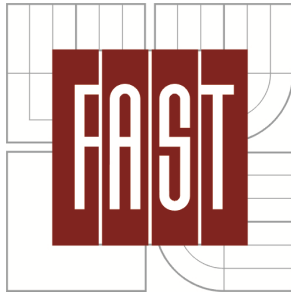


**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA STAVEBNÍ**  
**ÚSTAV BETONOVÝCH A ZDĚNÝCH KONSTRUKCÍ**

**FACULTY OF CIVIL ENGINEERING**  
**INSTITUTE OF CONCRETE AND MASONRY STRUCTURES**

## **ŽELEZNIČNÍ MOST PŘES ŘEKU SVITAVU**

RAILWAY BRIDGE ACROSS THE RIVER SVITAVA

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**  
BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**  
AUTHOR

**DAVID FINDURA**

**VEDOUCÍ PRÁCE**  
SUPERVISOR

**Ing. RADIM NEČAS, Ph.D.**

BRNO 2015



# 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>	David Findura
<b>Název</b>	Železniční most přes řeku Svitavu
<b>Vedoucí bakalářské práce</b>	Ing. Radim Nečas, Ph.D.
<b>Datum zadání bakalářské práce</b>	30. 11. 2014
<b>Datum odevzdání bakalářské práce</b>	29. 5. 2015
V Brně dne 30. 11. 2014	

.....  
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).

## **Struktura bakalářské/diplomové práce**

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).

.....

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

## **Abstrakt**

Tato práce řeší návrh jednokolejného železničního mostu přes řeku Svitavu. Ze tří navrhovaných variant byla jako nejvhodnější a nejlépe proveditelná zvolena varianta 2 - dvoutrémový předpjatý most o jednom poli. Dle platných norem EN byla konstrukce navržena a posouzena na mezní stavy použitelnosti a mezní stavy únosnosti.

### **Klíčová slova**

Mostní konstrukce, předpjatá konstrukce, železniční most, trémový most, železobeton, statický výpočet, ztráty předpětí

### **Abstract**

This thesis deals with a design of an one-track railway bridge over the river Svitava. Out of three proposed variants was chosen as the most economical and feasible the variant number 2 - two-beam prestressed bridge with one span. According to actual EN standards the construction was designed and assessed to the serviceability limit state and the ultimate limit state.

### **Keywords**

Bridge construction, prestressed construction, railway bridge, beam bridge, reinforced concrete, static calculation, losses in prestress

## **Bibliografická citace VŠKP**

David Findura *Železniční most přes řeku Svitavu*. Brno, 2015. 20 s., 188 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 29.5.2015

.....  
podpis autora  
David Findura

**Poděkování:**

Chtěl bych poděkovat svému vedoucímu práce Ing. Radimovi Nečasovi, Ph.D. za odborné vedení, rady, ochotu a trpělivost v průběhu zpracování bakalářské práce.

Děkuji také svým rodičům, celé rodině a všem přátelům za podporu a důvěru v průběhu celého studia.

Tato bakalářská práce byla zpracována s využitím infrastruktury Centra AdMaS.

## OBSAH

1 ÚVOD.....	2
2 GEOMETRIE MOSTU.....	3
3 MOSTNÍ VYBAVENÍ, ULOŽENÍ A MOSTNÍ ZÁVĚR.....	4
4 ŽELEZNIČNÍ SVRŠEK.....	4
5 MATERIÁL .....	5
5.1 BETON .....	5
5.2 BETONÁŘSKÁ VÝZTUŽ .....	5
5.3 PŘEDPÍNACÍ VÝZTUŽ.....	5
6 ZATÍŽENÍ .....	5
6.1 STÁLÉ .....	5
6.2 PROMĚNNÉ.....	5
7 STATICKÉ ŘEŠENÍ .....	6
7.1 PRUTOVÝ MODEL .....	7
7.2 2D MODEL .....	8
7.3 SROVNÁNÍ VÝSLEDKŮ VNITŘNÍCH SIL.....	9
7.4 SROVNÁNÍ ZTRÁT PŘEDPĚTÍ .....	10
8 ČASOVÝ HARMONOGRAM STAVBY.....	10
9 ZÁVĚR.....	10
10 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ .....	12
11 SEZNAM PŘÍLOH.....	13

## 1 ÚVOD

Cílem této bakalářské práce je návrh předpjatého mostu převádějícího jednokolejnou železniční trať 1. třídy přes řeku Svitavu. Přesné umístění mostu nebylo zadáno, ale z přibližného tvaru koryta řeky Svitavy bylo navrženo rozpětí nosné konstrukce  $L = 25,8$  m. Šířkové uspořádání mostu vyplývá z průjezdného průřezu Z-GC pro jednokolejnou trať podle normy ČSN 73 63 20 Průjezdné průřezy na drahách celostátních, regionálních a vlečkách.

