



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

SILNIČNÍ MOST V OBCI ŽDÁR NAD SÁZAVOU

ROAD BRIDGE IN THE VILLAGE ŽDÁR NAD SÁZAVOU

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Jevhenij Pylypenko

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. JIŘÍ STRNAD, Ph.D.

BRNO 2022



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	NPC-SIK Stavební inženýrství – konstrukce a dopravní stavby
Typ studijního programu	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
Specializace	bez specializace
Pracoviště	Ústav betonových a zděných konstrukcí

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student	Bc. Jevhenij Pylypenko
Název	Silniční most v obci Žďár nad Sázavou
Vedoucí práce	Ing. Jiří Strnad, Ph.D.
Datum zadání	31. 3. 2021
Datum odevzdání	14. 1. 2022

V Brně dne 31. 3. 2021

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

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

PODKLADY A LITERATURA

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

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

Výpočetní programy pro PC

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Provedte návrh a statický výpočet mostu přes řeku Sázavu v obci Žďár nad Sázavou. Most bude převádět místní komunikaci a chodníky po obou stranách.

Požadované výstupy:

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

Přílohy textové části:

P1. Použité podklady

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

P3. Statický výpočet

P4. Stavební postup

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

STRUKTURA DIPLOMOVÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

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

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

Ing. Jiří Strnad, Ph.D.
Vedoucí diplomové práce

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá návrhem nosné konstrukce nového betonového mostu ve městě Žďár nad Sázavou, Kraj Vysočina. Most by měl sloužit pro převod silniční, cyklistické a pěší dopravy přes řeku Sázavu. Osnovu pro návrh tvoří okolní terén zaměřený geodetem. Staticky se jedná o samokotvený obloukový systém s mezilehlou předpjatou mostovkou. Rozpětí mostovky je 74,02 m, rozpětí oblouku činí 57,00 m se vzepětím 12,00 m. Konstrukce byla posouzena na mezní stavy únosností a použitelností dle platných norem (Eurokódů).

KLÍČOVÁ SLOVA

Silniční most, obloukový most, samokotvený systém, mezilehlá mostovka, předpjatý beton, mezní stavy.

ABSTRACT

The final thesis is focused on design of the superstructure of a new concrete bridge in city Žďár nad Sázavou, Kraj Vysočina. The bridge should serve for passing roadway, cycle path and pavement across the river Sázava. The base for bridge design include the measured terrain. The static system is self-anchored system of arch, braces and prestressed semi-through deck. The bridge span is 74,02. Arch span is 57,00 m with high 12,00 m. Construction was assessed by the ultimate limit state and service limit state according to recent standards (Eurocode).

KEYWORDS

Road bridge, arch bridge, self-anchored system, semi-through deck, prestressed concrete, limit states.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Bc. Jevhenij Pylypenko *Silniční most v obci Žďár nad Sázavou*. Brno, 2021. 36 s., 102 s. příl.
Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav betonových a
zděných konstrukcí. Vedoucí práce Ing. Jiří Strnad, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané diplomové práce s názvem *Silniční most v obci Žďár nad Sázavou* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 14. 1. 2021

Bc. Jevhenij Pylypenko
autor práce

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem *Silniční most v obci Žďár nad Sázavou* zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 14. 1. 2021

Bc. Jevhenij Pylypenko
autor práce

PODĚKOVÁNÍ

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

OBSAH

1	ÚVOD	10
2	IDENTIFIKAČNÍ ÚDAJE	10
3	PODKLADY	10
3.1	POLOHA OBJEKTU	10
3.2	DIGITALIZACE TERÉNU.....	11
3.3	GEOTECHNICKÉ POMĚRY	11
4	ZVOLENÁ VARIANTA ŘEŠENÍ	12
5	STANOVENÍ TVARU OBLOUKU	13
6	VÝPOČETNÍ MODEL Y.....	14
6.1	RÁMOVÝ MODEL XYZ.....	14
6.2	RÁMOVÝ MODEL XZ.....	15
6.2.1	KONTROLA RÁMOVÉHO MODELU	16
6.2.1.1	MOSTOVKA.....	16
6.2.1.2	OBLOUK	17
6.3	DESKOVÝ MODEL	18
7	MATERIÁLY	19
8	ZATÍŽENÍ	19
8.1	STÁLÉ ZATÍŽENÍ	19
8.2	PROMĚNNÉ ZATÍŽENÍ	20
8.2.1	ZATÍŽENÍ DOPRAVOU.....	20
8.2.2	KLIMATICKÁ ZATÍŽENÍ.....	21
9	ZALOŽENÍ	21
10	MEZNÍ STAVY POUŽITELNOSTI.....	22
10.1	PŘEDPÍNACÍ VÝZTUŽ	22
10.2	OBLOUK.....	22
10.3	MOSTOVKA	23
10.3.1	OMEZENÍ NAPĚTÍ V BETONU	23
10.3.2	OMEZENÍ TRHLIN	24
10.3.3	OMEZENÍ DEFORMACI.....	24
10.3.4	ZÁVĚSNÁ LANA.....	25
11	MEZNÍ STAVY ÚNOSNOSTI.....	25
11.1	MOSTOVKA	26

11.2	POSOUZENÍ SMYKOVÉ ÚNOSNOSTI	26
11.2.1	POSOUZENÍ NA SMYKOVOU SÍLU A KROUTICÍ MOMENT	26
11.2.2	POSOUZENÍ NA VODOROVNÝ ÚČINEK SMYKU	27
11.2.3	POSOUZENÍ NA PODÉLNÝ ÚČINEK SMYKU	27
11.2.4	POSOUZENÍ NA SMYKOVOU SÍLU V PŘÍČNÉM SMĚRU	27
11.3	POSOUZENÍ OHYBOVÉ ÚNOSNOSTÍ.....	28
11.3.1.1	PODÉLNÝ SMĚR.....	28
11.3.1.2	PŘÍČNÝ SMĚR.....	29
11.4	OBLOUK.....	29
11.5	KOTEVNÍ OBLAST	30
12	POSTUP VÝSTAVBY	31
13	ZÁVĚR	32

1 ÚVOD

Úkolem této diplomové práce je návrh přemostění přes řeku Sázavu ve městě Žďár nad Sázavou. Most se nachází na silnici I19 a slouží tak pro převod automobilové, cyklistické a pěší dopravy. Taky na novou konstrukci jsou kladeny další požadavky jako to, že most musí být jednopólový a nosná konstrukce mostu musí být nad mostovkou. Důvodem těchto požadavků je to, aby most nepřekážel poměrně intenzivní říční dopravě. Kategorie pozemní komunikace v místě přemostění je S7,5. Dle těchto požadavků bylo navrženo šířkové uspořádání a vhodná varianta řešení nosné konstrukce.

Zvolená varianta ve tvaru obloukového mostu byla podrobně posouzená. Posouzení zahrnuje hledání vhodného tvaru oblouku a ostatních konstrukčních prvků mostu, návrh založení a geometrie předpínacích kabelů. Jako poslední bylo provedeno posouzení mostovky s obloukem na mezní stavy použitelnosti a únosnosti. Sestavené výpočetní modely byly zatíženy dle norem ČSN EN 1997 – 1 – 1, 2, 4, 5: zatížení konstrukcí, zatížení mostů, zatížení větrem a zatížení teplotou.

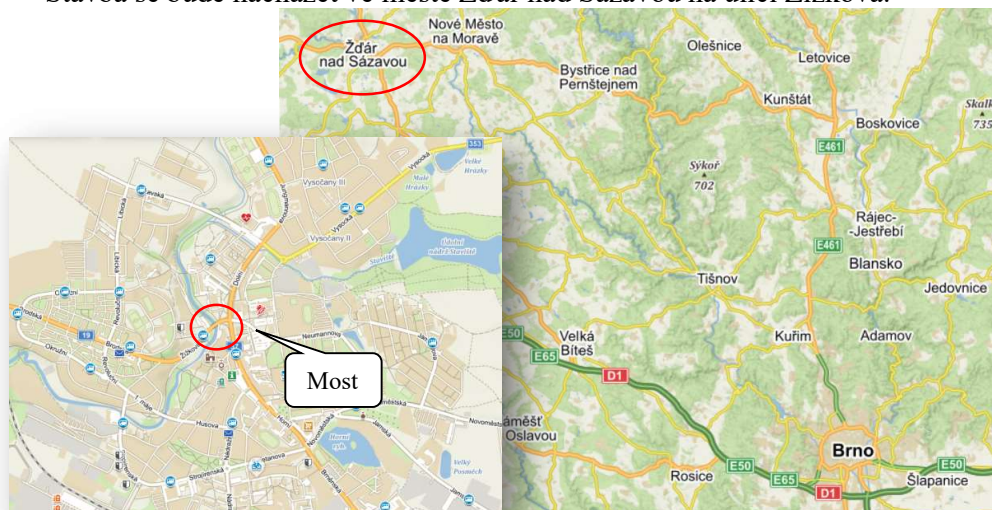
2 IDENTIFIKAČNÍ ÚDAJE

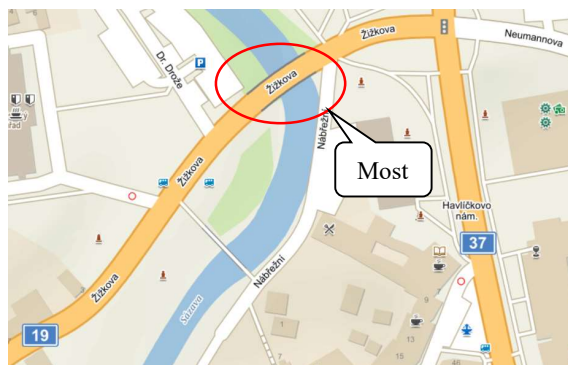
Název stavby:	Silniční most v obci Žďár nad Sázavou
Číslo objektu:	19 - 075
Místo stavby:	Žďár nad Sázavou
Kraj:	Kraj Vysočina
Okres:	Žďár nad Sázavou
Katastrální území:	Město Žďár [795232]
Investor:	Krajská správa a údržba silnic Vysočiny
Přemostěvaná překážka:	řeka Sázava
Převáděná komunikace:	silnice I19

3 PODKLADY

3.1 POLOHA OBJEKTU

Stavba se bude nacházet ve městě Žďár nad Sázavou na ulici Žižkova.

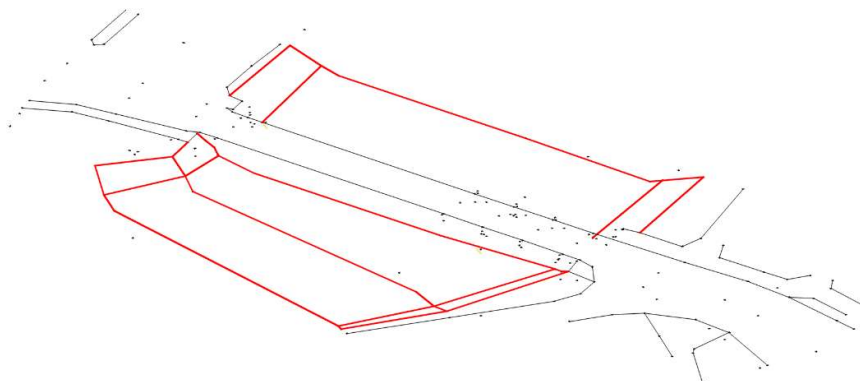




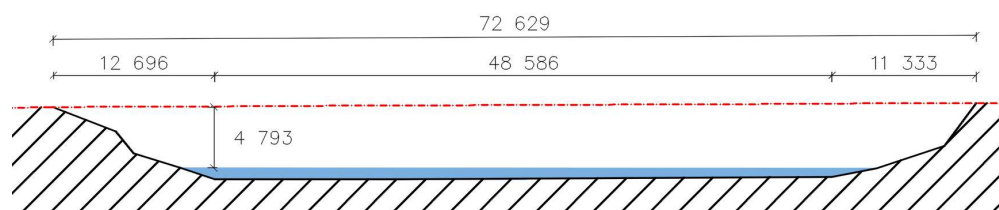
Obr. 1 Poloha objektu

3.2 DIGITALIZACE TERÉNU

Hlavním podkladem pro návrh mostu byl geodetem zaměřený terén, převedený do digitální podoby v CAD rozhraní.



