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

JEDNOPOLOVÁ RÁMOVÁ KONSTRUKCE Z PŘEDPJATÉHO BETONU
PRESTRESSED FRAME CONCRETE STRUCTURE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR
Anna Duranová

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR
Ing. JAN KOLÁČEK, Ph.D.

BRNO 2021

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	Anna Duranová
Název	Jednopolová rámová konstrukce z předpjatého betonu
Vedoucí práce	Ing. Jan Koláček, Ph.D.
Datum zadání	30. 11. 2020
Datum odevzdání	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 lávky pro pěší o jednom poli včetně jejich zhodnocení. Dále se zaměřte na návrh vybrané rámové 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 Koláček, Ph.D.
Vedoucí bakalářské práce

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá návrhem jednopolové rámové konstrukce přes koryto řeky, konkrétně lávky pro pěší a cyklisty. Byly zpracovány tři studie lávky o jednom poli, včetně jejich zhodnocení, a následně vybrána a řešena varianta rámové konstrukce s parabolickou mostovkou o jednom poli. Dle mezních stavů byla dimenzována předpjatá mostovka i železobetonové stojky. Účinky zatížení byly spočítány pomocí programu Scia Engineer a výpočty zpracovány v programu MS Excel. Postup výpočtu byl proveden dle platných norem a předpisů.

KLÍČOVÁ SLOVA

Lávka pro pěší, rámová konstrukce, jedno pole, beton, předpjatý beton, železobeton, mezní stav únosnosti, mezní stav použitelnosti.

ABSTRACT

The Bachelor Thesis deals with designing a single-span frame structure over the riverbed, specifically a bridge for pedestrians and cyclists. Three studies of the single-span bridge, including their evaluation, were carried out. Subsequently, the variant of the single-span frame bridge with a parabolic deck was selected and drawn up. Dimensioning of the prestressed concrete deck and the reinforced concrete props was performed according to the limit states. The load effects were processed in the Scia Engineer software, and the calculations were made in MS Excel. The calculation procedure adhered to valid standards and regulations.

KEYWORDS

Pedestrian bridge, frame structure, single-span, concrete, prestressed concrete, reinforced concrete, ultimate limit states, serviceability limit states.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP

Anna Duranová. *Jednopolová rámová konstrukce z předpjatého betonu.* Brno, 2021. 47 s., 240 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 *Jednopolová rámová konstrukce z předpjatého betonu* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 22. 1. 2021

Anna Duranová
autor práce

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem *Jednopolová rámová konstrukce z předpjatého betonu* zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 22. 1. 2021

Anna Duranová
autor práce

PODĚKOVÁNÍ

Chtěla bych poděkovat vedoucímu práce Ing. Janu Koláčkovi Ph.D. za trpělivost, čas, který mi věnoval, cenné rady a optimismus při vedení mé bakalářské práce.

Obsah

1 Úvod 10
2 Podklady 11
3 Varianty 12
3.1 Varianta A 13
3.2 Varianta B 13
3.3 Varianta C 14
3.4 Volba výsledné varianty 15
4 Geometrie 16
4.1 Založení 16
4.2 Nosná konstrukce 17
4.2.1 Tvar mostovky 18
4.3 Tvar předpínacích kabelů 18
4.4 Rámová stojka 21
5 Základní parametry lávky 21
6 Zábradlí 22
7 Zatížení 22
7.1 Stálé zatížení 23
7.1.1 Vlastní tíha ZS1 – g_0 23
7.1.2 Ostatní stálé zatížení ZS2 – g_1 23
7.1.3 Zemní tlak 23
7.2 Proměnné zatížení 24
7.2.1 Zatížení chodci a cyklisty 24
7.2.2 Zatížení teplotou 24
8 Kombinace zatížení 25
8.1 Kombinace teplot 25
8.2 Kombinace MSÚ 26
8.2.1 6.10a 26
8.2.2 6.10b 26
8.3 Kombinace MSP 27

8.3.1 Kombinace charakteristická 27
8.3.2 Kombinace kvazistálá 27
8.3.3 Kombinace častá 27
9 Návrh předpínací síly 27
10 Změny předpětí 28
10.1 Okamžité změny předpětí 28
10.2 Dlouhodobé změny předpětí 28
11 Mezní stav použitelnosti 29
12 Mezní stav únosnosti 32
12.1 Mostovka 32
12.1.1 Ohyb 32
12.1.2 Smyk 32
12.2 Posouzení rámové stojky 33
13 Kotevní oblast 34
14 Protažení lan při kotvení 34
15 Postup výstavby a časový harmonogram 35
15.1 Časový harmonogram 35
15.2 Postup výstavby 35
16 Závěr 38
17 Seznam použitých zdrojů 39
18 Seznam použitých zkratek 40
19 Seznam příloh 44
20 Seznam obrázků 45
21 Seznam tabulek 47

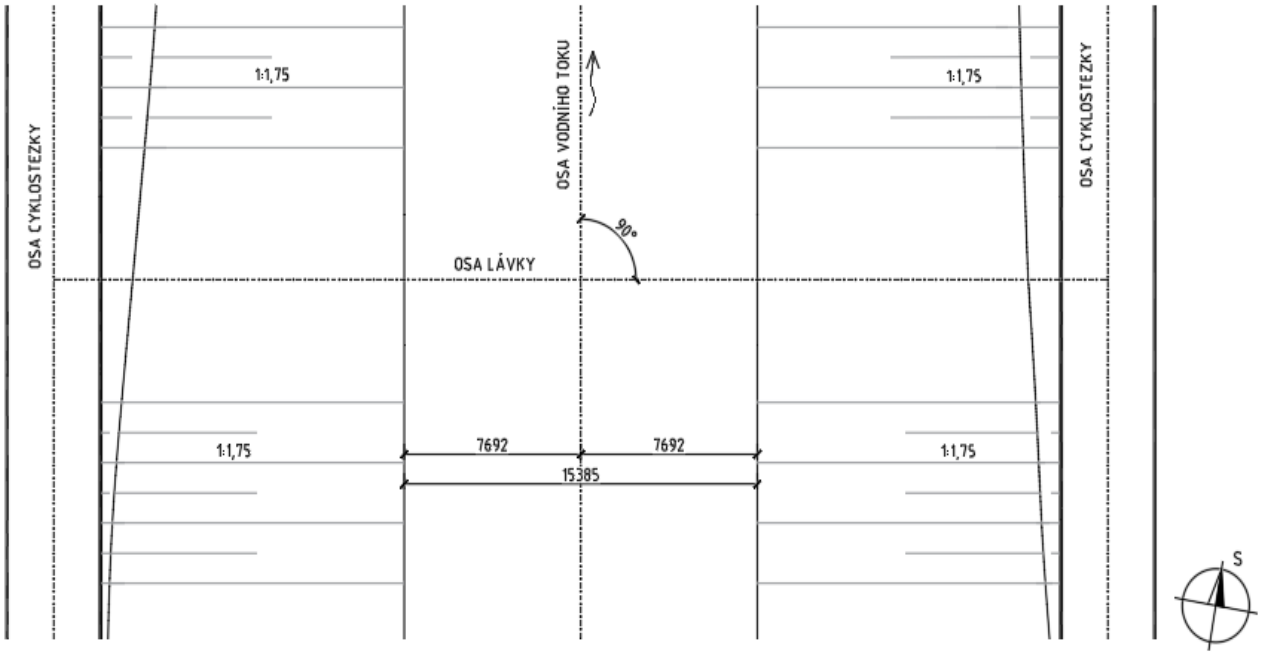
1 Úvod

Bakalářská práce se zabývá návrhem lávky pro pěší a cyklisty přes řeku, za účelem propojení cyklostezek po obou stranách břehu. Byla provedena studie a zhodnocení tří variant konstrukce lávky. Následně byla vybrána varianta rámové konstrukce s parabolickou mostovkou pro podrobnější návrh a výpočet.

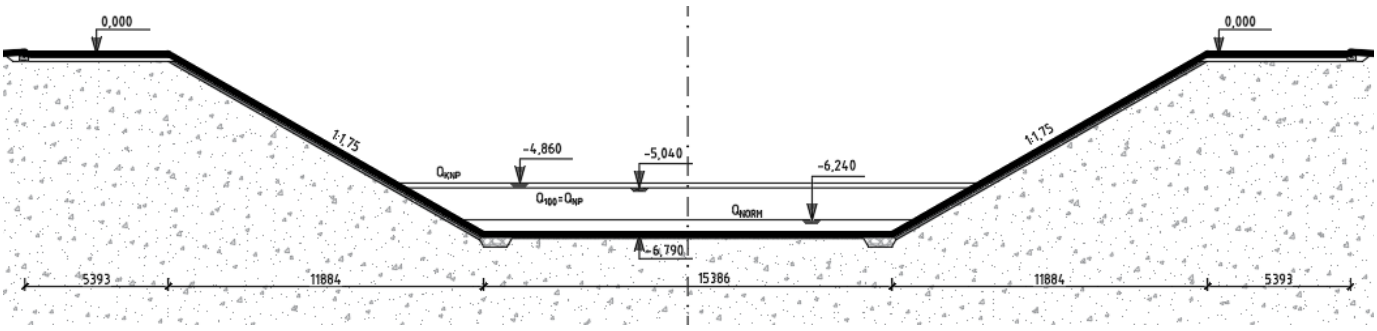
Dimenzování předpjaté mostovky a železobetonových stojek bylo provedeno dle mezních stavů a návrh se řídil platnými normami a předpisy.

2 Podklady

Vstupním podkladem pro návrh byl příčný řez terénem v předpokládané ose lávky. Dále pak situace v předpokládaném místě křížení a geotechnické poměry zadané pomocí skladby vrtu.



Obrázek 1 - Situace v předpokládaném místě křížení



Obrázek 2 - Příčný řez terénem v předpokládané ose lávky

	Hloubka (m)	Popis	ozn.	γ(kN/m^2)
	0.00	Hlína s nízkou plasticitou	F5	20
	0.95			
	1.85	Hlína se střední plasticitou	F5	20
	2.75			
	3.80	Písek hlinitý	S4	18
	4.70	Štěrk hlinitý	G4	19
	5.80			
	6.92	Štěrk dobře zrněný	G1	21
	7.85	Slabě zvětralý vápenec	R5	21
	9.00	Slabě zvětralý vápenec	R5	21

Tabulka 1 - Skladba vrtu

3 Varianty

Pro návrh lávky byly zpracovány tři varianty, každá s jiným konstrukčním řešením.

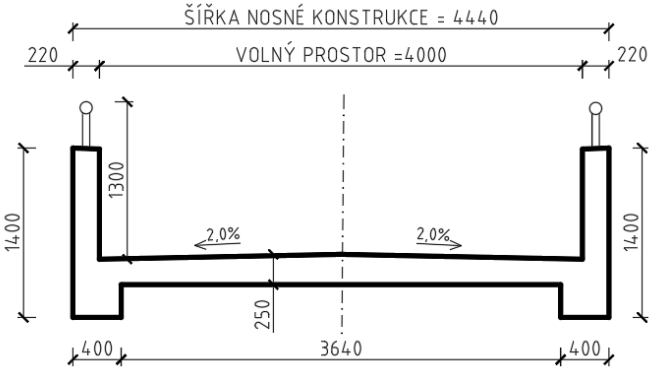
Vliv na geometrii a tvar konstrukce měl stávající terén, který je rozhodující pro objem zemních prací. Dále byly rozhodující průtoky vody pod lávkou, Q_{norm}, Q_{NP} a Q_{KNP} a návrhové parametry komunikací pro chodce a cyklisty (1). Dle parametrů komunikací pro chodce a cyklisty byly navrženy maximální sklony a minimální průchozí prostory na lávce.

3.1 Varianta A

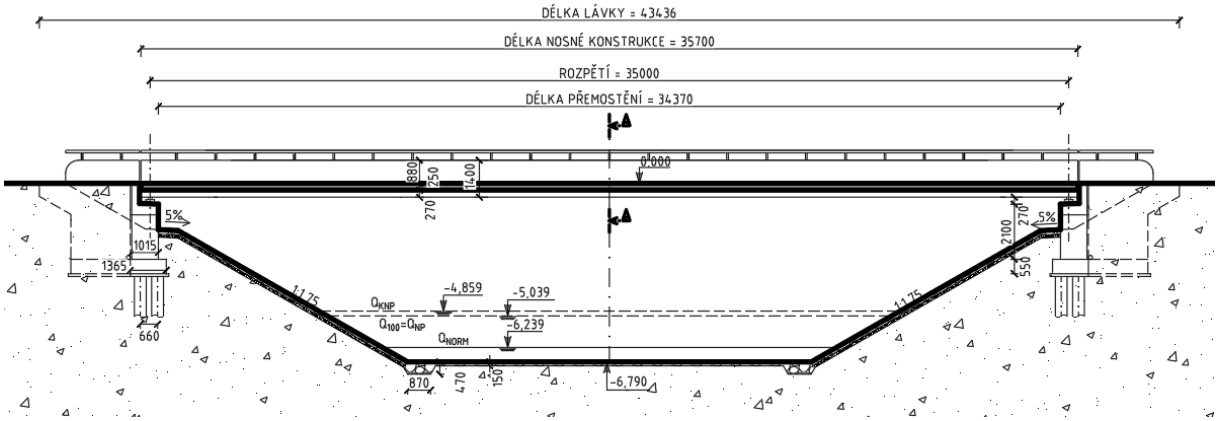
Varianta A byla navržena jako parapetní nosník s předepnutou mostovkou na rozpětí 35,00 m. Šířka nosné konstrukce je 4,44 m, přičemž průchozí prostor je zachován 4,0 m. Výška nosníku je navržena 1,4 m s rozšířením v krajích dolní části průřezu, pro možnost vedení předpínacích kabelu.

