



# 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

## JEDNOTRÁMOVÝ MOST

ONE SPAN TEE BEAM BRIDGE

### BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Alžběta Lachová

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. JAN KOLÁČEK, Ph.D.

BRNO 2021



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

<b>Studijní program</b>	B3607 Stavební inženýrství
<b>Typ studijního programu</b>	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
<b>Studijní obor</b>	3647R013 Konstrukce a dopravní stavby
<b>Pracoviště</b>	Ústav betonových a zděných konstrukcí

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

<b>Student</b>	Alžběta Lachová
<b>Název</b>	Jednotrámový most
<b>Vedoucí práce</b>	Ing. Jan Koláček, Ph.D.
<b>Datum zadání</b>	30. 11. 2020
<b>Datum odevzdání</b>	28. 5. 2021

V Brně dne 30. 11. 2020

---

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 736201: 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: na základě doporučení vedoucím práce

## ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Na zadaný problém zpracujte dvě až tři studie konstrukce o jednom poli včetně jejich zhodnocení. Dále se zaměřte na návrh vybrané jednotrámové konstrukce o jednom poli. Pro kolmý most můžete provést úpravy v niveletě, popř. v profilu řeky včetně délky přemostění. Dimenzování proveďte podle mezních stavů v rozsahu stanoveném vedoucím práce.

Ostatní úpravy provádějte podle pokynů vedoucího práce.

Požadované výstupy:

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

Přílohy textové části:

P1. Podklady, studie a vizualizace

P2. Přehledné a podrobné výkresy zvoleného návrhu mostu

P3. Statický výpočet (v rozsahu určeném vedoucím práce)

Bakalářská práce bude odevzdána v listinné a elektronické formě a pro ÚBZK 1x na CD.

## STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ 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. Jan Kolářek, Ph.D.  
Vedoucí bakalářské práce

## **ABSTRAKT**

Cílem této bakalářské práce je návrh silničního mostu o jenom poli. Most převádí komunikaci kategorie S7,5 přes říční tok. Byly navrženy 3 varianty, ze kterých byla varianta A dále zpracována. Jedná se o jednotrámovou dodatečně předpjatou konstrukci o rozpětí 24 m. Konstrukce je navržena a posouzena na mezní stav únosnosti a mezní stav použitelnosti. Výpočet účinků zatížení probíhal za pomoci programu Scia Engineer 19.1. s kontrolou ručním výpočtem v programu Excel.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Beton, Jednotrámový most, Dodatečně předpjatý, Mezní stav únosnosti, Mezní stav použitelnosti, Ztráty předpětí

## **ABSTRACT**

The goal of this bachelor Thesis is to design a single span road bridge. The bridge will transfer a road of a S7,5 category over local river. Three possible variations were designed, from which option A will be used for further design and calculations. This bridge is a monolithic single-girder post-prestressed construction with a span of 24 m. The structure has been calculated for the ultimate limit state and the service limit state. The calculations of the load effects were done manually as well as in software Scia Engineer 19.1.

## **KEYWORDS**

Concrete, single - girder bridge, Post – prestressed, Ultimate limit state, Service limit state, Prestress losses

## BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Alžběta Lachová *Jednotrámový most*. Brno, 2021. 28 s., 110 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav betonových a zděných konstrukcí. Vedoucí práce Ing. Jan Koláček, Ph.D.

## PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané bakalářské práce s názvem *Jednotrámový most* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 28. 5. 2021

---

Alžběta Lachová  
autor práce

## PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem *Jednotrámový most* zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 25. 5. 2021

---

Alžběta Lachová  
autor práce

## PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěla poděkovat všem vyučujícím, kteří v nás vzbudili zájem o obor Konstrukce a dopravní stavby a pomohli nám získat vědomosti potřebné k vypracování bakalářské práce. Především bych chtěla poděkovat panu Ing. Janu Kolářkovi, Ph.D. za jeho vedení, rady a vstřícnost při zpracovávání bakalářské práce. Velice mě obohatil i předmět BL054, kde jsme se pod jeho zkušeným vedením zdokonalili v práci s programy, se kterými bychom se sami jen těžko potáceli. Dále bych chtěla poděkovat své studijní skupině B4K1 za spolupráci během celého studia a vzájemnou morální podporu.

## Obsah

ÚVOD .....	10
PRŮVODNÍ A TECHNICKÁ ZPRÁVA .....	11
1. Varianty .....	12
1.1. Varianta A .....	12
1.2. Varianta B .....	13
1.3. Varianta C .....	13
1.4. Výběr varianty .....	14
2. TECHNICKÉ ŘEŠENÍ MOSTU .....	14
2.1. Hlavní nosná konstrukce .....	14
2.2. Mostní svršek .....	14
2.3. Uložení konstrukce .....	15
2.4. Mostní závěry .....	15
2.5. Odvodnění .....	15
3. MATERIÁLOVÉ CHRAKTERISTIKY .....	15
3.1. Beton C30/37 .....	15
3.2. Předpínací výztuž .....	16
3.3. Betonářská výztuž .....	16
4. ČASOVÝ HARMONOGRAM A POSTUP VÝSTAVBY .....	16
5. STATICKÉ ŘEŠENÍ .....	18
5.1. Výpočtový model .....	18
5.2. Stálé zatížení .....	20
5.2.1. Vlastní tíha .....	20
5.2.2. Ostatní stálé zatížení .....	20
5.3. Zatížení dopravou .....	20
5.4. Kombinace .....	21
5.5. Předpětí .....	21
5.6. Ztráty předpětí .....	22
5.7. Mezní stav použitelnosti .....	23
5.8. Mezní stav únosnosti .....	23
5.9. Příčný směr .....	23
5.10. Nadzvednutí z ložisek - $E_{Qu}$ .....	24
6. KOTEVNÍ OBLAST .....	25
7. ZÁVĚR .....	26

8.	SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK.....	27
9.	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ .....	28
10.	SEZNAM PŘÍLOH .....	29

## ÚVOD

Tato bakalářská práce se zabývala návrhem a posouzením mostu přes místní říční tok. Přesné umístění mostu nebylo zadáno. Terén byl vytvořen jako podklad pro návrh. Most bude převádět komunikaci kategorie S7,5 mezi městy Brno a Olomouc přes řeku Moravu.

Byly navrženy 3 varianty možného provedení nosné konstrukce. Byl vybrána varianta A, která byla dále zpracována pro detailnější návrh, zpracování dokumentace a statické posouzení nosné konstrukce.

Spodní stavba byla navržena pro zjednodušení práce pouze geometricky podle vzorových listů. Byl uvažován pouze vliv svislých účinků zatížení, vodorovné účinky zatížení nebyly brány v úvahu. Výpočet účinků zatížení byl proveden pomocí programu Scia Engineer 19.1. s ruční kontrolou za pomoci výpočetního programu MS Excel. Přílohami ke statickému výpočtu jsou výkresová dokumentace a vizualizace zpracované varianty.

