



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

PŘEDPJATÁ MOSTNÍ DESKA

PRESTRESSED CONCRETE SLAB

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Marek Dobeš

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	Marek Dobeš
Název	Předpjatá mostní deska
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 vedoucího práce

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Z předběžného návrhu možných typů mostních konstrukcí preferujte předpjatou mostní deskovou konstrukci o jednom poli. V práci se zaměřte především na návrh nosné konstrukce mostu. Dimenzování proveďte podle EN 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

Cílem této bakalářské práce je návrh a posouzení jednopolové, kolmé mostní konstrukce přes řeku. Byly vypracovány 2 předběžné návrhy a vybrán jeden z nich jako nejvhodnější řešení, a dále podrobněji zpracován. Vybrána byla lichoběžníková předpjatá deska s rozpětím 21,0 metrů. Výpočet účinků zatížení byl proveden pomocí ručního výpočtu a v programu scia engineering a následně porovnán. Posouzení mezního stavu únosnosti a použitelnosti bylo provedeno ručně dle platných norem.

KLÍČOVÁ SLOVA

Deskový most, předpjatý beton, statický výpočet, ztráty předpětí, mezní stav únosnosti a použitelnosti, výkresová dokumentace, vizualizace

ABSTRACT

The aim of this bachelor's thesis is the design and analysis of one-span, perpendicular bridge across the river. Two preliminary studies have been designed and one of them was selected as the most appropriate solution and then further elaborated in more detail. The selected one was prestressed trapezoidal slab with the span of 21 meters. The load effects were calculated using a manual calculation and a program scia engineering and then compared. The assessment of ultimate and serviceability limit state was done by manual calculation according to current valid standards.

KEYWORDS

Slab bridge, prestressed concrete, statical analysis, prestress losses, ultimate and serviceability limit state, drawing documentation, visualization

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Marek Dobeš *Předpjatá mostní deska*. Brno, 2021. 28 s., 81 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 *Předpjatá mostní deska* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 28. 5. 2021

Marek Dobeš
autor práce

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

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

V Brně dne 28. 5. 2021

Marek Dobeš
autor práce

PODĚKOVÁNÍ

Zde bych chtěl poděkovat svému vedoucímu bakalářské práce Ing. Janovi Kolářkovi, Ph.D. za ochotný přístup a možnost konzultování v této náročné situaci, následně si cením mnoha rad, které mi pomohly tuto práci zkompletovat.

Obsah

1. ÚVOD	10
2. VARIANTY ŘEŠENÍ:	11
2.1. VARIANTA A	11
2.2. VARIANTA B	11
2.3. ZVOLENÁ VARIANTA	11
3. ZÁKLADNÍ ÚDAJE.....	12
3.1. POLOHA A ÚDAJE O STAVBĚ.....	12
3.2. ZALOŽENÍ OBJEKTU	12
3.3. SPODNÍ STAVBA	12
3.4. LOŽISKA.....	13
3.5. ŘÍMSY	14
3.6. VOZOVKA	14
3.7. MOSTNÍ VYBAVENÍ.....	14
3.8. ODVODNĚNÍ.....	14
4. HLAVNÍ NOSNÁ KONSTRUKCE	14
4.2. ZATÍŽENÍ.....	14
4.2.1. STÁLÉ ZATÍŽENÍ	15
4.2.2. OSTATNÍ STÁLÉ.....	15
4.2.3. PROMĚNNÉ ZATÍŽENÍ.....	15
4.3. KOMBINACE ZATÍŽENÍ	16
4.3.1. MEZNÍ STAV POUŽITELNOSTI	16
4.3.2. MEZNÍ STAV ÚNOSNOSTI.....	17
5. STATICKÉ ŘEŠENÍ KONSTRUKCE	17
5.2. RUČNÍ VÝPOČET – PRUTOVÝ MODEL	18
5.3. PROGRAMOVÝ VÝPOČET – DESKOVÝ MODEL	18
6. POROVNÁNÍ VÝPOČTŮ MOMENTŮ	18
7. NÁVRH PŘEDPĚTÍ	19
8. SKUTEČNÉ ZTRÁTY	20
8.1. VÝROBNÍ – KRÁTKODOBÉ ZTRÁTY	20
8.2. PROVOZNÍ – DLOUHODOBÉ ZTRÁTY.....	20
9. MEZNÍ STAVY	20
9.1. MEZNÍ STAV POUŽITELNOSTI	20
9.2. MEZNÍ STAV ÚNOSNOSTI.....	21
9.2.1. PODÉLNÝ SMĚR.....	21
9.2.2. PŘÍČNÝ SMĚR.....	21
9.2.3. SMYK.....	21
9.2.4. PROPÍCHNUTÍ.....	21

10. KOTEVNÍ OBLAST	21
11. POUŽITÉ MATERIÁLY.....	21
11.1. BETON	21
11.2. BETONÁŘSKÁ VÝZTUŽ	22
11.3. PŘEDPÍNACÍ VÝZTUŽ.....	22
12. POSTUP VÝSTAVBY	22
13. ZÁVĚR	25
14. SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	26
14.1. PŘEDPISY, NORMY, LITERATURA.....	26
14.2. INTERNETOVÉ ZDROJE	26
15. SEZNAM OBRÁZKŮ	27
16. SEZNAM PŘÍLOH	28
16.1. P1 PODKLADY, STUDIE A VIZUALIZACE	28
16.2. P2 PŘEHLEDNÉ A PODROBNÉ VÝKRESY	28
16.3. STATICKÝ VÝPOČET	28
16.4. PROHLÁŠENÍ O SHODNÉ LISTINNÉ A ELEKTRICKÉ FORMY VŠKP	28
16.5. POPISNÝ SOUBOR ZÁVĚREČNÉ PRÁCE.....	28

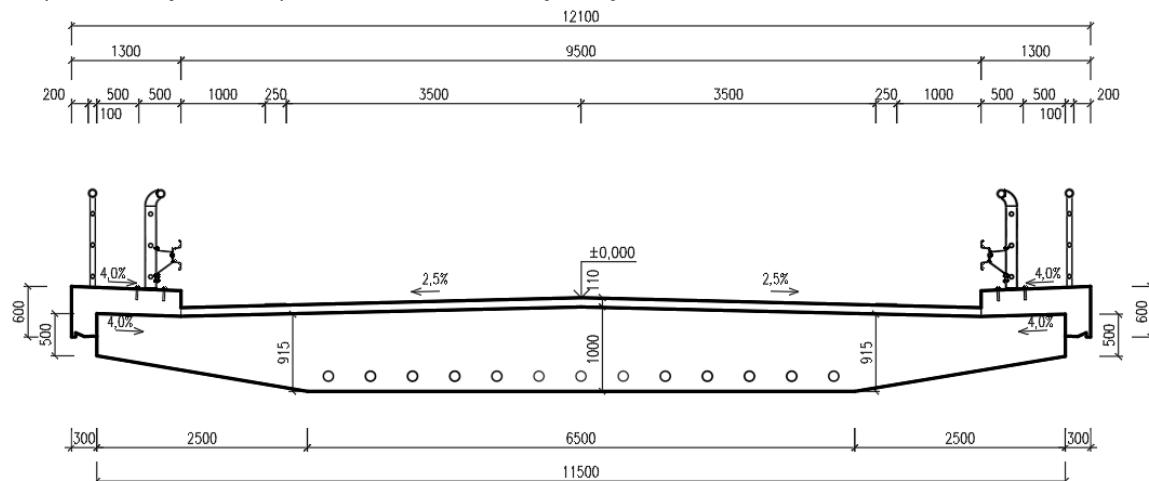
1. ÚVOD

Předmětem této bakalářské práce bylo vypracovat návrh předpjatého kolmého mostu přes řeku o jednom poli a jeho následné posouzení. K tomuto zadání byla nejdříve vypracována studie dvou možných variant tvaru desky, ze kterých byla později vybrána a podrobněji zpracována dodatečně předpjatá lichoběžníková deska s náběhy. Rozpětí mostní konstrukce je 21 metrů. Výpočet byl proveden pomocí programu Scia Engineering a následně porovnán s ručním výpočtem dle platných předpisů a norem. Podrobný statický výpočet je obsahem přílohy P3.

