



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 ŘEKU OPAVU

FOOTBRIDGE ACROSS THE RIVER OPAVA

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. David Kolář

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Radim Nečas, Ph.D.

BRNO 2023

Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav betonových a zděných konstrukcí
Student: **Bc. David Kolář**
Vedoucí práce: **doc. Ing. Radim Nečas, 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:

Lávka přes řeku Opavu

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Návrh mostu zpracujte na základě předaných podkladů, tj. situace, příčný a podélný řez a geotechnické poměry.

Ve statickém výpočtu uplatněte řešení s postupnou výstavbou nosné monolitické konstrukce z předpjatého betonu.

Můžete drobně upravit základní geometrii mostu - délku a šířku konstrukce, polohu nivelety apod.

Ostatní úpravy lze provádět podle pokynů vedoucího diplomové práce.

Cíle a výstupy diplomové práce:

Cílem práce je pro zadaný most podrobně navrhnout všechny části jeho nosné konstrukce.

Pro zadaný problém navrhnut dvě až tři studie řešení a zhodnotit je. Ve výběru varianty se zaměřit na konstrukci podporovanou kabely (visutá konstrukce).

Vypracovat podrobný statický výpočet nosné konstrukce vybrané studie mostu podle mezních stavů.

Zpracovat v rámci výkresové dokumentace dispoziční výkresy, výkresy výztuže počítaných částí konstrukce a minimálně jeden detail.

Textovou část zpracovat v rozsahu a ve formě průvodní zprávy.

Diplomovou práci je třeba vypracovat a rozčlenit podle této struktury: Textová část a přílohy textové části – použité podklady a studie řešení, výkresy přehledné, podrobné a detaily, stavební postup a vizualizace a statický výpočet. Rozsah jednotlivých částí určí vedoucí diplomové práce.

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

doc. Ing. Radim Nečas, Ph.D.
vedoucí práce

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

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá návrhem lávky pro pěší pře řeku Opavu. Ze dvou variant studií, které se odlišují konstrukčním řešením, je vybrána samo kotvená lávka podporovaná kabely, tzn. visutá. Pro tuto variantu je zpracována podrobnější dokumentace. Hlavní náplní práce je statické řešení nosné konstrukce s výstupem v podobě výkresové dokumentace. Model konstrukce pro výpočet účinků vybraných zatížení zahrnuje vliv fázové výstavby konstrukce a k jeho sestavení je využit program ANSYS. Posudky a dimenzování je provedeno ručně v programu MS Excel a pro model řešení příčného směru je použit program SCIA Engineer. Všechny výpočty a posudky se řídí současnými platnými zásadami výpočtu podle mezních stavů.

KLÍČOVÁ SLOVA

lávka pro pěší, visutá konstrukce, beton, visuté kabely, závěsy, výztuž, monolitická konstrukce, výchozí stav, fáze výstavby, ANSYS, model, nelineární výpočet

ABSTRACT

The master's thesis topic is design of a footbridge across Opava river. Out of two different designs, a self – anchored suspension footbridge was chosen and necessary documentations were produced. The primary focus of the thesis is on static design solution with an output of several drawings. The model created in ANSYS includes different load cases together with construction stages. To support the results, checks and hand calculations via MS Excel were completed, as well as static analysis of transverse behaviour of the deck using SCIA Engineer software. Analysis and calculations are compliant to up-to-date codes and respect the fundamentals of analysis due to limit states.

KEYWORDS

footbridge, suspension structure, concrete, suspension cables, hangers, reinforcement, monolithic structure, initial state, construction stages, ANSYS, model, nonlinear calculation

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

KOLÁŘ, David. *Lávka přes řeku Opavu*. Brno, 2023. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav betonových a zděných konstrukcí. Vedoucí doc. Ing. Radim Nečas, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem *Lávka přes řeku Opavu* zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 13. 1. 2023

Bc. David Kolář
autor

PODĚKOVÁNÍ

Chtěl bych vyjádřit své poděkování především svému vedoucímu doc. Ing. Radimu Nečasovi, PhD za jeho odbornou pomoc, čas, ochotu a trpělivost během konzultací, během kterých mi ukázal a snažil se předat své bohaté zkušenosti.

Další poděkování patří mé rodině, která mě během celého studia podporovala.

Obsah

1. ÚVOD	9
2. VSTUPY PRO NÁVRH.....	10
3. VARIANTY ŘEŠENÍ.....	11
3.1. Varianta A: visutá konstrukce.....	11
3.2. Varianta B: konstrukce oblouku s předpjatým pásem.....	12
3.3. Zhodnocení variant	13
4. MODEL KONSTRUKCE.....	14
4.1. Použité materiály.....	14
4.2. Zatížení.....	14
4.3. Okrajové podmínky.....	14
4.4. Výchozí stav konstrukce.....	15
5. POSOUZENÍ KONSTRUKCE.....	18
5.1. Mezní stav únosnosti	18
5.2. Mezní stav použitelnosti	18
5.3. Posouzení mostovky v příčném směru	19
5.4. Dynamická analýza.....	19
6. ZÁVĚR.....	20
6.1. Použitá literatura, zdroje, software	21

1. ÚVOD

Cílem diplomové práce je návrh a posouzení lávky pro pěší přes řeku Opavu. Na základě podkladů a vzorového terénu jsou vypracovány dvě varianty přemostění, které se liší svým konstrukčním systémem a statickým řešením. První variantou, variantou A, je konstrukce samostatné visuté lávky o jednom poli. Varianta B je integrovaná konstrukce předpjatého pásu a oblouku.