Obr. 2 Pohled na zaměřené body



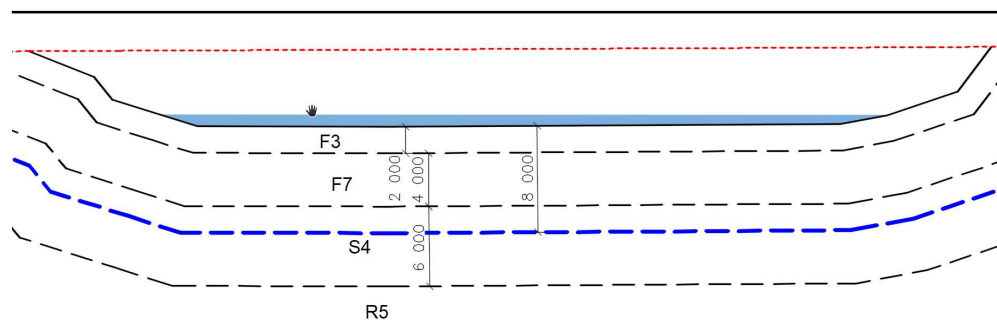
Obr. 3 Podélný řez terénem

3.3 GEOTECHNICKÉ POMĚRY

Pro návrh založení mostu byly použity následující geotechnické poměry.

H [m]	ΔH [m]	Název	γ [kN/m ³]	γ_{sat} [kN/m ³]	ϕ_{eff} [°]	C_{eff} [kPa]	E_{def} [MPa]
0 - 2	2	F3 - Hlína písčitá	18,7	19,7	22,5	8	4,7
2 - 6	4	F7 - Hlína s vysokou plasticitou	20,6	21,2	17	6	5,2
6 - 12	6	S4 - Písek hlinitý	18,5	19,5	25,5		12
> 12		R5 - Zdravé velmi slabě zpevněné jílovce	21,2	21,6	24	16	21

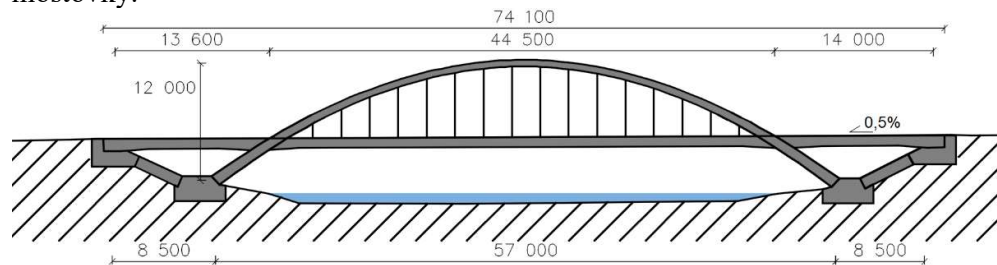
Tab. 1. Geotechnické poměry



Obr. 4 Geotechnické poměry

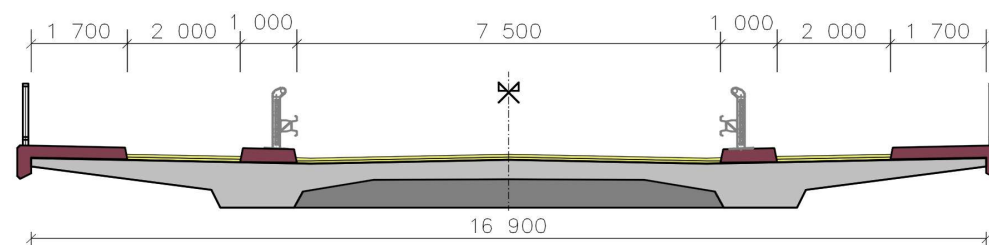
4 ZVOLENÁ VARIANTA ŘEŠENÍ

Navržená konstrukce by měla respektovat požadavky investora, zejména: nový most musí být jednopólový a hlavní nosná konstrukce musí být nad mostovkou. Důvodem těchto požadavků je, aby nový most žádným způsobem nebránil sjíždění řeky. Podrobnější návrh variant je znázorněn v příloze P1. Jako vhodné řešení pro nosnou konstrukci se jevila varianta samokotvené obloukové konstrukce s mezilehlou mostovkou. Nosná konstrukce je tvořena ocelovým obloukem vyplněným betonem, mostovkou a vzpěrami, které spolu vytváří samokotvený systém. Vodorovné reakce oblouku jsou zachycené předpětím mostovky.

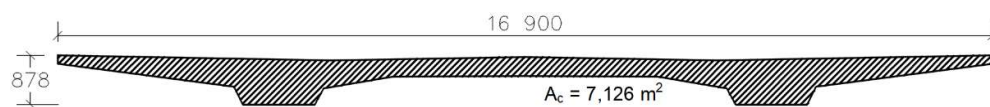


Obr. 5 Schéma nosné konstrukce mostu

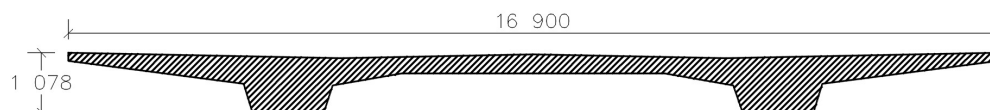
Mostovka je tvořena štíhlým dvoutrámovým průřezem s náběhy v místě opěry a křížení mostovky s oblouky. Do mostovky je vnesena předpínací síla pro zachycení vodorovných obloukových reakcí a vytvoření dostatečné tlakové rezervy. V příčném směru mostovka je vyztužena příčníky, které také slouží jako kotvení body pro závěsná lana. Průřez oblouku je ocelový a je vyplněn betonem. Výška průřezu oblouku narůstá směrem k podporám pro přenesení narůstající normálové síly a ohybového momentu. Založení bude navrženo jako velkopřůměrové piloty.



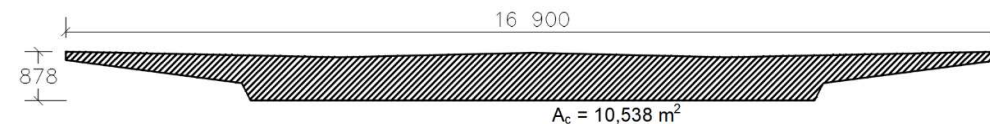
Obr. 6 Šířkové uspořádání



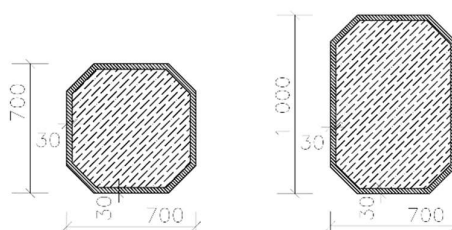
Obr. 7 Průřez mostovky



Obr. 8 Průřez mostovky v místě náběhu



Obr. 9 Průřez příčniku



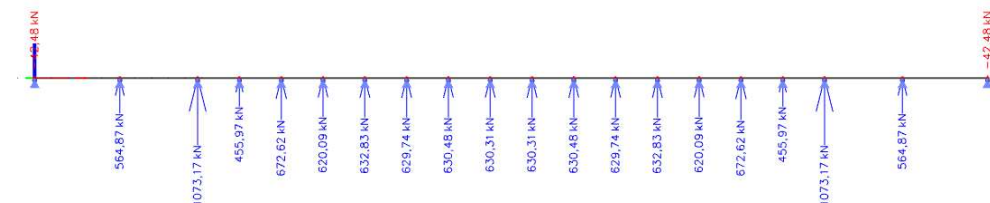
Obr. 10 Průřez oblouku: základní (vlevo), v místě uložení (vpravo)

5 STANOVENÍ TVARU OBLOUKU

Rovnice střednice oblouku byla stanovena na prostém nosníku v několika krocích. Délka nosníků odpovídá délce tětivy oblouku a je rovná 57,00 m.

– Stanovení reakcí v místech závěsů

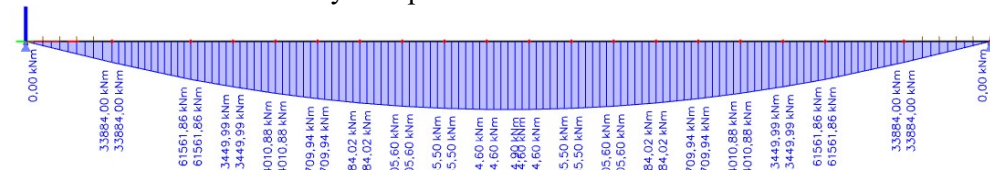
Prostý nosník byl zatížen spojitým zatížením od mostního svršku a silami odpovídajícím rozdílu tíhy mostovky a příčniku. Podepření bylo provedeno v místech závěsů, míst křížení mostovky a oblouku a na koncích.



Obr. 11 Získané reakce

– Průběh ohybových momentů na prostém nosníku

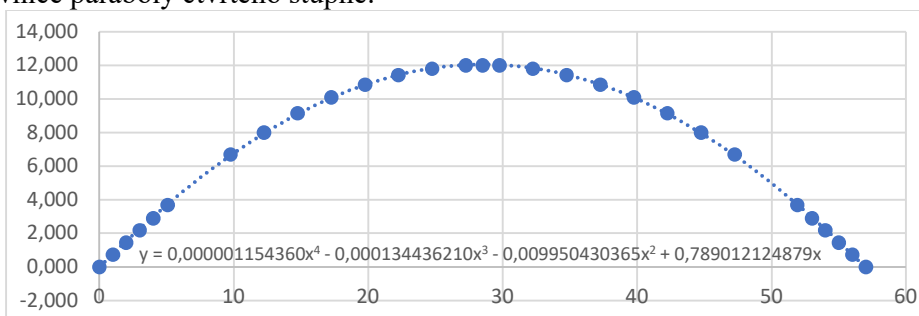
V dalším kroku prostý nosník byl zatížen spojitým zatížením od vlastní tíhy oblouku a reakcemi získanými v předešlém kroku.



Obr. 12 Průběh ohybových momentů na prostém nosníku

– Rovnice střednice

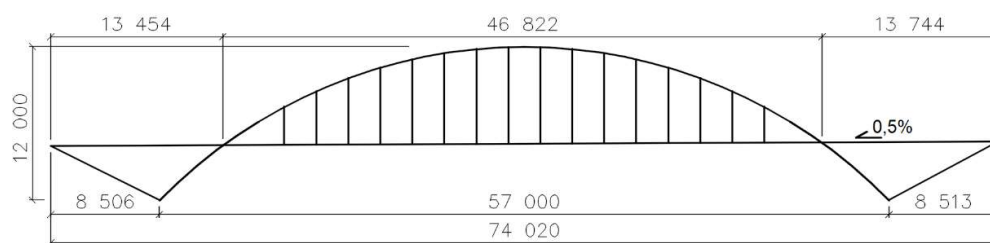
Ze závislosti ohybového momentů a normálové síly byly stanovené souřadnice bodů, kterými prohází střednice oblouku a následně rovnice střednice ve tvaru rovnice paraboly čtvrtého stupně.



