



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Katedra betonový a zděných konstrukcí

Návrh lávky pro pěší přes ulici Rokycanská

Design of Pedestrian Bridge over Rokycanská street

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Matyáš Kuba

Studijní program: Stavební inženýrství

Studijní obor: Konstrukce a dopravní stavby

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Michal Drahorád, Ph.D.

Praha 2023

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
 Fakulta stavební
 Thákurova 7, 166 29 Praha 6



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Kuba	Jméno: Matyáš	Osobní číslo: 493991
Zadávací katedra: K11133 - Katedra betonových a zděných konstrukcí		
Studijní program: Stavební inženýrství		
Studijní obor: Konstrukce a dopravní stavby		

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Návrh lávky pro pěší přes ulici Rokycanská	
Název bakalářské práce anglicky: Design of Pedestrian Bridge over Rokycanská street	
Pokyny pro vypracování: Studie technického řešení lávky, výběr vhodné varianty přemostění ulice Rokycanská v Plzni. Návrh nosné konstrukce lávky pro pěší, včetně rámcového ověření spodní stavby a založení.	
Seznam doporučené literatury:	
Jméno vedoucího bakalářské práce: Ing. Michal Drahorád, Ph.D.	
Datum zadání bakalářské práce: 22. 02. 2023	Termín odevzdání bakalářské práce: 22. 5. 2023 <small>Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku</small>
_____ Podpis vedoucího práce	_____ Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

<i>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 nutně 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“.</i>	
22.2.2023 Datum převzetí zadání	_____ Podpis studenta(ky)

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že předložená bakalářská práce na téma „Návrh lávky pro pěší přes ulici Rokycanská“ je původní a zpracoval jsem ji samostatně za použití uvedené literatury a pramenů. Dále prohlašuji, že citace použitých zdrojů je úplná, že jsem ve své práci neporušil autorská práva § 60 zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne

Jméno Příjmení

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval svému vedoucímu bakalářské práce, panu Ing. Michalovi Drahorádovi, Ph.D. za jeho odborné vedení a užitečné rady při zpracování bakalářské práce.

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá návrhem lávky pro chodce přes ulici Rokycanskou v Plzni. První část práce obsahuje rešerši již realizovaných lávek pro pěší a cyklisty. V druhé praktické části je proveden návrh tří konstrukčních řešení předmětné lávky, a jejich následné porovnání. Poslední část práce část se zabývá návrhem vybraného konstrukčního řešení lávky.

Výsledná varianta je tvořena částečně zavěšenou deskovou konstrukcí s půdorysným zakřivením. Nosná konstrukce je ve středním poli nesena ocelovým obloukem, který přechází šikmo přes mostovku.

Abstract

This bachelor thesis deals with the design of a footbridge over Rokycanská Street in Pilsen. The first part of the thesis deals with the research of already realized footbridges. In the second practical part, three design solutions of the footbridge in question were proposed and compared. The next part deals with the design of the selected solution.

The resulting superstructure consists of the cable-stayed plan curved slab pedestrian bridge with RC deck approach structures. This superstructure is supported by a steel arch crossing the bridge deck diagonally.

Klíčová slova

Lávka pro pěší, zakřivená konstrukce, zavěšená konstrukce, beton, ocelobeton, zatížení, namáhání, deformace

Keywords

Footbridge, curved structure, suspended structure, concrete, steel-concrete, load, stress, deformation

1. ÚVOD	10
2. OKRAJOVÉ PODMÍNKY	12
2.1. Půdorysné okrajové podmínky.....	12
2.2. Výškové okrajové podmínky	12
2.3. Opakovaná řešení (R-plány)	12
3. REŠERŠE OBDOBNÝCH KONSTRUKCÍ	13
3.1. Lávky s podobnými okrajovými podmínkami	13
3.1.1. Lávka u Nuselského mostu.....	13
3.1.2. Lávka u Kongresového centra	15
3.1.3. Lávka přes Modřanskou ulici.....	16
3.1.4. Lávka přes ulici Jeremiášova	17
3.1.5. Lávka Hůrka – metro	18
3.1.6. Lávka Hůrka – autobus	20
3.1.7. Most přes trať v Poděbradech	21
3.1.8. Lávka na Spořilov.....	22
3.2. Lávky se zajímavou konstrukcí vhodnou pro řešení lávky	23
3.2.1. Lávka u Kameňáku	23
3.2.2. Rail Flow Bridge.....	24
3.2.3. Taplow lávka	24
3.2.4. Lávka v Českých Budějovicích	25
3.2.5. Lávka přes Olši v Českém Těšíně.....	25
4. SITUAČNÍ ŘEŠENÍ	26
4.1. Varianta 1	26
4.1.1. Směrové řešení.....	26
4.1.2. Výškové vedení.....	27
4.1.3. Příčný řez řešení 1	27
4.1.4. Příčný řez řešení 2	28
4.2. Varianta 2	29

4.2.1.	Směrové vedení.....	29
4.2.2.	Výškové vedení.....	29
4.2.3.	Příčný řez řešení 1	30
4.2.4.	Příčný řez řešení 2	30
4.3.	Varianta 3.....	31
4.3.1.	Směrové řešení.....	31
4.3.2.	Výškové vedení.....	32
4.3.3.	Příčný řez řešení 1	32
4.3.4.	Příčný řez řešení 2	33
5.	POROVNÁNÍ VARIANT	34
5.1.	Klady a zápory varianty 1	34
5.1.1.	Řešení 1	34
5.1.2.	Řešení 2	34
5.2.	Klady a zápory varianty 2	34
5.2.1.	Řešení 1	34
5.2.2.	Řešení 2	35
5.3.	Klady a zápory varianty 3	35
5.3.1.	Řešení 1	35
5.3.2.	Řešení 2	35
6.	VOLBA KONSTRUKCE	36
6.1.	Řešení problému průchozího profilu	36
6.1.1.	Oboustranné závěsy.....	37
6.1.2.	Jednostranné závěsy	39
6.1.3.	Výběr varianty	40
7.	MATERIÁLOVÉ CHARAKTERISTIKY	41
7.1.	Beton	41
7.2.	Ocel.....	41
7.3.	Betonářská výztuž	41
8.	ZATÍŽENÍ	42

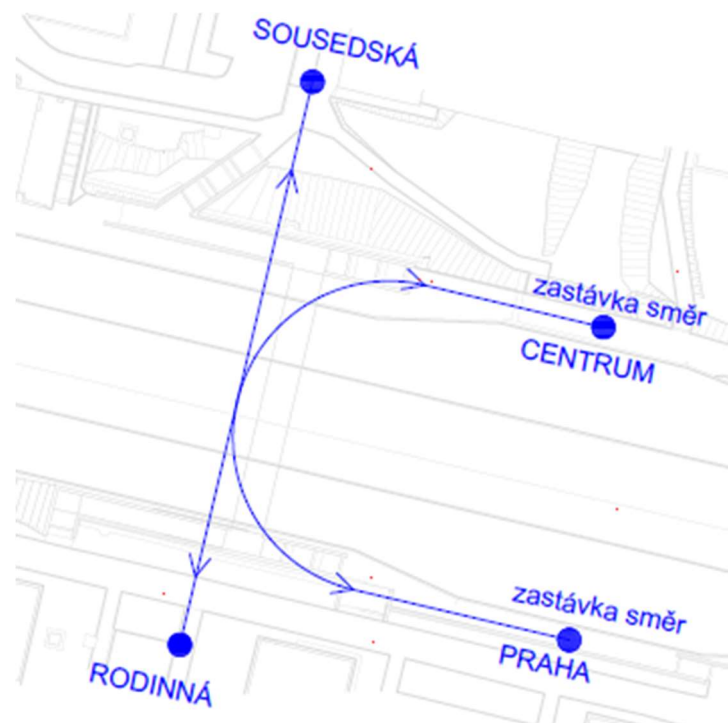
8.1. Stálé zatížení	42
8.1.1. Vlastní tíha.....	42
8.1.2. Ostatní stálé	42
8.1.3. Pokles podpor	42
8.2. Proměnné zatížení	43
8.2.1. Chodci.....	43
8.2.2. Teplota	45
8.2.3. Sníh.....	46
8.2.4. Vítr.....	47
8.3. Kombinace	49
8.3.1. Mezní stav únosnosti	49
8.3.2. Mezní stav použitelnosti	50
8.3.3. Mezní stav omezení průhybu	51
9. OVĚŘENÍ PRŮŘEZŮ	52
9.1. Oblouk	52
9.1.1. Posudek spřaženého průřezu	52
9.2. Průřez mostovky	55
9.2.1. Vyztužení a posudek.....	56
9.3. Lana	57
9.3.1. Rektifikace lan	57
10. ZALOŽENÍ	58
11. ZÁVĚR	60
12. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	61
13. SEZNAM OBRÁZKŮ	63

1. Úvod

Zadáním práce je návrh lávky pro pěší v Plzni přes ulici Rokycanská. Po ulici Rokycanská je vedena dopravně frekventovaná komunikace I/26. Lávka bude spojovat ulice Sousedská a Rodinná a zároveň propojí stávající zástavbu s trolejbusovou zastávkou Letná v obou směrech.

Návrh se provádí, protože stávající řešení zajištěné podchodem je pro chodce nevyhovující. Podchod nedisponuje dostatečným osvětlením, trasa je vedena ostrými lomy a na procházející osoby působí nepříjemným a stísněným dojmem. Chodci si z těchto důvodů cestu zkracují přes komunikaci, čímž ohrožují sebe i provoz na komunikaci.

V rámci návrhu budou respektovány požadavky investora. Stávající komunikace I/26 bude ponechána v šířkovém uspořádání beze změny. Lávka bude navržena v minimální průchozí šířce 3,5 metru s bezbariérovým přístupem ze stávající zástavby i z trolejbusových zastávek Letná. Lávka bude uzpůsobena pro pohyb chodců a cyklistů, a proto je nutné v návrhu dodržovat minimální poloměry zaoblení.



Obrázek 1 - Spojení hlavních bodů



Obrázek 2 - Rampa do stávajícího podchodu



Obrázek 3 - Stávající podchod

2. Okrajové podmínky

2.1. Půdorysné okrajové podmínky

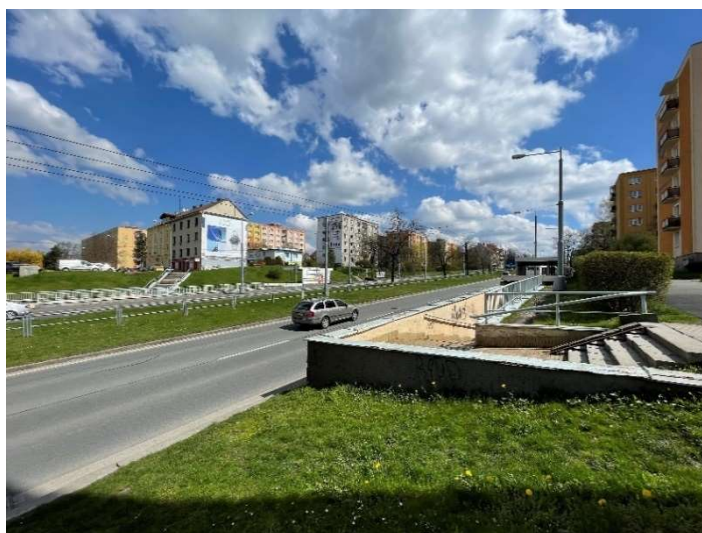
- Bezbariérové propojení ulic Rodinná a Sousedská, trolejbusových zastávek Letná
- Zachování stávající zástavby
- Zachování šířkového uspořádání silnice I/26
- Zachování polohy zastávek
- Využití lávky cyklisty
- Minimální světlá šířka lávky 3,5 m

2.2. Výškové okrajové podmínky

- Minimální průjezdná světlá výška požadovaná normou (4,8 m nad niveletou)
- Výška stávajícího trakčního trolejbusového vedení je 5,7 m nad niveletou
- Výškový rozdíl mezi zastávkami trolejbusu a úrovní chodníku (nástupní prostor)
- Stavební výška samotné lávky
- Podélný sklon ulice Rokycanská (stoupá ve směru na Prahu)

2.3. Opakovaná řešení (R-plány)

- Minimální vzdálenost hrany opěry/pilíře od vnější hrany svodidla
- Prostory pro svodidla u nadjezdů R95 viz. Příloha



Obrázek 4 - Pohled na ulici Rokycanská ve směru do Prahy

3. Rešerše obdobných konstrukcí

Z důvodu inspirace byla provedena rešerše lávek s podobnými okrajovými podmínkami či s konstrukčním řešením vhodným pro ulici Rokycanská v Plzni. Pozornost byla věnována zejména lávkám půdorysně zakřiveným ve stísněných podmínkách měst.

Zabýval jsem se zejména hledáním zajímavých řešení v Praze a dále jsem hledal v České republice, ale i ve světě. Většinu pražských níže zmiňovaných řešení lávek jsem navštívil a pořídil jejich přehlednou fotodokumentaci.

3.1. Lávky s podobnými okrajovými podmínkami

3.1.1. Lávka u Nuselského mostu

Lávka se nachází u stanice metra Vyšehrad na konci Nuselského mostu v Praze přes ulici 5. května a spojuje přilehlý hotel a Kongresové centrum. Její spirálovité rampy jsou směřovány jak pro přilehlé budovy, tak pro pohodlný přístup k protilehlým nástupištím metra. Její mírný sklon a velké poloměry zakřivených ramp splňují kritéria pro bezbariérový přístup a vedení cyklostezky. Hlavní důvod realizace lávky je zajištění bezpečného přechodu chodců přes velmi dopravně vytíženou ulici 5. května.