2. VARIANTY ŘEŠENÍ:

2.1. VARIANTA A

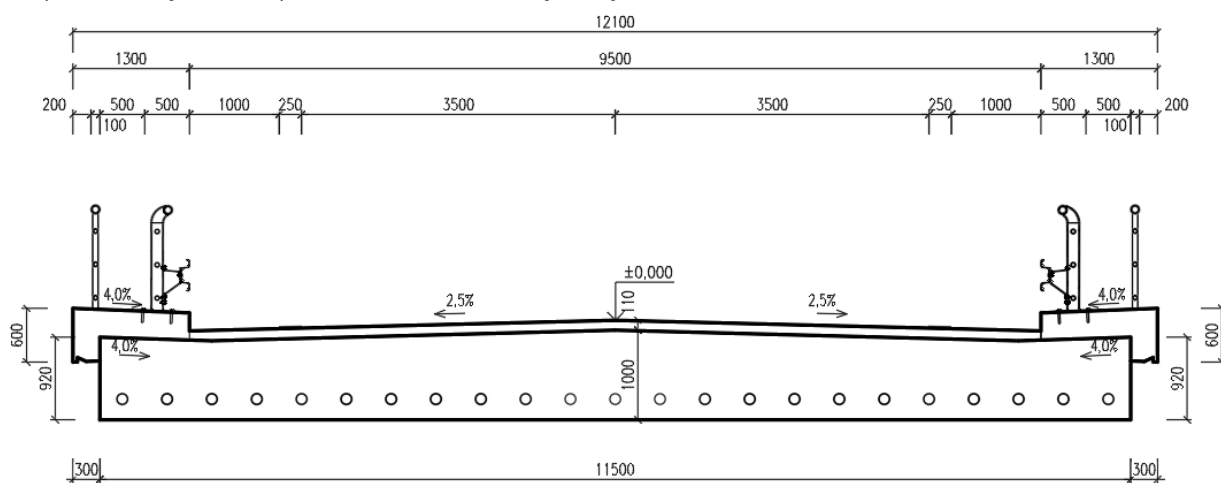
Tato varianta byla navržena jako dodatečně předpjatá lichoběžníková deska s náběhy na spodní straně konstrukce zhruba ve třetinách desky. Výška desky je ve střední části 1000 mm a je proměnná kvůli spádové vrstvě a náběhům. Deska je uložena na 4 ložiska a předepnutá pouze ve střední části. Rozpětí mostu je 21 m a převáděná komunikace je třídy S9,5



Obr.2.1 Varianta A

2.2. VARIANTA B

Tato varianta byla navržena jako dodatečně předpjatá obdélníková deska. Výška desky je ve střední části 1000 mm a je proměnná kvůli spádové vrstvě. Deska je uložena na 4 ložiska a předepnutá v celé její šířce. Rozpětí mostu je 21 m a převáděná komunikace je třídy S9,5



Obr.2.2 Varianta B

2.3. ZVOLENÁ VARIANTA

Pro podrobnější zpracování a výpočet byla zvolena varianta A z důvodů nejvhodnější spotřeby materiálu a estetického vzhledu konstrukce.

3. ZÁKLADNÍ ÚDAJE

Stavba:	Předpjatá mostní deska
Třída pozemní komunikace:	S9,5
Úhel křížení:	90°
Podélný sklon nivelety:	2 ‰
Příčný sklon:	Střechovitý 2,5 ‰
Počet polí:	1
Šířka mezi svodidly:	9,5 m
Šířka říms:	1,3 m
Šířka průchozího prostoru:	0,5 m
Šířka nosné konstrukce:	11,5 m
Šířka mostu:	12,1 m
Konstrukční výška mostu:	1,0 m (V ose mostu)
Volná výška pod mostem:	3,165 m (Při Q ₁₀₀)
Plocha nosné konstrukce:	354,276 m ²
Zatížení mostu:	Skupina pozemních komunikací 1

3.1. POLOHA A ÚDAJE O STAVBĚ

Most převádí přes vodoteč směrově rozdělenou komunikace I. třídy S9,5/90 a nachází se v extravilánu, z tohoto důvodu jsou zde navrženy pouze nouzové chodníky.

Šířkové uspořádání komunikace:

Zpevněná krajnice:	1,0 m
Vodící proužek:	0,25 m
Jízdní pruh:	3,5 m
Jízdní pruh:	3,5 m
Vodící proužek:	0,25 m
<u>Zpevněná krajnice:</u>	<u>1,0 m</u>
Celkem:	9,5 m

Po obou stranách komunikace se nachází nouzové chodníky, které jsou odděleny zábradelním svodidlem a leží na zvýšené obrubě. Nouzový chodník má šířku 0,5 m a je zabezpečen z obou stran zábradelním svodidlem, nebo ocelovým zábradlím.

Územní informace:

Okolí mostu je rovinaté a nenachází se v oblasti ochranného pásma. Most převádí komunikaci přes vodoteč a její niveleta je vedena v nadmořské výšce 264,212 m. n. m. V okolí stavby se nenacházejí žádné jiné objekty, ani inženýrské sítě.

Geologické a hydrogeologické poměry:

Informace o geologických a hydrogeologických podmínkách nebyly v podkladech doloženy. Po domluvě s vedoucím bylo stanoveno že únosnost základové půdy nebude dostatečná pro samostatné uložení opěr. Jedná se tedy o zeminu neúnosnou.

3.2. ZALOŽENÍ OBJEKTU

Založení opěr bylo provedeno na základový pás, který je uložen na řadu pilot C25/30, kruhového profilu o průměru 0,6 m, hloubka pilot je zavedena až do únosné zeminy. Samotný základový pás je tvořen prostým betonem C30/37, XD2 o šířce 1,9 m a délce 11,5 m.

3.3. SPODNÍ STAVBA

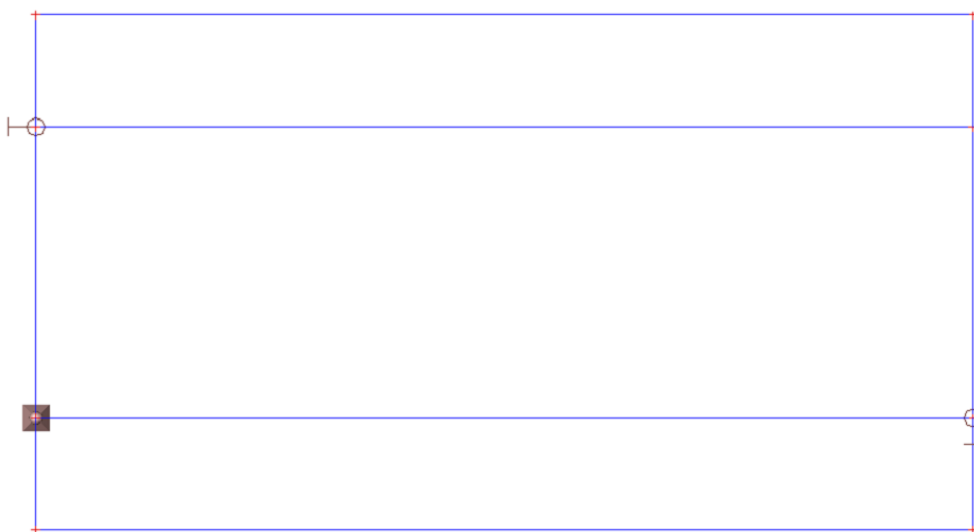
Opěry jsou navrženy jako masivní gravitační z prostého betonu C30/37, XD2 o šířce 1,5 m a délce 11,5 m. Na opěrách se nachází úložné prahy ze železobetonu C30/37, XD3 o šířce a délce stejné jako opěry, jsou vedeny ve sklonu 4,0 ‰ do vodoteče z důvodu odvodu vody u uložení nosné konstrukce.

Na úložném prahu se nachází závěrná zídka ze železobetonu C30/37, XD3 o šířce 0,35 m a délce stejné jako opěra. Její výška je 1,2 m.

