



# 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

## PŮDORYSNĚ ZAKŘIVENÁ LÁVKA PRO PĚŠÍ

PLAN CURVED PEDESTRIAN BRIDGE

### DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Alžběta Lachová

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jan Kolářek, Ph.D.

BRNO 2023

## Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav betonových a zděných konstrukcí  
Studentka: **Bc. Alžběta Lachová**  
Vedoucí práce: **Ing. Jan Kolářek, Ph.D.**  
Akademický rok: 2022/23  
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:

### Půdorysně zakřivená lávka pro pěší

#### **Stručná charakteristika problematiky úkolu:**

Návrh mostu 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 (mezní 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 mostní konstrukce bude vypracován podrobný statický výpočet všech částí jeho 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 a pro ÚBZK 1x na CD.

## 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. 2022

L. S.

---

prof. RNDr. Ing. Petr Štěpánek, CSc., dr. h. c.  
vedoucí ústavu

---

Ing. Jan Kolářek, Ph.D.  
vedoucí práce

---

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

## ABSTRAKT

Předmětem této diplomové práce je vypracování studie půdorysně zakřivené lávky vedoucí přes řeku Svratku. Byly vytvořeny dvě varianty, z nichž k následnému vymodelování a posouzení byla vybrána zavěšená konstrukce. Lávka je tvořena monolitickou mostovkou z předpjatého betonu. Příčný řez mostovky je navržen jako nesymetrický komorový nosník, zavěšený na jedné straně na pylonu. Pylon se nachází na vnitřní straně mostovky na spojnici vrcholu a středu kružnice a je kotven závěsy do podloží.

## KLÍČOVÁ SLOVA

Lávka, oblouk, půdorysně zakřivená, závěs, pylon, předpjatý, beton, výchozí stav, rovnováha, náklon, MPS, MSÚ, jednostranně zavěšená, nesymetrický, komorový, prutový model

## ABSTRACT

The subject of this master thesis is the elaboration of a study of a curved footbridge leading over the Svratka River. Two variants were created, from which a suspended structure was selected for subsequent modelling and assessment. The footbridge consists of a monolithic bridge deck made of prestressed concrete. The cross section of the bridge deck is designed as an asymmetrical box girder, suspended on one side by a pylon. The pylon is located on the inner side of the bridge deck at the junction of the apex and the centre of the circle and is anchored by hinges to the subgrade.

## KEYWORDS

Footbridge, arch, plan curved, hinge, pylon, prestressed, concrete, initial condition, balance, tilt, unilaterally suspended, asymmetric, box girder, member model

## BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

LACHOVÁ, Alžběta. *Půdorysně zakřivená lávka pro pěší*. Brno, 2023. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav betonových a zděných konstrukcí. Vedoucí Ing. Jan Kolářek, Ph.D.

## PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem *Půdorysně zakřivená lávka pro pěší* zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 13. 1. 2023

---

Bc. Alžběta Lachová

Autor

PODĚKOVÁNÍ: Především bych chtěla poděkovat mému vedoucímu diplomové práce Ing. Janu Koláčkovi Ph.D. za odbornou pomoc a ochotu při konzultacích. Díky jeho přístupu jsem se naučila věci nad rámec běžného vyučování a pochopila lépe zadanou problematiku. V neposlední řadě bych ráda poděkovala mé rodině a příteli za podporu a trpělivost.



## **OBSAH**

|                                   |    |
|-----------------------------------|----|
| 1. ÚVOD.....                      | 2  |
| 2. Varianty řešení.....           | 2  |
| 2.1 Varianta A.....               | 2  |
| 2.2 Varianta B.....               | 3  |
| 3. Návrh konstrukce.....          | 5  |
| 3.1 Návrh geometrie.....          | 5  |
| 4. Použité materiály.....         | 6  |
| 5. Princip návrhu.....            | 6  |
| 6. Výpočetní model.....           | 8  |
| 7. Postup výstavby.....           | 12 |
| 8. Zatížení.....                  | 12 |
| 9. Posouzení.....                 | 14 |
| 9.1 Mezní stav použitelnosti..... | 14 |
| 9.2 Mezní stav únosnosti.....     | 16 |
| 10. Dynamická analýza.....        | 17 |
| 11. Závěr.....                    | 18 |
| 12. Seznam obrázků.....           | 19 |
| 13. Seznam tabulek.....           | 19 |
| 14. Zdroje.....                   | 20 |

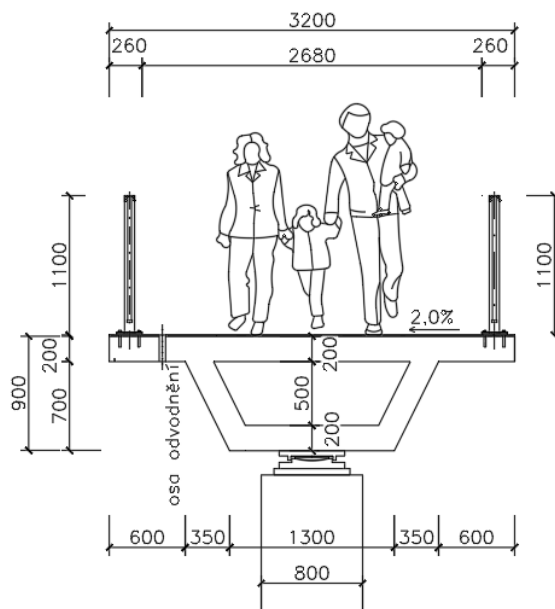
## 1. ÚVOD

Cílem mé diplomové práce bylo vytvořit návrh dvou variant půdorysně zakřivené lávky. Po jejich vzájemném porovnání byla vybrána varianta zavěšené lávky. Půdorysný tvar odpovídá části kružnice a lávka je zavěšena na vnitřní straně oblouku. Pro vybranou variantu byl vytvořen model ve FEM programu Ansys a důraz byl dán na hledání výchozího stavu konstrukce. Ve statickém výpočtu je lávka posouzena na mezní stav použitelnosti a únosnosti podle platných norem. V závěru je provedena modální analýza a lávka je posouzena i na harmonickou odezvu.

