



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

REKONSTRUKCE VISUTÉ LÁVKY V KROMĚŘÍŽI

RECONSTRUCTION OF THE CABLE SUSPENDED FOOTBRIDGE IN KROMĚŘÍŽ

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Jaroslav Liška

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. LADISLAV KLUSÁČEK, CSc.

BRNO 2020



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	N3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3607T009 Konstrukce a dopravní stavby
Pracoviště	Ústav betonových a zděných konstrukcí

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student	Bc. Jaroslav Liška
Název	Rekonstrukce visuté lávky v Kroměříži
Vedoucí práce	doc. Ing. Ladislav Klusáček, CSc.
Datum zadání	31. 3. 2019
Datum odevzdání	10. 1. 2020

V Brně dne 31. 3. 2019

prof. RNDr. Ing. Petr Štěpánek, CSc.
Vedoucí ústavu

prof. Ing. Miroslav Bajer, CSc.
Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

Situace, příčný a podélný řez, geotechnické poměry, výtahy z projektu konstrukce, průzkum a diagnostika konstrukce 2018.

Základní normy:

ČSN 736201 Projektování mostních objektů.

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 doporučená vedoucím diplomové práce.

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Pro zadaný problém navrhnete dvě až tři varianty řešení a zhodnotíte je.

Podrobný návrh zvolené rekonstrukce lávky provedete podle mezních stavů únosnosti a použitelnosti včetně řešení vlivu výstavby.

Ostatní úpravy provádějte podle pokynů vedoucího diplomové práce.

Požadované výstupy:

Textová část (obsahuje Průvodní zprávu a ostatní náležitosti podle níže uvedených směrnic)

Přílohy textové části:

P1. Použité podklady a varianty řešení

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

P3. Stavební postup a vizualizace

P4. Statický výpočet (v rozsahu určeném vedoucím diplomové práce)

Prohlášení o shodě listinné a elektronické formy VŠKP (3x), Popisný soubor závěrečné práce

Diplomová práce bude odevzdána 1x v listinné podobě a 1x v elektronické podobě na CD.

STRUKTURA DIPLOMOVÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).

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

doc. Ing. Ladislav Klusáček, CSc.
Vedoucí diplomové práce

ABSTRAKT

Předmětem diplomové práce je návrh rekonstrukce visuté lávky v Kroměříži. Lávka slouží k bezpečnému převedení pěší dopravy přes řeku Moravu. Cílem diplomové práce je návrh dvou až tří variant rekonstrukce, z nichž nejvhodnější varianta je vybrána a podrobně zpracována.

Za nejvýhodnější variantu rekonstrukce je zvoleno zesílení lávky pomocí dodatečného předpětí volnými lany. Systém volných lan je veden pod mostovkou, vně průřez. Externí lana jsou ukotvena v betonových blocích, které jsou zhotoveny kolem stávajících opěr. Vnitřní síly od působícího zatížení jsou vypočteny na prutovém modelu, pro který byla použita nelineární analýza prvního řádu. Výpočet byl proveden prostřednictvím metody konečných prvků v programu midas Civil. Navržená varianta rekonstrukce je posouzena na mezní stavy únosnosti a použitelnosti. Konstrukce je rovněž je posouzena z hlediska dynamických účinků. Výsledky jsou porovnány se stávající konstrukcí. Dále jsou výsledky ověřeny s reálně naměřenými daty z tenzometrického měření. Dimenze, posouzení nosné konstrukce a konstrukčních detailů jsou provedeny dle platných Eurokódů.

KLÍČOVÁ SLOVA

Rekonstrukce, lávka pro pěší, předpjatý visutý pás, hlavní nosné prvky, předpjatý beton, dodatečné předepnutí, nelineární analýza, mezní stav únosnosti a použitelnosti, harmonická analýza, Eurokód, tenzometrické měření.

ABSTRACT

The Diploma thesis deals with the reconstruction design of a footbridge in the city of Kroměříž, Czech Republic. The footbridge would serve as safe transport for pedestrians over the Morava river. The main objective of the thesis is to conceive two or three reconstruction designs. The most suitable one will be opted for and elaborated in more detail.

Eventually, strengthening of the bridge by means of additional prestressing using mono-strand post-tensioning systems is picked as the best solution of the planned reconstruction. The monostrand post-tensioning system is led under the deck, the cross section being outside. External cables are anchored in concrete blocks built around existing supports. Load-generated internal forces are calculated on a spatial bar model with non-linear first-order analysis. The calculation is executed using the finite element method in the midas Civil programme. The chosen reconstruction design is then assessed against load capacity limit states, and functionality. Also, the designed reconstruction is assessed for dynamic effects. Results are compared with existing structure, and verified against the real-time tensometric measurement-obtained data. Dimensions, assessment of load-bearing structure, and structural details are all made according to valid Eurocodes.

KEYWORDS

Reconstruction, footbridge, stress ribbon bridge, main load-bearing elements, prestressed concrete, post-tensioned, nonlinear analysis, ultimate and serviceability limit state, harmonic analysis, Eurocode, tensometric measurement.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Bc. Jaroslav Liška *Rekonstrukce visuté lávky v Kroměříži*. Brno, 2019. 40 s., 246 s. příl.
Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav
betonových a zděných konstrukcí. Vedoucí práce doc. Ing. Ladislav Klusáček, CSc.

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem *Rekonstrukce visuté lávky v Kroměříži*
zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 6. 1. 2020

Bc. Jaroslav Liška
autor práce

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji svému vedoucímu diplomové práce doc. Ing. Ladislavu Klusáčkovi, CSc. za odborné vedení, cenné rady a čas, který mi věnoval při řešení problematiky projektu na konzultacích.

Taky děkuji celé své rodině a přítelkyni za podporu během celého studia na vysoké škole. Taktéž děkuji svým spolužákům za nezapomenutelné okamžiky, které jsme spolu na vysoké škole prožili.

Obsah

1. ÚVOD.....	9
2. ZÁKLADNÍ ÚDAJE O MOSTĚ	12
2.1. IDENTIFIKAČNÍ ÚDAJE	12
2.2. ZÁKLADNÍ ÚDAJE O MOSTU	12
3. PŘEHLED VÝCHOZÍCH PODKLADŮ A PRŮZKUMŮ	15
3.1. PŮVODNÍ PROJEKTOVÁ DOKUMENTACE	15
3.2. GEODETICKÉ ZAMĚŘENÍ	15
3.3. DIAGNOSTICKÝ PRŮZKUM KONSTRUKCE	16
3.4. TENZOMETRICKÉ MĚŘENÍ	18
4. NAVRŽENÉ VARIANTY REKONSTRUKCE	18
4.1. VARIANTA NÁVRHU 1	18
4.2. VARIANTA NÁVRHU 2	21
4.3. VARIANTA NÁVRHU 3	23
4.4. ZHODNOCENÍ VARIANT NÁVRHU	25
5.1. NÁVAZNOST PROJEKTOVÉ DOKUMENTACE MOSTNÍHO OBJEKTU NA PŘEDCHOZÍ DOKUMENTACI, ÚČEL MOSTU A POŽADAVKY (PODKLADY) NA JEHO ŘEŠENÍ.....	26
5.2. CHARAKTER PŘEMOŠŤOVANÉ PŘEKÁŽKY (PŘEVÁDĚNÉ KOMUNIKACE, DRÁŽNÍHO TĚLESA, VODNÍHO DÍLA APOD.)	26
5.3. GEOTECHNICKÉ PODMÍNKY	26
5.4. HYDROTECHNICKÉ PODMÍNKY	26
5.5. PRŮZKUM INŽENÝRSKÝCH SÍTÍ	26
6. TECHNICKÉ ŘEŠENÍ NAVRŽENÉ VARIANTY	27
6.1. ZÁKLADY MOSTNÍCH PODPĚR A KŘÍDEL	27
6.2. NOSNÁ KONSTRUKCE, LOŽISKA, KLOUBY	27
6.3. PŘEDPÍNACÍ KABELY A JEJICH PŘEDPÍNÁNÍ	28
6.4. MOSTNÍ SVRŠEK – VOZOVKA, IZOLAČNÍ SYSTÉM, ŘÍMSY, ZÁLIVKY	28
6.5. OSTATNÍ VYBAVENÍ – ZÁCHYTNÁ, OCHRANNÁ A REVIZNÍ ZAŘÍZENÍ, DOPRAVNÍ ZNAČENÍ, OSVĚTLENÍ, ODVODŇOVACÍ ZAŘÍZENÍ	28
6.6. CIZÍ ZAŘÍZENÍ, MONITOROVACÍ SYSTÉM	28
6.7. ÚZEMÍ POD MOSTEM A PŘÍSTUPOVÉ CESTY	29
6.8. SANAČNÍ PRÁCE	29
6.9. POPIS STATICKÉHO ŘEŠENÍ STAVEBNÍ ÚPRAVY	29
6.10. ZATÍŽITELNOST	30
6.11. POPIS TECHNICKÉHO ŘEŠENÍ	31

7.	ZHODNCENÍ VÝSLEDKŮ NAVRŽENÉ VARIANTY	32
8.	ZÁVĚR	35
9.	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	37
10.	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ	39
11.	SEZNAM PŘÍLOH	40

1. ÚVOD

Předmětem mé diplomové práce je návrh rekonstrukce mostu pro pěší dopravu – lávky s evidenčním č. L07. Lávka zajišťuje bezpečné převedení pěší dopravy přes řeku Moravu ve městě Kroměříž, kde spojuje Švabinské nábřeží a Erbenové nábřeží. Lávka je svou polohou velmi významná, neboť umožňuje uživatelům pohodlný a rychlý přesun mezi autobusovým nádražím a centrem města Kroměříž, kde se nachází školy, obchodní domy, kostely apod.

U lávky byla provedena podrobná diagnostika, která ukázala oslabení nosných lan korozí. Oslabení lan sice nezpůsobuje náhlé zřícení konstrukce, avšak neumožňuje bezpečný provoz, proto bylo nutné lávku uzavřít. Uzavřením lávky se tak výrazně narušilo současné urbanistické řešení města Kroměříž. Z tohoto důvodu se hledá náhrada přemostění. Nabízejí se dvě možné alternativy. Buď současnou lávku zbourat a postavit na jejím místě novou nebo se pokusit současnou lávku opravit tak, aby svou úlohu plnila na stanovenou dobu životnosti. Současný trend ve stavebnictví preferuje nahrazovat staré konstrukce novými. Novými konstrukcemi se sice vyhneme skrytým problémům rekonstrukcí a diagnostiky, ale jsou časově a finančně mnohem nákladnější. Rekonstrukce se v mnoha případech jeví jako mnohem efektivnější varianta, právě proto byla v tomto případě zvolena.

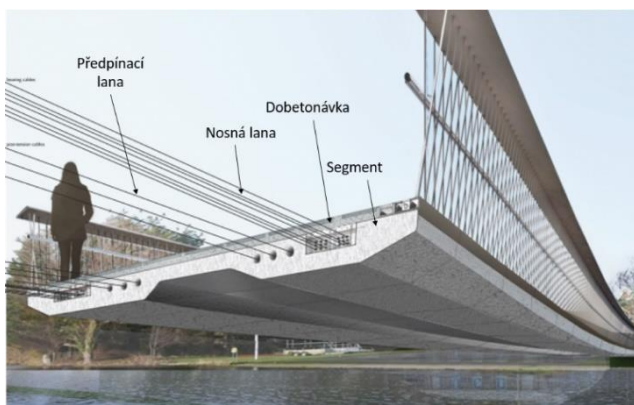
Prostorové uspořádání této lávky odpovídá konstrukčnímu typu visutému předpjatého pásu. Ten je charakterizován zejména svým tvarem a rozpětím. Rozpětí lávky může být o jednom nebo více polích. Podélný profil je blízký parabole 2° . Maximální vzepětí by mělo být voleno v závislosti na maximálním povoleném podélném sklonu pro bezbariérové užívání. Na území České republiky je maximální podélný sklon v poměru 1:12 (tj. 8,33 %). Příčné uspořádání se volí podle zvoleného druhu výstavby s ohledem na vedení kabelových drah. Kabelové dráhy mohou být vedeny uvnitř nebo vně mostovky. Výstavba se může provádět klasickou betonáží na skruži nebo montovaným způsobem. Montovaný způsob výstavby má obrovskou výhodu v tom, že dokáže přemostit hluboké údolí nebo širokou řeku bez nutnosti stavění montážních podpor nebo lešení. Dále je výhodný z hlediska rychlosti výstavby, zmenšení objemu prací v terénu, jakosti, přesnosti prvků, a také umožňuje snížení účinků od smršťování a dotvarování. Monolitický způsob výstavby nám umožní vyhnout se problému styčných spár mezi segmenty, avšak ztrácí hlavní výhody jednoduché výstavby.



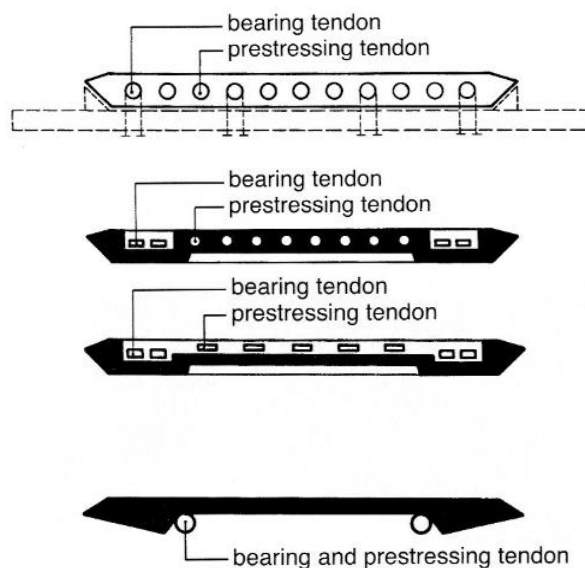
Obrázek 1 – monolitická výstavba



Obrázek 2 – montovaná výstavba

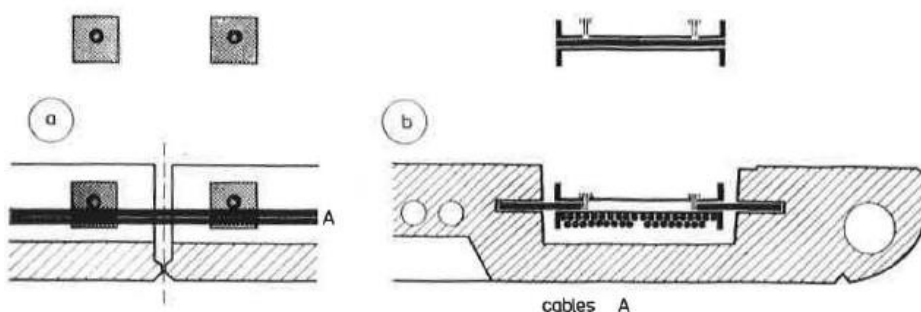


Obrázek 3 – konstrukční prvky lávky



Obrázek 4 – příčné uspořádání

Předpjatý visutý pás se obvykle skládá z nosných lan – kabely první fáze, mostovky a předpínacích kabelů – kabely druhé fáze. Kabely první fáze jsou na jedné straně pevně ukotveny ke spodní stavbě a následně jsou navíjecím zařízením dopraveny na stranu druhou. Poté jsou pevně ukotveny ke spodní stavbě i na druhé straně. Následně je do nich vnesena počáteční osová napjatost. Na nosná lana jsou postupně ukládány segmenty, které jsou s lany spojeny pouze závlačovou tyčí. Je tedy umožněn vodorovný posun mezi jednotlivými segmenty.



