



# 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

## ALTERNATIVA K LÁVCE PŘES SVITAVU V BÍLOVICÍCH NAD SVITAVOU

ALTERNATIVE TO PEDESTRIAN BRIDGE OVER THE SVITAVA RIVER IN BÍLOVICE NAD SVITAVOU

### BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Jiří Štastný

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jan Koláček, Ph.D.

BRNO 2025

# Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav betonových a zděných konstrukcí  
Student: **Jiří Šťastný**  
Vedoucí práce: **Ing. Jan Kolářek, Ph.D.**  
Akademický rok: 2024/25  
Studijní program: B0732A260005 Stavební inženýrství  
Studijní obor: Konstrukce a dopravní stavby

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

## **Alternativa k lávce přes Svitavu v Bílovicích nad Svitavou**

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

Návrh mostu a studií přemostění zpracujte na základě předaných podkladů (situace, podélný řez, příp. geotechnické poměry).

Textová část bude obsahovat popis studií přemostění včetně jejich zhodnocení, podrobný technický popis vybrané varianty a popis veškerých kroků a posudků ve statickém výpočtu, a závěr.

Výkresová dokumentace bude obsahovat dispoziční výkresy (půdorys, podélný řez, příčné řezy, atd.) a výkresy výztuže vybraných částí konstrukce.

Statický výpočet bude vypracován dle norem EN (mezní stavy) v rozsahu určeném vedoucím práce.

Ostatní úpravy lze provádět podle pokynů vedoucího bakalářské práce.

### **Cíle a výstupy bakalářské práce:**

Cílem práce je pro zadaný problém navrhnout dvě až tři studie řešení mostu o jednom poli a zhodnotit je. Pro vybranou variantu mostní konstrukce bude vypracován podrobný statický výpočet nosné konstrukce a bude vypracována odpovídající výkresová dokumentace včetně vizualizace celé konstrukce.

Bakalářskou práci je třeba vypracovat a rozčlenit podle následující struktury:

Textová část

Přílohy textové části:

P1 Podklady, studie a vizualizace

P2 Přehledné a podrobné výkresy zvoleného návrhu mostu

P3 Statický výpočet

Bakalářská práce bude odevzdána v listinné a elektronické formě.

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

Základní normy:

ČSN 73 6201 Projektování mostních objektů.

ČSN 73 6214 Navrhování betonových mostních konstrukcí.

ČSN EN 1990 včetně změny A1: Zásady navrhování konstrukcí.

ČSN EN 1991-2: Zatížení mostů dopravou.

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

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

Literatura doporučená vedoucím bakalářské práce.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku.

V Brně, dne 29. 11. 2024

L. S.

---

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

---

Ing. Jan Kolářek, Ph.D.  
vedoucí práce

---

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

## **ABSTRAKT**

Práce se zabývá alternativním řešením ocelové lávky pro pěší přes řeku Svitavu v Bílovicích nad Svitavou. V úvodu práce je vypracována studie, ve které porovnáváme vhodnost volby zakřivení horní hrany parapetní lávky. Zpracováváme 3 typy řešení zakřivení, a to zakřivení podle původního návrhu, tedy přesná křivka jako z podkladu. V druhé variantě se jedná o zakřivení kružnicí. Na závěr varianta s parabolickým zakřivením. Pro statický výpočet je zvolena varianta zakřivení pomocí paraboly.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

lávka pro pěší, proměnný průřez, železobeton, předpjatý beton, mezní stav únosnosti, mezní stav použitelnosti

## **ABSTRACT**

The thesis focuses on an alternative design of a steel pedestrian footbridge over the Svitava River in Bílovice nad Svitavou. In the introduction, a study is carried out comparing the suitability of different curvature options for the upper edge of the parapet bridge. Three types of curvature are analyzed: the original design curvature (based on the precise curve from the original documentation), a circular arc, and a parabolic curve. For the structural analysis, the parabolic curvature variant is selected.

## **KEYWORDS**

Footbridge, variable cross-section, reinforced concrete, pre-stressed concrete, ultimate limit state, serviceability limit state

## BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

ŠŤASTNÝ, Jiří. *Alternativa k lávce přes Svitavu v Bílovicích nad Svitavou*. Brno, 2025. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav betonových a zděných konstrukcí. Vedoucí Ing. Jan Kolářek, Ph.

## PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané bakalářské práce s názvem *Alternativa k lávce přes Svitavu v Bílovicích nad Svitavou* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 29. 5. 2025

---

Jiří Štastný

autor

## PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem *Alternativa k lávce přes Svitavu v Bílovicích nad Svitavou* zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 29. 5. 2025

---

Jiří Štastný

autor

## PODĚKOVÁNÍ

Chtěla bych poděkovat vedoucímu práce Ing. Janu Koláčkovi Ph.D. za cenné rady, ochotu a trpělivost při konzultacích, které mi věnoval při vedení mé bakalářské práce. Dále děkuji své rodině a přítelkyni, která mě podporuje po celou dobu studia.

## Obsah

1	ÚVOD .....	7
2	PODKLAD .....	7
3	VARIANTY .....	7
3.1	Varianta A .....	7
3.2	Varianta B .....	8
3.3	Varianta C .....	9
4	GEOMETRIE KONSTRUKCE.....	10
4.1	Tvar příčné geometrie .....	10
4.2	Tvar podélné geometrie.....	11
4.3	Rámová stojka.....	12
4.4	Založení .....	12
4.5	Tvar předpínání kabelů .....	12
5	ZÁKLADNÍ ÚDAJE O LÁVCE.....	13
5.1	Základní geometrie .....	13
5.2	Souhrnný popis .....	14
5.3	Výpočtový model.....	14
5.4	Materiálové charakteristiky.....	15
5.5	Návrh krytí .....	17
6	ZATÍŽENÍ.....	17
6.1	Zatížení stálé .....	17
6.1.1	ZS1 – Vlastní tíha .....	17
6.1.2	ZS2 – Ostatní stálé .....	18
6.2	Proměnné zatížení .....	18
6.2.1	ZS3 – gr1a chodci a cyklisti – rovnoměrné .....	18
6.2.2	ZS4 – gr4 dav lidí .....	19
6.3	Předpětí.....	20

6.3.1	Návrh předpětí .....	20
6.3.2	Návrh umístění předpínacích lan .....	20
6.3.3	ZS6 Zemní tlak.....	21
7	KOMBINACE.....	22
7.1	Kombinace pro MSP.....	22
7.2	Kombinace pro MSÚ .....	23
8	ZTRÁTY PŘEDPĚTÍ.....	23
9	MEZNÍ STAV POUŽITELNOSTI.....	25
10	MEZNÍ STAV POUŽITELNOSTI.....	26
10.1	Ohyb a normálová síla .....	26
10.2	Smyk .....	26
10.3	Podélný smyk.....	29
10.4	Rámová stojka.....	30
10.4.1	Ohybový moment + normálová síla .....	30
10.4.2	Posouzení na smyk .....	31
10.5	Orientační posouzení mikropilot.....	32
11	PŘÍČNÝ SMĚR .....	32
12	KOTEVNÍ OBLAST .....	33
13	ZÁVĚR.....	34
14	POUŽITÉ ZDROJE.....	35
15	SEZNAM PŘÍLOH .....	36
16	SEZNAM OBRÁZKŮ .....	37
17	SEZNAM TABULEK .....	37

## 1 ÚVOD

Cílem bakalářské práce je návrh a statické posouzení parapetní lávky o jednom poli z předpjatého betonu. Důvodem stavby je potřeba spojení dvou protilehlých břehů řeky Svitavy a napojení stávající cyklostezky na nově budovanou. Byly vypracovány tři varianty řešení, z nichž pro podrobné zpracování byla vybrána varianta C – parapetní lávka s levobřežním parabolickým náběhem. Výpočet vnitřních sil byl proveden v programu Midas Civil. Součástí statického výpočtu je návrh předpětí, posouzení mostovky konstrukce na mezní stavy únosnosti a použitelnosti, návrh a posouzení rámové stojky a kotvení oblasti. Výpočty jsou provedeny v souladu s platnými normami. Součástí bakalářské práce je výkresová dokumentace vytvořená v programu Allplan a vizualizace vytvořená v programech Rhinoceros a LUMION.

## 2 PODKLAD

Předběžný návrh konstrukce byl zhotoven na základě měření, které bylo provedeno v lokalitě budoucí stavby.

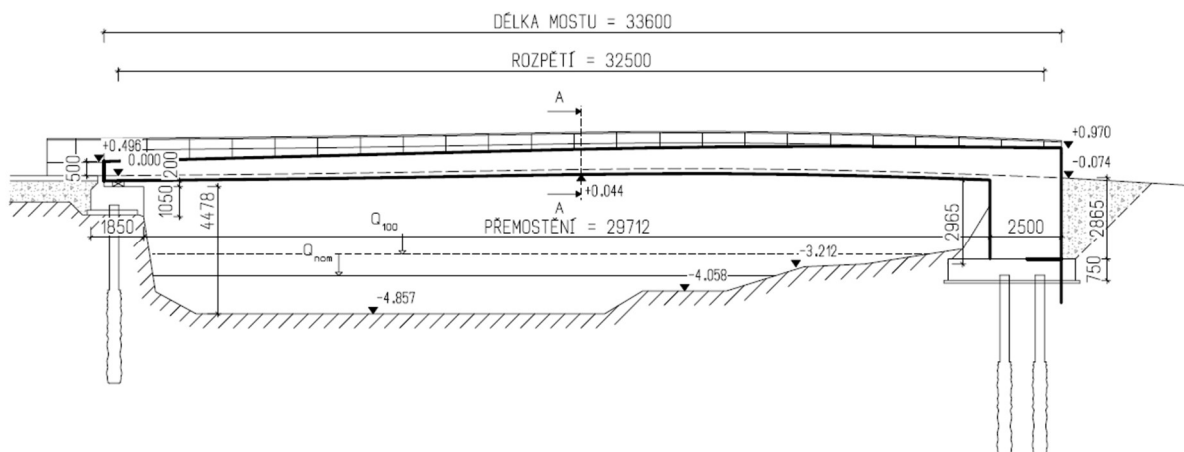
## 3 VARIANTY

Byly vypracovány tři varianty přemostění. Na konstrukci se měnil pouze tvar náběhu, byla ponechána původní niveleta lávky vzhledem k hydrologickým posudkům pro bezpečný průtok vody.