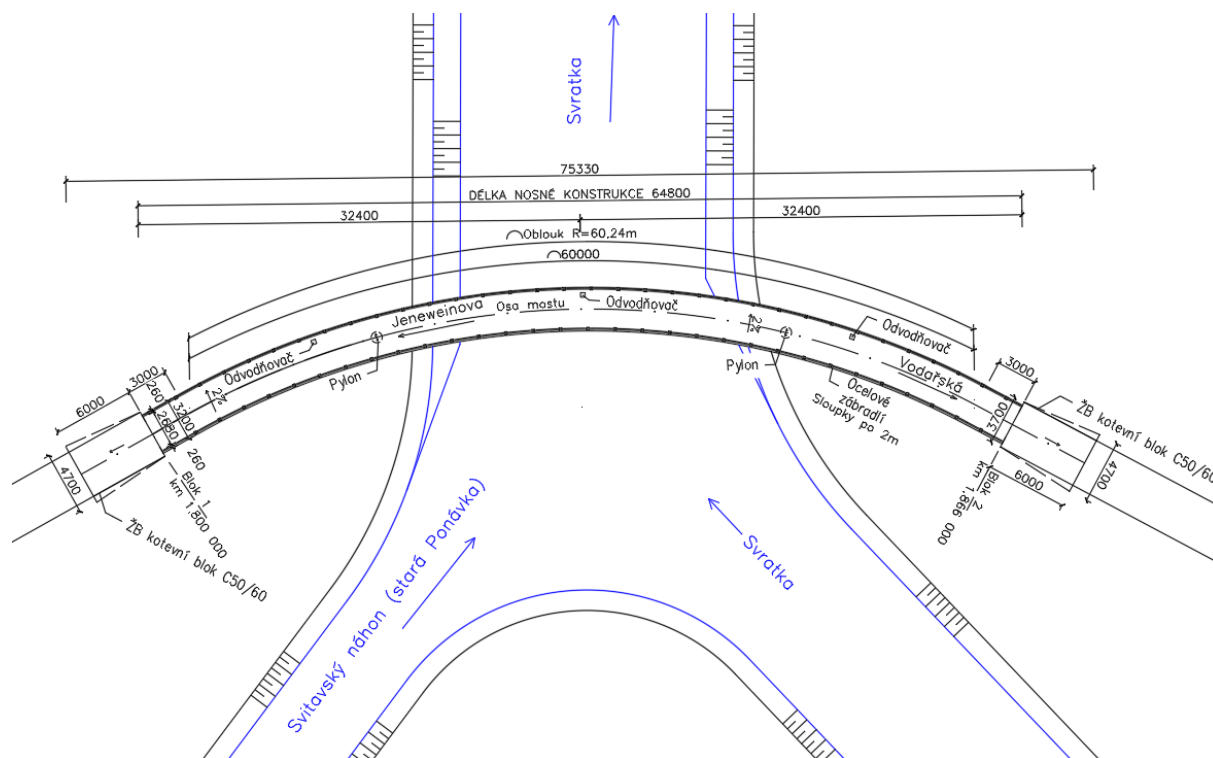
## 2. Varianty řešení

### 2.1 Varianta A

Prvním návrhem je půdorysně zakřivená lávka podepřená zhruba ve čtvrtinách rozpětí dvěma pylony a na koncích vetknuta na opěr. Tato varianta je méně náročná na postup výstavby nežli druhá varianta a celkově méně prostorově náročná. Průřez je komorový nosník, pro odlehčení konstrukce. Zábradlí je možno v příčném řezu umístit do jeho krajní polohy, protože nenastane kolize se závěsy, tudíž tento tvar nabízí i širší průchodný prostor.



Obr. 1 – Varianta A – příčný řez



Obr. 2 – Varianta A – Situace

## 2.2 Varianta B

Jako druhou variantu jsem si zvolila jednostranně zavěšenou lávku s půdorysným zakřivením. Průřez je komorového tvaru, což nabízí lepší odolnost proti ohybovému a kroučícímu momentu. Nesymetričnost tvaru zajišťuje výhodnější rozložení hmoty pro hledání rovnováhy na průřezu. Závěsy svírají s rovinou mostovky úhel 30°. Lávka je zavěšena na vnitřním okraji na pylonu, který se nachází na spojnici vrcholu a středu oblouku. Pylon je dále kotven pomocí dvou závěsů do kotevních bloků. Tato varianta je prostorově náročnější, avšak průřez mostovky nabízí oproti variantě A úsporu betonu. Celkově se jedná o elegantnější a štíhlejší konstrukci, která lépe zapadne do rázu krajiny v místě soutoku řek. Z těchto důvodů jsem si zvolila variantu B k následnému zpracování.

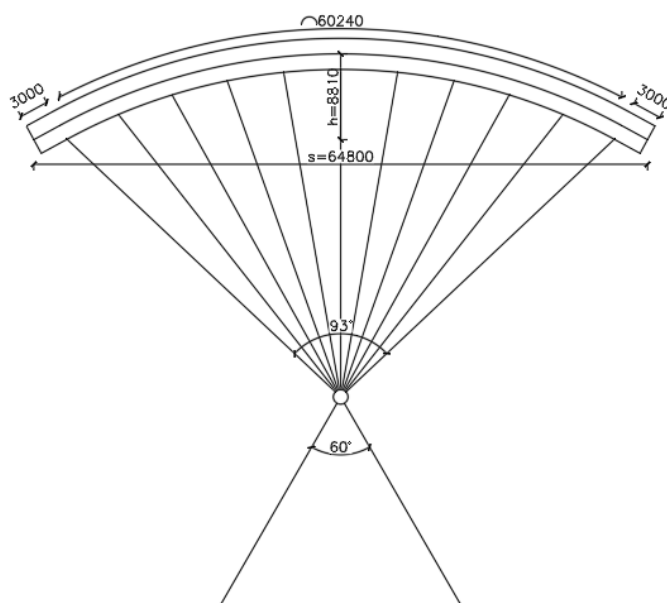


### 3. Návrh konstrukce

#### 3.1 Návrh geometrie

##### 3.1.1 Podélný směr

Osa lávky v podélném směru je ve tvaru oblouku o poloměru 60,24 m s dvěma krajními přínými úseky délky 3 m ve směru tečny. Mostovka je zavěšena na vnitřní straně oblouku jedenácti závěsy v úsecích po 6 m. Délka nosné konstrukce činí 64,8 m a maximální vyložení oblouku 8,81 m. Pylon se nachází na vnitřní straně oblouku na spojnici vrcholu a středu oblouku.

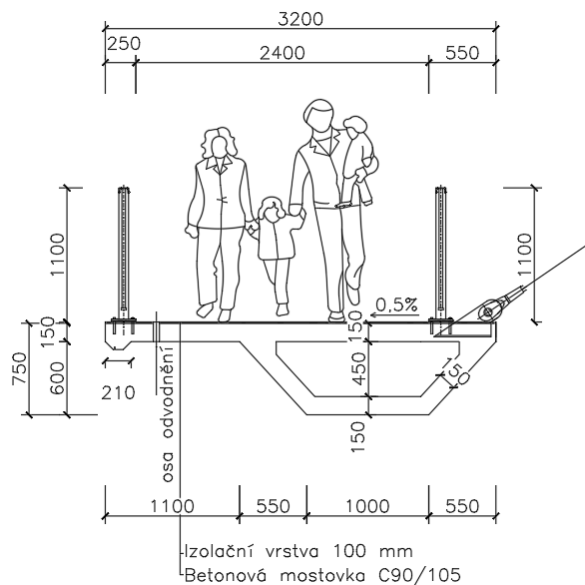


Obr. 5 – Schéma podélného směru

##### 3.1.2 Příčný směr

Pro celou délku mostovky je zvolen jeden tvar příčného řezu. Jedná se o nesymetrický komorový průřez. Komorový průřez má větší tuhost v kroucení a ohybu. Nesymetričnost průřezu nabízí výhodnější rozložení hmoty pro hledání Momentové rovnováhy na průřezu. Cílem je, aby výsledek momentové podmínky na průřezu byl 0 a nedocházelo ke kroucení průřezu. Komorový nosník má šířku 3,2 m. Bylo uvažováno s třemi pruhy pro chodce a rezervou. Zábradlí je na mostovce uloženo nesymetricky, protože na vnitřní straně oblouku bylo potřeba vytvořit dostatečný prostor pro kotevní plech. Průchozí prostor je tedy šířky 2,4 m a výšky 2,5 m. Výška komory je 0,75 m a tloušťka stěn 0,15 m. Na konci vyložení komory je deska rozšířena pro dosažení dostatečného krytí předpínací výztuže. Mostovka bude odvodněna pomocí příčného sklonu směrem