Z navržených variant je vybrána varianta visuté konstrukce, která je následně detailněji zpracována. Jedná se především o posouzení statického působení konstrukce, a výpočty únosnosti a použitelnosti. Jedním z kroků je problematika získání rovnováhy ve výchozím stavu, tedy stavu, během kterého je konstrukce schopná přenést sama účinky vlastní tíhy a stálých složek zatížení. Součástí řešení je také posouzení fází výstavby s návrhem předpětí, či posudek namáhání kotevních pylonů. Práce je doplněna o shrnutí postupu modelování, statický výpočet, výstupy z modelu v programu ANSYS a výkresovou dokumentaci.

Lávka se nachází nad mělkým korytem řeky Opavy a jejím účelem je spojení městského parku s jezerem ležícím na druhém břehu řeky. Vzhled konstrukce je inspirován poskytnutými podklady. Jedná se o přirozeně působící lehkou konstrukci, která zajišťuje pohodlné překonání obou břehů a dbá také na zásady navrhování z hlediska využívání lávky imobilními občany.

Součástí této práce je podrobnější popsání jednotlivých variant. Dále je popsána geometrie zvolené varianty a postup získání výchozího stavu modelu a následné posudky.

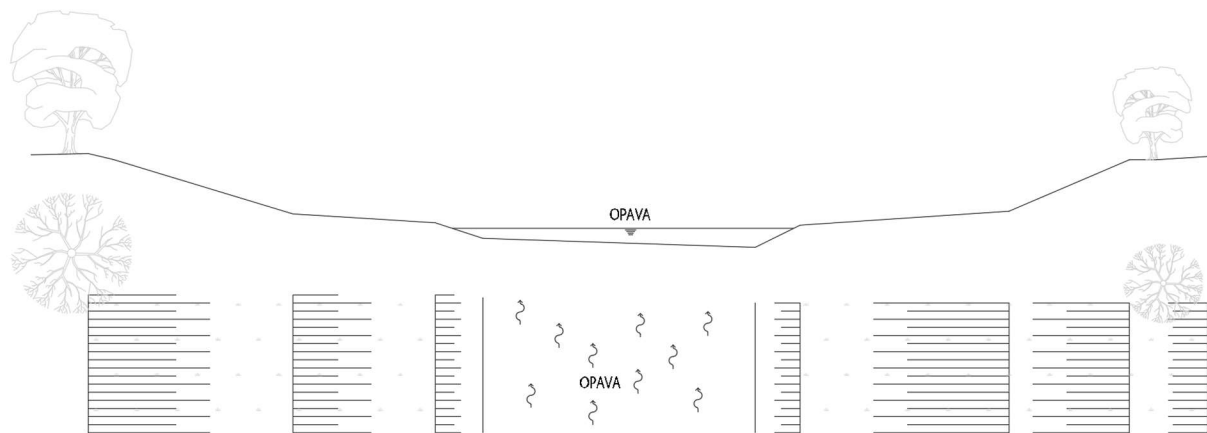
Závěrem je zhodnocení práce a průběhu navrhování.

2. VSTUPY PRO NÁVRH

Návrh variant řešení vychází ze vzoru poskytnutého podkladu terénu. Jedná se o mělké koryto řeky, což je potřeba zohlednit při výběru konstrukčních řešení. V nejbližším okolí stavby je uvažováno s vrstvami jílu, které dosahují do hloubky 10 m a jsou uloženy na pevném podloží.

Hloubka	Hloubka	Popis - ČSN 73 1001		Soudržnost	Obj. tíha zeminy γ [kN/m ³]	Nasyčená obj. tíha zeminy γ_{sat} [kN/m ³]	Úhel vnitřního tření φ [°]	Soudržnost zeminy c_u - totální [kPa]
z_{ia} [m]	z_{ib} [m]							
0.00	1.00	Písečná hlína	F3 MS	N	18	21	29	30
1.00	3.60	Hlína se střední plasticitou	F5 MI	S	18	21	21	50
3.60	10.00	Jíl s vysokou plasticitou	F8 CH	S	21	22.5	21	60

Obrázek 2.1 Uvažované podmínky pro založení



Obrázek 2.2 Uvažovaný terén

K návrhu rozměrů lávky je přistupováno na základě požadavků pro volný a pohodlný pohyb chodců i imobilních občanů.

- Volná šířka lávky alespoň 3,5 m
- Průchozí prostor alespoň 2,5 m
- Maximální podélný sklon konstrukce 8 %
- Minimální podélný a příčný sklon 0,5 %
- Smíšený pohyb cyklistů a chodců v celém rozsahu

Cílem je navrhnout také ekonomicky nenáročnou konstrukci, která by měla do budoucna snížené nároky a náklady na údržbu.