### 3.1 Varianta A

První varianta je staticky neurčitá konstrukce parapetní lávky s levobřežním náběhem ponechaným v původním tvaru, ve kterém se momentálně nachází. Vycházíme z tvaru dvou plnostěnných ocelových nosníků proměnného tvaru. Výška parapetu na pravém břehu je 0,675 m, výška zábradlí je tedy 0,5 m. Výška na levém břehu je 1,325 m. Šířka mostovky je 2,5 m. Pro odvodnění je navržen dostředný příčný sklon 2,0 %. Podélný sklon je dán niveletou mostu. Konstrukce se snaží svou štíhlostí působit nerušivým dojmem a dokonale zapadá do okolní krajiny. Ze statického hlediska však nad zbylými

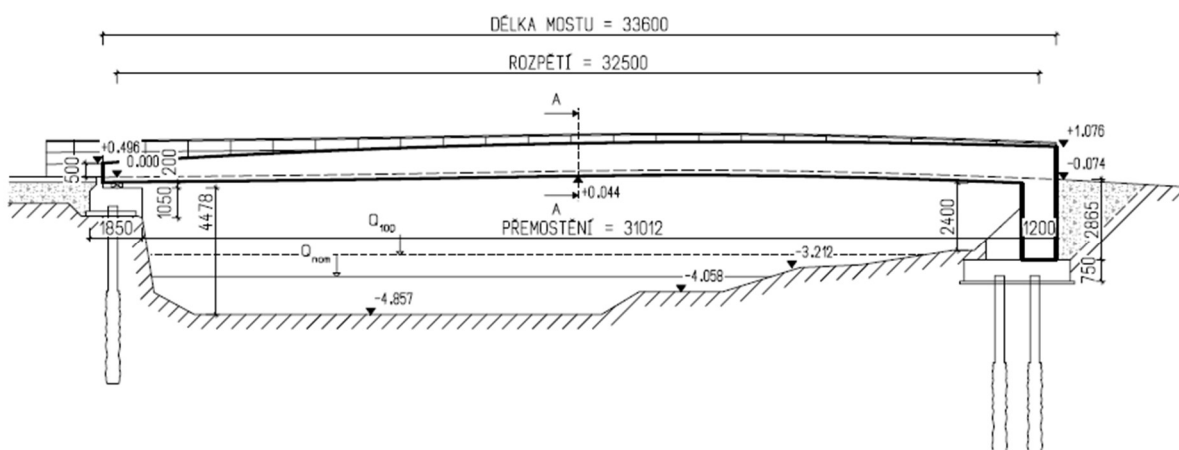
dvěma variantami zaostává, a to převážně u napětí na průřezu kde nebyly dosaženy požadované hodnoty napětí pro MSP.



Obrázek 1 - varianta A

### 3.2 Varianta B

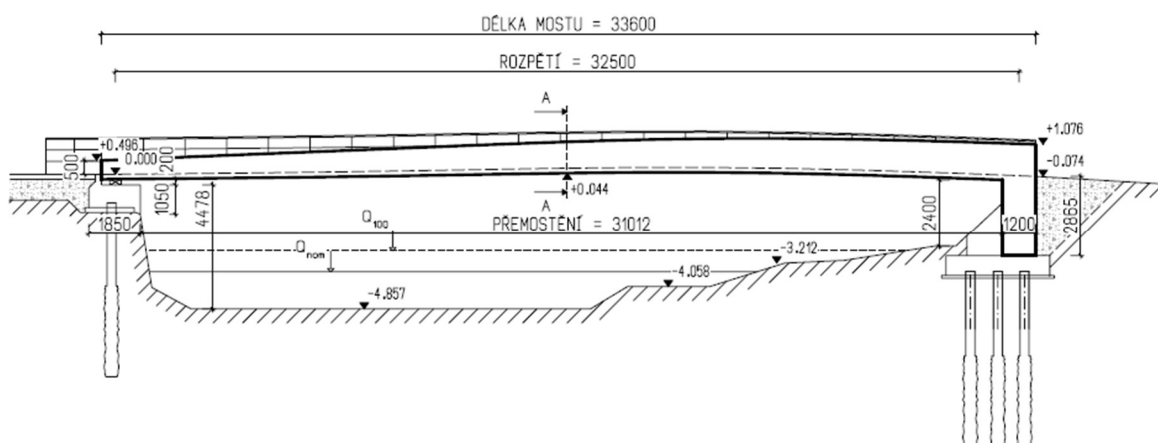
Druhou variantou je opět staticky neurčitý nosník na pravém břehu uložený na elastomerová ložiska na pravé straně vetknutý do železobetonové stojky. Rozdílem je náběh který, byla snaha přenést do kružnicového tvaru pro efektivnější působení průřezu v tahu. Zbytek lávky zůstal beze změn. Nad variantou A je, co se týče architektonického hlediska více mohutnější, co se týče statického hlediska mnohem efektivnější.



Obrázek 2 - Varianta B

### 3.3 Varianta C

Ve třetí variantě jsme zvolili návrh počítající s parabolickým zakřivením parapetu, který jak se nakonec ukázalo je pro lávku nejvíce výhodný. Z Architektonického hlediska lávka s parabolickým zakřivením vypadá velmi zajímavě, od původního zakřivení. Nad variantou B je, co se týče architektonického téměř totožná, co se týče statického hlediska je varianta výhodnější a z tohoto důvodu byla vybrána pro podrobné statické posouzení.



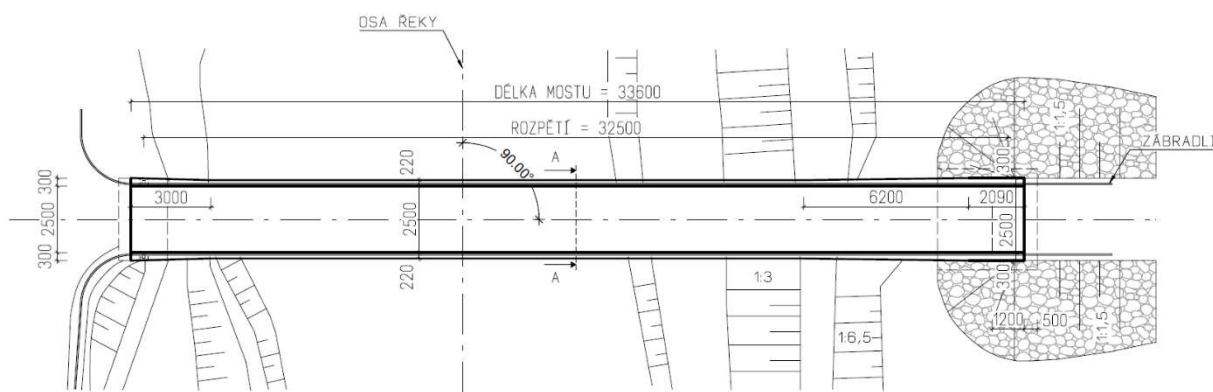
Obrázek 3 - Varianta C

## 4 GEOMETRIE KONSTRUKCE

Po zvolení vhodného zakřivení následovalo hledání ideální polohy a počtu předpínacích kabelů. Cílem bylo co nejvíce optimalizovat tvar průřezu, především tloušťku betonového zábradlí. Prvním krokem bylo stanovení tloušťky zábradlí v půlce průřezu později muselo dojít na rozšíření mostovky v místě kotevní oblasti pro předpínací lana.

### 4.1 Tvar příčné geometrie

Mostovka je z důvodů kotvení předpjatých kabelů na svém konci a začátku půdorysně rozšířená na každé straně o 90 mm, tedy na 3,1m. Uprostřed má šířku 2,92m. Lávka má volnou šířku 2,5m. Deska mostovky má v nejmenším místě tloušťku 150 mm. Po stranách byl navržen dostředný spád 2 %. výška betonového zábradlí se mění po délce a potřebná výška zábradlí je dorovnáována ocelovým do výšky 1,3m, z důvodu pohybu cyklistů na lávce.

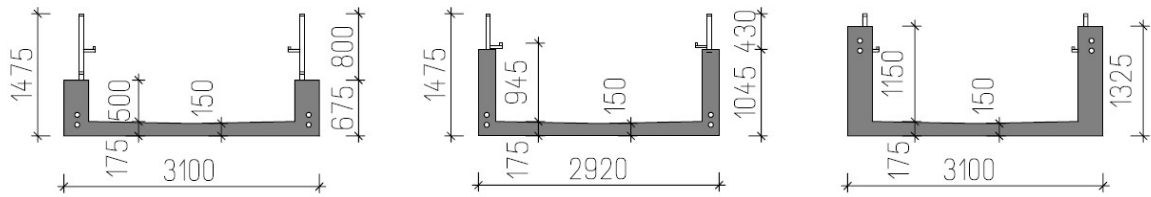


Obrázek 4 - Půdorys

X=0

X=1/2 L

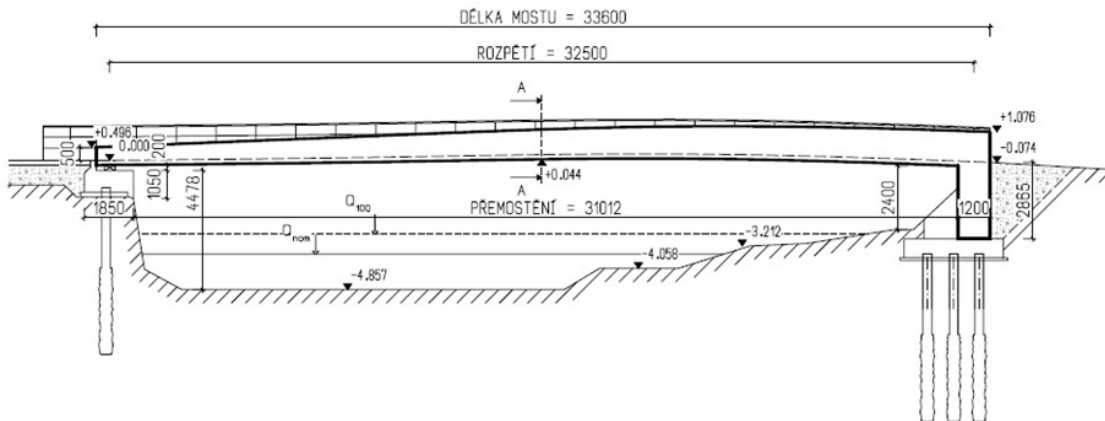
X=L



Obrázek 5 - Vybrané příčné řezy

## 4.2 Tvar podélné geometrie

Konstrukce lávky je navržena jako přímá tedy osa lávky je kolmá k ose řeky. Délka nosné konstrukce je 33,6m délka teoretického rozpětí je 32,5m a délka přemostění je 31 m.