do odvodňovacích trubek a na levém okraji bude proveden malý zářez, aby přebytečná voda odkapávala a netekla po spodní straně průřezu.



Obr. 6 - Příčný řez

## 4. Použité materiály

- Mostovka – Beton C90/105
- Pylon – Beton C40/50
- Betonářské výztuž – B500B
- Předpínací výztuž – Y1860 S7-15,7
- Závěsy – Macallyon M460, M520
- Kotevní plechy – S355

## 5. Princip návrhu

Principem návrhu spočíval především v nalezení rovnováhy v příčném řezu. Při jednostranném zavěšení je mostovka od vlastní tíhy namáhána kroutícím momentem. Abychom průřez dostali do rovnováhy je třeba vyrovnat tento moment opačným momentem vyvozeným například předpětím a zavěšením. Momentová podmínka na průřezu spočítaná ke středu smyku se potom bude rovnat nule.

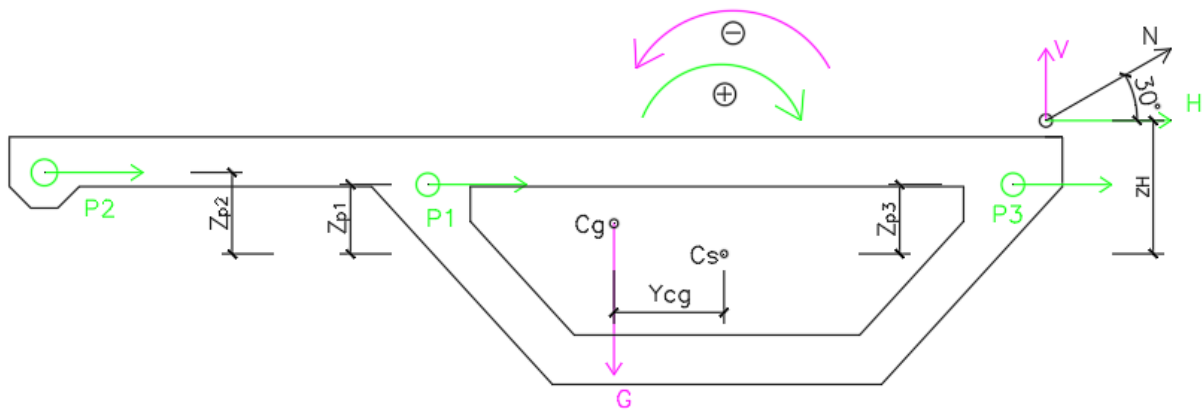
$$\Sigma M_{Cs} = 0$$

$$\Sigma M_{Cs} = M_G + M_N + \Sigma M_P = 0$$

$$M_G = G * Y_{Cg}$$

Mezi průřezové charakteristiky, které byly pro tento návrh důležité, patří těžiště průřezu a střed smyku. Těžiště průřezu  $C_g$  je působiště vlastní tíhy. Také je to bod v rovině průřezu, pro který platí, že statický moment plochy průřezu k libovolné ose, které prochází tímto bodem, je roven 0. Střed smyku  $C_s$  je bod v rovině průřezu, kterým prochází výslednice sil, tzn. bod ke kterému budeme počítat kroutící moment. Náš průřez není symetrický, proto se těžiště průřezu a střed smyku nenacházejí na stejném místě.

Záporně průřezem otáčejí, tedy ho naklání, vlastní tíha mostovky a svislá složka síly v závěsu. Vlastní tíhu jsem si vyjádřila pro úsek na mostovce, který připadá na jeden závěs, tedy 6 m. Kladně mostovkou otáčí radiální účinky předpínací síly v kabelech a vodorovná složka síly v závěsu. Momentovou podmínku můžeme tedy ovlivnit volbou průřezu mostovky, polohou bodu zavěšení a polohou a množstvím předpětí.



Obr. 7 - Schéma momentové podmínky

Po zvolení průřezu jsem dostala potřebnou velikost síly v závěsech a rovnováhu jsem dále upřesňovala změnou svislé polohy předpětí. Kabel P2, který se nachází v desce bylo možno posouvat pouze po minimálnímu krytí, proto hlavní roli hrála poloha kabelů č. 1 a 3, které bylo možno posouvat ve stěnách.

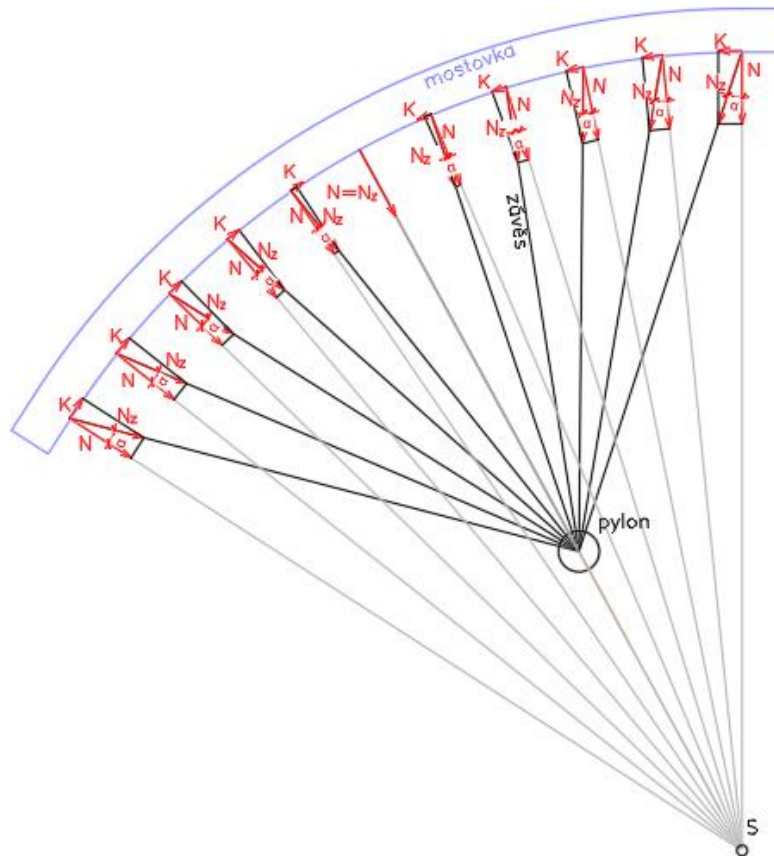
Úhel  $\alpha$  je úhel, který svírá závěs s vodorovnou složkou. Síly  $N$  a  $H$  lze vyjádřit pomocí goniometrických funkcí z vlastní tíhy průřezu.

