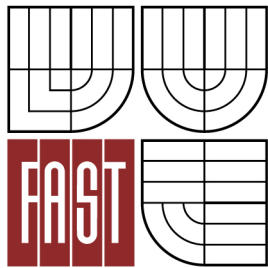




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ  
ÚSTAV BETONOVÝCH A ZDĚNÝCH KONSTRUKCÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING  
INSTITUTE OF CONCRETE AND MASONRY STRUCTURES

## NÁVRH TRÁMOVÉHO MOSTU O JEDNOM POLI

DESIGN OF A ONE-SPAN BEAM BRIDGE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE  
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

PATRIK PODŠKUBKA

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

Ing. RADIM NEČAS, Ph.D.

BRNO 2014



# 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>	Patrik Podškubka
<b>Název</b>	Návrh trémového mostu o jednom poli
<b>Vedoucí bakalářské práce</b>	Ing. Radim Nečas, Ph.D.
<b>Datum zadání bakalářské práce</b>	30. 11. 2013
<b>Datum odevzdání bakalářské práce</b>	30. 5. 2014
V Brně dne 30. 11. 2013	

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

.....  
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA  
Děkan Fakulty stavební VUT

## **Podklady a literatura**

1. Příčný řez
2. Podélný řez

ČSN EN 1991-2 Zatížení mostů dopravou

ČSN EN 1992-1-1 Navrhování betonových konstrukcí - Obecná pravidla

ČSN EN 1992-2 Navrhování betonových konstrukcí - Betonové mosty

Literatura doporučená vedoucím bakalářské práce.

### **Zásady pro vypracování**

Z předběžného návrhu možných typů mostních konstrukcí preferujte předpjatou trémovou konstrukci o jednom poli.

V práci se zaměřte především na návrh betonové nosné konstrukce mostu bez uvažování fázované výstavby.

Ostatní úpravy provádějte podle pokynů vedoucího bakalářské práce.

Požadované výstupy:

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

Přílohy textové části:

P1) Použité podklady, studie návrhu mostu

P2) Statický výpočet

P3) Výkresová dokumentace

Prohlášení o shodě listinné a elektronické formy VŠKP (1x).

Popisný soubor závěrečné práce (1x).

Bakalářská práce bude odevzdána v listinné a elektronické formě dle směrnic a na CD (1x).

### **Předepsané přílohy**

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

**Abstrakt**

Cílem práce je návrh nové mostní konstrukce, hospodárné a bezpečné, nad stávající komunikací S7,5 dle současně platných norem a předpisů. Ze tří navrhovaných variant byla vybrána varianta předpjatého dvoutrámového mostu o jednom poli s délkou přemostění 26,750m. Kategorie převáděné komunikace je S7,5.

**Klíčová slova**

trámový most, předpjatý most, mostní konstrukce, ztráty předpětí, statický výpočet

**Abstract**

The aim of the work is to design a new safe and economical bridge construction, over the existing communication, category S7,5, according to currently valid standards and regulations. Out of the three proposed variants was chosen the variant of a prestressed one-span bridge with two beams and a length of 26,750m. The category of the transferred communication is S7,5.

**Keywords**

beam bridge, prestressed bridge, bridge construction, losses in prestress, static calculation

### **Bibliografická citace VŠKP**

Patrik Podškubka *Návrh trémového mostu o jednom poli*. Brno, 2014. 18 s., 197 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav betonových a zděných konstrukcí. Vedoucí práce Ing. Radim Nečas, Ph.D.

**Prohlášení:**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 30.5.2014

.....  
podpis autora  
Patrik Podškubka

**Poděkování:**

Rád bych poděkoval panu Ing. Radimovi Nečasovi, PhD. za odborné vedení bakalářské práce, poskytnuté informace, rady a ochotu při konzultacích v průběhu jejího zpracování.

Dále bych chtěl poděkovat rodině a přátelům za podporu v průběhu celého studia.

