



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

## ÚSTAV BETONOVÝCH A ZDĚNÝCH KONSTRUKCÍ

INSTITUTE OF CONCRETE AND MASONRY STRUCTURES

## LÁVKA PŘES MÍSTNÍ POTOK V MĚSTSKÉ ČÁSTI

## TŘINEC-KARPENTNÁ

FOOTBRIDGE OVER A LOCAL STREAM IN TŘINEC-KARPENTNÁ

### DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Marie Šmigová

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Jan Koláček, Ph.D.

BRNO 2026

## Zadání diplomové práce

Ústav:	Ústav betonových a zděných konstrukcí
Studentka:	<b>Bc. Marie Šmigová</b>
Vedoucí práce:	<b>doc. Ing. Jan Koláček, Ph.D.</b>
Akademický rok:	2025/26
Studijní program:	N0732A260026 Stavební inženýrství – konstrukce a dopravní stavby

Děkan Fakulty Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

### Lávka přes místní potok v městské části Třinec-Karpentná

#### Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Návrh lávky a variant přemostění zpracujte na základě předaných podkladů (situace, podélný řez, příp. geotechnické poměry). Textová část bude obsahovat popis variant řešení přemostění včetně jejich zhodnocení, podrobný technický popis vybrané varianty a popis veškerých kroků a posudků ve statickém výpočtu, a závěr. Výkresová dokumentace bude obsahovat dispoziční výkresy (půdorys, podélný řez, příčné řezy atd.), výkresy výztuže vybraných částí konstrukce a minimálně jeden detail určený vedoucím práce. Statický výpočet bude vypracován dle norem EN (mezni stavy) a uplatní se v něm řešení s postupnou výstavbou nosné konstrukce z předpjatého betonu. Ostatní úpravy lze provádět podle pokynů vedoucího diplomové práce.

#### Cíle a výstupy diplomové práce:

Cílem práce je pro zadaný problém navrhnout dvě až tři varianty řešení přemostění a zhodnotit je. Pro vybranou variantu lávky bude vypracován podrobný statický výpočet všech částí nosné konstrukce a bude vypracována odpovídající výkresová dokumentace včetně vizualizace celé konstrukce.

Diplomovou práci je třeba vypracovat a rozčlenit podle následující struktury:

Textová část

Přílohy textové části:

P1 Použité podklady a varianty řešení

P2 Výkresová dokumentace

P3 Stavební postup a vizualizace

P4 Statický výpočet

Diplomová práce bude odevzdána v listinné a elektronické formě.

## **Seznam doporučené literatury a podklady:**

Seznam doporučené literatury a podklady:

Základní normy:

ČSN 73 6201 Projektování mostních objektů.

ČSN 73 6214 Navrhování betonových mostních konstrukcí.

ČSN EN 1990 včetně změny A1: Zásady navrhování konstrukcí.

ČSN EN 1991-2: Zatížení mostů dopravou.

ČSN EN 1992-1-1: Navrhování betonových konstrukcí. Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby.

ČSN EN 1992-2: Betonové mosty. Navrhování a konstrukční zásady.

Literatura doporučená vedoucím diplomové práce.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku.

V Brně, dne 31. 3. 2025

L. S.

---

doc. Ing. Miloš Zich, Ph.D.  
vedoucí ústavu

---

doc. Ing. Jan Koláček, Ph.D.  
vedoucí práce

---

prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA, dr. h. c.  
děkan

## **ABSTRAKT**

Práce se zabývá návrhem lávky pro pěší přes údolí, jímž protéká místní potok. Ze dvou variant konstrukčního řešení byla vybrána jednopolová visutá lávka, jež tvoří samokotvenou konstrukci. Pro analýzu této varianty byl sestaven prutový model v programu Midas Civil NX a deskový model v softwaru SCIA Engineer. Konstrukce byla posouzena dle mezních stavů a pro nalezené řešení byla zpracována výkresová dokumentace a vizualizace.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Lávka pro pěší, visutá lávka, samokotvená konstrukce, nelineární analýza, výchozí tvar, visuté lano, kotevní závěs, pylon, mostovka

## **ABSTRACT**

The thesis deals with the design of a footbridge across a valley with a local brook. Among two structural design options, a single-span suspension footbridge forming a self-anchored structure was selected. For the analysis of this variant, a beam model was created in Midas Civil NX and a plate model in SCIA Engineer. The structure was assessed according to ultimate limit states. Based on the resulting design, detailed drawings and visualizations were prepared.

## **KEYWORDS**

Footbridge, suspension footbridge, self-anchored structure, nonlinear analysis, initial shape, suspension cable, anchor hanger, pylon, bridge deck

## BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

ŠMIGOVÁ, Marie. *Lávka přes místní potok v městské části Třinec-Karpená.* Diplomová práce. Jan KOLÁČEK (vedoucí práce). Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, 2026.

## **PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem *Lávka přes místní potok v městské části Třinec-Karpentná* zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 16. 1. 2026

---

Bc. Marie Šmigová

autor

## **PODĚKOVÁNÍ**

Ráda bych zde poděkovala svému vedoucímu práce doc. Ing. Janu Koláčkovi Ph.D. za všechny konzultace, rady, pomoc a také trpělivost při vypracování mé závěrečné práce.

Poděkování také patří mé rodině a blízkým kteří mě po celou dobu studia vždy podporovali.

# Obsah

1	ÚVOD.....	10
2	PODKLADY .....	10
3	VARIANTY .....	11
3.1	Varianta A.....	11
3.2	VARIANTA B.....	12
3.3	POROVNÁNÍ VARIANT .....	12
4	KONSTRUKCE VYBRANÉ VARIANTY.....	13
5	MODEL.....	13
5.1	Zatížení.....	14
5.1.1	Stálé zatížení.....	14
5.1.2	Proměnné zatížení.....	14
5.2	Kombinace.....	15
5.3	Výchozí tvar .....	15
5.4	Interakce s podložím.....	16
5.5	Příčný odklon pylonů.....	17
5.6	Finální model .....	18
6	MEZNÍ STAV ÚNOSNOSTI .....	19
6.1	Visuté lano.....	19
6.2	Tyčové závěsy.....	19
6.3	Kotevní závěsy.....	19
6.4	Mostovka .....	19
6.4.1	Ohyb.....	19
6.4.2	Smyk .....	20
6.5	Pylon.....	20
7	MEZNÍ STAV POUŽITELNOSTI .....	20
7.1	Visuté lano.....	20
7.2	Tyčové závěsy.....	20
7.3	Kotevní závěsy.....	20
7.4	Mostovka .....	21
8	PŘÍČNÝ SMĚR .....	21
8.1	Výpočetní model.....	21

8.2 Zatížení.....	22
8.3 Ohyb.....	22
8.4 Smyk.....	22
9 DYNAMICKÁ ANALÝZA.....	22
9.1 Modální analýza.....	22
9.2 Harmonická analýza.....	23
10 FÁZE VÝSTAVBY.....	24
10.1 Fáze 1.....	24
10.2 Fáze 2.....	24
10.3 Fáze 3.....	24
10.4 Fáze 4.....	24
11 VÝKRESOVÁ DOKUMENTACE A VIZUALIZACE.....	25
12 ZÁVĚR.....	26
13 SEZNAM OBRÁZKŮ.....	27
14 ZDROJE A LITERATURA.....	28
15 SEZNAM PŘÍLOH.....	29

# 1 ÚVOD

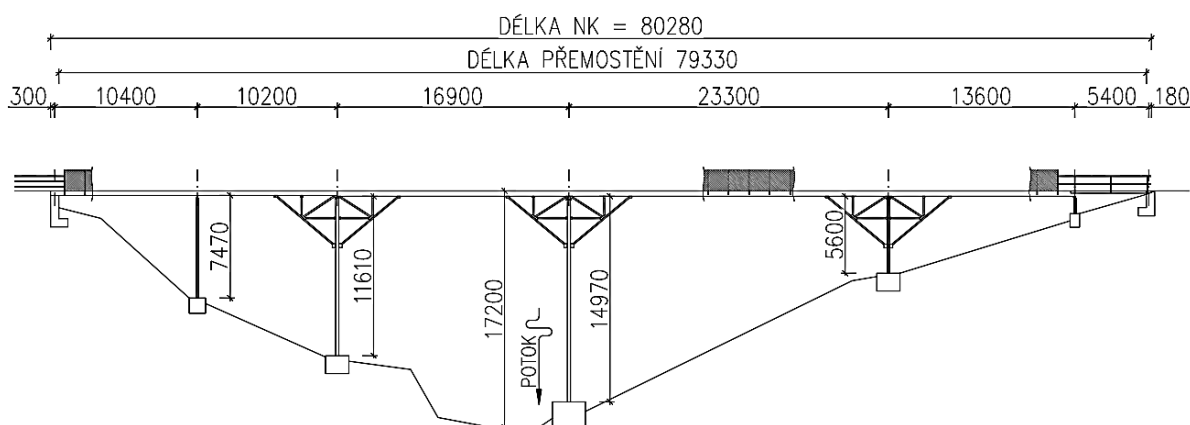
Předmětem práce je návrh lávky pro pěší přes údolí, jímž protéká místní potok. Na místo stávající konstrukce byly na základě podkladů vytvořeny dvě varianty přemostění, z nichž byla vybrána lávka visutá.