3. VARIANTY ŘEŠENÍ

Na základě zadání jsou vypracovány dvě varianty řešení přemostění říčního toku. Variantou A je zvolena konstrukce samokotvené visuté lávky, kdežto varianta B je integrovaný systém oblouku a předpjatého pásu.

3.1. Varianta A: visutá konstrukce

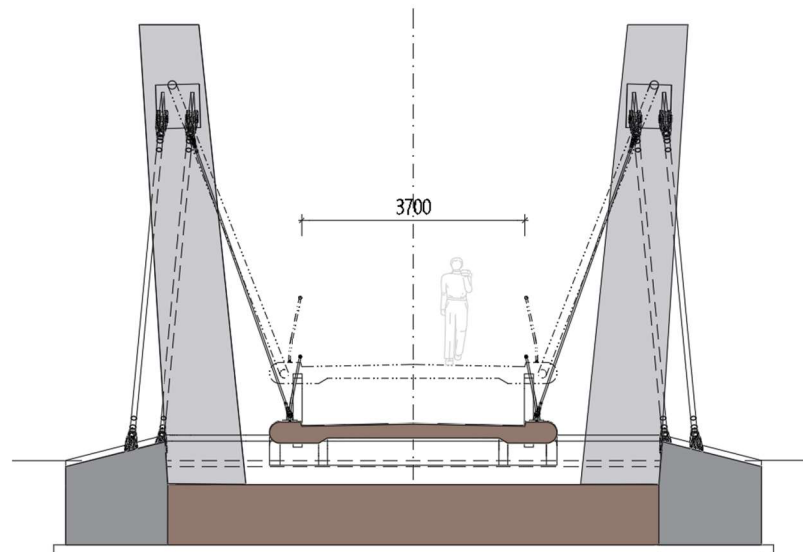
Důvodem navržení této varianty je fakt, že splňuje požadavky nižších nároků na údržbu v budoucnosti a při její výstavbě nejsou potřebné nadměrné zemní práce, jelikož se jedná o samokotvenou konstrukci, která svým působením nenamáhá okolí založení ve vodorovném směru. Založení lze provést pouze na hlubinných pilotách, které jsou opřeny do pevného skalního podloží, jež se nachází pod vrstvami jílu. Monolitická mostovka je koncipována ve tvaru zakružovacího parabolického oblouku a je vetknuta do koncových opěr, do nichž jsou také vetknuty dva páry nakloněných monolitických pylonů. Díky nižší konstrukční výšce a mělkému korytu je zvolena varianta betonáže na pevné skruži. Dalším z hlavních nosných prvků jsou visuté kabely, které jsou vetknuty do pylonů a které procházejí mostovkou uprostřed rozpětí. Tíha mostovky je vynášena visutými kabely pomocí závěsů. Vodorovná síla z kabelů je přenášena do krajních opěr ohybovou tuhostí pylonů a také kotevními tyčemi. K vykrutí vodorovné síly pomáhá i tlaková únosnost monolitické mostovky. Tento systém nevyžaduje dilatační závěry a ložiska, což snižuje náklady na údržbu. Kvůli snížení tahového namáhání mostovky jsou navržena předpínací lana procházející jejím těžištěm.

Navrhované teoretické rozpětí lávky je 66,00 m a celková délka konstrukce 87,04 m. Vzepětí mostovky uprostřed rozpětí je 1,20 m. Šířka lávky je 4,77 m s volnou šířkou pro pohyb chodců 3,70 m. Délka visutých kabelů je 73,00 m. Pylony jsou rozkročeny ve vrcholu ve vzdálenosti 8,00 m a jejich výška dosahuje 7,30 m od hrany opěry po vrchol. Závěsy jsou do mostovky kotveny po vzdálenosti 3,00 m a v místě jejich uložení na mostovce jsou navrženy příčníky. Pro přenos vodorovné síly od kabelů jsou využity kotevní tyče systému Macalloy.

Podélný sklon mostovky nabývá maxima 7,30 % a příčný sklon na mostovce je navržen 2 %, což zajišťuje jak pohodlné překonání mostovky chodci, tak odvodnění podél říms.



Obrázek 3.1 Podélný řez variantou A



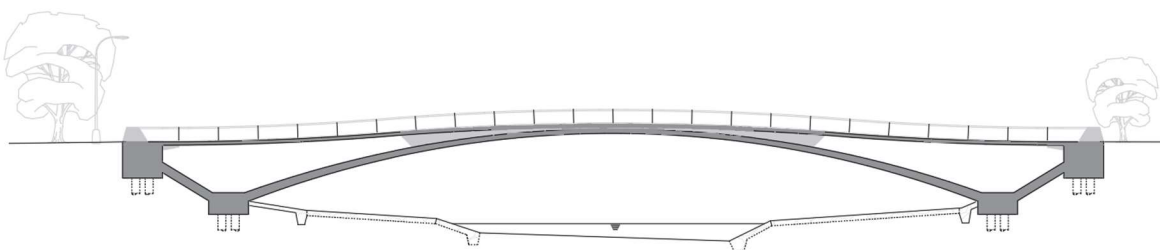
Obrázek 3.2 Příčný řez variantou A a pohled na pylony

