



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

DESKOVÝ MOST PŘES MÍSTNÍ POTOK

SLAB BRIDGE OVER THE LOCAL STREAM

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Lukáš Doležal

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. MICHAL POŽÁR, Ph.D.

BRNO 2020



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

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

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student	Lukáš Doležal
Název	Deskový most přes místní potok
Vedoucí práce	Ing. Michal Požár, Ph.D.
Datum zadání	30. 11. 2019
Datum odevzdání	22. 5. 2020

V Brně dne 30. 11. 2019

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 vedoucího práce

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Místo stávajícího mostního objektu zpracujte dvě až tři studie mostu o jednom poli včetně jejich zhodnocení. Dále se zaměřte na návrh vybrané deskové konstrukce z předpjatého betonu. 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. Michal Požár, Ph.D.

Vedoucí bakalářské práce

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá návrhem silničního deskového mostu o jednom poli přes místní potok. Rozpětí konstrukce je 19 metrů. Geometrie mostu byla vybrána ze tří variant. Mostovka je tvořena betonovou předpjatou deskou. Výpočet účinků zatížení byl proveden pomocí softwaru SCIA Engineer 18.1. Deska byla posouzena na mezní stav únosnosti a mezní stav použitelnosti pomocí programu MS Excel. Nakonec byla zpracována výkresová dokumentace a vizualizace.

KLÍČOVÁ SLOVA

Předpjatý beton, Silniční most, Deskový most, Jednopolový most, Mezní stav únosnosti, Mezní stav použitelnosti, Ztráty předpětí

ABSTRACT

The subject of this bachelor's thesis is a design road slab bridge with one – spane over the local stream. Span of construction is 19 m. Geometry of the bridge was chosen from 3 studies. Bridge deck is made of prestressed concrete. Calculation of load effect was made in SCIA Engineer 18.1. Slab was structural assessment on ultimate limit state and ultimate serviceability state using MS Excel. Finally was made drawing documentation and visualization.

KEYWORDS

Prestressed concrete, Road bridge, Slab bridge, One – spane bridge, Ultimate limit state, Ultimate serviceability state, Prestress losses

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Lukáš Doležal *Deskový most přes místní potok*. Brno, 2020. 42 s., 77 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav betonových a zděných konstrukcí. Vedoucí práce Ing. Michal Požár, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané bakalářské práce s názvem *Deskový most přes místní potok* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 2. 6. 2020

Lukáš Doležal
autor práce

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

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

V Brně dne 2. 6. 2020

Lukáš Doležal
autor práce

PODĚKOVÁNÍ

Chtěl bych poděkovat vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Michalu Požárovi, Ph.D. za cenné rady, trpělivost a odborné vedení.

Dále bych rád poděkoval své rodině a kamarádům za jejich podporu po celou dobu studia.

Obsah

Úvod	10
1. Varianty	11
1.1 Varianta A	11
1.2 Varianta B	12
1.3 Varianta C	13
1.4 Výběr varianty	13
2. Návrhové parametry mostu	14
3. Technické řešení mostu.....	14
3.1 Hlavní nosná konstrukce	14
3.2 Mostní svršek	15
3.2.1 Vozovka	15
3.2.2 Římsy	15
3.3 Mostní závěr a mostní ložiska	16
3.3.1 Mostní závěr	16
3.3.2 Ložiska	16
3.4 Spodní stavba	17
3.4 Zadržné systémy	17
4. Materiály	18
4.1 Beton	18
4.2 Předpínací výztuž.....	18
4.3 Betonářská výztuž	18
5. Časový harmonogram a postup výstavby	19
6. Technické a technologické požadavky pro výstavbu	20
7. Výpočtový model.....	21
8. Zatížení	22
8.1 Vlastní tíha.....	22
8.2 Ostatní stálé	22
8.3 Zatížení dopravou.....	23
8.3.1 Dvojnáprava (TS)	23
8.3.2 Rovnoměrné zatížení (UDL).....	24
8.3.3 Rovnoměrné zatížení na chodnicích	24
8.3.4 Zvláštní vozidlo LM3	24
8.3.5 Dav lidí LM4.....	25
8.4 Ruční výpočet	25

9. Kombinace momentů	26
10. Návrh předpínací výztuže	27
11. Trasování kabelů.....	30
12. Ztráty předpětí	30
13. Mezní stav použitelnosti (MSP).....	31
13.1 Omezení napětí a omezení trhlin	31
13.2 Omezení průhybu	32
14. Mezní stav únosnosti (MSÚ)	33
14.1 Ohyb	33
14.2 Smyk	34
15. Kotevní oblast.....	35
16. Závěr	36
17. Seznam obrázků a tabulek.....	37
17.1 Seznam obrázků	37
17.2 Seznam tabulek	38
Seznam použité literatury	39
Seznam použitých zkratek a symbolů	40
Seznam příloh.....	42

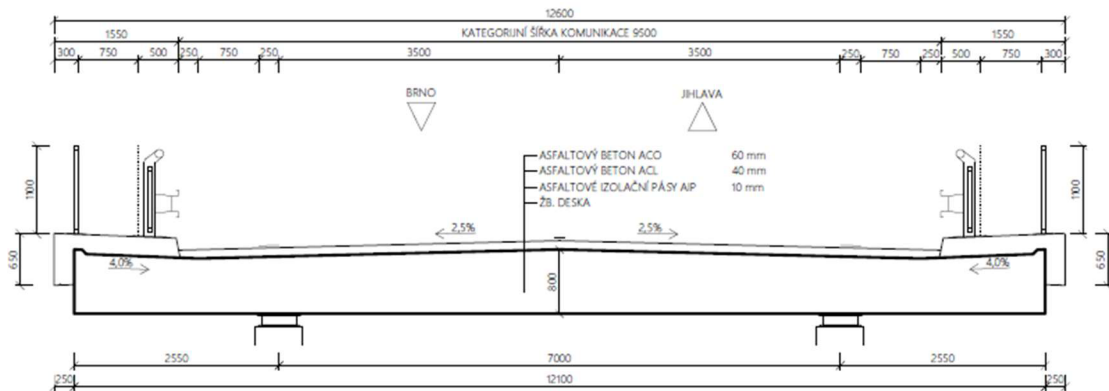
Úvod

Cílem této bakalářské práce je návrh a posouzení mostu přes místní potok. Přesné umístění mostu není zadáno, bylo tedy zvoleno smyšlené umístění a vytvořen terénní profil. Most převádí pozemní komunikaci kategorií šířky S9,5 a na každé straně 2 servisní chodníky o šířce 750 mm. Staticky je řešena mostovka, spodní stavba je pouze geometricky navržena. Průřez mostovky byl po dohodě s vedoucím bakalářské práce vybrán ze 3 variant na základě statických, ekonomických a estetických požadavků. Výpočet účinků zatížení byl spočítán pomocí programu SCIA Engineer 18.1. Statické posouzení bylo provedeno podle platných souborů norem ČSN EN 1991 Zatížení konstrukcí a ČSN EN 1992 Navrhování betonových konstrukcí.

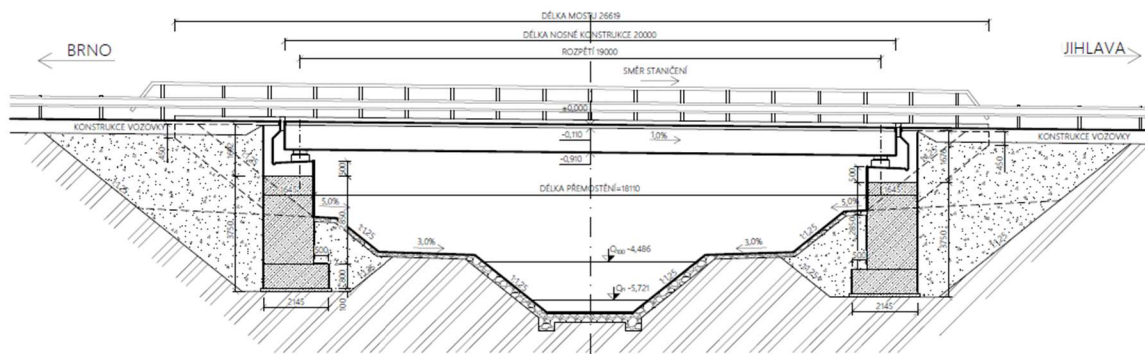
1. Varianty

1.1 Varianta A

Varianta A je tvořena prostě podepřenou deskou. Tloušťka byla na základě doporučených hodnot zvolena 800 mm v nejvyšším bodě. Šířka nosné konstrukce je 12,1 m. Deska je dodatečně předepnuta rovnoměrně v celé šířce, všechny kabely mají stejný parabolický průběh. Spodní okraj desky je vodorovný, horní okraj kopíruje příčný sklon převáděné komunikace, v místě vozovky je příčný sklon střechovitý o sklonu 2,5 %, na římsách je sklon 4 % směrem do středu komunikace.



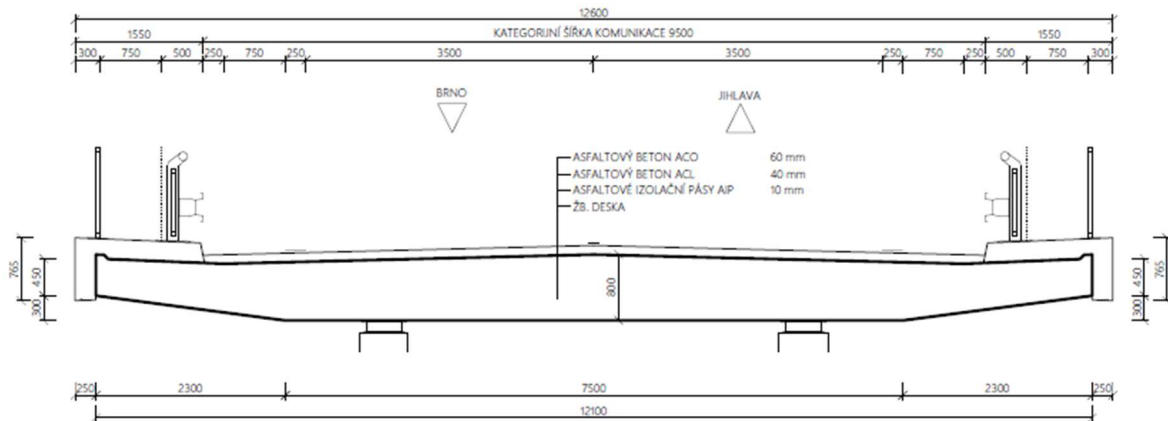
Obr. 1 Varianta A - příčný řez



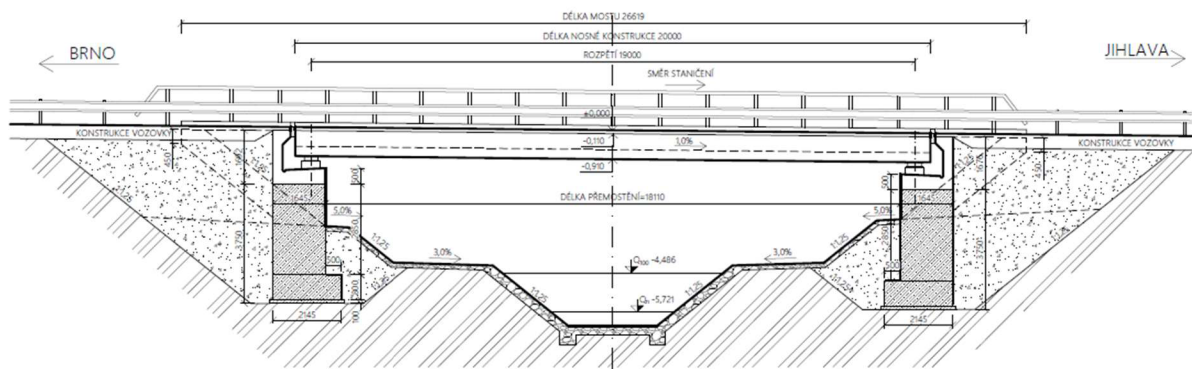
Obr. 2 Varianta A - podélný řez

1.2 Varianta B

Varianta B je tvořena prostě podepřenou deskou s náběhy. Tloušťka byla na základě doporučených hodnot zvolena 800 mm v nejvyšším bodě. Šířka nosné konstrukce je 12,1 m. Střední část má vodorovný spodní okraj v šířce 7,5 m, poté je na každé straně náběh široký 2,3 m, boky desky jsou 450 mm tlusté. Deska je dodatečně předpjatá ve střední části. Horní okraj kopíruje příčný sklon převáděné komunikace, v místě vozovky je příčný sklon střechovitý o sklonu 2,5 %, na římsách je sklon 4 % směrem do středu komunikace.