Tato varianta byla dále zpracována, a to zejména z hlediska statického působení, následného dimenzování a posouzení. Podstatnou částí statického výpočtu je nalezení výchozího tvaru konstrukce. Lávka je analyzována pomocí softwaru Midas Civil NX pro podélný směr a pomocí SCIA Engineer pro směr příčný. Na základě provedených analýz je konstrukce s pomocí softwaru IDEA Statica posouzena na mezní stav únosnosti a použitelnosti. Statický výpočet byl následně doplněn o modální analýzu.

Na závěr byla vypracována výkresová dokumentace a vizualizace.

## 2 PODKLADY

Lávka se nachází v obci Třinec Karpentná, kde přemostuje údolí, jímž protéká místní potok. Stávající konstrukci tvoří nevzhledná, ne příliš bezpečně působící ocelová lávka, jejíž plechovou mostovku podpírá pět příhradových stojek.



Obrázek 1 - Stávající stav

V okolí umístění lávky byl nalezen vrt s inženýrskogeologickým průzkumem. Data z tohoto průzkumu byla využita při návrhu založení a vytvoření interakce modelu s podložím.

### ZÁKLADNÍ LITOLOGICKÁ DATA

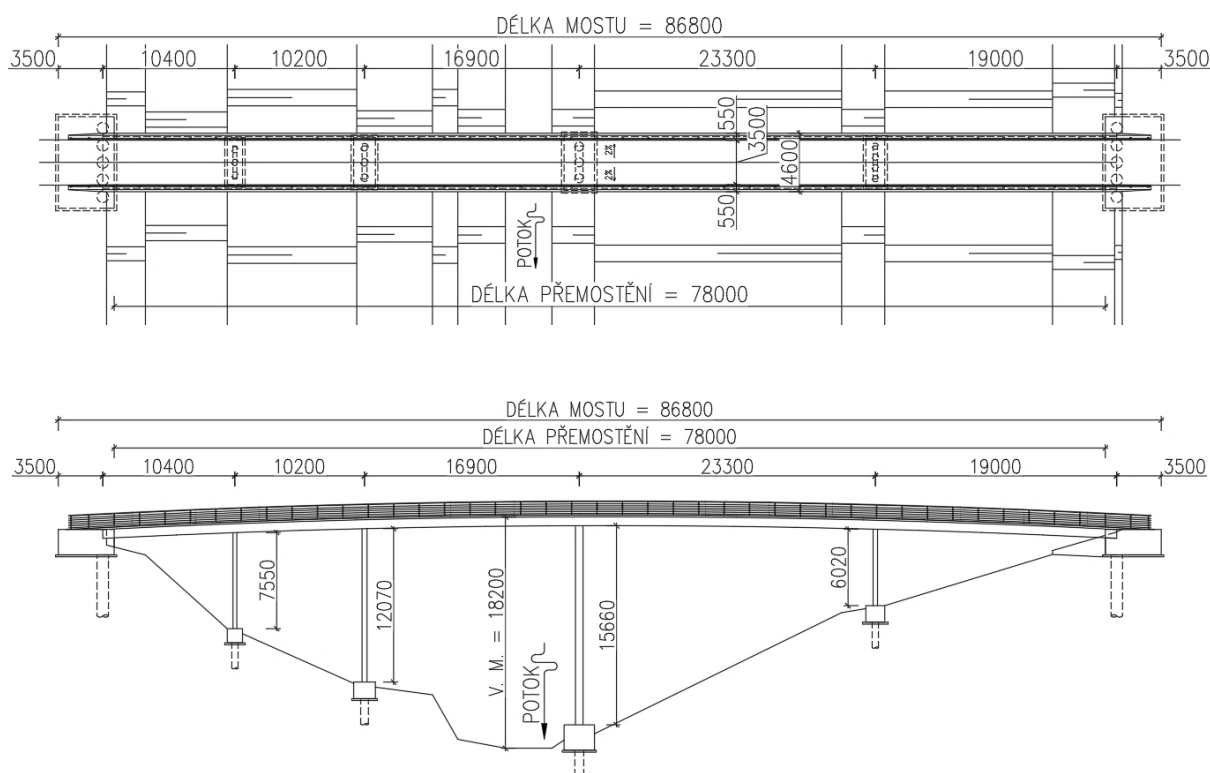
Hloubka [m]	Popis	Stratigrafie	Hladina [m]	Aquifer, strop-báze [m], poč.intervalů/délka [m]
0.00 - 0.60	hlína drobnivý tuhý hnědá	Kvartér		
0.60 - 5.60	štěrk silně písčité opracovaný max.velikost částic 2 dm středně ulehý hnědá	Kvartér		
5.60 - 10.00	štěrk max.velikost částic 8 cm středně ulehý hnědá, zemina jemnozrný	Kvartér		
10.00 - 11.00	jíl středně plastický tuhý rezavá, hnědá, šedá	Kvartér		
11.00 - 12.00	štěrk silně písčité max.velikost částic 6 cm středně ulehý hnědá	Kvartér		

Obrázek 2 - Inženýrskogeologický průzkum

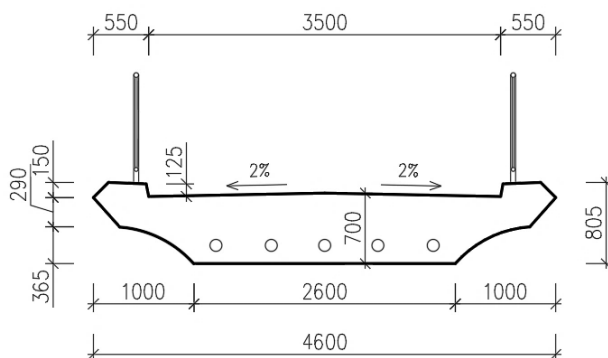
## 3 VARIANTY

### 3.1 Varianta A

Na místo stávající konstrukce byly vytvořeny dva návrhy. První variantou je obměna ocelové lávky za novou betonovou spojitě podepřenou konstrukci. Příhradové stojky jsou zaměněny za betonové štíhlé podpěry jejichž rozmístění je zachováno. Plechová mostovka je nahrazena betonovou předepnutou konstrukcí. Niveleta mostovky v podélném směru kopíruje tvar paraboly druhého stupně o vzezětí 1 m. Mostní konstrukce výšky 18,2 m překonává délku 78 m a je navržena pro pohyb chodců v šířce 3,5 m. Výška průřezu je 700 mm. Odvodnění mostovky je zajištěno podélným a příčným spádem.