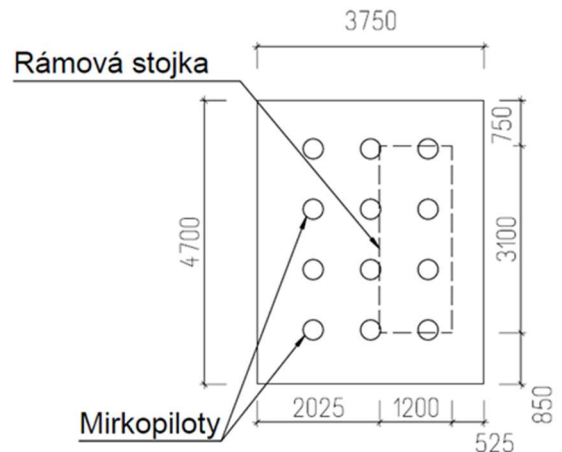
Obrázek 6 - Boční pohled

### 4.3 Rámová stojka

Výška a tvar rámových stojek vychází z podkladů s ohledem na co neekonomičtější návrh konstrukce, na tuhost a vliv rozložení vnitřních sil na konstrukci. Masivní rámová stojka s šířkou na šířku mostovky, tedy 3,1 m a délkou 1,2 m s velkou ohybovou tuhostí přenáší značnou část zatížení z pole. Po původním návrhu s hloubkou 2 m se jeví jako efektivnější zmenšit šířku na 1,2 m

### 4.4 Založení

Konstrukce je založena na hlubinných základech, konkrétně mikropilotech o průměru 330 mm. ŽB patka je obdélníkového průřezu o šířce 4,7 m, délce 3,75 m a výšce 0,75 m.



Obrázek 7 - Rozložení hlubinných základů

### 4.5 Tvar předpínání kabelů

Návrh předpětí byl proveden metodou omezení napětí, kdy bylo sledováno maximální dovolené napětí v nejvíce zatěžovaných místech. Jako rozhodující se ukázalo napětí v charakteristické kombinaci. Byla tedy navržena taková předpínací síla, aby v této kombinaci byla zajištěno omezení vniku podélných trhlin. Geometrie drah kabelů byla navržena v programu Allplan. Midas Civil poskytl průběh ohybových momentů od kombinace stálým zatížením a byl proložen podélným řezem s narovnanou niveletou, ze kterého vyšly dráhy kabelů. Následné hodnoty byly hodnoty přeneseny do MS exelu a po narovnání nivelety přeneseny s upravenými souřadnicemi kabelů do programu Midas Civil. Odhad dlouhodobých i krátkodobých ztrát činil 10%.

Celkem byly navrženy 4 kabely po 7 lanech s celkovou plochou 4200 mm<sup>2</sup>. Kabely byly umístěny do spodní části průřezu pro maximální zvedání na konci konstrukce. Na konci byly zvedány všechny 4 kabely.

## 5 ZÁKLADNÍ ÚDAJE O LÁVCE

Pro výpočet byla zvolena varianta C. V následující kapitole vymezíme základní údaje o konstrukci, která vyhověla na prováděné posudky.

### 5.1 Základní geometrie

Délka mostu	$L_m = 33,6 \text{ m}$
Délka nosné konstrukce	$L_{n.k} = 34,6 \text{ m}$
Teoretické rozpětí	$L_{n.k} = 32,5 \text{ m}$
Délka přemostění	$L_p = 31,0 \text{ m}$
Šířka mostu = šířka nosné konstrukce	$\text{ŠM} = 2,92 - 3,1 \text{ m}$
Volná šířka mostu	$V\text{Š} = 2,5 \text{ m}$
Počet polí	1
Šikmost	kolmá
Příčný sklon	2,0%
Výška průřez	0,675 – 1,375 m

#### Materiál

Beton	C 45/55
Předpínací výztuž	Y 1860 S7-15,7
Betonářská výztuž	B500B

#### Zábradlí

Zábradlí bude navrženo ocelové s prosklenou plochou ve výšce 1,3 m bude doplňovat konstrukci ve výšce a sjednotí tak vzhled celého mostu.

#### Odvodnění

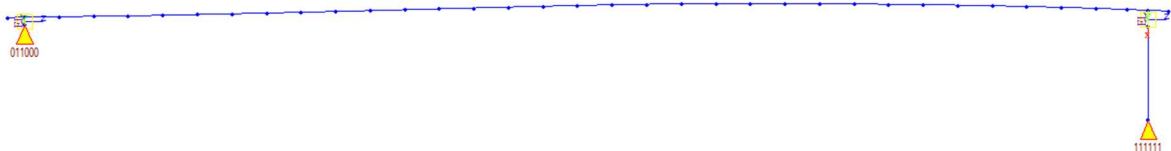
Odvodnění bude zajištěno díky příčnému sklonu 2% a podélnému sklonu mostovky. Na konci lávky budou umístěné podélné vtoky pro odvedení vody od mostu.

## 5.2 Souhrnný popis

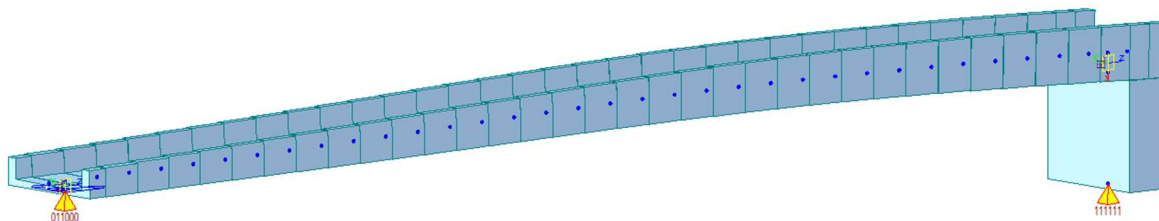
Jednopólová lávka na levém břehu vetknutá do železobetonové stojky na straně pravé uložena na elastomerová ložiska. Konstrukce je založena na hlubinných základech. Výška na počátku je 0,675 m na konci 1,375m Podélně i půdorysně je tedy mostovka zakřivená, a to v důsledku kotvení.

## 5.3 Výpočtový model

Hlavní výpočtový model byl vytvořen v programu Midas Civil jako prutová konstrukce. Střednice mostu je tvořena průměty těžištěm příčných řezů. Model byl podepřen na levé straně kloubovou podpěrou na straně pravé konzolově. Levobřežní opěra byla modelována jako prut se zadaným jednotným obdélníkovým průřezem. Konstrukce byla rozdělena 33 řezy po 1 m. Každému prutu byl přiřazen příčný řez odpovídající řezu v místě poloviny namodelovaného prutu nakreslený v programu AutoCad. Výšky zábradlí byly spočteny v programu Microsoft Excel.



Obrázek 8 - Prutový model



Obrázek 9 - Axonometrický pohled na model

## 5.4 Materiálové charakteristiky

### BETON

Pevností třída	C45/55
Charakteristická pevnost v tlaku (válcová)	$f_{ck} = 45 \text{ MPa}$
Charakteristická pevnost v tahu , střední hodnota	$f_{ctm} = 3,8 \text{ MPa}$
Charakteristická pevnost v tahu, 5% kvantil	$f_{ctk;0,5} = 2,7 \text{ MPa}$
Součinitel účinků zatížení na tlak	$\alpha_{cc} = 0.9$
Součinitel účinků zatížení na tah	$\alpha_{ct} = 1,0$



Součinitel spolehlivosti betonu

$$\gamma_c = 1.5$$

Návrhová pevnost v tlaku

$$f_{cd} = \alpha_{cc} \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 27 \text{ MPa}$$

Návrhová pevnost v tahu

$$f_{ctd} = \alpha_{ct} \frac{f_{ctk;0,05}}{\gamma_c} = 1,8 \text{ MPa}$$

Modul pružnosti

$$E_{cm} = 35 \text{ MPa}$$

Modul pružnosti

$$\varepsilon_{cu3} = 3.5$$

Objemová hmotnost

$$\gamma_{con} = 2500 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

### BETONÁŘSKÁ VÝZTUŽ

Typ výztuže

B500B

Charakteristická pevnost v tahu

$$f_{yk} = 500 \text{ MPa}$$

Součinitel spolehlivosti oceli

$$\gamma_s = 1,15$$

Modul pružnosti

$$E_s = 200 \text{ GPa}$$

Návrhová pevnost v tahu

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = 434,78 \text{ MPa}$$

### PŘEDPÍNACÍ VÝZTUŽ Y1860 S7-15,7-A

Charakteristická mez pevnosti

$$f_{pk} = 1860 \text{ MPa}$$

Smluvní mez kluzu

$$f_{p;0,1k} = 1640 \text{ MPa}$$

Modul pružnosti

$$E_p = 195 \text{ GPa}$$

Plocha lana

$$A_p = 150 \text{ mm}^2$$

Maximální kotevní napětí

$$\begin{aligned} \sigma_{p,\max} &= \min\{0,8f_{pk}; 0,9f_{p0,1k}\} \\ &= 1476 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Maximální napětí po zakotvení

$$\sigma_{mp0,\max} = \min\{0,75f_{pk}; 0,9f_{p0,1k}\}$$



$$= 1394 \text{ MPa}$$

Součinitel spolehlivosti

$$\gamma_p = 1,15$$

Návrhová mez pevnosti

$$f_{yd} = \frac{f_{p0,1k}}{\gamma_p} = 1426 \text{ MPa}$$

Poměrné přetvoření na mezi pevnosti

$$\varepsilon_{pd} = \frac{f_{pd}}{E_p} = 7,31 \text{ ‰}$$

## 5.5 Návrh krytí

S ohledem na typ konstrukce byl zvolen stupeň prostředí XD3, to odpovídá skupině koroze způsobené chloridy. Hlavně v zimním období se uvažuje použití postřiků obsahujících chloridy. Třída konstrukce byla zvolena s přihlédnutím na životnost konstrukce 100 let (+2stupně) a na pevnostní třídu betonu C45/55 (-1 stupeň), jako S5.