Jelikož část zábradlí tvořená nosnou konstrukcí nebyla dostatečně vysoká, aby splňovala požadavky pro minimální výšku zábradlí a jelikož zvýšení na požadovanou výšku by vedlo k neestetickému řešení, bylo navrženo přídavné kovové zábradlí, upevněné do konstrukce parapetního nosníku, doplňující výšku na potřebnou hodnotu.

Nosník byl uvažován jako prostě uložený na pevném a pohyblivém ložisku na dvou opěrách. Předpokládané založení opěr kvůli geologickým poměrům v okolí stavby bylo uvažováno hlubinné, tedy na skupině pilot.



Obrázek 4 - Příčný řez – varianta A



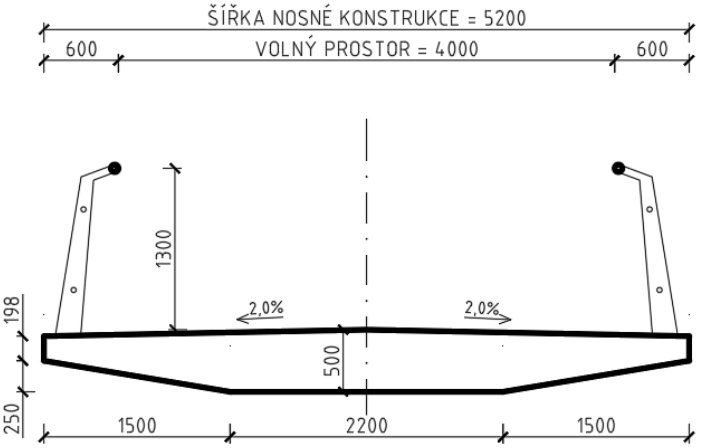
Obrázek 3 - Podélný řez – varianta A

3.2 Varianta B

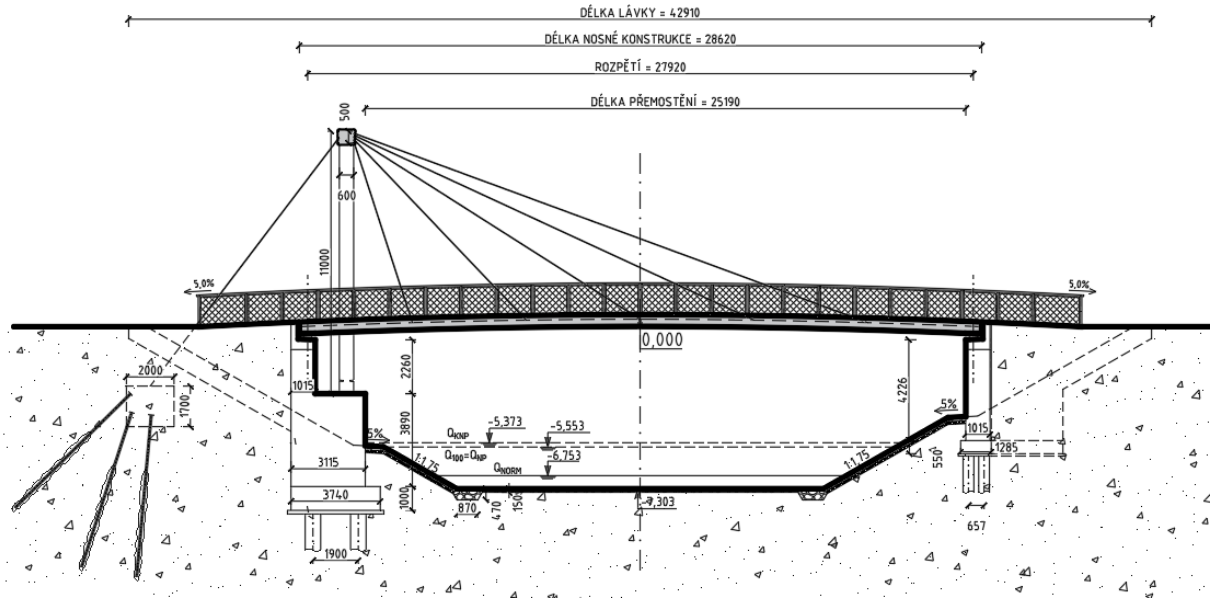
Variantou B byla zavěšena lávka na svislém rámovém pylonu. Mostovka je uvažována jako předepnutá a parabolicky zakřivená s průřezem konstantního tvaru.

Délka nosné konstrukce byla navržena 27,92 m a šířka 5,2 m, přičemž průchozí prostor lávky byl zachován 4,0 m. Pylon podporující nosná lana, byl navržen výšky 11,0 m. Stabilizování pylony bylo uvažováno pomocí lan zakotvených do nosného podloží pomocí kotevního bloku a skupiny zemních kotev.

Opěry konstrukce jsou založeny kvůli geologickým poměrům v okolí stavby na skupině pilot.



Obrázek 5 - Příčný řez – varianta B



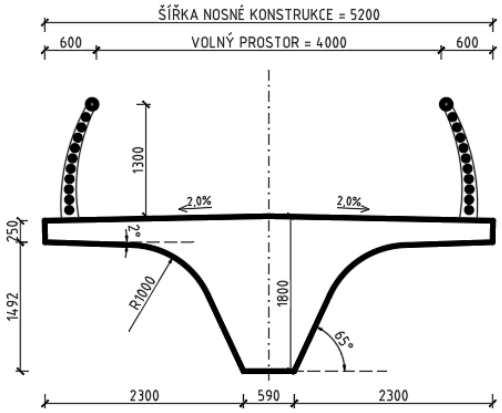
Obrázek 6 - Podélný řez – varianta B

3.3 Varianta C

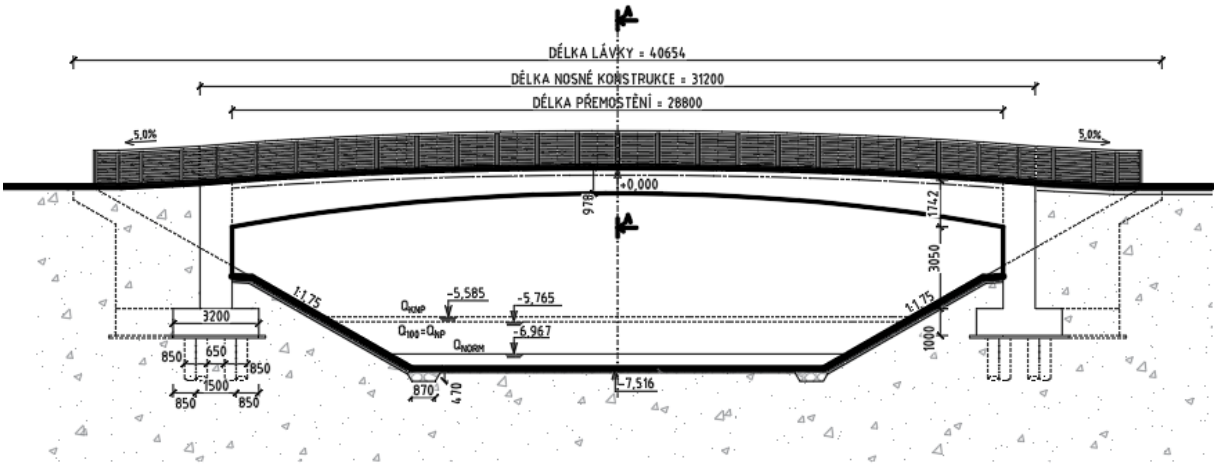
Rámová konstrukce byla variantou C. Délka je navržena 31,20 m, šířka nosné konstrukce je 5,20 m, přičemž průchozí prostor lávky je zachován 4,0 m.

Průřez konstrukce byl z hospodárných a estetických důvodů volen po délce proměnný.

Rámová konstrukce byla založena na skupině pilot vzhledem k geologickým poměrům v okolí stavby.



Obrázek 7 - Příčný řez – varianta C



Obrázek 8 - Podélný řez – varianta C

3.4 Volba výsledné varianty

Jednotlivé varanty se liší konstrukčním řešením, což přináší jisté klady i zápory u každé z nich.

Varianta A je poměrně jednoduchou konstrukcí, ale nebyla vybrána z důvodu nehospodárnosti a složitější údržby.

Varianta B je esteticky nejzajímavější, ale velmi náročná na údržbu a vzhledem nezapadá do jednoduché krajiny v okolí lávky.

Vzhledem k jednoduchému tvaru konstrukce byla zvolena varianta C, která zapadá do okolního prostředí. Konstrukční řešení rámového mostu umožňuje použití poměrně

malých dimenzí průřezu. Náklady na údržbu lávky, díky absenci ložisek, jsou výrazně nižší než u ostatních variant.

4 Geometrie

Geometrie vycházela z okolního terénu, podloží, návrhových průtoků a návrhových parametrů komunikací pro cyklisty a chodce TP 179 (1).

Konstrukce byla namodelována do programu Scia Engineer.

Obrázek 9 - Pohled na model

4.1 Založení

Při volbě založení modelu byla provedena studie srovnávající dva způsoby podepření lávky.

Prvním způsobem podepření rámu bylo na jedné straně vetknutí a na druhé straně rámu posuvné vetknutí. Tento způsob uložení vedl k větším momentům.

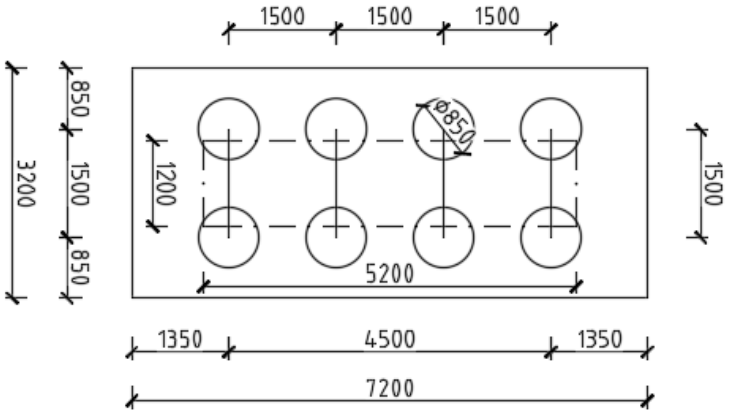
Druhý způsob předpokládal, že rám bude vetknutý na obou koncích, což vedlo ke snížení momentů. Další výhodou toho uložení je působení normálové síly v konstrukci způsobené parabolickým zakřivením. Zvětšení normálové síly je jistou výhodou, jelikož vnáší do konstrukce tlakovou rezervu.

Srovnání těchto dvou variant bylo vypracováno v příloze P3.02 – Studie.

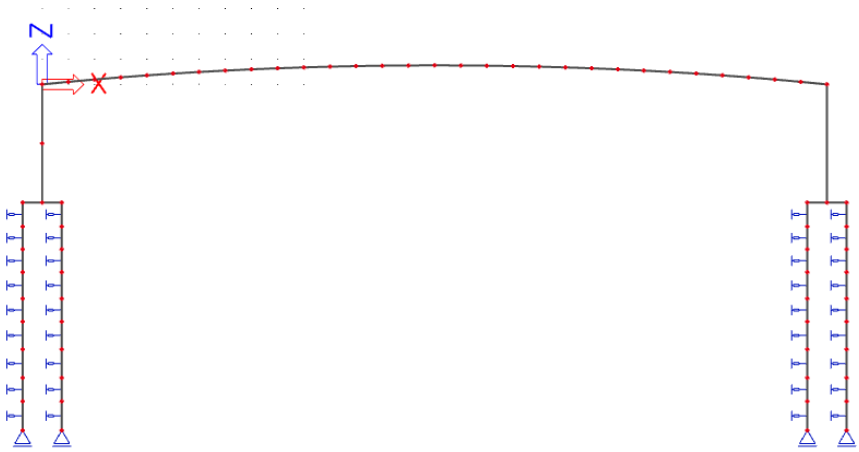
Protože ani jedna z variant neodpovídala reálné proveditelnosti, bylo potřeba najít střední cestu. Úvaha vedla k rozhodnutí zavést podporu, která bude svou tuhostí ve směru X vyjadřovat chování základové půdy (zemní pružinu).