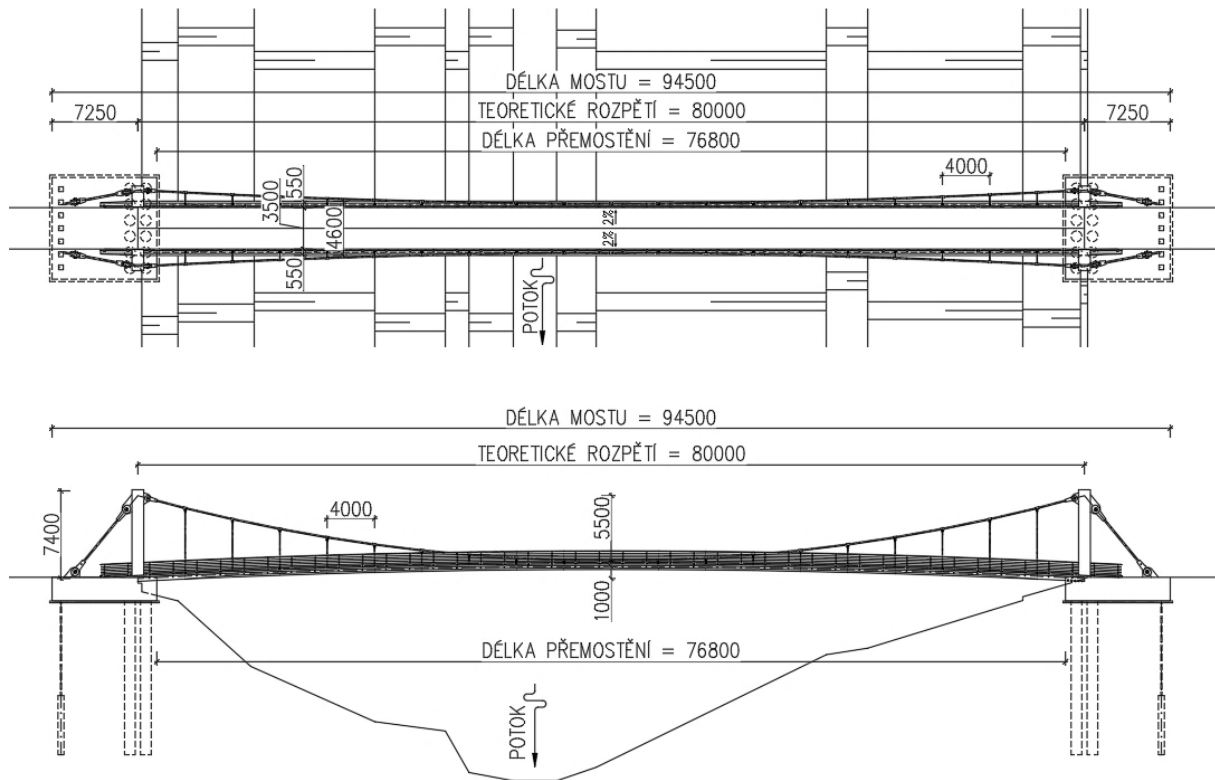
Obrázek 3 - Schéma varianty A



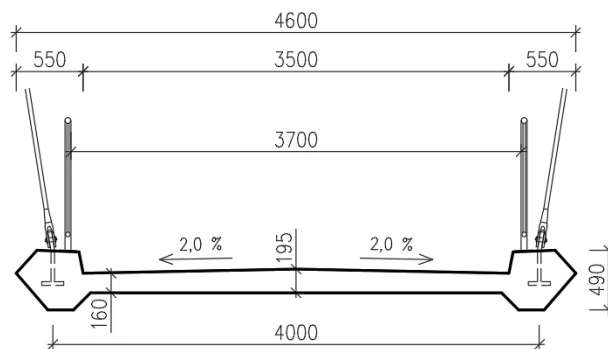
Obrázek 4 - Příčný řez varianty A

## 3.2 VARIANTA B

Druhou variantou je jednopolová visutá lávka o rozpětí 80 m. Mostovka s průchozí šířkou 3,5 m stejně jako ve variantě A kopíruje tvar paraboly druhého stupně o vzepětí 1 m. Visutá lana jsou s mostovkou spojena tyčovými závěsy rozmístěnými ve vzdálenostech 4 m. Betonové pylony výšky 7,4 m jsou příčně odkloněny směrem od osy mostovky.



Obrázek 5 - Schéma varianty B



Obrázek 6 - Příčný řez varianty B

## 3.3 POROVNÁNÍ VARIANT

Obě konstrukce jsou tvořeny betonovou mostovkou zakřivenou dle paraboly druhého stupně a jsou navrženy pro pohyb chodců v šířce 3,5 m. Z uvedených dvou variant byla vybrána konstrukce visutá, u níž lze výhodně využít možnost samokotvené konstrukce. Visutá lávka navíc uvolňuje prostor údolí, a nejen díky štíhlé mostovce působí z estetického hlediska lehce, elegantně a nenarušuje krajinný ráz.

## 4 KONSTRUKCE VYBRANÉ VARIANTY

Visutou lávku bylo možné navrhnout dvěma způsoby z hlediska výstavby.

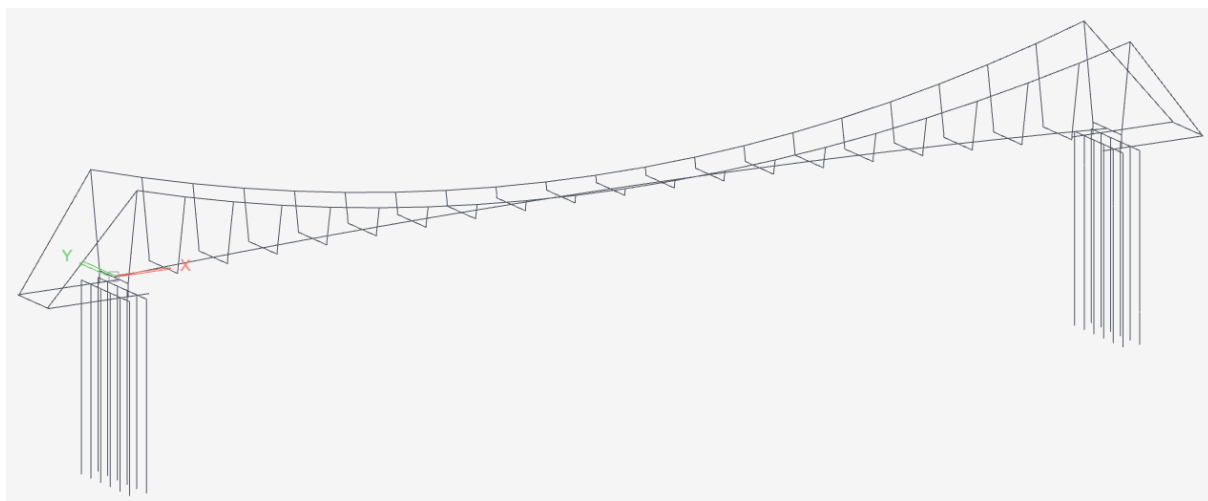
První možností by bylo vztyčit pylony a zakotvit visutá lana a kotevní závěsy. Následně by byly vyvěšeny závěsy nesoucí segmenty mostovky. Výstavba by se tak obešla bez nutnosti budování pevné skruže.

Druhou možností je právě využití pevné skruže pro betonáž mostovky, která bude poté vynesena závěsy připevněnými k visutému lanu. Pak lze výhodně kotevní lana zakotvit do betonového základu, což umožní přenos vodorovného namáhání do mostovky. Neboť v místních podmínkách lze sestavit pevnou skruž, bude využito řešení se samokotvenou konstrukcí.

Visutá lana jsou navržena z uzavřených lan Pfeifer průměru 100 mm, kotevní závěsy pak průměru 140 mm. Závěsy jsou tvořeny tyčemi Carbon Macalloy 460 M36. Pylon obdélníkového průřezu 1x0,5 m je vetknut do plošného základu vysokého 2 m, jenž navazuje na skupinu pilot a zemních kotev.

## 5 MODEL

Pro základní analýzu v podélném směru byl sestaven prostorový prutový model v softwaru Midas Civil NX. Visutá lana, závěsy a kotevní závěsy jsou modelovány pomocí prvků „TRUSS“, které přenáší pouze osově namáhání. Mostovka, pylony, základ a piloty jsou tvořeny prvky „BEAM“, jenž přenáší namáhání osově, ohybové i smykové. Prvky jsou mezi sebou propojeny tuhými rameny v podobě tuhých prutů průřezu 1x1 m s materiálovými vlastnostmi oceli bez hmotnosti.