$$V = G$$

$$N = \frac{G}{\sin \alpha}$$

$$H = \frac{G}{\operatorname{tg} \alpha}$$

Síla  $N$  by byla přímo silou v závěsu pouze tehdy, kdyby závěs tvořil kolmici na tečnu oblouku mostovky. V našem případě se pylon nenachází ve středu kružnicového oblouku, ale blíže k mostovce, proto je třeba sílu v závěsu dopočítat pomocí goniometrických funkcí. Síla v závěsu  $N_z$  je tvořena složkou  $N$  a složkou  $K$ , která stlačuje mostovku. Čím větší úhel  $\alpha$  svírají síly  $N_z$  a  $N$ , tím menší je složka  $N$  a větší tlaková síla  $K$ . Prostřední závěs je veden jako kolmice na tečnu mostovky, tudíž je síla v závěsu rovna síle  $N$  vyjádřené z momentové podmínky na průřezu.



Obr. 8 – Rozložení sil v závěsu

## 6. Výpočetní model

Konstrukce byla modelována v FEM programu Ansys jako prostorový prutový model. Z důvodu potřeby velké variability tvaru lávky, míry předpětí a způsobu uložení jsem využila zadávání do programu pomocí maker. Na začátku bylo potřeba nalézt výchozí stav, od kterého se mohla konstrukce dále rozvíjet a zatěžovat.

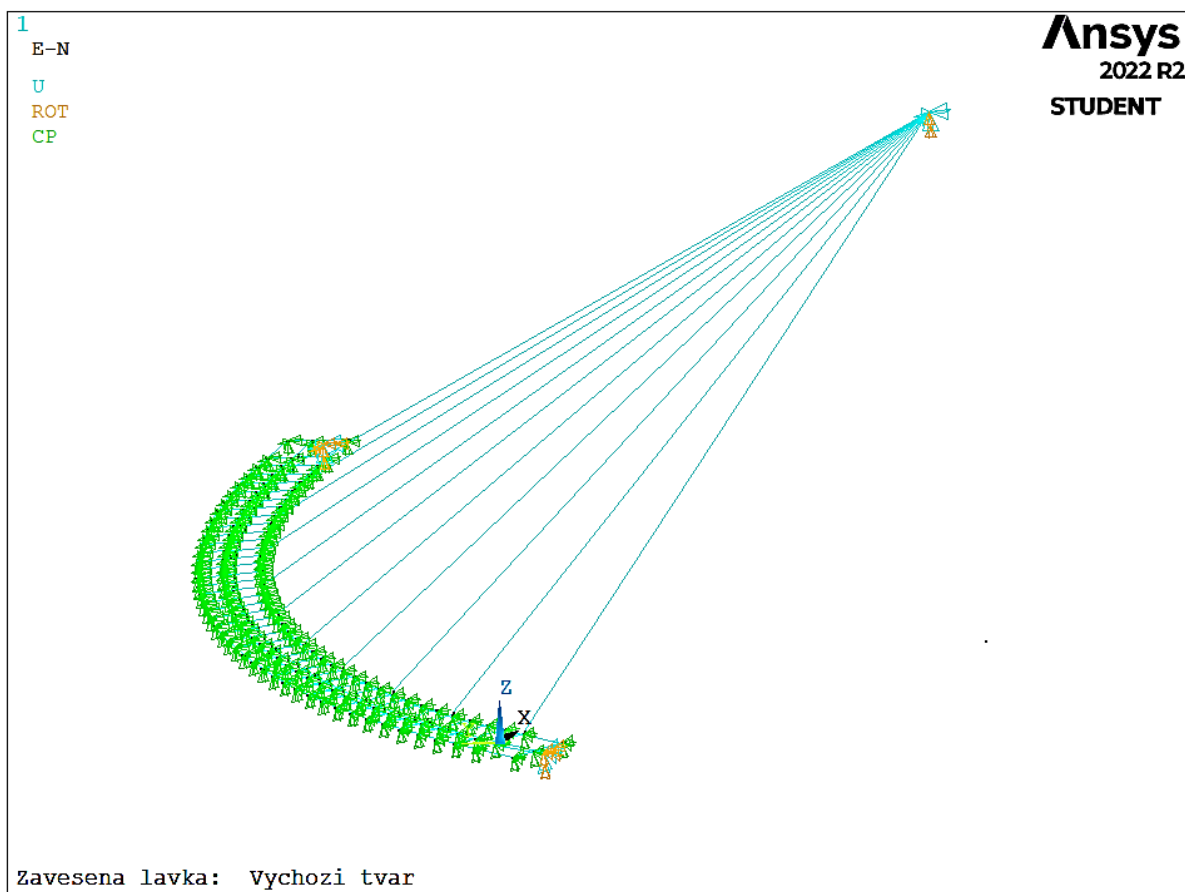
Jako první krok jsem zadala konečné prvky, které budou v modelu zastupovat mostovku, předpínací lana, závěsy a tuhé vazby. Poté vypsala materiály a jejich charakteristiky. Následně jsem prvkům jako jsou předpínací lana a závěsy přiřadila reálné charakteristiky jako je plocha a přetvoření. U typů prvků, které jsou



z betonu jsem nahrála vytvořený průřez a program Ansys si sám dopočítal průřezové charakteristiky. Následovalo zadání geometrie pomocí uzlů tzv. nodů a elementů, které je spojují. Celou geometrii jsem si vytvořila nejdříve v programu MS Excel s co možná největší proměnlivostí a poté zapsala do maker. Mostovka je modelována v jejím těžišti a rozdělená na úseky po 1,5 m. V každém úseku je vytvořená příčná vazba, na kterou jsou připojeny předpínací kabely. Při vytváření geometrie bylo důležité natočit systémové osy nodů, aby lokální osa x byla ve směru tečny mostovky. Předpínací kabely jsou s mostovkou spojeny tuhými vazbami a speciálními CP vazbami, které spojují dva body na stejném místě tak, že jeden z nich je řídicí bod tzv. „master“ a ten druhý řízený tzv. „slave“. Tato vazba udává řízenému bodu stejné posuny a natočení jako má řídicí bod.

