



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

MOST O JEDNOM POLI PŘES VODOTEČ

ONE-SPAN BRIDGE ACROSS THE WATERCOURSE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Jevhenij Pylypenko

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. JIŘÍ STRNAD, 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	Jevhenij Pylypenko
Název	Most o jednom poli přes vodoteč
Vedoucí práce	Ing. Jiří Strnad, 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

Schematické výkresy zadaného objektu (půdorysy, řezy)

EC a ČSN z oboru betonových, zděných a ocelových staveb, geotechniky atd. (včetně změn a doplňků)

Skripta, podklady a opory používané ve výuce na ÚBZK FAST VUT v Brně

Výpočetní programy pro PC

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Proveďte návrh a posouzení nového betonového mostu, který bude zřízen místo stávajícího mostu, určeného k demolici. Vypracujte statický výpočet a výkresy tvaru a výztuže.

Požadované výstupy:

Textová část (obsahuje průvodní zprávu a ostatní náležitosti v souladu s platnými směnicemi)

Přílohy textové části:

P1. Použité podklady

P2. Výkresy (přehledné, podrobné a detaily v rozsahu určeném vedoucím práce)

P3. Statický výpočet (v rozsahu určeném vedoucím práce)

Bakalářská práce bude odevzdána v listinné a elektronické formě podle směrnic a 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. Jiří Strnad, Ph.D.
Vedoucí bakalářské práce

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá návrhem hlavní nosné konstrukce nového betonového mostu na místě staré, už nevyhovující konstrukce. Most by měl sloužit pro převod pozemní komunikaci přes řeku Šlapanku v obci Mírovka, Kraj Vysočina. Statický se jedná o jednopólovou, prostě uloženou, dodatečně předpjatou konstrukci. Rozpětí hlavní nosné konstrukce činí 17,5 metrů. Ze tří variant příčného řezu betonové desky byla vybrána varianta lichoběžníkového průřezu. Betonová deska byla posouzena na mezní stavy únosností a použitelností dle platných norem (Eurokódů). Studie předpětí je zpracovaná podle norem (ČSN).

KLÍČOVÁ SLOVA

Silniční most, jedno pole, předpjatý beton, lichoběžníková deska, deskový most, pohyblivé zatížení, mezní stavy, beton.

ABSTRACT

The thesis focuses on the design of the superstructure of a new concrete bridge, which replaces an old substandard construction. The bridge should serve for passing roadway across the river Šlapanka, in village Mírovka, Kraj Vysočina. The static system of new construction is a one-span post-tensioned slab which is simple supported on edges. Span length of the superstructure is 17,5 meters. From three variants of concrete slab cross-section, a trapezoidal-shaped one was chosen. Concrete slab was assessed by the ultimate limit state and service limit state according to recent standards (Eurocode). The preliminary design of post-tension was processed according to standards (CSN).

KEYWORDS

Road bridge, one-span, prestressed concrete, trapezoidal-shaped slab, slab bridge, moving load, ultimate states, concrete.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Jevhenij Pylypenko *Most o jednom poli přes vodoteč*. Brno, 2021. 29 s., 95 s. příl.

Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav betonových a zděných konstrukcí. Vedoucí práce Ing. Jiří Strnad, Ph.D.

PROHLAŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané bakalářské práce s názvem *Most o jednom poli přes vodoteč* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 28. 05. 2021

Jevhenij Pylypenko

PROHLAŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem *Most o jednom poli přes vodoteč* zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité zdroje.

V Brně dne 28. 05. 2021

Jevhenij Pylypenko

PODĚKOVÁNÍ

Zde bych rád poděkoval svému vedoucímu, panu Ing. Jiřímu Strnadovi za cenné rady a připomínky v průběhu zpracování práce. Také bych chtěl zmínit svoje přátele za jejich trpělivost a ochotu pomáhat mi po celou dobu studia. Největší poděkování však patří mé rodině, která mi umožnila studovat, vždy mě podporovala a důvěřovala mi.

Obsah

1. Úvod	9
2. Identifikační údaje	10
3. Podklady	11
3.1. Umístění objektu	11
3.2. Původní stav	12
4. Návrh geometrie	13
4.1. Zaměření a digitalizace terénu	13
4.2. Podélný řez mostem	14
4.3. Varianty příčného řezu	14
4.4. Vozovka	16
4.5. Mostní římsy	16
4.6. Záchytná zařízení	16
4.7. Spodní stavba	17
5. Statické modely	17
5.1. Deskový model	17
5.2. Prutový model	18
6. Zatížení	18
7. Materiál	18
8. předpětí Konstrukce	19
8.1. Změny předpětí	19
9. Mezní stavy	20
9.1. Mezní stavy použitelností	20
9.1.1. Omezení napětí v přepdínací výztuži	21
9.1.2. Omezení napětí v betonu	21
9.1.3. Omezení trhlin	22
9.1.4. Svislý průhyb	22
9.2. Mezní stavy únosností	23
9.2.1. Podélný ohyb	23
9.2.2. Příčný ohyb	23
9.2.3. Smyková únosnost	23
10. Posouzení kotevní obsati	25
11. Závěr	25

1. ÚVOD

Úkolem této bakalářské práce je návrh předpjaté betonové mostní desky pro rekonstrukci silničního mostu o jednom poli. Jedná se o již dokončenou rekonstrukci mostu přes řeku Šlapanka. Most se nachází na vjezdu do obce Mírovka na pozemní komunikaci III. třídy vedoucí z Havlíčkově Brodu přes obci Herlify. V návaznosti na již provedenou rekonstrukci byla navržena kategorie pozemní komunikaci S 6,5 s určitými úpravami. Most je umístěn na místo původního mostu. Terén na místě výstavby byl zaměřen pomocí pásma, laseru a tyče, poté byl převeden do digitální podoby a použit pro návrh.