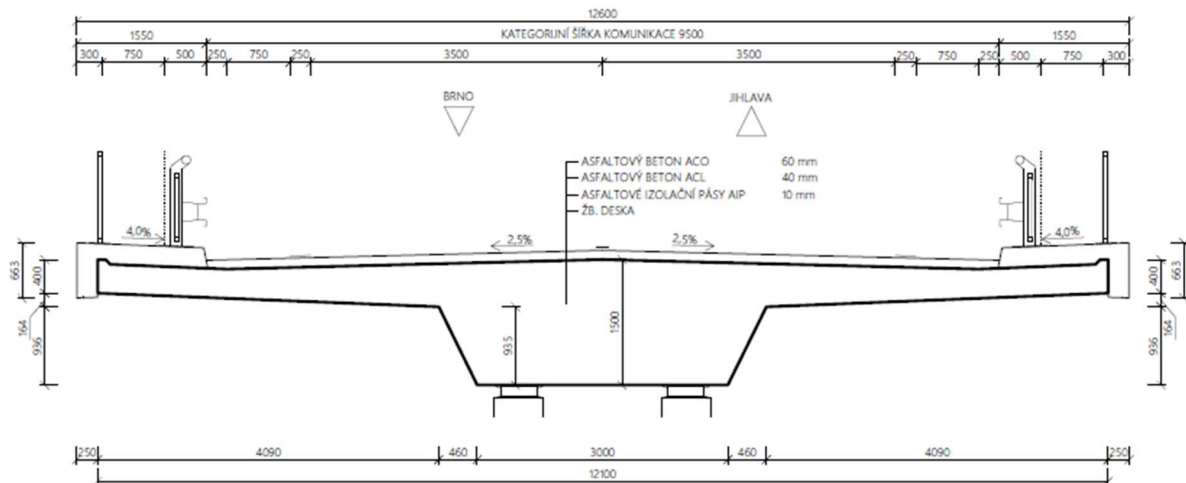
Obr. 3 Varianta B - příčný řez



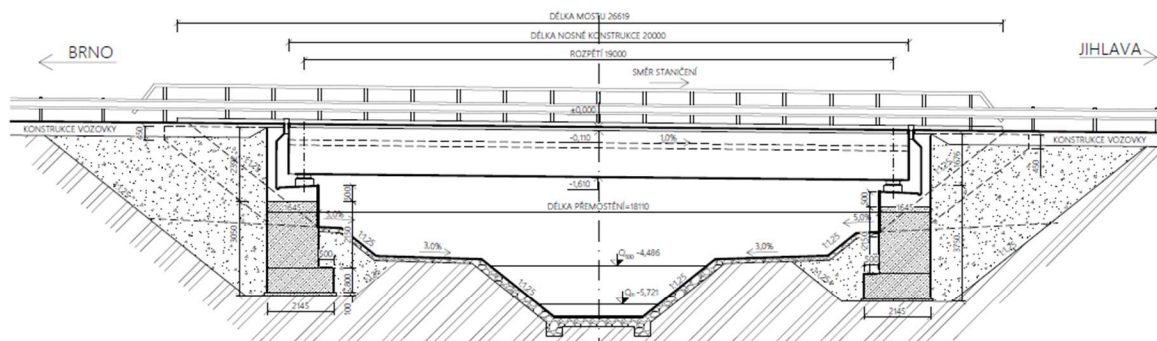
Obr. 4 Varianta B - podélný řez

1.3 Varianta C

Varianta C je tvořena deskotrámovým průřezem s jedním hlavním nosníkem uprostřed. Maximální výška v nejvyšším bodě je 1,5 m a šířka hlavního nosníku je 3 m. Potom je na každé straně náběh široký 460 mm a vysoký 935 mm, poté až k okraji desky je vyložení široké 4,090 m, deska je na svém okraji tlustá 400 mm. Deska je dodatečně předpjatá ve střední části. Horní okraj kopíruje příčný sklon převáděné komunikace, v místě vozovky je příčný sklon střešovitý o sklonu 2,5 %, na římsách je sklon 4 % směrem do středu komunikace.



Obr. 5 Varianta C - příčný řez



Obr. 6 Varianta C - podélný řez

1.4 Výběr varianty

Po konzultaci s vedoucím bakalářské práce byla vybrána varianta A. Pro daný účel umístění a využití mostu splňuje všechny estetické a technické požadavky. Tato varianta je nejjednodušší na realizaci a zároveň je i nejlevnější.

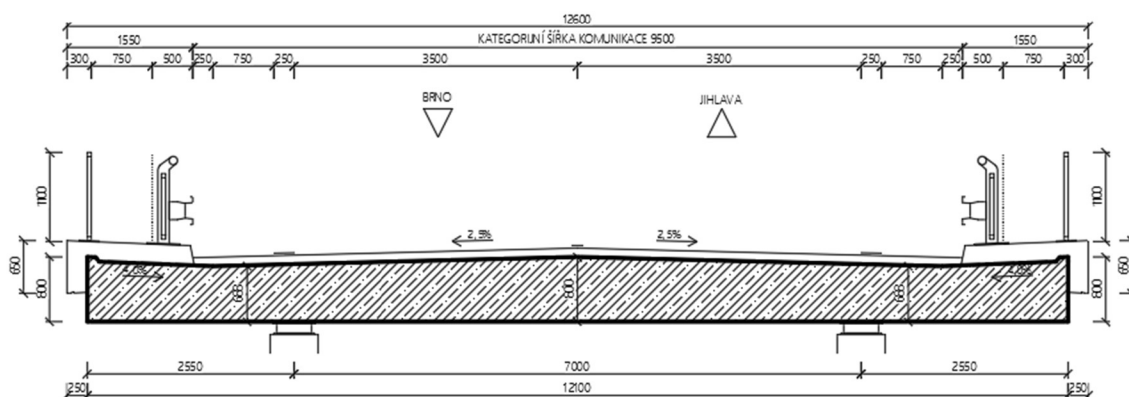
2. Návrhové parametry mostu

Rozpětí mostu:	19,000 m
Délka mostu:	26,619 m
Délka přemostění:	18,110 m
Délka nosné konstrukce:	20,000 m
Výška mostu:	6,151 m
Šířka mostu:	12,600 m
Šířka nosné konstrukce:	12,100 m
Šířka říms:	1,550 m
Úhel křížení:	90°
Počet mostních polí:	1
Převáděná komunikace:	S9,5
Kategorie pozemní komunikace:	1
Podélný sklon:	1 % ve směru staničení
Příčný sklon komunikace:	2,5 % střešovitý sklon
Příčný sklon říms:	4,0 % dostředný sklon

3. Technické řešení mostu

3.1 Hlavní nosná konstrukce

Hlavní nosná konstrukce je tvořena prostě podepřenou deskou z předpjatého betonu. Beton je třídy C30/37 a betonářská výztuž B500B. Stupeň vlivu prostředí XF2, XD1, XC4. Podélná vzdálenost ložisek je 19 m, délka hlavní nosné konstrukce je 20 m, šířka hlavní nosné konstrukce je 12,1 m, příčná vzdálenost ložisek je 7 m. Spodní okraj desky je vodorovný, horní okraj kopíruje 2,5 % střešovitý sklon vozovky a 4,0 % dostředný sklon říms, podélný sklon je 1 % ve směru staničení. Na obou stranách desky jsou náběhy sloužící pro lepší ukotvení říms. Deska není nijak půdorysně ani výškově zaoblená.



Obr. 7 Hlavní nosná konstrukce - příčný řez

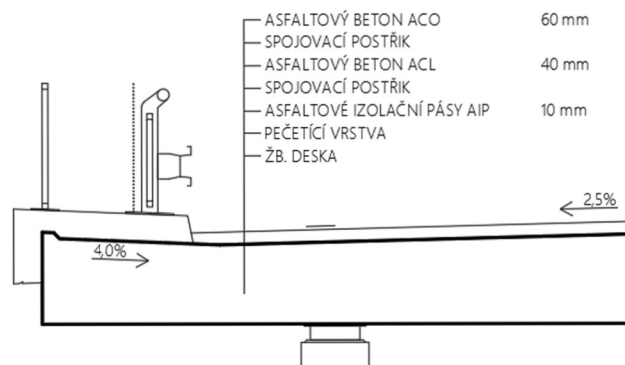
3.2 Mostní svršek

3.2.1 Vozovka

Byla navržena netuhá vozovka pro střední zatížení tloušťky 110 mm. Vozovka je v příčném střechovitém sklonu 2,5 % a podélném sklonu 1 %.

Skladba:

- Asfaltový beton pro obrusnou vrstvu ACO 11+ 60 mm
- Spojovací postřík
- Asfaltový beton pro ložnou vrstvu ACL 16+ 40 mm
- Spojovací postřík
- Asfaltové izolační pásy 10 mm
- Pečetící vrstva
- Železobetonová deska 800 mm



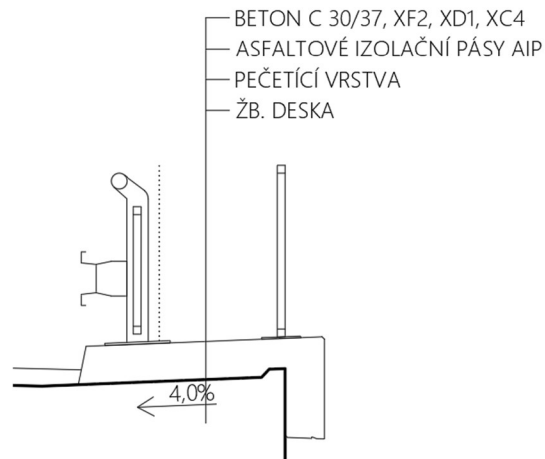
Obr. 8 Skladba vozovky

3.2.2 Římsy

Římsy jsou z betonu C30/37, vyztužené betonářskou výztuží B500B. Stupeň vlivu prostředí XF2, XD1, XC4. Tloušťka římsy je 240 mm, šířka 1550 mm. Římsy jsou na celé délce nosné konstrukce a na křídlech, po obou stranách jsou stejné. Vyložení říms za hranu nosné konstrukce je 250 mm. Příčný sklon na povrchu je 4 %, podélný sklon je 1 %.