## PRŮVODNÍ A TECHNICKÁ ZPRÁVA

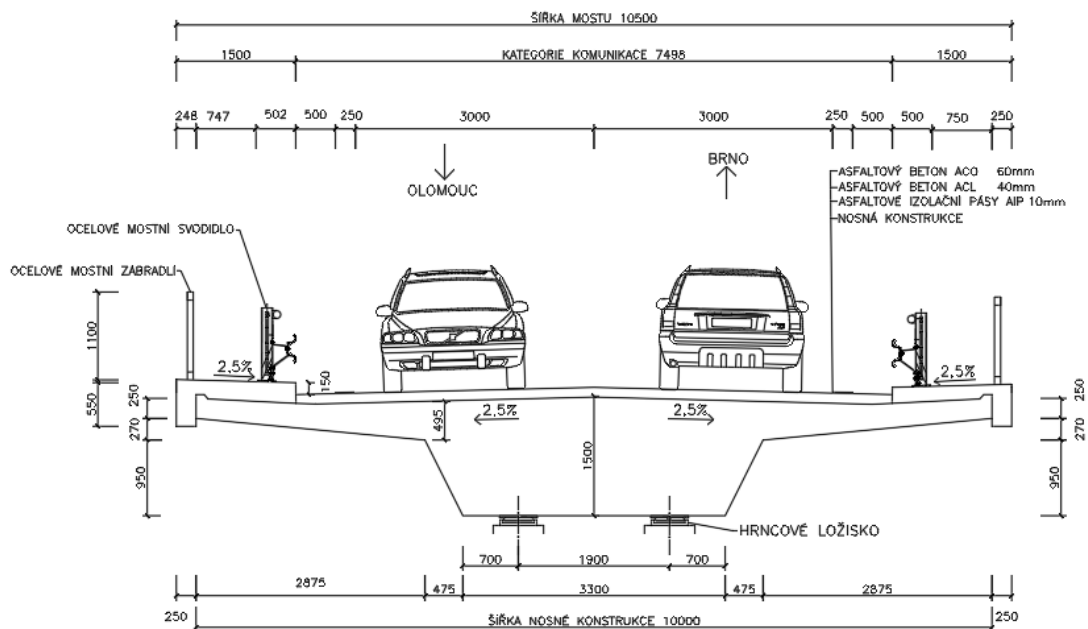
Stavba:	Trámový silniční most
Název mostu:	Jednotrámový most
Kraj:	Olomoucký
Úhel křížení:	90 °
Převáděná komunikace:	Silnice III. Třídy
Staničení:	9,100 000 km – 9,124 000 km
Poloha mostovky:	horní
Návrhová životnost:	100 let
Počet polí:	1
Délka přemostění:	22,4 m
Délka nosné konstrukce:	25 m
Délka mostu:	33,75 m
Šířka mostu:	10,5 m
Šířka nosné konstrukce:	10 m
Šířka vozovky:	7,5 m
Šířka chodníků:	0,75 m
Šířka říms:	1,5 m
Podélný sklon:	-1% ve směru staničení
Příčný sklon:	2,5 % střežovitý

## 1. Varianty

V rámci studie byly navrženy 3 varianty příčného řezu konstrukce. Všechny varianty se liší jen malými rozdíly. Uložení i spodní stavba by byla pro všechny varianty shodná.

### 1.1. Varianta A

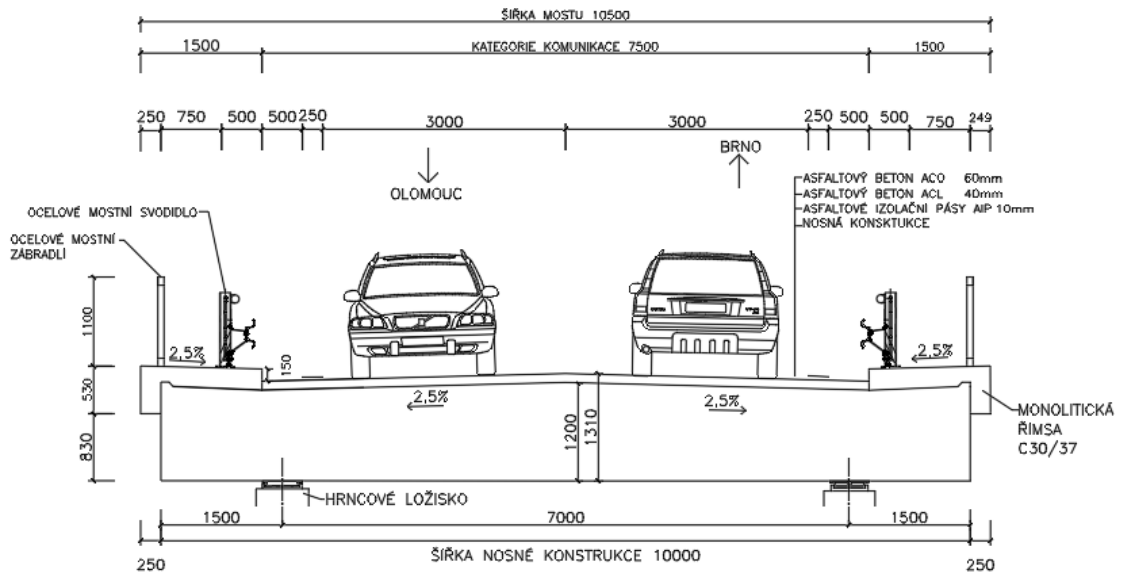
První variantou je deskotrámový průřez s jedním hlavním nosníkem. Maximální výška nosníku je v jeho polovině, 1500 mm. Do obou stran jsou náběhy o šířce 0,475 m a následně vykonzolené dvě části délky 2,875 m. Výška vyložení v nejužším bodě na konci je 250 mm. Horní povrch kopíruje střechovitý sklon vozovky 2,5 %. Na obou stranách se nachází římsy s nouzovými chodníky. Římsy mají sklon 2,5% směrem do středu komunikace. Celková šířka mostu je 10,5 m s šířkou nosné konstrukce 10 m. Průřez je monolitický, dodatečně předepnutý ve střední části.



Obr. 1 Varianta A

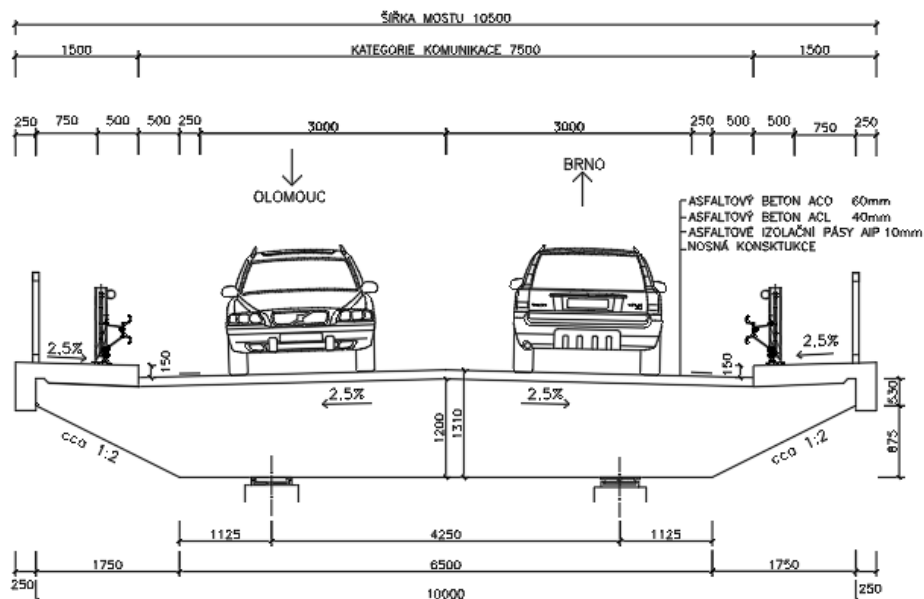
## 1.2. Varianta B

Varianta B je tvořena prostě podepřenou deskou. Výška v nejvyšším bodě byla zvolena 1200 mm. Šířka nosné konstrukce je 10 m. Deska je rovnoměrně předepnuta po celé šířce, všechny kabely mají stejný parabolický průběh. Spodní hrana desky je vodorovná. Horní hrana kopíruje příčný střešovitý sklon vozovky 2,5 %. Na římsách s nouzovými chodníky je sklon 2,5% směrem do komunikace.