## OBSAH

1.	ÚVOD.....	9
2.	MOST.....	9
2.1	ŠÍŘKOVÉ USPOŘÁDÁNÍ NA MOSTĚ .....	9
2.2	NOSNÁ KONSTRUKCE.....	10
2.3	VOZOVKOVÉ SOUVRSTVÍ .....	10
2.4	ŘÍMSY .....	11
2.5	MOSTNÍ VYBAVENÍ.....	11
2.6	ULOŽENÍ, MOSTNÍ ZÁVĚR .....	11
2.7	SPODNÍ STAVBA.....	11
3.	ZATÍŽENÍ.....	12
3.1	ZATÍŽENÍ STÁLÉ .....	12
3.2	ZATÍŽENÍ PROMĚNNÉ .....	12
4.	STATICKE ŘEŠENÍ.....	12
4.1	PRUTOVÝ MODEL.....	12
4.2	MODEL DESKY S TRÁMY .....	13
5.	HARMONOGRAM VÝSTAVBY A UŽÍVÁNÍ MOSTU.....	14
6.	ZÁVĚR.....	15
7.	SEZNAM OBRÁZKŮ .....	16
8.	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ .....	17
9.	SEZNAM PŘÍLOH .....	18



## 1. ÚVOD

Cílem bakalářské práce je návrh a posouzení silničního mostu převádějícího komunikaci kategorie S7,5, z čehož vyplývá prostorové uspořádání mostu, nad stávající pozemní komunikací, taktéž kategorie S7,5. V rámci studie byly vypracovány 3 varianty návrhu. První variantou je jednopolový obloukový most s dolní mostovkou, druhou pak desková nosná konstrukce o třech polích a třetí předpjatá dvoutrámová nosná konstrukce o jednom poli.

Byla vybrána varianta třetí, předpjatá dvoutrámová nosná konstrukce o jednom poli, s délkou přemostění 26,750m. Most je navržen jako kolmý, přímý.

Výpočtová část práce je rozdělena na dvě části – předběžný návrh, tj. zjednodušený statický výpočet nosné konstrukce na prutovém modelu, a na „hlavní“ statický výpočet složitějšího a přesnějšího deskového modelu s trámy. Předběžný návrh byl vytvořen proto, aby bylo zkontrolováno, zdali vyhovují navržené rozměry konstrukce, dále k předběžnému nalezení potřebného množství předpínacích lan, velikosti předpínací síly a taktéž pro pozdější kontrolu a porovnání výsledků získaných na modelu desky s trámy.

Konstrukce je zatížena sestavami zatížení dle platné evropské normy ČSN EN 1991-2 - Zatížení mostů dopravou, s pozdějšími úpravami a změnami. Dimenzování hlavní nosné konstrukce mostu provedeno dle ČSN EN 1992 - Navrhování betonových konstrukcí, jako předpjatá betonová konstrukce.

Statický výpočet je doplněn dalšími přílohami – výkresy předpínací a betonářské výztuže, půdorysem, pohledem na konstrukci, jejím podélným a příčnými řezy a vizualizací.

## 2. MOST

### 2.1 ŠÍŘKOVÉ USPOŘÁDÁNÍ NA MOSTĚ

Šířkové uspořádání na mostě navazuje na předchozí uspořádání převáděné pozemní komunikace S7,5, ta je na mostě v přímé v podélném sklonu 2%. Vozovka je ve střeovitém příčném sklonu 2,5%. Most je doplněn dvěma nouzovými chodníky na římsách v obou směrech, pro údržbu, kontrolu a bezpečnost jeho uživatelů. Chodníky jsou ve sklonu 4% a jsou odděleny od jízdních pásů zábradelním svodidlem, na vnější straně se nachází mostní zábradlí.