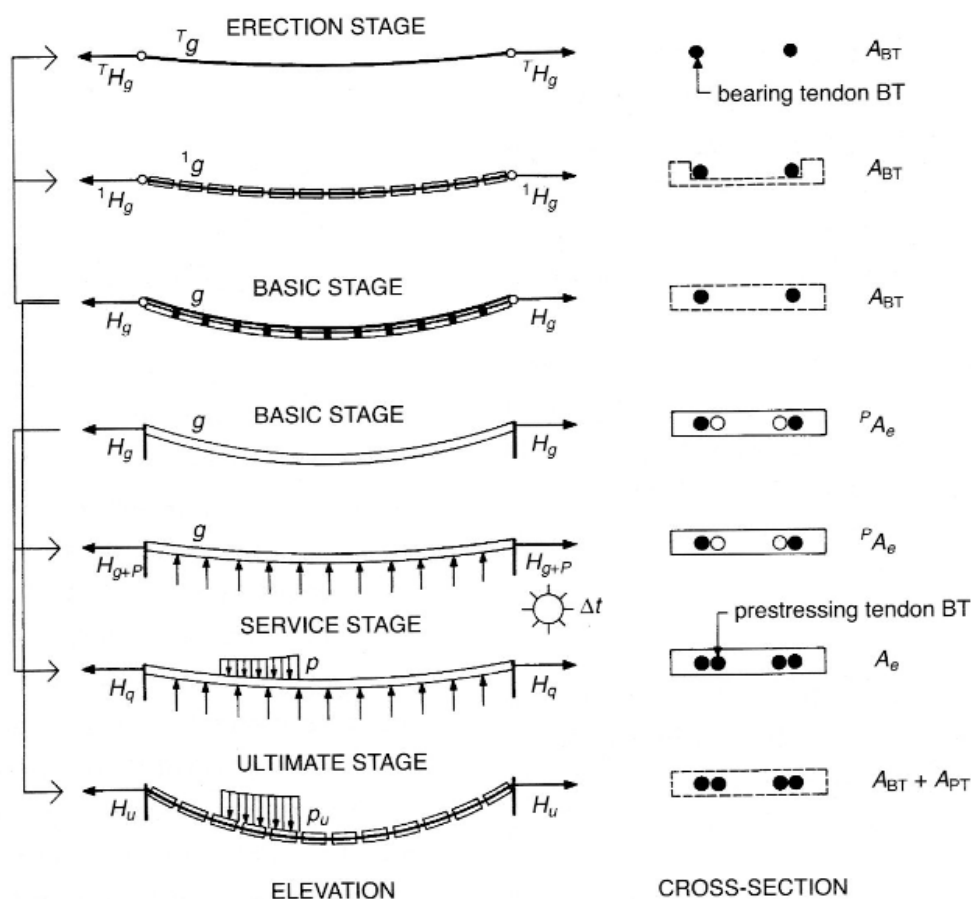
Obrázek 6 – uložení segmentů na nosná lana

V dalším kroku se natáhnou kabely druhé fáze a provede se dobetonávka. Do této chvíle přebíraly veškeré zatížení pouze nosná lana. Posléze se provede napínání předpínacích lan, a tím se docílí požadovaného tvaru. Dále se provedou ostatní nutné práce, tedy zainjektování kabelových drah, izolace, betonáž vozovky, montáž zábradlí a ostatních prvků lávky. Po dokončení těchto prací se uvede lávka do provozu.

Při statické analýze konstrukce a při hledání výsledného tvaru konstrukce je nutné zohlednit všechny kroky výstavby. Nejprve se nám konstrukce chová jako nosné lano, to působí samostatně až do fáze, kdy je provedeno zmonolitnění mostovky. Po zabetonování spár začne s lany společně působit i mostovka. Nosná lana v konstrukci přebírají tahové účinky, mostovka ohybové. V další fázi začne působit předpětí. To způsobí tlakovou rezervu v mostovce a zmenší vzepětí

konstrukce. Vnesením ostatních, dlouhodobých složek zatížení docílíme finálního tvaru konstrukce.

Ze statické analýzy je zřejmé, že hlavní nosnou funkci plní zejména kabely první fáze. Kabely druhé fáze se na únosnosti podílí zbytkovou pevností od počáteční, resp. základní pevnosti, do mezní pevnosti (napětí).



Obrázek 7 – statické působení konstrukce

Hlavním cílem při rekonstrukci lávky v Kroměříži je zejména zajištění bezpečnosti provozu. Proto je návrh rekonstrukce v první řadě zaměřen na statické zajištění – náhrada nosných lan. Dále jsou navrženy stavební úpravy v rámci údržby celého mostu. Při návrhu tohoto statického zajištění se bere v úvahu typická optimalizační strategie. Snahou je minimalizovat náklady na provedení, provoz a údržbu, demolici a rekultivaci v průběhu životnosti konstrukce.

2. ZÁKLADNÍ ÚDAJE O MOSTĚ

2.1. IDENTIFIKAČNÍ ÚDAJE

Název stavby:	Rekonstrukce visuté lávky v Kroměříži
Místo stavby:	
- Kraj:	Zlínský kraj
- Okres:	Kroměříž
- Katastrální území:	Kroměříž
Přemostovaná překážka:	řeka Morava
Evidenční číslo:	L07
Předmět dokumentace:	Statické zajištění a oprava stávající konstrukce lávky
Investor:	Město Kroměříž, Velké náměstí č. 115, 767 01 Kroměříž
Autor návrhu:	Bc. Jaroslav Liška, Štítná nad Vláří 294, 763 33 Štítná nad Vláří – Popov

2.2. ZÁKLADNÍ ÚDAJE O MOSTU

2.2.1. Charakteristika mostu

Délka mostu:	70,00 m
Počet polí:	1
Celková šířka:	3,80 m
Šikmost:	90°
Délka přemostění kolmá:	60,00 m
Délka NK mostu kolmá:	57,73 – 63,36 m
Šířka mezi zábradlím:	3,00 m
Stavební výška:	0,72 m
Úložná výška:	není
Výška nad terénem:	2,50 m
Výška nad hladinou:	1,72 m
Hloubka vody:	0,10 m
Volná výška nad vozovkou:	není
Volná šířka:	3,00 m
Levá římsa:	není
Pravá římsa:	není
Rok postavení:	1984
Povrch komunikace:	plastbeton

2.2.2. Základní popis funkce, významu a využití

Řešená mostní konstrukce – lávka s ev. č. L07, se nachází ve městě Kroměříž. Zde přemostňuje řeku Moravu a spojuje Švabinské nábřeží a Erbenové nábřeží. Lávka společně s přilehlými úpravami chodníku zajišťuje bezpečný přesun chodců mezi hlavním nádražím a centrem města Kroměříž.

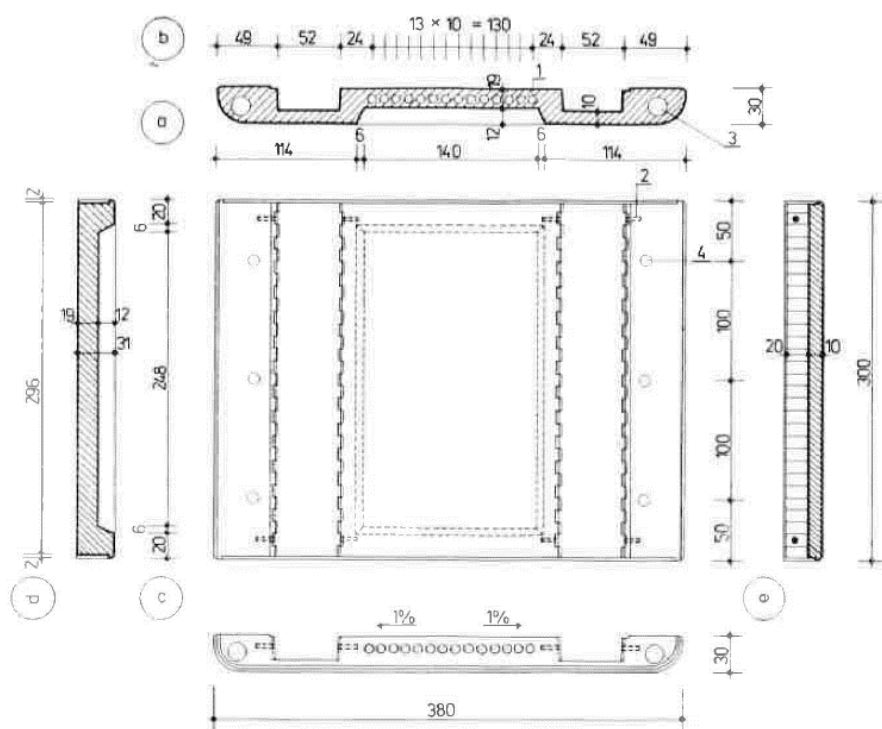
Konstrukční typ lávky odpovídá visutému předepnutému pásu. Lávka je v přímé s příčným sklonem 1,0 %. Podélný sklon je proměnný, neboť jeho profil je blízký k parabole 2° a v každém místě se mění. Navíc konstrukce výrazně dilatuje od teploty. S aktuální teplotou se mění i maximální vzepětí. Původní projektované vzepětí, pro výchozí teplotu 10 °C, bylo rovno 1,30 m – [1].

Nosná konstrukce je složena z prefabrikovaných segmentů (mostovky) a ocelových lan. Prefabrikované segmenty jsou typu DS-L a DS-Lv. Krajní segmenty jsou vetknuty do monolitických opěr. Kromě vetknutí jsou krajní segmenty uloženy na nevyztužených, elastomerových ložiskách o rozměrech 300 x 200 mm. Elastomerové ložiska jsou jak na levé, tak i na pravé straně segmentu. Celkem jsou ve třech řadách. Tyto ložiska nejsou s konstrukcí pevně spojena z důvodu možných pohybů mostovky. Uspořádání elastomerových ložisek pouze zmenšuje ohybové namáhání krajních segmentů. Z důvodu tohoto uspořádání podpor je rozpětí lávky proměnné, a to v rozmezí 57,73 m – 63,36 m.



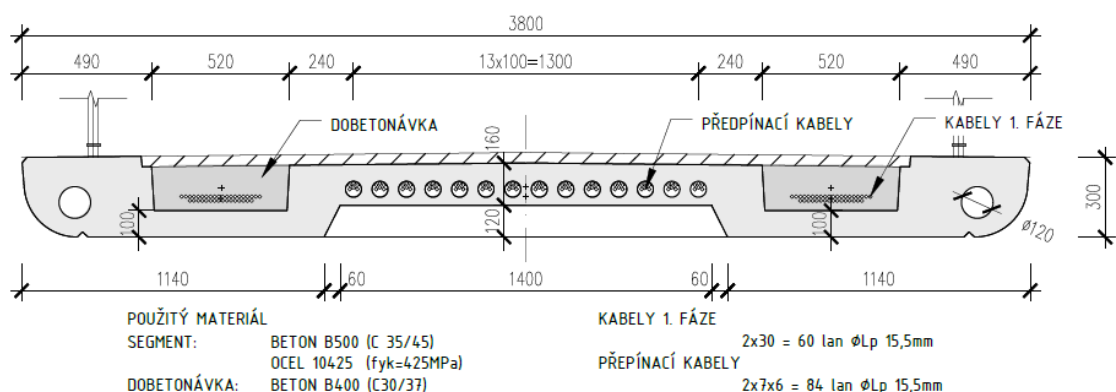
Obrázek 8 – pohled na uložení a opěru OP2 [1]

Prefabrikované segmenty jsou z betonu tř. B 500 (dle původního značení – ČSN 73 2400:1986) s charakteristickou krychelnou pevností v tlaku 50 MPa, ověřenou zkouškami. Jsou široké 3,80 m, dlouhé 3,00 m a 0,30 m vysoké. Typ DS-Lv se oproti typu DS-L liší v kazetovém vybrání uprostřed segmentu. Segmenty jsou vyrobeny tak, aby bylo možné vedení jednotlivých kabelů. Prostor pro vedení kabelů první fáze byl zalitý betonem tř. B 400 (dle původního značení – ČSN 73 2400:1986), což odpovídá betonu tř. C30/37 (dle značení platného eurokódu – ČSN EN 206-1). Prostor pro vedení ostatních kabelů byl zainjektován injektážní suspenzí.