V návrhu a statickém výpočtu je uvažováno rozpětí mostu 17,500 m. Mostní konstrukce je zatížena zvolenými modely zatížení dle ČSN EN 1991 - 1 - 2: Zatížení mostů dopravou.

Cílem této práce je návrh hlavní nosné konstrukce mostu: geometrie, předpínací výztuže, vyčíslení ztrát předpínací síly, návrh dodatečné betonářské výztuže a následné posouzení navržené konstrukce dle mezních stavů použitelnosti a únosnosti.

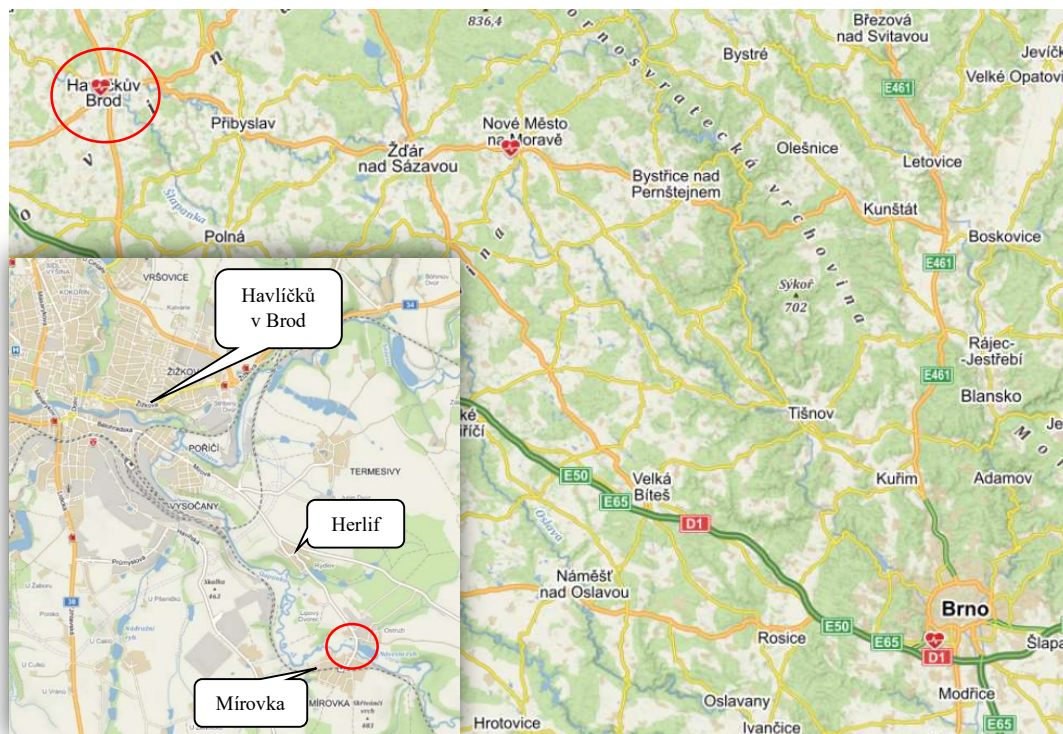
2. IDENTIFIKAČNÍ ÚDAJE

Název stavby:	Most o jednom poli přes vodoteč
Číslo objektu:	03814-1
Místo stavby:	Mírovka
Kraj:	Kraj Vysočina
Okres:	Havlíčkův Brod
Katastrální území:	Mírovka [695769]
Investor:	Krajská správa a údržba silnic Vysočiny
Přemost'ovaná překážka:	řeka Šlapanka
Převáděná komunikace:	silnice III/03814-1

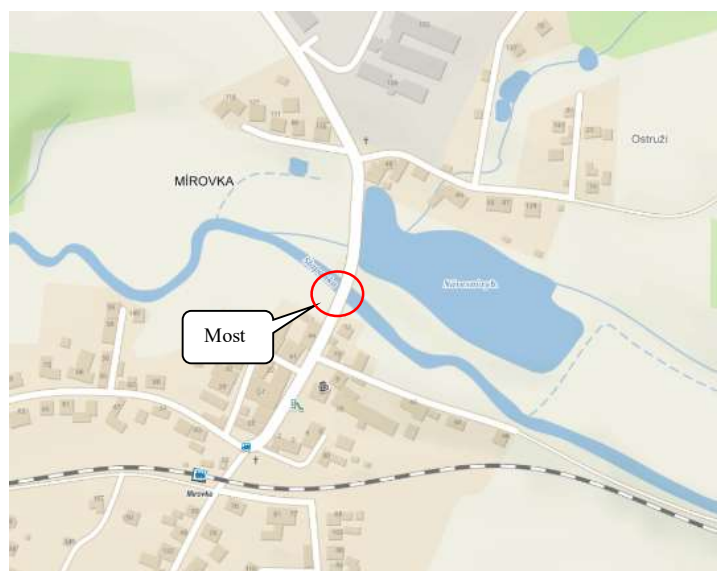
3. PODKLADY

3.1. UMÍSTĚNÍ OBJEKTU

Most se nachází v okolí města Havlíčkův Brod, na vjezdu do obce Mírovka.



