



# 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 PRO PĚŠÍ PŘES ŘEKU NITRU

PEDESTRIAN BRIDGE ACROSS THE RIVER NITRA

### DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Petr Tomečka

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Radim Nečas, Ph.D.

BRNO 2021



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

## FAKULTA STAVEBNÍ

<b>Studijní program</b>	NPC-SIK Stavební inženýrství – konstrukce a dopravní stavby
<b>Typ studijního programu</b>	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
<b>Specializace</b>	bez specializace
<b>Pracoviště</b>	Ústav betonových a zděných konstrukcí

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

<b>Student</b>	Bc. Petr Tomečka
<b>Název</b>	Lávka pro pěší přes řeku Nitru
<b>Vedoucí práce</b>	Ing. Radim Nečas, Ph.D.
<b>Datum zadání</b>	31. 3. 2021
<b>Datum odevzdání</b>	14. 1. 2022

V Brně dne 31. 3. 2021

---

prof. RNDr. Ing. Petr Štěpánek, CSc.  
Vedoucí ústavu

---

prof. Ing. Miroslav Bajer, CSc.  
Děkan Fakulty stavební VUT

## **PODKLADY A LITERATURA**

Podklady:

Situace, příčný a podélný řez, geotechnické poměry.

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.

## **ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ**

Pro zadaný problém navrhnete dvě až tři varianty řešení a zhodnotíte je.

Ve výběru varianty se zaměřte na předpjatou obloukovou konstrukci nebo konstrukci podporovanou kabely.

Podrobný návrh nosné konstrukce vybrané varianty mostu provedte podle mezních stavů včetně zohlednění vlivu výstavby mostu na jeho návrh.

Ostatní úpravy provádějte podle pokynů vedoucího diplomové práce.

Požadované výstupy:

Textová část (obsahuje průvodní zprávu a ostatní náležitosti podle níže uvedených směrnic)

Přílohy textové části:

P1. Použité podklady a varianty řešení

P2. Výkresy (přehledné, podrobné a detaily v rozsahu určeném vedoucím diplomové práce)

P3. Stavební postup a vizualizace

P4. Statický výpočet (v rozsahu určeném vedoucím diplomové práce)

Diplomová práce bude odevzdána pro ÚBZK 1x na CD.

## **STRUKTURA DIPLOMOVÉ PRÁCE**

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část závěrečné práce zpracovaná podle platné Směrnice VUT "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací" a platné Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací na FAST VUT" (povinná součást závěrečné práce).

2. Přílohy textové části závěrečné práce zpracované podle platné Směrnice VUT "Úprava, odevzdávání, a zveřejňování závěrečných prací" a platné Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací na FAST VUT" (nepovinná součást závěrečné práce v případě, že přílohy nejsou součástí textové části závěrečné práce, ale textovou část doplňují).

---

Ing. Radim Nečas, Ph.D.  
Vedoucí diplomové práce

## **ABSTRAKT**

Předmětem diplomové práce je návrh lávky pro pěší přes řeku Nitru ve městě Nitra. Byly vypracovány tři studie, z nichž byla považována za optimální oblouková lávka a ta byla dále analyzována. Posouzení dílčích konstrukčních prvků bylo provedeno v souladu s platnými normami splněním podmínek mezního stavu únosnosti a použitelnosti. Globální výpočtový model konstrukce byl sestaven v softwaru ANSYS Mechanical APDL 21 R2. Model mostovky v příčném směru byl vyřešen pomocí SCIA Engineer 19.1. Posouzení průřezů je provedeno ručním způsobem a pomocí IDEA Statica 21.0. Práce je doplněna o výkresy ilustrující postup výstavby, podrobné technické řešení a názorné vizualizace zvoleného řešení.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Lávka, lávka pro pěší, most přes řeku, integrovaný most, segment, ocelový oblouk, beton, předpjatý beton, vrtaná pilota, pilota, závěs

## **ABSTRACT**

The subject matter of this master thesis is to design pedestrian bridge across the river Nitra in a city Nitra. Out of three possible solutions arch bridge was considered to be the most optimal system for given situation and it was analysed in detail. The design and assessment of load-bearing structure was evaluated according to valid standards. The main goal was to comply with ultimate and serviceability limit state. Global calculation model was created in ANSYS Mechanical APDL 21 R2. Model of the slab of the deck in the cross direction was performed using SCIA Engineer 19.1. Load capacity of some cross sections was verified manually and some using computer software IDEA Statica 21.0. This thesis is extended with drawings of sequence of construction, detailed drawings of the bridge and visualizations.

## **KEYWORDS**

Bridge, pedestrian bridge, bridge across river, integrated bridge system, segment, steel arch, concrete, prestressed concrete, bored pile, pile, suspender

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

Bc. Petr Tomečka *Lávka pro pěší přes řeku Nitru*. Brno, 2021. 61 s., 479 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav betonových a zděných konstrukcí. Vedoucí práce Ing. Radim Nečas, Ph.D.

## PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané diplomové práce s názvem *Lávka pro pěší přes řeku Nitru* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 11. 1. 2022

---

Bc. Petr Tomečka  
autor práce

## PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem *Lávka pro pěší přes řeku Nitru* zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 11. 1. 2022

---

Bc. Petr Tomečka  
autor práce

## **PODĚKOVÁNÍ**

Tímto bych chtěl poděkovat panu Ing. Radimu Nečasovi, Ph.D. za jeho čas, energii strávenou konzultacemi a velmi zajímavé téma diplomové práce. Dále bych rád poděkoval zejména své rodině a přítelkyni za jejich podporu a nekonečnou trpělivost během studia.

## OBSAH

1	ÚVOD .....	10
2	MOST A JEHO UMÍSTĚNÍ.....	11
2.1	ÚČEL MOSTU A POŽADAVKY NA JEHO ŘEŠENÍ.....	11
2.2	CHARAKTER PŘEMOŠTOVANÉ PŘEKÁŽKY .....	11
2.3	ÚZEMNÍ PODMÍNKY .....	11
2.4	GEODETICKÉ ZAMĚŘENÍ .....	11
2.5	GEOTECHNICKÉ PODMÍNKY .....	11
2.6	DOTČENÉ SÍTĚ .....	11
3	STUDIE .....	12
3.1	VARIANTA SPOJITÉHO MOSTU .....	13
3.2	VARIANTA VISUTÉHO MOSTU.....	14
3.3	VARIANTA OBLOUKOVÉHO MOSTU.....	15
3.4	SROVNÁNÍ VARIANT .....	16
4	ANALÝZA KONSTRUKCE .....	17
4.1	SNÍŽENÍ NÁROKŮ NA ZAKLADÁNÍ.....	18
4.2	POSTUP VÝSTAVBY .....	19
4.3	GEOMETRIE OBLOUKU .....	19
4.4	STANOVENÍ SÍLY V ZÁVĚSECH .....	23
4.5	NALEZENÍ OPTIMÁLNÍ GEOMETRIE KONSTRUKCE .....	24
5	TECHNICKÉ ŘEŠENÍ NAVRHOVANÉHO MOSTU .....	28
5.1	ZATŘÍDĚNÍ MOSTU DLE ČSN 73 6200 .....	28
5.2	ZÁKLADNÍ DIMENZE MOSTU .....	28
5.2.1	PŘÍPRAVNÉ PRÁCE.....	29
5.2.2	ZALOŽENÍ MOSTU .....	29
5.2.3	OPĚRY .....	30
5.2.4	OCELOVÉ OBLOUKY.....	30
5.2.5	ZÁVĚSY A STYČNÍKOVÉ PLECHY .....	31
5.2.6	MOSTOVKA.....	31
5.2.7	ÚPRAVY POD MOSTEM.....	32
5.3	MOSTNÍ SVRŠEK .....	33
5.3.1	VOZOVKA NA MOSTĚ.....	33



5.3.2	ODVODNĚNÍ .....	33
5.4	MOSTNÍ VYBĚHÁNÍ .....	33
5.4.1	ODVODŇOVACÍ TRUBIČKY .....	33
5.4.2	ODVODŇOVACÍ ŽLABY .....	33
5.4.3	ZÁBRADLÍ .....	34
5.5	VOZOVKA NA PŘEDMOSTÍCH .....	34
6	VÝPIS POUŽITÝCH MATERIÁLŮ .....	35
6.1	SEZNAM BETONŮ .....	35
6.2	SEZNAM KONSTRUKČNÍ OCELI .....	35
6.3	SEZNAM VÝZTUŽE .....	35
6.4	PRVKY PŘEDPÍNACÍ SYSTÉMU .....	35
7	STATICÝ VÝPOČET .....	36
7.1	PŘEDPĚTÍ .....	37
7.2	OCELOVÝ OBLOUK .....	39
7.2.1	MEZNÍ STAV POUŽITELNOSTI .....	39
7.2.2	MEZNÍ STAV ÚNOSNOSTI .....	41
7.3	MOSTOVKA PODÉLNÝ SMĚR .....	43
7.3.1	MEZNÍ STAV POUŽITELNOSTI .....	43
7.3.2	MEZNÍ STAV ÚNOSNOSTI .....	46
7.4	MOSTOVKA PŘÍČNÝ SMĚR .....	47
7.5	ZÁVĚSY .....	49
7.6	PILOTY .....	49
7.6.1	VNĚJŠÍ ÚNOSNOST .....	50
7.6.2	VNITŘNÍ ÚNOSNOST .....	50
8	DYNAMICKÝ VÝPOČET .....	51
9	STABILITNÍ VÝPOČET .....	53
10	VIZUALIZACE NAVRŽENÉHO ŘEŠENÍ .....	54
11	ZÁVĚR .....	56

## 1 ÚVOD

Nábřeží řeky Nitry ve stejnojmenném městě na Slovensku je lemováno stezkami pro chodce a cyklisty, jejichž spojení přes zmíněný vodní tok je předmětem této diplomové práce. Cílem návrhu lávky pro pěší je vytvoření esteticky zajímavé konstrukce s vhodně zvoleným statickým systémem a zároveň hodící se do okolního prostředí. V práci jsou vytvořeny tři varianty přemostění, které jsou okomentovány a vybrána z nich preferovaná varianta, která je dále podrobně rozpracována.

V textové části práce jsou prezentovány dosahované výsledky a zvolené postupy. V první části je proveden základní popis území a požadavků na mostní konstrukci. Dále jsou zhodnoceny uvažované varianty a vybrána jedna preferovaná. Tento zvolený typ mostní konstrukce je dále analyzován pro sestavení vhodného výpočtového modelu a dále je upozorněno na dílčí problémy jejího návrhu zahrnující fázovanou výstavbu. Následuje technický popis tohoto řešení, který přiblíží stanovené dílčí postupy výstavby, zvolené tvary jednotlivých prvků a jejich materiálové složení. Textová část ve stručné formě komentuje dílčí výpočty provedené při návrhu lávky a uvádí některé stěžejní výstupy. Závěrem textové části jsou zobrazeny některé vizualizace navrženého řešení dokládající plánový budoucí vzhled mostu v dané lokalitě.

Nedílnou součástí práce jsou čtyři skupiny příloh. První skupinu tvoří zejména podkladové materiály, na které se tato práce odkazuje v první části. Druhou skupinou jsou podrobné výkresy mostu, jejichž popis tvoří zmíněné technické řešení. Třetí skupina obsahuje navržený a graficky zpracovaný postup výstavby a také názorné vizualizace mostu v dané lokalitě. Čtvrtá a poslední skupina tvoří výpočtovou část obsahující podrobné výstupy doplňující tuto textovou část. Práce v závěru shrne dosažené výsledky a zhodnotí, zda byly vytyčené cíle naplněny.

## **2 MOST A JEHO UMÍSTĚNÍ**

### **2.1 ÚČEL MOSTU A POŽADAVKY NA JEHO ŘEŠENÍ**

Mostní objekt má vytvořit plánované spojení souběžně s řekou Nitrou vedených komunikací pro chodce a cyklisty, které vytvoří frekventovanou alternativní trasu pro obyvatelstvo města a současně bude vytvářet zajímavý prvek v dané lokalitě.

### **2.2 CHARAKTER PŘEMOŠTOVANÉ PŘEKÁŽKY**

Přemostovanou překážkou je řeka Nitra. V práci je uvažováno s návrhovým průtokem Q100, resp. jeho kontrolní návrhovou hladinou, tj. + 0.5 m nad hladinu Q100.

### **2.3 ÚZEMNÍ PODMÍNKY**

Lávka pro chodce je umístěna v zastavěném území města Nitry a spojuje Wilsonovo nábřeží a Nábřeží mládeže. U jedné opěry plánovaného mostu napojeného na cyklostezku se nachází široký zelený pás se stromy oddělující obytnou zónu od tohoto prostoru. Na protilehlém břehu lávka navazuje na cyklostezku s přilehlými pozemky s budovami.

### **2.4 GEODETICKÉ ZAMĚŘENÍ**

Vstupy vystihující okolní terén jsou součástí přílohy P1.1 Směrné místní poměry.

### **2.5 GEOTECHNICKÉ PODMÍNKY**

Terén v okolí mostu je rovinný s trvalou zástavbou a zelenými plochami podél vodního toku. V místě budoucího mostu nad opěrou O1 byla provedena sonda s označením V-1. Poloha této sondy viz příloha P1.1 Směrné místní poměry.

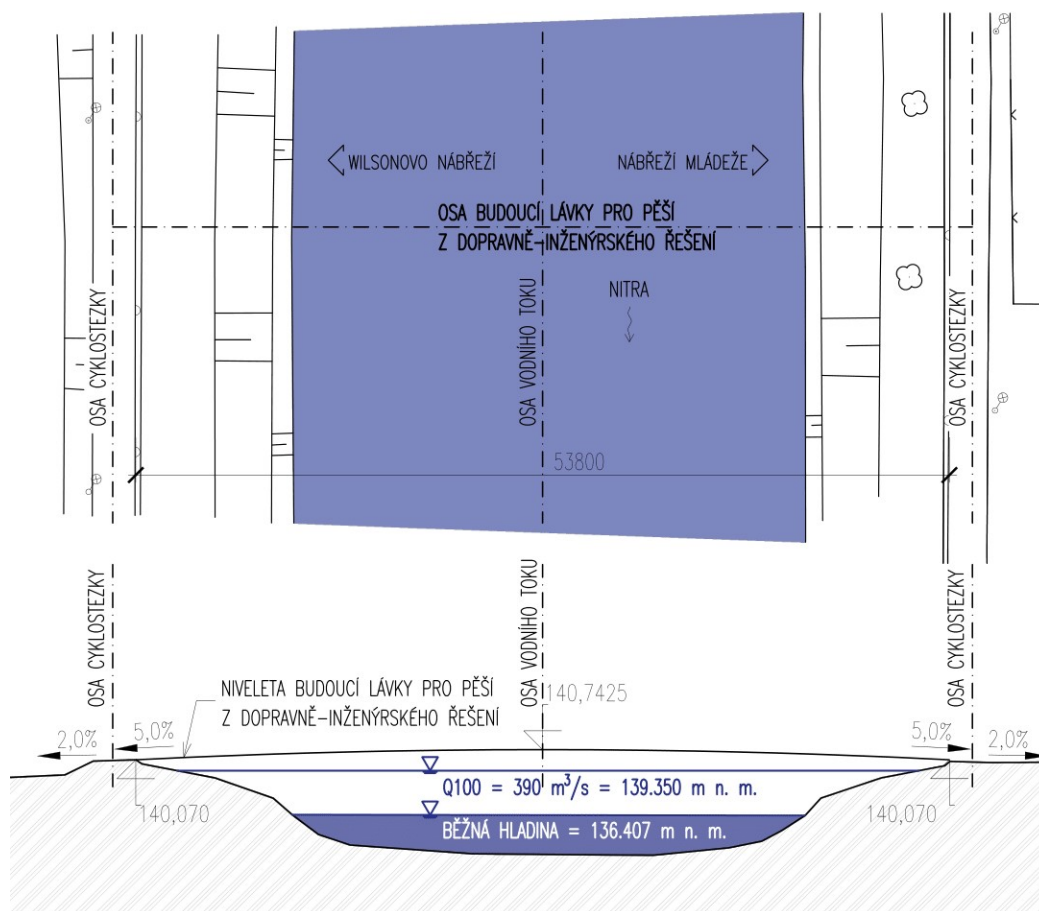
Provedená sonda má celkovou délku 13.0 m. Pod humózní vrstvou 0.4 m byly ve vrtu zastiženy náplavové hlíny (hlína písčité) F3 MS o mocnosti 2.25 m. Pod touto vrstvou je fluviální písčité zemina S3 S-F tloušťky 1.0 m. Následuje 2.0 m fluviální štěrkovité zeminy G3 G-F a pod ní 1.0 m G4 GM. Pod nesoudržnými vrstvami následuje 0.5 m zcela zvětralých slínovců R6 (F6). Následuje vrstva 1.5 m mírně zvětralých slínovců R5 a pod ní 4 m navětralých slínovců R4. Pod poslední zmíněnou bylo nalezeno zdravé skalní podloží R3. Geotechnické parametry zemin a hornin nalezených v provedené sondě jsou součástí přílohy P1.2 Inženýrsko-geologický průzkum. Hladina podzemní vody je v hloubce 3.45 m.

### **2.6 DOTČENÉ SÍTĚ**

V okolí mostu se nachází kabely veřejného osvětlení vedené v dostatečné odstupové vzdálenosti od cyklostezky. Inženýrské sítě nebudou stavbou lávky dotčeny.

### 3 STUDIE

Mezi základní podklady potřebné k projektování mostu patří požadavky na mostní konstrukci specifikované v předcházející kapitole odkazují na jednotlivé přílohy práce. Zásadní je dodržení nivelety budoucího mostu, osy připojovaných komunikací a hydrotechnických požadavků při založení na zeminách specifikovaných vrtanou sondou. Dále je závazná vzdálenost vnitřních okrajů cyklostezek, mezi kterými je nutno navrhnout konstrukci lávky, a její číselná hodnota je 53,8 m. Niveleta budoucího mostu byla stanovena dopravně-inženýrským řešením lokality.

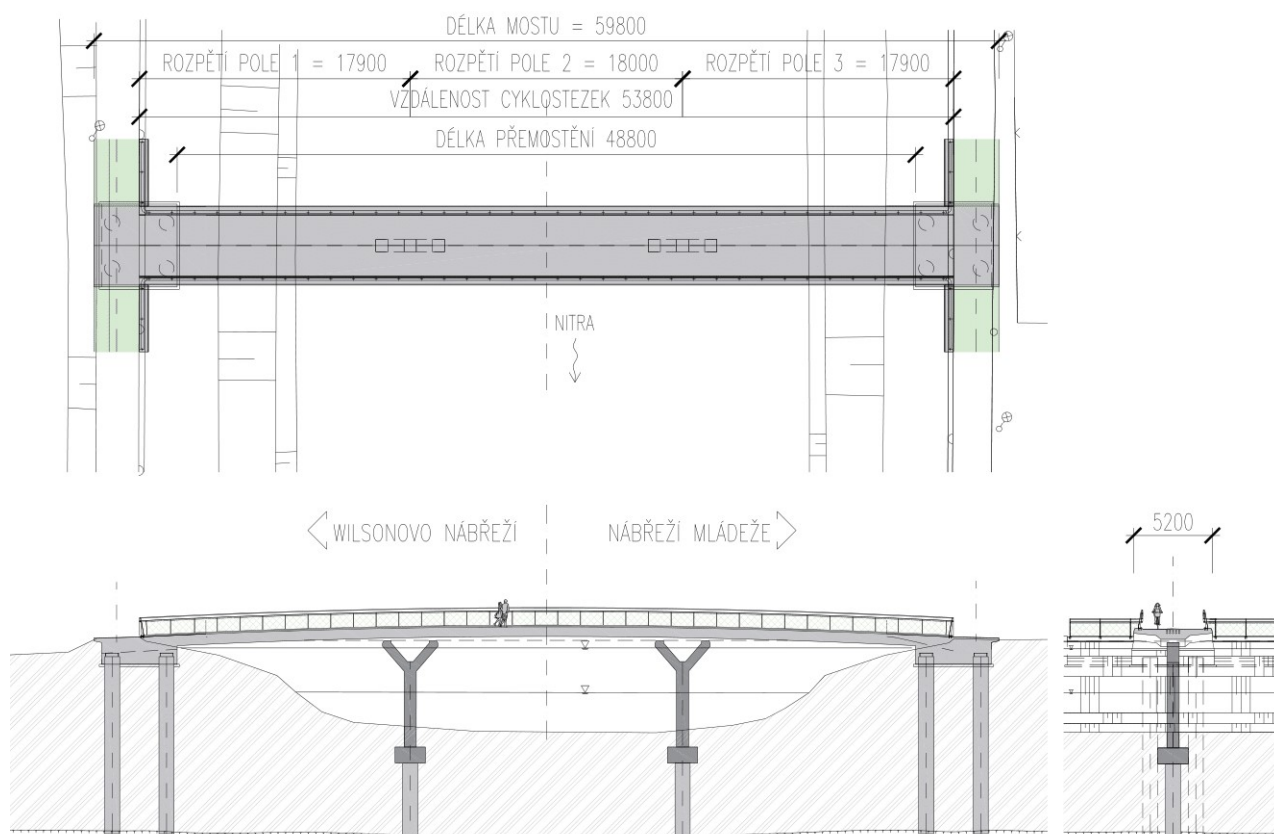


Obrázek 1 - směrné místní poměry

V navazujících kapitolách této práce jsou vytvořeny tři možné varianty přemostění vodního toku splňující uvedené požadavky. První varianta uvažuje konzervativní řešení přemostění vodního toku rozdělením celkového rozpětí na menší dílčí a použitím konstrukce z čistě monolitického betonu. Následné dvě varianty tvoří esteticky zajímavé konstrukce kombinující prefabrikovanou mostovku s jiným nosným prvkem. Ve všech variantách je využita mostovka z předpjatého betonu.

### 3.1 VARIANTA SPOJITÉHO MOSTU

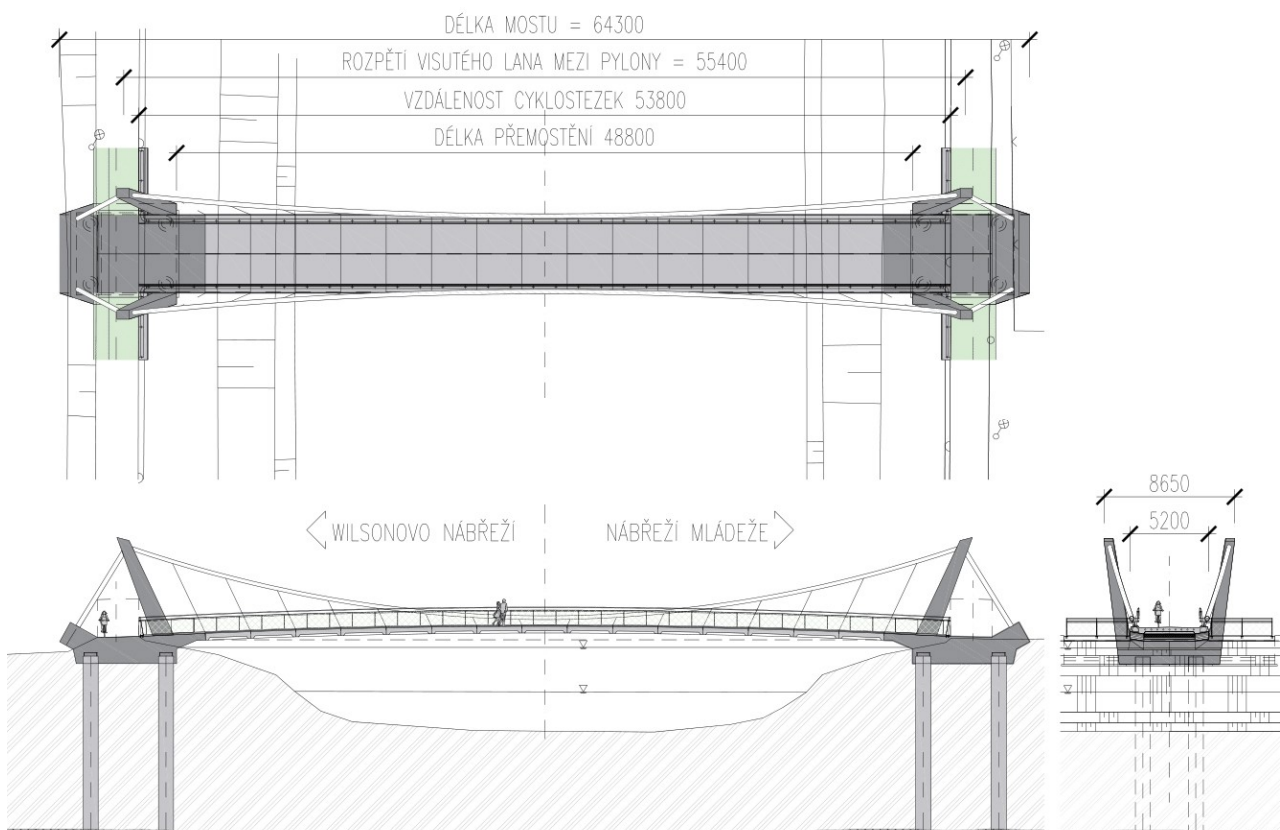
Prvním řešením je spojitý most o třech polích, který v daných územních podmínkách upřednostňuje statické řešení na úkor architektonického. Ve variantě je počítáno s dvěma pilíři postavenými v korytě vodního toku rozdělující konstrukci na tři pole 17.9+18.0+17.9 m. Příčný řez tvoří jednotrám podporovaný středními pilíři Y tvaru v podélném řezu. Krajní opěry jsou monoliticky spojeny s nosným trámem a tvoří rámový roh. Mostovka je na středních pilířích uložena na elastomerová ložiska. Výstavba konstrukce je uvažována v jednom celku monoliticky do pevného bednění. Výkres tohoto řešení tvoří přílohu P1.3 Varianta spojitého mostu.