3.2. Varianta B: konstrukce oblouku s předpjatým pásem

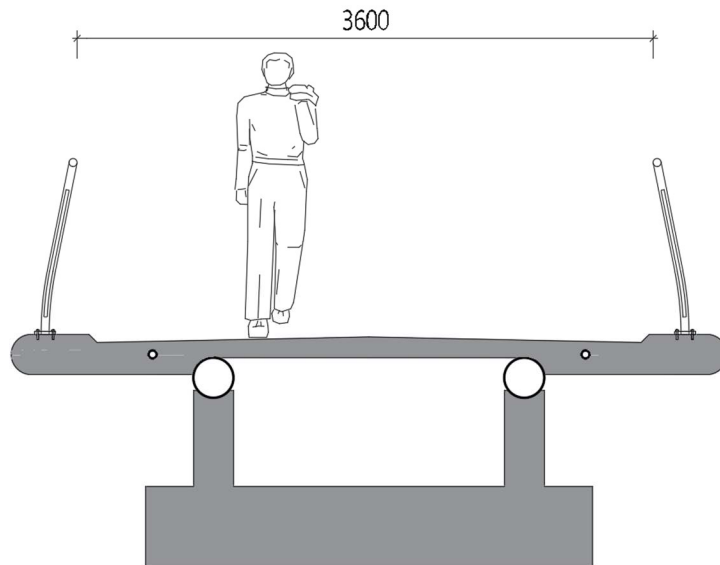
Varianta B je tvořena štíhlou betonovou deskou předpjatého pásu, která je vetknutá do kotevních bloků. Předpínací kabely nesou předpjatý pás a dodávají mu stabilitu a dostatečnou tuhost. Jedná se o návrh lehké konstrukce, která je tvořena prefabrikovanými segmenty. Konstrukce samotného pásu by vyvolávala velké tahové síly v podloží a je tedy doplněna o oblouk, se kterým je spojena tlačnými vzpěrami. Tato konstrukce se chová tedy jako samokotvená, díky čemuž je podloží namáháno pouze svislými silami. Oblouk podepírá pás při zvýšení zatížení, ale ten se z něj může nadzvednout například při předpínání nebo ochlazení. Působení celé konstrukce se sjednotí až předpětím, do té doby působí pás i oblouk samostatně.

Založení je provedeno na vrtaných pilotách pod kotevními bloky oblouku a pod krajními opěrami předpnutého pásu. Mostovka je tvořena prefabrikovanými segmenty, které jsou po vyvěšení na předpínací kabely zmonolitněny dobetonávkou.

Délka nosné konstrukce je 66,00 m s teoretickým rozpětím 63,30 m. Vzepětí oblouku je 5,46 m. Na mostovce je uvažována volná šířka 3,60 m.



Obrázek 3.3 Podélný řez variantou B



Obrázek 3.4 Příčný řez variantou B

3.3. Zhodnocení variant

Z architektonického hlediska jsou oba návrhy zajímavé. Jelikož se v obou případech jedná o samokotvené konstrukce, při nichž jsou mostovky vetknuty do krajních opěr, nelze jednoduše rozhodnout, které řešení je z hlediska nároků na údržbu, z tohoto pohledu výhodnější. Náročnost výstavby předpjatého pásu je díky segmentům nižší, avšak je potřeba provést více zemních prací, které si vyžaduje založení oblouku a opěr. Lávka s visutými kabelem nevyžaduje takové množství díky kotvení celého systému do krajních opěr, které lze díky absenci zemních kotev založit v nižší hloubce. Pro další zpracování je zvolena tedy varianta A, pro niž je zpracována výkresová dokumentace a statický výpočet.

4. MODEL KONSTRUKCE

Stěžejním bodem celé práce bylo správné navržení modelu konstrukce. V programu MS Excel byly dopočítány charakteristiky jednotlivých uzlů a elementů pro vytvoření prutového modelu v programu ANSYS. Jednalo se o několik kroků modelování, při nichž docházelo k postupnému přibližování se výchozímu stavu konstrukce. Tedy stavu, při kterém je konstrukce mostovky vynášena visutými kabely a jejich vodorovné účinky jsou přeneseny do opěry.

4.1. Použité materiály

Mostovka:	BETON C60/75; XF3, XC4, XD2
Pylon:	BETON C50/60; XF3, XC4, XD2
Visutá lana:	PŘEDPÍNACÍ VÝZTUŽ; Y1860 S7 15,7
Předpětí mostovky:	PŘEDPÍNACÍ VÝZTUŽ; Y1860 S7 15,3
Závěsy:	Macalloy 520
Betonářská výztuž:	B500B

Bližší materiálové charakteristiky jsou popsány v příloze P4 – *Statický výpočet*.