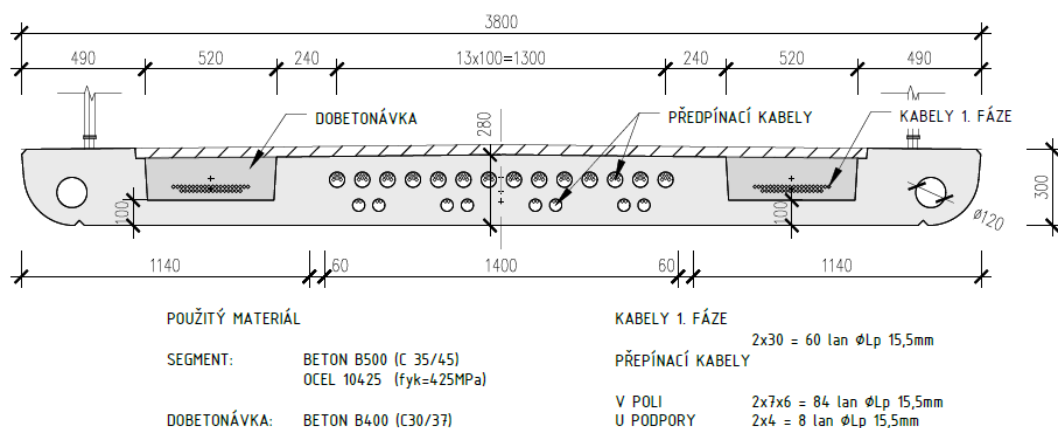


Obrázek 9 – prefabrikovaný segment typu DS-Lv [3]

Všechny stávající kabely jsou z oceli s charakteristickou pevností 1800 MPa a se smluvní mezí kluzu 1620 MPa. Kabely „A“ (nosná lana) jsou typu Lp ϕ 15,5 mm, po 30 lanech na každé straně. Celková plocha kabelů „A“ na jedné straně je rovna $141,6 \times 30 = 4248 \text{ mm}^2$. Kabely druhé fáze budou dále značeny „B“ (nosníkové, v celé délce rozpětí lávky) a „C“ (podporové). Kabely „B“ jsou typu Lp ϕ 15,5 mm, celkem je v konstrukci umístěno 14 ks. Každý kabel je složen z šesti lan a celková plocha jednoho kabelu je rovna $141,6 \times 6 = 849,6 \text{ mm}^2$. Kabely „C“ jsou typu Lp ϕ 15,5 mm. U každé opěry je umístěno celkem 8 ks. Každý kabel je složen ze dvou lan a celková plocha jednoho kabelu je rovna $141,6 \times 2 = 282,4 \text{ mm}^2$.



Obrázek 10 – segment DS-Lv příčný řez



Obrázek 11 – segment DS-L příčný řez

3. PŘEHLED VÝCHOZÍCH PODKLADŮ A PRŮZKUMŮ

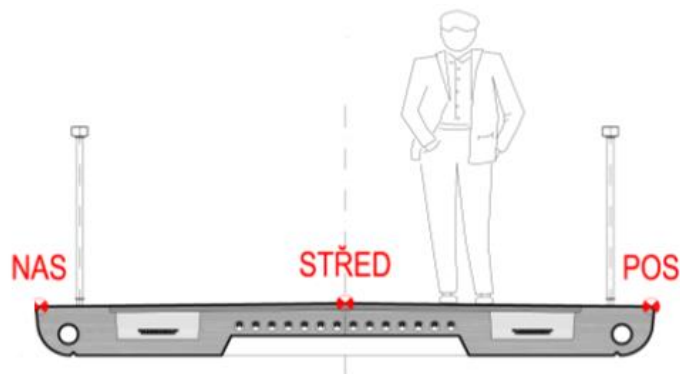
Podkladem pro návrh rekonstrukce je původní projektová dokumentace, geodetické zaměření, diagnostický průzkum a data z tenzometrického měření.

3.1. PŮVODNÍ PROJEKTOVÁ DOKUMENTACE

Dle této projektové dokumentace bylo projektované vzepětí 1,30 m. Maximální podélný sklon je roven 7,8 %. Základy jsou plošné z betonu B 250 o rozměrech 5,60 x 9,60 m a výškou 2,00 m. Pro zachycení vodorovné síly jsou použity předpjaté zemní kotvy VÚIS – 1000 kN, 30 ks na každé straně mostu (lano 7x7 φ 6). Úložný práh je z betonu B 330 o rozměrech 5,00 m x 2,80 m a výškou 1,62 m. Navržené napětí v nosných lanech je 805,0 MPa. Navržené napětí v předpínacích lanech je 1130 MPa. Dále jsou z projektové dokumentace patrné všechny rozměry, detaily a vyztužení segmentů. Pro vyztužení byla použita ocel 10 425-V.

3.2. GEODETICKÉ ZAMĚŘENÍ

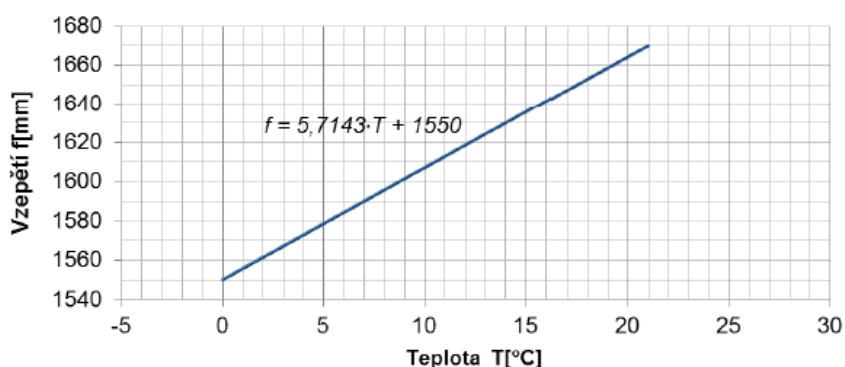
Geodetické zaměření mostu bylo provedeno ve dnech 26. 3. 2018 a 23. 4. 2018 pomocí totální stanice a GNSS. Bylo provedeno standartní zaměření polohopisu a výškopisu lávky, a také podrobná technická nivelace. Technickou nivelací bylo zkoumáno vzepětí lávky v závislosti na teplotě. Měřické body byly umístěny na spárách mezi jednotlivými segmenty celkem ve třech místech. Na návodní straně (značeno NAS), v ose lávky (značeno STŘED) a na povodní straně (značeno POS). Vzhledem k tomu, že je konstrukce citlivá na teplotní změny, bylo provedeno měření ve dvou rozdílných teplotních hladinách. Na základě těchto měření byla stanovena lineární závislost změny vzepětí na změnu teploty.



Obrázek 12 – popis geodetických bodů [1]

Číslo bodu		datum: teplota T[°C]:	záměry [mm]	
			26.3.2018	23.4.2018
NAS	NAS-0	0.0	1775	1715
	NAS-10	30.0	3263	3330
	NAS-11	33.0	3250	3325
	NAS-21	63.0	1659	1590
STŘED	STŘED-0	0.0	1755	1680
	STŘED-10	30.0	3238	3300
	STŘED-11	33.0	3233	3295
	STŘED-21	63.0	1625	1565
POS	POS-0	0.0	1775	1710
	POS-10	30.0	3270	3325
	POS-11	33.0	3265	3310
	POS-21	63.0	1648	1600
Vzepětí f[mm]		f _{NAS}	1540	1675
		f _{STŘED}	1546	1675
		f _{POS}	1556	1663
		f _{Prům}	1550	1670

Obrázek 13 – technická nivelace [1]



Obrázek 14 – závislost vzepětí na teplotě [1]

Z geodetického zaměření je zřejmé, že maximální vzepětí se liší od projektovaných hodnot. V případě zvolení základní teploty 10 °C dosahuje vzepětí $f = 5,7143 \times 10 + 1550 = 1607$ mm.

Rozdíl oproti plánovanému vzepětí je cca 300 mm, uvažujeme-li stejnou výchozí teplotu 10 °C. Navíc je zřejmé natočení konstrukce v příčném směru. Výškový rozdíl mezi návodní a povodní stranou je v průměru 14 mm. Zvětšené vzepětí je podle mého názoru zapříčiněno již výstavbou. Těchto hodnot nemůžeme dosáhnout relaxací výztuže, dotvarováním betonu ani částečným porušením nosných lan. Mohlo by to být zapříčiněno nedodržením na projektované velikosti výchozího napětí v nosných lanech nebo došlo k posunutí spodní stavby. Příčné natočení mostovky může dáno nesymetrickou velikostí předpínací síly. Zde se projevuje koroze předpínacích lan na návodní straně, což potvrzuje i diagnostický průzkum konstrukce.

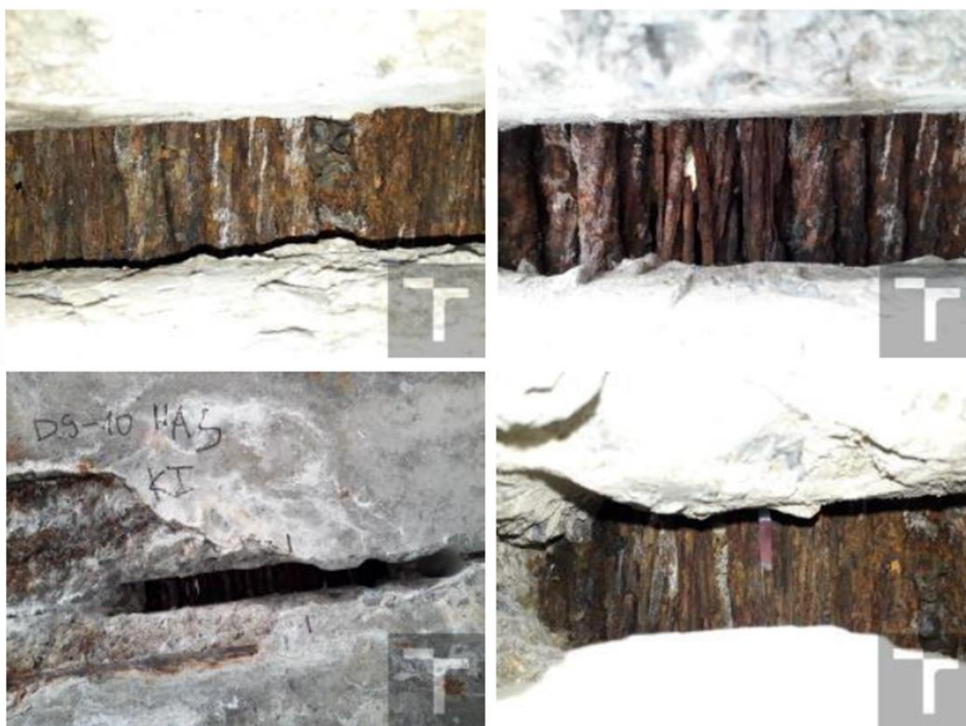
3.3. DIAGNOSTICKÝ PRŮZKUM KONSTRUKCE

Při diagnostickém průzkumu byl zkoumán beton mostovky, nosné i předpínací lana a dále byly provedeny chemické rozboru betonu. Průzkum byl realizován ve třech etapách v první polovině roku 2018. Z diagnostického průzkumu byly zjištěny tyto závěry:

- Na návodní straně lávky byla objevena nezabetonovaná kaverna z doby výstavby, a to v délce 9 m. Nosná lana objevená v této kaverně byla poškozena hloubkovou korozí. Některá z nich byla dokonce přerušena.

Bylo odhadováno, že 20 z 30 nosných lan je zcela nefunkčních, nebo nevyhovující spolehlivosti.

- Na povodní straně jsou lana narušená převážně povrchovou korozí, ale lze potvrdit plnou funkčnost lan.
- Předpínací lana byla nalezena plně funkční a oklopena ochrannou injektáží s výjimkou jednoho úseku u levobřeží opěry.
- Laboratorní rozbor okolního betonu ukázaly, že pH betonu je silně zásadité (pH pohybovalo mezi 9,6 až 11,8; pro trvalou ochranu výztuže postačuje hodnota alespoň 9,0). Jen u několika vzorků rozbor ukázal nebezpečný poměr chloridů.



Obrázek 15 –sonda v místě kaverny (korozivní rozpad výztuže) [1]



Obrázek 16 – pohled na mostovku ze spodní strany, masivní průsak [1]

3.4. TENZOMETRICKÉ MĚŘENÍ

Dalším podkladem diplomové práce jsou naměřená data ze strunových snímačů poměrného přetvoření. Na konstrukci byly umístěny celkem tři tyto snímače a jeden teplotní senzor. Dva strunové snímače byly umístěny ve středu rozpětí lávky na povodní a návodní straně. Třetí snímač byl umístěn ve spáře středového segmentu na povodní straně. U třetího segmentu bylo umístěno teplotní čidlo, které je ve hloubce 130 mm. Měření bylo provedeno ve třech etapách. První etapa byla provedena před rekonstrukcí lávky, druhá etapa probíhala při napínání externích lan a bezprostředně po statickém zajištění a třetí etapa měření proběhla po statickém zajištění.



Obrázek 17 – fotografie měřícího zařízení

4. NAVRŽENÉ VARIANTY REKONSTRUKCE

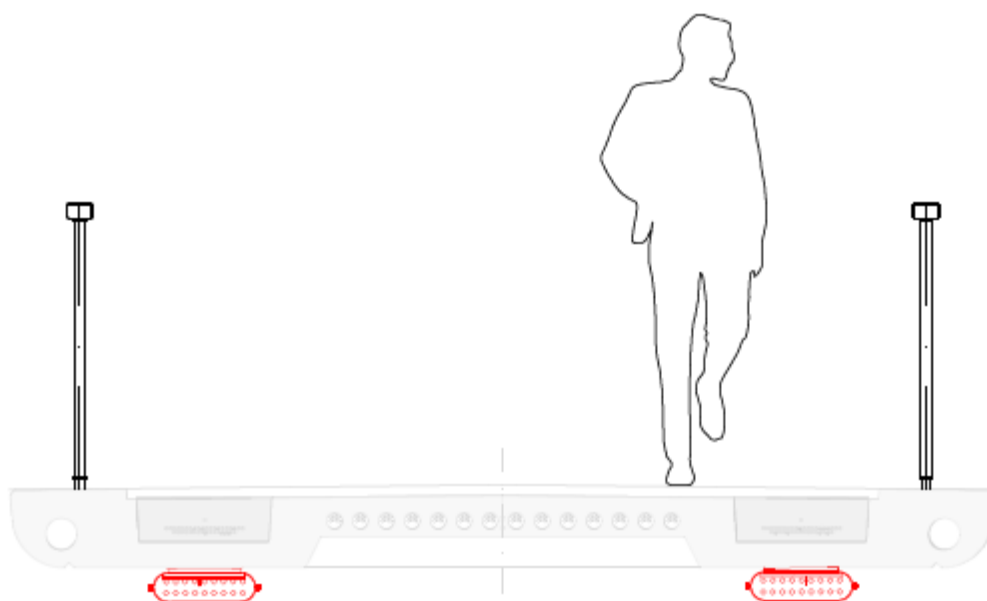
Celkem jsou navrženy tři možné návrhy rekonstrukce. Každá z variant je navržena jako statické zajištění, ve kterém jsou nahrazeny původní porušená nosná lana. Při návrh statického zajištění je snaha minimalizovat náklady na provedení, provoz a údržbu, demolici a rekultivaci v průběhu životnosti konstrukce. Je také snahou vytvořit návrh, který bude možný provést i u jiných lávek stejného konstrukčního uspořádání. U zvolené varianty je následně provedena podrobná statická a dynamická analýza. Též jsou zde navrženy nutné stavební úpravy a sanační práce.