Obrázek 2 – varianta spojitého mostu

### 3.2 VARIANTA VISUTÉHO MOSTU

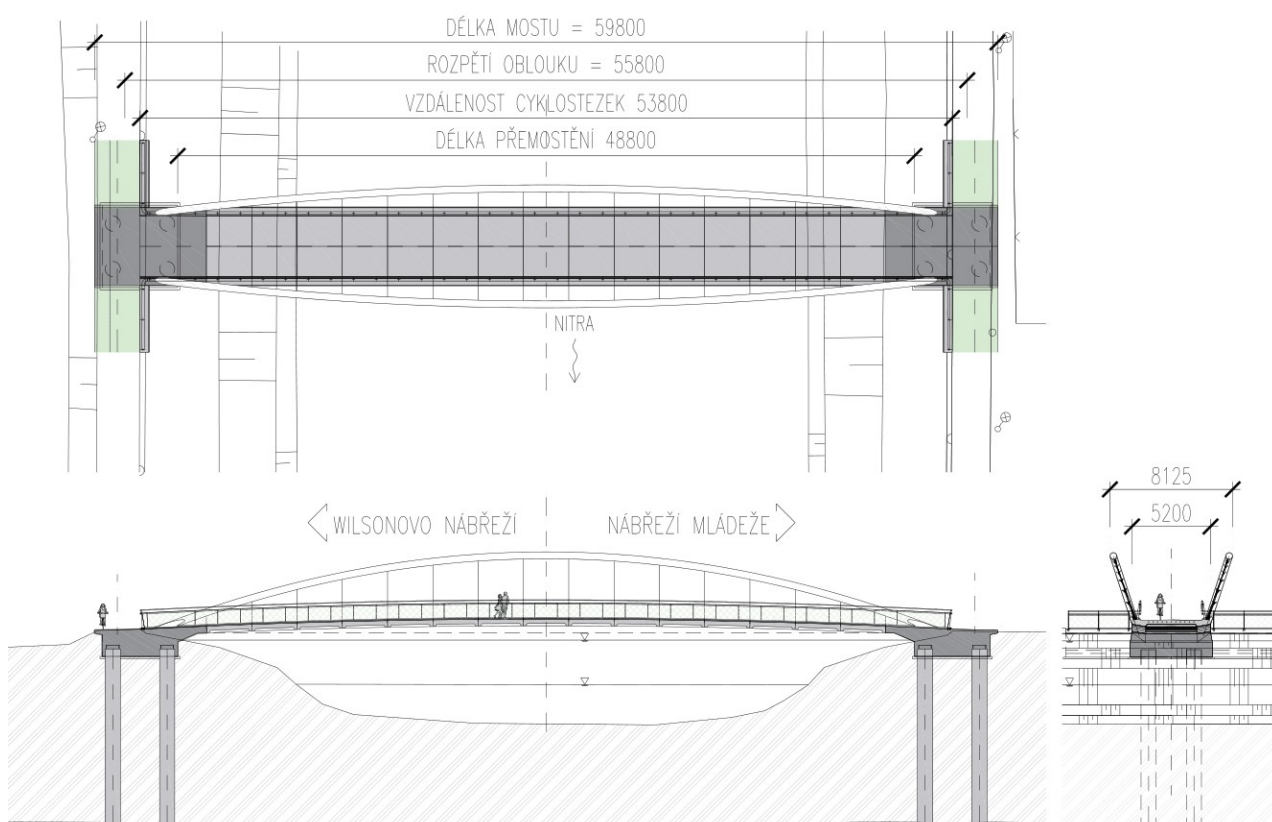
Druhé řešení představuje dvojici opěr s dvěma pylony na každé z nich, které vynášejí visuté lano kotvené v rozšířené části opěr. Rozpětí mezi pylony v hlavách je 55.4 m, jejich výška 7.37 m. Na visutém laně jsou zavěšeny prefabrikované segmenty pomocí skloněných závěsů v podélném směru. Uspořádání závěsů vůči sobě je rovnoběžné ve směru ke středu rozpětí (ose symetrie mostu). Závěsy svým uspořádáním vnášejí do mostovky tlak od jejího zavěšení. Variantu je možné realizovat betonáží krajních opěr s pylony a předepnutím visutého lana. Následuje montáž segmentů, betonáž spár mezi nimi a krátkých náběhů s následným předepnutím po vytvrdnutí. Další možností je montáž na pevné skruži s betonáží všech dílčích prvků. V dalších krocích dojde k předepnutí visutého lana, které při této uvažované soustavě vytváří v mostovce tlak, současně vynáší segmenty a snižuje namáhání spodní stavby z důvodu nižší potřeby předpětí mostovky. Tato studie tvoří přílohu P1.4 Varianta visutého mostu.



Obrázek 3 – varianta visutého mostu

### 3.3 VARIANTA OBLOUKOVÉHO MOSTU

Třetí variantu představuje obloukový most tvořený dvojicí ocelových oblouků ukloněných od svislé roviny z místa uložení po střed rozpětí. Na oblouky jsou pomocí závěsů připevněny prefabrikované segmenty. Závěsy jsou navrženy v rovině kolmo k ose mostu rovnoběžně po celé délce. Úklon ocelových oblouků vytváří mírný butterfly efekt při pohled shora na most. Rozpětí ocelových oblouků je 55.8 m. Ocelové oblouky svojí působící silou příznivě ovlivňují nároky na založení předpínané konstrukce. Tato varianta umožňuje sestavení mostovky bez použití pevné skruže. Uvedené řešení mostní konstrukce tvoří přílohu P1.5 Varianta obloukového mostu.



Obrázek 4 – varianta obloukového mostu

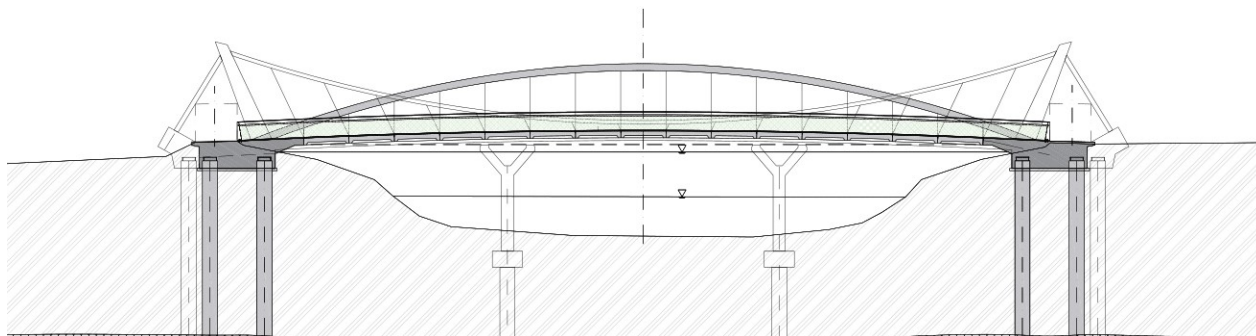
### 3.4 SROVNÁNÍ VARIANT

Dílčí varianty představují dle autorova názoru konstrukce, ve kterých je možné najít zásadní výhody i nevýhody, které by bylo možné redukovat dalším zkoumáním těchto konstrukcí z hlediska postupů výstavby, přidáním/odebráním prvků a změnou jejich geometrie a nalézt tak případně výhodnější systém. Při vyhodnocení dílčích variant je uvažováno hledisko funkční, statické a estetické. Všechny varianty splňují stanovené požadavky a přirozeně geometricky respektují ploché území podél vodního toku.

Varianta spojitě konstrukce se zdá být jednoduchá z hlediska provádění takové konstrukce, avšak vyžaduje výstavbu betonových středních pilířů v říčním korytě podporující mostovku a sestavení pevné skruže. Konstrukce betonových pilířů by mohla být v budoucnu překážkou pro možný plavební prostor. Tato varianta mostní konstrukce nepůsobí příliš esteticky do ploché otevřené lokality.

Varianta visuté konstrukce je velice vzhledná a její výhodou je také možnost volby postupu výstavby, který přináší výhody/nevýhody statického řešení. Velkým problémem této konstrukce jsou nároky na zakládání, a to zejména přenos tahového namáhání do podloží od kotvení visutého lana. Dle autorova názoru je tento typ konstrukce vhodný spíše do nezastavěných území, kde pilíře tvoří dominantní prvek v přírodě a jednotlivé části nejsou limitovány okolní zástavbou.

Varianta obloukové konstrukce je vzhledem k nesporným výhodám ve formě snižování tahu zadní řady pilot vlivem obloukové síly velmi přívětivá. Dalším velmi výrazným argumentem tohoto řešení je přirozenost obloukových konstrukcí pro plochá území a zejména mosty přes řeky. Tato studie předčí výše popsané varianty také v absenci pevné skruže. **Na základě těchto srovnání je varianta obloukového mostu považována za nejvhodnější, je určena k detailnímu rozpracování a je tedy předmětem této diplomové práce.** Segmentová mostovka je pro svoji citlivosti na řešení styčných spár na trhliny složena z prefabrikovaných segmentů tvořící bednění pro spřaženou desku umožňující vedení předpětí a zvyšující spojitost v podélném směru provázaností armokošů.

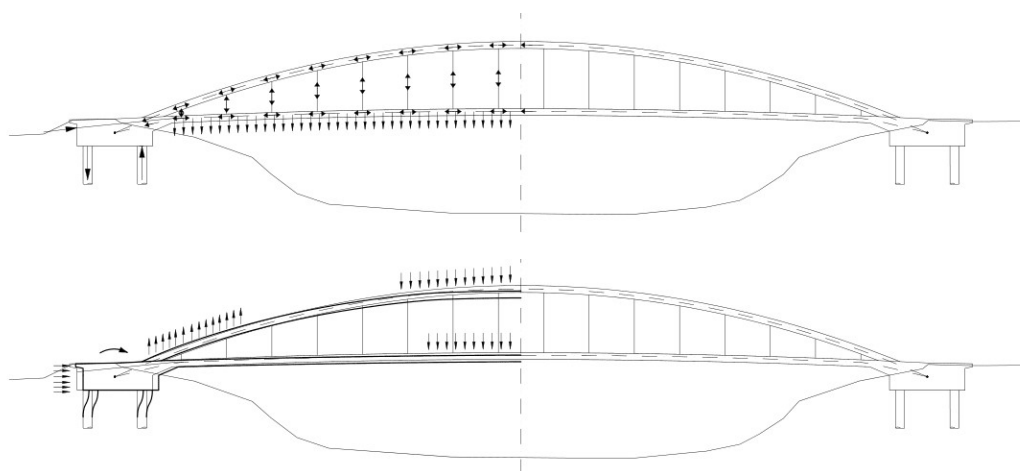


Obrázek 5 – srovnání podélný řezů se zvýraznění vybraného



## 4 ANALÝZA KONSTRUKCE

Princip sestavení vhodné geometrie obloukové lávky a nalezení dílčích problémů takové konstrukce je předmětem této kapitoly. Autor práce si již při tvorbě variant byl vědom problematického založení konstrukcí v plochem území, které vyžaduje přenos vodorovných účinků do základové půdy. Z příčně dělené mostovky tvořené dílčími prefabrikáty se spřaženou deskou je nutné předpětím vytvořit spojitou konstrukci s dostatečnou tlakovou rezervou mezi segmenty pro přenos nahodilých účinků zatížení. Předepsaný průběh nivelety nepřispívá ke statickému řešení konstrukce přitížením celé soustavy v rovině dolů radiálními účinky od souběžně vedených předpínacích lan v mostovce. Niveleta naopak zaručuje přemostění kontrolního návrhového průtoku řeky Nitry dodržením normového požadavku na volný prostor pod mostem a tím současně zvyšuje trvanlivost předpjaté konstrukce v případě takových průtoků. Zvolená varianta obloukového mostu vytváří statické schéma známé pod názvem Langrův trám. Toto schéma je tvořeno nosníkem z předpjaté betonové mostovky podporovaného prostřednictvím závěsů obloukem tvořeným dvojicí dutých ocelových oblouků příčně nakloněných. Princip silového působení na uvažované soustavě prvků včetně získaných deformací vypadá následovně.



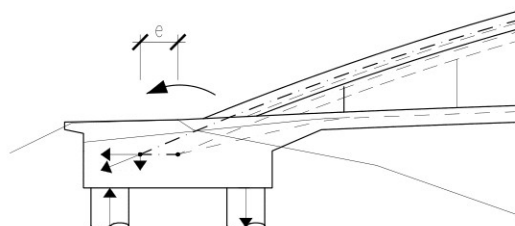
Obrázek 6 – silové a deformační působení na obloukovou konstrukci

Optimálním případem by bylo vytvoření obloukové konstrukce, u které vodorovná oblouková síla je zachycena předpětím mostovky a celá soustava by na podloží působila převážně svislými účinky od dlouhotrvajících zatížení. Takovou soustavu, dle autorova názoru, by bylo možné najít pouze v případě uvažování monolitické mostovky, která klade v mezních stavech použitelnosti výrazně menší nároky na tlakovou rezervu oproti segmentovým konstrukcím, ale naopak vyžaduje skruž. Dalším problémem této integrální konstrukce je excentricita svislých účinků působících na mostovku společně s vodorovnými silami předpětí vůči těžišti opěry, které jí pootáčí a produkují tahy v zadní řadě pilot.

V dalších částech této práce je uvažováno se zmíněnou segmentovou mostovkou, kdy je dopředu zřejmé, že tato technologie má vyšší nároky na založení objektu od vyššího aplikovaného předpětí zajišťující požadovanou tlakovou rezervu. Výhodou této technologie je přemostění překážky suchým způsobem. Snahou je nalézt vhodný postup výstavby a uspořádání prvků, které omezí zmíněné nevýhody.

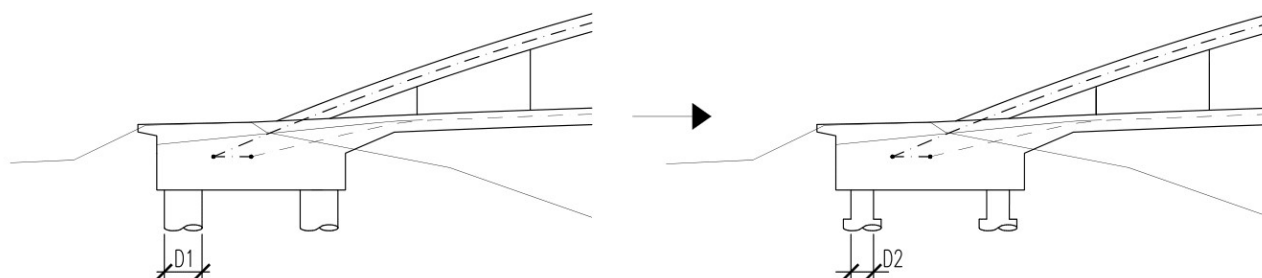
#### 4.1 SNÍŽENÍ NÁROKŮ NA ZAKLADÁNÍ

Na mostě je uvažováno založení pomocí velkoprofilových pilot, prostřednictvím kterých se přenáší zatížení do základové půdy ve formě tahu v zadní řadě a tlaku v přední řadě společně s vodorovným namáháním od jevů popsaných výše. Preferovanou vlastností betonu je jeho pevnost v tlaku, a proto je v prvním kroku provedena geometrická úprava uložení oblouku za osu opěry, čímž oblouková síla působí na příznivé excentricitě a blok opěry podtáčí. Tento krok má za následek mírné snížení tahového namáhání zadní řady pilot. Úvaha trasování předpínacích lan pod těžiště opěry se zdá být lichá z důvodu jejich velkého zalomení v konstrukci náběhu a nárůstu radiálních složek přitěžujících mostovku podporovanou ocelovým obloukem a způsobující vysoké tahy při površích.



Obrázek 7 – posun osy oblouku za osu opěry

V druhém kroku je provedeno snížení ohybové tuhosti horní části všech pilot. Tato úprava vede na vyšší poddajnost konstrukce v podélném směru. Piloty touto úpravou v sobě méně koncentrují ohybová namáhání na úkor jejich vodorovné deformace. Výhodou tohoto řešení je nižší množství aplikovaného předpětí v konstrukci.

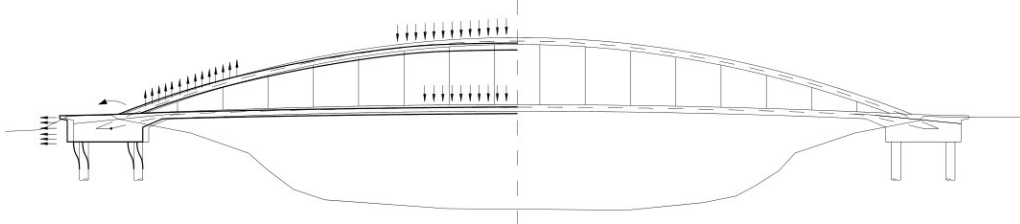


Obrázek 8 – změna průřezu pilot

Posledním krokem ke snížení namáhání pilot je volba postupu výstavby, která výrazně do dané problematiky promlouvá. Postup výstavby je předmětem následující kapitoly.

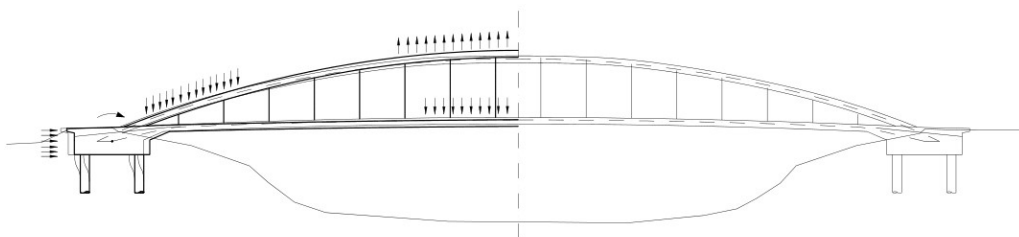
## 4.2 POSTUP VÝSTAVBY

Fáze výstavby konstrukce jsou rozděleny do třech dílčích stavů. Prvním stavem je fáze montáže, která je současně posledním krokem zmíněným v předcházející kapitole vedoucím ke snížení namáhání pilot. Montážní stádium představuje předem vybetonované bloky opěr spojené s velkoprofilovými pilotami zúžené v hlavách. Na opěry je přikotven ocelový oblouk se zavěšenými prefabrikovanými segmenty. Ocelový oblouk je dále zatížen prostřednictvím segmentů tíhou čerstvého betonu spřažené desky a monolitickými náběhy napojovanými na bloky opěr. Proměnné účinky v tomto stádiu nejsou zjednodušeně zohledněny. Předpínací lana vedená opěrami, náběhy a spřaženou deskou segmentů nejsou aktivována. Popsané složení prvků přenáší zatížení do spodní stavby především ocelovým obloukem, jehož vodorovná složka opěry roztláčí a svislá vlivem excentricity oblouku je podtáčí. V zadní řadě pilot je získáno tlakové a v přední řadě téměř nulové namáhání za doprovodu vodorovných sil opačné orientace, než vyvozuje předpětí. Překročení mezního namáhání pilot je zabráněno sepnutím opěr pomocí dvojice montážní lan kontrolovatelnou silou.



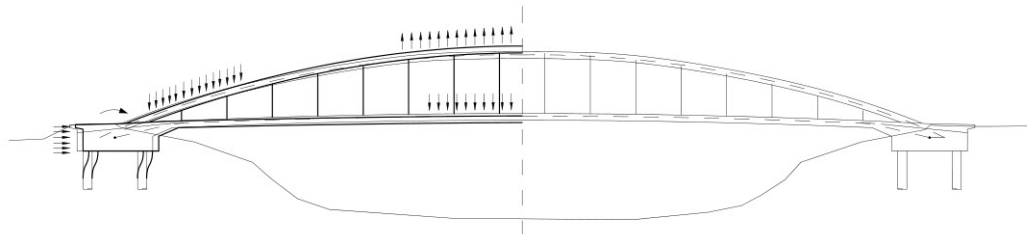
Obrázek 9 – působící účinky v montážním stavu včetně deformací

Fáze ukončení výstavby představuje konstrukci se všemi betony dosahující 28denní pevnosti. Mostovka s náběhy a opěrami tvoří kompaktní celek, montážní lana jsou v této fázi demontována a finální předpětí vedené v dílčích prvcích je aktivováno. Touto aktivací dochází ke stlačení konstrukce v podélném směru a pootočení bloku opěry do původní vybetonované polohy. Od stlačení jsou ocelové oblouky zvedány směrem vzhůru. Doprovodným jevem je rovnoměrný přenos tíhy celé konstrukce do podloží všemi pilotami ve formě tlaku a téměř eliminace vodorovných účinků působících na piloty ve výchozím stavu, tj. bez proměnných zatížení. Zvýšením obloukové síly od nahodilých zatížení dochází v této fázi opět k namáhání směrem vně mostu.



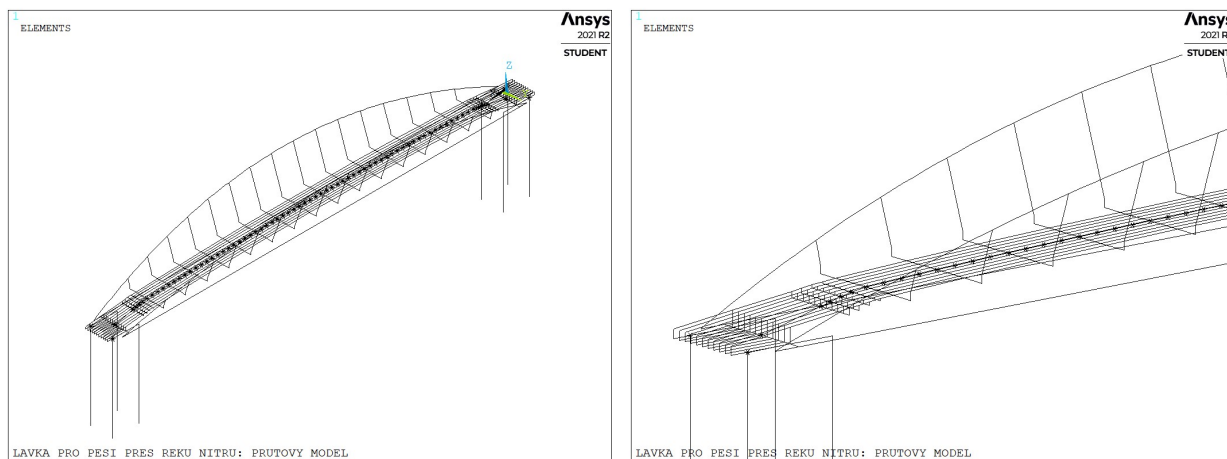
Obrázek 10 – působící účinky ve fázi ukončení výstavby oproti fázi montáže včetně deformací

Třetí fází konstrukce je konec životnosti, kde na betonovou mostovku působí reologické vlivy dotvarování a smršťování betonu. Od těchto účinků je mostovka stahována sama do sebe, ocelové oblouky jsou dále posouvány vzhůru a pilotové založení vzdoruje vodorovnému namáhání směrem doprostřed rozpětí za vzniku tahového namáhání v zadní řadě.

