



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

LÁVKA U OBCE KÁMEN

PEDESTRIAN BRIDGE NEAR VILLAGE KÁMEN

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Martin Damek

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. JAN KOLÁČEK, Ph.D.

BRNO 2018



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	Martin Damek
Název	Lávka u obce Kámen
Vedoucí práce	Ing. Jan Koláček, Ph.D.
Datum zadání	30. 11. 2017
Datum odevzdání	25. 5. 2018

V Brně dne 30. 11. 2017

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

Na zadaný problém zpracujte dvě až tři studie lávky o jednom poli včetně jejich zhodnocení. Dále se zaměřte na návrh vybrané konstrukce z předpjatého betonu. Pro kolmý most můžete provést úpravy v niveletě popř. v profilu řeky včetně délky přemostění. Dimenzování proveďte podle mezních stavů v rozsahu stanoveném vedoucím práce. Ostatní úpravy provádějte podle pokynů vedoucího práce.

Požadované výstupy:

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

Přílohy textové části:

P1. Podklady, studie a vizualizace

P2. Přehledné a podrobné výkresy zvoleného návrhu mostu

P3. Statický výpočet (v rozsahu určeném vedoucím práce)

Prohlášení o shodě listinné a elektronické formy VŠKP (1x)

Popisný soubor závěrečné práce (1x)

Bakalářská práce bude odevzdána v listinné a elektronické formě a pro ÚBZK 1x na CD.

STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

VŠKP zpracujte 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).

Ing. Jan Kolářček, Ph.D.
Vedoucí bakalářské práce



ABSTRAKT

Tato práce se zabývá návrhem lávky pro pěší přes silnici I/19 u obce Kámen. V rámci bakalářské práce byly navrženy 3 varianty lávek. Rámová konstrukce z předpjatého betonu byla vybrána jako nejvhodnější a dále rozpracována. Byl proveden statický výpočet předpjaté mostovky a železobetonové opěry. Vnitřní síly byly stanoveny pomocí programu SCIA Engineer s vlivem pružného podepření. Výpočet byl proveden podle platných norem a předpisů.

KLÍČOVÁ SLOVA

Lávka, rámová konstrukce, předpjatý beton, železobeton, mezní stav použitelnosti, mezní stav únosnosti

ABSTRACT

The subject of this bachelor thesis is a design of pedestrian bridge over the I/19 road near village Kámen. Within the scope of thesis there are 3 studies of footbridges. Prestressed framework was found appropriate and further calculations were assessed. Statical calculations of prestressed bridge deck and reinforced concrete abutment were made. Internal forces were provided by SCIA Engineer with effects of spring supports. Calculations were made according to valid standards and regulations.

KEYWORDS

Pedestrian bridge, frame construction, prestressed concrete, reinforced concrete, serviceability limit state, ultimate limit state



BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP

Martin Damek *Lávka u obce Kámen*. Brno, 2018. 36 s., 134 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav betonových a zděných konstrukcí. Vedoucí práce Ing. Jan Koláček, Ph.D.



PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 24. 5. 2018

Martin Damek
autor práce



PODĚKOVÁNÍ

Mé poděkování patří vedoucímu práce Ing. Janu Koláčkovi Ph.D. za ochotu vést mou bakalářskou práci a také rady a konstruktivní připomínky, které jsem od něj po dobu zpracování bakalářské práce, ale i celého studia získal. Dále mé rodině a nejbližším, za skvělou podporu při studiích.



OBSAH

1	ÚVOD.....	10
2	PODKLADY.....	11
3	VARIANTY.....	12
3.1	VARIANTA A	12
3.2	VARIANTA B	13
3.3	VARIANTA C	14
3.4	VÝLEDNÁ VARIANTA	15
4	VOLBA GEOMETRIE	16
4.1	NOSNÁ KONSTRUKCE	16
4.2	ZALOŽENÍ A SPODNÍ STAVBA.....	16
4.3	PRUŽNÉ PODEPŘENÍ	17
4.4	VNESENÍ PŘEDPĚTÍ	17
4.5	GEOMETRIE RÁMOVÝCH STOJEK	18
5	STUDIE	19
5.1	VLIV TYPU PODEPŘENÍ NA VNITŘNÍ SÍLY RÁMU.....	19
5.2	ZACHOVÁNÍ 2D MODELU	21
6	MODEL	23
7	ZÁKLADNÍ ÚDAJE O LÁVCE	24
7.1	MOSTNÍ VYBAVENÍ.....	24
7.2	ODVODNĚNÍ	24
8	MATERIÁLOVÉ CHARAKTERISTIKY	25
8.1.1	Beton C30/37	25
8.1.2	Beton C25/30	25
8.1.3	Betonářská výztuž B500B	25
8.1.4	Předpínací výztuž	25
9	ZATÍŽENÍ	26
9.1	STÁLÉ ZATÍŽENÍ.....	26
9.2	PROMĚNNÉ ZATÍŽENÍ.....	26
10	KOMBINACE	27
11	ZTRÁTY	28
12	POSUDKY	29
12.1	PŘÍČEL.....	29
12.1.1	Mezní stav použitelnosti	29



12.1.2	Mezní stav únosnosti.....	29
12.2	RÁMOVÁ STOJKA.....	29
12.2.1	Mezní stav použitelnosti	29
12.2.2	Mezní stav únosnosti.....	30
12.3	KOTEVNÍ OBLAST	30
13	ZÁVĚR	31
14	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ.....	32
15	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK.....	33
16	SEZNAM PŘÍLOH	35
17	SEZNAM OBRÁZKŮ.....	36



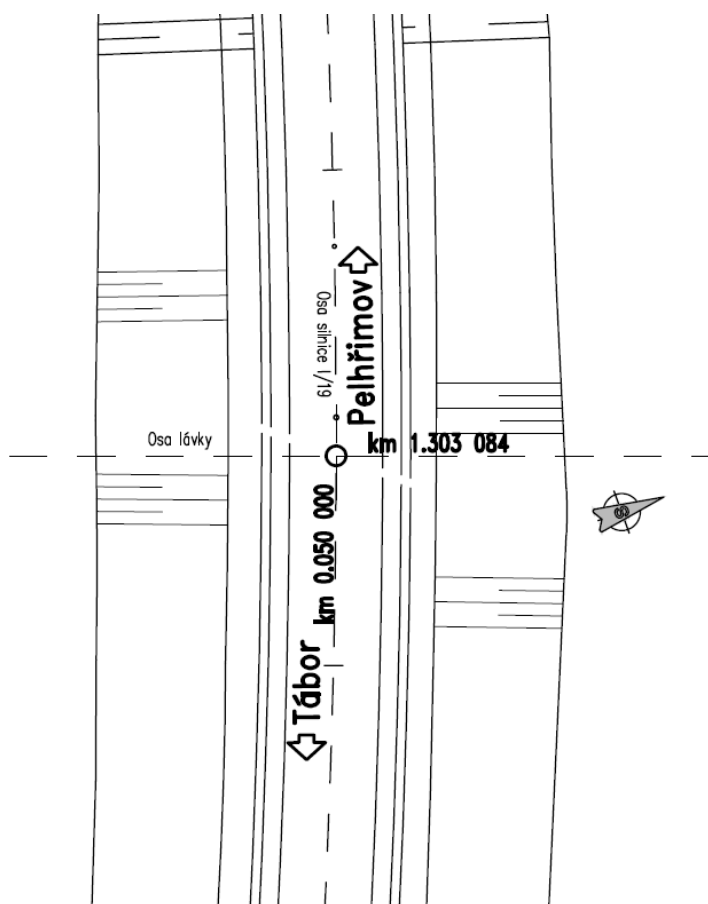
1 ÚVOD

Nově budovaný 2,4 km dlouhý úsek silnice I/19 na Pelhřimovsku má vyřešit stávající problém s kamionovou dopravou v obci Kámen. V rámci toho projektu jsou mimo jiné 2 mostní objekty přes obchvat I/19 - silniční most směrem na Nízkou Lhotu a lávka pro pěší a cyklisty, která kříží obchvat v km 1,303 084.