Obrázek 7 - Prutový model

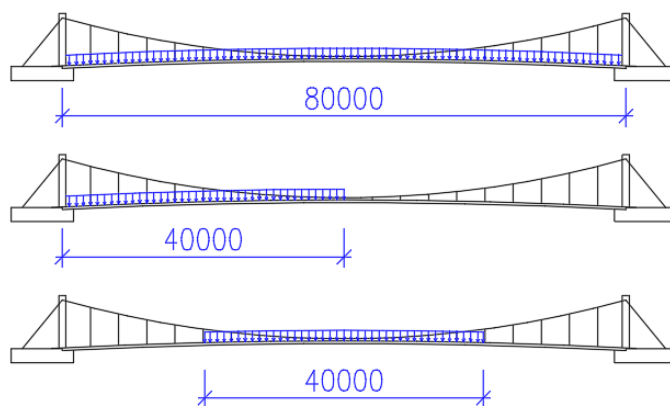
## 5.1 Zatížení

### 5.1.1 Stálé zatížení

Stálé zatížení tvoří zejména vlastní tíha, kterou software generuje automaticky. Dále je uvažováno s ostatním stálým zatížením, do kterého jsou zahrnuta zábradlí a hydroizolační povrchová úprava mostovky. Každé zábradlí je modelováno spojitým zatížením o hodnotě 0,5 kN/m. Tíha hydroizolačního nátěru tloušťky 2 mm byla po přenásobení zatěžovací šířkou 3,5 m aplikována rovněž jako liniové zatížení.

### 5.1.2 Proměnné zatížení

Na lávce je uvažováno se zatížením chodci, teplotou a větrem. Chodci jsou umístěni ve třech různých polohách tak, aby vyvozovali co nejnepříznivější účinky.



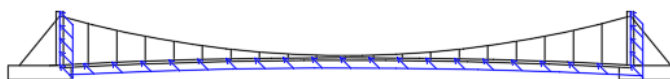
Obrázek 8 - Umístění chodců

Zatížení teplotou bylo aplikováno jako celkové ochlazení a oteplení konstrukce. Maximální a minimální teploty byly určeny v závislosti na lokalitě, kde se lávka nachází.



Obrázek 9 - Zatížení teplotou

Účinky příčného větru byly aplikovány na pylony a mostovku. Základní rychlost větru byla zjištěna z mapy větrných oblastí.



Obrázek 10 - Zatížení větrem

## 5.2 Kombinace

Pro posouzení mezního stavu použitelnosti byly sestaveny kombinace dle rovnic 6.10a a 6.10b. Pro mezní stav použitelnosti byla sestavena kombinace charakteristická, častá a kvazistálá. V kombinačních vztazích se vyskytuje součinitel  $\psi$ , jehož hodnota závisí na důležitosti proměnného zatížení. Proto byly sestaveny kombinace pro všechny případy, které mohou nastat.

Neboť je analýza prováděna nelineárně a neplatí princip superpozice, je důležité v softwaru převést jednotlivé kombinace na zatěžovací stavy, které jsou pak již vyhodnocovány správně se zahrnutím vlivů druhého řádu. Z vypočtených účinků lze následně sestavit obálky, které umožňují rychlý přehled o maximálních či minimálních hodnotách.

## 5.3 Výchozí tvar

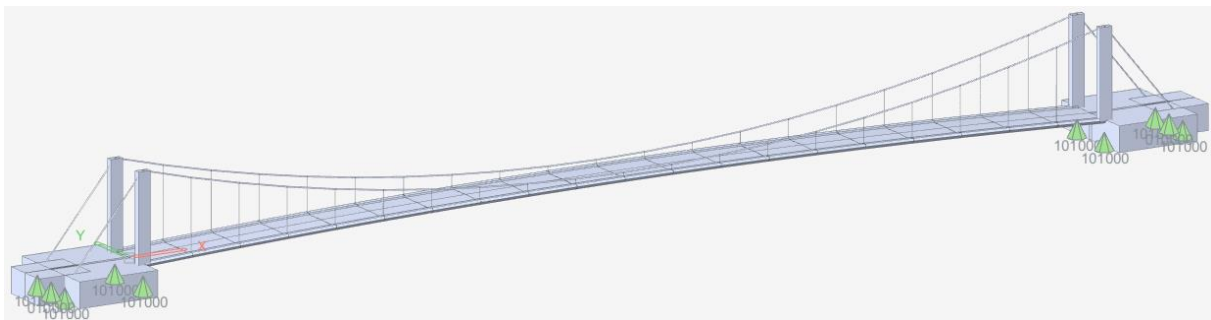
Pro konstrukci bylo podstatné nalézt její výchozí tvar, tedy takový stav, při kterém od zatížení stálými složkami vznikají pouze minimální deformace. Nalezen byl postupným vývojem modelu.

Jako první bylo vymodelováno pouze visuté lano, na něž působí spolu s vlastní tíhou osamělé síly v místech závěsů, odpovídající tíze mostovky a ostatního stálého zatížení na dané části mezi závěsy. Jeho tvar je afinní vůči průběhu ohybových momentů na prostém nosníku. Síly, které musí být do lana vneseny byly zjištěny pomocí výpočtu v programu MS Excel dle stanovené geometrie a zatížení lana.



Obrázek 11 - Model visutého lana

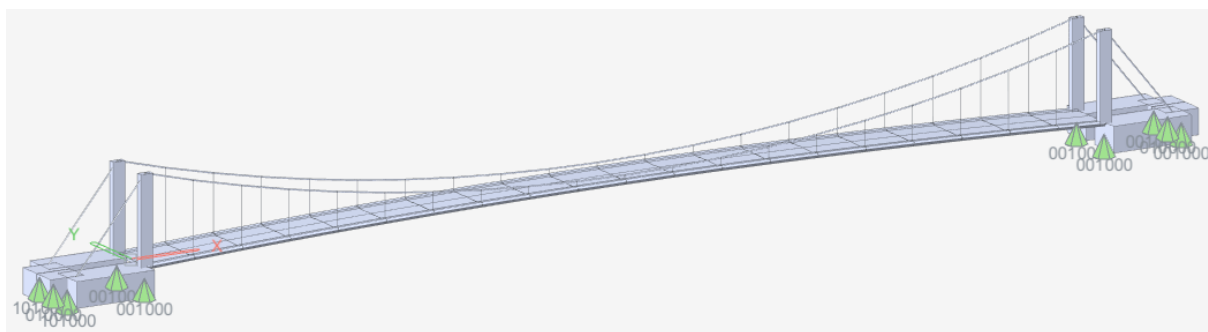
V dalším kroku byly vymodelovány závěsy a polovina mostovky zatěžující každé z lan, čímž byly ověřeny hodnoty vnesených sil. Dále bylo doplněno druhé lano a celá mostovka. Následně byly vymodelovány pylony s podporami ve vrcholech, jenž nahrazují působení kotevního lana. Dalším krokem bylo doplnění základu a kotevního lana předepnutého silou zajišťující polohu pylonu a tím i jeho minimální namáhání ohybovým momentem.