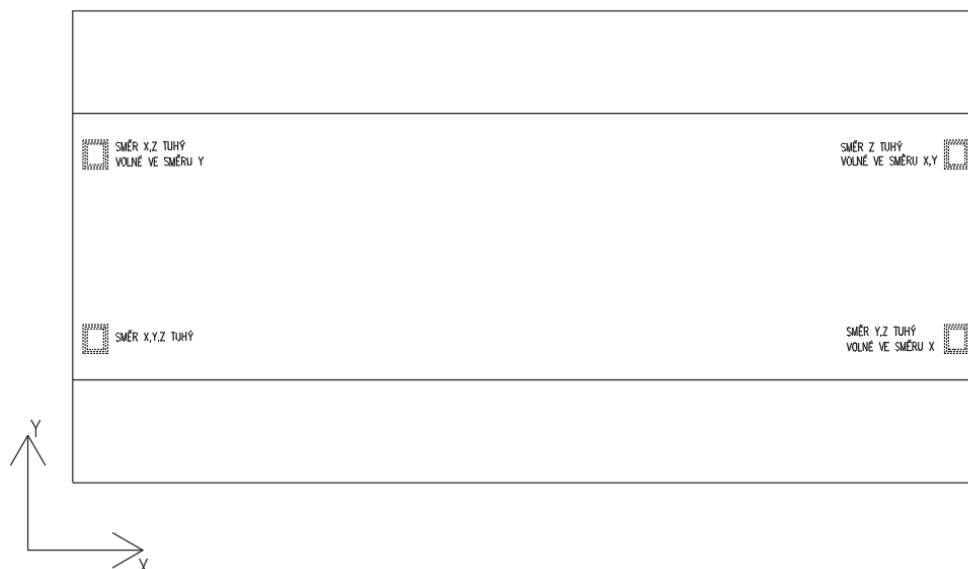
Mostní křídla jsou navržena jako dilatovaná podle konstrukčních zásad z betonu C30/37, křídlo přesahuje vyústění svahu na úrovni komunikace o 0,75 m.

3.4. LOŽISKA

Hlavní nosná konstrukce je uložena na čtyřech elastomerních ložiskách firmy SVP mosty o rozměrech 0,6 m x 0,7 m s přípustným zatížením 6300 kN. Výška ložiska je 0,095 m a jedná se o Typ 5, se 4 elastomerními vrstvami. K umožnění pohybu nosné konstrukce jsou na opěře 1 umístěny 2 ložiska jedno je pevné a druhé je jednosměrně posuvné. Na opěře 2 jsou umístěny zbývající 2 ložiska jedno je jednosměrně posuvné a druhé je dvousměrně posuvné.



Obr.3.3 Umístění ložisek – SCIA Engineer



Obr.3.4 Umístění a popsání ložisek

3.5. ŘÍMSY

Římsy jsou provedené jako monolitické z prostého betonu C30/37, XD3. Umístěny jsou na obou stranách nosné konstrukce a zajišťují převedení nouzových chodníků. Šířka římsy je 1,3 m s tím, že 0,3 m této šířky přesahuje přes hlavní nosnou konstrukci. Na římse je prostor pro umístění ocelového zábradlí a zábradelního svodidla. Sklon je ve 4,0 % směrem k vozovce z důvodu odvodu vody. Výška římsy u vozovky je 0,2 m. Na přesahující části římsy je ze spodní strany vytvořen okapní nos.

3.6. VOZOVKA

Obrusná vrstva ACO a Ložná vrstva ACL	60 mm
Ochranná izolace AB	40 mm
Izolace	10 mm
Celkem	110 mm

3.7. MOSTNÍ VYBAVENÍ

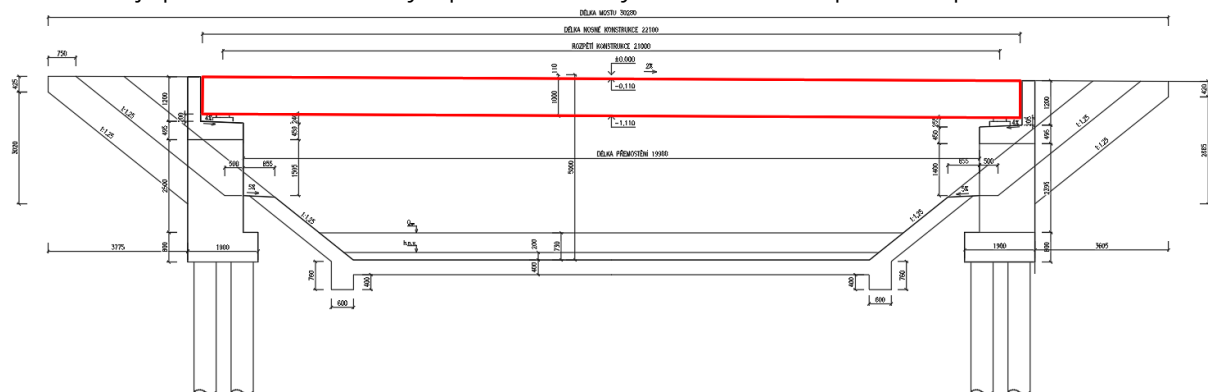
Na obou vnitřních hranách říms je umístěno zábradelní svodidlo ZSNH4/H2. K ochraně chodců jsou zřízeny na obou vnějších hranách říms ocelová zábradlí o výšce 1,1 m nad hranu římsy. Výplň zábradlí tvoří svislé ocelové pruty kruhového profilu s průměrem 10mm po vzdálenosti 0,1 m. Na obou stranách mostu se nachází obslužné schodiště 18x180/270 o šířce 0,8 m a s ochrannými zídkami o šířce 0,15 m.

3.8. ODVODNĚNÍ

Odvodnění vozovky je zajištěno pomocí odvodňovacích proužků, které jsou umístěny v nejnižším místě komunikace a nachází se na kraji jízdního pruhu. Voda stéká v příčném střechovitém sklonu komunikace 2,5 % do proužků a následně je odvedena z mostu pomocí podélného sklonu 2,0 %.

4. HLAVNÍ NOSNÁ KONSTRUKCE

Hlavní nosná konstrukce mostu je tvořena železobetonovou, monolitickou, dodatečně předpjatou deskou. Deska má délku 22,10 m a šířku 11,5 m. Její tloušťka v ose mostu je 1,0 m a na krajích 0,5 m. Spodní hrany jsou na krajích zkosené ve výšce 0,415 m a délce zkosení 2,5 m. Deska je ve střední části dodatečně předepnuta předpínáními kabely. Materiálem nosné konstrukce je beton C30/37, XD1. Horní strana konstrukce je provedena se skloněným povrchem a díky tomu není nutno provádět spádovou vrstvu.



Obr.4.5 Podélný řez

Výška hlavní nosné konstrukce byla zvolena z $h = \left(\frac{1}{20} - \frac{1}{25}\right) L = \left(\frac{1}{20} - \frac{1}{25}\right) \cdot 21 = (1,05 - 0,84) = 1,0 \text{ m}$

4.2. ZATÍŽENÍ

V samotné příloze P.3 jsou podrobněji popsána uvažovaná zatížení.

4.2.1. STÁLÉ ZATÍŽENÍ

4.2.1.1. VLASTNÍ TÍHA KONSTRUKCE

Vlastní tíha desky byla vypočtena z její plochy. Objemová tíha železobetonu byla uvažována 25 kN/m^3 .

4.2.2. OSTATNÍ STÁLÉ

Římsy:

Římsy se zde nachází dvě, na obou stranách konstrukce a jsou symetrické, výpočet byl určen také z jejich plochy. Objemová tíha byla uvažována 25 kN/m^3 .

Vozovka:

Vozovka je tvořena obrusnou a ložnou vrstvou asfaltobetonové směsi. Objemová tíha byla uvažována 24 kN/m^3 . Z důvodu umístění nové vrstvy, nebo odfrézování stávající, je ve výpočtu uvedena hodnota pro infimum a supremum.

Dále se na vozovce nachází izolace. Objemová tíha byla uvažována 12 kN/m^3 . Tato hodnota se již nevztahuje na součinitele infimum a supremum.

Svodidla a zábradlí:

Svodidla jsou uvažována jako 1 kN/m a zábradlí jako $0,5 \text{ kN/m}$, ve výpočtovém modelu jsou uvažována jako liniová zatížení.