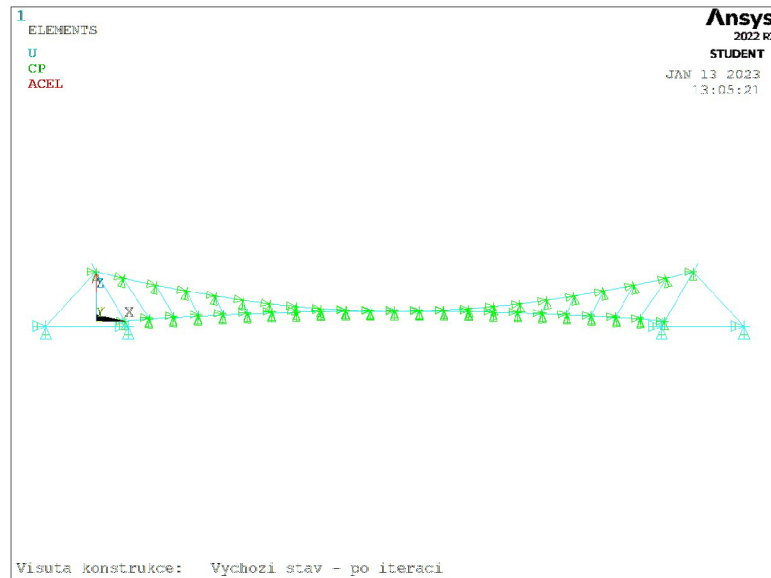
4.2. Zatížení

Zatížení konstrukce je uvažováno podle platných norem. Konstrukce je zatížena ostatním stálým zatížením, které je v programu ANSYS uvažováno hned v montážním stavu, který vychází z rovnováhy, při níž konstrukce vykazuje velmi malé deformace od stálých složek zatížení.

Dále je počítáno se zatížením chodce na celém rozpětí, na polovině rozpětí a uprostřed. V potaz jsou brány i účinky rovnoměrného oteplení a ochlazení konstrukce vlivem teploty.

4.3. Okrajové podmínky

Jak již bylo zmíněno, modelování se skládalo z několika jednotlivých kroků. Okrajové podmínky dílčích kroků jsou popsány níže. Finální model, který následně sloužil pro posudky, bere v úvahu i vliv založení konstrukce na polopružném podloží. Jelikož model, který byl podepřen pouze na pevných podporách integrovaných v programu, vykazoval rozdílné chování od očekávaného chování, které by probíhalo ve skutečnosti, byly do programu namodelovány elementy pilot, které byly ve vodorovném směru podepřeny pomocí pružných ramen vetknutých na svých koncích. Ramenům byla dopočítána tuhost podle jednotlivých vrstev zeminy, ve které by se reálně nacházela. Model se tak více deformoval kvůli vodorovným posunům kotevních bloků a ohybové tuhosti pilot.

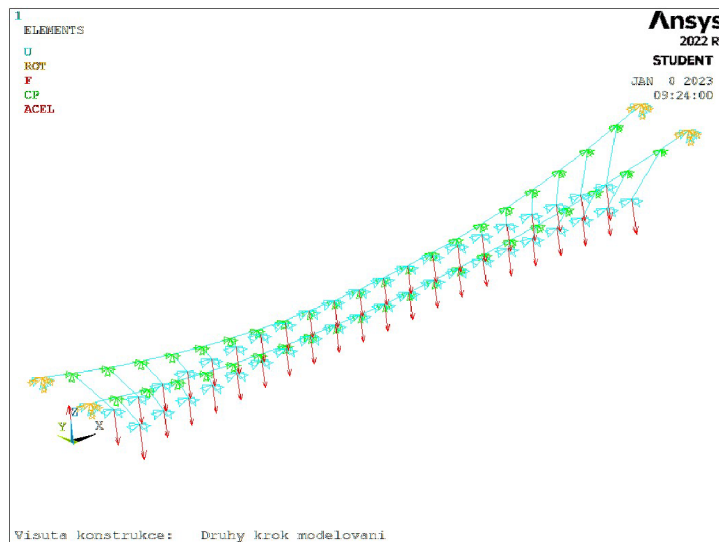


Obrázek 4.1 Model bez pilot

4.4. Výchozí stav konstrukce

První model sestával ze všech prvků namodelovaných pomocí elementů s nadefinovanými průřezovými charakteristikami a vazbami v jednotlivých uzlech, které zajišťovaly různá spolupůsobení. Na takto zkonstruovaném modelu však bylo zjištěno, že iterační postup hledání výchozí polohy a napjatosti visutých kabelů není vhodný. Iterační postup sestával z odečítání deformací uzlů kabelů v dílčích krocích od souřadnic uzlů předchozího kroku. Problém vyvstával v ohybové tuhosti monolitické mostovky, která bránila získání výchozí geometrie uzlů kabelu.