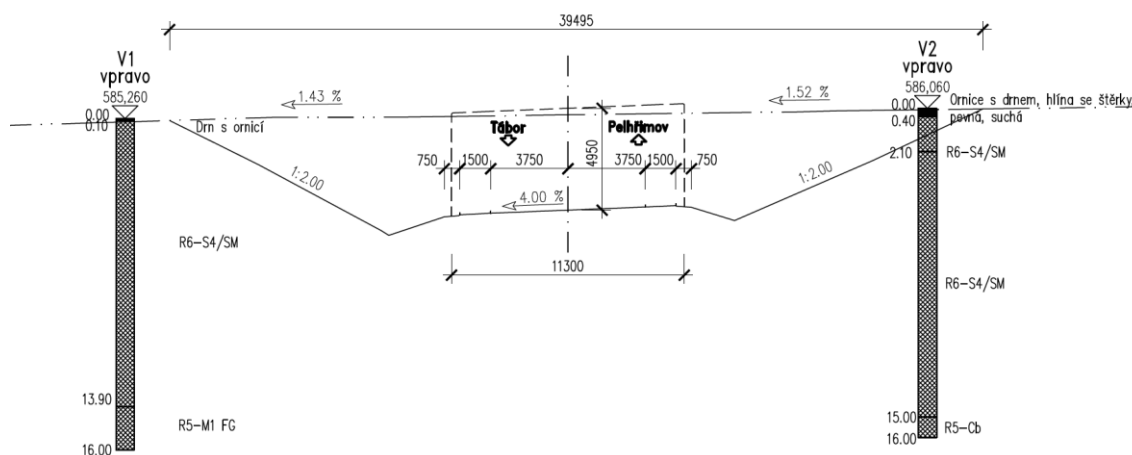
Právě návrh a statický posudek lávky byl vybrán jako předmět této bakalářské práce. Dle zadání byly navrženy 3 konstrukčně i materiálově rozdílné varianty možného řešení, z nichž výsledná varianta předpjaté rámové konstrukce byla podrobněji rozpracována. Statický návrh byl proveden v souladu s platným Eurokódem, výpočet vnitřních sil pomocí programu SCIA Engineer 17.1.

2 PODKLADY

Vstupními podklady pro návrh a statické posouzení lávky byla schematická situace silnice I/19 v místě křížení a řez terénem v předpokládané ose nově vzniklé lávky. Součástí podélného řezu byl zadaný průjezdní profil přemostované komunikace splňující rozměrové požadavky na minimální volnou výšku a šířku.



Obr. 1 Situace I/19 v místě křížení



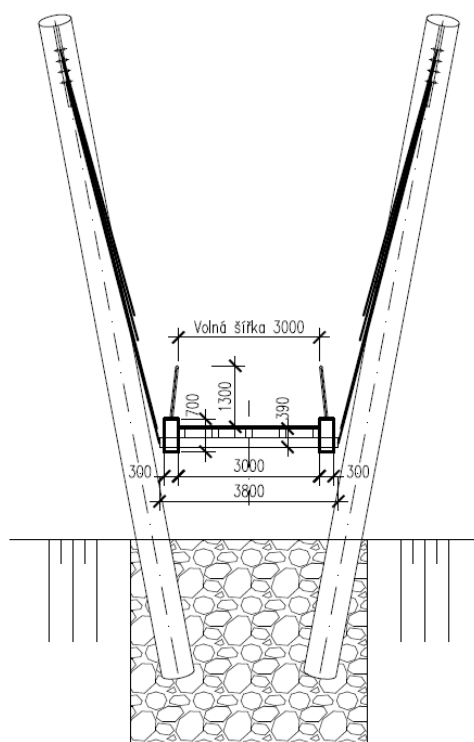
Obr. 2 Příčný řez terénem, podélný řez v ose lávky

3 VARIANTY

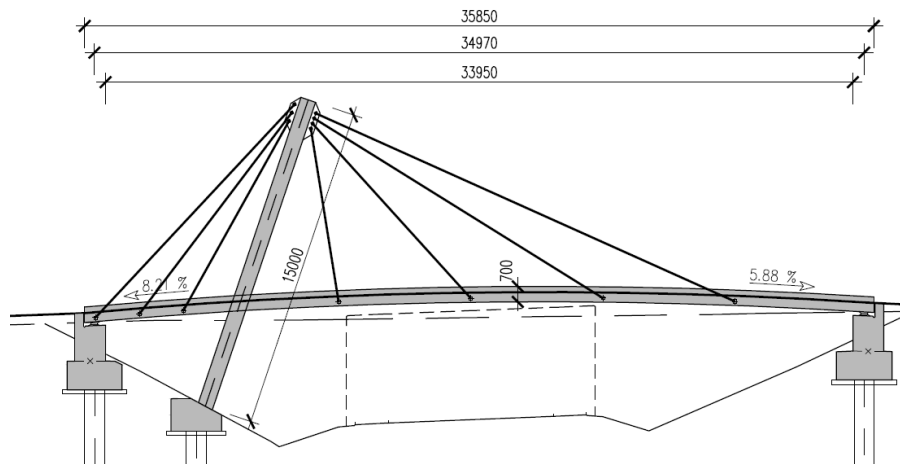
Hlavním prvkem ovlivňující tvar a geometrii lávek se stal průřezní profil silnice I/19, který zasahuje nad okolní hladinu terénu. Snahou rovněž bylo eliminovat množství zemních prací, z toho důvodu byly všechny varianty přizpůsobeny tvaru zemního tělesa a navrženy se zakřivenou střednicí. Tvar nivelety nebyl pevně stanoven, tím byla ponechána volná ruka při samotném návrhu tvaru nosné konstrukce a dalších částí lávky. Volná šířka na lávce u všech návrhů je uvažována 3,0 m.

3.1 VARIANTA A

První variantou je zavěšená konstrukce s rozpětím 35 m, jejíž nosná konstrukce je tvořena dřevěnými podélnými hlavními nosníky konstantního průřezu s parabolickým zakřivením. Závěsy jsou uchyceny na ocelové příčníky, doplněnými o dřevěnou mostovku. Hlavní dominantou tohoto návrhu je ocelový 15,0 m vysoký pylon ve tvaru písmene V.