Byly vypracovány 3 varianty mostních konstrukcí. 1. varianta byla předpjatý betonový parapetní most s proměnnou výškou parapetu po délce. 2. varianta byla předpjatý betonový dvoutrámový most. 3. varianta kovový most s prvkovou dolní mostovkou.

Jako nejehospodárnější a nejjednodušší na provedení byla vybrána varianta č. 3. Primárním požadavkem byla volba předpjaté trámové konstrukce, čemuž varianta č. 3 odpovídá.

Statický výpočet byl proveden na základě prutového modelu, na jenom trámu zatíženém polovinou celkového zatížení. Předmětem statického výpočtu byl návrh předpětí, výpočet změn předpětí, posouzení nosné konstrukce na mezní stav použitelnosti a mezní stav únosnosti, dále posouzení na smyk a návrh smykové výztuže, posouzení a návrh kotevní oblasti, návrh výztuže v příčném směru a posouzení konzoly parapetu.

Byl vytvořen také zjednodušený 2D model konstrukce k porovnání vnitřních sil z prutového modelu a také k porovnání ztrát předpětí.

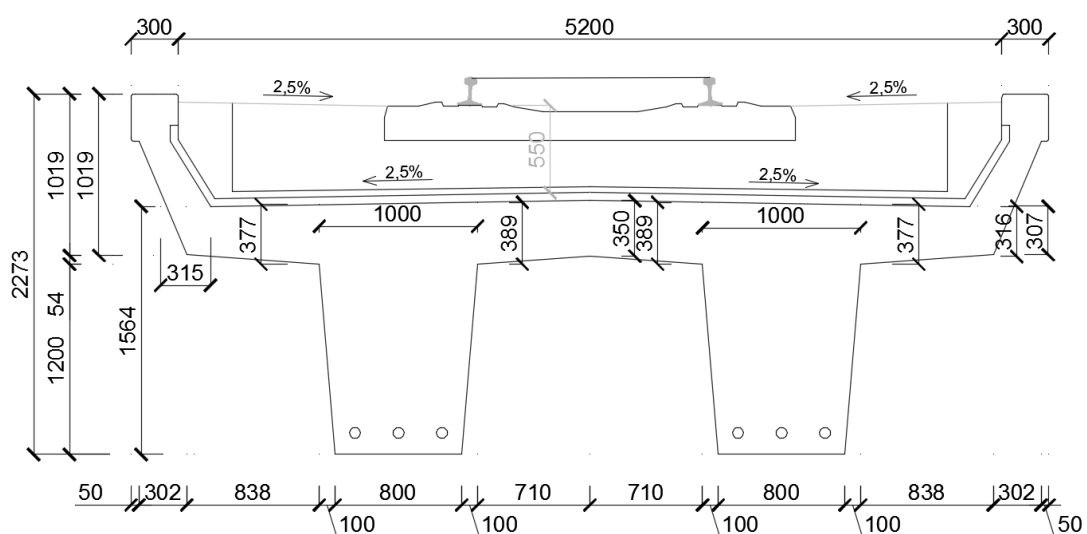
Zatížení konstrukce bylo provedeno dle ČSN EN 1991-2 - Zatížení mostů dopravou, modely LM71 a SW/2. Předpjatá nosná konstrukce byla dimenzována dle ČSN EN 1992 - Navrhování betonových konstrukcí.

Statický model je kromě 2D modelu doplněn dalšími přílohami. Výkresovou dokumentací obsahující půdorys, podélný řez, 2 příčné řezy, výkres

betonářské výztuže a výkres předpínací výztuže. Dále byla vytvořena vizualizace v programu Rhino 5.