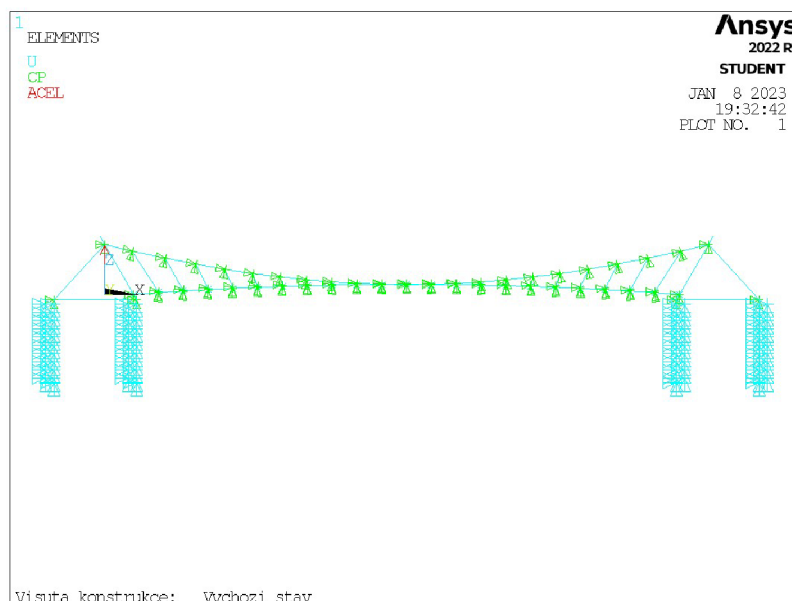
Bylo potřeba tedy model zjednodušit. Prvním krokem bylo namodelování pouze elementů mostovky zatížených ostatním stálým zatížením a podepřených v místě vetknutí do krajních opěr a v místě uložení závěsů. Odečtené reakce byly následně použity pro zatížení druhého modelu, který sestával pouze z podepřených závěsů a elementů visutého lana. Tomuto modelu nebránila tuhost mostovky a bylo možné tedy volně iterovat. Vnesení reakcí vyvolalo napjatost lan visutých kabelů, která pomocí přetvoření byla přenesena do dalšího kroku iterace pro každý element lana zvlášť, jelikož průběh normálové síly na modelu nebyl konstantní. Model se tímto způsobem zdeformoval a jak již bylo zmíněno výše, deformace uzlů kabelů se odečetly od původního stavu a následovalo opět získání normálových sil a oprava napjatosti.



Obrázek 4.2 Model zatížený reakcemi od stálých složek mostovky

Postup pokračoval do doby, kdy takto upravená konstrukce vykazovalo malé deformace v řádech jednotek milimetrů.

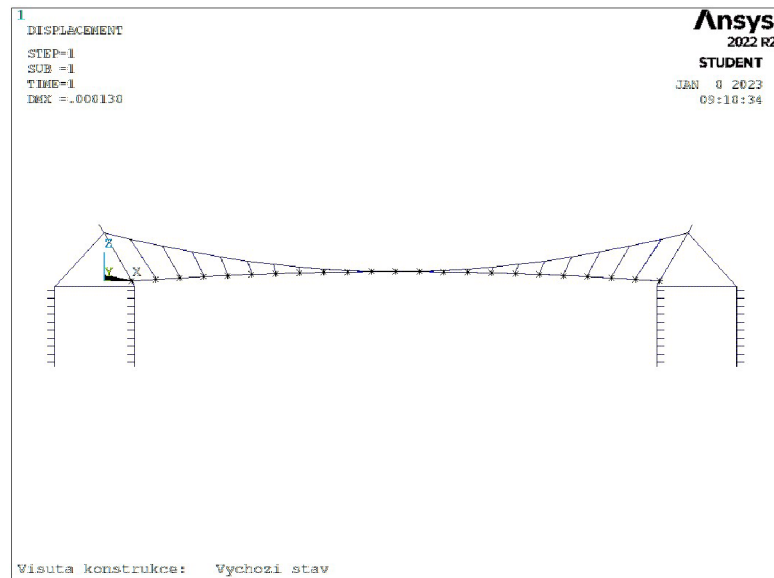
Upravené charakteristiky uzlů byly zaneseny do kompletního modelu, v němž bylo potřeba zohlednit chování pružného podloží a povolení předpětí visutých kabelů a kotevních tyčí, aby nevznikaly velké deformace kotevních bloků a mostovky. Bližší informace jsou popsány v příloze P3 – *Vstupy do modelu*.



Obrázek 4.3 Model v programu ANSYS

Program ANSYS byl zvolen také díky umožnění výpočtu v jednotlivých fázích výstavby. V prvním časovém úseku, který je uvažován jako montážní stav, je konstrukce deformována pouze od vlastní tíhy a stálých složek zatížení. Pro návrh předpětí byla takto deformovaná konstrukce zatížena kombinacemi jednotlivých stavů a bylo vyhodnoceno, jak velká předpínací síla je potřeba, aby konstrukce splňovala podmínky pro mezní stavy. Tento postup byl také iterační, jelikož předpětí bylo postupně navyšováno a snižováno podle potřeby.

Pro posouzení mezních stavů byl přidán výpočtový čas před zatížení užitnými složkami a teplotou, který reprezentoval dopnutí předpínací výztuže. Program nelineárním výpočtem zapracoval účinky jednotlivých fází a bylo možné získat výsledky pro posouzení. Výstupy z modelu jsou zobrazeny v příloze P5 – *Výstupy z modelu*.



Obrázek 4.4 Deformace montážního stavu

5. POSOUZENÍ KONSTRUKCE

Posudky lávky byly provedeny na základě metody mezních stavů. Pro jednotlivé posudky byly vytvořeny kombinace zatížení pro mezní stavy použitelnosti, které sestávají z charakteristické, časté a kvazistálá kombinace, a pro mezní stavy únosnosti, kde bylo kombinováno podle kombinačních rovnic 6.10a a 6.10b. Z výsledků z programu ANSYS pro podélný směr byly zvoleny nejextrémnější hodnoty a na ty byla konstrukce nadimenzovaná. Pro příčný směr byl namodelován výsek mostovky uprostřed rozpětí, který byl zatížení chodci a následně byly nadimenzovány příčníky.