Model byl založen na každé straně na dvou řadách pilot. Piloty byly navrhnuty dlouhé 9,0 m s průměrem 0,85 m. Působení zeminy na piloty bylo vyjádřeno pomocí tuhosti zemních pružin, tato tuhost byla spočítá z vlastností okolí zeminy v příloze P3.01 – Statický výpočet. (2) (3)

Piloty byly do programu Scia Engineer modelovány jako prut, jemuž byl vložen obecný průřez jedné řady pilot. Toto zjednodušení lze použít pouze u 2D prutového modelu.



Obrázek 11 - Založení – skupina pilot



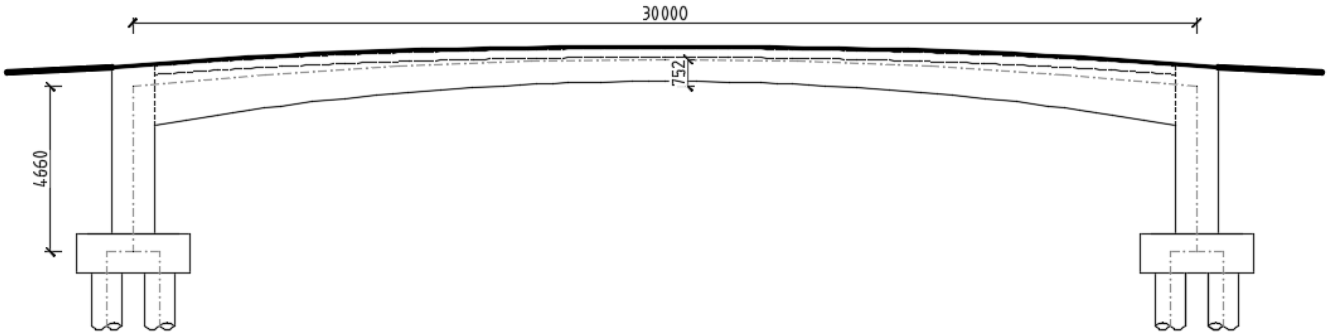
Obrázek 10 - Podepření modelu

4.2 Nosná konstrukce

Konstrukce lávky je navrhnuta z betonu třídy C35/45.

Byl hledán tvar lávky, který by splňoval zmíněné požadavky. Podélný sklon byl navržen kvůli parabolickému tvaru proměnný, dosahující maximálně 5 %. Z důvodu odvodnění byl navržen střechovitý příčný sklon nosné konstrukce 2 %.

Výhodná byla varianta s parabolicky zakřivenou příčlí, která umožňuje menší rozpětí a lepší přenos vnitřních sil. Konkrétní tvar paraboly střednice nosné konstrukce byl ověřen ve studii zpracované v příloze P3.02 - Studie. Snaha byla získat střednici nejvíce odpovídající průběhu momentů od stálého zatížení, což vedlo k jejich značnému snížení.

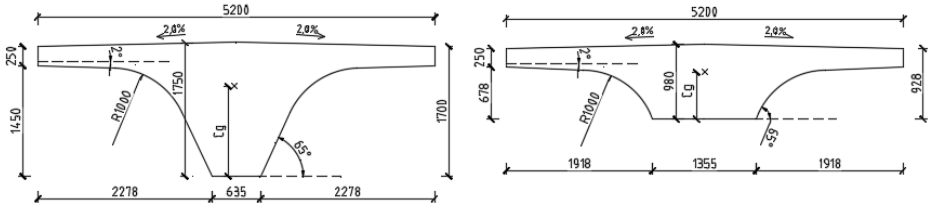


Obrázek 12 - Tvar střednice nosné konstrukce

4.2.1 Tvar mostovky

Mostovka byla navržena z předepnutého betonu třídy C35/45.

Mostovka byla modelovaná do programu Scia Engineer jako polygon, jehož vrcholové body odpovídaly rovnici paraboly spočítané v programu MS Excel. Konstrukce byla rozdělena na 30 dílců dlouhých asi 1,0 m. Každému z dílců byl přiřazen odpovídající průměrný průřez vytvořený v programu AutoCAD.



Obrázek 13 - Průřezy vloženy do programu Scia Engineer

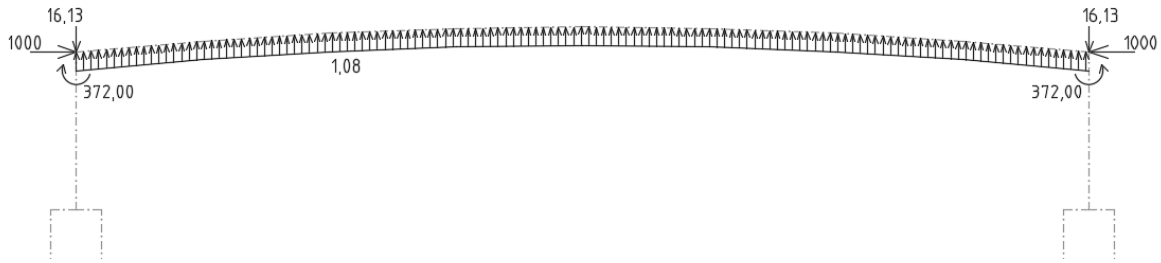
4.3 Tvar předpínacích kabelů

Vlivem předpínacích kabelů byla do konstrukce vnesena tlaková rezerva.

U kabelu vedeného v místě střednice by byla rezava zajištěna normálovou silou. Efektivnější variantou bylo zvolit dráhu kabelu takovou, aby vlivem excentricity kabelu od střednice byly vyvolány v konstrukci ohybové momenty, působící proti momentům od ostatních zatěžovacích stavů.

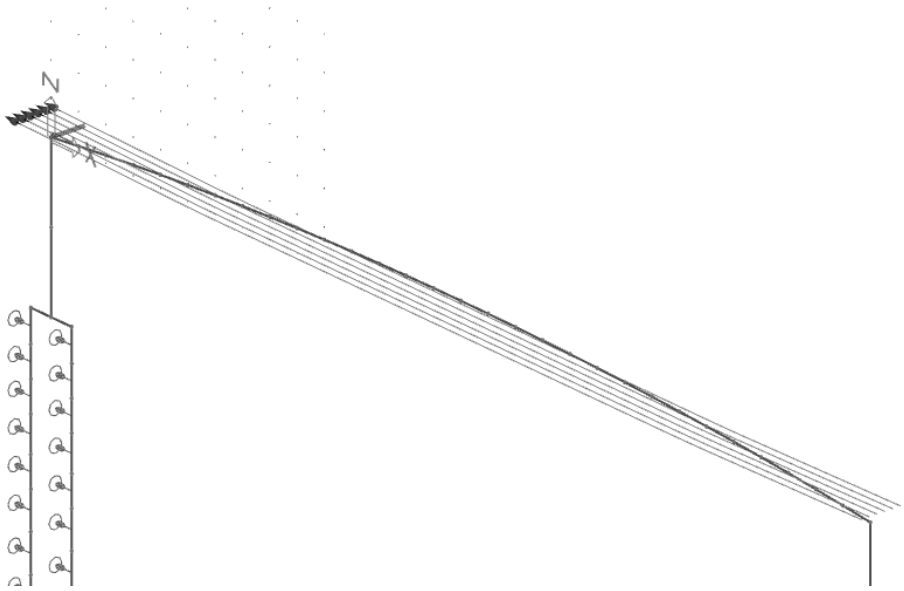
Excentricita kabelu je zajištěna jak v rámovém rohu, a to nad střednicí, tak i uprostřed rozpětí, pod střednicí. Při snaze, o co nejefektivnější návrh byla volena excentricita maximální, s přihlédnutím na dodržení maximálního krytí kabelových kanálků.

Pro první výpočty vnitřních sil a konkrétní návrh počtu kabelů bylo do programu Scia Engineer vloženo zatížení od spočítaného ekvivalentu předpětí s hodnotou předpínací síly 1000 kN. Po provedení studií a návrhu počtu kabelů a trasy kabelů, byl vytvořen jejich model. Pro dimenzování byl využit konkrétní model skupiny kabelů v programu Scia Engineer.

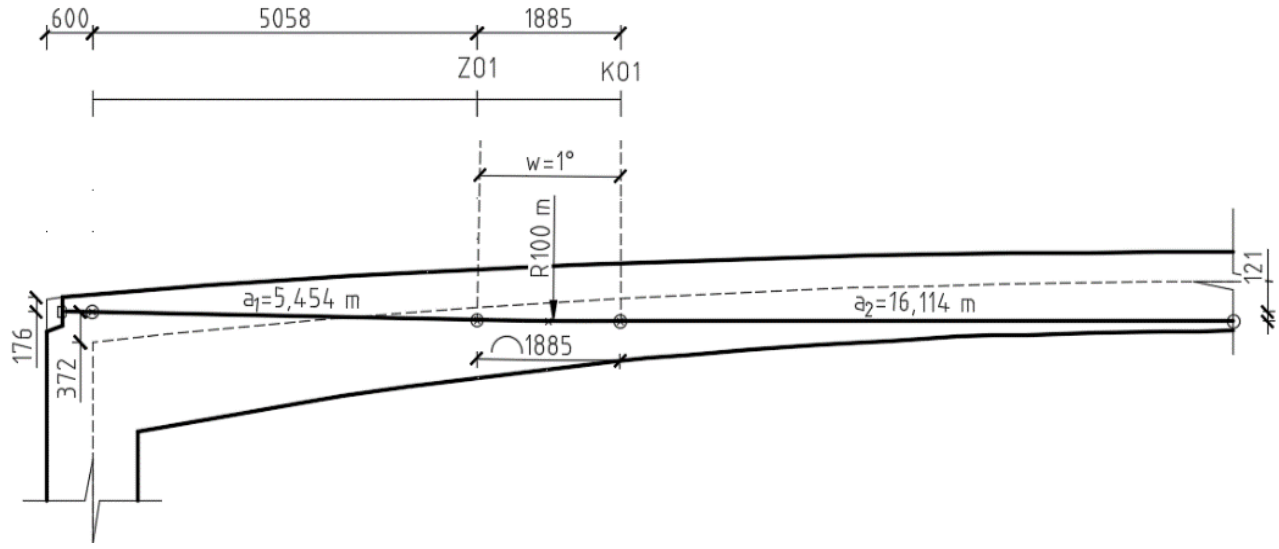


Obrázek 14 - Zatížení ekvivalentem předpětí

Je navrženo celkem šest sedmilanných kabelů. Při bylo vycházeno z odhadovaných krátkodobých ztrát 10 % a dlouhodobých ztrát také10 %. Krajní excentricita je navržena 0,372 m a excentricita ve středu průřezu 0,121 m. Kabel je tvořen třemi přímými úseky a_1 = 5,454 m, a_2 = 16,114 m a dvěma oblouky a_o =1,885 m o poloměru R = 100 m. Kabelům byly přiřazeny nulové ztráty, což bylo v programu ověřeno pomocí grafu krátkodobých ztrát. Při dimenzování bylo vycházeno z vnitřních sil tohoto modelu zvětšených o vypočtené ztráty.



Obrázek 15 - Model kabelů v programu Scia Engineer

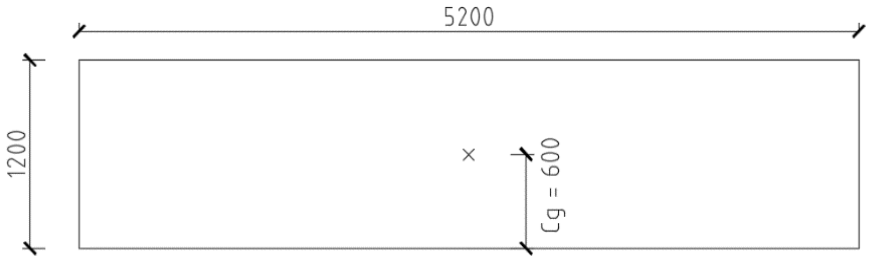


Obrázek 16 - Trasa vedení kabelů

4.4 Rámová stojka

Rámová stojka je navržena ze železobetonu třídy C35/45 a posouzena pomocí interakčního diagramu na kombinaci ohybu a tlaku a na smyk.

Tuhost průřezu stojky ovlivňuje vnitřní síly na mostovce, což bylo potřeba brát v úvahu již při původním návrhu. Byl zvolen průřez s rozměry a = 1,20 m a b = 5,2 m. Výška střednice rámové stojky je navržena 4,66 m.



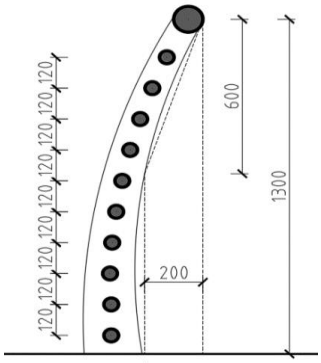
Obrázek 17 - Průřez rámové stojky

5 Základní parametry lávky

Délka lávky	-	40,654 m
Délka nosné konstrukce	-	31,200 m
Délka přemostění	-	28,800 m
Počet polí	-	jedno
Šikmost	-	kolmá
Volná Šířka	-	4,00 m
Šířka nosné konstrukce	-	5,200 m
Příčný sklon	-	2,0 % (střechovitý)
Podélný sklon	-	Proměnný (min. 0 % - ve středu rozpětí, max. 5,0 % v krajích)
Výška průřezu	-	Proměnná dle polohy (1,742 m – 0,978 m)

6 Zábradlí

Zábradlí bylo vzhledem k pohybu chodců a cyklistů na lávce navrženo výšky 1,30 m. Jelikož byly použity vodorovné výplňové pruty, sloupek byl osazen šikmo k pochozí ploše dle TP 186 (4).