4.1. VARIANTA NÁVRHU 1

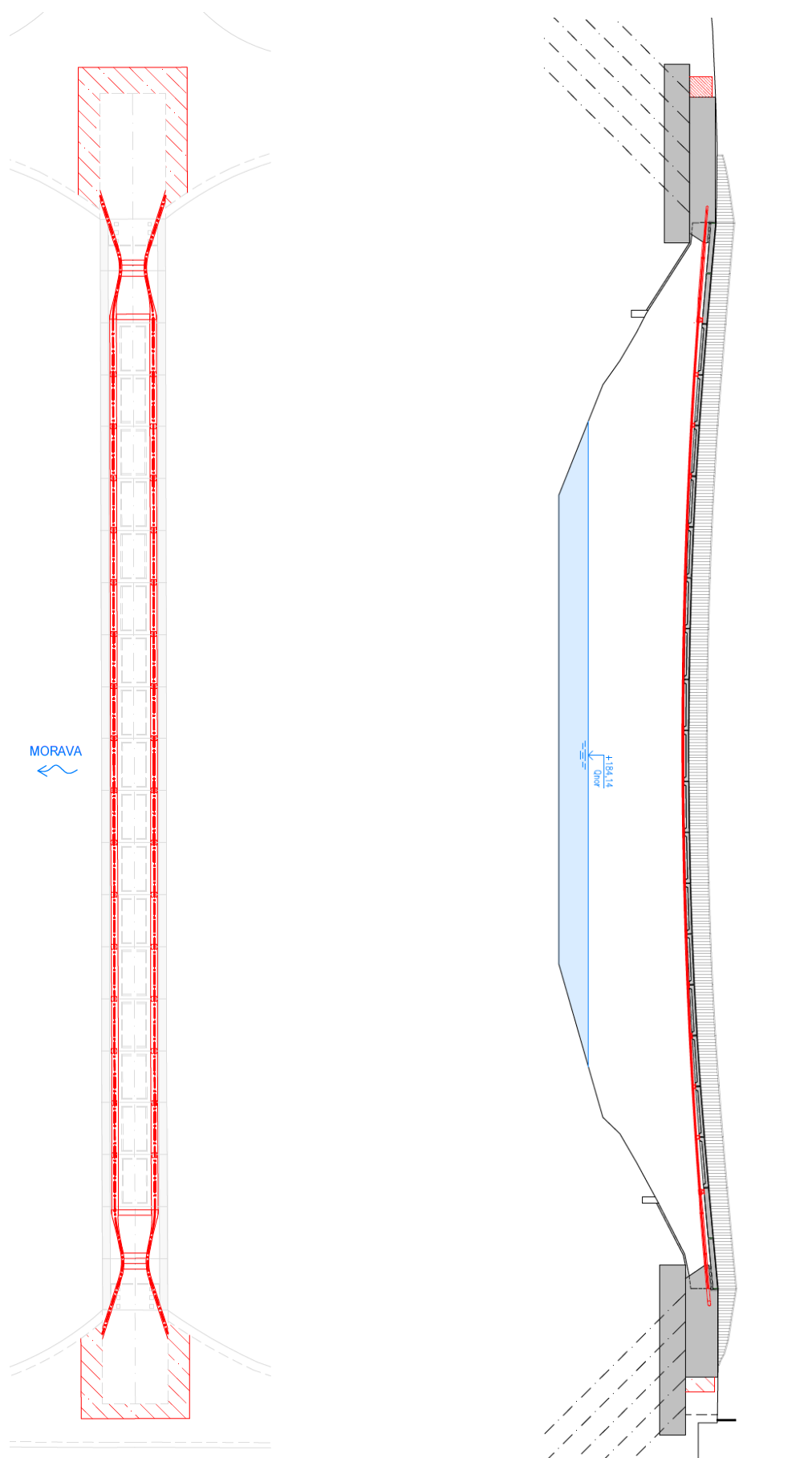
První varianta statického zajištění je pomocí dodatečného předeptnutí externími lany. Externí lana jsou navržena jako volná lana bez soudržnosti – monostrendy. Hlavní funkce kabelů je náhrada stávajících nosných lan, které jsou porušeny hloubkovou korozí. Kabely jsou vedeny pod konstrukcí, ve stejné trase jako původní nosná lana. Podélný profil je dán křivkou paraboly 2° s vzepětím 1,38 m. Kromě standardní ochrany tukem a plastovým obalem je navržena kapotáž z nerezového plechu vyplněná injektážní suspenzí. Kabely jsou zakotveny v novém betonovém bloku, který obepíná původní základovou konstrukci. U základové konstrukce dojde pouze k minimální nárůstu svislých sil. Vodorovná výslednice sil bude navýšena o reakci externího lana. Stávající základy jsou schopny toto navýšení bezpečně přenést.

Po ztrátě únosnosti původních lan vytvoří nová externí lana ochrannou síť a přenesou veškeré zatížení do základové konstrukce. Ztráta únosnosti původních lan

se projeví zvětšeným průhybem konstrukce cca o 1,0 m. Tento jev bude dostatečně alarmující pro všechny uživatele. Po případné havárii je doporučená demolice lávky. Pro případnou demolici poslouží externí lana jako záchytný systém, jež umožní demontáž bez výrazného znečištění vodního toku. Demontáž konstrukce je doporučeno provádět opačným způsobem jako byla prováděna montáž.



Obrázek 18 – příčný řez 1. varianty návrhu

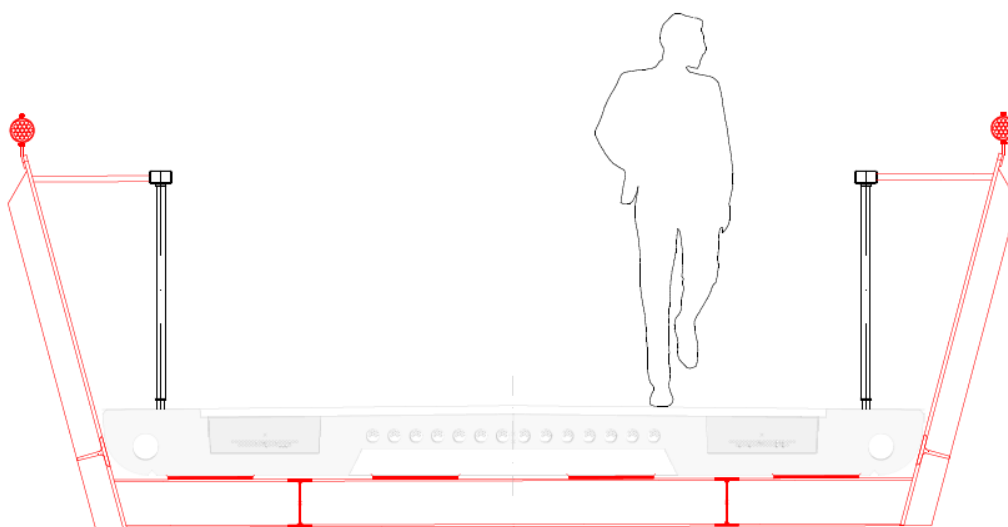


Obrázek 19 – půdorys a podélný řez 1. varianty návrhu

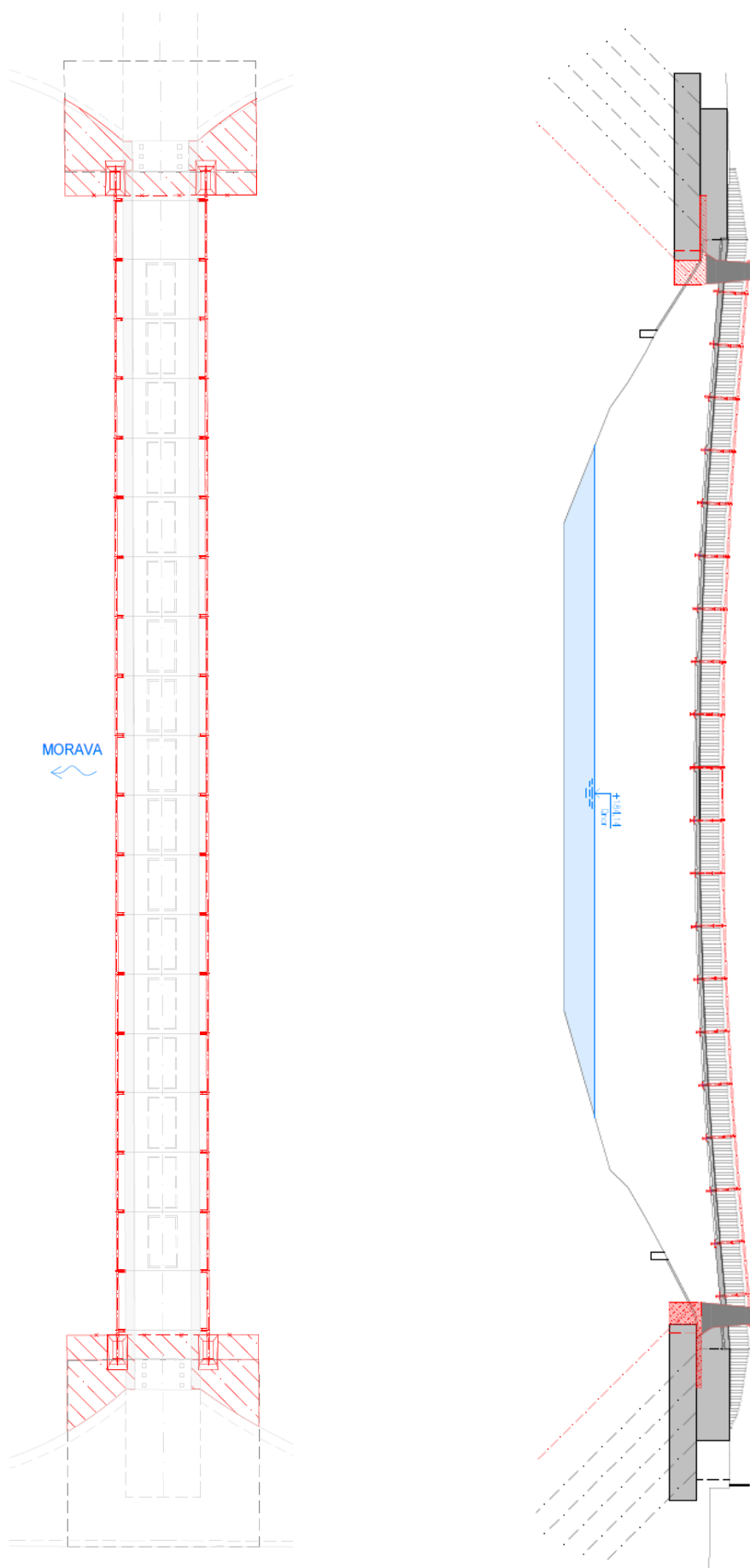
4.2. VARIANTA NÁVRHU 2

Druhá navržená varianta statického zajištění je pomocí systému visutých lan. I zde je hlavní funkce navržené konstrukce náhrada stávajících nosných lan, které jsou porušeny hloubkovou korozí. Visutá lana jsou vedena nad konstrukcí ve výšce 1,30 m. Trasa nových lan je stejná jako trasa původních lan. Podélný profil je dán křivkou paraboly 2° s vzepětím 1,55 m. Jako závěs slouží ocelový rám, který je s původními segmenty spojen epoxidovým lepidlem a kotevními prvky. Závěsný rám je umístěn ve spárách mezi jednotlivými segmenty. Ukotvení nosných lan je do masivního ocelobetonového pilíře. Tento pilíř má vlastní základ, který je spřažen s původní základovou konstrukcí. Spřažením je zajištěno spolupůsobení původních a nových základů. V případě nutnosti lze zesílit základovou konstrukci novými zemními kotvami. Z důvodu velkého ohybového namáhání je nutno tento pilíř předeprnout ve vertikální rovině.

Po ztrátě únosnosti původních lan nová lana spolu s ocelovým rámem vytvoří ochrannou síť a přenesou veškeré zatížení do základové konstrukce. Ztráta únosnosti původních nosných prvků se projeví zvětšeným průhybem. Po případné havárii je doporučena demolice lávky.