5.1. Mezní stav únosnosti

Pro mezní stav únosnosti v podélném směru byly vybrány hodnoty z výsledků u krajní opěry, jelikož ve vetknutí konstrukce při zatížení chodci a zápornou teplotou vykazovala největší tahy a momenty. Zatížení chodci při krajní opěře vyvolávalo největší ohybový moment. Spolu s ochlazením konstrukce, která se zde chová jinak než konstrukce podepřená na ložiscích, deformovala tato dvě zatížení mostovky směrem dolů a vyvolávala tak největší svislý průhyb. Zkrácení napjaté mostovky vlivem ochlazení způsobuje větší svislou deformaci, jelikož je mostovka vetknutá. Oteplení zase způsobuje protažení mostovky, což ve výsledku má v tomto případě kladný vliv na průhyb a redukuje tak vliv stálých složek.

Předpětí konstrukci pomohlo v místech s tahovým namáháním a následné posudky únosnosti průřezů potvrdily vyhovující podmínky únosnosti. Betonářská výztuž byla tedy přidána pouze podle konstrukčních zásad.

Posudek visutých lan a závěsů byl proveden na tahová namáhání a taky splnil podmínky únosnosti.

Posudek pylonu byl proveden v programu Idea Statica a byly do něj konzervativně vloženy nejhorsí účinky na průřez. Ty odpovídaly účinkům od zatížení chodci na polovině rozpětí a ochlazení. Největší namáhání nastává v patě pylonu, tedy ve vetknutí do kotevních bloků. Součástí bylo ruční ověření správnosti výpočtu a porovnání s programem pro výpočet účinků druhého řádu na prvek namáhaný normálovou silou a ohybovým momentem.

Posudek mostovky v příčném směru byl proveden pomocí deskového modelu v programu SCIA Engineer a na získané účinky byla navržena betonářská výztuž.

5.2. Mezní stav použitelnosti

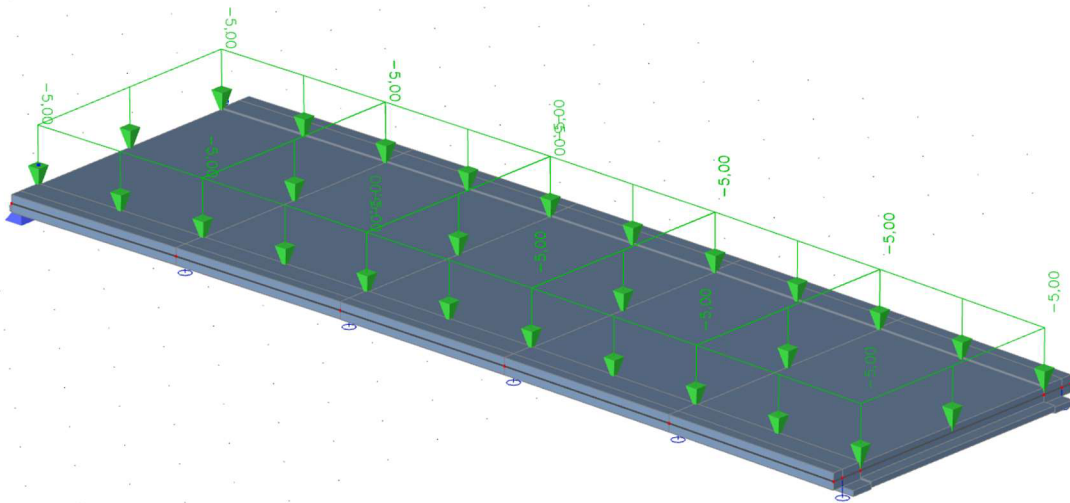
Z podmínek mezních stavů použitelnosti se vycházelo při návrhu předpětí, kdy udávaly omezení pro tlaková a tahová namáhání na průřezu. Hlavním udavatelem velikosti předpětí bylo omezení tahového namáhání v časté kombinaci, kdy byla postupně navyšována předpínací síla a tahy tak vymizely. Následně bylo potřeba posoudit podmínky omezení tlakového napětí pro charakteristickou kombinaci. Zde průřezy nevyhověly v první fázi získaného předpětí. To bylo následně sníženo po návrhu náběhu ve vetknutí mostovky, kdy průřezy již vyhovovaly na tlaková i tahová omezení. Tento krok však již z časových důvodů nebyl modelován, jelikož by bylo potřeba opět získat rovnováhu na konstrukci a zopakovat všechny iterační kroky.

Byla pouze zjištěna potřebná plocha průřezu ve vetknutí a ta byla zanesena do výkresové dokumentace.

Posudek omezení průhybu nebyl proveden, jelikož norma neudává pro lávky pro chodce žádná omezení. Průhyb byl pouze řešen při hledání stavu před vnesením předpětí. Byl požadavek na co nejmenší deformace v jednotkách milimetrů, což bylo splněno. Předpětí následně způsobuje kvůli radiálním účinkům svislý průhyb, který však není posuzován.