Obrázek 18 - Navržený tvar zábradlí

7 Zatížení

Bylo vytvořeno celkem šest skupin zatěžovacích stavů obsahujících celkem patnácti podskupin.

ZS1 – zatěžovací stav 1		Vlastní tíha
ZS2 – Zatěžovací stav 2		Ostatní stálé zatížení
ZS3 – Zatěžovací stav 3	ZS3a	Zatížení aktivním zemním tlakem
	ZS3b	Zatížení pasivním zemním tlakem
ZS4 – Zatěžovací stav 4	ZS4a	Ekvivalentní zatížení
	ZS4b	Předpínací kabely
ZS5 – Zatěžovací stav 5	ZS5a	Zatížení chodci a cyklisty po celé délce konstrukce
	ZS5b	Zatížení chodci a cyklisty uprostřed konstrukce
	ZS5c	Zatížení chodci a cyklisty v levé části konstrukce
	ZS5d	Zatížení chodci a cyklisty v pravé části konstrukce
	ZS5e	Zatížení chodci a cyklisty za opěrou mostu
ZS6 – Zatěžovací stav 6	ZS6a	Zatížení rovnoměrným ochlazením
	ZS6b	Zatížení rovnoměrným oteplení
	ZS6c	Zatížení ochlazením horního povrchu
	ZS6d	Zatížení oteplením horního povrchu

Tabulka 2 - Zatěžovací stavy

7.1 Stálé zatížení

7.1.1 Vlastní tíha ZS1 – g_0

Vlastní tíha je odvozena z jednotlivých průřezů konstrukce a objemové tíhy materiálu. Její hodnotu program Scia Engineer vygenerována automaticky. Ručním výpočtem byly ověřeny reakce konstrukce na tento zatěžovací stav.

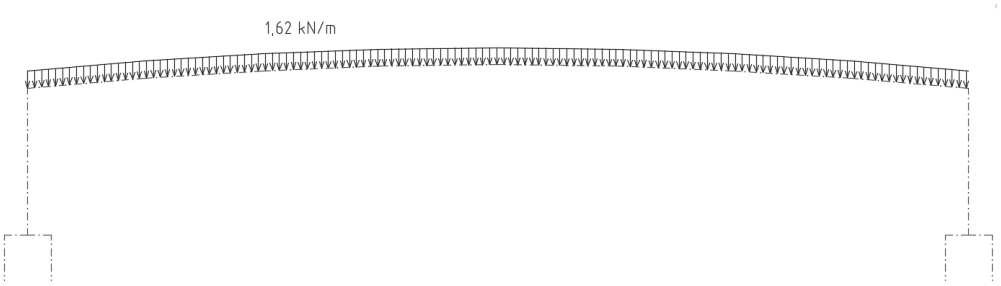
Objemová hmotnost železobetonu a předpjatého betonu byla uvažována $\rho = 2500$ kg/m^3

Gravitační zrychlení bylo zjednodušeno na hodnotu $a_g = 10$ m/s^2

7.1.2 Ostatní stálé zatížení ZS2 – g_1

Do ostatního stálého zatížení byla zahrnuta tíha zábradlí na obou stranách a tíha pochozí izolace po celé šířce prostoru na lávce.

$g_1 = 1{,}624$ kN/m



Obrázek 19 - Ostatní stálé zatížení

7.1.3 Zemní tlak

Zemní tlak byl spočítán aktivní i pasivní dle druhu zeminy za stojkou.

Obrázek 20 - Zatížení aktivním zemním tlakem

Obrázek 21 - Zatížení pasivním zemním tlakem

7.2 Proměnné zatížení

7.2.1 Zatížení chodci a cyklisty

Zatížení chodci působilo na lávku jako spojité plošné zatížení po volné šířce konstrukce. Přenásobením hodnoty volnou šířkou konstrukce bylo získáno liniové zatížení do prutového modelu.

Celkem bylo uvažováno pět způsobů umístění zatížení chodci a cyklisty, a to po celé délce lávky, v pravé polovině lávky, v levé polovině lávky, uprostřed lávky a zatížení působící za konstrukcí.

Hodnota zatížení byla spočítána dle uvažované délky L:

$$q_{fk} = 2{,}0 + \frac{120}{(L + 30)}$$

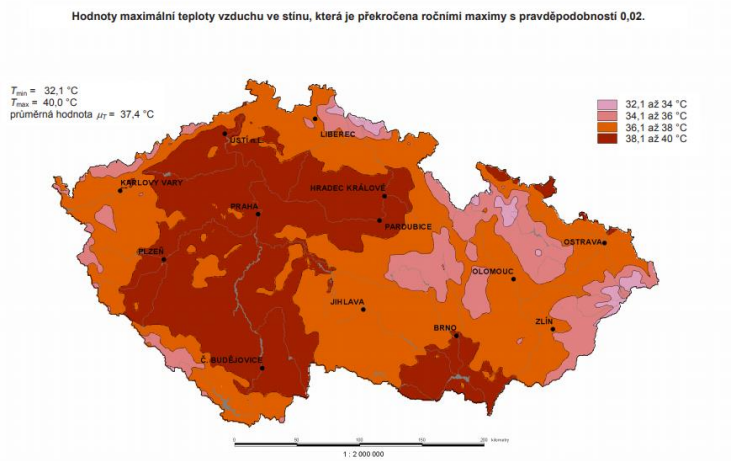
Přičemž byly dodrženy limitní hodnoty:

$$2{,}5\mathrm{kNm}^{-2} < q_{fk} < 5{,}0\mathrm{kNm}^{-2}$$

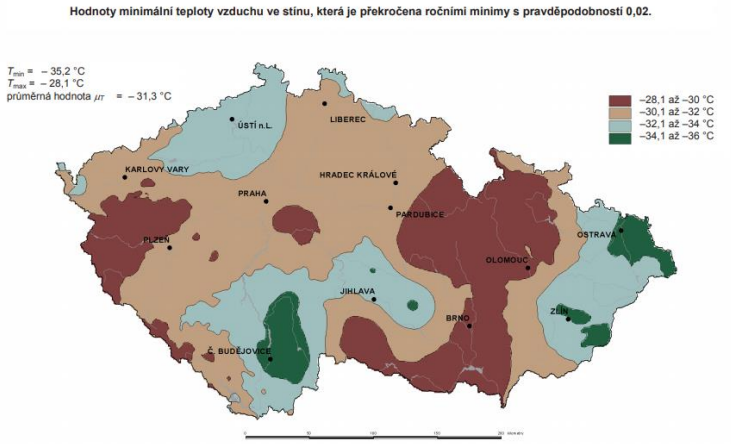
7.2.2 Zatížení teplotou

Při zatížení teplotou bylo počítáno s rovnoměrným oteplením/ochlazením a na nerovnoměrným oteplením/ochlazením.

Předpokládaná minimální teplota vzduchu byla předpokládaná T_{min} = -29,0 °C a maximální teplota vzduchu T_{max} = 39,0 °C. Tyto hodnoty odpovídají mapě teplotních oblastí pro Brno (5). Výchozí teplota mostu T_0 = 10,0 °C



Obrázek 22- Mapa maximálních teplot vzduchu ve stínu, ČSN EN 1991-1-5 (5)



Obrázek 23 - Mapa minimálních teplot vzduchu ve stínu, ČSN EN 1991-1-5 (5)

8 Kombinace zatížení

Pomocí kombinací byly hledány extrémy působící na posuzovaný řez. Bylo vytvořeno několik kombinací zatěžovacích stavů, jež vyvolávaly extrémy vnitřních sil v rámovém rohu, uprostřed rozpětí a v řezech stojky.

Vytvořené kombinace byly vloženy do programu Scia Engineer a ověřeny ručním výpočtem.

8.1 Kombinace teplot

Pro teploty bylo vytvořeno celkem osm kombinací z čehož byly vybrány čtyři, vyvozující extrémní vnitřní síly na konstrukci.

$\omega_N = 0,35$

$\omega_M = 0,75$

$T2_{ochlazení} = \omega_N \cdot ZS6a + ZS6c$

$T3_{oteplení} = \omega_N \cdot ZS6b + ZS6d$

$T6_{ochlazení} = ZS6a + \omega_M \cdot ZS6c$

$T7_{oteplení} = ZS6b + \omega_M \cdot ZS6d$

8.2 Kombinace MSÚ

Pro mezní stav únosnosti byly vytvořeny dvě kombinace 6.10a a 6.10b.

8.2.1 6.10a

$$\Sigma\gamma_{Gj} * G_{kj} + \gamma_P * P + \gamma_{Q,1} * \psi_{0,1} * Q_{k,1} + \Sigma\gamma_{Q,i} * \psi_{0,i} * Q_{k,i}$$

$\gamma_{Gj,sup} = 1{,}35$

$\gamma_{Gj,inf} = 1$

$\gamma_{Q,chodci} = 1{,}35$

$\gamma_{Q,ostatní\ proměnná} = 1{,}5$

$\psi_{0,Tk} = 0{,}6$

$\psi_{0,chodci} = 0{,}4$

8.2.2 6.10b

$$\Sigma\xi \cdot \gamma_{Gj} \cdot G_{kj} + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \Sigma\gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$$

$\gamma_{Gj,sup} = 1{,}35$

$\gamma_{Gj,inf} = 1$

$\gamma_{Q,chodci} = 1{,}35$

$\gamma_{Q,ostatní\ proměnná} = 1{,}5$

$\psi_{0,Tk} = 0{,}6$

$\psi_{0,chodci} = 0{,}4$

$\xi = 0{,}85$

8.3 Kombinace MSP

Pro mezní stav použitelnosti byly vytvořeny tři kombinace častá, kvazistálá a charakteristická.

8.3.1 Kombinace charakteristická

$$G_{kj} + P + Q_{k,1} + \Sigma\psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$$

$\psi_{0,Tk} = 0{,}6$

$\psi_{0,chodci} = 0{,}4$

8.3.2 Kombinace kvazistálá

$$\Sigma G_{kj} + P + \psi_{2,1} \cdot Q_{k,1} + \Sigma\psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}$$

$\psi_{2,Tk} = 0{,}5$

$\psi_{2,chodci} = 0$

8.3.3 Kombinace častá

$$\Sigma G_{kj} + P + \psi_{1,1} \cdot Q_{k,1} + \Sigma\psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}$$

$\psi_{1,Tk} = 0{,}6$

$\psi_{2,chodci} = 0$

9 Návrh předpínací síly

Návrh předpínací síly vycházel z podmínky omezení napětí v časté kombinaci.

$$n = \frac{f_{ctm} \cdot A \cdot I_y - N_{\psi 1} \cdot I_y - M_{\psi 1} \cdot A \cdot z_d}{N_P \cdot I_y + M_P \cdot A \cdot z_d} = 7{,}0$$

$$P_{h\infty} = n \cdot 1000 = 7 \cdot 1000 = 7000\ \text{kN}$$

Dlouhodobé ztráty byly odhadnuty na 10 % stejně jako krátkodobé ztráty. Maximální přípustné napětí ve výztuž bylo uvažováno $\sigma_{P,max} = 1435\ \text{MPa}$.

Výpočet vedl k návrhu celkem šesti kabelů po sedmi lanech. Tomu odpovídá navržená plocha předpínací výztuže $A_P = 6{,}3 \cdot 10^{-3}\text{m}^2$ a maximální předpínací síla $P_{max} = 9040{,}5\ \text{kN}$.