## 2 GEOMETRIE MOSTU

Z přibližného tvaru koryta řeky Svitavy v Brně - Černovicích byla navržena délka přemostění  $L = 23,8$  m. Šířkové upořádání mostu bylo odvozeno z průřezného profilu Z-GC. Celková šířka mostu byla navržena 5,8 m. Průřez tvoří dva trámy výšky 1,2 m a šířky na spodním líci 0,8 m a na styku s deskou 1,0 m, dále deska výšky 0,35 m uprostřed a šikmé parapety po stranách pro podporu kolejového lože. Geometrie průřezu je jasná z následujícího obrázku:

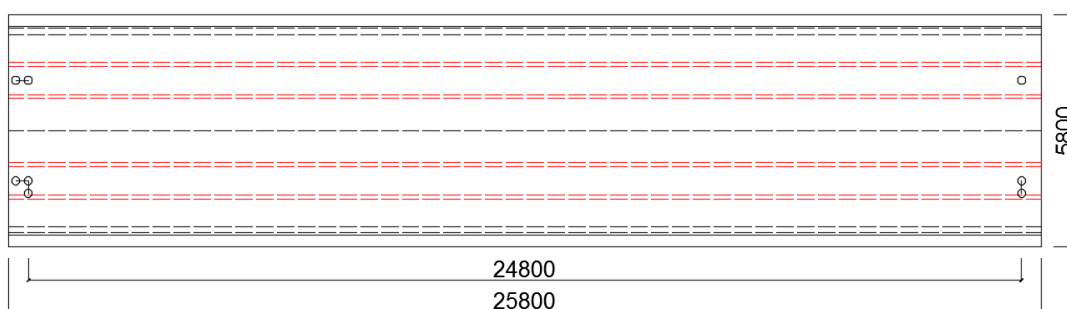


Niveleta koleje je v podélném sklonu 0,9 % čemuž je přizpůsobená celá konstrukce mostu. Příčný sklon betonové desky je 2,5 % od středu ke stranám mostu.

### 3 MOSTNÍ VYBAVENÍ, ULOŽENÍ A MOSTNÍ ZÁVĚR

Na mostě bude instalováno ocelové trubkové zábradlí opatřené nátěrem. Zábradlí není navrženo pro chodce, protože na mostě se nepředpokládá provoz chodců.

Uložení bylo navrženo na elastomerová ložiska Freyssinet. Schéma uložení na obrázku:



Byl zvolen koberecový dilatační mostní závěr Mutiflex S 150.

### 4 ŽELEZNIČNÍ SVRŠEK

Byly použity kolejnice 60E2 s upevněním W14. Dále betonové pražce B91 S/1 s osovou vzdáleností  $s = 600$  mm. Kolejové lože ze štěrku frakce 31,5/63. Pod kolejovým ložem antivibrační rohož a 2 vrstvy izolace z polyesterového rouna tloušťky 10 mm.



## 5 MATERIÁL

### 5.1 BETON

Pevnostní třída betonu C45/55 použita na nosnou konstrukci. Třída prostředí XF2 a konzistence čerstvého betonu je S2. Na úložný práh je použita třída betonu C30/37, třída prostředí XC4 a na zbytek opěry použita třída betonu C25/30, třída prostředí XC4, XC2.

### 5.2 BETONÁŘSKÁ VÝZTUŽ

Na celé konstrukci je použita betonářská výztuž B500B. V nosné konstrukci jsou navrženy profily  $\varnothing 12$  a  $\varnothing 14$ . Celková hmotnost výztuže pro nosnou konstrukci je 7,06 t.

### 5.3 PŘEDPÍNACÍ VÝZTUŽ

Pro celou konstrukci byl zvolen předpínací systém Freyssinet. Byla navržena předpínací lana Y 1860 S7 - 15,7 - A každé tvořeno 7 dráty. Jako ochrana kabelů byly zvoleny plastové kanálky Freyssine Plyduct průměru  $\varnothing 100$  mm s cementovou injektáží. Ke kotvení předpínací výztuže byly zvoleny kotvy Freyssinet 19C15. Celá konstrukce obsahuje 6 kabelů. Celková délka 114 lan je 3014 m.