Obr. 2 Varianta B

## 1.3. Varianta C



Obr. 3 Varianta C

Varianta C je tvořena prostě podepřenou deskou s náběhy. Výška v nejvyšším bodě nosné konstrukce je 1200 mm. Šířka střední části je 6,5 m s náběhy na obou stranách o šířce 1750 mm. Na krajích má deska tloušťku 530 mm. Po obou stranách jsou římsy s příčným sklonem 2,5 % do komunikace. Příčný sklon nosné konstrukce je shodný se sklonem komunikace, střešovitý 2,5 %. Deska je dodatečně předpjata kabely ve střední části, které jsou rovnoměrně rozmístěny.

#### 1.4. Výběr varianty

Po dohodě s vedoucím bakalářské práce byla zvolena varianta A. Výhodou této možnosti je především estetický vzhled, který působí oproti deskovým průřezům elegantněji. Deskotrémový průřez splňuje technické a požadavky účelu mostu a jedná se o tvar s poměrně jednoduchým provedením bednění.

## 2. TECHNICKÉ ŘEŠENÍ MOSTU

### 2.1. Hlavní nosná konstrukce

Hlavní nosná konstrukce je tvořena dodatečně předpjatou monolitickou jednotrámovou konstrukcí z betonu třídy C30/37. Délka nosné konstrukce je 25 m a samotné rozpětí je 24 m. Celková šířka mostu je 10,5 m, z nějž je šířka nosné konstrukce 10 m. Trám má v nejvyšším bodě výšku 1,5 m, šířku dolní hrany 3,3 m a šířku horní hrany 10 m. Deska je symetricky vyložena na obě strany o 2,875 m. Příčný sklon kopíruje střešovitý sklon převáděné komunikace 2,5 %. Podélný sklon je také totožný se sklonem komunikace 1%.

### 2.2. Mostní svršek

Konstrukce vozovky je tuhá o celkové tloušťce 110 mm.

Skladba vrstev:

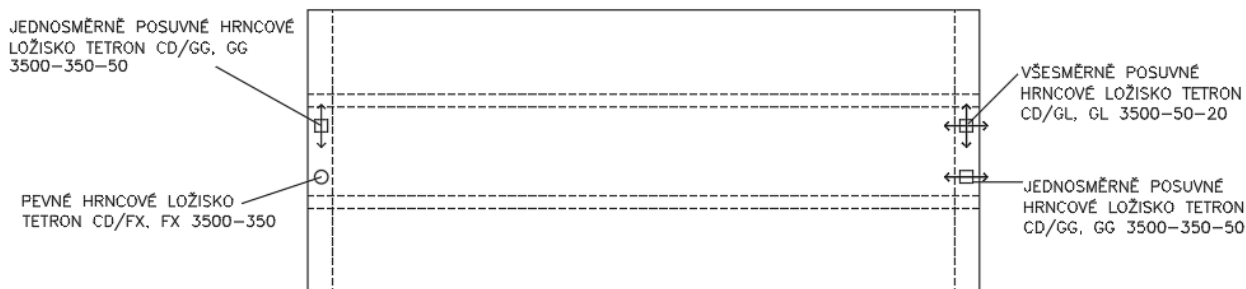
Asfaltový beton pro obrusné vrstvy ACO 11+	tl. 60 mm
Asfaltový beton pro ložné vrstvy ACL 16 +	tl. 40 mm
Asfaltový izolační pás AIP	tl. 10 mm

Římsy jsou navrženy z monolitického betonu C 30/37, XF4. Šířka obou říms je 1,5 m s příčným sklonem 2,5 % a přečnívající přes nosnou konstrukci 250 mm. Podélná sklon říms je stejný jako vozovky, 1%. Spodní líc říms je spádovaný a opatřený uzubem. Římsy budou sloužit jako nouzové chodníky o šířce průchozího prostoru 0,75 m.

Most je vybaven mostním svodidlem typu ZSNH4 po celé délce komunikace. Na římsách budou za svodidly také mostní zábradlí z otevřených válcovaných profilů výšky 1,10 m nad povrchem římsy. Mostní zábradlí budou osazena na celou délku mostu a budou končit s koncem křídla zkosením dolů.

### 2.3. Uložení konstrukce

Konstrukce je uložena na čtyřech hrncových ložiscích Freyssinet Tetron CD pro maximální vertikální sílu 3500 kN. Na opěře 1 je jedno ložisko kloubové a jedno ložisko posuvné v příčné směru. Na opěře 2 je jedno ložisko posuvné v podélném směru a druhé ložisko umožňující posun v obou směrech.



Obr. 4 Schéma ložisek

### 2.4. Mostní závěry

Pro obě strany je navržen mostní závěr Freyssinet CIPEC JEP s jednoduchým těsněním spáry.

### 2.5. Odvodnění

Voda z povrchu vozovky je odváděna příčným sklonem 2,5 % a podélným sklonem 1%. Odvodnění je zlepšeno navrženým odvodňovacím proužkem na obou stranách. Za rubem opěr je umístěno drenážní žebro ze ztuhnutého Štěrkopísku 0/32 mm a perforované potrubí DN 150 uložené do podkladního betonu tl. 100 mm s příčným sklonem 4 %. Odtud je voda odvedena potrubím do koryta.

## 3. MATERIÁLOVÉ CHRAKTERISTIKY

Stupeň vlivu prostředí	XD1
Stupeň konzistence čerstvého betonu	S2

### 3.1. Beton C30/37

Hlavní nosná konstrukce	C30/37, XC4, XF2, XD1
Monolitické římsy	C30/37, XC4, XF4, XD3
Základy opěr, piloty	C30/37, XC2, XF2, XD2
Úložný práh s opěrnou zdí	C30/37, XC4, XF2, XD2

Charakteristická válcová pevnost v tlaku	$f_{ck} = 30 \text{ MPa}$
Charakteristická krychelná pevnost	$f_{ck} = 37 \text{ MPa}$
Součinitel spolehlivosti	$\gamma_c = 1,5$
Součinitel účinků zatížení na tlak	$\alpha_{cc} = 0,9$
Součinitel účinků zatížení na tah	$\alpha_{ct} = 1$
Střední hodnota pevnosti v tahu	$f_{ctm} = 2,9 \text{ MPa}$
5% kvantil pevnosti v tahu	$f_{ctk0,05} = 2 \text{ MPa}$
Návrhová pevnost v tlaku	$f_{cd} = \alpha_{cc} * \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 18 \text{ MPa}$
Návrhová pevnost betonu v tahu:	$f_{ctd} = \alpha_{ct} * \frac{f_{ctk0,05}}{\gamma_c} = 1,333 \text{ MPa}$
Modul pružnosti	$E_{cm} = 32 \text{ GPa}$
Mezní přetvoření	$\epsilon_{cu3} = 3,5 \%$

### 3.2. Předpínací výztuž

Typ výztuže	Y1860 S7-15,7- A
Součinitel spolehlivosti	$\gamma_p = 1,15 \text{ MPa}$
Charakteristická pevnost v tahu	$f_{pk} = 1860 \text{ MPa}$
Smluvní mez kluzu	$f_{p0,1k} = 1640 \text{ MPa}$
Modul pružnosti	$E_p = 195 \text{ GPa}$
Průměr lana	$\varnothing_{p,1} = 15,7 \text{ mm}$
Plocha lana	$A_{p1} = 150 \text{ mm}^2$
Průměr kanálku	$\varnothing_{duct} = 80 \text{ mm}$
Návrhová pevnost v tahu	$f_{pd} = \frac{f_{p0,1k}}{\gamma_p} = 1426,087 \text{ MPa}$

