransparentnější a nejprehlednější jeví varianty 1 a 3. Výtvarně nejvýraznější je varianta 1 a zároveň nejlépe navazuje na stávající terén při severním svahu. Nejméně pak okolí ovlivní varianta 3, která ale nejvíce zasahuje do zeleného pásu a nejméně odpovídá pomyslné bráně do města.

Za nejpřímější lze označit variantu 2 a 3. Z těchto variant se lépe jeví varianta 2 s většími poloměry zakřivení a z toho plynoucí lepší uživatelnost pro cyklisty. Dalším vstupujícím faktorem pro uživatelnost je vliv konstrukce na mozek uživatele. Kde varianty 1 a 2 vítězí nad poslední variantou menším počtem zalomení.

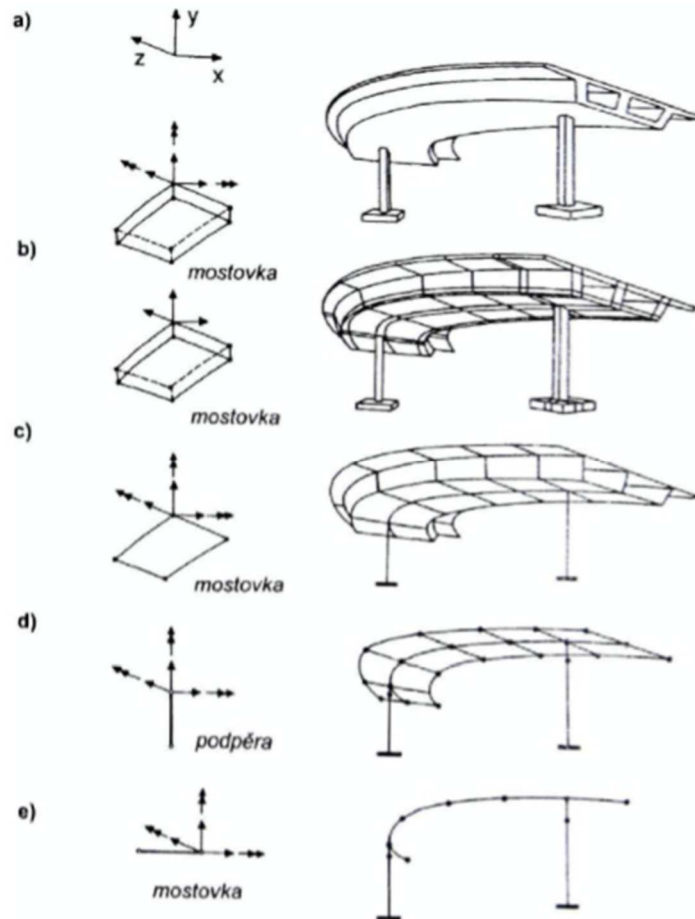
Z pohledu investora by se rozhodujícím faktorem nejspíše stala finanční stránka konstrukce, popřípadě výtvarné ztvárnění. V prvním případě by se jednalo o variantu 3, v druhém by šlo o subjektivní hodnocení.

Pro účely této práce ale jako favority vyberu právě varianty 1 a 2. Tyto varianty splňují požadavky na dopravní řešení, zároveň jsou jako konstrukce zajímavé a jsou jakousi výzvou.

## 4. Analýza výpočetních modelů

Tato kapitola je věnována tvorbě výpočetních modelů pro vybrané varianty 1 a 2. Je zde popsáno jak jednotlivé modely vznikly, k čemu budou sloužit, jejich další úpravy ve snaze nalézt nejlepší řešení a následné porovnání variant. Závěrem jsou modely zastupující jednotlivé varianty porovnány, z čehož je vybrána konstrukce pro podrobnější zpracování.

Při tvorbě jednotlivých modelů budu postupovat obdobným způsobem, jako je uvedeno na následujícím obrázku. Skutečná konstrukce, která je na obrázku 44a zobrazena jako dvoukomorová trámová konstrukce rámově spojená se stojkami, je jednotlivými postupy při modelování zjednodušována. Pro účely této kapitoly jsou použity modely deskostěnové (obr. 44c) a modely prutové (obr. 44e).



Obrázek 44 - Schéma zobecnění při modelování konstrukce (zdroj: [12])

Princip modelování prutovým prvkem (obr. 44e) transformuje prostorové působení konstrukce do osy jednotlivých prutů, které na sebe navazují v uzlech. Tímto je vystižena geometrie a okrajové podmínky konstrukce. Následnou analýzou lze zjistit

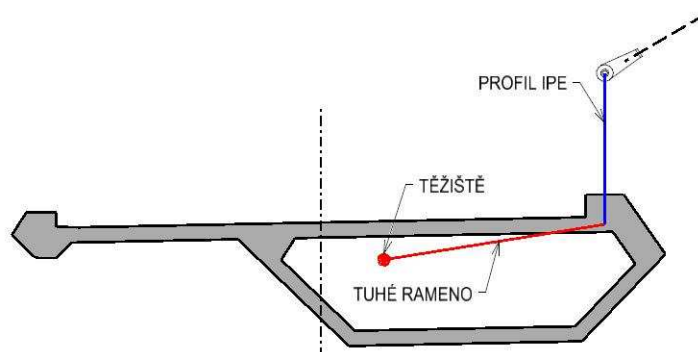
deformace a průběhy vnitřních sil. Tato metoda však není příliš vhodná pro výpočet konstrukcí, které mají tenkostěnný charakter. Z tohoto důvodu slouží model pouze ke srovnání.

Vzhledem k příčnému řezu obou variant se jeví jako vhodnější modelovat konstrukci pomocí deskostěnových prvků. Tato metoda nám umožňuje získat podrobnější představu o průběhu deformací a napětí na jednotlivých prvcích. U modelu tvořeného deskostěnovými prvky jsou zohledněny deformace jednotlivých prvků příčného řezu, které mají vliv na prostorové chování celé konstrukce.

#### 4.1. Varianta 1 – prutový model

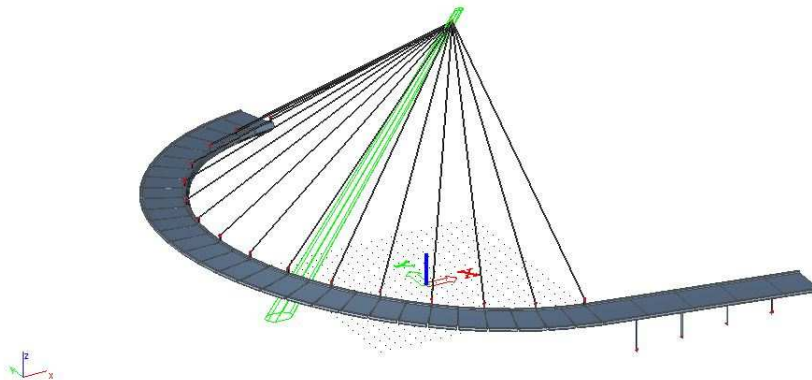
Kvůli komplikovanému tvaru konstrukce bylo prutové schéma modelu nejprve vytvořeno v 3D rýsovacím programu. Jako podklad je použit půdorys, na jehož charakteristické body jsou vynášeny výšky. Jedná především o body, v nichž jsou umístěny podpory a závěsy. Dále pak body vystihující tvar konstrukce. V přímém úseku je konstrukce dělena po 4,5m a v zakřivení pak po 2,5m. Po spojení těchto bodů vzniká střednice nosné konstrukce. K prostorové křivce střednice jsou dále doplněny úsečky charakterizující prutové podpory, dále úsečky reprezentující tuhá ramena, která slouží pro zavěšení za okraj průřezu. Jako poslední je vytvořen obrys pylonu.

Takto vzniklý čárový rastr byl vložen do výpočetního softwaru, kde byly jednotlivým prutům přiděleny průřezy. Pro vodorovnou konstrukci byl průřez naimportován dle předchozí kapitoly z betonu C90/105. Ocelové prvky jsou tvořeny ocelí S355. Pruty podpor jsou trouba průměru 100 mm a tloušťkou stěny 5 mm, závěsné 1 m vysoké sloupky tvoří IPE180. Závěsy jsou modelovány jako průřezy RD30 z oceli S455.



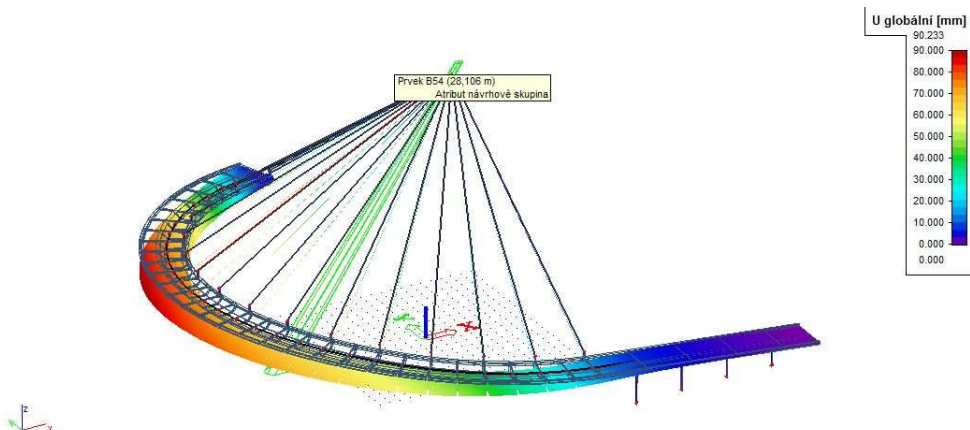
Obrázek 45 - Varianta 1 - schéma příčného řezu prutového modelu

Pylon modelovaný zelenou barvou prozatím slouží pouze pro ilustraci. Lanové prvky jsou v jeho vrcholu napojeny na tuhou podporu. Toto řešení jsem použil především s ohledem na následné ladění modelu výškou zavěšení a zjednodušení modelu. Dalším zjednodušením modelu bylo uchycení všech závěsných lan do jednoho bodu. Krajní podpory jsou řešeny jako podpory kloubové a ocelové pruty podpírající lávku v přímé části jsou na obou stranách vetknuty.



Obrázek 46 - Varianta 1 - prutový model, konstrukce

Při tvorbě tohoto modelu bylo nejdůležitější si uvědomit, že se jedná o nesymetrický průřez a nejprve nalézt těžiště průřezu. Přesná poloha těžiště je pro tento model zásadní z důvodu jednostranného zavěšení.



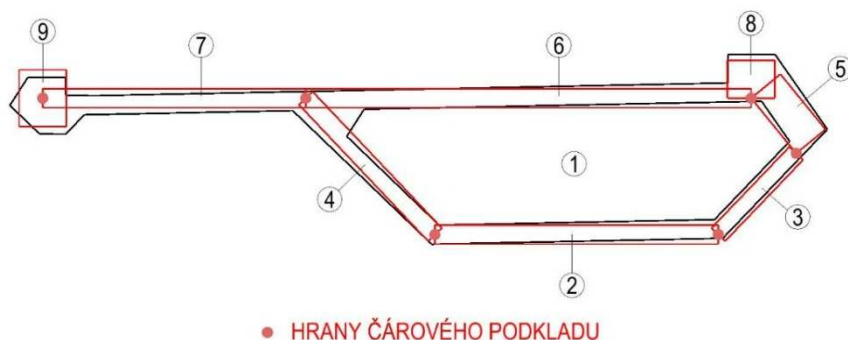
Obrázek 47 - Varianta 1 – deformovaný prutový model

Jako první vznikl model deskostěnový (popisovaný níže), který se ale ukázal jako velice komplikovaný a bylo jej třeba ověřit. Vzhledem k řešené konstrukci není prutový model příliš vhodný, ale pro kontrolu s modelem deskostěnovým bude dostačující.



## 4.2. Varianta 1 – deskostěnový model

Postup při tvorbě deskostěnového modelu byl obdobný jako u modelu prutového. Nejprve byl vytvořen čárový 3D model, vytvořený na základě půdorysu a podélného profilu konstrukce. Nejdůležitějším krokem bylo rozložit složitý, nesymetrický průřez na jednotlivé deskové, popřípadě prutové prvky. Průřez byl nakonec rozložen dle níže přiloženého schématu na 7 deskových a 3 prutové prvky.



Obrázek 48 - Varianta 1 - schéma příčného řezu deskostěnového modelu

Jednotlivé pruty čárového modelu reprezentují nejdůležitější obrysově body konstrukce dle schématu výše. Model je složen z přímých úsečků, které jsou pro vystihnutí zakřivení konstrukce děleny stejným způsobem jako bylo popsáno u modelu prutového. Dále byl rastr doplněn o obrys pylonu a prvky reprezentující ocelové prutové části konstrukce. Takto vzniklý model byl importován do výpočetního softwaru, kde byl použit jako podklad. Pro zjednodušení modelu byl zanedbán příčný sklon mostovky.

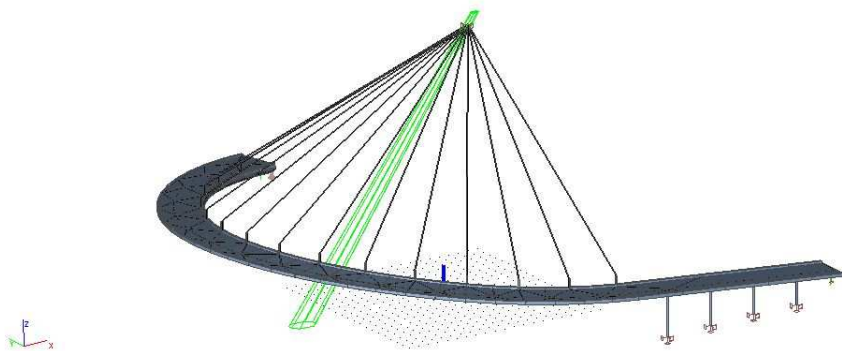
Do podkladu byly nejprve vyneseny prvky označené ve schématu číslem 1. Prvky se nacházejí v přímé části každých 4,5 m a v zaoblení každých 2,5 m. Takto vzniklé příčle jsou tvořeny pomocí dekového prvku s tloušťkou 100 mm. Beton pro nosnou konstrukci je stejně jako u prutového modelu C90/105. Příčnický byly následně postupně obalovány dalšími deskovými prvky 2 až 6 tloušťky 100 mm. Výjimkou je prvek 5 tl. 200 mm. V přímé části se jednalo o obdélníkové prvky, zatímco v zaoblené části byly použity prvky trojúhelníkové.

Po uzavření komorové části byly přidány deskové prvky tl. 100 mm označené jako číslo 7. Poté byly doplněny prutové prvky 8 a 9, tvořící obruby mostovky a zároveň sloužící pro vedení spínací výztuže. Prut 8 je tvořen obdélníkem o rozměrech 250 x

200 mm a kraj konzoly je zjednodušeně nahrazen obdélníkem 300 x 250 mm. Jako poslední byly osazeny prvky 10 sloužící jako výztužná žebra desky 7, obdélníkového průřezu

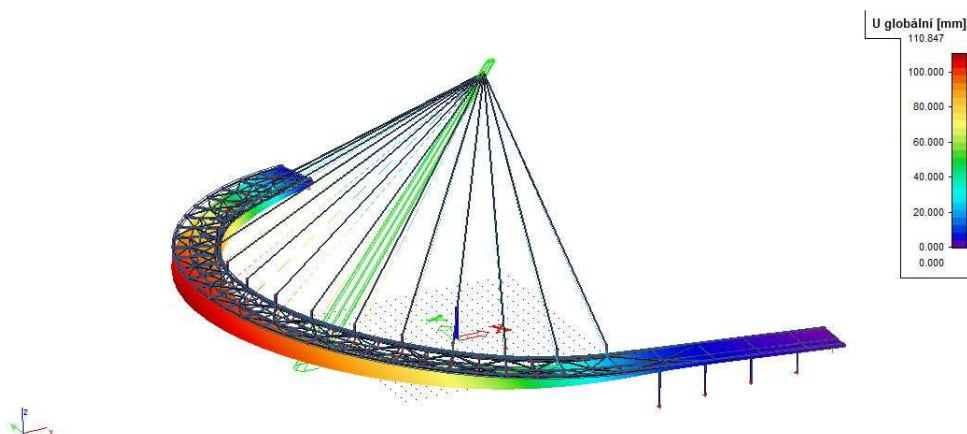
150 x 100 mm.

V dalším kroku byla konstrukce osazena ocelovými prvky. Obdobně jakou u modelu prutového jsou sloupky pro zavěšení tvořeny profily IPE 180 a podporující ocelové pruty trubou průměru 100 mm s tloušťkou stěny 5 mm. Jako materiál byla pro tyto prvky použita ocel S355. Posledním modelovaným prvkem se staly závěsy. Ty jsou stejně jako u modelu prutového tvořeny průřezem RD30 z oceli S455.



Obrázek 49 - Varianta 1 - deskostěnový model, konstrukce

Konstrukce pylonu byla stejně jako u výše popisovaného modelu zanedbána a nahrazena pouze pevnou podporou závěsů v jeho vrcholu. Na krajích je konstrukce podepírána vždy dvojicí podpor. Vnitřní podpora je kloubová, zatímco vnější je řešena jako podpora posuvná. Ocelové pruty pod přímou částí jsou na jednom konci vetknuté do konstrukce a na druhé do terénu.



Obrázek 50 - Varianta 1 - deformovaný deskostěnový model

### 4.3. Varianta 1 – porovnání modelů

Vytvořené modely varianty 1 a především hodnoty jejich chování nyní porovnáme. První model byl vytvořen principem prutových prvků, kdy konstrukce nesymetrického komorového nosníku i stojek byly vymodelovány pomocí prutového prvku, jemuž byl přiřazen průřez. Druhý model je vytvořen pomocí deskostěnových prvků. V tomto modelu jsou plošné prvky zastoupeny deskovým prvkem, zatímco stojky v podobě kyvných prutů jsou modelovány jako prvek prutový.

Dle přiložených schémat globální deformace se modely chovají velice podobně. Maximální kladná deformace směru  $uz$  se u obou modelů nachází nad čtvrtou, nejdelší prutovou podporou konstrukce. K největšímu průhybu konstrukce dochází na vnějším okraji konstrukce, zhruba nad zeleným dělicím pruhem komunikace.

Pro srovnání horizontálních deformací  $ux$  a  $uy$  zanedbáme deformace ocelových profilů IPE 180, v jejichž horním okraji dochází k největším deformacím, čímž zkreslují hodnoty o chování celé konstrukce. Tímto způsobem získané hodnoty deformací jsou popsány v tabulce níže.

Tabulka 1 - Varianta 1 - srovnání deformací prutového a deskostěnového modelu

Deformace	ux		uy		uz	
	max	min	max	min	max	min
Prutový model	19,246	-10,828	10,945	-19,981	0,656	-110,268
Deskostěnový m.	19,425	-10,901	11,182	-20,002	0,661	-110,267

Z výše uvedené tabulky a schémat jsou modely téměř identické. Rozdílně se však chovají v tabulce 2 přiložené níže. V hodnotách reakcí se modely liší. Nejzásadnější rozkol je patrný u ocelových prutových podpor na jižní straně Rokycanské ulice. Dalším

obtížným místem pro interpretaci výsledků jsou kloubové podpory na obou koncích konstrukce. Tyto podpory jsou v prutovém modelu charakterizovány vždy jednou kloubovou podporou, zatímco v modelu deskostěnovém jde o kombinaci kloubové a posuvné podpory na krajích průřezu. V tabulce jsou u deskostěnového modelu uvedeny hodnoty pro obě tyto podpory. Podpora kloubová (vnitřní) je označena římskou číslicí *I*, zatímco vnější posuvná podpora je popsána číslicí *II*.

Tabulka 2 - Varianta 1 - srovnání reakcí prutového a deskostěnového modelu

		Rx	Ry	Rz	Mx	My	Mz
Kloubové uložení sever	Prut	-744,786	71,436	112,018	0,000	0,000	0,000
	Deska (I.)	-770,872	33,118	133,256	0,000	0,000	0,000
	Deska (II.)	0,000	0,000	50,158	0,000	0,000	0,000
Kloubové uložení jih	Prut	-643,000	-268,444	211,161	0,000	0,000	0,000
	Deska (I.)	-703,172	-275,115	48,038	0,000	0,000	0,000
	Deska (II.)	0,000	0,000	205,354	0,000	0,000	0,000
P1	Prut	-0,026	1,161	31,714	-1,115	-0,027	-0,066
	Deska	-0,337	0,561	-6,410	-0,676	-0,412	-0,052
P2	Prut	-0,027	1,171	21,115	-1,400	-0,039	-0,053
	Deska	-0,261	0,791	-0,679	-1,088	-0,361	-0,039
P3	Prut	-0,105	0,904	77,829	-1,338	-0,130	-0,041
	Deska	-0,272	0,685	73,119	-1,119	-0,408	-0,027
P4	Prut	-0,228	0,699	413,476	-1,230	-0,300	-0,033
	Deska	-0,410	0,562	447,004	-1,064	-0,639	-0,025
Pylon	Prut	1389,144	193,074	1213,472	0,000	0,000	0,000
	Deska	1475,323	239,397	1289,949	0,000	0,000	0,000

Ukazatelem správnosti obou modelů je součet vodorovných reakcí rovný nule v obou směrech u obou modelů. Pro porovnání může posloužit i součet svislých reakcí, který pro prutový model činí 2080,8 kN a model deskostěnový 1984,3 kN.

Za hlavní důvod rozkolu mezi jednotlivými modely považují kombinaci torzní tuhosti průřezu a zároveň poloh těžiště vůči směru zavěšení. Druhý z těchto fenoménů je popsán níže, zde je nejdůležitější zmínit, že zjednodušení příčného řezu vyvolalo mírný posun těžišťové osy, který se v případě takovéto konstrukce projevuje jako zásadní. Tento jev negativně ovlivňuje jak použití tuhých ramen, tak i zanedbání příčného sklonu mostovky nebo například napojení prutových podpor.

Porovnání obou modelů poukazuje na první úskalí této konstrukce. Dle charakteru deformací se však modely chovají velice podobně. Z tohoto faktu lze usoudit, že deskostěnový model se chová správně a je tedy i vhodně vymodelován. Z toho důvodu je možné s deskostěnovým modelem nadále pracovat a postupně jej doladit, zatímco prutový model již svou roli modelu pro porovnání splnil.

#### 4.4. Varianta 1 – variace zavěšení

Nyní se budu snažit vhodně upravit zavěšení modelu. Pro tuto snahu mi poslouží modely vzniklé na základě výše popisovaného deskostěnového modelu. U tohoto modelu jsem postupně upravoval výšku pylonu a výšku profilů IPE 180. Tímto jsem docílil změny sklonu závěsných lan a jejich orientace vzhledem k těžišti nosné konstrukce. Na chování jednotlivých modelů budu hledat zákonitosti, jimiž se tato konstrukce řídí.

##### 4.4.1. Model 20

Model shodný s již popisovaným deskostěnovým modelem, který byl v tomto případě doplněn kombinace zatížení a zároveň definovány hmoty pro výpočet frekvencí vlastního kmitání.

##### 4.4.2. Model 21

Základní model 20 u něhož byly závěsná lana ukotvena o 5 m výše, zatímco na sloupcích IPE nebyla provedena žádná změna.

##### 4.4.3. Model 22

Ukotvení závěsů v tomto modelu bylo navýšeno o dalších 5 m oproti modelu 21, tedy o 10 m od původního deskostěnového modelu.

##### 4.4.4. Model 23

Tímto modelem hledáme změny chování při snížení výšky závěsů. Závěs v pylonu je tedy snížen o 5 m.

##### 4.4.5. Model 24

Na modelu 24 jsou změněny výšky sloupků IPE. V tomto případě jde o zkrácení všech sloupků z 1,0 m na délku 0,5 m. Bod zavěšení se tedy nachází 0,5 m nad pochozí vrstvou.

##### 4.4.6. Model 25

Model 25 pracuje naopak s prodloužením těchto sloupků. Sloupky jsou prodlouženy na výšku 1,2 m, čímž by byl bod závěsu posunut pod úroveň horního madla zábradlí.



#### 4.4.7. Chování konstrukce

Modely byly porovnány při zatížení vlastní tíhou (LC1) a následujícími kombinacemi zatížení. Kombinace CO1 uvažuje v stav LC1 a zatížení chodci 5 kN/m<sup>2</sup> v celé ploše lávky, u kombinace CO2 jde o zatížení stálé doplněné plošným zatížením od chodců nad hlavním polem lávky. Poslední dvě kombinace CO3 a CO4 zohledňují kromě vlastní tíhy také ohřev a ochlazení konstrukce o 20°C.

Tabulka přiložena níže popisuje vliv variací zavěšení konstrukce a kombinací zatížení na posunech betonové části nosné konstrukce. Záměrně byly při sepisování výsledků zanedbány ocelové prvky zavěšení, které dosazují větších deformací a tím výsledky zkreslují. Důležité je zmínit charakter deformací. Všechny modely se chovají velice podobně jako výše popisovaný deskostěnový model na obr. 50. K maximálním deformacím dochází ve stejných místech a pro zevrubné porovnání tedy postačí pouze hodnoty.

Na prvních čtyřech sloupcích tabulky je patrný vliv výšky závěsu. Při zvyšování horního bodu zavěšení dochází k rovnání závěsného lana do svislé polohy. S rostoucím úhlem se silové účinky závěsného lana efektivněji přerozdělují. Dochází k nárůstu svislé složky výslednice, a naopak ke snižování horizontálních účinků od zavěšení. Tento jev se projevuje na snižování hodnot deformací jak ve svislém, tak v horizontálním směru. Výjimku samozřejmě tvoří kombinace CO4, kdy dochází ke smršťování konstrukce. Naopak při snižování úhlu se deformace navyšují, na což odkazuje sloupec modelu 24. Nejefektivnějšího zavěšení by tedy bylo dosaženo v případě co nejvyššího úhlu zavěšení.

Obdobný trend je patrný i ze sloupců modelů 25 a 26. Při snížení sloupku IPE dojde k zvětšení úhlu zavěšení čímž dochází ke zmenšení deformací. Model 26 pak ukazuje opačný příklad. U tohoto jevu je také nutno si připomenout vliv chování délky profilu IPE. Jde o jednostranně vetknutý prvek, který je zatížen na volném konci. S prodlužováním sloupku tedy dochází ke snižování ohybové tuhosti a tím k nežádoucímu nárůstu deformací. Z tohoto hlediska by pro model bylo nejlepší, pokud by bylo možné profil co nejvíce zkrátit.

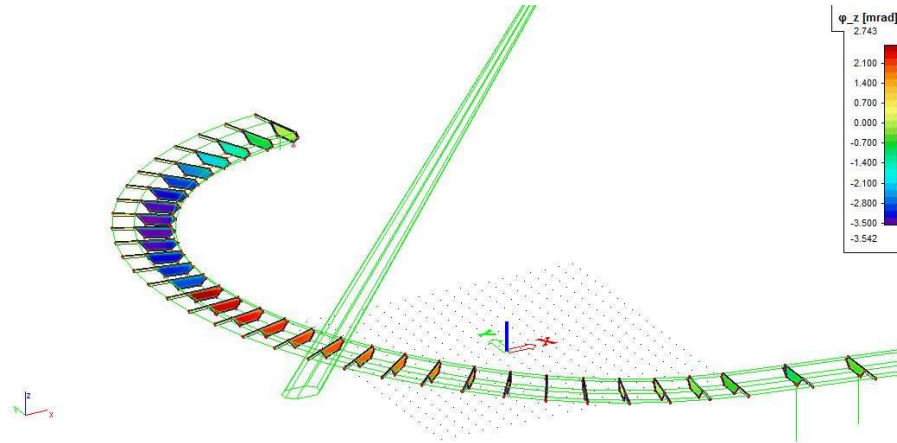
Tabulka 3 - Varianta 1 - deformace v závislosti na zavěšení

Model		20	21	22	23	24	25
LC1	ux_max	2,244	1,737	1,469	3,477	1,948	2,586
	ux_min	-9,545	-7,820	-7,155	-14,273	-7,677	-12,492
	uy_max	0,151	0,124	0,107	0,199	0,156	0,153
	uy_min	-9,556	-7,301	-6,239	-16,037	-7,685	-12,608
	uz_max	0,656	0,559	0,531	2,160	0,577	1,191
	uz_min	-110,268	-84,973	-74,555	-177,924	-85,372	-149,074
CO1	ux_max	4,076	3,160	2,694	6,204	3,555	4,690
	ux_min	-17,560	-14,445	-13,249	-26,123	-14,219	-22,896
	uy_max	0,278	0,229	0,198	0,367	0,286	0,282
	uy_min	-17,482	-13,430	-11,549	-28,167	-14,202	-22,232
	uz_max	1,224	1,172	1,735	2,303	1,986	1,537
	uz_min	-202,059	-156,553	-137,877	-324,208	-157,717	-272,070
CO2	ux_max	5,582	4,438	3,687	7,480	5,148	5,962
	ux_min	-18,525	-15,283	-13,809	-26,401	-15,692	-22,941
	uy_max	0,207	0,164	0,135	0,278	0,194	0,217
	uy_min	-29,241	-24,365	-21,515	-38,356	-27,265	-32,372
	uz_max	1,370	1,175	1,098	3,810	1,240	2,309
	uz_min	-201,449	-159,644	-140,792	-304,738	-166,083	-256,398
CO3	ux_max	3,157	2,518	2,131	4,350	2,829	3,464
	ux_min	-14,884	-13,929	-14,146	-19,476	-13,028	-18,124
	uy_max	0,524	0,493	0,472	0,568	0,532	0,510
	uy_min	-15,090	-12,993	-11,905	-21,212	-13,474	-17,901
	uz_max	1,118	0,975	1,248	3,076	1,346	2,132
	uz_min	-113,887	-90,603	-82,079	-178,696	-89,810	-151,968
CO4	ux_max	5,831	6,850	7,250	6,784	7,992	6,119
	ux_min	-6,609	-5,030	-4,391	-10,913	-4,942	-9,193
	uy_max	0,753	0,759	1,266	0,744	0,741	0,758
	uy_min	-10,552	-8,278	-7,173	-16,004	-8,707	-13,214
	uz_max	0,603	0,472	0,412	1,243	0,463	0,796
	uz_min	-107,213	-79,641	-67,443	-177,746	-81,488	-146,633

Pro lepší porozumění chování konstrukce slouží další tabulka, která porovnává vliv příčného natočení průřezu na daném druhu zavěšení. Protože je konstrukce jednostranně zavěšená, jedná se o důležité porovnání. Čím více se bude konstrukce příčně kroutit, tím komplikovanější bude ji vyladit a zároveň bude náchylnější vůči nahodilému zatížení.

Výsledky v následující tabulce popisují příčné natočení prvků 1 a 10 dle schématu na obr. 51. Ostatní části konstrukce byly pro účel získání těchto hodnot skryty. Hodnoty poté byly hledány dle lokálního souřadnicového stavu, který nám lépe popisuje natočení jednotlivých prvků. Vzhledem k rozdílnému nastavení lokálního systému pro jednotlivé prvky musíme pootočení prvku 1 hledat v rádcích deformace  $\varphi_Z$  zatímco

natočení prvku 10 v deformaci  $\varphi_y$ . Musím také upozornit na svou chybu při vytváření modelu. Prutové prvky jsem osazoval, aniž bych si dal pozor na jejich orientaci. Tento fakt poněkud zkresluje výsledky  $\varphi_y$  a ty je tedy nutno porovnávat v absolutní hodnotě.



Obrázek 51 - Varianta 1 - schéma natočení průřezů

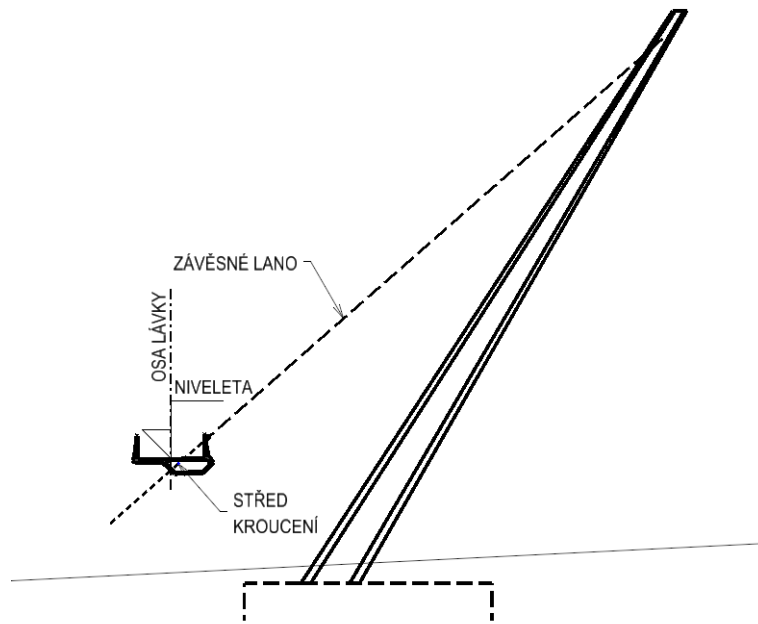
Tendence popisované ob odstavce výše jsou nejvíce vidět, pokud porovnáme model 21 a 22. Zatímco model 22 vychází lépe po stránce posunů, model 21 se méně natáčí. Čímž dochází k menší deformaci konstrukce mezi pravým a levým krajem příčného řezu. Toto příčné natáčení je závislé na průniku vektoru závěsu s těžištěm komorového nosníku. Pokud osa závěsu bude protínat těžiště prvku, bude příčné natočení minimální. Se zvětšujícím se odstupem se zvyšuje vliv páky a tím rostou hodnoty natočení.