Betonářská výztuž

$$c_{nom} = 60 \text{ mm}$$

Předpínací výztuž

$$c_{nom} = 70 \text{ mm}$$

## 6 ZATÍŽENÍ

### 6.1 Zatížení stálé

#### 6.1.1 ZS1 – Vlastní tíha

Vlastní tíha byla spočtena v samotném programu Midas Civil automaticky. Uvažoval s vlastní průřezovou plochou, délkou a objemovou hmotností, jež byla vymezena v materiálových charakteristikách.

Objemová hmotnost železobetonu a předpjatého betonu byla uvažována jako

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

## 6.1.2 ZS2 – Ostatní stálé

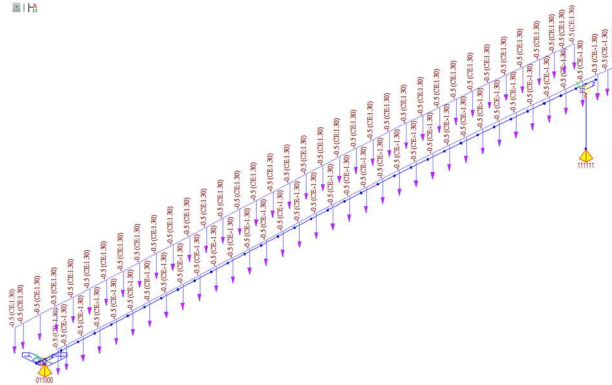
Uvažujeme pouze tíhu zábradlí o velikosti 0,5 kN/m na jedno zábradlí. Při oboustranném zábradlí dostaneme hodnotu 1 kN/m.

$$g_1 = 1,0 \text{ kN/m}$$

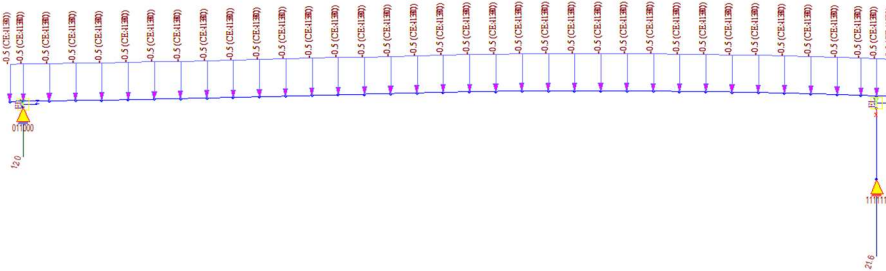
Ověření správnosti výpočtu

$$\Sigma g_1 = g_1 * L = 1,0 * 33,6 = 33,6 \text{ kN}$$

$$12 + 21,6 = 33,6 \text{ kN} \quad \text{VYHOVUJE}$$



Obrázek 10 - Zatížení od zábradlí



Obrázek 11 - Reakce od zatížení ze zábradlí

## 6.2 Proměnné zatížení

### 6.2.1 ZS3 – gr1a chodci a cyklisti – rovnoměrné

Zatížení chodci působí na lávku jako spojitě plošné zatížení po volné šířce konstrukce.

Výchozí normová hodnota rovnoměrného zatížení 5 kN/m<sup>2</sup> byla redukována podle délky rozpětí lávky L = 33,6 m

$$= 2,0 + \frac{120}{L+30} = 2,0 + \frac{120}{33,6+30} = 3,89 \text{ kN/m}^2$$

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

$$2,5 < 3,89 < 5,0 \text{ kN/m}^2$$

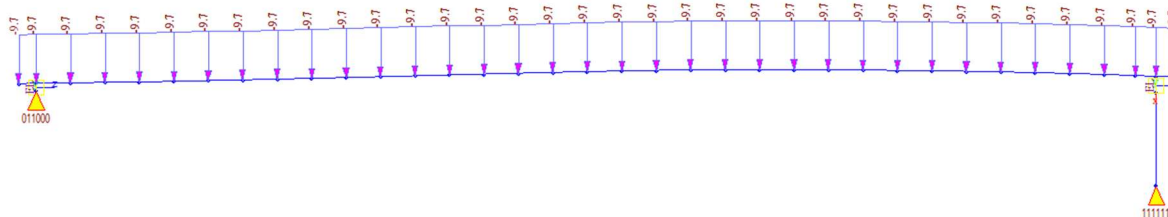
Po vynásobení výsledné hodnoty hodnotou volné šířky jsme získali liniové zatížení na prutový model

$$q_{fk}' = q_{fk} * b_z = 3,89 * 2,5 = 9,72 \text{ kN/m}$$

Zatěžovací šířka průřezu  $b_z$  2,5 m

Uvažovaná délka zatížení  $L$  33,6 m

Zatížení bylo uvažováno pouze s umístěním na celé délce lávky a to z důvodu malého profilu lávky.

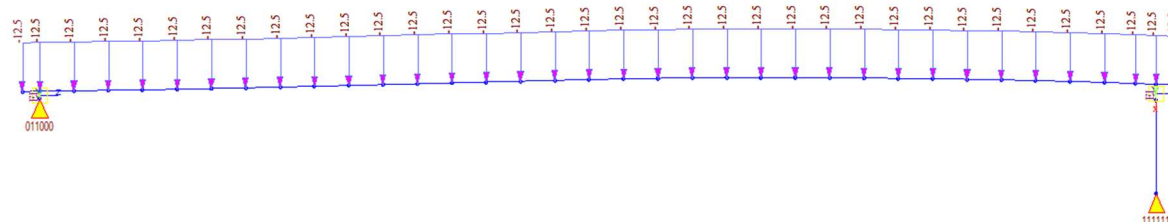


Obrázek 12 - Proměnné zatížení - chodci

## 6.2.2 ZS4 – gr4 dav lidí

Vychází normová hodnota rovnoměrného zatížení působilo na lávku v sestavě gr4  $q_{r4} = 5 \text{ kN/m}^2$ . Po vynásobení výsledné hodnoty hodnotou volné šířky jsme získali liniové zatížení na prutový model

$$q_{fk}' = q_{fk} * b_z = 5 * 2,5 = 12,5 \text{ kN/m}$$

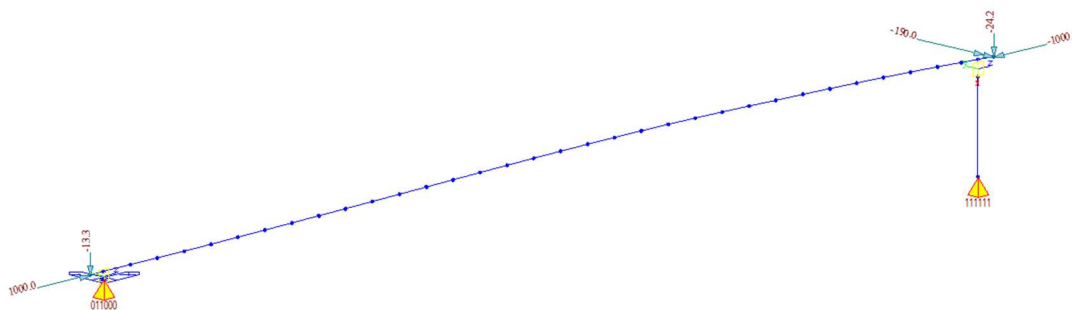


Obrázek 13 - Zatížení davem lidí

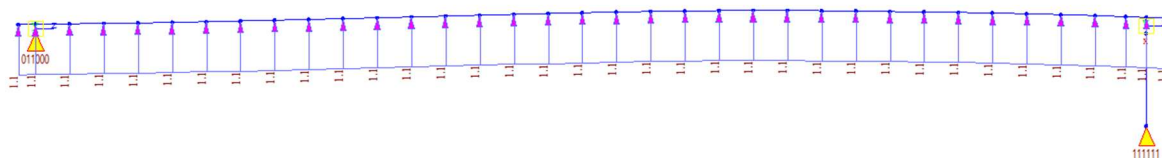
## 6.3 Předpětí

### 6.3.1 Návrh předpětí

Návrh předpětí, resp. Předpínací síly byl proveden pomocí jednotkové předpínací síly a momentu, kdy do kombinace pro MSP byl zaveden nový ZS, resp. ZS5. Nový ZS bude obsahovat předpínací sílu, jenž bude rovna 1000 kN a ohybový moment, který bude odvozen z tvaru paraboly vedeného kabelu. V návrhu kombinací bude poté zvětšovat násobky, abychom dosáhly požadovaného napětí na příslušných vláknech. Návrh sloužil pouze jako orientační hodnota, ze které se posléze odvodili kabely namodelované v programu Midas Civil.



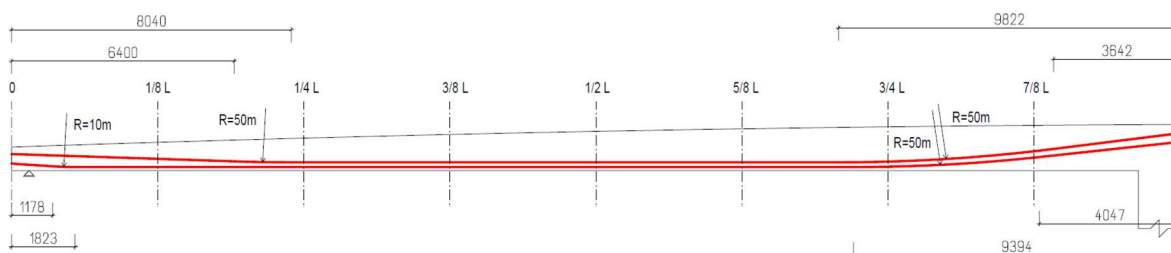
Obrázek 14 - Zatížení od ekvivalentního předpětí



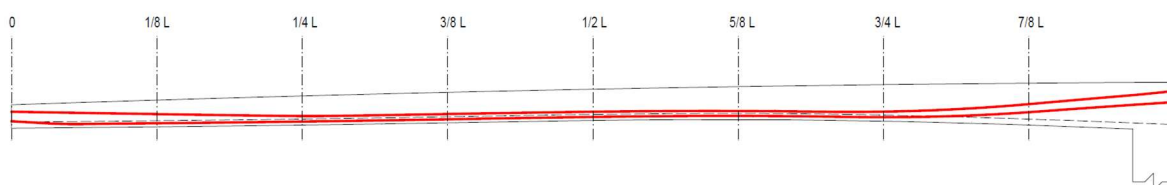
Obrázek 15 - Rovnoměrné zatížení od ekv. Předpětí

### 6.3.2 Návrh umístění předpínacích lan

Finálové umístění kabelu bylo provedeno s ohledem na výslednici momentů při kombinaci stálého a ostatního stálého zatížení. Kabely byly natrasovány podle výslednice na upravené niveletě, a to tak že se niveleta narovнала. Po natrasování byla niveleta opět zakřivena a s ní se zakřivily i kabely. Výsledné souřadnice byly použity pro modelování kabelu v programu Midas Civil.