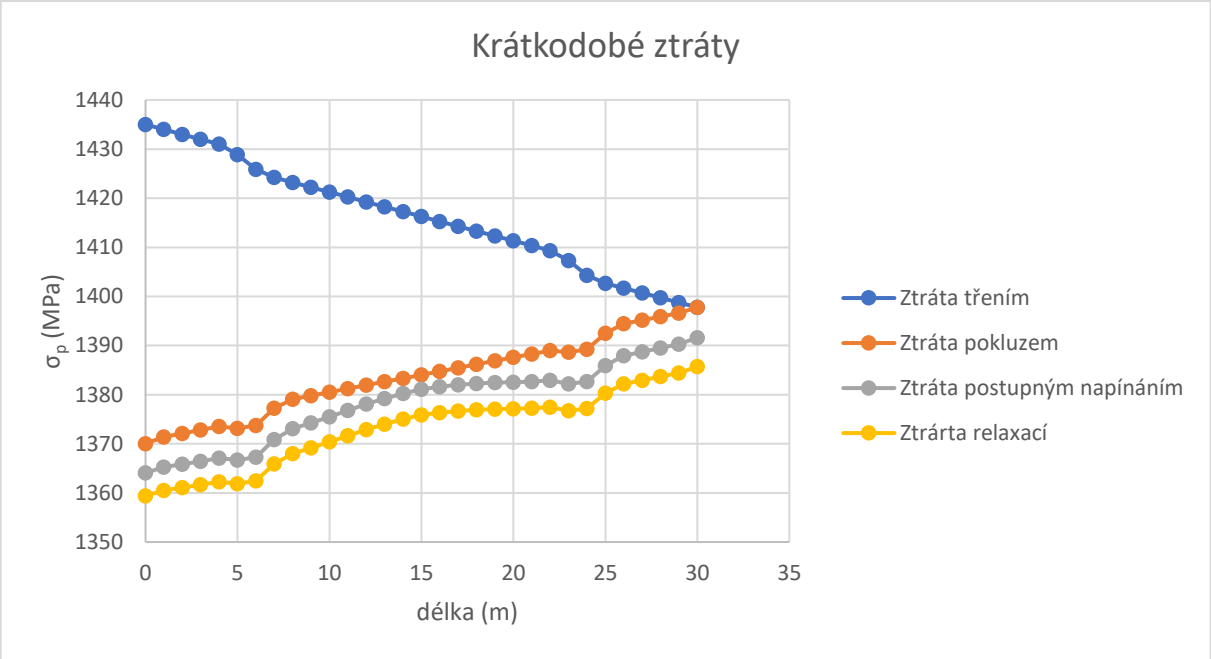
10 Změny předpětí

Předpínací síla mění svou hodnotu po délce kabelu i v čase. Bylo vycházeno z maximálního napětí $\sigma_{P,max} = 1435\ MPa$.

Podrobný výpočet změn předpětí byl vypracován v P3.01 – Statický výpočet.

10.1 Okamžité změny předpětí

Okamžité změny předpětí byly počítány ručně v řezech po 1 m. Ztráty byly porovnávány se ztrátami spočítanými pomoci programu Scia engineer.



Obrázek 24 - Graf okamžitých změn předpětí

10.2 Dlouhodobé změny předpětí

Dlouhodobé změny předpětí jsou závislé na čase a byly odhadnuty na 10 %.

Byla počítána ztráta smršťováním betonu, pružným přetvořením betonu, dotvarováním a relaxací, a to v průřezech X = 0 m a uprostřed rozpětí X = 15 m.

		X = 0 m	X =15 m
Čas t_0	σ_{Pm0}	1359,41 kNm	1375,86 kNm
	P_{m0}	8564,31 kN	8667,92 kN
Čas t_∞ - Kvazistálá kombinace	$\sigma_{Pm\infty}$	1256,06 kNm	1220,41 kNm
	$P_{m\infty}$	7913,17 kN	7688,58 kN
	%	7,6 %	11,3 %
Čas t_∞ - Častá kombinace	$\sigma_{Pm\infty}{}'$	1256,18 kNm	1221,88 kNm
	$P_{m\infty}{}'$	7913,95 kN	7697,83 kN
	%	7,59 %	11,19 %
Čas t_∞ - Charakteristická kombinace	$\sigma_{Pm\infty}{}''$	1257,86 kNm	1230,99 kNm
	$P_{m\infty}{}''$	7924,49 kN	7755,25 kN
	%	7,5 %	10,5 %

Tabulka 3 - Dlouhodobé ztráty

11 Mezní stav použitelnosti

V mezním stavu použitelnosti bylo posouzeno napětí v betonu u mostovky a vnapětí v předpínací výztuži, průhyb a vznik trhlin.

Z kombinací byly pro posudek vybrány ty, které vyvodí největší napětí ve vyšetřovaných místech průřezu.

Posudek byl proveden v řezu X = 0 m a v polovině rozpětí X = 15 m.

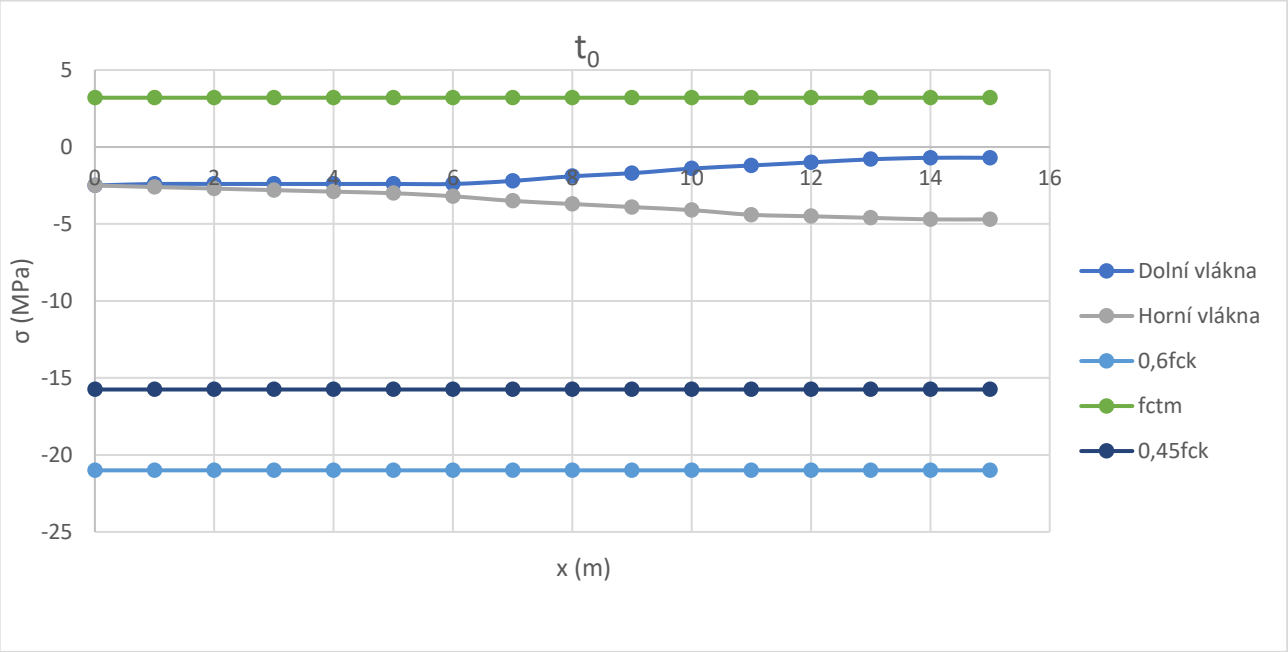
Podmínky pro posouzení MSP:

$\sigma_c = \leq\ f_{ctm} = 3{,}2\ \text{MPa} \rightarrow$ omezení napětí v betonu v časté kombinaci

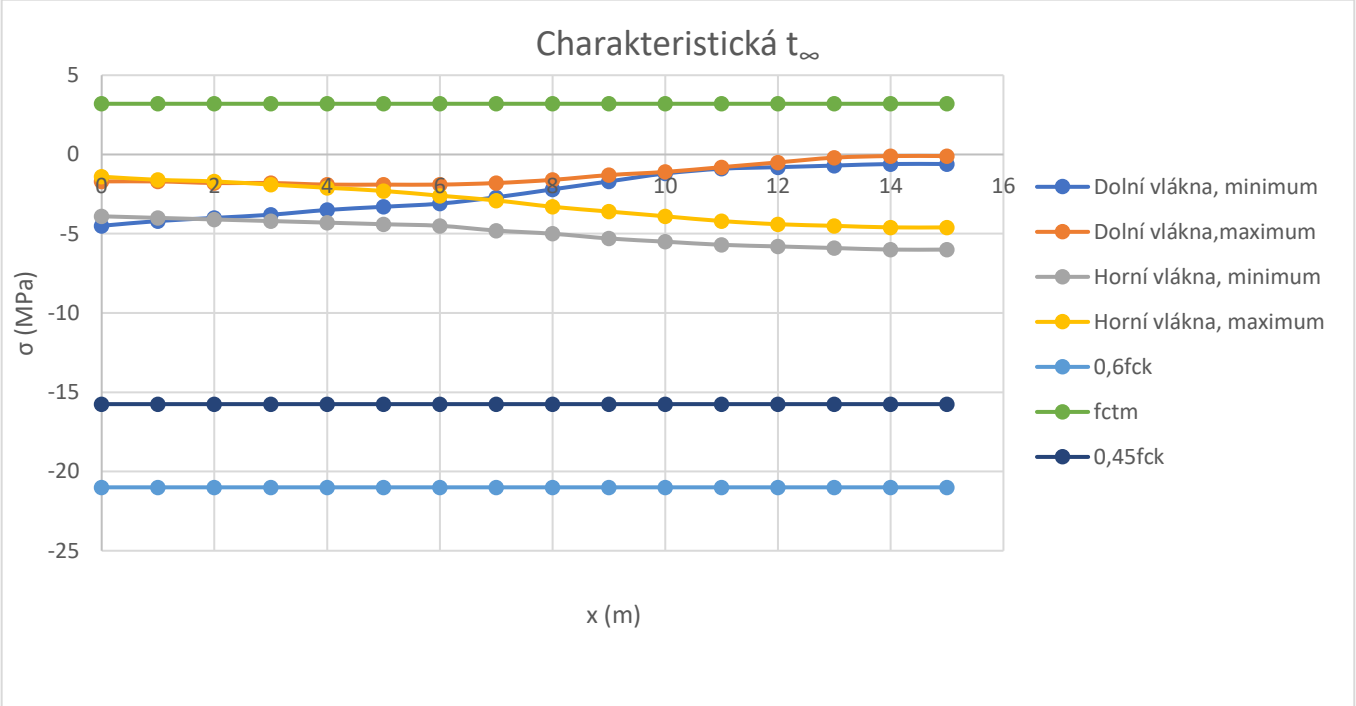
$|\sigma_c| \leq\ 0{,}45 \cdot f_{ck} = 15{,}75\ \text{MPa} \rightarrow$ omezení napětí v betonu v kvazistálé kombinaci

$|\sigma_c| \leq\ 0{,}6 \cdot f_{ck} = 21\ \text{MPa} \rightarrow$ omezení napětí v betonu v charakteristické kombinaci

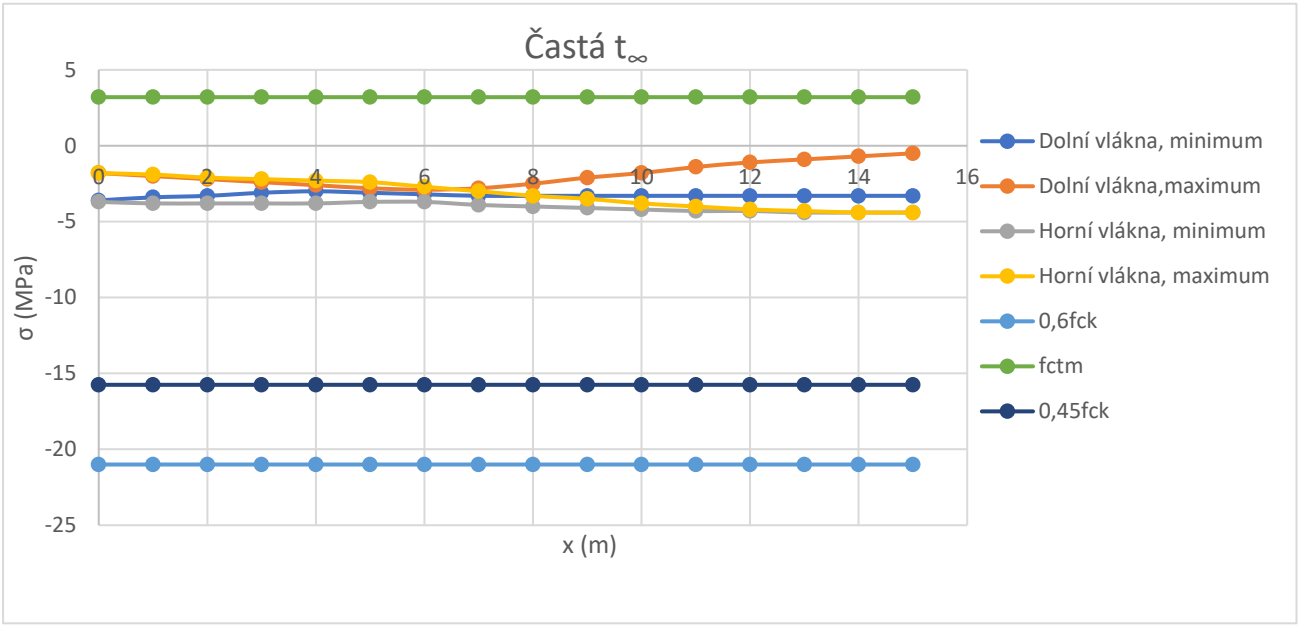
$\sigma_{P,m}\ \leq 0{,}75 \cdot f_{pk} = 1395\ \text{MPa} \rightarrow$ omezení napětí ve výztuži