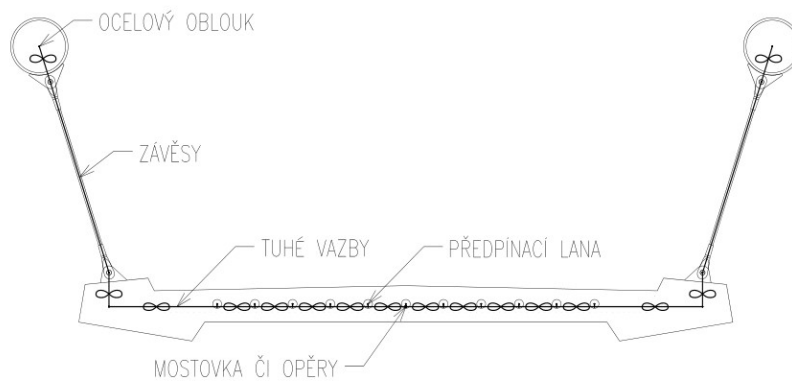


Obrázek 11 – působící účinky ve fázi konce životnosti oproti fázi ukončení výstavby včetně

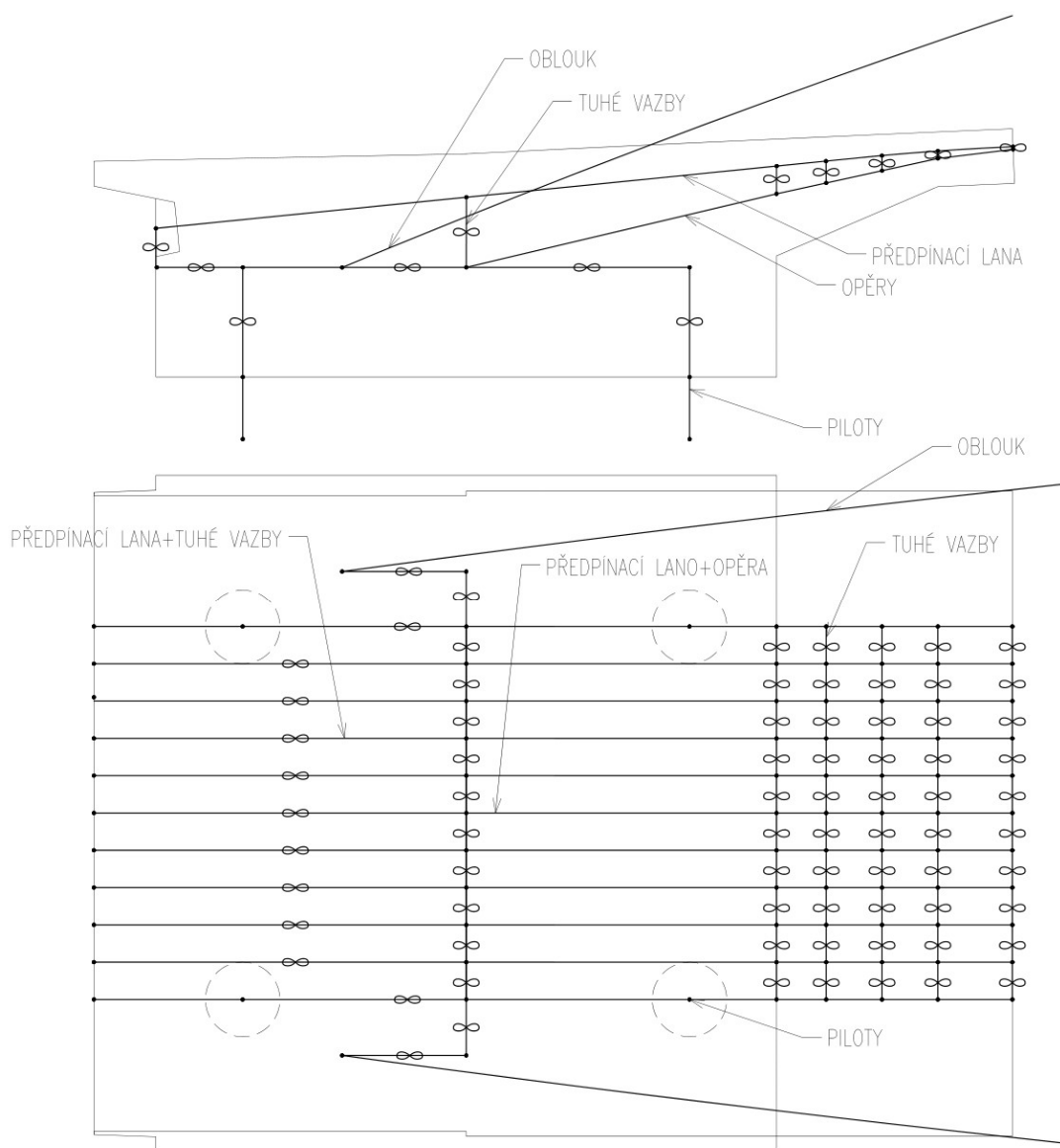
Takto sestavený plán výstavby umožňuje založení mostní konstrukce pilotovými prvky bez doplňujících prostředků zachytávající tahy. Analýza konstrukce byla provedena pomocí prutového modelu v softwaru ANSYS Mechanical APDL 2021 R2 geometricky nelineárním výpočtem. Model byl sestaven z elementů pilot, opěr, mostovky, oblouků, závěsů a také předpínacích lan. Jednotlivé prvky jsou mezi sebou spojeny nekonečně tuhými vazbami a vytvoří rošt, který umožňuje prostorové modelování konstrukce. Interakce pilot s podložím byla vytvořena soustavou vodorovných pružin v obou směrech podporující svíslé piloty po jejich délce. Podepření celého modelu je provedeno v závislosti na namáhání pilot. Při tlaku je v patě pilot umístěna pevná podpora ve svislém směru umožňující vodorovné pohyby. V případě tahu je pevná podpora nahrazena pružinou simulující odpor proti vytažení piloty. Na následujících obrázcích je vykreslen prutový model z použitého softwaru. Sestavení konkrétní geometrie modelu bylo předmětem mnoha iterací, jejichž provádění je popsáno v kapitole 4.5 Nalezení optimální geometrie. Z obrázků prutového modelu je zřejmý prostorový rošt, který byl dále rozkreslen na obrázcích dále.



Obrázek 12 – uvažovaný prutový model lávky v program ANSYS



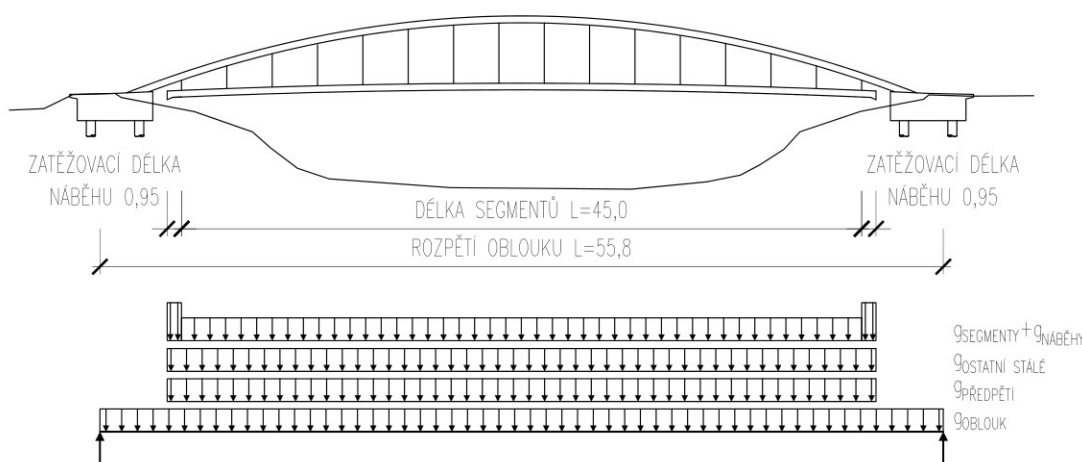
Obrázek 13 - rošt mostovky z elementů



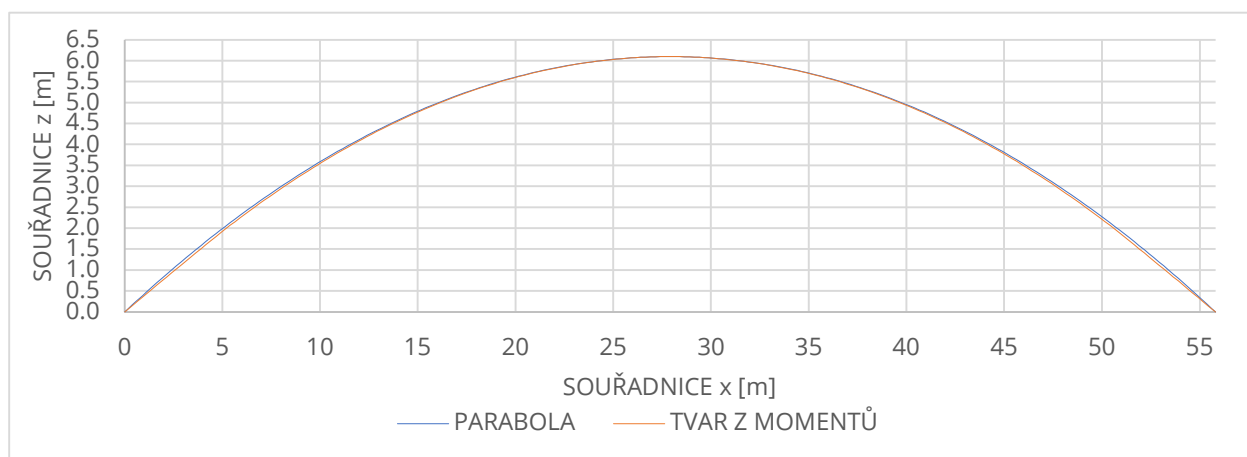
Obrázek 14 - rošt opěry z elementů

### 4.3 GEOMETRIE OBLOUKU

Stěžejním charakteristikou obloukového mostu je tvar oblouku, resp. průběh osy. Vhodná křivka byla zjištěna z průběhu ohybového momentu získaného ze zjednodušeného schématu prostého nosníku o rozpětí odpovídající oblouku. Toto schéma bylo zatíženo složkami vlastní tíhy konstantní hodnoty (zanedbána skutečnost zvyšování zatížení dle sklonu oblouku v daném bodě). Dále bylo aplikováno náhradní spojité zatížení přenášející se prostřednictvím závěsů do ocelového oblouku (ve skutečnosti se přenáší bodově) tvořené konstantní vahou segmentů, náhradní vahou náběhů dle jejich zatěžovací šířky vůči krajním závěsům, ostatním stálým zatížením a radiálními účinky od předpětí. Průběh ohybového momentu je parabola 2° opačné orientace. Reálné hodnoty vzepětí byly získány volbou vhodného měřítká křivky ohybového momentu.

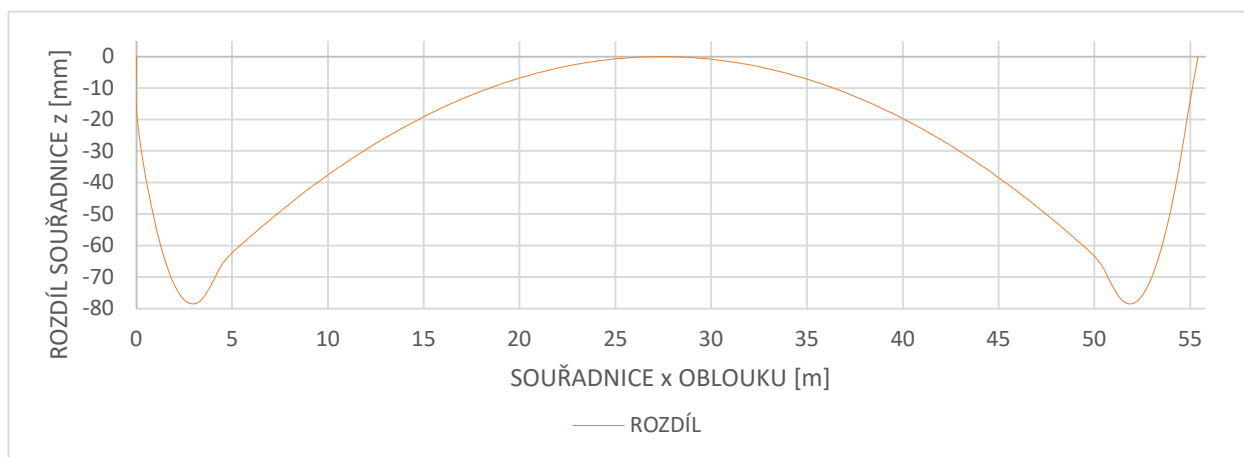


Obrázek 15 – statické schéma prostého nosníku pro určení tvaru oblouku



Obrázek 16 – graf porovnání vzepětí z momentů a rovnice

V uvedeném grafu je zobrazen průběh osy oblouku stanoveného předpisem  $y = \frac{4 \cdot f}{L^2} \cdot x^2 + \frac{4 \cdot f}{L} \cdot x + \frac{(e_b - e_a)}{L} + e_a$  pro parabolu 2° a tvarem získaným z měřtkování ohybového momentu. Následující graf ilustruje rozdíl těchto dvou křivek. Získané průběhy se příliš neliší.

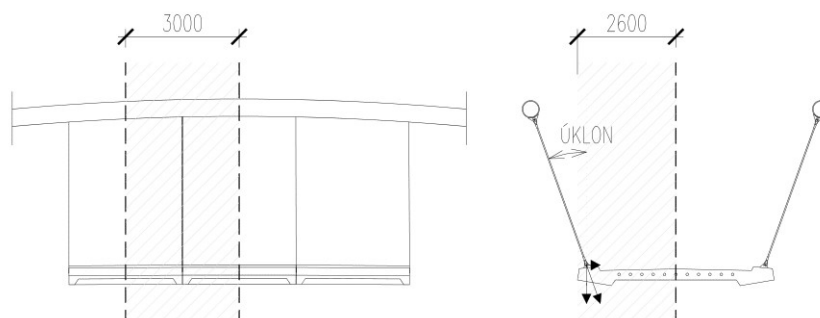


Obrázek 17 – graf rozdílu souřadnice y mezi průběhem osy oblouku z momentů a předpisem

#### 4.4 STANOVENÍ SÍLY V ZÁVĚSECH

Síly v závěsech jsou určeny zpětným chodem po výpočtu výchozího stavu konstrukce, tj. stav po ukončení výstavby v čase  $t_0$  bez vlivu proměnných zatížení. Do závěsů je při montáži vneseno aktivační předpětí zamezující vůlím v závitech. Předpětí odpovídající tomu z výpočtového modelu je do táhel vneseno vhodnou délkou závěsů a jejich vlastním přitížením. Výsledkem navržených sil v závěsech je deformace mostovky závisající pouze na deformaci oblouků. Pro ocelového oblouky bylo navrženo vzhledem k dlouhodobému chování mostovky nadvýšení o 30 mm. Analýza a zdůvodnění viz 7 Statický výpočet. Konkrétní síly v závěsech a jim odpovídající počáteční zkrácení jsou uvedeny v příloze P4.1 Výpočtové modely.

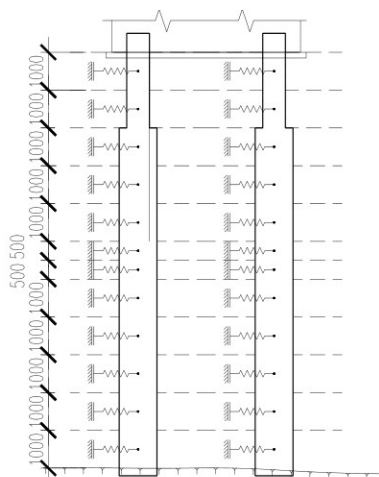
Korektnost použití počátečního zkrácení závěsů ve výpočtovém modelu byla kontrolována pomocí montážní fáze, kdy segmenty působí mezi závěsy osaměle jako prosté nosníky o známé tíze. Z uvedených schémat níže je patrné, že jeden závěs přenáší polovinu tíhy vymezené zatěžovací šířkou a jeho síla je závislá na úklonu od svislice. Ze zmíněných údajů byla odvozena síla v náhodném závěsu a byla zkontrolována softwarem s výslednou zanedbatelnou odchylkou.



Obrázek 18 – zatěžovací šířka jednoho závěsu s rozkladem sil

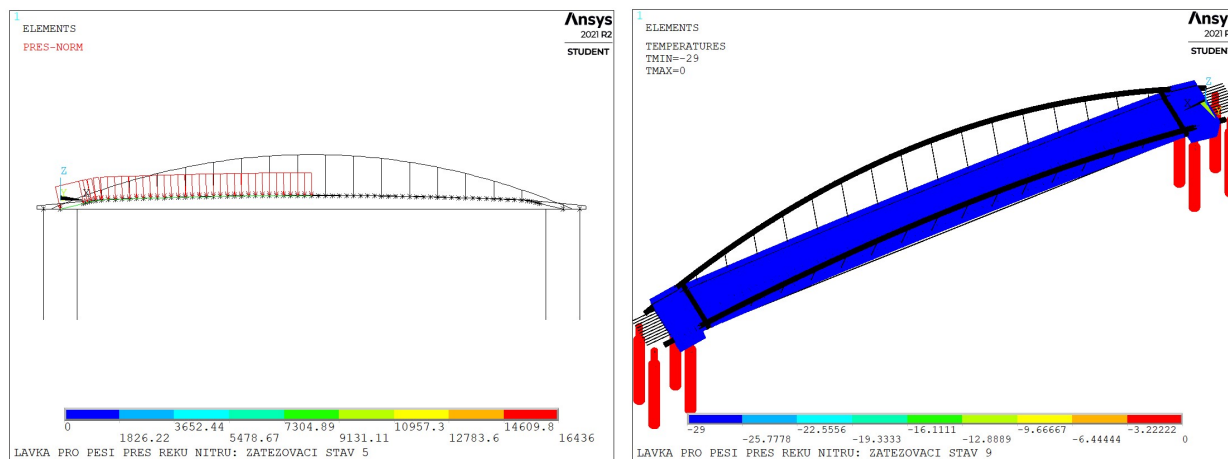
## 4.5 NALEZENÍ OPTIMÁLNÍ GEOMETRIE KONSTRUKCE

Nalezení vhodné geometrie celé soustavy bylo předmětem mnoha iterací. Před vymodelováním pilot a zavedení interakce s podložím bylo pracováno s nosnou konstrukcí uloženou na jedné straně dokonalým vetknutím a na straně druhé dokonalým vetknutím posuvným. V rámci tohoto idealizovaného modelu byly zaměřovány parametry jako vzezření oblouku s tvarem střednice z ohybového momentu náhradního nosníku, úklon oblouku od svislice vzhledem k poloze závěsů na segmentu, průřezy mostovky a ocelového oblouku a velikost předpínací síly s dráhou kabelů. Po počátečních iteracích a získání předběžné představy o fungování výpočtového modelu byla konstrukce uložena na spodní stavbu. Zaměřované parametry byla tuhost hlav pilot ovlivněná materiálem a průřezem, vzdálenost pilot v podélném směru ovlivňující míru vetknutí a tím velikost koncentrovaných sil. Dále byly modelovány zemní pružiny a iterační procesy byly dále opakovány.



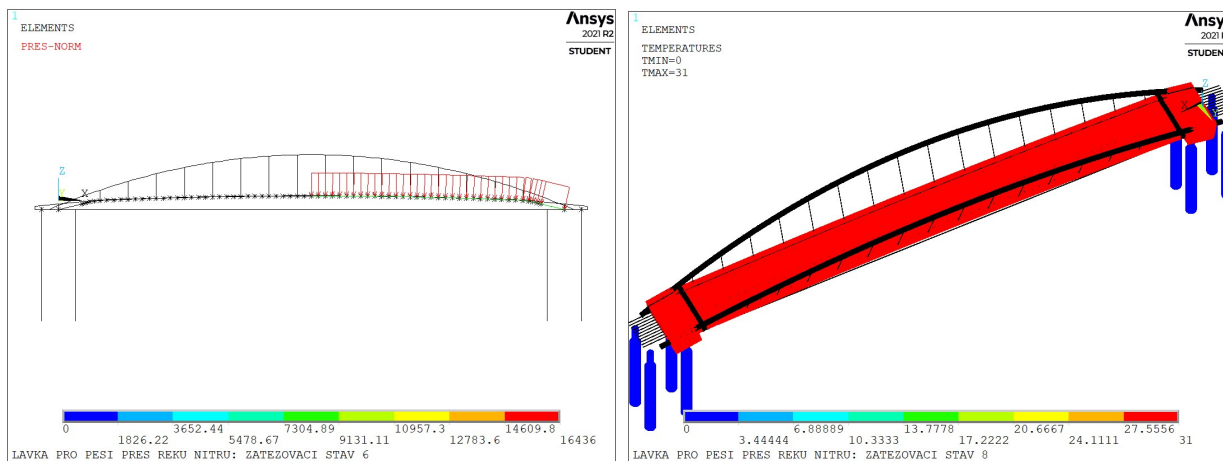
Obrázek 19 – schéma aplikovaných zemních pružin v obou směrech respektující dělení pilot dle skladby zemního vrstvy

Sledované kombinace rozhodující o použitelnosti či únosnosti mostovky a náběhů jsou tvořeny užitným zatížením chodce vlevo se zápornou rovnoměrnou složkou teploty  $T^-$  (LC13) a užitným zatížením chodce vpravo s kladnou rovnoměrnou složkou teploty  $T^+$  (LC10).



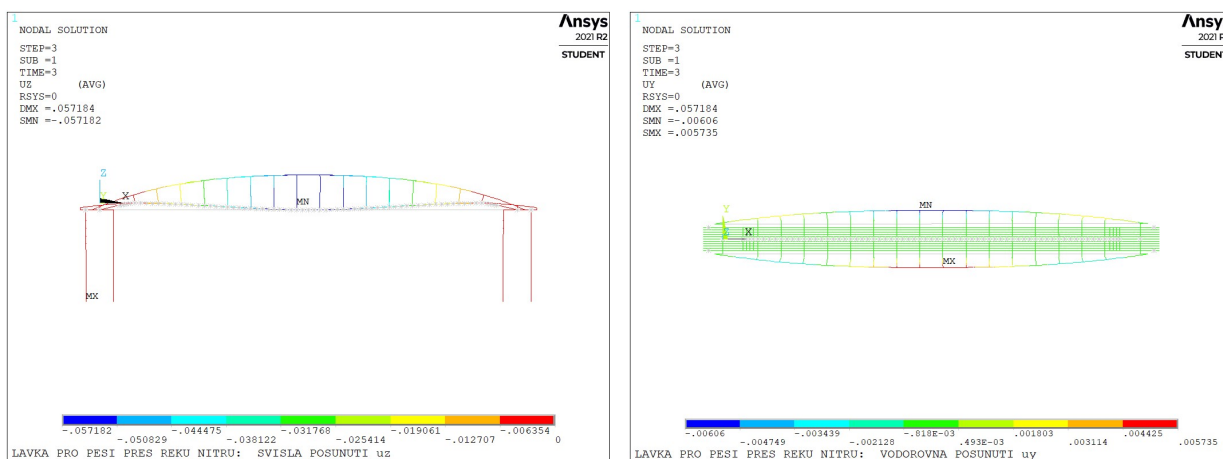
Obrázek 20 – proměnné zatížení tvořící kombinaci LC13





Obrázek 21 – proměnné zatížení tvořící kombinaci LC10

Návrh ocelového oblouku je limitován především mezním stavem omezení deformací, ve kterém průhyby od zatížení větrem dosahují vysokých hodnot a také geometrií možného ukotvení oblouku do bloku opěry procházející skrz krajní římsu. Ocelové oblouky jsou od stálých a užitných účinků deformovány tíhou dolů ve svislé rovině a směrem k ose lávky ve vodorovné rovině a tomu odpovídá i rozložení vnitřních sil po průřezu.



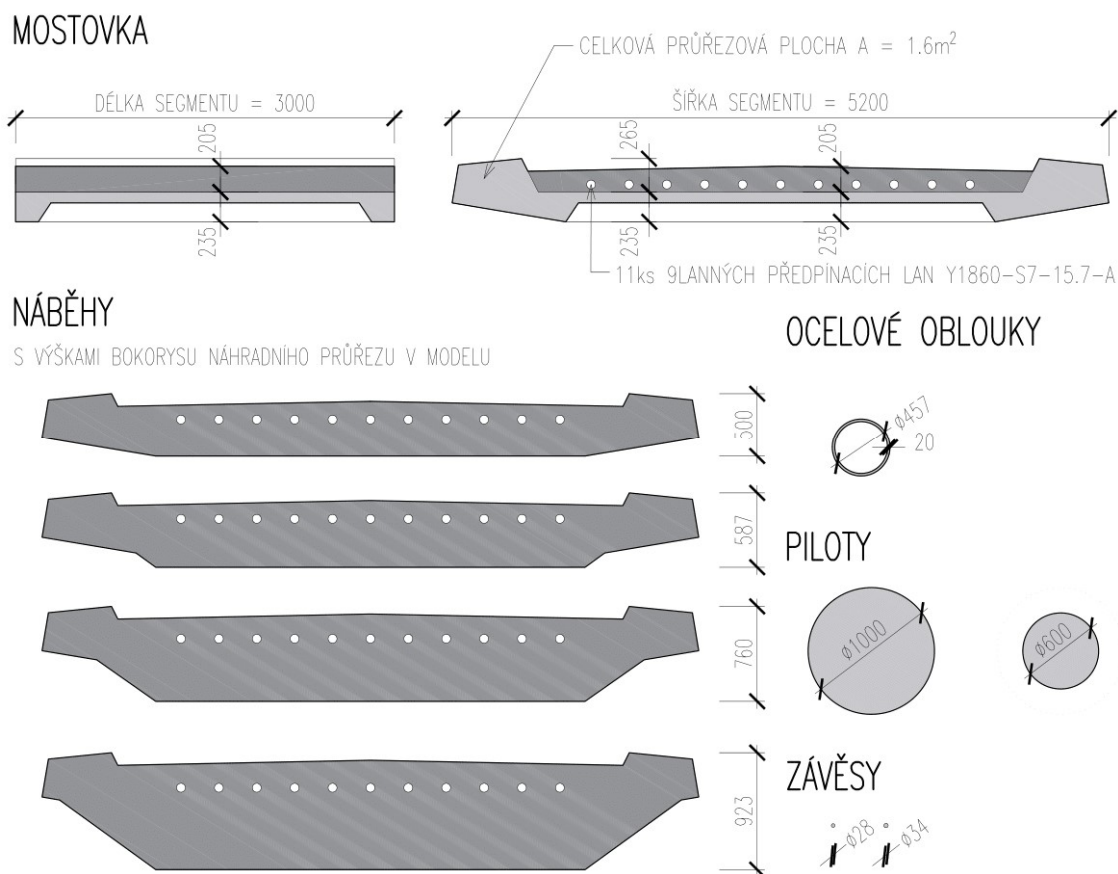
Obrázek 22 – deformace konstrukce ve výchozím stavu

Zatížení větrem působí na jednom oblouku ve směru a na druhém proti směru zmíněných účinků. Zatěžovací kombinace obsahující pouze vlastní tíhu a zatížení větrem způsobují ve výchozím stavu vyšší namáhání oblouku, který je pootáčen vlivem větru do vodorovné roviny z důvodu přetlačení účinků stálých ve vodorovném směru a vychýlení oblouku do méně únosného tvaru. V kombinacích obsahující účinky větru a užitné zatížení chodci je namáhán více oblouk, který je od větru otáčen do svislé roviny a všechny vyjmenované účinky se v něm koncentrují. Druhý oblouk je naopak v těchto kombinacích příčně stabilizován a ohybové momenty jsou menší.