Jedná se o ocelovou, komorovou konstrukci s ortotropní mostovkou. Hlavní pole je uloženo kloubově na dvou železobetonových pilířích umístěných v bezpečné vzdálenosti od hrany vozovky. Na hlavní pole jsou z obou stran napojené spirálovité rampy, které jsou uloženy na kyvných ocelových stojkách.

Lávka je takto řešena hlavně z důvodů velké délky ramp, spirálovitá konstrukce ušetří prostor v okolí a zajistí komfortní podélný sklon k bezbariérovému užití. Podobné situační i statické řešení lze využít u řešené lávky v Plzni.



Obrázek 5 - Pohled na rampu u Nuselského mostu



Obrázek 6 - Pohled na mostovku a stěnový pilíř lávky u Nuselského mostu

3.1.2. Lávka u Kongresového centra

Lávka se nachází poblíž Kongresového centra v Praze a je vedena přes Pankrácké náměstí. Spojuje Kongresové centrum se stanicí metra Vyšehrad na jedné straně se zástavbou a občanskou vybaveností na straně druhé.

Lávka je monolitická železobetonová, desková konstrukce s předpjatým žebrem uprostřed, které je pomocí žebra vystupující na povrch vetknuta do přilehlého terénu na straně Kongresového centra a z druhé strany je podepřena železobetonovým pilířem. Za pilířem se lávka rozděluje na dvě zakřivené rampy, které šikovně spojují ulice 5. května a Štětškova s lávkou, a také s Kongresovým centrem a stanicí metra. Tyto rampy jsou podepřeny ocelovými poddajnými (kynnými) stojkami

Lávka je ve většině délky vedena přímo a její oblouky pro napojení na rampy jsou dostatečné pro vedení cyklostezky. Tato myšlenka velkých poloměrů a mírného sklonu je užitečná pro problematiku řešené lávky v Plzni.



Obrázek 7 - Pohled na mostovku lávky u Kongresového centra



Obrázek 8 - Rampy lávky u Kongresového centra

3.1.3. Lávka přes Modřanskou ulici

Lávka se nachází u křižovatky ulic Modřanská, V Hodkovičkách a V Náklích. Hlavním úkolem lávky je přemostění a bezpečné převedení chodců přes ulici Modřanská od tramvajové zastávky Černý Kůň k přilehlé zástavbě.

Lávka je tvořena železobetonovým T-průřezem uloženým na dvou opěrách a železobetonových pilířích, které jsou s nosnou konstrukcí zmonolitněny. Lávka se za posledním pilířem rozděluje na schodiště a na bezbariérovou rampu, která je z důvodu své délky rozdělena na šikmé a vodorovné úseky pro pohodlný bezbariérový přístup. Toto řešení u problému řešené lávky, nabízí možnost rozdělení části pro bezbariérový přístup na rampu a schodiště.



Obrázek 9 - Pohled na Lávku přes Modřanskou ulici. Převzato www.google.com/maps

3.1.4. Lávka přes ulici Jeremiášova

Lávka se nachází na Praze 13 a je vedena přes ulici Jeremiášova. Lávka spojuje sídliště Luka a občanskou vybavenost s novou zástavbou z druhé strany ulice, kde byly vybudovány nové obytné domy.

Tato lávka je železobetonový T-průřez uložený na opěře na straně sídliště Luka a dvou pilířích, středový pilíř je s nosnou konstrukcí zmonolitněn a druhý odděluje samotnou konstrukci lávky od rampy. Rampa je zde lomena a vedena přímými úseky z důvodu velkého výškového rozdílu mezi niveletou lávky a terénu k nim přilehlého. Konstrukce rampy je tvořena železobetonovou konstrukcí podepřenou tuhými železobetonovými, kruhovými stojkami.

Rampa je tvořena ostrými lomy, a proto není vhodná pro cyklisty. Díky častým lomům a změnám výškového vedení odpovídá bezbariérovým podmínkám vedení chodníku.

Pro mé řešení tato lávka přináší v problematice velkých výškových rozdílů, které bych mohl využít pro přímé spojení chodníku.



Obrázek 10 - Pohled na lávku přes ulici Jeremiášova



Obrázek 11 - Pohled na lomenou rampu lávky přes ulici Jeremiášova

3.1.5. Lávka Hůrka – metro

Lávka se nachází poblíž stanice metra Hůrka a zajišťuje bezpečné a bezbariérové propojení sídliště Nové Butovice s Centrálním parkem, dětským hřištěm a autobusovou zastávkou.

Jedná se o ocelovou, trémovou, komorovou konstrukci, která svým tvarem a barvou zapadá do konceptu tunelového mostu pro metro ze zmíněné stanice Hůrka do stanice Lužiny. Lávka je uložena na dvou opěrách a třech tuhých železobetonových pilířích s ložisky. Opěra na straně stanice metra je umístěna do vysokého násypu, tudíž je dostatečně vysoko pro bezproblémové překonání ulice Pod Hranicí, niveleta lávky se tedy snižuje až za hranicí překonávané komunikace do úrovně terénu parku. Výškové vedení je zajištěno rampou, vedenou v oblouku o poloměru zhruba 10 m. Rampa je vedena mírným sklonem, čímž je vhodná jak pro chodce, tak cyklisty.

Tato lávka je příkladem, jak lze navrhnout konstrukci, aby dobře zapadala do okolí a nerušila svým vzhledem.



Obrázek 12 - Pohled na rampu lávky Hůrka – metro



Obrázek 13 - Pohled na mostovku lávky Hůrka – metro

3.1.6. Lávka Hůrka – autobus

Lávka se nachází v Praze Stodůlkách, poblíž výše uvedené lávky Hůrka. Tato lávka zajišťuje bezpečný a bezbariérový přechod přes ulici Pod Hranicí a spojuje městskou zeleň Centrální park a sídlištěm Nové Butovice. Dále slouží i jako propojení autobusových zastávek Hůrka.

Konstrukčně se jedná o železobetonový T-průřez, který je uložen v přímé části na třech tuhých železobetonových pilířích s ložisky a v zakřivené části rampy poddajnými ocelovými pruty.

Lávka od strany sídliště začíná na vysokém násypu a je vedena v přímé až po konec přemostění ulice, kde přechází v zakřivenou rampu, která končí na přilehlém chodníku ulice Pod Hranicí. Lávka splňuje minimální poloměry pro vedení cyklostezky.

Z tohoto řešení lze využít napojení na vysoký násyp.



Obrázek 14 - Pohled na mostovku s rampou lávky Hůrka – autobus



Obrázek 15 - Pohled na rampu lávky Hůrka – autobus

3.1.7. Most přes trať v Poděbradech

Tento most se nachází v Poděbradech, mezi ulicí Za Nádražím a ulicí Alešova a propojuje ulici Mánesova s Koutecká. Most zde slouží jako mimoúrovňové křížení přes velmi frekventovanou železniční trať.

Nosnou konstrukci tvoří půdorysně zakřivená podélně předpjatá monolitická betonová deska, která je podepřena ocelovými stojkami vyplněnými betonem. Dva pilíře, které podepírají most přes kolejiště, jsou pevné a ostatní jsou opatřeny klouby. Fungují tedy jako kyvné pruty a zajišťují tak bezpečné fungování konstrukce při deformacích konstrukce vlivem změny teploty.

Most je v půdorysu veden do písmena U a vzhledem k blízké lázeňské oblasti byl kladen velký důraz na jeho estetický vzhled, tak aby nerušil okolí svou mohutností, a proto byla zvolena zmíněná konstrukce s konstrukční výškou 900 mm.

Tento most je sice navržen pro automobilovou dopravu, ale ukazuje, jakým způsobem lze dosáhnout potřebné výšky nad trakčním vedením, při mírném stoupání nivelety.



Obrázek 16 -Silniční most přes koridor v Poděbradech
<https://www.smp.cz/most-pres-zeleznicni-trat-ceskych-drah-podebrady-1566>

3.1.8. Lávka na Spořilov

Lávka se nachází poblíž stanice metra Spořilov. Lávka slouží jako spojnice zástavby na severní straně se stanicí metra, občanskou vybaveností a vedení cyklostezky.

Konstrukce v oblasti nad komunikací je výškově zakřivena a je tvořena železobetonovým komorovým dodatečně předpjatým průřezem. Za komunikací na jižní straně lávka přechází do spirálovité konstrukce, která je tvořena železobetonovou deskou tvořící rampu. Rampa je podepřena ocelovými kyvnými stojkami, zatím co samotná konstrukce lávky je na severní straně vetknuta do mohutné železobetonové opěry a na jižní straně pevně kloubově upevněna k železobetonovému pilíři.

Lávka na severní straně přirozeně navazuje na současný terén, poté konstrukce překonává komunikaci v přímé. Za posledním pilířem lávka přechází v rampu, která se díky svému spirálovitému tvaru hladce napojuje na stávající terén a cyklostezku. Díky příjemné konstrukci zakomponované do okolí a mírnému sklonu je ideálním místem pro přechod chodců i vedení cyklostezky.

Tato lávka řeší problém hladkého napojení na současný terén a pohodlný přístup i pro cyklisty.



Obrázek 17 - Pohled na mostovku lávky na Spořilově



Obrázek 18 - Pohled na rampu lávka na Spořilově

3.2. Lávky se zajímavou konstrukcí vhodnou pro řešení lávky

3.2.1. Lávka u Kameňáku

Tato lávka ukazuje výhodné řešení pro překonání komunikace, kde je potřeba dostat niveletu lávky vysoko nad hranu komunikace v mírném sklonu, konstrukce umožňuje zkrácení či prodloužení náběhových ramp vzhledem k okrajovým podmínkám.



Obrázek 19 - Lávka u Kameňáku

https://www.idnes.cz/plzen/zpravy/lavka-stavba-kamenny-rybnik-plzen-tremosna-silnice-komunikace.A200827_567546_plzen-zpravy_vb/foto/VB83b1ef_142758_4111286_1.jpg

3.2.2. Rail Flow Bridge

Tato konstrukce lávky je hezkým a pohodlným řešením vedení přes trať. Je to podobné řešení jako most v Poděbradech zmíněný výše. Je zde poměrně velká variabilita konstrukčních řešení v rámci příčného řezu i podepření konstrukce. Řešení umožňuje prodloužení nebo zkrácení ramp v závislosti na okrajových podmínkách a požadavcích na sklon rampy, stejně jako předešlá lávka.



Obrázek 20 - Rail Flow Bridge

<https://www.networkrail.co.uk/industry-and-commercial/research-development-and-technology/research-and-development-programme/innovative-modular-footbridge-design/>

3.2.3. Taplow lávka

Tato lávka představuje možné řešení nosné konstrukce s poměrně nízkou konstrukční výškou. Při které je potřeba myslet na ukotvení konců oblouků. Konstrukce je zde ocelová, ale je zde možnost podobného řešení s využitím UHPC.



Obrázek 21 - Lávka Taplow

<https://ianfirth.com/projects/taplow-footbridge-uk>

3.2.4. Lávka v Českých Budějovicích

Nosná konstrukce je vedena nad mostovkou, čím lze snížit stavební výšku a získat tím potřebný prostor mostem. Most využívá pevných závěsů, které jsou méně nákladné na údržbu.



Obrázek 22 - Lávka v Českých Budějovicích

3.2.5. Lávka přes Olši v Českém Těšíně

Lávka přes Olši má velmi podobné konstrukční řešení jako lávka v Českých Budějovicích, ovšem s využitím netuhých závěsů. Tato lávka řeší i problém půdorysného oblouku, což mi ukazuje možné řešení pro některou z mých variant vedení trasy. Závěsy jsou zde oproti mostu v Českých Budějovicích více nákladné na údržbu.



Obrázek 23 - Lávka přes Olši

<https://www.casopisstavebnictvi.cz/clanky-sportmost-hranicni-lavka-pres-reku-olsi.html>

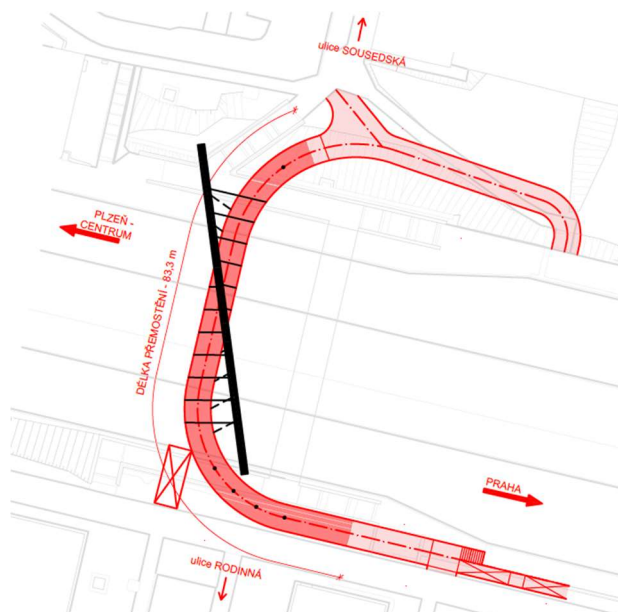
4. Situační řešení

Pro dané zadání byla vypracována řada variant pro situační řešení, ze kterých byly následně vybrány tři, které danou problematiku okolí řešené lávky nejlépe řeší. Tyto varianty byly následně rozebrány a vytvořeny jejich podrobnější řešení.