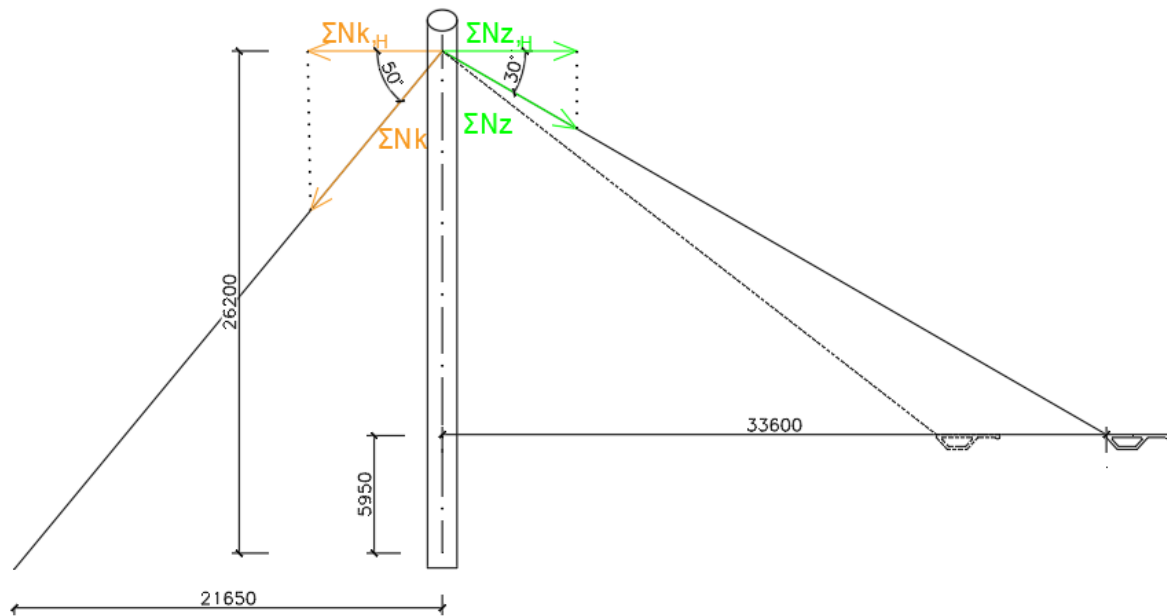
Závěsy jsou definovány pomocí jejich plochy a přetvoření, což vystihuje sílu v závěsu  $N_z$ . Byly modelovány jako prvek, který může být pouze tažen a nepřenáší ohybový moment. Na obou koncích jsou závěsy upevněny kloubově.

Mostovka je v obou opěrách vetknuta a před nalezením výchozího tvaru je pylon nahrazen neposuvnou podporou.



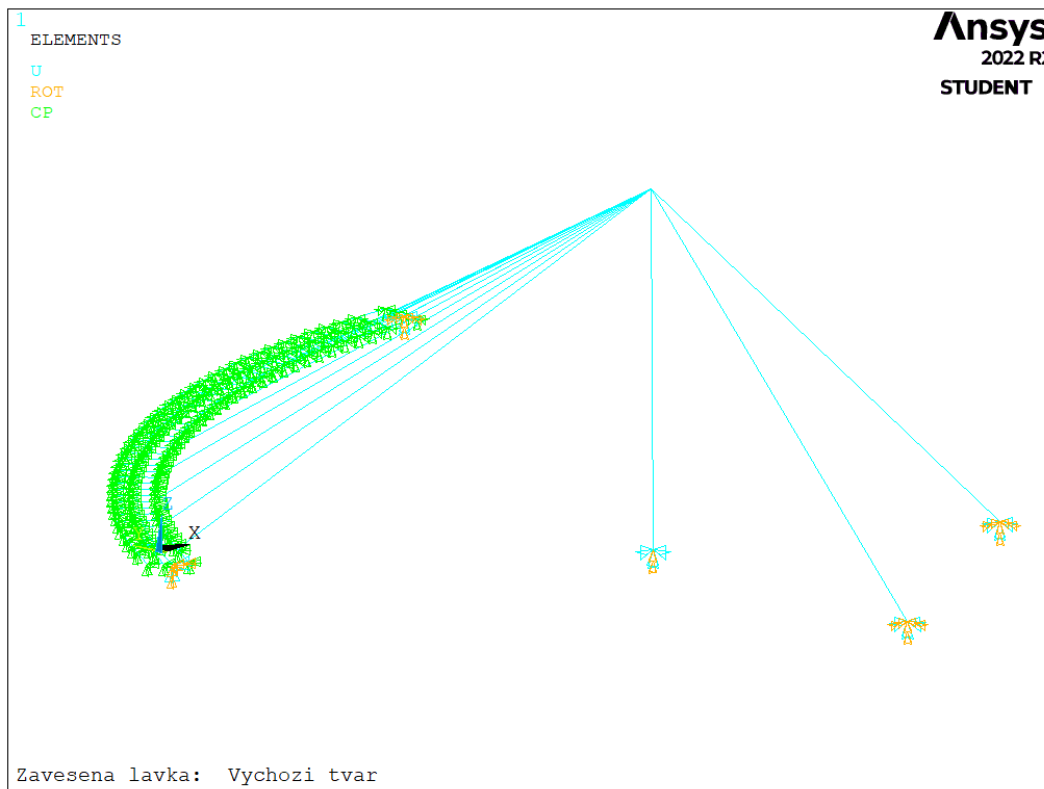
Obr. 9 – První verze modelu kce. – bez pylonu

Po nalezení rovnováhy konstrukce byl navržen pylon, který bude kotven závěsy do kotevních bloků. Vodorovná složka kotevní síly odpovídá vodorovné složce sumě sil od závěsů mostovky, aby bylo momentové namáhání pylonu minimalizováno. V průběhu výpočtu jsem model pravidelně ověřovala ručním výpočtem a kontrolou reakcí. Fungování celého modelu je podrobněji rozebráno v příloze Popis modelu.



Obr. 10 – výslednice sil od závěsů působících na pylon

Po nalezení výchozího stavu v čase  $t_{\infty}$  jsem začala model zatěžovat chodci, teplotou a větrem. Výpočet modelu byl prováděn vzhledem k charakteru konstrukce nelineárně. Jedná se o přibližný výpočet, jelikož nebylo zahrnuto smršťování a dotvarování konstrukce a ztráty předpětí byly odhadnuty.



Obr. 11 – Druhá verze modelu – s pylonem

## 7. Postup výstavby

Mostovka bude betonována na pevné skruži. Uvnitř komorového nosníku bude použito ztracené bednění z polystyrenu. Po dosažení dostatečné pevnosti betonu bude mostovka zavěšena na pylonu.

## 8. Zatížení

### ZS 1 – Vlastní tíha konstrukce

Vygenerováno softwarem Ansys podle zadaných objemových hmotností.

### Předpětí

Předpětí bylo navrženo v programu Ansys a je součástí výchozího stavu konstrukce. Zadáno bylo pomocí plochy a přetvoření.