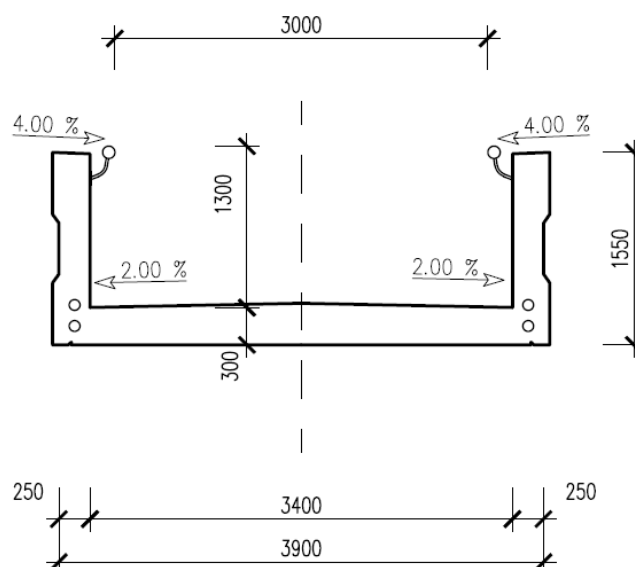
Obr. 3 Příčný řez - varianta A



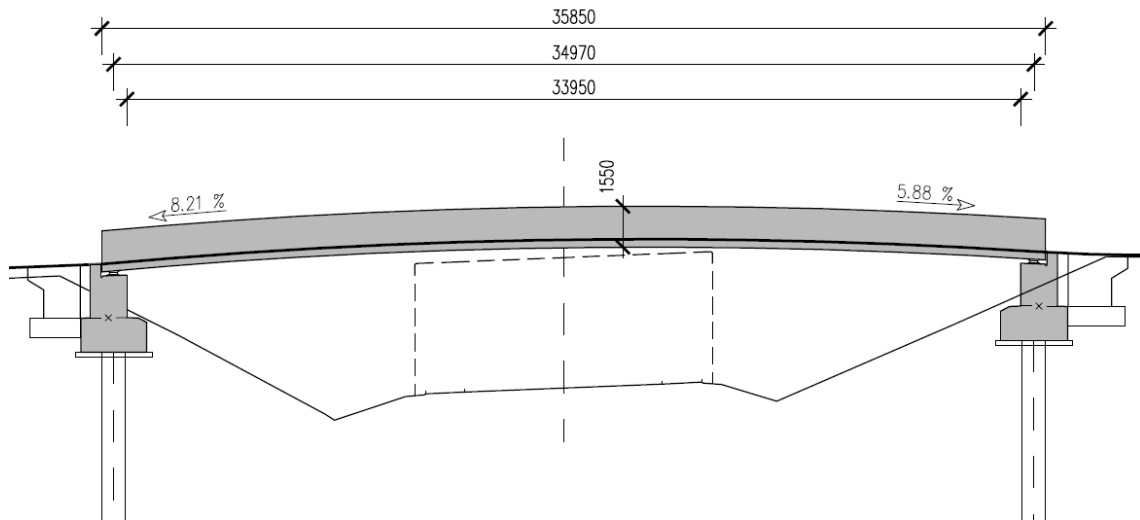
Obr. 4 Podélný řez - varianta A

3.2 VARIANTA B

Nosná konstrukce druhé varianty je tvořena parapetním nosníkem o celkové výšce 1,55 m. Délka přemostění je shodná s variantou A a dosahuje délky 33,95 m. Zatížení od dopravy přenáší deska s rozpětím 3,4 m o celkové tloušťce 0,3 m. Niveleta je navržena ve výškovém oblouku s poloměrem 229 m a dosahuje maximálního podélného sklonu shodně s variantou A hodnot 8,21 %. Nosník je prostě uložený, na opěry navazují oddílatovaná křídla.



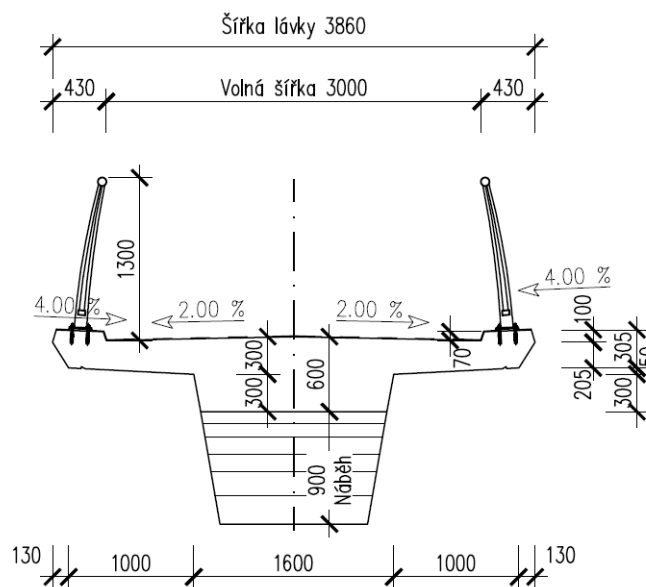
Obr. 5 Příčný řez - varianta B



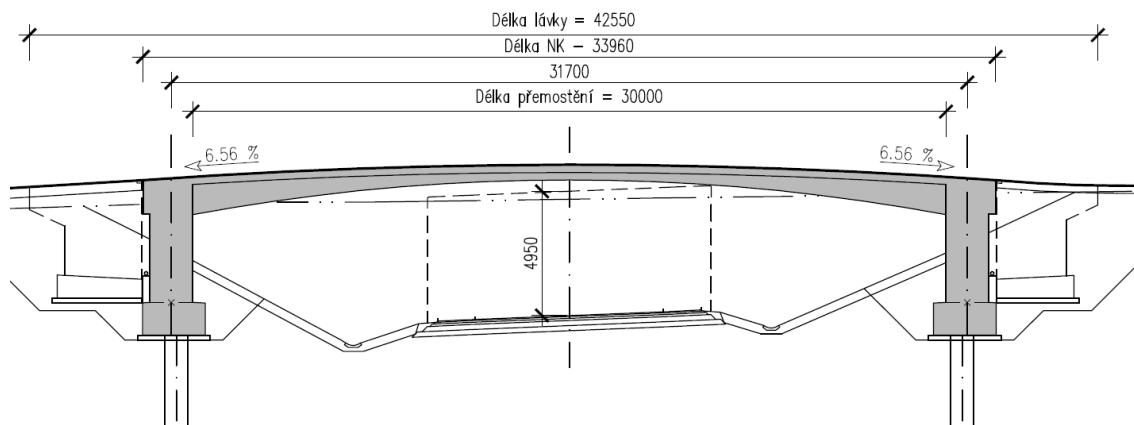
Obr. 6 Podélný řez - varianta B

3.3 VARIANTA C

Třetí variantou je rámová konstrukce s předpjatou mostovkou s obloukově zakřivenou střednicí. Mostovku tvoří deska s konstantní tloušťkou 0,3 m a obloukový náběh. Celková výška průřezu uprostřed rozpětí je 0,3 m, v líci podpory 1,5 m. Stojky rámu jsou železobetonové.



Obr. 7 Příčný řez - varianta C



Obr. 8 Podélný řez - varianta C

3.4 VÝSLEDNÁ VARIANTA

Každá navržená lávka je konstrukčním systémem odlišná, všechny mají své klady i zápory.

Varianta A je nápadná a poutavá konstrukce. Svým tvarem si dokáže získat pozornost a zaujmout. Nevýhodou je, že výrazný tvar lávky nezapadá do místních poměrů. Dalším důvodem pro zamítnutí této lávky pro širší zpracování bakalářské práce je materiálová neshoda se zadáním.

Varianta B oproti předchozí variantě splňuje podmínky zadání, její tvar však nepůsobí nijak atraktivně. Parapetní nosníky tvoří z bočního pohledu masivní vysokou stěnu, která brání výhledu jak projíždějícím řidičům pod lávkou, tak například dětem při pohybu na lávce. Pomoci by mohlo vylehčení parapetních nosníků, čímž by lávka získala vzdušnější charakter. Přesto má svoje výhody a to v bezpečnosti, kdy svým tvarem písmene U zcela zabraňuje padání nečistot na projíždějící vozidla.

Jako nejlepší návrh se jeví varianta C. Svou štíhlou konstrukcí nezasahuje do výhledu řidiče a chodcům a cyklistům umožňuje volný pohyb. Navíc působí neutrálně a skvěle zapadne do krajiny.

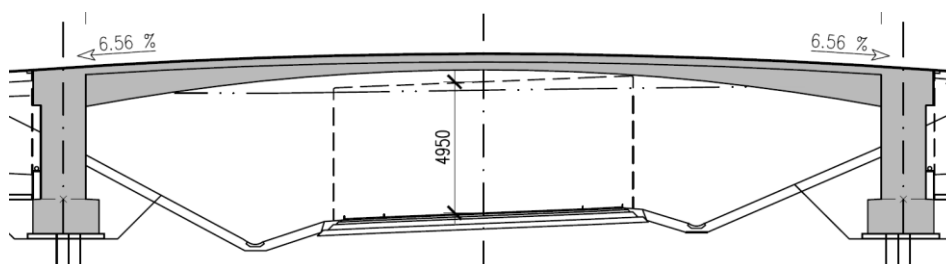
4 VOLBA GEOMETRIE

Prvotní návrh geometrie vznikl navržením příčného řezu se stanovenou volnou šířkou a vytvořením náběhu po délce konstrukce.

4.1 NOSNÁ KONSTRUKCE

Nosnou konstrukci mostního objektu lze rozdělit na rámové stojky a příčel, která tvoří mostovku.

Příčel byla navržena s obloukovým zakřivením horního i dolního povrchu. Obloukové zakřivení získala tedy i střednice, která je důležitým prvkem pro prutový model nosné konstrukce. Tvar zakřivení vychází z obrysu průjezdního profilu a tvaru zemního tělesa přemostované komunikace. Náběh byl navržen tak, aby měla příčel v blízkosti líce podpory dostatečnou ohybovou tuhost. Z těchto opatření vznikl tvar nivelety, na který mělo vliv i dodržení dovolených podélných sklonů. Největší dovolený podélný sklon je 8,33 %. Výsledný maximální sklon na 1 m délky konstrukce je 6,56 %.