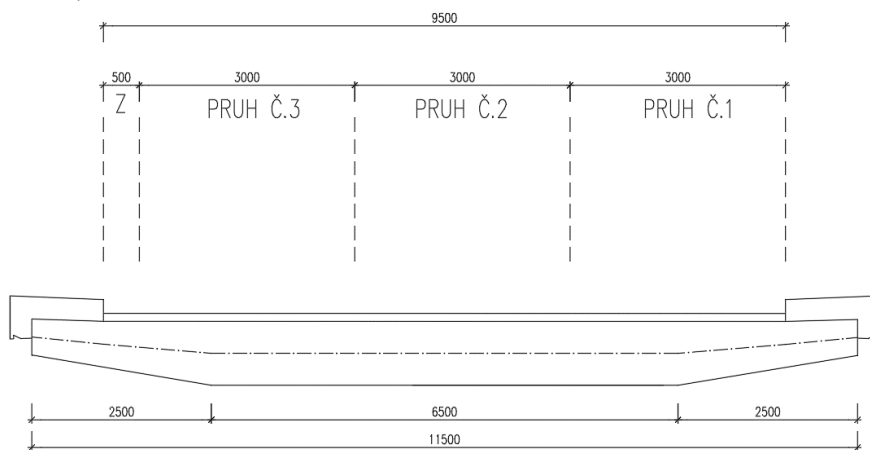
4.2.3. PROMĚNNÉ ZATÍŽENÍ

Pro proměnné zatížení dopravou byly uvažovány modely :

LM1 – Soustředěná zatížení a rovnoměrná zatížení, která zahrnují většinu účinků dopravy osobními a nákladními vozidly.

LM3 – Soubor nápravových sil představující zvláštní vozidla na trasách, kde je povoleno výjimečné zatížení
Ostatní proměnná zatížení, např. vliv brzdných a rozjezdových sil, klimatická zatížení nebyla ve statickém výpočtu zohledňována.

Vozovka kategorie S9,5 byla rozdělena do 3 rovnoměrných pruhů po 3 m a jednoho zbývajících pruhu o šířce 0,5 m



Obr.4.6 Zatěžovací pruhy

4.2.3.2. MODEL ZATÍŽENÍ LM1

Charakteristické hodnoty zatížení pro model LM1:

Umístění:	TS	UDL
Pruh č.1.:	$Q_{1k} = 300 \text{ kN}$	$q_{1k} = 9 \text{ kN/m}^2$
Pruh č.2.:	$Q_{2k} = 200 \text{ kN}$	$q_{2k} = 2,5 \text{ kN/m}^2$
Pruh č.3.:	$Q_{3k} = 100 \text{ kN}$	$q_{3k} = 2,5 \text{ kN/m}^2$
Zbývajcí plocha:	$Q_{zk} = 0 \text{ kN}$	$q_{zk} = 2,5 \text{ kN/m}^2$

Hodnoty regulačních součinitelů:

Jedná se o most I. třídy, tedy skupina pozemní komunikace č.1, pro kterou platí následující součinitele:

Skupina PK-1

$\alpha_{Q1} = 1,0$; $\alpha_{Q2} = 1,0$; $\alpha_{Q3} = 1,0$; $\alpha_{q1} = 1,0$; $\alpha_{q2} = 2,4$; $\alpha_{qz} = 1,2$

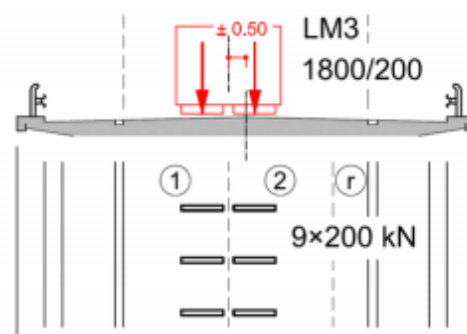
4.2.3.3. MODEL ZATÍŽENÍ LM3

Označení	Celková tíha vozidla	Šířka vozidla	Skladba náprav
900 / 150	900 kN	3 m	6 náprav po 150 kN
1800 / 200	1800 kN	3 m	9 náprav po 200 kN
3000 / 240	3000 kN	4.5 m	12 náprav po 240 kN + 1 náprava 120 kN

Obr.4.7 Zvláštní vozidla LM3

Pro výpočet bylo využito zvláštní vozidlo 1800/200 a jedná se o silnice I. třídy pro které platí následující zásady:

Označení, celková tíha	1800/200, 1800 kN
Umístění zatížení	Zvláštní vozidlo se pohybuje v ideální stopě v prostoru všech zat. pruhů, přičemž se uvažuje možná odchylka od této polohy $\pm 0,50$ m.
Kombinace zatížení	Po celé délce mostu musí být vyloučena veškerá ostatní doprava.
Rychlost	Normální (≤ 70 km/hod)
Dynamický součinitel	$\phi = 1.25$
Poznámka	Jedná se o jediné vozidlo na mostě.



Obr.4.8 Vybrané zvláštní vozidlo LM3

4.3. KOMBINACE ZATÍŽENÍ

4.3.1. MEZNÍ STAV POUŽITELNOSTI

		VOZOVKA						CHODNÍKY A CYKLISTICKÉ PRUHY
Typ zatížení		svislé síly				vodorovné síly		pouze svislé zatížení
Odkaz		4.3.2	4.3.3	4.3.4	4.3.5	4.4.1	4.4.2	5.3.2-(1)
Zatěžovací systém		LM1 (dvojnáprava a rovnoměrné zatížení)	LM2 (jednotlivá náprava)	LM3 (zvláštní vozidla)	LM4 (zatížení davem lidí)	brzdné a rozjezdové síly	odstředivé síly a příčné síly	rovnoměrné zatížení
Sestavy zatížení	gr1a	charakteristické hodnoty				a)	a)	kombinační hodnota ^{b)}
	gr1b		charakteristická hodnota					
	gr2	časté hodnoty ^{b)}				charakteristická hodnota	charakteristická hodnota	
	gr3 ^{d)}							charakteristická hodnota ^{b)}
	gr4				charakteristická hodnota			charakteristická hodnota ^{b)}
	gr5	viz příloha A		charakteristická hodnota				

Obr.4.9 Způsob kombinace SLS

Pro kombinace byly uvažovány sestavy gr1a a gr5.

zatížení	značka		ψ_0	ψ_1	ψ_2
dopravou	gr1a	TS (dvojnápravy)	0.75	0.75	0
		UDL (rovnorné zatížení)	0.40	0.40	0
		chodci a cyklisti	0.40	0.40	0
	gr1b (jednotlivá náprava)		0	0.75	0
	gr2 (vodorovné síly)		0	0	0
	gr3 (zatížení chodci)		0	0.40	0
	gr4 (zatížení davem lidí)		0	-	0
	gr5 (zvláštní vozidla)		0	-	0

Obr.4.10 Redukční součinitele pro dopravu

Pro složky dopravy byly využity součinitele ψ_0 a ψ_1

4.3.2. MEZNÍ STAV ÚNOSNOSTI

Trvalé a dočasné návrhové situace	Stálá zatížení		Předpětí	Hlavní proměnné zatížení	Vedlejší proměnná zatížení	
	Nepříznivá	Příznivá			Nejúčinější	Ostatní
Výraz 6.10	$\gamma_{Gj,sup} G_{kj,sup}$	$\gamma_{Gj,inf} G_{kj,inf}$	$\gamma_P P$	$\gamma_{Q,1} Q_{k,1}$		$\gamma_{Q,j} \psi_{0,j} Q_{k,j}$
6.10a	$\gamma_{Gj,sup} G_{kj,sup}$	$\gamma_{Gj,inf} G_{kj,inf}$	$\gamma_P P$		$\gamma_{Q,1} \psi_{0,1} Q_{k,1}$	$\gamma_{Q,j} \psi_{0,j} Q_{k,j}$
6.10b	$\xi \gamma_{Gj,sup} G_{kj,sup}$	$\gamma_{Gj,inf} G_{kj,inf}$	$\gamma_P P$	$\gamma_{Q,1} Q_{k,1}$		$\gamma_{Q,j} \psi_{0,j} Q_{k,j}$