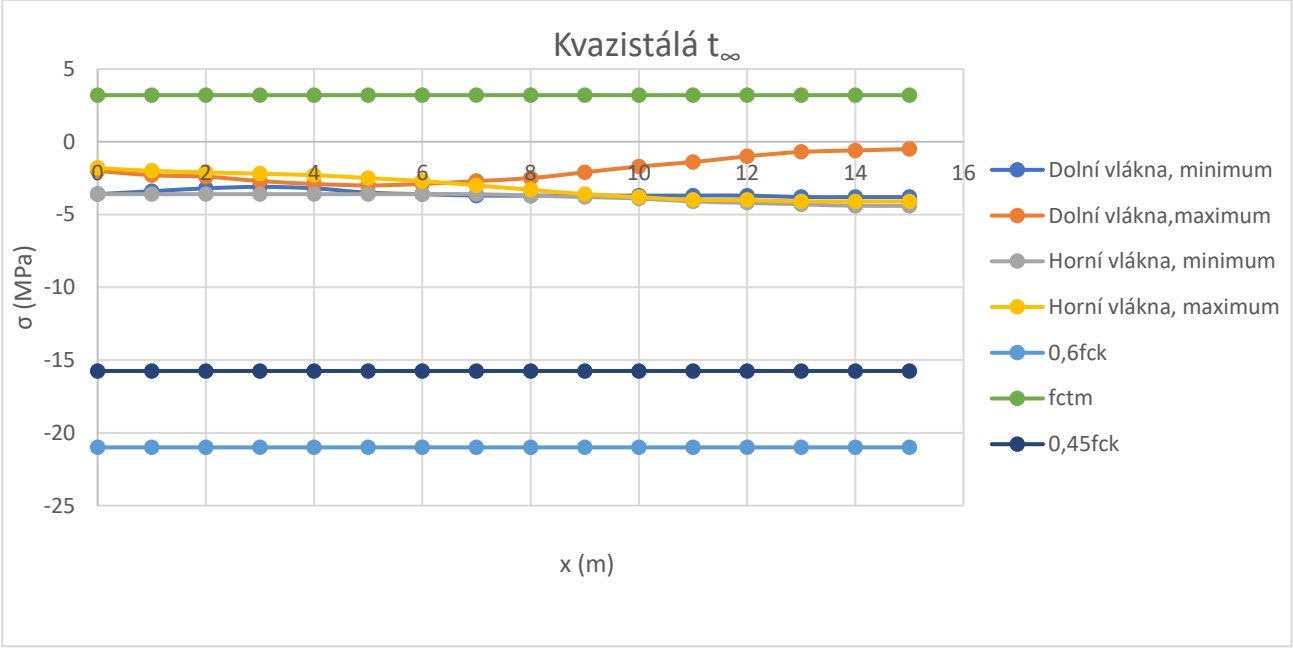
Obrázek 25 - Graf napětí v čase t_0



Obrázek 26 - Graf napětí v čase t_∞- charakteristická kombinace



Obrázek 27 - Graf napětí v čase t∞- častá kombinace



Obrázek 28- Graf napětí v čase t∞- kvazistálá kombinace

12 Mezní stav únosnosti

12.1 Mostovka

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

12.1.1 Ohyb

Únosnost v ohybu byla posouzena ve dvou kritických řezech, a to v X = 0 m a v polovině rozpětí X = 15 m. Velikost tlačené plochy byla určena výpočtem a ramena sil graficky pomocí AutoCadu. Dle přetvoření bylo dopočítáno napětí v předpínací výztuži a posouzena únosnost. Předpínací výztuž byla navržena s dostatečnou rezervou, aby zajistila únosnost v ohybu bez přidané betonářské výztuže a průřez byl tedy vyztužen konstrukčně.

Řez X = 0 m:

$$M_{ed} = -3510{,}15\ kNm \leq M_{Rd} = -8891{,}9\ \ kNm \rightarrow VYHOVUJE\ \ (39{,}83\ \%)$$

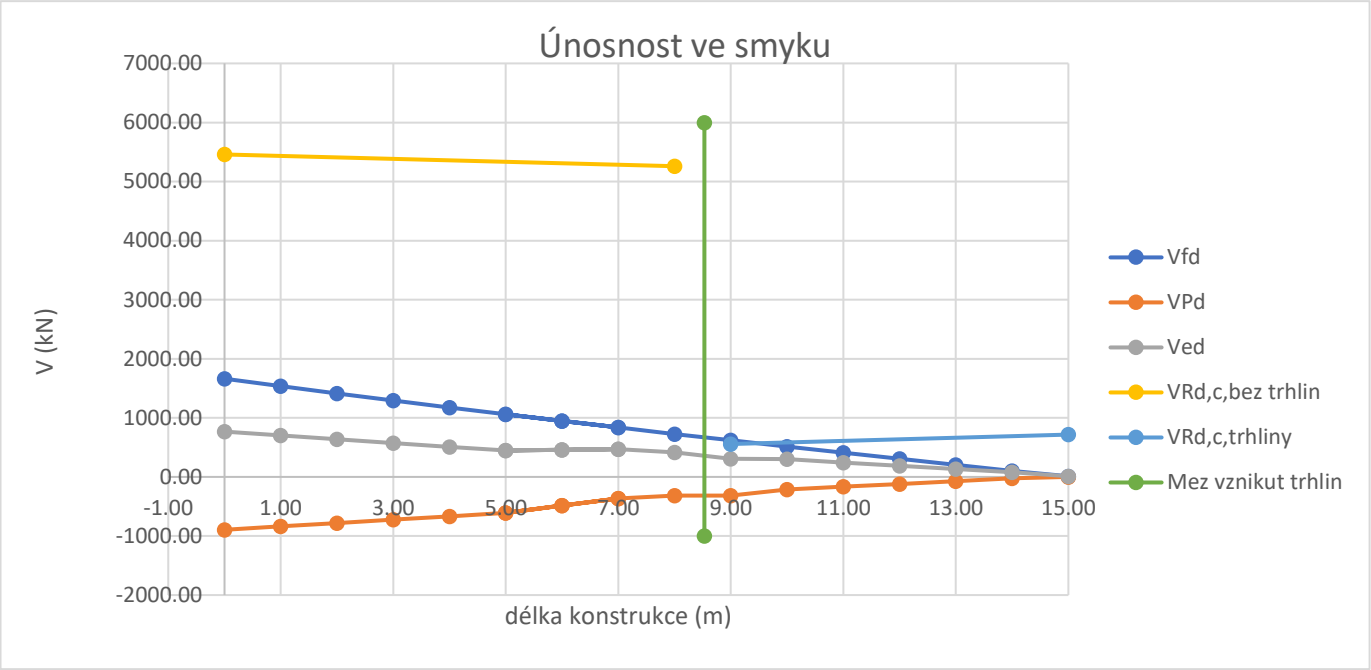
Řez X = 15 m:

$$M_{ed} = 2479{,}30\ kNm \leq M_{Rd} = 4141{,}0\ \ kNm \rightarrow VYHOVUJE\ \ (59{,}87\ \%)$$

12.1.2 Smyk

Pro ověření únosnosti ve smyku byla mostovka rozdělena na části bez vzniku trhlin a část s trhlinou.

Trhliny vznikly řezu X = 8,53 m. Oblast bez trhlin byla posouzena v řezech X = 0 a X = 8 m a oblast s trhlinami v řezech X = 9 m a X = 15 m. Všechny posudky vyhověly a průřez byl tedy vyztužen konstrukčně.



Obrázek 29 - Graf únosnosti ve smyku

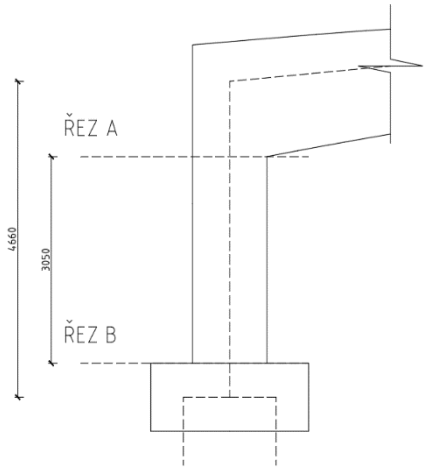
V_{fd} *Posouvající síla od zatížení*

V_{Pd} *Posouvající síla od předpětí*

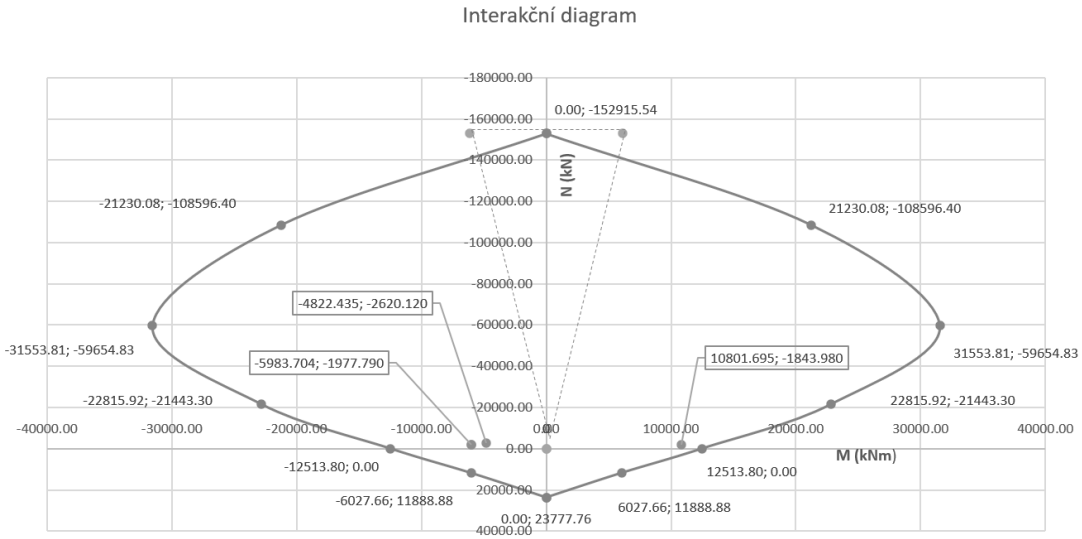
V_{ed} *Celková posouvající síla*

12.2 Posouzení rámové stojky

Rámová stojka byla posouzena pomocí interakčního diagramu na kombinaci ohybového momentu a normálové síly ve dvou řezech A a B. Výztuž byla navržena Ø32/150 u obou povrchů. Dále byla stojka posouzena na posouvající síly. Bylo navrženo šestnáct třmínků Ø12/180 mm po celé výšce stojky.



Obrázek 30 - Posuzované řezy stojky



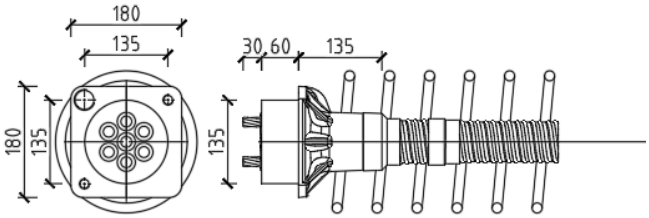
Obrázek 31 - Interakční diagram rámové stojky

13 Kotevní oblast

Navržení a rozmístění výztuže v kotevní oblasti bylo popsáno v příloze P3.01 – Statický výpočet.

V příloze P3.01 – Statický výpočet byla posouzena oblast pod kotvou a povrch čela. Celková kotevní oblast byla vyztužena konstrukčně, jelikož pro její přesnější výpočet by bylo zapotřebí vytvořit konkrétní model kotevní oblasti, což nebylo předmětem této práce.

Kotvy byly použity VSL GC a rozmístěný dle katalogu výrobce (6). Ve výpočtu byla ověřena únosnost kotev, ale nevyhověla. Výrobce garantuje únosnost kotev při dodržení správného technologického postupu.



Obrázek 32 - Kotva VSL GC (4)

14 Protažení lan při kotvení

Délka protažení lan při kotvení vycházela z maximálního napětí ve výztuži $\sigma_{P,max} = 1435\ \mathrm{MPa}$ a celkové délky lan $l_c = 32{,}79\ \mathrm{m}$. Výsledné protažení lan vyšlo $\Delta l = 0{,}238\ \mathrm{m}$.