Tabulka 4 - Varianta 1 - natočení průřezů

Model		20	21	22	23	24	25
LC1	$\varphi y_{max}$	4,310	4,190	4,318	5,303	4,836	4,793
	$\varphi y_{min}$	-3,390	-2,889	-3,371	-5,161	-3,548	-4,428
	$\varphi z_{max}$	2,743	2,864	3,179	4,093	3,655	3,525
	$\varphi z_{min}$	-3,542	-3,457	-3,606	-4,884	-4,113	-4,221
CO1	$\varphi y_{max}$	8,574	8,368	8,637	10,389	9,605	9,436
	$\varphi y_{min}$	-6,145	-6,32	-7,208	-9,35	-7,525	-8,02
	$\varphi z_{max}$	5,979	6,221	6,807	7,386	7,668	6,594
	$\varphi z_{min}$	-7,22	-7,079	-7,418	-8,976	-8,382	-8,017
CO2	$\varphi y_{max}$	10,145	9,432	9,304	12,481	10,73	11,112
	$\varphi y_{min}$	-6,896	-6,31	-6,243	-9,911	-7,341	-8,537
	$\varphi z_{max}$	5,634	5,007	5,329	8,162	6,27	6,991
	$\varphi z_{min}$	-8,631	-8,001	-7,927	-10,827	-9,297	-9,537
CO3	$\varphi y_{max}$	4,613	4,546	4,722	5,535	5,138	5,074
	$\varphi y_{min}$	-3,594	-3,051	-3,572	-5,3	-3,591	-4,604
	$\varphi z_{max}$	2,849	3,035	3,407	4,127	3,751	3,591
	$\varphi z_{min}$	-3,843	-3,811	-4,008	-5,18	-4,415	-4,551
CO4	$\varphi y_{max}$	4,008	3,834	3,927	5,098	4,548	4,513
	$\varphi y_{min}$	-3,185	-2,75	-3,169	-5,023	-3,505	-4,251
	$\varphi z_{max}$	2,638	2,694	2,951	4,085	3,56	3,474
	$\varphi z_{min}$	-3,24	-3,103	-3,233	-4,587	-3,862	-3,892

Za nejefektivnější zavěšení, se dle přiložených tabulek jeví co nejvyšší pylon, pro minimalizaci posunů a k tomu úměrně vysoký ocelový profil, za který bude konstrukce zavěšena tak, aby závěsem bylo protnuto těžiště. Tímto řešením by se dosáhlo minimálních posunů i natočení, avšak zvyšující se výška pylonu by kladla vyšší nároky na založení pylonu. Tato teorie však koliduje s poznámkou týkající se délky profilu IPE na straně 69. Z tohoto důvodu a z estetických důvodů je tedy nutno hledat kompromis.

Další tabulka popisuje vliv výšky pylonu a sklonu závěsu na vlastní frekvence kmitání konstrukce. S rostoucím sklonem zavěšení se zvyšuje frekvence vlastního kmitání. Stále se však všechny uvedené hodnoty pohybují pod hranicí 5 Hz, z čehož vyplývá, že konstrukci by bylo nutno dynamicky posoudit. Podrobnější popis chování jednotlivých frekvencí bude doplněn v následující kapitole 4.5, pro konstrukci s konečnými rozměry. V tuto chvíli lze na základě již provedeného výpočtu, že charakteru frekvencí vlastního kmitání jsou u jednotlivých modelů obdobné a zásadně se liší pouze hodnotou vlastní frekvence.



Obrázek 52 - Schéma ideálního průběhu závěsného lana

Tabulka 5 - Varianta 1 - frekvence vlastního kmitání

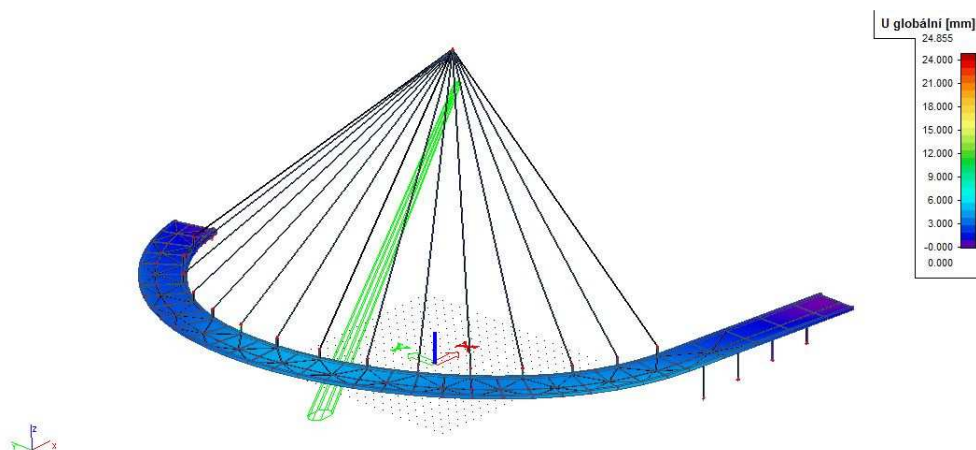
		20	21	22	23	24	25
VL. FREK.	1	1,43	1,53	1,6	1,25	1,48	1,35
	2	1,74	1,97	2,1	1,44	1,99	1,54
	3	2,62	2,65	2,65	2,55	2,79	2,44
	4	2,98	3,06	3,12	2,87	3,17	2,83

#### 4.5. Varianta 1 – ladění modelu

Na základě poznatků o chování konstrukce z předchozí kapitoly jsem metodou postupné iterace došel k následující geometrii konstrukce, která se z mého pohledu jeví nejlépe. Pro upevnění závěsů k betonové konstrukci byly použity sloupky výšky 1,0 m. K těmto sloupkům jsem úměrně navýšil pylon tak, aby docházelo k co nejmenšímu příčnému natočení. Pylon navýšený o 4,5 m oproti základnímu modelu (model 20) zároveň snižuje hodnoty deformací.

Dalším krokem k dokončení modelu bylo předepnutí závěsů, čímž se omezily deformace konstrukce zapříčiněné jejich protažením. Předepnutí lan jsem se rozhodl ve výpočetním modelu simulovat pomocí ochlazování. Ochlazováním prvku dojde k jeho zkrácení. Takovýmto zkrácením je následně možné eliminovat nežádoucí deformace modelu.





Obrázek 53 - Varianta 1 - výsledná konstrukce

Pro stanovení hodnoty ochlazení jsem použil rovnici délkové roztažnosti (1), kterou jsem transformoval do tvaru (2). Do této rovnice byly dosazeny hodnoty protažení závěsných lan a jejich celkové délky společně se součinitelem teplotní roztažnosti pro ocel.

$$\Delta l = \alpha \times \Delta T \times l \quad (1)$$

$$\Delta T = \frac{\Delta l}{\alpha \times l} \quad (2)$$

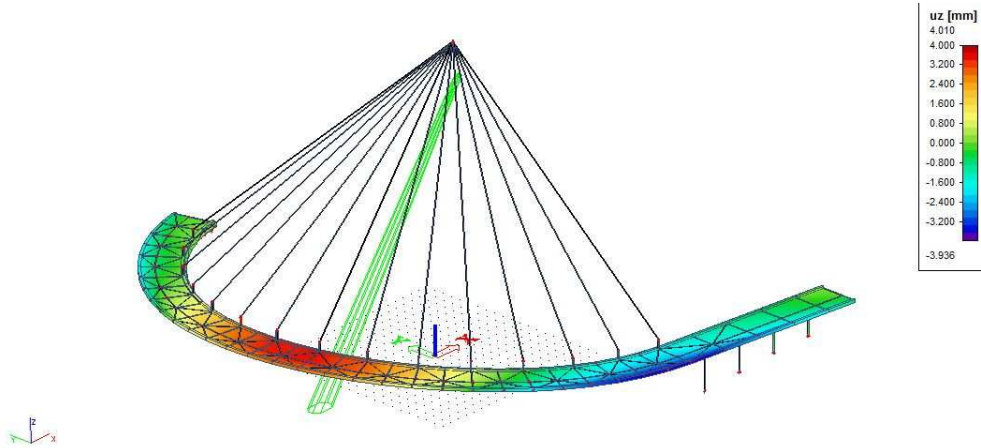
Ve výpočetním modelu byl vytvořen nový zatěžovací stav LC6 vázaný primárním účinkem na stav LC1. Stav LC6 byl následně použit společně se zatěžovacím stavem LC1 pro vytvoření nelineární kombinace NC1, která zohledňuje vlivy vlastní tíhy a předpětí. Následně byla doplněna kombinace NC2, která navíc uvažuje i stav LC2, tedy zatížení chodci v celé ploše lávky. Následně byl spuštěn výpočet, který jsem s drobnými obměnami opakoval až k získání hodnot ochlazení v následující tabulce. Číslování závěsných lan narůstá po směru hodinových ručiček.

Tabulka 6 - Varianta 1 - ochlazení prutů

Prvek	B133	B134	B135	B136	B137	B138	B139
$\Delta T$ [°C]	-105	-145	-145	-135	-130	-135	-135
B140	B141	B142	B143	B144	B145	B146	B147
-135	-135	-135	-130	-130	-125	-120	-90

Předpětím závěsných lan dle tab. 6 se mi téměř podařilo eliminovat deformace vycházející z vlastní tíhy konstrukce. Na obrázku a v tabulce níže jsou uvedeny hodnoty deformací pro nelineární kombinace zatížení NC1 a NC2. Obrázek 54 popisuje chování deformací ve směru *uz* pro kombinaci NC1. Tabulka ukazuje na

rozdíly deformací pro nezatíženou a plně zatíženou konstrukci. Hodnoty maximálních deformací pro stav NC2 jsou vzhledem k intenzitě zatížení  $5 \text{ kN/m}^2$  nadhodnoceny a po použití vzorce na redukci zatížení v závislosti na délce lávky. Hodnota maximálního průhybu nyní činí  $1/1040$  délky hlavního pole.



Obrázek 54 - Varianta 1 - svislé deformace

Tabulka 7 - Varianta 1 - deformace po předpětí závěsů

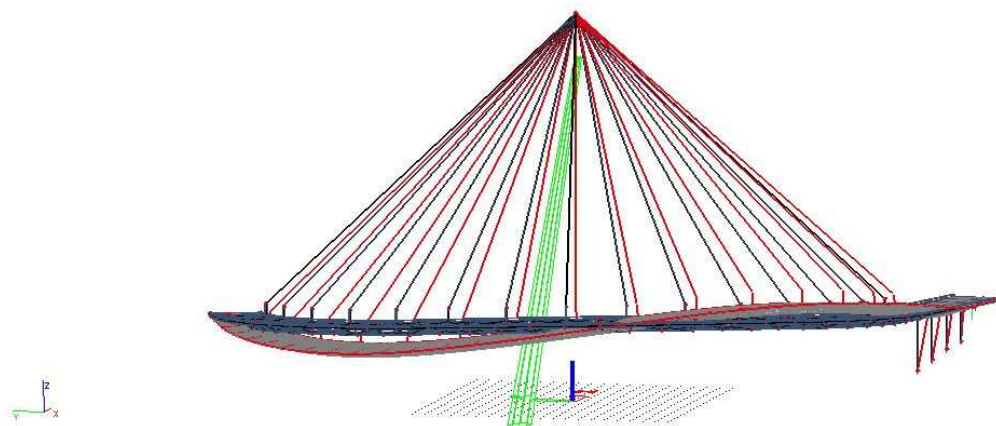
	ux_max	ux_min	uy_max	uy_min	uz_max	uz_min
NC1	1,273	-0,473	3,839	-0,163	4,010	-3,936
NC2	2,269	-7,028	0,606	-3,750	0,625	-71,976

Následující tabulka obsahuje hodnoty prvních šesti frekvencí vlastního kmitání takto nadefinované konstrukce. S ohledem na Eurokód [7], se prvních pět vlastních frekvencí nachází mimo bezpečný rozsah frekvencí a pro další návrh by měla být konstrukce dynamicky posouzena.

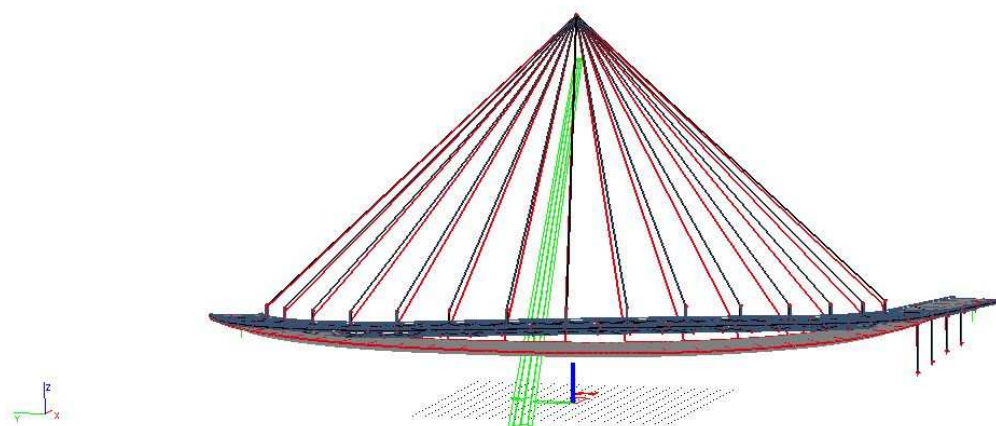
Tabulka 8 - Varianta 1 - vlastní frekvence kmitání

Vlastní frekvence kmitání	1	2	3	4	5	6
	1,53	1,95	2,65	3,06	4,56	5,91
	svis. + tor.	svis. + tor.	svis. + tor.	svis. + tor.	svis. + tor.	svis. + tor.

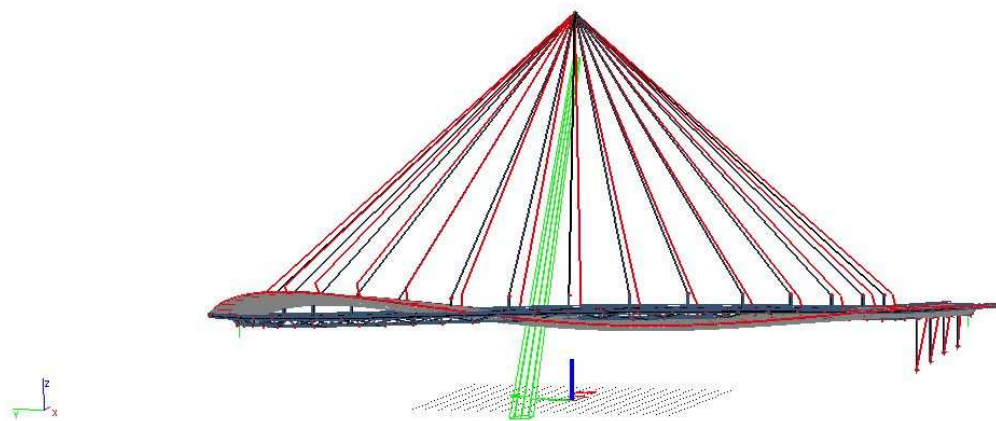
Samotné chování konstrukce je patrné z následujících obrázků, zobrazující deformaci konstrukce vyvolanou příslušnou vlastní frekvencí. Ve všech případech je dominantní složkou deformace svislý směr. Zároveň se ve všech stavech objevuje i torze. Mezi jednotlivými vlastními frekvencemi je tedy největším rozdílem způsob deformace konstrukce.



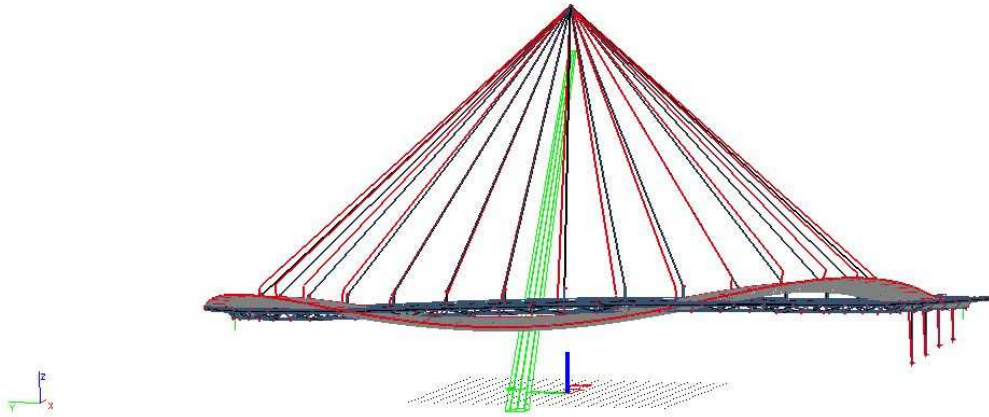
Obrázek 55 - Varianta 1 - tvar 1. vlastní frekvence



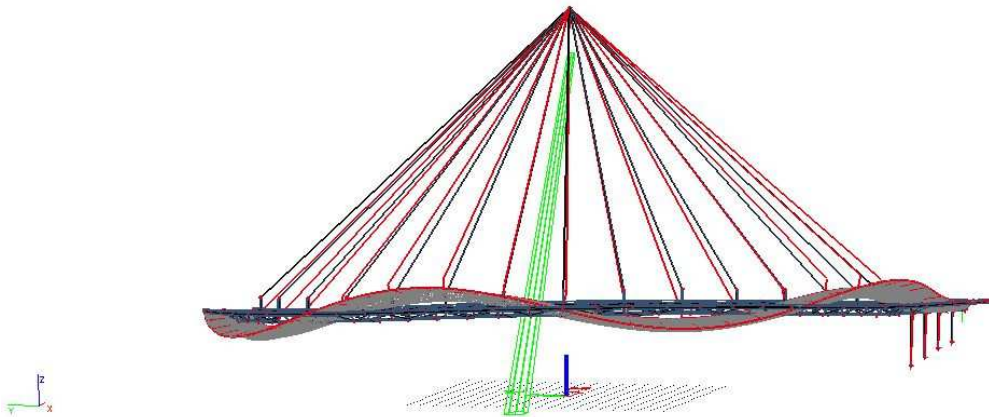
Obrázek 56 - - Varianta 1 - tvar 2. vlastní frekvence



Obrázek 57 - Varianta 1 - tvar 3. vlastní frekvence



Obrázek 58 - Varianta 1 - tvar 4. vlastní frekvence



Obrázek 59 - Varianta 1 - tvar 5. vlastní frekvence

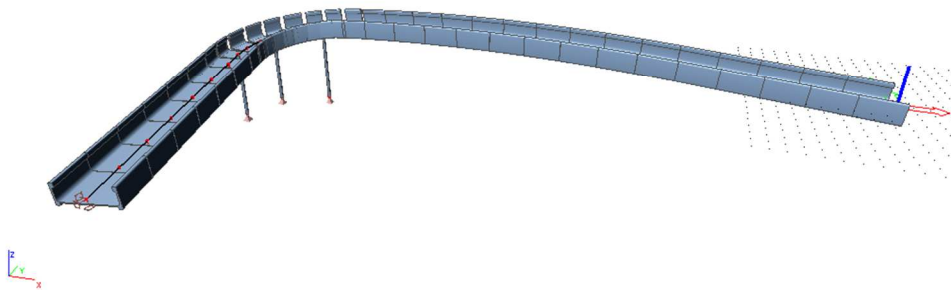
Takto zvolená geometrie varianty 1 je dle mého názoru nejlepším kompromisem, který jsem našel. Zároveň tuto variantu považuji za výsledný stav. Hlavním nedostatkem konstrukce je její dynamická použitelnost. Tento problém jsem se pokoušel vyřešit zvyšováním torzní tuhosti, nebo například přitížením a odtížením konstrukce. Při těchto pokusech jsem ale došel k závěru, že největší podíl na hodnotách vlastních frekvencí a deformacích lávky při modální analýze má tuhost závěsných lan.

#### 4.6. Varianta 2 – prutový model

Obdobně jako prutový model varianty 1 byl tento model vytvořen z prostorové křivky, která byla do výpočetního softwaru importována a následně jí byl přidělen průřez. Tvar a rozměry této křivky vycházejí z půdorysného řešení varianty 2

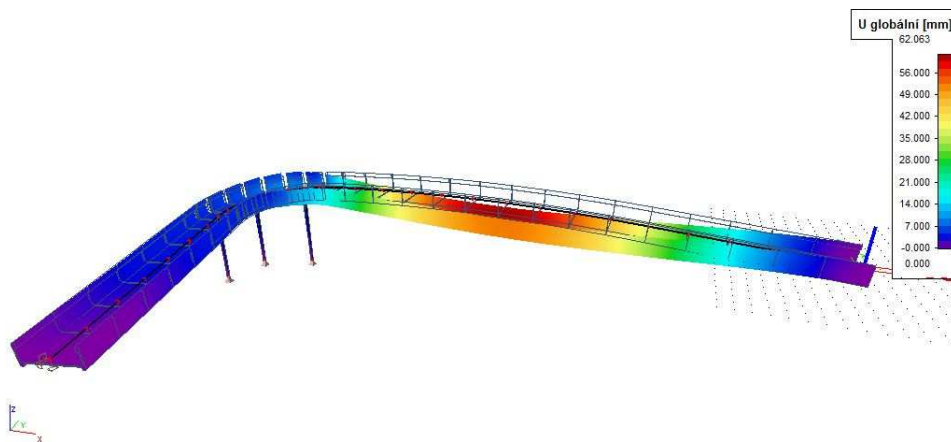
z variantního řešení výše. Na osu půdorysného řešení byly vynášeny výšky dle podélného profilu ve vzdálenosti 3,0 m v přímé a 1,5 vzdálenosti v zakřivené části.

Tato prostorová křivka reprezentuje osu konstrukce přemostění, tedy část konstrukce mezi závěrnými zídками na severním svahu a na jižní straně komunikace. Této křivce byl přiřazen průřez betonového, parapetního nosníku varianty 2. Následně byla vzniklá konstrukce podepřena dle původní myšlenky konstrukce. Konce konstrukce jsou vetknuty v místě závěrných zídek a v zakřivené části je situováno podepření třemi ocelovými, kyvnými pruty.



Obrázek 60 - Varianta 2 - prutový model

V tomto modelu bylo řešeno pouze zatížení od vlastní tíhy, protože tento model bude sloužit pouze pro porovnání s modelem deskostěnovým, který je pro analýzu dané konstrukce vhodnější. Porovnáním výsledků těchto modelů může odhalit chyby při modelování. K srovnání modelů budou použity především hodnoty deformací v jednotlivých směrech, průběh deformace a hodnoty reakcí.



Obrázek 61 - Varianta 2 - deformace prutového modelu

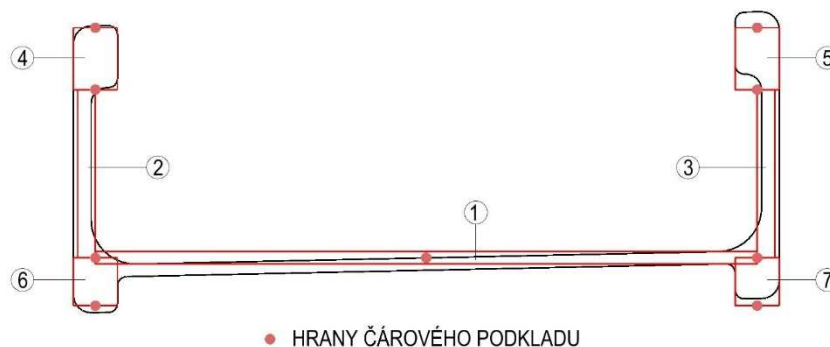


#### 4.7. Varianta 2 – deskostěnový model

Tvorba deskostěnového modelu probíhala obdobně jako u modelu prutového. Z variantního řešení byla vyjmuta osa konstrukce. Od této osy byly oddistancovány osy prvků tvořící horní a dolní přírubu parapetního nosníku. Následně byly těmto bodům přiděleny výšky dle podélného profilu ve stejných vzdálenostech jako u prutového modelu. Na všechny křivky byly vyneseny výšky osy mostovky, u které není z důvodu zjednodušení modelu uvažován příčný sklon. Dále byly na krajní křivky vyneseny výšky horních a dolních vláken madla a nejspodnější vlákna příčného řezu.

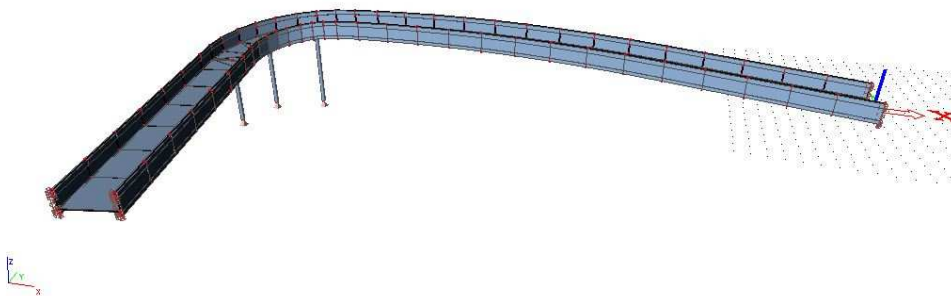
Takto vzniklé body byly pospojovány v křivky reprezentující hrany dílčích částí prutového modelu. Prutový model byl následně importován do výpočetního softwaru. Importovaný model zde sloužil jako čárový podklad, do kterého byly postupně vynášeny dílčí prvky konstrukce.

Jako první byly vyneseny desky mostovky tloušťky 70 mm (prvek 1 – obr. 62). Tyto desky jsou v přímých částech tvořeny obdélnými prvky, charakterizované šesti uzly (čtyři v rozích desky a dva v polovině šířky desky). V zaoblené části konstrukce byla mostovka tvořena deskami trojúhelníkovými, charakterizovanými čtyřmi uzly. Trojúhelníky byly zvoleny z důvodu zakřivení konstrukce v půdorysném i výškovém směru, z čehož by vznikaly zborcené plochy, které jsou tímto eliminovány. Následně byly do čárového rastru vyneseny desky tvořící střední část parapetního nosníku o tloušťce 100 mm a to tak, aby systémová osa prvku byla umístěna na vnitřní líc konstrukce (prvky 2 a 3 dle obr. 62). Jako poslední byly mezi výše zmíněnou desku a krajní hrany čárového rastru vyneseny desky o tloušťce 250 mm, které charakterizují zesílení parapetního nosníku v místě vedení spínacích lan (prvky 4, 5, 6 a 7 dle obr. 62).



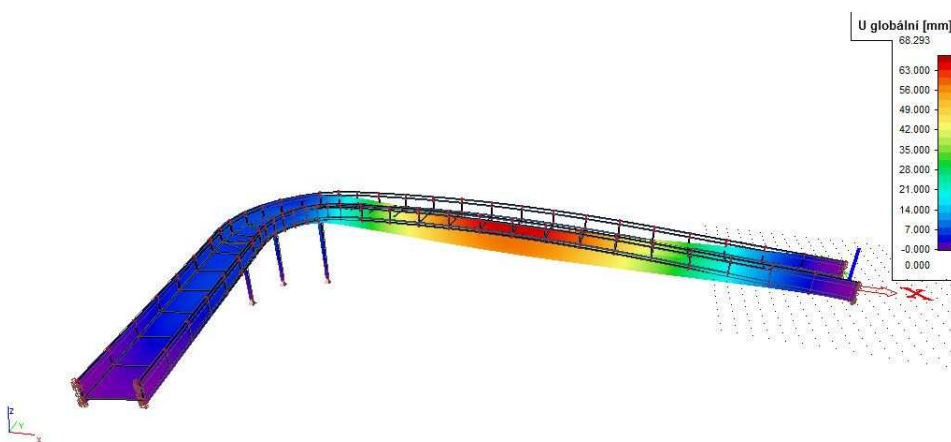
Obrázek 62 - Varianta 2 - Schéma deskostěnového příčného řezu

V dalším kroku tvorby byla konstrukce doplněna ztužujícími trámy v místě styku kyvných prutů s deskou mostovky. Důvodem bylo přenesení bodové reakce do obou hlavních nosníků. Tyto trámy byly modelovány opět jako deskový prvek, který byl definovaný šesti uzly. Tři z těchto uzlů byly připojeny k desce mostovky, dva ke spodním vláknům hlavních nosníků a poslední je vytvořen v polovině délky tak, aby na něj bylo možno připojit podporu.



Obrázek 63 - Varianta 2 - deskostěnový model

Podpory byly definovány stejným způsobem jako v případě prutového modelu. Pod zakřivenou částí konstrukce jsou na výše zmíněné ztužující trámy připojeny ocelové kyvné pruty. Vetknutí na krajích konstrukce je řešeno jako vetknutí hlavních nosníků. Vetknuté jsou tedy všechny prvky příčného řezu s výjimkou desky mostovky. Následně byl spuštěn výpočet, který je stejně jako u prutového modelu postaven na zatížení pouze od vlastní tíhy. Průběh deformace zjištěný tímto výpočtem je patrný v obrázku níže.



Obrázek 64 - Varianta 2 - deformace deskostěnového modelu

#### 4.8. Varianta 2 – porovnání výpočetních modelů

Oproti metodě modelování pruty je příčný řez modelovaný deskostěnovými prvky zjednodušen (zanedbány jsou zejména zakřivení při změně tlouštěk, dále pak příčný sklon). Avšak tímto modelem lze lépe vystihnout chování jednotlivých prvků konstrukce, lze lépe upravovat dimenze prvků a snáze vystihnout prostorové uspořádání zatížení.

Dle schémat deformovaných konstrukcí uvedených v kapitolách jednotlivých modelů, lze říci že se konstrukce v obou případech chová stejně. Maximální průhyb  $uz$  je asi ve dvou třetinách hlavního pole, na spodní hraně pravého nosníku ve směru od severního vetknutí (počátek souřadného systému). K maximálnímu nadzdvihnutí konstrukce dochází u obou modelů nad trojicí prutových podpor. K maximální deformaci směru  $uy$  dochází v podobném místě jako deformace  $uz$  avšak na horním okraji parapetních nosníků. V tomto místě se výsledné deformace mírně rozcházejí, neboť prutový model uvažuje nedoformovaný příčný řez, a tedy deformace na obou madlech stejné, zatímco deskostěnový model ukazuje na větší deformaci u levého madla. Obdobně je tomu u trojice podpor, kdy deformace probíhá opačným směrem. Ve směru  $ux$  se maximální deformace vyskytuje u obou modelů nad trojicí kyvných prutů. Maxima a minima deformací jednotlivých modelů popisuje tabulka níže.

Tabulka 9 - Varianta 2 - srovnání deformací modelů

Deformace	ux		uy		uz	
	max	min	max	min	max	min
Prutový model	0,965	-9,959	6,536	-3,961	5,380	-61,675
Deskostěnový m.	1,358	-9,226	12,398	-5,015	2,963	-68,089

Další příložená tabulka srovnává reakce v jednotlivých podporách u obou modelů. Hodnoty do této tabulky byly pro prutový model přímo spočítány výpočetním softwarem. Výsledky podpor u druhého modelu jsou obsáhlejší, z důvodu většího množství podepíraných prvků. Jednotlivé hodnoty příslušného podepření byly tedy sečteny.

Tabulka 10 - Varianta 2 - srovnání reakcí modelů

	Model	Prutový	Deskostěnový
Rx	Vetknutí J	128,878	170,019
	Vetknutí S	-128,878	-170,019
Ry	Vetknutí J	44,895	52,614
	Vetknutí S	-44,895	-52,615
Rz	Vetknutí J	239,752	254,078
	Prut 1	223,774	126,317
	Prut 2	-60,607	68,716
	Prut 3	516,728	481,94
	Vetknutí S	550,117	534,921

Dle uvedených hodnot se modely již rozcházejí více. Za zásadní rozdíl považují velikost svíslé reakce u prostřední z kyvných stojek. Prutový model zde ukazuje na tažený kyvný prut, zatímco u modelu deskostěnového se jedná o prut tlačný. Další hodnoty poslouží pro ověření správnosti jednotlivých výpočetních modelů. Předně jde o podmínky rovnováhy v jednotlivých směrech, kdy u obou modelů, obou půdorysných směrů, vycházejí součty rovny nule. Ze součtu svíslých podpor dále můžeme odvodit hmotnost celé konstrukce. U prutového modelu je součet roven 1 469,764 kN, zatímco u modelu deskostěnového je součet 1 465,972 kN, což jsou hodnoty velice podobné.

Podle hodnot z tabulek a popisu chování deformovaných konstrukcí považují deskostěnový model za správný. Průběh a hodnoty deformací jsou u obou modelů, až na drobnosti zapříčiněné druhem použité analýzy, obdobné. Rozdílné je pak chování jednotlivých reakcí, především hodnoty reakcí v trojici kyvných prutů. Tyto rozdíly přisuzují vlastnostem otevřeného průřezu, kdy při prutové metodě se veškeré vlastnosti vztahují ke střednici, tedy se prvek v příčném řezu nedeformuje, zatímco u deskostěnového modelu se deformace průřezu naplno projeví.

#### 4.9. Varianta 2 – modifikace podpor

Po vytvoření výpočetního modelu jsem se zaměřil na další možnosti podepření konstrukce. Snahou bylo pro konstrukci najít co nejideálnější podepření s ohledem na deformace, které jsou těmito změnami zapříčiněné. Zaměřil jsem se především na takové změny podepření, které nebudou mít zásadní vliv na původní inženýrsko-architektonický záměr. U této varianty jde hlavně o absenci podpor ve středním dělicím pásu a o zachování hlavní hmoty v úrovni parapetního nosníku, nikoli podpor.

#### 4.9.1. Model 20

Jde o základní model se stejným podepřením jako již srovnávaný deskostěnový model. Model byl doplněn o ztužující žebra pod deskou mostovky a na vnitřním líci střední části hlavních nosníků. Tloušťka těchto stěn byla zredukována ze 100 mm na 70 mm. Následující modely jsou klony tohoto s pozměněnými podporami.