Obrázek 12 - Výchozí model

## 5.4 Interakce s podložím

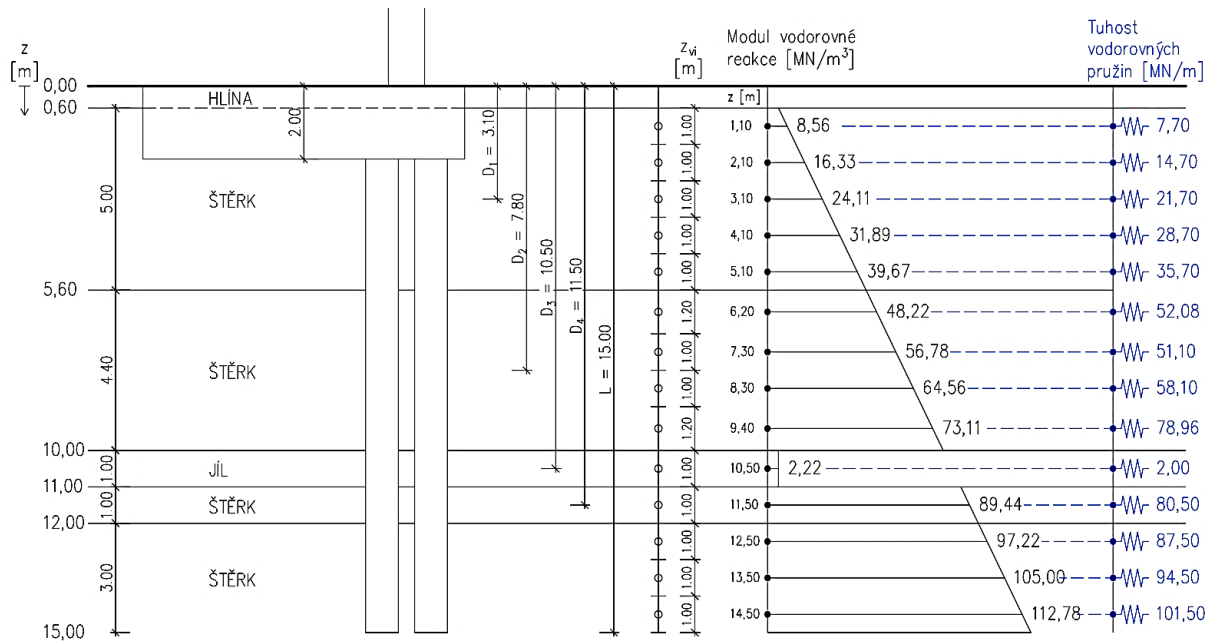
Lávka je samokotvená a bude podepřena skupinou svislých pilot a zemních kotev. Pevné podpory v modelu dostatečně nevystihují skutečné založení konstrukce. Piloty nezajistí dokonalé podepření pro vodorovný posun konstrukce, ale také jej zcela neuvolní. Proto byla vytvořena druhá varianta výchozího modelu, ve které podpory nebrání vodorovnému posunu. Mezi těmito dvěma mezními případy podepření se nachází skutečné působení pilot.



Obrázek 13 - Model s volným vodorovným posunem

Na oba modely s dvěma různými způsoby podepření byla aplikována proměnná zatížení a jejich kombinace. Z obou variant byly vybrány nejméně příznivé účinky, na které byla konstrukce navržena. Tím byly pokryty všechny možné případy namáhání. Pro hodnoty maximálních tlakových reakcí vznikajících v místě pod pylony byl stanoven odhad potřebného počtu pilot. Bylo vypočteno, že jedna pilota o průměru 900 mm má v daných geologických podmínkách únosnost 997,4 kN. Při maximální reakci o hodnotě přes 10 000 kN bylo s bezpečnostní rezervou navrženo 12 pilot.

Působení odporu zeminy vůči vodorovnému posunu konstrukce bude idealizováno zemními pružinami. Jejich tuhost byla stanovena na základě vlastností podloží.

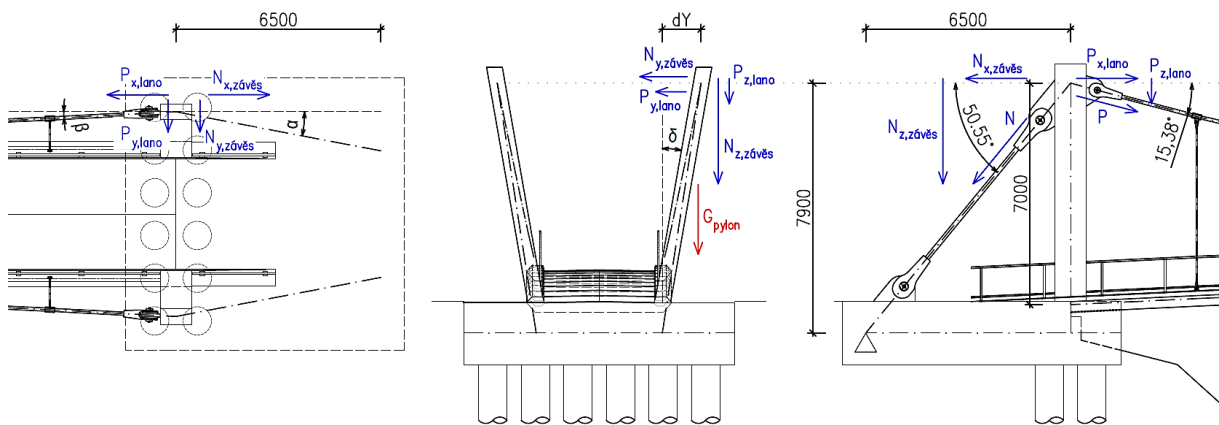


Obrázek 14 - Tuhost vodorovných pružin

Piloty a vodorovné pružiny byly doplněny do modelu. Malý vodorovný posun, který zemní pružiny povolují ovlivnil velikost sil potřebných pro zajištění výchozího stavu. Síly v lanech a kotevních závěsech byly upraveny iteračním postupem.

## 5.5 Příčný odklon pylonů

Pro příčný odklon pylonů byl hledán ideální úhel, při kterém by vodorovné a svislé složky sil v hlavě pylonu nezpůsobovaly přídavné ohybové namáhání. V takovém případě by pylon výhodně vzdoroval pouze tlakovému zatížení.

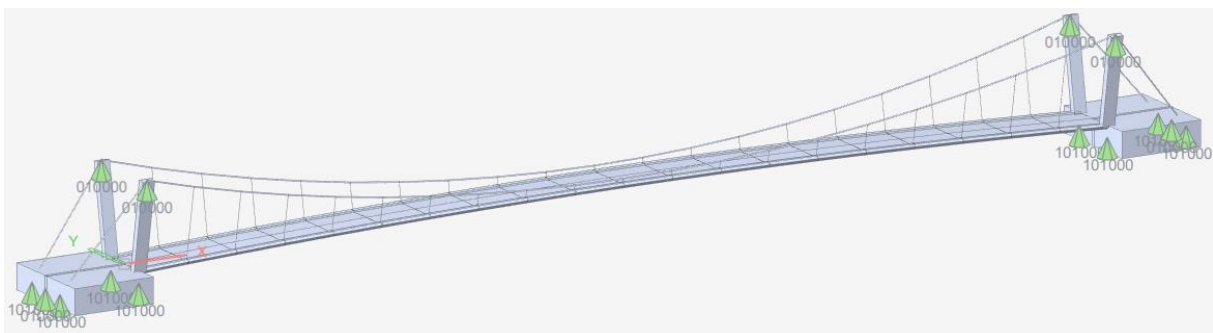


Obrázek 15 - Působení složek sil v hlavě pylonu

Bylo zjištěno, že vodorovné složky sil nedokážou vyrovnat moment, který způsobují svislé složky sil spolu s tíhou pylonu, a tedy že čím větší bude úhel příčného odklonu, tím větší bude ohybové namáhání. Pylony byly odkloněny pouze kvůli estetickému hledisku o úhel 10 ° a na vzniklé namáhání byly nadimenzovány.

## 5.6 Finální model

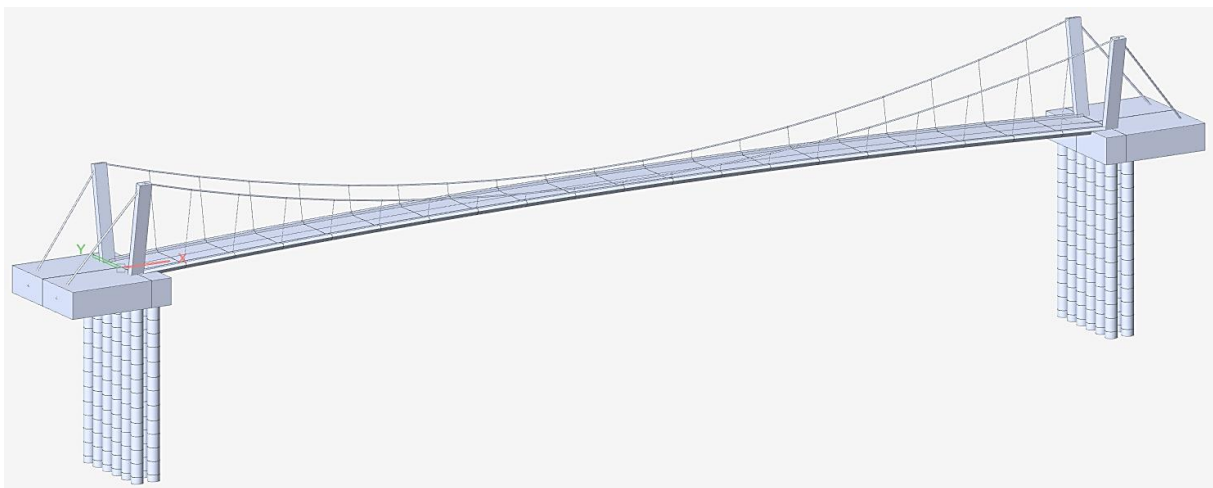
Novou geometrii lan způsobenou příčným odklonem bylo potřeba stejně jako ve svislém směru optimalizovat do výchozího tvaru. Vycházeno bylo opět z paraboly druhého stupně se vzepětím 1,234 m. Takovýto tvar lana způsoboval při působení stálých složek nemalé deformace. Docílení výchozího stavu je možné změnou vnesených sil, úpravou geometrie nebo kombinací těchto dvou způsobů. Bylo zjištěno, že změny sil mají viditelný vliv pouze na svislé deformace a vodorovné zůstávají téměř neměnné. Proto byl iteračním postupem upraven jeho půdorysný tvar, a to vždy změnou polohy daného bodu lana o deformaci, která v něm vznikala. Aby hledání tvaru nezakreslovaly příčné deformace pylonu, byly při tomto postupu do jejich vrcholů umístěny podpory. Po dosažení optimálního tvaru byly podpory odstraněny.