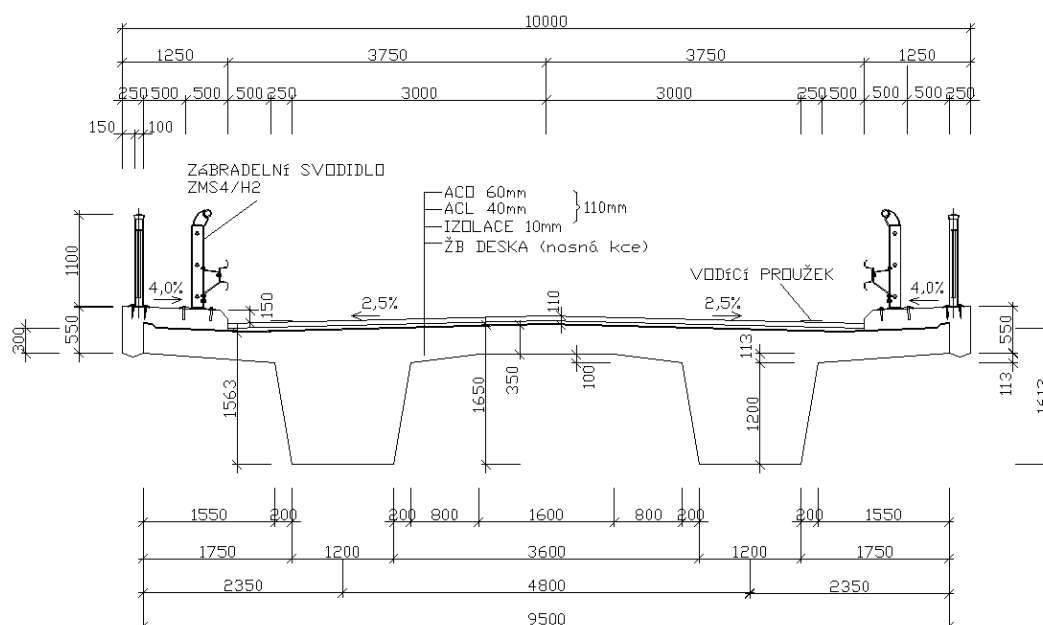
- Šířkové uspořádání (symetrické):

Monolitická římsa s lícem	-	1,250m
Krajnice	-	0,500m

Vodící proužek	-	0,250m
Jízdní pruh	-	3,000m
Celková šířka (vč. líců):	-	10,000m

## 2.2 NOSNÁ KONSTRUKCE

Je tvořena předpjatou betonovou konstrukcí o jednom poli, její rozměry jsou znázorněny níže na Obr. 1 – Šířkové uspořádání a schéma nosné konstrukce. Konstrukce je provedena z betonu třídy C45/55, prostředí je XD1/XF2. Horní povrch desky kopíruje sklonů římsy a vozovky, tzn. 4,0% a 2,5%, její dolní povrch je členitý, tloušťka proměnná, viz obrázek. Trámy jsou kónického tvaru.



Obr. 1 – Šířkové uspořádání a schéma nosné konstrukce

## 2.3 VOZOVKOVÉ SOUVRSTVÍ

Navržena je netuhá vozovka v následující skladbě:

ACO - asf. beton pro obrusné vrstvy	-	0,060m
ACL - asf. beton pro ložní vrstvy	-	0,040m
Hydroizolace (asf. pásy)	-	0,010m
Celková tloušťka vozovky	-	0,110m

## 2.4 ŘÍMSY

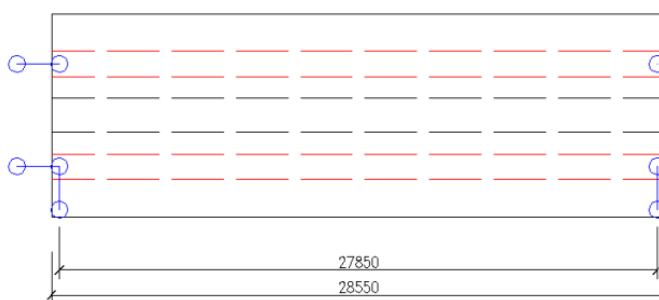
Římsy jsou monolitické, z betonu C35/45, šířky 1,250m (š. již s lícni úpravou 0,250m za nosnou konstrukcí). Příčný sklon římsy je 4%, je do ní kotveno zábradlí.