#### 4.9.2. Model 21

Vzhledem k rozcházejícím se výsledkům mezi prutovým a deskostěnovým modelem je tímto modelem ověřeno chování při odstranění prostředního z kyvných prutů. Ostatní charakteristiky zůstaly zachovány.

#### 4.9.3. Model 22

U tohoto modelu bylo oproti modelu 20 pozměněna pouze podpora na konci jižní rampy. Vetknutí zde bylo nahrazeno kloubovým uložením sestávajícím z kloubové a všesměrně posuvné podpory. Podpory jsou umístěny pod kraje ztužujícího příčnicku spojující hlavní nosníky. Model ověřuje nutnost vetknutí na jižním konci lávky.

#### 4.9.4. Model 23

Model popisující chování konstrukce v případě, že geologické podmínky v okolí neumožní vetknutí lávky do terénu. Pevné podpory z modelu 20 jsou zde nahrazeny kloubovými podporami popisovanými v modelu 22. Kloubové uložení je, stejně jako u modelu předešlého, situováno pod vnitřní nosník lávky.

#### 4.9.5. Model 24

Jedná se o model 23 doplněný o další kyvný prut sloužící jako podpora. Prut byl osazen u severního okraje komunikace a redukuje tím nadměrné deformace modelu popisovaného výše. U ostatních podpor bylo zachováno rozmístění i charakter.

#### 4.9.6. Model 25

U tohoto modelu je schéma podepření řešeno pomocí kloubového uložení na koncích lávky a vetknutí ocelových kyvných prutů jak do nosné konstrukce, tak do terénu. Snahou je minimalizovat nadměrné průhyby modelu 23 bez použití dalších podpor.



#### 4.9.7. Model 26

Model 25 je opakem modelu 23. Všechny podpory jsou řešeny jako vetknutí včetně napojení ocelového prutu na konstrukci. Pohyby konstrukce vlivem teplotní roztažnosti betonu budou umožněny pomocí poddajnosti tenkých prutových podpor.

#### 4.9.8. Model 27

Pro model 27 byly kyvné pruty podpor nahrazeny monolitickou zdí tloušťky 400 mm, ve stejném půdorysném rozsahu. Vetknutí v krajích lávky byly nahrazeny podporami, které umožňují posun v ose přilehlého pole. Model se tím snaží „umravnit“ deformace konstrukce zapříčiněné teplotní roztažností materiálů.

#### 4.9.9. Model 28

Poslední porovnávaný model je pod zakřivením konstrukce podepřen monolitickou stěnou, stejně jako model 27. Na konci jižní rampy je konstrukce posuvně uložena, zatímco na severním konci byl parapetní nosník vetknut. Toto řešení vzniklo ve snaze minimalizovat deformace vzniklé předchozím modelem.

### 4.10. Varianta 2 – zhodnocení a výběr statického řešení

Výše popsané modely byly obdobně jako modely varianty 1, pro porovnání zatíženy vlastní tíhou (LC1) a následujícími kombinacemi zatížení. Kombinace jsou sestaveny ve stejném duchu jako u zavěšené varianty. U kombinace CO1 se jedná o zatížení chodci v celé délce konstrukce společně s vlastní tíhou, zatímco u CO2 jde o zatížení chodci nad hlavním polem. Kombinace CO3 a CO4 pak simulují chování vlastní tíhy teplotními změnami na konstrukci.

Dle grafických výstupů modely reagovali velice podobně. K největší deformaci konstrukce dochází ve středu hlavního pole, opačných hodnot je nabýváno zejména nad prutovými podporami, u jižní rampy pak docházelo pouze k malým deformacím. Pro obecný popis tohoto chování jsou v následující tabulce uvedeny maximální a minimální hodnoty deformací v jednotlivých směrech.

Tabulka 11 - Varianta 2 - deformace v závislosti na podepření

Model		20	21	22	23	24	25	26	27	28	
LC1	ux	max	1,318	1,308	1,275	2,859	0,711	3,073	1,311	26,297	1,659
		min	-8,976	-8,847	-9,821	-26,155	-4,715	-25,035	-8,793	-2,239	-4,930
	uy	max	9,922	9,618	7,782	19,552	9,201	20,324	9,925	7,424	13,025
		min	-5,232	-5,077	-5,868	-14,008	-2,401	-13,491	-5,149	-8,122	-1,154
	uz	max	3,278	1,892	5,441	12,168	0,041	9,408	2,427	5,802	0,755
		min	-65,714	-65,293	-68,140	-150,100	-34,310	-146,541	-65,100	-139,820	-48,447
CO1	ux	max	2,709	2,690	2,623	5,918	1,503	6,358	2,694	53,790	5,626
		min	-18,591	-18,384	-20,322	-53,811	-9,628	-51,478	-18,228	-6,788	-10,226
	uy	max	23,136	22,587	18,833	43,074	17,098	44,666	23,153	18,213	29,399
		min	-10,635	-10,359	-11,807	-28,489	-4,687	-27,423	-10,452	-16,870	-2,232
	uz	max	7,754	5,222	12,258	25,970	0,687	20,154	5,869	11,977	1,646
		min	-136,532	-135,860	-141,989	-307,040	-71,476	-299,564	-135,208	-288,329	-98,644
CO2	ux	max	2,692	2,693	2,593	5,696	1,399	6,146	2,678	53,334	2,685
		min	-18,537	-18,550	-20,159	-53,752	-9,764	-51,415	-18,184	-3,377	-10,171
	uy	max	22,836	22,862	18,197	41,789	16,805	43,427	22,859	17,761	28,783
		min	-10,498	-10,511	-12,298	-29,109	-5,422	-28,060	-10,323	-17,298	-2,295
	uz	max	9,441	9,561	13,467	26,832	5,243	21,058	7,494	11,615	1,270
		min	-135,502	-135,533	-140,944	-305,360	-71,103	-297,802	-134,161	-286,462	-97,636
CO3	ux	max	0,566	0,557	0,891	3,981	1,898	4,239	0,557	35,690	2,578
		min	-18,269	-18,087	-19,827	-35,175	-14,372	-33,658	-17,979	-2,579	-10,117
	uy	max	16,922	16,569	12,213	27,046	15,771	27,973	16,973	9,010	22,158
		min	-2,129	-1,889	-4,067	-11,444	-2,063	-10,771	-1,961	-7,025	-3,005
	uz	max	4,417	2,975	7,739	14,443	2,510	11,006	3,248	3,938	1,992
		min	-63,625	-63,024	-66,954	-151,480	-37,744	-147,166	-62,800	-138,937	-33,739
CO4	ux	max	7,946	7,702	8,113	1,737	8,758	1,907	7,922	16,911	7,893
		min	-3,286	-3,261	-3,280	-17,375	-1,507	-16,844	-3,256	-3,146	-2,961
	uy	max	3,647	3,447	3,827	12,139	2,724	12,751	3,623	5,843	4,922
		min	-8,629	-8,554	-7,945	-16,779	-6,980	-16,372	-8,613	-9,320	-5,269
	uz	max	2,536	1,331	3,259	9,971	0,135	7,881	2,122	7,734	5,168
		min	-69,519	-69,236	-69,814	-149,133	-33,547	-146,196	-69,165	-140,723	-66,046

Tabulka srovnání ukazuje na nadbytečnost prostřední z trojice kyvných prutů, což je patrné z porovnání velikostí mezi modely 20 a 21, které se liší pouze absencí této podpory. Pokud porovnáme modely 22 a 23, je patrný zásadní vliv vetknuté podpory. U modelu 23 jsou všechny podpory řešeny kloubově, u modelu 22 je konstrukce přemostění vetknuta do severního svahu. Model 25 vykazuje obdobné chování a s modelem 26 ukazuje na minimální vliv vetknutí kyvných odpor.

Model 27 uvažující pevnou stěnovou podporu ve středové části konstrukce vykazuje nadměrné deformace, které přisuzují půdorysnému zakřivení podporující stěny a otevřený příčný řez náchylný na kroucení. Pokud tento model však opatříme vetknutím na severním svahu, což znázorňuje model 29, docílíme o mnoho

příznivějších výsledků, což je patrné i v následující tabulce věnující se vlastním frekvencím kmitání jednotlivých modelů.

Tabulka 12 - Varianta 2 - frekvence vlastního kmitání

Model	20	21	22	23	24	25	26	27	28	
VL. FREK.	1	2,22	2,21	2,18	1,46	1,88	1,48	2,23	1,51	2,54
	2	2,84	2,83	2,71	1,9	3,1	1,91	2,85	1,92	3,17
	3	5,29	5,28	4,67	4,42	4,47	4,53	5,39	5,04	6,11
	4	5,93	5,88	5,36	4,83	4,89	4,95	6,21	5,23	6,45

V tabulce 11 jsou uvedeny výsledky prvních čtyř frekvencí vlastního kmitání jednotlivých modifikací uložení. Příznivý vliv na hodnotu vlastní frekvence má vetknutí v severním svahu. Z tabulky je patrné, že modely, které mají severní podporu řešenou jako vetknutí jsou podstatně tužší. Naopak malý vliv na dynamické chování konstrukce mají kyvné podpory pod zakřivenou částí konstrukce, což je patrné například při srovnání modelů 20 a 26.

Výrazný vliv na chování konstrukce má dle obou tabulek vložení další kyvné podpory za severní okraj komunikace. Při srovnání modelů 23 a 24 v tabulce 11, je patrný vliv přidané stojky na vlastní frekvence kmitání. Tabulka 10 pak ukazuje na výrazné snížení svislých deformací. Na základě tohoto poznatku jsem vytvořil další model.

#### 4.10.1. Model 29

Model vychází z uložení modelu 21, který je doplněn kyvnou stojkou za severní hranou komunikace tak, jako model 24. Takto vzniklá konstrukce je stabilnější, vykazuje menší deformace a vyšší hodnoty frekvencí vlastního kmitání.

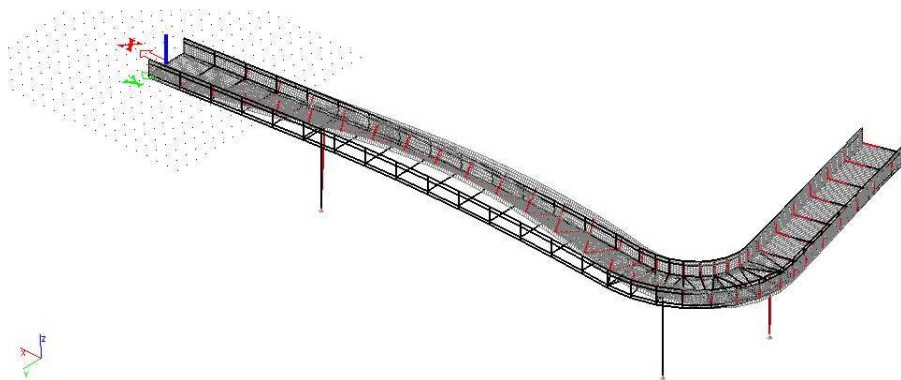
Tabulka 13 - Varianta 2 - model 29

Model 29	LC1	CO1	CO2	CO3	CO4
ux_max	0,775	2,952	1,548	0,288	9,334
ux_min	-4,187	-8,59	-8,573	-13,734	-0,416
uy_max	6,261	15,254	15,521	13,705	3,061
uy_min	-2,909	-4,586	-4,811	-0,523	-6,522
uz_max	0,019	0,038	3,139	0,862	0,126
uz_min	-32,904	-68,883	-68,425	-33,776	-34,497
Vlastní frekvence kmitání		1	2	3	4
		2,75	3,25	5,4	5,93
		torzní	svis. + tor.	torzní	torzní

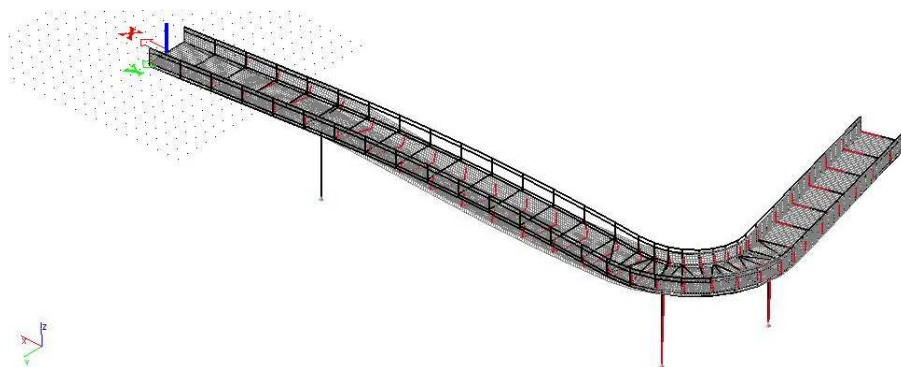
Dle hodnot z tabulky 13 se model 29 deformuje nejméně z uvedených modifikací podepření, vložená kyvná stojka zároveň nebrání původní myšlence výtvarného ztvárnění konstrukce a jedná se tedy o nevhodnější z nabízených možností.

Důležitou vlastností konstrukce pro tento závěrečný výběr je dynamické chování konstrukce. Přidáním kyvné stojky došlo ke ztužení konstrukce a nárůstu hodnot frekvencí vlastního kmitání. Dle Eurokódu [7] by měly být konstrukce, u kterých frekvence vlastního kmitání nepřesahují 5 Hz ve svislém a 2,5 Hz ve vodorovném směru, detailněji dynamicky posouzeny. Z tohoto hlediska se jako riskantní jeví první a druhá vlastní frekvence, u kterých tato podmínka splněna není.

Z obrázku 65 zobrazující první vlastní frekvenci konstrukce je patrné, že se jedná o kmitání především v příčném směru. Konstrukce se zde bortí východním směrem. Konstrukce zde splňuje podmínku 2,5 Hz pro příčný směr, avšak dochází zde i k deformacím ve směru svislém. V případě druhé vlastní frekvence na obrázku 66, je dominantní složkou kmitání svislý směr, pro který není podmínka 5 Hz splněna a bylo by nutné tuto konstrukci dynamicky posoudit.



Obrázek 65 - Varianta 2 - tvar 1. vlastní frekvence



Obrázek 66 - Varianta 2 - tvar 2. vlastní frekvence

S ohledem na zdroj [16], se ale všechny vlastní frekvence, bez ohledu na směr kmitání vyskytují mimo nejnejpříznivější oblasti v rozsahu 0,8-1,2, 1,6-2,4 a 3,5-4,5. Model 29 je dle mého názoru nejlepší a finální variací varianty 2.

#### 4.11. Srovnání výsledných variant

Klady a zápory jednotlivých variant jsou uvedeny v kapitole 3.9, jejich chování z hlediska statiky a dynamiky je předmětem této kapitoly a nyní jsem musel rozhodnout, kterou variantu budu dále posuzovat.

U obou variant předpokládám výstavbu mostovky z prefabrikátů, které budou po sestavení na skruži aktivovány předpínací výztuží. Pro variantu 1 bude nejprve nutno postavit železobetonový monolitický pylon, který činí celou stavbu časově náročnější, než je varianta 2. U varianty 2 však vzniká problém s předpětím v zakřivení. Tento roh navrhuji vyřešit jako železobetonový prvek, který zmonolitní přímá ramena tvořené předpínanými prefabrikáty.

Dalším aspektem pro porovnání je chování z hlediska deformací a dynamických účinků. Obě varianty se se svými vlastními frekvencemi kmitání dostávají pod hranici 5 Hz a obě by tedy musely být podrobněji posouzeny na dynamické účinky. Pokud se zaměřím na deformace zapříčiněné vlastní tíhou a proměnným zatížením, varianta 1 nabízí nižší hodnoty. Zároveň ve variantě jedna nedochází k takovým deformacím od kroucení jako u varianty druhé.

Jednalo by se o projekt, který by měl být realizován, zcela určitě by rozhodovaly finanční aspekty. Jako levnější se z vybraných variant nabízí varianta 2. Tato práce má původ ve skutečném zadání studie realizovatelnosti, nicméně zde navržené varianty se soutěže neúčastní.

Rozhodl jsem se proto pro pokračování na variantě 1. Pro tuto práci není finanční aspekt podstatný, konstrukce se podle mě chová z hlediska deformací lépe než varianta 2 a také si myslím, že je lépe výtvarně ztvárněna.

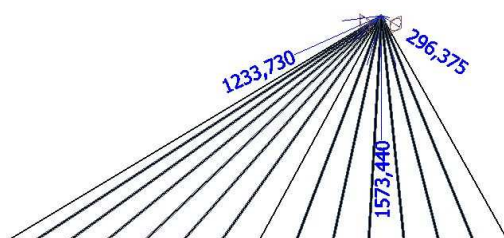


## 5. Řešení výsledné varianty

### 5.1. Návrh pylonu

#### 5.1.1. Chování modelu

Nahrazení pylonu vetknutím závěsů do prostoru se ukázalo jako výhodné pro návrh geometrie zavěšení konstrukce v předchozí kapitole. Pro celkové chování a posouzení konstrukce se tento krok ukázal jako méně šťastný. Vložení pylonu došlo k změkčení konstrukce, změnilo se dynamické chování konstrukce, vlastní frekvence kmitání a navýšily se deformace. S ohledem na předchozí návrh zavěšení je nyní nutno navrhnout pylon, který bude mít nejmenší vliv na dynamické chování konstrukce, tedy dostatečně tuhý prvek Zároveň by pylon měl co nejlépe vyrovnávat síly z obr. 67, znázorňující vliv nezátížené konstrukce na vršek pylonu. Pro další návrh používám prutový model vytvořený v kapitole 4.1. z důvodu dobré schody výsledků dle tab. 2 a menších nároků na složitost výpočtu.



Obrázek 67 - Reakce závěsů

Dle níže přiložené tabulky je patrný vliv sklonu pylonu na vlastní frekvence. Pokud zachováme všechny ostatní parametry pylonu jako je materiál a průřez, konstrukce se nám s narůstajícím sklopením pylonu změkčuje. S výjimkou první vlastní frekvence, kde dochází ke ztužení.

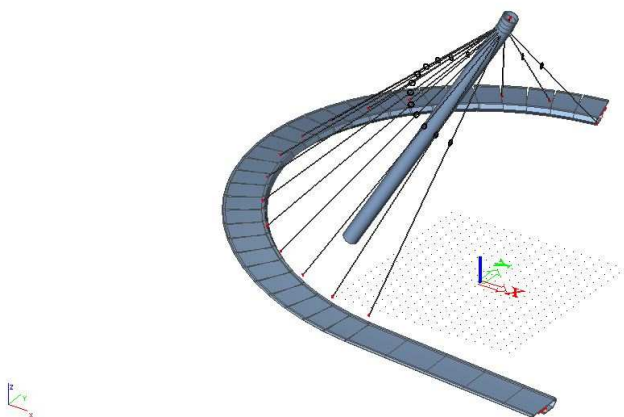
Tabulka 14 - Vliv sklonu pylonu

PODRAŽENÍ	VLASTNÍ FREKVENCE KMITÁNÍ							
	1	2	3	4	5	6	7	8
-1,5;0;0	1,17	1,53	1,97	2,94	3,44	4,72	5,17	8,09
-2,0;0;0	1,20	1,53	1,96	2,90	3,43	4,70	5,16	7,98
-3,0;0;0	1,25	1,53	1,93	2,76	3,38	4,53	5,10	7,70
-3,5;0;0	1,28	1,52	1,92	2,72	3,37	4,51	5,09	7,59

Dalším zajímavým faktem je vliv hmotnosti a sklonu pylonu na deformace konstrukce. S rostoucím sklonem pylonu rostou deformace pylonu od vlastní tíhy konstrukce, a naopak klesají deformace vzniklé kombinací vlastní tíhy a libovolného svislého zatížení lávky. Při návrhu pylonu s větší hmotností je s ohledem na obr. 67 vhodnější volit pylon s menším sklonem a u lehčích pylonů je tomu obráceně.

Dalším omezujícím faktorem je umístění pylonu. Pro dodržení svislého vjemu pylonu ve směru Rokycanské třídy je nutné dodržet maximální šířku pylonu 1,6 m. To z důvodu abychom se pylonem nedostali do kolize s komunikací samotnou. Na základě výše uvedených poznatků jsem vypracoval návrh tří variant pylonů.

### 5.1.2. Ocelový pylon



Obrázek 68 - Konstrukce doplněná o ocelový pylon

Ocelový pylon jsem navrhl jako konstantní kruhový průřez průměru 1,6 m s tloušťkou stěny 60 mm z oceli S460M/ML. Z důvodu minimalizace deformací byl pylon oproti variantnímu návrhu podražen o 0,9 m ve své patě. Chování po doplnění pylonu je patrné z následující tabulky. Čtvrtý řádek tabulky popisuje převažující směr kmitání pylonu. Kmitání vodorovné konstrukce je obdobné s kapitolou 4.5. Oproti kapitole 4.5. přibyla jedna vlastní frekvence kmitání a narostly deformace konstrukce.

Tabulka 15 - Chování konstrukce s ocelovým pylonem

VLASTNÍ FREKVENCE KMITÁNÍ							
1	2	3	4	5	6	7	8
1,28	1,52	1,92	2,72	3,37	4,5	5,09	6,62
x	y	x,y	x,y	x,y	y	y	x,y
DEFORMACE							
	ux_max	ux_min	uy_max	uy_min	uz_max	uz_min	
LC1	2,421	-50,003	0,609	-22,387	28,452	-85,37	
LC1 + CHODCI	4,711	-146,909	1,194	-41,486	85,312	-179,42	

### 5.1.3. Ocelobetonový pylon

Návrhem ocelobetonového pylonu jsem se pokusil snížit deformace vzniklé při použití samotné oceli. Pylon je tvořen ocelovou troubou průměru 1,6 m s tloušťkou stěny 35 mm z oceli S355M/ML. Pylon je vyplněn betonem třídy C30/37 se kterým je ocelový plášť spřažen. Pylon byl následně napřímen posunem paty o 0,9 m. Z následující tabulky je patrné, že se mi podařilo snížit deformace. K horšímu se ale změnilo dynamické chování, kdy do nejrizikovějších rozsahů [17], zmíněných na konci kapitoly 4.10 připadly další dvě hodnoty vlastních frekvencí.

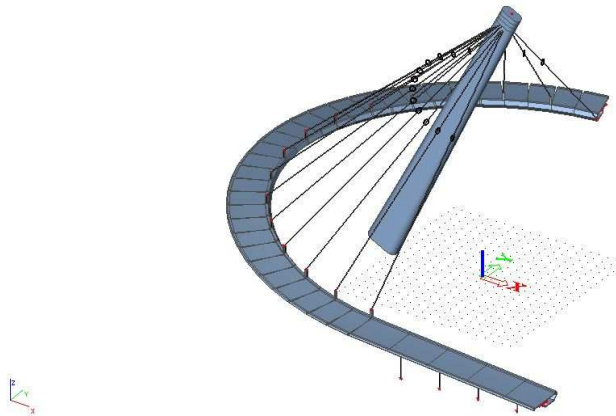
Tabulka 16 - Chování konstrukce s ocelobetonovým pylonem

VLASTNÍ FREKVENCE KMITÁNÍ							
1	2	3	4	5	6	7	8
0,92	1,41	1,78	2,48	3,21	3,61	5,01	5,31
x	y	y	x,y	x,y	y	y	x

DEFORMACE							
	ux_max	ux_min	uy_max	uy_min	uz_max	uz_min	
LC1	9,192	-5,337	0,544	-21,634	1,77	-66,705	
LC1 + CHODCI	4,926	-124,697	1,245	-41,303	65,059	-177,237	

### 5.1.4. Betonový pylon



Obrázek 69 - Konstrukce doplněná o betonový pylon

Třetí variantou pylonu je pylon betonový, se kterým bylo počítáno ve variantním návrhu. Jedná se o proměnný průřez, který je ve směru kolmém ke střednici tvořen oválem. V patě pylonu je ovál tvořen stranou délky 2,0 m a poloměrem 0,8m. V místě nejvyššího závěsu má ovál délku strany 1,0 m a poloměr 0,6 m. Pylon je navržen z betonu třídy C50/60. V patě je oproti variantnímu návrhu posunut o 2,6 m čímž došlo ke snížení sklonu. Oproti pylonům popisovaným výše dosahují deformace konstrukce

nejmenších hodnot. Vlastní frekvence se pohybují v obdobných rozmezech s pylonem ocelovým. Naproti ocelovému pylonu nedosáhla hodnoty 5 Hz ani sedmá hodnota.

Tabulka 17 - Chování konstrukce s betonovým pylonem

VLASTNÍ FREKVENCE KMITÁNÍ							
1	2	3	4	5	6	7	8
1,45	1,56	1,88	2,82	3,13	3,5	4,98	5,93
y	x	x,y	x	x,y	y	y	y

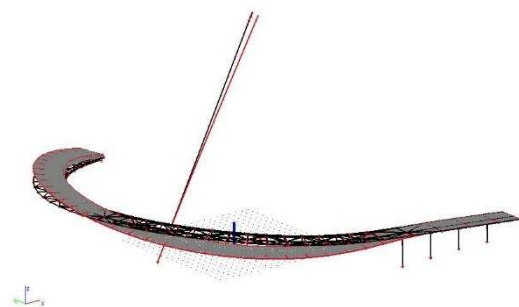
DEFORMACE						
	ux_max	ux_min	uy_max	uy_min	uz_max	uz_min
LC1	2,277	-7,386	0,566	-21,024	3,53	-69,101
LC1 + CHODCI	4,502	-47,143	1,126	-39,355	23,149	-143,418

Z výše uvedených variant pylonů se pro následný návrh přikláním ke třetí, betonové variantě. S touto variantou bylo uvažováno už ve variantním návrhu. Zároveň vykazuje nejmenší deformace a z hlediska dynamiky se obdobně s pylonem ocelovým. Z důvodu osazení pylonu bylo potřeba přepracovat hodnoty napětí v závěsech popisovaných v kapitole 4.5 dle následující tabulky. Zároveň jsem doplnil závěsné kotvené do severní opěry, čímž se snažím snížit deformace pylonu ve směru y.

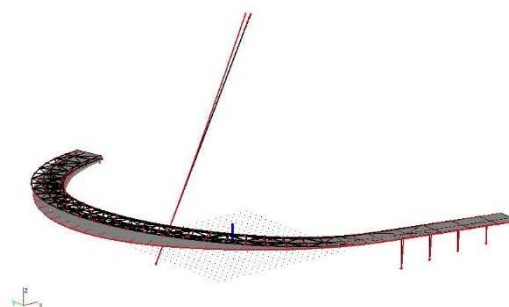
Tabulka 18 - Vnesení předpětí závěsných lan ochlazením - po doplnění pylonu

Prvek	B133	B134	B135	B136	B137	B138	B139	B140
$\Delta T$ [°C]	-120	-145	-140	-130	-115	-110	-100	-90
Prvek	B141	B142	B143	B144	B145	B146	B147	B148
$\Delta T$ [°C]	-90	-90	-90	-90	-90	-90	-95	-150

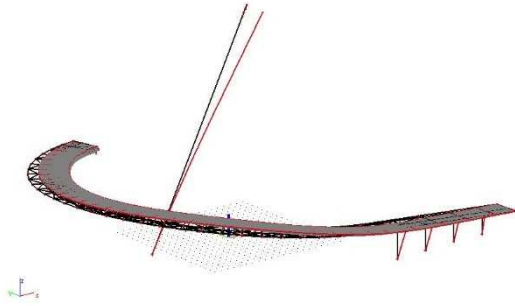
Následující obrázky zobrazují deformace vyvolané vlastní frekvencí kmitání. Chování je obdobné, jako bylo popisováno v kapitole 4.5. Pro vodorovnou konstrukci převažuje svislý směr kmitání, který je vždy doprovázen i torzí. Z hlediska pylonu převažuje příčné kmitání ve směru osy y s výjimkou 2. a 4. frekvence, kde dochází k převážnému kmitání ve směru osy x.



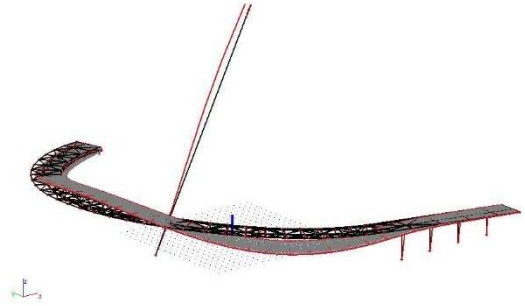
Obrázek 70 - 1. vlastní frekvence kmitání



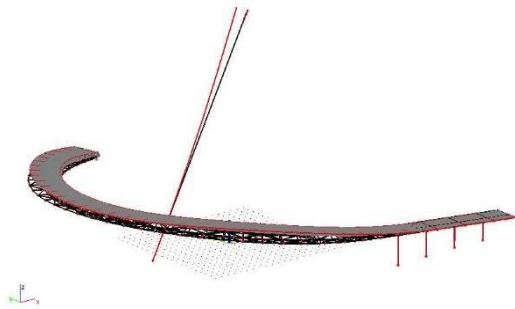
Obrázek 71 - 2. vlastní frekvence kmitání



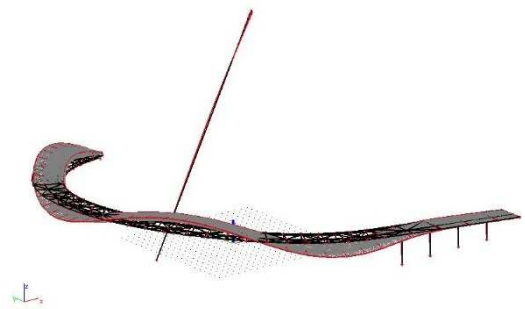
Obrázek 72 - 3. vlastní frekvence kmitání



Obrázek 75 - 6. vlastní frekvence kmitání



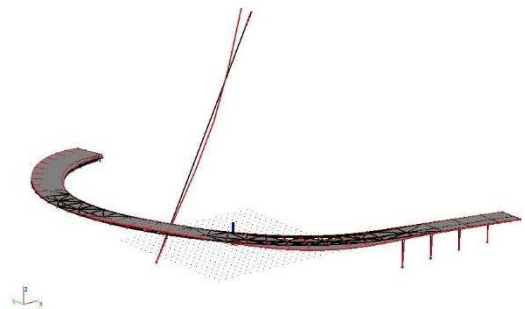
Obrázek 73 - 4. vlastní frekvence kmitání



Obrázek 76 - 7. vlastní frekvence kmitání



Obrázek 74 - 5. vlastní frekvence kmitání



Obrázek 77 - 8. vlastní frekvence kmitání

## 5.2. Zatížení

### 5.2.1. Vlastní tíha

Vlastní tíha konstrukce a její účinky jsou získány z výpočetního softwaru a ověřeny zjednodušeným výpočtem založeným na ploše průřezu a jeho délce. Na základě vloženého tvaru průřezu a charakteristik materiálu byl vygenerován zatěžovací stav LC1 s typem zatížení vlastní tíha. Další složkou tohoto zatížení je příspěvek od vlastní tíhy zábradlí. Mnou uvažovaná sestava zábradlí obsahuje dvě madla, svislé sloupky a

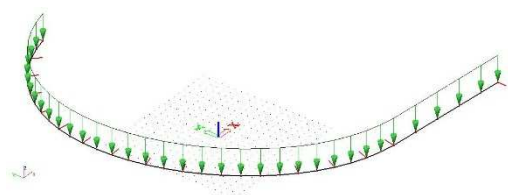


skleněnou výplň. Hmotnost zábradlí odhaduji na 50 kg/m. Získané hodnoty vnitřních sil jsou hodnoty charakteristické, které budou při vytváření kombinací násobeny příslušným součinitelem.

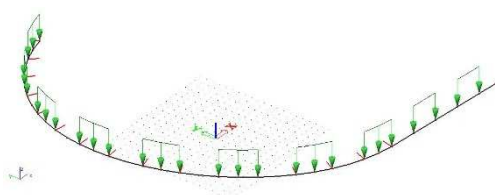
### 5.2.2. Zatížení chodci

Plošná charakteristická hodnota zatížení chodci je národní přílohou k ČSN EN 1991-2 [5] stanovena na  $5\text{kN/m}^2$ . Tuto hodnotu je dále možné redukovat v závislosti na délce lávky, avšak pro účely této práce budu používat hodnotu základní. Pro aplikaci na prutový model je nutno tuto hodnotu vynásobit průchozí šířkou lávky, která činí 3,5m. Charakteristická hodnota zatížení na 1 m lávky tedy činí  $17,5\text{kN/m}$ . Tato hodnota uvažuje rozložení chodců po celé šířce lávky.

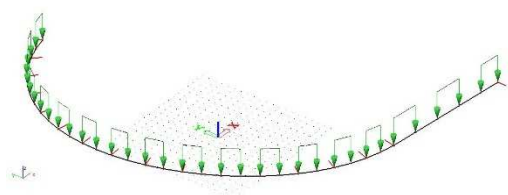
Vzhledem ke spojitému charakteru nosné konstrukce lávky jsem vytvořil 14 zatěžovacích stavů, ze kterých jsem si výpočetním softwarem nechal vygenerovat obálky vnitřních sil. Pro proměnné zatížení vyvolané dopravou jsem pro zjednodušení neuvažoval kombinace vyvolávající torzní namáhání. Rozestavení zatížení je patrné z následujících schémat.