Obr. 13 Rovnice střednice oblouku

6 VÝPOČETNÍ MODEL

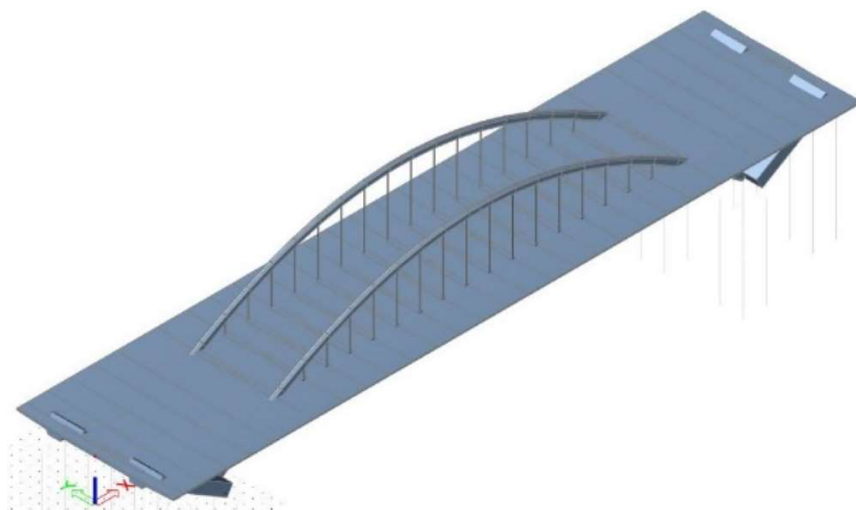
Pro získání účinku vnitřních sil na konstrukci byly použity tři výpočetní modely v softwaru SCIA Engineer 20.0. Pro návrh založení, geometrie předpínacích kabelů a sledování počátečních deformací byl použit rámový model v rovině XYZ. Pro řešení fázi výstavby a mezních stavů byl použit rámový model v rovině XZ. Jako poslední byl použit deskový model pro řešení příčných účinků. Ve všech modelech byla dodržena skutečná podélná nesymetrie mostu způsobená podélným sklonem 0,5%.



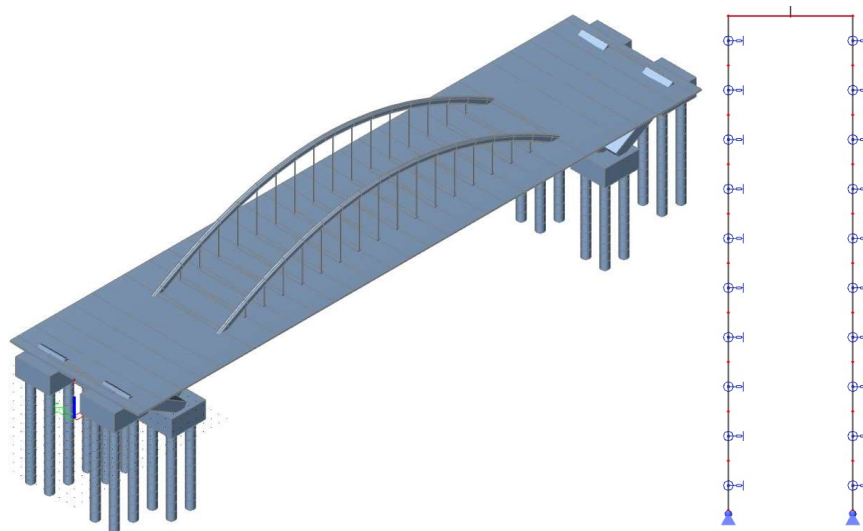
Obr. 14 Schéma podélného řezu

6.1 RÁMOVÝ MODEL XYZ

Model byl sestavován ve dvou krocích. V prvním kroku byla vymodelována nadzemní část konstrukce včetně náběhů mostovky a oblouku, poté po získání účinků na spodní stavbu byly navrženy piloty včetně znázornění odporu okolní zeminy pomocí pružných podpor. Předpětí bylo modelováno pomocí soudržných kabelů. Příčníky v tomto modelu byly modelovány jako nekonečně tuhé pruty pro zajištění spolupůsobení mezi mostovkou, obloukem, předpětím a základy.



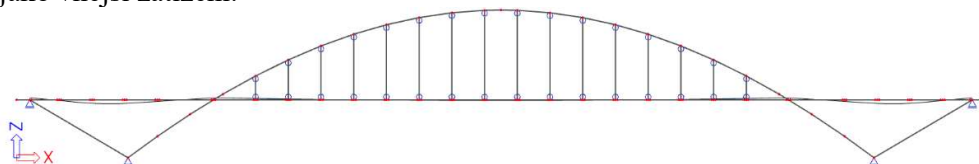
Obr. 15 Rám XYZ – první fáze



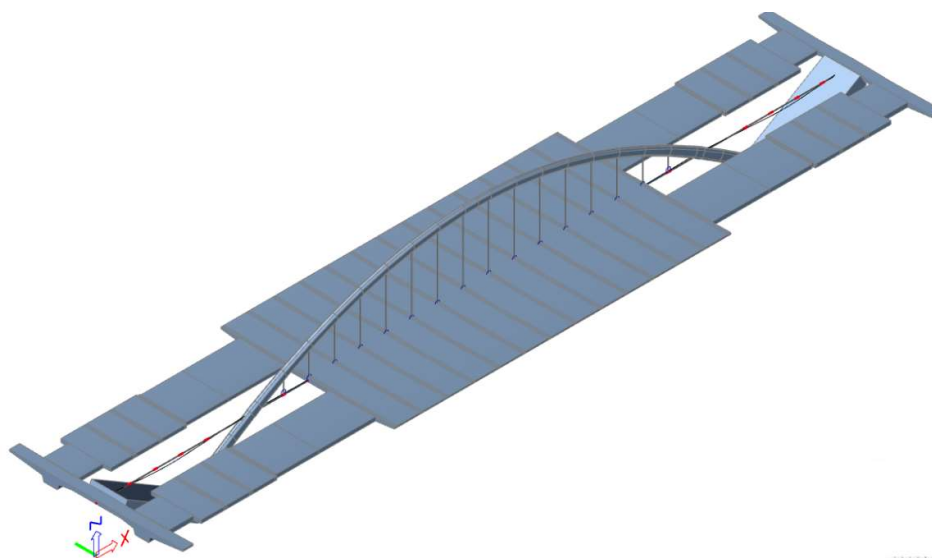
Obr. 16 Rám XYZ – druhá fáze + pohled na pružné podpory pilot

6.2 RÁMOVÝ MODEL XZ

Model byl vytvořen v prostředí Rám XZ pro možnost provedení časově závislé analýzy TDA. Prostorové prvky jako oblouky, vzpěry a závěsy byly nahrazeny jedním prvkem shodné geometrie a dvojnásobné hmotnosti. Byly také opět modelovány náběhy v mostovce a oblouku. V tomto modelu nebyla modelována spodní stavba, protože modul TDA nepodporuje pružné podpory znázorňující odpor zeminy. Předpětí opět bylo modelováno pomocí soudržných kabelů v ose konstrukce. Skutečné průřezy mostovky byly nahrazeny efektivními průřezy pro obdržení redukováných hodnot napětí. Zredukováná tíha mostovky byla přidána jako vnější zatížení.



Obr. 17 Rám XZ – boční pohled

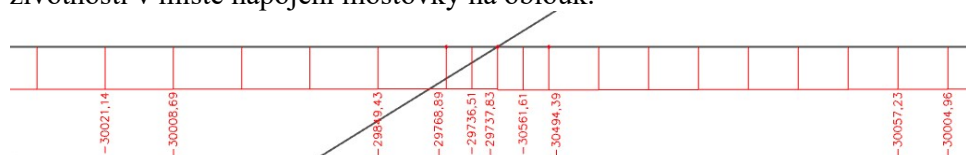


Obr. 18 Rám XZ

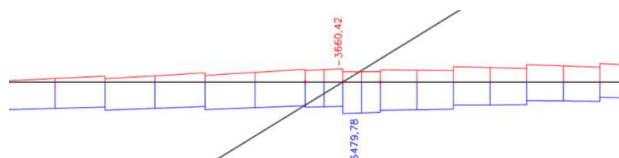
6.2.1 KONTROLA RÁMOVÉHO MODELU

6.2.1.1 MOSTOVKA

Kontrola bude provedena pro charakteristickou kombinaci napětí na konci životnosti v místě napojení mostovky na oblouk.



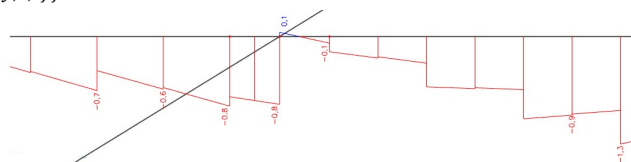
Obr. 19 Průběh normálové síly v místě kontroly



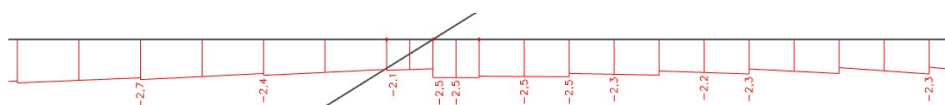
Obr. 20 Průběh ohybového momentu v místě kontroly

$$\sigma_h = \frac{N}{A_{c,eff}} + \frac{M_y}{W_{y,h,eff}} = \frac{-29737,83}{5,328} - \frac{3660,42}{1,3199} = -2,527 \text{ MPa}$$

$$\sigma_d = \frac{N}{A_{c,eff}} + \frac{M_y}{W_{y,h,eff}} = \frac{-29737,83}{5,328} - \frac{6479,78}{1,4295} = -0,767 \text{ MPa}$$



Obr. 21 Kontrolované napětí v horních vláknech



Obr. 22 Kontrolované napětí v dolních vláknech

6.2.1.2 OBLOUK

Při výpočtu fázovaných průřezů dochází k převedení průřezových charakteristik na charakteristiky ideálního průřezu, tyto charakteristiky jsou pak použity pro výpočet napětí. Hodnoty napětí oceli budou zkontrolovány pro vlastní tíhu v místě prvního závěsu.