## 6 ZATÍŽENÍ

### 6.1 STÁLÉ

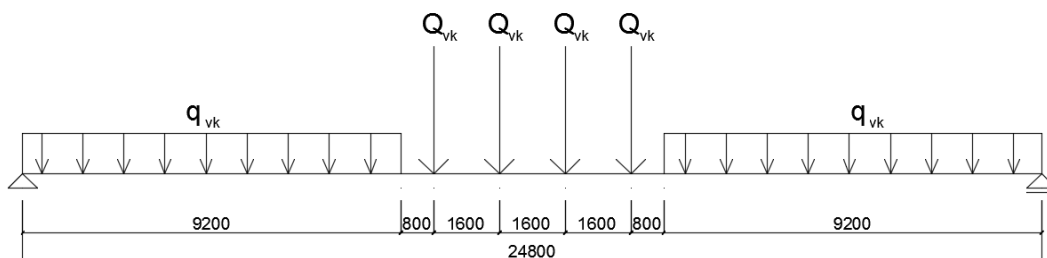
Ve stálém zatížení byla uvažována vlastní tíha nosné konstrukce. Dále ostatní prvky mostu, které se budou vyskytovat na mostě po celou dobu jeho životnosti jako kolejové lože, betonové pražce, kolejnice s upevňovacími, izolace.

### 6.2 PROMĚNNÉ

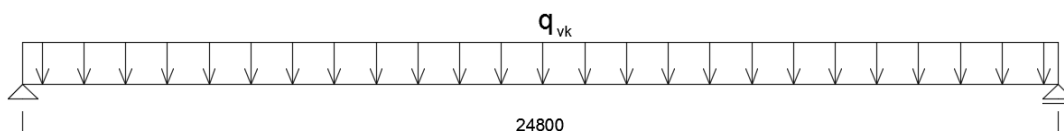
V proměnném zatížení je uvažováno zatížení dopravou. Pro konstrukci na trati 1. třídy byl použit model zatížení LM71 pro normální železniční dopravu

na hlavních železničních tratích a model SW/2 pro těžké zatížení kolejovou dopravou na vybraných železničních tratích. Pro 2D model bylo proměnné zatížení příčně rozneseno pod pražci do střednice desky ve sklonu 4:1.

Model zatížení LM71:



Model zatížení SW/2:



Všechna zatížení jsou umístěna do nejúčinnější polohy. Podrobněji je zatížení stanoveno v příloze P.2 Statický výpočet.

## 7 STATICKÉ ŘEŠENÍ

Pro statický výpočet byl použit prutový model. 2D model byl vytvořen pro dimenzování výztuže desky v příčném směru a pro porovnání vnitřních sil s prutovým modelem. Dále pro porovnání ztrát předpětí s ručním výpočtem. Graficky jsou vnitřní síly a ztráty předpětí zobrazeny v příloze P3 - 2D model. Prutový model je podrobněji řešen v příloze P2 - Statický výpočet.

## 7.1 PRUTOVÝ MODEL

Konstrukce byla zjednodušena a pro výpočet vnitřních sil na prutovém modelu byl použit idealizovaný průřez.

