



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

OBLOUKOVÁ LÁVKA

ARCH PEDESTRIAN BRIDGE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Michal Fadrný

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. JAN KOLÁČEK, Ph.D.

BRNO 2020



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	Michal Fadrný
Název	Oblouková lávka
Vedoucí práce	Ing. Jan Koláček, Ph.D.
Datum zadání	30. 11. 2019
Datum odevzdání	22. 5. 2020

V Brně dne 30. 11. 2019

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

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

PODKLADY A LITERATURA

Podklady:

Situace, příčný a podélný řez, geotechnické poměry

Základní normy:

ČSN 736201: Projektování mostních objektů

ČSN 73 6214: Navrhování betonových mostních konstrukcí

ČSN EN 1990 včetně změny A1: Zásady navrhování konstrukcí

ČSN EN 1991-2: Zatížení mostů dopravou

ČSN EN 1992-1-1: Navrhování betonových konstrukcí. Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby

ČSN EN 1992-2: Betonové mosty - Navrhování a konstrukční zásady

Literatura: na základě doporučení vedoucím práce

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Na zadaný problém zpracujte dvě až tři studie lávky pro pěší o jednom poli včetně jejich zhodnocení. Dále se zaměřte na návrh vybrané obloukové konstrukce o jednom poli. Pro kolmý most můžete provést úpravy v niveletě, popř. v profilu řeky včetně délky přemostění.

Dimenzování proveďte podle mezních stavů v rozsahu stanoveném vedoucím práce. Ostatní úpravy provádějte podle pokynů vedoucího práce.

Požadované výstupy:

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

Přílohy textové části:

P1. Podklady, studie a vizualizace

P2. Přehledné a podrobné výkresy zvoleného návrhu mostu

P3. Statický výpočet (v rozsahu určeném vedoucím práce)

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

STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část závěrečné práce zpracovaná podle platné Směrnice VUT "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací" a platné Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací na FAST VUT" (povinná součást závěrečné práce).

2. Přílohy textové části závěrečné práce zpracované podle platné Směrnice VUT "Úprava, odevzdávání, a zveřejňování závěrečných prací" a platné Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací na FAST VUT" (nepovinná součást závěrečné práce v případě, že přílohy nejsou součástí textové části závěrečné práce, ale textovou část doplňují).

Ing. Jan Koláček, Ph.D.

Vedoucí bakalářské práce

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá návrhem obloukové lávky přes řeku Dyji v Břeclavi. V úvodu práce je vypracována studie, ve které porovnáváme vhodnost volby konstrukčního řešení zavěšení mostovky na oblouk. Zpracováváme dva typy zavěšení mostovky na oblouk. V první variantě řešíme zavěšení pomocí 14 šikmých konstrukčních táhle, v druhé pomocí 14 přímých konstrukčních táhel. Dále je zpracováno třetí alternativní konstrukční řešení lávky. Pro statický výpočet je zvolena varianta oblouku se šikmými konstrukčními táhly.

KLÍČOVÁ SLOVA

oblouková lávka, železobeton, předpjatý beton, ocelový oblouk, konstrukční táhla, mezní stav únosnosti, mezní stav použitelnosti

ABSTRACT

This bachelor's thesis target on design of arch pedestrian bridge over the Dyje river in the town of Břeclav. At the beginning of the paper, we compare two suspensions structures. Simultaneously we look for the best structural option out of the two. The first model is deck suspended on 14 oblique suspension cables. The second model is deck suspended on straight suspension cables. The third alternative model is made too. We choose deck suspended on 14 oblique suspension cables for structural analysis.

KEYWORDS

arch pedestrian bridge, reinforced concrete, prestressed concrete, steel arch, suspension cables, ultimate limit state, service limit state

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Michal Fadrný *Oblouková lávka*. Brno, 2020. 34 s., 223 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav betonových a zděných konstrukcí.
Vedoucí práce Ing. Jan Koláček, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané bakalářské práce s názvem *Oblouková lávka* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 1. 3. 2020

Michal Fadrný
autor práce

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

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

V Brně dne 1. 3. 2020

Michal Fadrný
autor práce

PODĚKOVÁNÍ

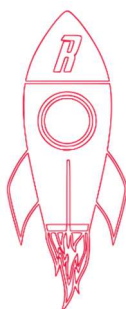
Slovy nikdy dostatečně nevyjádřím vděk osobám, kterým budou tyto věty určeny.

Rodině. Mámě, tátovi a mojí malé sestřičce (20 let) za nekonečnou lásku, duševní podporu, dávku sebereflexe a disciplíny ať už časech, kdy mi bylo nejhůř, ale i v každém dalším okamžiku mého života. Bez Vás bych nikdy nedokázal nic, čeho jsem v životě dosáhl. Děkuji Vám za Vás.

Největším frajerům na této fakultě. Raketákům. Editě Kunčarové, Davidu Fišmanovi, Nazaru Hudymovi a Zbyňku Zajacovi. Vždy jsem byl přesvědčený o tom, že kamarády na celý život si člověk najde hlavně na střední škole. Vy jste mi to vyvrátili. Společnými silami jste mi studium ulehčovali nejen z hlediska studijního, ale hlavně z hlediska psychické pohody. Bez Vás bych skončil po pár letech na téhle fakultě v bílé svěrací kazajce v psychiatrické nemocnici v Bohnicích. Děkuji.

Nejlepšímu kamarádovi, spolubydlícímu a budoucímu doktorovi Vojtěchovi Domanskému. Za všechny dny, kdy naše chování hraničilo s mentální demencí, za obrovskou psychickou podporu, za inspiraci tvou disciplínou ať už při studiu, nebo při dosahování jiných cílů. Děkuji.

A v neposlední řadě vedoucímu mé práce, panu Janu Koláčkovi. Za nadstandardní přístup, ochotu, trpělivost, cenné rady a komunikaci, která ulehčila celý proces zpracování této práce. Děkuji.



OBSAH

1. Úvod.....	9
2. Podklady.....	9
3. Varianty řešení.....	9
Varianta A.....	9
Varianta B.....	9
Varianta C.....	10
4. Průvodní část ke studii.....	11
4.1 Ověření vhodnosti navržené geometrie oblouku.....	11
4.2 Rektifikace závěsů.....	13
4.3 Shrnutí výsledků po rektifikaci.....	15
5. Průvodní část ke statickému výpočtu.....	17
5.1 Základní geometrie.....	17
5.2 Výpočtový model.....	18
5.3 Zatížení.....	19
5.4 Kombinace.....	20
5.5 Předpětí.....	22
5.6 Krytí.....	24
5.7 Úprava rektifikace.....	24
5.8 Okamžité ztráty předpětí.....	24
5.9 Provozní ztráty předpětí.....	26
5.10 Mezní stav použitelnosti.....	26
5.11 Mezní stav únosnosti.....	27
5.12 Posouzení smyku.....	29
5.13 Posouzení kroucení.....	29
5.14 Štěpné síly pod kotvami předpínacích lan.....	31
5.15 Posouzení oblouku na normálové namáhání.....	32
6. Závěr.....	32
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ.....	33
SEZNAM PŘÍLOH.....	34

1. Úvod

Tato bakalářská práce se bude zabývat návrhem obloukové lávky, která přemostuje řeku Dyji v Břeclavi v blízkosti Domova seniorů a SVK Břeclav. Návrh lávky je proveden z důvodu propojení turistických koridorů ve dvou separovaných částech města Břeclavi.

V úvodu se budeme zabývat studii, kde porovnáme dvě varianty zavěšení mostovky z hlediska statického. V první variantě bude provedeno zavěšení pomocí šikmých konstrukčních ocelových táhel, ve druhé variantě to budou táhla rovná. V obou variantách se bude uvažovat lávka o teoretickém rozpětí 57 m s obloukem o vzepětí 9 m.

V další části bude proveden statický výpočet jedné z vybraných variant a dále zpracována výkresová dokumentace.

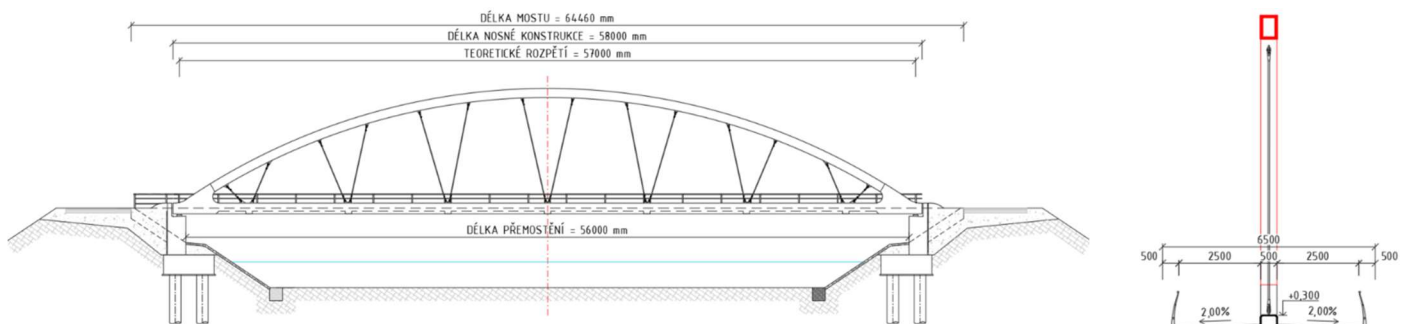
2. Podklady

Předběžný návrh konstrukce byl zhotoven na základě měření, které bylo provedeno v lokalitě budoucí stavby.

3. Varianty řešení

Varianta A

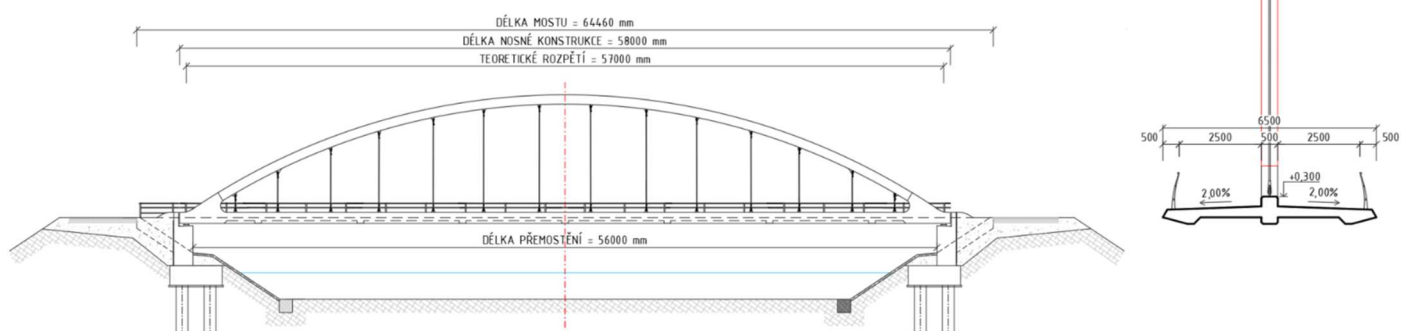
První varianta je oblouková lávka se šikmými konstrukčními táhly. Mostovka je zachycena na tenkostěnný ocelový oblouk v sedmi místech po 7,7 m. Každé místo je vyvedeno dvojicí konstrukčních ocelových táhel. Na oblouku se táhla opakují po přibližné vzdálenosti 4 m a dělí oblouk na 15 částí. Vzepětí oblouku je 9 m. Konstrukce je kotvena pomocí šestice vrтанých pilot o průměru 900 mm.



Varianta B

V druhé variantě se budeme zabývat mostovku zachycenou čtrnácti příkými táhly, které vychází ze stejných míst tenkostěnného oblouku jako v první variantě. Táhla se opakují po přibližné vzdálenosti 3,5 m až 4 m.

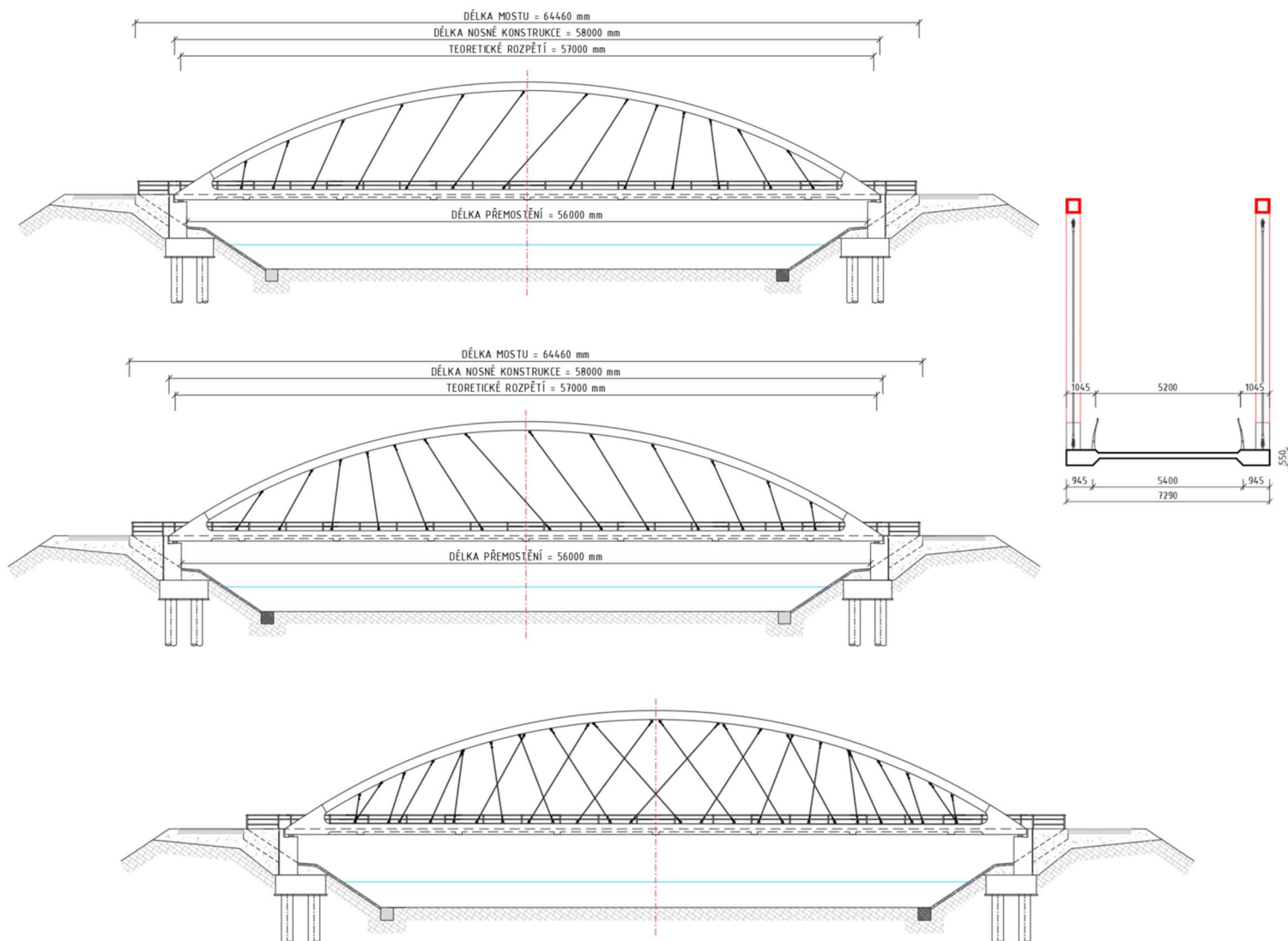
Konstrukce je kotvena pomocí šestice vrтанých pilot o průměru 900 mm.