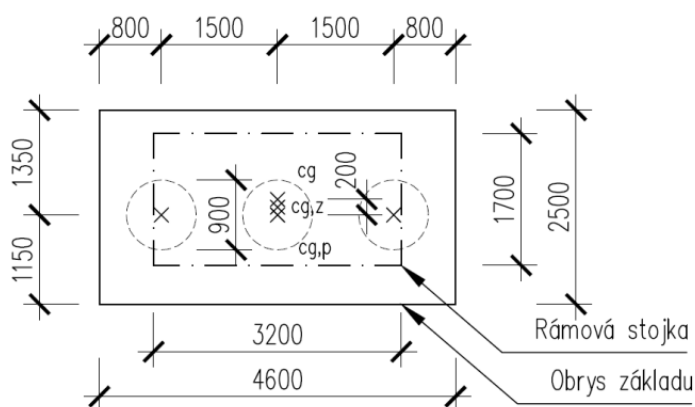


Obr. 9 Osazení NK do terénu

4.2 ZALOŽENÍ A SPODNÍ STAVBA

S ohledem na provedený geotechnický průzkum bylo zvoleno založení na pilotách. Uvažované piloty mají 0,9 m v průměru a 10 m na délku. Tato délka je brána jako dostatečná na přenesení tření do okolní zeminy, tím je zabráněno svislým posunům konstrukce. Návrh pilot a základů je idealizovaný a neověřený výpočtem. Přesto bylo přihlédnuto k vlastnostem okolní zeminy, díky kterým bylo možné spočítat pružné působení podpor.

Trojice pilot je uspořádána v jedné řadě s osovou vzdáleností 1,5 m a podpírá základovou železobetonovou monolitickou patku. Na základ navazují oddílatovaná křídla.



Obr. 10 Schéma základu a rozmístění pilot

4.3 PRUŽNÉ PODEPŘENÍ

Pro první kontrolu vnitřních sil a napětí na konstrukci bylo zvoleno vetknutí v základové spáře. To mělo za následek velký ohybový moment v patě rámové stojky a také v polovině rozpětí příčle. Po stanovení pružných podpor dle vlastností okolní zeminy došlo k výrazné změně průběhu vnitřních sil.

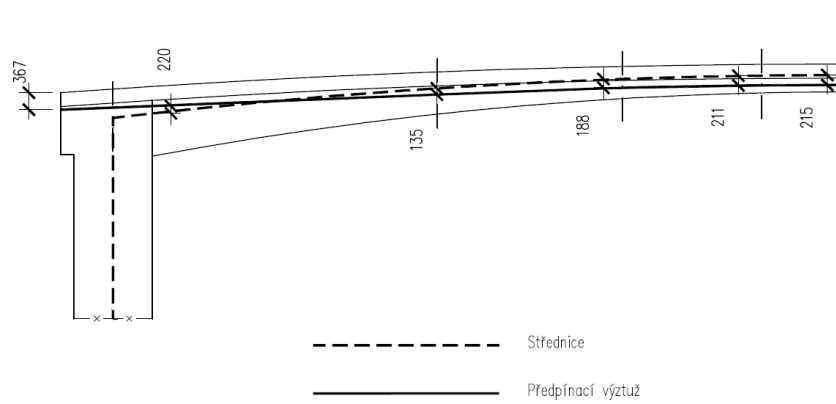
V případě rámové konstrukce je vhodné, aby uložení konstrukce bylo poddajné. Tím zajistíme, že moment v základové spáře bude menší a přesune se do rámového rohu. Tak dojde ke snížení maximálního ohybového momentu v poli příčle (viz. kapitola STUDIE).

4.4 VNESENÍ PŘEDPĚTÍ

Návrh předpětí byl klíčový pro fungování celé konstrukce. Metodou vyrovnání účinků, kdy je snahou vyrovnat pomocí předpětí momentové účinky od stálého zatížení, bylo zjištěno vhodné trasování i počet předpínacích kabelů.

Vliv předpětí byl při návrhu geometrie vnesen pomocí ekvivalentních účinků (hodnoty ekvivalentu předpětí nejsou součástí Bakalářské práce). Pro rychlejší editaci trasování a změny počtu lan byl v programu SCIA Engineer vytvořen předpínací kabel se soudržností, který sloužil i při pozdějších výpočtech vnitřních sil.

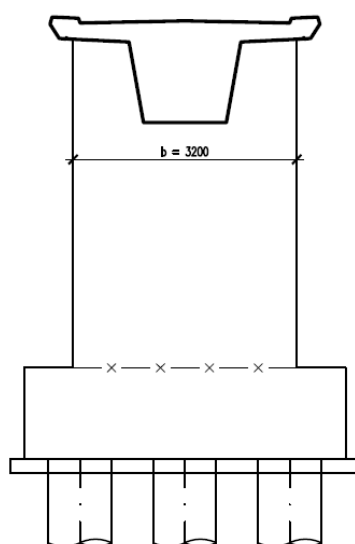
Navrženy jsou 4 kabely po 12 lanech s celkovou plochou 7200 mm^2 . Uprostřed pole je vzdálenost od spodního líce 150 mm, kotva je umístěna 367 mm od horního okraje nosné konstrukce.



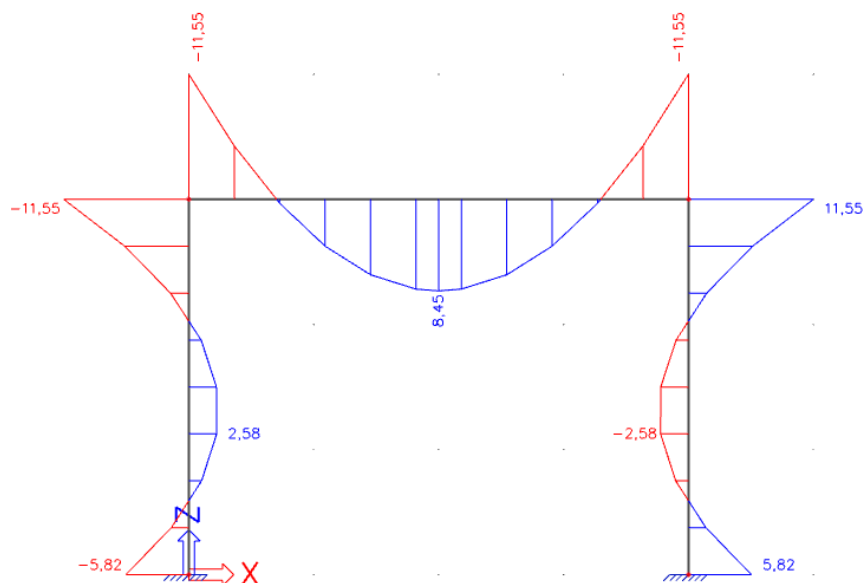
Obr. 11 Schéma trasování předpínací výztuže

4.5 GEOMETRIE RÁMOVÝCH STOJEK

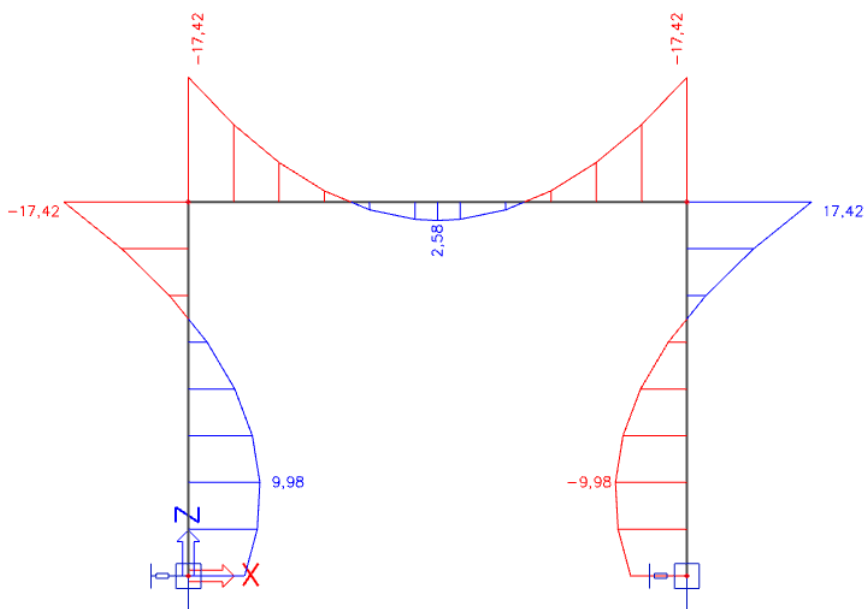
Geometrie rámových stojek, především jejich ohybová tuhost ve směru podélné osy konstrukce, má vliv na velikost předpětí, které se do konstrukce dostane. Pro subtilní průřezy se do konstrukce dostane velká část předpětí, na druhou stranu na jejím rubu (strana od přechodové oblasti) mohou vznikat velká tahová napětí. Metodou omezení trhlin pro mezní stav použitelnosti byla výška průřezu navržena na 1,7 m, šířka 3,2 m.