## 2.5 MOSTNÍ VYBAVENÍ

Jsou navržena zábradelní svodidla typu ZMS4/H2 a ocelová mostní zábradlí; obojí opatřena nátěrem.

## 2.6 ULOŽENÍ, MOSTNÍ ZÁVĚR

Je použit povrchový mostní závěr, nosná konstrukce je uložena na čtyřech elastomerových ložiscích (pevných, pohyblivých), pod trámy.



Obr. 2 – Schéma uložení nosné konstrukce

## 2.7 SPODNÍ STAVBA

Spodní stavba není rozsahu práce podrobněji zpracovávána. Její rozměry jsou navrženy empiricky. Opěry, na nichž je uložena nosná konstrukce, jsou z betonu třídy C35/45, mají výšku ~3,00m, délku 9,50m a tloušťku 1,50m. Úložný práh má výšku 0,50m a je ve sklonu 4% směrem od závěrné zídky (tl. 0,50m). Na opěrách jsou zavěšena rovnoběžná mostní křídla z betonu C30/37.

Základy pod opěrami jsou provedeny z betonu C35/45, mají tloušťku 2,75m, výšku 1,25m, délku 10,50m a jsou založeny na betonových pilotách kruhového profilu o průměru  $d = 0,75\text{m}$ . Spodní stavba je detailněji zobrazena v příloze P3 - VÝKRESOVÁ DOKUMENTACE.

### 3. ZATÍŽENÍ

#### 3.1 ZATÍŽENÍ STÁLÉ

Do tohoto zatížení je zahrnuta vlastní tíha konstrukce a dalších konstrukcí vyskytujících se na mostě po celou dobu jeho životnosti. Je podrobně zpracováno v kapitole 2.1 přílohy P2.2 - STATICKÝ VÝPOČET (i P2.1 - STATICKÝ VÝPOČET - PŘEDBĚŽNÝ NÁVRH NA PRUTOVÉM MODELU).

#### 3.2 ZATÍŽENÍ PROMĚNNÉ

Vychází z normy ČSN EN 1991-2 - Zatížení mostů dopravou s respektováním všech jejích aktuálních úprav, změn a národních příloh.

Ve statickém výpočtu prutového modelu, příloha P2.1 - STATICKÝ VÝPOČET - PŘEDBĚŽNÝ NÁVRH NA PRUTOVÉM MODELU, jsou uvažovány modely zatížení dopravou LM1, LM2, LM3, LM4 a zatížení na chodnicích  $q_{rk}$ . Uvažují se v jednotlivých sestavách zatížení - gr1a, gr1b, gr4, gr5, umístěných tak, aby na konstrukci vyvolávaly nejnepříznivější účinky. Jejich umístění, roznos, velikosti a účinky na konstrukci jsou podrobně zpracovány v kapitolách 2.2 a 2.3 přílohy P2.1 - STATICKÝ VÝPOČET - PŘEDBĚŽNÝ NÁVRH NA PRUTOVÉM MODELU. Vodorovné síly (brzděné a rozjezdové) nejsou uvažovány.

Ve statickém výpočtu modelu desky s trámy, příloha P2.2 - STATICKÝ VÝPOČET, jsou již uvažovány pouze modely zatížení LM1, LM3 a  $q_{rk}$ , respektive sestavy zatížení gr1a a gr5, které, jak bylo na prutovém modelu zjištěno, vyvozují podobně velké, extrémní, účinky. Jejich podrobná analýza je uvedena v kapitole 2.2 přílohy P2.2 - STATICKÝ VÝPOČET.