### 3.3. Betonářská výztuž

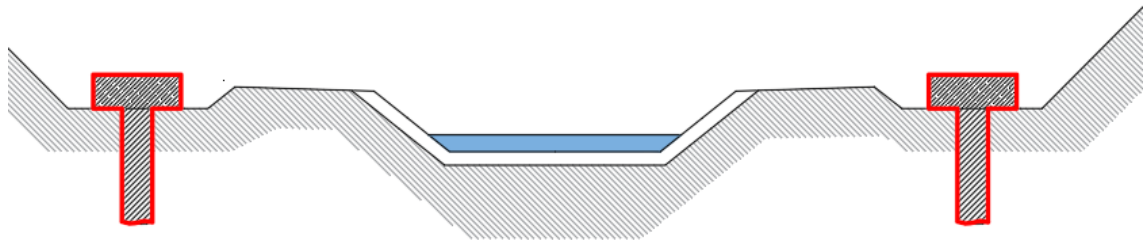
Druh oceli	B500B
Součinitel spolehlivosti	$\gamma_s = 1,15 \text{ MPa}$
Charakteristická pevnost v tahu	$f_{yk} = 500 \text{ MPa}$
Modul pružnosti	$E_s = 200 \text{ GPa}$
Mezní přetvoření	$\epsilon_{yd} = 2,17 \%$
Návrhová pevnost v tlaku	$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = 434,78 \text{ MPa}$

## 4. ČASOVÝ HARMONOGRAM A POSTUP VÝSTAVBY

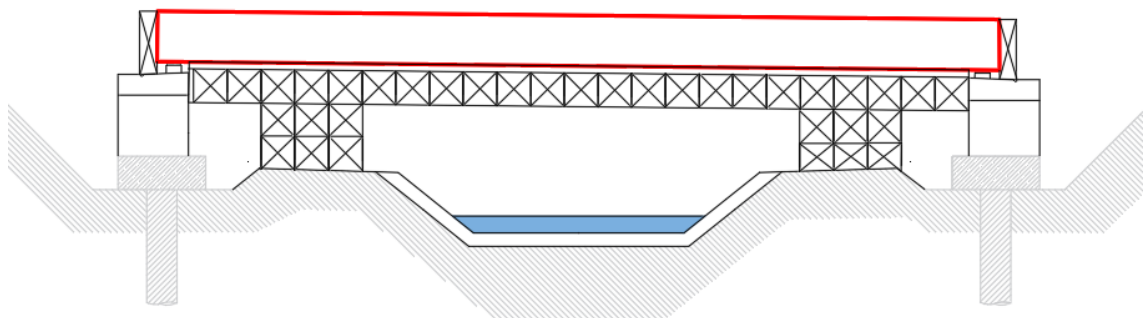
Vybetonování	0 dnů
Ošetřování $t_s$	5 dnů
Vnesení předpětí $t_0$	28 dnů
Ostatní stálé zatížení $t_g$	150 dnů
Uvedení do provozu $t_q$	210 dnů
Životnost mostu $t_\infty$	100 let

Postup výstavby:

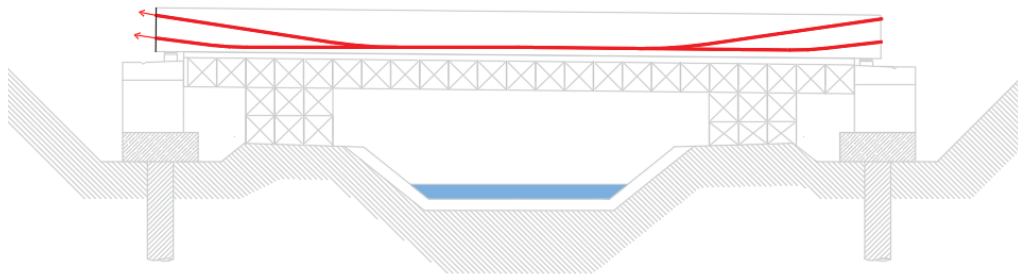
1. Skrývka ornice
2. Výkopové práce
3. Betonáž základů a pilot
4. Betonáž opěr
5. Zásyp a hutnění zeminy za opěrami
6. Osazení ložisek
7. Bednění a betonáž hlavní nosné konstrukce
8. Předepnutí nosné konstrukce
9. Dobetonování kotevní oblasti, závěrné zdi a křídel
10. Montáž a nastavení mostních závěrů, izolace konstrukce
11. Bednění a betonáž říms
12. Zřízení vozovky
13. Osazení svodidel, zábradlí a prvků odvodnění
14. Dokončovací práce
15. Statické zatěžovací zkoušky
16. Uvedení do provozu



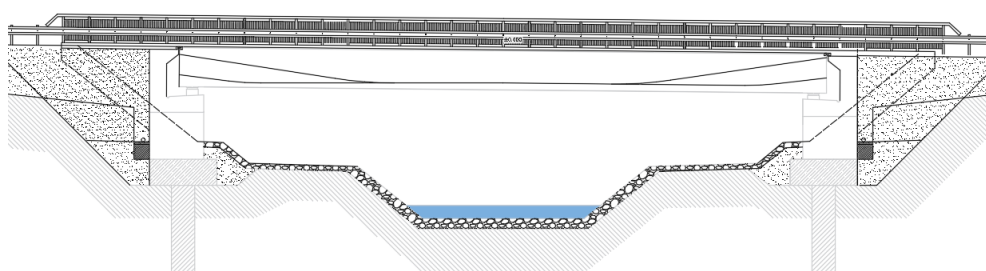
Obr. 5 Betonáž Základů a pilot



Obr. 6 Betonáž hlavní nosné konstrukce



Obr. 7 Předepnutí nosné konstrukce

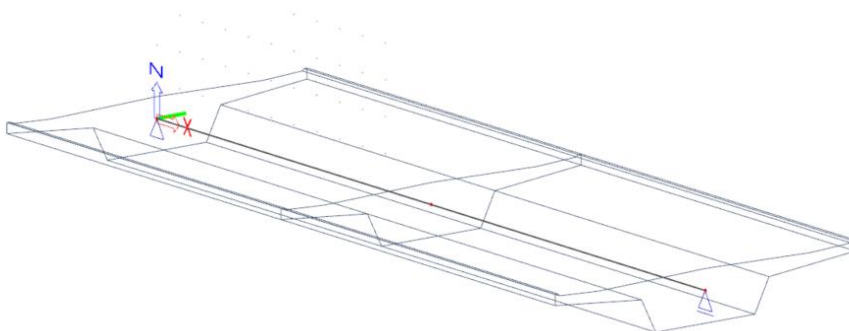


Obr. 8 Dokončení stavby

## 5. STATICKÉ ŘEŠENÍ

### 5.1. Výpočtový model

Pro stanovení vnitřních sil a napětí byl použit prutový model konstrukce o rozpětí 24 m, prostě uložený na obou koncích. Vnitřní síly na modelu byly určeny v programu Scia Engineer 19.1., zkontrolovány ručním výpočtem a použity jako podklad pro návrh předpětí.



Obr. 9 Prutový model v programu Scia Engineer 19.1.

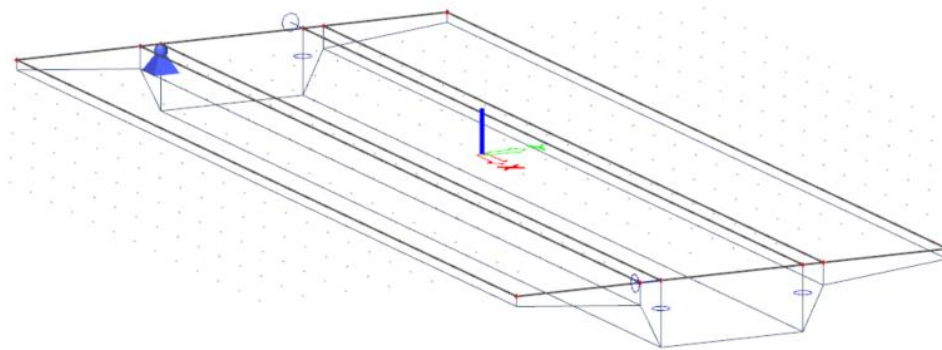
Po navržení počtu a rozmístění předpínacích kabelů byly průřezové charakteristiky opraveny, tak aby byly oslabeny o kanálky výztuže.