$$A_c = 1,9704 \text{ m}^2$$

$$b_1 = 1,210 \text{ m}$$

$$b_2 = 1,210 \text{ m}$$

$$z_1 = 0,9730 \text{ m}$$

$$z_2 = 0,6098 \text{ m}$$

$$I_y = 0,4332 \text{ m}^4$$

$$I_z = 0,4910 \text{ m}^4$$

$$W_1 = 0,445221 \text{ m}^3$$

$$W_2 = 0,7110397 \text{ m}^3$$

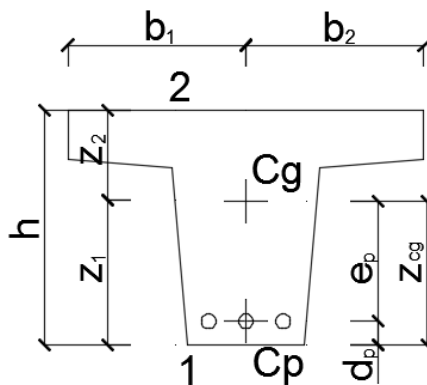
$$j_1 = 0,3605 \text{ m}$$

$$j_2 = 0,2260 \text{ m}$$

$$d_p = 0,1585 \text{ m}$$

$$e_p = 0,8145 \text{ m}$$

$$z_{gc} = 0,973 \text{ m}$$

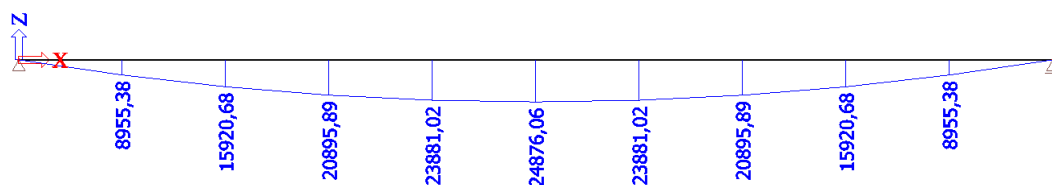


1 - dolní vlákna

2 - horní vlákna

Výsledky kombinací pro MSP:

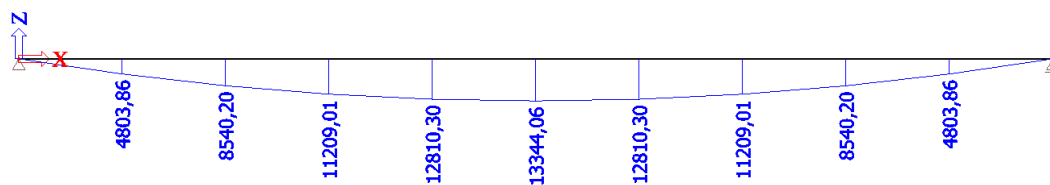
CHARAKTERISTICKÁ:



ČASTÁ:



KVAZISTÁLÁ:

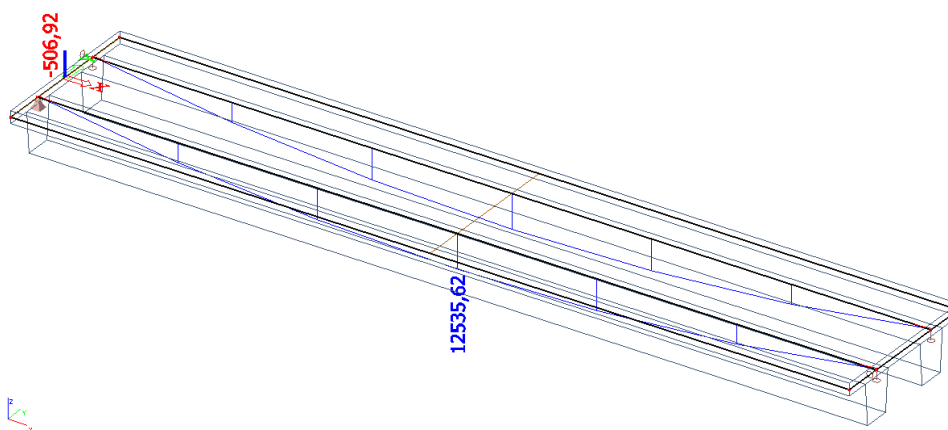


## 7.2 2D MODEL

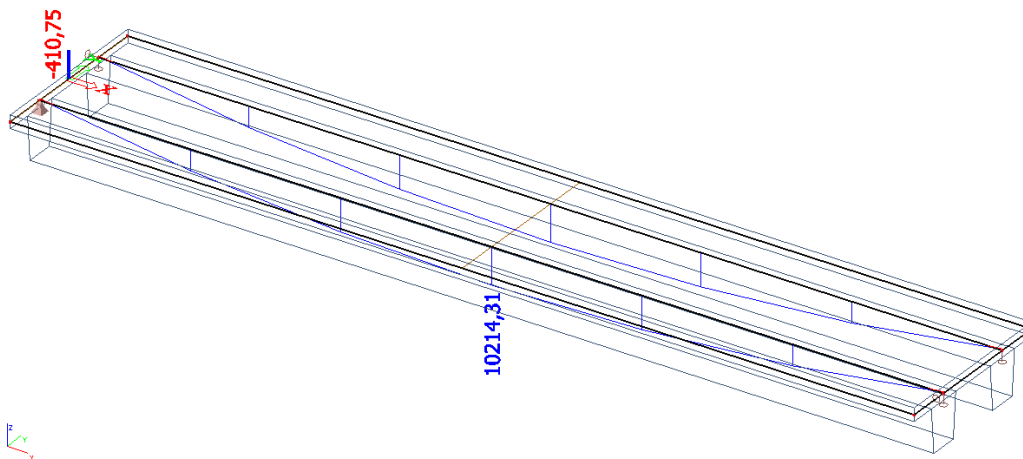
V programu Scia Engineer 14.0.1058 byl vytvořen také 2D model. Podrobně je popsán v Příloze P3 - 2D model.