Obrázek 16 - Výsledný průběh při rovné niveletě



Obrázek 17 - Průběh kabelů na skutečné niveletě

### 6.3.3 ZS6 Zemní tlak

Po dokončení bude v přechodové oblasti konstrukce zasypána původní zeminou, která byla odtěžena při výkopu základové jámy. Zemina bude zhutněna na požadovanou hodnotu. Bude uvažovaný klidový zemní tlak z důvodu předpokladu nevýrazných deformací. Zatížení je uvažováno pouze z venkovní strany.

#### 1.1.1.1 Charakteristické vlastnosti zeminy

Objemová tíha

$$\gamma_z = 18,5 \text{ kN/m}^3$$

Úhel vnitřního tření

$$\varnothing_{eff} = 35^\circ$$

$$\varnothing_d = \frac{\varnothing_{eff}}{\gamma_M} = \frac{35^\circ}{1,25} = 28^\circ$$

Redukční součinitel

$$\gamma_M = 1,25$$

Hloubka založení

$$h = 2,7 \text{ m}$$

Šířka zatížení plochy

$$b = 3,1 \text{ m}$$

## 7 KOMBINACE

Pro kombinaci zatížení u lávky bylo uvažováno standartně sestava zatížení gr1 a soustava gr2 nebude uvažována, protože bude zabráněno vjezdu obslužného vozidla na lávku pevnou překážkou. Stejně tak se nebudou uvažovat vodorovné překážky.

Pro sestavu zatížení gr4 platí součinitele podle tabulky níže, z čehož lze vyvodit že složku zatížení budeme uvažovat jen do kombinací pro MPÚ a pro charakteristickou kombinaci u MSP.

Zatížení	Značka	$\Psi_0$	$\Psi_1$	$\Psi_2$	
DOPRAVOU	gr1a	TS (dvoujnáprava)	0.75	0.75	0
		UDL (rovnoměrné zat.)	0.4	0.4	0
		chodci a cyklisti	0.4	0.4	0
	gr1b	(jednotlivá náprava)	0	0.75	0
	gr2	(vodorovné síly)	0	0	0
	gr3	(zatížení chodci)	0	0.4	0
	gr4	(zatížení davem lidí)	0	×	0
	gr5	(zvláštní vozidla)	0	×	0

Tabulka 1 - Součinitelé  $\Psi$  pro mosty pozemních komunikací

### 7.1 Kombinace pro MSP

KOMBINACE	Stálá zatížení		Předpětí	Vedlejší proměnné zatížení	
	Nepříznivá	Příznivá		Nepříznivá	Příznivá
Charakteristická	$G_{kj,sup}$	$G_{kj,inf}$	P	$Q_{k,1}$	$Q_{k,i}$
Častá	$G_{kj,sup}$	$G_{kj,inf}$	P	$\Psi_{1,1}Q_{k,1}$	$\Psi_{2,i}Q_{k,i}$
Kvazistálá	$G_{kj,sup}$	$G_{kj,inf}$	P	$\Psi_{2,1}Q_{k,1}$	$\Psi_{2,i}Q_{k,i}$

Tabulka 2 - Kombinace zatížení MSP

CHARAKTERISTICKÁ  $\Sigma G_{kj} + P + Q_{k,1} + Q_{k,i}$

ČASTÁ  $\Sigma G_{kj} + P + Q_{k,1} * \Psi_{1,1} + Q_{k,i} * \Psi_{2,i}$

KVAZISTÁLÁ  $\Sigma G_{kj} + P + Q_{k,1} * \Psi_{2,1} + Q_{k,i} * \Psi_{2,i}$

## 7.2 Kombinace pro MSÚ

Účinky od zatížení byly zkombinovány pomocí programu Midas Civil podle daných pravidel kombinací 6.10

KOMBINACE	Stálá zatížení		Předpětí	Hl. proměnné zatížení	Vedlejší proměnné zatížení	
	Nepříznivá	Příznivá			Nepříznivá	Příznivá
6.10	$\gamma_{Gj,sup} G_{kj,sup}$	$\gamma_{Gj,inf} G_{kj,inf}$	$\gamma_p P$	$\gamma_{Q1} Q_{k1}$		$\gamma_{Qi} \Psi_{0,i} Q_{k,i}$
6.10a	$\gamma_{Gj,sup} G_{kj,sup}$	$\gamma_{Gj,inf} G_{kj,inf}$	$\gamma_p P$		$\gamma_{Q1} \Psi_{0,1} Q_{k1}$	$\gamma_{Qi} \Psi_{0,i} Q_{k,i}$
6.10b	$\xi \gamma_{Gj,sup} G_{kj,sup}$	$\gamma_{Gj,inf} G_{kj,inf}$	$\gamma_p P$	$\gamma_{Q1} Q_{k1}$		$\gamma_{Qi} \Psi_{0,i} Q_{k,i}$

Tabulka 3 - Kombinace zatížení pro MSÚ

$$6.10 \quad \gamma_{Gj} * \Sigma G_{kj} + \gamma_p * P + \gamma_{Q,1} * Q_{k,1} + \gamma_{Q,i} * Q_{k,i} * \Psi_{0,i}$$

$$6.10a \quad \gamma_{Gj} * \Sigma G_{kj} + \gamma_p * P + \gamma_{Q,1} * Q_{k,1} * \Psi_{0,1} + \gamma_{Q,i} * Q_{k,i} * \Psi_{0,i}$$

$$6.10b \quad \xi * \gamma_{Gj} * \Sigma G_{kj} + \gamma_p * P + \gamma_{Q,1} * Q_{k,1} + \gamma_{Q,i} * Q_{k,i} * \Psi_{0,i}$$

## 8 ZTRÁTY PŘEDPĚTÍ

Předpínací síla není neměnná její hodnota se v průběhu času a po délce mění.

Analýza ztrát předpětím byla provedena pomocí programu Midas Civil, který využívá funkci výstavbových fází umožňující časovou analýzu konstrukce.

Ke změnám předpětí může docházet buď okamžitě (krátkodobé) nebo v závislosti na čase (dlouhodobé).

Pro výpočet ztrát byly použity následující parametry:

Počáteční napětí 1394 MPa



Pokluz na začátku	$\sigma_{ad} = 3 \text{ mm}$
Koeficient tření $\mu$	$\mu = 0,17 \text{ (rad}^{-1}\text{)}$
Úhel nepředvídaného zakřivení	$k = 0,007 \text{ (rad/m)}$

Časová analýza vychází z následujícího časového harmonogramu:

Čas vnesení předpětí:	$t_0 = 14 \text{ dní}$
Čas vnesení ostatního stálého zatížení	$t_g = 28 \text{ dní}$
Čas uvedení do provozu (proměnné zatížení)	$t_q = 56 \text{ dní}$
Čas živostnosti konstrukce	$t_\infty = 36525 \text{ dní}$

Při zadávání předpětí byly zjednodušeně kabely předepruty po 0,25 dne, což odpovídá 6 hodinám. Ve skutečnosti se předeprnou mnohem rychleji, ale na konečný výsledek tohle zjednodušení bude mít minimální účinek. Docílíme tím ale vyhodnocení ztrát od postupného předpínání.

Ztráty byly vyhodnoceny celkem pro 8 úseků po 1/8 L. Výsledky byly zpracovány do tabulky pomocí programu MS Excel.

	kabel	x=0	x=1/8 L	x=1/4 L	x=3/8 L	x=1/2 L	x=5/8 L	x=3/4 L	x=L
Napětí po okamžitých ztrátách $\sigma_{p,m,\infty}$	1	1273.49	1300.25	1296.62	1299.05	1298.29	1287.88	1270.93	1240.02
	2	1254.54	1284.81	1286.54	1292.83	1296.33	1289.65	1274.14	1252.49
	3	1290.77	1315.87	1325.71	1331.95	1327.73	1318.67	1293.85	1269.15
	4	1307.38	1322.81	1322.81	1344.84	1342.87	1335.15	1309.14	1290.71
Po ztrátách smršťování a dotvarování betonu $\Delta\sigma_{p,s,c}$	1	-102.84	-96.23	-97.00	-97.80	-103.30	-112.85	-108.34	-98.69
	2	-110.36	-102.48	-101.03	-99.86	-103.53	-111.40	-105.97	-93.41
	3	-132.79	-120.17	-101.98	-98.79	-98.81	-102.22	-95.19	-85.33
	4	-107.45	-100.48	-100.48	-81.76	-81.33	-83.49	-78.08	-69.39
Ztráta relaxací předpínací výztuže $\Delta\sigma_{p,r}$	1	-50.67	-55.28	-56.39	-57.46	-57.80	-56.70	-53.26	-50.99
	2	-54.00	-59.61	-60.99	-62.33	-62.76	-61.37	-57.12	-54.39
	3	-58.26	-61.15	-63.28	-65.13	-64.60	-63.17	-58.56	-55.49
	4	-58.26	-60.94	-60.94	-65.13	-64.60	-63.16	-58.56	-55.48
Napětí po dlouhodobých ztrátách $\sigma_{p,m,\infty}$	1	1119.98	1148.74	1143.23	1143.79	1137.19	1118.33	1109.33	1090.34
	2	1090.17	1122.73	1124.53	1130.65	1130.04	1116.87	1111.04	1104.69
	3	1099.72	1134.55	1160.44	1168.03	1164.32	1153.27	1140.10	1128.33
	4	1141.68	1161.38	1161.38	1197.95	1196.95	1188.49	1172.50	1165.84
celkový průměr		1112.89	1141.85	1147.40	1160.11	1157.12	1144.24	1133.24	1122.30
$\Delta\sigma_{p,s,c,r}$		168.66	164.08	160.52	157.06	159.18	163.59	153.77	140.79
[%]		13%	12%	12%	11%	11%	11%	11%	9%

Tabulka 4 - Hodnoty napětí po dlouhodobých ztrátách předpětí

## 9 MEZNÍ STAV POUŽITELNOSTI

Konstrukce mostu musí splnit podmínky po celou dobu životnosti. Je provedeno posouzení mezního stavu omezení napětí v betonu a v předpínací výztuži a omezení trhlin.