4.1. Varianta 1

4.1.1. Směrové řešení

Tato varianta na severní straně vede po stávajícím chodníku, propojující zastávku a ulici Sousedská. Chodník bude pro tuto variantu rozšířen na minimální světlu šířku 3,5 m z důvodu plynulého napojení na konstrukci lávky. Na lávku povede přímý bezbariérový příchod z ulice Sousedská s možností napojení se na rampu vedoucí k zastávce. Připojení ulice Sousedská je realizováno jako rampa a je napojeno oblouky k rampě předcházející konstrukci lávky. Směrové zaoblení na lávce je řešeno za respektování minimálních poloměrů pro vedení cyklostezky. Na druhé straně tedy na jižní se konstrukce napojí na rampu, která bude propojovat stávající chodník nad opěrnou zídou a chodníkem u zastávky. Tato rampa je rozdělena na část se schodištěm a část s rampou o sklonu 1:12 s mezi přímou o délce dva metry. Rampa je vedena přes stávající schodiště, které bude zrušeno. Na jižní straně je možnost propojení chodníku, lávky a chodníku nad opěrnou zídou pomocí schodiště nebo výtahu (*proškrtnutý obdélníček*).



Obrázek 24 - Situační řešení Varianta 1

4.1.2. Výškové vedení

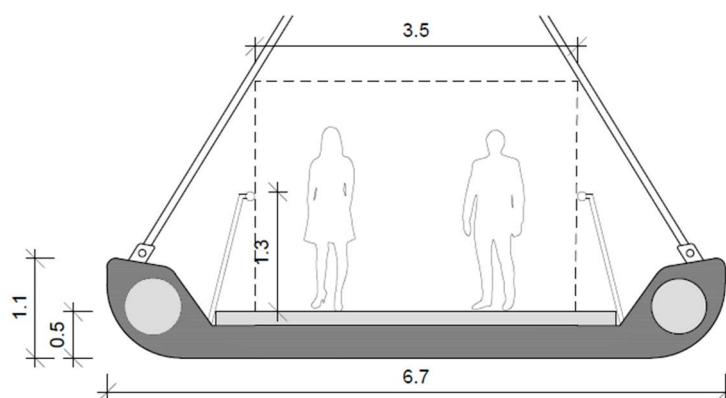
Lávka na zastávce ve směru do Prahy, bude začínat rampou o již zmíněném sklonu 1:12 a schodištěm pro zkrácení přístupu. Souběžně se rampa se schodištěm dostane do výšky stávajícího chodníku nad opěrnou zídkou, kde vznikne nové připojení. Od připojení rampa stoupá dále ve sklonu 1:12 přechází na nosnou konstrukci lávky, kde sklon pokračuje až po vrchol. Nosnou konstrukci tvoří oblouk, který je veden půdorysně šikmo přes lávku. Z oblouku vedou tažené prvky, které konstrukci lávky nesou. Rozměry konstrukce jsou odvozeny poměrným měřením z již vybudovaných lávek a mostů.



Obrázek 25 - Podélný řez Varianta 1

4.1.3. Příčný řez řešení 1

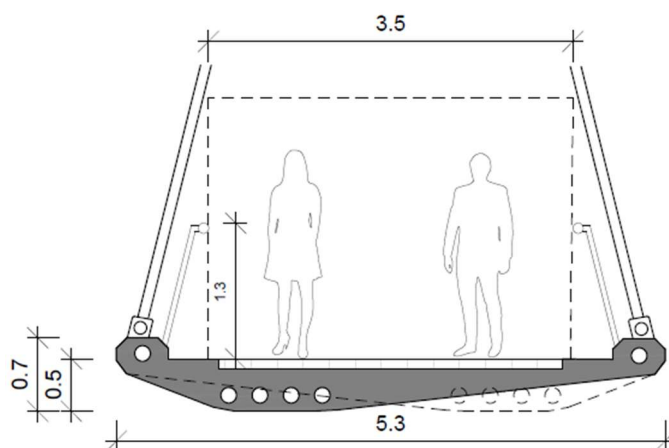
V první variantě je využito ocelové ortotropní konstrukce, kde hlavními nosnými prvky jsou dvě podélně vedené trubky propojené ortotropní mostovkou. Kolem trubek je navařena konstrukce, která umožňuje uchycení zábradlí a závěsů. Zvolil jsem zde poddajné ocelové závěsy, uchycené k mostovce čepem.



Obrázek 26 - Příčný řez 1 Varianty 1

4.1.4. Příčný řez řešení 2

Druhá varianta má obdobné řešení jako předešlá, s využitím konstrukce z UHPC materiálu, kde hlavním nosným prvkem je nesymetricky vedený náběh, který se v průběhu mostovky přesouvá na druhou stranu, aby zajistil potřebnou prostorovou tuhost a zároveň torzní tuhost. Náběh je blíže ke straně s delšími závěsy. Výstavba by probíhala po segmentech, kde jejich vzájemné propojení zajišťuje šest předepjatých lan. Závěsy jsou k mostovce upevněny stejně jako v předešlé variantě, a to pomocí čepu.

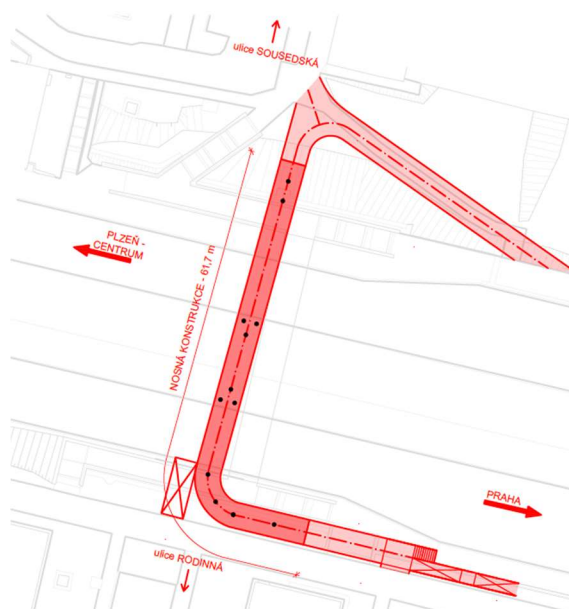


Obrázek 27 - Příčný řez 2 Varianty 1

4.2. Varianta 2

4.2.1. Směrové vedení

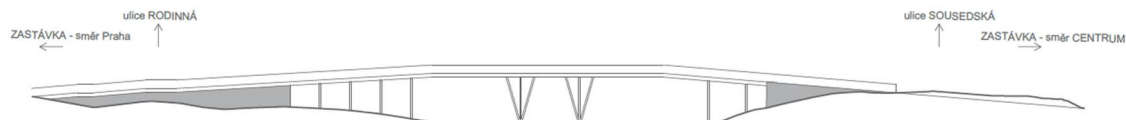
Tato varianta na severní straně vede po stávajícím chodníku, propojující zastávku a ulici Sousedská. Chodník bude pro tuto variantu rozšířen na minimální světlou šířku 3,5 m z důvodu plynulého napojení na konstrukci lávky. Na lávku povede přímý bezbariérový příchod z ulice Sousedská s možností napojení na rampu vedoucí k trolejbusové zastávce směrem do centra Plzně. Na jižní straně u ulice Rodinná se konstrukce lávky napojí na rampu stejných parametrů jako v předešlé variantě. Konstrukce vychází z empirických vztahů a to $(1/20 - 1/35) L$. Na jižní straně je možnost propojení chodníku, lávky a chodníku nad opěrnou zídou pomocí schodiště nebo výtahu (*proškrty obdélníček*).



Obrázek 28 - Situační řešení Varianta 2

4.2.2. Výškové vedení

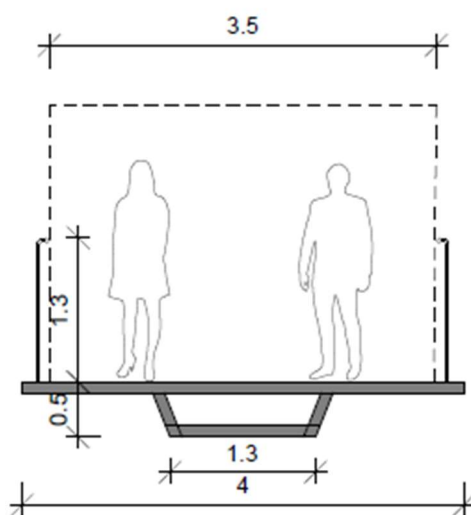
Lávka na zastávce směrem do Prahy, bude začínat rampou o již zmíněném sklonu 1:12 a schodištěm pro kratší přístup. Souběžně se rampa se schodištěm dostane do výšky stávajícího chodníku nad opěrnou zídou, kde vznikne nové připojení. Od připojení rampa stoupá dále ve sklonu 1:12 a přechází na nosnou konstrukci lávky, kde sklon pokračuje až po vrchol. Nosnou konstrukci zde tvoří spojitý nosník s dvěma opěrami a jedním pilířem uprostřed dělicího pásu.



Obrázek 29 - Podélný řez Varianta 2

4.2.3. Příčný řez řešení 1

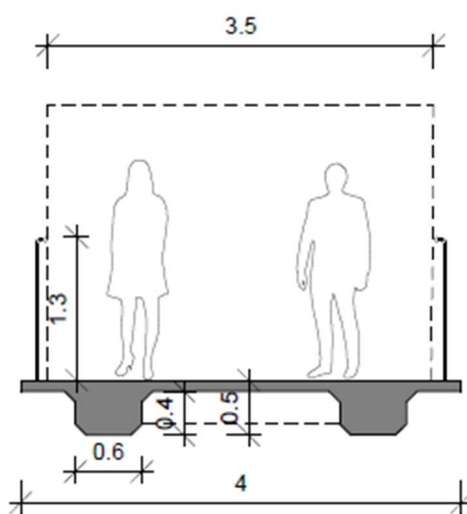
První varianta je symetrická ocelová komorová konstrukce s ortotropní mostovkou, nebo se spřaženou betonovou deskou.



Obrázek 30 - Příčný řez 1 Varianty 2

4.2.4. Příčný řez řešení 2

Druhým možným řešením je využití UHPC nebo HPC betonu. Konstrukci by tvořily podélné trávy po celé délce, které společně vytváří průřez TT, doplněný o příčníky v místě podpor, zajišťující tuhost průřezu.

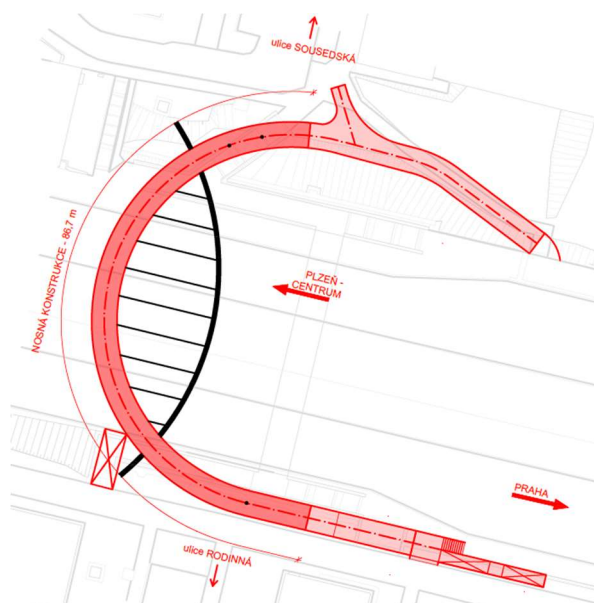


Obrázek 31 - Příčný řez 2 Varianty 2

4.3. Varianta 3

4.3.1. Směrové řešení

Tato varianta řešení na severní straně vede po stávajícím chodníku, propojující zastávku a ulici Sousedská, který bude i pro tuto variantu rozšířena na minimální světlostou šířku 3,5 m z důvodu plynulého napojení na konstrukci lávky. Na lávku vede přímý bezbariérový příchod z ulice Sousedská s možností napojení se na rampu vedoucí k zastávce. Připojení ulice Sousedská je realizováno jako rampa a je napojeno oblouky k rampě předcházející konstrukci lávky. Směrové zaoblení na lávce je řešeno za respektování minimálních poloměrů pro vedení cyklostezky. Samotná konstrukce lávky je vedena ve směrovém oblouku konstantního poloměru. Směrový oblouk nabízí plynulé stoupání a klesání. Na jižní straně u ulice Rodinná se konstrukce lávky napojuje na rampu stejných parametrů jako v obou výše zmíněných variantách. Rozměry konstrukce jsou odvozeny poměrným měřením z již vybudovaných lávek a mostů. Na jižní straně je možnost propojení chodníku, lávky a chodníku nad opěrnou zídrou pomocí schodiště nebo výtahu (*proškrtnutý obdélníček*).