$\gamma_{Gj,sup} = 1.35$ $\gamma_{Gj,inf} = 1.00$ $\gamma_Q = 1.35$ $\gamma_Q = 1.45$ $\gamma_Q = 1.20$ $\gamma_Q = 1.50$ $\xi = 0.85$	nepříznivě působící zatížení silniční dopravou a chodci zatížení železniční dopravou, sestavy gr11 až gr31 (s výjimkou 16,17, 26 a 27) zatížení železniční dopravou, sestavy gr16 a 17 a model SW/2 ostatní zatížení dopravou a další proměnná zatížení
--	--

Obr.4.11 Způsob kombinace ULS

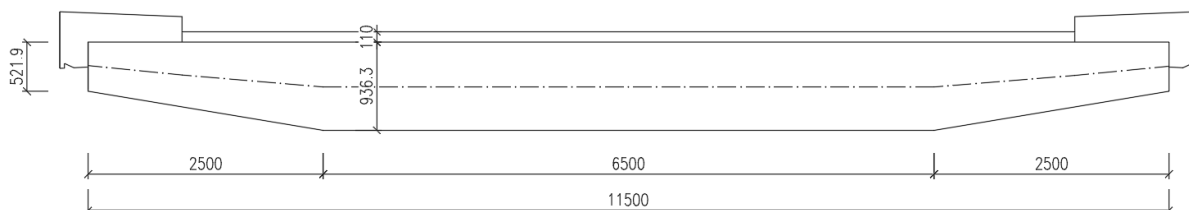
Pro kombinace byly uvažovány sestavy 6.10a a 6.10b

5. STATICKÉ ŘEŠENÍ KONSTRUKCE

Pro výpočet vnitřních sil a posouzení, byly uvažovány dva způsoby výpočtu. Ruční, kde se uvažoval model prutový a programový, kde byl uvažován deskový model. Pro oba způsoby byly stanoveny všechna zatížení a vypočteny vnitřní síly pomocí kombinací na mezní stav použitelnosti a mezní stav únosnosti a následně se tyto hodnoty porovnály.

Pro výpočetní návrh předpjaté lichoběžníkové desky byl vytvořen model o délce 21 m a konstantní náhradní tloušťce 936,29 mm (sklony na horním povrchu byly zanedbány).

Roznos proměnného zatížení od dopravy bylo provedeno na střednici desky a následně se porovná s výsledky z programu SCIA ENGINEER

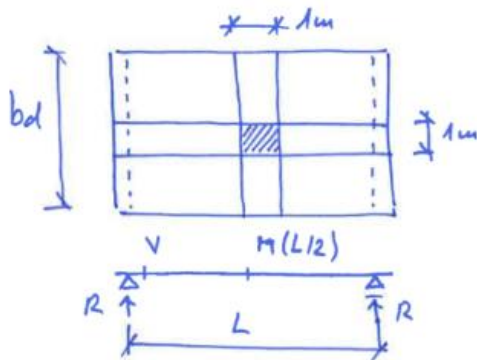


Obr.5.12 Výpočtový model

5.2. RUČNÍ VÝPOČET – PRUTOVÝ MODEL

Jedná se o zjednodušené řešení, kde se využívá metody spolupůsobící šířky. Skutečné deskové působení konstrukce se převádí na prutové. Podle daných pravidel se stanoví největší ohybové namáhání pruhu desky o šířce 1 m v podélném směru. Ohybové namáhání v příčném směru a účinky kroucení se zvlášť nepočítají. Na základě vypočteného namáhání se následně porovná s deskovým výpočtem.

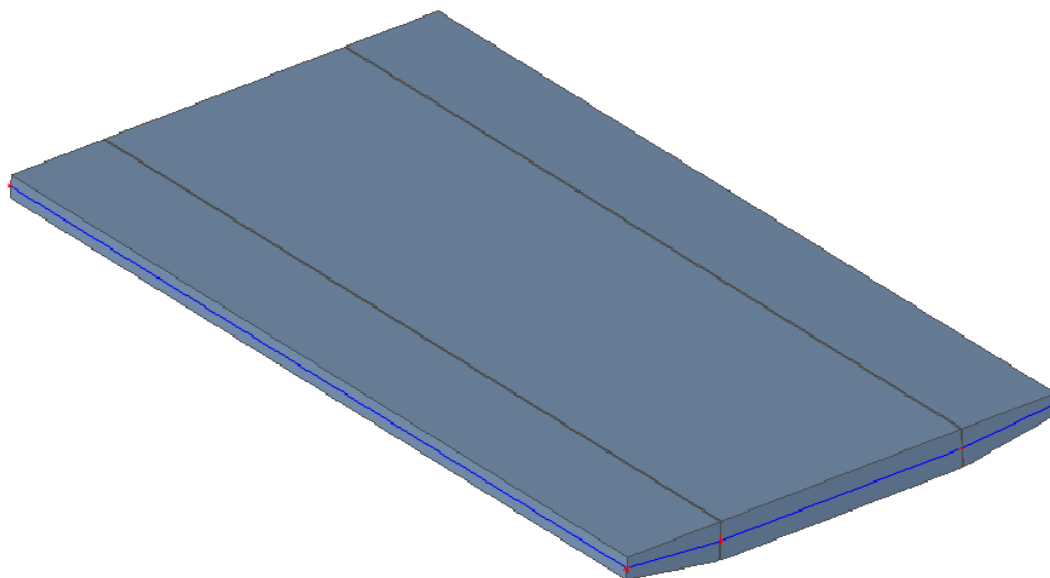
Vychází se z toho, že mostní deska je uložena pouze na dvou protilehlých stranách a zbývající dvě strany desky jsou volné okraje.



Obr.5.13 Přenesení na prutové řešení

5.3. PROGRAMOVÝ VÝPOČET – DESKOVÝ MODEL

Pro výpočetní návrh předpjaté lichoběžníkové desky byl použit program Scia Engineer. Byl vytvořen model o délce 21 m a konstantní tloušťce 936,29 mm. Podpory byly zvoleny tak, aby odpovídaly uložení na ložiskách.



Obr.5.14 Axonometrický pohled na deskový model

6. POROVNÁNÍ VÝPOČTŮ MOMENTŮ

SLS

POROVNÁNÍ VÝPOČTŮ g_{r1a}

Kombinace	Charakteristická	Častá	Kvazistálá
Ručně[kNm]	2369,247	2031,386	1454,018
SCIA[kNm]	2788,06	2415,45	1769,28
Rozdíl [%]	15,022	15,90	17,819

POROVNÁNÍ VÝPOČTU g_{r5}

Kombinace	Charakteristická	Častá	Kvazistálá
Ručně[kNm]	2191,823	1454,018	1454,018
SCIA[kNm]	2611,01	1769,28	1769,28
Rozdíl [%]	16,055	17,819	17,819

ULS

POROVNÁNÍ VÝPOČTŮ g_{r1a}

Kombinace	6.10a	6.10b
Ručně[kNm]	2742,372	2904,045
SCIA[kNm]	3260,86	3405,6
Rozdíl [%]	15,90	14,727

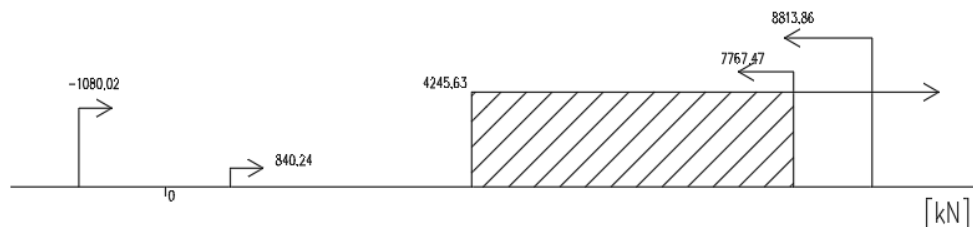
POROVNÁNÍ VÝPOČTŮ g_{r5}

Kombinace	6.10a	6.10b
Ručně[kNm]	1962,924	2664,522
SCIA[kNm]	2388,53	3166,67
Rozdíl [%]	17,819	15,857

Výsledky z programu SCIA Engineer a ruční výpočet zatížení liší max. o 17,819%. Odchyly těchto hodnot jsou způsobeny jiným podepřením modelů. V ručním výpočtu uvažují liniové podpory, zatímco ve SCII bylo uvažováno bodové podepření, které odpovídá reálnému podepření. Pro další posuzování a výpočet budou brány méně příznivé výsledky, tedy z programu SCIA Engineer.