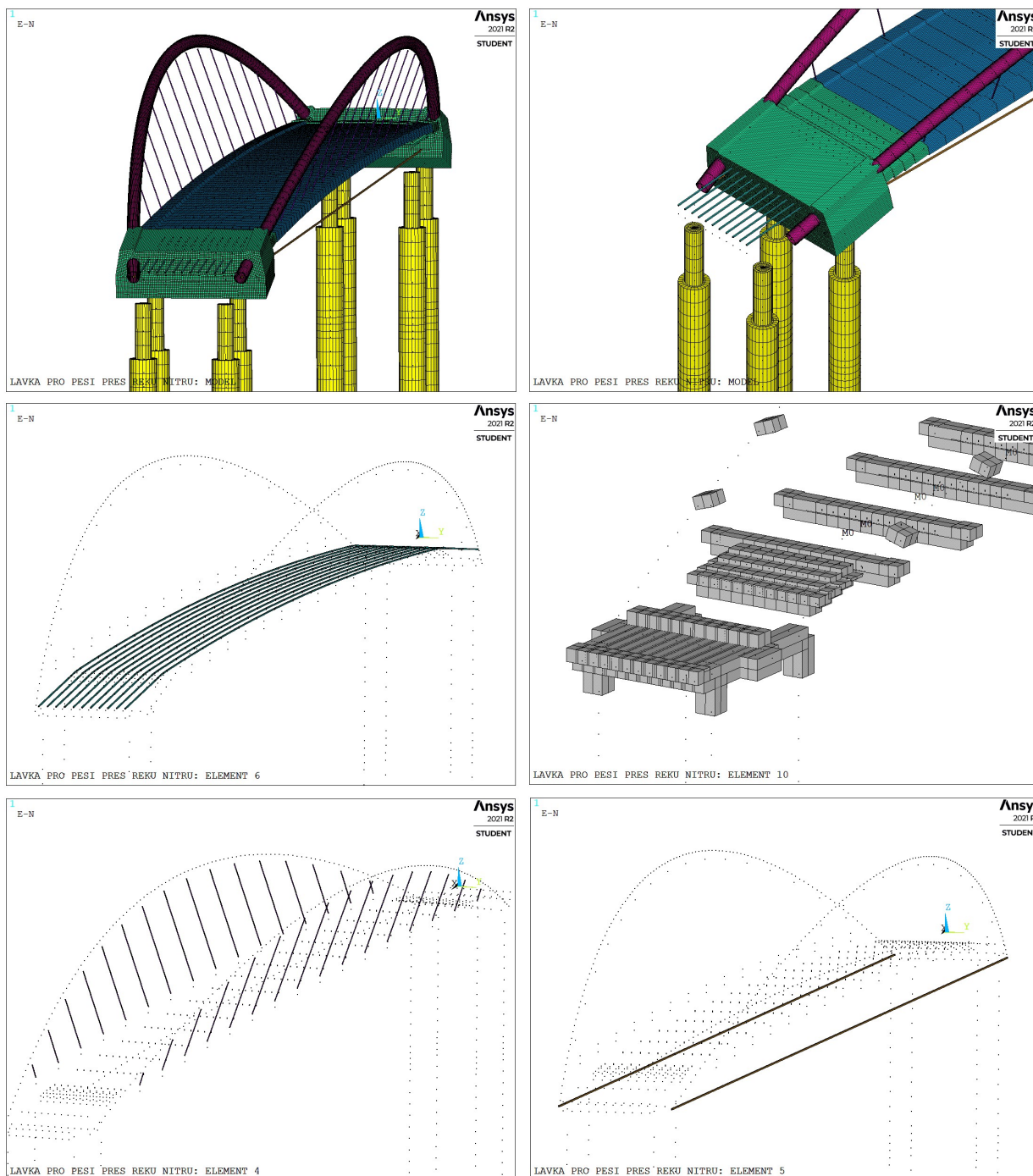
Výsledkem analýzy chování ocelových oblouků je stanovení způsobu jejich posouzení. Napjatosti jsou posuzovány pro oblouk, jehož střednice je od zatížení větrem pootáčena do svislejší polohy (předpoklad maximálního namáhání při maximálním zatížení, tj. včetně chodců) a deformace jsou posuzovány pro oblouk otáčený do vodorovné polohy. Konkrétní posouzení oblouků s rozhodujícími zatěžovacími kombinacemi viz 7 Statický výpočet.

Průřez pilot byl volen současně s jejich materiálem a kontrolovatelnou předpínací silou v montážních lanech. Průřez a materiál udávají dohromady ohybovou tuhost piloty, která byla řešena v kapitole 4.1 Snížení nároků na zakládání. V průběhu iterací bylo prováděno posouzení interakčním diagramem pilot dostupným v kapitole 7 Statický výpočet.

Podrobný popis sestavení globálního výpočtového modelu v ANSYS Mechanical APDL 2021 R2 a sestavení dvojice deskostěnových modelů vystihující segment ve fázi montáže a provozu pro návrh příčného směru v programu SCIA Engineer 19.1 je v příloze P4.1 Výpočtové modely. Součástí kapitoly 7 Statický výpočet je výčet jednotlivých aplikovaných zatěžovacích stavů působící na konstrukci lávky. Následující obrázky prezentují zvolené průřezy dílčích prvků navrhovaných prvků a vybrané pohledy na prostorový model v softwaru ANSYS.



Obrázek 23 – použité průřezy prvků



Obrázek 24 – vybrané pohledy na výpočtový model

Materiál dílčích nosných prvků je součástí následující kapitoly popisující technicky mostní konstrukci a dílčí fáze výstavby. Tato kapitola současně obsahuje kategorické zatížení mostu dle ČSN 73 6200 a základní dimenze mostu.

## 5 TECHNICKÉ ŘEŠENÍ NAVRHOVANÉHO MOSTU

### 5.1 ZATŘÍDĚNÍ MOSTU DLE ČSN 73 6200

Podle druhu převedené komunikace	most místní komunikace (komunikace pro pěší a chodce)
Podle překračované překážky	most přes řeku
Podle počtu polí	most o jednom poli
Podle počtu mostovkových podlaží	most s mostovkou v jedné úrovni
Podle výškové polohy mostovky	most s dolní mostovkou
Podle přesypávky	most bez přesypávky
Podle měnitelnosti základní polohy	nepohyblivý most
Podle plánové doby trvání	trvalý most
Podle průběhu trasy na mostě	most směrově v přímé most ve výškovém oblouk
Podle úhlu křížení	most kolmý
Podle materiálu	integrováný kombinovaný spřažený most (ocelové oblouky se závěsy a spřaženou předpjatou mostovkou)
Podle statické funkce hlavní nosné konstrukce	obloukový most
Podle volné výšky na mostě	s neomezenou volnou výškou

### 5.2 ZÁKLADNÍ DIMENZE MOSTU

Délka přemostění	48.80 m
Rozpětí ocelového oblouku	55.80 m
Vzepětí ocelového oblouku	6.1 m
Rozpětí spřažené předpjaté mostovky	53.80 m
Délka použitého ŽB segmentu	3.00 m
Délka pásu mostovky z ŽB segmentů	45.00 m
Délka mostu	59.80 m
Šikmost mostu	$90^\circ = 100.0000^\circ$
Rozkročení oblouků uprostřed rozpětí	7.67 m
Odklon ocelových oblouků od svislice	$18^\circ$
Šířka mezi zábradlími	4.00 m
Šířka spřažené předpjaté mostovky	5.20 m
Šířka mostu	8.125 m
Výška mostu nad terénem	6.93 m
Konstrukční výška předpjaté mostovky	0.5 m
Konstrukční výška ocelového oblouku	0.457 m

## 5.2.1 PŘÍPRAVNÉ PRÁCE

Před zahájením stavebních prací na mostě a zřízení staveniště je nutné provést skrývku o mocnosti 0.40 m a pokácet stromy nacházející se na břehu u opěry O2. Zemní práce v okolí mostu jsou navrženy s ohledem na skutečné založení objektu. Maximální stanovený sklon výkopů je 1:1 a při nejvyšší výšce výkopu 1.77 m je považován za dostatečný.

## 5.2.2 ZALOŽENÍ MOSTU

Založení objektu je navrženo pomocí 4 ks pilot pod každou opěrou o délce 11 m pod spodní líc opěry, resp. základovou spáru. Piloty jsou opřeny o tuhé skalní podloží. Osová vzdálenost je 3.6 m v podélném směru a 3.0 m ve směru příčném. Uvažovaný běžný průměr piloty je  $D = 1.0$  m. Tento průměr je od hlavy piloty do hloubky 2.0 m pod základovou spáru zúžen na průměr  $D = 0.6$  m. Technologie provedení pilot je navržena Kelly s ohledem na skladbu geotechnického vrtu dostupného v příloze P1.2 Inženýrsko-geologický průzkum. Uvažovaná směs betonu pilot C20/25 XA1, XC2 – CI 0.20,  $D_{max}$  22–S4.

Před zahájením vrtných prací je nutné zřídit na terén bez humózní vrstvy montážní plošinu strojního zařízení ze štěrkodrti ŠD<sub>b</sub> 32/63 se sklony svahů min. 1:2. Velikost plošiny je uvažována 8.6×8.6 m s nájezdy. Z vrtné plošiny bude zřízena štětová stěna ve čtverci 6.6×6.6 m pro zajištění kvality vybetonovaných pilot u vodního toku, kde je riziko proudící vody a vymílání složek čerstvé směsi pilot. Při betonáži pilot bude vrt vyplněn do výšky 2 m pod úroveň základové spáry opěry a osazen armokoš. V následné fázi dojde k rozebrání materiálu montážní plošiny a jeho uschování na staveništi pro další použití ve fázi dokončovacích prací. Po rozebrání bude proveden výkop pažený svislými štětovými stěnami po úroveň vybetonovaných pilot s vyčnívajícím armokošem. Hloubka této pažené jámy je 3.6 m. Odvodnění srážkové vody z jámy bude provedeno jejím čerpáním. Je předepsáno očištění vyčnívajícího armokoše zúžené části piloty a pracovní spáry piloty tlakovou vodou pro zajištění soudržnosti výztuže a betonu. Zúžená část pilot bude vybetonována do sestaveného bednění a její celková výška je 2.5 m s vytaženou výztuží doplněnou o ochranný prsteneček z výztuže. Po vytvrdnutí zúžené části pilot dojde k rozebrání bednění, zasypáním prostoru jámy hutněným odtěženým materiálem, vytažení štětových stěn a srovnání zeminy do požadované výšky pro následnou betonáž podkladního betonu opěry a samostatných křídel. Odvodnění srážkové vody z výkopů je uvažováno rýhami s vyústěním do vodního toku. Jednotlivé fáze výstavby jsou dostupné v příloze P3.1 Stavební postup.

### 5.2.3 OPĚRY

Na zarovnaný terén bude proveden pokladní beton o rozměru 5.3×5.75 m (podélný/příčný směr) tl. 100 mm pod betonovou opěru. Podkladní beton bude rozšířen o pruhy dlouhé 4.25 m a široké 1.0 m pod samostatná křídla na obou stranách projektovaných opěr ve směru kolmém. Betonová směs podkladního betonu je navržena C8/10 X0 – Cl 0.20,  $D_{max}$  22–S4. Půdorysný rozměr opěr je 5.0×5.45m. Směs monolitických opěr je C50/60 XC4, XD1, XF3 – Cl 0.20,  $D_{max}$  16–S5. Obvod opěr je odsazen od okraje podkladního betonu o 150 mm. Horní povrch podkladního betonu tvoří základovou spáru opěry, od které jsou tyto betonové bloky tvořeny po celém obvodu svislými stěnami ukončenými v různých výškách. Přední i zadní strana opěry ve směru podélné osy je celá svislá, s výjimkou zadní stěny, kde jsou lokálně projektovány kapsy kotev a při horním povrchu přečnávající konzola. Boční strany mají svislý povrch ukončený na skloněné linii počínající ve výšce 975 mm na rohu přední strany opěry a končící ve výšce 725 mm na rohu zadní strany. Od této dělicí linie jsou navazující boční roviny opěry skloněné. Geometrie opěr respektuje fázovanou výstavbu konstrukce a vytváří prostory pro ukotvení ocelového oblouku. Komplexní geometrie viz příloha P2.8 Tvar opěry. Betonovými bloky jsou vedeny kabelové kanálky montážního i finálního předpětí mostní konstrukce včetně zabetonovaných kotev předpětí. Informace o předpětí konstrukce viz 5.2.6 Mostovka. Na bloky opěry navazují na obou jejich stranách monolitická samostatná křídla navázaná na stávající nábrežní zeď se zabetonovaným trubkovým zábradlím. Délka jedné stěny je 4.45 m a šířka 0.4 m s rozšířením v patě na 0.7 m. Na mostní křídla navazuje ŽB římsa určená pro kotvení zábradlí. Betonová směs monolitických křídel a římsy je C30/37 XC4, XD1, XF3 – Cl 0.20,  $D_{max}$  16–S4.

### 5.2.4 OCELOVÉ OBLOUKY

Vnější průměr navržených ocelových oblouků je  $D_e = 457$  mm a tloušťka stěny  $t = 20$  mm. Materiálem ocelového oblouku byla zvolena ocel S355 tvarovaná za studena. Příloha P2.4 Podklad pro výrobu ocelového nosníku uvádí přesnou geometrii oblouku včetně jeho ukončení patními plechy s výztuhami na obou stranách. Projektované skutečné rozpětí oblouku, resp. vzdálenost středů patních plechů, je 53.30 m. Skutečné vzepětí oblouků je 5.593 m. Patní plech je navržen kruhového tvaru o průměru 750 mm a tloušťce 35 mm. Plech je ztužen pomocí 12 ks vnějších výztuh tl. 16 mm, šířky 120 mm a výšky 400 mm. Kotvení oblouků bude realizováno pomocí 6 ks dodatečně osazených závitových tyčí M30 8.8 o minimální zakotvené délce 200 mm s šestihrannými maticemi a plochou podložkou dle DIN 125 do skloněné plochy betonové opěry. Závitové tyče budou osazeny do vrtu

v betonovém bloku, vyplněného chemickou kotvou Den Braven bez styrenu VINYLESTER SF. Patní plechy budou pro redukci chyb během výstavby podlity polymerní maltou projektované tloušťky 25 mm pod středem plechu. Montážní výkres ocelových oblouků tvoří přílohu P2.5. Ocelové oblouky jsou navrženy v úklonu od svislice 18° směrem vně mostu. Výsledná vodorovná vzdálenost mezi vrcholy os oblouků po ukončení výstavby je 7.67 m.

### 5.2.5 ZÁVĚSY A STYČNÍKOVÉ PLECHY

Na konstrukci jsou uvažované tyčové závěsy výrobce Macalloy. Krajiní závěsy jsou kvůli vyššímu namáhání plynoucího z vyššího úklonu závěsu od svislice a nižší poddajnosti oblouku v místě krajiního závěsu navrženy typu 520 – M36 –  $\phi$ 34 mm a ostatní 520 – M30 –  $\phi$ 28 mm. Při montáži prefabrikovaných segmentů jsou závěsy na jednom konci připevněny na styčnickové plechy kotvené do čel segmentů pomocí kotevních trnů  $\Phi$ 13 mm a na druhém na styčnickové plechy přivařené na dvojici ocelových oblouků. Styčnickové plechy pro připevnění závěsů M36 mají tl. 30 mm a pro závěsy M30 tl. 22 mm. Přesná geometrie styčnickových plechů je zakreslena v příloze P2.4 Podklad pro VTD ocelového oblouku a příloze P2.6 Tvar segmentu. Geometrie styčnickových plechů respektuje podklady výrobce.

### 5.2.6 MOSTOVKA

Konstrukci přenášející účinky od dopravního zatížení chodci tvoří mostovka, která je vynesena závěsy na ocelovém oblouku. Ve fázi montážní tvoří mostovku prefabrikované segmenty o skladebném rozměru v podélném směru 3.0 m a celkové šířce 5.2 m. Segment tvoří v podélném směru dvě žebra (římsy) se svislým průmětem 500 mm. Podélná žebra jsou spojena příčnými žebry výšky 235 mm a šířky 200 mm. Podélná a příčná žebra uzavírají prostor, který je tvořen vylehčující deskou tl. 85 mm. Všechna žebra mají na vnitřních stranách zkosení 100×115 mm vytvářející náběh na zmíněnou desku. Segmenty jsou v podélném směru ukončeny pomocí betonových ozubů vytvářející při smontování sousedního segmentu kapsy pro vyplnění betonem. V čelech segmentů s ozuby jsou zabetonovány styčnickové plechy pro uchycení závěsů. Na konstrukci jsou navrženy 3 typy segmentů lišící se osazením těchto plechů viz výkres P2.6 Tvar segmentu. Segmenty jsou vyrobeny z betonové směsi C50/60 XC4, XD1, XF3 – Cl 0.20,  $D_{\max}$  11–S5. Před fází zavěšení segmentů na ocelové oblouky je nutné, aby bloky opěr byly sepnuty montážním předpětím složeného z 2 ks 3lanných kabelů Y1860–S7–15.7–A. Kabely jsou vedeny opěrami v plastových kanálcích  $\Phi$ 45 mm. Kotvení těchto kabelů je navrženo vyměnitelným kotevním firmy Freyssinet NB 3C15. Kotevní napětí montážních lan je 1256.7 MPa.

Po smontování prefabrikovaných segmentů je provedena betonáž krátkých náběhů a spřažené desky. Navržená betonová směs C50/60 XC4, XD1, XF3 – CI 0.20,  $D_{\max}$  16–S5. Spřažená deska je provedena do bednění tvořeného segmenty se spřahující výztuží. Tloušťka desky na ose mostu/ose segmentu v podélném směru 205 mm a na okrajích v nejnižším bodě 165 mm. Horní povrch spřažené desky je v příčném sklonu 2 %. Při betonáži je požadována čistota betonového povrchu pro zajištění soudržnosti mezi betony různého stáří – očistit tlakovou vodou. Touto deskou je vedeno finální předpětí složené z 11 ks 9lanných předpínacích kabelů Y1860–S7–15.7–A vedených plastových kanálcích  $\Phi$ 70 mm. Kotevní napětí finální lan je 1440 MPa. Označení kotev dle výrobce je NB9C15. Monolitické náběhy jsou provedeny do bednění zavěšeného na dříve vybetonované monolitické opěry a krajní zavěšené segmenty. Délka náběhu je navržena 1.9 m. Náběhy jsou na délce 0.6 m od krajního segmentu průřezu žebra segmentu (plný průřez). Od tohoto místa je spodní povrch náběhu rozšiřovaný ve směru k opěře viz výkres P2.9 Tvar náběhu. Detailní výkresy tvaru segmentů, náběhů, opěr, výkresy betonářské výztuže segmentů, spřažené desky a náběhů a taktéž vedení předpínací výztuže jsou součástí příloh P2.

## 5.2.7 ÚPRAVY POD MOSTEM

Po zhotovení veškerých stavebních úprav na mostním objektu dojde k zasypání prostoru před a za opěrou pomocí štěrkodrti ŠD<sub>b</sub> 32/63 uskladněné po rozebrání montážní plošiny. Výkopy v okolí samostatných křídel budou zasypány vytěženým materiálem.

Obě opěry budou opevněny z lomového kamene tl. 200 mm osazeného do betonového lože tl. 100 mm z betonu C20/25 XF3 CI 0.20,  $D_{\max}$  22–S4 na štěrkopískovém podsypu tl. 100 mm. Sklon opevnění jsou přibližně 2 %. Opevnění z lomového kamene je podél opěr a před nimi ukončeno obrubníkem ABO 100/10/25 v betonovém loži C20/25 XF3 CI 0.20,  $D_{\max}$  16–S4. Opevnění podél opěry O1 vč. obrubníků má délku 4.85 m, převýšení 915 mm a před opěrou délku 2.75 m s převýšením 465 mm. Na opačném břehu je délka podél opěry O2 4.15 m, převýšení 910 mm a před opěrou 2.05 m s převýšením 360 mm. Šířka opevnění od bočního svislého líce opěry je 0.6 m včetně obrubníku. Celková šířka opevnění  $0.6+5.45+0.6 = 6.65$  m. Závěrem dojde k zasypání ploch s odtěženou humózní vrstvou pomocí místního materiálu a následnému ohumusování tl. 100 mm.



## 5.3 MOSTNÍ SVRŠEK

### 5.3.1 VOZOVKA NA MOSTĚ

Skladbu vozovky na mostě tvoří přímopochozí izolace systému Tarco Qubik NF v tloušťce 5 mm. Vozovka je provedena v celé pochozí ploše lávky, tedy na krajních opěrách, náběžích i segmentech se spřaženou deskou. Je navrženo zbarvení v odstínu RAL 1002 Písková.

### 5.3.2 ODVODNĚNÍ

Srážková voda na mostovce je odváděna proměnným podélným a konstantním příčným sklonem 2 %. V pásu mostovky tvořené segmenty jsou navrženy odvodňovací trubičky složené z vrchního krycího plechu a spodní trubičky ukončené přírubou. Trubičky budou osazeny při odrazné hraně uprostřed segmentu. Celkový počet segmentů s odvodňovacími trubičkami je 8 ks. Tyto segmenty jsou lichého pořadí při číslování od jedné opěry k druhé, tj. 1.,3.,5., atd. V těchto segmentech jsou navrženy ve dvojicích proti sobě. Podélná osová vzdálenost těchto dvojic je 6 m. Vzdálenost osy trubičky od tohoto okraje je 200 mm. Před betonáží spřažené desky bude příruba s trubičkou osazena do bednění. Průchod trubičky segmentem bude proveden dodatečně vývrtem v desce. Okolí příruby je předepsáno v rozměru 400x400 mm vyspádovat. Celkový počet navržených odvodňovacích trubiček je 16 ks.

V místě připojení betonového bloku opěry na cyklostezku z netuhého krytu bude zřízen příčný odvodňovací žlab délky 3.5 m. Celkový počet takových žlabů na mostě jsou 4 ks.

## 5.4 MOSTNÍ VYBABENÍ

### 5.4.1 ODVODŇOVACÍ TRUBIČKY

Dle kapitoly 5.3.2 odvodnění je na mostní konstrukci osazeno 16 ks odvodňovacích trubiček DN50. Trubičky jsou navrženy s šikmým vývodem 43° od svislice. Příruba je kruhového rozměru o průměru 250 mm.

### 5.4.2 ODVODŇOVACÍ ŽLABY

Dle kapitoly 5.3.2 odvodnění budou umístěné v místech napojení opěry na cyklostezku. Navržená šířka žlabu je 100 mm a bude vyústěn na zelenou plochu za mostem. Celková délka použitých žlabů je 14 m.

### 5.4.3 ZÁBRADLÍ

Na lávce pro pěší je navrženo dodatečně osazené zábradlí výšky 1.30 m nad nejnižším bodem pochozí plochy. Zábradlí je tvořeno sloupky s patním plechem sloužícím k jejich kotvení pomocí 4 ks šroubů M14, délky min. 120 mm v konstrukci římsy. Sloupky jsou osazeny ve svislé poloze a proměnnost sklonu krajních říms je vyrovnána podlitím patních plechů pomocí polymerní malty min. tl. 10 mm na ose sloupku dle VL4 501.52. Sloupky jsou doplněny dvojicí madel, kdy horní madlo  $\Phi 40$  mm kopíruje výšku 1.30 m a spodní madlo  $\Phi 80$  mm je umístěno ve výšce 1.0 m. Mezi jednotlivými sloupky je navržena výplň ze síťoviny, která nahrazuje standartně používané příčle se sloupky zábradlí používaného na mostech pozemních komunikací. Kotvení zábradlí je provedeno do říms tvořených prefabrikovanými segmenty a monolitickou částí náběhů. V místech průchodu ocelového oblouku skrze římsu opěry je sloupek vynechán. Poslední sloupek zábradlí mostovky je, vzhledem ke svému umístění přímo nad kotvením ocelového oblouku do bloku opěry, bez patního plechu a je přivařen ke krycímu plechu římsy opěry viz P2.9 Tvar náběhu. Ocelové zábradlí vč. madel a síťovin je navrženo v barevném odstínu RAL 9001 Bílá. Madlo  $\Phi 80$  mm může být na přání investora pro zvýšení komfortu chodců zejména s omezením pohybu nahrazeno dřevěnou kulatinou 80 mm lakovanou s odstínem RAL 1002 Písková.

Konstrukce zábradlí mostovky a zábradlí na římse samostatného křídla je propojena prvními sloupky na zmíněné římse. Konstrukce tohoto sloupku musí mít připevněnu dvojici madel a síťovinu pomocí šroubů s oválnými otvory umožňující dilataci mostní konstrukce vůči samostatným mostním křídům navázaným na průběžnou protipovodňovou stěnu v zemní valu.

### 5.5 VOZOVKA NA PŘEDMOSTÍCH

Asfaltový beton pro obrusnou vrstvu	ACO11, 50/70	40 mm
Spojovací postřik	PS-C	0,25kg/m <sup>2</sup>
Asfaltový beton pro podkladní vrstvu	ACP16, 50/70	45 mm
Infiltrační postřik	PI-C	0,40kg/m <sup>2</sup>
Štěrkodrt'	ŠD <sub>B</sub>	150 mm
Celkem tloušťka vozovky na předmostích		235 mm

## 6 VÝPIS POUŽITÝCH MATERIÁLŮ

### 6.1 SEZNAM BETONŮ

Piloty	C25/25 XA1, XC2
Podkladní beton	C8/10n X0
Monolitické opěry	C50/60 XC4, XD1, XF3
Prefabrikované segmenty	C50/60 XC4, XD1, XF3
Monolitická spřažená desky	C50/60 XC4, XD1, XF3
Monolitické náběhy	C50/60 XC4, XD1, XF3
Monolitická samostatná křídla	C30/37 XC4, XD1, XF3
Betony úprav pod mostem	C20/25n XF3

### 6.2 SEZNAM KONSTRUKČNÍ OCELI

Ocelový oblouk	S355
Styčnickové plechy	S355
Smykové trny	S235
Krycí plech kotvení	S235
Závěsy Macalloy 520 M30- $\Phi$ 28mm	pevnostní třída 520
Závěsy Macalloy 520 M36- $\Phi$ 34mm	pevnostní třída 520
Šrouby M30	pevnostní třída 8.8

### 6.3 SEZNAM VÝZTUŽE

Prefabrikované segmenty	B500B
Monolitický náběh a spřaž. deska	B500B, Y1860-S7-15,7-A
Monolitická samostatná křídla	B500B

### 6.4 PRVKY PŘEDPÍNAČÍ SYSTÉMU

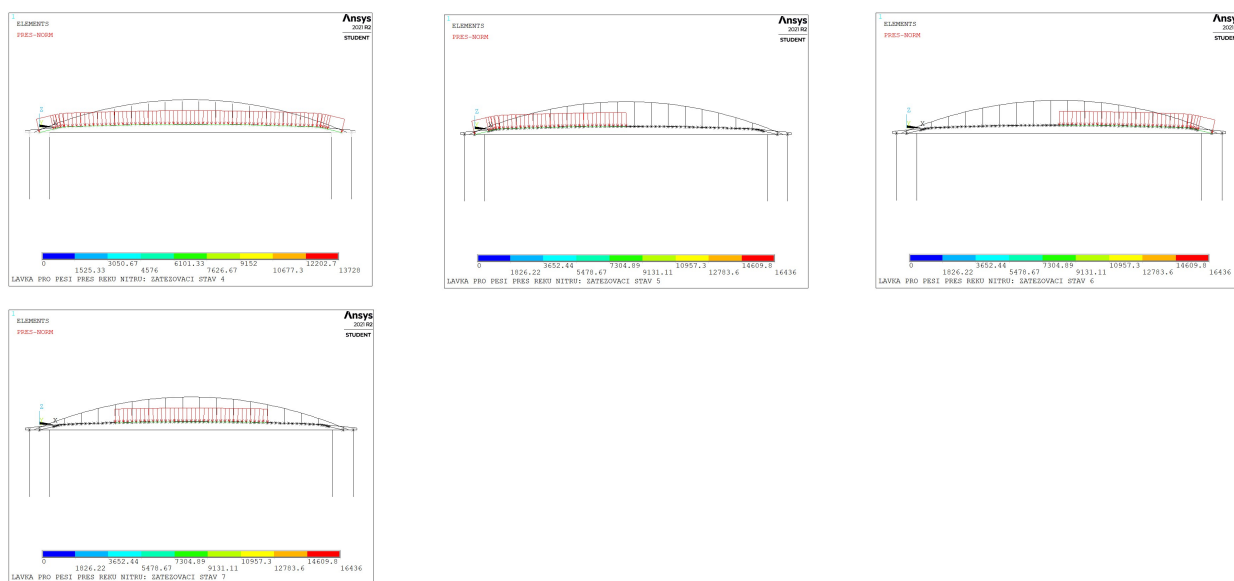
Pro předpínání konstrukce byl zvolen předpínací systém Freyssinet využívající předpínací lana Y1860-S7-15.7-A vedená v plastových kanálcích.