Varianta C

Ve třetí variantě jsme zvolili obloukovou lávku atypickým zavěšením mostovky pomocí konstrukčních táhel. Směr zavěšení táhel je na každém oblouku proveden v obráceném směru, což po spojení obou směrů vytváří architektonicky velmi zajímavé řešení.

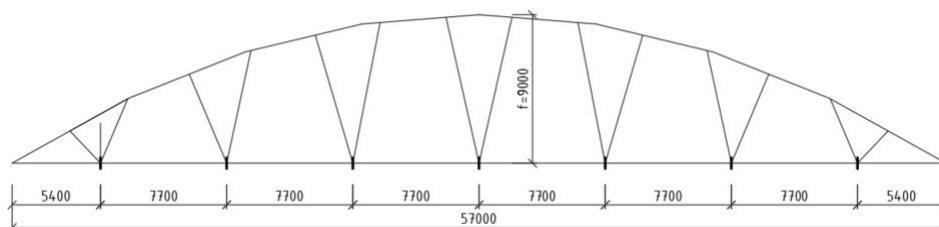
U této konstrukce bychom předpokládali možnost použití menší dimenze pro prvky oblouku a konstrukčních táhel z důvodu duplikace oblouku. Z povahy zavěšení bychom naopak předpokládali větší namáhání v kroucení mostovky.



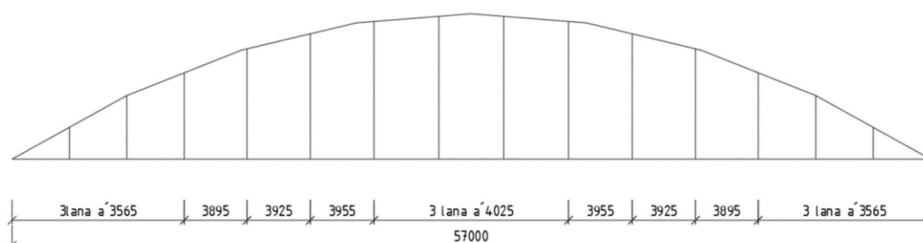
4. Průvodní část ke studii

Pro obě řešené varianty jsme vymezili předběžnou geometrii všech konstrukčních prvků. Průřez mostovky i ocelového oblouku i je totožný pro obě konstrukce. Stejný je i počet použitých konstrukčních táhel a také místa kotvení táhel na oblouku.

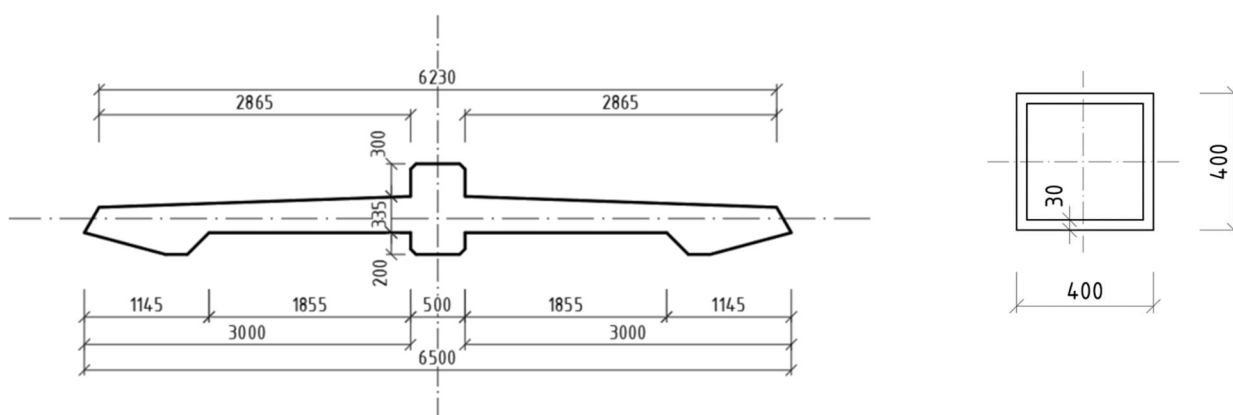
Oblouková lávka se šikmými konstrukčními táhly



Oblouková lávka s přímými konstrukčními táhly



Průřez betonové mostovky a ocelového oblouku



4.1 Ověření vhodnosti navržené geometrie oblouku

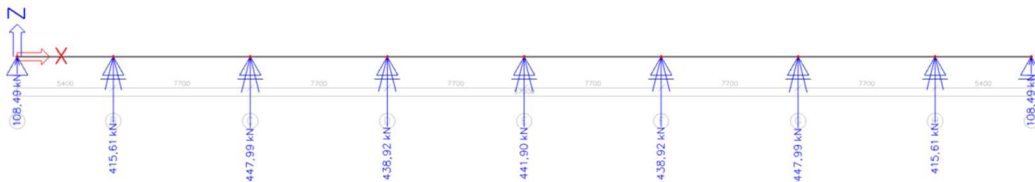
To, že je oblouk navržen v ideálním tvaru poznáme tak, že výsledný ohybový moment na prostém nosníku (kterým idealizujeme oblouk) je co nejvíce podobný tvaru oblouku. Abychom ověřili tento předpoklad, postupujeme v těchto krocích.

V prvním kroku si představíme konstrukci mostovky jako spojitý nosník a místa zavěšení nahradíme posuvnými podporami/pevnou podporou. Určíme reakce v místech zavěšení od působení vlastní tíhy mostovky. Jediným působícím zatížením je tedy vlastní tíha mostovky.

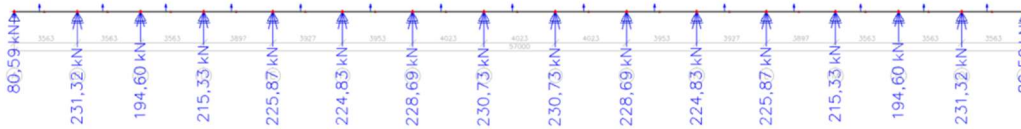
Vlastní tíhu můžeme určit buď teoretickým výpočtem $g_0 = A_c \cdot \gamma_c$, nebo můžeme nechat software uvažovat při výpočtu vlastní tíhu zadaného betonového průřezu.

Pro obě konstrukce se idealizace na prostý nosník liší z důvodu odlišného zavěšení mostovky.

Oblouk se šikmými konstrukčními táhly



Oblouk s přímými konstrukčními táhly



L [m]	R _{ix} [kN]
0	108,49
5,4	415,61
13,1	447,99
20,8	438,92
28,5	441,9
36,2	438,92
43,9	447,99
51,6	415,61
57	108,49

L [m]	R _{ix} [kN]
0	80,59
3,563	231,32
7,125	194,6
10,688	215,33
14,584	225,87
18,511	224,83
22,465	228,69
26,488	230,73

Když známe reakce od vlastní tíhy mostovky, přejdeme k výpočtu momentu na oblouku, který budeme idealizovat jako prostý nosník o stejném rozpětí, jako když jsme počítali reakce od mostovky.

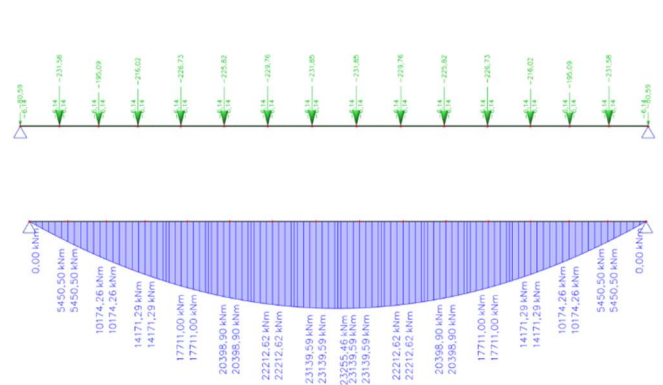
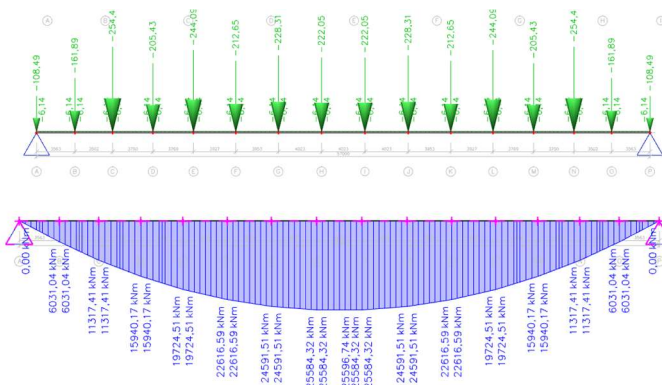
Pro výpočet budeme uvažovat:

- spojité zatížení** – působení vlastní tíhy oblouku $g_{0,obl}$
- bodové zatížení** – vlastní tíha ocelových táhel
- bodové zatížení** – reakce od mostovky v místech zavěšení – ty musíme přerozdělit pro variantu se šikmými táhly přerozdělit do 2 silových složek, které budou odpovídat působení 2 šikmých lan jež mostovku v daném bodě vynášejí – vznikne nám **svislá a vodorovná** složka síly pro každé lano

Zatížení prostého nosníku sumarizovaným zatížením

Oblouk se šikmými konstrukčními táhly

Oblouk s přímými konstrukčními táhly



Nyní porovnáme výsledné momenty s reálným rozměrem oblouku. Vidíme, že u obou variant jsme se dobrali k téměř přesnému vystižení momentového obrazce.

L [m]	M(x) [kNm]	Rozměry paraboly z vypočítaného momentu	Kontrolní výška v místě zavěšení [m]	Rozdíl [m]	Rozdíl [mm]
0,000	0,00	0,000	0,000	0,000	0
3,563	6031,04	2,121	2,109	-0,011	-11
7,065	11317,41	3,979	3,909	-0,070	-70
10,815	15940,17	5,605	5,535	-0,070	-70
14,584	19724,51	6,935	6,854	-0,081	-81
18,511	22616,59	7,952	7,894	-0,058	-58
22,465	24591,51	8,647	8,596	-0,050	-50
26,488	25584,32	8,996	8,955	-0,040	-40
28,500	25596,74	9,000	9,000	0,000	0

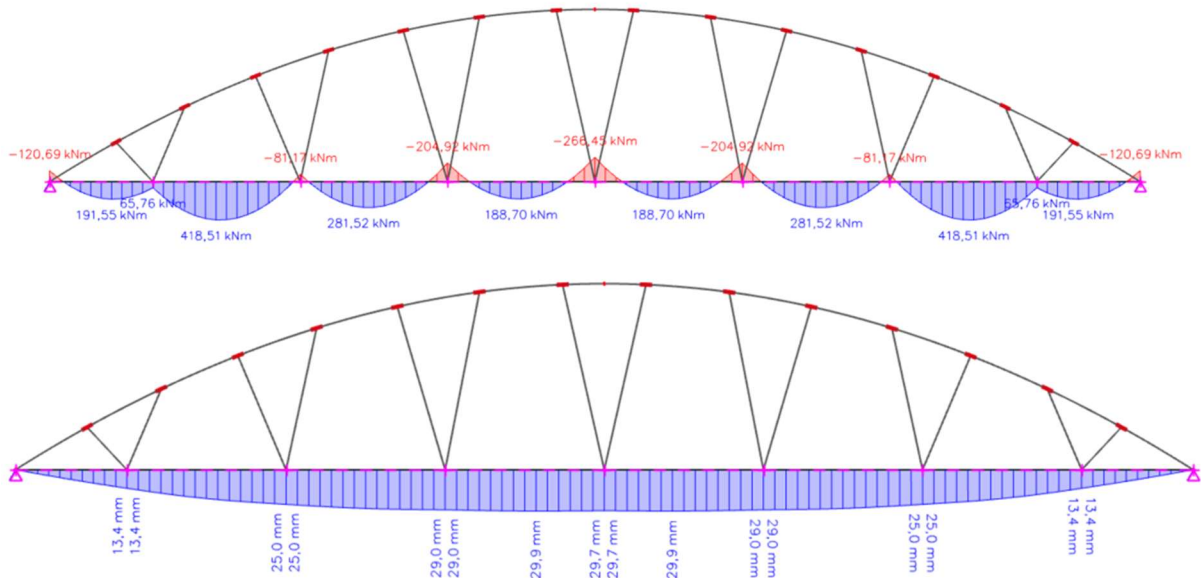
L [m]	M(x) [kNm]	Rozměry paraboly z vypočítaného momentu	y(x) ≈ Délka závěsných lan [m]	Rozdíl [m]	Rozdíl [mm]
0	0,000	0,000	0,000	0,0000	0,0
3,563	5450,500	2,109	2,110	0,0003	0,3
7,125	10174,260	3,937	3,938	0,0000	0,0
10,688	14171,290	5,484	5,485	0,0002	0,2
14,584	17711,000	6,854	6,854	0,0000	0,0
18,511	20398,9	7,894	7,894	-0,0001	-0,1
22,465	22212,620	8,596	8,596	0,0000	0,0
26,488	23139,590	8,955	8,955	0,0000	0,0