Obrázek 20 – příčný řez 2. varianty návrhu



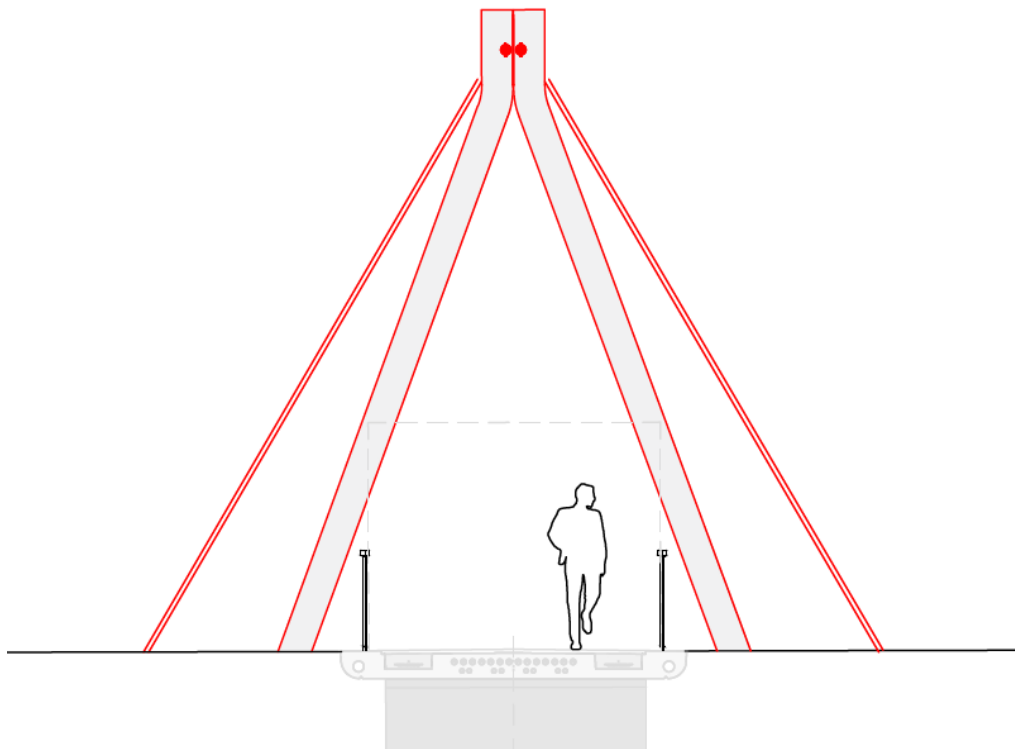
Obrázek 21 – půdorys a podélný řez 2. varianty návrhu

4.3. VARIANTA NÁVRHU 3

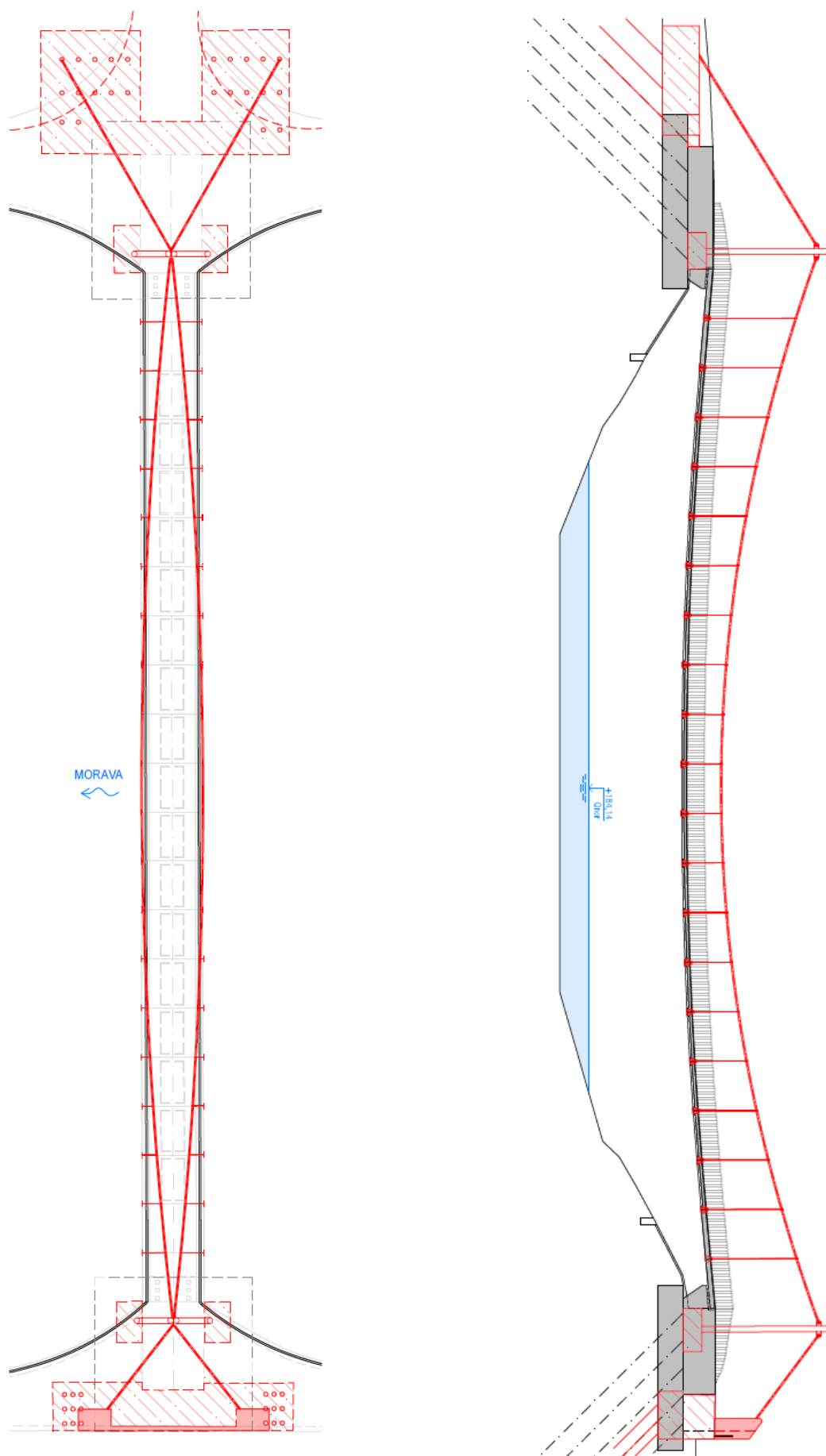
Třetí varianta statického zajištění je pomocí systému visutých lan. Oproti druhé variantě je zde navrženo větší vzepětí nerespektující současný tvar lávky. Nosná lana jsou zakotvena v samostatném ocelobetonovém pylonu. Ten je umístěn v ose mostu. Je tvořen dvěma trubkami kruhového průřezu s poloměrem ϕ 346 mm, tl. 20 mm. Tyto ocelové trubky jsou vyplněny betonem. Výška pylonu je 7,0 m. Vodorovnou reakci přebírají ocelová táhla, která jsou zakotvena do samostatného betonového základu. Tento nový základ obepíná a zároveň rozšiřuje původní základovou konstrukci. Pro zachycení vodorovné síly slouží kromě původních zemních kotev také skupina mikropilot ϕ 0,25 m a délkou 4,0 m.

Visutá lana se postupně rozšiřují směrem ke středu mostu. Ve středu rozpětí je vzdálenost mezi visutými lany rovna šířce mostovky, tj. 3,8 m. Naopak v pylonu je vzdálenost mezi jednotlivými lany téměř nulová. Podélná trasa lana sleduje křivku paraboly 2° se vzepětím 5,70 m. Závěsy jsou přímé, tvořeny ocelovými lany a jsou orientovány tak, aby nijak neomezily současný průchozí profil. Spojení s mostovkou je pomocí čepů a ocelových ploten, které jsou s mostovkou pevně spojeny kotevními prostředky.

V případě havárie navržené statické zajištění plně přebere veškeré účinky zatížení. Dojde k přerozdělení sil a vše ponese systém visutých lan. Pokud dojde i k přerušení kabelů 2. fáze, tak mostovka ztratí svou tuhost jako celek a bude se chovat jako kloubově spojený nosník o mnoha polích. Pokud mostovka bude schopna i nadále bezpečně plnit svou funkci, lze pomocí nového externího předpětí vytvořit tuhou desku a prodloužit životnost mostu. V případě, že bude definitivně ukončena životnost původní konstrukce, lze využít závěsy pro vybudování nové lávky.



Obrázek 22 – příčný řez 3. varianty návrhu



Obrázek 23 – půdorys a podélný řez 3. varianty návrhu

4.4. ZHODNOCENÍ VARIANT NÁVRHU

Zhodnocení variant je provedeno na základě optimalizační strategie. Nutno dodat, že rekonstrukcí nelze ovlivnit současný podélný profil lávky. Protože se lávka nachází pod hladinou stoleté vody, tak se veškeré použité materiály musí opatřit zvýšenou protikorozní ochranou.

Z estetického hlediska jsou všechny varianty navrženy v souladu s původním konstrukčním systémem. Největším zásahem do původní konstrukce je třetí varianta, nejmenším je první, kde jsou lana vedena pod konstrukcí.

4.4.1. Náklady na provedení

Nejméně náročnou je 1. varianta návrhu. Stavební postup u této varianty vychází z vytvoření nového kotevního bloku a následného napnutí externích lan. Jedná se tedy o nejrychlejší variantu statického zajištění. Stavební práce zde nejsou příliš členěny, proto lze stavební práce svěřit jednomu dodavateli. Na její přípravu a provedení spotřebujeme nejméně materiálu. Druhá varianta návrhu je svými náklady na realizaci podobná k první variantě. Rozdíl je ve složitější kotevní oblasti u pilíře a v provedení závěsného systému. Provedení ocelobetonového pilíře je z důvodu přenosu vodorovné síly značně obtížné. Pro velké namáhání je nutno pilíř hustě vyztuzit a předeptnou ve vertikální rovině. U poslední varianty spotřebujeme nejvíce materiálu. Také náklady na provedení jsou jistě největší. Náhrada nosných lan tvořena samostatným systémem visutých lan. Základová konstrukce je tvořena novými, masivními základy. Novými základy je však možné zvětšit současnou únosnost spodní stavby.

4.4.2. Náklady na provoz a údržbu

Pokud pomineme životnost izolační vrstvy, vozovky a zábradlí, tak nejvhodnější variantou je opět první návrh rekonstrukce. Tady je navržena dvojí ochrana externích lan proti korozi, a to plastovým obalem s vyplněným tukem a injektážní suspenzí. Na korozi jsou nejvíce náchylné distanční prvky. Jejich povrch je proto opatřen žárovým zinkováním. Druhou a třetí variantou se zdvihnou náklady na údržbu ocelových rámců, ovšem s dnešní technologií se udržovací práce provádějí jen zřídka, a tak zvýšení nákladů není příliš značné.

4.4.3. Náklady na demolici a rekultivaci

Zde je podle mého názoru nejlepší třetí varianta. Pokud v návrhu vytvoříme dostatečnou rezervu v únosnosti, lze využít visutá lana i po ukončení životnosti původního mostu. První i druhou variantou zamezíme progresivního kolapsu lávky, díky tomu se případná demontáž mostu obejde bez znečištění vodního toku. Lávkou lze demontovat bez použití lešení, a to opačným způsobem, než byla provedena montáž.

4.4.4. Výběr nejvhodnější varianty návrhu

Jako nejvhodnější varianta se jeví první návrh. Ten svými parametry splňuje všechny požadavky rekonstrukce. Z toho důvodu bude proveden podrobný návrh. Nutno podotknout, že koncept tohoto návrhu vychází z reálného zpracování rekonstrukce lávky, kterou navrhl tým odborníků z katedry betonových a zděných konstrukcí z fakulty stavební, Vysokého učení technického v Brně. V diplomové práci je kromě nezávislého ověření statiky a dynamiky konstrukce, také návrh alternativ konstrukčních detailů. V práci je též provedeno ověření návrhu pomocí poskytnutých dat z monitorování konstrukce.

5. ZDŮVODNĚNÍ STAVBY MOSTU

5.1. NÁVAZNOST PROJEKTOVÉ DOKUMENTACE MOSTNÍHO OBJEKTU NA PŘEDCHOZÍ DOKUMENTACI, ÚČEL MOSTU A POŽADAVKY (PODKLADY) NA JEHO ŘEŠENÍ

Jedná se o statické zajištění lávky. Z hlediska zachování trasy a průchozího profilu se oproti původnímu řešení nic nemění. Stavební úpravy slouží k dodatečnému zajištění spolehlivosti nosné konstrukce a zajištění bezpečnosti provozu lávky za pomoci externího předpětí. V případě přetržení původních nosných lan, nová externí lana vytvoří ochrannou síť a zabrání náhlému zřícení lávky do řeky Moravy. Dále vyvozená síla v externích lanech sevře vzniklé trhliny a obnoví počáteční tuhost v betonových segmentech. Stavební úpravy zamezí průniku vody do konstrukce, čím se zvýší životnost konstrukce.

5.2. CHARAKTER PŘEMOSTŮVANÉ PŘEKÁŽKY (PŘEVÁDĚNÉ KOMUNIKACE, DRÁŽNÍHO TĚLESA, VODNÍHO DÍLA APOD.)

Charakter přemostované překážky je vodní tok Morava.

5.3. GEOTECHNICKÉ PODMÍNKY

Geologický průzkum nebyl pro návrh rekonstrukce vypracován. Stavba je založena na plošných základech, kde nedojde k výraznému navýšení vertikálních účinků. Horizontální síly od externích lan jsou zachyceny původními zemními kotvami, kde se předpokládá rezerva v únosnosti.

5.4. HYDROTECHNICKÉ PODMÍNKY

Hydrologické údaje povrchových vod byly získány od Českého hydrometeorologického ústavu, pobočka v Brně. Vzhledem k tomu, že se jedná o opravu lávky, tak nelze změnit současnou vzdálenost od návrhové hladiny vodního toku. Stávající průtoky jsou zachovány.

Nutno připomenout, že rozhodující místo lávky pro posouzení minimálního volného prostoru je pod úrovní kontrolního návrhového průtoku. Tato skutečnost se musí zohlednit při údržbě mostu. Po případné povodni je nutno provést podrobnou prohlídku mostu.

5.5. PRŮZKUM INŽENÝRSKÝCH SÍTÍ

V blízkosti spodní stavby byly nalezeny podzemní vedení inženýrských sítí. V blízkosti Švábinského nábřeží se nachází optický kabel, plynovod, vodovod a kanalizace. V blízkosti protilehlé opěry se nachází podzemní elektrické vedení. Vedení všech inženýrských sítí nebude stavební úpravou narušeno, nicméně je potřeba splnit všechny podmínky bezpečnosti práce, aby nedošlo k újmě na zdraví pracujících osob.