Obrázek 32 - Směrové řešení Varianta 3

4.3.2. Výškové vedení

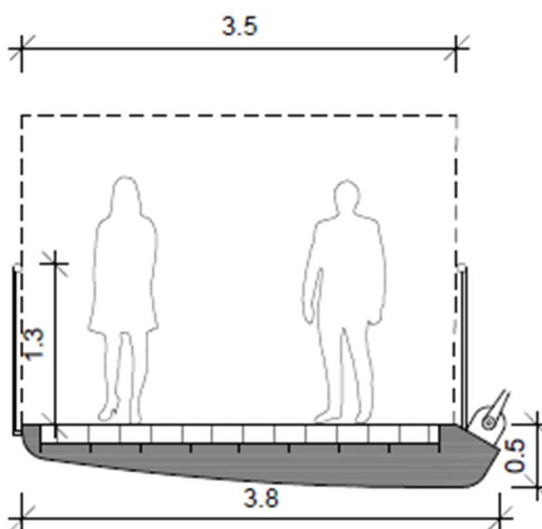
Lávka na zastávce směrem do Prahy, bude začínat rampou o již zmíněném sklonu 1:12 a schodištěm pro kratší přístup. Souběžně se rampa se schodištěm dostane do výšky stávajícího chodníku nad opěrnou zídou, kde vznikne nové připojení. Od připojení rampa stoupá dále ve sklonu 1:12 a po 11 m přechází na nosnou konstrukci lávky, kde sklon pokračuje až po vrchol, z druhé strany je sklon rampy veden ve sklonu 1:18. Nosnou konstrukci zde tvoří oblouk, který je orientovaný opačným směrem než směrový oblouk vlastní mostovky lávky. Tato konstrukce vyvažuje mostovku svou vlastní vahou. Mostovka je mezilehlá. Oblouk je umístěný ve vzdálenosti od vozovky dle R – plánu.



Obrázek 33 - Podélný řez Varianta 3

4.3.3. Příčný řez řešení 1

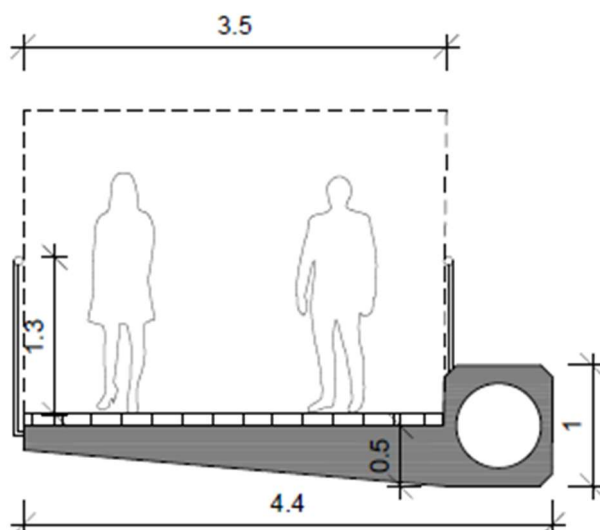
Tuto variantu tvoří ocelové nosníky s betonovou deskou. Samotný ocelový průřez zajišťuje torzní tuhost a deska pomáhá k celkové tuhosti. Je zde využito poddajného závěsu, který je ke konstrukci připojen pomocí čepu.



Obrázek 34 - Příčný řez 1 Varianta 3

4.3.4. Příčný řez řešení 2

V druhé variantě řešení je využita podélná ocelová trubka s betonovými příčníky. Opět je zde snaha o torzně tuhý průřez, z důvodu jednostranného zavěšení, které zde tvoří tuhý ocelový závěs.



Obrázek 35 - Příčný řez 2 Varianta 3

5. Porovnání variant

Po vypracování tří výše uvedených variant, bylo provedeno jejich porovnání. V porovnání byl kladen důraz na finanční nákladnost, ale i složitost provedení jednotlivých konstrukcí.

5.1. Klady a zápory varianty 1

- + Komfortní trasa
- + Esteticky a technicky zajímavá konstrukce
- + Bez podpor ve středním dělicím páse
- Vyšší stavební náklady
- Náročné provádění
- Náročnější údržba

5.1.1. Řešení 1

- + Menší stavební výška
- Vysoké investiční nároky – ortotropní mostovka

5.1.2. Řešení 2

- Větší stavební výška
- Vysoké investiční náklady – UHPC materiál

5.2. Klady a zápory varianty 2

- + Nejpřímější řešení
- + Variabilita umístění zábradlí
- + Bez vystupujících konstrukcí
- Podpory ve středním dělicím páse
- Esteticky nezajímavá konstrukce
- Největší lomy vedení – malé oblouky

5.2.1. Řešení 1

- + Rychlost osazení ocelové konstrukce

5.2.2. Řešení 2

- + Nízká stavební výška
- + Využití prefabrikátu
- Tvarově složitá konstrukce

5.3. Klady a zápory varianty 3

- + Esteticky a technicky zajímavé řešení
- + Vysoký komfort trasy
- + Bez podpor ve středním dělicím pásu
- Vyšší stavební náklady
- Náročné provádění

5.3.1. Řešení 1

- + Lehká konstrukce
- + Nízká stavební výška
- Nákladná údržba

5.3.2. Řešení 2

- + Využití prefabrikátu
- + Moderní řešení
- Obtížná kontrola komory
- Vysoká cena materiálu

6. Volba konstrukce

Z porovnání se jeví ekonomicky a technologicky nejvýhodnější varianta 2, obdobné řešení však bylo vybráno v rámci veřejné zakázky, kde jedním z hlavních parametrů soutěže byla cena a složitost provedení. Pro rozpracování v rámci této práce byla zvolena „Varianta 1“, a to zejména z důvodu, že se jedná o architektonicky zajímavou variantu, která zapadá asi nejlépe do prostředí. Navržený parabolický oblouk, který je součástí návrhu, tvoří symbolickou bránu do města a tím vítá obyvatele a návštěvníky.

Řešení „Varianty 1“ bylo podrobně rozebráno a rozpracováno do patřičných detailů. Nejdříve byla řešena geometrie, při které proběhla optimalizace prvotního návrhu ze dvou hlavních důvodů.

Prvním důvodem byl prostor kolem lávky, kde se vyskytl problém s umístěním oblouku na jižní straně. Musel se vyřešit průjezdný profil pod lávkou a minimální rozestupy od konstrukce dle R-plánu. Původní posuzovaný návrh této varianty byl prostorově velmi těsný a nebyla příliš velká možnost s umístěním oblouku. Tento problém byl vyřešen jednoduchým způsobem, a to zmenšením poloměrů směrových oblouků převáděného chodníku. Takto se dosáhlo potřebného prostoru kolem lávky a mohl být nosný oblouk lépe napasován.

Druhý problém se vyskytl u průchozího profilu samotné lávky, do kterého v původní navržené „Variantě 1“ zasahovaly závěsy z nosné konstrukce oblouku. Tento problém se dlouho nedařilo vyřešit, a to i z hlediska toho, že se musel například měnit sklon oblouku v ose Z, tak aby se zmenšila jeho deformace. Z tohoto důvodu byly nakonec vytvořeny dvě konstrukce s odlišným zavěšením, které jsou blíže rozebrány v další části této práce.

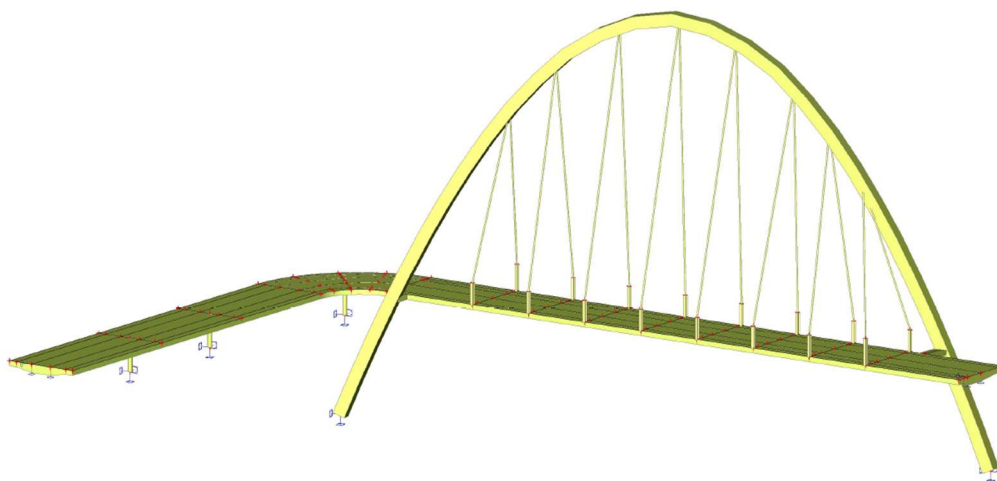
Výsledně se ukázalo, že severní stranu mostní konstrukce bude jednodušší zhotovit jen v přímém směru a směrové zakřivení bude připojeno k rampě čímž se posune opěra.

6.1. Řešení problému průchozího profilu

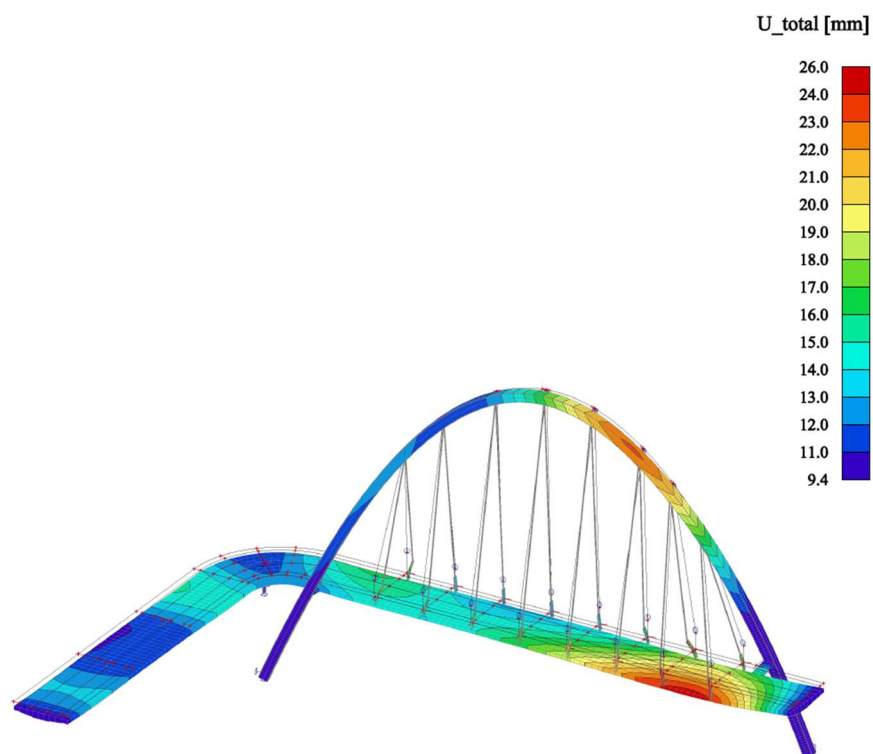
Problém se zasahováním závěsů do průchozího profilu bylo vyřešil dvěma variantami. Tyto varianty jsou níže představeny a porovnány z hlediska deformací od stálého zatížení. U obou konstrukcí bylo ponecháno stálé zatížení a bez změn přepětí v lanech, tak aby výsledky mohly být porovnány co nejpřesněji.

6.1.1. Oboustranné závěsy

V této variantě zůstali závěsy po obou stranách stejně tak jako bylo naplánováno v původní verzi. Na rozdíl od původní verze zde závěsné tyče nejsou kotveny přímo do mostovky, ale do ocelového tyčového prvku, pro tuto chvíli jsem využil ocelového profilu IPE270, i když není příliš vhodný pro napojení k tyči. Ocelový prvek je následně ukotven do mostovky. Je zde nutné dávat důraz na ukotvení jednotlivých ocelových prvků do betonové konstrukce.



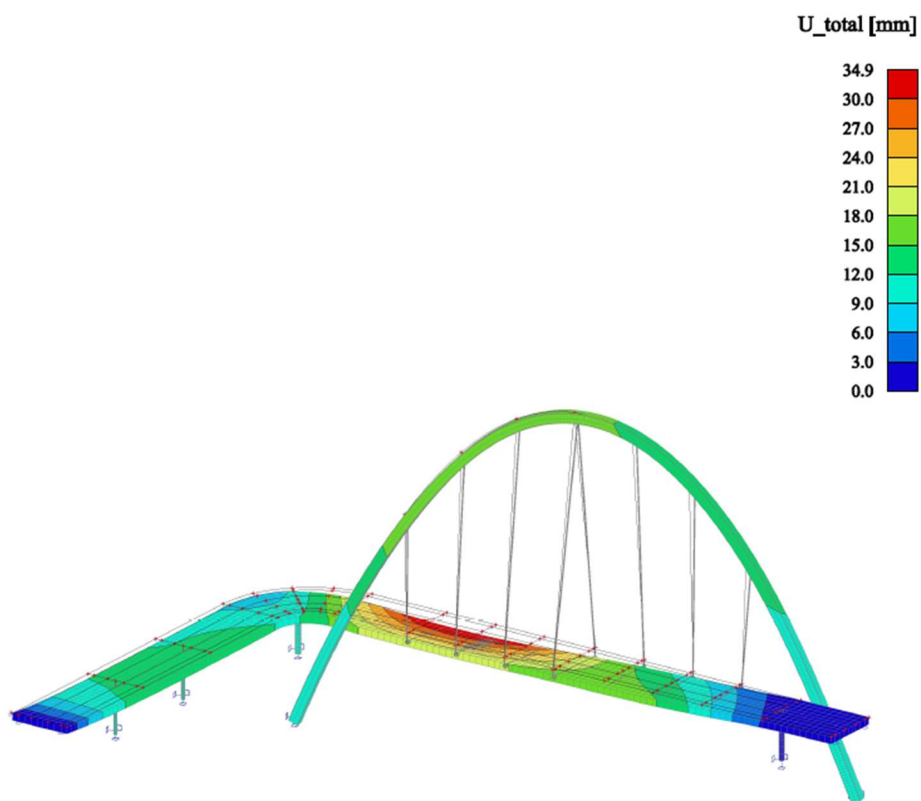
Obrázek 36 - Oboustranné závěsy



Obrázek 37 - Deformace Oboustranné závěsy

ux [mm]		uy [mm]		uz [mm]	
max	min	max	min	max	min
1,4	-3	1,7	-0,7	-9,4	-24,7

Tabulka 1 - Deformace Oboustranné závěsy



Obrázek 39 - Deformace Jednostranné závěsy

ux [mm]		uy [mm]		uz [mm]	
max	min	max	min	max	min
2,1	-1,0	1,7	-1,1	1,0	-34,8

Tabulka 2 - Deformace Jednostranné závěsy

6.1.3. Výběr varianty

Po podrobném prozkoumání obou variant jsem se rozhodl zvolit „Jednostranné zavěšení“. Pro volbu tohoto řešení bylo hned několik důvodů. Z mého pohledu ve variantě „Oboustranné zavěšení“ nepřímé ukotvení tyče do mostovky by mohlo vytvářet problém s deformací průřezu mostovky. Samotný průřez nosníku spojující tyče a mostovku, by pro každé lano musel být vytvořen na míru tak, aby na sebe správně navazovaly a bylo možné vytvořit čep pro ukotvení. Následným ukotvením ocelového průřezu do mostní konstrukce by vznikl nový detail, o který je nutné se starat a nezanedbat jeho údržbu.