### 4. STATICKÉ ŘEŠENÍ

#### 4.1 PRUTOVÝ MODEL

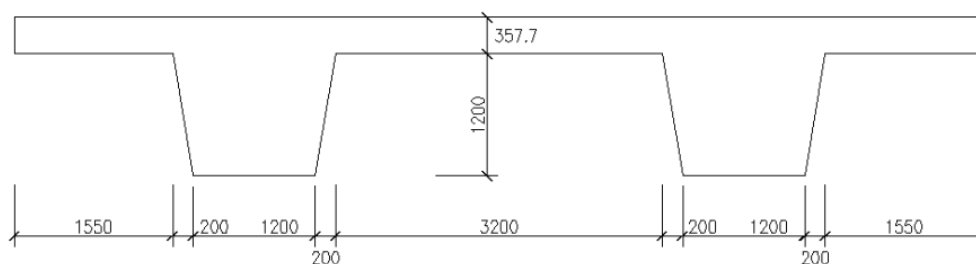
Pro předběžný návrh byl použit prutový model - prostě podepřený nosník, a veškerá uvažovaná zatížení byla přepočítána na zatížení liniová, případně bodové síly. Délka nosné konstrukce je 28,550m, její rozpětí 28,750m. Převíslé konce konstrukce jsou zanedbány.

U prutového modelu bylo předpokládáno, že jednotlivé trámy nepřenáší stejné zatížení od dopravy. Odhadovaný přenos těchto zatížení je 60% a 40% pro jeden a druhý trám. Vnitřní síly nesymetrických modelů zatížení LM1 (pouze TS+UDL), případně LM3, jsou proto zvětšeny na celé konstrukci o 20% z důvodu tohoto předpokladu a následně pak přepočítány na jeden trám, který je na tyto vnitřní síly dimenzován.

Předběžný návrh je proveden do fáze nalezení potřebného množství předpínacích lan, velikosti předpínací síly a optimální polohy (přípustné zóny) vedení průměrného kabelu předpínací výztuže. Výpočet je proveden ručně a v programu SCIA Engineer 2013.1.

#### 4.2 MODEL DESKY S TRÁMY

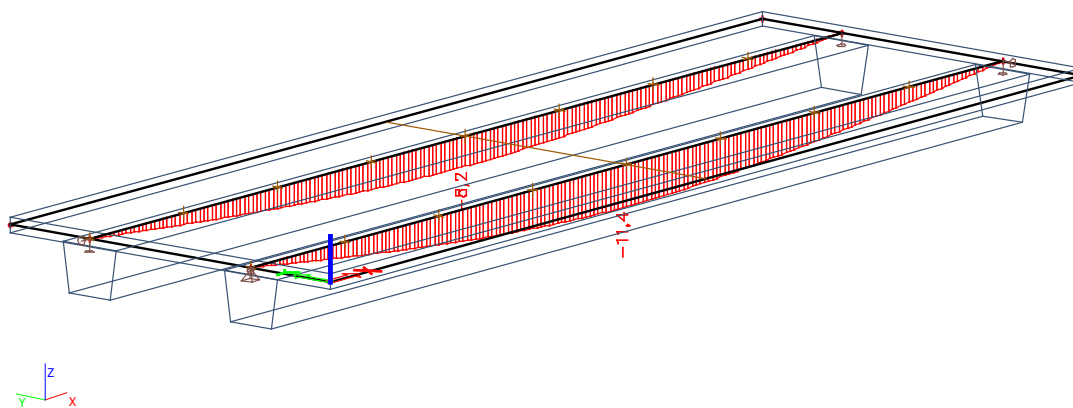
V tomto případě byl pro výpočet zjednodušen složitý tvar horní desky – dle průřezové plochy zjištěné na skutečném modelu byla vypočtena její konstantní průměrná výška. Převísle konce nosné konstrukce za ložisky jsou zanedbány. Model je vytvořen v programu SCIA Engineer 2013.1 jako deska s žebry.



Obr. 3 – Výpočtový model nosné konstrukce

Stálá zatížení byla modelována plošně, stejně jako zatížení od dopravy, které bylo rozneseno do střednice desky pod danými úhly příslušícími jednotlivým zatížením. Klimatická zatížení nebyla uvažována. Byly aplikovány kombinace zatížení 6.10a) a 6.10b) pro mezní stavy únosnosti, resp. 6.14b), 6.15b) a 6.16b) pro mezní stavy použitelnosti (kap. 3.1; 3.2 přílohy P2.2). Z uvedených kombinačních vztahů vplynuly vnitřní síly od jednotlivých zatížení na jeden, více zatížený trám.