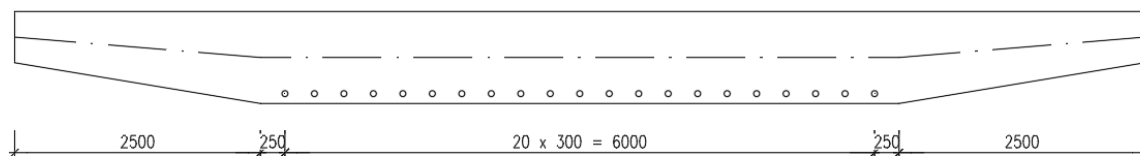
7. NÁVRH PŘEDPĚTÍ

Návrh předpětí byl stanoven ručně z omezujících podmínek pro horní a dolní vlákna v příslušných kombinacích. Maximální napětí při předpínání bylo uvažováno 1476 MPa. Byl proveden odhad výrobních ztrát jako 10 % $\sigma_{p,m0} = 1328,4$ MPa a odhad provozních ztrát jako 10 % $\sigma_{p,m\infty} = 1195,56$ MPa.



Obr.7.15 Interval předpínací síly

Z výsledných hodnot byl sestaven interval a z něj určená potřebná předpínací síla $P_{m0,req} = 4373$ kN. Z potřebné předpínací síly se určil počet potřebných lan na 1 m = 21,95 lan/m a následně určen skutečný počet který se provede. Bylo navrženo celkem 21 kabelů po 7 lanech ve střední části desky po osové vzdálenosti 300 mm.



Obr.7.16 Schéma umístění předpínacích kabelů (řez $x = L/2$)

Další výpočty byly prováděny na 1 m a skutečná předpínací síla je $P_{m0,prov} = 4506,34$ kN

8. SKUTEČNÉ ZTRÁTY

Ve statickém výpočtu byly vypočteny výrobní i provozní ztráty v polovině rozpětí. Doba podržení se neuvažovala.

8.1. VÝROBNÍ – KRÁTKODOBÉ ZTRÁTY

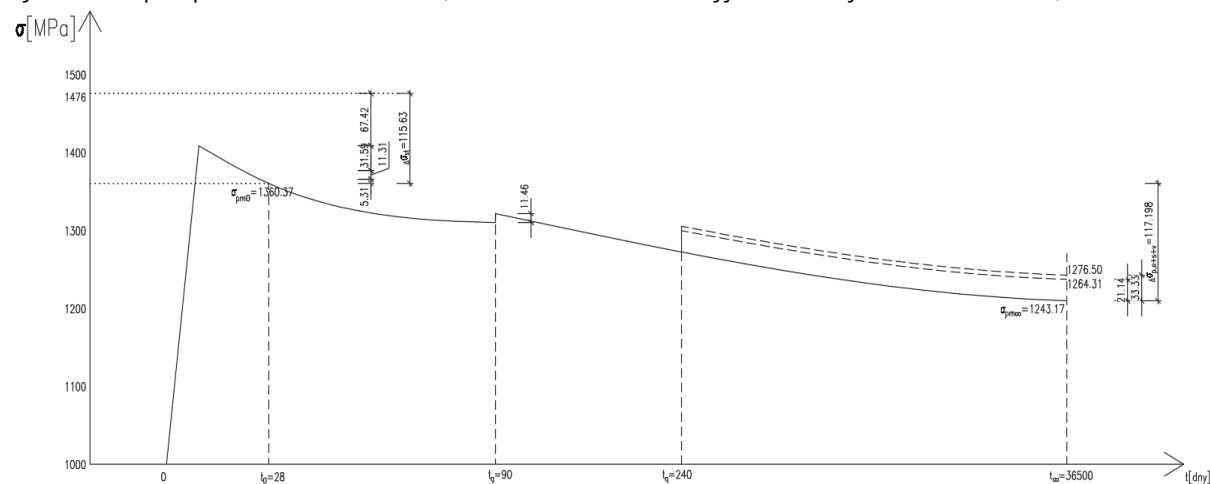
Jedná se o ztráty třením, ztráty pokluzem, ztráty postupným napínáním a ztráta krátkodobou relaxací. Výsledné napětí po ztrátách činilo 1360,37 MPa. Procentuálně vyjádřeno se jedná o hodnotu 7,834 %.

8.2. PROVOZNÍ – DLOUHODOBÉ ZTRÁTY

$t_s = 5$ dní	Ošetřování betonu
$t_0 = 28$ dní	Předepnutí
$t_{g1} = 90$ dní	Zatížení svrškem
$t_q = 240$ dní	Zatížení dopravou
$t_\infty = 36\,500$ dní	Uvažovaná životnost mostu

Jedná se o ztráty smršťováním, ztráty dotvarováním a ztráta relaxací.

Výsledné napětí po ztrátách činilo 1243,17 MPa. Procentuálně vyjádřeno se jedná o hodnotu 8,62 %.



Obr.8.17 Celkové ztráty

9. MEZNÍ STAVY

9.1. MEZNÍ STAV POUŽITELNOSTI

Bylo ověřeno omezení napětí jak v předpínací výztuži, tak v betonu, přičemž v charakteristické kombinaci v čase t_∞ bylo zjištěno že v dolních vláknech beton nevyhoví na podmínku $\sigma_1 = 3,62 \text{ MPa} \leq f_{ctm} = 2,9 \text{ MPa}$ a výpočet neutrální osy s porušeným průřezem vede na kubickou rovnici. Pro tento případ byl využit program IDEA STATICA a posouzení v charakteristické kombinaci bylo vypočítáno s trhlinou. Všechny ostatní případy omezení napětí vyhověli.

Dále se ověřilo omezení trhlin v čase t_∞ od časté kombinace které vyhovělo.

Jako poslední se ověřovalo omezení přetvoření, kde limitní hodnota je pro předpjaté mosty stanovena jako

$$v_{\text{LIM}} = \frac{L}{600} = \frac{21}{600} = 0,035 \text{ m}$$

Mezní stav použitelnosti vyhověl ve všech omezeních.

9.2. MEZNÍ STAV ÚNOSNOSTI

9.2.1. PODÉLNÝ SMĚR

Jako první byl počítán ohyb v podélném směru, kde bylo nutné přidat ohybovou betonářskou výztuž, aby podmínka vyhověla. Navrženo bylo $\varnothing 25 / 6$ ks na 1 m. Podmínka poté vyhověla. Horní podélná výztuž byla navržena konstrukčně jako 13 % z dolní výztuže.

9.2.2. PŘÍČNÝ SMĚR

Dále byl počítán ohyb v příčném směru, kde se řešily dva řezy. První byl ve vzdálenosti „d“ (936,29 mm) od podpor a druhý byl v polovině rozpětí.

Řez 1:

Spodní příčná výztuž byla stanovena z podmínky $A_{s,min}$ a navrženo bylo $\varnothing 16/100$ mm.

Horní příčná výztuž byla stanovena na příčný moment m_{yD} , který vzniká v části u podpor. Navrženo bylo $\varnothing 18/100$ mm.

Řez 2:

Spodní příčná výztuž byla stanovena z podmínky $A_{s,min}$ a navrženo bylo $\varnothing 20/200$ mm.

Horní příčná výztuž ve střední části byla navržena konstrukčně jako 13 % z dolní podélné výztuže.

9.2.3. SMYK

Ve smyku byla deska rozdělena po částech $1/8 L$ na řezy, kde se stanovila maximální posouvající síla a odpovídající moment. Bylo zjištěno místo, kde vzniknou trhliny na spodních vláknech $x = 6,77$ m a následně posouzení oblasti bez trhlin a oblasti s trhlínami. Obě oblasti vyhověly posouzením a smyková výztuž byla navržena pouze konstrukčně jako spony $\varnothing 8$

9.2.4. PROPÍCHNUTÍ

V místě uložení na ložiskách bylo řešeno propíchnutí desky, kde byl stanoven základní obvod a následně počítaný dva redukované obvody. Posouzení vyhovělo v obou obvodech a nebylo nutné navrhovat smykovou výztuž v radiálním postavení na protlačení. Byla navržena stejná konstrukční výztuž jako ve smyku, spony $\varnothing 8$

10. KOTEVNÍ OBLAST

Na závěr byla posouzená kotevní oblast, kde byly použité kotvy typu VSL-GC. Jako první posouzení bylo provedeno na otláčení betonu, které zaručuje výrobce. Dále byly posouzeny kotevní oblasti. Pro oblast pod kotvou byla navržena šroubovice $\varnothing 14$ s 5 závitů. Pro oblast u povrchu byly navrženy $2 \times \varnothing 12$. A pro celkovou oblast bylo navrženo $6 \varnothing 16$, 4x.