Obrázek 16 - Model pro nalezení výchozího půdorysného tvaru lana

Z nové geometrie byly dopočteny vodorovné složky sil, které vznikají jak v lanech, tak závěsích. O tento přírůstek musely být osově síly v prvcích navýšeny, aby byla zachována funkčnost konstrukce.

Půdorysné zakřivení lana bylo zadáno do modelu s pilotami. Po dopnutí kotevních závěsů bylo docíleno finální podoby modelu, jenž vykazuje minimální deformace.



Obrázek 17 - Finální podoba modelu

## 6 MEZNÍ STAV ÚNOSNOSTI

Na finální model konstrukce byly aplikovány kombinace pro mezní stav únosnosti. Jednotlivé prvky konstrukce byly posouzeny na nejnepříznivější účinky.

### 6.1 Visuté lano

Visutá lana přenáší pouze osově síly. Největší namáhání způsobuje kombinace dle rovnice 6.10b. Maximální hodnota v laně je dosažena u hlav pylonu. Navržené lano Pfeifer průměru 100 mm, pro něhož výrobce udává charakteristickou sílu při přetržení 10 100 kN, maximální namáhání bezpečně přenesou.

### 6.2 Tyčové závěsy

Závěsy jsou také prvky, které přenáší pouze osově síly. Maximální tahové namáhání opět vzniká pro kombinaci 6.10b. Pro tyčové závěsy Carbon Macalloy 420 M36 výrobce uvádí návrhovou hodnotu síly při přetržení 348 kN, což je pro posouzení dostatečná únosnost.

### 6.3 Kotevní závěsy

Kotevní závěsy jsou rovněž namáhány pouze osově a maximální účinky jsou dosaženy pro kombinaci 6.10b. Uzavřená lana Pfeifer průměru 140 mm, jejichž charakteristická síla při přetržení 20 000 kN je výrazně vyšší než potřebná únosnost, jsou navržena z důvodu vyšší tuhosti, jenž konstrukci zajišťují díky své průřezové ploše.

### 6.4 Mostovka

#### 6.4.1 Ohyb

Mostovka byla v první řadě posouzena z hlediska ohybové únosnosti. Vlivem samokotvené konstrukce je do mostovky vnášena i značná normálová síla. Pro posouzení působení normálové síly s ohybovým momentem byl využit software IDEA Statica. Pro kombinaci 6.10b byla vybrána místa, kde se vyskytují extrémní průběhy vnitřních sil. Jedná se vždy o extrémní ohybový moment a odpovídající normálovou sílu či extrémní normálovou sílu a odpovídající ohybový moment. Formou interakčních diagramů bylo posouzeno celkem 7 vybraných kombinací. Z důvodu velkého namáhání, bylo nutné mostovku navrhnout z vysokopevnostního betonu C 70/85, jehož pevnost zajišťuje dostatečnou ohybovou únosnost.

## 6.4.2 Smyk

Následně byla mostovka posouzena na smykovou únosnost. Bylo předpokládáno, že smyk bude v podélném směru přenesen zejména krajní trámy mostovky. Pro ty byla nejprve spočtena smyková únosnost zajištěna betonem bez smykové výztuže. Pro některá místa nebyla tato hodnota dostačující, a proto bylo nutné navrhnout smykovou výztuž. Bylo však ověřeno, že třmínky, které budou rozmístěny po celé délce mostovky dle konstrukčních zásad vykazují dostatečnou smykovou únosnost.

## 6.5 Pylon

Pylon je oproti mostovce namáhán normálovou silou a ohybovými momenty ve dvou směrech. Posouzení je však identické. Opět byl využit software IDEA Statica, který sestavil interakční diagramy pro vybrané kombinace dle rovnic 6.10a a 6.10b. Vždy byla vybrána maximální hodnota jedné z vnitřních sil ( $N$ ,  $M_y$ ,  $M_z$ ) spolu s odpovídajícími hodnotami zbylých dvou složek. Opět bylo vybráno 7 případů, z nichž jsou všechny vyhovující.

# 7 MEZNÍ STAV POUŽITELNOSTI

## 7.1 Visuté lano

Visutá lana byla posouzena na omezení napětí. Maximální napětí v laně nemá překročit 45 % hodnoty napětí odpovídající síle při přetržení. Pro zajištění lineárního chování byla zároveň ověřena minimální úroveň napětí, která nebyla nižší než 10 % napětí při přetržení. Charakteristické hodnoty napětí v laně vyhovují jak pro maximální, tak minimální namáhání.

## 7.2 Tyčové závěsy

Namáhání v závěsech je také omezeno 45 % napětí při přetržení. Žádná z hodnot charakteristické kombinace tuto mez nepřekročila.

## 7.3 Kotevní závěsy

V kotevních závěsech byly sledovány maximální i minimální hodnoty napětí. Opět žádná z charakteristických hodnot nepřekračuje dané meze.

## 7.4 Mostovka

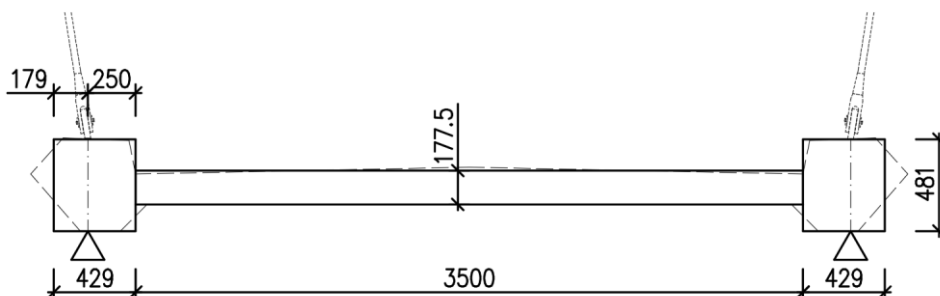
Pro železobetonové konstrukce je dle mezního stavu použitelnosti maximální přípustné napětí 60 % charakteristické tlakové pevnosti. Software Midas Civil NX sice dokáže zobrazit napětí v krajních vláknech, nezohledňuje však vznik trhlin. Proto bylo využito softwaru IDEA Statica. Byla vybraná místa, v nichž vznikají extrémní ohybové momenty či normálové síly, a tudíž i maximální napětí. Z kombinací momentů a normálových sil software stanoví napětí v krajních vláknech i s vlivem trhlin. Jak již bylo zmíněno v mostovce vznikají velká namáhání a je použit vysokopevnostní beton. Napětí v krajních částech mostovky však překračují limit 60 % pevnosti, a proto byl v těchto místech navržen náběh, který navýší průřezovou plochu a sníží tak hodnotu namáhání.

Mostovka také byla posouzena pro kritérium omezení šířky trhlin pro kvazistálou kombinaci. Ani v jednom z extrémně namáhaných míst trhliny pro tuto kombinaci nevznikají a kritérium je tedy splněno.