6. TECHNICKÉ ŘEŠENÍ NAVRŽENÉ VARIANTY

6.1. ZÁKLADY MOSTNÍCH PODPĚR A KŘÍDEL

6.1.1. Původní stav

Základová konstrukce je plošná, symetrická na obou stranách. Pro zabránění sesuvu půdy byly použity dočasné štětové stěny Larsen, délky 6,5 m. Prostor mezi pažícími stěnami byl zalitý betonem tř. B 250 (dle původního značení – ČSN 73 2400:1986), což odpovídá betonu tř. C16/20 (dle značení platného eurokódu – ČSN EN 206-1). Tento beton tvoří plošnou základovou konstrukci, která má obdélníkový půdorys. Rozměry základu jsou: délka = 5,60 m, šířka = 9,60 m a výška = 2,00 m. Pro zachycení vodorovné síly jsou použity předpjaté zemní kotvy VÚIS – 1000 kN, 30 ks na každé straně mostu (lano 7x7 ϕ 6). Na plošném základu je umístěn úložný práh z betonu tř. B330 (dle původního značení – ČSN 73 2400:1986), tato pevnostní třída není v současné normě definována (zaručená krychelná pevnost $R_{bg} = 28$ MPa – ISO 13822). Úložný práh je obdélníkového průřezu. Rozměry úložného prahu jsou: délka = 5,00 m, šířka = 3,80 m, výška je proměnná, max. = 1,52 m. U tohoto konstrukčního typu nejsou navrženy mostní křídla.

Tvar základu byl převzat z původní projektové dokumentace. Skutečné rozměry, které byly v rámci diagnostického průzkumu zjištěny jsou s drobnějšími odchylkami shodné.

6.1.2. Stav po rekonstrukci

Kolem stávajícího úložného prahu bude vytvořen nový železobetonový blok. Tento blok umožní kotvení jednotlivých lan. Stávající úložný práh bude rozšířen o šířku 2 x 1,25 m, na délku o 1,50 m. Beton je navržen z pevnostní třídy C 30/37 XD2-XC2-XF2. Betonářská výztuž bloku je z třídy B500B. Krytí je 50 mm na stávající vrstvě betonu min. 20 mm.

Předpínací kotvy jsou jednolanové, poplastované, umístěné v jednotlivých kotevních sklípčích. Po napnutí lan budou kotvy zapraveny vysokopevnostní zálivkou.

6.2. NOSNÁ KONSTRUKCE, LOŽISKA, KLOUBY

6.2.1. Původní stav

Původní stav byl blíže popsán v oddílu 2.2.2.

Diagnostickým průzkumem byla zjištěna skutečnost, které vypovídají o nefunkčnosti nosných lan. Dále je z vizuálních prohlídek patrné masivní zatékání mostovkou. Toto zatékání způsobuje korozi betonářské výztuže a následné odloupení krycí vrstvy betonu.

6.2.2. Stav po rekonstrukci

Stávající nosná lana budou zesílena externími kabely bez soudržnosti – monostredy. Kabely jsou vedeny pod konstrukcí, ve stejné trase jako původní nosná lana. Podélný profil je dán křivkou paraboly 2° s vzepětím 1,38 m. Kromě standardní ochrany tukem a plastovým obalem, je navržena kapotáž z nerezového plechu. Ta vyplněná injektážní suspenzí. Na každé straně mostovky je vedena skupina osmnácti kabelů, celková plocha je rovna 5400 mm². Spojení s původní mostovkou je pomocí distančních ocelových prvků, připevněných epoxidovým lepidlem a kotevními prvky. Povrchová úprava distančních prvků je žárový zinek. Všechny kabely prochází úložným prahem a jsou zakotveny v novém železobetonovém bloku. Radiální síly,

které vznikají z důvodu zakřivení kabelů u opěr, jsou zachyceny betonovým trámem a předpínacími tyčemi. Betonový trám je s obdélníkovým průřezem o rozměrech 0,3 x 0,2 m, beton C 30/37 XD2-XC2-XF2, výztuž B500B. Předpínací tyče celkem čtyři na každé straně mostu, typu 36 WR.

6.3. PŘEDPÍNACÍ KABELY A JEJICH PŘEDPÍNÁNÍ

Externí kabely jsou z oceli Y1860 S7-15,7 (monostrend). Celkem je v konstrukci umístěno $2 \times 18 = 36$ kabelů. Předpínání externích lan se bude realizovat z jedné strany, od opěry 1. Předpínání se bude provádět po dvojicích. Dvojice budou tvořeny kabely se stejným označením. Injektáž a odvzdušení kanálků bude provedeno skrze kotvy.

TECHNOLOGICKÉ ÚDAJE PRO PŘEDPÍNÁNÍ:

Kotevní napětí: $\sigma_{\max} = 665 \text{ MPa}$

Napínací síla jednoho kabelu: $P_{\max} = 99,750 \text{ kN}$

Protažení průměrného kabelu: $\Delta l = 275 \text{ mm}$

Doba podržení napětí: $T_{\text{cor}} = 5 \text{ min}$

6.4. MOSTNÍ SVRŠEK – VOZOVKA, IZOLAČNÍ SYSTÉM, ŘÍMSY, ZÁLIVKY

V rámci rekonstrukce je navržena nová vozovka a nový izolační systém. Je navržena dvojí ochrana proti pronikající vodě. Primární ochranný systém tvoří přímo pochozí vozovka. Vozovka je navržena přes celou šířku mostovky. Nová vozovka je navržena s 2,0 % střešovitým sklonem. Podkladní vrstva je tvořena polymerním betonem. Ten slouží jako spádová a ochranná vrstva izolace. Izolační systém je navržen z penetračního a asfaltového nátěru (APL+2xALN).

Přechody mezi betonovými segmenty a opěrami budou opatřeny dilatačními spárami. Zálivka spár bude z modifikovaného asfaltu, přetěsněna silikonovým tmelem.

6.5. OSTATNÍ VYBAVENÍ – ZÁCHYTNÁ, OCHRANNÁ A REVIZNÍ ZAŘÍZENÍ, DOPRAVNÍ ZNAČENÍ, OSVĚTLENÍ, ODVODŇOVACÍ ZAŘÍZENÍ

Je navrženo ocelové mostní zábradlí se svislou výplní výšky 1,30 m. Nové zábradlí bude z obou stran opatřeno pomocným madlem pro tělesně postižené osoby. Materiál sloupků, madel, svislé výplně, patních plechů a závitové tyče je ocel S355. Spojovací prvky jsou tř. 8.8 z pozinku. Povrch ocelových částí musí být opatřen antikorozií ochranou dle TP 19 B. Kromě zábradlí na mostu je navrženo nové zábradlí i v nástupních rampách, a to ve stejné trase jako je původní.

Je navržena úprava stávajícího odvodnění nosné konstrukce. Po odkrytí konstrukčních vrstev dojde k napojení stávající odvodňovací trubičky na novou a prodloužení na straně výtoku. Trubička bude z PVC a bude napojena na vodotěsný pájený spoj.

6.6. CIZÍ ZAŘÍZENÍ, MONITOROVACÍ SYSTÉM

Na mostě je vybudován systém geodetických bodů, umožňující dlouhodobé sledování pohybů lávky. Periodicky prováděným měřením se ověří předpoklad funkčnosti spodní stavby, a také změna vzepětí. Také je zde vybudována základna pro tenzometrické měření. Tenzometrické měření dovolí snímat změnu poměrného

přetvoření. Z výsledků lze zjistit účinnost rekonstrukce a také současný stav lávky. Dále jsou navrženy vlhkostní senzory uvnitř betonového průřezu. Na základě změřených hodnot lze zahájit či oddálit naplánované sanační práce.

6.7. ÚZEMÍ POD MOSTEM A PŘÍSTUPOVÉ CESTY

Pro přístup pod lávku bude u obou opěr zhotoveno nové revizní železobetonové schodiště z betonu C25/30-XF3 šířky 1,0 m uloženo do podkladního betonu C20/25-XF3 tl. 200 mm. Zpevnění bude zajištěno proti sesunu betonovým prahem šířky 0,4 m a hloubky 0,8 m z betonu C25/30-XF3.

6.8. SANAČNÍ PRÁCE

Sanační práce budou provedeny na spodním líci mostovky. Předpokládaný rozsah je 30 % z celkové plochy mostovky. Sanační práce budou provedeny s časovým odstupem od provedení stavební prací na svršku mostu. Sanační práce nesmí být započteny dříve, než bude konstrukce uvnitř suchá, respektive vlhkost dosáhne nízkých hodnot.

Sanační práce budou provedeny tímto postupem:

Betonové povrchy budou zbaveny nesoudržných vrstev a kompletně otryskány vysokotlakým rotačním vodním paprskem. Odstraněním nesoudržných a zkorodovaných vrstev betonu bude případně odhalena výztuž. Obnažená výztuž musí být odmaštěná, zbavena rzi, okují a částí betonu, případně mechanicky dočištěna ocelovými kartáči. Veškeré odhalené výztužné pruty budou opatřeny řádným antikoročním nátěrovým systémem na výztužnou ocel. Tento nátěr bude použit na celé odhalené výztužné pruty ze všech stran. Po nanesení první vrstvy antikoročního nátěru v tloušťky 1 mm se po 60-120 minutách nanese druhá vrstva (nejpozději do 24 hodin) opět v tloušťce minimálně 1 mm. Teprve po dostatečném vytvrdnutí druhého nátěru je možné aplikovat reprofilační maltu. Před nanesením reprofilační malty musí být podkladní beton řádně navlhčen, do stadia matné vlhkosti.

Následně bude provedena celoplošná aplikace ochranné elastické cementové malty v celkové minimální tl. 2,5 mm (aplikace ve dvou vrstvách), materiál bude na konstrukci aplikován buď ručně nebo metodou strojního nástřiku.

Po vyzrání cementové malty cca 7 dnů, bude pro barevné sjednocení vzhledu a jako sekundární ochrana povrchů aplikován nátěr typu S1 (dle tab. Č. 5 TKP 31).

Použité sanační materiály:

Antikorozní ochrana výztuže: malta na bázi cementových pojiv, práškových polymerů a inhibitorů.

Opravná tixotropní malta pro lokální reprofilaci třída R4 dle ČSN EN 1504 - 3

Dvousložková elastická cementová stěrka pro vytvoření vysoce pružného ochranného nátěru proti agresivním vlivům atmosféry na betonové konstrukce vystavené vysokému provoznímu zatížení, a tím vzniku trhlin i na konstrukce s nedostatečnou betonovou krycí vrstvou ocelové výztuže

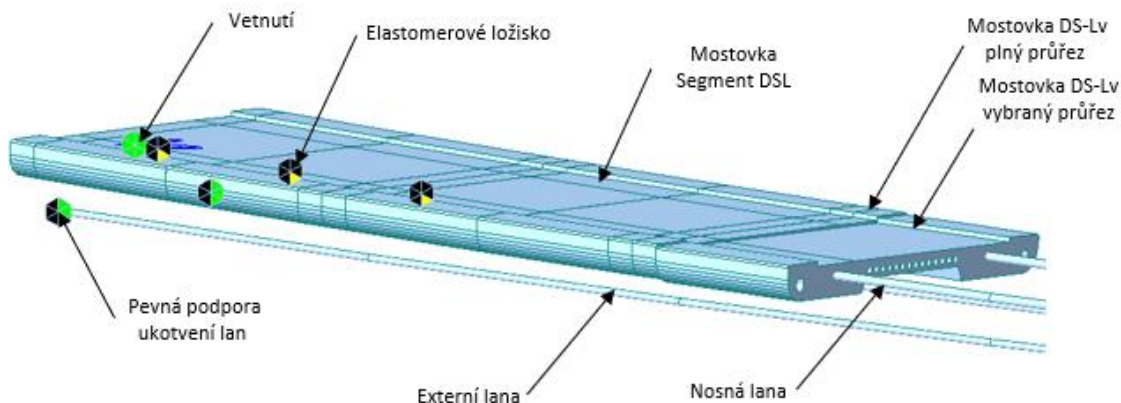
Pružná nátěrová hmota na bázi akrylových pryskyřic ve vodní disperzi, určená k ochraně a sjednocení povrchu betonových konstrukcí.

6.9. POPIS STATICKÉHO ŘEŠENÍ STAVEBNÍ ÚPRAVY

Statické zajištění externími kabely slouží jako náhrada za původní nosná lana. Pokud by původní lana ztratila svou nosnou funkci, nedojde k progresivnímu

kolapsu lávky. Nová externí lana bezpečně přenesou veškerá zatížení. Porušení původních lan se projeví zvětšeným průhybem cca o 1,0 m.

Statickým výpočtem se provedla statická a dynamická analýza na dvou numerických modelech. První model představuje původní neoslabenou konstrukci. Druhý model prezentuje konstrukci po statickém zajištění novými externími lany. U tohoto modelu byly redukovány plochy kabelů první a druhé fáze.



Obrázek 24 – numerický model konstrukce statického zajištění

Na základě stanovených vnitřních sil se konstrukce posoudila na mezní stav únosnosti a mezní stav použitelnosti. Z provedené statické a dynamické analýzy na výše uvedených numerických modelech vyplívá následující:

- Původní konstrukce byla ze statického hlediska bezpečně navržena.
- Porucha původních lan může způsobit fatální následky.
- Porucha původních lan není z vizuálního hlediska patrná.
- Navrženou rekonstrukcí dosáhneme téměř původní únosnosti konstrukce.
- Navržená rekonstrukce má pozitivní vliv na ohybovou tuhost konstrukce.
- Navrženou rekonstrukcí dojde k zvětšení tlakové rezervy v betonovém průřezu.
- Napětí v jednotlivých materiálech splňují normová kritéria.
- Únosnost jednotlivých materiálů nepřekračují pevnosti použitých materiálů.
- Podélný sklon nesplňuje parametry pro bezbariérový přístup (zapříčiněno původní výstavbou).
- Statické zajištění zabezpečí spolehlivé a bezpečné přemostění.
- V případě havárie nová externí lana vytvoří ochrannou síť a nedojde k náhlému kolapsu lávky.

6.10. ZATÍŽITELNOST

Maximální zatížitelnost lávky je 3,29 kN/m². Pro hodnotu větší než 2,5 kN/m² není potřeba osazovat dodatečné dopravní značení omezující zatížitelnost. Pro potřebu údržby v zimních měsících je možné lávku udržívat pomocí lehkého obslužného vozidla (jediné na mostě). Na lávce je zakázáno používat veškeré rozmrazovací prostředky na bázi posypových solí.