4.2 Rektifikace závěsů

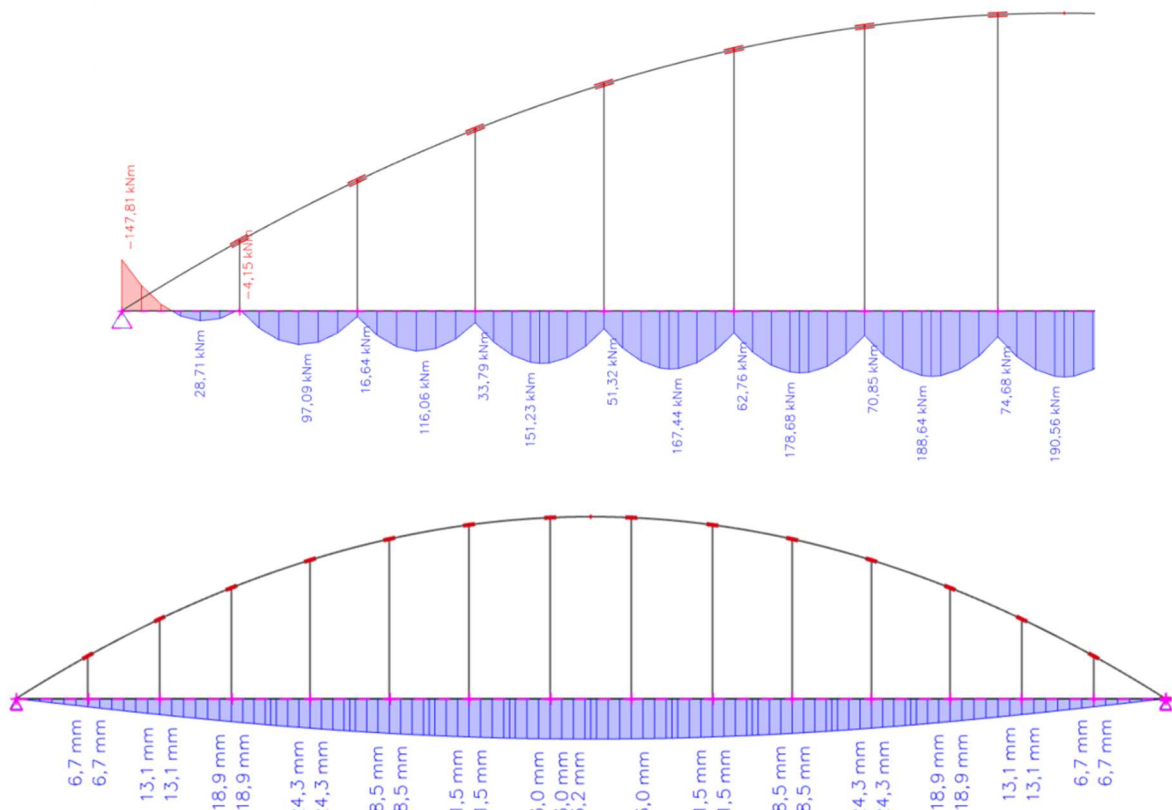
Pomocí rektifikace táhel se budeme snažit, aby mostovka působila jako spojitý nosník. Budeme tedy vyrovnávat momenty k nule. Zároveň budeme usilovat o vymizení průhybu na mostovce.

Moment M_y a průhyb na mostovce před rektifikací

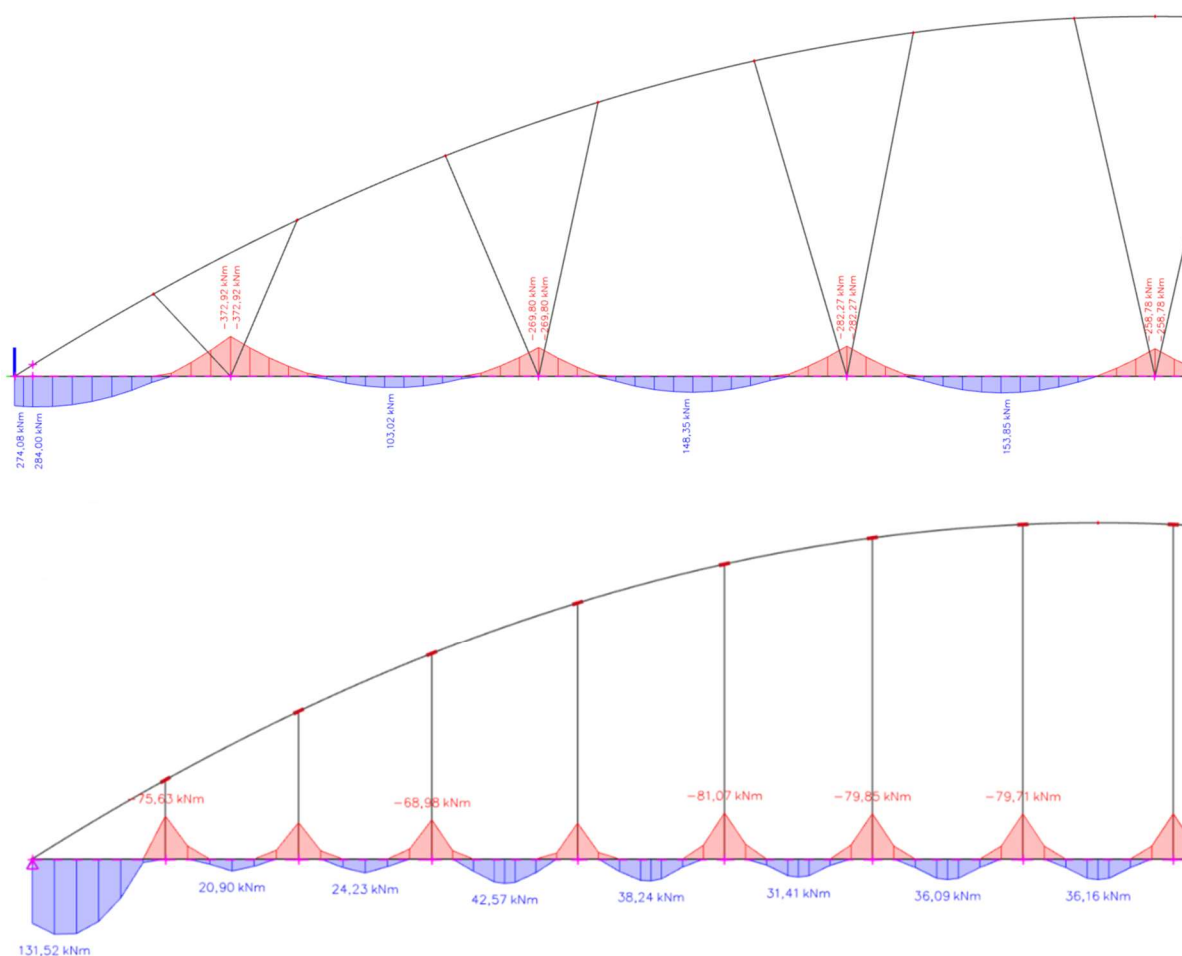
Oblouk se šikmými konstrukčními táhly



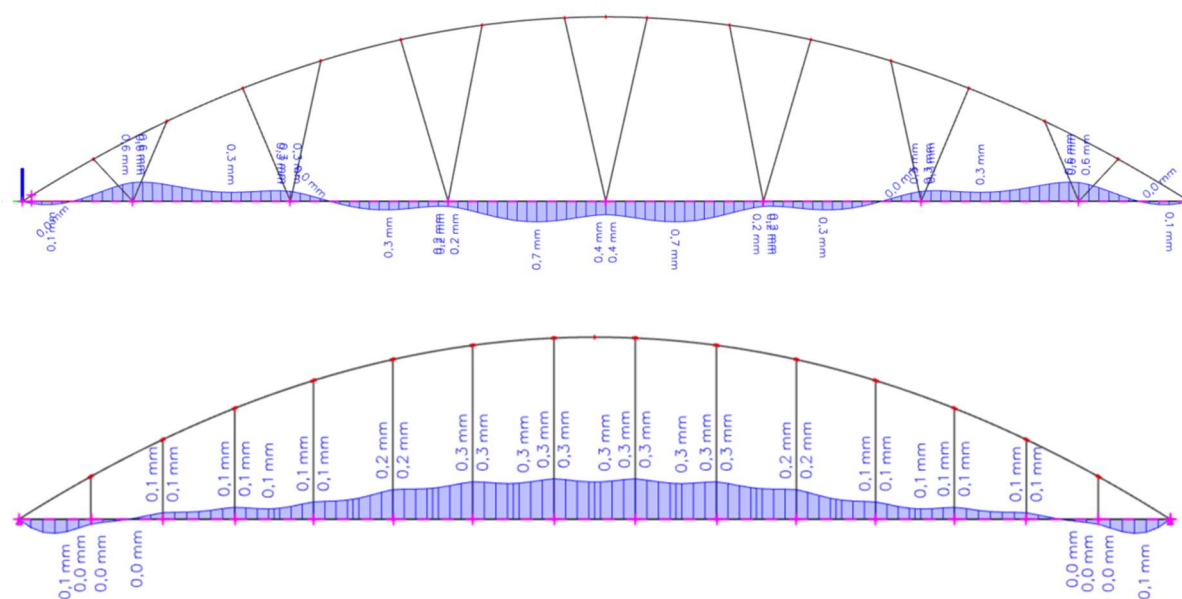
Oblouk s přímými konstrukčními táhly



Moment M_y na mostovce po rektifikaci



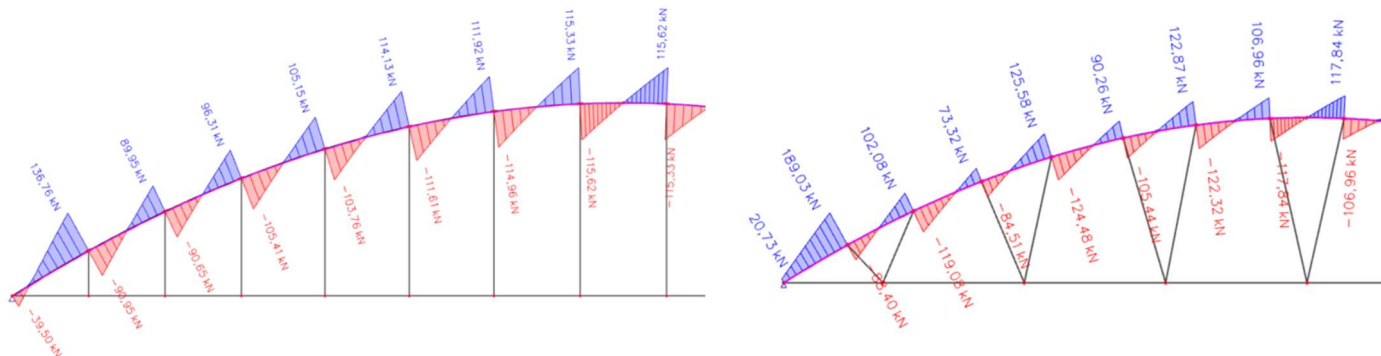
Průhyb na mostovce po rektifikaci



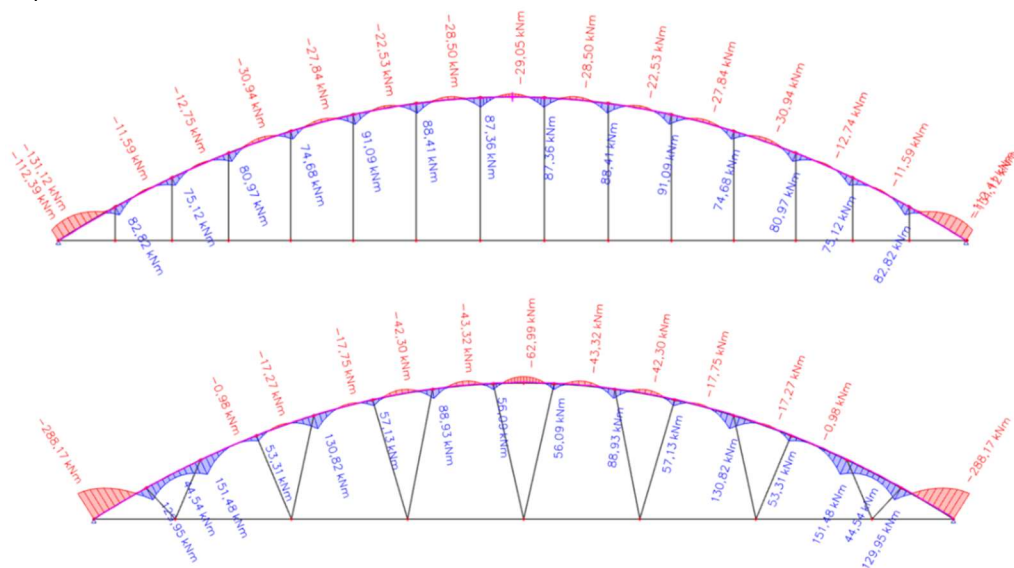
4.3 Shrnutí výsledků po rektifikaci

U obou typů zavěšení se nám úspěšně podařilo snížit průhyb mostovky téměř na nulu. Dále se podíváme na vnitřní síly v oblouku i na mostovce.