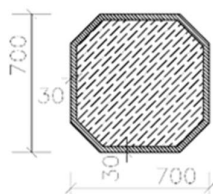
– Průřezové charakteristiky ideálního průřezu

$$A_a = 0,067469 \text{ m}^2$$

$$I_a = 0,004424 \text{ m}^4$$

$$A_c = 0,377530 \text{ m}^2$$

$$I_c = 0,011480 \text{ m}^4$$



Obr. 23 Průřez v místě ověření

$$A_i = A_a + \alpha \cdot A_c = 0,067469 + 0,162 \cdot 0,377530 = 0,128629 \text{ m}^2$$

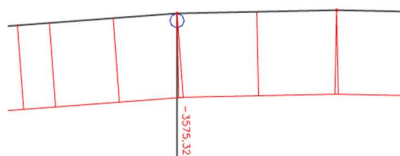
$$I_i = I_a + \alpha \cdot A_c = 0,004424 + 0,162 \cdot 0,011480 = 0,006288 \text{ m}^4$$

$$W_i = \frac{I_i}{z_{cg}} = \frac{0,006173}{0,350} = 0,017966 \text{ m}^4$$

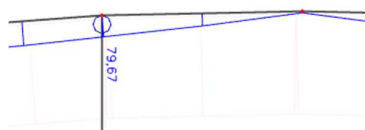
Kde:

$$\alpha = \frac{E_{cm}}{E_s} = \frac{34 \text{ MPa}}{210 \text{ MPa}} = 0,162$$

– Účinky zatížení



Obr. 24 Normálová síla v místě kontroly

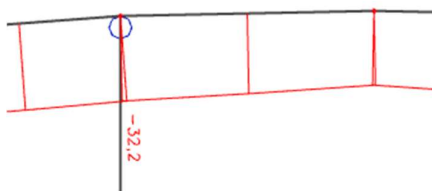


Obr. 25 Ohybový moment v místě kontroly

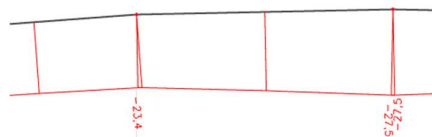
– Kontrola

$$\sigma_h = \frac{N}{A_i} + \frac{M_y}{W_i} = \frac{-3575,32}{0,128629} - \frac{79,67}{0,017966} = -32,230 \text{ MPa}$$

$$\sigma_d = \frac{N}{A_i} + \frac{M_y}{W_i} = \frac{-3575,32}{0,128629} + \frac{79,67}{0,017966} = -23,361 \text{ MPa}$$



Obr. 26 Napětí na horních vláknech

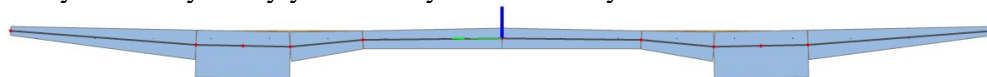


Obr. 27 Napětí na spodních vláknech

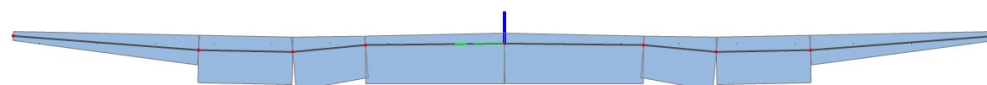
Rozdíl je způsoben modulem pružnosti betonu. Modul pružnosti pro C35/45 ve SCIA Engineer = 34,1 MPa, při ruční kontrole 34,0 MPa.

6.3 DESKOVÝ MODEL

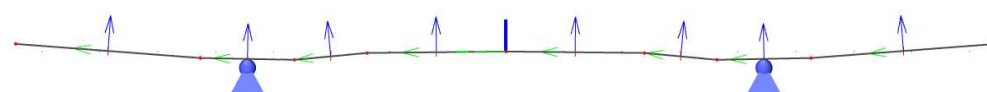
Deskový model byl sestaven z jednotlivých deskových bloků ve tvaru mostovky a příčnicku tak, aby plocha průřezů odpovídala skutečnosti. Podepření bylo provedeno v místech kotvení závěsů. Byly zachovány příčné sklony horní hrany mostovky ale byly zanedbány zkosené hrany trámů.



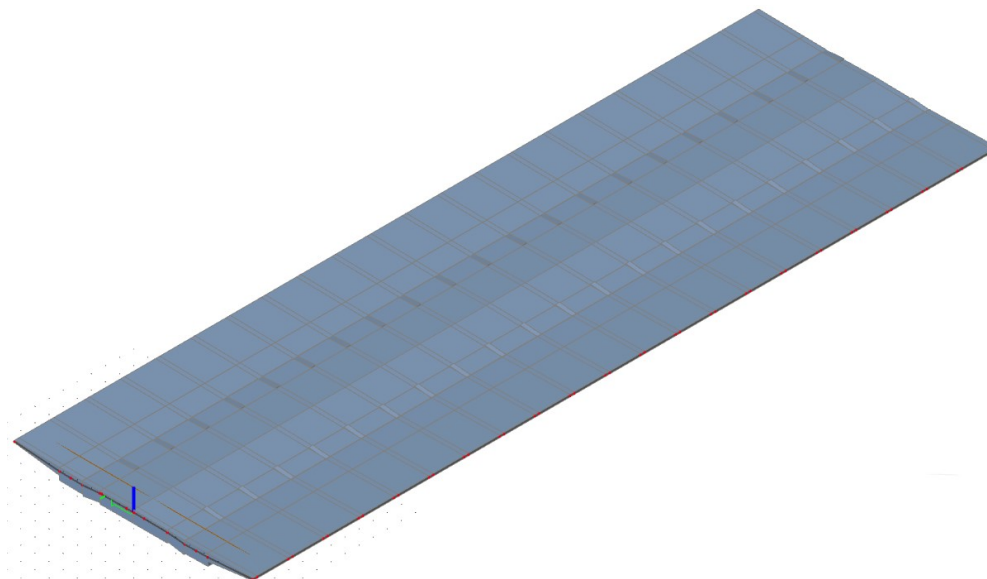
Obr. 28 Deskový model – mostovka



Obr. 29 Deskový model – příčník



Obr. 30 Podepření příčníku



Obr. 31 Deskový model

7 MATERIÁLY

Prvky	Materiál		Prostředí
Mostovka a Příčnice	Beton	C35/45	XC4, XF2, XD1
	Betonářská výztuž	B500 B	
	Předpínací výztuž	Y1860 S7-15,7	
Oblouk	Beton	C20/25	XC1
	Ocel	S355	
Vzpěry	Beton	C30/37	XC4, XF1, XD1
	Betonářská výztuž	B500 B	
Základové pátky a piloty	Beton	C30/37	XA1, XC2
	Betonářská výztuž	B500 B	

Tab. 2. Přehled konstrukčních prvků a materiálů

8 ZATÍŽENÍ

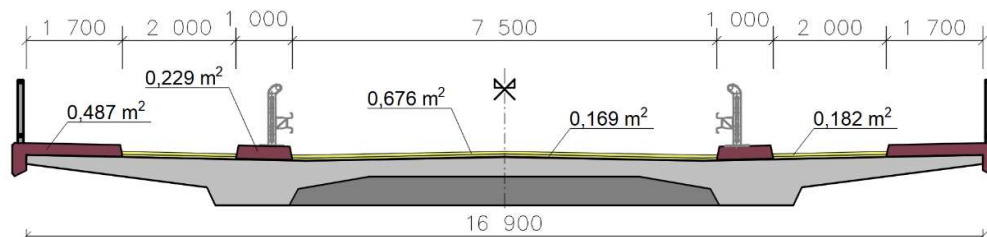
8.1 STÁLÉ ZATÍŽENÍ

– Vlastní tíha

Zatížení generováno softwarem automaticky na základě materiálu dle tab. č. 2.

– Ostatní stálé zatížení

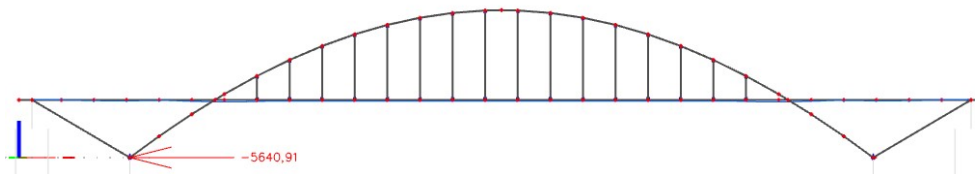
Zatížení bylo spočítané ve formě liniového spojitého zatížení od mostního svršku.



Obr. 32 Plochy říms a vozovky v příčném řezu

– Předpětí

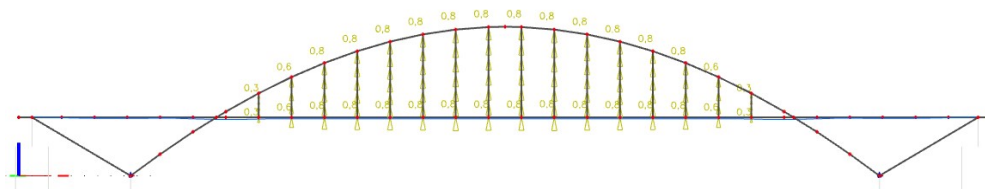
Předpětí bylo modelováno pomocí soudržných kabelů dle navržené geometrie. Celkem bylo navrženo 6 kabelů po 22 lanech s celkovou předpínací silou $P_{m,t_0} = 29224,8 \text{ kN}$. Jednou z funkcí předpětí je také zachycení vodorovné reakce v patě oblouku.



Obr. 33 Vodorovná reakce v patě oblouku od stálého zatížení

– Napnutí závěsných lan

Předepnutí bylo vneseno do model ve formě podélného přetvoření odpovídajícího tíze pověšené na každý ze závěsů

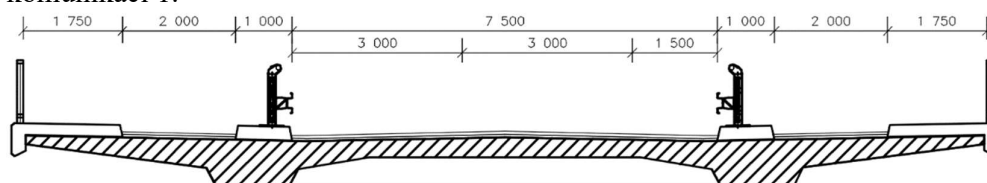


Obr. 34 Podélné přetvoření závěsů vnesené do modelu

8.2 PROMĚNNÉ ZATÍŽENÍ

8.2.1 ZATÍŽENÍ DOPRAVOU

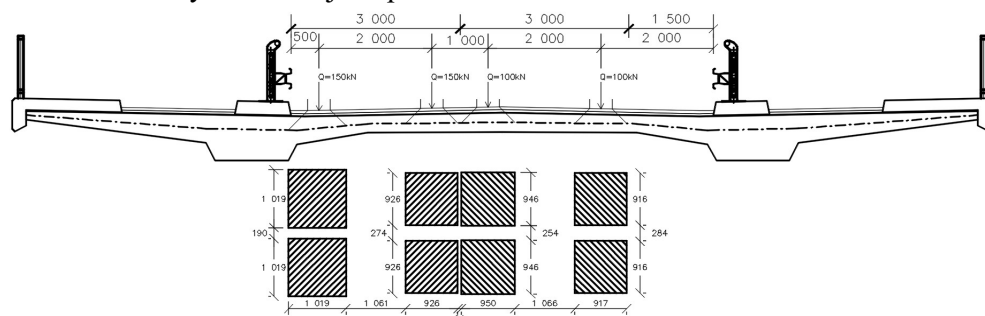
Zatížení bylo provedeno dle ČSN EN 1991 – 2, odpovídající zatěžovací vozidla byly zvoleny dle šířkového uspořádání vozovky pro skupinu pozemních komunikací 1.



Obr. 35 Uspořádání jízdních pruhů na vozovce

– Model zatížení GR1a

Skupina zatížení se skládá z tandem systému TS, spojitého plošného zatížení UDL a brzdných nebo rozjezdových sil. Do modelu v rovině obecná XYZ a Rám XZ tandem systém a odpovídající vodorovné síly byli vnesené jako osamělá pohyblivá břemena. Zatížení UDL bylo zadáno jako spojitě liniové zatížení. Při zatížení deskového tandem systémem byl proveden roznos zatížení na střednici a zatížení UDL bylo zadáno jako plošné zatížení.