### Omezení napětí

Tlakové napětí v betonu – nadměrné hodnoty tlakového napětí mohou v konstrukci vyvolat nepříznivé jevy jako podélný smyk, rozvoj mikrotrhlin nebo nadměrné hodnoty dotvarování.

Pro charakteristickou kombinaci v tlačených vláknech:  $\sigma_{c2} \geq -0,6 f_{ck}$

Pro častou kombinaci ve tažených vláknech  $\sigma_{c1} < f_{ctm}$

Pro kvazistálou kombinaci v tlačených vláknech  $\sigma_{c2} < -0,45 f_{ck}$

### Napětí ve výztuži

Pro předpínací výztuž ověříme v čase  $t_0$  a  $t_\infty$  podmínku 0.75 fpk .



$$f_{pk} = 1860 \text{ MPa}$$

$$0,75 * f_{pk} = 1395 \text{ MPa}$$

### Omezení průhybu

Výsledné hodnoty průhybu byla vypočteny pomocí programu Midas Civil, který využívá funkci výstavbových fází umožňující časovou analýzu konstrukce.

## 10 MEZNÍ STAV POUŽITELNOSTI

Mostovka byla posuzována na ohyb a smyk. Návrhové síly byly vybrány z kombinací zatížení, jež vyvolávaly na konstrukci extrémní účinky.

### 10.1 Ohyb a normálová síla

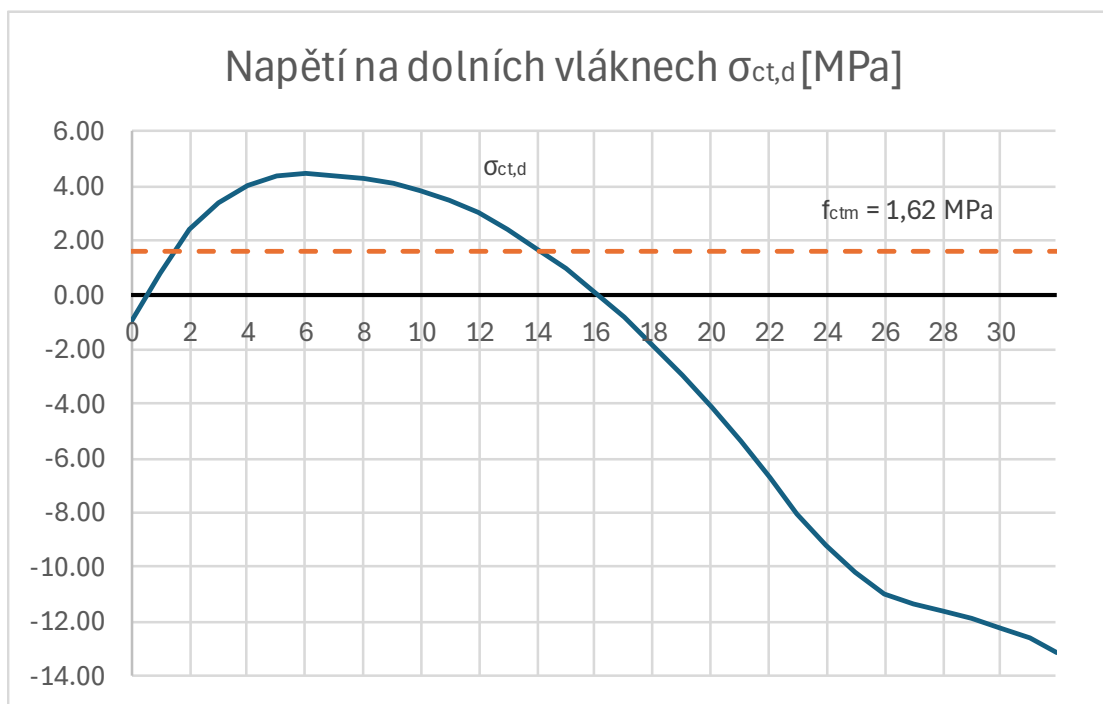
Maximální momenty od kombinací vznikají jak při horních, tak při spodních vláknech. V MSÚ budeme posuzovat obě situace. Vzhledem k proměnlivosti průřezu bylo rozhodnuto posoudit lávku v každé 1/8 délky. V některých případech byla únosnost díky předpínacím kabelům nedostatečná a muselo dojít k navržení betonářské výztuže. V ostatních případech se vyztužovalo podle konstrukčních zásad.

### 10.2 Smyk

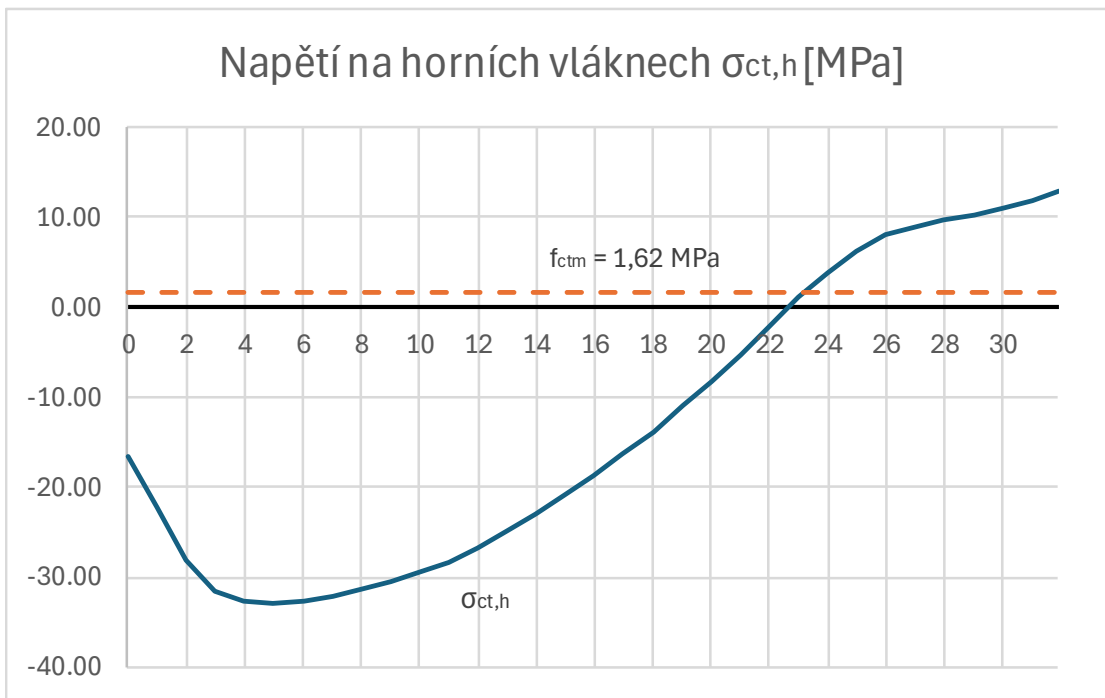
Vnitřní síly byly zjištěny pomocí výpočetního programu Midas Civil. Maximální posouvající síla pochází sečtením hodnot z kombinace 6.10b a předpětí. Pro posouzení smykové únosnosti byla lávka rozdělena do dvou částí. První část uvažovala průřez bez trhlin a ve druhé části bylo uvažováno s potrháním průřezem.

V případě dolních vláken trhliny vznikají v délce 1,5 m a v případě horních je to v délce 23,22 m.

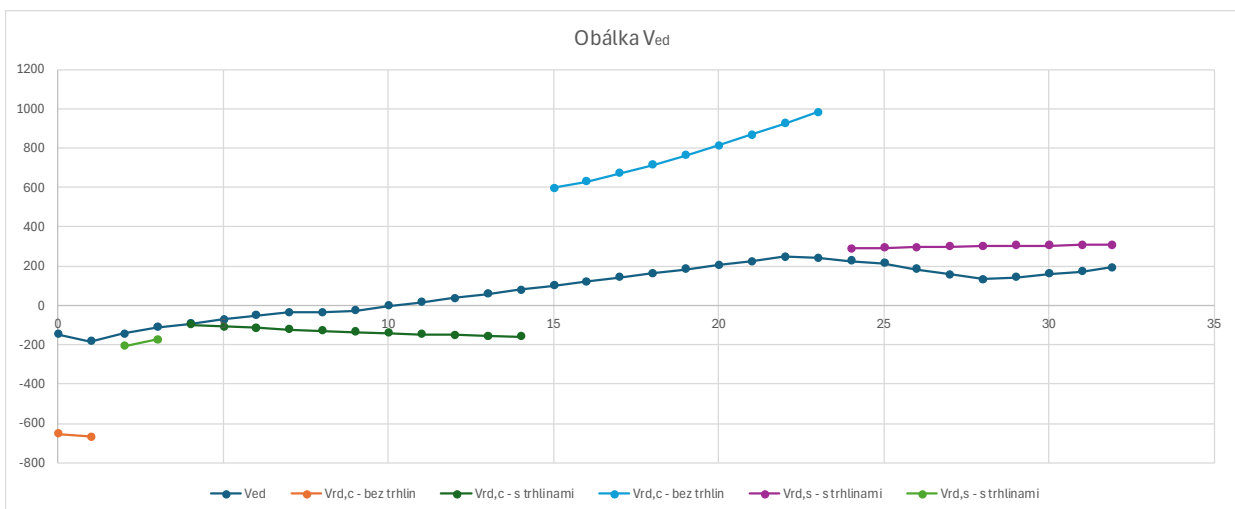
Lávka byla rozdělena a posuzována po 1 m v programu MS Excel. Díky těmto hodnotám jsme dostali graf průběhu smykové únosnosti vůči posouvající síle. Graf názorně ukazuje jednotlivé únosnosti v potrhané a nepotrhané části lávky.