Při výpočtu Mezního stavu únosnosti v příčném směru byl použit deskový model konstrukce. Z nějž byly zjištěny maximální vnitřní síly pro vyložené části průřezu a použity pro jejich dimenzování. Rozhodovalo se mezi dvěma variantami deskového modelu a byla vybrána ta, která více odpovídala reálným účinkům. Deskový model byl podepřen čtyřmi podporami, jednou pevnou, dvěma posuvnými v jednom směru a jednou posuvnou v obou směrech.

Obě varianty byly zkontrolovány velikostí reakcí v podporách ručním výpočtem. Jako vhodnější byla vybrána varianta č. 2.

#### Varianta č. 1

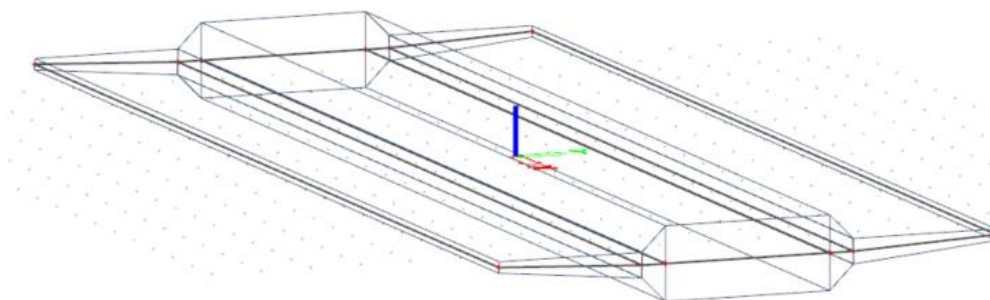
Varianta deskového modelu č. 1 má rovinu desky při horním povrchu a tloušťky jsou proměnné. Tato varianta lépe vizuálně odpovídá tvaru průřezu.



Obr. 10 Varianta deskového modelu č. 1

#### Varianta č. 2

Varianta deskového modelu č. 2 má zakřivenou střednici a proměnlivé výšky. Vizuálně sice tolik neodpovídá skutečnému průřezu, avšak pro výpočet je vhodnější, protože zakřivená střednice odpovídá střednici, na kterou bylo roznášeno zatížení od dopravy.



Obr. 11 Varianta deskového modelu č. 2

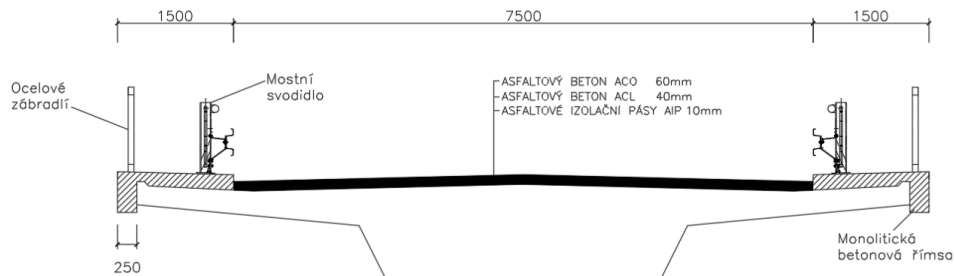
## 5.2. Stálé zatížení

### 5.2.1. Vlastní tíha

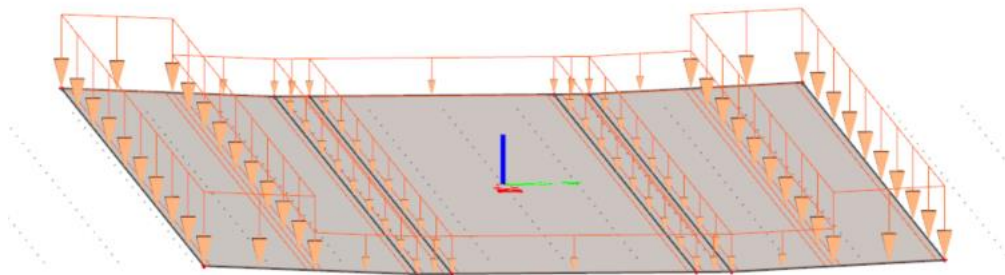
Zatížení od vlastní tíhy bylo vygenerováno z programu Scia Engineer 19.1. a zkontrolováno ručním výpočtem.

### 5.2.2. Ostatní stálé zatížení

Do ostatního stálého zatížení byla uvažována skladba vozovky, římsy, mostní zábradlí a svodidla. Pro prutový model bylo uvažováno jako liniové zatížení a pro deskový jako plošné zatížení.



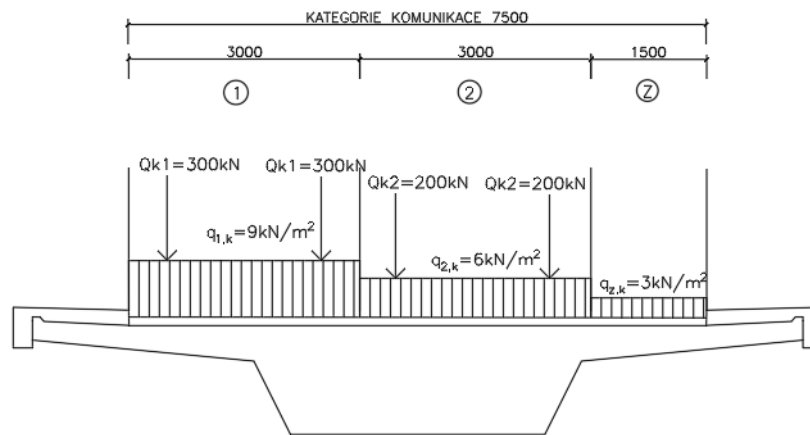
Obr. 12 Ostatní stálé zatížení



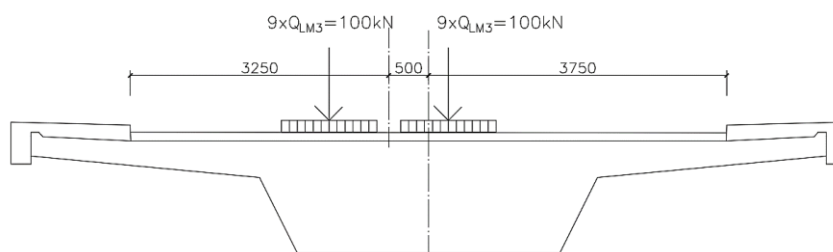
Obr. 13 Působení ostatního stálého zatížení

## 5.3. Zatížení dopravou

Zatížení mostu pozemních komunikací bylo stanoveno dle ČSN EN 1991-2. Byly uvažovány sestavy zatížení gr1a a gr5. pro sestavu gr1a odpovídající modely zatížení LM1 složený z TS a UDL a pro gr5 LM3. Pro LM1 byla vozovka rozdělena na dva dopravní pruhy o šířce 3 m a zbytek o šířce 1,5 m. Pro LM3 bylo uvažováno zvláštní vozidlo 1800/200 – 9 náprav po 200 kN, které bylo umístěno 0,5 m od osy mostu.