Obr. 36 Příklad roznosu zatížení od tandem systému

– Model zatížení GR5

Jako zvláštní vozidlo pro silnici I třídy bylo zvoleno vozidlo o celkové tíze 1800 kN s devíti nápravami o vzdálenosti 0,5 m. Princip zatěžování je obdobný jako u skupiny GR1a.

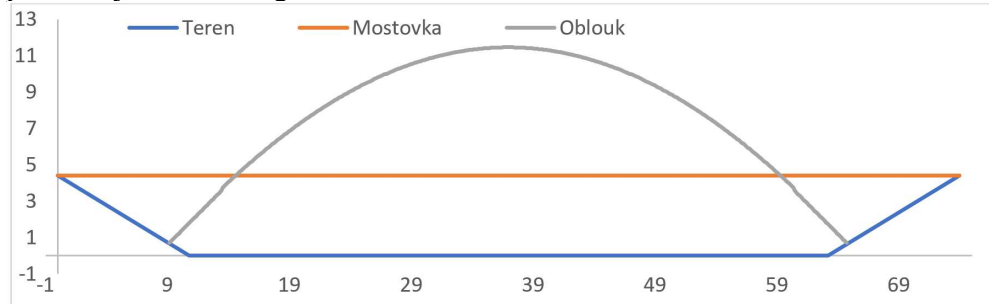
– Zatížení od chodců a cyklistů

V obou případech hodnota zatížení je 3 kN/m^2 . Do prutových modelu zatížení bylo opět zadáno jako liniové spojitě zatížení.

8.2.2 KLIMATICKÁ ZATÍŽENÍ

– Zatížení větrem

Zatížení bylo stanoveno dle ČSN EN – 1991 – 1 – 4 a vychází z mapy větrných oblastí ČR. Objekt se nachází ve větrné oblasti III. Při stanovení zatížení byla použita zjednodušená geometrie mostu.



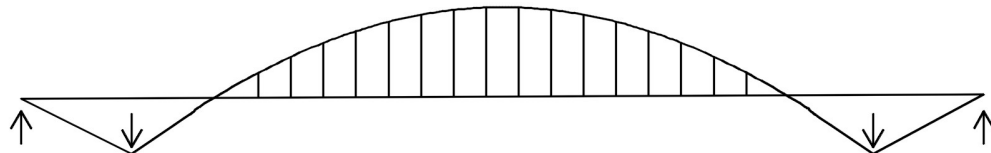
Obr. 37 Geometrie mostu pro stanovení zatížení větrem

– Zatížení teplotou

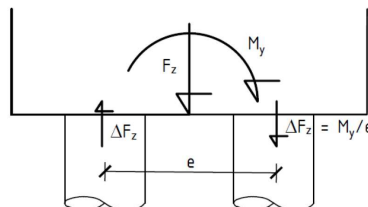
Zatížení bylo provedeno dle ČSN EN 1991 – 1 – 5 a vychází z map maximálních a minimálních teplot ve stínu. Zatížení bylo stanovené ve dvou krocích: rovnoměrná složka teploty a lineární složka teploty pro případy kdy je horní povrch teplejší než spodní a obráceně.

9 ZALOŽENÍ

Založení je řešeno pomocí velkorozměrových pilot. Skupina pilot pod obloukem je tlačena a můžeme počítat s třením na plášti piloty a s únosností paty piloty, skupina pod opěrou je tažena a počítáme pouze s třením na plášti pilot.



Obr. 38 Směr zatížení pilot



Obr. 39 Statické schéma pilotového základu

V místě podepření oblouku bylo navrženo 4 piloty o průměru 1,0 m a hloubce 12,0 m. V místě pod opěrou bylo navrženo 4 piloty o průměru 1,0 m a hloubce 10,0 m. Poté byli spočítané tuhosti pružných podpor pro napodobení odporu okolní zeminy. Výpočet byl proveden v úsecích po 1,0 m dle vztahu $k = E_{def} / \phi_p$.

10 MEZNÍ STAVY POUŽITELNOSTI

Pro posouzení mezních stavů použitelnosti byly použity kombinace dle ČSN EN 1990. Kombinace byly provedeny v softwaru SCIA Engineer 20.0.

– CHARAKTERISTICKÁ KOMBINACE

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

– ČASTÁ KOMBINACE

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

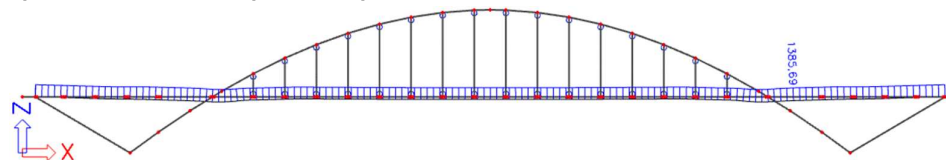
– KVAZISTÁLÁ KOMBINACE

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

10.1 PŘEDPÍNACÍ VÝZTUŽ

$\sigma_{p,m,0} \leq \sigma_{p,max,0}$ – dlouhodobé napětí v předpínací výztuži

$$\sigma_{p,max,0} = \min\{0,75 \cdot f_{pk}; 0,85 \cdot f_{p0,1k}\} = \min\{0,75 \cdot 1860; 0,85 \cdot 1640\} = 1394 \text{ MPa}$$



Obr. 40 Průběh napětí po krátkodobých ztrátách

$$1385,69 \text{ MPa} \leq 1394 \text{ MPa} - \text{vyhovuje}$$

10.2 OBLOUK

– Pro normálové napětí

$$\sigma \leq f_{yk} / \gamma_{M,set} = 355 / 1 = 355 \text{ MPa}$$

$$\gamma_{M,set} = 1,0$$

– Pro smykové napětí

$$\tau \leq f_{yk} / \gamma_{M,set} = 355 / 1 = 355 \text{ MPa}$$

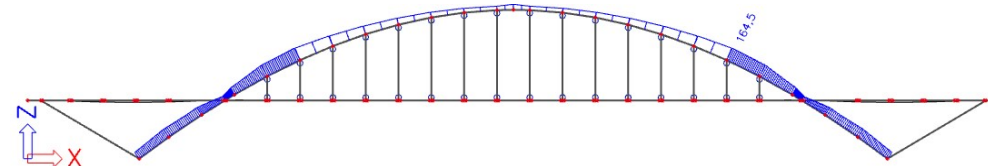
$$\gamma_{M,set} = 1,0$$

– Pro kombinaci normálového a smykového napětí

$$\sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2} \leq f_{yk} / \gamma_{M,set} = 355 / 1 = 355 \text{ MPa}$$

$$\gamma_{M,set} = 1,0$$

Z hlediska normálového napětí pro oblouk jsou rozhodující spodní vlákna na konci životnosti.



Obr. 41 Fáze – Konec životnosti – charakteristická kombinace – spodní vlákna – σ_{max}

$$\sigma_{c2} = 82,3 \text{ MPa} \leq 355 \text{ MPa} - \text{vyhovuje}$$

Pro smykové napětí

$$\sigma = 8,5 \text{ MPa} \leq 355 \text{ MPa} - \text{vyhovuje}$$

10.3 MOSTOVKA

10.3.1 OMEZENÍ NAPĚTÍ V BETONU

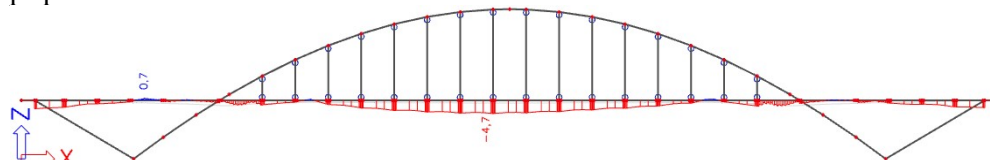
– Pro t_{∞}

Charakteristická kombinace:

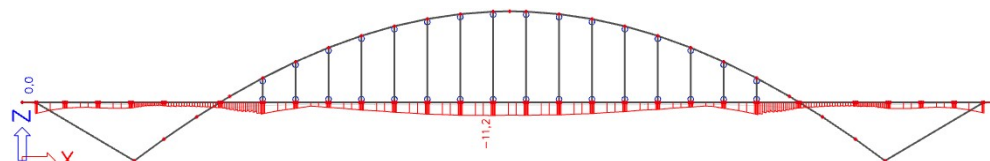
tažená vlákna: $\sigma \leq f_{ctm} = 3,2 \text{ MPa}$

tlačená vlákna: $\sigma \leq 0,6 \cdot f_{ck} = 0,6 \cdot 35 = 21 \text{ MPa}$

Pro charakteristickou kombinaci je jsou rozhodující spodní vlákna jak pro případ tahu tak i tlaku.



Obr. 42 Fáze – Uvedení do provozu – charakteristická kombinace – spodní vlákna – $\sigma_{\max}$



Obr. 43 Fáze – Uvedení do provozu – charakteristická kombinace – spodní vlákna – $\sigma_{\min}$

$\sigma_{c1} = -8,0 \text{ MPa} \leq -21 \text{ MPa}$ – **vyhovuje**

$\sigma_{c2} = -11,2 \text{ MPa} \leq -21 \text{ MPa}$ – **vyhovuje**

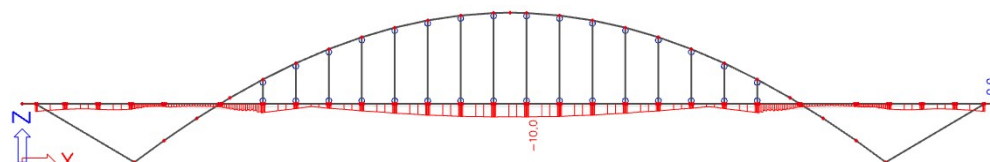
$\sigma_{c2} = 0,7 \text{ MPa} \leq 3,2 \text{ MPa}$ – **vyhovuje**

Kvazistálá kombinace:

tažená vlákna: $\sigma \leq 0,45 \cdot f_{ck} = 0,45 \cdot 35 = 15,75 \text{ MPa}$

tlačená vlákna: $\sigma \leq 0,45 \cdot f_{ck} = 0,45 \cdot 35 = 15,75 \text{ MPa}$

Pro kvazistálou kombinaci průřez je celý tlačný, rozhodující jsou spodní vlákna.



Obr. 44 Fáze – Uvedení do provozu – kvazistálá kombinace – spodní vlákna – $\sigma_{\min}$

$\sigma_{c2} = -10,0 \text{ MPa} \leq -15,75 \text{ MPa}$ – **vyhovuje**

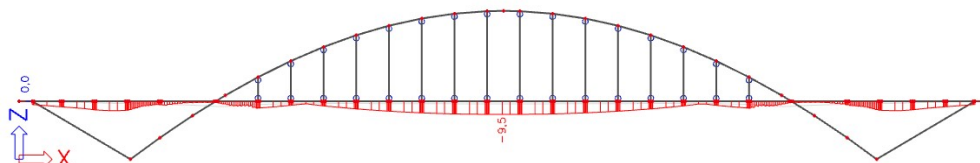
– Pro t_0

Vlastní tíha:

tažená vlákna: $\sigma \leq f_{ctm} = 3,2 \text{ MPa}$

tlačená vlákna: $\sigma \leq \sigma \leq 0,45 \cdot f_{ck} = 0,45 \cdot 35 = 15,75 \text{ MPa}$

Při odbednění jsou opět rozhodující spodní vlákna.