7. Materiálové charakteristiky

7.1. Beton

Druh betonu	C35/45
Charakteristická pevnost v tlaku	$f_{ck} = 35 \text{ MPa}$
Průměrná pevnost v tlaku	$f_{cm} = 43 \text{ MPa}$
Návrhová pevnost v tlaku	$f_{cd} = f_{ck}/\gamma_c = 35/1,5 = 23,333 \text{ MPa}$
Pevnost v tahu za ohybu	$f_{ctm} = 3,2 \text{ MPa}$
Modul pružnosti	$E_c = 34 \text{ GPa}$

7.2. Ocel

Druh oceli	S355
Modul pružnosti	$E_s = 210 \text{ GPa}$
Pevnost v tahu	$f_t = 490 \text{ MPa}$
Mez kluzu	$f_{yk} = 355 \text{ MPa}$

7.3. Betonářská výztuž

Druh výztuže	B500B
Charakteristická mez kluzu	$f_{yk} = 500 \text{ MPa}$
Návrhová mez kluzu	$f_{yd} = 434,78 \text{ MPa}$

8. Zatížení

8.1. Stálé zatížení

Zatížení dle ČSN EN 1991-1-1 [1].

8.1.1. Vlastní tíha

Vlastní tíha je generována pomocí výpočetního programu SCIA Engineer na základě průřezové plochy prvku. Objemová tíha je definována z charakteristik materiálu.

Železobeton $\rho = 2500 \text{ kg/m}^3$

Ocel $\rho = 7850 \text{ kg/m}^3$

V návrhu byla závěsům definována nulová hmotnost, čímž se eliminovalo jejich protažení od vlastní tíhy. Pokud by se tento krok neprovedl, výsledky by byly značně ovlivněny.

8.1.2. Ostatní stálé

Tíha zábradlí je zde definována jako spojitě zatížení s hodnotou 1 kN/m. Dále zde působí zatížení od povrchové úpravy pochozí části mostovky.

8.1.3. Pokles podpor

Do výpočtu je zahrnut i pokles jednotlivých podpor. Pro výpočet je uvažován pokles o 10 mm.

8.2. Proměnné zatížení

8.2.1. Chodci

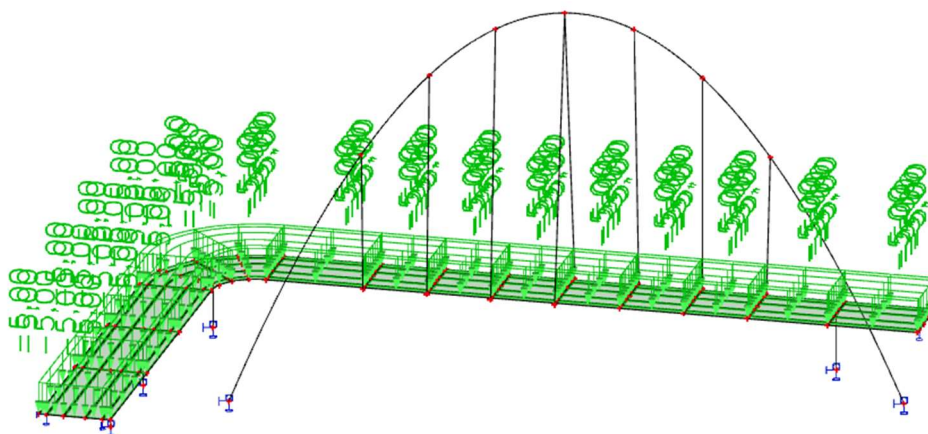
Doporučená hodnota rovnoměrného zatížení chodci dle ČSN EN 1991-2 [5] je $q_k = \text{kN/m}^2$, která odpovídá Model zatížení 4 pro mosty pozemních komunikací. Výpočet lze také zpřesnit pomocí výpočtu zatížení (1).

$$q_{fk,i} = 2,0 + \frac{120}{(L+30)} \text{ [kN/m}^2\text{]} \quad (1)$$

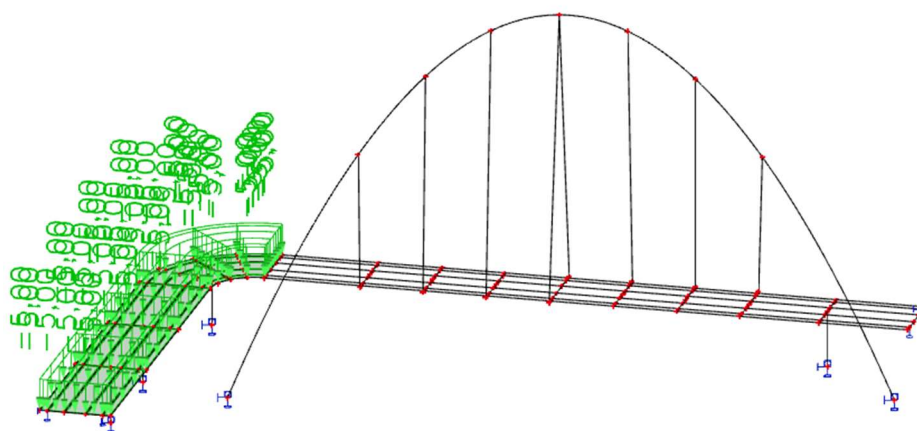
$$2,5 \text{ kN/m}^2 \leq q_{fk} \leq 5,0 \text{ kN/m}^2$$

kde L je zatěžovací délka [m]

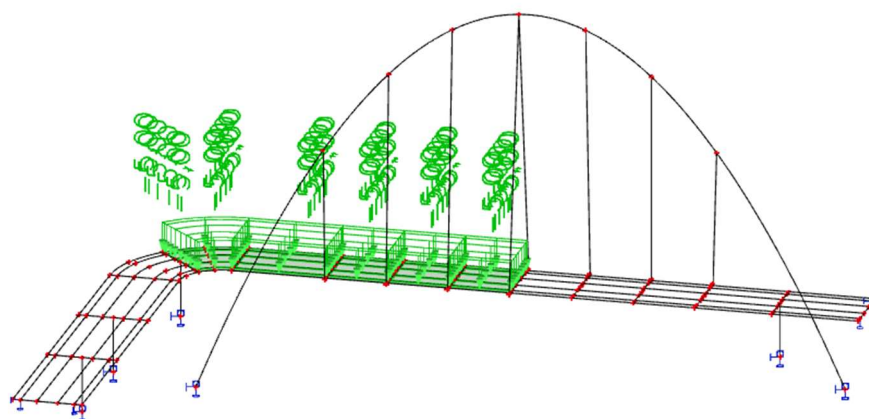
Pro stanovení maximálních vnitřních sil od zatížení chodci je potřeba vyzkoušet několik kombinací rozmístění, pro tuto práci bylo zatížení od chodců rozmístěno do pěti stavů.



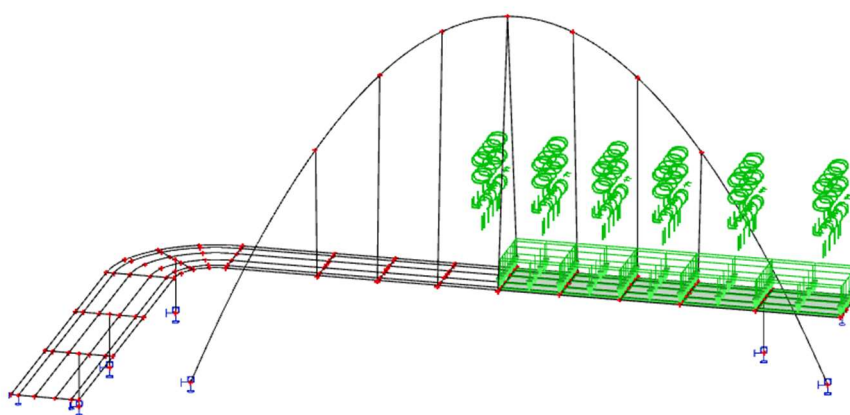
Obrázek 40 - Zatížení od chodců na celou délku



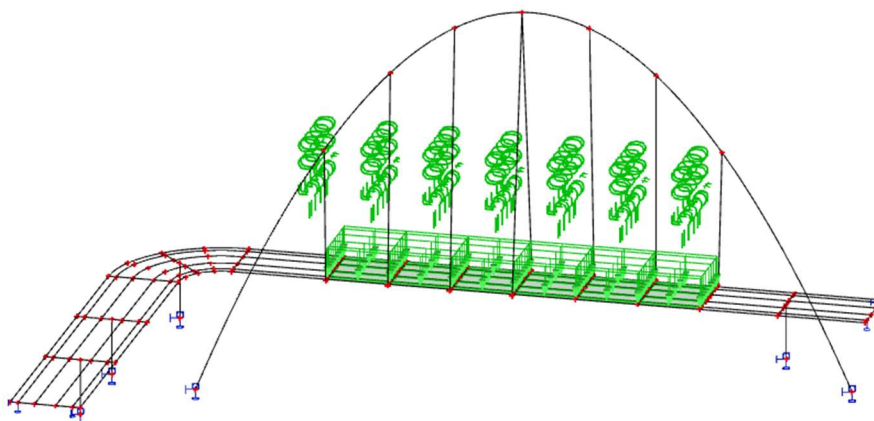
Obrázek 41 - Zatížení od chodců na rampě



Obrázek 42 - Zatížení od chodců levá strana



Obrázek 43 - Zatížení od chodců pravá strana

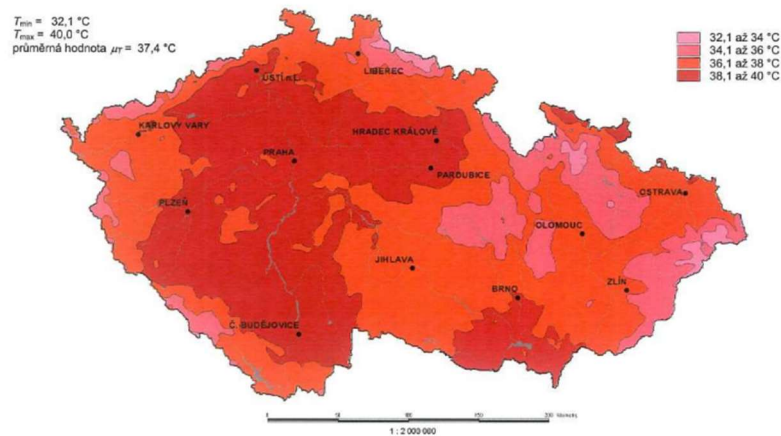


Obrázek 44 - Zatížení od chodců střed

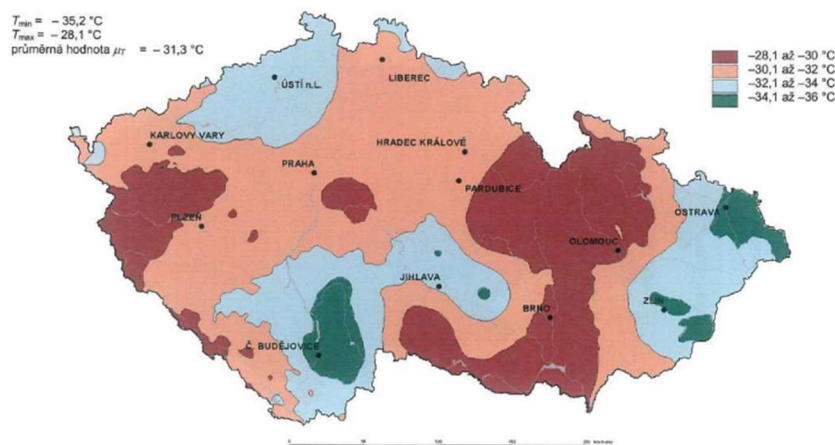
8.2.2. Teplota

Zatížení teplotou je zde po konzultaci s vedoucím práce uvažováno jako konstantní ohřátí a ochlazení. Postup stanovuje ČSN EN 1991-1-5 [4]. Pro lokalitu jsou odečteny maximální a minimální hodnoty teplot vzduchu ve stínu. Tyto hodnoty byly odečteny z mapy maximálních a minimálních teplot pro ČR. Pro posuzovanou konstrukci betonového deskového nosníku se jedná o křivku 3. typu.