Obr. 14 Rozmístění LM1



Obr. 15 Rozmístění LM3

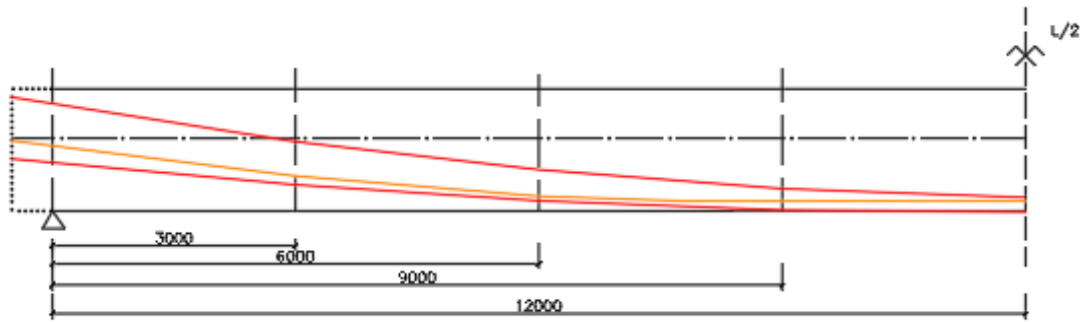
## 5.4. Kombinace

Pro Mezní stav únosnosti byly použity kombinace 6.10a a 6.10b. pro mezní stav použitelnosti byly použity kombinace – charakteristickou, častou a kvazistálou pro sestavu gr1a a charakteristická kombinace pro sestavu gr5.

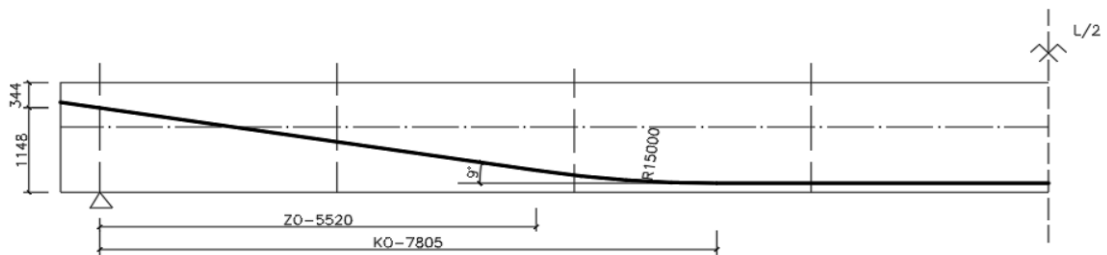
Nejméně příznivá byla pro MSÚ kombinace 6.10b a pro MSP kombinace charakteristická sestavy gr5.

## 5.5. Předpětí

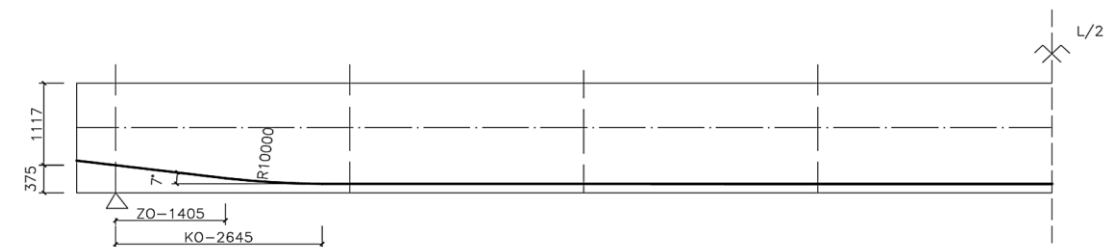
Předpětí bylo navrženo pomocí metody omezení napětí pro častou, charakteristickou a kvazistálou kombinaci v čase  $t_{\infty}$  a  $t_0$ . Pro určení těchto hodnot byla odhadnuta průměrná excentricita všech kabelů. Při maximálním kotevním napětí  $\sigma_{p,max} = 1476$  MPa byla hodnota okamžitých ztrát uvažována 10%. Pro napětí po okamžitých ztrátách  $\sigma_{p,m0} = 1328,4$  MPa byla určena potřebná plocha předpínací výztuže  $A_{p,req} = 1,68 \cdot 10^{-2} \text{m}^2$ . Na základě toho bylo navrženo 11 kabelů po 11 lanech Y1860 S7-15,7. Dovolená napětí v jednotlivých kombinacích byla použita pro stanovení maximální a minimální excentricity průměrovacího kabelu. Navrženo bylo zvedat 6 z 11 kabelů, 5 bude přímých. V původním návrhu bylo všech 11 kabelů zvedaných, protože to průřez dovozoval, to však bylo změněno kvůli nedodržení podmínky, aby průměrovací kabel byl nad ložisky pod úrovní těžiště průřezu a kvůli nevyhovujícímu návrhu kotevní oblasti.



Obr. 16 Poloha průměrovacího kabelu (oranžová)



Obr. 17 Trasování horních kabelů



Obr. 18 Trasování spodních kabelů

## 5.6. Ztráty předpětí

Ztráta pokluzem a třením byly použity z programu Scia Engineer 19.1. Zbylé krátkodobé ztráty byly spočítány ručně v programu Excel.

Třením	$\Delta\sigma_{p,\mu} =$	-66,657	MPa
Pokluzem	$\Delta\sigma_{p,sl} =$	-14,380	MPa
Post. napínáním	$\Delta\sigma_{p,el} =$	-17,824	MPa
Krát. relaxace	$\Delta\sigma_{p,r,t0} =$	-7,786	MPa

Tab. 1 Souhrn krátkodobých ztrát

Velikost krátkodobých ztrát byla 7,225 %, což bylo příznivější, než náš počáteční odhad 10%.

Dlouhodobé ztráty byly taktéž počítány ručně a vyšly na 7,569 %.

Smršťování	$\Delta\sigma_{cs} =$	-37,946	MPa
Dotvarování $t_0$	$\Delta\sigma_{pc}(t_0) =$	-61,35448	MPa
Dotvarování $t_g$	$\Delta\sigma_{pc}(t_g) =$	15,82	MPa
Dlouhodobá relaxace	$\Delta\sigma_{pr}(t_\infty) =$	-59,629	MPa
Pružné přetvoření $t_{g1}$	$\Delta\sigma_{p,el,g1} =$	10,964	MPa
Pružné přetvoření $t_q$ – char. k.	$\Delta\sigma_{p,el,qk} =$	30,304	MPa
Pružné přetvoření $t_q$ – častá k.	$\Delta\sigma_{p,el,qk,\psi1} =$	18,713	MPa

Tab. 2 Souhrn dlouhodobých ztrát

### 5.7. Mezní stav použitelnosti

Výpočet byl proveden v polovině rozpětí v čase  $t_0$  pro charakteristickou kombinaci a v čase  $t_\infty$  pro charakteristickou a kvazistálou kombinaci. Konstrukce byla také posouzena na omezení trhlin od časté kombinace v čase  $t_\infty$ .

Průhyb byl spočítán v polovině rozpětí pro okamžité i krátkodobé přetvoření. Přetvoření konstrukce způsobené proměnným zatížením v častých hodnotách bylo ověřeno limitní hodnotou průhybu  $L/600$ , která byla dodržena.

### 5.8. Mezní stav únosnosti

Při posouzení konstrukce na ohyb bylo zjištěno, že předpínací výztuž nepřenesla veškeré ohybové namáhání, proto byla navržena podélná betonářská výztuž  $10\phi 25$ .

Únosnost ve smyku byla rozdělena do dvou částí. První část, kde není očekáván vznik trhlin, do místa 6,192 m od podpory a druhá část, kde je očekáván vznik trhlin. Po celé délce konstrukce byly navrženy třmínky konstrukčně  $10\phi 10$  po 400 mm.

Při posouzení na podélný smyk nevyhověl průřez bez přídatné výztuže, potřebná plocha výztuže byla započítána do plochy výztuže navrhované v příčném směru na ohyb.