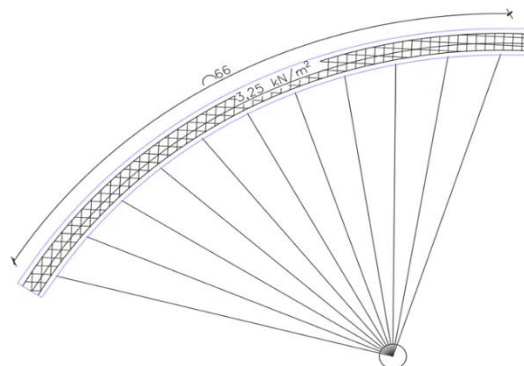
|          |        |
|----------|--------|
| Kabel P1 | 6 lan  |
| Kabel P2 | 5 lan  |
| Kabel P3 | 4 lana |

Tab. 1 – Navržené předpětí

### ZS 2 – Ostatní stálé zatížení

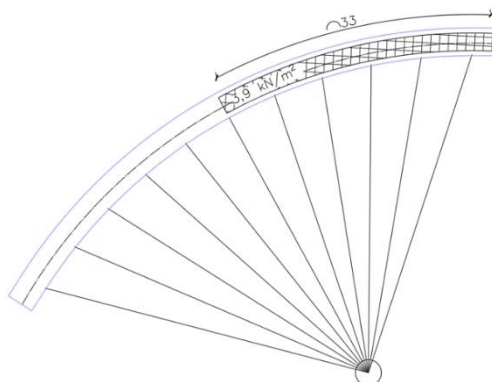
Zatížení od zábradlí a izolační vrstvy.

### ZS 3 – Chodci 1



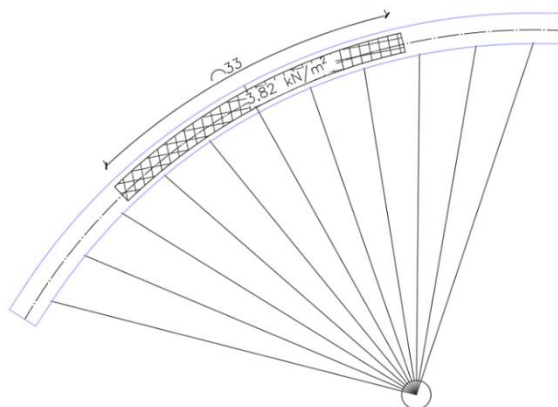
Obr. 12 – Schéma ZS 3

### ZS 4 – Chodci 2



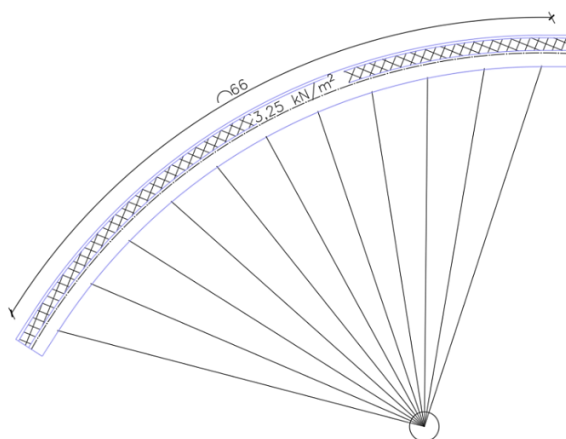
Obr. 13 – Schéma ZS 4

ZS 5 – Chodci 3



ZS 6 – Chodci 4

Obr. 14 – Schéma ZS 5



Obr. 15 – Schéma ZS 6

ZS 7 – Rovnoměrné ohřátí konstrukce

Rozsah rovnoměrné složky pro výpočet prodloužení  
Ohřátí závěsů

$$\Delta T_{N,exp} = T_{e,max} - T_0 = 31.5 \text{ °C}$$

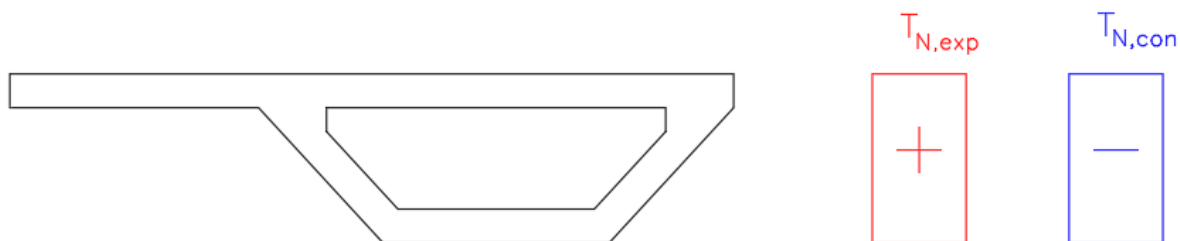
$$\Delta T_{N,exp} = T_{e,max} - T_0 + 10 \text{ °C} = 41.5 \text{ °C}$$

ZS 8 – Rovnoměrné ochlazení konstrukce

Rozsah rovnoměrné složky pro výpočet zkrácení  
Ochlazení závěsů

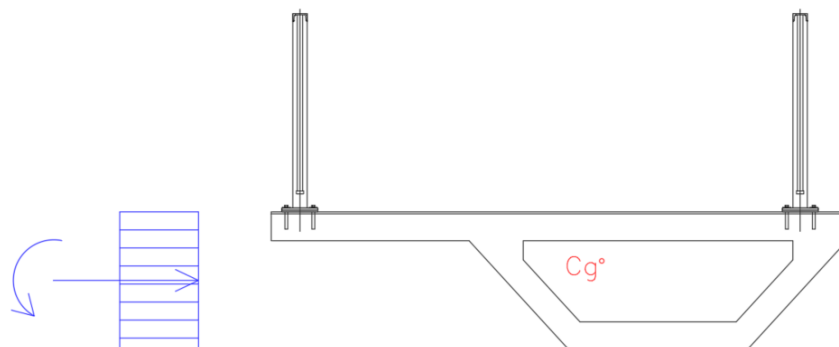
$$\Delta T_{N,con} = T_0 - T_{e,min} = -32 \text{ °C}$$