MONTÁŽNÍ LANA		FINÁLNÍ LANA	
Kabelové kanálky:	$\Phi = 45 \text{ mm}$	kabelové kanálky:	$\Phi = 70 \text{ mm}$
Kotvy:	NB 3C15	Kotvy:	NB 9C15
Spirály:	$\emptyset 8 \text{ mm}$	Spirály:	$\emptyset 14 \text{ mm}$
D = 150 mm		D = 250 mm	
n = 5		n = 6	

## 7 STATICKÝ VÝPOČET

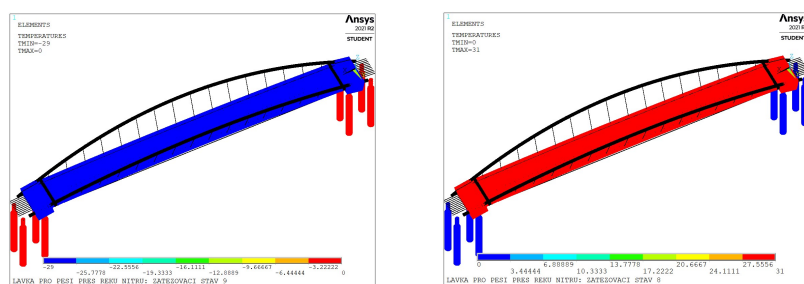
V kapitole 4 bylo upozorněno na dílčí problémy konstrukce a byly zmíněny některé rozhodující posuzované stavy. Tato kapitola je souhrnem kritických výsledků a postupů zvolených ve statickém výpočtu. Detailní forma výpočtů je dostupná v příloze P4.3 Statický výpočet. Konstrukce byla zatížena deseti zatěžovacími stavy na které, z důvodu využití geometricky nelineárního výpočtu, nelze použít princip superpozice a pro získání výsledků bylo nutné každou dílčí kombinaci počítat softwarem vždy od počátku přes všechny stadia fázovaného výpočtu. Kombinace jsou tvořeny zatěžovacími stavy ZS1 – vlastní tíha, ZS2 – ostatní stálé zatížení, ZS3 – předpětí, ZS4 – užité zatížení chodci na celé délce, ZS5 – užité zatížení chodci na levé polovině, ZS6 – užité zatížení chodci na pravé polovině, ZS7 – užité zatížení chodci uprostřed, ZS8 – zatížení teplotou  $T^+$ , ZS9 – zatížení teplotou  $T^-$  a ZS10 – zatížení větrem. Vlastní tíha je automaticky generována, ostatní stálé je aplikováno soustředěnou hmotností viz P4.1 Výpočtové modely, předpětí je součástí konstrukce a ostatní proměnné účinky zatížení jsou patrné z následujících obrázků.

### UŽITNÉ ZATÍŽENÍ (ZS4–ZS7)



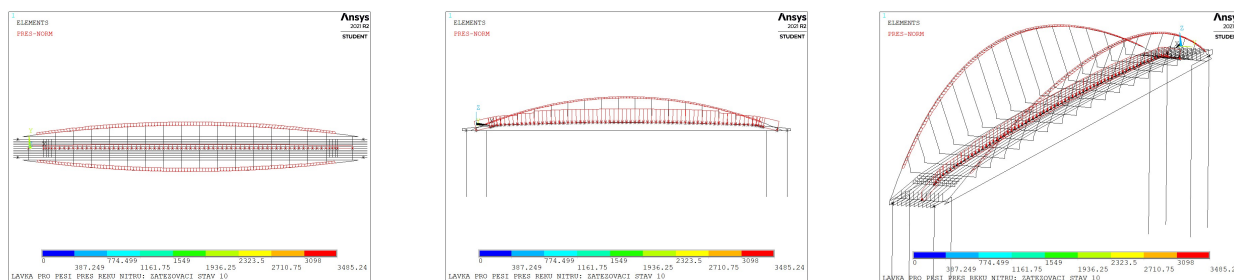
Obrázek 25 – výčet zatěžovacích stavů užitého zatížení

### ZATÍŽENÍ TEPLOTOU (ZS8–ZS9)



Obrázek 26 – výčet zatěžovacích stavů zatížení teplotou

## ZATÍŽENÍ VĚTREM (ZS10)

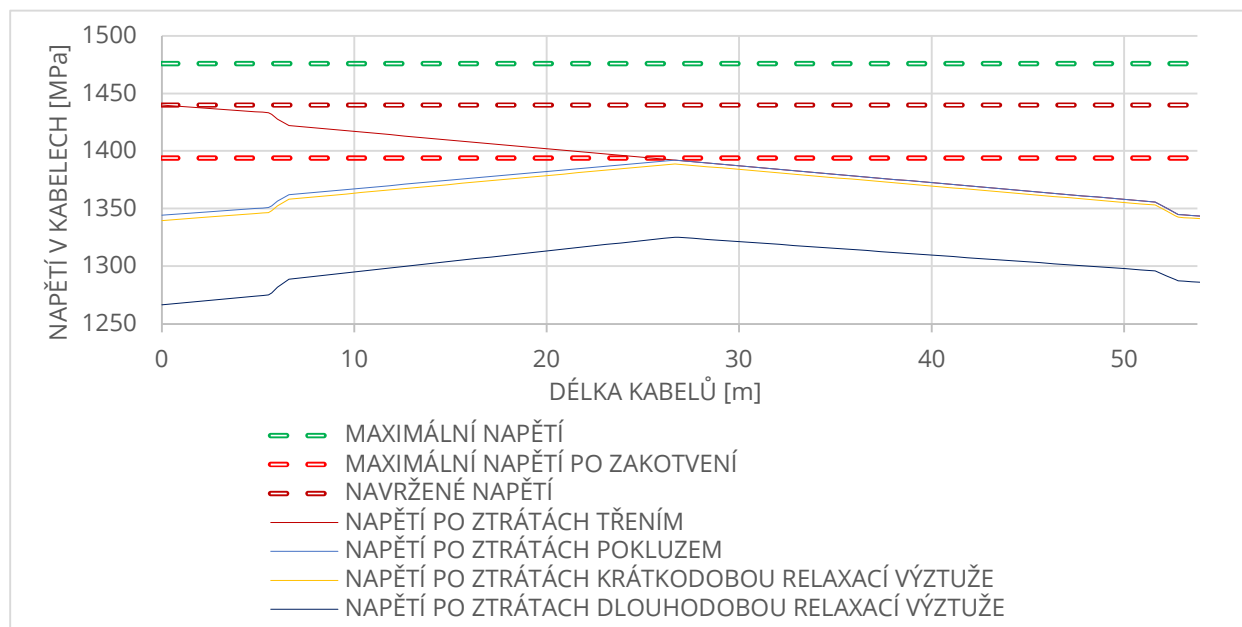


Obrázek 27 – zatěžovací stav zatížení větrem

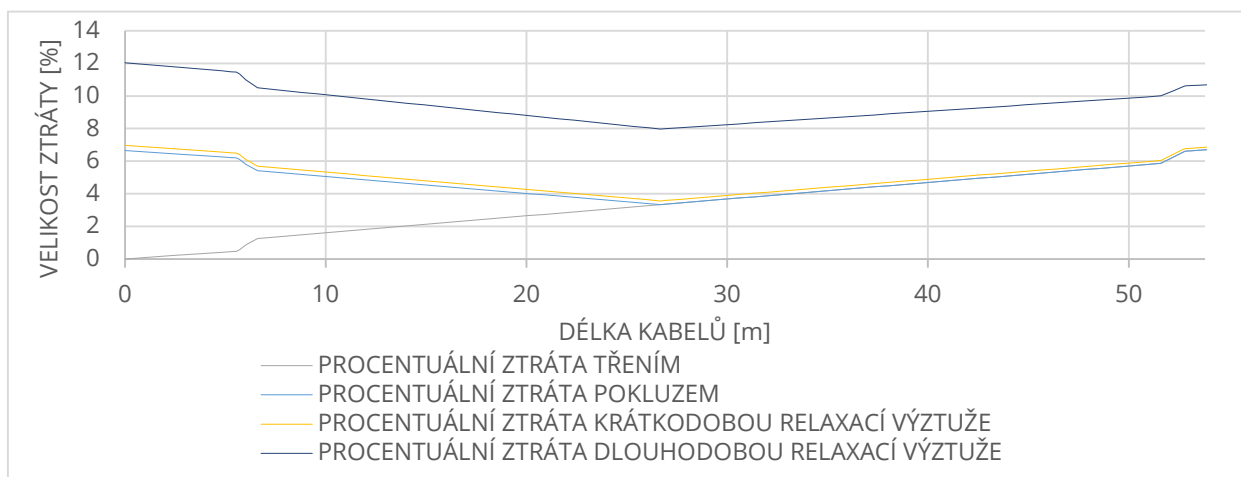
Pravidla pro tvorbu kombinací jsou součástí kapitoly 4 Kombinace zatížení přílohy P4.3 Statický výpočet. Dílčí grafické výsledky z výpočtového modelu od jednotlivých zatěžovacích kombinací zahrnující odděleně jeden zatěžovací stav + vlastní tíhu jsou dostupné v příloze P4.2 Výstupy z výpočtových modelů. Tyto kombinace tvoří charakteristické kombinace LC1–LC7.

## 7.1 PŘEDPĚTÍ

Ve statickém výpočtu byly podrobně stanoveny velikosti ztrát použité pro napjatost elementů lan finálního předpětí ve výpočtovém modelu. Mezi spočtené ztráty patří ztráta třením, pokluzem, krátkodobou relaxací výztuže a dlouhodobou relaxací výztuže. Tyto ztráty byly určeny pro skutečný průběh kabelu v plastovém kanálku s kotvící napětí 1440 MPa.

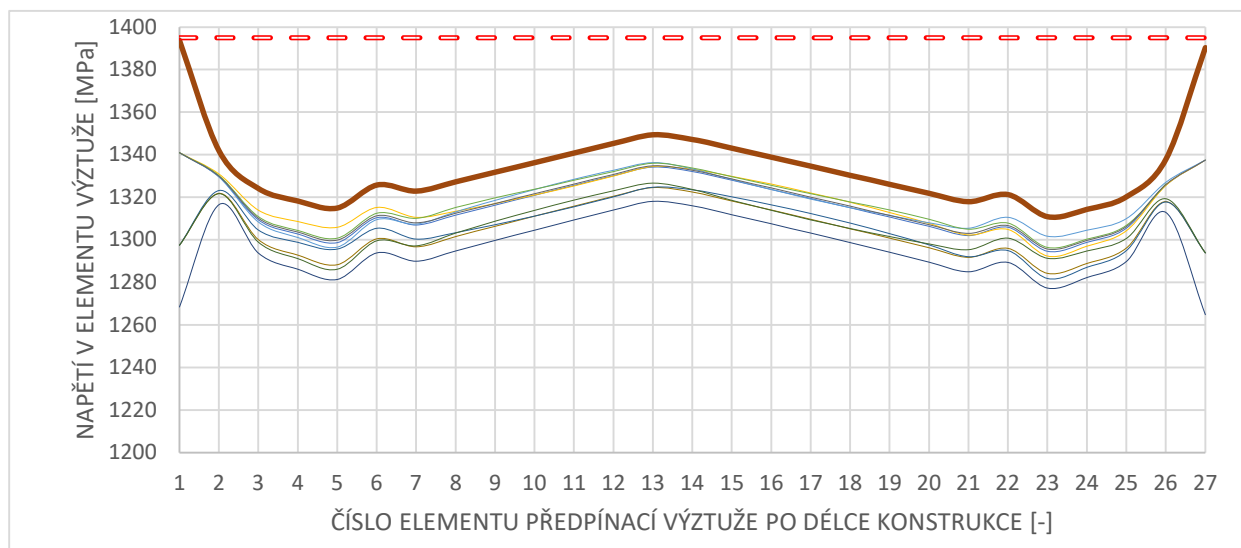


Obrázek 28 – průběh napětí v předpínacích lanech po dílčích ztrátách



Obrázek 29 – procentuální velikost ztrát po délce kabelů od dílčích vlivů

Korektně navržené předpětí konstrukce bylo dále ověřeno na mezní stav použitelnosti v charakteristických kombinacích (předpoklad maximálního nárůstu napětí ve výztuži při maximální zatížení generující velké deformace). Toto ověření je provedeno pouze pro fázi ukončení výstavby, kde předpětí dosahuje nejvyšších hodnot a nejsou zavedeny reologické účinky na betonové prvky.



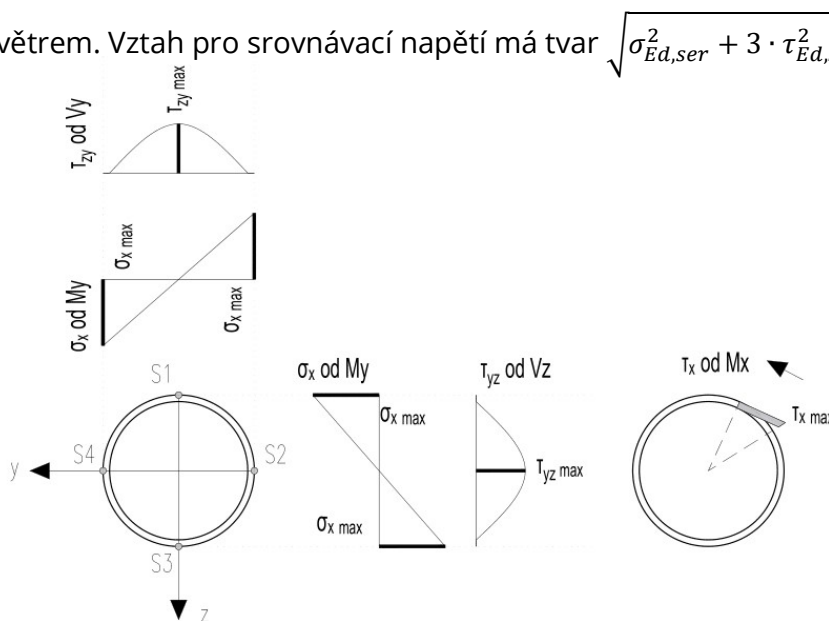
Obrázek 30 – napětí na elementech lan použitých v modelu od jednotlivých char. kombinací ve fázi ukončení výstavby

Maximální napětí je zjištěno na prvním elementu od zvýrazněné kombinace v grafu LC6 obsahující vlastní tíhu konstrukce a zatížení zápornou teplotou. Zjištěná velikost napětí je 1393.826 MPa a je menší než limitní hodnota 1395 MPa.

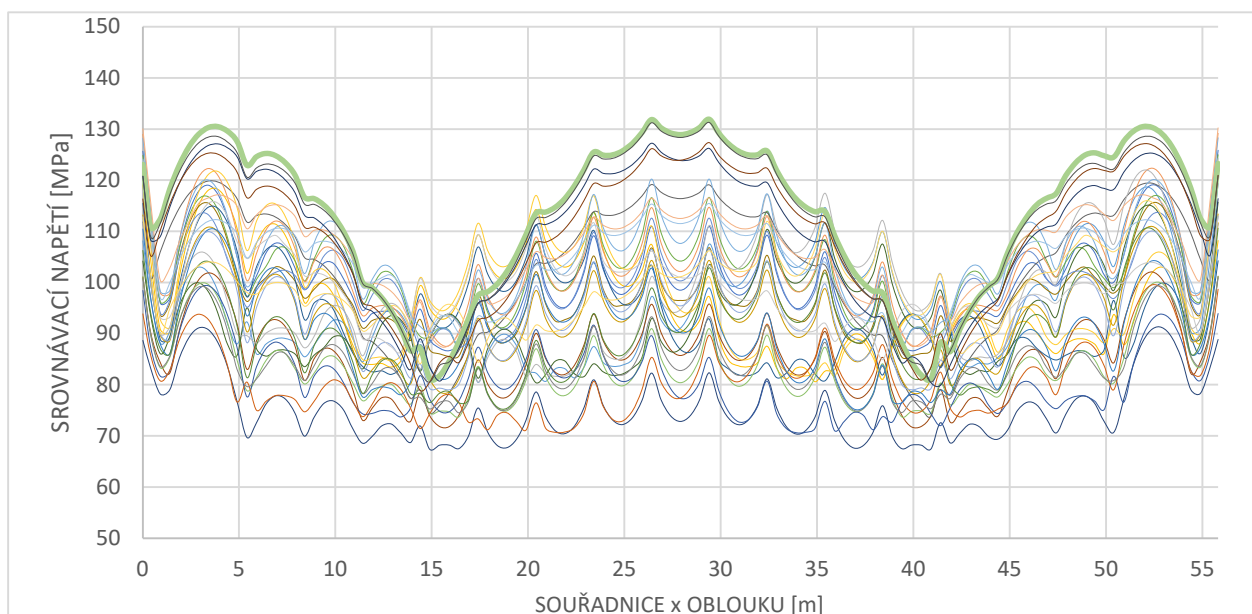
## 7.2 OCELOVÝ OBLOUK

### 7.2.1 MEZNÍ STAV POUŽITELNOSTI

Posouzení mezního stavu použitelnosti se skládá z omezení napětí a omezení přetvoření. Oba tyto mezní stavy jsou posouzeny pro všechny charakteristické zatěžovací kombinace. Posuzovaná velikost napětí je získána z průběhů vnitřních sil a ze známých průřezových charakteristik. Napjatosti jsou získány využitím vztahů z teorie pružnosti. Následující obrázky zobrazují hledání extrému napětí a dokládají graf srovnávacího napětí se zvýrazněnou rozhodující kombinací LC28 složenou z užitného zatížení na celé délce a dominantním větrem. Vztah pro srovnávací napětí má tvar  $\sqrt{\sigma_{Ed,ser}^2 + 3 \cdot \tau_{Ed,ser}^2} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M,ser}}$ .

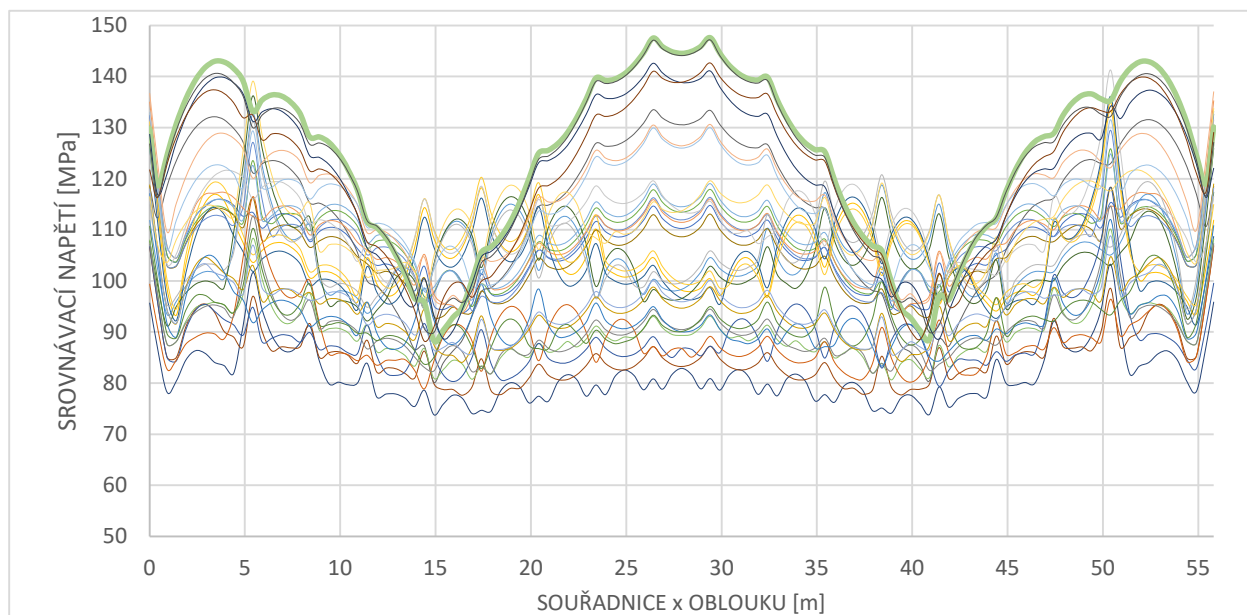


Obrázek 31 – schéma průběhu napětí na ocelové trubce



Obrázek 32 – srovnávací napětí po délce obluku MSP – čas  $t_0$

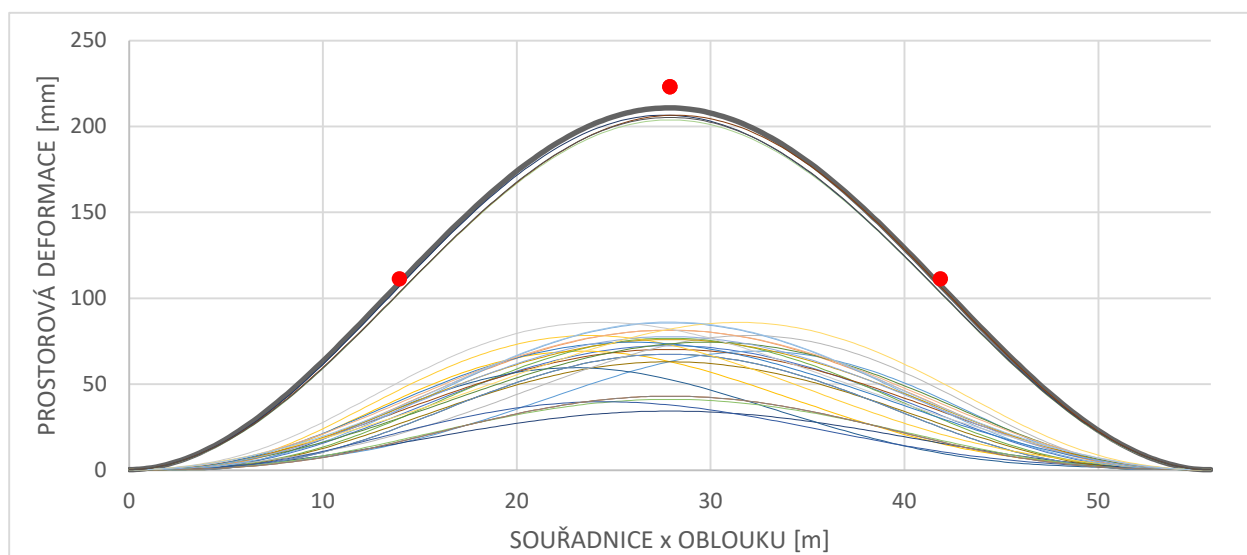
Dosažené maximum ve fázi ukončení výstavby  $\sigma = 131.324$  MPa



Obrázek 33 – srovnávací napětí po délce oblouku MSP – čas  $t_{\infty}$

**Dosažené maximum ve fázi konce životnosti  $\sigma = 147.184$  MPa**

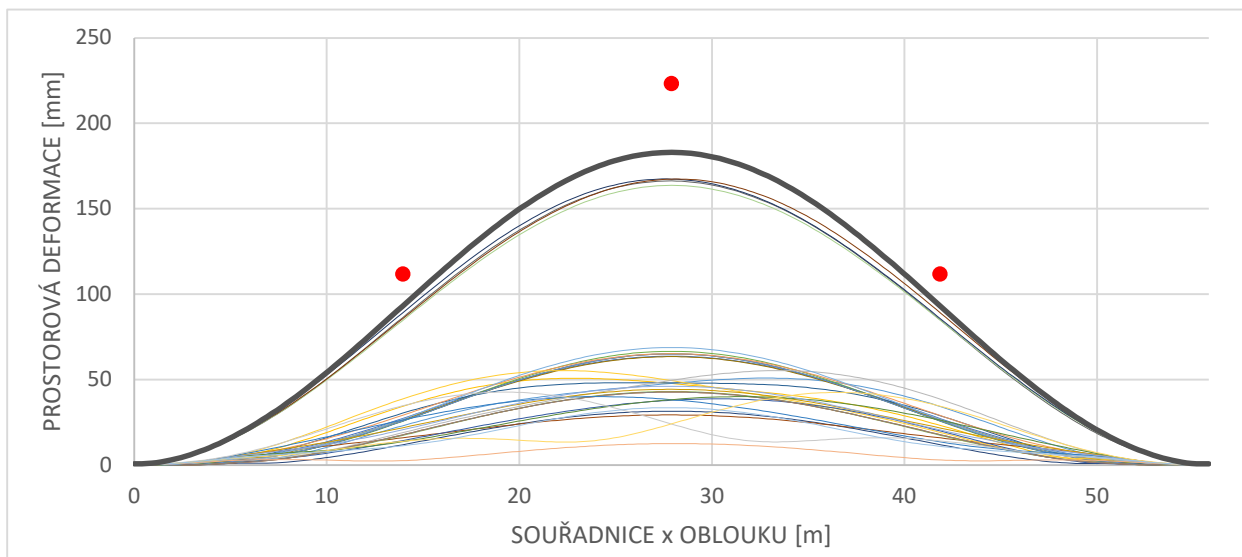
Průhyby jsou posuzovány ve formě vektorového součtu svislé a vodorovné deformace. Ve fázi ukončení výstavby rozhoduje kombinace LC7 obsahující pouze zatížení větrem a vlastní tíhu konstrukce. Ve fázi konce životnosti rozhoduje kombinace LC31 se zatížením uprostřed rozpětí na polovině délky a dominujícím zatížením větrem. Limitní deformace v  $\frac{1}{2}$  oblouku je  $\frac{1}{250} L = 223.2$  a v  $\frac{1}{4}$  oblouku je  $\frac{1}{500} L = 111.6$  mm. Průběhy deformací jsou na následujících grafech.