6.11. POPIS TECHNICKÉHO ŘEŠENÍ

Postup provádění rekonstrukce:

I. Etapa – statické zajištění

- vytyčení staveniště,
- vytyčení stávajících inženýrských sítí,
- provedení zařízení staveniště,
- provedení provizorního dopravního značení, uzavření mostu a blízkého okolí,
- zamezení přístupu veřejnosti na pozemky stavby,
- provedení bouracích a zemních prací u opěr,
- provedení armování a kotevní oblasti,
- montáž pojízdného lešení na mostě,
- montáž distančních prvků a kapotáže,
- natažení externích kabelů,
- provedení betonáže kotevních bloků,
- napínání externích kabelů,
- provedení ochranné injektáže,
- provedení nutných terénních úprav u opěr,
- demontáž pojízdného lešení.

II. Etapa – stavební úprava

- odbourání stávající vozovky a izolačního souvrství,
- demontáž stávajícího zábradlí,
- montáž provizorního zábradlí,
- montáž kotevních prvků zábradlí,
- montáž vlhkostních senzorů,
- provádění úpravy odvodňovacích trubiček,
- provádění mostní izolace z penetračního a asfaltového nátěru (APL+2xALN),
- provádění betonáže spádové a ochranné vrstvy vozovky (z důvodu teplotních změn je vhodné provádět betonáž při stálé teplotě – ideálně v noci),
- provádění přímo pochozí vozovky,
- provádění betonáže vozovky na opěrách a v blízkosti mostu,
- montáž nového zábradlí,
- provedení opevnění svahu a betonáž revizního schodiště,
- konečné terénní úpravy v okolí mostu,
- odstranění zařízení staveniště,
- uvedení do provozu.

III. Etapa – sanační práce

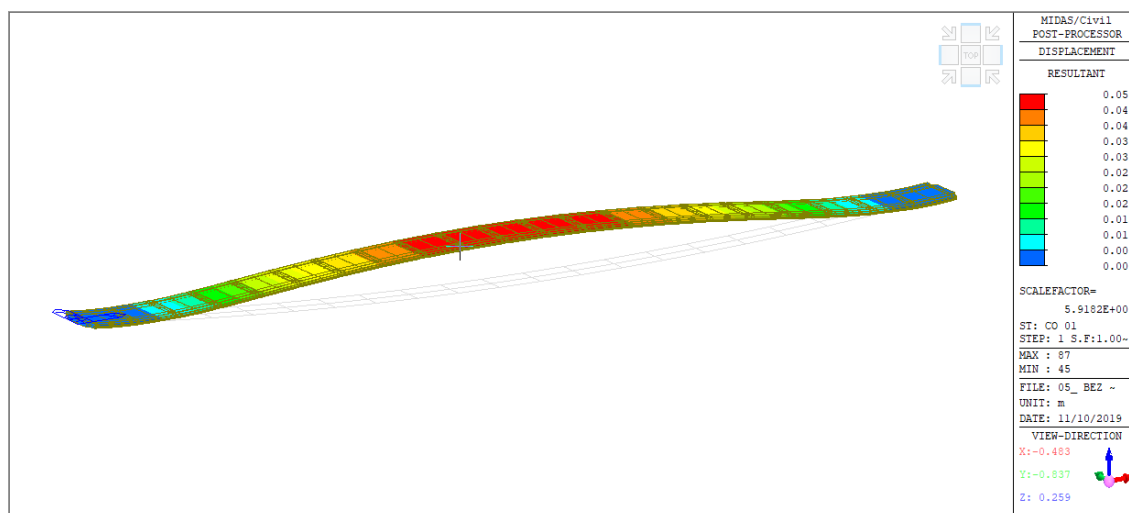
- provedení zařízení staveniště,
- provedení provizorního dopravního značení, uzavření mostu a blízkého okolí,
- zamezení přístupu veřejnosti na pozemky stavby,

- montáž pojízdného lešení,
- provedení sanačních prací,
- provedení ochranných nástřiků,
- demontáž lešení,
- odstranění zařízení staveniště,
- uvedení do provozu.

Kromě výše uvedených stavebních prací se bude lávka monitorovat. Monitorování stavby se bude provádět periodicky, minimálně jednou ročně. Geodetickým měřením je vhodné sledovat pohyby spodní stavby a velikost vzepětí, tenzometrickým měřením náhlé změny poměrného přetvoření.

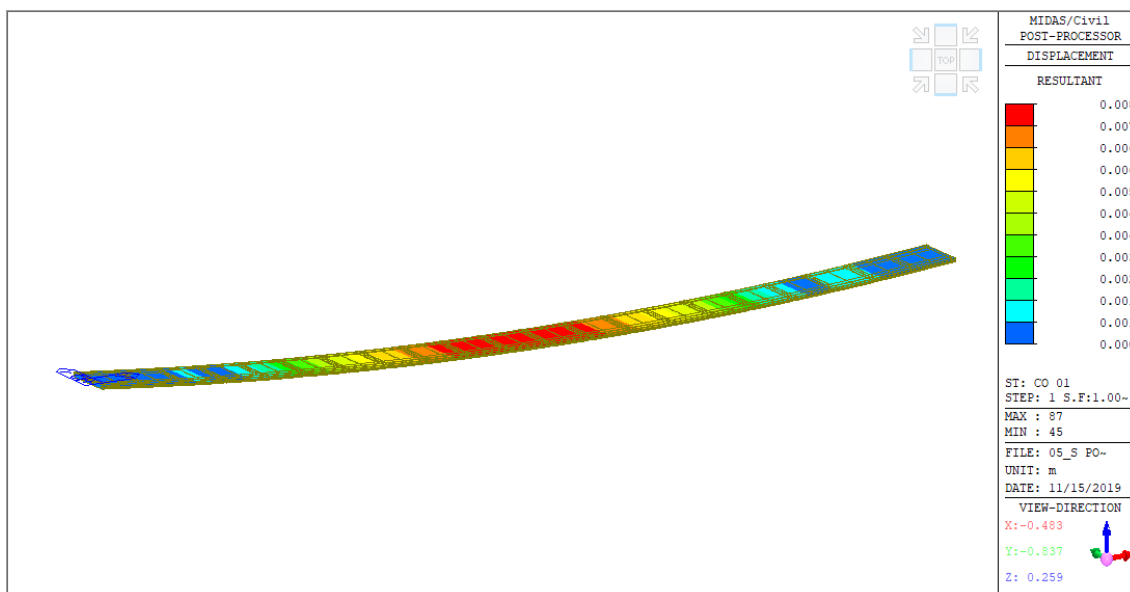
7. ZHODNCENÍ VÝSLEDKŮ NAVRŽENÉ VARIANTY

Výpočtový model byl vytvořen v software civil Midas. Geometrie modelu byla stanovená z původního návrhu lávky a z geodetického měření. Geodetickým měřením byla zkoumána konstrukce, kde jsou původní lana porušena hloubkovou korozí. Na základě tohoto měření bylo stanoveno výchozí vzepětí $f = 1,607$ m. Výchozí vzepětí je stanoveno pro teplotu $10\text{ }^{\circ}\text{C}$. Rozpětí $L = 63,0$ m. Průřezové a materiálové charakteristiky odpovídají skutečné geometrii. Ve výpočtovém modelu byly zohledněny důležité kroky výstavby. Původní neporušená konstrukce má výchozí vzepětí $f = 1,61 - 0,054 = 1,56$ m.

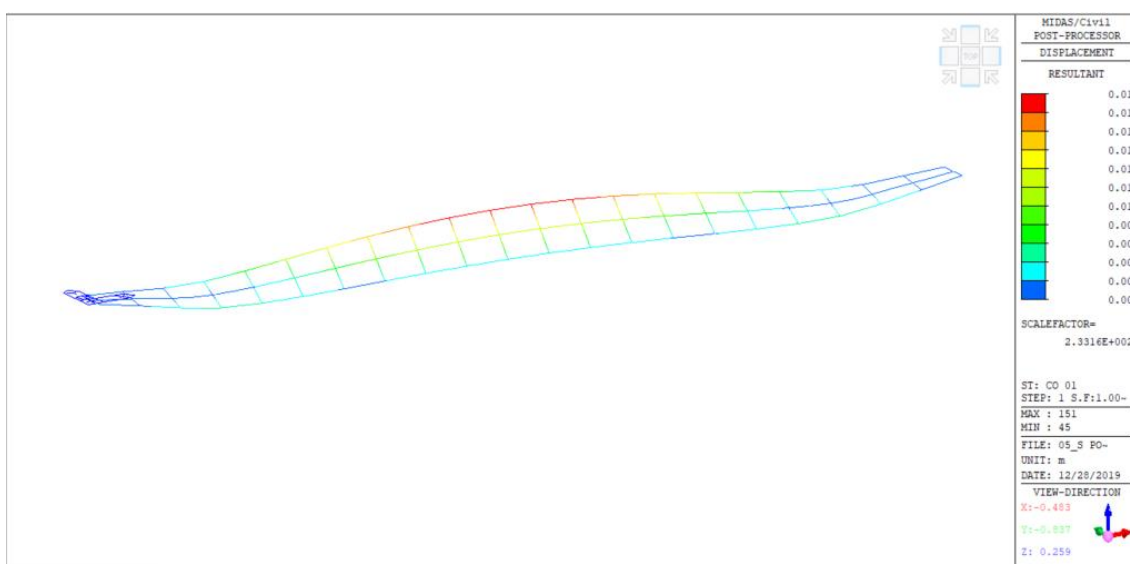


Obrázek 25 – vzepětí původní neoslabené konstrukce

Následně se do výpočtu zakomponovaly závěry z diagnostického průzkumu. Provedlo se oslabení původních lan. Nosná lana „A“ byla zredukována v místě kaverny na 1/3 své plochy. U předpínacích kabelů „B“ došlo k redukci plochy o cca 30 %. Byla eliminována předpínací síla v kabelech B1, B2, B3, B1L. To mělo za následek změnu vzepětí. Vzepětí odpovídá konstrukci, porušené hloubkovou korozí původních lan. Vzepětí $f = 1,602$ m.



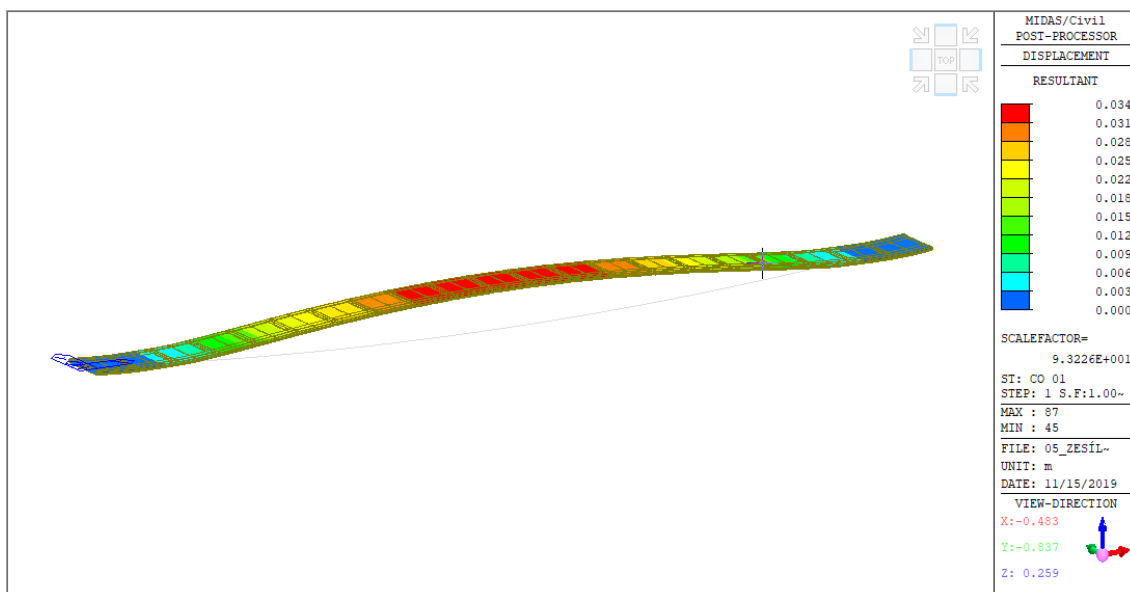
Obrázek 26 – vzepětí lávky porušené hloubkovou korozí původních lan



Obrázek 27 – příčné zkroucení lávky

Rozdíl oproti geodetickému měření je $\Delta f = 1607 - 1602 = 5$ mm. Tento rozdíl je brán jako přijatelná odchylka. Rovněž je zde dosaženo příčného zkroucení lávky. Ve středu rozpětí je výškový rozdíl mezi návodní a povodní stranou 11 mm. Rozdíl oproti geodetickému měření je $\Delta = 14 - 11 = 3$ mm.

V poslední stupni výstavby byly oživeny externí lana. Externí lana jsou pevně ukotvena v podporách, je zde vyvozeno předpětí. Napětí v externích lanech je 600 MPa. Trasa externích lan odpovídá návrhu rekonstrukce. Napnutí externích lan způsobilo změnu vzepětí o 26 mm. Tato změna vzepětí vyvolá zvětšení tlaku v betonovém průřezu o $\Delta \sigma = -2,4$ MPa. V reálně provedené rekonstrukci lávky došlo ke změně průhybu vlivem předpínání o 29 mm. Změna napětí na návodní straně mostu stanovená tenzometrickým měřením je $\Delta \sigma = -3,4$ MPa.



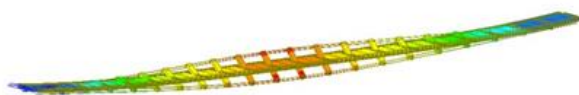
Obrázek 28 – změna vzepětí po statickém zajištění konstrukce

Výpočtovým modelem bylo dosaženo výsledků, které odpovídají reálně naměřeným hodnotám. Rozdíl ve výsledcích je v přijatelných odchylkách, které lze odstranit podrobnějšími modely například z 3D prostorovými prvky nebo přesnější definicí podpor. Pro statické ověření konstrukce je numerický model považován za dostatečně přesný. Na základě vypočtených vnitřních sil byla konstrukce posouzena na mezní stavy podle platných eurokódů.

Na numerickém modelu byla provedena i dynamická analýza. V tomto modelu byla vlastní tíha konstrukce, tíha vozovky a tíha zábradlí z konvertována na masy. Tíhové zrychlení $g = 10 \text{ m/s}^2$. Modální analýzou se zjistily podstatné vlastní tvary kmitů a vlastní frekvence.