Obr. 1. Poloha objektu



Obr. 2. Poloha objektu

3.2. PŮVODNÍ STAV

V roce 2018 byla provedená diagnostika mostu pří, které byly zjištěny vážné závady nosné konstrukce, zejména jedné z opěr, ve které byla objevena kaverna. Také během diagnostiky nebylo možné provést zatřídění betonu. Hlavním z důvodu objevení těchto závad je nadměrná zatíženost mostu v posledních letech, který byl používán řidiči kamionů jako objížďka okolo Havlíčkově Brodu.



Obr. 3. Původní stav



Obr. 4. Původní stav



Obr. 5. Původní stav

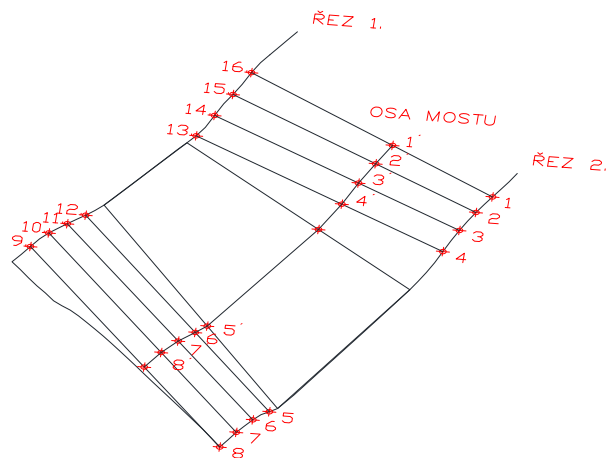
4. NÁVRH GEOMETRIE

4.1. ZAMĚŘENÍ A DIGITALIZACE TERÉNU

Pomocí pásma, laseru a tyče bylo provedeno zaměření terénu v místě výstavby. Celkem bylo zaměřeno 16 bodů ve dvou řezech, vzdálenost bodů v jednotlivých řezech je cca 2,0 m. Pomocí internetového portálu „ČÚZK: Geoportál“ byl proveden převod bodu do souřadnicového systému S-JTSK (Tab. 1) a následně vyčíslené souřadnice osy mostu. (Obr. 6)

BOD	Souřadnice			
	X	Y	Z	
1	-664471.782	-1109931.351	422.379	Řez 1
2	-664472.74	-1109933.059	422.34	
3	-664473.699	-1109934.768	422.08	
4	-664474.657	-1109936.476	421.527	
5	-664484.721	-1109954.416	421.411	
6	-664485.68	-1109956.125	422.058	
7	-664486.638	-1109957.833	422.303	
8	-664487.596	-1109959.542	422.343	
9	-664503.002	-1109940.144	422.38	Řez 2
10	-664501.905	-1109938.499	422.307	
11	-664500.808	-1109936.854	421.831	
12	-664499.711	-1109935.208	421.291	
13	-664493.13	-1109925.336	420.652	
14	-664492.033	-1109923.691	421.201	
15	-664490.936	-1109922.045	421.809	
16	-664489.839	-1109920.4	422.498	
1'	-664479.268	-1109926.811	422.428	Osa mostu
2'	-664480.253	-1109928.512	422.121	
3'	-664481.255	-1109930.202	421.718	
4'	-664482.223	-1109931.914	421.168	
5'	-664490.769	-1109946.667	421.363	
6'	-664491.76	-1109948.379	421.967	
7'	-664492.752	-1109950.091	422.304	
8'	-664493.743	-1109951.802	422.358	

Tab. 1. Zaměřené souřadnice



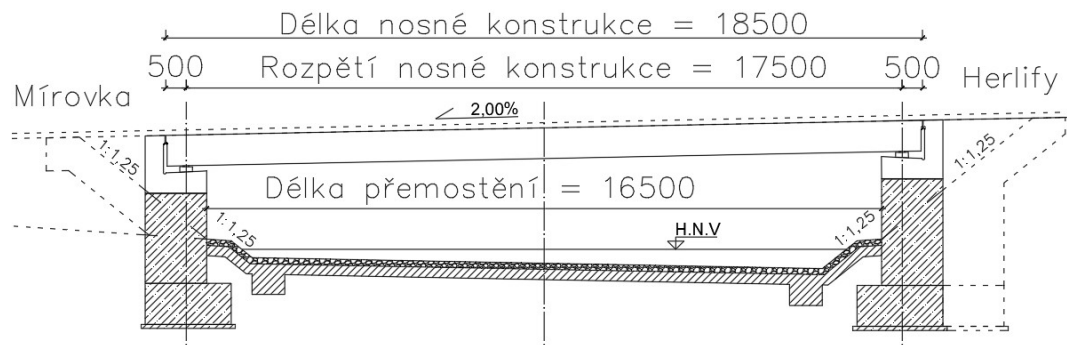
Obr. 6. Axonometrie terénu



Obr. 7. Poloha zaměřených bodů na Ortofoto mapě

4.2. PODÉLNÝ ŘEZ MOSTEM

Stejně jako původní most, nový objekt je navržen ve sklonu 2,0% směrem k obci Mírovka.



Obr 8. Základní schéma podélného řezu

Základní rozměry:

délka rozpětí nosné konstrukce $L = 17,500 \text{ m}$

celková délka nosné konstrukce $L' = 18,500 \text{ m}$

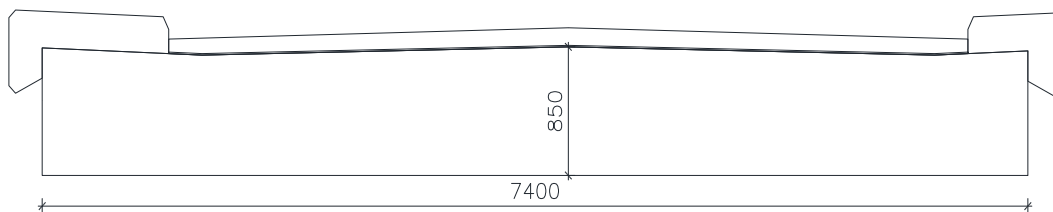
4.3. VARIANTY PŘÍČNÉHO ŘEZU

Návrh tloušťky desky byl proveden dle následujícího empirického vzorce.