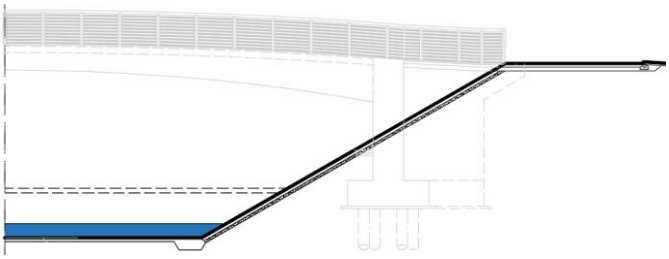
15 Postup výstavby a časový harmonogram

15.1 Časový harmonogram

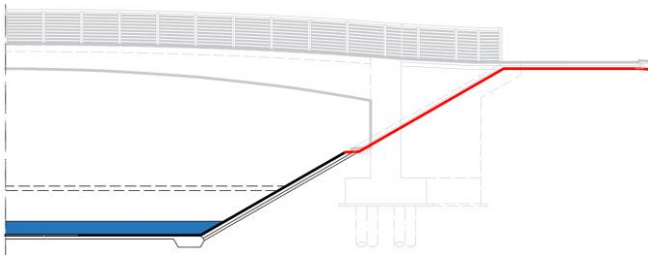
t_b = 0 dní	Betonáž konstrukce
t_s = 5 dní	Ukončení ošetřování
t_0 = 28 dní	Vnesení předpětí do betonu
t_g = 90 dní	Čas vnesení ostatního stálého zatížení
t_q = 248 dní	Čas vnesení nahodilého zatížení
t_∞ = 365 000 dní	Doba životnosti konstrukce

15.2 Postup výstavby

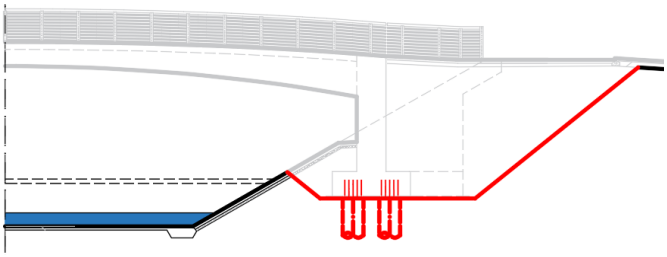
Fáze 1.	Původní stav
Fáze 2.	Skrývka ornice v tloušťce 0,23 m
Fáze 3.	Výkopové práce po úroveň základové spáry. Vrtání pilot, osazení armokoše a následná betonáž pilot. Převázka skupiny pilot.
Fáze 4.	Vylití vrstvy podkladního betonu a bednění základových pásu stojky.
Fáze 5.	Armování a betonáž základových pásů.
Fáze 6.	Úprava pracovní spáry základového pásu a stojky. Bednění rámové stojky.
Fáze 7.	Armování a betonáž rámové stojky.
Fáze 8.	Vytvoření bednící skruže pro betonáž mostovky.
Fáze 9.	Armování a betonáž mostovky.
Fáze 10.	Napínání předpínacích lan.
Fáze 11.	Zásyp a hutnění zeminy za stojkou. Dokončovací terénní práce.
Fáze 12.	Pokládka pochozí izolační vrstvy a ukotvení zábradlí do nosné konstrukce lávky.



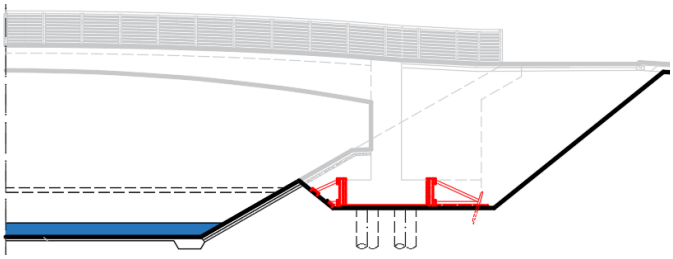
Obrázek 33- Fáze výstavby 1



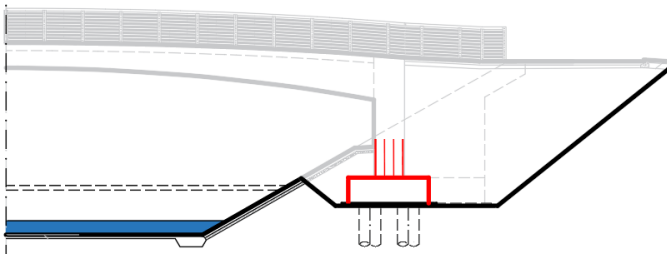
Obrázek 34 - Fáze výstavby 2



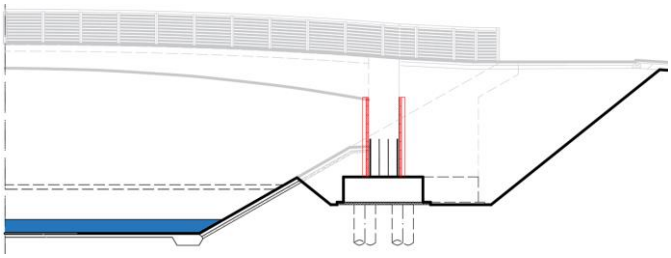
Obrázek 35 - Fáze výstavby 3



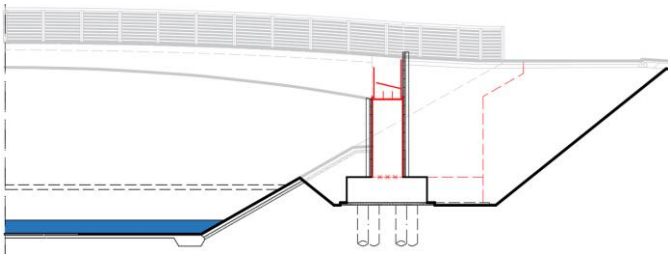
Obrázek 36 - Fáze výstavby 4



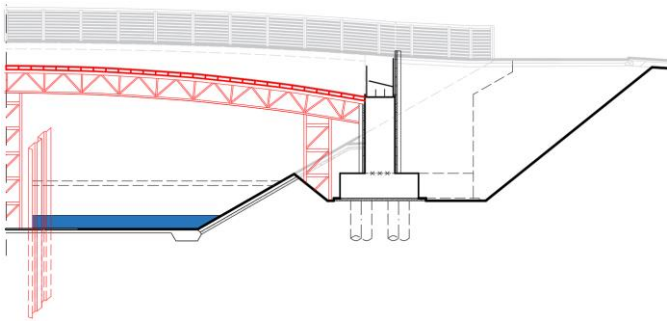
Obrázek 37 - Fáze výstavby 5



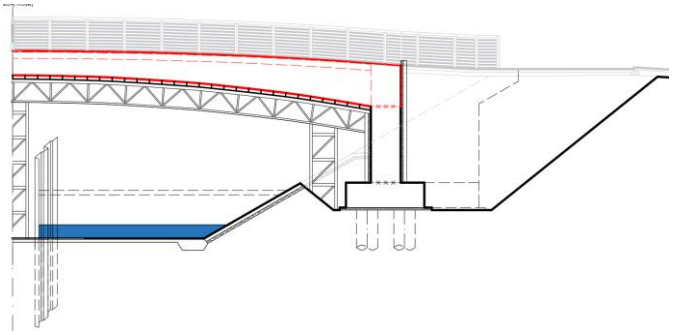
Obrázek 38 - Fáze výstavby 6



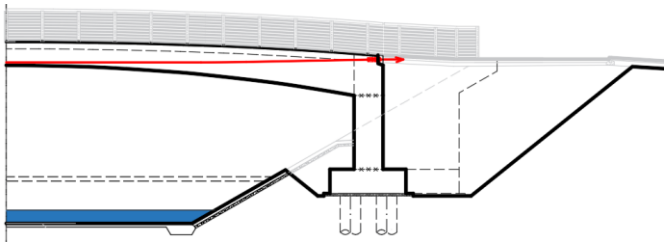
Obrázek 39 - Fáze výstavby 7



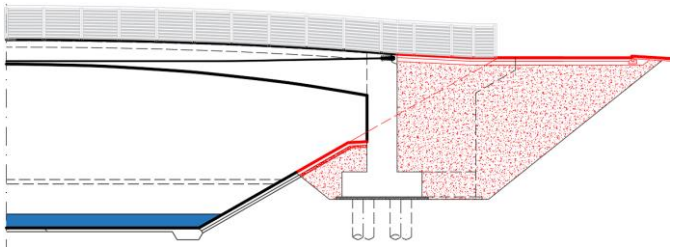
Obrázek 40 - Fáze výstavby 8



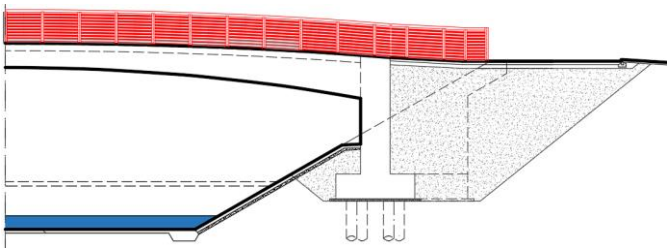
Obrázek 41 - Fáze výstavby 9



Obrázek 42 - Fáze výstavby 10



Obrázek 43 - Fáze výstavby 11



Obrázek 44 - Fáze výstavby 12

16 Závěr

Bakalářská práce byla zaměřena na návrh a výpočet jednopolové rámové lávky pro pěší a cyklisty. Byly navrhnuty a zhodnoceny celkem tři studie a vybrána jedna z nich k následnému posouzení a detailnějšímu zpracování.

Model pro výpočet byl vytvořen pomocí programu Scia Engineer a byly provedeny studie chování tohoto modelu v příloze P3.02 - Studie.

Dále byl zpracován statický posudek vybrané varianty v příloze P3.01 – Statický posudek. U posudků byly ověřeny mezní stavy použitelnosti na napětí v betonu, napětí ve výztuži, posouzení trhlin a průhybu. Mezní stavy únosnosti mostovky vyhověly bez přidané betonářské výztuže, a proto průřez mostovky mohl být vyztužen konstrukčně. Stojka byla navrhnuta a posouzena na smyk a na kombinaci ohybu a tlaku pomocí interakčního diagramu.

Další vypracovanou přílohou jsou přehledné a podrobné výkresy zvolené varianty. Jednotlivé fáze výstavby byly nastíněny v textové části práce. V neposlední řadě je součástí práce vizualizace, jež doplňuje představu o navrhnuté konstrukci.

17 Seznam použitých zdrojů

1. TP 179 Navrhování komunikací pro cyklisty, Technické podmínky. *pjpk.cz.* [Online] 2006. http://www.pjpk.cz/data/USR_001_2_8_TP/TP_179_2017.pdf.

2. doc. Ing. Jan Maopust, CSc a Ing. Věra Glísníková, CSc. *ZAKLÁDÁNÍ STAVEB M01.* Brno : Akademické nakladatelství CERM, 2007. isbn 978-80-7204-538-9.

3. TP 261 Integrované mosty Technické podmínky. *pjpk.cz.* [Online] 2017. http://www.pjpk.cz/data/USR_001_2_8_TP/TP_261_2017.pdf.

4. TP 186 Zábradlí na pozemních komikací Technické podmínky. *pjpk.cz.* [Online] 2007. http://www.pjpk.cz/data/USR_001_2_8_TP/TP_186.pdf.

5. *ČSN EN 1991-1-5 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-5: Obecná zatížení - Zatížení teplotou.* Praha : ČNI, 2005. str. 44.

6. VSL SYSTÉM /CZ/, s.r.o. *vsl.cz.* [Online] 2021. http://www.vsl.cz/.

7. *ČSN 73 6201 Projektování mostních objektů.* Praha : ČNI, 2008.

8. *ČSN EN 1990 ed 2 Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí.* místo neznámé : Česká agentura pro standardizaci, meteorologii a státní zkušebnictví, 2021. str. 100.

9. *ČSN EN 1991-2 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 2: Zatížení mostů dopravou.* Praha : ČNI, 2005. str. 152.

10. *ČSN EN 1992-1-1 Česká technická norma Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí - Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby.* Praha : ČNI, 2006. str. 214.

11. *ČSN EN 1992-2 Navrhování betonových konstrukcí - Část 2:Betonové mosty - Navrhování a konstrukční zásady.* Praha : ČNI, 2007.

12. prof. Ing. Ivailo Terzijski, CSc, a další. *BL001 Prvky betonových konstrukcí Výukové texty, příklady a pomůcky.* Brno : VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKTULA STAVEBNÍ, 2019.

13. TP 211 Izolační systémy mostů pozemních komunikací - přímopojížděné systémy, Technické podmínky. *pjpk.cz.* [Online] 2009. http://www.pjpk.cz/data/USR_001_2_8_TP/TP_211.pdf.