Skladba:

- Beton C30/37, XF2, XD1, XC4 240 mm
- Asfaltové izolační pásy AIP 10 mm
- Pečetící vrstva
- Železobetonová deska 800 mm



Obr. 9 Skladba římsy

3.3 Mostní závěr a mostní ložiska

3.3.1 Mostní závěr

Jako mostní závěr byl zvolený otevřený mostní závěr s gumovým těsněním od firmy FREYSSINET, typ Wd/Wd+60, který umožňuje podélnou dilataci mostovky 60 mm.



Obr. 10 Mostní závěr

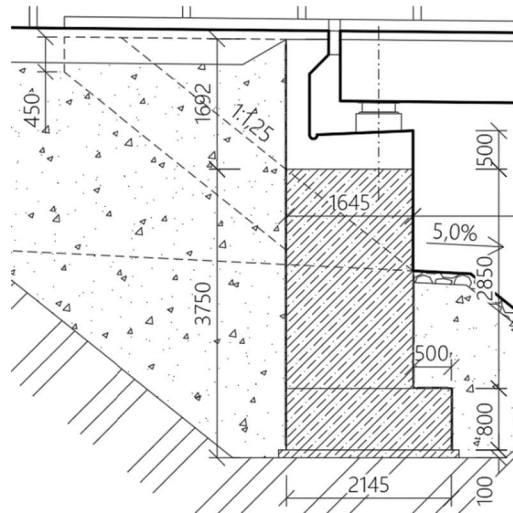
3.3.2 Ložiska

Vzhledem k reakcím nosné konstrukce na podpory byla vybrána hrncová ložiska od firmy FREYSSINET s maximálním svislým tlakem 3000 kN. Systém uložení ložisek je patrný z výkresové dokumentace.

- 1 x pevné ložisko FREYSSINET FX 3000 – 300
- 2 x jednosměrně posuvné ložisko FREYSSINET GG 3000 – 300 – 50
- 1 x všesměrně posuvné ložisko FREYSSINET GL 3000 – 50 – 20

3.4 Spodní stavba

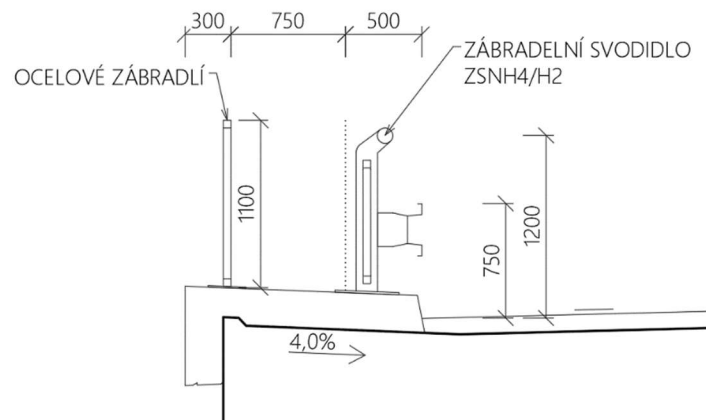
Spodní stavba je tvořena masivní přesypanou opěrou z prostého betonu C30/37, XF2, XD1, XC4 tloušťky 1645 mm a výšky 2850 mm; plošným základem z prostého betonu C16/20, XC2, XA1, šířky 2145 mm a výšky 800 mm, s podkladním betonem tloušťky 100 mm. Zavěšené křídlo, závěrná zeď, úložný práh a podložiskový blok jsou tvořeny železobetonem C30/37, XF2, XD1, XC4. Most má jedno pole, proto se nenachází žádný mezilehlý pilíř.



Obr. 11 Spodní stavba

3.4 Zádržné systémy

Mezi chodníkem a vozovkou je umístěno zábradelní svodidlo ZSNH4/H2 bránící vyjetí vozidel z vozovky na chodník a zároveň chrání chodce před vozidly. Dále je na římsách umístěno kovové zábradlí výšky 1100 mm, výplň zábradlí je tvořena svislicemi.



Obr. 12 Záchytné systémy

4. Materiály

4.1 Beton

Pevnostní třída:	C30/37
Válcová pevnost v tlaku:	$f_{ck} = 30 \text{ MPa}$
Střední hodnota pevnosti v tahu:	$f_{ctm} = 2,9 \text{ MPa}$
5% kvantil pevnosti v tahu:	$f_{ctk,0,05} = 2 \text{ MPa}$
Modul pružnosti:	$E_{cm} = 32 \text{ GPa}$
Mezní poměrné přetvoření:	$\epsilon_{cu3} = 3,5 \text{ ‰}$
Stupeň vlivu prostředí:	XF2, XD1, XC4
Součinitel spolehlivosti:	$\gamma_c = 1,5$
Součinitel účinků zatížení pro tlak:	$\alpha_{cc} = 0,9$
Součinitel účinků zatížení pro tah:	$\alpha_{ct} = 1,0$
Návrhová pevnost betonu v tlaku:	$f_{cd} = \alpha_{cc} * \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 18 \text{ MPa}$
Návrhová pevnost betonu v tahu:	$f_{ctd} = \alpha_{ct} * \frac{f_{ctk,0,05}}{\gamma_c} = 1,33 \text{ MPa}$

4.2 Předpínací výztuž

Typ předpínací výztuže:	Y-1860 S7-15,7-A
Charakteristická pevnost v tahu:	$f_{pk} = 1860 \text{ MPa}$
Smluvní pevnost v tahu:	$f_{p01,k} = 1640 \text{ MPa}$
Plocha 1 lana:	$A_{p,1} = 150 \text{ mm}^2$
Průměr 1 lana:	$\varnothing_{p,1} = 15,7 \text{ mm}$
Průměr kanálku:	$\varnothing_{duct} = 80 \text{ mm}$
Modul pružnosti:	$E_p = 195 \text{ GPa}$
Součinitel spolehlivosti:	$\gamma_s = 1,15$
Návrhová pevnost v tahu:	$f_{pd} = \frac{f_{p01,k}}{\gamma_s} = 1426,087 \text{ MPa}$

4.3 Betonářská výztuž

Typ betonářské výztuže:	B500B
Charakteristická pevnost v tahu:	$f_{yk} = 500 \text{ MPa}$
Modul pružnosti:	$E_s = 200 \text{ GPa}$
Součinitel spolehlivosti:	$\gamma_s = 1,15$
Návrhová pevnost v tahu:	$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = 434,78 \text{ MPa}$

5. Časový harmonogram a postup výstavby

Časový harmonogram z pohledu výpočtu mezních stavů:

Vybetonování:	0. den
Odbednění a předepnutí:	$t_0 = 28$ dní
Mostní svršek, vnesení ostatního stálého zatížení:	$t_g = 70$ dní
Uvedení do provozu, vnesení užitečného zatížení:	$t_q = 100$ dní
Životnost mostu:	100 let

Postup výstavby:

- Odkopání terénu, postavení štětových stěn a vykopání základových spár
- Betonáž základů
- Výstavba bednění pro výstavbu masivní opěry, betonáž opěry
- Výstavba bednění, vyztužení a betonáž úložného prahu
- Odbednění opěry, výstavba skruže a bednění pro betonáž mostovky
- Vyztužení a betonáž mostovky
- Odbednění úložného prahu
- Odbednění mostovky a vnesení předpjetí
- Výstavba bednění a betonáž závěrné zídky
- Odbednění spodní stavby a provedení hydroizolace spodní stavby
- Zасыпání opěr spolu s úpravou přechodových oblastí
- Úprava a zabroušení betonových povrchů do požadovaného tvaru
- Osazení mostního závěru a ložisek
- Demontáž dočasných podpor
- Terénní úpravy a vytvoření odvodnění zemního tělesa
- Provedení hydroizolace mostovky
- Bednění, vyztužení a betonáž říms
- Odbednění říms
- Pokládka asfaltového souvrství
- Osazení záchytných systémů, dopravního značení, ...
- Dokončovací terénní úpravy, úklid, závěrečná prohlídka, odstranění vad a nedodělků
- Uvedení do provozu

6. Technické a technologické požadavky pro výstavbu

Pro předpínací výztuž:

- Kotevní napětí: $\sigma_{p,max} = 1476 \text{ MPa}$
- Napínací síla na 1 kotvu: $P_{12} = 2256,082 \text{ kN}$
- Protažení lana: $\Delta l_p = 128,153 \text{ mm}$
- Pořadí napínání kabelů: K11, K12, K10, K9, K13, K14, ...
- Kotvy budou předem zabetonovány
- Injektáž a odvzdušnění kanálků bude provedeno kotvami
- Krytí předpínací výztuže: 105 mm

Pro betonářskou výztuž:

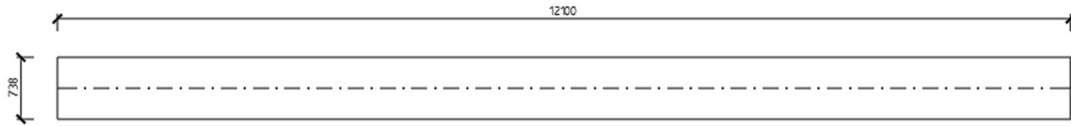
- Poloměr zaoblení betonářské výztuže $\varnothing_{M,min} = 4 * \varnothing$, pro $\varnothing \leq 16 \text{ mm}$
 $\varnothing_{M,min} = 7 * \varnothing$, pro $\varnothing > 16 \text{ mm}$
- Při kolizi předpínací a betonářské výztuže betonářskou výztuž posunout
- Styky výztuže musí být vystřídáné
- Výztuž musí být zabetonována čistá a bez hluboké koroze
- Krytí betonářské výztuže: 50 mm

Pro betonáž:

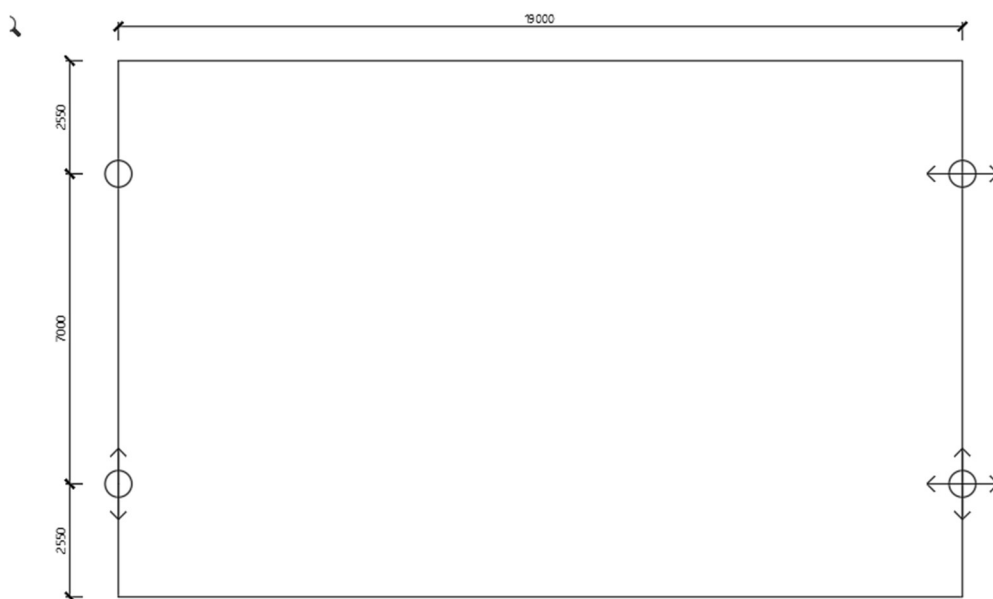
- Před betonáží nutno očistit bednění a výztuž od nečistot pomocí magnetu a propláchnout vodou
- Beton bude mít pohledovou úpravu => použít montované panelové bednění
- Při betonáži beton řádně hutnit vibrátory
- Po ukončení betonáže nutno beton ještě alespoň 3 dny řádně ošetřovat
- Při betonáži pomocí čerpadel nutno zamezit rozmísení směsi pádem z výšky
- Teplota při betonáži nesmí klesnout pod +5°C

7. Výpočtový model

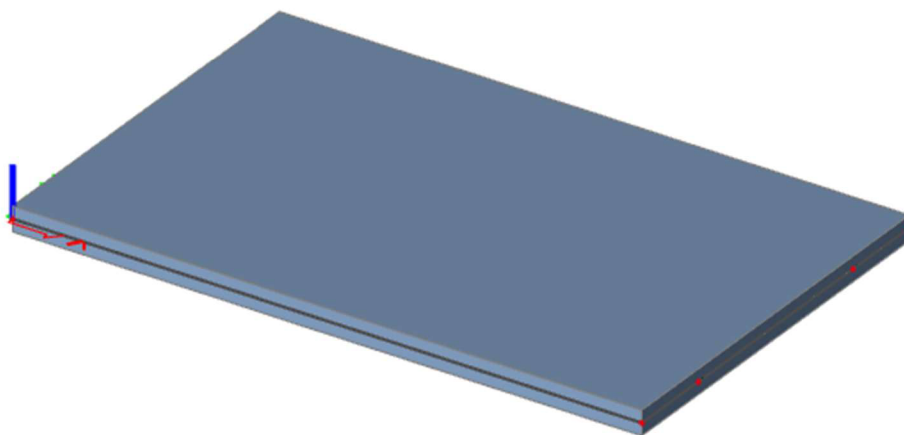
Pro výpočet účinků zatížení v programu SCIA Engineer 18.1 a co nejefektivnějšího výpočtu předpětí byl v programu AutoCad 2019 vytvořen výpočtový model. Výpočtový model byl vytvořen tak, aby se rovnaly plochy skutečného příčného řezu a výpočtového modelu při zachování co nejpodobnější geometrie. Výška modelu je 738 mm, šířka 12,1 m a délka 19 m. Podepření je realizováno pomocí 4 hrncových ložisek.



Obr. 13 Výpočtový model - příčný řez



Obr. 14 Statické schéma



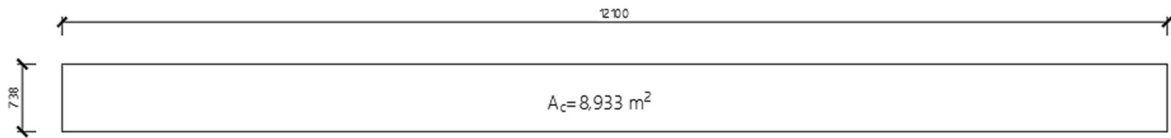
Obr. 15 Výpočtový model - axonometrický pohled

8. Zatížení

Účinky zatížení byly spočítány v programu SCIA Engineer 18.1 a následně ověřeny ručním výpočtem.

8.1 Vlastní tíha

Vlastní tíha byla vygenerována pomocí programu SCIA Engineer 18.1. Plocha průřezu pro výpočet vlastní tíhy je $8,933 \text{ m}^2$.



Obr. 16 Geometrie pro výpočet vlastní tíhy

$$m_{g0,k} = 845,68 \text{ kNm/m}$$

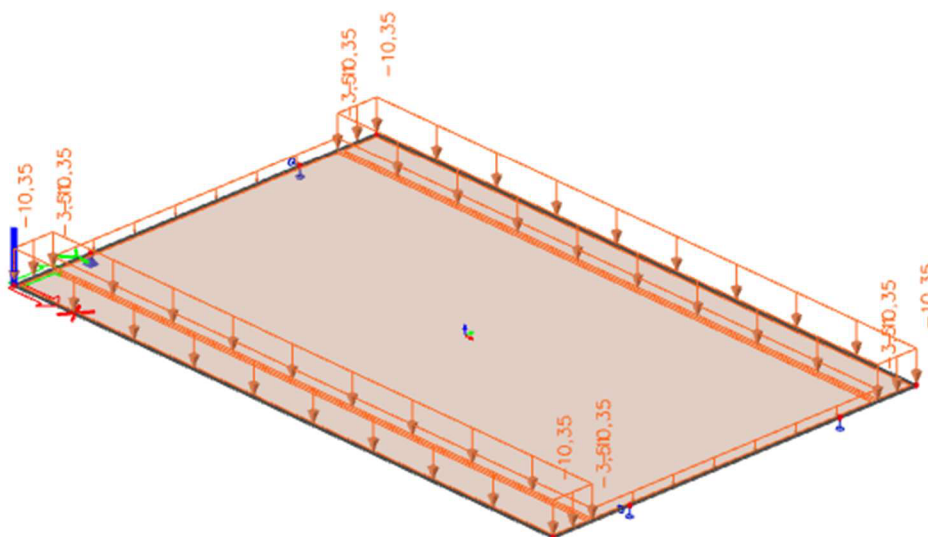
8.2 Ostatní stálé

Ostatní stálé se skládá ze zatížení vozovky, říms a záchranných systémů. Zatížení bylo spočítáno na 1 m^2 .

Vozovka:	$g_{1k,voz} = 2,387 \text{ kN/m}^2$
Římsy:	$g_{1k,řím} = 8,996 \text{ kN/m}^2$
Záchranné systémy:	$g_{1k,zz} = 1,346 \text{ kN/m}^2$

Zatížení od záchranných systémů a říms bylo pro svoje shodné umístění sečteno.

$$g_{1k,řím+zz} = 10,342 \text{ kN/m}^2$$



Obr. 17 Ostatní stálé zatížení

8.3 Zatížení dopravou

Zatížení dopravou bylo nejdříve rozneseno a nakresleno v programu AutoCad 2019 a následně vloženo do SCIE. Soustředné zatížení bylo rozneseno pod úhlem 45° na střednici desky.

Zatížení od dopravy je počítáno podle normy ČSN EN 1991-2 Zatížení mostů dopravou.

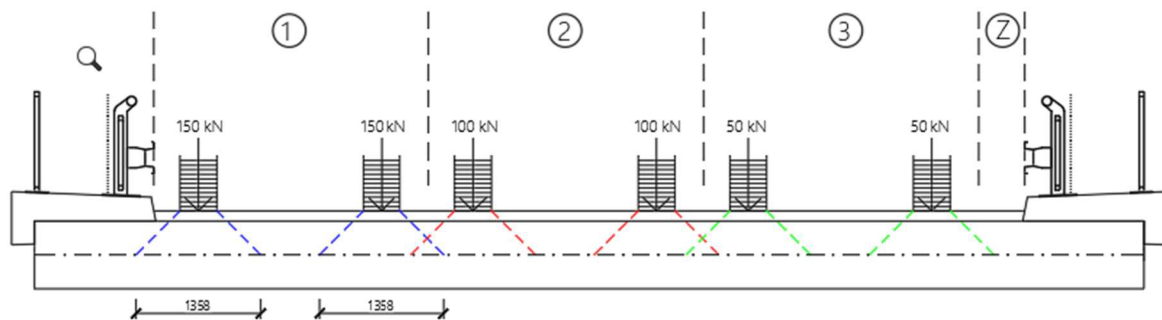
Zatížení je uvažováno jako sestavy:

- gr1a: TS, UDL (LM1) a rovnoměrné zatížení na chodnících
- gr5: Zvláštní vozidlo (LM3)
- gr4: Zatížení davem lidí (LM4)

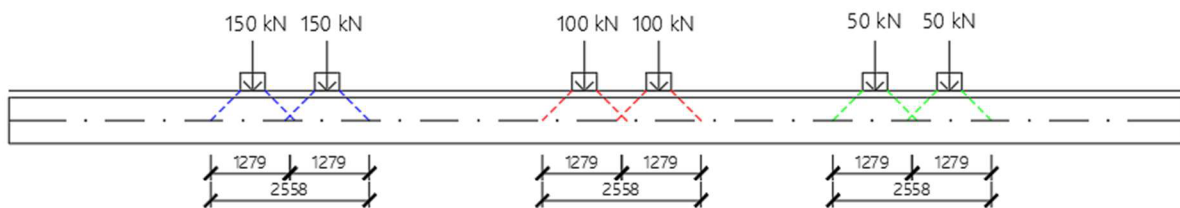
Před výpočtem zatížení byla vozovka na mostovce rozdělena do pruhů 1, 2, 3 a zbytek, na které následně bylo aplikováno zatížení dle normy.

8.3.1 Dvojnáprava (TS)

Do každého pruhu bylo umístěno zatížení dle normy pro skupinu pozemních komunikací 1, vykresleny roznosy a následně bylo vloženo jako pohyblivé zatížení do SCIE.



Obr. 18 Postavení TS - příčný směr



Obr. 19 Postavení TS - podélný směr

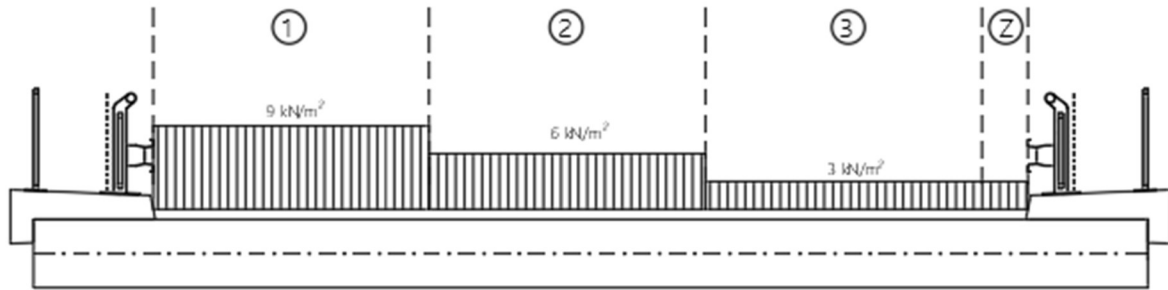
Výsledné hodnoty zatížení od dvojnápravy:

pruh	α_i	Q_i [kN]	$b_{příč}$ [m]	b_{pod} [m]	q_{ik} [kN/m ²]
1	1	300	1,358	2,558	86,362
2	1	200	1,358	2,558	57,574
3	1	100	1,358	2,558	28,787

Tab. 1 Hodnoty zatížení TS

8.3.2 Rovnoměrné zatížení (UDL)

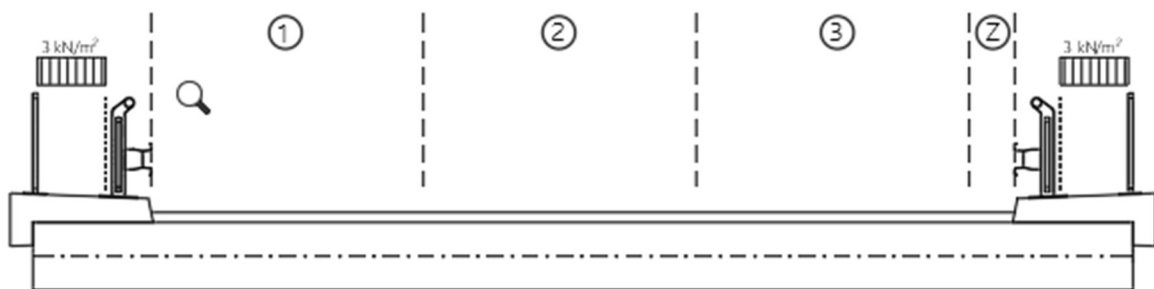
Do každého pruhu bylo umístěno zatížení dle normy pro skupinu pozemních komunikací 1, vykresleny roznosy a následně bylo vloženo do SCIE jako volné zatížení na ploše do svého zatěžovacího pruhu.