Výsledky kombinací:

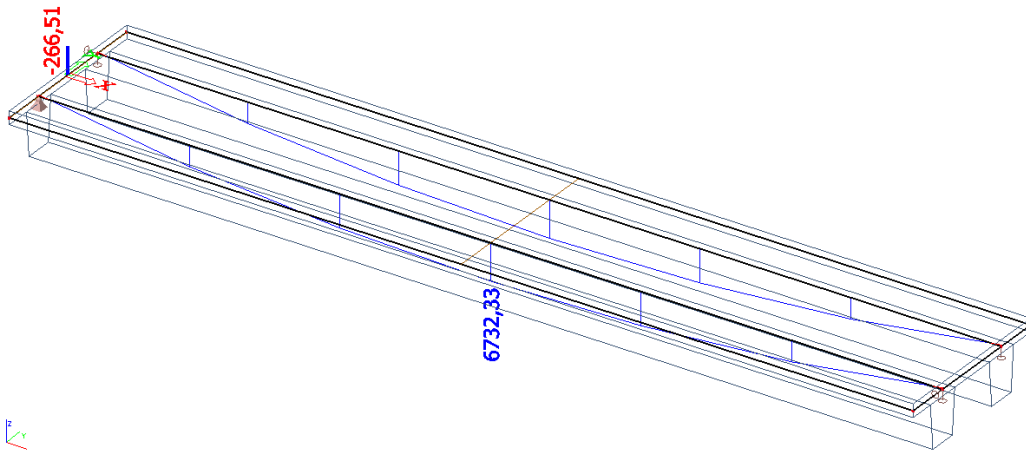
Charakteristická:



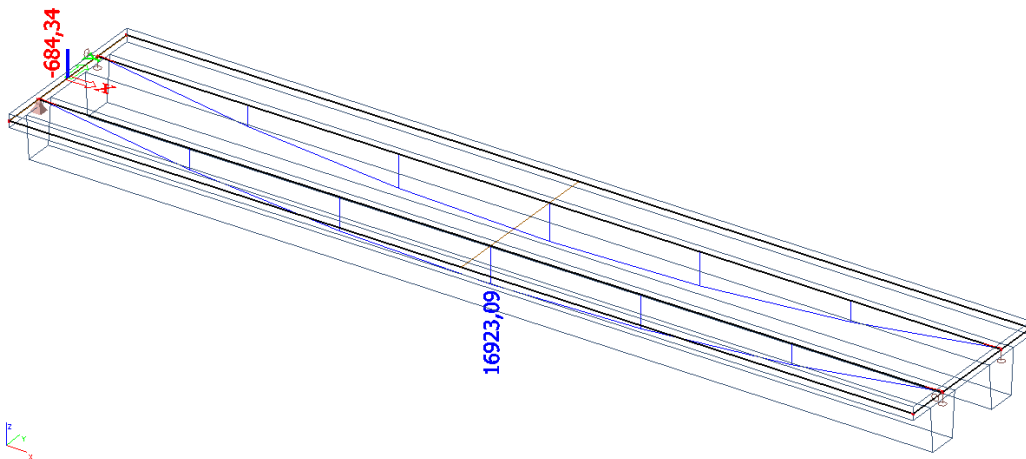
Častá:



Kvazistálá:



MSÚ:



### 7.3 SROVNÁNÍ VÝSLEDKŮ VNITŘNÍCH SIL

Momenty uprostřed rozpětí

	2D MODEL	PRUTOVÝ MODEL
Vlastní tíha:	$M_y = 4309,82 \text{ kNm}$	$M_y = 4270,67 \text{ kNm}$
Ostatní stálé:	$M_y = 2422,51 \text{ kNm}$	$M_y = 2401,35 \text{ kNm}$
Doprava:	$M_y = 5803,29 \text{ kNm}$	$M_y = 5766,00 \text{ kNm}$
Charakteristická k.:	$M_y = 12535,62 \text{ kNm}$	$M_y = 12438,03 \text{ kNm}$
Častá k.:	$M_y = 10214,31 \text{ kNm}$	$M_y = 10131,63 \text{ kNm}$
Kvazistálá k.:	$M_y = 6732,33 \text{ kNm}$	$M_y = 6672,03 \text{ kNm}$
Kombinace MSÚ:	$M_y = 16923,09 \text{ kNm}$	$M_y = 16791,34 \text{ kNm}$