Obrázek 18 - Graf zobrazující místo vzniku trhlin u dolních vláken



Obrázek 19 - Graf zobrazující místo vzniku trhlin na horních vláknech



Obrázek 20 - Graf obálky posouvajících sil

## 10.3 Podélný smyk

U betonových nosníků s průřezem jako je vyšetřovaná lávka, dochází k přenosu smykových napětí mezi stěnou lávky a deskovou částí. Tento přenos je klíčový pro správnou funkci spřaženého průřezu a zajištění spolupůsobení obou částí při přenosu ohybového momentu

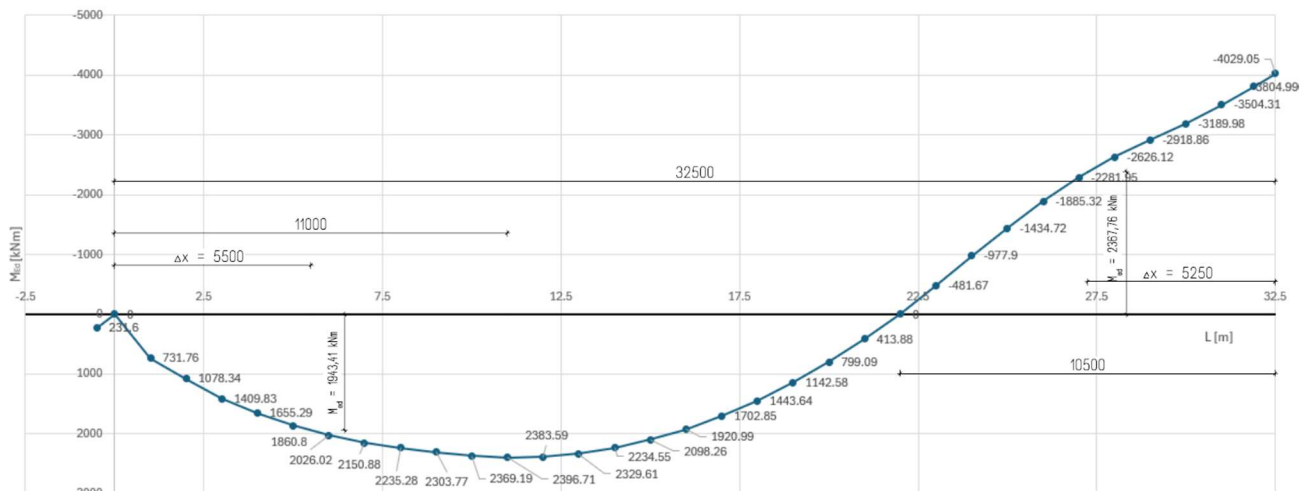
Při výpočtu smyku uvažujeme změnu normálové síly v přírubě na dané vzdálenosti  $\Delta x$ .

Návrhové napětí se stanoví ze vztahu

$$\Delta F_d = \frac{\Delta F_{tot} * A_1}{A_{tot,i}} = \left( \frac{\Delta M_{Ed}}{z} \right) * \left( \frac{A_1}{A_{tot}} \right)$$

Pro návrh smykové únosnosti je třeba určit podélné smykové napětí v místě styku desky a parapetu. V případě námi navržené lávky budou posouzeny 2 místa.

Při návrhu délky se  $\Delta x$  běžně uvažuje polovina vzdáleností mezi místem nulového momentu a maximálního momentu, resp. Mezi krajním podpěrným bodem a maximem ohybového momentu



Obrázek 21 - Průběh ohybových momentů od kombinace 6.10a

Kombinace podélného smyku a příčného ohybu



$$v_{Ed} < 0,4 * f_{ctd}$$

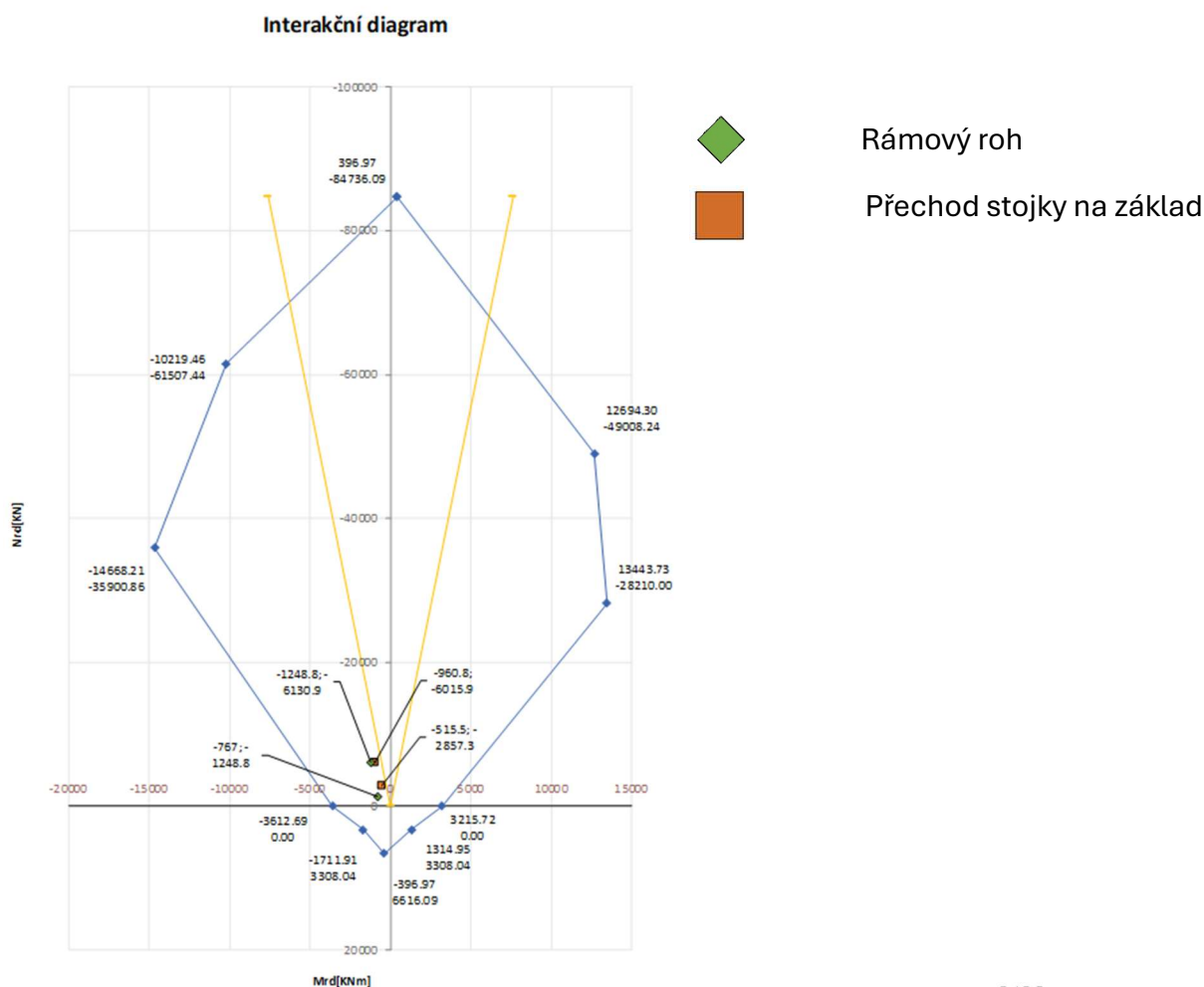
$$2,48 < 0,72 \quad \text{NEVYHOVUJE}$$

Pokud dochází ke kombinaci smyku mezi přírubou a stěnou a zároveň příčným ohybem, je nutné plochu příčné výztuže navržené na příčný ohyb zvětšit o polovinu plochy určené zde z podélného smyku, tj.  $A_{sf,req}$

## 10.4 Rámová stojka

### 10.4.1 Ohybový moment + normálová síla

Pro ověření únosnosti rámové stojky na kombinaci ohybového momentu a normálové síly byl proveden interakční diagram. Návrhové hodnoty zatížení jsou uvažovány ve dvou řezech – v rámovém rohu a v patě rámové stojky. Jsou posouzeny dvě kombinace zatížení vyvolující maximální ohybový moment a minimální normálová síla.

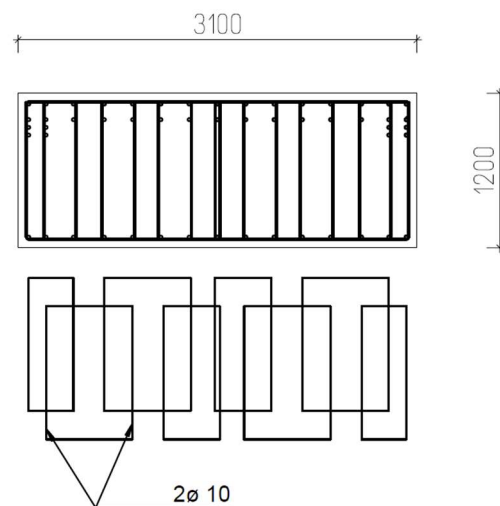


### 10.4.2 Posouzení na smyk

Byla stanovena kombinace zatížení vyvolující maximální posouvající sílu na rámové stojce a následně byl proveden výpočet smykové výztuže

$$V_{RD,c} = 1363,7 \text{ kN} > V_{Ed} = 150,1 \text{ kN} \quad \text{VYHOVUJE}$$

Návrh smykové výztuže proběhne pouze konstrukčně

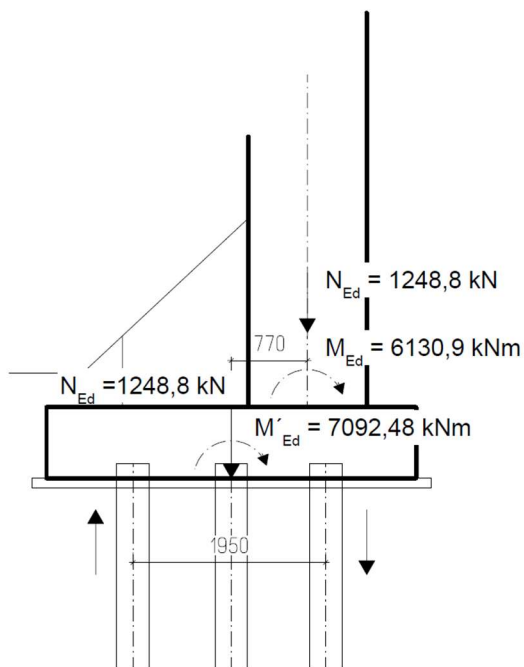


Obrázek 22 - Schéma výztuže

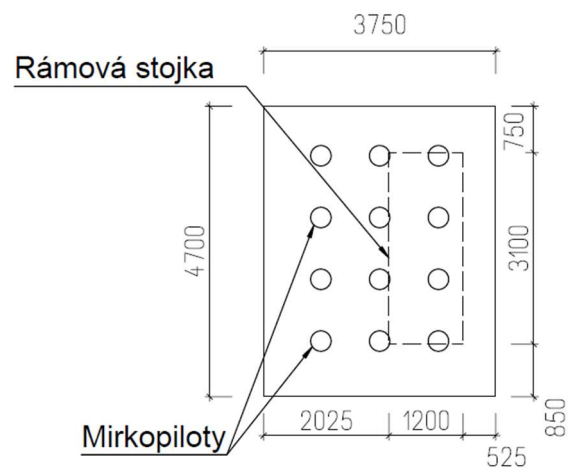
## 10.5 Orientační posouzení mikropilot

Orientační posouzení mikropilot spočívá v jejich posouzení na tah a tlak vyvolaný momentovou silou od kombinace 6.10b. Z podkladů vyplívá že únosnost piloty v tahu je 400 kN a v tlaku 500 kN.