Obr. 20 Postavení UDL

8.3.3 Rovnoměrné zatížení na chodnících

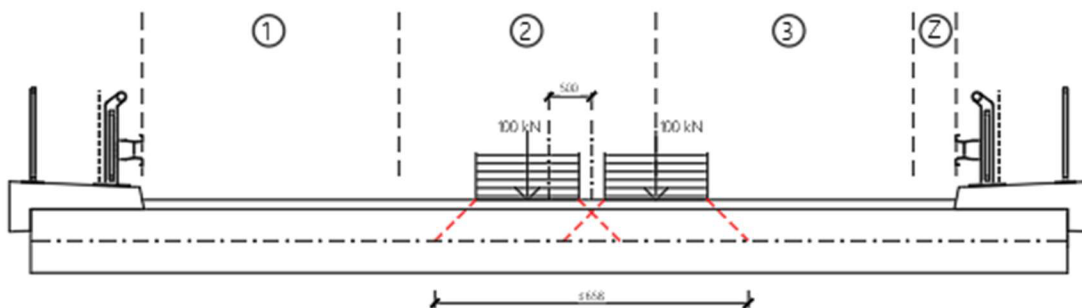
Zatížení na chodnících bylo do SCIE vloženo jako plošné zatížení na ploše o intenzitě 3 kN/m^2 na průchozí části chodníku.



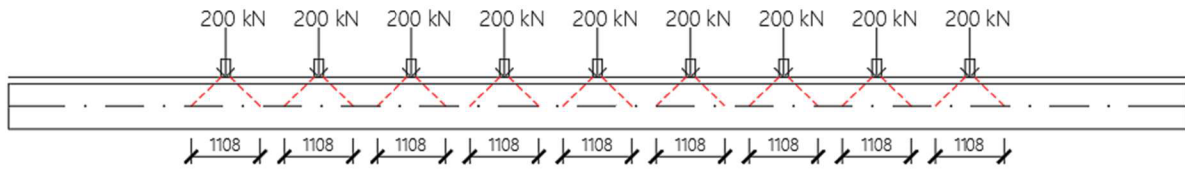
Obr. 21 Rovnoměrné zatížení na chodnících

8.3.4 Zvláštní vozidlo LM3

Zvláštní vozidlo bylo zvoleno 1800/200. Model zatížení byl umístěn na osu komunikace s odchylkou $\pm 0,5 \text{ m}$ pro maximální účinek. Do SCIE bylo zadáno jako pohyblivé zatížení.



Obr. 22 Postavení zvláštního vozidla - příčný směr

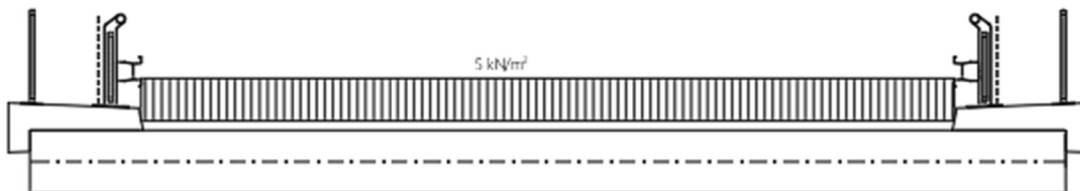


Obr. 23 Postavení zvláštního vozidla - podélný směr

Hodnota rozneseného zatížení: $q_{ik} = 47,215 \text{ kN/m}^2$

8.3.5 Dav lidí LM4

Zatížení davem lidí bylo do SCIE vloženo jako plošné zatížení o intenzitě 5 kN/m^2 po celé ploše vozovky.



Obr. 24 Zatížení davem lidí LM4

8.4 Ruční výpočet

Pro výpočet účinků zatížení ručním výpočtem byla zvolena metoda spolupůsobící šířky. Zatížení bylo spočítáno na 1 bm na skutečném příčném řezu. Proměnná zatížení byla roznesena pod úhlem 45° na spodní tažená vlákna.

9. Kombinace momentů

Kombinace momentů byly vytvořeny v programu SCIA Engineer 18.1 pomocí automaticky generovaných kombinací pro silniční most, poté byly ověřeny ručním výpočtem a výsledky byly porovnány. Kombinace momentů od dopravy jsou uvažovány jako sestavy:

- gr1a: TS, UDL (LM1) a rovnoměrné zatížení
- gr5: Zvláštní vozidlo (LM3)
- gr4: Zatížení davem lidí (LM4)

Kombinace momentů byly vypočítány podle normy ČSN EN 1991-1-1 Obecná zatížení a ČSN EN 1991-2 Zatížení mostů dopravou.

Složení rovnic pro kombinace je vidět v následujících tabulkách:

Kombinace	Stálá zatížení		Předpjetí	Proměnná zatížení	
	Nepříznivá	Příznivá		Nejúčinnější	Ostatní
Charakteristická	$G_{k,j,sup}$	$G_{k,j,inf}$	P	$Q_{k,1}$	$\psi_{0,j} Q_{k,j}$
Častá	$G_{k,j,sup}$	$G_{k,j,inf}$	P	$\psi_{1,1} Q_{k,1}$	$\psi_{2,j} Q_{k,j}$
Kvazistálá	$G_{k,j,sup}$	$G_{k,j,inf}$	P	$\psi_{2,1} Q_{k,1}$	$\psi_{2,j} Q_{k,j}$

Tab. 2 Kombinace zatížení MSP

Výraz	Stálá zatížení		Předpjetí	Hlavní proměnné zatížení	Vedlejší proměnná zatížení	
	Nepříznivá	Příznivá			Nejúčinnější	Ostatní
6.10a	$\gamma_{G,j,sup} G_{k,j,sup}$	$\gamma_{G,j,inf} G_{k,j,inf}$	$\gamma_P P$		$\gamma_{Q,1} \psi_{0,1} Q_{k,1}$	$\gamma_{Q,j} \psi_{0,j} Q_{k,j}$
6.10b	$\xi \gamma_{G,j,sup} G_{k,j,sup}$	$\xi \gamma_{G,j,inf} G_{k,j,inf}$	$\gamma_P P$	$\gamma_{Q,1} Q_{k,1}$		$\gamma_{Q,j} \psi_{0,j} Q_{k,j}$

Tab. 3 Kombinace zatížení MSÚ

		ψ_0	ψ_1	ψ_2
gr1a	TS	0,75	0,75	0
	UDL	0,4	0,4	0
	chodci	0,4	0,4	0
gr5		0	-	0
gr4		0	-	0

Tab. 4 Součinitele kombinace zatížení 1

$\gamma_{G,sup}$	1,35
$\gamma_{G,inf}$	1
γ_Q	1,35
ϕ	1,25
ξ	0,85

Tab. 5 Součinitele kombinace zatížení 2

Kde: ψ_i ... součinitel zatížení
 γ_{G/Q_i} ... součinitel spolehlivosti
 ϕ ... dynamický součinitel
 ξ ... kombinační součinitel

Výsledky kombinací výpočtem pomocí softwaru a ručním výpočtem a jejich odchylek:

Kombinace	SCIA mxD- [kNm/m]	ručně [kNm/m]	změna [%]
charakteristická	1617,44	1898,822	-14,82
častá	1396,81	1588,179	-12,05
kvazistálá	1076,3	1059,231	1,61
MSÚ-soubor B/6.10b	1965,6	2348,915	-16,32
vlastní tíha	845,68	832,855	1,54

Tab. 6 Výsledky kombinací a porovnávání výsledků

10. Návrh předpínací výztuže

Pro návrh předpínací výztuže bylo nejprve stanoveno napětí v různých fázích výstavby a provozu.

Maximální napětí ve výztuži:

$$\sigma_{p,max} = 1476 \text{ MPa}$$

Maximální napětí po vnesení předpjetí:

$$\sigma_{pm0,max} = 1394 \text{ MPa}$$

Odhad napětí po okamžitých ztrátách (čas t_0) – odhad okamžitých ztrát je 8,60 %

$$\sigma_{pm0} = 1349,064 \text{ MPa}$$

Odhad napětí po dlouhodobých ztrátách (čas t_{oo}) – odhad dlouhodobých ztrát je 8,50 %

$$\sigma_{pmoo} = 1234,394 \text{ MPa}$$

Poté byly stanoveny předpínací síly pro kombinace zatížení MSP a následně zjištěna grafickou metodou maximální a minimální předpínací síla v čase t_0 .

t_{oo} - častá kombinace – tažené spodní vlákno

$$M_{EK,\psi 1} = m_{EK,\psi 1} * b_d = 1396,81 * 12,1 = 16\,901,401 \text{ kNm}$$

$\sigma_{c1} \leq 0$ – stav dekomprese

$$-\frac{P_{moo}}{A_c} - \frac{P_{moo} * e_p}{W_{c1}} + \frac{M_{EK,\psi 1}}{W_{c1}} \leq 0$$

$$-\frac{P_{moo}}{8,933} - \frac{P_{moo} * 0,234}{1,0993} + \frac{16901,401}{1,0993} \leq 0$$

$$P_{moo} \geq 47\,334,83 \text{ kN}$$

$$P_{mo} \geq P_{moo} * \frac{1}{0,915} = 47\,334,83 * \frac{1}{0,915} = 51\,732,055 \text{ kN}$$

t_{oo} - charakteristická kombinace – tlačené horní vlákno

$$M_{EK,\psi 0} = m_{EK,\psi 0} * b_d = 1617,44 * 12,1 = 19\,571,024 \text{ kNm}$$