Všechny oblasti vyhověli. Uspořádání výztuže je možno vidět v příloze P.2 Přehledné a podrobné výkresy.

11. POUŽITÉ MATERIÁLY

Materiály jsou podrobněji popsány v příloze P3-Statický výpočet

11.1. BETON

Konstrukční prvek	Druh betonu	Třída prostřední
Piloty	C20/25	XC2
Základnové pásy	C30/37	XD2
Opěry	C30/37	XD2
Křídla	C30/37	XD2
Úložný práh, závěrná zídka	C30/37	XD3
Hlavní nosná konstrukce	C30/37	XD1
Římsy	C30/37	XD3

11.2. BETONÁŘSKÁ VÝZTUŽ

B500B

11.3. PŘEDPÍNACÍ VÝZTUŽ

Y1860-S7-15,7-A

Předpínací lana jsou ocelová sedmi-drátová, kotvy jsou typu VSL-GC.

12. POSTUP VÝSTAVBY

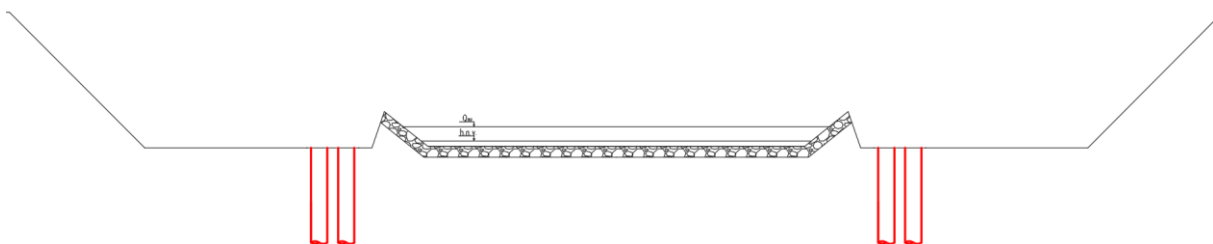
- Skrývka ornice na staveništi v tloušťce 0,2m



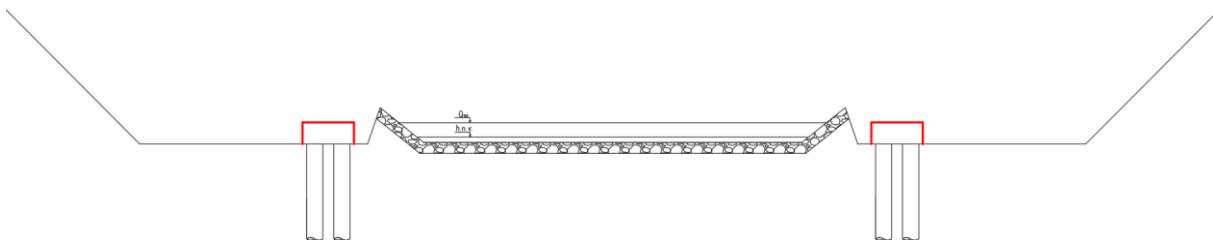
- Výkopové práce, rozšíření koryta, úprava základové spáry



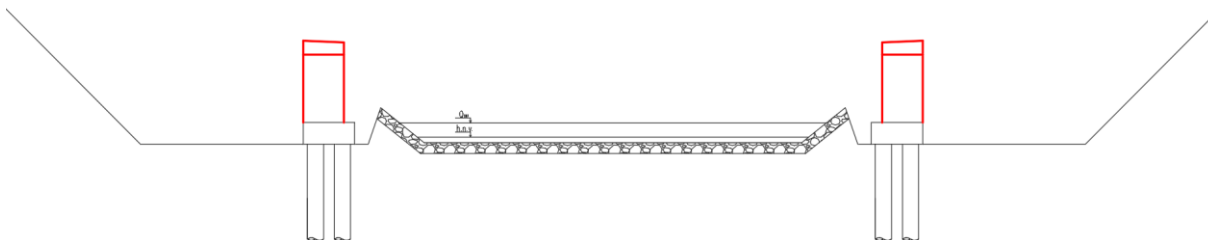
- Vrtání a následné betonování základních pilot



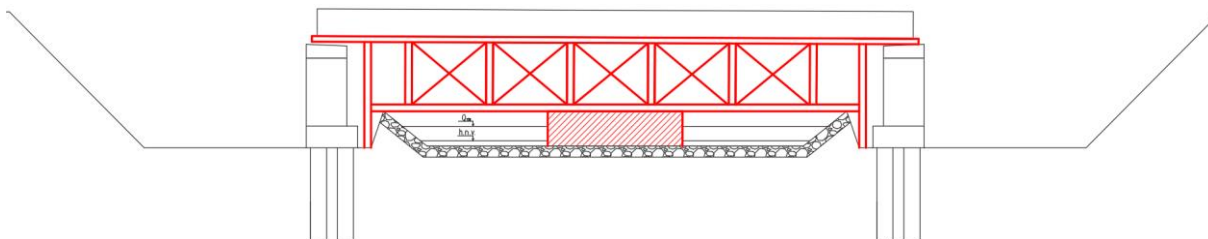
- Bednění a následná betonáž základového pásu



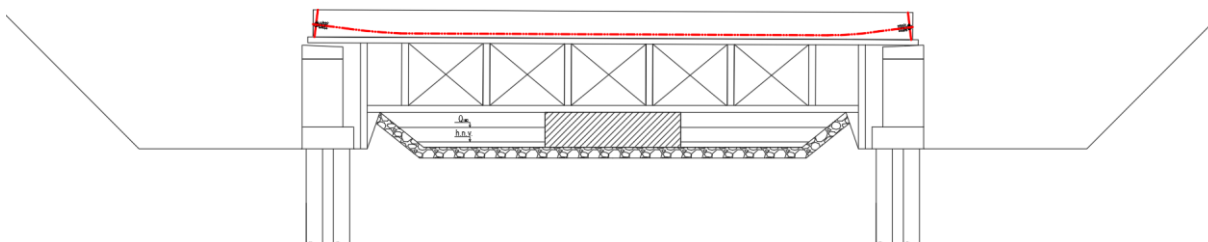
- Bednění a následná betonáž opěr



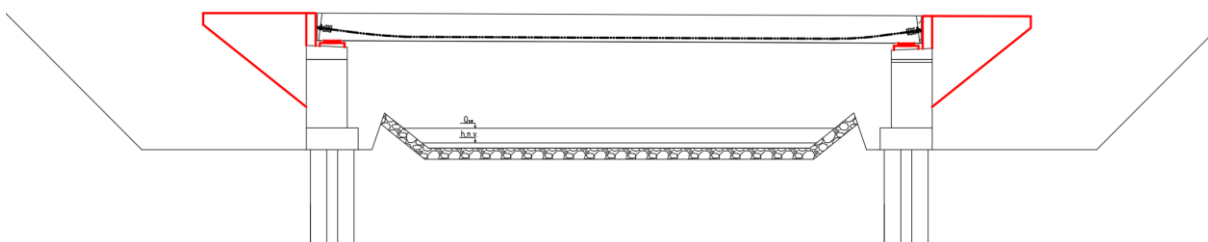
- Montáž skruže a betonáž nosné konstrukce