Kombinace vnitřních sil a ohybových momentů bude použita stejná jako pro návrh stojky, tedy kombinace 6.10b.



Obrázek 24 - Schéma zatížení na mikropiloty



Obrázek 23 - Uspořádání pilot pod stojkou

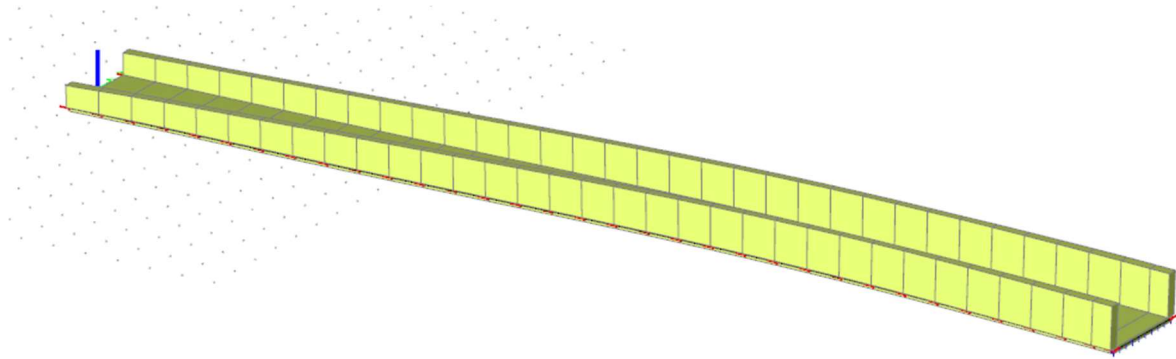
## 11 PŘÍČNÝ SMĚR

Pro analýzu mostovky musel být vytvořen deskostěnový model v softwaru SCIA Engineer. Průřezy mostovky byly sestaveny obdobně jako pro případ modelování prutového modelu, tedy po 1 metru dlouhých úsecích.

Lávka je na jednom konci podepřena bodovými podporami pro simulaci ložisek a na straně druhé v místech vetknutí, tedy stojky je mostovka podepřena liniovým vetknutím.

Je uvažováno zatížení vlastní tíhou a ostatním stálým zatížením. Jako proměnné zatížení je uvažováno plošné o stejné intenzitě jako v podélném směru.

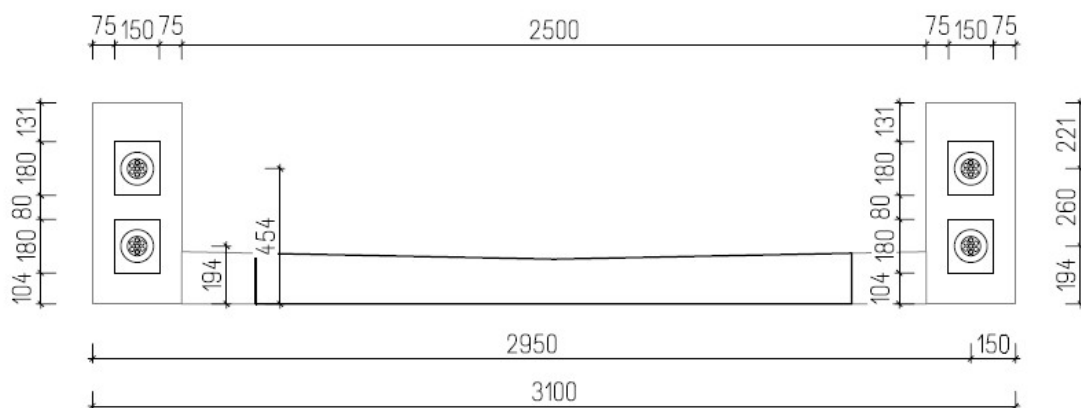
Jsou provedeny kombinace zatížení dle rovnic 6.10a a 6.10b a provedeno ohybové a smykové únosnosti. Navržená příčná výztuž u horního povrchu mostu  $\varnothing 10/150$



Obrázek 25 - Deskostěnový model mostovky ve SCII

## 12 KOTEVNÍ OBLAST

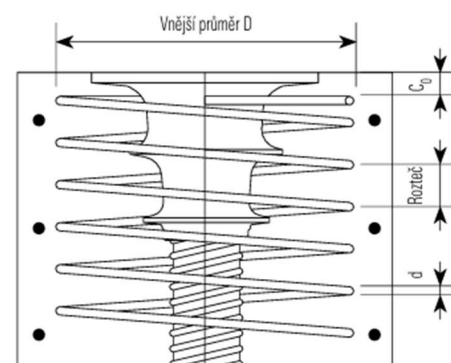
Kotvy budou použity Freyssinet 7C15 s roznášecí deskou 180 x 150 mm. Posouzení oblasti se skládá z posouzení betonu v soustředném tlaku pod jednotlivými kotvami, u kterých podmínka nevyhovuje a bylo by třeba zvětšit celkovou pevnostní třídu betonu na C 50/60. Dále proběhlo posouzení globální oblasti.



Obrázek 26 - Pohled na kotevní oblast

Na tahové účinky pod každou kotvou je navržena spirála dle doporučení výrobce šroubovice (Fy235) 7C15 –

d	14 mm
Rozteč	60 mm
Počet závitů	6
$C_0$	40 mm
D vnější průměr	270 mm



Šroubovice  
a přídavná výztuž

Obrázek 27 - Návrh šroubovice

## 13 ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce byl návrh a statické posouzení alternativy lávky pro pěší přes řeku Svitavu. Na počátku byly navrženy tři varianty řešení, z nichž pro podrobné zpracování byla vybrána varianta C – parabolická křivka. Výpočtový model byl vytvořen jako prutový v programu Midas Civil. Konstrukce vyhovuje požadavkům na mezní stav únosnosti a použitelnosti po celou dobu životnosti. Ke zvolené variantě byl zpracován statický výpočet výkresová dokumentace a vizualizace.



## 14 POUŽITÉ ZDROJE

- [1] ČSN EN 1991-2 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – část 2: Zatížení mostů dopravou, Praha: ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT, 2005
- [2] ČSN EN 1992-1-1 Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí – část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní komunikace, Praha: ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT, 2006
- [3] NEČAS, Jan KOLÁČEK a Josef PANÁČEK. BL12 – Betonové mosty I: zásady navrhování. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, 2014. Studijní opory pro studijní programy s prezenční formou studia. ISBN 978-80-214-4979-4.
- [4] FREYSSINET CS, a.s.. Elastomerová ložiska [online]. Dostupné z: [https://www.freyssinet.cz/gallery/loziska\\_elastomerova.pdf](https://www.freyssinet.cz/gallery/loziska_elastomerova.pdf)
- [5] FREYSSINET CS, a.s.. Předpínací systém Freyssinet [online]. Dostupné z: [https://www.freyssinet.cz/gallery/predpinaci\\_system\\_freyssinet.pdf](https://www.freyssinet.cz/gallery/predpinaci_system_freyssinet.pdf)



## 15 SEZNAM PŘÍLOH

### P1 – Podklady, studie a vizualizace

P1.01	PODKLAD
P1.02	VARIANTA A
P1.03	VARIANTA B
P1.04	VARIANTA C
P1.05	VIZUALIZACE

### P2 – Přehledné a podrobné výkresy

P2.01	PŮDORYS
P2.02	PODÉLNÝ ŘEZ A-A
P2.03	PŘÍČNÝ ŘEZ B-B
P2.04	PŘÍČNÝ ŘEZ C-C
P2.05	PŘÍČNÝ ŘEZ D-D
P2.06	VÝKRES BETONÁŘSKÉ VÝZTUŽE
P2.07	VÝKRES PŘEDPÍNACÍ VÝZTUŽE

### P3 – Statický výpočet

## 16 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 - Půdorys.....	10
Obrázek 2 - Vybrané příčné řezy.....	11
Obrázek 3 - Boční pohled .....	11
Obrázek 4 - Prutový model .....	14
Obrázek 5 - Axonometrický pohled na model.....	15
Obrázek 6 - Zatížení od zábradlí .....	18
Obrázek 7 - Reakce od zatížení ze zábradlí.....	18
Obrázek 8 - Proměnné zatížení - chodci.....	19
Obrázek 9 - Zatížení davem lidí .....	19
Obrázek 10 - Zatížení od ekvivalentního předpětí .....	20
Obrázek 11 - Rovnoměrné zatížení od ekv. Předpětí.....	20
Obrázek 12 - Výsledný průběh při rovné niveletě .....	21
Obrázek 13 - Průběh kabelů na skutečné niveletě .....	21
Obrázek 14 - Graf zobrazující místo vzniku trhlin u dolních vláken .....	27
Obrázek 15 - Graf zobrazující místo vzniku trhlin na horních vláknech.....	28
Obrázek 16 - Graf obálky posouvajících sil.....	28
Obrázek 17 - Průběh ohybových momentů od kombinace 6.10a .....	29
Obrázek 18 - Schéma výztuže .....	31
Obrázek 19 - Uspořádání pilot pod stojkou .....	32
Obrázek 20 - Schéma zatížení na mikropiloty .....	32
Obrázek 21 - Deskostěnový model mostovky ve SCII .....	33
Obrázek 22 - Pohled na kotevní oblast.....	33
Obrázek 23 - Návrh šroubovice .....	34

## 17 SEZNAM TABULEK

Tabulka 3 - Součinitelé $\Psi$ pro mosty pozemních komunikací .....	22
Tabulka 4 - Kombinace zatížení MSP .....	22
Tabulka 5 - Kombinace zatížení pro MSÚ .....	23
Tabulka 7 - Hodnoty napětí po dlouhodobých ztrátách předpětí .....	25