Obr. 12 Šířka rámové stojky



Obr. 14 Průběh ohybových momentů s vetknutím



Obr. 15 Průběh ohybových momentů při pružném podepření

Pokud by byla příčel prostý nosník, velikost maximálního momentu v poli by se rovnala 20 kNm ($\frac{1}{8} \cdot q \cdot l^2$). V obou případech pořadnice dosahuje této hodnoty, velikost momentu v polovině rozpětí závisí pouze na hodnotě rámového momentu. Z průběhu vnitřních sil je patrné, jak velký vliv má zavedení pružného podepření do výpočtového modelu. Díky tomu se ohybový moment v poli několikanásobně zmenšil a přenesl do rámového rohu, kde má konstrukce daleko větší průřez a je snazší jej vydimenzovat.

5.2 ZACHOVÁNÍ 2D MODELU

Výpočet vnitřních sil pomocí výpočtového programu byl stanoven na 2D modelu. Pro zavedení prostorového účinku pilot na základ byl proveden přepoččet, díky kterému se mohl ponechat stávající rovinný model.

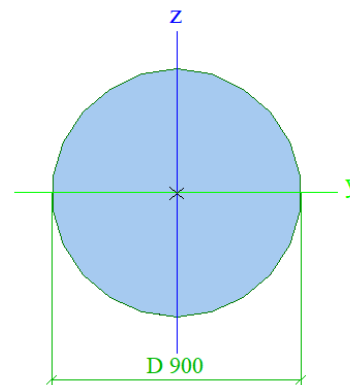
K ověření sloužil jednoduchý prutový model s pilotami, na které navazuje základ a rámová stojka. Propojení pilot se základem bylo namodelováno pomocí tuhých ramen (průřez 3,0 x 3,0 m, materiálové charakteristiky betonu C60/70 s nulovou objemovou tíhou).

Ve 2D modelu je základ podepřen pouze jednou pilotou oproti skutečnému stavu, lze pro to použít rovinný prutový model. Průměr náhradní piloty se stanoví tak, aby ohybová tuhost všech pilot v základu (3 x 0,9) odpovídala ohybové tuhosti náhradní pilotě.

$$d = 0,9 \text{ m}$$

tuhost 1 piloty:

$$I_y = \frac{\pi * d^4}{64} = \frac{\pi * 0,9^4}{64} = 3,22 * 10^{-2} \text{ [m}^4\text{]}$$



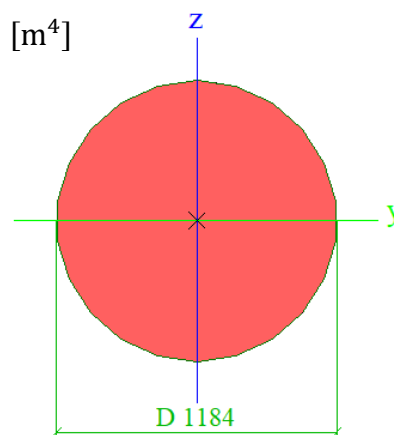
Obr. 16 Průřez piloty skutečné

tuhost 3 pilot (1 základ):

$$I_{y,3} = 3 * I_y = 3 * 3,22 * 10^{-2} = 9,662 * 10^{-2} \text{ [m}^4\text{]}$$

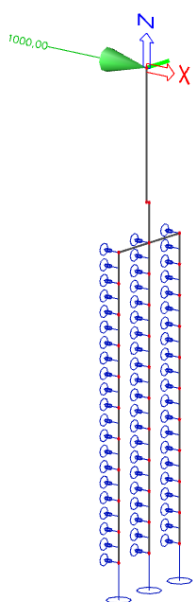
průměr idealizované piloty:

$$d_i = \sqrt[4]{\frac{I_y * 64}{\pi}} = 1,184 \text{ [m]}$$

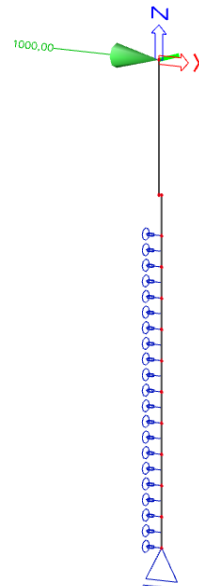


Obr. 17 Průřez piloty náhradní

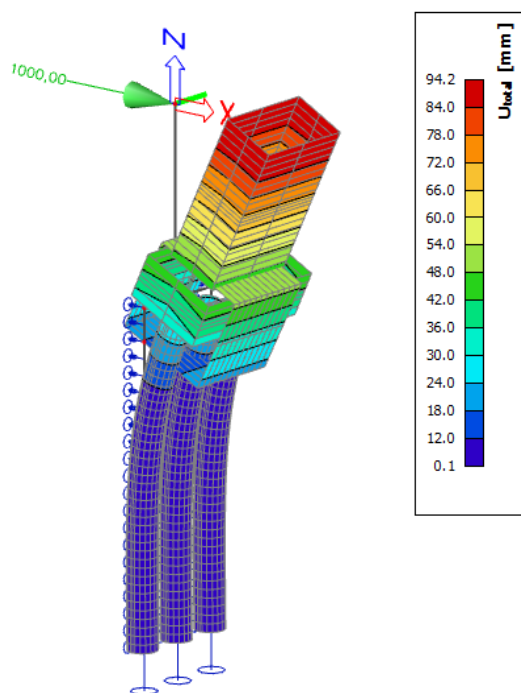
Tuhost podepření idealizované piloty je oproti 3D modelu brána trojnásobná. Správnost úvah byla ověřena překontrolováním 3D přemístění s použitím obou typů založení. Hodnoty se liší o 0,5 mm, to můžeme dávat za vinu zaokrouhlení při výpočtu průměru idealizované piloty.