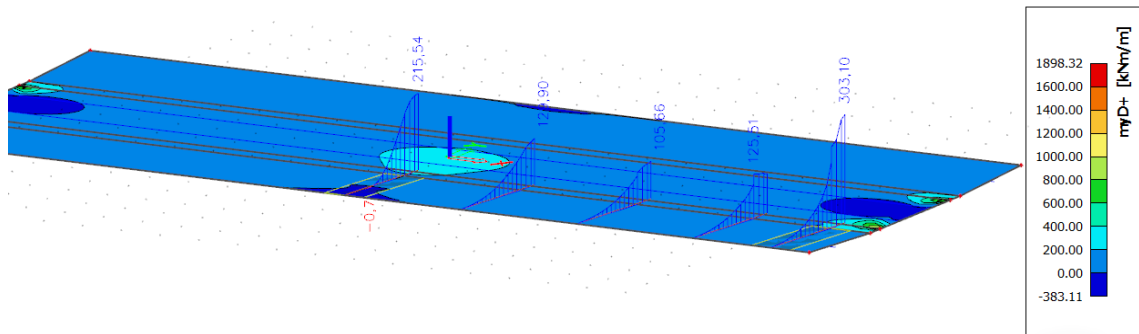
Při podrobnějším zpracování by bylo vhodné posoudit konstrukci i na kroucení, což za účelem zjednodušení nebylo součástí této práce.

### 5.9. Příčný směr

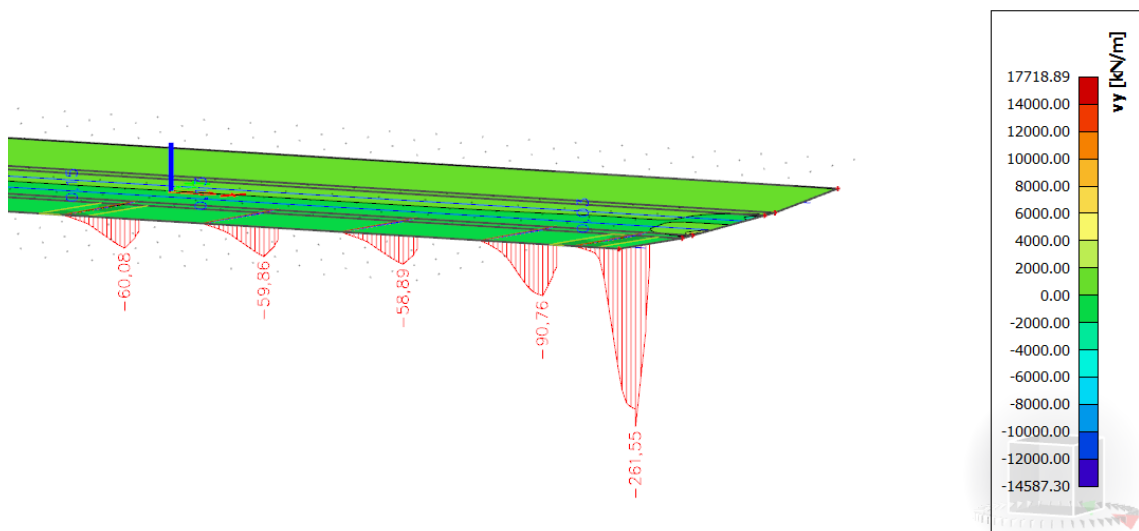
Příčný směr byl posouzen na mezní stav únosnosti. Zatížení od dopravy bylo umístěno tak, aby vyvolalo co největší účinky ve vyložených částech průřezu. Jízdní pruh 1 a 2 byly umístěny na kraje k obrubníkům a zbytkový pruh doprostřed. Hodnoty momentů i posouvajících sil byly brány pro vykonzolené části. Lokální extrémy, které vznikly v oblasti u podpor byly zprůměrovány integračním pásem o šířce 1 m, abychom se vyhnuli nepřiměřeným špičkám. Horní příčná výztuž byla navržena s přihlédnutím k potřebné ploše výztuže pro přenesení podélného smyku.

Navrženo bylo pro celý trám  $\varnothing 20$  po 200 mm. Dolní příčná výztuž byla navržena jako  $\varnothing 16$  po 200 mm.

Průřez svou smykovou únosností vyhověl a proto byla smyková výztuž navržena podle konstrukčních zásad. Ve vyložených částech byly jako smyková výztuž uplatněny spony  $\varnothing 8/400/200$ .



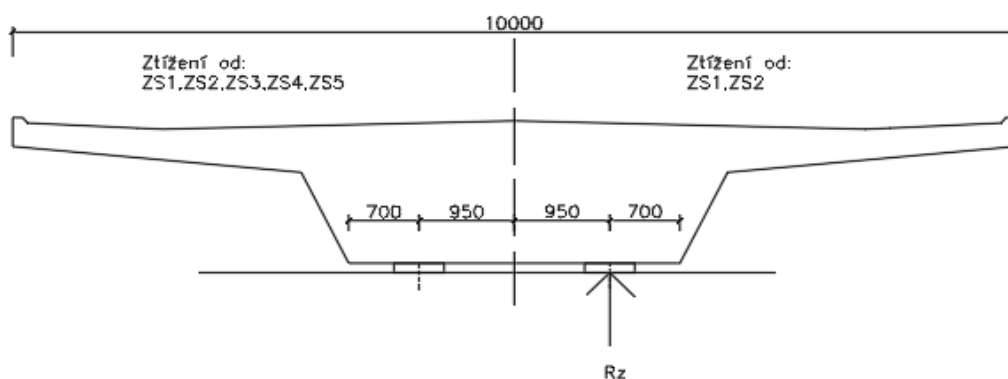
Obr. 19 Průběh  $myD+$  na deskovém modelu



Obr. 20 průběh  $vy$  na deskovém modelu

### 5.10. Nadzvednutí z ložisek - $E_{Qu}$

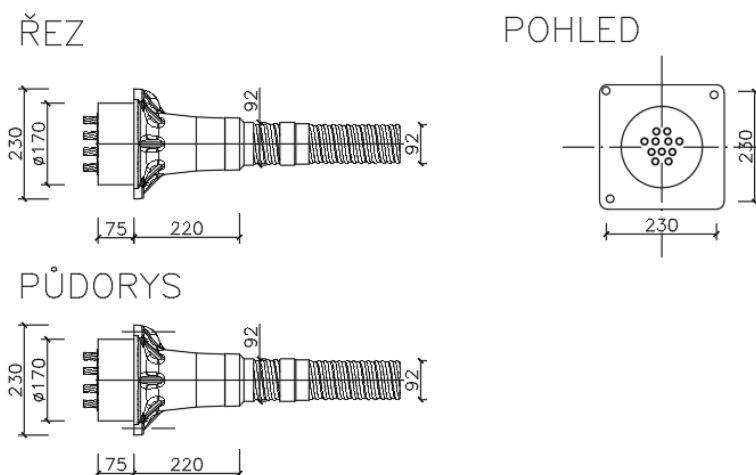
Při tomto posouzení byla veškerá zatížení od dopravy (LM1, LM3) uvažována pouze na jedné polovině mostu. Na celém mostu působilo zatížení od vlastní tíhy a ostatní stálé zatížení. V ložisku pod méně zatíženou polovinou byly zjištěny reakce na působící zatížení a posouzena kombinace, kde stálá zatížení byla se součinitelem 0,9 a zatížení vyvolávající tahovou reakci se součinitelem 1,35. posouzením kombinací bylo určeno, že v ložisku nevzniká celková tahová reakce, tady vyhovělo na nadzvednutí.