Pro srovnání s prutovým modelem, skutečný poměr přenosu zatížení, vypočtený softwarem, činí na deskovém modelu s trámy pro TS 58% a 42% a pro UDL 56% a 44% pro jeden a druhý trám (vypočteno z průhybů). Lze tedy očekávat podobné výsledky i nutný počet předpínacích lan v jednom žeburu jako na prutovém modelu, a přibližně tak i kontrolovat dosavadní výpočet.



Obr. 4 – Průhyby na trámech uprostřed rozpětí od zatížení TS na deskovém modelu s trámy

Na základě výsledků kombinací bylo zjištěno, že v podélném směru vyvolává extrémní vnitřní síly na nosné konstrukci sestava zatížení  $gr_1$  a na tyto vnitřní síly byla navržena (natrasována) předpínací výztuž (kap. 7.1 ~ 7.5 přílohy P2.2). Je využito kompletní řešení od firmy VSL. Jsou použita předpínací lana Y 1860 S7 – 15,7, ocelové „vlnité“ kanálky a kotvy VSL typu GC-6-19. Specifikace materiálů, nejen předpínací výztuže, je v kapitole 4. přílohy P2.2.

Dále byl proveden výpočet ztrát předpětí (kap. 9. přílohy P2.2). Vypočtené ztráty se liší od odhadovaných, v obou případech 10%, u krátkodobých ztrát o 3,9% (vypočteno 6,1%) a u dlouhodobých o 4,7% (charakteristická kombinace, vypočteno 5,3%).

Posouzení na mezní stav použitelnosti ve všech uvedených podmínkách vyhoví. Mezní stav únosnosti byl rozdělen na posouzení ohybové a smykové únosnosti. Při vyšetřování ohybové únosnosti je i bez nutnosti přidání betonářské výztuže splněna podmínka  $M_{Rd} = 10672,39\text{kNm} \geq M_{Ed} = 9646,36\text{kNm} \Rightarrow \text{VYHOVÍ}$ . Je uvažován bilineární pracovní diagram předpínací výztuže s omezenou stoupající větví (20‰). Aby byla splněna únosnost ve smyku, bylo nutné navrhnout smykovou výztuž. Konstrukce byla posuzována po osminách jejího rozpětí. Do částí bez nutnosti vložení smykové výztuže byla navržena smyková výztuž konstrukční. Konstrukce nebyla posuzována na kroucení. Mezní stav únosnosti je řešen v kapitole 11. přílohy P2.2.

Dalším krokem statického výpočtu bylo posouzení a návrh betonářské výztuže do kotevní oblasti, výpočet protažení předpínacích lan a řešení podélného smyku mezi deskou a trámy. (kap. 12., 13. a 14. přílohy P2.2).

Pro návrh betonářské výztuže (B500B) do desky bylo v příčném směru a v polovině rozpětí konstrukce postaveno zatížení od dopravy tak, aby vyvolávalo maximální ohybový moment v poli a nad podporou (trámem) a posouvající sílu. Na tyto vnitřní síly pak byla navržena nosná a rozdělovací betonářská výztuž při obou površích desky se zohledněním účinků od podélného smyku. (kap. 15. přílohy P2.2).

## 5. HARMONOGRAM VÝSTAVBY A UŽÍVÁNÍ MOSTU

- ošetřování betonu:	7 dní
- konstrukce předepnuta:	28 dní
- zatížení svrškem ( $g_1$ ):	169 dní
- zatížení dopravou ( $q$ ):	280 dní
- životnost konstrukce:	36500 dní (100let)

## 6. ZÁVĚR

Úkolem práce bylo navrhnout nový předpjatý most nad stávající komunikací kategorie S7,5. Část statického výpočtu byla provedena ve dvou variantách – zjednodušené a přesnější variantě, přičemž byly v průběhu výpočtu porovnávány a kontrolovány výsledky získané oběma postupy. Prvotním, přibližně téměř správným odhadem přenosu zatížení (nesymetrických modelů zatížení) jednotlivými trámy na prutovém modelu, byly vypočtené hodnoty vnitřních sil a potřebné velikosti předpínací síly v polovině rozpětí konstrukce v obou případech téměř identické.