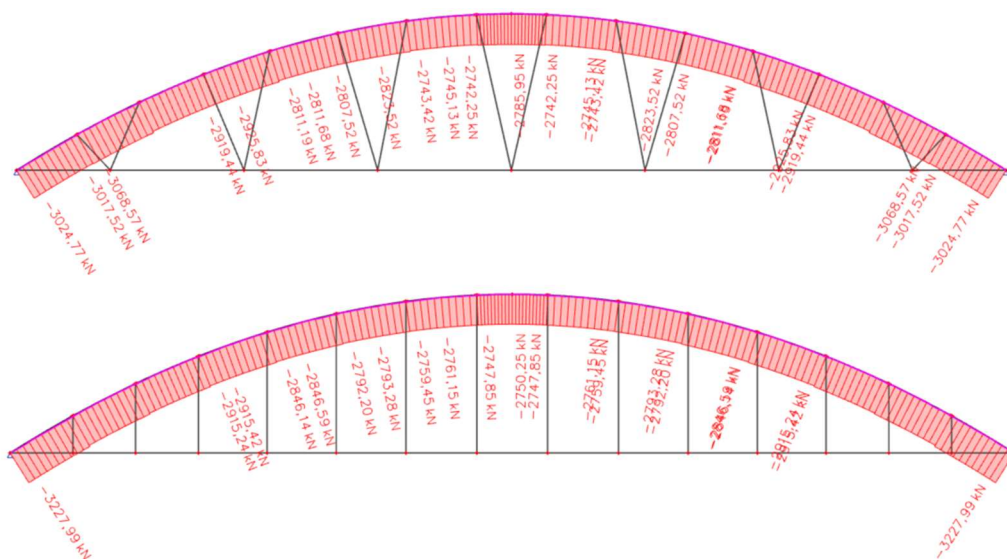
Průběh V_z na oblouk



Průběh M_y na oblouk



Průběh N na oblouk

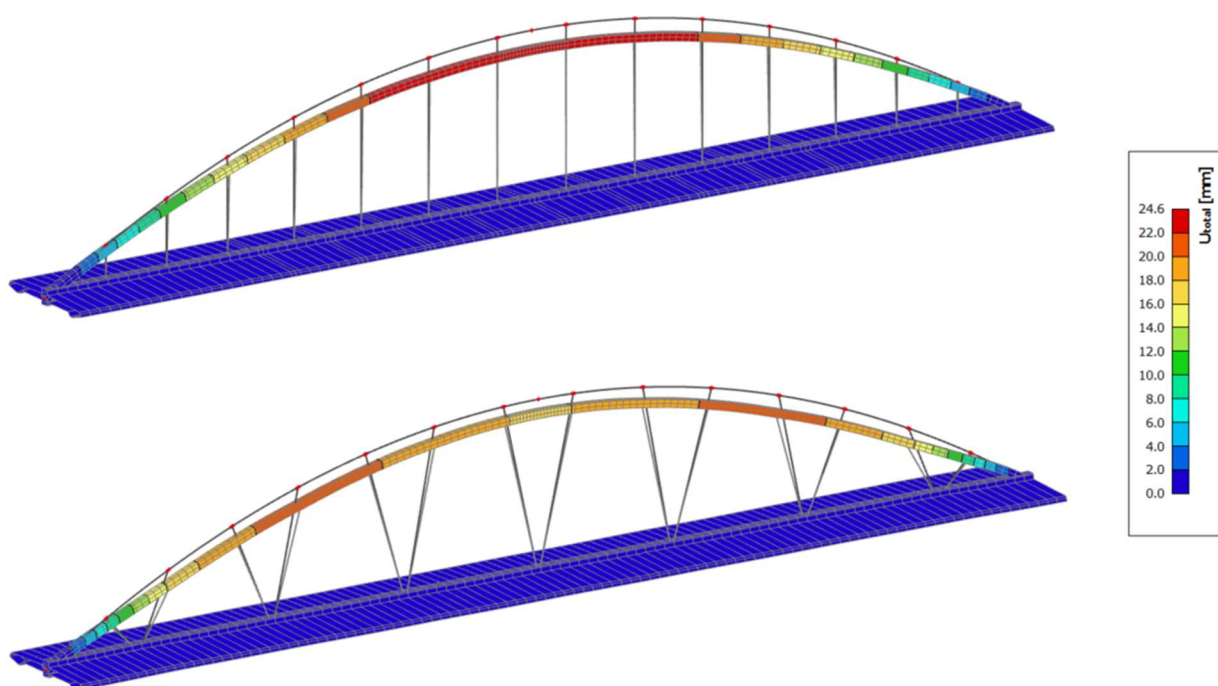


Pokud se podíváme na porovnání obou konstrukcí z pohledu statického, dojdeme k závěru, že výhodnějším typem zavěšení je zavěšení přímými lany. Oblouk je v této variantě výrazně méně namáhán. Opačně se liší pouze průhyb, který je menší u šikmého zavěšení. Na mostovku působí mnohem větší síly u šikmého zavěšení, což plyne z povahy menšího počtu míst, kde je mostovka uchycena na oblouk.

Z pohledu ekonomického můžeme srovnat celkovou délku všech použitých táhel. Zatímco bylo potřeba navrhnut pro obě varianty stejný průřez táhla, celková délka táhel hraje v prospěch přímého zavěšení. Avšak jen o pouhé 3 m.

Z estetického hlediska je příjemnější šikmé zavěšení. Menší počet táhel vytváří dojem čistějšího průhledu a působí „vzdušněji“ než větší množství přímých táhel.

Průhyb celé soustavy

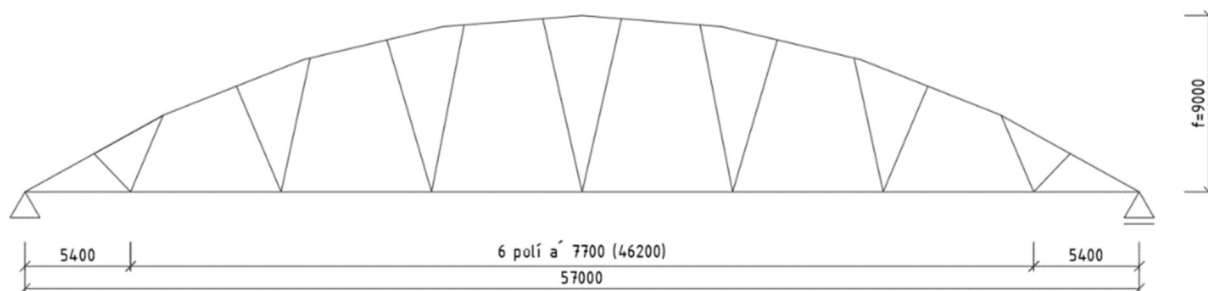


5. Průvodní část ke statickému výpočtu

Pro výpočet byla zvolena varianta A. V následující kapitole vymezíme základní údaje o konstrukci, která vyhověla na provedené posudky.

5.1 Základní geometrie

Délka mostu	$L_m = 64,46\text{m}$
Délka nosné konstrukce	$L_{n.k.} = 58\text{ m}$
Teoretické rozpětí	$L_{t.r.} = 57\text{ m}$
Délka přemostění	$L_{př} = 56\text{ m}$
Vzepětí oblouku	$f = 9\text{ m}$
Šířka mostu = šířka nosné konstrukce	$š_{n.k.} = 6,5\text{ m}$
Volná šířka mostu	$VŠ = 2 \times 2,5\text{ m}$
Volná výška pod mostem	$VV = 3,7\text{ m}$



MOSTOVKA

- Beton: C45/55

BETONÁŘSKÁ VÝZTUŽ

- Typ výztuže: B500B

OCELOVÝ OBLOUK

- Ocel: S355
- Výška: 700 mm
- Šířka: 500 mm
- Tl. Stěn: 50/40 mm

KONSTRUKČNÍ TÁHLA

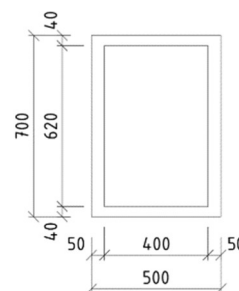
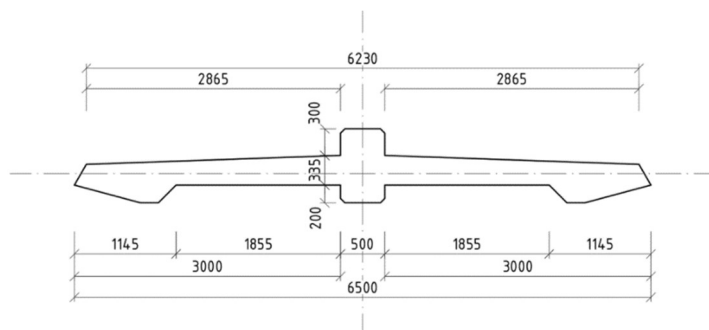
- Systém: Macalloy 520
- Průměr lan: 48 mm
- Ocel: S520

PŘEDPÍNCÍ LANA

- Typ výztuže: Y1860 S7-15,3-A

KOTVY PŘEDPÍNACÍCH LAN

- Typ: Freyssinet 12C15



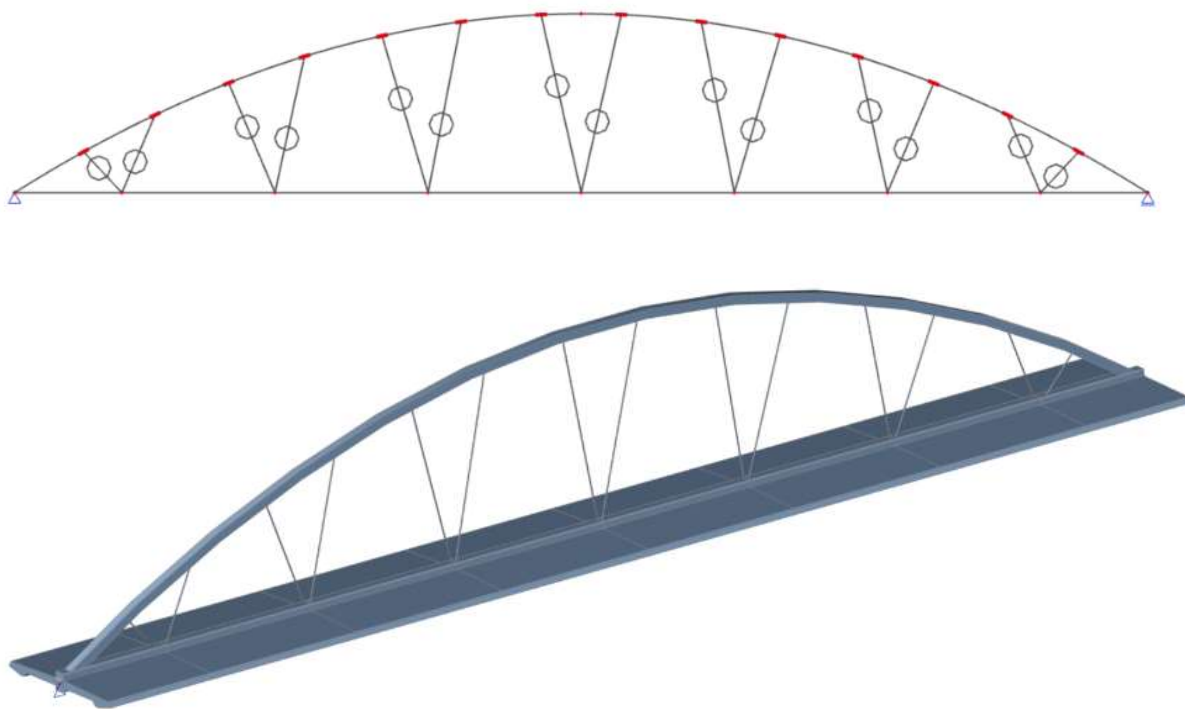
5.2 Výpočtový model

Pro statický výpočet budeme uvažovat dva modely. V první fázi to bude prutový model, na kterém konstrukci posoudíme v podélném směru. Ve druhé fázi provedeme posudek ve směru příčném, ke kterému nám poslouží model deskový.

Výpočtovým prostředím budeme program SCIA Engineer 19.1.

Prutový model

Pro posouzení v podélném směru jsme vytvořily prostý nosník o rozpětí 57 m, který je zavěšen v 7 místech dvojicí konstrukčních táhel na parabolický oblouk (parabola 2°) o maximálním vzepětí 9 m. Závěsy jsou v oblouku ukotveny na 15 úsecích stejné délky. V půdorysu je krajní ukotvení vzdáleno od paty oblouku 5,4m, dále po 7,7m. Jako uložení budeme nejprve používat dvě pevné podpory, na kterých pomocí rektifikace táhel vyladíme průhyb a momenty na mostovce. Poté umístíme na konstrukci zatížení, jednu podporu uvolníme ve směru x a budeme provádět všechny posudky s jednou podporou pevnou a druhou posuvnou ve směru x.

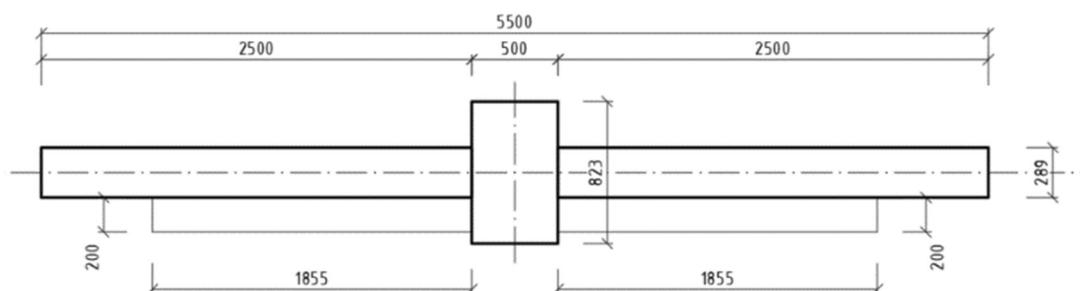


Detail podepření prutového modelu

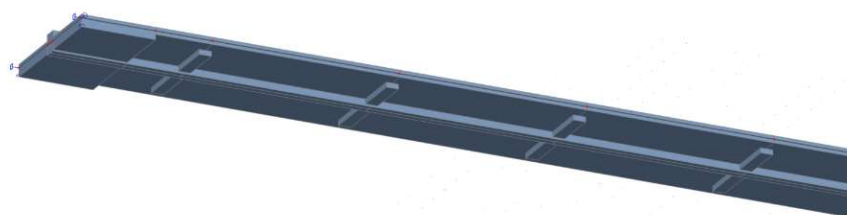
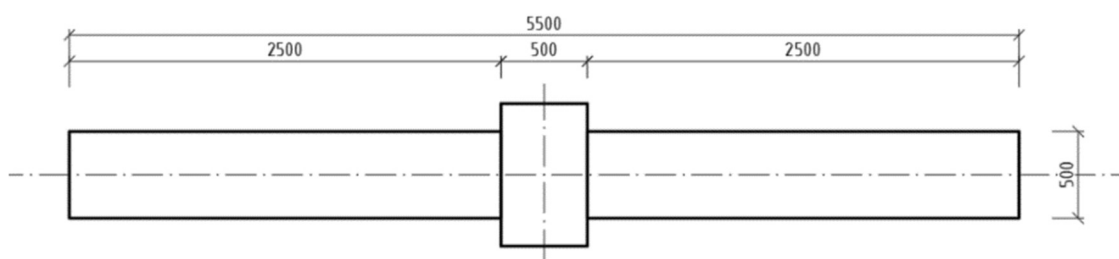


Deskový model

Pro posouzení mostovky v příčném směru bude vytvořen zjednodušený deskový model mostovky. Ten budou tvořit desky nahrazující jednotlivé zjednodušené části mostovky, při zachování plochy jednotlivých částí. Zavěšení mostovky budou nahrazovat podpory tuhé ve směru zavěšení. Model bude podepřen tak, aby bylo umožněno rozpínání konstrukce ve všech směrech. (kloub, posuvná na x, posuvná na y, posuvná na x i y)



V oblastech kotvení předpínací výztuže je provedena změna průřezu mostovky, tím pádem se nám změní i zjednodušený průřez i ekvivalentní zatížení, nahrazující krajní části.



5.3 Zatížení

Vytvořili jsme celkem 12 zatěžovacích stavů.

STÁLÁ ZATÍŽENÍ

ZS1a – VLASTNÍ TÍHA

Vlastní tíha jednotlivých konstrukčních prvků počítaná automaticky softwarem.

ZS1b – OSTATNÍ STÁLÁ ZATÍŽENÍ

Ostatní stálá zatížení. Uvažovat budeme zatížení od zábradlí a zatížení od příčných žebel.