## 8 PŘÍČNÝ SMĚR

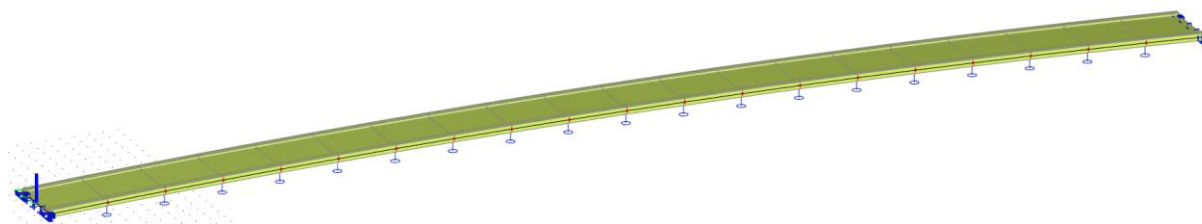
### 8.1 Výpočetní model

Pro analýzu mostovky v příčném směru byl vytvořen deskový model v softwaru SCIA Engineer. Byl použit zjednodušený průřez sestávající pouze z obdélníkových částí, jehož plocha je rovna té skutečné.



Obrázek 18 - Zjednodušený průřez pro deskový model

Model je podepřen posuvnými podporami v místech závěsů. Na okrajích je modelováno liniové vetknutí, které vystihuje napojení na základ.



Obrázek 19 - Deskový model pro příčný směr

## 8.2 Zatížení

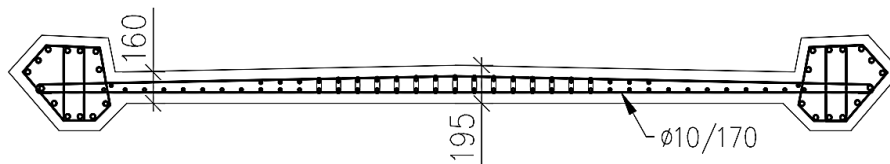
Vlastní tíhu software opět generuje automaticky. Dalším stálým zatížením je zábradlí a hydroizolační nátěr mostovky.

Proměnná zatížení zde tvořili pouze chodci. Toto zatížení bylo aplikováno jako plošné a stejně jako u prutového modelu ve třech různých polohách.

Mostovka byla v příčném směru analyzována pouze z hlediska únosnosti, a proto byly z uvedených zatížení vytvořeny pouze kombinace dle rovnic 6.10a a 6.10b.

## 8.3 Ohyb

Maximální ohybový moment v příčném směru vzniká pro kombinaci 6.10b s polohou chodců uprostřed. Na toto maximální namáhání byla navržena výztuž  $\varnothing 10/170$  mm. Tato výztuž z hlediska únosnosti v ostatních řezech není nutná, avšak z důvodu dodržení konstrukčních zásad bude rozmístěna po celé délce mostovky.



Obrázek 20 - Příčná ohybová výztuž

## 8.4 Smyk

Smyková únosnost v příčném směru byla posuzována pro deskovou část mostovky. Nejprve byla ověřena únosnost bez smykové výztuže. Díky použití vysokopevnostního betonu je únosnost desky i v nejtenčím místě dostačující pro všechny vzniklé účinky. Spony průměru 6 mm jsou rozmístěny pouze dle konstrukčních zásad.

# 9 DYNAMICKÁ ANALÝZA

## 9.1 Modální analýza

Jako první byla provedena modální analýza, čímž byly zjištěny vlastní tvary a frekvence. Bylo sledováno, zda se některé z nich nenachází v kritickém intervalu frekvencí. Takové případy je pak nutno podrobit harmonické analýze.

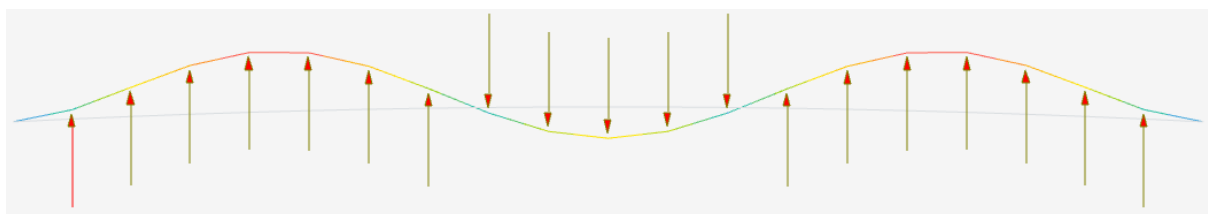
## 9.2 Harmonická analýza

Jelikož se příčné kmitání v prvních dvou desítkách vlastních tvarů nevyskytuje, byly sledovány tvary ohybové, pro něž je kritickým rozsahem frekvencí 1,25-2,3 Hz a 2,5-4,6 Hz. V tomto intervalu se vyskytuje celkem 5 vlastních tvarů.

vl. tvar	T [s]	f [Hz]	tvar
1	1.177	0.849	ohybový
2	1.115	0.897	ohybový
3	0.785	1.274	ohybový
4	0.591	1.691	torzní
5	0.536	1.866	ohybový
6	0.483	2.069	torzní
7	0.384	2.601	ohybový
8	0.349	2.864	kmitání lan
9	0.346	2.893	kmitání lan
10	0.345	2.895	kmitání lan
11	0.340	2.941	kmitání lan
12	0.329	3.041	složený
13	0.284	3.522	ohybový
14	0.237	4.216	torzní
15	0.218	4.596	ohybový
16	0.208	4.814	kmitání lan

Obrázek 21 - Přehled vlastních tvarů a frekvencí

Pro ty byla vždy stanovena odpovídající intenzita budícího zatížení, které bylo následně aplikováno tak, aby vyvolávalo nejvíce nepříznivé účinky.



Obrázek 22 - Příklad aplikace budících sil (3. vlastní tvar)

Následně bylo sledováno maximální zrychlení vyvolané harmonickým zatížením. Mezní hodnoty zrychlení jsou stanoveny jednotlivými třídami komfortu, na jejichž základě je konstrukce zařazena do příslušné třídy.

vlastní tvar	f [Hz]	$a_{\max}$ [m/s <sup>2</sup> ]	$a_{\lim}$ [m/s <sup>2</sup> ]	třída komfortu
3	1.339	0.026	0.50	CL1
5	1.758	0.551	1.00	CL2
7	2.604	0.032	0.50	CL1
13	3.516	0.173	0.50	CL1
15	4.688	0.001	0.50	CL1

Obrázek 23 - Srovnání maximálních zrychlení

## 10 FÁZE VÝSTAVBY

### 10.1 Fáze 1

V první fázi jsou navrženy výkopové práce a založení konstrukce. Výkopy se sklonem svahů 1:1 zajistí stabilitu výkopových stěn. Součástí této fáze je také vrtání a betonáž pilot, které slouží k přenosu zatížení do únosnějších vrstev podloží. Následně proběhne betonáž podkladního betonu a první části základu. Na tu budou osazeny zemní kotvy, jež budou po vyvrtání předepruty a následně zainjektovány. Na závěr bude dobetonována horní část základu.

### 10.2 Fáze 2

Ve druhé fázi výstavby bude provedena montáž pevných skruží pro mostovku a pylony. Následovat bude uložení výztuže a betonáž pylonu a mostovky. Současně je nutné osadit a zabetonovat do konstrukce pylonu i mostovky ocelové plechy určené pro kotvení závěsů, kotevních závěsů a visutých lan.

### 10.3 Fáze 3

Ve třetí fázi výstavby budou osazeny kotevní závěsy a visutá lana jejichž postupné napínání zabrání nadměrnému ohybovému namáhání pylonu. Visuté lano je napnuto vlivem postupného osazování a připojování závěsů k mostovce, a také délkovou rektifikací závěsů. Správná počáteční délka nenapjatého lana tak zajistí, že lano dosáhne požadované geometrie a sil potřebných pro docílení výchozího stavu konstrukce.