$\sigma_{c2} \geq -0,6 * f_{ck} = -0,6 * 30 = -18 \text{ MPa}$

$$-\frac{P_{moo}}{A_c} + \frac{P_{moo} * e_p}{W_{c2}} - \frac{M_{EK,\psi 0}}{W_{c2}} \leq -18 \text{ Mpa}$$

$$-\frac{P_{moo}}{8,933} + \frac{P_{moo} * 0,234}{1,0993} - \frac{19571,024}{1,0993} \leq -18 \text{ MPa}$$

$$P_{moo} \geq -1950,397 \text{ kN}$$

$$P_{mo} \geq P_{moo} * \frac{1}{0,915} = -1950,397 * \frac{1}{0,915} = -2131,582 \text{ kN}$$

t_{oo} - kvazistálá kombinace – tlačené horní vlákno

$$M_{EK,\psi 2} = m_{EK,\psi 2} * b_d = 1076,3 * 12,1 = 13\,023,23 \text{ kNm}$$

$\sigma_{c2} \geq -0,45 * f_{ck} = -0,45 * 30 = -13,5 \text{ MPa}$

$$-\frac{P_{moo}}{A_c} + \frac{P_{moo} * e_p}{W_{c2}} - \frac{M_{EK,\psi 0}}{W_{c2}} \leq -13,5 \text{ Mpa}$$

$$-\frac{P_{moo}}{8,933} + \frac{P_{moo} * 0,234}{1,0993} - \frac{13023,23}{1,0993} \leq -13,5 \text{ MPa}$$

$$P_{moo} \geq -16\,381,19 \text{ kN}$$

$$P_{mo} \geq P_{moo} * \frac{1}{0,915} = -16\,381,19 * \frac{1}{0,915} = -17\,902,94 \text{ kN}$$

t_o - charakteristická kombinace – tažené horní vlákno

$$M_{g0,k} = m_{g0,k} * b_d = 845,68 * 12,1 = 10\,232,728 \text{ kNm}$$

$\sigma_{c2} \leq f_{ctm} = 2,9 \text{ MPa}$

$$-\frac{P_{mo}}{A_c} + \frac{P_{mo} * e_p}{W_{c2}} - \frac{M_{g0,k}}{W_{c2}} \leq 2,9 \text{ Mpa}$$

$$-\frac{P_{mo}}{8,933} + \frac{P_{mo} * 0,234}{1,0993} - \frac{10232,728}{1,0993} \leq 2,9 \text{ MPa}$$

$$P_{mo} \leq 120\,973,19 \text{ kN}$$

t₀ - charakteristická kombinace – tlačené spodní vlákno

$$M_{g0,k} = m_{g0,k} * b_d = 845,68 * 12,1 = 10\,232,728 \text{ kNm}$$

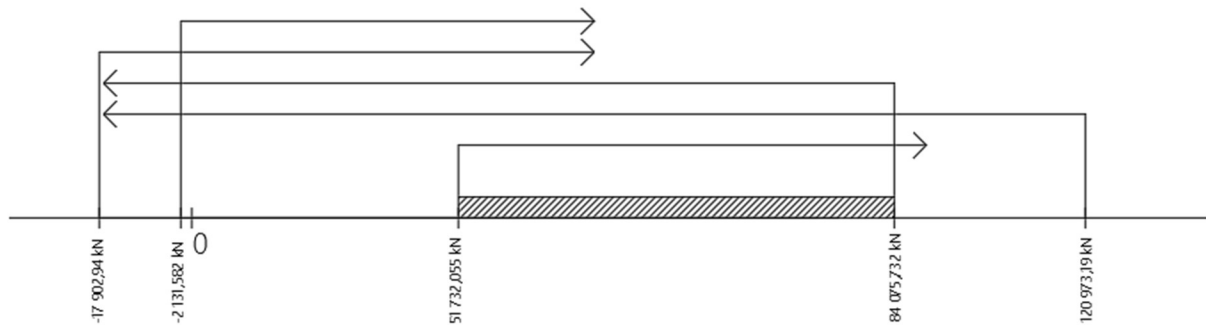
$$\sigma_{c1} \leq -0,6 * f_{ck} = -0,6 * 30 = -18 \text{ MPa}$$

$$-\frac{P_{mo}}{A_c} - \frac{P_{mo} * e_p}{W_{c2}} + \frac{M_{g0,k}}{W_{c2}} \leq 18 \text{ MPa}$$

$$-\frac{P_{m00}}{8,933} - \frac{P_{m00} * 0,234}{1,0993} + \frac{10232,728}{1,0993} \leq -18 \text{ MPa}$$

$$P_{m0} \leq 84\,075,732 \text{ kN}$$

Určení předpínací síly:



Obr. 25 Interval předpínací síly

$$P_{m0,min} = 51\,732,055 \text{ kN}$$

$$P_{m0,max} = 84\,075,732 \text{ kN}$$

$$P_{m00,min} = 47\,334,73 \text{ kN}$$

$$P_{m00,max} = 76\,929,29 \text{ kN}$$

$$P_{m0,req} = 53\,284,0,16 \text{ kN}$$

Dále byl stanoven nutný počet lan a plocha předpínací výztuže:

$$n_{p,req} = 264 \text{ lan}$$

Použití 22 kabelů po 12 lanech

$$A_{p,prov} = A_{p,1} * n_p = 0,0396 \text{ m}^2$$

11. Trasování kabelů

Trasování kabelů bylo provedeno pomocí stejných rovnic jako při návrhu předpínací síly.

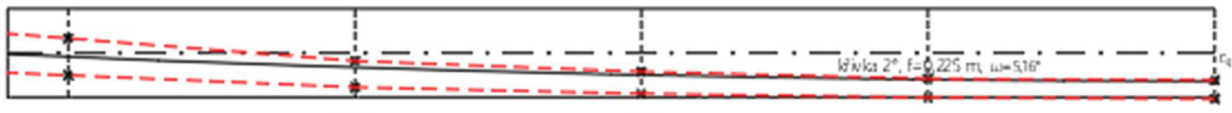
$$-\frac{P_{mo}}{A_c} + \frac{P_{mo} \cdot e_p}{W_{c2}} - \frac{M_{EK}}{W_{c2}} \leq \sigma_{c2} \dots \text{ pro horní vlákno}$$

$$-\frac{P_{mo}}{A_c} - \frac{P_{mo} \cdot e_p}{W_{c1}} + \frac{M_{EK}}{W_{c1}} \leq \sigma_{c1} \dots \text{ pro spodní vlákno}$$

Trasování kabelu bylo spočítáno v 5 řezech po osminách rozpětí.

Řez	e_{p1}	e_{p2}	e_{p3}	e_{p4}	e_{p5}	Interval e	
0 L	-0,123	-0,288	-0,186	0,185	0,259	-0,123	0,185
1/8 L	0,067	-0,064	-0,048	0,286	0,360	0,067	0,286
2/8 L	0,156	0,036	0,026	0,339	0,413	0,156	0,339
3/8 L	0,215	0,103	0,073	0,373	0,448	0,215	0,373
1/2 L	0,228	0,119	0,085	0,382	0,456	0,228	0,382

Tab. 7 Excentricity kabelu v jednotlivých řezech



Obr. 26 vykreslení průběhu excentricit kabelu

12. Ztráty předpětí

Okamžité ztráty byly spočítány v programu SCIA Engineer 18.1 a ověřeny ručním výpočtem, ztráta postupným napínáním byla spočítána pouze ručním výpočtem.

Základní kotevní napětí $\sigma_{pmax} = 1476$ MPa.

	$\Delta\sigma_{p\mu}$ [Mpa]	$\Delta\sigma_{psl}$ [Mpa]	$\Delta\sigma_{pr}$ [Mpa]	$\Sigma\sigma$ [Mpa]
SCIA	-38,12	-61,01	-5,9	-105,030
Ručně	-40,13	-56,02	-6,18	-102,330

Tab. 8 Krátkodobé ztráty - porovnání výsledků

Celkové krátkodobé ztráty jsou 8,65 %.

Dlouhodobé ztráty byly spočítány ručním výpočtem, jejich hodnota je 8,70 %.

13. Mezní stav použitelnosti (MSP)

Mezní stavy použitelnosti byly řešeny v polovině rozpětí (L/2)

13.1 Omezení napětí a omezení trhlin

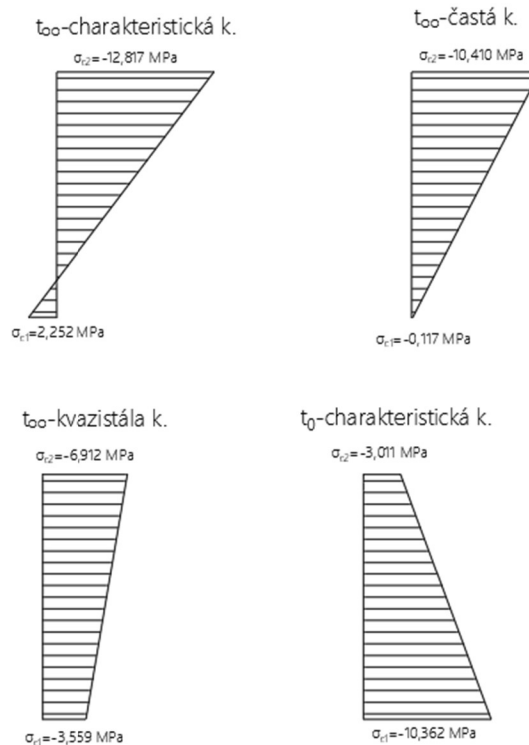
Aby konstrukce vyhověla na mezní stav omezení napětí, musí být splněno těchto 5 podmínek:

Charakteristická kombinace:	$\sigma_{cl} \leq 0,6 f_{ck} = 0,6 * 30 = 18 \text{ MPa}$
Častá kombinace:	$\sigma_{cl} \leq 0$ (stav dekomprese)
Kvazistálá kombinace:	$\sigma_{cl} \leq 0,45 f_{ck} = 0,45 * 30 = 13,5 \text{ MPa}$
Tahové napětí ve výztuži:	$\sigma_{pl} \leq 0,75 f_{pk} = 0,75 * 1860 = 1395 \text{ MPa}$
Omezení trhlin:	$\sigma_c \leq f_{ct,eff}$

Mezní stav omezení napětí byl vypočten z těchto rovnic:

$$-\frac{P_t}{A_c} + \frac{P_t * e_p}{W_{c2}} - \frac{M_{Ek}}{W_{c2}} \leq \sigma_{c2} \dots \text{ pro horní vlákno}$$

$$-\frac{P_t}{A_c} - \frac{P_t * e_p}{W_{c1}} + \frac{M_{Ek}}{W_{c1}} \leq \sigma_{c1} \dots \text{ pro spodní vlákno}$$



Obr. 27 Omezení napětí

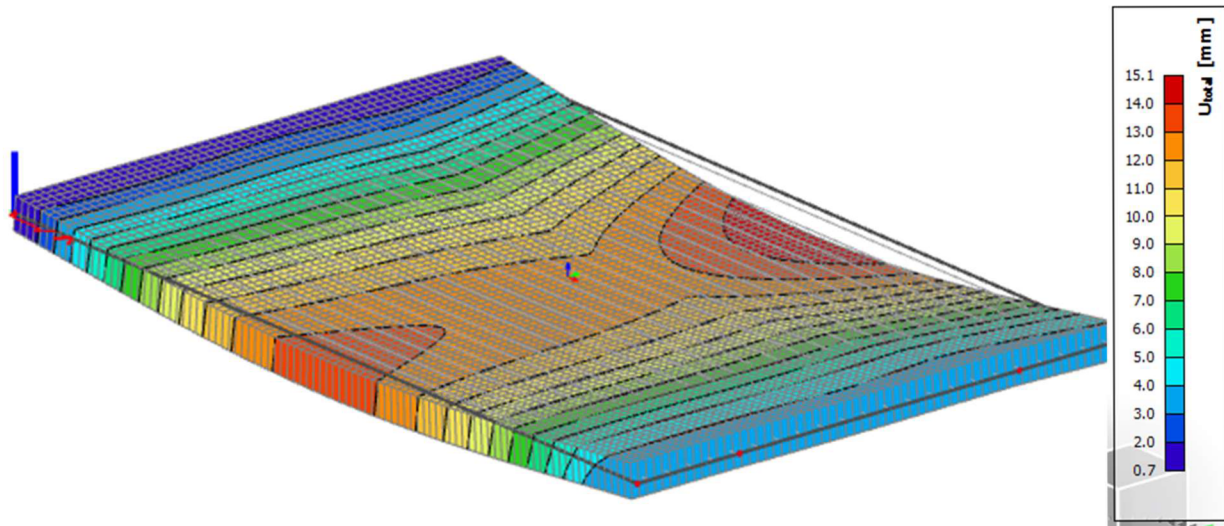
Konstrukce vyhovuje na mezní stav omezení napětí ve všech kombinacích. V žádném místě konstrukce nevzniknou trhliny.