$$\Delta T_{N,con} = T_0 - T_{e,min} + 10 \text{ °C} = -22 \text{ °C}$$



Obr. 16 – Schéma zatížení větrem

## ZS 9 – Zatížení větrem ve směru X



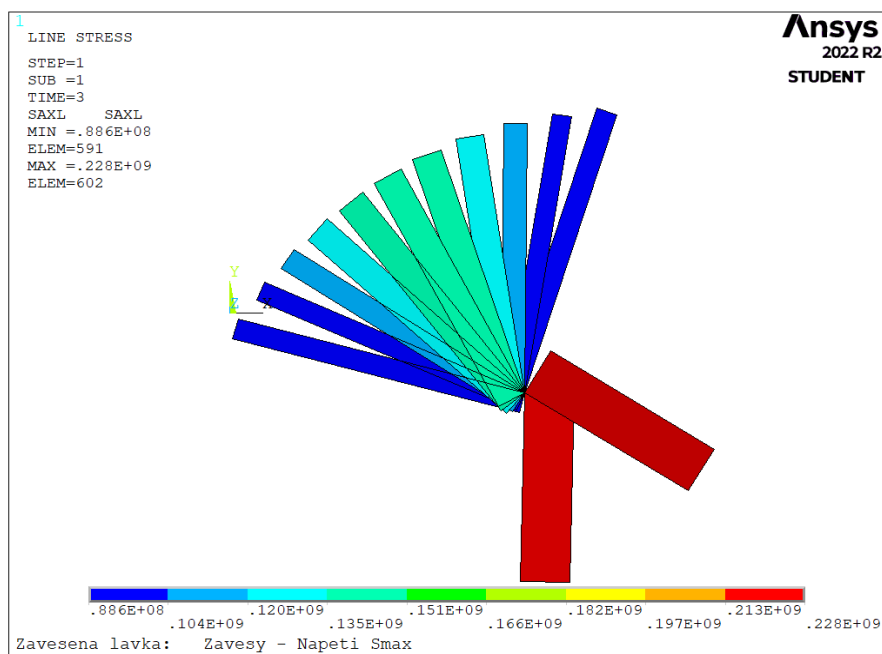
Obr. 17 – Schéma ZS 9

## 9. Posouzení

### 9.1 Mezní stav použitelnosti

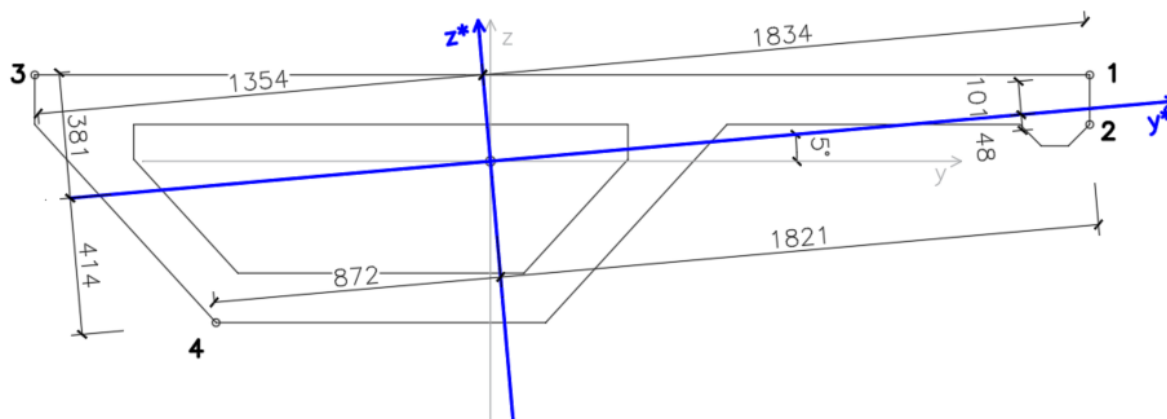
#### 9.1.1 Omezení napětí

V mezním stavu použitelnosti jsem posoudila omezení napětí v předpínací výztuži a v závěsech. V konstrukci se nachází závěsy třech různých průřezů. Napětí v nich bylo posuzováno při kvazistálé kombinaci. V závěsech je zaručeno lineární chování, pokud napětí od stálého zatížení neklesne pod 10 %  $f_{yk}$ . K relaxaci oceli nedojde, pokud napětí od stálého zatížení nepřekročí 45 %  $f_{yk}$ .



Obr. 18 – Omezení napětí v závěsech

Omezení napětí v betonu bylo vyhodnoceno ve čtyřech krajních bodech mostovky v čase  $t_0$  pro kvazistálou kombinaci a v čase  $t_\infty$  pro kvazistálou, charakteristickou i častou kombinaci. Jedná se o nesymetrický průřez, proto bylo potřeba výpočet provést k nakloněným hlavním osám setrvačnosti.



Obr. 19 – Body posuzované na omezení napětí v betonu

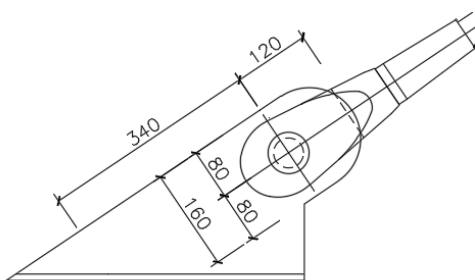
V časté kombinaci je dle normy šířka trhlin omezena na 0,2 mm. V mostovce nedojde v časté kombinaci k překročení únosnosti betonu v tahu, není tedy třeba určovat šířku trhlin. V charakteristické kombinaci dojde v bodě 1 k překročení meze tahu v betonu, tedy trhliny vzniknou. Při rozsáhlejší posouzení by bylo vhodné přepočítat únosnost betonu v tlaku po vyloučení tažených vláken. Takový posudek není předmětem mé práce, proto jsem se rozhodla spolehnout na dostatečnou rezervu v betonu v tlaku.

### 9.1.2 Průhyb

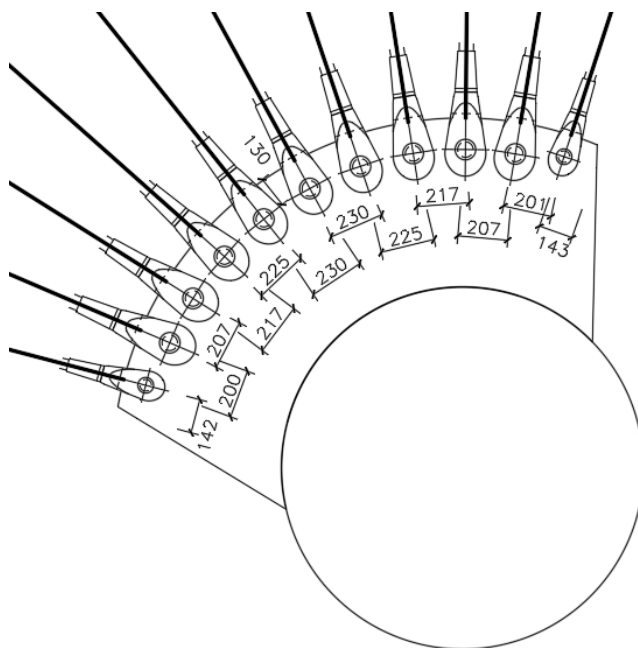
Průhyb u lávek není eurokódem přesněji omezen, proto jsem se rozhodla pro posouzení na kritérium obecné použitelnosti. Vytvořila jsem dvě kombinace s nejkritičtějším zatížením, chodci na jedné polovině a rovnoměrné ohřátí od teploty a průhyb porovnála s hodnotou  $L/250$ .

## 9.2 Mezní stav únosnosti

Předmětem posouzení byla maximální normálová síla v závěsech, posouzení mostovky, pylonu a kotevních plechů. Mostovka vyhověla při posouzení na ohybový moment i smyk a výztuž byla navržena pouze konstrukčně. Pro pylon byla navržena výztuž pomocí iteračního postupu hledání polohy N. O. Kotevní plechy byly posouzeny na únosnost oslabeného průřezu a únosnost plechu v otláčení.