Maximální rovnoměrná teplota se rovná 41,5 °C a minimální -24 °C. Tyto hodnoty jsou dále konfrontovány s referenční hodnotou danou normou, která se rovná 10 °C. Výsledné hodnoty pro vytvoření zatěžovacích stavů jsou -34 °C a 31,5°C.



Obrázek 45 - Mapa maximálních teplot vzduchu ve stínu dle ČSN EN 1991-1-5 [4]



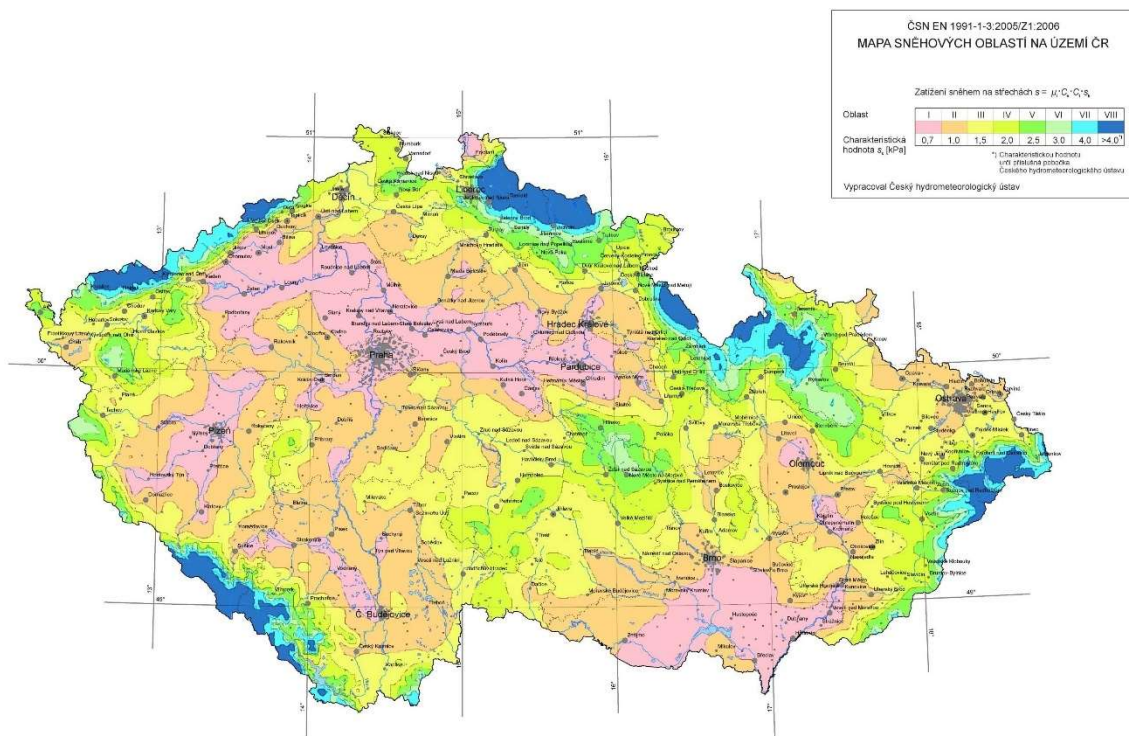
Obrázek 46 - Mapa minimálních teplot vzduchu ve stínu dle ČSN EN 1991-1-5 [4]

8.2.3. Sníh

Zatížení sněhem bylo stanoveno dle ČSN EN 1991-1-3 [2] podle přiložené mapy sněhových oblastí. Z mapy bylo odečteno charakteristické zatížení $s_k = 0,7 \text{ kN/m}^2$ pro oblast I. Součinitel expozice je voleno dle typu krajiny jako Normální s hodnotou $C_e = 1,0$. Tepelný součinitel uvažují základní $C_t = 1,0$ a tvarový součinitel z důvodu malého sklonu lávky 0,8.

Po dosažení do rovnice (2) se získá hodnota $0,56 \text{ kN/m}^2$. Tato hodnota se dle příručky navrhování mostů nekombinuje s modely zatížení dopravou. Po porovnání účinků od zatížení chodci a zatížení sněhem, nebudu s tímto zatížením nadále pracovat.

$$S = \mu_i \times C_e \times C_t \times S_k \quad (2)$$



Obrázek 47 - Mapa sněhových oblastí ČR dle ČSN EN 1991-1-3 [2]

8.2.4. Vítr

Pro tuto práci jsem účinky od zatížení větrem stanovil dle ČSN EN 1991-1-4 [3] a skript Ocelové mosty [10].

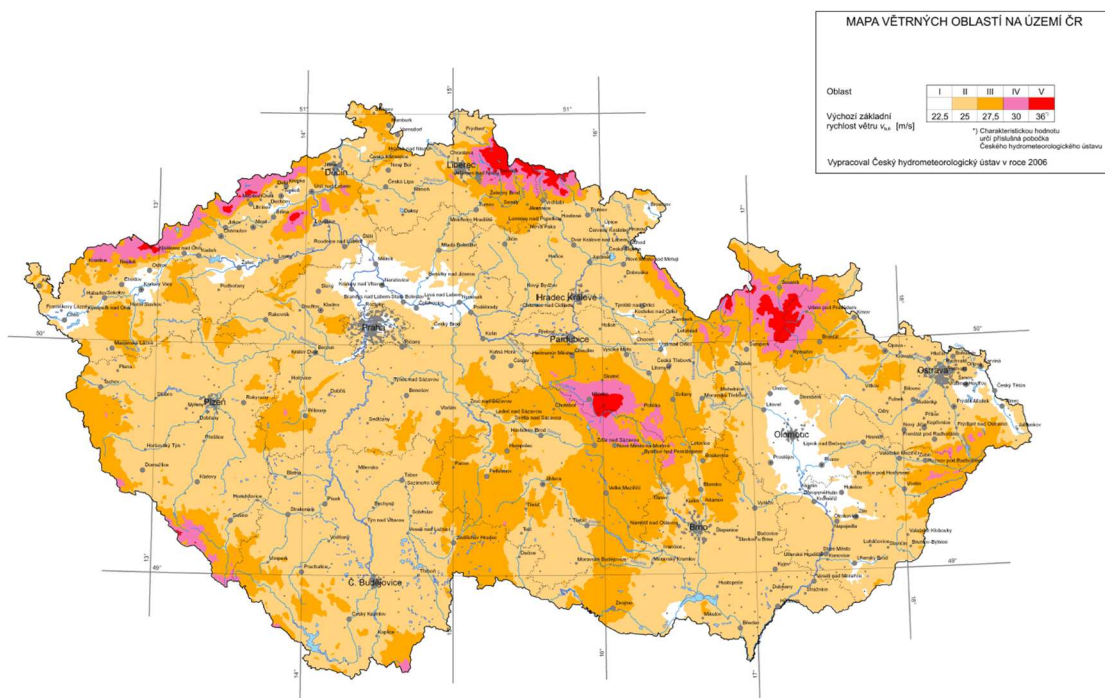
Pro výpočet byly zavedeny dva zatěžovací stavy ve směru osy X. Vzhledem k okolní zástavbě volím působení větru rovnoběžně s ulicí Rokycanská. Z mapy větrných oblastí se určilo, že město Plzeň se nachází ve druhé oblasti s rychlostí větru 25 m/s.

Základní rychlost větru se stanovila dle rovnice (3). Součinitele byly zvoleny tak to, pro směr větru $c_{dir} = 1,0$ a pro roční období $c_{season} = 1,0$. Tlak větru na oblouk byl stanoven dle rovnice (4), výsledná hodnota byla dosazena dále do rovnice (5). Hustotu větru jsem uvažoval jako $1,25\text{kg/m}^3$. Součinitele $c_e(z)$ se stanovil za pomoci grafu z obrázku 49, kde byla uvažovaná výška oblouku 25 m a číslo křivky se určilo za pomoci obrázku 50.

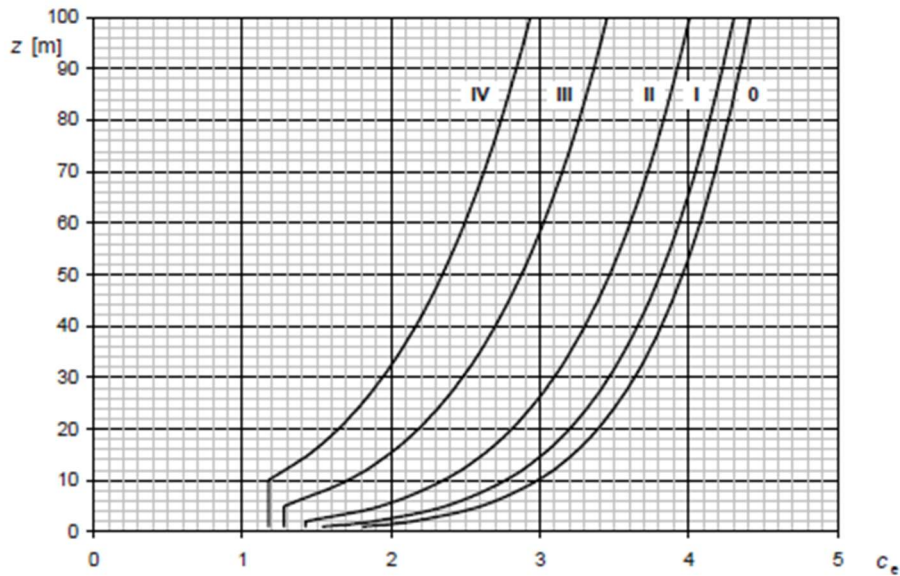
$$v_b = c_{dir} \times c_{season} \times v_{b,0} \quad (3)$$

$$q_b = \frac{1}{2} \rho \times v_b^2 \quad (4)$$

$$q_p(z) = c_e(z) \times q_b \quad (5)$$



Obrázek 48 - Mapa větrných oblastí ČR dle ČSN EN 1991-1-4 [3]



Obrázek 49 - Diagram pro stanovení součinitele $c_{e(z)}$ [3]

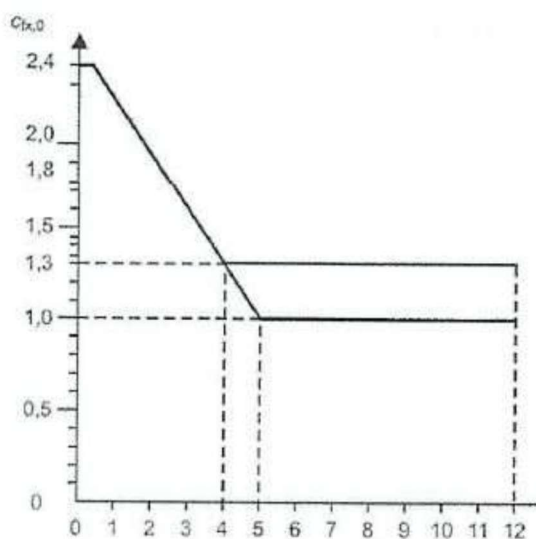
Kategorie terénu	z_0 [m]	z_{min} [m]
0 Moře nebo pobřežní oblasti vystavené otevřenému moři	0,003	1
I Jezera nebo vodorovné oblasti se zanedbatelnou vegetací a bez překážek	0,01	1
II Oblasti s nízkou vegetací jako je tráva a s izolovanými překážkami (stromy, budovy), jejichž vzdálenost je větší než 20násobek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

Obrázek 50 - Kategorie terénu [3]

Hodnota zatížení vodorovné konstrukce byla stanovena na základě poměru šířky a výšky b/d , kde d je označena zatěžovací výška a b zatěžovací šířka. Vzhledem k prodyšnosti zábradlí je poměr rovna 2,5. Tato hodnota byla následně použita v obrázku 51 pro získání součinitele $c_{fx,0}$. Po dosazení do rovnice (6) se získá součinitel C , který se následně dosadí do rovnice (7). Po dosazení do rovnice (7) s uvažováním zatěžovací výšky $d_g = 1,8$ m se získala hodnota $q_p = 2,215$ kN/m.

$$C = c_e \times c_{fx,0} \tag{6}$$

$$q_p = \frac{1}{2} \rho \times v_b^2 \times C \times d_g \tag{7}$$



Obrázek 51 - Diagram stanovení součinitele $c_{fx,0}$ [3]

8.3. Kombinace

Pro výpočet vnitřních sil a deformací bylo definováno softwarem vygenerování kombinace pro obálky vnitřních sil.

Pro posouzení v čase životnosti byla konstrukce řešena při různých zatěžovacích stavech. Tyto stavy se skládaly z kombinace zatížení stálého, větru a jednoho zatěžovacího stavu od chodců.

8.3.1. Mezní stav únosnosti

Pro mezní stav únosnosti nesmí být únosnost materiálu překročena v žádném místě konstrukce. Tento stav se týká zejména bezpečnosti osob a konstrukce. Tento stav lze vyjádřit pomocí vztahu (8).

$$E_d \leq R_d \quad (8)$$

kde E_d je návrhová hodnota účinků zatížení a R_d je návrhová hodnota únosnosti. Vztah lze v souladu s normou upravit do tvaru (9).

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} \leq 1 \quad (9)$$

Kde N_{rd} , $M_{y,Rd}$ a $M_{z,Rd}$ jsou návrhové hodnoty únosnosti, které vychází z návrhu průřezu. N_{ed} je návrhová hodnota osová síly a $M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$ jsou návrhové momenty k osám y a z .