Obr. 45 Fáze – odbednění – spodní vlákna

$$\sigma_{c_2} = -9,5 \text{ MPa} \leq -21 \text{ MPa} - \text{vyhovuje}$$

10.3.2 OMEZENÍ TRHLIN

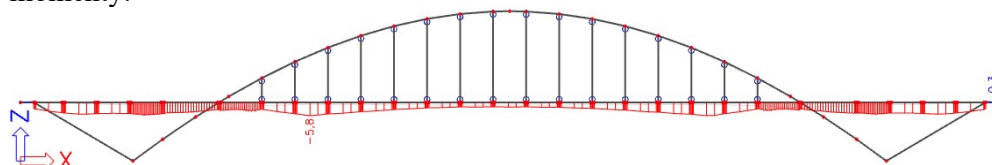
– Pro t_∞

Častá kombinace:

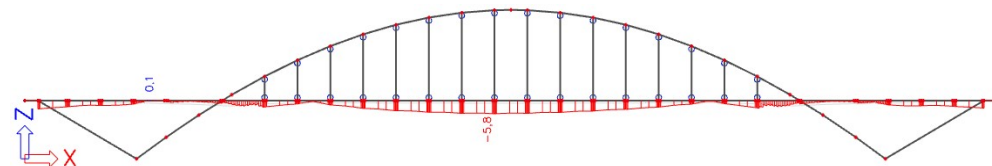
tažená vlákna: $\sigma \leq 0,0 \text{ MPa}$

tlačená vlákna: $\sigma \leq 0,0 \text{ MPa}$

Podmínka dekomprese byla splněná pro maximálně nepříznivé ohybové momenty.



Obr. 46 Fáze – Konec životnosti – častá kombinace – horní vlákna – $\sigma_{\max}$



Obr. 47 Fáze – Konec životnosti – častá kombinace – spodní vlákna – $\sigma_{\max}$

$$\sigma_{c_1} = -5,8 \text{ MPa} \leq 0,0 \text{ MPa} - \text{vyhovuje}$$

$$\sigma_{c_2} = 0,1 \text{ MPa} \approx 0,0 \text{ MPa} - \text{vyhovuje}$$

10.3.3 OMEZENÍ DEFORMACI

– Pro zatížení dopravou

$$W_{st,1,max} = \frac{L_1}{600} = \frac{13,454}{600} = 0,022 \text{ m}$$

$$W_{st,1,max} = \frac{L_2}{600} = \frac{46,822}{600} = 0,078 \text{ m}$$

– Pro dlouhodobý průhyb

$$W_{max} = \frac{L_1}{600} = \frac{13,454}{350} = 0,038 \text{ m}$$

$$W_{max} = \frac{L_2}{600} = \frac{46,822}{350} = 0,134 \text{ m}$$

Pro pole L_1

$$W_{st,1} = 0,004 \leq 0,022 - \text{vyhovuje}$$

$$W_{max,1} = 0,013 \leq 0,038 - \text{vyhovuje}$$

Pro pole L_2

$$W_{st,2} = 0,020 \leq 0,078 - \text{vyhovuje}$$

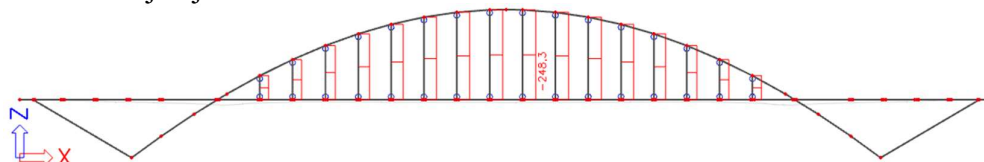
$$W_{max,2} = 0,056 \leq 0,0134 - \text{vyhovuje}$$

10.3.4 ZÁVĚSNÁ LANA

Častá kombinace:

$$\sigma \leq 0,45 \cdot f_{yk} = 0,45 \cdot 520 = 234 \text{ MPa}$$

Rozhodující je častá kombinace na konci životnosti.



Obr. 48 Fáze – Konec životnosti – častá kombinace

$$\sigma = 124,2 \text{ MPa} \leq 234 \text{ MPa} - \text{vyhovuje}$$

Veškeré uvedené posudky z hlediska MSP vyhovují a jsou znázorněny v příloze P3.

11 MEZNÍ STAVY ÚNOSNOSTI

Pro posouzení mezních stavů únosnosti byly použity kombinace dle ČSN EN 1990, zejména kombinace 6.10a a 6.10b. Kombinace byly provedeny v softwaru SCIA Engineer 20.0.

Kombinace	
Hodnoty	Rov.6.10a & Rov.6.10b
Budovy	
Nastavení kombinace	
Kategorie zatížení H se nekombinuje se sněhem a větrem	
Hodnota	☒
Součinitele Psi	EN 1990: Příloha A1 Tabulka A1.1
Součinitele Psi	
Součinitele zatížení do kombinací	
Základní kombinace (STR/GEO) Soubor B	EN 1990: Příloha A1 Tabulka A1.2(B)
Stálé zatížení - nepříznivé	
Hodnota	1,35
Stálé zatížení - příznivé	
Hodnota	1,00
Hlavní proměnné zatížení	
Hodnota	1,50
Doprovodné proměnné zatížení	
Hodnota	1,50
Redukční součinitel ksi	
Hodnota	0,85

Obr. 49 Nastavené kombinace pro MSÚ ve SCIA Engineer 20.0

– KOMBINACE 6.10a

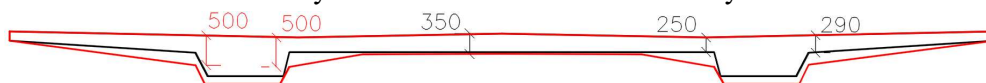
$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_p \cdot P + \gamma_{Q,1} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,1} + \sum_{j > 1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{Q,i} \cdot Q_{k,i}$$

– KOMBINACE 6.10b

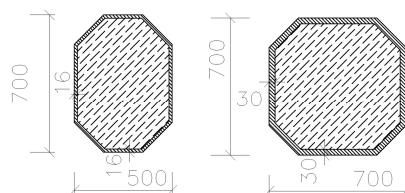
$$\sum_{j \geq 1} \xi_j \cdot \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_p \cdot P + \gamma_{Q,1} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,1} + \sum_{j > 1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{Q,i} \cdot Q_{k,i}$$

11.1 MOSTOVKA

Při posouzení mezních stavů únosnosti bylo zjištěno, že prvotně zvolené průřezy buď nejsou dimenzovatelné nebo nesplňují konstrukční zásady. Při ověření smykového napětí od podélného smyku v jednotlivých podélných řezech mostovky bylo zjištěno, že napětí v tlacené diagonále překročuje spočítanou dovolenou hodnotu 5,3 MPa. Proto byl navržen nový průřez mostovky, došlo k nabytí vlastní tíhy o 25%. Při ověření únosností oblouku, průřez nevyhověl při posouzení na normálovou sílu s vlivem vzpěru v ose Y (vodorovné) a na posouzení ohybové únosností kolem osy Y (vodorovné). Průřez byl zvětšen o 200 mm ve vodorovné ose a byla zvětšena tloušťka ocelové stěny z 16 na 30 mm.



Obr. 50 Porovnání původního průřezu mostovky (černý) a nového průřezu (červený)

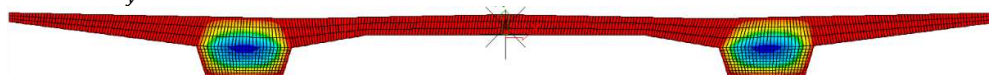


Obr. 51 Porovnání původního průřezu oblouku (vlevo) a nového průřezu (vpravo)

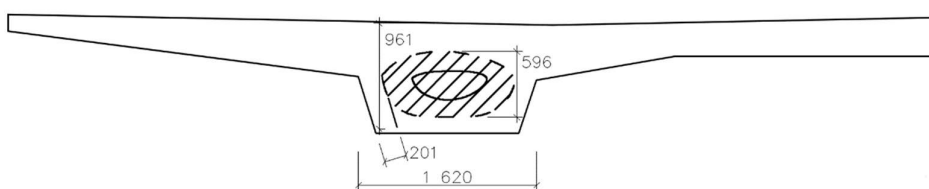
11.2 POSOUZENÍ SMYKOVÉ ÚNOSNOSTI

11.2.1 POSOUZENÍ NA SMYKOVOU SÍLU A KROUTICÍ MOMENT

Bylo opět provedeno zatížení pro obdržení maximálních hodnot posouvajících sil a krouticích momentů. Pro stanovení celkových účinku na průřez byla použita Prandtlová funkce, která znázorňuje průběh smykového toku v průřezu a je daná vzorcem $\frac{S}{I_y \cdot b}$.

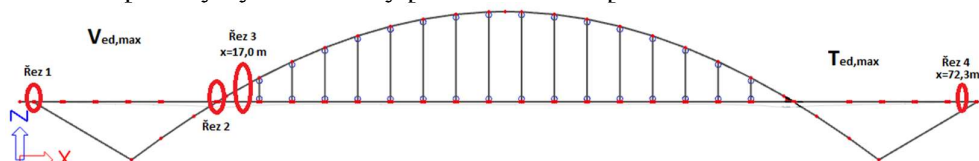


Obr. 52 Smykový tok – Mostovka – obecný průřez



Obr. 53 Náhradní dutý průřez

Náhradní průřezy byli stanoveny pro každé místo posouzení.



Obr. 54 Rozhodující řezy pro smyk

Řez	Ø [mm]	n střihu	s [mm]	$V_{rd,s}$ [kN]	<>	V_{ed} [kN]
1	16,0	8,0	200	3604,25	>	2020,0
	16,0	8,0	200	3604,25	>	1751,9
2	16,0	8,0	150	4805,66	>	2842,5
	16,0	8,0	150	4805,66	>	2574,3
3	16,0	8,0	150	4400,61	>	3647,6
	16,0	8,0	150	4400,61	>	3744,7
4	16,0	8,0	200	3375,46	>	3098,8
	16,0	8,0	200	3375,46	>	2689,0

Tab. 3. Navržená smyková výztuž v jednotlivých řezech

11.2.2 POSOUZENÍ NA VODOROVNÝ ÚČINEK SMYKU

Výpočet vodorovné síly od smyku byl proveden ve stejných řezech a byla stanovena potřebná plocha výztuže pro přenesení těchto sil.

Řez	$V_{ed,v}$ [kN]	T_{ed} [kNm]	H_{ed} [kN]	$A_{s,req}$ [m ²]
1	4039,9	0	4814,6	1,11E-02
	3503,8	0	4175,7	9,60E-03
2	5684,9	0	6775,0	1,56E-02
	5148,5	0	6135,7	1,41E-02
3	6181,3	1001,2	11005,3	2,53E-02
	5836,4	1485,7	12355,0	2,84E-02
4	3195,8	2831,7	13548,4	3,12E-02
	3695,6	1587,1	9863,2	2,27E-02

Tab. 4. Vodorovná síla od smyku

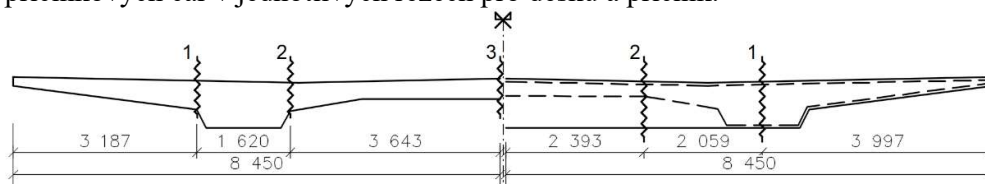
Bylo navrženo 136 výztuží Ø14 mm o celkové ploše $2,09 \cdot 10^{-02}$. Nedostatek vyztužení v některých řezech byl zahrnut při posouzení ohybové únosnosti v podélném směru, způsobem odčerpání tlakové rezervy.