ZS1c - REKTIFIKACE

Pomocí rektifikace táhel se budeme snažit, aby mostovka působila jako spojitý nosník. Budeme tedy vyrovnávat momenty k nule. Zároveň budeme usilovat o vymizení průhybu.

PROMĚNNÁ ZATÍŽENÍ

ZS2 – ZATÍŽENÍ VĚTREM

ZS3 – ZATÍŽENÍ TEPLOTOU OD MIN T

ZS4 – ZATÍŽENÍ TEPLOTOU OD MAX T

ZATÍŽENÍ CHODCI

Jelikož se lávka nachází v blízkosti Domova seniorů a SVK Břeclav budeme uvažovat jak LM4 - zatížení davem lidí, tak zatížením působícím na lávky.

Lávku budeme tedy zatěžovat sestavou zatížení gr4 z LM4 a zároveň gr1a ze sestavy zatížení lávek. Sestavu zatížení gr2 nebudeme uvažovat, jelikož bude zabráněno vjezdu obslužného vozidla na lávku pevnou překážkou. Stejně tak nebudeme uvažovat vodorovné síly.

ZS5 – gr4 CHODCI NA CELÉ MOSTOVCE

ZS6 – gr4 CHODCI NA LEVÉ POLOVINĚ

ZS7 – gr4 CHODCI NA UPROŠŘED

ZS8 – gr4 CHODCI NA PRAVÉ POLOVINĚ

ZS9 – gr1 CHODCI NA CELÉ MOSTOVCE

ZS10 – gr1 CHODCI NA LEVÉ POLOVINĚ

ZS11 – gr1 CHODCI NA UPROŠŘED

ZS12 – gr1 CHODCI NA PRAVÉ POLOVINĚ

5.4 Kombinace

TEORETICKÉ SESTAVENÍ KOMBINACÍ

Při použití LM4 - zatížení davem lidí, budeme uvažovat jiné sestavy zatížení, než bychom standardně použili při zatížení lávky. Pro LM4 uvažujeme sestavu zatížení gr4.

Pro zatížení lávky standardně uvažujeme sestavu zatížení gr1a a gr2. Sestavu zatížení gr2 nebudeme uvažovat, jelikož bude zabráněno vjezdu obslužného vozidla na lávku pevnou překážkou. Stejně tak nebudeme uvažovat vodorovné síly.

Pro sestavu zatížení gr4 platí následující součinitele, čímž naše hlavní složky zatížení uvažujeme jen do kombinace 6.10, 6.10b pro MSÚ a charakteristické kombinace pro MSP.

Zatížení	Značka	ψ_0	ψ_1	ψ_2
DOPRAVOU	TS (dvojnápravy)	0,75	0,75	0
	gr1a UDL (rovnoměrné zat.)	0,4	0,4	0
	chodci a cyklisti	0,4	0,4	0
	gr1b (jednotlivá náprava)	0	0,75	0
	gr2 (vodorovné síly)	0	0	0
	gr3 (zatížení chodci)	0	0,4	0
	gr4 (zatížení davem lidí)	0	x	0
gr5 (zvláštní vozidla)	0	x	0	
VĚTREM	F_{wk} - trvalé návrhové situace	0,6	0,2	0
TEPLOTOU	T_k	0,6	0,6	0,5

Sestavy zatížení na lávkách vypadají následovně.

Zatěžovací systém	Svislé síly		Vodorovné síly
	Rovnoměrné zatížení	Obslužné vozidlo	Rovnoměrné zatížení
Sestava zatížení gr1	q _n	Q _{serv}	Q _{ek}
gr2			Q _{ek}

Součinitele zatížení pro lávky se liší od součinitelů zatížení pro mosty pozemních komunikací.

Zatížení	Značka	ψ_0	ψ_1	ψ_2
dopravou	gr_1	0,4	0,4	0
	Q_{fwk}	0	0	0
	gr_2	0	0	0
větrem	F_{wk}	0,3	0,2	0
teplotou	T_k	0,6	0,6	0,5
sněhem	Q_{snk}	0,8	x	0
staveništní	Q_c	1,0	x	1,0

SESTAVENÍ KOMBINACÍ POMOCÍ SOFTWARE

Z důvodu velkého množství kombinací bude výhodnější použít programem automaticky generované kombinace.

Pro automaticky generované kombinace mostů a lávek je potřeba ve funkcionalitě projektu zaškrtnout pole "Návrh mostů" a zároveň v pravém okně "Kombinace zatížení".

V první řadě si musíme uvědomit, že počítáme se dvěma typy proměnného zatížení. Pro sestavu zatížení gr_4 počítáme do kombinací se součiniteli zatížení ze silničních mostů a pro sestavu zatížení gr_1 počítáme se součiniteli z lávek. Součinitele se též liší pro vítr i teplotu.

V prvním kroku si budeme muset nadefinovat skupiny zatížení pro jednotlivé ZS. Celkově nadefinujeme 6 skupin zatížení:

- gr_4 (silniční mosty)
- gr_1 (lávka)
- teplota (silniční mosty)
- teplota (lávka)
- vítr (silniční most)
- vítr (lávka)

Vítr i teplotu definujeme duplicitně (stejně musíme duplikovat i zatěžovací stavy pro vítr i teplotu), abychom při použití normových kombinací (např. MSÚ sada B) mohli daný ZS do kombinace vůbec vložit.

Jméno	gr4 MOST
Vztah	Výběrová
Zatížení	Proměnné
Konstrukce	Silniční most
Typ zatížení	Doprava - gr4 - zatížení od davu

Jméno	Teplota LÁVKA
Vztah	Výběrová
Zatížení	Proměnné
Konstrukce	Lávka
Typ zatížení	Teplotní zatížení - T_k

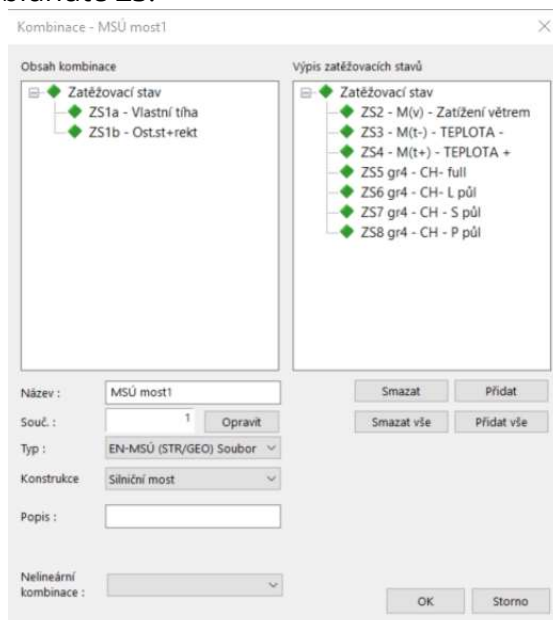
Jméno	gr1 LÁVKA
Vztah	Výběrová
Zatížení	Proměnné
Konstrukce	Lávka
Typ zatížení	Doprava - gr1

Jméno	Teplota MOST
Vztah	Výběrová
Zatížení	Proměnné
Konstrukce	Silniční most
Typ zatížení	Teplotní zatížení - T_k

Vlastnost "Vztah" - "Výběrová" vybíráme z důvodu, že program při tvoření kombinací vybere nejneprůzračnější zatěžovací stav z dané skupiny zatížení. Vlastnost "Konstrukce" - "Lávka/Silniční most" odlišuje jaké součinitele má při tvorbě kombinací použít.

Nyní musíme jednotlivé zatěžovací stavy přiřadit k příslušným skupinám zatížení.

Kontrolou, že máme skupiny zatížení i zatěžovací stavy je samotné tvoření kombinace. Např. při zadání "Typ" - "EN-MSÚ (STR/GEO) Soubor2" a "Konstrukce" - "Silniční most" nám musí program nabídnout ve Výpisu zatěžovacích stavů pouze ZS, které byly přiřazeny skupinám zatížení s definicí silničního mostu. Viz. obrázek níže. Do kombinace pak vložíme všechny nabídnuté ZS.



Analogicky pak vytvoříme kombinace pro lávky a následně všechny kombinace pro MSP gr4 i gr1.

Klíč kombinace MSÚ

	Stálá zatížení		Předpětí	Hlavní proměnné zatížení	Vedlejší proměnné zatížení	
	Nepříznivá	Příznivá			Nejúčinnější	Ostatní
6.10	$Y_{Gj,sup} G_{kj,sup}$	$Y_{Gj,inf} G_{kj,inf}$	$Y_p P$	$Y_{Q,1} Q_{k,1}$	$Y_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$	
6.10a	$Y_{Gj,sup} G_{kj,sup}$	$Y_{Gj,inf} G_{kj,inf}$	$Y_p P$		$Y_{Q,1} \psi_{0,1} Q_{k,1}$	$Y_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$
6.10b	$\xi Y_{Gj,sup} G_{kj,sup}$	$Y_{Gj,inf} G_{kj,inf}$	$Y_p P$	$Y_{Q,1} Q_{k,1}$		$Y_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$

Klíč kombinace MSP

KOMBINACE	Stálá zatížení		Předpětí	Proměnná zatížení	
	Nepříznivá	Příznivá		Nejúčinnější	Ostatní
Charakteristická	$G_{kj,sup}$	$G_{kj,inf}$	P	$Q_{k,1}$	$Q_{k,i}$
Častá	$G_{kj,sup}$	$G_{kj,inf}$	P	$\psi_{1,1} Q_{k,1}$	$\psi_{2,i} Q_{k,i}$
Kvazistálá	$G_{kj,sup}$	$G_{kj,inf}$	P	$\psi_{2,1} Q_{k,1}$	$\psi_{2,i} Q_{k,i}$

5.5 Předpětí

Návrh předpínací síly bude proveden pomocí jednotkové předpínací síly, kdy do kombinací pro MSP zavedeme nový zatěžovací stav, který bude obsahovat předpínací sílu o hodnotě 1000kN. Té pak budeme v kombinacích zvyšovat její násobek, abychom dosáhli potřebných napětí na příslušných vláknech.

Předpínací lana budou navržena centricky, takže celkové účinky od předpětí nebudou na mostovce vyvozovat žádný moment, ale pouze normálovou sílu.

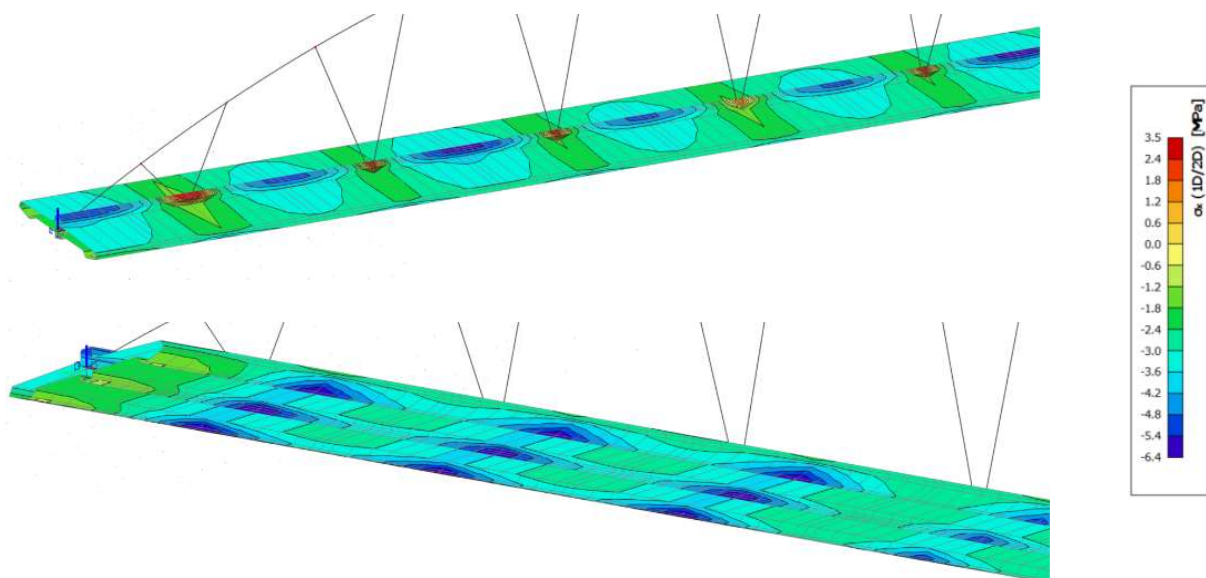
Předpětí bylo navrženo tak, abychom omezili napětí v betonu v místech závěsů na hodnotu charakteristické pevnosti betonu v tahu, a to 3.5 MPa. Síla od předpětí potřebná k dosažení charakteristické pevnosti betonu v tahu tedy vyšla jako:

$$P_{m^{00}} = 8750 \text{ kN}$$

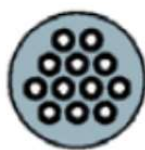
Okamžité a provozní ztráty byly odhadnuty na 10 %.

$$\blacktriangleright P_{m0.req} = 9722 \text{ kN}$$

Napětí na mostovce pro častou kombinaci gr1.

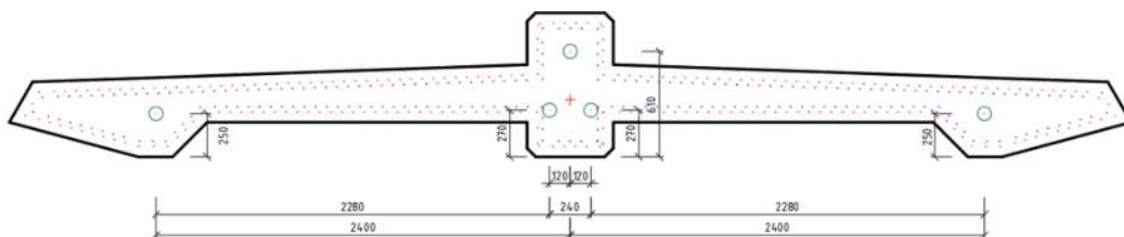


Navrhli jsme 5 kabelů o 12 lanech (celkem 60 lan).
Rozložení lan v kabelu:



$$P_{k0.prov} = 11960 \text{ kN}$$

$$P_{k^{00}.prov} = 10760 \text{ kN}$$



V místě zakotvení se osová vzdálenost 2 středních spodních lan změní ze 120 na 150 mm

5.6 Krytí

S ohledem na typ konstrukce byl zvolen stupeň vlivu prostředí XD3. Konstrukční třídu volíme, s ohledem na 100letou (+2 třídy) a na pevnostní třídu betonu C45/55 (-1 třída), jako S5.