Rozdíly ve výsledcích z 2D modelu a z prutového modelu jsou velmi malé. Lze tedy předpokládat, že prutový model byl pro návrh předpětí a výpočet konstrukce dostačující. Nicméně 2D model byl také značně idealizován (konstantní tloušťka desky, zanedbání převislých konců a parapetů), proto výsledky také nejsou zcela přesné. Přesnější výsledky bychom získali z podrobného 2D modelu.

## 7.4 SROVNÁNÍ ZTRÁT PŘEDPĚTÍ

Odhadované ztráty předpětí ve výpočtu byly 10 % krátkodobé i dlouhodobé. Ručním výpočtem byly získány krátkodobé ztráty 9,7 % (nepřesnost vůči odhadu 0,3 %) a dlouhodobé ztráty 8,5 % (nepřesnost vůči odhadu 1,5 %). Odhad 10 % se tedy ukázal jako poměrně přesný.

Krátkodobé ztráty z 2D modelu byly 8,1 %, liší se od ručního výpočtu o 1,6 %. Rozdíl může být způsoben jinou uvažovanou délkou lan, vzhledem k za nedbání převislých konců u 2D modelu.

## 8 ČASOVÝ HARMONOGRAM STAVBY

Doba ošetřování betonu	7 dní
Předepnutí konstrukce	28 dní
Zatížení svrškem	210 dní
Zatížení dopravou	270 dní
Životnost konstrukce	36500 dní (100 let)

## 9 ZÁVĚR

Cílem práce bylo navržení nové mostní konstrukce převádějící železniční trať přes řeku Svitavu. Z profilu terénu byla navržena délka přemostění a z průjezdného průřezu šířka nosné konstrukce. Na prutovém modelu byly zjištěny vnitřní síly a navrhnuty rozměry trámů a desky, dále byl proveden také návrh předpětí. Byly určeny krátkodobé a dlouhodobé ztráty předpětí a konstrukce byla posouzena na mezní stavy použitelnosti a únosnosti. V obou případech

vyhověla. Z vnitřních sil zjištěných v 2D modelu byla navržena výztuž desky v příčném směru. Jako konzola byl také posouzen parapet podpírající kolejové lože. Dále byla navržena kotevní oblast. Návrh a posouzení vycházelo z ČSN EN 1992.

Pro most byla vypracována výkresová dokumentace. Pro most a jeho nejbližší okolí byla také vypracována vizualizace v programu Rhino 5.

## 10 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

ČSN EN 1991-1 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 2: Zatížení mostů dopravou, Český normalizační institut, 2005. 152s.

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

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

ZICH, Miloš. *Příklady posouzení betonových prvků dle eurokódů*. Praha: Dashofer, 2010, 145 s. ISBN 978-80-86897-38-7.

PLÁŠEK, Otto. Úvod do železničních staveb. Dokument [online]. Dostupné z: [http://www.fce.vutbr.cz/zel/plasek.o/studium/5\\_zeleznice\\_uvod.pdf](http://www.fce.vutbr.cz/zel/plasek.o/studium/5_zeleznice_uvod.pdf)

## 11 SEZNAM PŘÍLOH

### P1 - STUDIE NÁVRHU MOSTU

P1.1 - VARIANTA 1

P1.2 - VARIANTA 2

P1.3 - VARIANTA 3

### P2 - STATICKÝ VÝPOČET

### P3 - 2D MODEL

### P4 - VÝKRESOVÁ DOKUMENTACE

P4.1 - PŮDORYS

P4.2 - PODÉLNÝ ŘEZ A-A

P4.3 - PŘÍČNÝ ŘEZ B-B

P4.4 - PŘÍČNÝ ŘEZ C-C

P4.5 - VÝKRES PŘEDPÍNACÍ VÝZTUŽE

P4.6 - VÝKRES BETONÁŘSKÉ VÝZTUŽE

### P5 - VIZUALIZACE