11.2.3 POSOUZENÍ NA PODÉLNÝ ÚČINEK SMYKU

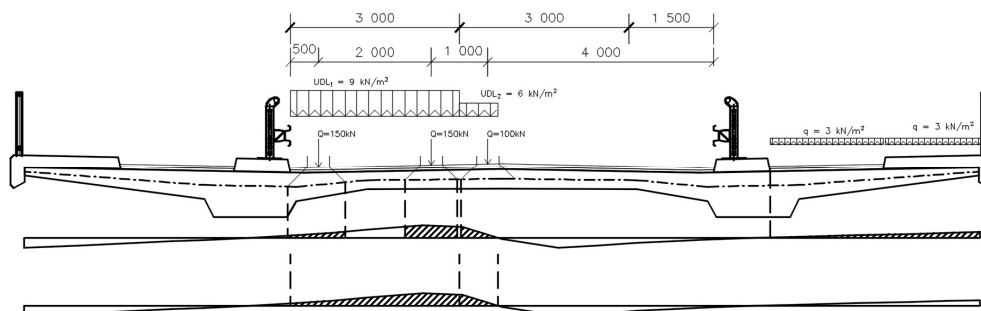
Posouzení bylo opět provedeno ve stejných řezech jako posouzení na smyk a krouticí moment. Byla ověřena únosnost tlačené diagonály a vznik trhliny v jednotlivých řezech. Dále byla stanovena plocha výztuže pro přenesení účinků vodorovného smyku, tato plocha byla započítána při návrhu výztuže v příčném směru.

11.2.4 POSOUZENÍ NA SMYKOVOU SÍLU V PŘÍČNÉM SMĚRU

Zatížení pro získání maximálně nepříznivých účinku bylo umístěno dle příčinkových čar v jednotlivých řezech pro desku a příčník.



Obr. 55 Řezy pro příčný smyk – Deska – Příčník



Obr. 56 Příklad použití příčinkových čar

V	Řez	$V_{rd,c}$ [kN]	V_{ed} [kN]	Výztuž
Deska	1	250,91	85,02	konstrukční výztuž
	2	250,91	342,19	návrh výztuže
	3	201,95	84,89	konstrukční výztuž
Příčník	1	181,56	1103,49	návrh výztuže
	2	181,80	164,20	konstrukční výztuž

Tab. 5. Rozhodnutí o návrhu výztuže

V	Řez	A_{sw} [m²]	ϕ [mm]	n [ks]	$A_{s,skut}$ [m²]	Posudek
Deska	1	-	10	9	-	-
	2	1,48E-03	16	9	1,81E-03	✓
	3	-	10	9	-	-

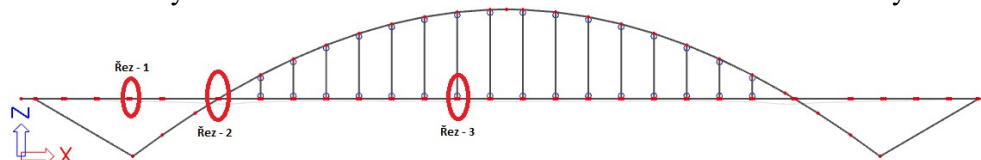
V	Řez	s [m]	A_{sw} [m²]	ϕ [mm]	n [stříhu]	$A_{s,skut}$ [m²]	Posudek
Příčník	1	0,10	2,86E-04	12	4	4,52E-04	✓
	2	0,20	-	8	4	2,01E-04	-

Tab. 6. Navržená smyková výztuž

11.3 POSOUZENÍ OHYBOVÉ ÚNOSNOSTÍ

11.3.1.1 PODÉLNÝ SMĚR

Posouzení bylo provedeno v několika řezech, grafickou metodou za použití pracovního digramu předpínací výztuže s rostoucí větví. Byly zahrnutá případná snížení tlakové síly vlivem podélného smyku. Ve všech řezech byla stanovena dostatečná ohybová únosnost bez nutnosti návrhu dodatečné betonářské výztuže.



Obr. 57 Rozhodující řezy pro podélný ohyb

– Řez 1

$$M_{rd} = 8832,5 \text{ kNm} > M_{ed} = 4193,2 \text{ kNm} - \text{vyhovuje}$$

– Řez 2

$$M_{rd} = 9184,4 \text{ kNm} > M_{ed} = 6763,7 \text{ kNm} - \text{vyhovuje}$$

$$M_{rd} = -19578,5 \text{ kNm} > M_{ed} = -7719,3 \text{ kNm} - \text{vyhovuje}$$

– Řez 3

$$M_{rd} = 9735,7 \text{ kNm} > M_{ed} = 3084,8 \text{ kNm} - \text{vyhovuje}$$

11.3.1.2 PŘÍČNÝ SMĚR

Při zatížení dopravou byl proveden roznos zatížení na střednici. Kombinace účinků zatížení bylo provedena dle kombinačních vztahů 6.10a a 6.10b. Při návrhu výztuže byla započítána plocha výztuže pro přenos účinků podélného smyku.

M_y	M_{yD+} [kNm]	M_{yD-} [kNm]
Deska	195,11	104,27
Příčník	678,36	1347,98

Tab. 7. Získané návrhové ohybové momenty v příčném směru

Trám	Horní v.	Spodní v.	Pole	Spodní v.	Horní v.
M_{ed} [kNm]	195,11	-	M_{ed} [kNm]	104,27	-
$A_{s,req}$ [m ²]	1,93E-03	1,75E-03	$A_{s,req}$ [m ²]	1,83E-03	1,83E-03
Výztuž	Ø 22 á 150	Ø 20 á 150	Výztuž	Ø 20 á 150	Ø 20 á 150
$A_{s,skut}$ [m ²]	2,53E-03	2,09E-03	$A_{s,skut}$ [m ²]	2,09E-03	2,09E-03
Posudek	✓	✓	Posudek	✓	✓

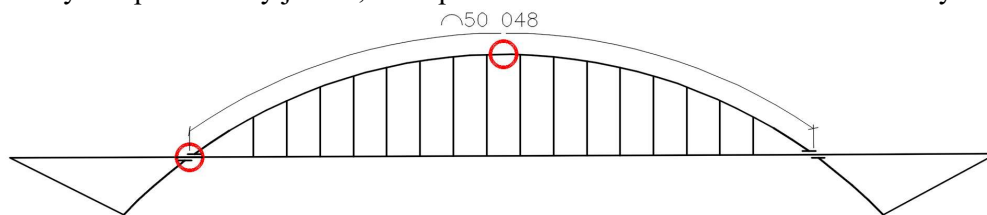
Tab. 8. Navržená výztuž na příčný ohyb – deska

Příčník	Spodní v.	Horní v.
M_{ed} [kNm]	678,36	1347,98
$A_{s,req}$ [m ²]	2,81E-03	4,84E-03
Výztuž	6 ks Ø 28	6 ks Ø 32
$A_{s,skut}$ [m ²]	3,69E-03	5,63E-03
Posudek	✓	✓

Tab. 9. Navržená výztuž na příčný ohyb – příčník

11.4 OBLOUK

Posouzení byl provedeno dle ČSN EN 1994 – 1 – 1 ve vrcholu oblouku a v místě křížení oblouku s mostovkou. Byly stanovené součinitele vzpěru pro oba směry a vzpěrné délky jako $0,5 \cdot L$ – počítám s vetknutím oblouku do mostovky.



Obr. 58 MSÚ - místa posouzení oblouku

– Posouzení na normálovou sílu s vlivem vzpěru

Směr Y

$$\text{pro vrchol oblouku } \frac{N_{ed}}{\chi_y \cdot N_{rd}} = 0,53 \leq 1,00 - \text{vyhovuje}$$

$$\text{pro křížení oblouku s mostovkou } \frac{N_{ed}}{\chi_y \cdot N_{rd}} = 0,59 \leq 1,00 - \text{vyhovuje}$$

Směr Z

$$\text{pro vrchol oblouku } \frac{N_{ed}}{\chi_z \cdot N_{rd}} = 0,53 \leq 1,00 - \text{vyhovuje}$$

$$\text{pro křížení oblouku s mostovkou } \frac{N_{ed}}{\chi_z \cdot N_{rd}} = 0,70 \leq 1,00 - \text{vyhovuje}$$

– Interakce normálové síly a ohybového momentu

Směr Y

pro vrchol oblouku $\frac{M'_{y,ed}}{M_{rd}} = 0,25 \leq 1,00$ – **vyhovuje**

pro křížení oblouku s mostovkou $\frac{M'_{y,ed}}{M_{rd}} = 0,74 \leq 1,00$ – **vyhovuje**

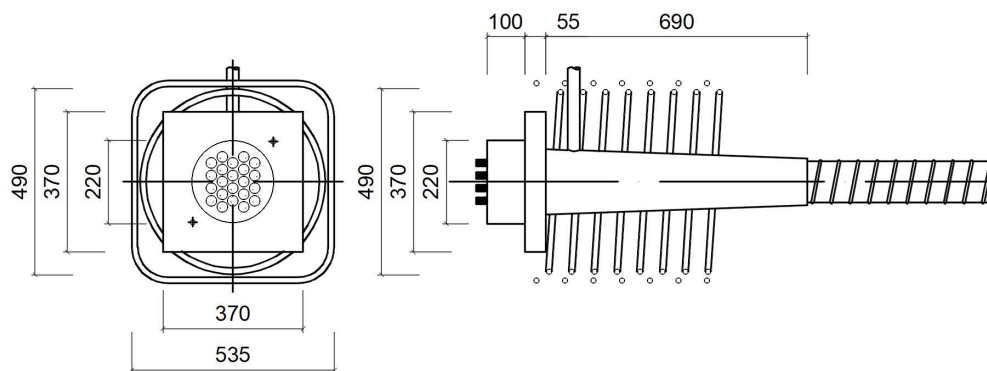
Směr Z

pro vrchol oblouku $\frac{M'_{z,ed}}{M_{rd}} = 0,23 \leq 1,00$ – **vyhovuje**

pro křížení oblouku s mostovkou $\frac{M'_{z,ed}}{M_{rd}} = 0,79 \leq 1,00$ – **vyhovuje**

11.5 KOTEVNÍ OBLAST

Pro kotvení předpínacích kabelů bylo použito 12 kotev VSL-E 6-22. Posouzení kotevní oblasti bylo provedeno dle příhradové analogie.