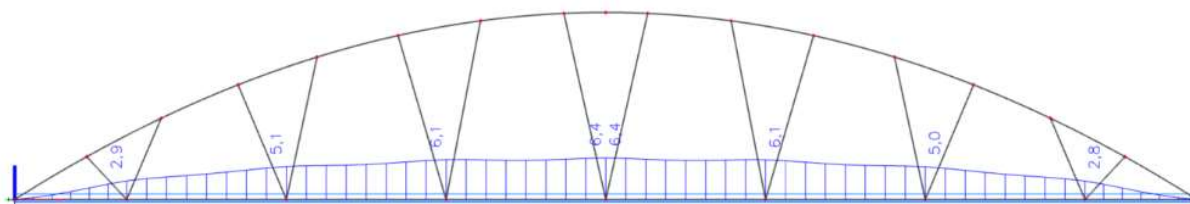
Krytí pro betonářskou výztuž: 60 mm

Krytí pro předpínací výztuž: 90 mm

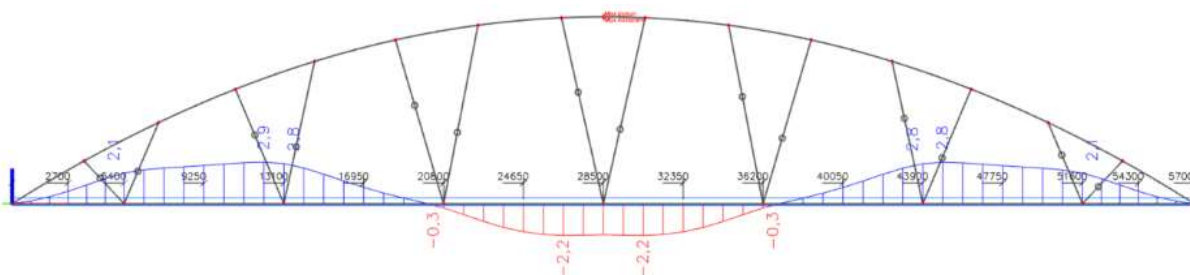
5.7 Úprava rektifikace

Úpravu provedeme na modelu zatíženém vlastní tíhou a předpětím.

Průhyb mostovky po vnesení předpětí do mostovky



Průhyb mostovky po finální rektifikaci konstrukčních táhel



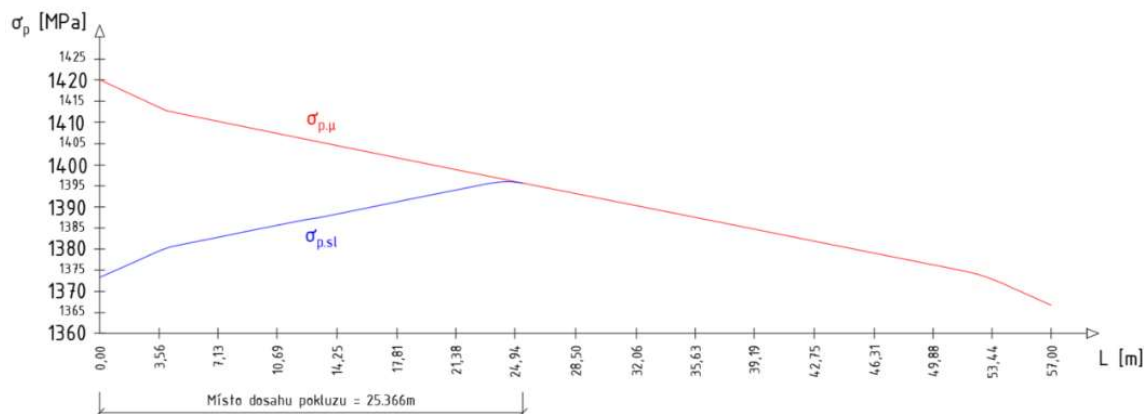
5.8 Okamžité ztráty předpětí

Okamžité ztráty třením a pokluzem stanovíme pomocí softwaru v několika řezech po délce mostovky. Ztráta předpětí postupným napínáním a ztráta předpětí relaxací pak bude stanovena ručním výpočtem.

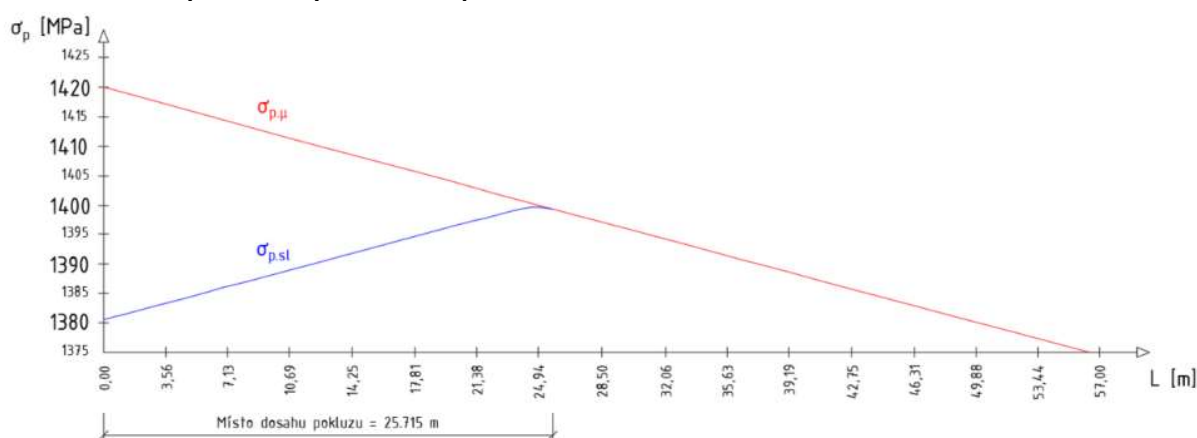
ZTRÁTA PŘEDPĚTÍ TŘENÍM A POKLUZEM

L [m]	2,7	5,4	9,25	13,1	16,95	20,8	24,65	28,5	32,35	36,2	40,05	43,9	47,75	51,6	54,3	57
Levý	1382,68	1384,81	1387,85	1390,9	1393,95	1397,01	1400,08	1397,12	1394,06	1391	1387,95	1384,91	1381,87	1387,84	1376,72	1374,61
Střed - L	1378,15	1381,46	1384,49	1387,53	1390,58	1393,64	1396,2	1393,14	1390,09	1387,04	1384	1380,97	1377,94	1374,92	1371,54	1366,79
Střed - P	1378,15	1381,46	1384,49	1387,53	1390,58	1393,64	1396,2	1393,14	1390,09	1387,04	1384	1380,97	1377,94	1374,92	1371,54	1366,79
Střed - H	1382,68	1384,81	1387,85	1390,9	1393,95	1397,01	1400,08	1397,12	1394,06	1391	1387,95	1384,91	1381,87	1387,84	1376,72	1374,61
Pravý	1382,68	1384,81	1387,85	1390,9	1393,95	1397,01	1400,08	1397,12	1394,06	1391	1387,95	1384,91	1381,87	1387,84	1376,72	1374,61
Průměrné $\sigma_{p,rest}$	1380,868	1383,47	1386,506	1389,552	1392,602	1395,662	1398,528	1395,528	1392,472	1389,416	1386,37	1383,334	1380,298	1382,672	1374,648	1371,482
$\Delta\sigma_{p,rest}$	-39,132	-36,53	-33,494	-30,448	-27,398	-24,338	-21,472	-24,472	-27,528	-30,584	-33,63	-36,666	-39,702	-37,328	-45,352	-48,518
Procentální ztráta [%]	-2,76	-2,57	-2,36	-2,14	-1,93	-1,71	-1,51	-1,72	-1,94	-2,15	-2,37	-2,58	-2,80	-2,63	-3,19	-3,42

Graf ztráta třením a ztráta pokluzem pro zakřivené kabely



Ztráta třením a pokluzem přímé kabely



ZTRÁTA PŘEDPĚTÍ POSTUPNÝM NAPÍNÁNÍM

L [m]	2,7	5,4	9,25	13,1	16,95	20,8	24,65	28,5	32,35	36,2	40,05	43,9	47,75	51,6	54,3	57
$P_{m,sl}$	12 427,81	12 451,23	12 478,55	12 505,97	12 533,42	12 560,96	12 586,75	12 559,75	12 532,25	12 504,74	12 477,33	12 450,01	12 422,68	12 444,05	12 371,83	12 343,34
$N_{p,ok}$	2 714,58	2 865,93	2 865,93	2 841,60	2 841,60	2 823,89	2 823,89	2 823,89	2 823,89	2 841,60	2 841,60	2 865,93	2 865,93	2 714,58	2 714,58	2 714,58
$M_{p,ok}$ [kNm]	159,38	-330,57	69,48	-404,33	140,87	-187,80	285,89	-114,29	285,89	-187,80	140,87	-187,80	69,48	-404,33	159,38	219,55
$\Delta\sigma_{ep}$ [MPa]	-4,63	-4,57	-4,58	-4,61	-4,62	-4,64	-4,66	-4,64	-4,63	-4,61	-4,59	-4,57	-4,56	-4,64	-4,61	-4,59
$\Delta\sigma_{rel}$ [MPa]	-10,32	-10,19	-10,22	-10,27	-10,30	-10,35	-10,38	-10,35	-10,32	-10,27	-10,24	-10,19	-10,16	-10,34	-10,26	-10,23
Procentuální ztráta [%]	-0,73	-0,72	-0,72	-0,72	-0,73	-0,73	-0,73	-0,73	-0,73	-0,72	-0,72	-0,72	-0,72	-0,73	-0,72	-0,72

ZTRÁTA PŘEDPĚTÍ RELAXACÍ

L [m]	2,7	5,4	9,25	13,1	16,95	20,8	24,65	28,5	32,35	36,2	40,05	43,9	47,75	51,6	54,3	57
μ	0,74	0,74	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74
k_r	-0,0058	-0,0059	-0,0060	-0,0061	-0,0063	-0,0064	-0,0065	-0,0064	-0,0063	-0,0061	-0,0060	-0,0059	-0,0058	-0,0059	-0,0055	-0,0054
$\Delta\sigma_{pr}$ [MPa]	-7,98	-8,14	-8,32	-8,52	-8,71	-8,91	-9,11	-8,90	-8,70	-8,51	-8,32	-8,13	-7,95	-8,09	-7,62	-7,44
Procentuální ztráta [%]	-0,56	-0,57	-0,59	-0,60	-0,61	-0,63	-0,64	-0,63	-0,61	-0,60	-0,59	-0,57	-0,56	-0,57	-0,54	-0,52

VÝSLEDNÉ HODNOTY OKAMŽITÝCH ZTRÁT

L [m]	2,7	5,4	9,25	13,1	16,95	20,8	24,65	28,5	32,35	36,2	40,05	43,9	47,75	51,6	54,3	57
$\sigma_{s,mo}$ [MPa]	1 362,56	1 365,15	1 367,97	1 370,77	1 373,59	1 376,40	1 379,05	1 376,28	1 373,45	1 370,64	1 367,81	1 365,02	1 362,19	1 364,24	1 356,77	1 353,81
P_{mo} [kN]	12263,08	12286,31	12311,70	12336,89	12362,32	12387,61	12411,43	12386,50	12361,06	12335,76	12310,33	12285,18	12259,75	12278,19	12210,90	12184,28
Procentuální ztráta [%]	4,0	3,9	3,7	3,5	3,3	3,1	2,9	3,1	3,3	3,5	3,7	3,9	4,1	3,9	4,5	4,7

5.9 Provozní ztráty předpětí

Provozní ztráty budeme počítat v místě druhého zavěšení mostovky v 13,1 m.
Mostovka bude:

- předepnuta 1 měsíc po vybetonování
- zatížení ostatním stálým zatížením po 6 měsících
- v provozu po 8 měsících

Začátek smršťování betonu	7dnů
Zatížení g_0	28dnů
Zatížení g_1	180dnů (6 měsíců)
Provoz	240dnů (8 měsíců)
Ukončení provozu	365 dnů (1 rok)
Konec relaxace	20805 dnů (57 let)

$$\sigma_{p,m0} = 1370,77 \text{ MPa} \quad P_{m,0} = 12340 \text{ kN}$$

Ztráta vysycháním (vysychání + autogenní smršťování)

$$\Delta\sigma_{ps,t\infty} = -31,315 \text{ MPa}$$

Ztráta dotvarováním

$$\Delta\sigma_{pc,tg1} = -6,556 \text{ MPa}$$

Ztráta relaxací výztuže

$$\Delta\sigma_{pr,t\infty} = -35,225 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{p,m\infty} = 1296 \text{ MPa}$$

Výsledná hodnota provozních ztrát

5,47%

5.10 Mezní stav použitelnosti

Pro mezní stav únosnosti jsme úspěšně omezili napětí ve všech konstrukčních prvcích.

A) Omezení napětí v betonu

Pro charakteristickou kombinaci v tlačných vláknech:

$$\sigma_{c2} \geq -0,6f_{ck} = -24 \text{ MPa}$$

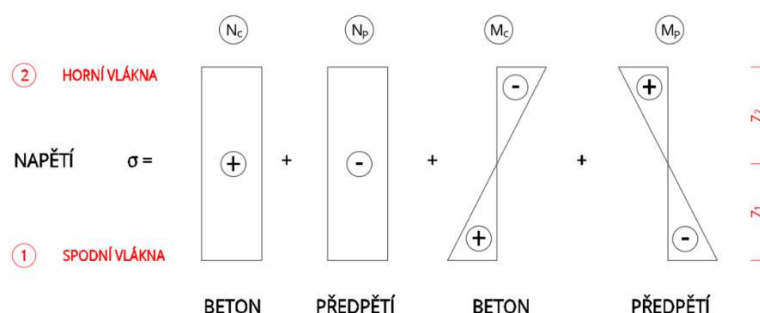
Pro častou kombinaci ve tažených vláknech:

$$\sigma_{c1} \leq f_{ctm} = 3,5 \text{ MPa}$$

Pro kvazistálou kombinaci v tlačných vláknech:

$$\sigma_{c2} \geq -0,45f_{ck} = -18 \text{ MPa}$$

Napětí na průřezu vyvolané od normálových sil a momentů betonu/předpětí:



ČAS t_0

CHARAKTERISTICKÁ KOMBINACE

TAH $\sigma_{c1} = -0,472 \text{ MPa} \leq f_{ctm} = 3,5 \text{ MPa}$

TLAK $\sigma_{c2} = -7,236 \text{ MPa} \geq -0,45f_{ck} = -18 \text{ MPa}$

ČAS t_∞

CHARAKTERISTICKÁ KOMBINACE pro gr4

TAH $\sigma_{c1} = 3,391 \text{ MPa} \leq f_{ctm} = 3,5 \text{ MPa}$

TLAK $\sigma_{c2} = -8,278 \text{ MPa} \geq -0,6f_{ck} = -24 \text{ MPa}$

ČASTÁ KOMBINACE pro gr1

TAH $\sigma_{c1} = 2,69 \text{ MPa} \leq f_{ctm} = 3,5 \text{ MPa}$

TLAK $\sigma_{c2} = -8,462 \text{ MPa} \geq -0,6f_{ck} = -24 \text{ MPa}$

KVAZISTÁLÁ KOMBINACE pro gr4

TAH $\sigma_{c1} = 1,088 \text{ MPa} \leq f_{ctm} = 3,5 \text{ MPa}$

TLAK $\sigma_{c2} = -9,484 \text{ MPa} \geq -0,45f_{ck} = -18 \text{ MPa}$

B) Omezení napětí v předpínací výztuži

$\sigma_{p,m0} = 1371 \text{ MPa} \leq 0,75f_{pk} = 1395 \text{ MPa}$

$\sigma_{p,m\infty} = 1296 \text{ MPa} \leq 0,75f_{pk} = 1395 \text{ MPa}$

C) Omezení napětí v konstrukčních táhlech

$\sigma_{\text{max.táhla}} = 211,52 \text{ MPa} \leq 0,45f_{yk} = 234 \text{ MPa}$

5.11 Mezní stav únosnosti

Jelikož program neuvažuje při automatickém výpočtu do kombinací správně součinitele, musíme nadefinovat kombinace ručně.