Kombinace pro mezní stav únosnosti, byly ověřeny za pomoci rovnic 6.10a a 6.10b podle ČSN EN 1990. Tyto dvě rovnice vychází ze základní rovnice 6.10.

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_p P + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad 6.10$$

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_p P + \gamma_{Q,1} \psi_{0,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad 6.10a$$

$$\sum_{j \geq 1} \xi_j \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_p P + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad 6.10b$$

8.3.2. Mezní stav použitelnosti

Tento mezní stav je vázán na funkčnost, na pohodlí a vzhled konstrukce či stavby. Tento stav lze vyjádřit pomocí vztahu (10).

$$E_d \leq C_d \quad (10)$$

kde E_d je návrhová hodnota účinků zatížení a C_d je návrhová hodnota příslušného kritéria použitelnosti.

Pro mezní stav použitelnosti je zatížení kombinováno dle normových kombinačních vztahů. Byly vytvořeny kombinace pro charakteristickou, častou a kvazistálou kombinaci. Kde se vychází z rovnic podle ČSN EN 1990.

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad \text{Charakteristická – nevratná}$$

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + \psi_{1,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} Q_{k,i} \quad \text{Častá – vratná}$$

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} Q_{k,i} \quad \text{Kvazistální – dlouhodobé účinky}$$

SHRNUTÍ KOMBINACÍ ZATÍŽENÍ										
Zatížení	N [kN]		Vy [kN]		Vz [kN]		My [kNm]		Mz [kNm]	
	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min
6.10a - gr1a	438,575	-1784,962	133,038	-209,067	1290,039	-947,545	4093,490	-4381,406	926,024	-953,061
6.10b - gr1a	502,570	-1692,404	153,577	-222,227	1200,843	-908,161	3891,374	-4117,973	999,673	-1018,708
Extrém MSU	502,570	-1784,962	153,577	-222,227	1290,039	-947,545	4093,490	-4381,406	999,673	-1018,708
Char. - gr1a	209,907	-1650,302	119,520	-180,301	903,297	-815,412	2589,623	-3998,535	895,725	-975,549
Častá - gr1a	171,405	-1575,278	62,867	-122,010	808,495	-723,119	2373,205	-3744,166	299,849	-377,351
Kvazistálá	165,645	-17,640	62,514	-37,275	792,513	732,300	2324,195	2106,575	297,711	-105,195

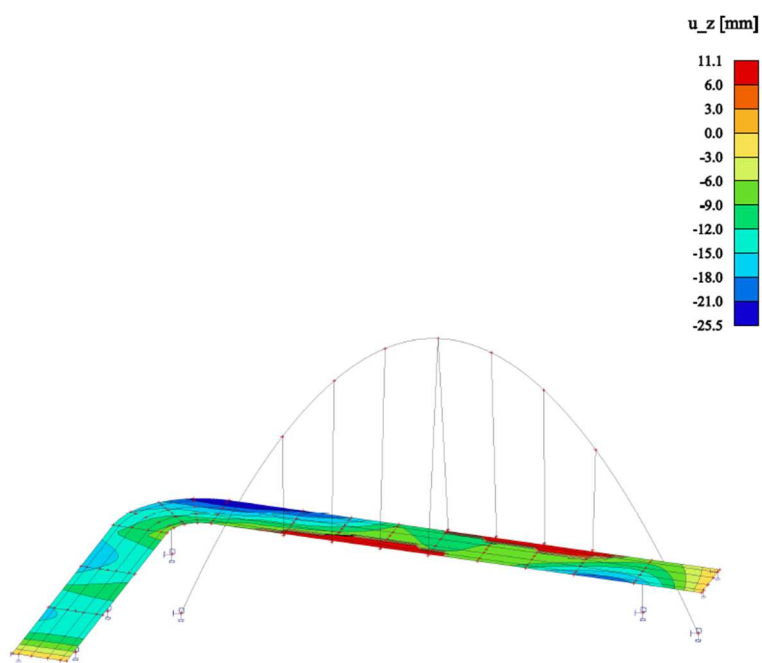
Tabulka 3 - Shrnutí kombinací zatížení

8.3.3. Mezní stav omezení průhybu

Ověření konstrukce na průhyb znamená, zda konstrukce probíhá nadlimitně. Přípustný průhyb na této konstrukci je uvažován $L/250$. Hodnoty limitních průhybů jsou uvedeny v tabulce.

Pole	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Délka [m]	9	8	8	8	6	4	4	4	4	4	4	5	6
Limitní průhyb [mm]	36	32	32	31	24	16	16	16	16	16	16	20	23

Tabulka 4 - Limitní průhyby polí



Obrázek 52 - Průhyby polí

9. Ověření průřezů

9.1. Oblouk

V rámci práce bylo provedeno předběžné ověření průřezu oblouku. Pro tuto konstrukci byl navržen oblouk ze spřaženého ocelobetonového čtvercového průřezu označeného jako SHS(Ju) 750/750/28 mm.

Pro samotné ověření průřezu byl použit výpočet dle skript Ocelobetonové spřažené konstrukce [11]. Ze kterých vychází, že podélná betonářská výztuž u dutých průřezů vyplněných betonem se zpravidla žádná podélná výztuž není potřeba. Z tohoto důvodu byla do průřezu vložena pouze konstrukční výztuž potřebná k výstavbě oblouku.

9.1.1. Posudek spřaženého průřezu

Posudek byl proveden za pomoci materiálových charakteristik. Jak bylo zmíněno posudek byl proveden dle výpočtu uvedeném ve skriptech [11].

Výpočet byl proveden pro centrický tlak, čistý ohyb a kombinaci tlaku a ohybu.

Centrický tlak

Únosnost v tlaku byla provedena za předpokladu plné plastifikace dle rovnice (11). Ta to rovnice je pouze pro výpočet únosnosti krátkých sloupů, kde nehraje roli vybočení.

$$N_{pl,Rd} = A_a \frac{f_y}{\gamma_a} + A_c \frac{0,85 \cdot c k}{\gamma_c} + A_s \frac{f_{sk}}{\gamma_s} \quad (11)$$

Z důvodu délky oblouku, je nutné ověřit i vybočení průřezu. Pro stanovení kritické síly byla použita rovnice (12).

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 (EI)_{eff}}{l^2} \quad (12)$$

kde $(EI)_{eff}$ představuje ohybovou tuhost spřaženého průřezu.

Je nutné ověřit i poměrnou štíhlost a to rovnicí (13).

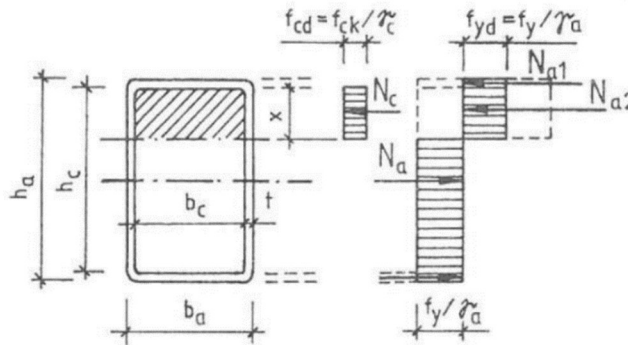
$$\lambda = \sqrt{N_{pl,Rk} / N_{cr}} \quad (13)$$

kde $N_{pl,Rk}$ je $N_{pl,Rd}$ z rovnice, kde jsou všechny součinitelé zavedeny jako 1,0. Z toho vyplývá, že v mezním stavu únosnosti platí rovnice (14).

$$N_{Ed} \leq \chi N_{pl,Rd} \quad (14)$$

Ohyb

Protože průřezy sloupů zpravidla odpovídají třídě 1 nebo 2. lze moment únosnosti stanovit pro plastické rozdělení napětí, kde se počítá pouze s betonem v tahu.



Obrázek 53 - Průběh napětí uzavřeného profilu [11]

Při průběhu napětí dle obrázku 53 musí platit rovnováha, která je vyjádřena rovnicí (15) neboli rovnicí (16).

$$N_c + N_{a1} + N_{a2} = N_a \tag{15}$$

$$x b_c f_{cd} + b_a t 2 f_{yd} + 2 x t 2 f_{yd} = A_a f_{yd} \tag{16}$$

Z toho vyplývá, že poloha neutrální osy je vyjádřena pomocí rovnice (17).

$$x = \frac{A_a - 2 b_a t}{4 t + b_c (f_{cd} / f_{yd})} \tag{17}$$

Moment únosnosti byl tedy určen z rovnice (18)

$$M_{pl,Rd} = \left[\frac{1}{2} A_a (h_c - x) + b_a t (x + t) \right] f_{yd} \tag{18}$$

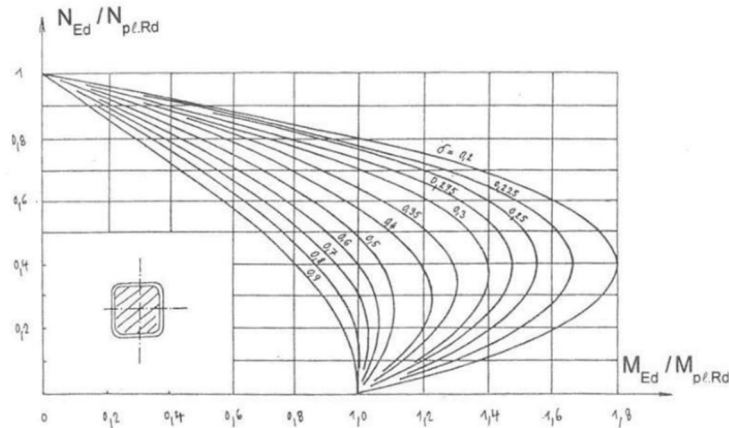
Posudek pro centrický tlak a ohyb byl proveden u nejvíce namáhaného průřezu.

N_{ed} [kN]	-2315,5	(EI)_{eff}	1439223,3
M_{ed} [kNm]	-824,8	N_{cr} [kN]	3112,1
N_{pl,Rk} [kN]	44707,9	N_{ed} <math>\chi</math> N_{pl,Rd}	Vyhovuje
N_{pl,Rd} [kN]	39295,9	x [mm]	237,997617
0,2 <math>\delta</math> <math>0,9</math>	0,7	M_{Rd} [kNm]	8418,7
E_{c,eff}	16,8	M_{ed} <math>< M_{Rd}</math>	Vyhovuje

Tabulka 5 - Posudek oblouk

Tlak a ohyb

Pro posouzení na kombinaci talku a ohybu bylo využito křivky sestavené pro nejobvyklejší průřezy. Kde se pomocí součinitele $\delta < 0,9$ určí interakční křivka a z předchozích výpočtů určí poměr ohybových momentů a normálových sil. Z výsledných hodnot byly vyneseny tečny a jejich průsečík se nacházel v oblasti pod křivkou, průřez vyhovuje.



Obrázek 54 - Interakční závislost pro hranaté trubky [11]

Sloupy namáhané současně normálovou silou N_{Ed} a ohybovým momentem M_{Ed} musí vyhovět podmínce (19).

$$\frac{M_{Ed}}{\mu_d M_{pl,Rd}} \leq 0,9 \quad (19)$$

Na průřez působí moment a normálová síla v obou hlavních rovinách pak tedy musí platit (20).

$$\frac{M_{y,Ed}}{\mu_{d,y} M_{pl,y,Rd}} + \frac{M_{z,Ed}}{\mu_{d,z} M_{pl,z,Rd}} \leq 1 \quad (20)$$

9.2.1. Vyztužení a posudek

Vyztužení desky bylo navrženo podle geometrie desky, ze které se vypočetla účinná výška d (21).

$$d = h - c - \phi_{tr} - \phi/2 \quad (21)$$

kde h je výška průřezu, c krycí vrstva výztuže a ϕ udává průměr navržené výztuže.

Pomocí geometrie desky a vlastností materiálu byla navržena potřebná plocha výztuže podle rovnice (22).

$$a_{s,req} = \frac{b \times d \times f_{cd}}{f_{yd}} \times \left(1 - \sqrt{\frac{2 \times m_{Ed}}{b \times d^2 \times f_{cd}}} \right) \quad (22)$$

Pro výpočet únosnosti navrženého průřezu bylo nutné vypočítat výšku tláčené oblasti x dle rovnice (23) a dále rameno vnitřních sil z podle rovnice (24).

$$x = \frac{a_{s,prov} \times f_{yd}}{0,8 \times b \times f_{cd}} \quad (23)$$

$$z = d - 0,4x \quad (24)$$

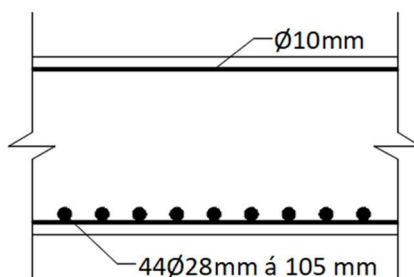
Pro výpočet únosnosti se vychází z podmínky rovnováhy. Tato podmínka se po upravení dá zapsat rovnicí (25).

$$M_{Rd} = a_{s,prov} \times f_{yd} \times z \quad (25)$$

Posudek byl proveden v nejvíce namáhaném průřezu.