Výpočty bylo navrženo předpětí a spočteny jeho ztráty v průběhu životnosti konstrukce. V mezních stavech byla v podélném směru prokázána únosnost i použitelnost konstrukce. V příčném směru byla navržena ohybová a smyková betonářská výztuž a taktéž byla prokázána únosnost konstrukce.

Konstrukce byla řešena ručně a pomocí programu SCIA Engineer 2013.1. K navržené konstrukci byla vytvořena výkresová dokumentace.

## 7. SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 – Šířkové uspořádání a schéma nosné konstrukce

Obr. 2 – Schéma uložení nosné konstrukce

Obr. 3 – Výpočtový model nosné konstrukce

Obr. 4 – Průhyby na trámech uprostřed rozpětí od zatížení TS na deskovém modelu s trámy



## 8. SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

ČSN EN 1991-2. Zatížení konstrukcí - Část 2: Zatížení mostů dopravou. Praha: Český normalizační institut, 2005.

ČSN EN 1991 - Zatížení konstrukcí - Část 1-1: Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb. Praha: Český normalizační institut, 2003.

ČSN EN 1992 - Navrhování betonových konstrukcí - Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby. Praha: Český normalizační institut, 2006.

ČSN EN 1992 - Navrhování betonových konstrukcí - Část 2: Betonové mosty - Navrhování a konstrukční zásady. Praha: Český normalizační institut, 2007.

ČSN 736101 - Projektování silnic a dálnic. Praha: Český normalizační institut, 2004.

VSL.cz - Post-Tensioning\_solutions\_EN. Dokument [online]. Dostupné z:  
<http://www.vsl.cz/download/42>

NEČAS, Radim. Projektování mostních objektů. Dokument [online]. Dostupné z:  
<http://www.necasradim.cz/BL12/prednasky/TISK%2004%20-%20Prostorova%20uprava.pdf>

NEČAS, Radim. Zatížení mostů dle evropských norem (EN). Dokument [online]. Dostupné z:  
<http://www.necasradim.cz/BL12/prednasky/TISK%2002%20-%20Zatizeni%20mostu%20EN.pdf>

NAVRÁTIL, Jaroslav. Předpjaté betonové konstrukce. Druhé vydání. Purkyňova 95a, 612 00 Brno: AKADEMICKÉ NAKLADATELSTVÍ CERM, s.r.o. Brno, 2008. ISBN 978-80-7204-561-7.

## 9. SEZNAM PŘÍLOH

### P1 - STUDIE NÁVRHU MOSTU

P1.1 - STUDIE - 1. VARIANTA PROVEDENÍ MOSTU

P1.2 - STUDIE - 2. VARIANTA PROVEDENÍ MOSTU

P1.3 - STUDIE - 3. VARIANTA PROVEDENÍ MOSTU

### P2 - STATICKÝ VÝPOČET

P2.1 - STATICKÝ VÝPOČET - PŘEDBĚŽNÝ NÁVRH NA PRUTOVÉM MODELU

P2.2 - STATICKÝ VÝPOČET

### P3 - VÝKRESOVÁ DOKUMENTACE

P3.1 - PŮDORYS

P3.2 - PODÉLNÝ ŘEZ A-A'

P3.3 - PŘÍČNÝ ŘEZ B-B'

P3.4 - PŘÍČNÝ ŘEZ C-C'

P3.5 - POHLED

P3.6 - VÝKRES PŘEDPÍNACÍ VÝZTUŽE

P3.7 - VÝKRES BETONÁŘSKÉ VÝZTUŽE

### P4 - VIZUALIZACE