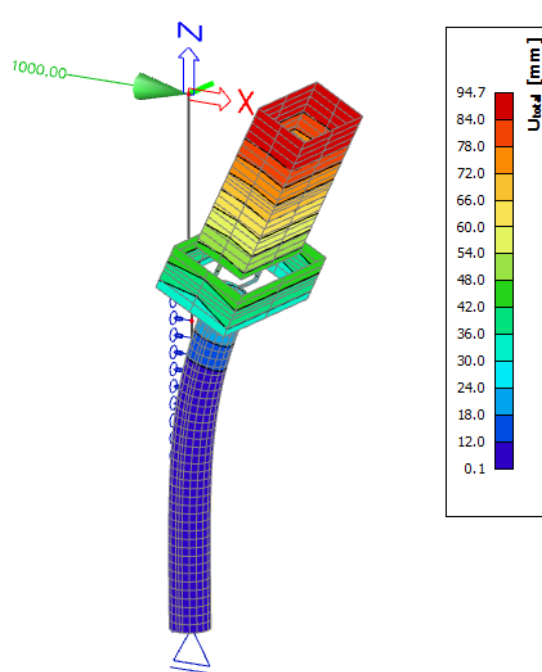
Obr. 19 Skutečný model podepření



Obr. 18 Náhradní model podepření



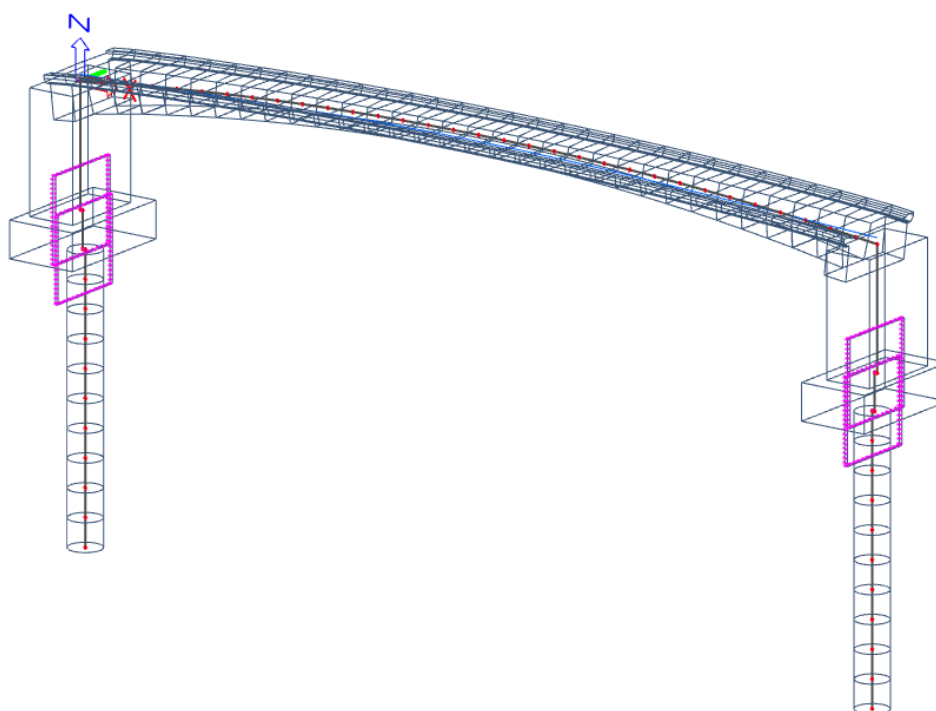
Obr. 20 Deformace skutečného základu



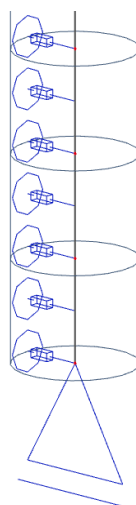
Obr. 21 Deformace náhradního modelu

6 MODEL

Vstupní geometrie vychází z AutoCADu a všechny prvky byly modelovány pomocí střednice. Pro výpočet vnitřních sil byl použit rovinný model rámu v programu SCIA Engineer 17.1 se zohledněním vlivu pružného podepření po délce pilot. Tuhosti jednotlivých pružin včetně výpočtu jsou uvedeny v příloze P3 - Statický výpočet. V patě piloty je umístěna pevná podpora v ose Z, pohybu v ose X brání pružiny po celé délce piloty s proměnnou tuhostí.



Obr. 22 Schéma modelu se zvýrazněním tuhých ramen



Obr. 23 Detail podepření v patě piloty

7 ZÁKLADNÍ ÚDAJE O LÁVCE

Délka mostního objektu	42,550 m
Délka nosné konstrukce	33,960 m
Délka přemostění	30,000 m
Počet polí	1
Šikmost	kolmá
Volná šířka	3,0 m
Šířka nosné konstrukce	3,860 m
Příčný sklon	2,0 % (střechovitý)
Podélný sklon	proměnný (max. 6,56 %)

7.1 MOSTNÍ VYBAVENÍ

Do mostního vybavení spadá zábradlí, které zajišťuje bezpečnost pohybu na lávce. Vzhledem k pohybu cyklistů byla navržena zvýšená úroveň zábradlí, které sahá do výšky 1,3 m od povrchu mostovky. Svislá výplň a naklonění zábradlí do volného prostoru lávky navíc snižuje riziko přepadení přes zábradlí. Součástí mostního objektu je revizní schodiště vždy po pravé straně na obou koncích konstrukce.

7.2 ODVODNĚNÍ

Odvodnění povrchu nosné konstrukce je zajištěno pomocí 2,0% střechovitého příčného sklonu a proměnného podélného sklonu. Na koncích nosné konstrukce jsou po obou stranách mostovky umístěny odvodňovače, které svádí vodu pod mostní objekt do odvodňovacího systému přemostované komunikace.

8 MATERIÁLOVÉ CHARAKTERISTIKY

8.1.1 Beton C30/37

Charakteristická pevnost v tlaku	$f_{ck} = 30 \text{ MPa}$
Střední pevnost v tahu	$f_{ctm} = 2,9 \text{ MPa}$
Dolní kvantil pevnosti v tahu	$f_{ctk,0,05} = 2,0 \text{ MPa}$
Modul pružnosti	$E_{cm} = 32 \text{ GPa}$
Mezní přetvoření	$\varepsilon_{cu3} = 3,5 \text{ ‰}$ $\varepsilon_{c2} = 2,0 \text{ ‰}$
Součinitel spolehlivosti	$\gamma_c = 1,5$
Součinitel účinků zat. pro mosty v tlaku	$\alpha_{cc} = 0,8$
Součinitel účinků zat. pro mosty v tahu	$\alpha_{ct} = 1,0$
Návrhová pevnost v tlaku	$f_{cd} = \alpha_{cc} * f_{ck} / \gamma_c = 16,0 \text{ MPa}$
Návrhová pevnost v tahu	$f_{ctd} = \alpha_{ct} * f_{ctk,0,05} / \gamma_c = 1,33 \text{ MPa}$

8.1.2 Beton C25/30

Charakteristická pevnost v tlaku	$f_{ck} = 25 \text{ MPa}$
Střední pevnost v tahu	$f_{ctm} = 2,6 \text{ MPa}$
Modul pružnosti	$E_{cm} = 31 \text{ GPa}$
Mezní přetvoření	$\varepsilon_{cu3} = 3,5 \text{ ‰}$

8.1.3 Betonářská výztuž B500B

Charakteristická pevnost v tahu	$f_{yk} = 500 \text{ MPa}$
Součinitel spolehlivosti	$\gamma_s = 1,15$
Návrhová pevnost v tahu	$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s = 434,78 \text{ MPa}$
Modul pružnosti	$E_s = 200 \text{ GPa}$
Poměrné přetvoření na mezi kluzu	$\varepsilon_{yd} = 2.17 \text{ ‰}$

8.1.4 Předpínací výztuž

Typ výztuže	Y 1860 S7-15,7-A
Charakteristická pevnost v tahu	$f_{pk} = 1860 \text{ MPa}$
Smluvní mez kluzu	$f_{p0,1k} = 1640 \text{ MPa}$
Modul pružnosti	$E_p = 195 \text{ GPa}$
Dílčí součinitel materiálu	$\gamma_s = 1,15$
Návrhová pevnost v tahu	$f_{pd} = f_{p0,1k} / \gamma_s = 1426,08 \text{ MPa}$
Průměr lana	$\Phi_p = 15,7 \text{ mm}$
Plocha 1 lana	$A_{p,1} = 150 \text{ mm}^2$
Průměr kabelu	$\Phi_{duct} = 80 \text{ mm}$
Průměr kabelového kanálku	$\Phi_{pk} = 85 \text{ mm}$
Maximální napínací napětí	$\sigma_{p,max} = \min\{0,8f_{pk}; 0,9f_{p0,1k}\} = 1476 \text{ MPa}$
Maximální napětí po zakotvení	$\sigma_{p0,max} = \min\{0,75f_{pk}; 0,85f_{p0,1k}\} = 1394 \text{ MPa}$

9 ZATÍŽENÍ

9.1 STÁLÉ ZATÍŽENÍ

Jako stálé zatížení byla uvažována vlastní tíha, která byla generována automaticky započítáním navržených průřezů a objemové tíhy železobetonu. Do ostatního stálého zatížení spadá tíha zábradlí a pochozí izolace, která je po celé šířce volného prostoru na lávce. Hodnota zatížení zemním tlakem, který byl stanoven jako klidový, byla stanovena z vlastností okolní zeminy, přepočítána na celou šířku rámové stojky a aplikována na prutový model.