13.2 Omezení průhybu

Konstrukce vyhoví na mezní stav omezení průhybu pokud bude průhyb menší než $\frac{1}{600}L$ pro silniční předpjatý most. Konečný průhyb byl spočítán s využitím ekvivalentního zatížení od předpjetí v čase t_0 a t_{∞} .

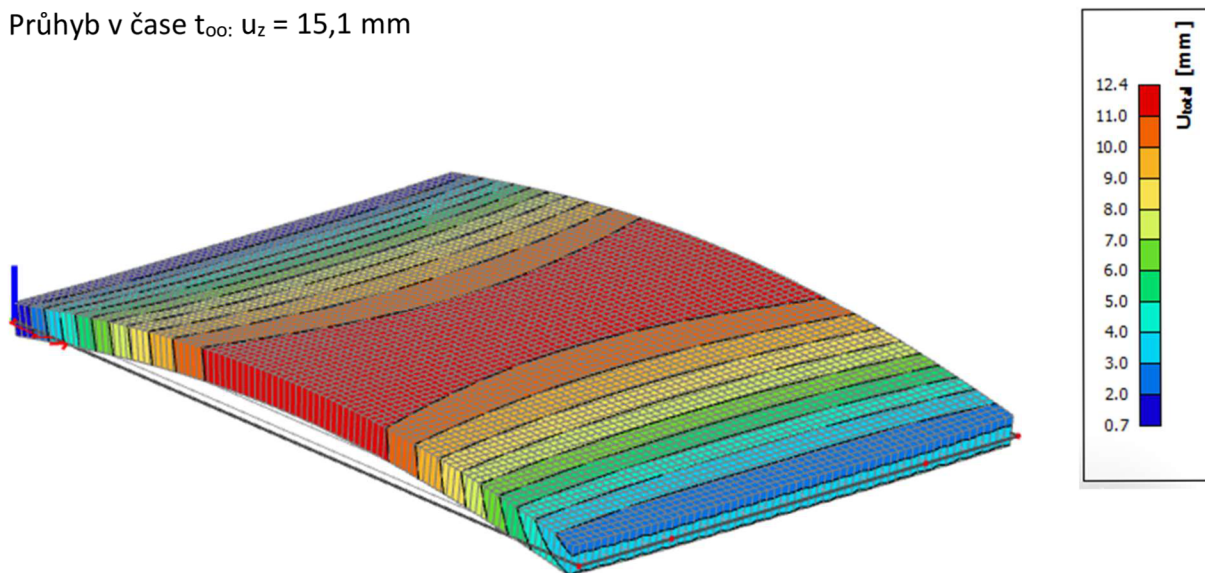
Mezní průhyb $u_{z,lim} = 31,67$ mm

Průhyb v čase t_{∞}



Obr. 28 Průhyb v čase t_{∞}

Průhyb v čase t_{∞} : $u_z = 15,1$ mm



Obr. 29 průhyb v čase t_0

Průhyb v čase t_0 : $u_z = 15,1$ mm

Konstrukce vyhovuje na mezní stav omezení průhybu.

14. Mezní stav únosnosti (MSÚ)

Mezní stavy únosnosti byly řešeny v polovině rozpětí (L/2)

14.1 Ohyb

Nejprve bylo stanoveno základní napětí $\sigma_{p,00} = 1259,442$ MPa.

Poté byly stanoveny návrhové hodnoty vnitřních sil:

$$M_{Ed} = 11\,963,64 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} = 49\,873,91 \text{ kN}$$

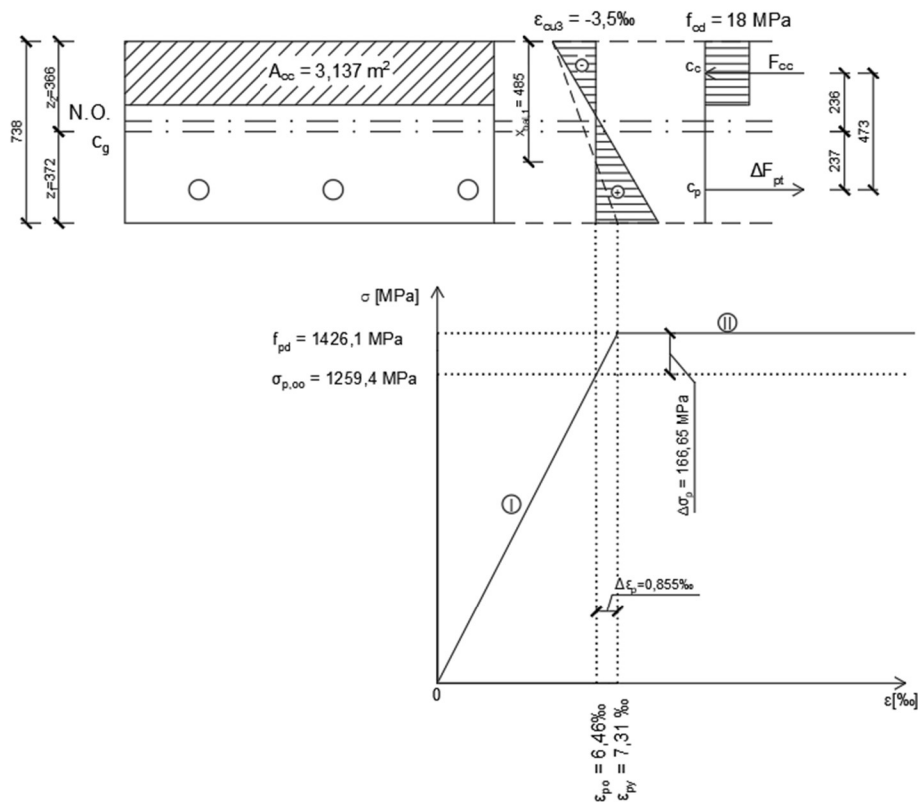
Únosnost byla spočítána pomocí zbytkového napětí $\Delta\sigma_p = 166,645$ MPa

$$M_{Ed} < M_{Rd}$$

$$M_{Rd} = A_{cc} * f_{cd} * z_{cc} + \Delta F_{pt} * z_{pt} = 15\,250,56 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed} = 11\,963,64 \text{ kNm} < M_{Rd} = 15\,250,56 \text{ kNm}$$

Konstrukce vyhovuje na mezní stav únosnosti, betonářská výztuž byla navržena pouze konstrukčně.



Obr. 30 Určení mezní únosnosti v ohybu

14.2 Smyk

Nejprve byly zjištěny posouvající síly a momenty v jednotlivých řezech. Předpětí zmenšuje velikost posouvající síly díky svému trasování. Čím více je kabel svislý, tím více je posouvající síla zmenšována.

x	e(x) [m]	M _{Fd} [kNm]	V _{Fd} [kN]	α [rad]	V _{pd} [kN]	V _{Ed} [kN]
0	0,034	0	2581,78	0,041242	-169,126	2412,654
0,372 m	0,049	654,97	1291,81	0,041033	-168,268	1123,542
1/8 L	0,123	1092,71	378,6	0,032166	-131,923	246,6771
2/8 L	0,186	1571,84	237,56	0,02145	-87,9809	149,5791
3/8 L	0,222	1893,82	145,2	0,010734	-44,0288	101,1712
1/2 L	0,237	1962,06	0	0	0	0

Tab. 9 Vnitřní síly v jednotlivých řezech

Výpočet smyku se liší podle toho, jestli v daném místě vzniknou nebo nevzniknou trhliny překročením pevnosti v tahu betonu.

x	σ ₁ [Mpa]	f _{ctd} [Mpa]	Trhliny	σ ₂ [Mpa]	φσ _c [Mpa]
0	-7,196	< 1,333	NE	-4,080	-5,638
0,372 m	-0,512	< 1,333	NE	-10,656	-5,584
1/8 L	0,999	< 1,333	NE	-12,143	-5,572
2/8 L	3,485	> 1,333	ANO	-14,589	
3/8 L	5,448	> 1,333	ANO	-16,520	
1/2 L	5,524	> 1,333	ANO	-16,595	

Tab. 10 Rozhodnutí o vzniku trhlin

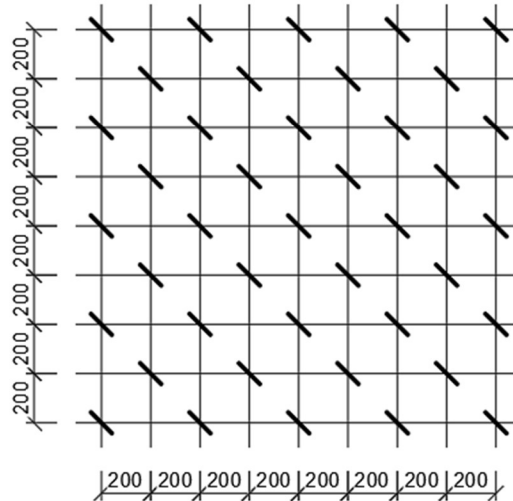
Místo vzniku trhlin bylo určeno pomocí trojčlenky, nachází se 2,964 m od podpory.

Únosnost betonu:

V oblasti bez trhlin: $V_{Rd,c} = 1778,196 \text{ kN} > V_{Ed} = 1123,542 \text{ kN}$

V oblasti z trhlínami: $V_{Rd,c} = 630,4 \text{ kN} > V_{Ed,max} = 328,86 \text{ kN}$

Únosnost betonu je ve všech částech průřezu větší než působící posouvající síla, betonářská výztuž byla navržena konstrukčně.



Obr. 31 Schéma uložení spon

15. Kotevní oblast

Kotvy byly vybrány od firmy FREYSSINET, kotvení řady C. Použita je kotva 12C15 pro aktivní, vyměnitelné kotvení, monostrandy, kanálek bude injektován cementem.