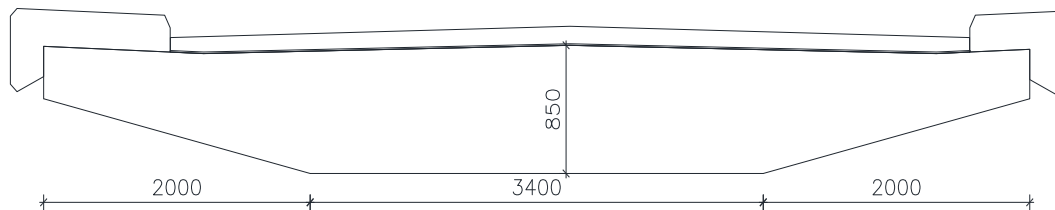
$$h_d = \left\{ \frac{1}{8} - \frac{1}{25} \right\} \cdot L$$

$$h_d = \left\{ \frac{1}{8} - \frac{1}{25} \right\} \cdot 17,5 = \{2,187 - 0,700\} = 0,850 \text{ m}$$

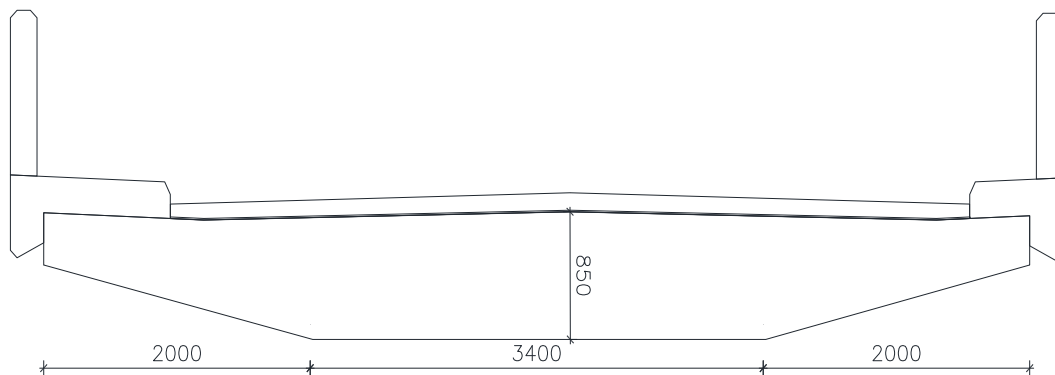
- Varianta č. 1



Obr. 9. Varianta č. 1

- **Varianta č. 2**

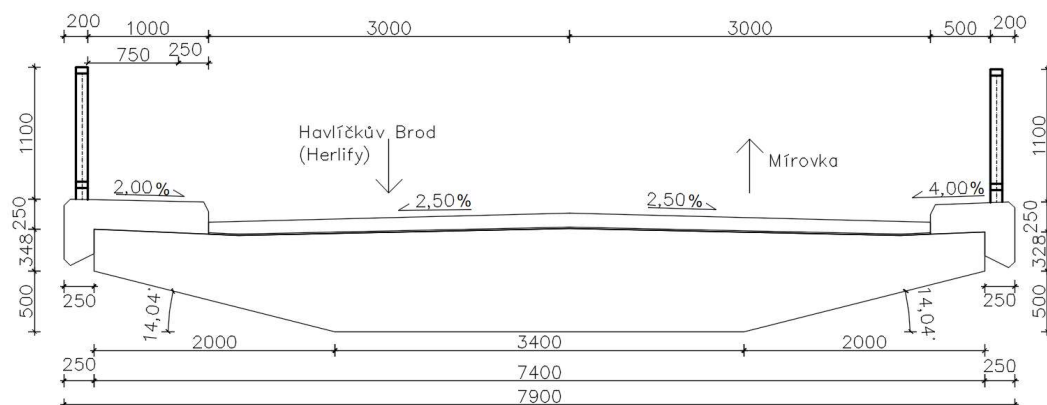
Obr. 10. Varianta č. 2

- **Varianta č. 3**

Obr. 11. Varianta č. 3

- **Zvolená varianta**

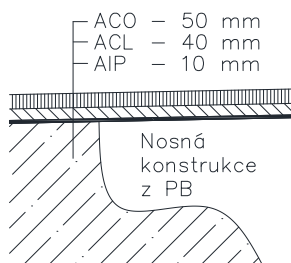
Z důvodu jednoduššího provádění a zmenšení vlastní tíhy konstrukce byla zvolena druhá varianta. Také bylo upraveno klasické normové šířkové uspořádání pro danou třídu pozemní komunikace. Pojízdna plocha se skládá ze dvou pruhů šířky 3,00 m bez vodicích proužků a zpevněné krajnice. Tato varianta byla zvolena z důvodu malé intenzity provozu (méně než 1000 vozidel za dobu, v obou směrech) a z důvodu návaznosti na již skutečně provedenou rekonstrukci v roce 2018.