Budeme tvořit 6x4 sady obálkových kombinací, kde se nám pro každou čtveřici bude měnit hlavní složka proměnného zatížení. Celkově tedy budeme mít 16 kombinací.

Hlavní složky proměnného zatížení:

1. čtveřice - "žádné" (2x6.10a + 2x6.10b)
2. čtveřice - vítr (2x6.10a + 2x6.10b)
3. čtveřice - teplota (2x6.10a + 2x6.10b)
4. čtveřice - doprava (2x6.10a + 2x6.10b)
5. čtveřice - vítr (2x6.10a + 2x6.10b) - doprava jako vedlejší
6. čtveřice - teplota (2x6.10a + 2x6.10b) - doprava jako vedlejší

Dvě sady ve čtveřici budou pro kombinaci 6.10a, kde budeme měnit součinitele pro stálá zatížení. V první bude působit ZS1 Vlastní tíha + ZS2 Ostatní stálé nepříznivě a ZS3 Rektifikace příznivě. V druhé naopak.

Další dvě sady budou pro kombinaci 6.10b.

Poznámka: bude potřeba vytvořit 24kombinací pro gr1 a 24 kombinací pro gr4

Součinitele pro sestavu zatížení gr4:

Kombinace		Stálá zatížení		Předpětí	Hlavní proměnné zatížení	Vedlejší proměnné zatížení
		Nepříznivá	Příznivá			
K1	6.10a	1,35 - Vl.t + Ost.st	1,0 - Rektifik	1		
K2	6.10a	1,35 - Rektifikace	1,0 - Vl.t + Ost.st	1		
K3	6.10b	1,15 - Vl.t + Ost.st	1,0 Rektifikace	1		
K4	6.10b	1,15 - Rektifikace	1,0 - Vl.t + Ost.st	1		
K5	6.10a	1,35 - Vl.t + Ost.st	1,0 - Rektifik	1	0,81 Vitr	0,9 Teplota
K6	6.10a	1,35 - Rektifikace	1,0 - Vl.t + Ost.st	1	0,81 Vitr	0,9 Teplota
K7	6.10b	1,15 - Vl.t + Ost.st	1,0 Rektifikace	1	1,35 Vitr	0,9 Teplota
K8	6.10b	1,15 - Rektifikace	1,0 - Vl.t + Ost.st	1	1,35 Vitr	0,9 Teplota
K9	6.10a	1,35 - Vl.t + Ost.st	1,0 - Rektifik	1	0,81 Teplota	0,9 Vitr
K10	6.10a	1,35 - Rektifikace	1,0 - Vl.t + Ost.st	1	0,81 Teplota	0,9 Vitr
K11	6.10b	1,15 - Vl.t + Ost.st	1,0 Rektifikace	1	1,35 Teplota	0,9 Vitr
K12	6.10b	1,15 - Rektifikace	1,0 - Vl.t + Ost.st	1	1,35 Teplota	0,9 Vitr
K13	6.10a	1,35 - Vl.t + Ost.st	1,0 - Rektifik	1	0 gr4	0,9 Vitr + Teplota
K14	6.10a	1,35 - Rektifikace	1,0 - Vl.t + Ost.st	1	0 gr4	0,9 Vitr + Teplota
K15	6.10b	1,15 - Vl.t + Ost.st	1,0 Rektifikace	1	1,35 gr4	0,9 Vitr + Teplota
K16	6.10b	1,15 - Rektifikace	1,0 - Vl.t + Ost.st	1	1,35 gr4	0,9 Vitr + Teplota
K17	6.10a	1,35 - Vl.t + Ost.st	1,0 - Rektifik	1	0,81 Vitr	0,9/0 Teplota + gr4
K18	6.10a	1,35 - Rektifikace	1,0 - Vl.t + Ost.st	1	0,81 Vitr	0,9/0 Teplota + gr4
K19	6.10b	1,15 - Vl.t + Ost.st	1,0 Rektifikace	1	1,35 Vitr	0,9/0 Teplota + gr4
K20	6.10b	1,15 - Rektifikace	1,0 - Vl.t + Ost.st	1	1,35 Vitr	0,9/0 Teplota + gr4
K21	6.10a	1,35 - Vl.t + Ost.st	1,0 - Rektifik	1	0,81 Teplota	0,9/0 Vitr + gr4
K22	6.10a	1,35 - Rektifikace	1,0 - Vl.t + Ost.st	1	0,81 Teplota	0,9/0 Vitr + gr4
K23	6.10b	1,15 - Vl.t + Ost.st	1,0 Rektifikace	1	1,35 Teplota	0,9/0 Vitr + gr4
K24	6.10b	1,15 - Rektifikace	1,0 - Vl.t + Ost.st	1	1,35 Teplota	0,9/0 Vitr + gr4

Výsledné hodnoty vnitřních sil:

gr4	M _{max+}	M _{max-}	N _{max}
K1	323,79	-464,35	-7523,5
K2	323,11	-569,88	-8501,8
K3	279,86	-453,96	-8077,9
K4	258,8	-498,59	-8499,4
K5	323,79	-680,31	-7523,5
K6	323,11	-785,83	-8501,8
K7	280,3	-670,02	-8072,2
K8	259,23	-715,25	-8499,4
K9	323,79	-658,71	-7523,5
K10	323,11	-764,24	-8501,8
K11	279,86	-777,9	-8077,9
K12	258,8	-822,52	-8499,4
K13	323,79	-680,31	-7523,5
K14	323,11	-785,83	-8501,8
K15	925,53	-1275,3	-8077,9
K16	852,2	-1320	-8499,4

Součinitele pro sestavu zatížení gr1:

Kombinace		Stálá zatížení		Předpětí	Hlavní proměnné zatížení	Vedlejší proměnné zatížení
		Nepříznivá	Příznivá			
K1	6.10a	1,35 - Vl.t + Ost.st	1,0 - Rektifik	1		
K2	6.10a	1,35 - Rektifikace	1,0 - Vl.t + Ost.st	1		
K3	6.10b	1,15 - Vl.t + Ost.st	1,0 Rektifikace	1		
K4	6.10b	1,15 - Rektifikace	1,0 - Vl.t + Ost.st	1		
K5	6.10a	1,35 - Vl.t + Ost.st	1,0 - Rektifik	1	0,41 Vitr	0,9 Teplota
K6	6.10a	1,35 - Rektifikace	1,0 - Vl.t + Ost.st	1	0,41 Vitr	0,9 Teplota
K7	6.10b	1,15 - Vl.t + Ost.st	1,0 Rektifikace	1	1,35 Vitr	0,9 Teplota
K8	6.10b	1,15 - Rektifikace	1,0 - Vl.t + Ost.st	1	1,35 Vitr	0,9 Teplota
K9	6.10a	1,35 - Vl.t + Ost.st	1,0 - Rektifik	1	0,81 Teplota	0,45 Vitr
K10	6.10a	1,35 - Rektifikace	1,0 - Vl.t + Ost.st	1	0,81 Teplota	0,45 Vitr
K11	6.10b	1,15 - Vl.t + Ost.st	1,0 Rektifikace	1	1,35 Teplota	0,45 Vitr
K12	6.10b	1,15 - Rektifikace	1,0 - Vl.t + Ost.st	1	1,35 Teplota	0,45 Vitr
K13	6.10a	1,35 - Vl.t + Ost.st	1,0 - Rektifik	1	0,54 gr1	0,45/0,9 Vitr + Teplota
K14	6.10a	1,35 - Rektifikace	1,0 - Vl.t + Ost.st	1	0,54 gr1	0,45/0,9 Vitr + Teplota
K15	6.10b	1,15 - Vl.t + Ost.st	1,0 Rektifikace	1	1,35 gr1	0,45/0,9 Vitr + Teplota
K16	6.10b	1,15 - Rektifikace	1,0 - Vl.t + Ost.st	1	1,35 gr1	0,45/0,9 Vitr + Teplota
K17	6.10a	1,35 - Vl.t + Ost.st	1,0 - Rektifik	1	0,81 Vitr	0,45/0,6 Teplota + gr1
K18	6.10a	1,35 - Rektifikace	1,0 - Vl.t + Ost.st	1	0,81 Vitr	0,45/0,6 Teplota + gr1
K19	6.10b	1,15 - Vl.t + Ost.st	1,0 Rektifikace	1	1,35 Vitr	0,45/0,6 Teplota + gr1
K20	6.10b	1,15 - Rektifikace	1,0 - Vl.t + Ost.st	1	1,35 Vitr	0,45/0,6 Teplota + gr1
K21	6.10a	1,35 - Vl.t + Ost.st	1,0 - Rektifik	1	0,81 Teplota	0,9/0,6 Vitr + gr1
K22	6.10a	1,35 - Rektifikace	1,0 - Vl.t + Ost.st	1	0,81 Teplota	0,9/0,6 Vitr + gr1
K23	6.10b	1,15 - Vl.t + Ost.st	1,0 Rektifikace	1	1,35 Teplota	0,9/0,6 Vitr + gr1
K24	6.10b	1,15 - Rektifikace	1,0 - Vl.t + Ost.st	1	1,35 Teplota	0,9/0,6 Vitr + gr1

Výsledné hodnoty vnitřních sil:

gr1	M _{max+}	M _{max-}	N _{max}	K13	M _{max+}	M _{max-}	N _{max}
K1	323,79	-464,35	-7523,5	K13	471,75	-876,52	-7523,5
K2	323,11	-569,88	-8501,8	K14	419,61	-982,04	-8501,8
K3	279,86	-453,96	-8077,9	K15	778,57	-1160,6	-8072,2
K4	258,8	-498,59	-8499,4	K16	704,25	-1205,8	-8499,4
K5	323,79	-680,31	-7523,5	K17	492,08	-898,32	-7523,5
K6	346,27	-804,31	-7537,8	K18	510,67	-1022,3	-7537,8
K7	280,3	-670,02	-8072,2	K19	444,7	-888,04	-8072,2
K8	259,23	-715,25	-8499,4	K20	422,36	-933,26	-8499,4
K9	323,79	-658,71	-7523,5	K21	492,08	-876,73	-7523,5
K10	323,11	-764,24	-8501,8	K22	436,05	-982,25	-8501,8
K11	280,3	-778	-8072,2	K23	444,7	-996,02	-8072,2
K12	259,23	-823,23	-8499,4	K24	422,36	-1041,2	-8499,4

Vznikají maximální momenty jak při horní hraně mostovky, tak při spodní hraně. V mezním stavu únosnosti budeme posuzovat obě dvě situace, kdy budeme pro daný moment uvažovat příslušnou normálovou sílu.

Posouzení maximálního momentu při spodních vláknech

U posouzení momentu při spodních vláknech není plně využita předpínací výztuž. V posudku tedy neuvažujeme spolupůsobení předpětí ΔF_p .

$$M_{Rd} = 2043 \text{ kNm} \geq M_{Ed} = 925 \text{ kNm}$$

Vyztužení bude provedeno jen **konstrukčně**.

Posouzení maximálního momentu při horních vláknech

U posouzení momentu při horních vláknech je plně využita předpínací výztuž. V posudku tedy uvažujeme spolupůsobení předpětí ΔF_p .

$$M_{Rd} = 1499 \text{ kNm} \geq M_{Ed} = 1320 \text{ kNm}$$

Vyztužení bude provedeno jen **konstrukčně**.

Konstrukčně budou navržena betonářská výztuž $\varnothing 14$.

5.12 Posouzení smyku

Pro rozhodnutí o vzniku trhlin využijeme znalost normálové síly, která v mostovce působí a pomocí návrhové pevnosti v tahu f_{ctd} zjistíme hodnotu momentu, při kterém se průřez potrhá. Jako plochu, která vzdoruje kroucení, budeme uvažovat jen střední část páteřního nosníku mostovky.

Posouzení průřezu mostovky dle pružnosti V OBLASTI BEZ TRHLIN

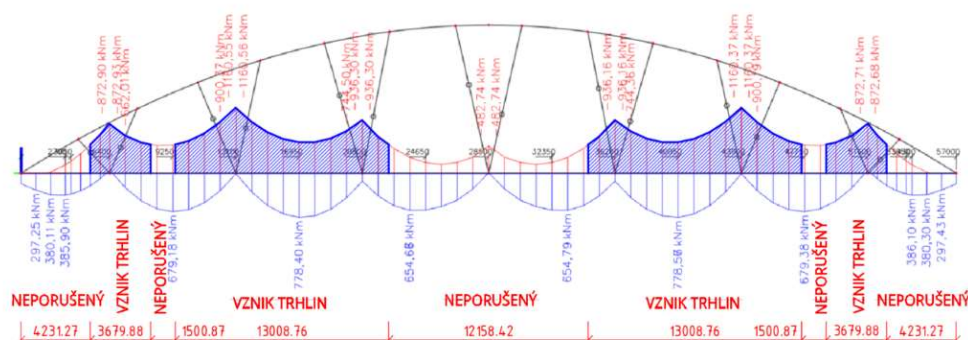
$$V_{Rd,c} = 2331 \text{ kN} \geq V_{Ed} = 416,46 \text{ kN}$$

Posouzení průřezu mostovky V OBLASTI S TRHLINAMI

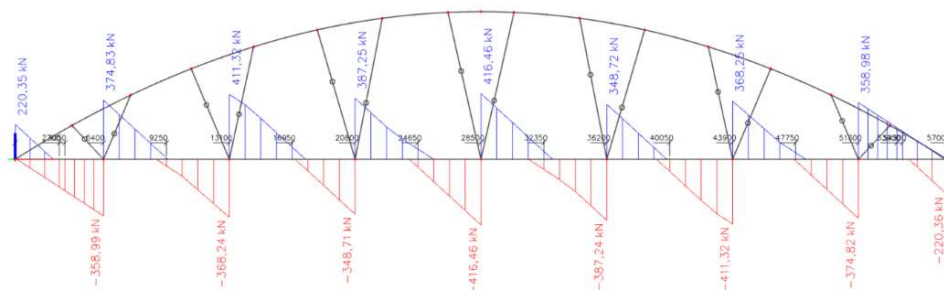
$$V_{Rd,c} = 358,851 \text{ kN} \geq V_{Ed} = 411,32 \text{ kN} \quad \text{NEVYHOVUJE}$$

Pro tuto oblast navrhujeme smykovou výztuž, a to čtyřstřížné třmínky $\emptyset 14$ a $\lambda' 300$ mm.