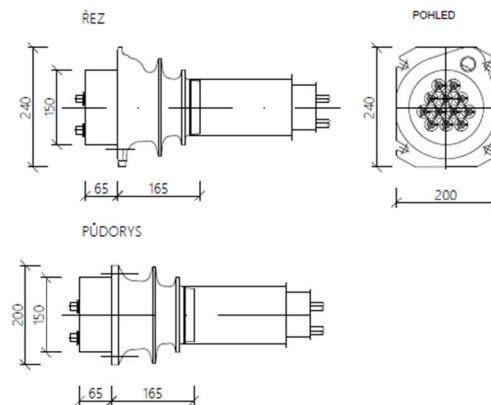
Každá kotva bude doplněna o spirálu \varnothing 14 mm o 7 závitůch.

V oblasti u povrchu je navržena výztuž 2 x \varnothing 16 mm u každé kotvy, zakotvena na 640 mm.

V globální oblasti za kotvou je navržena výztuž \varnothing 14 mm, 4 x mříž po 67 prutech.

Beton nevyhovuje na namáhání v soustředném tlaku. Při dodržení všech konstrukčních zásad daných výrobcem kotvy, výrobce garantuje únosnost.

KOTVA FREYSSINET 12C15
Typ C pro 12 lan, aktivní, vyměnitelné kotvení, monostrandy
M 1:10



Obr. 32 Kotva FREYSSINET 12C15

Podrobné výpočty, včetně všech souvislostí a dosazení, jsou uvedeny v příloze P3 – Statický výpočet.

16. Závěr

Cílem bakalářské práce bylo navrhnout a posoudit mostovku deskového předpjatého mostu. Po výběru varianty byla dále optimalizována geometrie pro co nejhospodárnější návrh. Globální analýza konstrukce a výpočet účinků zatížení byly provedeny v programu SCIA Engineer 18.1. Samotný statický posudek byl proveden pomocí mnou vytvořených posudků v programu MS Excel. Konstrukce byla posuzována na mezní stav použitelnosti a mezní stav únosnosti, na oba tyto mezní stavy konstrukce vyhověla. Byla také zpracována výkresová dokumentace mostu, včetně výkresu předpínací a betonářské výztuže v programu AutoCad 2019. Závěrem byla vytvořena vizualizace v programu Rhino 6 a Lumion 8.0.

17. Seznam obrázků a tabulek

17.1 Seznam obrázků

Obr. 1 Varianta A - příčný řez	11
Obr. 2 Varianta A - podélný řez	11
Obr. 3 Varianta B - příčný řez	12
Obr. 4 Varianta B - podélný řez	12
Obr. 5 Varianta C - příčný řez	13
Obr. 6 Varianta C - podélný řez	13
Obr. 7 Hlavní nosná konstrukce - příčný řez	14
Obr. 8 Skladba vozovky	15
Obr. 9 Skladba římsy.....	16
Obr. 10 Mostní závěr	16
Obr. 11 Spodní stavba	17
Obr. 12 Záchytné systémy	17
Obr. 13 Výpočtový model - příčný řez.....	21
Obr. 14 Statické schéma.....	21
Obr. 15 Výpočtový model - axonometrický pohled	21
Obr. 16 Geometrie pro výpočet vlastní tíhy	22
Obr. 17 Ostatní stálé zatížení	22
Obr. 18 Postavení TS - příčný směr	23
Obr. 19 Postavení TS - podélný směr	23
Obr. 20 Postavení UDL	24
Obr. 21 Rovnoměrné zatížení na chodnicích	24
Obr. 22 Postavení zvláštního vozidla - příčný směr	24
Obr. 23 Postavení zvláštního vozidla - podélný směr	25
Obr. 24 Zatížení davem lidí LM4.....	25
Obr. 25 Interval předpínací síly	29
Obr. 26 vykreslení průběhu excentricit kabelu	30
Obr. 27 Omezení napětí	31
Obr. 28 Průhyb v čase t_{oo}	32
Obr. 29 průhyb v čase t_0	32
Obr. 30 Určení mezní únosnosti v ohybu	33
Obr. 31 Schéma uložení spon.....	35
Obr. 32 Kotva FREYSSINET 12C15.....	35

17.2 Seznam tabulek

Tab. 1 Hodnoty zatížení TS	23
Tab. 2 Kombinace zatížení MSP.....	26
Tab. 3 Kombinace zatížení MSÚ	26
Tab. 4 Součinitele kombinace zatížení 1	26
Tab. 5 Součinitele kombinace zatížení 2	26
Tab. 6 Výsledky kombinací a porovnávání výsledků	27
Tab. 7 Excentricity kabelu v jednotlivých řezech	30
Tab. 8 Krátkodobé ztráty - porovnání výsledků	30
Tab. 9 Vnitřní síly v jednotlivých řezech.....	34
Tab. 10 Rozhodnutí o vzniku trhlin.....	34

Seznam použité literatury

Literatura

- [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] ZICH, Miloš. Příklady posouzení betonových prvků dle eurokódů. Praha: Dashöfer, 2010. ISBN 978-80-86897-38-7.
- [3] KLUSÁČEK, Ladislav, Petr ŠTĚPÁNEK a Josef PANÁČEK. Betonové konstrukce: předpjatý beton podle ČSN 73 1201. Praha: Mezinárodní organizace novinářů, 1991. ISBN 80-214--0267-9.

Normy

- [4] ČSN 73 6201 Projektování mostních objektů
- [5] ČSN EN 1991-1-1 Zatížení konstrukcí: Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb
- [6] ČSN EN 1991-2 Zatížení konstrukcí: Zatížení mostů dopravou
- [7] ČSN EN 1992-1-1 Navrhování betonových konstrukcí: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby.
- [8] ČSN EN 1992-2 Navrhování betonových konstrukcí: Betonové mosty – Navrhování a konstrukční zásady

Internetové zdroje

- [9] Politika jakosti pozemních komunikací: Technické podmínky (TP) a Vzorové listy staveb pozemních komunikací (VL) [online]. [cit. 2020-05-28]. Dostupné z: <http://www.pjpk.cz/>
- [10] FREYSSINET CS, a.s: Mostní ložiska, Mostní závěry a Předpínání konstrukcí [online]. [cit. 2020-05-28]. Dostupné z: <http://www.freyssinet.cz/>

Seznam použitých zkratek a symbolů

Latinská písmena

A_c	plocha betonového průřezu
$A_{c,r}$	plocha oslabeného betonového průřezu
A_p	plocha předpínací výztuže
$A_{p,1}$	plocha 1 lana předpínací výztuže
$A_{p,req}$	požadovaná plocha betonářské výztuže
$A_{p,prov}$	provedená plocha betonářské výztuže
A_s	plocha betonářské výztuže
A_{sw}	plocha smykové výztuže
b_d	šířka průřezu
b_{pod}	roznášecí šířka soustředného zatížení v podélném směru
$b_{přič}$	roznášecí šířka soustředného zatížení v příčném směru
c	krytí výztuže
d	účinná výška průřezu
e	excentricita
e_p	excentricita předpínací síly
$e_{p,r}$	excentricita předpínací síly na oslabeném průřezu
E_{cm}	modul pružnosti betonu
E_p	modul pružnosti předpínací výztuže
E_s	modul pružnosti betonářské výztuže
F_{cc}	síla v tlačené oblasti betonu
ΔF_p	zbytková síla v předpínací výztuži
f_{ck}	charakteristická pevnost betonu v tlaku
f_{cd}	návrhová pevnost betonu v tlaku
f_{ctm}	střední hodnota pevnosti betonu v tahu
$f_{ctk,0,05}$	5 % kvantil pevnosti betonu v tahu
f_{ctd}	návrhová pevnost betonu v tahu
f_{pk}	charakteristická pevnost předpínací výztuže v tahu
$f_{p0,1k}$	smluvní mez kluzu předpínací výztuže
f_{yk}	charakteristická mez kluzu betonářské výztuže
f_{yd}	návrhová mez kluzu betonářské výztuže
G_k, g_k	charakteristická hodnota stálého zatížení
Q_k, q_k	charakteristická hodnota proměnného zatížení
h	výška desky
I_c	moment setrvačnosti betonového průřezu
$I_{c,r}$	moment setrvačnosti oslabeného betonového průřezu
L	rozpětí konstrukce
Δl	protažení, přírůstek délky
M_{Ek}	charakteristická hodnota ohybového momentu
M_{Ed}	návrhová hodnota ohybového momentu
M_{Fd}	návrhová hodnota ohybového momentu od vnějšího zatížení
M_{pd}	návrhová hodnota ohybového momentu od předpjetí

N_{Ek}	charakteristická hodnota normálové síly
N_{Ed}	návrhová hodnota normálové síly
V_{Ed}	návrhová hodnota posouvající síly
V_{Fd}	návrhová hodnota posouvající síly od vnějšího zatížení
V_{pd}	návrhová hodnota posouvající síly od předpjetí
$V_{rd,c}$	únosnost betonového průřezu ve smyku
P	předpínací síla
P_{m0}	předpínací síla v čase t_0
P_{moo}	předpínací síla v čase t_{oo}
W_c	modul pružnosti betonového průřezu
$W_{c,r}$	modul pružnosti oslabeného betonového průřezu
S	statický moment setrvačnosti
x	výška tlačené oblasti betonu
Z_{cc}	rameno vnitřních sil v tlačené oblasti betonu
Z_{pt}	rameno vnitřních sil předpínací výztuže
Z_1	vzdálenost krajních dolních vláken průřezu od těžiště
Z_2	vzdálenost krajních horních vláken průřezu od těžiště
C_g	těžiště

Písmena řecké abecedy

γ_c	součinitel spolehlivosti betonu
γ_s	součinitel spolehlivosti oceli
γ_p	součinitel spolehlivosti předpínací výztuže
γ_G	součinitel stálého zatížení
γ_Q	součinitel proměnného zatížení
σ_c	napětí v betonu
$\sigma_{c,p}$	napětí v betonu od předpínací síly
σ_{c1}	napětí v dolních vláknech betonu
σ_{c2}	napětí v horních vláknech betonu
$\Delta\sigma_p$	zbytkové napětí v předpínací výztuži
ϵ_c	poměrné přetvoření betonu
ϵ_s	poměrné přetvoření oceli
ϵ_p	poměrné přetvoření předpínací výztuže
λ	redukční součinitel
ϕ	součinitel dotvarování, dynamický součinitel
ω, α	úhel zakřivení kabelu
ξ	součinitel kombinace zatížení
μ	součinitel tření
β	časová funkce
ρ	stupeň vyztužení
ψ_0	kombinační součinitel pro charakteristickou kombinaci
ψ_1	kombinační součinitel pro častou kombinaci
ψ_2	kombinační součinitel pro kvazistálou kombinaci

Seznam příloh

P1 – Podklady, studie a vizualizace

- P1.1 Podklady
- P1.2 Varianta A
- P1.3 Varianta B
- P1.4 Varianta C
- P1.5 Vizualizace

P2 – Výkresová dokumentace

- P2.1 Situace
- P2.2 Podélný řez A-A'
- P2.3 Příčný řez B-B'
- P2.4 Příčný řez C-C'
- P2.5 Výkres předpínací výztuže
- P2.6 Výkres betonářské výztuže

P3 – Statický výpočet