9.2 PROMĚNNÉ ZATÍŽENÍ

Do proměnného zatížení jsou uvažovány zatížení teplotou a chodci. Teplota byla rozdělena na konstantní oteplení/ochlazení po výšce průřezu a na nerovnoměrné oteplení/ochlazení, jehož průběh po výšce průřezu byl uvažovaný jako lineární. Výchozí teplota pro stanovení teplot T_0 je 10 °C.

Zatížení chodci působí jako plošné spojitě zatížení na celé volné šířce a délce lávky. Hodnota zatížení byla přepočítána na běžný metr přenásobením plošného zatížení volnou šířkou. Obslužné vozidlo není uvažováno, před lávkou jsou na obou stranách instalovány zábrany proti vjezdu vozidel na lávku. Pro lokální účinky (návrh příčné výztuže) bylo uvažováno mimo jiné zatížení osamělým břemenem o síle 2 kN, které má zatěžovací plochu 0,1 x 0,1 m.



10 KOMBINACE

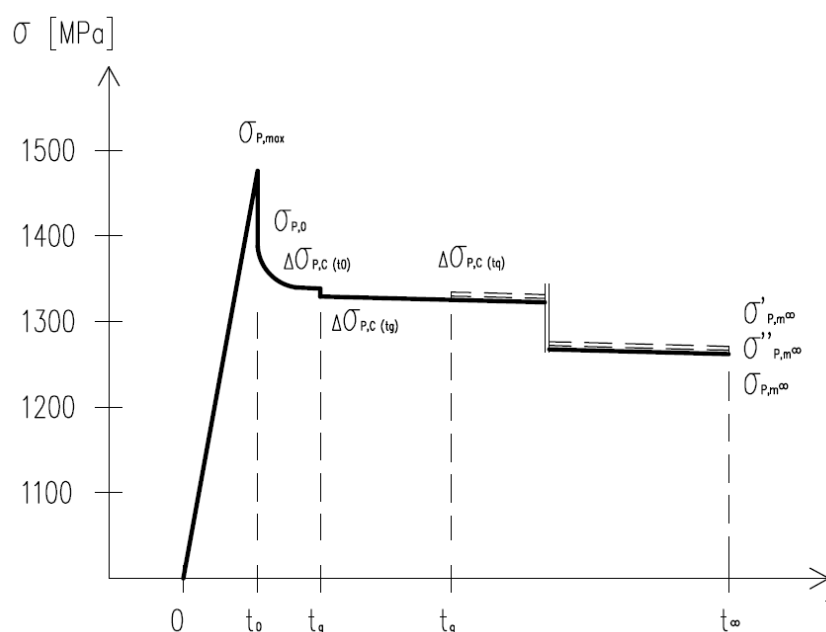
Pro stanovení návrhových vnitřních sil byly použity předpisy dle ČSN EN 1991-1. V mezním stavu únosnosti byly uvažovány kombinace 6.10a, 6.10b pro každý posuzovaný prvek a vždy byla vybrána kritická kombinace. Pro mezní stav použitelnosti byly spočítány 3 kombinace - charakteristická, častá a kvazistálá, které byly použity na výpočet omezení napětí a trhlin. Kombinace byly počítány ručně kombinací příslušných vnitřních sil a součinitelů (hodnoty vnitřních sil a součinitelů v příloze P3 - Statický výpočet).

11 ZTRÁTY

Dle vyhodnocení vnitřních sil a kombinací zatížení byla na příčli vybrána 2 kritická místa, pro které se provedly posudky. Řez 1 byl v lící rámové stojky, řez 2 uprostřed rozpětí. Pro tato místa byly stanoveny ztráty napětí. Krátkodobé ztráty třením a pokluzem byly převzaty z program SCIA. Další hodnoty krátkodobých ztrát - ztráty postupným napínáním a krátkodobou složkou relaxace výztuže + dlouhodobé ztráty byly dopočítány ručně.

Počáteční napětí $\sigma_{p,max} = 1476$ MPa

Krátkodobé ztráty se pohybují mezi 6,0 - 6,4 %, dlouhodobé ztráty pak 9,1 - 10,3 % na konci životnosti konstrukce.



Obr. 24 Průběh ztrát

12 POSUDKY

12.1 PŘÍČEL

12.1.1 Mezní stav použitelnosti

Příčel byla posouzena ve 2 řezech na omezení napětí a trhlin v betonu a také omezení napětí ve výztuži. Výsledné hodnoty ukazují, že předpětí dodává velkou předpínací sílu, díky které nevzniknou trhliny ani od charakteristické kombinace. Z těchto výsledků lze vyčíst lehké předimenzování konstrukce, které by bylo možné optimalizovat snížením počtu předpínacích lan. Vzhledem k rozsahu bakalářské práce byl návrh předpětí ponechán pro další výpočty.

12.1.2 Mezní stav únosnosti

Pro kritické řezy byla stanovena únosnost v ohybu a ve smyku. I přesto, že se předpětím nepodařilo kompletně vyrovnat ohybové účinky od zatížení, stejně jako u MSP velkou normálovou silou byla zajištěna únosnost v ohybu bez přídavné betonářské výztuže. Na únosnost ve smyku byla příčel rozdělena na místa s výskytem trhlin a bez výskytu trhlin. V úseku bez trhlin byla příčel posouzena dle pružnosti, část s trhlínami dle železobetonu. Ve všech posuzovaných místech byla smyková únosnost betonu dostatečná a výztužení je navrženo dle konstrukčních zásad.

V další části přílohy P3 - Statický výpočet byl posouzen příčný směr mostovky, kdy byla navržena příčná ohybová výztuž u horního povrchu. Náhradní model byl uvažován jako konzola s vetknutím do trámu. Výztuž byla navržena na ohybové účinky (M_{\max} ve vetknutí) vlastní tíhy, ostatního stálého a proměnného zatížení.

12.2 RÁMOVÁ STOJKA

12.2.1 Mezní stav použitelnosti

Tímto posudkem byl ověřen vznik trhlin na železobetonových rámových stojkách. Byly vytvořeny kombinace zatížení pro rámový roh a patu stojky, do výpočtu byly dosazeny hodnoty z rámového rohu, kde vzniká větší ohybový moment a menší normálová síla, která má příznivé účinky.

12.2.2 Mezní stav únosnosti

Pro rámovou stojku byl spočítán interakční diagram, který ověřuje únosnost pro všechny kombinační hodnoty. Ty byly spočítány jako maximální normálová síla a odpovídající moment a naopak, vždy pro rámový roh a patu stojky. Zároveň byla navržena smyková výztuž dle konstrukčních zásad, smyková únosnost betonu se ukázala jako dostačující.

12.3 KOTEVNÍ OBLAST

V poslední kapitole statického výpočtu byla navržena a posouzena výztuž v kotevní oblasti. Rozmístění kotev bylo navrženo dle katalogu výrobce (Freyssinet). V oblasti pod kotvou byla posouzena spirála doporučená výrobcem na tahové účinky v přidruženém hranolu. Uspořádání kotev a další výpočty jsou uvedeny v příloze P3 - Statický výpočet.



13 ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce byl návrh a statický výpočet lávky u obce Kámen. Celkem byly navrženy 3 možné studie, z nichž varianta předpjatého rámu byla podrobněji zpracována. Díky výpočtovému modelu byl proveden výpočet vnitřních sil, jeho hlavní výhodou bylo rychlé přepočítání a kontrola výsledků při úpravách v geometrii a návrhu předpětí v konstrukci. Na vybrané účinky zatížení byla konstrukce v kritických řezech posouzena na mezní stav únosnosti a použitelnosti. Výpočet doplňuje návrh příčné ohybové výztuže mostovky a návrh vyztužení kotevní oblasti.