Obr. 12. Zvolená varianta příčného řezu

4.4. VOZOVKA

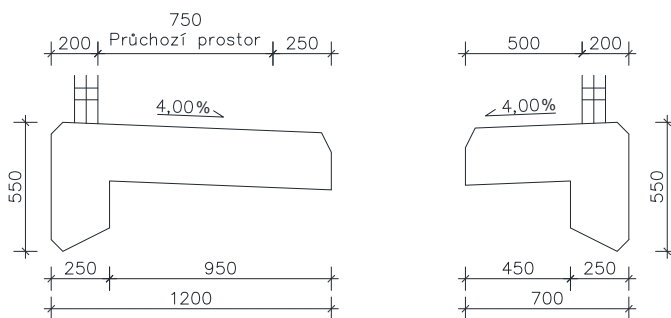
Vozovka zajišťuje plynulou a bezpečnou jízdu vozidel a přenáší účinky zatížení na nosnou konstrukci. Vozovka je navržena dle ČSN 73 6242 Navrhování a provádění vozovek na mostech pozemních komunikací [2]. Třída dopravního zatížení IV. Konstrukce vozovky netuhá. Na nosnou konstrukci je natavená asfaltová hydroizolace z asfaltových pasu nebo hydroizolační nástřik tl. 10 mm. Dále následují ložná vrstva z ACL a obrusná vrstva ACO.



Obr. 13. Skladba vozovky

4.5. MOSTNÍ ŘÍMSY

Na mostě jsou navrženy monolitické římsy z železového betonu. Římsy přesahují nosnou konstrukci o 250 mm. Levá římsa, ve směru staničení, je navržena pro pohyb chodců.



Obr. 14. Geometrie říms

4.6. ZÁCHYTNÁ ZAŘÍZENÍ

Na obou stranách jsou navržena mostní ocelová zábradlí se svislou výplní o maximální vzdálenosti 120 mm a výškou 1100 mm. Na chodníku pro chodce je navrženo mostní svodidlo JSNH4/H2.

4.7. SPODNÍ STAVBA

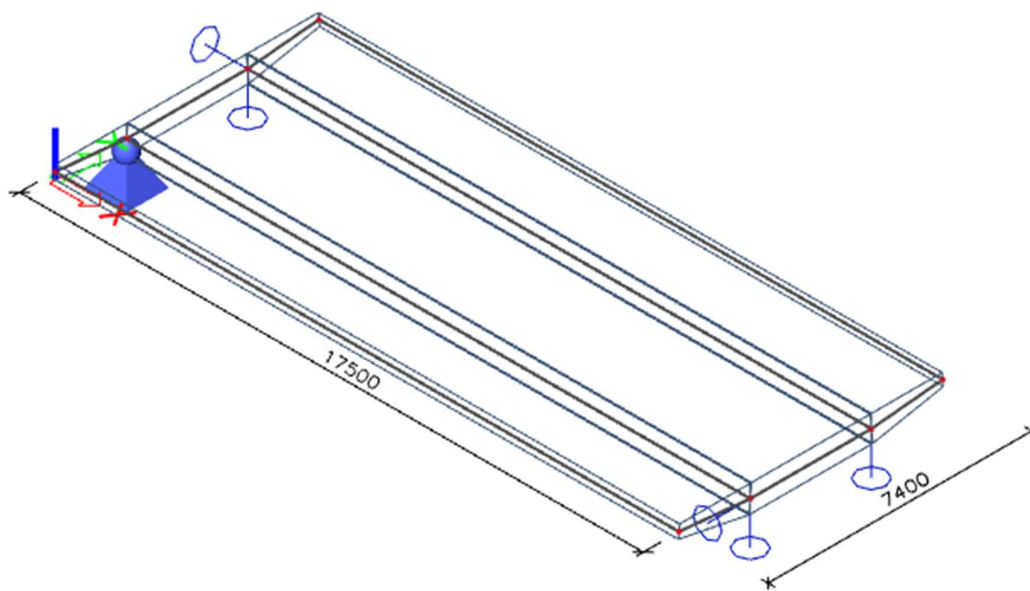
Návrh spodní stavby není předmětem této bakalářské práce. Však v případě skutečné realizace se doporučuje návrh standartních mostních opěr a křídel dle přílohy P2 *Výkresy*.

5. STATICKÉ MODEL Y

Celkem bylo vytvořené dva statické modely v programu SCIA Engineer 19. Základní model je vytvořen pomocí nástroje „Deska“. Druhý model je prutový a slouží pro porovnání dvou přístupů a ověření výsledku.

5.1. DESKOVÝ MODEL

Deskový model byl modelován tak aby maximálně napodobil tvar a skutečné chování konstrukce. Jedná se prostorovou desku s bočními náběhy, které byly modelovány pomocí nástroje „Proměnný průřez“. Model je podepřen ve čtyřech bodech, které symbolizují ložiska. Jedno je pevné a směr pohybu ostatních ložisek je navržen tak, aby napodoboval směr rozpínání skutečné konstrukce. Velikost oka výpočetní sítě je nastavená na hodnotu 0,01 m pro dosažení přesnějších výsledků.



Obr. 15. Deskový model

5.2. PRUTOVÝ MODEL

Prutový model byl vytvořen jako samostatný prut o průřezu 1x1 m, který byl podepřen po stranách jednou pevnou kloubovou podporou a jednu kloubovou posuvnou podporou.



Obr. 16. Prutový model

6. ZATÍŽENÍ

Níže budou uvedeny jednotlivé zatěžovací stavy a typy zatížení, které byly aplikovány na výpočetní modely.