M_{Ed} [kNm]	4381,4	z [mm]	389,9
d [mm]	446,0	M_{Rd} [kNm]	4594,9
$a_{s,prov}$ [mm ²]	27093,1	$M_{Ed} < M_{Rd}$	Vyhovuje
x [mm]	140,3	-	-

Tabulka 6 - Posudek deska



Obrázek 56 - Hlavní ohybová výztuž

9.3. Lana

9.3.1. Rektifikace lan

Rektifikace závěsů byl důležitý krok pro návrh konstrukce. Výsledkem tohoto kroku bylo najít takové zkrácení jednotlivých závěsů, aby deformace mostovky při zatížení stálým zatížením byla ideálně nulová. Díky tomuto řešení se konstrukce mostovky chová jako spojitý nosník.

V první fázi návrhu byla závěsům definována nulová hmotnost, čímž se eliminovalo protažení od vlastní tíhy. Dalším krokem bylo zkrácení závěsů o hodnoty deformace mostovky. Tyto hodnoty byly získány z výpočetního softwaru a dány do tabulky.

Jako ideální způsob pro zkrácení závěsů se ukázala změna teploty. Tedy každý závěs bylo nutné ochladit o určitou teplotu, aby se zkrátil na požadovanou délku. Z tohoto důvodu se vyšlo z rovnice podle Hookova zákona (26), která byla upravena do takového stavu (27), aby vyjadřovala potřebnou změnu teplotu pro konstantní prodloužení. Všechny známé hodnoty byly zadány do tabulky 4, ze kterých byla následně vypočtena teplota pro potřebné zkrácení.

$$\Delta l = \alpha \times \Delta T \times L \quad (26)$$

$$\Delta T = \frac{\Delta l}{\alpha \times L} \quad (27)$$

č. lana	Délka [m]	Posun [mm]	Teplota [K ⁻¹]
1	8,6	-11,4	-109,86
2	13,8	-11,4	-69,05
3	16,8	-12,5	-61,95
4	18,0	-16,7	-77,37
5	18,0	-12,9	-59,77
6	16,8	-12,6	-62,32
7	13,7	-14,7	-89,34
8	8,7	-17	-163,34

Tabulka 7 - Teploty závěsných tyčí

Výsledné teploty z tabulky byly zadány do výpočetního softwaru a následně ručně upravovány do takového stavu, kde se deformace mostovky blížila k nule.

10. Založení

V rámci práce bylo zadáno rámcové ověření spodní stavby a založení. Pro tento úkol byla vybrána nejvíce zatížená podpora, pro kterou byl vytvořen návrh a obecné posouzení bez ověření napětí v základové spáře. Tento postup vychází z normy ČSN 73 1004 [7].

Jako první byl navržen rozměr základové patky, ze kterého byla vypočtena efektivní plocha A_{eff} vycházející ze vzorce (28). Pro její výpočet je potřeba znát excentricitu e působení sil, který se určí dle rovnice (29).

$$A_{eff} = b(b - 2e) \quad (28)$$

Kde b označuje šířku základu.

$$e = \frac{M_{Ed} + H_{Ed}h}{N_{Ed} + G_{0,d}} \quad (29)$$

Kde M_{Ed} je ohybový moment, H_{Ed} vodorovná síla, N_{Ed} normálová síla a $G_{0,d}$ představuje návrhovou sílu od tíhy základu.

Patku se modeluje jako ohýbanou konzolu s účinnou délkou l_k dle rovnice (30).

$$l_k = 0,5(b - b_s) + 0,15b_s \quad (30)$$

Výpočet napětí (31) a zatížení působící (32) na patku, které je potřebné pro stanovení momentu v teoretickém vetknutí konzoly. Moment ve vetknutí konzoly určíme pomocí rovnice (33).

$$\sigma_d = \frac{N_{Ed}}{A_{eff}} \quad (31)$$

$$f_d = b\sigma_d \quad (32)$$

$$M_c = \frac{1}{2}f_d k_k^2 \quad (33)$$

Návrh ohybové výztuže byl proveden následujícím postupem. Stejně jako u návrhu výztuže desky byla stanovena účinná výška průřezu d (21) a rameno vnitřních sil z (34). Z výsledných hodnot byla stanovena potřebná plocha výztuže $A_{s,req}$ (35).

$$z = 0,9d \quad (34)$$

$$A_{s,req} = \frac{M_c}{z f_{yd}} \quad (35)$$

Posouzení průřezu patky bylo stanoveno na základě navržené výztuže. Stanovila se tlačенá oblast průřezu vztahem (23) a rameno vnitřních sil vztahem (24). Výsledné hodnoty byly dosazeny do vztahu (25) pro výpočet momentu únosnosti. Patka byla ověřena posouzením (36).

$$M_c \leq M_{Rd} \quad (36)$$

Výsledné hodnoty posouzení nejvíce zatížené podpory.

N_{ed} [kN]	2119,4	M_c [kNm]	988,7
M_{ed} [kNm]	822,9	d [mm]	1442
H_{ed} [kN]	940,2	z [mm]	1297,8
A_{eff} [m²]	12,9	A_{s,req} [mm²]	1751,3
e [m]	0,8	x [mm]	10,5
l_k [m]	1,7	z [mm]	1437,8
σ_d [kPa]	163,7	M_{Rd} [kNm]	1132
f_d [kN]	654,6	M_c < M_{Rd}	Vyhovuje

11. Závěr

Bakalářská práce se zabývá návrhem lávky pro pěší přes ulici Rokycanská v Plzni. Úvodem byla provedena rešerše lávek v České republice a v zahraničí, která napomáhá k řešení problematiky navrhované lávky. Analýzou řešených lávek jsem došel k závěru, že nejdůležitějším parametrem návrhu je výškové a půdorysné vedení. Chodci a cyklisté preferují co nejpřímější a nejkratší propojení hlavních bodů. Chodec neměl mít při pohybu přes lávku pocit, že ji použil zbytečně či si nekomplikoval nebo prodloužil cestu.

Další část práce byla zaměřena na návrh tří variant řešící problematiku v dané lokalitě. Při postupném navrhování konstrukce se projevila specifika lokality. Největším problémem se ukázalo stísněné prostředí a trakční vedení. Zejména z důvodu trakčního vedení bylo nutné lávku dostat výše, než je zapotřebí u klasického průjezdného profilu. Podélný sklon komunikace napomohl ke zkrácení ramp vedoucí k opěrám. V závěru druhé části bylo vytvořeno porovnání variant, z nichž se vybrala jedna, která se v dalších kapitolách zpracovala podrobněji.

Vybranou konstrukci jsem vymodeloval ve výpočetním softwaru SCIA Engineer. Za pomoci 3D modelu se ukázalo, že stávající návrh není příliš šťastný, a proto ho bylo nutné upravit. Vzniklo několik variant, ze kterých byly dvě vybrány a navzájem porovnány. Obě varianty měly podobné výsledky deformací. Z důvodu několika detailů, popsanych dříve, byla vybrána varianta s názvem „**Jednostranné závěsy**“.

U vybrané varianty byl tedy proveden postupný rozbor. V rámci tvorby modelu a kombinace zatížení bylo porovnáno několik oblouků, ze kterých vyšel nejlépe oblouk s ocelobetonovým konstantním průřezem. Rozbor jednotlivých oblouků není obsahem této práce. Pro zhotovenou konstrukci bylo provedeno posouzení a popsán postup výstavby. V rámci práce bylo provedeno i rámcové ověření spodní stavby a založení.

12. 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 1991-2:2018. (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 73 1004:2020. Navrhování základových konstrukcí – Stanovení požadavků pro výpočetní metody. Praha: ČNI. 64s.

Publikace

- [8] 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 knihnice (ČKAIT). ISBN 978-80-87093-90-0.
- [9] 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 knihnice (ČKAIT). ISBN 978-80-87438-03-9.
- [10] STRÁSKÝ, Jiří. Betonové mosty. Praha: ŠEL, 2001. Technická knihnice autorizovaného inženýra a technika. ISBN 80-86426-05-x.

[11] RYJÁČEK, Pavel. Ocelové mosty: cvičení. V Praze: České vysoké učení technické, 2015. ISBN 978-80-01-05672-1.

[12] STUDNIČKA, Jiří. Ocelobetonové spřažené konstrukce. V Praze: České vysoké učení technické, 2009. ISBN 978-80-01-04298-4.

Obrázky

Fotodokumentace byla pořízena vlastními zdroji. Pokud tak nebylo, je uveden zdroj.

13. Seznam obrázků

Obrázek 1 - Spojení hlavních bodů	10
Obrázek 2 - Rampa do stávajícího podchodu	11
Obrázek 3 - Stávající podchod.....	11
Obrázek 4 - Pohled na ulici Rokycanská ve směru do Prahy	12
Obrázek 5 - Pohled na rampu u Nuselského mostu	14
Obrázek 6 - Pohled na mostovku a stěnový pilíř lávky u Nuselského mostu	14
Obrázek 7 - Pohled na mostovku lávky u Kongresového centra	15
Obrázek 8 - Rampy lávky u Kongresového centra	16
Obrázek 9 - Pohled na Lávku přes Modřanskou ulici. Převzato www.google.com/maps	16
Obrázek 10 - Pohled na lávku přes ulici Jeremiášova	17
Obrázek 11 - Pohled na lomenou rampu lávky přes ulici Jeremiášova	18
Obrázek 12 - Pohled na rampu lávky Hůrka – metro.....	19
Obrázek 13 - Pohled na mostovku lávky Hůrka – metro	19
Obrázek 14 - Pohled na mostovku s rampou lávky Hůrka – autobus.....	20
Obrázek 15 - Pohled na rampu lávky Hůrka – autobus	20
Obrázek 16 - Silniční most přes koridor v Poděbradech https://www.smp.cz/most-pres-zeleznicni-trat-ceskych-drah-podebrady-1566	21
Obrázek 17 - Pohled na mostovku lávky na Spořilově.....	22
Obrázek 18 - Pohled na rampu lávka na Spořilově.....	23
Obrázek 19 - Lávka u Kameňáku https://www.idnes.cz/plzen/zpravy/lavka-stavba-kamenny-rybnik-plzen-tremosna-silnice-komunikace.A200827_567546_plzen-zpravy_vb/foto/VB83b1ef_142758_4111286_1.jpg	23
Obrázek 20 - Rail Flow Bridge https://www.networkrail.co.uk/industry-and-commercial/research-development-and-technology/research-and-development-programme/innovative-modular-footbridge-design/	24
Obrázek 21 - Lávka Taplow https://ianfirth.com/projects/taplow-footbridge-uk	24
Obrázek 22 - Lávka v Českých Budějovicích.....	25
Obrázek 23 - Lávka přes Olši https://www.casopisstavebnictvi.cz/clanky-sportmost-hranicni-lavka-pres-reku-olsi.html	25
Obrázek 24 - Situační řešení Varianta 1.....	26

Obrázek 25 - Podélný řez Varianta 1	27
Obrázek 26 - Příčný řez 1 Varianty 1.....	27
Obrázek 27 - Příčný řez 2 Varianty 1.....	28
Obrázek 28 - Situační řešení Varianta 2.....	29
Obrázek 29 - Podélný řez Varianta 2	30
Obrázek 30 - Příčný řez 1 Varianty 2.....	30
Obrázek 31 - Příčný řez 2 Varianty 2.....	30
Obrázek 32 - Směrové řešení Varianta 3	31
Obrázek 33 - Podélný řez Varianta 3	32
Obrázek 34 - Příčný řez 1 Varianta 3.....	32
Obrázek 35 - Příčný řez 2 Varianta 3.....	33
Obrázek 36 - Oboustranné závěsy	37
Obrázek 37 - Deformace Oboustranné závěsy	38
Obrázek 38 - Jednostranné závěsy	39
Obrázek 39 - Deformace Jednostranné závěsy.....	40
Obrázek 40 - Zatížení od chodců na celou délku	43
Obrázek 41 - Zatížení od chodců na rampě	43
Obrázek 42 - Zatížení od chodců levá strana	44
Obrázek 43 - Zatížení od chodců pravá strana	44
Obrázek 44 - Zatížení od chodců střed	44
Obrázek 45 - Mapa maximálních teplot vzduchu ve stínu dle ČSN EN 1991-1-5 [4].....	45
Obrázek 46 - Mapa minimálních teplot vzduchu ve stínu dle ČSN EN 1991-1-5 [4]	45
Obrázek 47 - Mapa sněhových oblastí ČR dle ČSN EN 1991-1-3 [2].....	46
Obrázek 48 - Mapa větrných oblastí ČR dle ČSN EN 1991-1-4 [3]	47
Obrázek 49 - Diagram pro stanovení součinitele $c_{e(z)}$ [3]	48
Obrázek 50 - Kategorie terénu [3]	48
Obrázek 51 - Diagram stanovení součinitele $c_{fx,0}$ [3]	49
Obrázek 52 - Průhyby polí.....	51
Obrázek 53 - Průběh napětí uzavřeného profilu [11].....	53
Obrázek 54 - Interakční závislost pro hranaté trubky [11]	54
Obrázek 55 - Příčný řez pod vrcholem oblouku.....	55
Obrázek 56 - Hlavní ohybová výztuž.....	56

Tabulka 1 - Deformace Oboustranné závěsy	38
Tabulka 2 - Deformace Jednostranné závěsy.....	40
Tabulka 3 - Shrnutí kombinací zatížení	50
Tabulka 4 - Limitní průhyby polí.....	51
Tabulka 5 - Posudek oblouk	53
Tabulka 6 - Posudek deska	56
Tabulka 7 - Teploty závěsných tyčí.....	57

14. Přílohy

Seznam příloh

Příloha 1 – Fotodokumentace okolí

Příloha 2 – Schématické výkresy

Příloha 3 – Digitální verze

Příloha 1 – Fotodokumentace okolí



Fotografie 1



Fotografie 2



Fotografie 3