14 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] ČSN 73 6201 *Projektování mostních objektů*. ČNI, Praha, 2008
- [2] ČSN EN 1990 ed 2 *Zásady navrhování konstrukcí*. ÚNMZ, Praha, 2011
- [3] ČSN EN 1991-1-5 *Zatížení konstrukcí. Obecná zatížení - zatížení teplotou*. ČNI a ÚNMZ, Praha, 2005 až 2011
- [4] DUCHÁČ, Petr, RŮŽIČKA, Stanislav, KLUSÁČEK, Ladislav. *Konstrukce z předpjatého betonu a jejich statická analýza. Sbíрка příkladů*. Brno: VUT, fakulta stavební. 2012.
- [5] FREYSSINET. *Předpínací systém Freyssinet*. [online]. [cit. 2017-05-10].
Dostupné z:
http://www.freyssinet.cz/gallery/predpinaci_system_freyssinet.pdf
- [6] MASOPUST, Jan. *Vrtané piloty*. [online]. [cit. 2017-03-24]. Dostupné z:
<http://www.vrtanepiloty.cz/>
- [7] NEČAS, Radim, KOLÁČEK, Jan, PANÁČEK, Josef. *Betonové mosty I - zásady navrhování*. Brno, 2014. ISBN 978-80-214-4979-4.
- [8] *Politika jakosti pozemních komunikací: VL a TP* [online]. [cit. 2017-05-03].
Dostupné z: <http://www.pjpk.cz>
- [9] ŠTĚPÁNEK, Petr, TERZIJSKI, Ivailo, LANÍKOVÁ, Ivana a kol. *BL01 Prvky betonových konstrukcí. Výukové texty, příklady a pomůcky*. Brno: VUT, fakulta stavební, 2015.
- [10] WEIGLOVÁ, Kamila. *Mechanika zemin*. 1. vyd., Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2007. ISBN 80-7204-507-5.

15 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

Písmena řecké abecedy

α_{cc}	součinitel nepřízn. dlouhodobých účinků zatížení pro beton v tlaku
γ_c	dílčí součinitel betonu
γ_s	dílčí součinitel betonářské nebo předpínací oceli
γ_G	dílčí součinitel stálého zatížení
γ_P	dílčí součinitel zatížení od předpětí
γ_Q	dílčí součinitel proměnného zatížení
Δ	změna
$\Delta\sigma_p$	změna napětí v předpínací výztuži
ε_c	poměrné přetvoření betonu
ε_{cu}	mezní poměrné přetvoření betonu
ε_s	poměrné přetvoření betonářské oceli
ε_p	poměrné přetvoření předpínací oceli
θ	úhlová změna; úhel trhlin
λ_p	součinitel změny předpětí
μ	součinitel tření
ρ	stupeň vyztužení
σ_{cd}	napětí v dolních vláknech betonu
σ_{ch}	napětí v horních vláknech betonu
σ_p	základní napětí v předpínací výztuži
$\sigma_{p0,max}$	předpínací napětí
$\sigma_{pm0,max}$	maximální napětí v předpínací výztuži po zakotvení
σ_{pm0}	napětí v předpínací výztuži po zakotvení
$\sigma_{pm\infty}$	napětí v předpínací výztuži v čase životnosti
σ_{sd}	návrhová snižená mez kluzu betonářské oceli
$\varphi(t,\tau)$	součinitel dotvarování
\emptyset	průměr
ψ	součinitel definující reprezentativní hodnoty proměnného zatížení
ψ_0	pro kombinační hodnoty
ψ_1	pro časté hodnoty
ψ_2	pro kvazistálé hodnoty

Písmena latinské abecedy

A	plocha
A_c	plocha betonového průřezu
$A_{c,r}$	plocha betonového průřezu oslabeného kabelovými kanálky
A_p	průřezová plocha předpínací výztuže
A_{p1}	průřezová plocha jednoho lana předpínací výztuže
A_s	průřezová plocha betonářské výztuže
A_{sw}	průřezová plocha smykové výztuže
b	šířka
c	krytí výztuže, přesah roznosu zatížení

d	účinná výška průřezu
e	excentricita
e_{pr}	excentricita předpínací síly
E_{cm}	sečnový modul pružnosti betonu
$E_{c,e,f}$	účinný modul pružnosti betonu
E_p	návrhová hodnota modulu pružnosti předpínací oceli
E_s	návrhová hodnota modulu pružnosti betonářské oceli
F_{cc}	síla v tlačeném betonu
ΔF_p	zbytková síla v předpínací výztuži
F_{st}	síla v betonářské výztuži
f_{cd}	návrhová pevnost betonu v tlaku
f_{ck}	charakteristická válcová pevnost betonu v tlaku ve stáří 28 dní
f_{ctm}	průměrná hodnota pevnosti betonu v dostředném tahu
f_{pd}	návrhová pevnost předpínací oceli v tahu
f_{pk}	charakteristická pevnost předpínací oceli v tahu
$f_{p0,1k}$	charakteristická smluvní mez kluzu 0,1% předpínací oceli
f_{yd}	návrhová mez kluzu betonářské oceli
f_{yk}	charakteristická mez kluzu betonářské oceli
g_k	charakteristické stálé zatížení na plochu [$kN \cdot m^{-2}$]
h	výška
I_c	moment setrvačnosti betonového průřezu
$I_{c,r}$	moment setrvačnosti betonového průřezu oslabeného kabel. kanálky
$I_{c,i}$	moment setrvačnosti ideálního betonového průřezu
k	součinitel (obecně)
l	délka
M	ohybový moment
M_{ed}	návrhová hodnota působícího ohybového momentu
M_{Rd}	návrhová hodnota momentu únosnosti
n	počet
N_{ed}	návrhová hodnota působící normálové síly
P	předpínací síla
P_{k0}	charakteristická hodnota předpínací síly po zakotvení
$P_{k\infty}$	charakteristická hodnota předpínací síly v čase životnosti
P_{m0}	předpínací síla po zakotvení
$P_{m\infty}$	předpínací síla v čase životnosti
q_k	charakteristické proměnné zatížení na plochu [$kN \cdot m^{-2}$]
Q_k	charakteristické proměnné zatížení osamělým břemenem [kN]
V_{ed}	návrhová hodnota posouvající síly
V_{Rd}	návrhová smyková únosnost
W	modul průřezu
$W_{c,r}$	modul betonového průřezu oslabeného kabelovými kanálky
x	vzdálenost neutrální osy od nejvíce tlačeného okraje
z	rameno vnitřních sil
z_{cc}	rameno vnitřních sil mezi neutrální osou a tlačeným betonem
z_{pt}	rameno vnitřních sil mezi neutrální osou a předpínací výztuží
z_{st}	rameno vnitřních sil mezi tlačeným betonem a betonářskou výztuží



16 SEZNAM PŘÍLOH

P1 - Podklady, studie a vizualizace

P1.01	Podklady
P1.02	Varianta A
P1.03	Varianta B
P1.04	Varianta C
P1.05	Vizualizace

P2 - Přehledné a podrobné výkresy

P2.01	Půdorys	1:100
P2.02	Podélný řez	1:100
P2.03	Vzorový příčný řez	1:25
P2.04	Řez v ose 1	1:50
P2.05	Řez v ose 2	1:50
P2.06	Výkres předpínací výztuže NK	
P2.07	Výkres výztuže NK	

P3 - Statický výpočet

Prohlášení o shodě listinné a elektronické formy práce

Popisný soubor závěrečné práce

17 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Situace I/19 v místě křížení.....	11
Obr. 2 Příčný řez terénem, podélný řez v ose lávky.....	11
Obr. 3 Příčný řez - varianta A	12
Obr. 4 Podélný řez - varianta A.....	13
Obr. 5 Příčný řez - varianta B	13
Obr. 6 Podélný řez - varianta B.....	14
Obr. 7 Příčný řez - varianta C	14
Obr. 8 Podélný řez - varianta C.....	15
Obr. 9 Osazení NK do terénu	16
Obr. 10 Schéma základu a rozmístění pilot	17
Obr. 11 Schéma trasování předpínací výztuže	18
Obr. 12 Šířka rámové stojky	18
Obr. 13 Zatížení rámu	19
Obr. 14 Průběh ohybových momentů s vetknutím	20
Obr. 15 Průběh ohybových momentů při pružném podepření.....	20
Obr. 16 Průřez piloty skutečné	21
Obr. 17 Průřez piloty náhradní	21
Obr. 18 Náhradní model podepření	22
Obr. 19 Skutečný model podepření.....	22
Obr. 20 Deformace skutečného	22
Obr. 21 Deformace náhradního modelu.....	22
Obr. 22 Schéma modelu se zvýrazněním tuhých ramen.....	23
Obr. 23 Detail podepření v patě piloty	23
Obr. 24 Průběh ztrát.....	28