Obr. 21 Schéma posouzení  $E_{Qu}$

## 6. KOTEVNÍ OBLAST

Pro kotvení bylo navrženo 11 kotev typu VSL-GC 6 -12 lan. Kabely jsou vedeny v trubkách s žebry z vysokohodnotného polyethylenu (HDPE). Byly provedeny posouzení na soustředný tlak, který bude zaručen výrobcem. Po posouzení lokální oblasti pod kotvou byly navrženy spirály dle doporučení výrobce. Globální kotevní oblast bylo posouzena pomocí příhradové analogie, navrženo bylo 8 mříží tvořeno 23 svislými pruty a 4 vodorovnými pruty. Pro oblast u povrchu kotvy byly navrženy 2 pruty kolem každé kotvy.



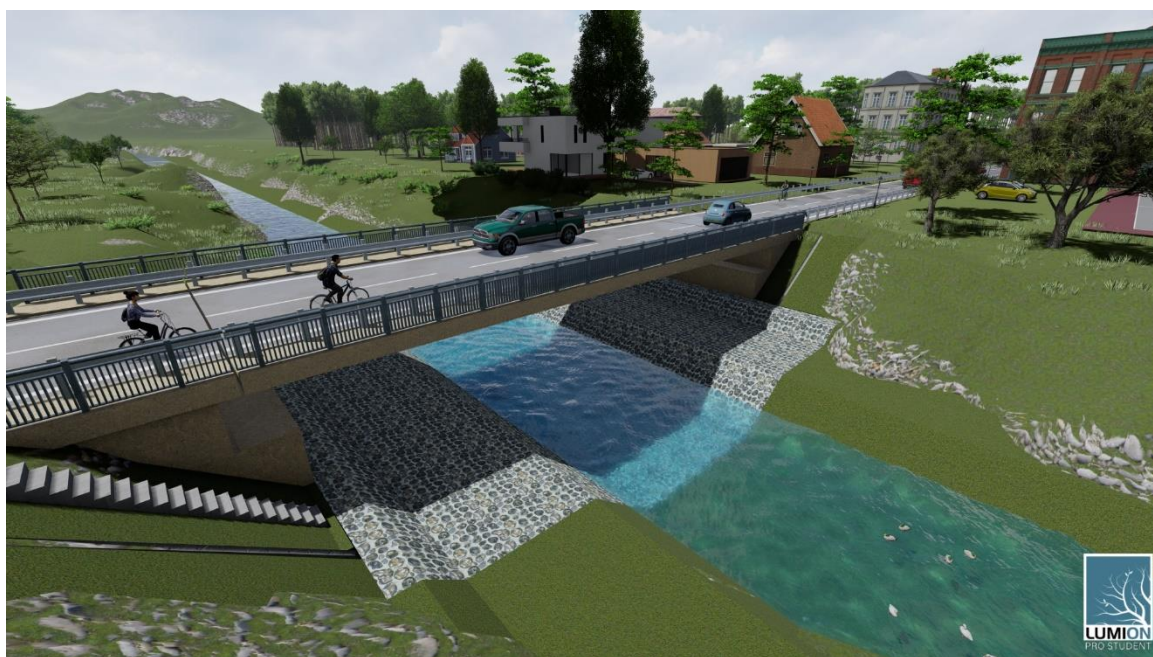
Obr. 22 Kotva VSL GC

## 7. ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo navrhnout silniční most o jednom poli. Na základě tří vypracovaných studií byla vybrána varianta A, která byla dále zpracována. Jedná se o jednotrámovou monolitickou konstrukci z dodatečně předpjatého betonu o jednom poli, která je uložena jako prostý nosník. Pro výpočet vnitřních sil byl stanoven prutový model v programu Scia Engineer 19.1. navrženo bylo 11 kabelů výztuže Y1860 S7-15,7 po 11 lanech.

Pro dimenzování výztuže v příčném směru byl vytvořen deskový model konstrukce, který byl jednou ze dvou variant. Sestavené modely byly zatíženy stálým zatížením i sestavami reprezentujícími proměnné zatížení dopravou pro silniční mosty. Ruční výpočty byly provedeny v programu Excel.

Byly stanoveny krátkodobé a dlouhodobé ztráty předpětí a konstrukce byla posouzena na mezní stav únosnosti a mezní stav použitelnosti podle nichž byla navržena betonářský výztuž. Závěrem byla posouzena kotevní oblast a navrženo její vyztužení. Veškerá předpínací i betonářská výztuž byla vypracována do výkresové dokumentace.



Obr. 23 Vizualizace mostu

## 8. SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK

Obr. 1 Varianta A .....	12
Obr. 2 Varianta B .....	13
Obr. 3 Varianta C .....	13
Obr. 4 Schéma ložisek.....	15
Obr. 5 Betonáž Základů a pilot.....	17
Obr. 6 Betonáž hlavní nosné konstrukce .....	17
Obr. 7 Předepnutí nosné konstrukce .....	18
Obr. 8 Dokončení stavby.....	18
Obr. 9 Prutový model v programu Scia Engineer 19.1. ....	18
Obr. 10 Varianta deskového modelu č. 1 .....	19
Obr. 11 Varianta deskového modelu č. 2 .....	19
Obr. 12 Ostatní stálé zatížení .....	20
Obr. 13 Působení ostatního stálého zatížení .....	20
Obr. 14 Rozmístění LM1 .....	21
Obr. 15 Rozmístění LM3.....	21
Obr. 16 Poloha průměrovacího kabelu (oranžová) .....	22
Obr. 17 Trasování horních kabelů.....	22
Obr. 18 Trasování spodních kabelů .....	22
Obr. 19 Průběh myD+ na deskovém modelu.....	24
Obr. 20 průběh vy na deskovém modelu.....	24
Obr. 21 Schéma posouzení $E_{Qu}$ .....	25
Obr. 22 Kotva VSL GC .....	25
Obr. 23 Vizualizace mostu .....	26
Tab. 1 Souhrn krátkodobých ztrát .....	22
Tab. 2 Souhrn dlouhodobých ztrát .....	23

## 9. SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

[1] NEČAS, Radim, Jan KOLÁČEK a Josef PANÁČEK. BL12 – Betonové mosty I: zásady navrhování. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, 2014. Studijní opory pro studijní programy s prezenční formou studia. ISBN 978-80-214-4979-4.

[2] ČSN 73 6201 Projektování mostních objektů

[3] ČSN EN 1992-1-1. Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí: Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby. 210 stran. Praha: Český normalizační institut, 2006.

[4] ČSN EN 1992-2. Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí: Část 2: Betonové mosty – Navrhování a konstrukční zásady. 90 stran. Praha: Český normalizační institut, 2007.

[5] VZOROVÉ LISTY STAVEB POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ: VL 4 – MOSTY. Praha: Ministerstvo dopravy, 2015.

[6] Podklady pro projektování: FREYSSINET CS a.s. 2011. Dostupné také z: [www.freyssinet.cz](http://www.freyssinet.cz)

[7] Poklady pro předmět BL011 – Předpjatý beton

[8] KOLÁČEK, Jan, 2020. BL012 Betonové mosty I (obor K) [online]. [cit. 2020-30-05]. Dostupné z: <https://www.fce.vutbr.cz/BZK/kolacek.j/BL12.html>

[9] VSL International, 2020 [online]. Dostupné z: <http://www.vsl.cz/sk/dodatocne-predpinanie/>

## 10. SEZNAM PŘÍLOH

### P1 – Podklady, studie a vizualizace

- P1 01: Podklady
- P1 02: Studie A
- P1 03: Studie B
- P1 04: Studie C
- P1 05: Vizualizace

### P2 – Přehledné a podrobné výkresy mostu

- P2 01: Situace
- P2 02: Podélný řez A – A´
- P2 03: Příčný řez B – B´
- P2 04: Příčný řez C – C´
- P2 05: Výkres betonářské výztuže
- P2 06: Výkres Předpínací výztuže

### P3 - Statický výpočet