Obr. 20 – Detail kotvení závěsu do mostovky



Obr. 21 – Detail kotvení závěsu do pylonu



## 10. Dynamická analýza

V poslední řadě, protože se jedné o poměrně štíhlou konstrukci, byla lávka prověřena i na modální a harmonickou odezvu. Při modální analýze rozlišujeme 3 základní typy vlastních tvarů: svislý ohybový, příčný a torzní. Tyto tvary se mohou vyskytovat ve formě jedné až n vln. Nebo v kombinaci. Ve statickém výpočtu byl proveden posudek na tzv. „Phenomen of Flutter“ tedy kmitání vlivem bočního větru. Tento jev lze vyloučit, pokud poměr frekvence vlastního tvaru svislého a torzního je větší nebo rovno 2,5. Modální analýza probíhá v programu Ansys lineárně.

Po vyhodnocení modální analýzy jsem určila body s největší výchylkou a umístila do nich budící harmonickou sílu, která zastupuje dynamickou složku zatížení chodcem. Pro bod s největší amplitudou jsem dopočetla maximální rychlost a zrychlení, které jsem na závěr porovнала s limitními hodnotami.

$$F = 280 * \sin(2 * \pi * f_0 * T)$$

|       |                              |
|-------|------------------------------|
| F     | Harmonická síla [N]          |
| 280   | Dynamická složka chodce [N]  |
| $f_0$ | První ohybová frekvence [Hz] |
| T     | doba/perioda [s]             |

$$v_{max} = u_{peak} * (2 * \pi * f) \leq 0,024 \text{ m/s}$$

$$a_{max} = -u_{peak} * (2 * \pi * f)^2 \leq a_{lim} = 0,5 * \sqrt{f_0}$$

|            |   |
|------------|---|
| $v_{max}$  | maximální rychlost sledovaného uzlu [m/s]           |
| $u_{peak}$ | maximální výchylka [m]                              |
| f          | frekvence při které dojde k maximální výchylce [Hz] |
| $a_{max}$  | maximální zrychlení sledovaného bodu                |

## 11. Závěr

V této diplomové práci jsem se zabývala návrhem studie a posouzením půdorysně zakřivené zavěšené lávky. Při hledání výchozího tvaru jsem provedla několik desítek iterací. Zkoušela jsem různé polohy bodu zavěšení, polohy a množství předpětí, polohy pylonu a průřezy mostovky. Mou snahou bylo vyloučit, nebo alespoň omezit kroutící účinky v mostovce. Při nalezení ideální rovnováhy průřezu jsem však později došla k závěru, že takto velká míra předpětí namáhá betonovou mostovku za mez pevnosti v tlaku a tahu, k čemuž se ještě přidávají účinky od zatížení teplotou. Zakřivené předpínací kabely mají snahu se narovnat a namáhají mostovku a opěry velkým ohybovým momentem. Obtížné splnění omezení napětí v betonu by se dalo vyřešit použitím vysokopevnostního betonu nebo ocelového průřezu. Při posledních iteracích jsem se rozhodla ponechat v mostovce určitý kroutící moment (v řádu 20 kN), abych splnila posouzení na omezení napětí a zároveň snížila nutnou míru dopnutí závěsů. Kdybych měla v dalším kroku něco změnit, byla by to nejspíše poloha ukotvení závěsů do pylonu. V mém návrhu jsem zvolila radiální zavěšení, což činí jistou obtíž v detailu uchycení. Proto bych se rozhodla spíše pro semiradiální zavěšení.

## 12. Seznam obrázků

|   |    |
|---|----|
| Obr. 1 – Varianta A – příčný řez.....                       | 2  |
| Obr. 2 – Varianta A – Situace .....                         | 3  |
| Obr. 3 – Varianta B – Situace .....                         | 4  |
| Obr. 4 – Varianta B – Příčný řez.....                       | 4  |
| Obr. 5 – Schéma podélného směru.....                        | 5  |
| Obr. 6 – Příčný řez .....                                   | 6  |
| Obr. 7 – Schéma momentové podmínky.....                     | 7  |
| Obr. 8 – Rozložení sil v závěsu.....                        | 8  |
| Obr. 9 – První verze modelu kce. – bez pylonu.....          | 9  |
| Obr. 10 – výslednice sil od závěsů působících na pylon..... | 10 |
| Obr. 11 – Druhá verze modelu – s pylonem.....               | 11 |
| Obr. 12 – Schéma ZS 3.....                                  | 12 |
| Obr. 13 – Schéma ZS 4.....                                  | 12 |
| Obr. 14 – Schéma ZS 5.....                                  | 13 |
| Obr. 15 – Schéma ZS 6.....                                  | 13 |
| Obr. 16 – Schéma zatížení větrem .....                      | 13 |
| Obr. 17 – Schéma ZS 9.....                                  | 14 |
| Obr. 18 – Omezení napětí v závěsech .....                   | 14 |
| Obr. 19 – Body posuzované na omezení napětí v betonu .....  | 15 |
| Obr. 20 – Detail kotvení závěsu do mostovky.....            | 16 |
| Obr. 21 – Detail kotvení závěsu do pylonu .....             | 16 |

## 13. Seznam tabulek

|                                 |    |
|---------------------------------|----|
| Tab. 1 – Navržené předpětí..... | 12 |
|---------------------------------|----|

## 14. Zdroje

- [1] KOLÁČEK, Jan. *Analýza půdorysně zakřivených závěsných a visutých lávek* [online]. Brno, 2013 [cit. 2023-01-07]. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/11012/137871>. Disertační práce. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta stavební. Ústav betonových a zděných konstrukcí. Vedoucí práce Jiří Stráský.
- [2] ČSN EN 1991-1-5: (730035) *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí.*
- [3] ČSN EN 1991-1-4 (730035) - *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí.*
- [4] ČSN 73 6201 *Projektování mostních objektů.*
- [5] ČSN 73 6214 *Navrhování betonových mostních konstrukcí.*
- [6] ČSN EN 1990 včetně změny A1: *Zásady navrhování konstrukcí.*
- [7] ČSN EN 1991-2: *Zatížení mostů dopravou.*
- [8] ČSN EN 1992-1-1: *Navrhování betonových konstrukcí. Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby.*
- [9] ČSN EN 1992-2: *Betonové mosty. Navrhování a konstrukční zásady.*
- [10] <http://www.vsl.cz/dodatecne-predpinani>
- [11] <http://www.tension.cz/produkty/tahla-macalloy>

## 15. Použité softwary

ANSYS (APDL)

Scia Engineer 19.1

MS Excel

MS Word

Autocad

PSPad

Rhinoceros 7

Lumion 12.5 Student

## 16. Seznam příloh

### P1. Výkresy

P1.1. Situace

P1.2. Pohled na konstrukci

P1.3. Příčný řez

P1.4. Trasování předpínací výztuže

P1.5. Schéma betonářské výztuže

### P2. Vizualizace

P2.1. Vizualizace

### P3. Statický výpočet

P3.1. Popis modelu konstrukce

P3.2. Statický výpočet