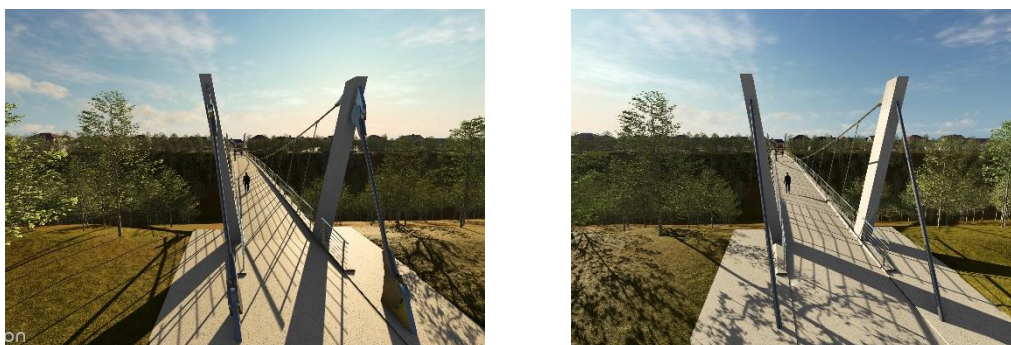
### 10.4 Fáze 4

V poslední fázi výstavby dojde k demontáži pevných skruží. Dále bude osazeno a ukotveno zábradlí podél mostovky. Na závěr budou provedeny terénní úpravy v okolí stavby, které tak obnoví původní terén a přístup k lávce.

## 11 VÝKRESOVÁ DOKUMENTACE A VIZUALIZACE

Na závěr byla vypracována výkresová dokumentace a vizualizace celé konstrukce. Při zpracovávání bylo dospěno k názoru, že mohutné vidličky a rozměrné plechy pro kotevní závěsy mírně narušují celkový vzhled lávky. Proto byla navržena alternativa pro provedení kotevního závěsu formou předpínacího kabelu vedeného v ocelové trubce. Pro potřebnou sílu by byl dostačující 19laný kabel. Z důvodu minimálního možného poloměru zakřivení lana, by bylo nutné prodloužit betonový základ. Kotva osazená v hlavě pylonu by se opírala o svařovaný plech, k němuž je přivařen i plech pro připojení visutého lana. Takto provedený kotevní závěs působí oproti navrženému řešení s vidličkami lehce a elegantně.

Vizualizace dvou možných provedení kotevních závěsů jsou popsány jako „alt. 1“ pro kotvení s vidličkami a „alt. 2“ pro předpínací lano v ocelové trubce.



Obrázek 24 - Porovnání alternativ pro kotevní závěs

## 12 ZÁVĚR

Cílem práce byl návrh lávky pro pěší přes údolí, jímž protéká místní potok. Na místo stávající konstrukce byly navrženy dvě varianty, z nichž podrobně zpracována byla varianta visuté lávky.

Pro analýzu této konstrukce byl vytvořen model v softwaru Midas Civil NX, v němž byly veškeré výpočty provedeny jako geometricky nelineární. Stěžejní částí tvorby modelu bylo nalezení výchozího tvaru visutých lan. Model byl tvořen postupně od samotného visutého lana až po finální podobu s příčně odkloněnými pylony.

Následně bylo aplikováno proměnné zatížení a jejich kombinace. Na základě vzniklých nejnepříznivějších účinků byla konstrukce s pomocí softwaru IDEA Statica posouzena na mezní stav únosnosti a použitelnosti.

Analýza konstrukce byla provedena také v příčném směru. Pro tyto účely byl vytvořen deskový model v programu SCIA Engineer.

Konstrukce byla podrobena také dynamické analýze, jež se skládala ze dvou kroků, a to z modální analýzy a harmonické analýzy.

Pro všechna provedená posouzení se konstrukce ukázala být vyhovující a byla pro ni zpracována výkresová dokumentace a vizualizace.

## 13 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 - Stávající stav .....	10
Obrázek 2 - Inženýrskogeologický průzkum .....	10
Obrázek 3 - Schéma varianty A .....	11
Obrázek 4 - Příčný řez varianty A .....	11
Obrázek 5 - Schéma varianty B .....	12
Obrázek 6 - Příčný řez varianty B .....	12
Obrázek 7 - Prutový model .....	13
Obrázek 8 - Umístění chodců .....	14
Obrázek 9 - Zatížení teplotou .....	14
Obrázek 10 - Zatížení větrem .....	14
Obrázek 11 - Model visutého lana .....	15
Obrázek 12 - Výchozí model .....	15
Obrázek 13 - Model s volným vodorovným posunem .....	16
Obrázek 14 - Tuhost vodorovných pružin .....	17
Obrázek 15 - Působení složek sil v hlavě pylonu .....	17
Obrázek 16 - Model pro nalezení výchozího půdorysného tvaru lana .....	18
Obrázek 17 - Finální podoba modelu .....	18
Obrázek 18 - Zjednodušený průřez pro deskový model .....	21
Obrázek 19 - Deskový model pro příčný směr .....	21
Obrázek 20 - Příčná ohybová výztuž .....	22
Obrázek 21 - Přehled vlastních tvarů a frekvencí .....	23
Obrázek 22 - Příklad aplikace budících sil (3. vlastní tvar) .....	23
Obrázek 23 - Srovnání maximálních zrychlení .....	23
Obrázek 24 - Porovnání alternativ pro kotevní závěs .....	25

## 14 ZDROJE A LITERATURA

- [1] ČSN 73 6201 Projektování mostních objektů
- [2] ČSN 73 6214 Navrhování betonových mostních konstrukcí
- [3] ČSN EN 1990 včetně změny A1: Zásady navrhování konstrukcí
- [4] ČSN EN 1991-2: Zatížení mostů dopravou
- [5] ČSN EN 1992-1-1: Navrhování betonových konstrukcí. Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby
- [6] ČSN EN 1992-2: Betonové mosty. Navrhování a konstrukční zásady
- [7] ČSN EN 1993-1-11: Navrhování ocelových konstrukcí. Navrhování ocelových tažených prvků
- [8] NEČAS, Radim, Jan KOLÁČEK a Josef PANÁČEK. *BL12 – Betonové mosty I: zásady navrhování*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, 2014. Studijní opory pro studijní programy s prezenční formou studia. ISBN 978-80-214-4979-4
- [9] MASOPUST, Jan. *Vrtané piloty*. 1994. ISBN 8023827553
- [10] BUTZ, Christiane, Christoph HEINEMEYER, Gerhard SEDLACEK a M. GÉRADIN. *Design of Lightweight Footbridges for Human Induced Vibrations: Background Document in Support to the Implementation, Harmonization and Further Development of the Eurocodes*. 2009. ISBN 978-92-79-13387-9
- [11] *Macalloy Tension Structures* [online]. Dostupné z: <https://tension.cz/produkty-macalloy/>
- [12] *PFEIFER Tension Members* [online]. Dostupné z: <https://www.scribd.com/document/490466463/PFEIFER-TENSION-MEMBERS-BROCHURE-EN-pdf#page=1>
- [13] PĚNČÍK, Jan a FOGLAR, Martin. Idealizace hlubinného založení na vrtaných pilotách. In: *ANSYS 2009*. Brno: Ústav stavební mechaniky FAST VUT, 2009. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/publication/266355368\\_Idealizace\\_hlubinneho\\_zalozeni\\_na\\_vrtanych\\_pilotach](https://www.researchgate.net/publication/266355368_Idealizace_hlubinneho_zalozeni_na_vrtanych_pilotach)

# 15 SEZNAM PŘÍLOH

## **P1 – Použité podklady a varianty řešení**

- P1.1 STÁVAJÍCÍ STAV
- P1.2 INŽENÝRSKOGEOLOGICKÝ PRŮZKUM
- P1.3 VARIANTA A
- P1.4 VARIANTA B

## **P2 – Výkresová dokumentace**

- P2.1 PODÉLNÝ ŘEZ
- P2.2 SITUACE
- P2.3 PŘÍČNÉ ŘEZY
- P2.4 VÝKRES BETONÁŘSKÉ VÝZTUŽE MOSTOVKY
- P2.5 VÝKRES VÝZTUŽE PYLONU
- P2.6 DETAIL – PŘÍPOJ ZÁVĚSU K MOSTOVCE
- P2.7 ALTERNATIVNÍ ŘEŠENÍ KOTEVNÍHO ZÁVĚSU

## **P3 – Stavební postup a vizualizace**

- P3.1 FÁZE VÝSTAVBY
- P3.2 DÉLKA NENAPJATÉHO LANA PRO MONTÁŽ
- P3.3 VIZUALIZACE – ALT. 1
- P3.4 VIZUALIZACE – ALT.2

## **P4 – Statický výpočet**

- P4 STATICKÝ VÝPOČET