Obálka momentů M_y a rozhodnutí o vzniku smykových trhlin

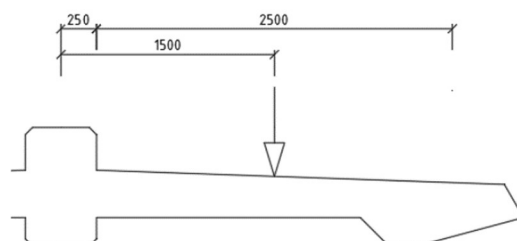


Obálka posouvajících sil



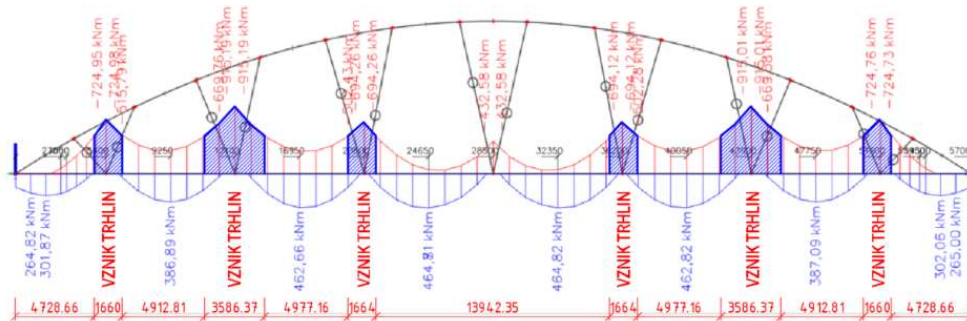
5.13 Posouzení kroucení

Při posouzení kroucení mostovky na prutovém modelu musíme vytvořit duplicitní zatěžovací stavy pro zatížení od dopravy/chodců, které nám zajistí vznik požadovaného kroučícího momentu. Zatěžovací šířka se pro zatížení chodci mění z 5 na 2,5m, čímž se zmenší zatížení od dopravy. Zatížení umístíme na prut s excentricitou, která nám vyvodí moment na prutu. Excentricitu zatížení volíme jako střed pruhu pro dopravu.

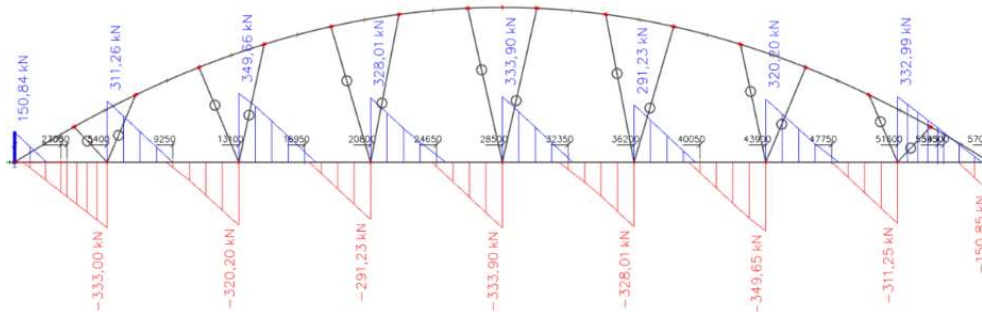


Jelikož se zmenší posouvající síla, která působí na mostovku, znovu provedeme rozhodnutí o vzniku trhlin po délce mostovky.

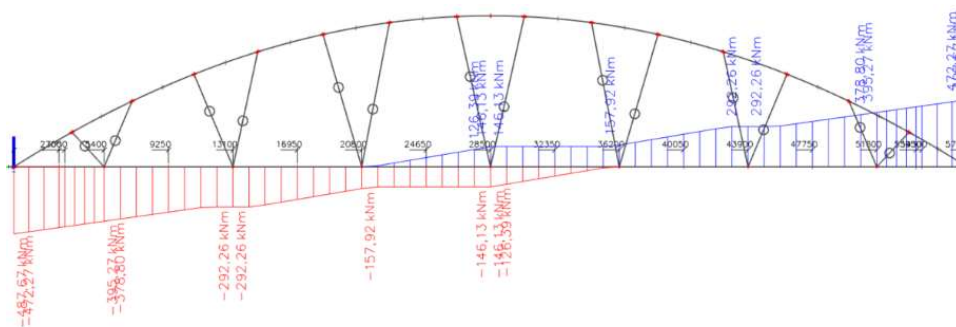
Obálka momentů M_y a rozhodnutí o vzniku smykových trhlin



Obálka posouvajících sil



Obálka kroutících momentů



Jelikož kroutící moment působí v interakci s posouvajícími silami, musíme rozhodnout, která z těchto silových veličin ve svých maximech rozhoduje. Pro potrháný i nepotrháný průřez nám rozhoduje kroutící moment který v interakci s posouvající silou vyvodí hodnotu $V_{Ed} = 444,108\text{kN}$ pro potrháný průřez a hodnotu $V_{Ed} = 397,147\text{kN}$ pro nepotrháný průřez. Znovu jsme provedli posudek na smyk, teď již s příspěvem kroutícího momentu.

Posouzení průřezu mostovky dle pružnosti V OBLASTI BEZ TRHLIN

$$V_{Rd,c} = 1827\text{ kN} \geq V_{Ed} = 397,147\text{ kN}$$

Posouzení průřezu mostovky V OBLASTI S TRHLINAMI

$$V_{Rd,c} = 368,232\text{ kN} \geq V_{Ed} = 444,32\text{ kN} \quad \text{NEVYHOVUJE}$$

Třmínky navržené na smyk a na kroucení byly navrženy totožně z důvodu jednoduchosti provedení. V oblastech, kde je potřeba navrhnout třmínky na smyk i na kroucení bude provedeno lokální zhuštění třmínku a osová vzdálenost se změní z 300 mm na 150 mm.

V dalším kroku posoudili mostovku na interakci kroucení a posouvající síly. Zde hraje velkou roli průřez, který vzdoruje kroucení, ale také pevnostní třída betonu nebo úhel tlačené diagonály θ . V důsledku relativně malé plochy páteřního nosníku jsme zvolili třídu betonu jako C45/55, úhel $\theta=45^\circ$.

Únosnost prostého betonového průřezu v kroucení

$$T_{Rd,c} = 119,099 \text{ kN}$$

Návrhový kroucí moment na mezi únosnosti

$$T_{Rd,max} = 557,126 \text{ kN}$$

$$T_{Ed}/T_{Rd,max} + V_{Ed}/V_{Rd,max} = 0,899 \leq 1,0$$

Dále jsme navrhli podélnou smykovou výztuž k zachycení těchto sil. Navrhli jsme 14 $\emptyset 22$. Zároveň nám podélná smyková výztuž nahradí v páteřním nosníku dříve navrženou konstrukční výztuž z mezního stavu použitelnosti.

5.14 Štěpné síly pod kotvami předpínacích lan

V kotevní oblasti vznikají nezanedbatelné síly od vneseného předpětí v daném místě. Z tohoto důvodu jsme posoudili tuto oblast a navrhli odpovídající vyztužení, které zabezpečí, že se beton v této oblasti nezdeformuje.

Maximální síla pod jednou kotvou $P_{max} = 2556 \text{ kN}$

Posouzení soustředného tlaku

$$F_{Rd} = 3888 \text{ kN} \geq F_{Ed} = 2556 \text{ kN}$$

$$F_{Rdu} = 3888 \text{ kN} \geq F_{Rd} = 3888 \text{ kN}$$

Vyztužení oblasti pod kotvou

Pro oblast pod kotvou navrhujeme spirály 12C15 $\emptyset 16$ o 7 závitoch.

$$F_{Rd} = 538 \text{ kN} \geq T_{bu} = 111,85 \text{ kN}$$

Vyztužení oblasti u povrchu

Navrhujeme 2 $\emptyset 16$ - 2 profily svisle, 2 vodorovně. Každý prut bude zatažen na 560 mm.

Vyztužení celkové oblasti pro kotvy v oblasti středního páteřního nosníku

Pro oblast $A_{s,\Sigma}$ navrhujeme 5 globální mříží o 4 střížích v obou směrech $\emptyset 18$ a $\text{a} \text{'} 140 \text{ mm}$. Oblast $A_{s,bu}$ bude dovyztužena konstrukčně pomocí totožných mříží jako oblast $A_{s,\Sigma}$ po stejné vzdálenosti.

5.15 Posouzení oblouku na normálové namáhání

Maximální normálovou sílu vyvodila kombinace K15 od sestavy zatížení gr4. Posudky byly provedeny na tuto sílu a jí odpovídající složky vnitřních sil.

gr4	N_{max}		N_{max}	gr1	N_{max}		N_{max}
K1	-4434,52	K13	-4541,64	K1	-4434,52	K13	-4998,90
K2	-3367,99	K14	-3474,99	K2	-3367,99	K14	-3932,32
K3	-3793,21	K15	-5592,09	K3	-3793,21	K15	-5050,01
K4	-3342,21	K16	-5141,14	K4	-3342,21	K16	-4592,93
K5	-3541,64	K17		K5	-4541,64	K17	-5049,71
K6	-3474,99	K18		K6	-4557,49	K18	-5065,61
K7	-3906,66	K19		K7	-3906,66	K19	-4414,73
K8	-3449,52	K20		K8	-3449,52	K20	-3957,63
K9	-4530,91	K21		K9	-4530,91	K21	-5039,00
K10	-3464,27	K22		K10	-3464,27	K22	-3972,45
K11	-3953,92	K23		K11	-3960,27	K23	-4468,30
K12	-3502,88	K24		K12	-3503,14	K24	-4011,17

Posudek TLAK $N_{Ed}/N_{c.Rd} = 0,154 \leq 1,0$

Posudek OHYB $M_{yd}/M_{c.Rd} = 0,004 \leq 1,0$

INTERAKCE OHYBU A OSOVÉHO TLAKU (zanedbání klopení)

$$N_{Ed}/N_{b.Rd.y} + k_{yy} \cdot (M_{yd}/M_{Rk.y}) + k_{yz} \cdot (M_{zd} / M_{Rk.z}) = 0,517 \leq 1,0$$

$$N_{Ed}/N_{b.Rd.z} + k_{zy} \cdot (M_{yd}/M_{Rk.y}) + k_{zz} \cdot (M_{zd}/M_{Rk.z}) = 0,235 \leq 1,0$$

6. Závěr

V úvodu této bakalářské práce jsme navrhli 3 řešení přemostění řeky Dyje v Břeclavi. Vypracovali jsme studii, pomocí které jsme zjišťovali výhodnost volby konstrukčního zavěšení mostovky. Dále jsme vybrali jednu z variant – variantu A, provedli jsme statický výpočet a vypracovali podrobnou projektovou dokumentaci. Ve statickém výpočtu byla konstrukce posouzena dle platných norem na mezní stav použitelnosti i mezní stav únosnosti. V obou případech vyhověla. Pro výpočet vnitřních sil byl použit program Scia Engineer 19.1., pro zpracování projektové dokumentace program AutoCAD 2020. V závěru práce byla vytvořena vizualizace konstrukce.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1.] 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.
- [2.] *Dlubal Software s.r.o.* [online]. Praha: Dlubal, 2020 [cit. 2020-06-02]. Dostupné z: <https://www.dlubal.com/cs/oblasti-zatizeni-snehem-vetrem-a-zemetresenim/vitr-csn-en-1991-1-4.html>
- [3.] *Fine spol. s r.o.* [online]. Praha: Fine, 2020 [cit. 2020-06-02]. Dostupné z: <https://www.fine.cz/napoveda/finec/cs/kroucenim-msu-01/>
- [4.] ČSN 73 6201. *Projektování mostních objektů*. Praha: Český normalizační institut, 2008
- [5.] ČSN 73 6214. *Navrhování betonových mostních konstrukcí*. Praha: Český normalizační institut, 2014.
- [6.] ČSN EN 1990. *Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí: Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby*. 210 stran. Praha: Český normalizační institut, 2004.
- [7.] ČSN EN 1992-1-1. *Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí*. 210 stran. Praha: Český normalizační institut, 2006.
- [8.] ČSN EN 1992-2. *Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí: Část 2: Betonové mosty – Navrhování a konstrukční zásady*. 90 stran. Praha: Český normalizační institut, 2007.
- [9.] ČSN EN 1993-2. *Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí: Část 2: Ocelové mosty*. 102 stran. Praha: Český normalizační institut, 2008.
- [10.] *Podklady pro projektování: FREYSSINET CS a.s.* 2011. Dostupné také z: www.freyssinet.cz
- [11.] *Brožury: VSL SYSETÉMY /CZ/, s.r.o.* Dostupné také z: www.vsl.cz



SEZNAM PŘÍLOH

P1. Podklady, studie a vizualizace

- P1.1 Podklady
- P1.2 Studie
- P1.3 VAR_A
- P1.4 VAR_B
- P1.5 VAR_C
- P1.6 Vizualizace 1
- P1.7 Vizualizace 2
- P1.8 Vizualizace 3
- P1.9 Vizualizace 4
- P1.10 Vizualizace 5
- P1.11 Vizualizace 6
- P1.12 Vizualizace 7
- P1.13 Vizualizace 8
- P1.14 Vizualizace 9

P2. Přehledné a podrobné výkresy zvoleného návrhu mostu

- P2.1 Situace
- P2.2 Podélný řez lávkou
- P2.3 Příčné řezy lávkou
- P2.4 Výkres tvaru mostovky
- P2.5 Výkres betonářské výztuže
- P2.6 Výkres předpínací výztuže

P3. Statický výpočet

- P3. Statický výpočet