ZS1 – Vlastní tíha desky

ZS2 – Ostatní stálé zatížení (římasy, vozovka, záchytná zařízení)

ZS3 – LM1 (UDL)

ZS4 – LM1 (TS)

ZS5 – LM3

ZS6 – Předpětí

7. MATERIÁL

Materiály zahrnuté do výpočtu:

Nosná konstrukce mostovky: C30/37

Betonářská výztuž: B550B

Předpínací výztuž: Y1860 S7-15,7

8. PŘEDPĚTÍ KONSTRUKCE

Z důvodu velkých ohybových namáhání bylo navrženo dodatečné předpnutí konstrukce pomocí předpínacích kabelů a kotev. Přenos ohybových namáhání pouze pomocí betonářské výztuže by vedl příliš velkým průměrům a neekonomičnosti návrhu. Další výhodou je, že dráhy některých kabelů jsou navrženy jako zakřivené a proto vyvolávají také příznivý účinek vůči smykovým silám.

Bylo navrženo celkem 23 kabelů po 7 lanech. Materiálem lan je vysokopevnostní ocel Y1860S7. Celková předpínací síla tak činí 32080,9 kN.

8.1. ZMĚNY PŘEDPĚTÍ

Během životnosti konstrukce dochází k úbytku předpínací síly v kabelech, je potřeba ověřit, že velikost předpínací síly je dostačující na konci životnosti. Ztráty předpínací síly lze rozdělit do dvou skupin: krátkodobé a dlouhodobé. Odhad ztrát zahrnutý do výpočtu je 10% pro každý druh ztrát. Ztráty byly vyčíslené ručně v příloze P3 *Statický výpočet* a následně byl ověřen původní předpoklad.

Hodnoty ztrát v rozhodujícím řezu, uprostřed rozpětí

Krátkodobé ztráty – 7,36% < 10,00% - předpoklad splněn

Dlouhodobé ztráty – 8,85% < 10,00% - předpoklad splněn

9. MEZNÍ STAVY

Pro jednotlivé posudky z hlediska mezních stavů byly vyčísleny návrhové hodnoty zatížení dle kombinací 6.10a a 6.10b.

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} \psi_{0,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

Obr. 17. Kombinace 6.10a

$$\sum_{j \geq 1} \xi_j \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

Obr. 18. Kombinace 6.10b

9.1. MEZNÍ STAVY POUŽITELNOSTÍ

Posouzení konstrukce na mezní stavy použitelnosti musí prokázat bezproblemové chování konstrukce během její životnosti. Do mezních stavu použitelnosti je zahrnuté omezení mezních napětí v betonu a výztuží, omezení trhlin v betonu a celkové omezení deformace konstrukce. Posouzení bude provedeno pro dva základní časy t_0 a t_∞ . Pro posouzení budou použity následující kombinace zatížení.

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

Obr. 19. Charakteristická kombinace

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + \psi_{1,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

Obr. 20. Častá kombinace

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

Obr. 21. Kvazistálá kombinace

9.1.1. OMEZENÍ NAPĚTÍ V PŘEPDÍNACÍ VÝZTUŽI

Stanovená maximální hodnota napětí v předpínací výztuži, $\sigma_{p,max,0} = 1394 \text{ MPa}$

- Čas t_0

$$\sigma_{p,m,0} \leq \sigma_{p,max,0}$$

$$1367,37 \text{ MPa} \leq 1394 \text{ MPa} - \text{vyhovuje}$$

- Čas t_∞

$$\sigma_{p,m,\infty,q,k} \leq \sigma_{p,max,0}$$

$$1262,52 \text{ MPa} \leq 1394 \text{ MPa} - \text{vyhovuje}$$

9.1.2. OMEZENÍ NAPĚTÍ V BETONU

Pro omezení napětí v betonu je potřeba splnit následující podmínky pro jednotlivé kombinace zatížení:

- Čas t_∞

Charakteristická kombinace

$$\sigma_{c1} \leq f_{ctm} = 2,9 \text{ MPa}$$

$$-1,03 \text{ MPa} \leq 2,9 \text{ MPa} - \text{vyhovuje}$$

$$\sigma_{c2} \leq 0,6 \cdot f_{ck} = 0,6 \cdot 30 = 18 \text{ MPa}$$

$$9,43 \text{ MPa} \leq 18 \text{ MPa} - \text{vyhovuje}$$

Kvazistálá kombinace

$$\sigma_{c1} \leq 0,45 \cdot f_{ck} = 13,5 \text{ MPa}$$

$$6,12 \text{ MPa} \leq 13,5 \text{ MPa} - \text{vyhovuje}$$

$$\sigma_{c2} \leq 0,45 \cdot f_{ck} = 13,5 \text{ MPa}$$

$$4,53 \text{ MPa} \leq 13,5 \text{ MPa} - \text{vyhovuje}$$

- Čas t_0

Vlastní tíha

$$\sigma_{c1} \leq 0,45 \cdot f_{ck} = 13,5 \text{ MPa}$$

$$8,95 \text{ MPa} \leq 13,5 \text{ MPa} - \text{vyhovuje}$$

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

$$-2,91 \text{ MPa} \leq 2,9 \text{ MPa} - \text{vyhovuje}$$

9.1.3. OMEZENÍ TRHLIN

- Čas t_{∞}

V čase t_{∞} musí platit podmínka dekomprese pro častou kombinaci, současně pro horní a spodní vlákna konstrukce, to znamená, že musí být vyloučen jakýkoliv tah v rozhodujícím řezu pro častou kombinaci.

$$\sigma_{c1} \leq 0,0 \text{ MPa} \qquad -4,08 \text{ MPa} \leq 0,0 \text{ MPa} - \text{vyhovuje}$$

$$\sigma_{c2} \leq 0,0 \text{ MPa} \qquad -7,59 \text{ MPa} \leq 0,0 \text{ MPa} - \text{vyhovuje}$$