18 Seznam použitých zkratek

Velká písmena latinské abecedy

A_c	*Průřezová plocha betonu*
A_{cr}	*Oslabená průřezová plocha betonu*
a_g	*Gravitační zrychlení*
A_p	*Plocha lana*
A_s	*Průřezová plocha výztuže*
$A_{s,max}$	*Maximální plocha výztuže*
$A_{s,min}$	*Minimální plocha výztuže*
$A_{s,w}$	*Průřezová plocha smykové výztuže*
D	*Průměr piloty*
e_0	*Minimální výstřednost*
E_c	*Tečnový modul pružnosti*
$E_{c,eff}$	*Účinný modul pružnosti*
E_{cm}	*Sečnový modul pružnosti betonu*
E_{def}	*Modul přetvárnosti*
E_p	*Modul pružnosti předpínací oceli*
E_s	*Modul pružnosti betonářské oceli*
F_d	*Návrhová hodnota zatížení*
F_k	*Charakteristická hodnota zatížení*
G_p	*Modul pružnosti ve smyku*
I	*Moment setrvačnosti průřez*
I_{cr}	*Moment setrvačnosti oslabeného průřezu*
L	*Délka rozpětí konstrukce*
M_0	*Výstředný moment*
$M_{g0,k}$	*Moment od vlastní tíhy*
$M_{g1,k}$	*Moment od ostatního stálého zatížení*
$M_{p,k}$	*Moment od předpětí*
$M_{q,k}$	*Moment od proměnného zatížení*
MSP	*Mezní stav použitelnosti*
MSÚ	*Mezní stav únosnosti*
$M_{T,k}$	*Moment od zatížení teplotou*
$M_{z,k}$	*Moment od aktivního zemního tlaku*
$N_{g0,k}$	*Normálová síla od vlastní tíhy*
$N_{g1,k}$	*Normálová síla od ostatního stálého zatížení*
$N_{p,k}$	*Normálová síla od předpětí*
$N_{q,k}$	*Normálová síla od proměnného zatížení*
$N_{T,k}$	*Normálová síla od zatížení teplotou*
$N_{z,k}$	*Normálová síla od aktivního zemního tlaku*
Pm0	*Síla po krátkodobých ztrátách*
Pm0,max	*Maximální síla po vnesení předpětí*
$Pm\infty$	*Síla po dlouhodobých ztrátách*
Pmax	*Maximální předpínací síla*
S_y	*Statický moment setrvačnosti*
T_0	*Výchozí teplota mostu*
$T_{e,max}$	*Maximální rovnoměrná složka teploty*

$T_{e,min}$	*Minimální rovnoměrná složka teploty*
$V_{Rd,c}$	*Únosnost ve smyku*
$V_{Rd,max}$	*Smyková únosnost tlakové betonové diagonály*
$V_{Rd,S}$	*Smyková únosnost třmínků*
Z	*Rameno vnitřních sil*
P_i	*Reakce v místě pružiny*

Malá písmena latinské abecedy

b_w	*Šířka průřezu v posuzovaném řezu*
b_z	*Zatěžovací šířka průřezu*
c'	*Soudržnost zeminy*
c_{min}	*Minimální tloušťka krycí vrstvy*
$c_{min,b}$	*Minimální krycí vrstva z hlediska požadavků soudržnosti*
$c_{min,dur}$	*Minimální krycí vrstva z hlediska požadavků trvanlivosti $C_{min,dur}$ = 55 mm*
C_{nom}	*Jmenovitá tloušťka krycí vrstvy*
ecr,d	*Excentricita těžiště řešeného průřezu k dolnímu okraji*
ecr,h	*Excentricita těžiště řešeného průřezu k hornímu okraji*
e_{pr}	*Excentricita přepínací výztuže k těžišti řešeného průřezu*
f_{cd}	*Návrhová pevnost v tlaku*
f_{ck}	*Charakteristická pevnost v tlaku*
f_{cm}	*Střední hodnota pevnosti v tlaku*
f_{ctd}	*Návrhová pevnost v tahu*
$f_{ctk0,05}$	*Dolní kvantil pevnosti v tahu*
f_{ctm}	*Střední hodnota pevnosti v tahu*
$f_{p0.1k}$	*Charakteristické smluvní napětí 0.1 %*
f_{pd}	*Návrhová mez kluzu předpínací výztuže*
f_{pk}	*Charakteristická pevnost v tahu předpínací výztuže*
f_{yd}	*Návrhová mez kluzu betonářské výztuže*
f_{yk}	*Charakteristická hodnota meze kluzu betonářské výztuže*
g_{1k}	*Hodnota ostatního stálého zatížení*
i	*Poloměr setrvačnosti*
k	*Empiricky stanovená nezamýšlená úhlová změna*
k_a	*Součinitel aktivního zemního tlaku*
k_{hzi}	*Tuhost pružiny*
k_p	*Součinitel pasivního zemního tlaku*
k_{t0}	*Koeficient zahrnující vliv krátkodobých ztrát*
$k_{t\infty}$	*Koeficient zahrnující vliv dlouhodobých ztrát*
l	*Délka předpínacích lan*
l_c	*Celková délka předpínacích lan*
l_p	*Přesah předpínacích lan*
q_{fk}	*Zatížení chodci*
$s_{l,max}$	*Maximální vzdálenost sestav třmínků v podélném směru*
$s_{t,max}$	*Maximální příčná vzdálenost větví třmínku*
t	*Uvažovaný časový okamžik*
u	*Obvod vystavený vysychání*
u_i	*Vodorovný posun zemní pružiny*
v_{g0}	*Průhyb od vlastní tíhy*

v_{g1}	*Průhyb od ostatního stálého zatížení*
v_p	*Průhyb od předpětí*
v_q	*Průhyb od zatížení chodci*
v_T	*Průhyb od teploty*
v_z	*Průhyb od zemních tlaků*
x	*Vzdálenost neutrálné osy od nejvíce tlačeného okraje*

Písmena řecké abecedy

$\Delta\sigma P,c+s+r,\infty$	*Součet dlouhodobých ztrát*
$\Delta\sigma p,sl$	*Ztráta pokluzem*
$\Delta\sigma pel$	*Ztráta pružným přetvořením*
$\Delta\sigma_c$	*Změna napětí v betonu v úrovni předpínací výztuže*
$\Delta\sigma_{p,r}$	*Ztráta relaxací*
$\Delta\sigma_{p,\mu}(x)$	*Ztráta třením*
$\Delta\sigma_{pe}$	*Ztráta dotvarováním*
$\Delta\sigma_{pel}$	*Ztráta postupným napínáním*
$\Delta\sigma_{pr}(t_\infty)$	*Dlouhodobá ztráta relaxací*
$\emptyset$	*Průměr prutů betonářské výztuže*
$\emptyset p$	*Průměr kabelových kanálků*
α	*Úhel, který svírají třmínky s podélnou osou mostu*
α_{cc}	*Součinitel účinků zatížení pro mosty v tlaku*
α_{ct}	*Součinitel účinků zatížení pro mosty v tahu*
α_{CW}	*Součinitel zohledňující stav napětí v tlakovém pásu*
α_T	*Součinitel teplotní roztažnosti*
β	*Časová funkce*
γ	*Objemová tíha zeminy*
γ_c	*Součinitel spolehlivosti betonu*
γ_G	*Součinitel spolehlivosti pro stálá zatížení*
γ_P	*Součinitel spolehlivosti předpínací výztuže*
γ_Q	*Součinitel spolehlivosti pro proměnná zatížení*
γ_s	*Součinitel spolehlivosti betonářské výztuže*
γ_{sp}	*Součinitel spolehlivosti předpínací výztuže*
δ_{ad}	*Velikost pokluzu*
Δc_{dev}	*Odchylka od jmenovité tloušťky. Pro běžnou úroveň provádění a kontroly*
$\Delta c_{dur,add}$	*Redukce vrstvy při použití další ochrany*
$\Delta c_{dur,st}$	*Redukce vrstvy při použití nerezové oceli*
$\Delta c_{dur,\gamma}$	*Přídavná hodnota z hlediska spolehlivosti*
$\Delta T_{M,cool}$	*Lineární ochlazení*
$\Delta T_{M,heat}$	*Lineární oteplení*
$\Delta TN,exp$	*Rovnoměrné oteplení*
$\Delta TN,noc$	*Rovnoměrné ochlazení*
ε_{ca}	*Poměrné autogenní smršťování*
ε_{cd}	*Poměrné smršťování vysycháním*
ε_{cs}	*Celkové poměrné smršťování*
ε_{cu}	*Mezní poměrné přetvoření*
ε_{pt}^0	*Přetvoření přepínací výztuže*
ε_{yd}	*Poměrné přetvoření výztuže na mezi kluzu*

μ		*Poissonův součinitel*
μ		*Součinitel tření mezi výztuží a kanálkem*
ρ_{1000}		*Hodnota ztráty relaxací 1000 hodiny po napnutí*
ρ_v		*Objemová hmotnost*
ρ_w		*Stupeň vyztužení*
$\rho_{w,min}$		*Minimální stupeň vyztužení*
σ_{cd}		*Napětí v místě posuzovaného řezu*
$\sigma_{p,max}$		*Přípustné napětí ve výztuži*
$\sigma_{p,sl}$		*Napětí po ztrátách pokluzem*
$\sigma_{p,\mu}$		*Napětí po ztrátě třením*
σ_{Pm0}		*Napětí po krátkodobých ztrátách*
$\sigma_{Pm0,max}$		*Maximální napětí po vnesení předpětí*
$\sigma_{Pm\infty}$		*Napětí po dlouhodobých ztrátách*
$\sigma_{Pm\infty'}$		*Napětí v kvazistálé kombinaci v čase nekonečno*
$\sigma_{Pm\infty''}$		*Napětí v časté kombinace v čase nekonečno*
$\sigma_{Pm\infty'''}$		*Napětí v charakteristické kombinaci v čase nekonečno*
$\varphi(t)$		*Součinitel dotvarování*
φ'		*Úhel vnitřního tření zeminy*
ψ		*Součinitele kombinace*
	ψ_0	*Kombinační hodnoty*
	ψ_1	*Časté hodnoty*
	ψ_2	*Kvazistálé hodnoty*
θ		*Součet zamýšlených úhlových změn na délce kabelu*

19 Seznam příloh

P1. Podklady, studie a vizualizace

- P1.01 Výkres zadání
- P1.02 Výkres varianty A
- P1.03 Výkres varianty B
- P1.04 Výkres varianty C
- P1.05 Vizualizace

P2. Přehledné a podrobné výkresy zvoleného návrhu

- P2.01 Situace
- P2.02 Podélný řez
- P2.03 Příčný řez A-A
- P2.04 Příčný řez B-B
- P2.05 Výkres betonářské výztuže
- P2.06 Výkres předpínací výztuže

P3. Statický výpočet

- P3.01 Statický výpočet
- P3.02 Studie

20 Seznam obrázků

Obrázek 1 - Situace v předpokládaném místě křížení 11
Obrázek 2 - Příčný řez terénem v předpokládané ose lávky 11
Obrázek 3 - Podélný řez – varianta A 13
Obrázek 4 - Příčný řez – varianta A 13
Obrázek 5 - Příčný řez – varianta B 14
Obrázek 6 - Podélný řez – varianta B 14
Obrázek 7 - Příčný řez – varianta C 15
Obrázek 8 - Podélný řez – varianta C 15
Obrázek 9 - Pohled na model 16
Obrázek 10 - Podepření modelu 17
Obrázek 11 - Založení – skupina pilot 17
Obrázek 12 - Tvar střednice nosné konstrukce 18
Obrázek 13 - Průřezy vloženy do programu Scia Engineer 18
Obrázek 14 - Zatížení ekvivalentem předpětí 19
Obrázek 15 - Model kabelů v programu Scia Engineer 20
Obrázek 16 - Trasa vedení kabelů 20
Obrázek 17 - Průřez rámové stojky 21
Obrázek 18 - Navržený tvar zábradlí 22
Obrázek 19 - Ostatní stálé zatížení 23
Obrázek 20 - Zatížení aktivním zemním tlakem 23
Obrázek 21 - Zatížení pasivním zemním tlakem 24
Obrázek 22- Mapa maximálních teplot vzduchu ve stínu, ČSN EN 1991-1-5 (5) 25
Obrázek 23 - Mapa minimálních teplot vzduchu ve stínu, ČSN EN 1991-1-5 (5) 25
Obrázek 24 - Graf okamžitých změn předpětí 28
Obrázek 25 - Graf napětí v čase t_0 30
Obrázek 26 - Graf napětí v čase t_∞- charakteristická kombinace 30
Obrázek 27 - Graf napětí v čase t_∞- častá kombinace 31
Obrázek 28- Graf napětí v čase t_∞- kvazistálá kombinace 31
Obrázek 29 - Graf únosnosti ve smyku 33
Obrázek 30 - Posuzované řezy stojky 33
Obrázek 31 - Interakční diagram rámové stojky 34
Obrázek 32 - Kotva VSL GC (4) 34
Obrázek 33- Fáze výstavby 1 36
Obrázek 34 - Fáze výstavby 2 36
Obrázek 35 - Fáze výstavby 3 36
Obrázek 36 - Fáze výstavby 4 36
Obrázek 37 - Fáze výstavby 5 36
Obrázek 38 - Fáze výstavby 6 36
Obrázek 39 - Fáze výstavby 7 36

Obrázek 40 - Fáze výstavby 8 36
Obrázek 41 - Fáze výstavby 9 37
Obrázek 42 - Fáze výstavby 10 37
Obrázek 43 - Fáze výstavby 11 37
Obrázek 44 - Fáze výstavby 12 37

21 Seznam tabulek

Tabulka 1 - Skladba vrtu 12
Tabulka 2 - Zatěžovací stavy 22
Tabulka 3 - Dlouhodobé ztráty 29