Obr. 59 Kotva VSL - E 6 – 22

– Posouzení lokální oblasti pod kotvou

$$\frac{c}{a} = \frac{c'}{a'} = \frac{600}{370} = 1,622 < 1,25 \cdot \sqrt{\frac{c \cdot c'}{a \cdot a'}} = 1,25 \cdot \sqrt{\frac{600 \cdot 600}{370 \cdot 370}} = 2,027 - \text{vyhovuje}$$

$$c \cdot c' = 600 \cdot 600 = 0,360 \text{ m}^2 > \frac{P_{max}}{0,6 \cdot f_{ck}} = \frac{4870,80 \cdot 10^3}{0,6 \cdot 35 \cdot 10^6} = 0,232 \text{ m}^2 - \text{vyhovuje}$$

Závitová výztuž, kterou obsahuje kotva je dostačující pro přenesení štěpné síly.

$$A_s = 3,817 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 > A_{s,req} = 2,241 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 - \text{vyhovuje}$$

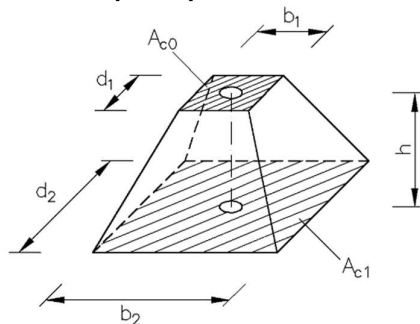
$$A_s = 3,817 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 > A_{s,min} = 3,507 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 - \text{vyhovuje}$$

– Posouzení na příčné tahy u líce

Navrženo 2 Ø22 $A_s = 0,760 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$

$$A_s = 0,760 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 > A_{s,req} = 0,701 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 - \text{vyhovuje}$$

– Posouzení na soustředný tlak pod kotvou



Obr. 60 Schéma roznášecí plochy pod kotvou

$$d_1 = b_1 = a = a' = 370 \text{ mm}$$

$$b_2 = c = 600 \text{ mm} < 3 \cdot b_1 = 3 \cdot 370 = 1110 - \text{vyhovuje}$$

$$d_2 = 600 \text{ mm} < 3 \cdot d_1 = 3 \cdot 370 = 1110 - \text{vyhovuje}$$

– Posouzení celkové kotevní oblasti

Navrženo 6 třmínku Ø18 6 stříhů $A_s = 9,161 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$

$$A_s = 9,161 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 > A_{s,req} = 7,350 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 - \text{vyhovuje}$$

$$A_s = 9,161 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 > A_{s,min} = 2,205 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 - \text{vyhovuje}$$

– Posudek únosnosti betonu v soustředném tlaku

$$F_{Rd} = 4945,40 \text{ kN} < 3 \cdot A_{c0} \cdot f_{cd} = 9954,00 \text{ kN} - \text{vyhovuje}$$

$$F_{Rd} = 4945,40 \text{ kN} < F_{Ed} = 5844,96 \text{ kN} - \text{nevyhovuje}$$

ÚNOSNOST KOTVY GARANTUJE VÝROBCE, NUTNO DODRŽET KONSTRUKČNÍ PODMÍNKY
A TECHNOLOGICKÝ POSTUP

Veškeré uvedené posudky z hlediska MSÚ vyhovují kromě posudku na únosnost betonu v soustředném tlaku a jsou znázorněny v příloze P3.

12 POSTUP VÝSTAVBY

Jako první budou vybetonovány piloty, vzpěry a opěry. Současně v řece budou nasypané šterkové polštáře pro umístění dočasných podpor na montážní podepření oblouku a bednění mostovky. Dalším krokem je montáž oblouku s dočasným podepřením v jeho vrcholu. Poté následuje výstavba bednění, betonáž mostovky a vnesení předpínací síly do mostovky a závěsných lan. Po odbednění jako poslední budou vybetonovány římsy, chodníky a poté bude položena vozovka. Navržený postup výstavby je dodržen při výpočtu časově závislé analýzy pro posouzení jednotlivých fází výstavby. Přesný harmonogram a grafický postup jsou znázorněny v příloze P4.

13 ZÁVĚR

Zvolená varianta ve tvaru samokotvené obloukové konstrukce s mezilehlou mostovkou byla navržena a posouzena dle rozsahu uvedeným v zadání diplomové práce. Pro výpočet vnitřních sil byly sestaveny tři výpočetní modely ve SCIA Engineer 20.0 s ruční kontrolou výsledků některých z nich.

Konstrukce vyhovuje dle mezních stavů použitelnosti a únosností, podrobné posouzení je znázorněno v příloze P3. Byl navržen stavební postup, který je respektován při časové analýze konstrukce a jako poslední byly zhotoveny přehledné výkresy a vizualizace.

Během zpracování diplomové práce jsem získal nové zkušenosti a poznatky, což pro mě bylo hlavním cílem této práce.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] ČSN EN 1992-1-1. Zatížení konstrukcí – část 1-1: Obecná zatížení
- [2] ČSN EN 1992-1-2. Zatížení konstrukcí – část 1-2: Zatížení mostů dopravou
- [3] ČSN EN 1992-1-4. Obecná zatížení – zatížení větrem
- [4] ČSN EN 1992-1-5. Obecná zatížení – zatížení teplotou
- [5] ČSN EN 1993-1-1. Navrhování ocelových konstrukcí – část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby
- [6] ČSN EN 1994-1-1. Navrhování spřažených ocelobetonových konstrukcí – část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby
- [7] ČSN 73 6214 – Navrhování betonových mostních konstrukcí
- [8] NAVRÁTIL, Jaroslav a Miloš ZICH. Předpjatý beton: Průvodce předmětem BL11. Skriptum VUT, Brno, 2006.
- [9] STRÁSKÝ, Jiří a Radim NEČAS. Betonové mosty I: Základní principy navrhování. Brno, 2006.
- [10] STRÁSKÝ, Jiří. Stress ribbon and cable-supported pedestrian bridges. London: Thomas Telford, 2005. ISBN 07-277-3282-X.
- [11] ETA 06/0006 - VSL Post-Tensioning system [online]. [cit. 2021-05-28]. Dostupné z: <http://www.vsl.cz/>
- [12] NEČAS, Radim, Jan KOLÁČEK a Josef PANÁČEK. BL12 – Betonové mosty I: zásady navrhování. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, 2014. Studijní opory pro studijní programy s prezenční formou studia. ISBN 978-802-1449-794.

SEZNAM PŘÍLOH

PŘÍLOHA P1. PODKLADY

P1.01 PODKLADY

PŘÍLOHA P2 VÝKRESY

P2.01 PŮDORYS

P2.02 PODÉLNÝ ŘEZ

P2.03 PŘÍČNÉ ŘEZY

P2.04 VÝKRES PŘEDPÍNACÍ VÝZTUŽE

P3.05 VÝKRES BETONÁŘSKÉ VÝZTUŽE

PŘÍLOHA P3. STATICKÝ VÝPOČET

PŘÍLOHA P4. STAVEBNÍ POSTUP

PŘÍLOHA P5. VIZUALIZACE

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1	Poloha objektu	11
Obr. 2	Pohled na zaměřené body.....	11
Obr. 3	Podélný řez terénem.....	11
Obr. 4	Geotechnické poměry.....	12
Obr. 5	Schéma nosné konstrukce mostu	12
Obr. 6	Šířkové uspořádání.....	12
Obr. 7	Průřez mostovky.....	13
Obr. 8	Průřez mostovky v místě náběhu	13
Obr. 9	Průřez příčnicku	13
Obr. 10	Průřez oblouku: základní (vlevo), v místě uložení (vpravo)	13
Obr. 11	Získané reakce.....	13
Obr. 12	Průběh ohybových momentů na prostém nosníku	13
Obr. 13	Rovnice střednice oblouku	14
Obr. 14	Schéma podélného řezu	14
Obr. 15	Rám XYZ – první fáze.....	15
Obr. 16	Rám XYZ – druhá fáze + pohled na pružné podpory pilot.....	15
Obr. 17	Rám XZ – boční pohled	15
Obr. 18	Rám XZ	16
Obr. 19	Průběh normálové síly v místě kontroly	16
Obr. 20	Průběh ohybového momentu v místě kontroly	16
Obr. 21	Kontrolované napětí v horních vláknech	16
Obr. 22	Kontrolované napětí v dolních vláknech.....	16
Obr. 23	Průřez v místě ověření	17
Obr. 24	Normálová síla v místě kontroly	17
Obr. 25	Ohybový moment v místě kontroly.....	17
Obr. 26	Napětí na horních vláknech.....	17
Obr. 27	Napětí na spodních vláknech	18
Obr. 28	Deskový model – mostovka	18
Obr. 29	Deskový model – příčník.....	18
Obr. 30	Podepření příčnicku	18
Obr. 31	Deskový model.....	18
Obr. 32	Plochy říms a vozovky v příčném řezu	19
Obr. 33	Vodorovná reakce v patě oblouku od stálého zatížení.....	19
Obr. 34	Podélné přetvoření závěsů vnesené do modelu	20
Obr. 35	Uspořádání jízdních pruhů na vozovce.....	20
Obr. 36	Příklad roznosu zatížení od tandem systému	20

Obr. 37	Geometrie mostu pro stanovení zatížení větrem.....	21
Obr. 38	Směr zatížení pilot.....	21
Obr. 39	Statické schéma pilotového základu	21
Obr. 40	Průběh napětí po krátkodobých ztrátách	22
Obr. 41	Fáze – Konec životnosti – charakteristická kombinace – spodní vlákna – $\sigma_{\max}$	22
Obr. 42	Fáze – Uvedení do provozu – charakteristická kombinace – spodní vlákna – $\sigma_{\max}$	23
Obr. 43	Fáze – Uvedení do provozu – charakteristická kombinace – spodní vlákna – $\sigma_{\min}$	23
Obr. 44	Fáze – Uvedení do provozu – kvazistálá kombinace – spodní vlákna – $\sigma_{\min}$	23
Obr. 45	Fáze – odbednění – spodní vlákna.....	24
Obr. 46	Fáze – Konec životnosti – častá kombinace – horní vlákna – $\sigma_{\max}$	24
Obr. 47	Fáze – Konec životnosti – častá kombinace – spodní vlákna – $\sigma_{\max}$	24
Obr. 48	Fáze – Konec životnosti – častá kombinace.....	25
Obr. 49	Nastavené kombinace pro MSÚ ve SCIA Engineer 20.0	25
Obr. 50	Porovnání původního průřezu mostovky (černý) a nového průřezu (červený)	26
Obr. 51	Porovnání původního průřezu oblouku (vlevo) a nového průřezu (vpravo)	26
Obr. 52	Smykový tok – Mostovka – obecný průřez.....	26
Obr. 53	Náhradní dutý průřez.....	26
Obr. 54	Rozhodující řezy pro smyk.....	26
Obr. 55	Řezy pro příčný smyk – Deska – Příčník.....	27
Obr. 56	Příklad použití příčinkových čár.....	28
Obr. 57	Rozhodující řezy pro podélný ohyb.....	28
Obr. 58	MSÚ - místa posouzení oblouku	29
Obr. 59	Kotva VSL - E 6 – 22	30
Obr. 60	Schéma roznášecí plochy pod kotvou	31

SEZNAM TABULEK

Tab. 1.	Geotechnické poměry.....	11
Tab. 2.	Přehled konstrukčních prvků a materiálů	19
Tab. 3.	Navržená smyková výztuž v jednotlivých řezech	27
Tab. 4.	Vodorovná síla od smyku	27
Tab. 5.	Rozhodnutí o návrhu výztuže.....	28
Tab. 6.	Navržená smyková výztuž.....	28
Tab. 7.	Získané návrhové ohybové momenty v příčném směru	29
Tab. 8.	Navržená výztuž na příčný ohyb – deska	29
Tab. 9.	Navržená výztuž na příčný ohyb – příčník.....	29