5. VLASTNÍ TVAR PERSPEKTIVA

BOČNÍ POHLED



POHLED SHORA



$f_s = 3,79 \text{ Hz}$
 $T_s = 0,26 \text{ s}$

Obrázek 29 – příklad vlastního kmitu konstrukce

POROVNÁNÍ VLASTNÍCH FREKVENCÍ			
POZN.:	Mode	Frequency	
	No	(cycle/sec)	(cycle/sec)
		PŮVODNÍ STAV	PO ZESÍLENÍ
1. OHYBOVÝ	1	1.20	1.30
	2	1.63	1.68
	3	2.33	2.49
	4	3.11	3.46
1. VODOROVNÝ	5	3.80	3.79
	6	4.44	4.95
	7	5.90	6.60
	8	7.65	8.54
1. KROUTIVÝ	9	9.60	10.18
1. KROUTIVÝ	10	10.24	10.68

Tabulka 1– srovnání vlastních frekvencí na použitých modelech

Z porovnání je patrné, že frekvence vlastních kmitů jsou téměř totožné. Statické zajištění má pozitivní vliv na ohybovou tuhost, proto jsou ohybové frekvence na větších hodnotách. Oslabení nosných lan má za následek zmenšení vodorovných frekvencí, avšak jen o velmi malou hodnotu, jež nejsou pro konstrukci lávky nebezpečná.

8. ZÁVĚR

Diplomová práce je zaměřena na návrh rekonstrukce visuté lávky v Kroměříži. V diplomové práci byly navrženy a zhodnoceny tři varianty návrhu. První návrh rekonstrukce je pomocí volných externích lan. Externí lana jsou vedena pod konstrukcí lávky a jsou důkladně chráněna před vlhkostí. Lana jsou ukotvena v novém železobetonovém bloku, jež obepínají původní úložný práh. Další návrhy rekonstrukce byly pomocí systému visutých lan ukotvených v pylonech. Pro podrobnější zpracování byla zvolena první varianta návrhu. Zde se provedla statická a dynamická analýza. Nosné prvky a konstrukční detaily byly posouzeny na mezní stav únosnosti a mezní použitelnosti.

Rekonstrukce lávky je rozdělena do tří etap. V první etapě je provedeno statické zajištění externími lany. Statické zajištění externími kabely slouží jako náhrada za původní nosná lana. Pokud by původní lana ztratila svou nosnou funkci, nedojde k progresivnímu kolapsu lávky. Nová externí lana bezpečně přenesou veškerá zatížení a porušení původních lan se projeví zvětšeným průhybem cca o jeden metr. Nicméně u takto porušeného mostu není doporučeno další užívání, proto je nutné provést stavební úpravy zabezpečující trvalou ochranu původních nosných a předpínacích lan před vlhkostí. Druhou etapou rekonstrukce je neodvratná stavební úprava lávky. Stavební úpravou je potřeba nahradit současný izolační systém společně s vozovkou, a také nenormové zábradlí. Je navržena dvojitá ochrana proti pronikající vodě. Primární ochranný systém tvoří přímo pochozí vozovka. Vozovka je navržena přes celou šířku mostovky se střeovitým sklonem 2,0 %. Podkladní vrstva je tvořena polymerním betonem. Sekundární

izolační systém je navržen z penetračního a asfaltového nátěru (APL+2xALN). Nové zábradlí je ocelové výšky 1,30 m se svislou výplní.

Poslední etapa rekonstrukce je tvořena sanačními pracemi. Tyto práce obnoví poškozené betonové segmenty ze spodní strany. Zde vlivem koroze betonářské výztuže dochází k odštěpení krycí vrstvy betonu. Sanační práce musí být voleny v závislosti na současné vlhkosti betonových segmentů. Vlhkost nesmí být spojovacími postřiky v konstrukci uzavřena. Proto je doporučeno provést nejprve kvalitní izolační vrstvu a v rámci prací na izolační vrstvě zabudovat vlhkostní senzory. Až se měřením projeví, že konstrukce je uvnitř suchá, respektive vlhkost dosahuje nízkých hodnot, poté je vhodné naplánovat sanační práce.

Po provedení statického zajištění je možné u lávky provést nutné stavební práce. Pokud se nutné stavební práce naplánují s časovým odstupem od statického zajištění, je možné lávku otevřít pro veřejnost. Přesto se stavební práce doporučují provést nejpozději do 12 měsíců od statického zajištění.

9. SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] BUREŠ, Jiří. *Geodetické bezpečnostní měření vodorovných a svislých posunů a přetvoření při předpínání mostní lávky pro pěší přes řeku Moravu v Kroměříži*, Brno 2019.
- [2] CRHA, Miloslav, Svatopluk ŠMÍŘÁK a Pavel DOČKAL. *Pružnost a plasticita I*. Praha: Československá redakce VN MON, 1991.
- [3] GRANDIĆ ŠTIMAC, Ivana. *Serviceability verification of pedestrian bridges under pedestrian loading*. Rijeka 2015. ISSN 1330-3651
- [4] KADLČÁK, Jaroslav a Jiří KYTÝR. *Statika stavebních konstrukcí*. 3. vyd. Brno: Vutium, 2007. ISBN 978-80-214-3419-6.
- [5] KLUSÁČEK, Ladislav. *Diagnostický průzkum lávky pro pěší přes řeku Moravu v Kroměříži*. Brno 2018.
- [6] KLUSÁČEK, Ladislav. *Stavební úpravy lávky pro pěší ev. č. L07 přes řeku Moravu v Kroměříži*. Brno 2018.
- [7] KREJSA Martin, Lenka LAUSOVÁ a Vladimíra MICHALCOVÁ. *Pružnost a plasticita (studijní opora v elektronické podobě)*. Ostrava 2011.
- [8] NEČAS, Radim, Jan KOLÁČEK a Josef PANÁČEK. *BL12 - Betonové mosty I: zásady navrhování*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, 2014. Studijní opory pro studijní programy s prezenční formou studia. ISBN 978-80-214-4979-4.
- [9] PROCHÁZKA, Jaroslav. *Navrhování betonových konstrukcí podle norem ČSN EN 1992 (Eurokódu 2)*. 5. vyd., upr. Praha: ČBS Servis, 2010. ISBN 978-80-87158-22-7.
- [10] STRÁSKÝ, Jiří a Miloš PIRNER. *DS-L stress – ribbon foot bridges*. Olomouc 1986.
- [11] STRÁSKÝ, Jiří a Radim NEČAS. *Betonové mosty II, Modul M01, M02, M03 (studijní opora v elektronické podobě)*. VUT, Brno 2007.
- [12] STRÁSKÝ, Jiří. *Betonové mosty*. Praha: ŠEL, 2001. Technická knižnice autorizovaného inženýra a technika. ISBN isbn80-86426-05-x.
- [13] STRÁSKÝ, Jiří. *Stress ribbon and cable supported pedestrian bridges*. Praha: Akademie věd České republiky, 2006.
- [14] ŠAFÁŘ, Roman, Jindřich ČECH a Jana BÁRTOVÁ. *Betonové mosty 2: cvičení*. V Praze: České vysoké učení technické, 2009. ISBN 978-80-01-04433-9.
- [15] ŠTĚPÁNEK, Petr, Ivailo TERZIJSKI, Ivana LÁNIKOVÁ, Josef PANÁČEK a Petr Šimůnek. *BL01 Prvky betonových konstrukcí (studijní opora v elektronické podobě)*. Brno 2015.
- [16] *Vzorové listy staveb pozemních komunikací*. VL4 – Mosty, Pragoprojekt, a. s., Praha, 2010.
- [17] ZICH, Miloš. *Příklady posouzení betonových prvků dle eurokódů*. Praha: Dashöfer, 2010. ISBN 978-80-86897-38-7.
- [18] ČSN 73 2400: *Provádění a kontrola betonových konstrukcí*. Český normalizační institut, 1993.
- [19] ČSN 73 6201: *Projektování mostních objektů*. Praha, Český normalizační institut, 2008.

- [20] ČSN 73 6222: *Zatížitelnost mostů pozemních komunikací*. Český normalizační institut, 2009.
- [21] ČSN EN 1504-3: *Výrobky a systémy pro ochranu a opravy betonových konstrukcí - Definice, požadavky, kontrola kvality a hodnocení shody - Část 3: Opravy se statickou funkcí a bez statické funkce*. Český normalizační institut, 2006.
- [22] ČSN EN 1990 Eurokód: *Zásady navrhování konstrukcí*. Praha, Český normalizační institut, 2004.
- [23] ČSN EN 1991-1-1 Eurokód 1: *Zatížení konstrukcí – Část 1-1: Obecná zatížení*. Praha, Český normalizační institut, 2004.
- [24] ČSN EN 1991-2 Eurokód 1: *Zatížení konstrukcí – Část 2: Zatížení mostů dopravou*. Český normalizační institut, 2005.
- [25] ČSN EN 1992-1-1 Eurokód 2: *Navrhování betonových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla*. Český normalizační institut, 2006.
- [26] ČSN EN 1992-2 Eurokód 2: *Navrhování betonových konstrukcí – Část 2: Betonové mosty*. Český normalizační institut, 2007.
- [27] ČSN EN 1993-1-1 Eurokód 3: *Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla*. Český normalizační institut, 2006.
- [28] ČSN EN 1997-1 Eurokód 7: *Navrhování geotechnických konstrukcí – Část 1: Obecná pravidla*. Český normalizační institut, 2006.
- [29] ČSN EN 206-1: *Beton – specifikace, vlastnosti, výroba a shoda*. Český normalizační institut, 2018.
- [30] FREYSSINET SUSTAINABLE TECHNOLOGY. *Prospekty a katalogy* [online]. FREYSSINET CS, a.s., 2019 [cit. 28.12.2019]. Dostupné z <http://www.freyssinet.cz/195-prospekty>
- [31] KOLÁČEK, Jan. *Podklady do cvičení* [online]. VUT, Brno 2019 [cit. 28.12.2019]. Dostupné z <https://www.fce.vutbr.cz/BZK/kolacek.j/Podklady.html>
- [32] MIDAS CIVIL. *Online manual – civil structure design system* [online]. Midas information technology CO. Ltd, 2019 [cit. 28.12.2019]. Dostupné z http://manual.midasuser.com/EN_TW/Civil/830/index.htm
- [33] SCIA ENGINEER. *Nápověda pro program SCIA Engineer 19.1* [online]. Nemetschek group, 2019 [cit. 28.12.2019]. Dostupné z <https://help.scia.net/18.1/cs/>
- [34] SKUPINA SHP. *Projekty* [online]. SHP a.s. Ostrava [cit. 28.12.2019]. Dostupné z <http://www.shb.cz/projekty/>
- [35] ŘSD ČR. *Politika jakosti pozemních komunikací* [online]. Ministerstvo dopravy, Praha 2019 [cit. 28.12.2019]. Dostupné z <http://www.pjpk.cz/>

10. SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

SYMBOL	VÝZNAM	JEDNOTKA
GNSS	přijímač globál. družicového polohového systému	-
ČSN	česká technická norma	-
f	vzepětí	m
ϕ	průměr	m
R _{bg}	zaručená krychelná pevnost	MPa
XDn-XCn-XFn	označení vlivu prostředí	-
σ	napětí	MPa
P _i	napínací síla	kN
Δl	protažení průměrného kabelu	m
T _{cor}	doba podržení napětí	min
TP	technické podmínky	-
PVC	polyvinylchlorid	-
TPK	technické kvalitativní podmínky staveb	-
Δ	změna hodnoty	-
g	tíhové zrychlení	m/s ²
3D	trojrozměrný	-

* Zkratky a symboly mohou být vysvětleny v textu.

11. SEZNAM PŘÍLOH

P1. Použité podklady a varianty řešení

P1.0.	Desky	–	1xA4
P1.1.	Situační výkres	M 1:250	3xA4
P1.2.	Schéma monitorovacího systému	M 1:50	2xA4
P1.3.	Návrh varianty řešení 1	M 1:200	8xA4
P1.4.	Návrh varianty řešení 2	M 1:200	8xA4
P1.5.	Návrh varianty řešení 3	M 1:200	6xA4

P2. Výkresy

(přehledné, podrobné a detaily v rozsahu určeném vedoucím diplomové práce)

P2.0.	Desky	–	1xA4
P2.1.	Stav před rekonstrukcí – půdorys a podélný řez	M 1:200	4xA4
P2.2.	Stav před rekonstrukcí – řezy segmenty	M 1:20	3xA4
P2.3.	Stav po rekonstrukci – půdorys	M 1:100	3xA4
P2.4.	Stav po rekonstrukci – podélný řez	M 1:100	3xA4
P2.5.	Stav po rekonstrukci – příčný řez	M 1:25	3xA4
P2.6.	Stav po rekonstrukci – kotevní blok OP1 – půdorys	M 1:50	2xA4
P2.7.	Stav po rekonstrukci – kotevní blok OP1 – pohledy	M 1:25	2xA4
P2.8.	Stav po rekonstrukci – kotevní blok OP2 – půdorys	M 1:50	2xA4
P2.9.	Stav po rekonstrukci – kotevní blok OP2 – pohledy	M 1:25	2xA4
P2.10.	Kotevní blok OP1 – výkres betonářské výztuže	M 1:50	2xA4
P2.11.	Kotevní blok OP1 – výkaz výztuže	M 1:50	2xA4
P2.12.	Kotevní blok OP2 – výkres betonářské výztuže	M 1:50	2xA4
P2.13.	Kotevní blok OP2 – výkaz výztuže	M 1:50	2xA4

P3. Stavební postup a vizualizace

P3.0.	Desky	–	1xA4
P3.1.	Stavební postup	M 1:500	2xA4
P3.2.	Vizualizace – pohled 1	–	1xA4
P3.3.	Vizualizace – pohled 2	–	1xA4
P3.4.	Vizualizace – pohled 3	–	1xA4
P3.5.	Vizualizace – pohled 4	–	1xA4

P4. Statický výpočet (v rozsahu určeném vedoucím diplomové práce)

P4.	Statický výpočet	–	120xA4
P4.1.	Tenzometrické měření	–	18xA4