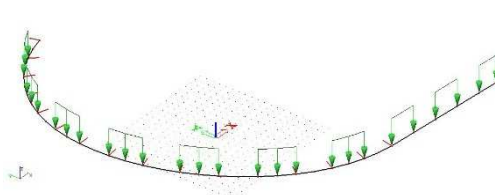
Obrázek 78 - Zatížení LM4.1



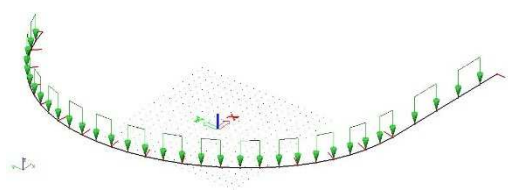
Obrázek 81 - Zatížení LM4.4



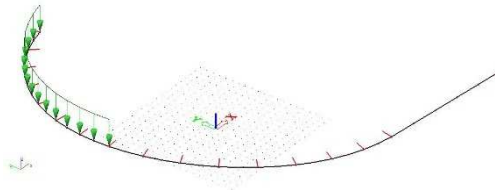
Obrázek 79 - Zatížení LM4.2



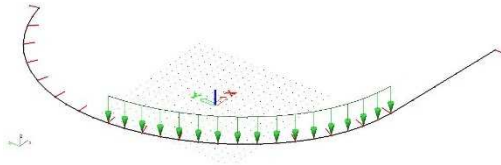
Obrázek 82 - Zatížení LM4.5



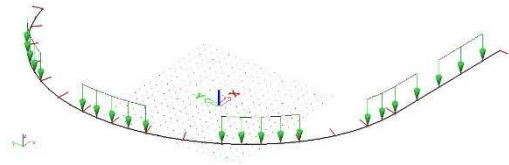
Obrázek 80 - Zatížení LM4.3



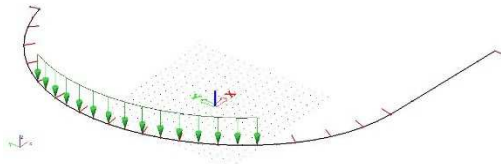
Obrázek 83 - Zatížení LM4.6



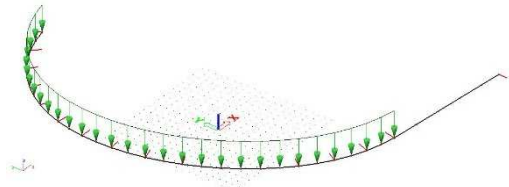
Obrázek 84 - Zatížení LM4.7



Obrázek 88 - Zatížení LM4.11



Obrázek 85 - Zatížení LM4.8



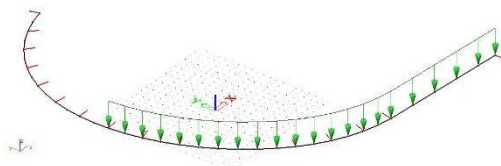
Obrázek 89 - Zatížení LM4.12



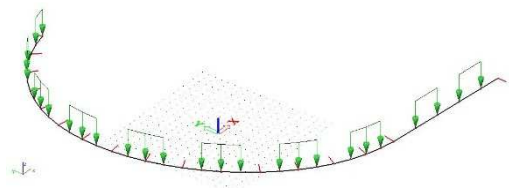
Obrázek 86 - Zatížení LM4.9



Obrázek 90 - Zatížení LM4.13



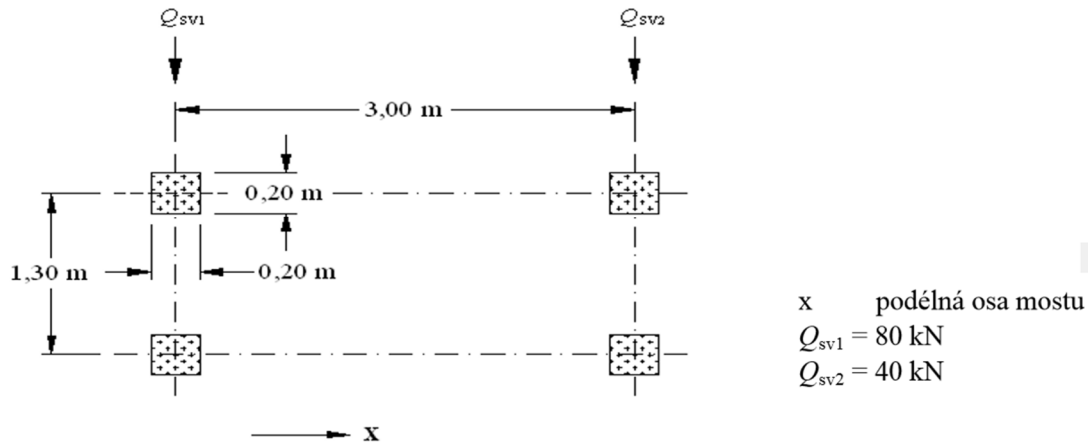
Obrázek 87 - Zatížení LM4.10



Obrázek 91 - Zatížení LM4.14

### 5.2.3. Zatížení vozidlem

Pro možné použití obslužného či údržbového vozidla je konstrukce vystavena zatěžovacímu stavu vozidla o hmotnosti 12 t s nápravami dle následujícího obrázku. Pro aplikaci zatížení na prutový model je schéma upraveno na dvojici sil 40 kN a 80 kN. Pro zjednodušení při zadávání do výpočetního modelu, byly síly v zakřivené části vkládány do uzlů konstrukce, které jsou od sebe vzdáleny 2,51 m.



Obrázek 92 - Schéma zatížení obslužným vozidlem (zdroj: [10])

Celkem bylo vytvořeno 35 zatěžovacích stavů, které uvažují rozestavení obslužného vozidla nad kterýmkoli uzlem konstrukce. Na základě těchto zatěžovacích stavů byla vytvořena obálka vnitřních sil. Jedná se o charakteristické hodnoty, které budou použity pro zadání do kombinací.

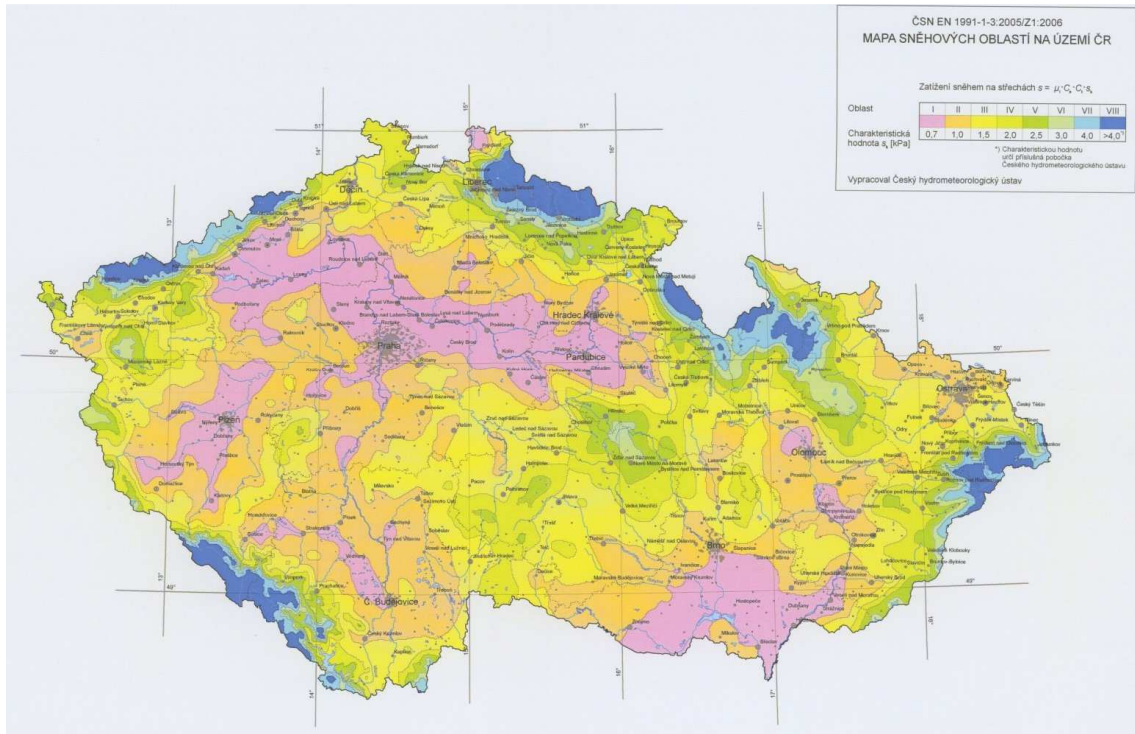
#### 5.2.4. Zatížení teplotou

Zatížení teplotou je pro toto posouzení uvažováno pouze jako rovnoměrné ohřátí a ochlazení celé konstrukce. Postup stanovení odpovídá ČSN EN 1991-1-5 [4]. Pro lokalitu lávky jsou odečteny maximální a minimální hodnoty teploty vzduchu ve stínu. Následně jsou tyto hodnoty porovnány s tabulkou převádějící hodnoty teploty vzduchu na hodnoty změny teploty konstrukce. Pro posuzovanou konstrukci betonového komorového nosníku se jedná o křivku 3. typu. Hodnoty uvažují dle přílohy 3.

Maximální rovnoměrná složka teploty je rovna  $41,5 \text{ }^\circ\text{C}$  a ochlazení pak  $-24,0 \text{ }^\circ\text{C}$ . Tyto hodnoty jsou dále konfrontovány s referenční hodnotou, kterou norma stanovuje na hodnotu  $10,0 \text{ }^\circ\text{C}$ . Výsledné hodnoty pro vytvoření zatěžovacích stavů jsou  $-34,0 \text{ }^\circ\text{C}$  pro ochlazení a  $31,5 \text{ }^\circ\text{C}$  pro oteplení.

#### 5.2.5. Zatížení sněhem

Zatížení sněhem bylo stanoveno s ohledem na ČSN EN 1991-1-3 [2]. Dle níže přiložené mapy sněhových oblastí byla vybrána hodnota charakteristického zatížení  $s_k$  jako  $0,7 \text{ kN/m}^2$  pro oblast I. Součinitel expozice  $e$  uvažují pro usazení konstrukce na významnou městskou komunikaci jako  $C_e = 1,0$ . Tepelný součinitel uvažují základní  $C_t = 1,0$  a tvarový součinitel je pro minimální sklony lávky roven  $0,8$ .



Obrázek 93 - Mapa sněhových oblastí ČR dle ČSN EN 1991-1-3 (zdroj: [17])

Po dosazení do rovnice (3) získáváme hodnotu  $0,56 \text{ kN/m}^2$ . Tuto hodnotu jsem konzervativně vynásobil celkovou šířkou konstrukce  $4,325 \text{ m}$  a tím získal charakteristickou hodnotu zatížení sněhem  $s = 2,422 \text{ kN/m}$ . Takto získaná hodnota zatížení se dle příručky navrhování mostů [11], nekombinuje s modely zatížení dopravou. S ohledem na tento fakt a při porovnání s účinky od zatížení chodců, nebudu s tímto zatížením nadále pracovat.

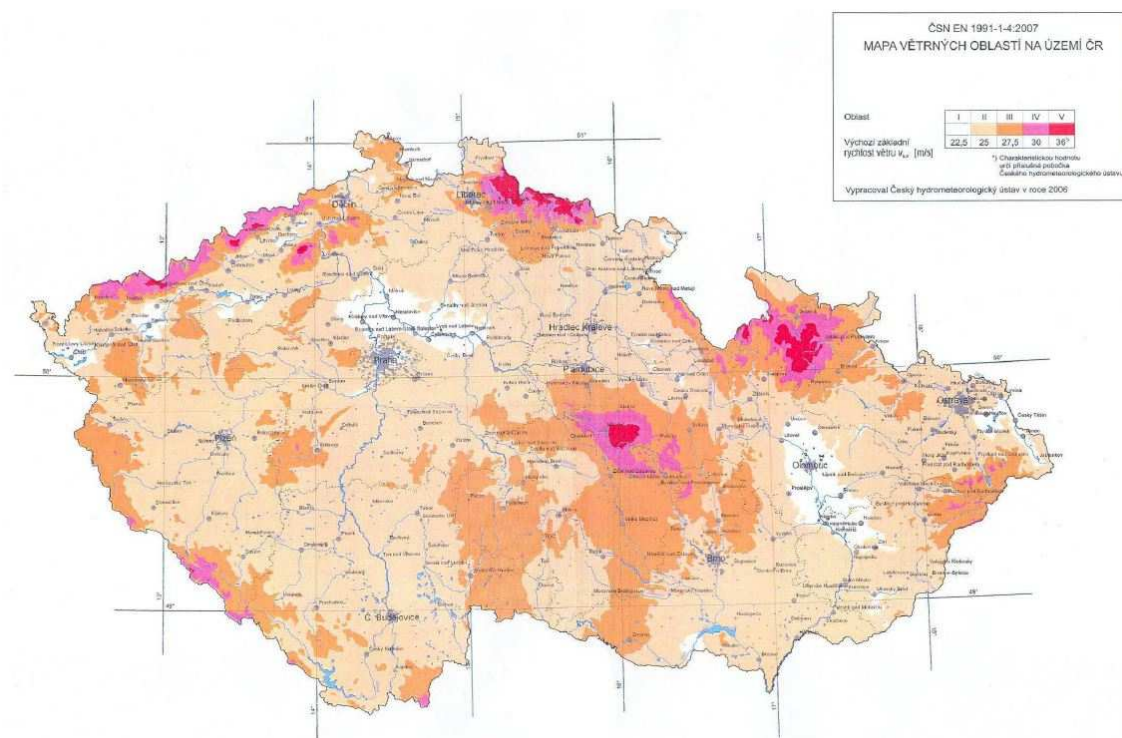
$$s = \mu_i \times c_e \times c_t \times s_k \quad (3)$$

#### 5.2.6. Zatížení větrem

S ohledem na níže přiloženou citaci a charakter mnou navržené konstrukce jako zavěšené a zároveň prostorově výrazně zakřivené nosné konstrukce by bylo nejvhodnější konstrukci ověřit na účinky větru ve větrném tunelu. Pro účely této práce stanovím zatížení větrem dle skript ocelových mostů [15] a dle ČSN EN 1991-1-4 [3].

*„... Pro ostatní typy mostů, např. obloukové, zavěšené nebo visuté mosty, dále zastřešené mosty, pohyblivé mosty a mosty s několikanásobnými nebo významně zakřivenými hlavními nosnými konstrukcemi se vyžaduje individuální odborné posouzení.“ [10]*

Vytvořil jsem dva zatěžovací stavy, jeden v kladném a druhý v záporném směru osy x. Směr větru je zároveň volen s ohledem na okolní zástavbu, tedy rovnoběžně s Rokycanskou ulicí. Obálka vnitřních sil je následně použita pro výpočet kombinací.



Obrázek 94 - Mapa větrných oblastí ČR dle ČSN EN 1991-1-4 (zdroj: [18])

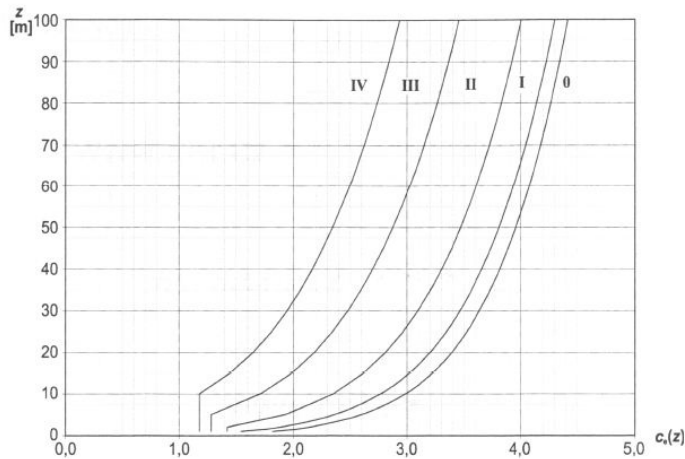
Pro lokalitu města Plzně se dle větrné mapy jedná o druhou oblast s výchozí rychlostí větru 25 m/s. Základní rychlost větru stanovuji dle rovnice (4). Součinitele volím pro směr větru  $c_{dir} = 1,0$  a pro roční období  $c_{season} = 1,0$ . Základní rychlost větru dle rovnice (4) je tedy 25 m/s. Tlak větru na prvek pylonu stanovuji dle rovnice (5), kterou následně dosazuji do rovnice (6). Hustotu vzduchu uvažuji  $\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3$ . Pro stanovení součinitele  $c_e(z)$  jsem použil obr. 95, výšku pylonu uvažuji 30 m a křivku volím dle obr 96. Výslednou hodnotu rovnice (6) jsem násobil šířkou pylonu  $b = 1,6 \text{ m}$  a získal hodnotu  $q_{p(z)} = 1,563 \text{ kN/m}$ .

$$v_b = c_{dir} \times c_{season} \times v_{b,0} \quad (4)$$

$$q_b = \frac{1}{2} \rho \times v_b^2 \quad (5)$$

$$q_p(z) = c_e(z) \times q_b \quad (6)$$





Obrázek 95 - Diagram pro stanovení součinitele  $c_v(z)$  (zdroj: [3])

Hodnotu zatížení vodorovné konstrukce uvažuji dle [16] na základě poměru výšky ku šířce konstrukce. Tyto rozměry jsou s ohledem na neprodyšnost zábradlí patrné z obr. 34. Získaný poměr roven 2,01 jsem použil v obr. 97 pro získání součinitele  $c_{fx,0}$ . Součinitel  $c_{v(z)}$  je stanoven dle obr.95 a po dosazení do rovnice (7) získávám součinitel C pro rovnici (8).

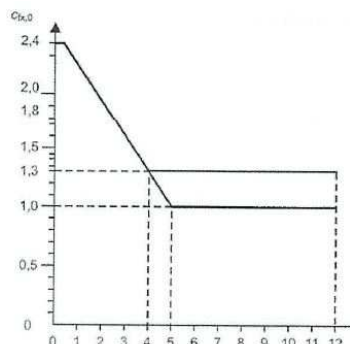
Kategorie terénu	$z_0$ (m)	$z_{min}$ (m)
0 – moře a přímořské oblasti	0,003	1
I – jezera nebo vodorovná plochá krajina bez překážek	0,01	1
II – krajina s nízkou vegetací, jako je tráva nebo izolované překážky	0,05	2
III – oblast pravidelně pokrytá vegetací, budovami nebo překážkami	0,3	5
IV – alespoň 15% povrchu je pokryto budovami, průměrná výška přesahuje 15m	1	10

Obrázek 96 - Kategorie terénu (zdroj: [11])

$$C = c_v(z) \times c_{fx,0} \quad (7)$$

$$q_p = \frac{1}{2} \rho \times v_b^2 \times C \times d_g \quad (8)$$

Po dosazení do rovnice (8), s uvažováním zatěžovací výšky dle obr. 34,  $d_g = 2,15$  m vzniká charakteristická hodnota zatížení větrem  $q_p = 2,713$  kN/m. Tuto hodnotu jsem vzhledem ke křivosti konstrukce uvažoval při zadávání do výpočetního softwaru jako průmět.



Obrázek 97 - Diagram stanovení součinitele  $c_{fx,0}$  (zdroj: [15])

### 5.3. Materiály

#### 5.3.1. Beton

Komorový průřez mostovky jsem chtěl navrhnout z betonu označovaného jako UHPC. Protože jsou tyto betony značně individuální a jejich charakteristiky proměnlivé zvolil jsem pro posouzení třídu C90/105. Tato třída představuje v mnou používaných výpočetních softwarech nejkvalitnější materiál, ale zároveň disponuje charakteristikami, které betony označované jako UHPC obvykle splňují. Charakteristiky betonu C90/105 jsou uvedeny v tabulce 19. Krytí jsem s ohledem na použitý beton a fakt, že jím simuluji betony UHPC stanovil na 30 mm. Pro segmenty tvořené tímto betonem předpokládám stáří alespoň 28 dní před jejich osazením. Tím by měli být omezeny procesy spojené s autogenním smršťováním a zároveň k omezení ztrát předpětí.

Tabulka 19 - Charakteristiky betonu C90/105

BETON C90/105					
$f_{ck}$	90,00	MPa	$f_{ck,0,05}$	3,50	MPa
$f_{cd}$	54,00	MPa	$f_{ck,0,95}$	6,60	MPa
$E_{cm}$	43,60	GPa	$f_{ctm}$	5,00	MPa
$E_c$	45,80	GPa			

Pylon jsem navrhl z betonu C50/60 – XF2 + XD1 + XC4. Charakteristiky tohoto materiálu jsou uvedeny v příložené tabulce 20. Zároveň by se mělo jednat o pohledový beton se světlou texturou. Krytí výztuže v tomto betonu jsem s ohledem na návrhovou životnost 100 let a stupně vlivu prostředí stanovil dle příručky [10] na 60 mm.

Tabulka 20 - Charakteristiky betonu C50/60

BETON C50/60 - XF2 + XD1 + XF4					
$f_{ck}$	50,00	MPa	$f_{ck,0,05}$	2,90	MPa
$f_{cd}$	30,00	MPa	$f_{ck,0,95}$	5,30	MPa
$f_{ck(7)}$	40,95	MPa	$f_{ctm}$	4,10	MPa
$E_{cm}$	37,30	GPa	$f_{ctm(7)}$	3,36	MPa
$E_c$	39,20	GPa			

### 5.3.2. Předpínací výztuž

Návrh předpětí byl proveden z předpínací oceli s charakteristickou pevností v tahu  $f_{pk} = 1860$  MPa. Jednotlivá lana jsou navržena o průměru 15,7 mm s plochou 150 mm<sup>2</sup>. Charakteristická smluvní mez kluzu je definována vztahem  $f_{p0,1k} = 0,88 * f_{pk}$ . Tato hodnota činí 1 636,8 MPa. Po podělení redukčním součinitelem  $\gamma_s = 1,15$  jsem získal návrhovou pevnost v tahu  $f_{pd} = 1 423,3$  MPa.

U prefabrikovaných dílců mostovky předpokládám stáří alespoň 28 dní. Touto podmínkou jsou omezeny ztráty v předpětí. Především se jedná o ztráty způsobené dotvarováním betonu. Pro předběžný výpočet tedy předpokládám ztráty v předpětí na konci životnosti nepřesahující 20%. V době vnesení předpětí počítám se ztrátami 5% a při uvedení do provozu 10%.

### 5.3.3. Betonářská výztuž

Použil jsem betonářskou výztuž označovanou jako B500B. Charakteristická mez kluzu této oceli je  $f_{yk} = 500$  MPa. Při podělení dílčím součinitelem pro tento materiál  $\gamma_s = 1,15$  jsem získal návrhovou pevnost  $f_{yd} = 434,78$  MPa. Tato zvolená výztuž byla v různých průměrech použita pro vyztužení pylonu i konstrukce mostovky.

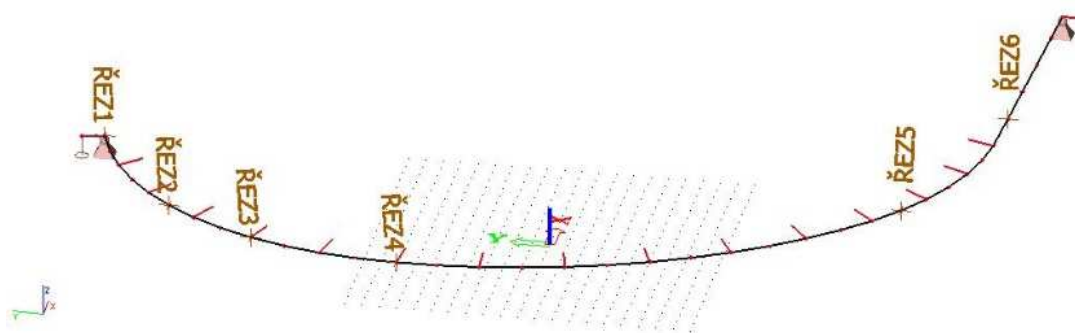
## 5.4. Návrh předpětí

Kombinace MSP jsou sestaveny dle tabulky 21, ze které jsou patrné i mnou použité součinitele stanovené dle normy [9]. Příznivé účinky proměnných zatížení nejsou uvažovány. Pro tvorbu kombinací jsem použil výsledné vnitřní síly ze šesti řezů, které jsem navrhl na základě průběhu vnitřních sil. Průběhy rozhodujících vnitřních sil jsou na obrázcích 99 - 102 a dílčí hodnoty poté v tabulce 22. Umístění řezů je patrné dle obr. 98 a zohledňuje nejextrémnější hodnoty vnitřních sil. Jako stálé zatížení je uvažována vlastní tíha popsána dle kap. 5.2.1, která je nelineárně kombinována

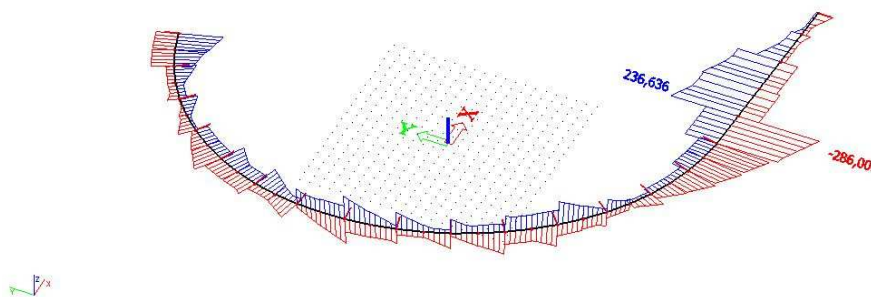
s předpětím vnášeným do závěsných lan dle kap. 5.1.4. Pro návrh předpětí je nejdůležitější kombinace charakteristická.

Tabulka 21 - Charakteristické kombinace MSP bez předpětí, sestava

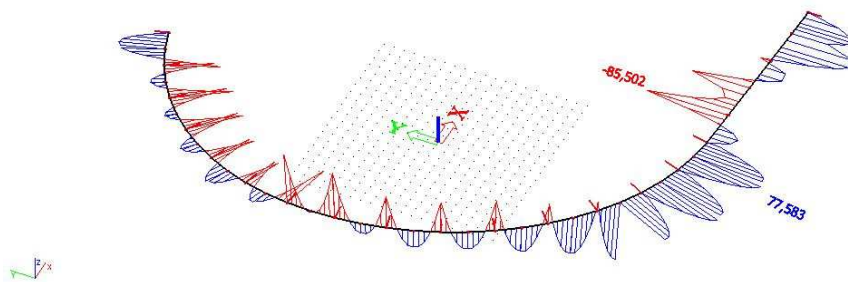
KOMBINACE	ZATÍŽENÍ							
	STÁLÉ	SOUČ.	PROMĚNNÉ Hlavní	SOUČ.	PROMĚNNÉ Vedlejší 1	SOUČ.	PROMĚNNÉ Vedlejší 2	SOUČ.
1	LC1+LC6	1	CHODCI	1	VÍTR	0,6	TEPLOTA (+)	0,6
2	LC1+LC6	1	CHODCI	1	VÍTR	0,6	TEPLOTA (-)	0,6
3	LC1+LC6	1	TEPLOTA (+)	1	CHODCI	0,4	VÍTR	0,6
4	LC1+LC6	1	TEPLOTA (-)	1	CHODCI	0,4	VÍTR	0,6
5	LC1+LC6	1	VÍTR	1	TEPLOTA (+)	0,6	CHODCI	0,4
6	LC1+LC6	1	VÍTR	1	TEPLOTA (-)	0,6	CHODCI	0,4



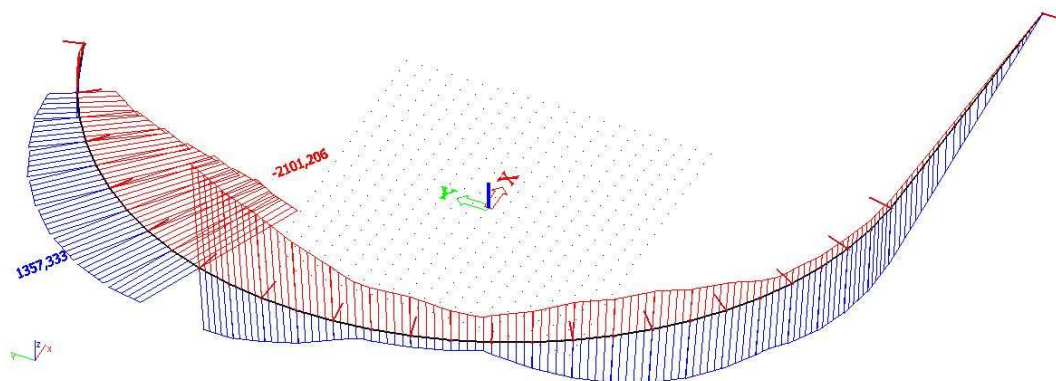
Obrázek 98 - Schéma volených řezů



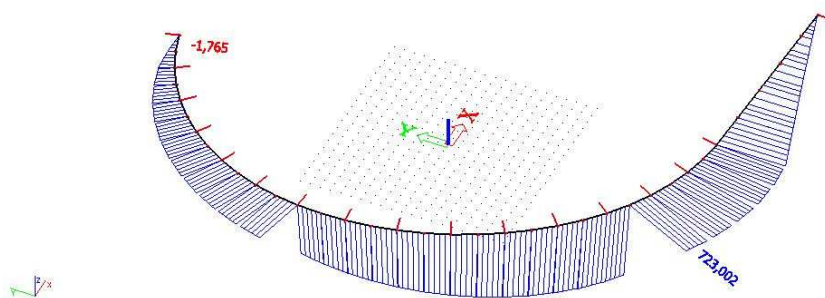
Obrázek 99 - Obálka posouvající síly Vz od zatížení chodci



Obrázek 100 - Průběh ohybového momentu  $M_y$  od stálého zatížení



Obrázek 101 - Obálka ohybového momentu  $M_z$  od zatížení chodci



Obrázek 102 - Průběh ohybového momentu  $M_z$  od rovnoměrného ohřátí konstrukce



Tabulka 22 - Vnitřní síly použité pro sestavení kombinací

ŘEZ 1												
	N_max	N_min	Vy_max	Vy_min	Vz_max	Vz_min	T_max	T_min	My_max	My_min	Mz_max	Mz_min
LC1+LC6	-640,9	-640,9	14,1	14,1	45,5	45,5	8,8	8,8	-0,4	-0,4	0,7	0,7
Chodci	-163,8	-450,4	99,7	-108,3	144,3	-72,1	350,6	-423,6	20,3	-16,8	27,5	-33,3
Teplota (+)	6,3	6,3	26,7	26,7	7,4	7,4	-22,5	-22,5	1,1	1,1	-1,8	-1,8
Teplota (-)	-6,8	-6,8	-28,6	-28,6	-7,8	-7,8	24,0	24,0	-1,1	-1,1	1,9	1,9
Vítr	58,2	-58,2	1,1	-1,1	0,1	-0,1	0,7	-0,7	0,0	0,0	0,1	-0,1
ŘEZ 2												
	N_max	N_min	Vy_max	Vy_min	Vz_max	Vz_min	T_max	T_min	My_max	My_min	Mz_max	Mz_min
LC1+LC6	-645,6	-645,6	-24,9	-24,9	-0,1	-0,1	13,1	13,1	10,2	10,2	15,8	15,8
ZS1 - Chod	-137,6	-430,3	55,4	-121,5	16,9	-24,3	126,3	-105,3	873,1	-644,4	1102,1	-1519,4
ZS3 - Teplo	-2,5	-2,5	16,2	16,2	-3,2	-3,2	-6,4	-6,4	32,0	32,0	270,3	270,3
ZS4 - Teplo	2,7	2,7	-17,6	-17,6	3,4	3,4	7,1	7,1	-33,4	-33,4	-290,9	-290,9
ZS5 - Vítr	40,0	-40,0	17,0	-17,0	0,9	-0,9	0,3	-0,3	6,2	-6,2	102,3	-102,3
ŘEZ 3												
	N_max	N_min	Vy_max	Vy_min	Vz_max	Vz_min	T_max	T_min	My_max	My_min	Mz_max	Mz_min
LC1+LC1.1	-659,2	-659,2	49,0	49,0	56,7	56,7	9,2	9,2	-45,3	-45,3	26,3	26,3
ZS1 - Chod	-125,8	-427,5	41,0	-40,1	89,8	-61,2	147,8	-87,2	736,5	-636,1	1352,7	-2093,1
ZS3 - Teplo	-6,5	-6,5	13,5	13,5	-4,7	-4,7	-3,8	-3,8	-5,2	-5,2	379,5	379,5
ZS4 - Teplo	7,1	7,1	-14,7	-14,7	5,0	5,0	4,5	4,5	6,3	6,3	-409,4	-409,4
ZS5 - Vítr	25,8	-25,8	15,9	-15,9	0,5	-0,5	4,0	-4,0	16,9	-16,9	214,3	-214,3
ŘEZ 4												
	N_max	N_min	Vy_max	Vy_min	Vz_max	Vz_min	T_max	T_min	My_max	My_min	Mz_max	Mz_min
LC1+LC1.1	-666,2	-666,2	45,5	45,5	52,9	52,9	3,1	3,1	-58,8	-58,8	202,5	202,5
ZS1 - Chod	-145,5	-427,3	127,9	-87,4	63,1	-16,2	310,4	-241,1	373,5	-407,8	879,4	-1696,7
ZS3 - Teplo	-11,5	-11,5	12,0	12,0	-3,2	-3,2	-11,0	-11,0	-58,4	-58,4	503,9	503,9
ZS4 - Teplo	12,6	12,6	-13,1	-13,1	3,3	3,3	12,2	12,2	62,1	62,1	-545,9	-545,9
ZS5 - Vítr	14,5	-14,5	2,4	-2,4	0,6	-0,6	8,5	-8,5	27,1	-27,1	296,1	-296,1
ŘEZ 5												
	N_max	N_min	Vy_max	Vy_min	Vz_max	Vz_min	T_max	T_min	My_max	My_min	Mz_max	Mz_min
LC1+LC1.1	-630,7	-630,7	-63,1	-63,1	4,4	4,4	-5,7	-5,7	68,4	68,4	-275,5	-275,5
ZS1 - Chod	-147,7	-482,4	68,1	-38,3	19,5	-25,0	118,1	-60,0	557,7	-410,4	1146,1	-347,6
ZS3 - Teplo	-19,1	-19,1	-1,3	-1,3	5,4	5,4	1,1	1,1	-1,3	-1,3	723,0	723,0
ZS4 - Teplo	20,6	20,6	1,7	1,7	-5,7	-5,7	-1,7	-1,7	3,2	3,2	-778,6	-778,6
ZS5 - Vítr	63,8	-63,8	13,2	-13,2	0,1	-0,1	1,8	-1,8	19,0	-19,0	284,1	-284,1
ŘEZ 6												
	N_max	N_min	Vy_max	Vy_min	Vz_max	Vz_min	T_max	T_min	My_max	My_min	Mz_max	Mz_min
LC1+LC1.1	-604,7	-604,7	25,4	25,4	57,0	57,0	-3,4	-3,4	-85,5	-85,5	-429,2	-429,2
ZS1 - Chod	-140,8	-465,9	7,7	-51,9	236,6	-73,0	122,8	-135,1	647,3	-1743,7	879,0	-133,5
ZS3 - Teplo	-16,1	-16,1	-29,1	-29,1	-4,2	-4,2	17,4	17,4	-6,7	-6,7	482,3	482,3
ZS4 - Teplo	17,3	17,3	31,3	31,3	4,2	4,2	-18,3	-18,3	8,7	8,7	-518,8	-518,8
ZS5 - Vítr	73,8	-73,8	14,9	-14,9	3,2	-3,2	4,7	-4,7	17,2	-17,2	250,3	-250,3

Konkrétní hodnoty kombinací pro jednotlivé řezy jsou uvedeny v tabulkách 23 - 28 níže. Zvýrazněny jsou extrémní hodnoty. Z tabulek je patrné, že největší riziko přinášejí kombinace 1 a 2. Na základě vybraných kombinací jsem si vypočítal hodnoty normálových napětí a dle největší tahové hodnoty jsem navrhl předpětí.