- Čas t_0

V čase t_0 působí jen zatížení od vlastní tíhy a předpětí. Základní podmínky je stejná jako pro omezení napětí v betonu v čase t_{∞} . Je nežadoucí vznik trhlin v horních vláknech konstrukce, však předpokládá se, že případné trhliny se uzavřou při přetížení konstrukce zbývajícím zatížením.

$$\sigma_{c1} \leq 0,45 \cdot f_{ck} = 13,5 \text{ MPa} \qquad 8,95 \text{ MPa} \leq 13,5 \text{ MPa} - \text{vyhovuje}$$

$$\sigma_{c2} \leq f_{ctm} = 2,9 \text{ MPa} \qquad -2,91 \text{ MPa} \leq 2,9 \text{ MPa} - \text{vyhovuje}$$

9.1.4. SVISLÝ PRŮHYB

Pro Českou republiku, není normou stanovená mezní hodnota svislého průhybu konstrukce. V této práci se bude uvažovat mezní hodnota svislého průhybu na konci životnosti $w \leq L/350$. Další podmínkou je aby průhyb od proměnného zatížení byl $v_{st} \leq L/600$. V kapitole 9.1.3. bylo prokázáno, že během celé životnosti konstrukce nedojde ke vzniku trhlin, proto hodnota průhybu bude spočítána pouze pro neporušený ideální průřez.

$$v_{st} = 0,010 \text{ m} \leq \frac{L}{600} = \frac{17,5}{600} = 0,029 \text{ m} - \text{vyhovuje}$$

$$w = 0,009 \text{ m} \leq \frac{L}{350} = \frac{17,5}{350} = 0,050 \text{ m} - \text{vyhovuje}$$

9.2. MEZNÍ STAVY ÚNOSNOSTÍ

V této kapitole bude provedeno posouzení konstrukce na únosnost při namáhání na ohyb v podélném a příčném směru. Také bude provedeno ověření únosností ve smyku v rozhodujících řezech v osminách konstrukce dle rozhodující kombinace mezních stavů únosnosti.

9.2.1. PODÉLNÝ OHYB

Během posouzení bylo zjištěno, že nosnost betonového průřezu s předpínací výztuží není dostačující.

$$M_{RD} = 1508,7 \text{ kNm} \leq M_{ED} = 2383,2 \text{ kNm} - \text{nevyhovuje}$$

Proto byla navržena dodatečná betonářská výztuž **Ø32 á 150 mm**

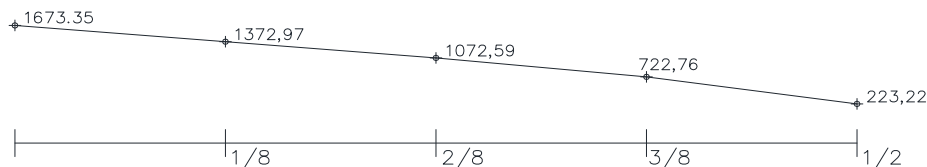
$$M_{RD} = 2601,5 \text{ kNm} \geq M_{ED} = 2383,2 \text{ kNm} - \text{vyhovuje}$$

9.2.2. PŘÍČNÝ OHYB

V příčném směru byla navržena betonářská výztuž **Ø16 á 150 mm**

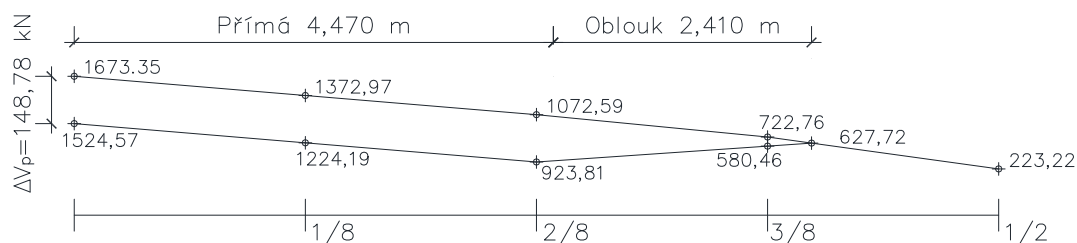
$$M_{RD} = 463,06 \text{ kNm} \geq M_{ED} = 364,04 \text{ kNm} - \text{vyhovuje}$$

9.2.3. SMYKOVÁ ÚNOSNOST



Obr. 22. Průběh posouvající síly po délce průřezu

Do smykové únosnosti průřezu byl započítán příznivý příspěvek předpínací výztuže, který činí 148,78 kN.



Obr. 23. Průběh posouvající síly po délce průřezu

Následně bylo určeno napětí a ověřená podmínka vzniku smykových trhlin.

Řez	Napětí MPa		Posudek	f _{ctd} (MPa)	Posudek	
0	σ ₁	-5,30	-5,30	<	1,93	Trhliny nevzniknou
	σ ₂	-5,34				
1/8 L	σ ₁	-1,07	-1,07	<	1,93	Trhliny nevzniknou
	σ ₂	-9,40				
2/8 L	σ ₁	0,47	0,47	<	1,93	Trhliny nevzniknou
	σ ₂	-10,89				
3/8 L	σ ₁	1,67	1,67	<	1,93	Trhliny nevzniknou
	σ ₂	-12,04				
4/8 L	σ ₁	2,28	2,28	≥	1,93	Trhliny vzniknou
	σ ₂	-12,62				

Tab. 2. Průběh smykového napětí po délce konstrukce

Dále byla spočítaná smyková únosnost průřezu bez smykové výztuže.