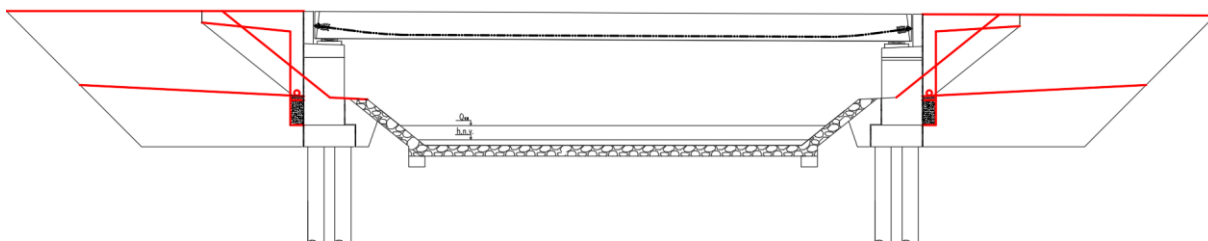
- Předepnutí nosné konstrukce a zabetonování kotev



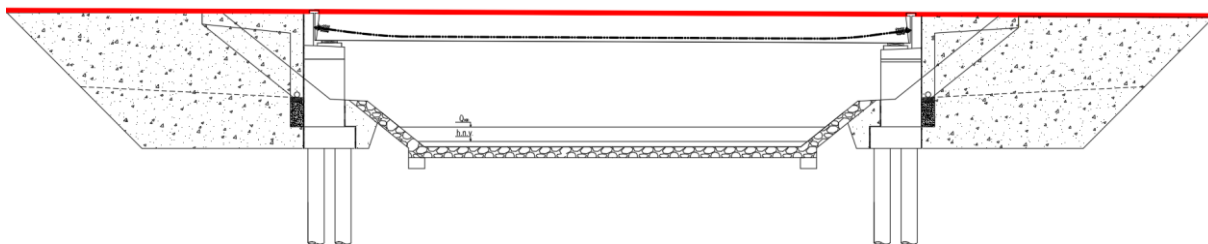
- Vystavění armokoše, bednění a následná betonáž závěrné zídky a křídel
- Osazení hlavní nosné konstrukce na ložiska a odstranění skruže



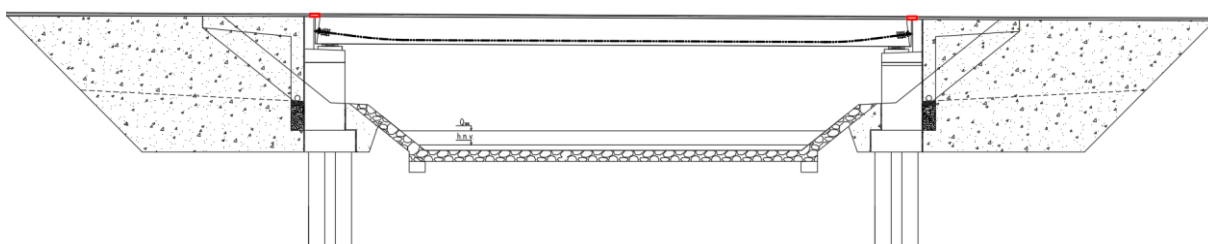
- Zhotovení obslužných schodišť
- Zасыпání a zhutnění terénu, úprava koryta



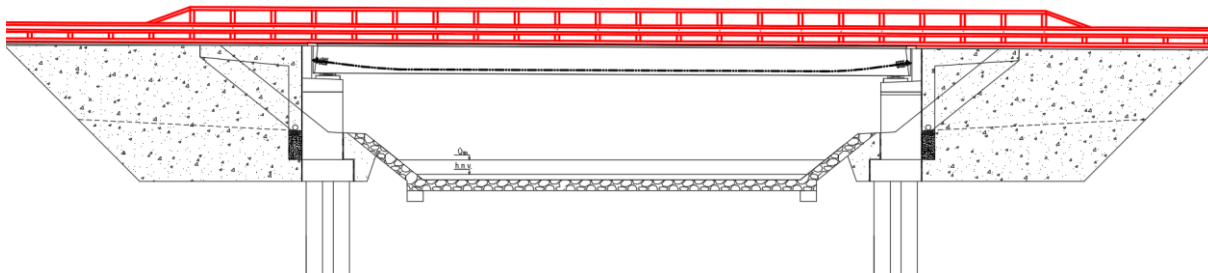
- Osazení mostu římsami, položení vrstev vozovky



- Zhotovení mostních závěrů



- Osazení mostního vybavení



- Dokončovací práce
- Uvedení konstrukce do provozu

13. ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo vypracovat návrh předpjatého mostu o jednom poli přes vodoteč a jeho následné posouzení. Pro výpočet vnitřních sil byl využit program Scia Engineer a taky ruční výpočet, hodnoty se později porovnali a dále se uvažovalo s méně příznivějšími. Dále byl proveden posudek mezních stavů dle platných norem. Statický výpočet byl proveden v rozsahu stanoveném vedoucím bakalářské práce. Statický výpočet byl zjednodušen zanedbáním vodorovných účinků brzdných a rozjezdových sil, zatížení teplotou a klimatického zatížení větrem a sněhem. Na základně předběžného návrhu a statického výpočtu byla později zpracována výkresová dokumentace a vizualizace.

14. SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

14.1. PŘEDPISY, NORMY, LITERATURA

- ČSN EN 1991-2. Eurokód 1: Zatížení konstrukcí -Část 2: Zatížení mostů dopravou. Praha: ČNI, 2005.
- ČSN EN 1992-1-1. Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí-Část 1-1:Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby. Praha: ČNI, 2006.
- ČSN EN 1992-2. Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí-Část 2: Betonové mosty –Navrhování a konstrukční zásady. Praha: ČNI, 2007.
- Betonové mosty I : zásady navrhování. VUT v Brně FAST, 2014. Studijní opory pro studijní programy s prezenční formou studia. Ing. Radim NEČAS Ph.D., Ing. Jan KOLÁČEK, Ph.D., Ing. Josef Panáček.

14.2. INTERNETOVÉ ZDROJE

- Elastomerová ložiska
(https://www.svp-mosty.cz/wp-content/uploads/2015/12/Katalog_elastomer.pdf)
- Kotevní systém VSL
(<http://www.vsl.cz/dodatecne-predpinani/2-kotvy/>)
- Informace pro studenty – ústav betonových a zděných konstrukcí BL012-Betonové mosty I
(<https://www.fce.vutbr.cz/BZK/kolacek.j/BL12.html>)

15. SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr.2. 1 Varianta A	11
Obr.2. 2 Varianta B	11
Obr.3. 3 Umístění ložisek – SCIA Engineer	13
Obr.3. 4 Umístění a popsání ložisek	13
Obr.4. 5 Podélný řez	14
Obr.4. 6 Zatěžovací pruhy	15
Obr.4. 7 Zvláštní vozidla LM3	16
Obr.4. 8 Vybrané zvláštní vozidlo LM3	16
Obr.4. 9 Způsob kombinace SLS	16
Obr.4. 10 Redukční součinitele pro dopravu	17
Obr.4. 11 Způsob kombinace ULS	17
Obr.5. 12 Výpočtový model	17
Obr.5. 13 Přenesení na prutové řešení	18
Obr.5. 14 Axonometrický pohled na deskový model	18
Obr.7. 15 Interval předpínací síly	19
Obr.7. 16 Schéma umístění předpínacích kabelů (řez $x = L/2$)	19
Obr.8. 17 Celkové ztráty	20

16. SEZNAM PŘÍLOH

16.1. P1 PODKLADY, STUDIE A VIZUALIZACE

P.1.1 Studie, zadání	
P.1.2 Varianta A	1:50/1:100
P.1.3 Varianta B	1:50/1:100
P.1.4 Vizualizace 1	
P.1.5 Vizualizace 2	
P.1.6 Vizualizace 3	
P.1.7 Vizualizace 4	

16.2. P2 PŘEHLEDNÉ A PODROBNÉ VÝKRESY

P.2.1 Půdorys	1:100
P.2.2 Podélný řez A-A'	1:50
P.2.3 Příčný řez B-B'	1:50
P.2.4 Příčný řez C-C'	1:50
P.2.5 Výkres předpínací výztuže	1:25/1:10
P.2.6 Výkres betonářské výztuže	1:25

16.3. STATICKÝ VÝPOČET

P3.1 Statický výpočet	
-----------------------	--

16.4. PROHLÁŠENÍ O SHODNÉ LISTINNÉ A ELEKTRICKÉ FORMY VŠKP

16.5. POPISNÝ SOUBOR ZÁVĚREČNÉ PRÁCE