Tabulka 23 - Charakteristická kombinace MSP bez předpětí, Řez 1

ŘEZ 1												
	N_max	N_min	Vy_max	Vy_min	Vz_max	Vz_min	T_max	T_min	My_max	My_min	Mz_max	Mz_min
1	-600,3	-1126,1	138,5	-94,8	196,6	-26,6	359,8	-428,7	20,9	-17,2	28,3	-33,7
2	-605,9	-1130,2	114,5	-112,0	189,9	-31,3	381,4	-415,3	19,9	-17,9	30,0	-32,6
3	-596,5	-855,9	94,7	-29,8	114,4	16,6	149,5	-183,6	9,3	-7,1	11,7	-14,4
4	-605,9	-862,7	54,6	-58,5	103,3	8,8	185,5	-161,1	7,7	-8,3	14,6	-12,6
5	-577,0	-879,2	79,1	-30,3	110,0	16,6	149,8	-174,9	8,7	-7,2	11,8	-13,7
6	-582,7	-883,3	55,1	-47,4	103,3	11,9	171,4	-161,4	7,7	-7,8	13,5	-12,7

Tabulka 24 - Charakteristická kombinace MSP bez předpětí, Řez 2

	ŘEZ 2											
	N_max	N_min	Vy_max	Vy_min	Vz_max	Vz_min	T_max	T_min	My_max	My_min	Mz_max	Mz_min
1	-621,6	-1101,4	55,3	-156,6	17,4	-26,9	139,6	-96,3	915,9	-637,9	1422,5	-1565,0
2	-619,2	-1099,8	40,8	-167,1	20,4	-25,0	146,0	-92,4	887,1	-657,9	1179,2	-1739,6
3	-621,6	-844,2	31,7	-83,7	7,2	-13,6	63,8	-35,6	411,2	-251,3	923,5	-653,4
4	-617,5	-841,7	7,5	-101,3	12,3	-10,4	74,4	-29,2	363,2	-284,6	518,0	-944,3
5	-605,6	-859,2	28,9	-90,5	7,6	-12,7	63,9	-33,2	394,5	-253,8	802,2	-694,3
6	-603,2	-857,7	14,3	-101,0	10,7	-10,7	70,3	-29,4	365,7	-273,8	558,9	-868,9

Tabulka 25 - Charakteristická kombinace MSP bez předpětí, Řez 3

	ŘEZ 3											
	N_max	N_min	Vy_max	Vy_min	Vz_max	Vz_min	T_max	T_min	My_max	My_min	Mz_max	Mz_min
1	-643,7	-1106,1	111,6	-0,6	146,8	-7,6	159,4	-82,6	701,4	-694,6	1849,1	-2195,4
2	-637,3	-1102,2	99,5	-9,5	151,3	-4,8	163,5	-80,4	707,1	-691,5	1507,5	-2441,1
3	-643,7	-852,2	95,2	23,4	92,9	27,2	70,7	-31,8	259,5	-315,0	1265,2	-939,5
4	-633,1	-845,7	74,9	8,7	100,4	31,9	77,5	-28,0	269,0	-309,8	695,9	-1349,0
5	-633,3	-859,9	93,4	17,1	93,1	28,9	72,3	-31,9	266,3	-319,7	1123,2	-1025,2
6	-627,0	-856,0	81,2	8,2	97,6	31,7	76,4	-29,6	272,0	-316,6	781,6	-1270,9

Tabulka 26 - Charakteristická kombinace MSP bez předpětí, Řez 4

	ŘEZ 4											
	N_max	N_min	Vy_max	Vy_min	Vz_max	Vz_min	T_max	T_min	My_max	My_min	Mz_max	Mz_min
1	-657,5	-1109,1	185,7	-43,3	116,4	34,4	318,6	-249,7	331,0	-517,9	1713,1	-1671,9
2	-646,2	-1102,2	174,9	-51,2	119,4	36,3	329,7	-243,2	386,8	-482,9	1259,6	-1999,4
3	-657,5	-857,3	116,1	9,1	78,5	42,8	132,4	-109,5	106,8	-296,6	1487,8	-653,8
4	-638,6	-845,8	98,2	-3,9	83,5	46,0	150,7	-98,5	199,9	-238,2	731,9	-1199,8
5	-651,7	-858,5	109,9	8,2	78,7	43,9	135,8	-108,5	117,7	-284,1	1303,9	-772,3
6	-640,4	-851,6	99,1	0,3	81,7	45,8	146,8	-101,9	173,5	-249,1	850,4	-1099,8

Tabulka 27 - Charakteristická kombinace MSP bez předpětí, Řez 5

	ŘEZ 5											
	N_max	N_min	Vy_max	Vy_min	Vz_max	Vz_min	T_max	T_min	My_max	My_min	Mz_max	Mz_min
1	-592,4	-1162,8	13,0	-110,1	28,9	-20,7	114,5	-66,8	637,5	-354,1	1691,7	-793,6
2	-573,9	-1151,3	14,5	-109,3	24,0	-24,1	113,5	-67,8	640,4	-353,3	1041,0	-1260,7
3	-592,4	-881,0	-27,9	-87,7	20,4	-5,7	44,2	-30,8	302,9	-108,4	1437,9	-585,1
4	-561,5	-861,9	-25,3	-86,3	12,3	-11,3	42,6	-32,5	307,7	-107,1	353,4	-1363,6
5	-566,9	-898,9	-22,6	-92,4	17,2	-5,7	44,3	-31,5	310,4	-115,4	1117,7	-698,7
6	-548,4	-887,4	-21,0	-91,6	12,4	-9,1	43,3	-32,6	313,4	-114,7	467,0	-1165,9

Tabulka 28 - Charakteristická kombinace MSP bez předpětí, Řez 6

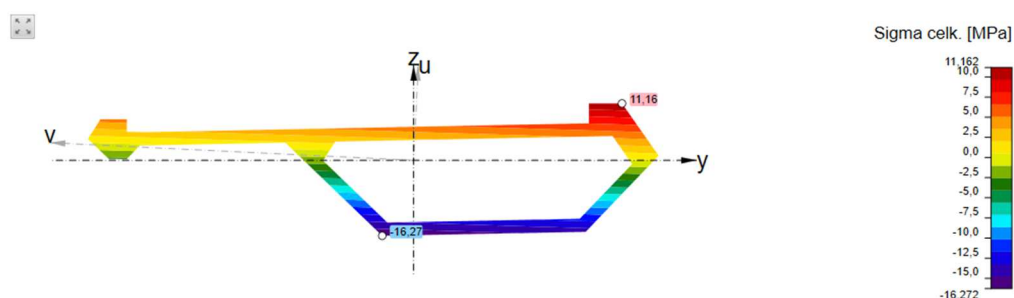
	ŘEZ 6											
	N_max	N_min	Vy_max	Vy_min	Vz_max	Vz_min	T_max	T_min	My_max	My_min	Mz_max	Mz_min
1	-560,4	-1124,5	42,0	-52,9	295,5	-20,4	137,9	-141,3	572,1	-1843,5	1034,1	-712,9
2	-544,9	-1114,9	70,1	-35,4	299,4	-17,9	122,2	-152,3	579,9	-1839,5	600,0	-1024,2
3	-560,4	-851,4	37,4	-33,4	153,6	21,7	74,7	-60,3	183,7	-800,0	796,1	-632,8
4	-534,5	-835,3	84,3	-4,3	159,9	25,9	48,5	-78,6	196,8	-793,3	72,6	-1151,6
5	-530,9	-874,5	43,3	-27,7	154,8	22,1	66,1	-62,1	190,6	-804,2	606,8	-732,9
6	-515,4	-864,8	71,4	-10,3	158,7	24,6	50,4	-73,1	198,4	-800,1	172,7	-1044,2

Tabulka 29 popisuje maxima a minima napětí v průřezu pro jednotlivé kombinace. Uvedené hodnoty jsou v MPa. Z tabulky je patrné, že největší tahové napětí v průřezu vzniká v šestém řezu od první kombinace. Průběh napětí v daném řezu je patrný z obr. 103.

Dle ČSN EN 1992-2 [6] kapitoly 8.10.4 je požadováno, aby minimální tlakové napětí v řezu splňovalo alespoň 3,0 MPa. Předpětí je nutno navrhnout tak aby nejen vyrovnalo tahové napětí v průřezu, ale musí i splnit podmínku 3 MPa dle normy v nejnepříznivějším řezu.

Tabulka 29 - Maxima a minima napětí v průřezech

ŘEZ	KOMBINACE 1				KOMBINACE 2			
	VNITŘ. SÍLY MAX		VNITŘ. SÍLY MIN		VNITŘ. SÍLY MAX		VNITŘ. SÍLY MIN	
	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN
1	-0,5	-0,8	-1,2	-1,4	-0,5	-0,8	-1,2	-1,4
2	6,9	-6,1	3,3	-7,4	6,7	-6,1	3,7	-7,8
3	6,1	-5,7	4,6	-8,6	5,8	-5,3	5,0	-8,9
4	3,4	-4,5	3,2	-6,8	3,4	-4,1	3,7	-6,9
5	5,4	-5,0	1,1	-4,6	4,9	-4,4	1,9	-5,2
6	4,2	-4,0	11,2	-16,3	4,2	-4,2	10,9	-16,3



Obrázek 103 - Průběh napětí v řezu 6

„Je všeobecně známo, že centricky předepnuté půdorysně zakřivené konstrukce jsou od předpětí namáhány jen centrickým tlakem.“ [12]

S ohledem na uvedenou citaci a ve snaze předejít nepříznivým vlivům od předpětí navrhuji centrické předpětí. Předpětí bude vedeno pomocí deviátorů střednicí průřezu, tedy uvnitř volného prostoru komory. Jako materiál pro výrobu mostovky je předpokládán beton typu UHPC disponující dostatečnou tlakovou pevností pro přenesení tlakových napětí od předpětí.

Pro návrh předpětí uvažuji výztuž s tahovou pevností  $f_{pk} = 1860$  MPa s průměrem jednoho lana 15,7 mm. Plocha jednoho lana činí  $A_p = 150$  mm<sup>2</sup>. Charakteristická smluvní mez kluzu 0,1% pro předpínací výztuž je dle rovnice (9)  $f_{p0,1k} = 1636,8$  MPa. Z rovnice (10) jsem určil maximální napětí ve výztuži na  $\sigma_{p,max} = 1473,0$  MPa. Dlouhodobé ztráty předpětí uvažuji ve výši 20%, z čehož vyplývá hodnota napětí ve výztuži

$\sigma_p = 1178,5$  MPa. Takto vzniklé maximální napětí v předpínací výztuži bude použito

pro další návrh. Možný rozptyl skutečného napětí pro účely práce jako předběžného návrhu neuvažují.

$$f_{p0,1k} = 0,88 \times f_{pk} \quad (9)$$

$$\sigma_{p,max} = \min(0,8 \times f_{pk}; 0,9 \times f_{p0,1k}) \quad (10)$$

$$\sigma = \frac{N}{A} \quad (11)$$

Z obr. 103 je patrné, že je nutno zvýšit tlakové napětí v průřezu o 14,2 MPa. Dle Hookova zákona (11) je nutno navýšit normálovou sílu, při použití plochy průřezu  $A = 0,881 \text{ m}^2$ , o hodnotu 12,471 MN. Po dosazení do upravené rovnice (12), získám požadovanou plochu výztuže  $A_{p,min} = 10\,582,1 \text{ mm}^2$ . Tato hodnota se rovná použití 70,5 kusů kabelu. Počet navržených kabelů zaokrouhlují na 75 kusů. Mnou navržený počet předpínacích lan vyvolává normálovou sílu  $N = 13,258 \text{ MN}$ .

$$P_{max} = A_p \times \sigma_p \quad (12)$$

## 5.5. Kombinace MSP

Pro posouzení mezních stavů použitelnosti mostovky jsem použil sestavu kombinací z kapitoly 5.4. Dle zkušeností ze zmíněné kapitoly jsem použil pouze charakteristické kombinace 1 a 2, které se ukázaly jako dominantní. Stejným způsobem jsem vytvořil kombinace kvazistálé a časté. Hodnoty kombinací jsou uvedeny v následující tabulce.

Tabulka 30 - Hodnoty kvazistálých kombinací MSP bez předpětí

HODNOTY KVAZISTÁLÝCH KOMBINACÍ													
ŘEZ		N_max	N_min	Vy_max	Vy_min	Vz_max	Vz_min	T_max	T_min	My_max	My_min	Mz_max	Mz_min
1	1	-637,7	-640,9	27,5	14,1	49,3	45,5	8,8	-2,4	0,1	-0,4	0,7	-0,2
	2	-640,9	-644,3	14,1	-0,2	45,5	41,6	20,8	8,8	-0,4	-1,0	1,6	0,7
2	1	-645,6	-646,9	-16,8	-24,9	-0,1	-1,7	13,1	9,9	26,2	10,2	150,9	15,8
	2	-644,2	-645,6	-24,9	-33,7	1,6	-0,1	16,6	13,1	10,2	-6,5	15,8	-129,7
3	1	-659,2	-662,4	55,7	49,0	56,7	54,4	9,2	7,3	-45,3	-47,8	216,0	26,3
	2	-655,6	-659,2	49,0	41,6	59,2	56,7	11,5	9,2	-42,1	-45,3	26,3	-178,5
4	1	-666,2	-671,9	51,5	45,5	52,9	51,3	3,1	-2,4	-58,8	-88,0	454,5	202,5
	2	-659,9	-666,2	45,5	39,0	54,5	52,9	9,2	3,1	-27,8	-58,8	202,5	-70,4
5	1	-630,7	-640,2	-63,1	-63,8	7,1	4,4	-5,2	-5,7	68,4	67,8	86,0	-275,5
	2	-620,4	-630,7	-62,2	-63,1	4,4	1,6	-5,7	-6,6	70,0	68,4	-275,5	-664,8
6	1	-604,7	-612,7	25,4	10,8	57,0	54,9	5,3	-3,4	-85,5	-88,9	-188,0	-429,2
	2	-596,1	-604,7	41,0	25,4	59,1	57,0	-3,4	-12,6	-81,1	-85,5	-429,2	-688,6

Výsledné hodnoty jednotlivých kombinací zatížení jsem následně doplnil o hodnoty předpětí. Za předpokladu ztrát předpětí v rozsahu 5% v době vnesení předpětí, 10% v době uvedení do provozu a 20% na konci životnosti. S ohledem na centrický

charakter předpětí, působí předpětí pouze tlakovou normálovou silou. Změny normálových sil od účinků předpětí se započítáním ztrát jsou uvedeny v tabulce 32.

Tabulka 31 - Hodnoty častých kombinací MSP bez předpětí

HODNOTY ČASTÝCH KOMBINACÍ													
ŘEZ		N_max	N_min	Vy_max	Vy_min	Vz_max	Vz_min	T_max	T_min	My_max	My_min	Mz_max	Mz_min
1	1	-637,7	-821,0	67,3	-29,2	107,0	16,7	149,1	-171,9	8,2	-7,1	11,7	-13,5
	2	-640,9	-824,4	54,0	-43,5	103,3	12,8	161,1	-160,6	7,7	-7,7	12,6	-12,6
2	1	-645,6	-819,0	5,4	-73,5	6,7	-11,4	63,6	-32,2	375,5	-247,5	591,8	-592,0
	2	-644,2	-817,7	-2,7	-82,3	8,4	-9,8	67,2	-29,0	359,5	-264,2	456,6	-737,5
3	1	-659,2	-833,4	72,1	32,9	92,6	29,9	68,3	-27,6	249,3	-302,3	757,1	-811,0
	2	-655,6	-830,2	65,4	25,6	95,1	32,2	70,6	-25,7	252,5	-299,7	567,3	-1015,7
4	1	-666,2	-842,8	102,7	10,6	78,1	44,8	127,3	-98,8	90,6	-251,1	806,2	-476,2
	2	-659,9	-837,1	96,7	4,0	79,8	46,4	133,4	-93,4	121,6	-221,9	554,3	-749,1
5	1	-630,7	-833,2	-35,8	-79,1	14,9	-5,6	42,1	-29,7	291,5	-96,4	544,4	-414,6
	2	-620,4	-823,6	-35,0	-78,4	12,2	-8,4	41,5	-30,6	293,1	-95,7	182,9	-803,9
6	1	-604,7	-799,1	28,5	-9,9	151,6	25,7	54,4	-57,5	173,4	-786,3	163,6	-482,6
	2	-596,1	-791,1	44,1	4,6	153,8	27,8	45,7	-66,6	177,8	-783,0	-77,6	-742,0

Tabulka 32 - Příspěvky normálových sil vyvolaných předpětím v čase

PŘÍSPĚVKY NORMÁLOVÝCH SIL VYVOLANÝCH PŘEDPĚTÍM V ČASE								
VNESENÍ PŘEDPĚTÍ			UVEDENÍ DO PROVOZU			KONEC ŽIVOTNOSTI		
5%	15,74397	MN	10%	14,91534	MN	20%	13,25808	MN

## 5.6. Posouzení MSP

Pro mezní stav omezení napětí a omezení trhlin použiji postup dle skript betonových mostů [14]. Nejprve stanovím limitní napětí v betonu a následně je porovnam s hodnotami napětí v jednotlivých průřezích.

Provozní stav si dle skript [14] žádá následující podmínky. Napětí v betonu vyvolené charakteristickou kombinací zatížení je pro omezení vzniku podélných trhlin omezit na hodnotu  $0,6f_{c,k}$ . S ohledem na použitý beton pro modelování konstrukce C90/105, uvažuji zde hodnotu 54 MPa (v tlaku). Abych mohl uvažovat lineární dotvarování konstrukce, musím napětí v betonu při kvazistálé kombinaci zatížení omezit na hodnotu  $0,45f_{c,k}$ , tedy 40,5 MPa.

Pro čas vnesení předpětí je nutno uvažovat pevnost betonu v čase. S ohledem na kapitolu 5.3.1 uvažuji hodnotu  $f_{ck(t)}$  stejnou s hodnotou  $f_{ck}$ , tedy 90 MPa. Obdobně jako v předchozím odstavci uvažuji omezení napětí hodnotou 54 MPa pro charakteristickou a 40,5 MPa pro kvazistálou kombinaci.

Protože vypočtené napětí v betonu dle přiložených tabulek nedosáhlo únosnosti betonu v tahu, nýbrž dosahuje maximální hodnoty -3,894 MPa, nepředpokládám vznik trhlin. Zároveň jsem navrhl výztuž popsanou v kapitole 5.8., kterou zjednodušeným postupem dle ČSN EN 1992-2 [6] omezují šířky trhlin bez přímého výpočtu.



Tabulka 33 - Posouzení normálových napětí MSP, kombinace 1

ZATÍŽ.	ČAS	MAX / MIN	NAPĚTÍ MAX / MIN	NORMÁLOVÉ NAPĚTÍ V ŘEZU [MPa]													
				1		2		3		4		5		6			
					OK		OK		OK		OK		OK		OK		
CHARAKTERISTICKÁ KOMBINACE	VNESENÍ PŘEDPĚTÍ	MAX	MAX	-18,54	OK	-17,80	OK	-17,83	OK	-17,39	OK	-17,13	OK	-17,80	OK		
			MIN	-18,55	OK	-19,37	OK	-19,63	OK	-20,30	OK	-19,99	OK	-19,02	OK		
		MIN	MAX	-18,66	OK	-18,54	OK	-18,22	OK	-17,71	OK	-17,80	OK	-17,22	OK		
			MIN	-18,66	OK	-18,74	OK	-19,26	OK	-19,79	OK	-19,43	OK	-20,14	OK		
		PŘED UVEDENÍM DO PROVOZU	MAX	MAX	-17,60	OK	-16,86	OK	-16,89	OK	-16,45	OK	-16,19	OK	-16,86	OK	
				MIN	-17,61	OK	-18,43	OK	-18,68	OK	-19,36	OK	-19,05	OK	-18,07	OK	
	MIN		MAX	-17,72	OK	-17,59	OK	-17,28	OK	-16,77	OK	-16,86	OK	-16,28	OK		
			MIN	-17,72	OK	-17,80	OK	-18,32	OK	-18,85	OK	-18,49	OK	-19,20	OK		
	PO UVEDENÍ DO PROVOZU		MAX	MAX	-17,45	OK	-10,01	OK	-10,88	OK	-13,54	OK	-11,57	OK	-12,70	OK	
			MIN	-17,75	OK	-23,06	OK	-22,69	OK	-21,42	OK	-21,98	OK	-20,97	OK		
	KONEC ŽIVOTNOSTI	MAX	MAX	-15,57	OK	-8,13	OK	-9,00	OK	-11,65	OK	-9,69	OK	-10,82	OK		
			MIN	-15,86	OK	-21,18	OK	-20,80	OK	-19,53	OK	-20,10	OK	-19,09	OK		
		MIN	MAX	-16,23	OK	-11,77	OK	-10,47	OK	-11,89	OK	-14,00	OK	-3,89	OK		
			MIN	-16,49	OK	-22,47	OK	-23,64	OK	-21,83	OK	-19,70	OK	-31,33	OK		
		ČÁSTÁ KOMBINACE	VNESENÍ PŘEDPĚTÍ	MAX	MAX	-18,60	OK	-18,19	OK	-18,11	OK	-17,83	OK	-17,95	OK	-18,06	OK
					MIN	-18,60	OK	-19,02	OK	-19,10	OK	-19,52	OK	-19,06	OK	-19,30	OK
	MIN			MAX	-18,60	OK	-18,53	OK	-18,27	OK	-17,82	OK	-18,07	OK	-17,55	OK	
				MIN	-18,61	OK	-18,67	OK	-19,01	OK	-19,35	OK	-19,30	OK	-19,71	OK	
	PŘED UVEDENÍM DO PROVOZU			MAX	MAX	-17,66	OK	-17,25	OK	-17,17	OK	-16,89	OK	-17,01	OK	-17,12	OK
					MIN	-17,66	OK	-18,08	OK	-18,16	OK	-18,58	OK	-18,12	OK	-18,36	OK
			MIN	MAX	-17,66	OK	-17,59	OK	-17,33	OK	-16,88	OK	-17,13	OK	-16,61	OK	
				MIN	-17,67	OK	-17,73	OK	-18,07	OK	-18,41	OK	-18,36	OK	-18,77	OK	
			PO UVEDENÍ DO PROVOZU	MAX	MAX	-17,59	OK	-14,46	OK	-15,09	OK	-16,08	OK	-15,06	OK	-16,19	OK
				MIN	-17,71	OK	-19,89	OK	-19,73	OK	-19,41	OK	-19,42	OK	-18,72	OK	
KONEC ŽIVOTNOSTI	MAX		MAX	-15,71	OK	-12,58	OK	-13,21	OK	-14,20	OK	-13,17	OK	-14,31	OK		
			MIN	-15,83	OK	-18,01	OK	-17,85	OK	-17,53	OK	-17,53	OK	-16,84	OK		
	MIN		MAX	-15,95	OK	-14,25	OK	-13,72	OK	-14,48	OK	-14,99	OK	-10,80	OK		
			MIN	-16,05	OK	-18,36	OK	-19,01	OK	-18,26	OK	-17,16	OK	-22,40	OK		
	KVAZISTÁLÁ KOMBINACE		VNESENÍ PŘEDPĚTÍ	MAX	MAX	-18,60	OK	-18,25	OK	-18,14	OK	-17,87	OK	-18,02	OK	-18,00	OK
					MIN	-18,60	OK	-18,96	OK	-19,04	OK	-19,44	OK	-19,01	OK	-19,36	OK
MIN				MAX	-18,60	OK	-18,53	OK	-18,27	OK	-17,87	OK	-18,07	OK	-17,55	OK	
				MIN	-18,61	OK	-18,67	OK	-19,01	OK	-19,30	OK	-19,30	OK	-19,70	OK	
PŘED UVEDENÍM DO PROVOZU				MAX	MAX	-17,66	OK	-17,31	OK	-17,20	OK	-16,93	OK	-17,08	OK	-17,06	OK
					MIN	-17,66	OK	-18,02	OK	-18,09	OK	-18,50	OK	-18,07	OK	-18,42	OK
			MIN	MAX	-17,66	OK	-17,59	OK	-17,33	OK	-16,92	OK	-17,13	OK	-16,61	OK	
				MIN	-17,67	OK	-17,73	OK	-18,07	OK	-18,36	OK	-18,36	OK	-18,76	OK	
			PO UVEDENÍ DO PROVOZU	MAX	MAX	-17,66	OK	-17,31	OK	-17,20	OK	-16,93	OK	-17,08	OK	-17,06	OK
				MIN	-17,66	OK	-18,02	OK	-18,09	OK	-18,50	OK	-18,07	OK	-18,42	OK	
KONEC ŽIVOTNOSTI		MAX	MAX	-15,78	OK	-15,43	OK	-15,32	OK	-15,05	OK	-15,20	OK	-15,17	OK		
			MIN	-15,78	OK	-16,14	OK	-16,21	OK	-16,62	OK	-16,19	OK	-16,54	OK		
		MIN	MAX	-15,78	OK	-15,70	OK	-15,45	OK	-15,04	OK	-15,25	OK	-14,73	OK		
			MIN	-15,79	OK	-15,85	OK	-16,19	OK	-16,48	OK	-16,47	OK	-16,88	OK		

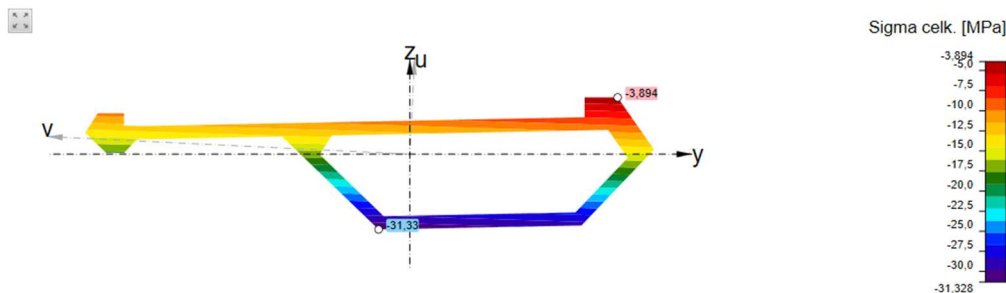
Tabulka 34 - Posouzení normálových napětí MSP, kombinace 2

ZATÍŽ.	ČAS	MAX/ MIN	NAPĚTÍ MAX/ MIN	NORMÁLOVÉ NAPĚTÍ V ŘEZU [MPa]											
				1		2		3		4		5		6	
CHARAKTERISTICKÁ KOMBINACE	VNESENÍ PŘEDPĚTÍ	MAX	MAX	-18,55	OK	-18,35	OK	-18,26	OK	-17,89	OK	-17,83	OK	-17,89	OK
			MIN	-18,56	OK	-18,79	OK	-18,95	OK	-19,48	OK	-19,16	OK	-19,18	OK
		MIN	MAX	-18,66	OK	-17,92	OK	-17,48	OK	-17,37	OK	-16,38	OK	-16,27	OK
			MIN	-18,68	OK	-19,29	OK	-19,74	OK	-19,91	OK	-20,34	OK	-20,74	OK
	PŘED UVEDENÍM DO PROVOZU	MAX	MAX	-17,61	OK	-17,41	OK	-17,32	OK	-16,95	OK	-16,89	OK	-16,95	OK
			MIN	-17,62	OK	-17,85	OK	-18,01	OK	-18,54	OK	-18,22	OK	-18,24	OK
		MIN	MAX	-17,71	OK	-16,98	OK	-16,54	OK	-16,43	OK	-15,44	OK	-15,32	OK
			MIN	-17,74	OK	-18,34	OK	-18,80	OK	-18,97	OK	-19,40	OK	-19,80	OK
	PO UVEDENÍ DO PROVOZU	MAX	MAX	-17,46	OK	-10,23	OK	-11,14	OK	-13,55	OK	-12,09	OK	-12,78	OK
			MIN	-17,75	OK	-23,03	OK	-22,27	OK	-21,00	OK	-21,36	OK	-21,17	OK
		MIN	MAX	-18,12	OK	-13,28	OK	-11,90	OK	-13,26	OK	-15,01	OK	-6,03	OK
			MIN	-18,38	OK	-24,70	OK	-25,81	OK	-23,89	OK	-22,16	OK	-33,24	OK
KONEC ŽIVOTNOST	MAX	MAX	-15,58	OK	-8,35	OK	-9,26	OK	-11,67	OK	-10,21	OK	-10,90	OK	
		MIN	-15,86	OK	-21,14	OK	-20,39	OK	-19,12	OK	-19,48	OK	-19,29	OK	
	MIN	MAX	-16,23	OK	-11,39	OK	-10,02	OK	-11,38	OK	-13,13	OK	-4,15	OK	
		MIN	-16,50	OK	-22,82	OK	-23,93	OK	-22,00	OK	-20,27	OK	-31,36	OK	
ČÁSTÁ KOMBINACE	VNESENÍ PŘEDPĚTÍ	MAX	MAX	-18,60	OK	-18,52	OK	-18,30	OK	-18,32	OK	-18,04	OK	-17,56	OK
			MIN	-18,61	OK	-18,67	OK	-18,94	OK	-18,98	OK	-19,29	OK	-19,62	OK
		MIN	MAX	-18,60	OK	-18,29	OK	-18,11	OK	-18,25	OK	-17,30	OK	-16,98	OK
			MIN	-18,62	OK	-18,88	OK	-19,20	OK	-19,18	OK	-19,65	OK	-20,06	OK
	PŘED UVEDENÍM DO PROVOZU	MAX	MAX	-17,66	OK	-17,58	OK	-17,37	OK	-17,38	OK	-17,10	OK	-16,62	OK
			MIN	-17,67	OK	-17,73	OK	-18,01	OK	-18,04	OK	-18,35	OK	-18,68	OK
		MIN	MAX	-17,66	OK	-17,35	OK	-17,17	OK	-17,31	OK	-16,35	OK	-16,04	OK
			MIN	-17,67	OK	-17,94	OK	-18,26	OK	-18,24	OK	-18,71	OK	-19,12	OK
	PO UVEDENÍ DO PROVOZU	MAX	MAX	-17,60	OK	-14,67	OK	-15,31	OK	-16,19	OK	-15,24	OK	-16,20	OK
			MIN	-17,71	OK	-19,86	OK	-19,38	OK	-19,02	OK	-19,57	OK	-18,93	OK
		MIN	MAX	-17,83	OK	-15,82	OK	-15,23	OK	-15,93	OK	-16,15	OK	-12,89	OK
			MIN	-17,94	OK	-20,53	OK	-21,13	OK	-20,29	OK	-19,52	OK	-24,31	OK
KONEC ŽIVOTNOST	MAX	MAX	-15,72	OK	-12,79	OK	-13,43	OK	-14,31	OK	-13,36	OK	-14,32	OK	
		MIN	-15,83	OK	-17,98	OK	-17,50	OK	-17,14	OK	-17,68	OK	-17,05	OK	
	MIN	MAX	-15,95	OK	-13,94	OK	-13,35	OK	-14,05	OK	-14,27	OK	-11,01	OK	
		MIN	-16,06	OK	-18,65	OK	-19,25	OK	-18,41	OK	-17,64	OK	-22,43	OK	
KVAZISTÁLÁ KOMBINACE	VNESENÍ PŘEDPĚTÍ	MAX	MAX	-18,60	OK	-18,52	OK	-18,31	OK	-18,28	OK	-18,04	OK	-17,56	OK
			MIN	-18,61	OK	-18,67	OK	-18,96	OK	-18,99	OK	-19,29	OK	-19,63	OK
		MIN	MAX	-18,60	OK	-18,36	OK	-18,18	OK	-18,27	OK	-17,44	OK	-17,08	OK
			MIN	-18,62	OK	-18,82	OK	-19,15	OK	-19,13	OK	-19,59	OK	-20,00	OK
	PŘED UVEDENÍM DO PROVOZU	MAX	MAX	-17,66	OK	-17,58	OK	-17,37	OK	-17,34	OK	-17,10	OK	-16,62	OK
			MIN	-17,67	OK	-17,73	OK	-18,02	OK	-18,05	OK	-18,35	OK	-18,69	OK
		MIN	MAX	-17,66	OK	-17,42	OK	-17,24	OK	-17,33	OK	-16,49	OK	-16,14	OK
			MIN	-17,68	OK	-17,88	OK	-18,21	OK	-18,18	OK	-18,65	OK	-19,06	OK
	PO UVEDENÍ DO PROVOZU	MAX	MAX	-17,66	OK	-17,58	OK	-17,37	OK	-17,34	OK	-17,10	OK	-16,62	OK
			MIN	-17,67	OK	-17,73	OK	-18,02	OK	-18,05	OK	-18,35	OK	-18,69	OK
		MIN	MAX	-17,66	OK	-17,42	OK	-17,24	OK	-17,33	OK	-16,49	OK	-16,14	OK
			MIN	-17,68	OK	-17,88	OK	-18,21	OK	-18,18	OK	-18,65	OK	-19,06	OK
KONEC ŽIVOTNOST	MAX	MAX	-15,78	OK	-15,70	OK	-15,48	OK	-15,45	OK	-15,22	OK	-14,73	OK	
		MIN	-15,79	OK	-15,85	OK	-16,13	OK	-16,17	OK	-16,47	OK	-16,81	OK	
	MIN	MAX	-15,78	OK	-15,53	OK	-15,36	OK	-15,45	OK	-14,61	OK	-14,26	OK	
		MIN	-15,80	OK	-16,00	OK	-16,33	OK	-16,30	OK	-16,77	OK	-17,18	OK	

Pro zjednodušení tohoto předběžného posudku uvažuji jako provozní stav pouze účinky stálého zatížení, působení teploty a větru, bez proměnných zatížení způsobených chodci. Pro sestavení této kombinace uvažuji zatížení teplotou jako

hlavní složku. Jedná se tedy o kombinace 3 a 4 z kapitoly 5.4., ve kterých nebude uvažováno zatížení chodci. Součinitel zatížení větru se pro tento stav rovná  $\psi_0 = 0,8$ . Tato úvaha vyplývá z postupu výstavby, kdy předpokládám sestavení prefabrikovaných dílců na skruži a jejich následnou aktivaci předpětím. Účinky zatížení způsobeného výstavou bude tedy přenášet skruž.