	Smyková únosnost	Smyková síly	Výztuž
0	2998 kN	1524,57 kN	Konstrukčně
1/8 L	1993 kN	1224,19 kN	Konstrukčně
2/8 L	1728 kN	923,81 kN	Konstrukčně
3/8 L	2114 kN	580,46 kN	Konstrukčně
4/8 L	612,5 kN	627,7 kN	Návrh výztuže

Tab. 3. Rozhodnutí o způsobu návrhu výztuže

Byla navržena smyková výztuž ve tvaru spon 9 x Ø8 á 150 mm na 1 m běžný

$$V_{Rd,s} = 1042,17 \text{ kN} > 627,7 - \text{vyhovuje}$$

10. POSOUZENÍ KOTEVNÍ OBLSATI

Pro kotvení předpínacích kabelů byli použity kotvy *VSL-E 6-7*. Pro zachycení příčných tahů byla navržena výztuž **2 Ø12 ve všech směrech**.

$$A_s = 0,226 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 > A_{s,req} = 0,223 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 - \text{vyhovuje}$$

Výpočtem bylo zjištěno, že oblast pod kotvou nevyhovuje na posudek betonu z hlediska soustředného tlaku.

$$F_{Rd} = 1629 \text{ kN} < F_{Ed} = 1859,76 \text{ kN} - \text{nevyhovuje}$$

A však výrobce garantuje únosnost za předpokladu dodržení konstrukčních a technických podmínek.

11. ZÁVĚR

Úkolem této bakalářské práce bylo vypracování a posouzení návrhu nové hlavní nosné konstrukce mostu přes řeku Šlapanku, Mírovka, kraj Vysočina. Bylo provedeno zaměření stávajícího terénu a odhadnuty základní geometrické poměry konstrukce.

Pro porovnání byli vytvořeny dva statické modely v programu SCIA Engineer, pro podrobný výpočet byl dále použit model tvořený prostorovou deskou s konzolami. Byl proveden návrh předpětí a ručně vyčíslené ztráty předpětí. Dále bylo provedeno posouzení z hlediska mezních stavů použitelnosti a únosností, byla navržena dodatečná betonářská výztuž a smyková výztuž.

Jako poslední část práce byly vypracovány přehledné a podrobné výkresy v programu AutoCAD 2020 a vytvořena vizualizace v programech ARCHICAD 23 a Lumion.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] ČSN EN 1992-1-1. Navrhování betonových konstrukcí – část 1-1: Obecná pravidla
- [2] ČSN EN 1991-1-4 Zatížení konstrukcí – část 1-4: Obecná zatížení – zatížení větrem
- [3] ČSN 73 6214 – Navrhování betonových mostních konstrukcí
- [4] NAVRÁTIL, Jaroslav a Miloš ZICH. Předpjatý beton: Průvodce předmětem BL11. Skriptum VUT, Brno, 2006.
- [5] STRÁSKÝ, Jiří a Radim NEČAS. Betonové mosty I: Základní principy navrhování. Brno, 2006.
- [6] STRÁSKÝ, Jiří. Stress ribbon and cable-supported pedestrian bridges. London: Thomas Telford, 2005. ISBN 07-277-3282-X.
- [8] ETA 06/0006 - VSL Post-Tensioning system [online]. [cit. 2021-05-28]. Dostupné z: <http://www.vsl.cz/>
- [9] 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 978-802-1449-794.

SEZNAM PŘÍLOH

PŘÍLOHA P1. PODKLADY, VIZUALIZACE

P1.01 Podklady

P1.02 Vizualizace

PŘÍLOHA P2. VÝKRESY

P2.01 Výkres předpínací výztuže

P2.02 Výkres betonářské výztuže

P2.03 Podélný řez

P2.04 Situace

P3.05 Příčné řezy

PŘÍLOHA P3. STATICKÝ VÝPOČET

SEZNAM OBRÁZKU

<i>Obr. 1. Poloha objektu.....</i>	11
<i>Obr. 2. Poloha objektu.....</i>	11
<i>Obr. 3. Původní stav</i>	12
<i>Obr. 4. Původní stav</i>	12
<i>Obr. 5. Původní stav</i>	12
<i>Obr. 6. Axonometrie terénu</i>	13
<i>Obr. 7. Poloha zaměřených bodů na Ortofoto mapě</i>	13
<i>Obr. 8. Základní schéma podélného řezu</i>	14
<i>Obr. 9. Varianta č. 1</i>	14
<i>Obr. 10. Varianta č. 2</i>	15
<i>Obr. 11. Varianta č. 3</i>	15
<i>Obr. 12. Zvolená varianta příčného řezu</i>	15
<i>Obr. 13. Skladba vozovky</i>	16
<i>Obr. 14. Geometrie říms</i>	16
<i>Obr. 15. Deskový model.....</i>	17
<i>Obr. 16. Prutový model.....</i>	18
<i>Obr. 17. Kombinace 6.10a.....</i>	20
<i>Obr. 18. Kombinace 6.10b.....</i>	20
<i>Obr. 19. Charakteristická kombinace.....</i>	20
<i>Obr. 20. Částá kombinace</i>	20
<i>Obr. 21. Kvazistálá kombinace.....</i>	20
<i>Obr. 22. Průběh posouvající síly po délce průřezu</i>	23
<i>Obr. 23. Průběh posouvající síly po délce průřezu</i>	23

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1. Zaměřené souřadnice</i>	13
<i>Tab. 2. Průběh smykového napětí po délce konstrukce</i>	24
<i>Tab. 3. Rozhodnutí o způsobu návrhu výztuže</i>	24