5.3. Posouzení mostovky v příčném směru

Model mostovky pro posouzení příčného směru je vymodelován jako 2D deskostěnový model. Bylo použito desek s žebry, které reprezentují prostředních pět polí uprostřed rozpětí. Model byl zatížen chodci a následně posouzen na mezní stav únosnosti příčníků a desky. Výztuž byla navržena pro horní a spodní povrch na základě těchto posudků.



Obrázek 5.1 Zatížený model v příčném směru

5.4. Dynamická analýza

V rámci výpočtu v programu ANSYS byla provedena zjednodušeně dynamická analýza. Bylo vygenerováno 20 vlastních tvarů a frekvencí konstrukce. Jednotlivé ohybové tvary byly porovnány s frekvencemi, které odpovídají fyzické pohodě chodců při pohybu na konstrukci. Byla provedena pouze modální analýza, během které bylo zjištěno, že by byla potřeba dále konstrukci posoudit harmonickou analýzou, avšak ta z časových důvodů nebyla provedena.

6. ZÁVĚR

Zadáním této práce bylo zkompletovat návrh a posouzení několika konstrukcí přemostění přes řeku Opavu. Finální konstrukcí byla zvolena visutá lávka o jednom poli, protože z hlediska modelování konstrukce a vzhledu se jednalo pro autora o zajímavější práci.

Navržená varianta byla navržena podle požadavků pro pohodlný pohyb chodců a imobilních občanů a posouzena podle platných norem v obou mezních stavech.

Během posuzování jednotlivých částí bylo zjištěno, že by některé nevyhověly, a byla navržena řešení, která by předešla těmto problémům, avšak z důvodu časové náročnosti práce již nebyla aplikována na novém modelu, který by vyžadoval opětovné získání rovnováhy.

Jednotlivé posudky byly provedeny ve výpočetních programech a jejich správnost ručně ověřena pomocí zjednodušených ručních výpočtů. Statický výpočet je součástí příloh spolu s vizualizací a vstupními parametry modelu.



Obrázek 6.1 Vizualizace z programu Lumion

6.1. Použitá literatura, zdroje, software

- 1) ČSN EN 1992: *Navrhování betonových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla*
- 2) ČSN EN 1992 -2: *Betonové mosty – Navrhování a konstrukční zásady*
- 3) ČSN EN 1990: *Zásady navrhování konstrukcí*. Praha: ČNI, 2004
- 4) ČSN 73 6201: *Projektování mostních objektů*
- 5) *Post-Tensioning solutions EN* [online]: <http://www.vsl.cz/brozury/>
- 6) *Tension systems* [online]. Dostupné z: <http://www.tension.cz/produkty/tahla-macalloy>
- 7) NEČAS, Radim. *Zatížení mostů dle evropských norem (EN)*. Dokument [online]: <http://www.necasradim.cz/BL12/prednasky/TISK%2002%20-%20Zatizeni%20mostu%20EN.pdf>
- 8) STRÁSKÝ, J. NEČAS. R. *Betonové mosty 1 – Modul M01 Základní principy navrhování*, Brno, 2006
- 9) PANÁČEK, J. *Prvky betonových konstrukcí – Modul CM02 Dimenzování betonových prvků – část 1*, CERM 2005
- 10) <http://www.cadforum.cz/cadforum/download.asp>
- 11) http://www.vsl.cz/cs/dw_brozury.html
- 12) <http://www.freyssinet.cz/228-predpinaci-tyce>
- 13) STRÁSKÝ, J.; NEČAS, R.; KOLÁČEK, J.; POZDÍŠEK, J.; KIRISHCHYAN, G. *Samokotvené visuté mostní konstrukce*. 28. Betonářské dny (2022), sborník ke konferenci. Praha: Česká betonářská společnost ČSSI, 2022. s. 39-53. ISBN: 978-80-907611-6-2.
- 14) STRÁSKÝ, J.; NEČAS, R.; HRDINA, L.; ŠTEFAN, P. *Lávky kombinující předpjatý pás s oblouky*. *Beton TKS*, 2009, roč. devátý, č. 4, s. 10-16. ISSN: 1213- 3116.

6.2. SEZNAM PŘÍLOH

P – VSTUPY DO PROJEKTU:

P1 01 PODKLAD D.206.2 – Půdorys
P1 02 PODKLAD D 206.3 – Podélný řez
P1 03 PODKLAD D 206.4. – Příčné řezy
P1 04 PODKLAD Podelny rez
P1 05 PODKLAD Pricny rez
P1 06 PODKLAD Vystavba

P1 07 VARIANTA A
P1 08 VARIANTA B
P1 09 VIZUALIZACE

P2 – VÝKRESOVÁ DOKUMENTACE

P2 01 SITUACE
P2 02 PODÉLNÝ ŘEZ
P2 03 PŘÍČNÝ ŘEZ
P2 04 BETONÁŘSKÁ VÝZTUŽ MOSTOVKY
P2 05 PŘEDPÍNACÍ VÝZTUŽ MOSTOVKY
P2 06 BETONÁŘSKÁ VÝZTUŽ PYLONU
P2 07 FÁZE VÝSTAVBY

P3 – VSTUPNÍ DATA MODELU

P4 – STATICKÝ VÝPOČET

P5 – VÝSTUPY Z MODELU