Dle přiložených tabulek jsem splnil požadavky uvedené na počátku kapitoly a tím posoudil MSP. Průběh napětí v nejkritičtějším průřezu je patrný z přiloženého obrázku.



Obrázek 104 - Napětí v kritickém průřezu po vnesení předpětí

## 5.7. Kombinace MSÚ

Ze zkušeností z posuzování mezního stavu použitelnosti jsem se rozhodl počet posuzovaných řezů v mezním stavu únosnosti redukovat. Pro další posouzení jsem vybral řez 2 z důvodu největšího vlivu momentu  $M_y$ , řez 3 pro účinky momentu  $M_z$  a řez 6, který se ukázal jako limitní v posudku mezního stavu použitelnosti. Pro zmíněné řezy jsem sestavil kombinace zatížení 6.10a a 6.10b. Použité součinitele a sestavy kombinací jsou patrné z tabulky 35. Pro posouzení únosnosti průřezu po vnesení předpětí se hodnoty normálových sil upraví s ohledem na tab.32.

Tabulka 35 - Sestava kombinací pro MSÚ s předpětím na konci životnosti

KOMBINACE	ZATÍŽENÍ											
	STÁLÉ	SOUČ.		PROMĚNNÉ HLAVNÍ	SOUČ.		PROMĚNNÉ VEDLEJŠÍ 1	SOUČ.		PROMĚNNÉ VEDLEJŠÍ 2	SOUČ.	
		6.10a	6.10b		6.10a	6.10b		6.10a	6.10b		6.10a	6.10b
1	LC1+LC6	1,35	1,1475	CHODCI	0,54	1,35	VÍTR	0,9	0,9	TEPLOTA (+)	0,9	0,9
2	LC1+LC6	1,35	1,148	CHODCI	0,54	1,35	VÍTR	0,9	0,9	TEPLOTA (-)	0,9	0,9
3	LC1+LC6	1,35	1,148	TEPLOTA (+)	0,9	1,5	CHODCI	0,54	0,54	VÍTR	0,9	0,9
4	LC1+LC6	1,35	1,148	TEPLOTA (-)	0,9	1,5	CHODCI	0,54	0,54	VÍTR	0,9	0,9
5	LC1+LC6	1,35	1,148	VÍTR	0,9	1,5	TEPLOTA (+)	0,9	0,9	CHODCI	0,54	0,54
6	LC1+LC6	1,35	1,148	VÍTR	0,9	1,5	TEPLOTA (-)	0,9	0,9	CHODCI	0,54	0,54

Tabulka 36 - Kombinace MSÚ, řez 2

ŘEZ 2												
6.10a												
	N_max	N_min	Vy_max	Vy_min	Vz_max	Vz_min	T_max	T_min	My_max	My_min	Mz_max	Mz_min
1	-14093,7	-14400,2	26,2	-114,5	9,8	-17,0	86,2	-45,3	519,7	-339,8	951,8	-891,3
2	-14091,2	-14397,9	11,7	-130,3	12,9	-14,1	92,6	-39,5	490,9	-369,8	708,5	-1153,1
3	-14093,7	-14400,2	26,2	-114,5	9,8	-17,0	86,2	-45,3	519,7	-339,8	951,8	-891,3
4	-14091,2	-14397,9	11,7	-130,3	12,9	-14,1	92,6	-39,5	490,9	-369,8	708,5	-1153,1
5	-14093,7	-14400,2	26,2	-114,5	9,8	-17,0	86,2	-45,3	519,7	-339,8	951,8	-891,3
6	-14091,2	-14397,9	11,7	-130,3	12,9	-14,1	92,6	-39,5	490,9	-369,8	708,5	-1153,1
6.10b												
1	-13962,9	-14618,0	76,2	-207,8	23,5	-36,7	185,8	-133,2	1224,8	-863,8	1841,3	-2125,2
2	-13960,5	-14615,7	61,6	-223,7	26,6	-33,8	192,2	-127,5	1196,1	-893,8	1598,0	-2387,0
3	-13962,9	-14271,0	40,9	-109,5	9,8	-18,9	83,5	-51,7	536,8	-341,8	1110,8	-894,5
4	-13958,8	-14267,2	16,7	-135,8	15,0	-14,0	94,2	-42,2	488,8	-391,9	705,3	-1330,9
5	-13939,0	-14293,5	41,5	-119,7	10,4	-17,5	83,7	-48,1	521,3	-345,6	1010,0	-955,9
6	-13936,5	-14291,2	26,9	-135,5	13,5	-14,6	90,1	-42,4	492,5	-375,6	766,7	-1217,7

Tabulka 37 - Kombinace MSÚ, řez 3

ŘEZ 3												
6.10a												
	N_max	N_min	Vy_max	Vy_min	Vz_max	Vz_min	T_max	T_min	My_max	My_min	Mz_max	Mz_min
1	-14124,7	-14407,9	114,7	30,2	125,5	38,8	95,8	-41,6	351,8	-424,5	1300,3	-1287,7
2	-14118,3	-14402,0	102,5	16,9	130,0	43,0	99,9	-38,2	357,5	-419,8	958,7	-1656,2
3	-14124,7	-14407,9	114,7	30,2	125,5	38,8	95,8	-41,6	351,8	-424,5	1300,3	-1287,7
4	-14118,3	-14402,0	102,5	16,9	130,0	43,0	99,9	-38,2	357,5	-419,8	958,7	-1656,2
5	-14124,7	-14407,9	114,7	30,2	125,5	38,8	95,8	-41,6	351,8	-424,5	1300,3	-1287,7
6	-14118,3	-14402,0	102,5	16,9	130,0	43,0	99,9	-38,2	357,5	-419,8	958,7	-1656,2
6.10b												
1	-13991,2	-14620,7	137,9	-12,2	186,7	-22,3	213,7	-114,1	957,6	-930,5	2390,7	-2988,4
2	-13984,9	-14614,8	125,8	-25,5	191,2	-18,1	217,8	-110,7	963,3	-925,9	2049,1	-3356,9
3	-13991,2	-14278,3	112,9	20,3	114,0	24,5	94,0	-45,8	361,0	-418,4	1522,7	-1293,0
4	-13980,6	-14268,6	92,6	-1,8	121,4	31,5	100,8	-40,1	370,5	-410,6	953,4	-1907,1
5	-13975,7	-14289,9	114,3	10,7	114,3	27,0	96,3	-45,9	371,2	-425,5	1423,6	-1421,5
6	-13969,4	-14284,1	102,1	-2,5	118,8	31,2	100,4	-42,5	376,9	-420,8	1082,0	-1790,0

Tabulka 38 - Kombinace MSÚ, řez 6

ŘEZ 6												
6.10a												
	N_max	N_min	Vy_max	Vy_min	Vz_max	Vz_min	T_max	T_min	My_max	My_min	Mz_max	Mz_min
1	-14008,0	-14406,9	51,8	-33,3	207,6	30,9	81,6	-81,8	249,5	-1078,5	554,7	-876,8
2	-13992,5	-14392,4	79,9	-7,2	211,4	34,6	65,9	-98,3	257,4	-1072,5	120,6	-1343,7
3	-14008,0	-14406,9	51,8	-33,3	207,6	30,9	81,6	-81,8	249,5	-1078,5	554,7	-876,8
4	-13992,5	-14392,4	79,9	-7,2	211,4	34,6	65,9	-98,3	257,4	-1072,5	120,6	-1343,7
5	-14008,0	-14406,9	51,8	-33,3	207,6	30,9	81,6	-81,8	249,5	-1078,5	554,7	-876,8
6	-13992,5	-14392,4	79,9	-7,2	211,4	34,6	65,9	-98,3	257,4	-1072,5	120,6	-1343,7
6.10b												
1	-14008,0	-14406,9	52,9	-80,5	387,7	-39,8	181,8	-190,5	791,1	-2473,6	1353,6	-898,0
2	-13992,5	-14392,4	81,1	-54,3	391,5	-36,0	166,1	-207,0	799,0	-2467,6	919,5	-1365,0
3	-14008,0	-14406,9	46,6	-55,9	196,1	16,9	92,8	-81,1	266,8	-1065,2	931,0	-789,9
4	-13992,5	-14392,4	93,5	-12,3	202,4	23,1	66,6	-108,6	279,9	-1055,2	207,5	-1568,1
5	-14008,0	-14406,9	55,6	-47,4	198,0	17,4	85,1	-83,9	277,1	-1071,5	791,7	-940,0
6	-13992,5	-14392,4	83,7	-21,2	201,8	21,2	69,4	-100,4	285,0	-1065,4	357,6	-1407,0

Z hodnot uvedených v příložených tabulkách budu pro posouzení MSÚ používat maximální hodnoty druhé kombinace ze sestavy 6.10b.

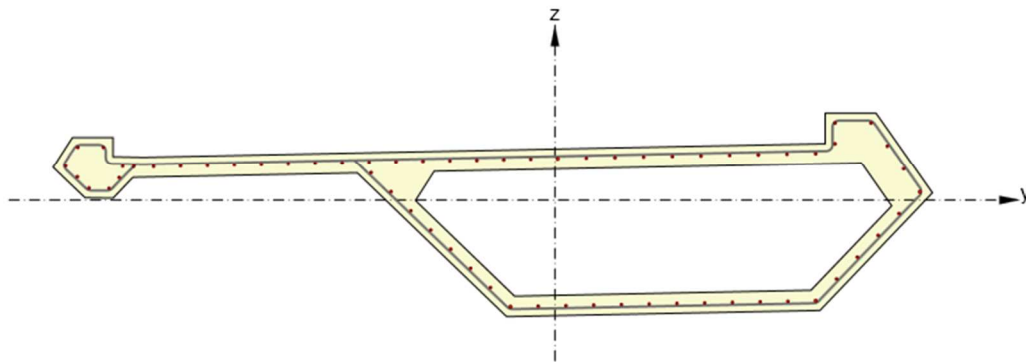
## 5.8. Posouzení MSÚ

### 5.8.1. Posouzení únosnosti N-M-M

Pro posouzení mezního stavu únosnosti jsem do průřezu nejprve navrhl výztuž. Výztuž jsem navrhl s ohledem na omezení šířky trhlin bez přímého výpočtu dle tabulek maximálních průměrů a vzdáleností prutů z normy [6]. Průřez je po obvodu vyztužen pruty  $\varnothing 12$  mm po 150 mm. Zároveň je splněno krytí 30 mm stanovené v kapitole 5.3.1 pro třmínek  $\varnothing 12$  mm, který uvažuji v roztečích 150 mm. Schéma vyztužení je patrné z příloženého obr. 105.



Vyztužený průřez : R 1



Obrázek 105 - Schéma navržené výztuže

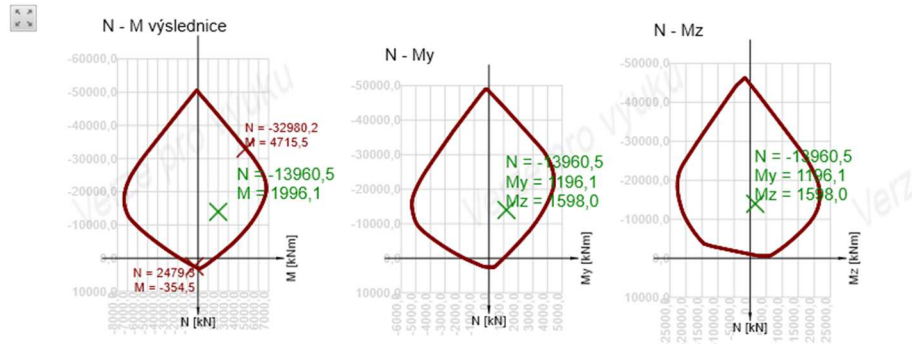
Z důvodu složitosti průřezu, jeho nesymetrie a nerovnoměrnému rozdělení výztuže jsem pro posouzení únosnosti průřezu na ohyb a normálovou síly použil výpočetní software. Výstupy z tohoto softwaru jsem si ověřil následujícím postupem. Po dosazení plochy betonu a výztuže, společně s jejich návrhovými pevnostmi, do rovnice (13) jsem získal únosnost průřezu v dostředném tlaku  $N_{Rd,0} = 50\,832,7$  kN. Z další rovnice (14) jsem po dosazení charakteristik betonářské výztuže zjistil hodnotu únosnosti průřezu v prostém tahu  $N_{Rd,5} = 3\,293,9$  kN. Při porovnání těchto hodnot s horním a dolním cípem níže příložených diagramů považuji jejich správnost za ověřenou.

$$N_{Rd,0} = A_s \times f_{yd} + A_c \times f_{cd} \quad (13)$$

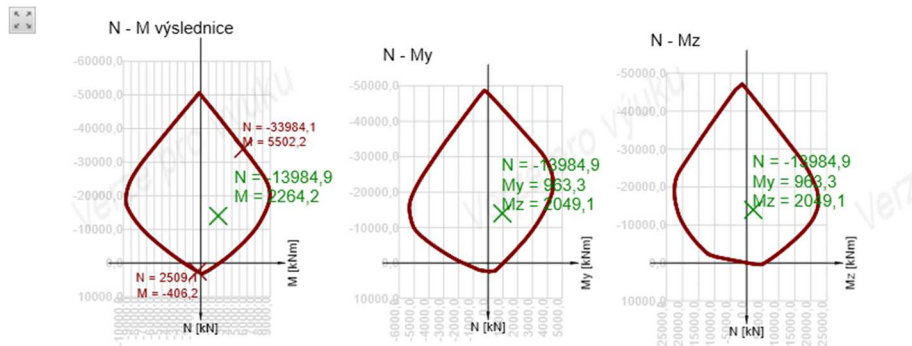
$$N_{Rd,5} = A_s \times f_{yd} \quad (14)$$



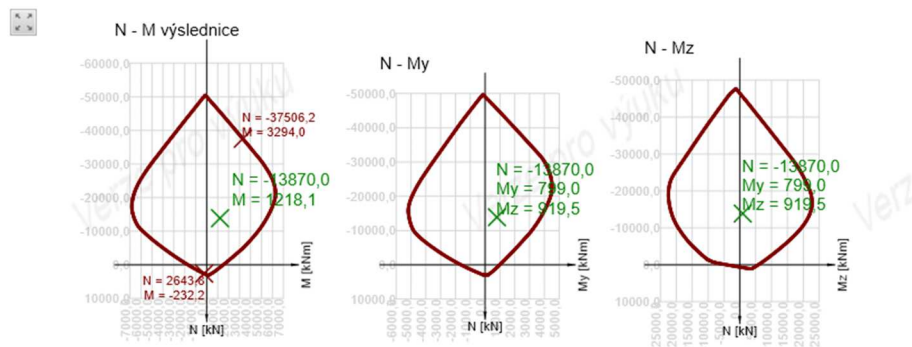
První sada přiložených diagramů posuzuje únosnost průřezů na konci jejich životnosti, kde dochází k poklesu normálové síly zapříčiněnému ztrátám v předpětí.



Obrázek 106 - Diagram únosnosti průřezu 2 na konci životnosti

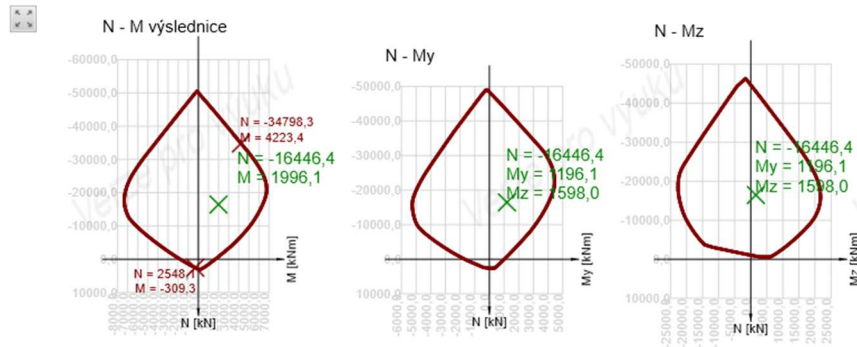


Obrázek 107 - Diagram únosnosti průřezu 3 na konci životnosti

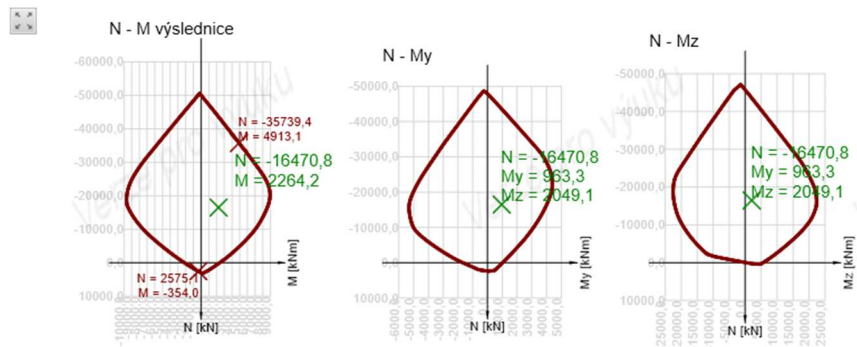


Obrázek 108 - Diagram únosnosti průřezu 6 na konci životnosti

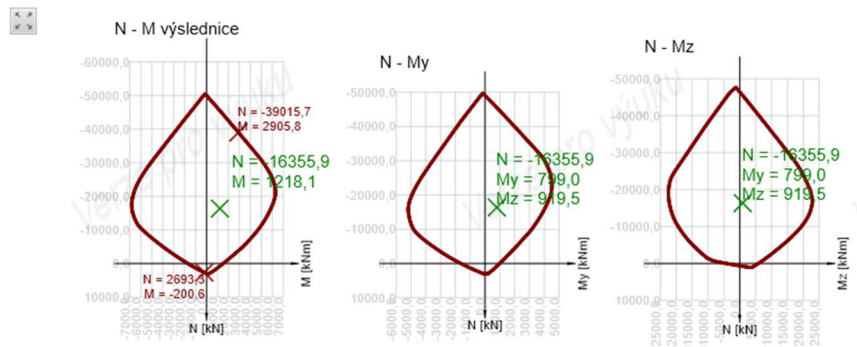
Další přiložené diagramy posuzují únosnost v čase vnesení předpětí, kdy je normálová síla největší a z toho důvodu jsem se obával možné nedostatečné únosnosti.



Obrázek 109 - Diagram únosnosti průřezu 2 po vnesení předpětí



Obrázek 110 - Diagram únosnosti průřezu 3 po vnesení předpětí



Obrázek 111 - Diagram únosnosti průřezu 6 po vnesení předpětí

Na základě přiložených diagramů je patrné, že průřez je dostatečně únosný a pokud na něj nebudou kladeny přísnější nároky z dalších posouzení, mohl by být v podrobném návrhu, který není předmětem této práce, redukován.

### 5.8.2. Posouzení smykové únosnosti

Posouzení smykové únosnosti navrženého průřezu jsem provedl podle kapitoly 8.2.3 skript betonových mostů [14]. Tento posudek provádím, protože neuvažuji vznik ohybových trhlin s ohledem na předešlé posouzení mezního stavu použitelnosti.

Posouzení průřezů jsem provedl na konci životnosti, kdy se vliv předpínací výztuže snižuje. Při splnění podmínky dané rovnicí (15) musí být splněna rovnice (16).

$$\sigma_{cp} \leq \sigma_{c,lim} \quad (15)$$

$$\tau_{cp} \leq f_{cvd} \quad (16)$$

Pro posouzení výše zmíněných podmínek budou potřeba ještě následující vztahy.

$$f_{cvd} = \sqrt{f_{ctd,pl}^2 + \sigma_{cp} \times f_{ctd,pl}} \quad (17)$$

$$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_{cc} \quad (18)$$

$$\tau_{cp} = k \times V_{Ed} / A_{cc} \quad (19)$$

Uvedené rovnice jsou použity ve výpočtu v následující tabulce. V tabulce uvažuji pro výpočet hodnoty uvedené v kapitole 5.3.1. Tedy  $f_{ctd,pl} = f_{ctd} = 2,3$  MPa a  $f_{cd,pl} = f_{cd} = 54,0$  MPa.

Tabulka 39 - Posouzení smykové únosnosti

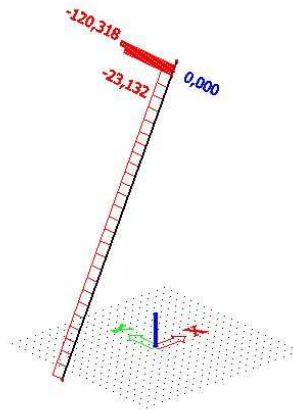
	ŘEZ 2			ŘEZ 3			ŘEZ 6		
[kN]	N <sub>Ed</sub>			N <sub>Ed</sub>			N <sub>Ed</sub>		
	13960,5			13984,9			13992,5		
[kN]	V <sub>Edy</sub>	V <sub>Edz</sub>	V <sub>Ed</sub>	V <sub>Edy</sub>	V <sub>Edz</sub>	V <sub>Ed</sub>	V <sub>Edy</sub>	V <sub>Edz</sub>	V <sub>Ed</sub>
	61,6	26,6	67,098	125,8	191,2	228,87	81,1	391,5	399,81
$\sigma_{cp} \leq \sigma_{c,lim}$ [MPa]									
$\sigma_{cp}$	15,858			15,886			15,894		
$\sigma_{c,lim}$	31,070			31,070			31,070		
	SPLNĚNO			SPLNĚNO			SPLNĚNO		
$\tau_{cp} \leq f_{cvd}$ [MPa]									
$\tau_{cp}$	0,105	0,045	0,114	0,214	0,326	0,390	0,138	0,667	0,681
$f_{cvd}$	6,515			6,520			6,522		
	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
	1,6%	0,7%	1,8%	3,3%	5,0%	6,0%	2,1%	10,2%	10,4%

Z výsledků v tabulce 39 je patrné, že smykové namáhání je přeneseno betonem. Není proto potřeba navrhovat výztuž na smyk a smykovou výztuž lze navrhnout dle konstrukčních zásad.

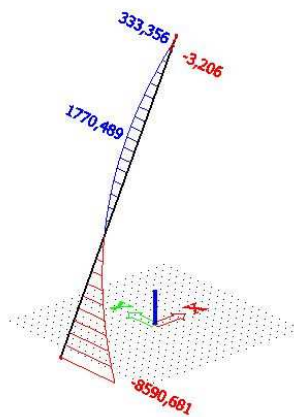
Zdroje, ze kterých jsem čerpal dále uvádějí potřebu posoudit průřez na účinky kroucení. Tato látka nebyla náplní osnov bakalářského studia, a proto v této práci posudek kroucení nebudu provádět.

## 5.9. Kombinace zatížení pylonu

Kombinace pro posuzování pylonu jsou sestaveny stejným způsobem jako kombinace předešlé. Na pylonu jsem s ohledem na průběh vnitřních sil vybral tři řezy. První řez se nachází v nejexponovanějším místě, a to patě pylonu. Druhý řez se nachází ve 13/20 výšky pylonu a poslední se nachází mezi závěsy. Rozmístění řezů a zmíněné průběhy jsou na obrázcích níže.



Obrázek 112 - Průběh posouvající síly Vz od stálého zatížení



Obrázek 113 - Průběh ohybového momentu Mz od stálého zatížení

Výsledky jednotlivých kombinací jsou nastíněny v tabulkách 40 – 42. Z uvedených hodnot jsem pro posuzování pylonu vybral následující. Pro patu pylonu se jako rozhodující ukázala kombinace 2 s maximálními hodnotami zatížení. Pro střední průřez jde o kombinaci 2 a pro hlavu pylonu o kombinaci 1, v obou případech pro minimální hodnoty vnitřních sil.

Tabulka 40 - Kombinace mezního stavu únosnosti

KOMBINACE 6.10b MEZŇÍHO STAVU ÚNOSNOSTI													
ŘEZ	KOMB.	N_max	N_min	Vy_max	Vy_min	Vz_max	Vz_min	T_max	T_min	My_max	My_min	Mz_max	Mz_min
1	1	-5499,6	-7460,2	1197,9	665,5	24,3	-118,4	0,0	0,0	4201,2	-749,4	-4964,2	-10628,3
	2	-5524,8	-7487,3	1209,9	676,7	29,3	-113,8	0,0	0,0	4049,3	-912,7	-5326,2	-11014,5
	6	-5505,2	-6381,1	1237,8	911,3	0,0	-60,2	0,0	0,0	2237,2	70,3	-7069,2	-11528,1
2	1	-3213,0	-5148,4	18,5	-463,6	22,4	-120,4	-1,3	-1,3	1500,5	-190,4	6846,8	1917,575
	2	-3238,2	-5175,4	30,5	-452,4	27,4	-115,7	-1,3	-1,3	1453,2	-241,1	6736,1	1799,587
	6	-3227,0	-4060,8	41,7	-201,1	-1,9	-62,1	-1,3	-1,3	824,8	91,6	4057,9	1723,546
3	1	-1642,2	-3103,9	-484,2	-981,6	56,5	-401,4	-0,1	-0,1	135,0	68,3	296,4	139,4676
	2	-1633,3	-3095,3	-480,8	-978,4	60,0	-398,1	-0,1	-0,1	134,3	67,6	295,1	138,1122
	6	-1625,5	-2245,2	-477,3	-691,6	-47,4	-233,6	-0,1	-0,1	95,9	67,3	205,5	136,7592

Tabulka 41 - Charakteristické kombinace mezního stavu použitelnosti

CHARAKTERISTICKÉ KOMBINACE MEZŇÍHO STAVU POUŽITELNOSTI													
ŘEZ	KOMB.	N_max	N_min	Vy_max	Vy_min	Vz_max	Vz_min	T_max	T_min	My_max	My_min	Mz_max	Mz_min
1	1	-4803,9	-6250,0	1035,3	648,0	14,8	-90,6	0,0	0,0	3223,7	-427,3	-5049,7	-9104,3
	2	-4820,7	-6268,0	1043,3	655,5	18,1	-87,5	0,0	0,0	3122,4	-536,2	-5291,0	-9361,8
	6	-4807,6	-5447,1	1061,9	831,3	-3,5	-47,8	0,0	0,0	1778,5	193,7	-6620,2	-9704,2
2	1	-2808,6	-4237,9	12,7	-341,1	13,1	-92,3	-1,1	-1,1	1157,6	-90,0	5320,6	1694,4
	2	-2825,4	-4255,9	20,7	-333,6	16,5	-89,1	-1,1	-1,1	1126,1	-123,8	5246,8	1615,8
	6	-2817,9	-3429,4	28,2	-146,7	-5,2	-49,5	-1,1	-1,1	660,0	123,1	3257,3	1565,1
3	1	-1433,5	-2513,9	-423,0	-790,5	25,7	-313,1	-0,1	-0,1	108,9	59,7	237,8	122,0
	2	-1427,6	-2508,1	-420,8	-788,3	28,0	-310,9	-0,1	-0,1	108,4	59,2	236,9	121,1
	6	-1422,4	-1877,8	-418,4	-575,6	-51,5	-189,1	-0,1	-0,1	80,0	59,0	170,5	120,2

Tabulka 42 - Kvazistálé kombinace mezního stavu použitelnosti

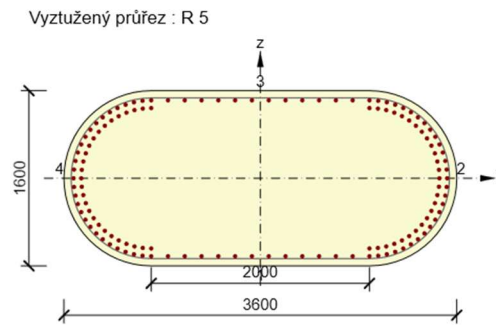
KVAZISTÁLÉ KOMBINACE MEZŇÍHO STAVU POUŽITELNOSTI													
ŘEZ	KOMB.	N_max	N_min	Vy_max	Vy_min	Vz_max	Vz_min	T_max	T_min	My_max	My_min	Mz_max	Mz_min
1	1	-4826,4	-4840,4	1007,4	1001,2	-21,3	-23,9	0,0	0,0	920,2	835,8	-8389,5	-8590,68
	2	-4840,4	-4855,4	1014,1	1007,4	-18,6	-21,3	0,0	0,0	835,8	745,1	-8590,7	-8805,22
	6	-4840,4	-4855,4	1014,1	1007,4	-18,6	-21,3	0,0	0,0	835,8	745,1	-8590,7	-8805,22
2	1	-2822,7	-2836,7	1,5	-4,7	-23,0	-25,6	-1,1	-1,1	361,7	335,5	1832,0	1770,489
	2	-2836,7	-2851,7	8,2	1,5	-20,2	-23,0	-1,1	-1,1	335,5	307,3	1770,5	1704,941
	6	-2836,7	-2851,7	8,2	1,5	-20,2	-23,0	-1,1	-1,1	335,5	307,3	1770,5	1704,941
3	1	-1441,3	-1446,1	-426,5	-428,3	-107,4	-109,2	-0,1	-0,1	60,6	60,2	124,1	123,309
	2	-1436,3	-1441,3	-424,6	-426,5	-105,4	-107,4	-0,1	-0,1	60,2	59,8	123,3	122,556
	6	-1436,3	-1441,3	-424,6	-426,5	-105,4	-107,4	-0,1	-0,1	60,2	59,8	123,3	122,556

## 5.10. Posouzení pylonu

### 5.10.1. Návrh výztuže

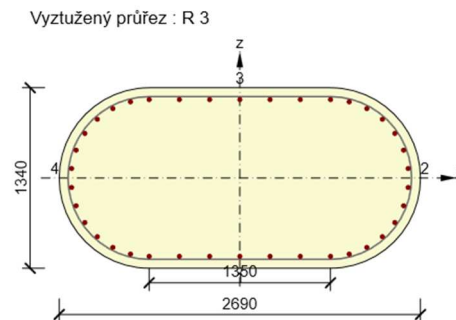
Pro posouzení pylonu jsem nejprve navrhl výztuž s ohledem na průběhy vnitřních sil uvedených v minulé kapitole. Pro podélnou výztuž jsem použil profily  $\varnothing$  32 mm oceli B500B. Třmínky jsou tvořeny stejnou ocelí  $\varnothing$  12 mm ve vzdálenostech 200 mm. Krytí výztuže je stanoveno kapitolou 3.4.1 na 60 mm. Průřezy jsem vyztužoval symetricky pro zachycení tahových napětí na straně tažených vláken, ale v případě paty pylonu i pro napětí tlakových na straně opačné. Charakter výztuže jednotlivých průřezů je patrný z příložených schémat.





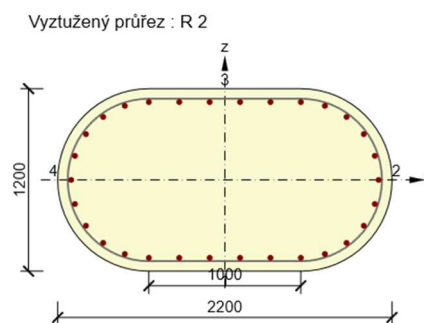
Obrázek 114 - Schéma výztuže paty pylonu - řez 1

Průřez v patě pylonu jsem v obou zakřivených částech vyztužil pomocí 56 profilů výztuže umístěných ve dvou řadách (každá řada čítá 28 profilů). Na každém z přímých úseků je poté použito 14 těchto profilů. Rozhodujícími požadavky na výztuž v tomto řezu kladl mezní stav omezení napětí.