Obrázek 34 – celkové deformace oblouku – charakteristické kombinace v čase  $t_0$

**Dosažené maximum ve fázi ukončení výstavby v  $\frac{1}{2} L$   $\delta = 210.88$  mm**  
 **$\frac{1}{4} L$   $\delta = 108.73$  mm**



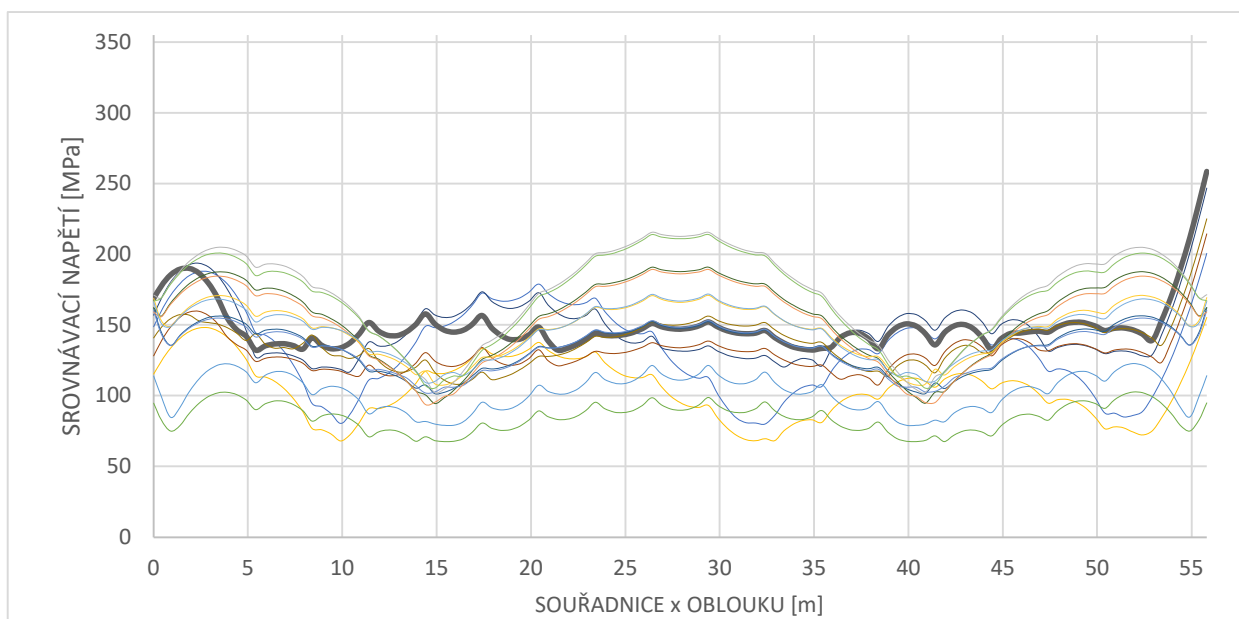


Obrázek 35 – celkové deformace oblouku – charakteristické kombinace v čase  $t^{\infty}$

Dosažené maximum ve fázi ukončení výstavby  $\frac{1}{2} L$   $\delta = 182.97$  mm  
 $\frac{1}{4} L$   $\delta = 92.74$  mm

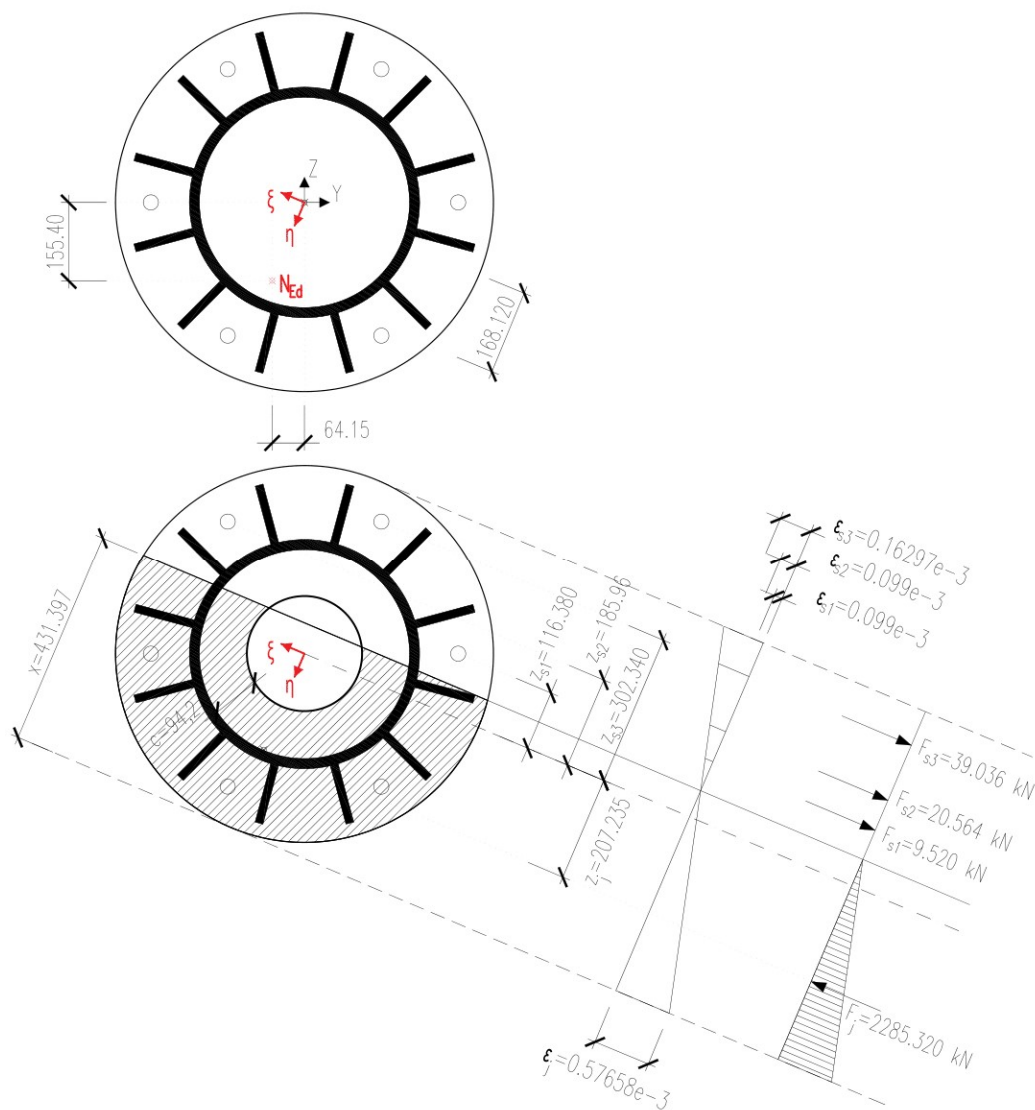
## 7.2.2 MEZNÍ STAV ÚNOSNOSTI

Posouzení je provedeno na oblouku, který již ve fázi montáže obsahuje výrobní imperfekce pro vybočení v rovině a z roviny. Oblouk je posouzen ve všech fázích. Pro fázi ukončení výstavby a konce životnosti jsou rozhodující kombinace LC26, LC28 a LC31. První tvoří hlavní užité zatížení na polovině mostovky a vedlejší vítr. Tato kombinace využívá imperfekci vybočení v rovině. Následující dvě jsou ověřovány pro imperfekci vybočení z roviny. Hlavní zatížení tvoří vítr doplněný o podružné užité na celé délce a uprostřed. Kritická zvýrazněná kombinace LC26 ve variantě 6.10a a dosahuje napětí  $\sigma = 258.556$  MPa.



Obrázek 36 – srovnávací napětí po délce oblouku MSÚ

Hodnoty napětí, resp. vnitřní síly získané předcházející analýzou je nutno v patách oblouku přenést do bloku opěry. Je navrženo kotvení oblouku pomocí rovnováhy sil zohledňující efektivní plochu plechu aktivního v tlaku za předpokladu lineárního rozložení napětí v betonu. Ostatní předpoklady a podrobnosti návrhu jsou více specifikované v příloze P4.3 Statický výpočet. Graficky zpracovaná rovnováha vypadá následovně.



Obrázek 37 - mezní rovnováha kotvení oblouku - fáze montáže

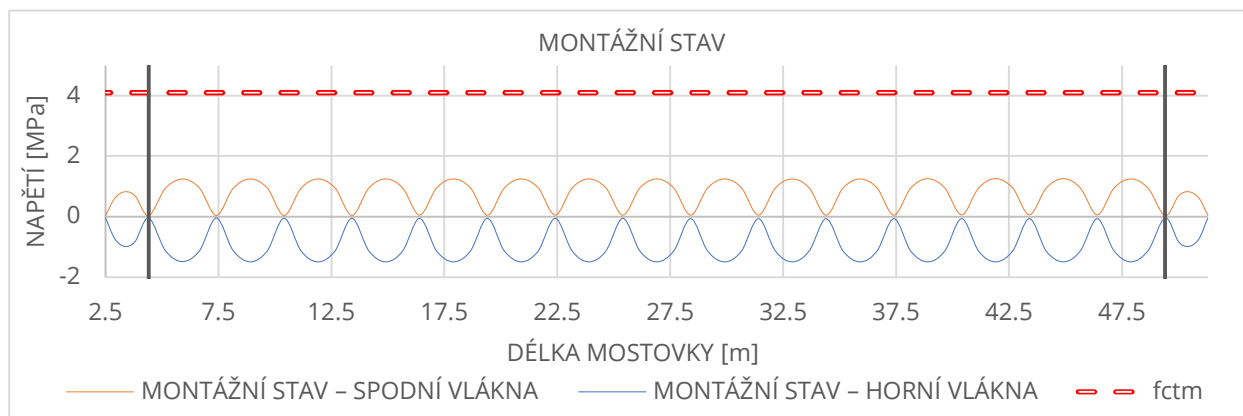
Posouzení bylo provedeno pro rozhodující kombinace ve fázi montáže 6.10a, fázi ukončení výstavby a fázi na konci životnosti LC26 ve variantě 6.10a. Součástí je posouzení šroubů na přetržení a kombinace vytažení s vytržením kužele betonu.

## 7.3 MOSTOVKA PODÉLNÝ SMĚR

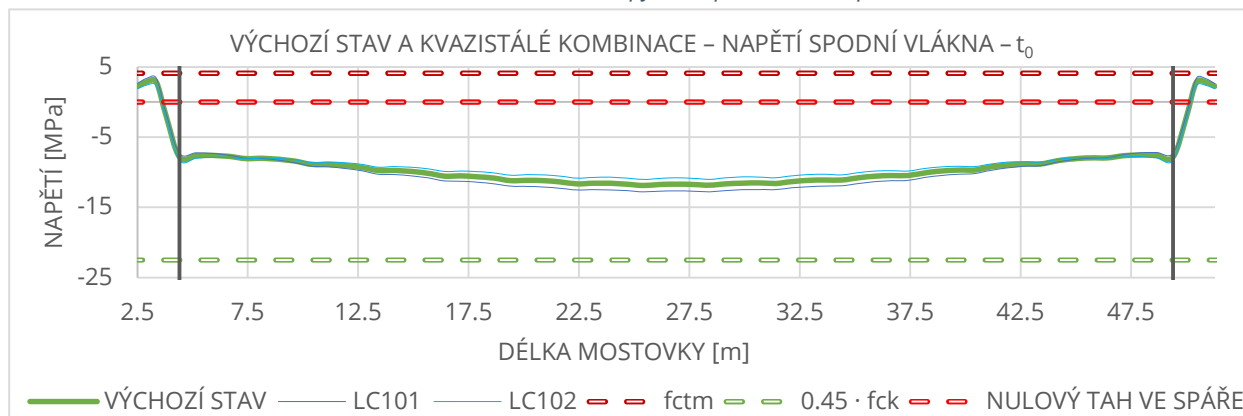
Mostovka je posouzena na mezní stavy použitelnosti omezení napětí z hlediska podélných tlakových trhlin, linearity dotvarování a vzniku trhlin. Odečtená kritéria z normy stanovují dodržení nulového tahu ve spáře mezi segmenty pro charakteristickou kombinaci zatížení a pro ostatní šířku trhlin maximálně 0.2 mm. Mezní stavy únosnosti betonových průřezů jsou ověřeny pro kombinaci namáhání  $N_x+M_y$  a na namáhání  $V_z$ .

### 7.3.1 MEZNÍ STAV POUŽITELNOSTI

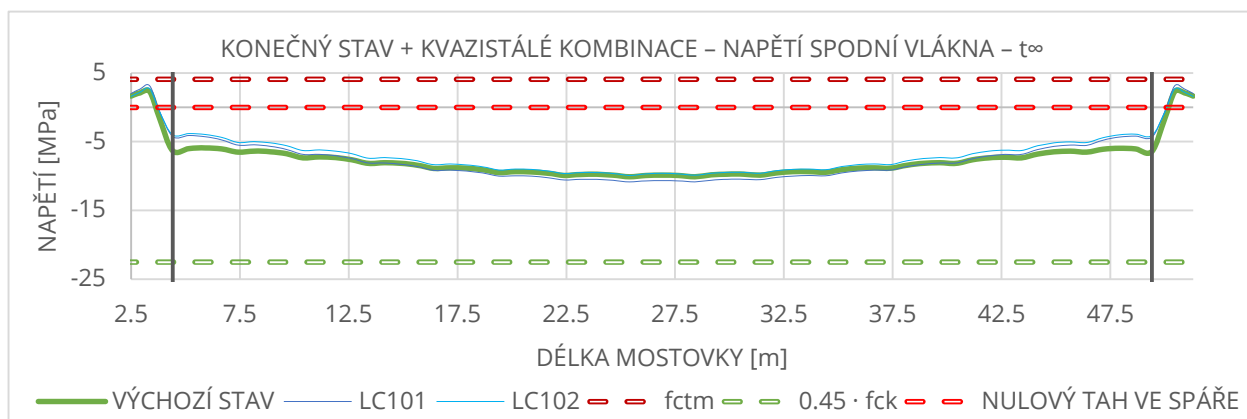
Kontrola napjatostí je provedena ve všech fázích mostovky. Velký počet kombinací a fází výpočtu nabízí velký počet grafů napětí po délce mostovky. Za reprezentativní byly zvoleny grafy zobrazující napětí v montážním stavu na segmentech a napětí při spodním povrchu ve výchozím stavu a kvazistálých kombinacích pro časy  $t_0$  i  $t_\infty$  se zvýrazněním tohoto výchozího stavu. Dále pak jsou uvedeny grafy charakteristických kombinací se zvýrazněním zmíněných rozhodujících LC10 a LC13. Napjatosti v montážním stavu byly s ohledem na modelování celého průřezu stanoveny ručně a ostatní již byly odečteny ze softwaru. Grafy ve větším množství i měřítku lze nalézt v příloze P4.3 Statický výpočet. Grafy ilustrující napětí na spřažené mostovce udávají všechny podmínky mezních stavů použitelnosti s výjimkou podélných trhlin  $0.6 f_{ck}$ . Mez je vynechána pro lepší zobrazení výsledků.



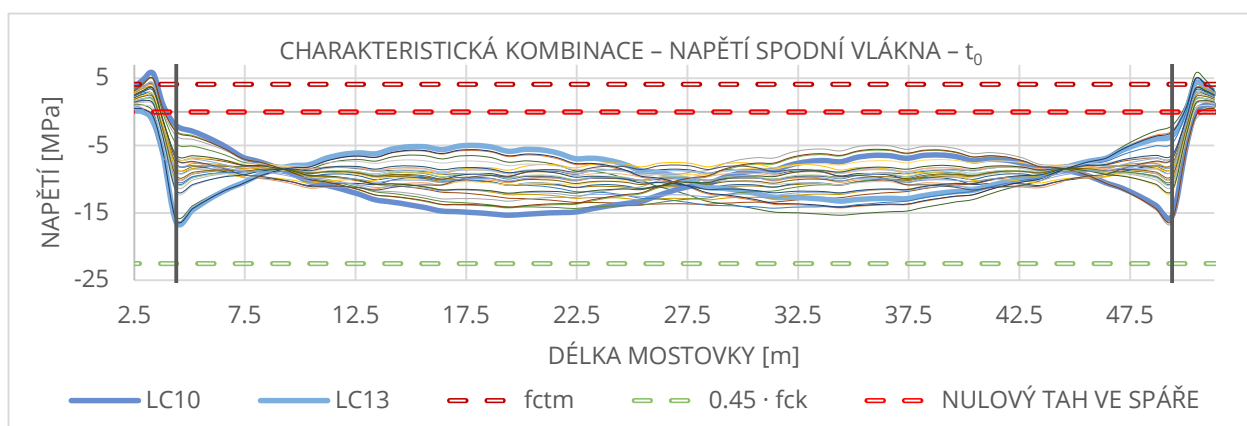
Obrázek 38 - montážní stav - napjatosti při horním i spodním líci



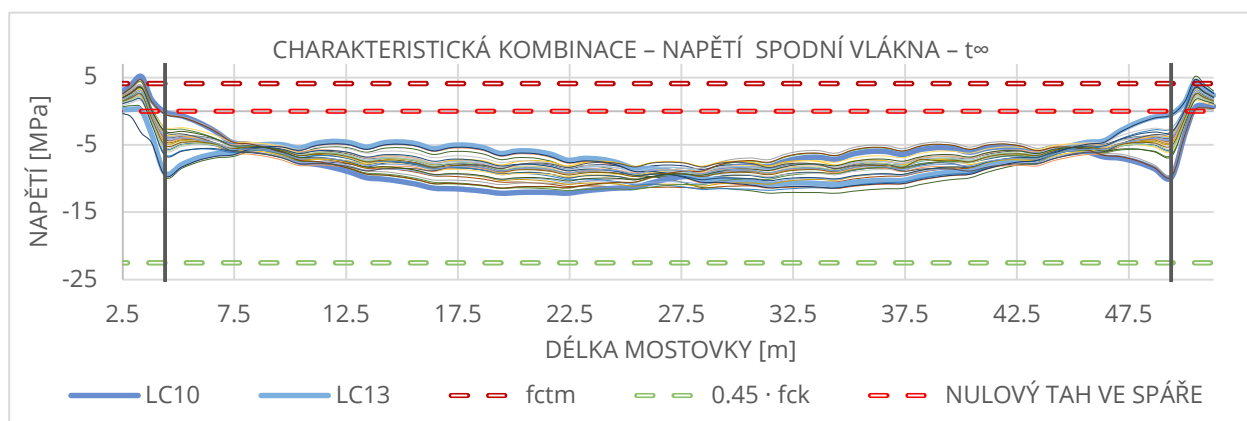
Obrázek 39 - výchozí stav a kvazistálé kombinace - napětí spodní vlákna - čas  $t_0$



Obrázek 40 – výchozí stav a kvazistálé kombinace – napětí spodní vlákna – čas  $t_{\infty}$



Obrázek 41 – charakteristická kombinace – napětí spodní vlákna – čas  $t_0$

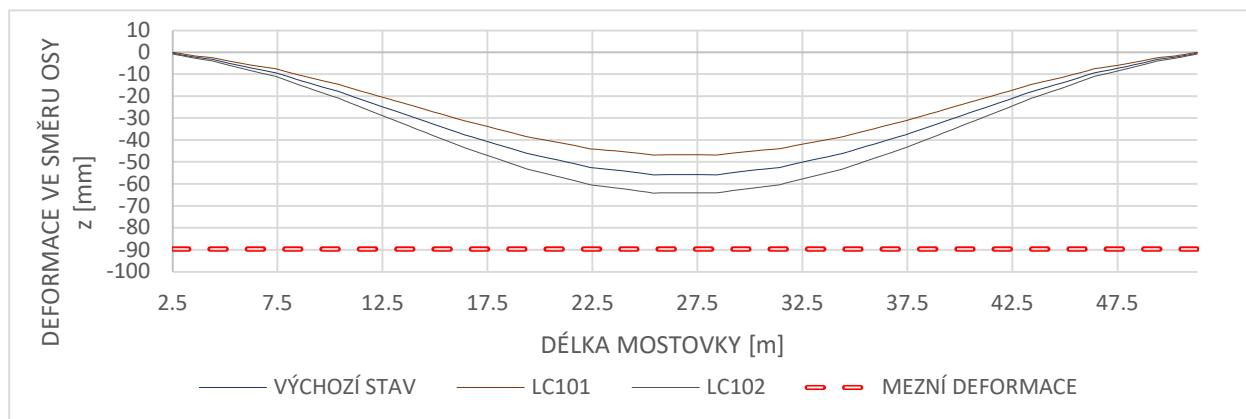


Obrázek 42 – charakteristická kombinace – napětí ve spodních vláknech – čas  $t_{\infty}$

Výsledkem posouzení mezních stavů ověřující napětí jsou vyhovující posudky. Nejnižší tlakové napětí zjištěné na levém rozhraní náběh/segment je  $-0.163$  MPa v kombinaci LC10 a na pravém rozhraní v kombinaci LC13  $-0.443$  MPa. Tyto výsledky jsou vztaženy k méně příznivému času  $t_{\infty}$ . Z grafů je patrné, že na levé straně v náběhu je překročena mez vzniku trhlin  $f_{ctm}$  a této problematice se více věnuje statický výpočet.

Omezení deformace bylo posouzeno pro fázi montáže, pro výchozí stav a kvazistálé kombinace. Limitní deformace pro montážní segment je  $1/500$  rozpětí v obou směrech s výslednou deformací stanovenou jako součet pod odmocninou  $\delta_{lim} = 11.19$  mm. Zjištěná

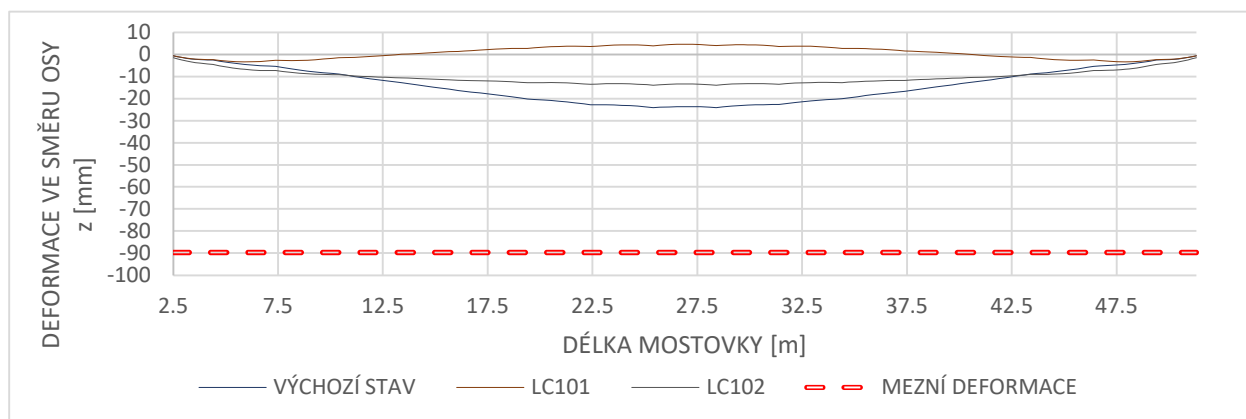
hodnota na deskostěnovém modelu je 8.1 mm. Maximální deformace kompaktní mostovky je 1/600 rozpětí pro předpjaté konstrukce s výslednou hodnotou 89.7 mm. Z následujících grafů deformace mostovky je patrný vliv reologických účinků působících na beton v čase. Uváděné kombinace LC101 a LC102 obsahují vlastní tíhu konstrukce a vliv rovnoměrné změny teploty. LC101 je tvořena kladnou složkou teploty a LC102 zápornou složkou teploty.