Obrázek 115 - Schéma výztuže ve 13/7 výšky pylonu - řez 2

V průřezu 2 umístěném v 13/20 výšky pylonu došlo s klesajícími účinky ohybových momentů ke snížení počtu množství výztuže oproti patě pylonu. Navrhl jsem zde 12 profilů rovnoměrně rozmístěných po zaoblených částech a přímé hrany doplnil každou dalšími sedmi pruty. V tomto průřezu se jako rozhodující ukázal posudek na ohybovou únosnost.



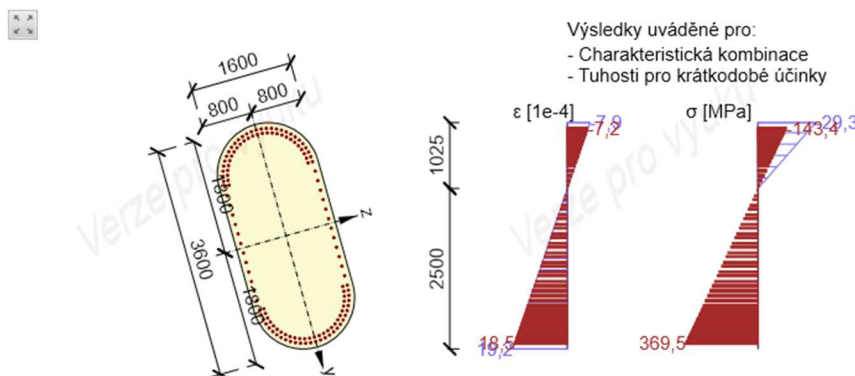
Obrázek 116 - Schéma výztuže v hlavě pylonu - řez 3

Poslední průřez je umístěn mezi druhým a třetím patrem patem závěsů (počítáno shora). V tomto místě bylo třeba zahustit třmínky na vzdálenost po 140 mm. Podélná výztuž je tvořena jako v předchozích řezech  $\varnothing 32$  mm rovnoměrně rozprostřených po všech hranách. Na hranách přímých se jedná o 6 profilů, zatímco u zaoblených hran jsem použil 9 profilů.

#### 5.10.2. Posouzení MSP omezení napětí

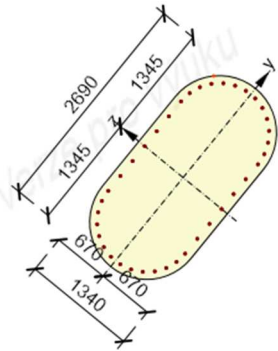
Omezení napětí jsem provedl podle postupu ze skript betonových konstrukcí [13]. Tlakové napětí v betonu bylo omezeno vztahem  $0,6 \cdot f_{ck}$ . Pro mnou zvolený beton C50/60 se jedná o hodnotu 30 MPa při charakteristické kombinaci zatížení. Zároveň je vhodné pro uvažování lineárního dotvarování betonu omezit napětí při kvazistálé hodnotě zatížení hodnotou  $0,45 \cdot f_{ck}$ , která činí 22,5 MPa při uvažování dlouhodobých zatížení. Tahové napětí ve výztuži jsem omezil pomocí vzorce  $0,8 \cdot f_{yk}$  na hodnotu 400 MPa.

Pro výpočet napětí po průřezu jsem s ohledem na složitost rozmístěné výztuže a zakřivený kratší rozměr prvku použil výpočetní software. Získané hodnoty napětí při charakteristické kombinaci zatížení jsou patrné z přiložených schémat.

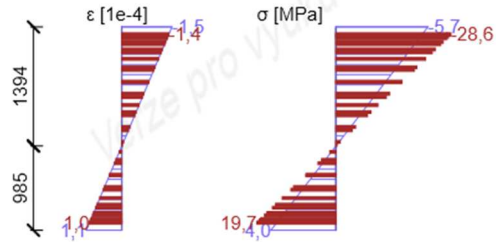


Obrázek 117 - Schéma průběhu napětí, řez 1

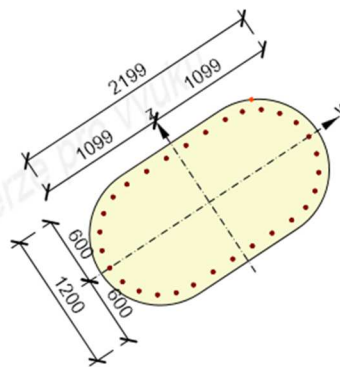
V případě průřezu v patě pylonu dosahují vypočtená napětí k hodnotám limitním. Pro krátkodobě působící charakteristickou kombinaci zatížení byla v tažené výztuži zjištěna hodnota napětí 369,5 MPa. V tlačeném betonu se jedná o hodnotu 29,3 MPa čímž jsou splněny obě podmínky.



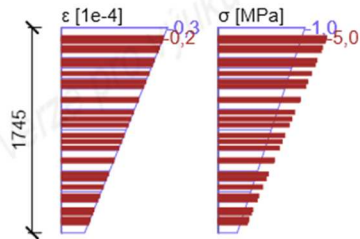
Výsledky uváděné pro:  
- Charakteristická kombinace  
- Tuhosti pro krátkodobé účinky



Obrázek 118 - Schéma průběhu napětí, řez 2



Výsledky uváděné pro:  
- Kvazistálá kombinace  
- Tuhosti pro krátkodobé účinky



Obrázek 119 - Schéma průběhu napětí, řez 3

V dalších dvou průřezích nedochází k velkým napětím. Tlakové napětí v betonu dosahuje hodnoty 2,4 MPa ve střední části pylonu a 1,5 MPa v hlavě pylonu. Na tažené straně průřezu 2 dochází k napětí 3,4 MPa ve výztuži a v betonu 0,8 MPa, čímž dochází k přenášení tahových účinků betonem. V průřezu vedeném hlavou pylonu k tahu nedochází.

### 5.10.3. Posouzení MSP omezení trhlin

Omezení šířky trhlin lze dosáhnout pomocí návrhu minimálního množství výztuže dle rovnice (20). Pro prvek těchto rozměrů je součinitel nerovnoměrného rozdělení vnitřních napětí roven  $k = 0,65$ . Rozměr  $h^*$  byl zvolen jako 1,0. Největší napětí ve výztuži  $\sigma_s$  pro velikost trhlin  $w_k = 0,2$  bezpečně předpokládám hodnotou 100 MPa. Hodnotu pevnosti betonu v tahu  $f_{ct,eff}$  použiji rovnou hodnotě  $f_{ctm} = 4,1$  MPa. Postup výpočtu dalších proměnných je předepsán rovnicemi (21) a (22). V rovnici (22) nahrazuji dělitel hodnotou plochy průřezu  $A_c$ . Hodnotu  $A_{ct}$  jsem stanovil graficky dle níže přiložených schémat. V tabulce pod použitými vztahy je patrné, že s ohledem na navrženou výztuž  $A_{s,prov}$ , je hodnota minimální výztuže splněna.

$$A_{s,min} \times \sigma_s = k_c \times k \times f_{ct,eff} \times A_{ct} \quad (20)$$

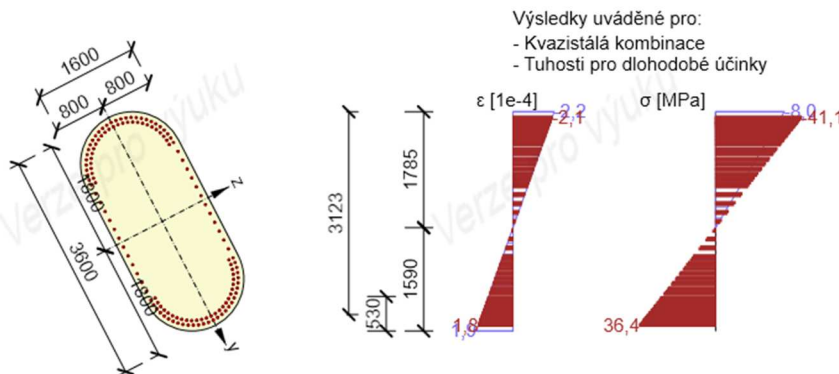
$$k_c = 0,4 \times \left[ 1 - \frac{\sigma_c}{k_1 \times (h/h^*) f_{ct,eff}} \right] \quad (21)$$

$$\sigma_c = \frac{N_{kd}}{b \times h} \quad (22)$$

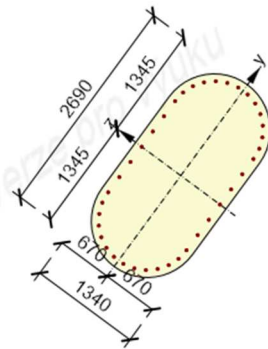
Tabulka 43 - Návrh minimální plochy výztuže

	HLAVA	STŘED	PATA
$N_{kd}$	5524,8	5175,4	3103,9
$A_c$	5,208	3,217	2,330
$\sigma_c$	1,061	1,609	1,332
$k_1$	1,5		
$h$	1,6	1,34	1,2
$h^*$	1		
$f_{ctm}$	4,1		
$k_c$	0,357	0,322	0,328
$k$	0,65		
$A_{ct}$	2,43	0,633	0
$\sigma_s$	100		
PLOCHA VÝZTUŽE [m <sup>2</sup> ]			
$A_{s,min}$	0,032	0,008	0,000
$A_{s,prov}$	0,109	0,031	0,024
	OK	OK	OK

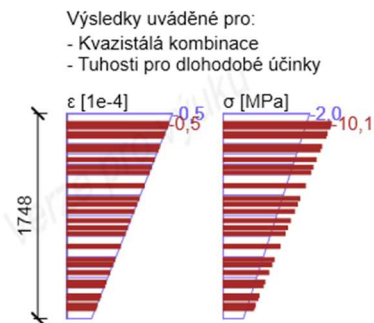
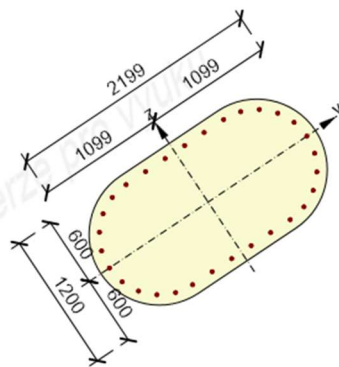
Pro omezení šířky trhlin bez přímého výpočtu jsem vycházel z tabulek 6.2a a 6.2b příručky navrhování betonových konstrukcí [11]. Z doložených schémat vyplývá maximální hodnota napětí v tažené výztuži rovna 36,4 MPa při dlouhodobém účinku kvazistálé hodnoty zatížení. Tato hodnota je s ohledem na vzdálenost prutů i jejich průměr dle tabulek bezpečně splněna. Požadavek mezního stavu na omezení trhlin je tedy splněn.



Obrázek 120 - Schéma průběhu napětí při kvazistálé kombinaci zatížení, řez 1



Obrázek 121 - Schéma průběhu napětí při kvazistálé kombinaci zatížení, řez 2



Obrázek 122 - Schéma průběhu napětí při kvazistálé kombinaci zatížení, řez 3

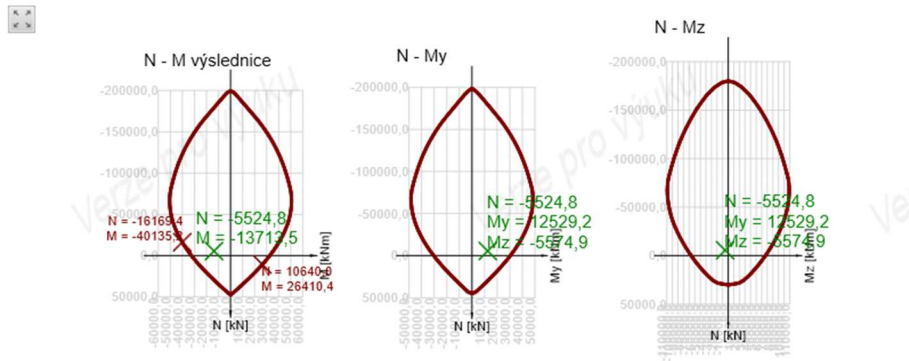
#### 5.10.4. Posouzení MSÚ únosnost průřezu

Posouzení ohybové a tlakové únosnosti průřezů jsem provedl stejně jako v kapitole 5.8.1. Obdobně jako ve zmíněné kapitole i v tomto případě jsem provedl jednoduché ověření výsledků pomocí výpočtu dostředného tlaku a prostého tahu, které jsou krajními extrémy na svislé ose přiložených schémat. Výpočet těchto dílčích hodnot je patrný z tabulky 44. Ze schémat je poté patrné, že ve všech průřezích se bod charakterizující namáhání vyskytuje uvnitř obalové křivky a průřezy jsou dostatečně únosné.

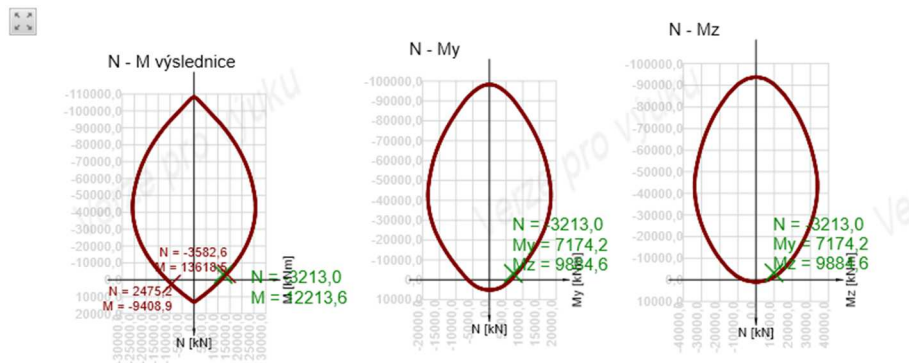
Tabulka 44 - Ověření extrémů interakčních diagramů

	PATA	STŘED	HLAVA
As	0,109	0,031	0,024
f <sub>yd</sub>	434,780		
Ac	5,208	3,217	2,330
f <sub>cd</sub>	30,000		
<b>ÚNOSNOST PRŮŘEZU [kN]</b>			
NR <sub>d,0</sub>	203797	109811	80378
NR <sub>d,5</sub>	47555	13287	10490

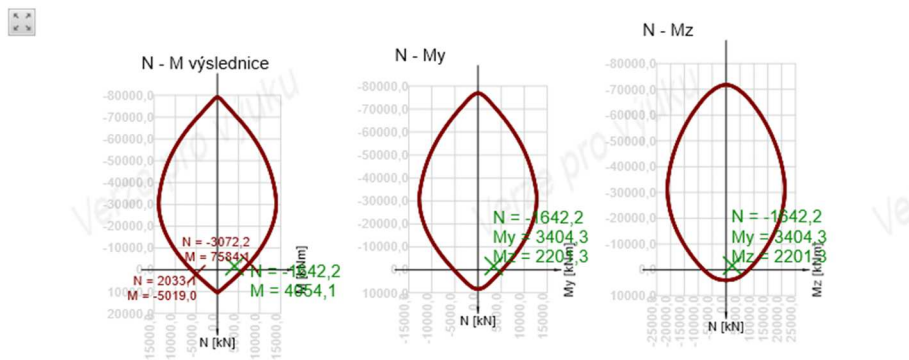




Obrázek 123 - Diagram únosnosti pylonu, řez 1



Obrázek 124 - Diagram únosnosti pylonu, řez 2



Obrázek 125 - Diagram únosnosti pylonu, řez 3

### 5.10.5. Posouzení MSÚ smyková únosnost

Posouzení smykové únosnosti průřezů jsem provedl podle vztahu (23) příručky [11]. Pro porovnání se smykovou únosností jsem spočítal výslednou posouvající sílu složenou z hodnot  $V_y$  a  $V_z$  vycházejících z jednotlivých kombinací zatížení.

$$V_{Rd,c} = \left[ \frac{0,18}{\gamma_c} \times k \times (100 \times \rho_l \times f_{ck})^{\frac{1}{3}} + 0,15 \times \sigma_{cp} \right] \times b_w \times d \quad (23)$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \leq 2,0 \quad (24)$$

$$\rho_l = \frac{A_{sl}}{b_w \times d} \quad (25)$$

$$\sigma_{cp} = \frac{N_{Ed}}{A_c} < 0,2 \times f_{cd} \quad (26)$$

Výpočet dle uvedených vzorců je proveden v příložené tabulce. Dle spočtených hodnot vyplývá, že je smyková únosnost splněna bez potřeby osazení dalších třmínků. Proto jsem třmínky navrhl dle konstrukčních zásad ve vzdálenostech 300 mm.

Tabulka 45 - Ověření smykové únosnosti pylonu

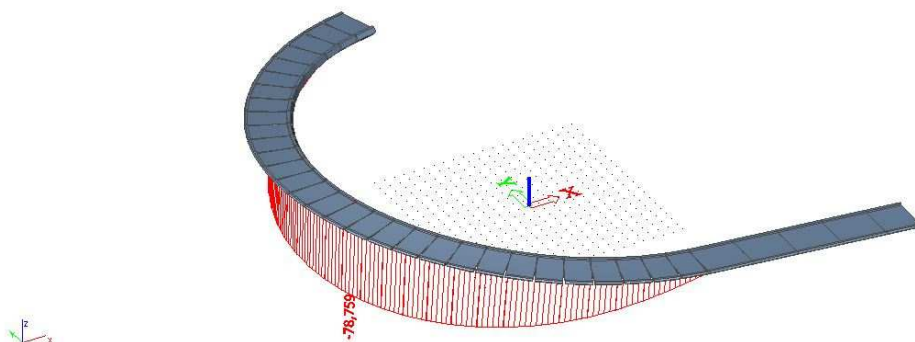
	PATA	STŘED	HLAVA
$N_{Ed}$	5524,8	5175,4	3103,9
$A_c$	5,208	3,217	2,330
$\sigma_{cp}$	1,061	1,609	1,332
$A_{sl}$	0,066	0,066	0,066
$b_w$	1,600	1,158	1,241
$d$	1,985	1,571	1,291
$\rho_l$	0,021	0,036	0,041
$\gamma_c$	1,5	1,5	1,5
$k$	1,317	1,357	1,394
$f_{ck}$	50,000	50,000	50,000
$V_{Rd,c}$	<b>2865,2</b>	<b>2115,2</b>	<b>1902,1</b>
$V_y$	1209,9	452,4	981,6
$V_z$	29,3	115,7	401,4
$V_{Ed}$	<b>1210,3</b>	<b>467,0</b>	<b>1060,5</b>
	OK	OK	OK
	42,2%	22,1%	55,8%

### 5.11. Ověření průhybů

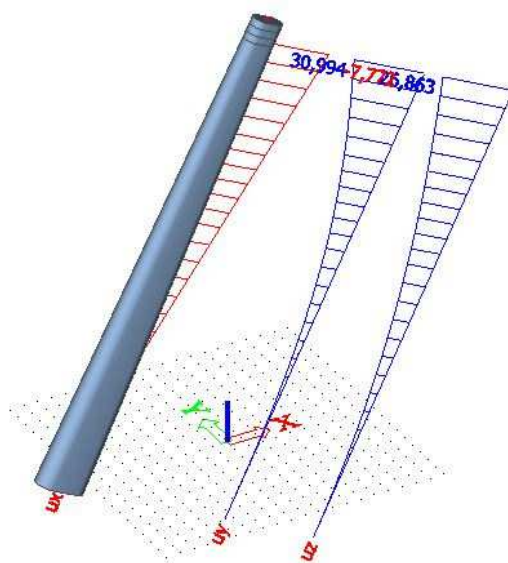
Dle skript [14] je limitní hodnota průhybu pro prvek z předpjatého betonu rovna  $L/600$ . Pro mnou navrženou konstrukci uvažuji jako  $L$  délku zavěšené části, tedy 75,085 m. Při použití této hodnoty se limitní hodnota průhybu rovná 125,1 mm. Zároveň jsem porovnal průhyb pylonu, u kterého je délka  $L$  definována jako dvojnásobek vyložení konzoly. Limitní průhyb pro železobetonový pylon je při použití přípustného průhybu  $L/350$  rovna 182,8 mm.

Vzhledem ke komplikovanému tvaru konstrukce, jsem pro stanovení průhybů použil výpočetní software. Hodnoty průhybů jsem stanovil na základě charakteristické a

kvazistálé kombinace zatížení. Zvolil jsem druhou kombinaci zatížení, tedy kombinaci jejíž hlavní složkou je zatížení způsobené chodci. Dále je kombinace tvořena ochlazením konstrukce a větrem ve směru do centra spolu se stálými složkami zatížení.



Obrázek 126 - Svislá deformace mostovky při charakteristické kombinaci zatížení



Obrázek 127 - Deformace pylonu při charakteristické kombinaci zatížení

Hodnoty svislého průhybu mostovky od charakteristické kombinace zatížení dosahují hodnoty 78,8 mm, zatímco u kvazistálé hodnoty se jedná o 8,4 mm. V obou případech je splněna podmínka  $L/600$ . V případě pylonu dochází při charakteristické kombinaci zatížení k nadzvednutí jeho horní části a následnému posunu k ulici Sousedská. Celková hodnota této deformace činí 41,5 mm. Při kvazistálé hodnotě poté dochází k nadzvednutí a posunu k ulici Rodinná celkem o 15,1 mm. I v tomto případě je podmínka splněna.

## 5.12. Postup výstavby

Protože základové poměry nejsou předmětem této práce, začínám popisovat výstavbu s předpokladem, že je spodní stavba již dokončena a zároveň odstraněny původní konstrukce určené k demolici. S ohledem na typ konstrukce je prvním prvkem, s jehož výstavbou se započne, betonový pylon. Pylon bude betonován po záběrech pomocí překládaného bednění. Pro dopravu materiálu bude použit autojeřáb s dostatečným dostupem. Zároveň se stavbou pylonu je vhodné začít s prováděním mostních opěr a konstrukce rampy na severním svahu, která by měla být zpřístupněna v co nejkratším časovém horizontu.

Před dokončením betonového pylonu započne montáž pevné skruže přes Rokycanskou ulici. Skruž by měla být dostatečně stabilní pro přesné osazení prefabrikátů, ale také musí být zajištěn plynulý a bezpečný provoz automobilové i pěší dopravy. Navrhuji tedy sestavit skruž na obou krajích komunikace I/26 a zeleném pruhu. Ve večerních, popřípadě nočních hodinách pak sestavit část překonávající jízdní pruhy.

Na sestavenou skruž budou následně pomocí autojeřábu sestaveny prefabrikáty mostovky. Před aktivací předpínací výztuže je nutné upravit polohu jednotlivých dílců, aby vnesením předpětí nedošlo k jejich poškození nebo vnesení nepatřičných napětí ve spárách. Po vnesení předpětí do mostovky budou osazena závěsná lana, do kterých bude vneseno potřebné napětí. Po předeptnutí mostovky bude také osazeno zábradlí a započne montáž ocelového schodiště na jižním svahu. Na lávce nejsou navrženy další součásti mostního svršku. Pochozí povrch je tvořen horním lícem betonové komory.

Závěrečnou fází je demontáž skruže, úprava okolí dotčeného stavbou a uvedení do provozu. Skládku materiálu a zařízení staveniště navrhuji osadit do slepého ramena ulice Rodinná nebo na zelený pruh. Zároveň by však stavba neměla nezbytně poškodit dřeviny v přilehlém okolí. Veškerou zeleň bude nutné po dokončení stavebních prací uvést do původního stavu. Celý postup je graficky znázorněn ve výkresu 4 přílohy 4.

## 6. Závěr

Analýzou provedeného průzkumu jsem došel k následujícímu závěru. Nejdůležitější vlastnosti lávky pro její funkčnost jsou půdorysné řešení, výškové řešení a účel, pro který má lávka sloužit. Při běžném používání preferují chodci co nejpřímější a hlavně nejkratší trasy bez náročných stoupání.

Funkčnost lávky zároveň ovlivňuje její přehlednost a okolí. Lávku je vhodné osadit v okolí, ve kterém se nachází překážka, pro jejíž překonání je nutné lávku použít. Velmi důležitý je vliv lávky na vnímání chodců. Nízké zábradlí na starých lávkách, průhledná mostovka, nadměrné kmitání konstrukce nebo složité směrové vedení působí na některé chodce velmi negativním způsobem. Návrh konstrukce by se měl těchto příznaků vyvarovat. Naopak by lávka měla působit dojmem, že si chodec při jejím použití zbytečně nezkomplikoval cestu.

V další části práce jsem navrhl tři varianty přemostění v dané lokalitě. Největším negativem v tomto návrhu se ukázalo okolí samotné. Podélný spád komunikace, stísněné prostorové podmínky na krajích komunikace a trakční vedení si vynutilo porušení některých zásad popisovaných v předchozím odstavci. V závěru kapitoly jsem s ohledem na rešerši, provedl výběr dvou variant, které jsem podrobněji zpracovával.

Vybrané konstrukce jsem vymodeloval ve výpočetním softwaru. Následně jsem provedl úpravy podepření a zavěšení konstrukcí ve snaze nalézt nejpříjemnější kompromis. Pro variantu zavěšené lávky jsem prodloužil pylon, čímž jsem efektivněji využil závěsy, snížil hodnoty deformací a zlepšil dynamické vlastnosti konstrukce. Jednotlivé závěsy jsem upravil tak, aby jejich osa procházela středem otáčení a minimalizovala se tím deformace v příčném směru.

V druhé variantě jsem odstranil prostřední stojku pod zakřivenou částí konstrukce, která se ukázala jako zbytečná. Na druhé straně komunikace jsem naopak jednu stojku doplnil. Hodnoty vlastních frekvencí jsem tak posunul mimo nejkritičtější rozsahy a podstatně zmenšil hodnoty deformací konstrukce. Následně jsem provedl porovnání s variantou 1.

Vítěznou variantou se stala konstrukce zavěšená. Provedl jsem návrh tří pylonů, ze kterých jsem na základě hodnot deformací a kmitání konstrukce vybral železobetonový oválný průřez. Pro takto dokončenou variantu 1 jsem provedl posouzení a popsal postup výstavby. Nad rámec zadání jsem dopracoval schématické výkresy a vizualizaci návrhu, které jsem doložil v přílohách.



## 7. Seznam použité literatury

### Normy

- [1] ČSN EN 1991-1-1:2004. (ČSN 73 0035) Eurokód 1: *Zatížení konstrukcí – Část 1-1: Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb*. Praha: ČNI. 44s.
- [2] ČSN EN 1991-1-3:2005. (ČSN 73 0035) Eurokód 1: *Zatížení konstrukcí – Část 1-3: Obecná zatížení – Zatížení sněhem*. Praha: ČNI. 52s.
- [3] ČSN EN 1991-1-4:2007. (ČSN 73 0035) Eurokód 1: *Zatížení konstrukcí – Část 1-4: Zatížení větrem*. Praha: ČNI. 124s.
- [4] ČSN EN 1991-1-5:2005. (ČSN 73 0035) Eurokód 1: *Zatížení konstrukcí – Část 1-5: Zatížení teplotou*. Praha: ČNI. 44s.
- [5] ČSN EN 1991-2:2005. (ČSN 73 6203) Eurokód 1: *Zatížení konstrukcí – Část 2: Zatížení mostů dopravou*. Praha: ČNI. 152s.
- [6] ČSN EN 1992-2:2007. (ČSN 73 6208) Eurokód 2: *Navrhování betonových konstrukcí – Část 2: Betonové mosty – Navrhování a konstrukční zásady*. Praha: ČNI. 90s.
- [7] ČSN EN 1995-2:2006. (ČSN 73 6212) Eurokód 5: *Navrhování dřevěných konstrukcí – Část 2: Mosty*. Praha: ČNI. 68s.
- [8] ČSN 73 6200:2011. *Mosty – Terminologie a třídění*. Praha: ČNI. 44s.
- [9] ČSN EN 1990:2004. (ČSN 73 0002) Eurokód: *Zásady navrhování konstrukcí*. Praha: ČNI. 76s.

### Publikace

- [10] ČAMBULA, Jaroslav. *Navrhování mostních konstrukcí podle Eurokódů*. Praha: Pro Ministerstvo dopravy a Českou komoru autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě (ČKAIT) vydalo Informační centrum ČKAIT, 2010. Technická knihovna (ČKAIT). ISBN 978-80-87093-90-0.

- [11] PROCHÁZKA, Jaroslav. *Navrhování betonových konstrukcí: příručka k ČSN EN 1992-1-1 a ČSN EN 1992-1-2*. Praha: Pro Ministerstvo pro místní rozvoj a Českou komoru autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě (ČKAIT) vydalo Informační centrum ČKAIT, 2010. Technická knihovna (ČKAIT). ISBN 978-80-87438-03-9.
- [12] STRÁSKÝ, Jiří. *Betonové mosty*. Praha: ŠEL, 2001. Technická knihovna autorizovaného inženýra a technika. ISBN 80-86426-05-x.
- [13] FOGLAR, Marek, Michaela FRANTOVÁ a Pavel JIŘÍČEK. *Betonové konstrukce 3: navrhování betonových konstrukcí na MSP, úvod do předpjatého betonu*. V Praze: České vysoké učení technické, 2011. ISBN 978-80-01-04943-3.
- [14] ŠAFÁŘ, Roman. *Betonové mosty 2 - cvičení: návrh předpjatého mostu podle Eurokódů*. V Praze: České vysoké učení technické, 2015. ISBN 978-80-01-05690-5.
- [15] RYJÁČEK, Pavel. *Ocelové mosty: cvičení*. V Praze: České vysoké učení technické, 2015. ISBN 978-80-01-05672-1.

## Internetové zdroje

- [16] KALA, Jiří. Kmitání mostní konstrukce vyvolané pohybem osob. *Vědecké spisy Vysokého učení technického v Brně* [online]. 2009, 11(292), 1-35 [cit. 2017-05-22]. ISSN 1213-418X. Dostupné z: <http://www.vutium.vutbr.cz/tituly/pdf/ukazka/978-80-214-3809-5.pdf>
- [17] Mapa sněhových oblastí. In: *David Štíčka: fotovoltaické systémy* [online]. [cit. 2017-05-21]. Dostupné z: [http://www.sticka.cz/user/10774/upload/ftp\\_client/snehove-oblasti.jpg](http://www.sticka.cz/user/10774/upload/ftp_client/snehove-oblasti.jpg)
- [18] Mapa větrných oblastí. In: *David Štíčka: fotovoltaické systémy* [online]. [cit. 2017-05-21]. Dostupné z: [http://www.sticka.cz/user/10774/upload/ftp\\_client/mapa\\_vetrna.gif](http://www.sticka.cz/user/10774/upload/ftp_client/mapa_vetrna.gif)
- [19] Zatížení mostů a inženýrských konstrukcí lineární složkou teploty. In: *Mostovna* [online]. [cit. 2017-05-21]. Dostupné z: [http://people.fsv.cvut.cz/~drahomic/mostovna/Pomucky/Zatizeni/Zat\\_EN-Rovn\\_Tepl.pdf](http://people.fsv.cvut.cz/~drahomic/mostovna/Pomucky/Zatizeni/Zat_EN-Rovn_Tepl.pdf)

## 8. Seznam obrázků a fotografií

### 8.1. Seznam obrázků

Obrázek 1 - dopravní schéma lávky Hůrka - metro.....	15
Obrázek 2 - statické schéma lávky Hůrka - metro.....	16
Obrázek 3 - dopravní schéma lávky Hůrka - bus.....	17
Obrázek 4 - dopravní schéma lávky Hůrka - bus.....	18
Obrázek 5 - dopravní schéma lávky přes Wassermannovu ulici.....	19
Obrázek 6 - statické schéma lávky přes Wassermannovu ulici.....	20
Obrázek 7 - dopravní schéma lávky K Barrandovu.....	21
Obrázek 8 - statické schéma lávky K Barrandovu .....	22
Obrázek 9 - dopravní schéma lávky přes Modřanskou ulici.....	23
Obrázek 10 - statické schéma lávky přes Modřanskou ulici.....	24
Obrázek 11 - dopravní schéma lávky Ke Kateřinkám .....	25
Obrázek 12 - statické schéma lávky Ke Kateřinkám .....	26
Obrázek 13 - dopravní schéma lávky u Kulturního domu Opatov .....	27
Obrázek 14 - statické schéma lávky u Kulturního domu Opatov.....	28
Obrázek 15 - dopravní schéma lávky Metodějova .....	29
Obrázek 16 - statické schéma lávky Metodějova.....	30
Obrázek 17 - dopravní schéma lávky TJ Chodov .....	32
Obrázek 18 - statické schéma lávky TJ Chodov .....	32
Obrázek 19 - dopravní schéma lávky Na Spořilově .....	34
Obrázek 20 - statické schéma lávky na Spořilově .....	34
Obrázek 21 - dopravní schéma lávky u Nuselského mostu .....	36
Obrázek 22 - statické schéma lávky u Nuselského mostu .....	36
Obrázek 23 - dopravní schéma lávky u Kongresového centra.....	38
Obrázek 24 - statické schéma lávky u Kongresového centra.....	38
Obrázek 25 - dopravní schéma lávky přes Ocelkovu ulici.....	40

Obrázek 26 - statické schéma lávky přes Ocelkovu ulici.....	41
Obrázek 27 - dopravní schéma lávky Nová Hospoda .....	42
Obrázek 28 - statické schéma lávky Nová Hospoda.....	43
Obrázek 29 - dopravní schéma lávky U Prazdroje.....	45
Obrázek 30 - statické schéma lávky U Pivovaru .....	46
Obrázek 31 - Ortofoto dotčené oblasti .....	49
Obrázek 32 - Varianta 1 – půdorysné schéma.....	51
Obrázek 33 - Varianta 1 - schéma podélného profilu .....	52
Obrázek 34 - Varianta 1 - schématický příčný řez .....	52
Obrázek 35 - Varianta 2 - půdorysné schéma .....	53
Obrázek 36 - Varianta 2 - schéma podélného profilu .....	54
Obrázek 37 - Varianta 2 - schématický příčný řez .....	55
Obrázek 38 - Varianta 3 - půdorysné schéma .....	56
Obrázek 39 - Varianta 3 - schéma podélného profilu .....	57
Obrázek 40 - Varianta 3 - schématický příčný řez .....	57
Obrázek 41 - Varianta 1 - dopravní schéma .....	59
Obrázek 42 - Varianta 2 - dopravní schéma .....	60
Obrázek 43 - Varianta 3 - dopravní schéma .....	60
Obrázek 44 - Schéma zobecnění při modelování konstrukce (zdroj: [12]) .....	62
Obrázek 45 - Varianta 1 - schéma příčného řezu prutového modelu .....	63
Obrázek 46 - Varianta 1 - prutový model, konstrukce .....	64
Obrázek 47 - Varianta 1 – deformovaný prutový model.....	64
Obrázek 48 - Varianta 1 - schéma příčného řezu deskostěnového modelu .....	65
Obrázek 49 - Varianta 1 - deskostěnový model, konstrukce .....	66
Obrázek 50 - Varianta 1 - deformovaný deskostěnový model.....	67
Obrázek 51 - Varianta 1 - schéma natočení průřezů .....	72
Obrázek 52 - Schéma ideálního průběhu závěsného lana.....	74

Obrázek 53 - Varianta 1 - výsledná konstrukce .....	75
Obrázek 54 - Varianta 1 - svislé deformace.....	76
Obrázek 55 - Varianta 1 - tvar 1. vlastní frekvence .....	77
Obrázek 56 - - Varianta 1 - tvar 2. vlastní frekvence.....	77
Obrázek 57 - Varianta 1 - tvar 3. vlastní frekvence .....	77
Obrázek 58 - Varianta 1 - tvar 4. vlastní frekvence .....	78
Obrázek 59 - Varianta 1 - tvar 5. vlastní frekvence .....	78
Obrázek 60 - Varianta 2 - prutový model .....	79
Obrázek 61 - Varianta 2 - deformace prutového modelu .....	79
Obrázek 62 - Varianta 2 - Schéma deskostěnového příčného řezu .....	80
Obrázek 63 - Varianta 2 - deskostěnový model.....	81
Obrázek 64 - Varianta 2 - deformace deskostěnového modelu .....	81
Obrázek 65 - Varianta 2 - tvar 1. vlastní frekvence .....	88
Obrázek 66 - Varianta 2 - tvar 2. vlastní frekvence .....	88
Obrázek 67 - Reakce závěsů .....	90
Obrázek 68 - Konstrukce doplněná o ocelový pylon .....	91
Obrázek 69 - Konstrukce doplněná o betonový pylon.....	92
Obrázek 70 - 1. vlastní frekvence kmitání.....	93
Obrázek 71 - 2. vlastní frekvence kmitání.....	93
Obrázek 72 - 3. vlastní frekvence kmitání.....	94
Obrázek 73 - 4. vlastní frekvence kmitání.....	94
Obrázek 74 - 5. vlastní frekvence kmitání.....	94
Obrázek 75 - 6. vlastní frekvence kmitání.....	94
Obrázek 76 - 7. vlastní frekvence kmitání.....	94
Obrázek 77 - 8. vlastní frekvence kmitání.....	94
Obrázek 78 - Zatížení LM4.1 .....	95
Obrázek 79 - Zatížení LM4.2.....	95

Obrázek 80 - Zatížení LM4.3.....	95
Obrázek 81 - Zatížení LM4.4.....	95
Obrázek 82 - Zatížení LM4.5.....	95
Obrázek 83 - Zatížení LM4.6.....	95
Obrázek 84 - Zatížení LM4.7.....	96
Obrázek 85 - Zatížení LM4.8.....	96
Obrázek 86 - Zatížení LM4.9.....	96
Obrázek 87 - Zatížení LM4.10.....	96
Obrázek 88 - Zatížení LM4.11.....	96
Obrázek 89 - Zatížení LM4.12.....	96
Obrázek 90 - Zatížení LM4.13.....	96
Obrázek 91 - Zatížení LM4.14.....	96
Obrázek 92 - Schéma zatížení obslužným vozidlem (zdroj: [10]).....	97
Obrázek 93 - Mapa sněhových oblastí ČR dle ČSN EN 1991-1-3 (zdroj: [17]).....	98
Obrázek 94 - Mapa větrných oblastí ČR dle ČSN EN 1991-1-4 (zdroj: [18]).....	99
Obrázek 95 - Diagram pro stanovení součinitele $c_v(z)$ (zdroj: [3]).....	100
Obrázek 96 - Kategorie terénu (zdroj: [11]).....	100
Obrázek 97 - Diagram stanovení součinitele $c_{fx0}$ (zdroj: [15]).....	101
Obrázek 98 - Schéma volených řezů.....	103
Obrázek 99 - Obálka posouvající síly $V_z$ od zatížení chodci.....	103
Obrázek 100 - Průběh ohybového momentu $M_y$ od stálého zatížení.....	104
Obrázek 101 - Obálka ohybového momentu $M_z$ od zatížení chodci.....	104
Obrázek 102 - Průběh ohybového momentu $M_z$ od rovnoměrného ohřátí konstrukce .....	104
Obrázek 103 - Průběh napětí v řezu 6.....	107
Obrázek 104 - Napětí v kritickém průřezu po vnesení předpětí.....	112
Obrázek 105 - Schéma navržené výztuže.....	114
Obrázek 106 - Diagram únosnosti průřezu 2 na konci životnosti.....	115



Obrázek 107 - Diagram únosnosti průřezu 3 na konci životnosti .....	115
Obrázek 108 - Diagram únosnosti průřezu 6 na konci životnosti .....	115
Obrázek 109 - Diagram únosnosti průřezu 2 po vnesení předpětí .....	116
Obrázek 110 - Diagram únosnosti průřezu 3 po vnesení předpětí .....	116
Obrázek 111 - Diagram únosnosti průřezu 6 po vnesení předpětí .....	116
Obrázek 112 - Průběh posouvající síly Vz od stálého zatížení .....	118
Obrázek 113 - Průměh ohybového momentu Mz od stálého zatížení .....	118
Obrázek 114 - Schéma výztuže paty pylonu - řez 1.....	120
Obrázek 115 - Schéma výztuže ve 13/7 výšky pylonu - řez 2.....	120
Obrázek 116 - Schéma výztuže v hlavě pylonu - řez 3 .....	120
Obrázek 117 - Schéma průběhu napětí, řez 1 .....	121
Obrázek 118 - Schéma průběhu napětí, řez 2 .....	122
Obrázek 119 - Schéma průběhu napětí, řez 3.....	122
Obrázek 120 - Schéma průběhu napětí při kvazistálé kombinaci zatížení, řez 1 .....	123
Obrázek 121 - Schéma průběhu napětí při kvazistálé kombinaci zatížení, řez 2 .....	124
Obrázek 122 - Schéma průběhu napětí při kvazistálé kombinaci zatížení, řez 3 .....	124
Obrázek 123 - Diagram únosnosti pylonu, řez 1 .....	125
Obrázek 124 - Diagram únosnosti pylonu, řez 2.....	125
Obrázek 125 - Diagram únosnosti pylonu, řez 3.....	125
Obrázek 126 - Svislá deformace mostovky při charakteristické kombinaci zatížení ...	127
Obrázek 127 - Deformace pylonu při charakteristické kombinaci zatížení .....	127

## 8.2. Seznam fotografií

Foto 1 - Hůrka - metro, pohled od parku.....	16
Foto 2 - Hůrka - metro, pohled od zastávky metra.....	17
Foto 3 - Hůrka – bus, pohled z parku .....	18
Foto 4 - Hůrka – bus, pohled z ulice Pod Hranicí.....	19
Foto 5 - Lávka přes Wassermannovu ulici, pohled z Wassermannovi ulice .....	20

Foto 6 - Lávka přes Wassermannovu ulici, pohled z Pražské čtvrti .....	21
Foto 7 - Lávka k Barrandovu, pohled od Barrandova.....	22
Foto 8 - Lávka k Barrandovu, pohled od zastávky tramvaje.....	23
Foto 9 - Lávka přes Modřanskou ulici, pohled z Modřanské .....	24
Foto 10 - Lávka přes Modřanskou ulici, pohled pod zastávkou Černý kůň.....	25
Foto 11 - Ke Kateřinkám, pohled z víceúčelového domu .....	26
Foto 12 - Ke Kateřinkám, pohled na jižní rampu.....	27
Foto 13 - Lávka u Kulturního domu Opatov, pohled od KD.....	28
Foto 14 - Lávka u Kulturního domu Opatov, pohled na západní rampu .....	29
Foto 15 - Metodějova, pohled ze západu.....	30
Foto 16 - Metodějova, pohled na jižní rampu.....	31
Foto 17 - TJ Chodov, pohled na lávku .....	33
Foto 18 - TJ Chodov, pohled do rampy .....	33
Foto 19 - Lávka na Spořilově, pohled na přemostění.....	35
Foto 20 - Lávka na Spořilově, pohled na rampu .....	35
Foto 21 - Lávka u Nuselského mostu, pohled na rampu.....	37
Foto 22 - Lávka u Nuselského mostu, pohled na konstrukci .....	37
Foto 23 - Lávka u Kongresového centra, pohled na žebro.....	39
Foto 24 - Lávka u Kongresového centra, pohled od Kongresového centra .....	40
Foto 25 - Lávka přes Ocelkovu ulici, pohled z Ocelkovi ulice.....	41
Foto 26 - Lávka přes Ocelkovu ulici, pohled ze severního svahu.....	42
Foto 27 - Lávka na Nové Hospodě, rampa na severní straně ulice.....	44
Foto 28 - Lávka na Nové Hospodě, rampa na jižní straně ulice .....	44
Foto 29 - U Prazdroje, pohled na jižní ústí.....	46
Foto 30 - U Prazdroje, pohled na severní rampu .....	47

## 9. Přílohy

### Seznam příloh

Příloha 1 – Stanovení zatížení teplotou .....	138
Příloha 2 – Fotodokumentace okolí .....	139
Příloha 3 – Vizualizace .....	143
Příloha 4 – Schématické výkresy .....	150
Příloha 5 – Digitální verze práce .....	CD

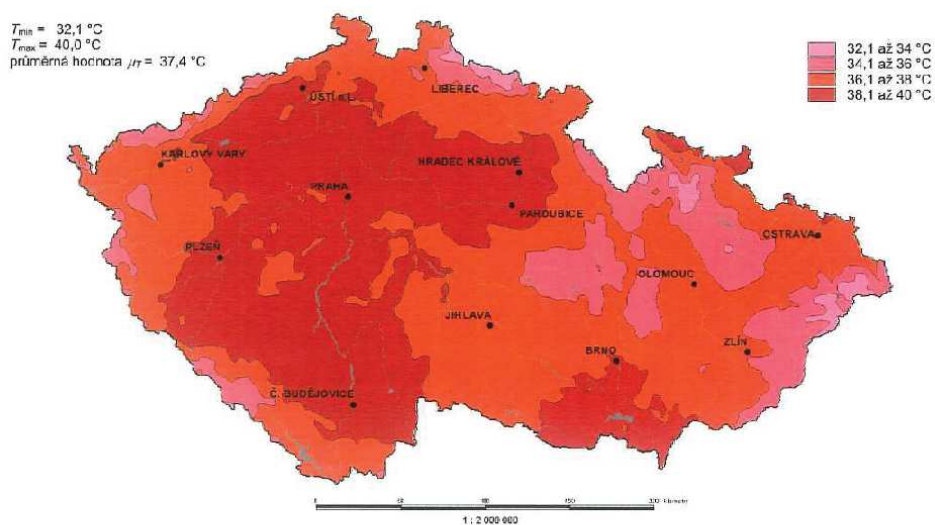
## Příloha 1 – Stanovení zatížení teplotou

(zdroj [19])

### Zatížení mostů a inženýrských konstrukcí lineární složkou teploty

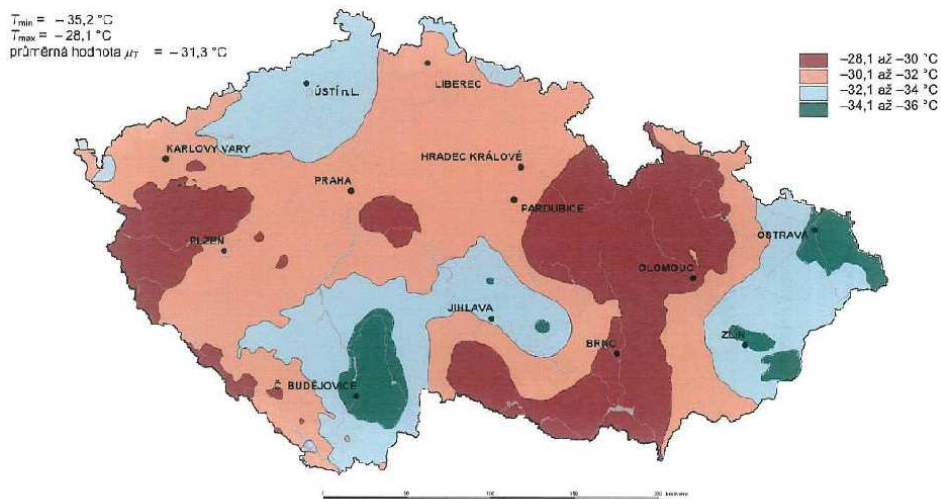
Doporučené hodnoty maximálních a minimálních teplot ve stínu se odečtou z map teplot (viz ČSN EN 1991-1-5) na následujících obrázcích :

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



Obr. 1 - Mapa maximálních teplot ve stínu

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



Obr. 2 - Mapa minimálních teplot ve stínu

## Příloha 2 – Fotodokumentace okolí

Fotodokumentaci jsem provedl během místního šetření v okolí navrhované stavby. Na níže přiloženém schématu jsou znázorněny pozice, ze kterých byly fotografie pořízeny.

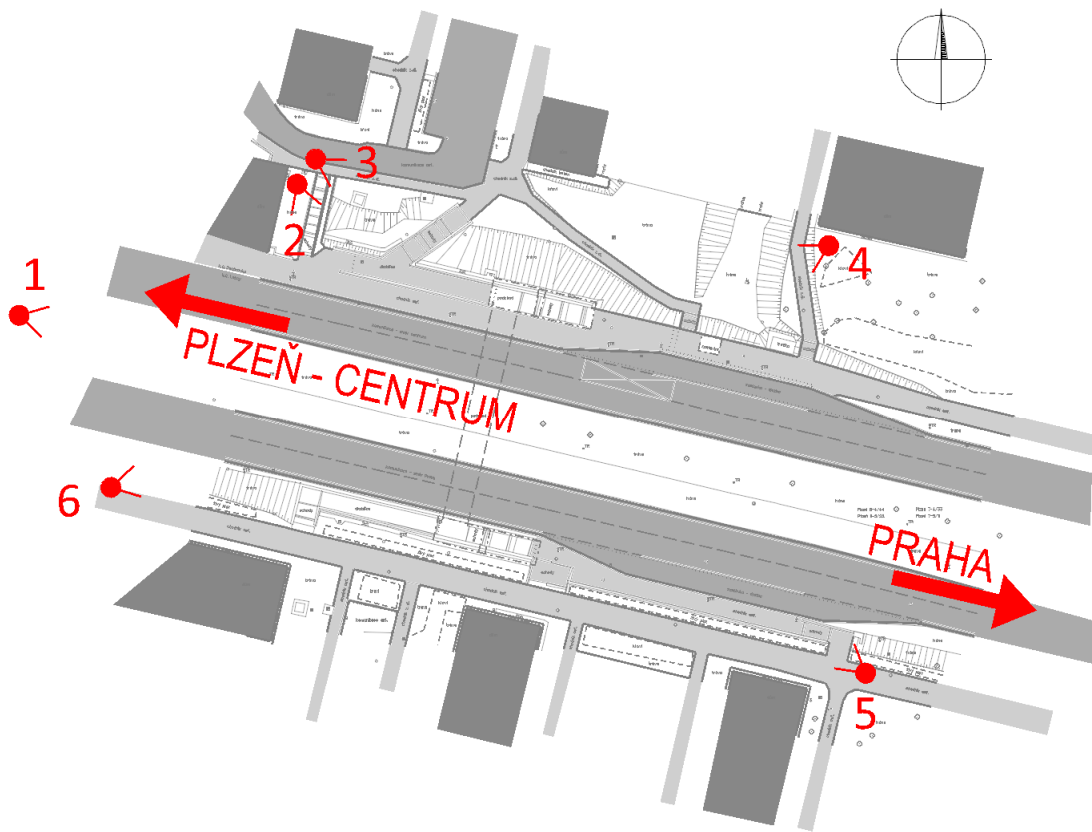


Schéma stanovišť





Fotografie 1



Fotografie 2





Fotografie 3



Fotografie 4





Fotografie 5



Fotografie 6

## Příloha 2 – Vizualizace

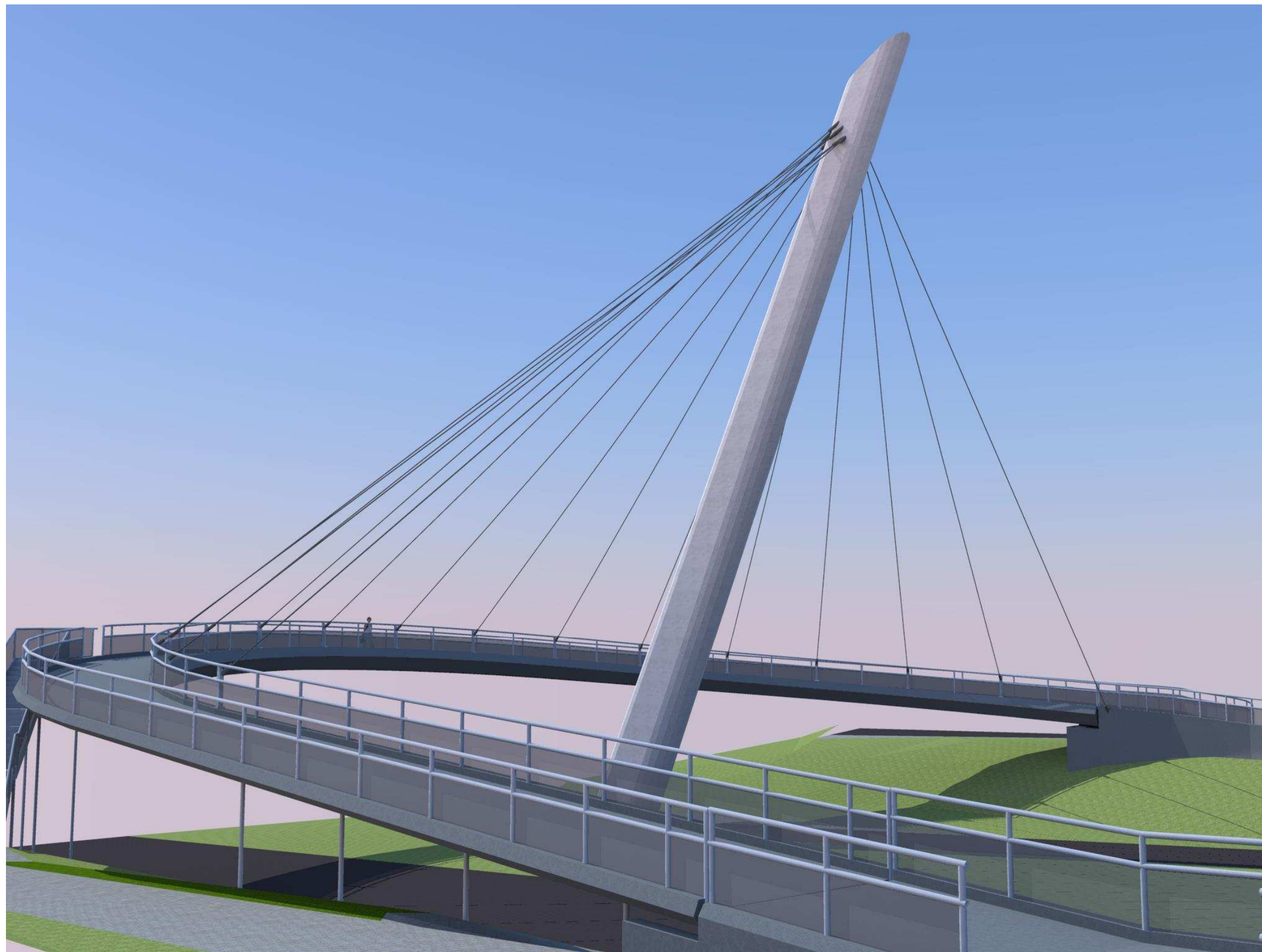
Pro tvorbu modelu vizualizací jsem použil model, ze kterého jsem vytvářel deskostěnový model varianty 1. Tento model jsem doplnil o další hrany a následně mu přidělil plochy a textury. Závěrem jsem vytvořil několik pohledů pro lepší představu mnou navržené konstrukce.

Pohledy 1 až 4 jsou zasazeny do idealizovaného terénu, bez okolních staveb a zeleně. Terén jsem vypracoval ze zaměření. Pohledy 5 a 6 jsou zákresem do fotografie, která byla pořízena v rámci fotodokumentace.

### Seznam pohledů

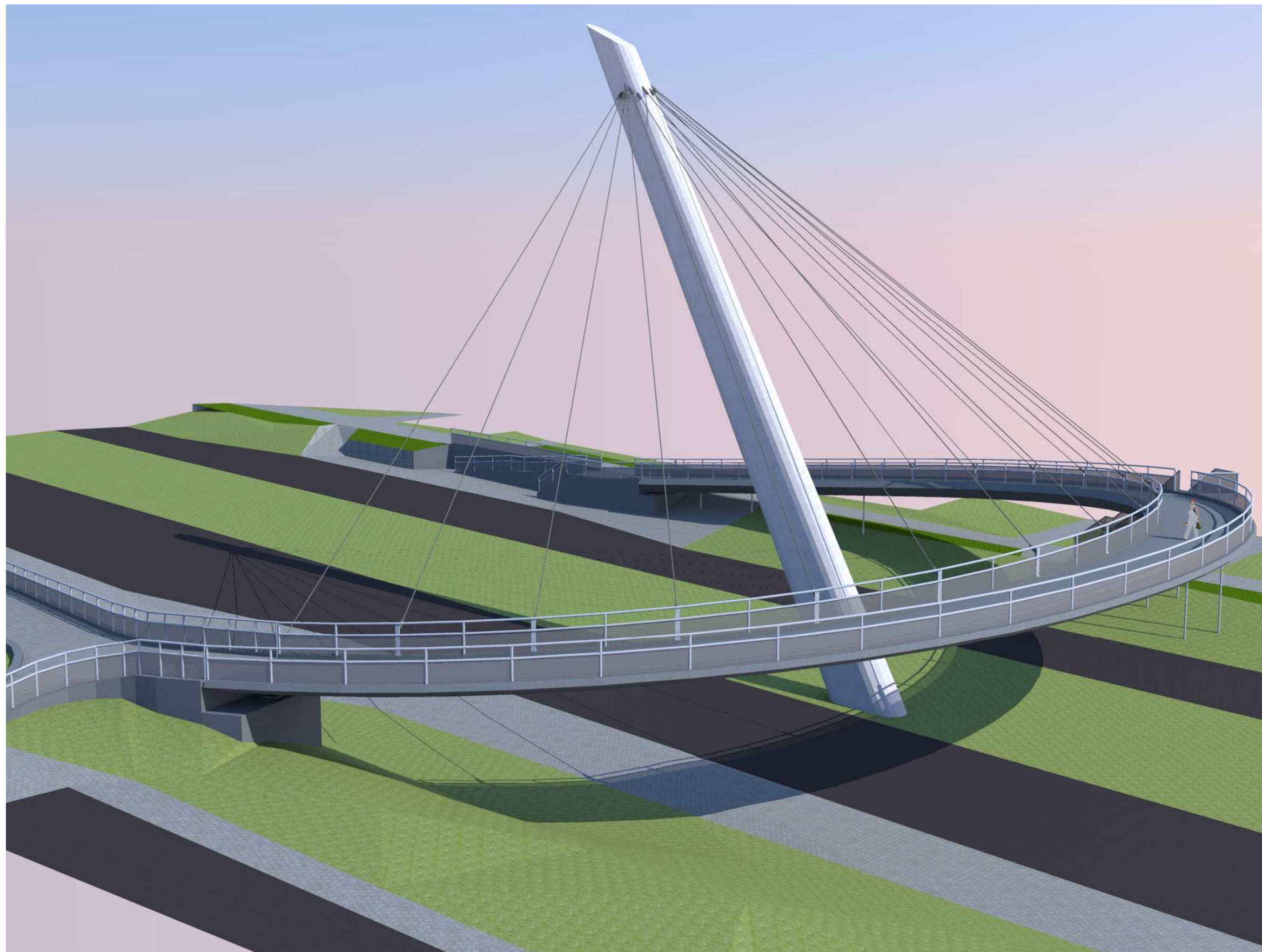
- 3.1. Pohled od jižní opěry
- 3.2. Pohled z domu na severní hraně komunikace
- 3.3. Pohled z lávky na jižní opěru
- 3.4. Pohled pod nosnou konstrukci mostovky
- 3.5. Zákres do fotografie 4
- 3.6. Zákres do fotografie 5





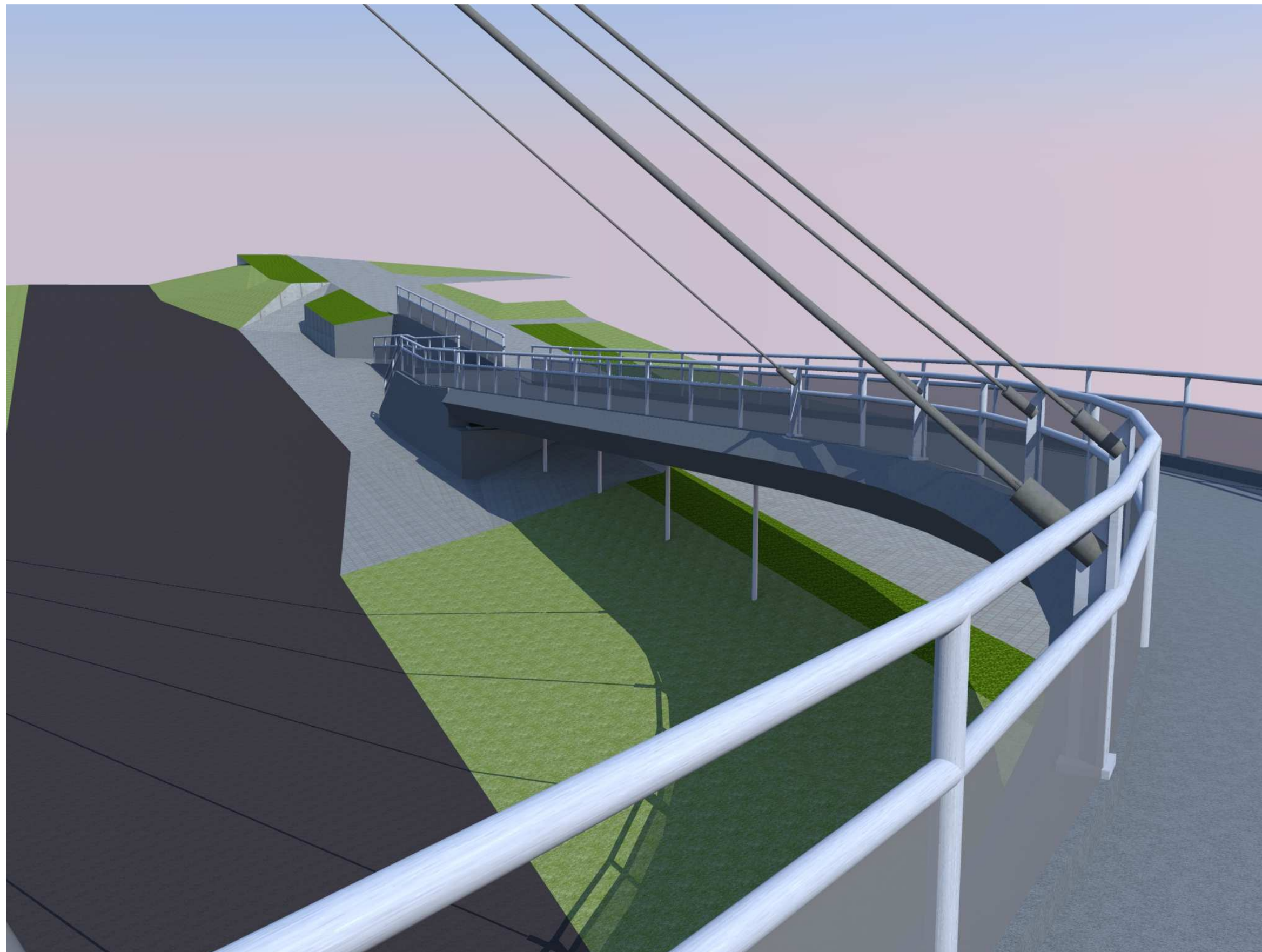
3.1. – Pohled od jižní opěry





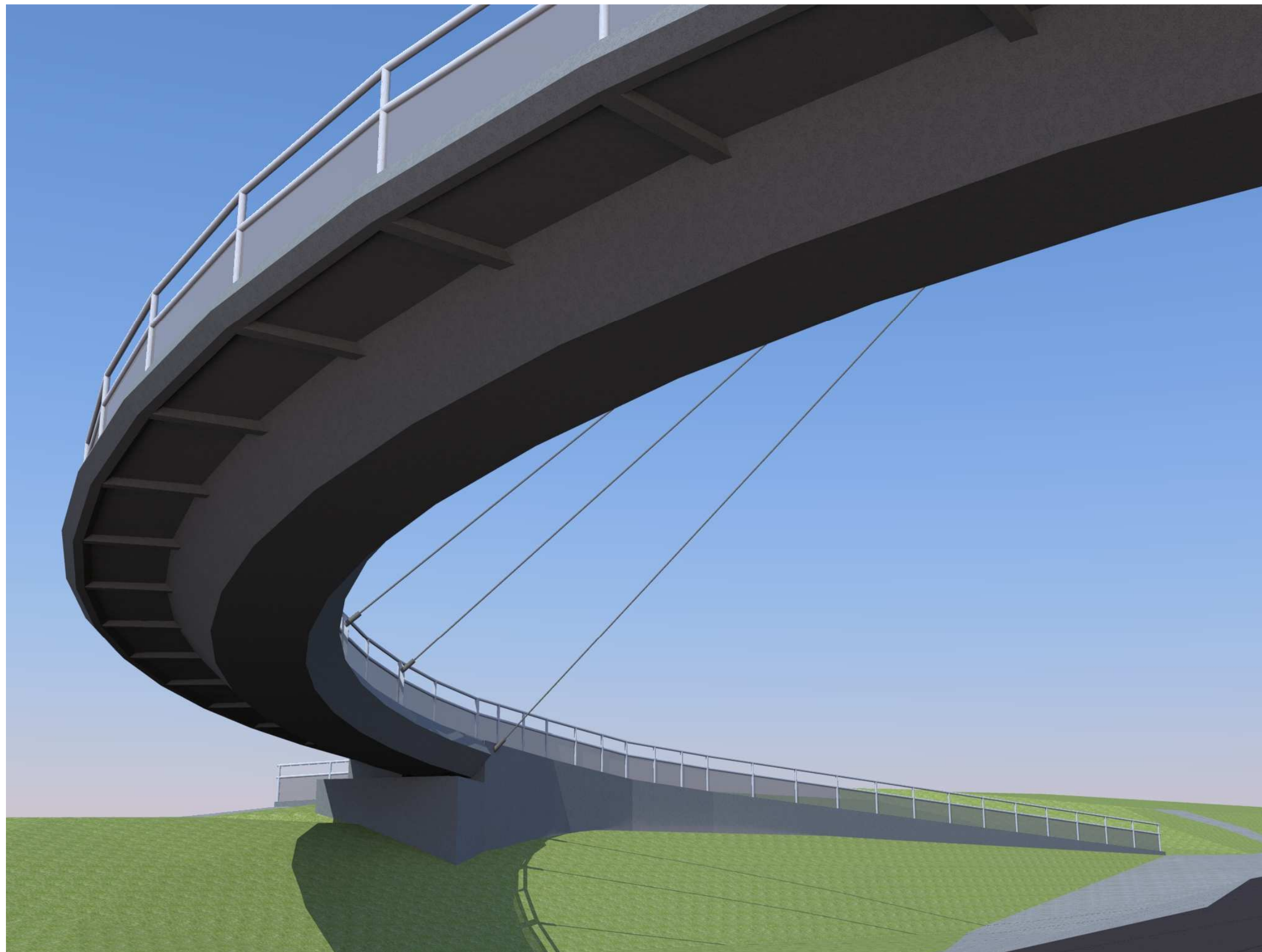
3.2. – Pohled z domu na severní hraně komunikace





3.3. – Pohled z lávky na jižní opěru





3.4. – Pohled pod nosnou konstrukci mostovky





3.5. Zákres do fotografie 4





3.6. Zákres do fotografie 5