Obrázek 43 – deformace mostovky – výchozí stav a kvazistálé kombinace v čase  $t_0$  – celková deformace

**Dosažené maximum v kombinaci LC102  $\delta = 63.98$  mm**

**Dosažená hodnota ve výchozím stavu  $\delta = 55.8$  mm**



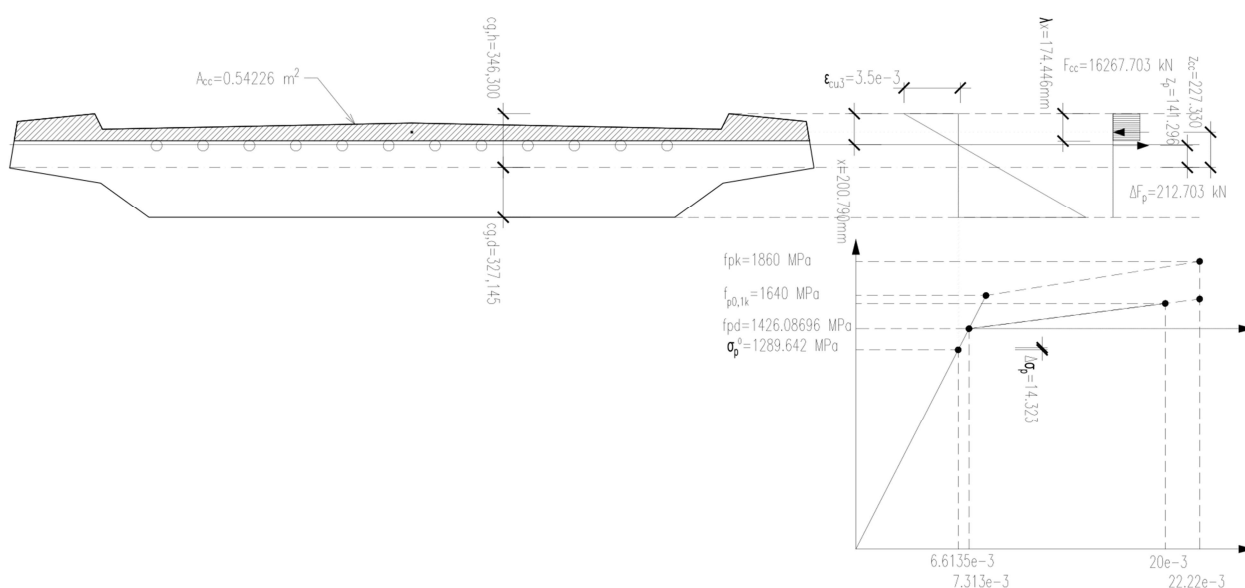
Obrázek 44 – deformace mostovky – výchozí stav a kvazistálé kombinace v čase  $t_\infty$  – celková deformace

**Dosažené maximum ve výchozím stavu  $\delta = 24$  mm**

Z porovnání výsledků je patrný vliv dotvarování a smršťování ve formě zdvihu mostovky od stažení oblouku o 31.8 mm. Aby bylo dosaženo požadovaného tvaru mostovky, je navrženo již zmíněné výrobní nadvýšení oblouku o 30 mm tak, aby na konci životnosti konstrukce niveleta dotvarovala do své ideální polohy. V případě, že by mostovka byla vyrovnána do přesné polohy již v čase  $t_0$ , znamenalo by to možné nepříznivé sklony na konci životnosti konstrukce pro osoby s omezením pohybu. Součástí statického výpočtu je také analýza celkových deformací od charakteristických kombinací. Z těchto deformací je dále separován a zobrazen vliv pouze proměnných účinků.

### 7.3.2 MEZNÍ STAV ÚNOSNOSTI

Posouzení mostovky bylo provedeno ve fázi montáže na prefabrikovaném segmentu pomocí softwaru IDEA Statica 21.0. Průřezy v navazujících fázích byly posouzeny ručním způsobem. Posudky jsou provedeny pro namáhání kombinací normálovou silou a ohybovým momentem metodou mezní rovnováhy na předpjatém průřezu. Nejméně příznivé účinky ve shodě s mezním stavem použitelnosti byly zjištěny v kombinacích LC10 a LC13 ve variantě 6.10b. Posouzen byl průřez mostovky tvořené segmenty s deskou i náběhy. Následující obrázek ilustruje grafickou podobu posudku pro jednu kombinaci.



Obrázek 45 – diagram MSÚ kombinace LCU10b – dolní povrch – náběh – čas  $t_0$

Všechny účinky vyhověly posudkům mezního stavu únosnosti při uvažování pouze předpínací výztuže. Procentuální využití průřezů namáhaných na kombinaci  $N_x + M_y$  vnitřních sil je pro mostovku tvořenou segmenty 37 % a pro náběhy 69 %.

Posouzení smykových namáhání bylo provedeno pro shodné kombinace zatížení vyvolávající nejvyšší smykové účinky. Mostovka tvořená segmenty vyhověla na únosnost bez nutnosti potřeby návrhu smykové výztuže s maximálním využitím 31 % ve fázi montáže. Průřez náběhu vyžadoval návrh smykové výztuže viz P4.3 Statický výpočet.

Součástí posouzení mezního stavu únosnosti je posouzení spřažení desky s prefabrikovaným segmentem, které podmiňuje zvolený model plného průřezu ve výpočtovém modelu.

## 7.4 MOSTOVKA PŘÍČNÝ SMĚR

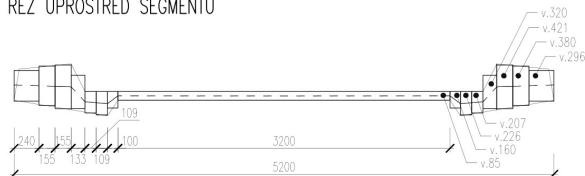
Analýza příčného směru byla provedena na dvou deskostěnových modelech. Montážní segment reprezentuje osamělý model zavěšený na závěsech. Chování provozního segmentu, který je součástí spojitě mostovky, je idealizováno pomocí 5 ks segmentů vytvářející kompaktní mostovku.



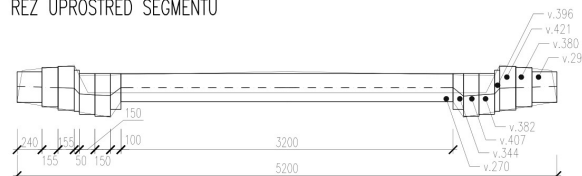
Obrázek 46 – axonometrie montážního a provozního segmentu

Tyto modely souhrnně sloužily posouzení deformace v montážním stádiu a stanovení mezní únosnosti v obou stádiích na příčný ohyb a příčný smyk. Svislá celková deformace montážního segmentu již byla posuzována v mezním stavu použitelnosti posouzení průhybů v montážním stádium. Deskostěnové modely idealizují skutečné dílčí průřezy náhradními dle níže uvedeného schématu.

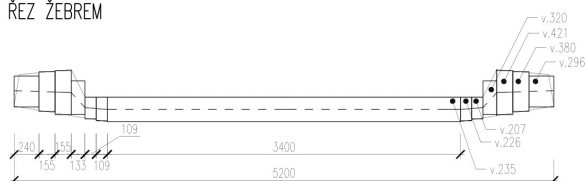
ŘEZ UPROSTŘED SEGMENTU



ŘEZ UPROSTŘED SEGMENTU



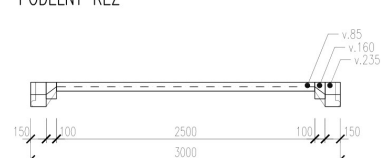
ŘEZ ŽEBREM



ŘEZ ŽEBREM



PODÉLNÝ ŘEZ



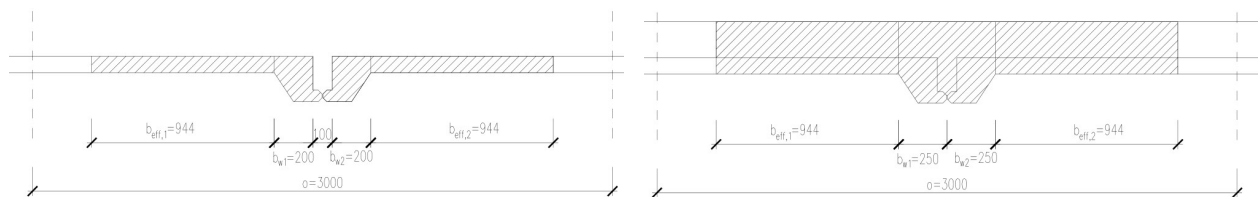
PODÉLNÝ ŘEZ



Obrázek 47 – schéma dělení skutečné geometrie segmentů na náhradní

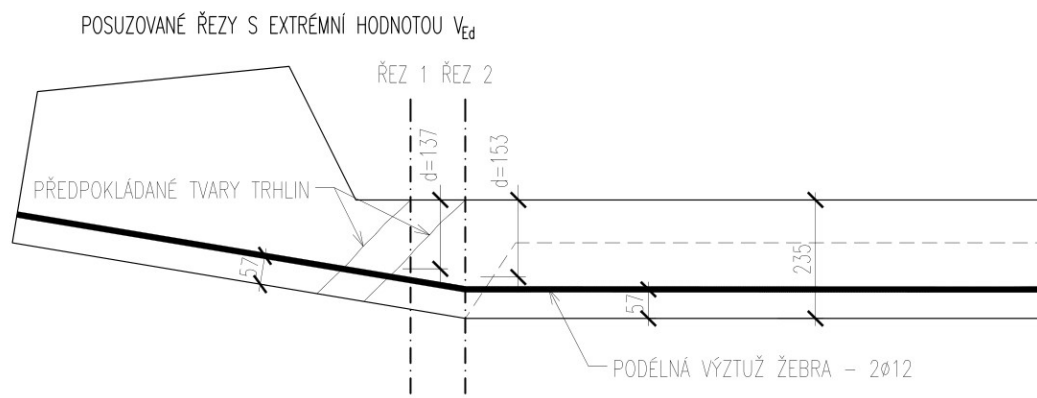
Montážní segment vzdoruje vlastní tíze, čerstvému betonu spřažené desky a staveništnímu zatížení. Provozní segment je navržen na účinky vlastní tíhy, ostatního stálého zatížení tvořeného zábradlím a tíhou izolace mostovky, radiálními účinky předpětí a zatížení větrem.

Návrhové hodnoty pro posouzení ohybového momentu a posouvající síly jsou stanoveny dvěma způsoby. Pro návrh desky segmentu je využit integrační pás o šířce 1 m. Návrh příčného žebra je proveden pro náhradní průřez se spolupůsobící šířkou desky. Dále je zaveden předpoklad symetrického průřezu tvořeného dvěma sousedními segmenty.



Obrázek 48 – posuzované průřezy žebér se spolupůsobící šířkou

Pro návrh žebra jsou využity řezy na ploše v podélném směru segmentu zobrazující koncentraci těchto momentů v příčném směru. Funkce integrační pás lze v programu SCIA Engineer 19.1 použít pouze pro vodorovné desky a využitý deskostěnový model s rozdílnými souřadnicemi z rohových uzlů tuto možnost nemá. Pro vyčíslení návrhových momentů a posouvajících sil byl integrační pás proveden ručním způsobem z odečtených hodnot na řezu na ploše. Hodnoty ohybových momentů byly odečteny uprostřed rozpětí v příčném směru a posouvající sil při přechodu příčného žebra do podélného, kde bylo dosaženo extrémů i vzhledem výšce průřezu. Následující obrázek ilustruje polohu řezu posuzovaného na smyk ve fázi montáže.



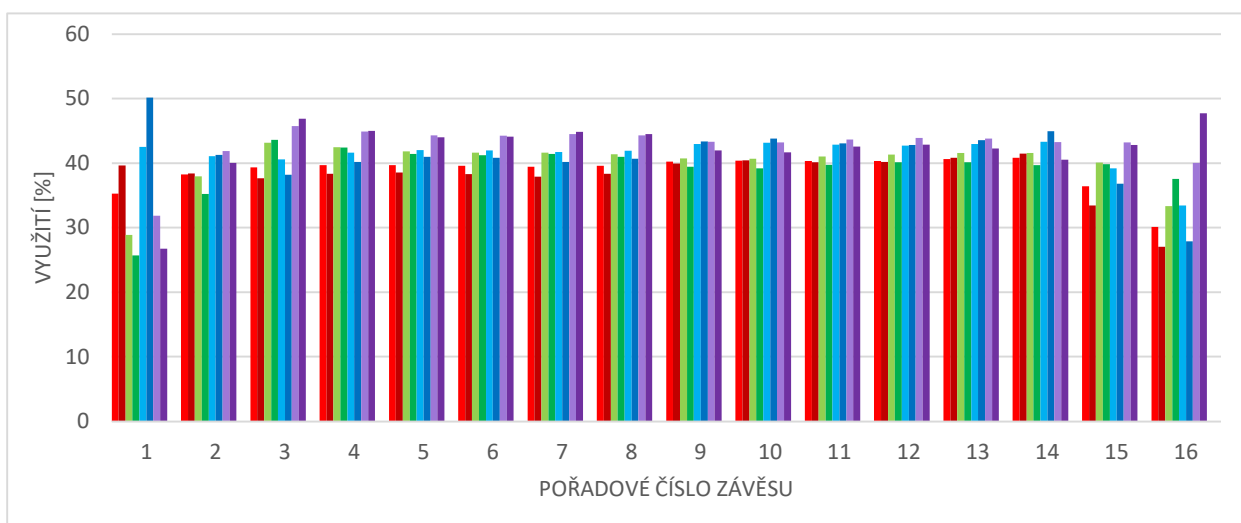
Obrázek 49 – segment ve fázi montáže – smyk

Podrobné posouzení průřezů je součástí přílohy P4.3 Statický výpočet a nalezené účinky jsou graficky prezentovány v příloze P4.2 Výstupy z výpočtových modelů.



## 7.5 ZÁVĚSY

Posouzení závěsů je provedeno pro rozhodující kombinace mezního stavu únosnosti ve shodě s mostovkou. Rozhodující je tmavě modře označená LC10 ve varianta 6.10b obsahující dominantní zatížení na polovině mostovky s kladnými účinky teploty. Zatížení je extrémní při prvním závěsu, který byl z těchto důvodů zesílen na M36 a jeho využití je 50 %. Zrcadlová situace je na opačné straně. Ostatní závěsy M30 mají využití kolem 44 %. Pevnost závěsů byla zvolena 520 MPa z podkladů výrobce Macalloy.



Obrázek 50 – využití závěsů v mezním stavu únosnosti po délce pro rozhodující kombinace

Součástí statického výpočtu je návrh počtu spřahujících trnů styčnickového plechu zabetonovaného do prefabrikovaného segmentu k přenosu sil do ocelového táhla. Posuzována byla únosnost ve stříhu a v otláčení. Všechny styčnickové plechy byly navrženy na sílu odpovídající tahové únosnosti táhla M36.

## 7.6 PILOTY

Posouzení pilot provedeno na vnější i vnitřní únosnost. O vnější únosnosti rozhodují tahové účinky v hlavě a tlakové v patách. Vnitřní únosnost je ověřena interakčními diagramy zúžené hlavy pilot a pro část vzdálenou 3.5 m od hlavy, kde ohybové momenty dosahují extrémních hodnot opačné orientace, ale již jsou v zesíleném průřezu. Pro posouzení pilot ve fázi montáže a fázi ukončení výstavby byla vlastní tíha konstrukce uvažována nepříznivě (zvyšovala tlaky na piloty). Ve fázi konce životnosti působí vlastní tíha příznivě (záměrně jsou zvýšeny tahy v zadní řadě a tlaky v přední řadě vlivem snížení stabilizující obloukové síly).

## 7.6.1 VNĚJŠÍ ÚNOSNOST

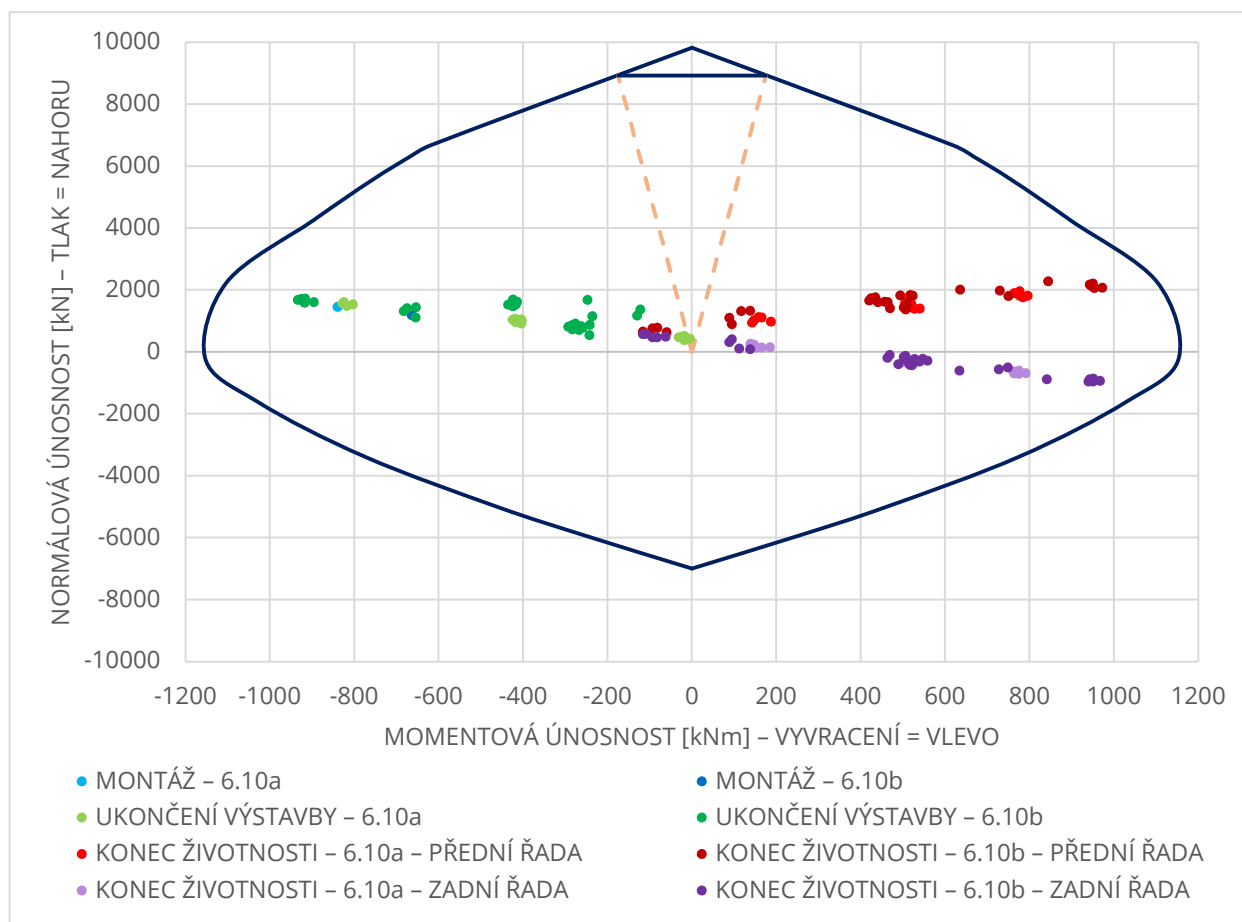
Maximální tlakové zatížení pilot bylo zjištěno ve fázi konce životnosti v přední řadě, kde dochází k výše popsanému jevu. Extrémní zjištěná normálová síla dosahuje 2464.132 kN.

Únosnost v tlaku byla stanovena jako menší z únosnosti dle 1. mezního stavu a 2. mezního stavu. Hledaná únosnost je 4712.4 kN.

Maximální tahové zatížení je identicky ve fázi konce životnosti a tahy dosahují hodnoty 965.8 kN. Únosnost je určena ve shodě s přechozím a její hledaná hodnota je 2399.786 kN.

## 7.6.2 VNITŘNÍ ÚNOSNOST

Pro názornou ilustraci namáhání pilot při přechodu z fáze ukončení výstavby do fáze konce životnosti a posouzení průřezu je zde uveden interakční diagram. Modré tečky vlevo označují montážní fázi zadní řady pilot v tlaku. Zelené kombinace znázorněny opět pro zadní více tlačenu řadu po ukončení výstavby. Ve fázi konce životnosti jsou zaznamenány červené kombinace přední řady v tlaku a fialové zadní řady v tahu. Únosnost ve smyku je dosažena v horní části spirálami  $\Phi 20$  se stoupáním 70 mm. Ve spodní části spirálami  $\Phi 20$  se stoupáním na přechodů průřezů zhuštěně po 150 mm a poté 250 mm. Posouzení piloty plného průřezu a podrobné posouzení smyku viz P4.3 Statický výpočet.



Obrázek 51 – interakční diagram MSÚ zúžené části piloty

## 8 DYNAMICKÝ VÝPOČET

Mezní stavy použitelnosti statického výpočtu jsou doplněny o posouzení maximálního zrychlení (kmitání) zvolenými dynamickými modely zatížení. Ustálená odezva je stanovena pouze pro betonovou mostovku na modely zatížení chodci DLM1 a DLM2 ve svislém i vodorovném směru z fib bulletin 32 – Guidelines for the desing of footbridges. Bylo stanoveno prvních 20 vlastních tvarů a odpovídajících frekvencí a z nich vyříděny vlastní tvary obsahující kmitání mostovky. Rozsah frekvencí těchto 20 tvarů je 0.841–10.627 Hz. Svislé buzení bylo provedeno pro 4 podélné vlastní tvary o frekvencích 1.817–5.795 Hz a vodorovném buzení pouze pro jediný příčný vlastní tvar o frekvenci 2.899 Hz.

### Model DLM1

Svislá budící funkce  $Q_{pv} = 280 \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot f_v \cdot t)$  [N]

Vodorovná budící funkce  $Q_{ph} = 70 \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot f_h \cdot t)$  [N]

### Model DLM2

Svislá budící funkce  $Q_{pv} = 180 \cdot k_v(f_v) \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot f_v \cdot t)$  [N]

Vodorovná budící funkce  $Q_{ph} = 70 \cdot k_h(f_h) \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot f_h \cdot t)$  [N]

- Stanovení součinitelů  $k_v$  a  $k_h$  je součástí přílohy P4.4 Dynamický výpočet
- Ve shodném uzlu s budící silou je přídavná hmota 800 kg

### LIMITNÍ HODNOTY ZRYCHLENÍ

$$a_{\max,v} = \min \{0.5 \cdot (f_{1,\text{vertical}})^{0.5}; 0.7\} = 0.674 \text{ m/s}^2 \quad f_{1,\text{vertical}} = 1.817 \text{ Hz}$$

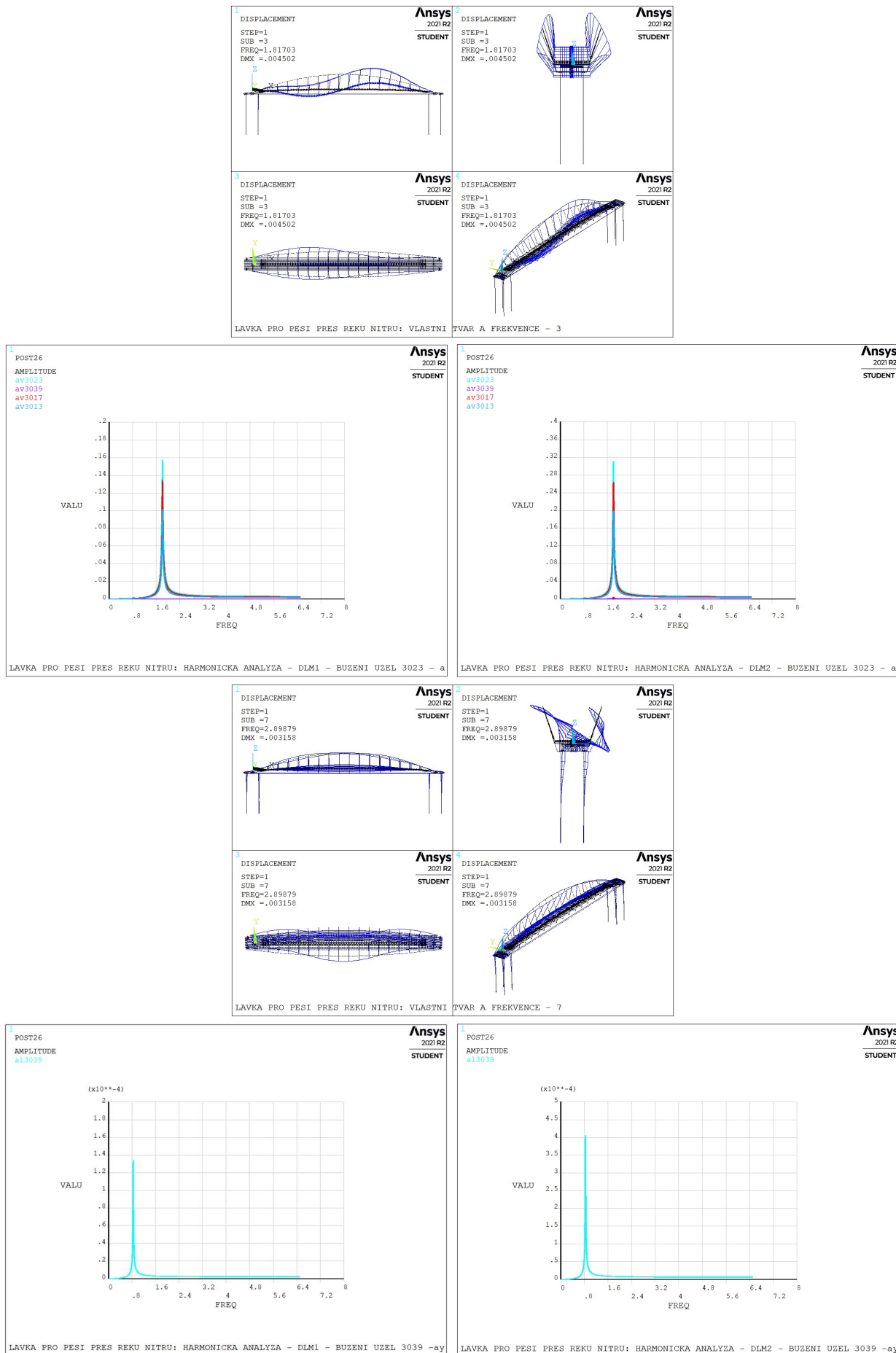
$$a_{\max,h} = \min \{0.14 \cdot (f_{1,\text{horizontal}})^{0.5}; 0.2\} = 0.2 \text{ m/s}^2 \quad f_{1,\text{horizontal}} = 2.899 \text{ Hz}$$

Z dynamického modelu DLM1 byl pro svislé buzení rozhodující první vlastní tvar, z něhož byla získána maximální hodnota zrychlení  $a = 0.158 \text{ m/s}^2$ . Vodorovným buzením ve směru příčném bylo získáno maximální zrychlení  $0.0001 \text{ m/s}^2$ . Obě hodnoty vyhovují a je zaručena **vyšoká pohoda chodců**.

Buzením modelem DLM2 docházelo ke vzniku špiček odezvy ve shodných frekvencích jako u DLM1. Maximální hodnota buzení ve svislém směru  $a = 0.311 \text{ m/s}^2$ . Získaná hodnota z vodorovného buzení  $a = 0.0004 \text{ m/s}^2$ . Obě hodnoty taktěž vyhovují a je zaručena vysoká pohoda chodců.

Současně s buzením ve svislém a vodorovném směru je kontrolován násobek první podélné vlastní frekvence vůči první torzní frekvenci mostovky zabraňující složenému kmitání. Platí podmínka  $f_{1,\text{torsion}} > 2.5 \cdot f_{1,\text{vertical}}$ . Číselně  $5.314 > 2.5 \cdot 1.817 = 4.543$  a vyhovuje.

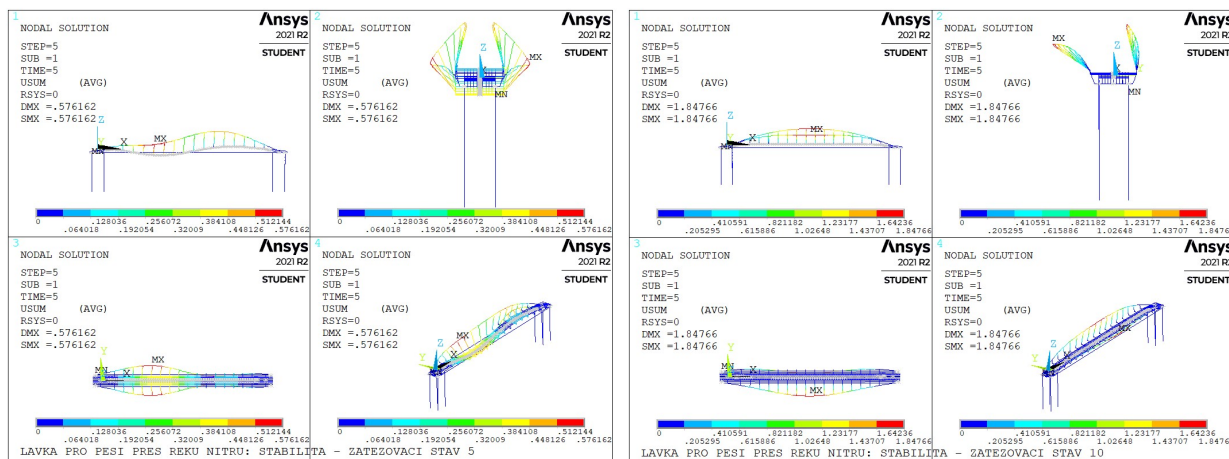
Následující obrázky dokládají rozhodující vlastní tvary ve svislém a vodorovném směru včetně odpovídajícího grafu zrychlení od buzení zmíněnými dynamickými modely.



Obrázek 52 – rozhodující buzení ve svislém a vodorovném směru

## 9 STABILITNÍ VÝPOČET

Posouzení konstrukce bylo doplněno o stabilitní výpočet provedený pro zatěžovací stav s chodci na jedné polovině mostu a stav se zatížením větrem. Oba tyto stavy jsou doplněny imperfekcemi použitými v posouzení mezního stavu únosnosti. Pro zatížení chodci na levé polovině je použita imperfekce vybočení z roviny, která má shodný tvar jako vyvolaná deformace od tohoto zatížení. Zatížení větrem je doplněno o imperfekci bočení z roviny podporující identicky deformaci od těchto účinků. Ve stabilitní výpočtu je využita geometricky nelineární analýza, která svojí divergencí upozorní na nestabilní tvar. Nalezený násobitel zatížení chodci na jedné polovině  $\lambda = 10.5$  a násobitel zatížení větrem  $\lambda = 8.1$ . Oba násobitele dosahují uspokojivých hodnot.



Obrázek 53 – deformace v posledních stabilních stavech ve stabilitním výpočtu

## 10 VIZUALIZACE NAVRŽENÉHO ŘEŠENÍ

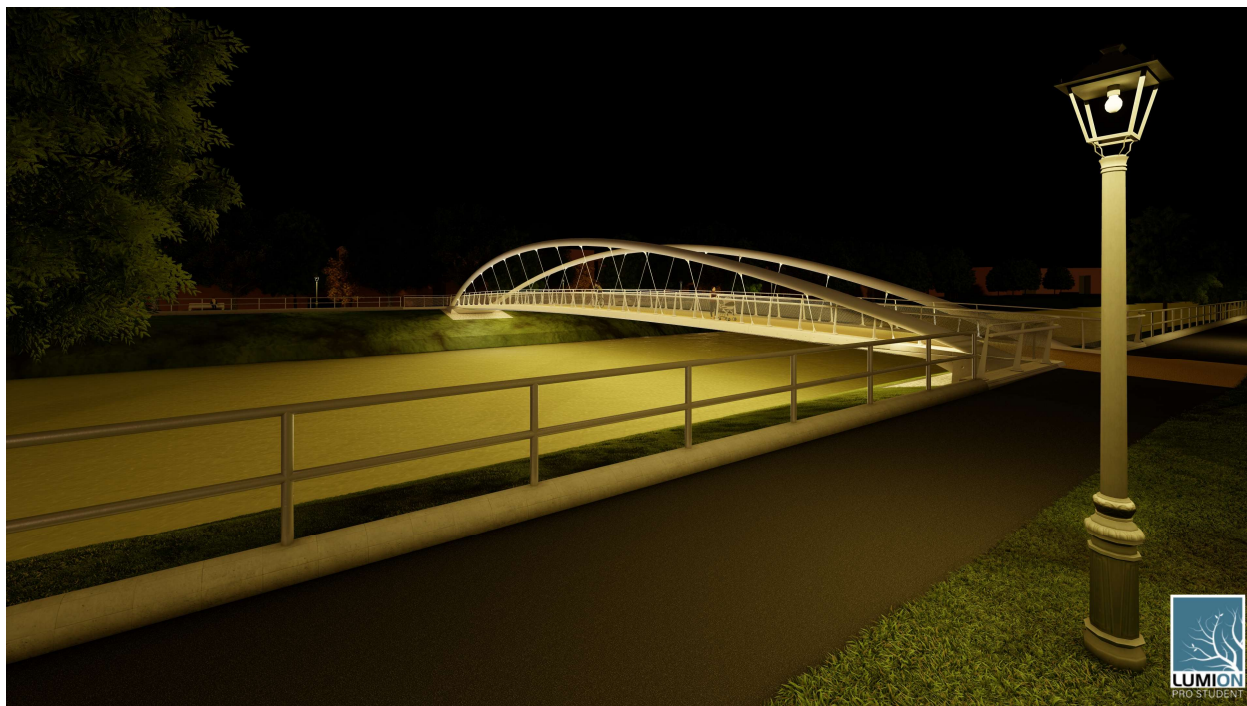
V této části jsou uvedeny reprezentativní pohledy na navrženou mostní konstrukci ve dne a noci. Ostatní pohledy jsou součástí přílohy P3.2 Vizualizace.



*Obrázek 54 – denní pohled na mostní konstrukci ze strany*



*Obrázek 55 – denní pohled při pohybu po nosné konstrukci*



*Obrázek 56 – noční pohled z cyklostezky na mostní konstrukci*



*Obrázek 57 – noční pohled na spodní líc mostovky*

## 11 ZÁVĚR

Z požadavků na mostní konstrukci byly vytvořeny tři varianty přemostění. Zhodnocením těchto variant byla vybrána esteticky zajímavá oblouková konstrukce, která převyšovala ostatní varianty zejména v nárocích na spodní stavbu a svojí přirozeností do plochých území, zejména přes řeky. Další preferencí této varianty byla prefabrikovaná mostovka usnadňující realizaci. Podařilo se stanovit výhody a nevýhody dílčích částí této konstrukce a dojít k jejich omezení konstrukčními úpravami vedoucí ke spolehlivému návrhu. V práci byl popsán postup sestavení globální výpočtového modelu i modelu mostovky v příčném směru. Postup analýzy těchto modelů a rozhodující faktory vstupující do posouzení byly specifikovány. Konstrukce byla technicky popsána se zohledněním dílčích fází výstavby. Dále byly uvedeny stěžejní části statického výpočtu a jeho rozšíření dynamickým a stabilitním výpočtem. Na konci textové části byly uvedeny reprezentativní vizualizace mostní konstrukce ve dne a v noci, poskytující představu o mostní konstrukci a jejím okolí. Závěrem byly vypracovány všechny požadované dílčí přílohy práce.

V souhrnném hodnocení autor pokládá práci za prospěšnou pro budoucí praxi navrhování konstrukcí zejména rozšířením znalostí v oblasti modelování konstrukcí, nalezení vhodného postupu výstavby a aplikace reologických účinků. Mezi možná rozšíření této práce lze zařadit analýzu bloku opěry napříč fázemi výstavby, která přenáší účinky z mostovky a ocelových oblouků do pilotového založení. Za způsob analýzy těchto opěr lze zvolit vnitřní soustavou vzpěr a táhel (metoda příhradové analogie). Alternativou by mohlo být zpřesnění prutového modelu o prostorové prvky nahrazující oblasti opěr nebo nahrazení prutové soustavy jako celku. Poslední zmíněná možnost je dle autora výhodná i pro posouzení příčného směru z důvodu interakce mezi podélným i příčným směrem.



## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 – směrné místní poměry.....	12
Obrázek 2 – varianta spojitého mostu.....	13
Obrázek 3 – varianta visutého mostu.....	14
Obrázek 4 – varianta obloukového mostu.....	15
Obrázek 5 – srovnání podélný řezů se zvýraznění vybraného.....	16
Obrázek 6 – silové a deformační působení na obloukovou konstrukci.....	17
Obrázek 7 – posun osy oblouku za osu opěry.....	18
Obrázek 8 – změna průřezu pilot.....	18
Obrázek 9 – působící účinky v montážním stavu včetně deformací.....	19
Obrázek 10 – působící účinky ve fázi ukončení výstavby oproti fázi montáže včetně deformací.....	19
Obrázek 11 – působící účinky ve fázi konce životnosti oproti fázi ukončení výstavby včetně deformací.....	20
Obrázek 12 – uvažovaný prutový model lávky v program ANSYS.....	20
Obrázek 13 – rošt mostovky z elementů.....	21
Obrázek 14 – rošt opěry z elementů.....	21
Obrázek 15 – statické schéma prostého nosníku pro určení tvaru oblouku.....	22
Obrázek 16 – graf porovnání vzepětí z momentů a rovnice paraboly.....	22
Obrázek 17 – graf rozdílů souřadnice y mezi průběhem osy oblouku z momentů a předpisem.....	23
Obrázek 18 – zatěžovací šířka jednoho závěsu s rozkladem sil.....	23
Obrázek 19 – schéma aplikovaných zemních pružin v obou směrech respektující dělení pilot dle skladby zemního vrtnu.....	24
Obrázek 20 – proměnné zatížení tvořící kombinaci LC13.....	24
Obrázek 21 – proměnné zatížení tvořící kombinaci LC10.....	25
Obrázek 22 – deformace konstrukce ve výchozím stavu.....	25
Obrázek 23 – použité průřezy prvků.....	26
Obrázek 24 – vybrané pohledy na výpočtový model.....	27
Obrázek 25 – výčet zatěžovacích stavů užitného zatížení.....	36
Obrázek 26 – výčet zatěžovacích stavů zatížení teplotou.....	36
Obrázek 27 – zatěžovací stav zatížení větrem.....	37
Obrázek 28 – průběh napětí v předpínacích lanech po dílčích ztrátách.....	37
Obrázek 29 – procentuální velikost ztrát po délce kabelů od dílčích vlivů.....	38
Obrázek 30 – napětí na elementech lan použitých v modelu od jednotlivých char. kombinací ve fázi ukončení výstavby.....	38
Obrázek 31 – schéma průběhu napětí na ocelové trubce.....	39
Obrázek 32 – srovnávací napětí po délce oblouku MSP – čas $t_0$ .....	39
Obrázek 33 – srovnávací napětí po délce oblouku MSP – čas $t^\infty$ .....	40
Obrázek 34 – celkové deformace oblouku – charakteristické kombinace v čase $t_0$ .....	40
Obrázek 35 – celkové deformace oblouku – charakteristické kombinace v čase $t^\infty$ .....	41
Obrázek 36 – srovnávací napětí po délce oblouku MSÚ.....	41
Obrázek 37 – mezní rovnováha kotvení oblouku – fáze montáže.....	42
Obrázek 38 – montážní stav – napjatosti při horním i spodním líci.....	43
Obrázek 39 – výchozí stav a kvazistálé kombinace – napětí spodní vlákna – čas $t_0$ .....	43
Obrázek 40 – – výchozí stav a kvazistálé kombinace – napětí spodní vlákna – čas $t^\infty$ .....	44
Obrázek 41 – charakteristická kombinace – napětí spodní vlákna – čas $t_0$ .....	44
Obrázek 42 – charakteristická kombinace – napětí ve spodních vláknech – čas $t^\infty$ .....	44
Obrázek 43 – deformace mostovky – výchozí stav a kvazistálé kombinace v čase $t_0$ – celková deformace.....	45
Obrázek 44 – deformace mostovky – výchozí stav a kvazistálé kombinace v čase $t^\infty$ – celková deformace.....	45
Obrázek 45 – diagram MSÚ kombinace LCU10b – dolní povrch – náběh – čas $t_0$ .....	46
Obrázek 46 – axonometrie montážního a provozního segmentu.....	47
Obrázek 47 – schéma dělení skutečné geometrie segmentů na náhradní.....	47
Obrázek 48 – posuzované průřezy žeber se spolupůsobící šířkou.....	48
Obrázek 49 – segment ve fázi montáže – smyk.....	48
Obrázek 50 – využití závěsů v mezním stavu únosnosti po délce pro rozhodující kombinace.....	49
Obrázek 51 – interakční diagram MSÚ zúžené části piloty.....	50
Obrázek 52 – rozhodující buzení ve svislém a vodorovném směru.....	52
Obrázek 53 – deformace v posledních stabilních stavech ve stabilitním výpočtu.....	53
Obrázek 54 – denní pohled na mostní konstrukci ze strany.....	54

Obrázek 55 – denní pohled při pohybu po nosné konstrukci.....	54
Obrázek 56 – noční pohled z cyklostezky na mostní konstrukci .....	55
Obrázek 57 – noční pohled na spodní líc mostovky.....	55

## SEZNAM POUŽITÉHO SOFTWARE

Microsoft Excel 2016 – studentská verze  
Microsoft Word 2016 – studentská verze  
ANSYS Mechanical APDL 2021 R2 – studentská verze  
Scia Enginner 19.1 – studentská verze  
AutoCad 2020 – studentská verze  
Rhinoceros 7 – trvalá licence  
Lumion 12.0.2 – studentská verze

## SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

### TECHNICKÉ NORMY

- [1] ČSN EN 1990 ed. 2: Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2021.
- [2] ČSN EN 1991-1-1: Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-1: Obecná zatížení - Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb. Praha: ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT, 2004.
- [3] ČSN EN 1991-1-4 ed. 2: Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-4: Obecná zatížení - Zatížení větrem. Praha: Vydala Česká agentura pro standardizaci na základě ustanovení § 5 odst. 2 zákona č. 22/1997 Sb., 2020.
- [4] ČSN EN 1991-1-5: Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-5: Obecná zatížení - Zatížení teplotou. Praha: ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT, 2005.
- [5] ČSN EN 1992-1-1: Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí - Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby. Praha: ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT, 2006.
- [6] ČSN EN 1991-2 ed. 2: Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 2: Zatížení mostů dopravou. Vydala Česká agentura pro standardizaci na základě ustanovení § 5 odst. 2 zákona č. 22/1997 Sb., 2018.
- [7] ČSN EN 1992-2: Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí - Část 2: Betonové mosty - Navrhování a konstrukční zásady. Praha: ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT, 2007.
- [8] ČSN EN 1993-1-1 ed. 2: Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí - Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2021.
- [9] ČSN EN 1993-2: Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí - Část 2: Ocelové mosty. Praha: ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT, 2008.
- [10] ČSN 73 6200: Mosty - Terminologie a třídění. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2007.

- [11] ČSN 73 6201: *Projektování mostních objektů*. Praha: ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT, 2008.
- [12] ČSN 73 6214: *Navrhování betonových mostních konstrukcí*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2014.
- [13] STN EN 1991-1-4/NA: *Eurokód 1. Zataženia konštrukcií. Časť 1-4: Všeobecné zataženia. Zataženie vetrom. Národná príloha*. Bratislava: Slovenský ústav technickej normalizácie, 2007.
- [14] STN EN 1991-1-5/NA: *Eurokód 1. Zataženia konštrukcií. Časť 1-5: Všeobecné zataženia. Zataženia účinkami teploty. Národná príloha*. Bratislava: Slovenský ústav technickej normalizácie, 2008.

## LITERATURA

- [15] Prof. Ing. Jindřich Melcher, DrSc. a Ing. Milan Pilgr. *Kovové konstrukce I: Sloupy a větrové ztužidlo: Modul BO04-MO4*.
- [16] *Guidelines for the design of footbridges: guide to good practice*. Lausanne: Federation Internationale du béton (FIB), 2005. Bulletin / Fédération internationale du béton. ISBN isbn28-839-4072-x.
- [17] Prof. Ing. Jiří Stráský, DSc. *Speciální betonové konstrukce (K): Konstrukční systémy a analýza lana: Modul M01*. Brno, 2012.
- [18] Prof. Ing. Jiří Stráský, DSc. *Speciální betonové konstrukce (K): Konstrukce tvořené: Modul M02*. Brno, 2012.
- [19] Prof. Ing. Jiří Stráský, DSc. *Speciální betonové konstrukce (K): Konstrukce podporované kabely: Modul M03*. Brno, 2012.
- [20] ZICH, Miloš. *Příklady posouzení betonových prvků dle eurokódů*. Praha: Dashöfer, 2010. ISBN 978-80-86897-38-7.
- [21] STRÁSKÝ, Jiří. *Betonové mosty*. Praha: ŠEL, 2001. Technická knižnice autorizovaného inženýra a technika. ISBN isbn80-86426-05-x.

## INTERNETOVÉ ZDROJE

- [22] *Předpínací systém Freyssinet* [online]. [cit. 2021-12-19]. Dostupné z: [http://www.freyssinet.cz/gallery/predpinaci\\_system\\_freyssinet.pdf](http://www.freyssinet.cz/gallery/predpinaci_system_freyssinet.pdf)
- [23] *Vzorové listy: VL4 - MOSTY* [online]. 2021 [cit. 2021-12-19]. Dostupné z: [http://www.pjpk.cz/data/USR\\_001\\_2\\_10\\_VL/VL4\\_2021\\_final.pdf](http://www.pjpk.cz/data/USR_001_2_10_VL/VL4_2021_final.pdf)
- [24] *Přednášky CL01* [online]. [cit. 2021-12-19]. Dostupné z: <https://www.fce.vutbr.cz/bzk/lanikova.i/cl01/cl01.htm>
- [25] *Systémy konstrukčních táhel* [online]. [cit. 2021-12-19]. Dostupné z: [http://www.tension.cz/media/files/pdf-k-pripojeni\\_12/9449-Macalloy-Tension-Structures-v4\\_133.pdf](http://www.tension.cz/media/files/pdf-k-pripojeni_12/9449-Macalloy-Tension-Structures-v4_133.pdf)

- [26] *Spřahující trny KÖCO* [online]. [cit. 2021-12-19]. Dostupné z: [https://koeco.net/fileadmin/daten/downloads/200610\\_KOECO\\_SD\\_Datenblatt\\_DE.pdf](https://koeco.net/fileadmin/daten/downloads/200610_KOECO_SD_Datenblatt_DE.pdf)
- [27] *Chemická kotva Den Braven bez styrenu* [online]. [cit. 2021-12-19]. Dostupné z: <https://www.stavebniny-janik.cz/files/uploads/Produkty/DenBraven/tl-07-51-rev9-chemicka-kotva-vinylester-sf-rl.pdf>
- [28] *Komplexní chování silně zatížených konstrukcí v interakci s podložím* [online]. [cit. 2021-12-28]. Dostupné z: [https://concrete.fsv.cvut.cz/projekty/pdf/2016/pomucky\\_O02K\\_zalozeni\\_silne\\_zatizenych\\_konstrukci.pdf](https://concrete.fsv.cvut.cz/projekty/pdf/2016/pomucky_O02K_zalozeni_silne_zatizenych_konstrukci.pdf)
- [29] *Únosnost osamělých pilot stanovená výpočtem na základě 1. skupiny mezních stavů (vrtané velkopřůměrové piloty vetknuté do zemin)* [online]. [cit. 2021-12-28]. Dostupné z: <https://geotech.fce.vutbr.cz/wp-content/uploads/sites/17/2018/09/unosnostP1MS.pdf>
- [30] *Výpočet únosnosti svislých osamělých pilot podle 2. skupiny mezních stavů (velkopřůměrové vrtané piloty zahlobené do stlačitelného podloží)* [online]. [cit. 2021-12-28]. Dostupné z: <https://geotech.fce.vutbr.cz/wp-content/uploads/sites/17/2018/09/unosnostP2MS.pdf>
- [31] *Řešení svislé únosnosti pilot* [online]. [cit. 2021-12-28]. Dostupné z: [https://ceg.fsv.cvut.cz/CEG\\_site/vyuka/podklady-pro-studenty/135mza/pr-14-komentar-k-csn-731002](https://ceg.fsv.cvut.cz/CEG_site/vyuka/podklady-pro-studenty/135mza/pr-14-komentar-k-csn-731002)

## OBRÁZKY

- Obrázek 1–11 vlastní tvorba pomocí AutoCAD 2020 studentská verze
- Obrázek 12 vlastní tvorba pomocí ANSYS Mechanical APDL 2021 R2 studentská verze
- Obrázek 13–15 vlastní tvorba pomocí AutoCAD 2020 studentská verze
- Obrázek 16–17 vlastní tvorba pomocí Excel studentská verze
- Obrázek 18–19 vlastní tvorba pomocí AutoCAD 2020 studentská verze
- Obrázek 20–22 vlastní tvorba pomocí ANSYS Mechanical APDL 2021 R2 studentská verze
- Obrázek 23 vlastní tvorba pomocí Excel studentská verze
- Obrázek 24–27 vlastní tvorba pomocí ANSYS Mechanical APDL 2021 R2 studentská verze
- Obrázek 28–30 vlastní tvorba pomocí Excel studentská verze
- Obrázek 31 vlastní tvorba pomocí AutoCAD 2020 studentská verze
- Obrázek 32–36 vlastní tvorba pomocí Excel studentská verze
- Obrázek 37 vlastní tvorba pomocí AutoCAD 2020 studentská verze
- Obrázek 38–44 vlastní tvorba pomocí Excel studentská verze
- Obrázek 45 vlastní tvorba pomocí AutoCAD 2020 studentská verze
- Obrázek 46 vlastní tvorba pomocí SCIA Engineer 19.1 studentská verze
- Obrázek 47–49 vlastní tvorba pomocí AutoCAD 2020 studentská verze
- Obrázek 50–51 vlastní tvorba pomocí Excel studentská verze
- Obrázek 52–53 vlastní tvorba pomocí ANSYS Mechanical APDL 2021 R2 studentská verze
- Obrázek 54–57 vlastní tvorba pomocí Lumion 12.0.2 studentská verze

## SEZNAM PŘÍLOH

### P1 PODKLADY

- P1.1 SMĚRNÉ MÍSTNÍ POMĚRY, M1:200
- P1.2 INŽENÝRSKO – GEOLOGICKÝ PRŮZKUM
- P1.3 VARIANTA SPOJITÉHO MOSTU, M1:100;50
- P1.4 VARIANTA VISUTÉHO MOSTU, M1:100;50
- P1.5 VARIANTA OBLOUKOVÉHO MOSTU, M1:100;50
- P1.6 SROVNÁNÍ VARIANT, M1:100

### P2 VÝKRESY

- P2.1 ZÁKLADNÍ VÝKRESY, M1:75,50
- P2.2 PŘÍČNÝ ŘEZ UPROSTŘED ROZPĚTÍ S POHLEDEM NA OPĚRU, M1:50
- P2.3 PODKLAD PRO VTD OCELOVÉHO OBLOUKU A ZÁVĚSŮ, M1:100,10
- P2.4 MONTÁŽNÍ VÝKRES OCELOVÉHO OBLOUKU, M1:100;50
- P2.5 TVAR SEGMENTU, M1:250;25;10
- P2.6 BETONÁŘSKÁ VÝZTUŽ SEGMENTU, M1:25
- P2.7 TVAR OPĚRY, M1:25
- P2.8 TVAR NÁBĚHU A SPŘAŽENÉ DESKY, M1:25;15
- P2.9 VÝZTUŽ NÁBĚHU A SPŘAŽENÉ DESKY – DÍL 1, M1:25
- P2.10 VÝZTUŽ NÁBĚHU A SPŘAŽENÉ DESKY – DÍL 2, M1:25
- P2.11 VÝKRES PŘEDPÍNACÍ VÝZTUŽE, M1:75;50;25
- P2.12 TVAR A VÝZTUŽ PILOT, M1:25

### P3 STAVEBNÍ POSTUP A VIZUALIZACE

- P3.1 POSTUP VÝSTAVBY, M1:200
- P3.2 VIZUALIZACE ZVOLENÉHO ŘEŠENÍ

### P4 STATICKÝ VÝPOČET

- P4.1 VÝPOČTOVÉ MODELÝ
- P4.2 VÝSTUPY Z VÝPOČTOVÝCH MODELŮ
- P4.3 STATICKÝ VÝPOČET
- P4.4 DYNAMICKÝ VÝPOČET
- P4.5 STABILITNÍ VÝPOČET