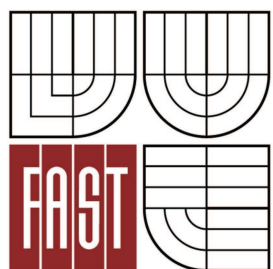




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV BETONOVÝCH A ZDĚNÝCH KONSTRUKCÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF CONCRETE AND MASONRY STRUCTURES

LÁVKA PRO PĚŠÍ PODPOROVANÁ KABELY

CABLE-SUPPORTED PEDESTRIAN BRIDGE

DIPLOMOVÁ PRÁCE
DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

BC. MARTIN HLAVA

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. RADIM NEČAS, Ph.D.

BRNO 2015



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

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

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Diplomant	Bc. Martin Hlava
Název	Lávka pro pěší podporovaná kabely
Vedoucí diplomové práce	Ing. Radim Nečas, Ph.D.
Datum zadání diplomové práce	31. 3. 2014
Datum odevzdání diplomové práce	16. 1. 2015
V Brně dne 31. 3. 2014	

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

.....
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA
Děkan Fakulty stavební VUT

Podklady a literatura

Podklady:

Situace, příčný a podélný řez, geotechnické poměry.

Základní normy:

ČSN 736201 Projektování mostních objektů.

ČSN EN 1990 včetně změny A1: Zásady navrhování konstrukcí.

ČSN EN 1991-2: Zatížení mostů dopravou.

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

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

Literatura doporučená vedoucím diplomové práce.

Zásady pro vypracování

Pro zadaný problém navrhněte dvě až tři varianty řešení a zhodnoťte je.

Ve výběru varianty se zaměřte na mostní konstrukci podporovanou kabely.

Podrobný návrh nosné konstrukce vybrané varianty mostu proveďte podle mezních stavů včetně řešení vlivu výstavby mostu na jeho návrh.

Ostatní úpravy provádějte podle pokynů vedoucího diplomové práce.

Požadované výstupy:

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

Přílohy textové části:

P1. Použité podklady a varianty řešení

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

P3. Stavební postup a vizualizace

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

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

Popisný soubor závěrečné práce (1x).

Diplomová práce bude odevzdána v listinné a elektronické formě podle směrnic a 1x na CD.

Předepsané přílohy

Licenční smlouva o zveřejňování vysokoškolských kvalifikačních prací

.....
Ing. Radim Nečas, Ph.D.
Vedoucí diplomové práce

Abstrakt

Předmětem diplomové práce je návrh nosné konstrukce lávky pro pěší podporované kabely nad rychlostní komunikací R35. Práce obsahuje statický výpočet konstrukce zavěšené lávky o šesti polích, který byl vybrán ze tří variant. Vybraná varianta je tvořena monolitickou, předpjatou betonovou deskou podporovanou závěsy, která je nad rychlostní komunikací tvořena segmentovými prvky. Výpočet podélného směru byl proveden v programu ANSYS. Montážní stav a příčný směr konstrukce byl modelován v programu SCIA Engineer. Posouzení konstrukce je provedeno ručně s výjimkou několika průřezů pylonu, kde byl posudek proveden programem IDEA StatiCa.

Klíčová slova

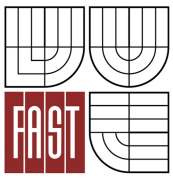
Lávka, předpjatý beton, zavěšená konstrukce, mezní stavy únosnosti, mezní stavy použitelnosti.

Abstrakt

The purpose of the master's thesis is about a concept of a pedestrian bridge's bearing construction for pedestrian endorsed wires above a highway R35. The work includes a static construction calculation of the suspended foot bridge of six spans, which has been chosen from three options. The chosen option is built of a monolithic, pre-stressed concrete board supported by suspenders, which is made by segmental elements above the fast highway. Calculation of a longitudinal direction has been made in an ANSYS application. Assembling status and cross direction of the construction has been modelled at SCIA Engineer. The construction's recognition has been made manually expect of several towers cross-section, where the judgement has been made at IDEA StatiCa.

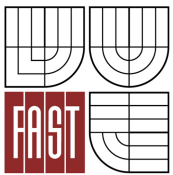
Keywords

Pedestrian bridge, prestressed concrete, cable stayed structures, serviceability limit state, ultimate limit state.



Bibliografická citace VŠKP

Bc. Martin Hlava *Lávka pro pěší podporovaná kabely*. Brno, 2015. 33 s., 249 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav betonových a zděných konstrukcí. Vedoucí práce Ing. Radim Nečas, Ph.D.

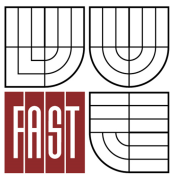


Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 14.1.2015

.....
podpis autora
Bc. Martin Hlava



Poděkování:

Rád bych poděkoval panu Ing. Radimu Nečasovi, Ph.D. za odbornou pomoc při zpracování mé diplomové práce a za jeho ochotu a vstřícnost při konzultacích. Dále bych chtěl poděkovat rodině, kamarádům a kolegům za podporu v průběhu celého studia.

Obsah

0. Úvod.....	9
1. Studie řešení nosné konstrukce	10
1.1 Varianta A	10
1.2 Varianta B	11
1.3 Varianta C	12
3. Geometrie zvolené varianty	13
3.1 Příčné uspořádání	13
3.1.1 Monolitická část mostovky	13
3.1.2 Prefabrikovaná část mostovky.....	13
3.1.3 Průchozí prostor	14
3.2 Podélné uspořádání.....	15
3.3 Půdorysné uspořádání	15
4. Výpočetní model konstrukce.....	15
4.1 Model pro řešení podélného směru.....	15
.....	16
4.2 Model pro řešení montážního stavu v příčném směru	20
4.3 Model pro řešení příčného směru.....	21
5. Zatížení	23
5.1 Zatížení stálé	23
5.2 Zatížení chodci	23
5.3 Zatížení teplotou	23
5.4 Zatížení mokrým betonem v montážním stavu konstrukce	23
5.5 Montážní zatížení	24
5.6 Účinky předpětí.....	24
6. Kombinace zatížení	24
6.1 Kombinace pro mezní stav použitelnosti	24
6.2 Kombinace pro mezní stav únosnosti.....	24
7. Řešení výchozího stavu konstrukce	25
8. Posouzení konstrukce	30
9. Závěr.....	30
10. Použitá literatura.....	31
11. Seznam obrázků.....	32
12. Seznam tabulek	32
13. Seznam příloh.....	33

0. Úvod

Úkolem diplomové práce je navržení lávky pro chodce přes rychlostní komunikaci R35 a vodní tok řeky Trnávky. Při volbě konstrukce bylo přihlédnuto k možnosti segmentové výstavby pro urychlení montážních prací nad rychlostní komunikací a tím i co nejmenšímu ovlivnění provozu.

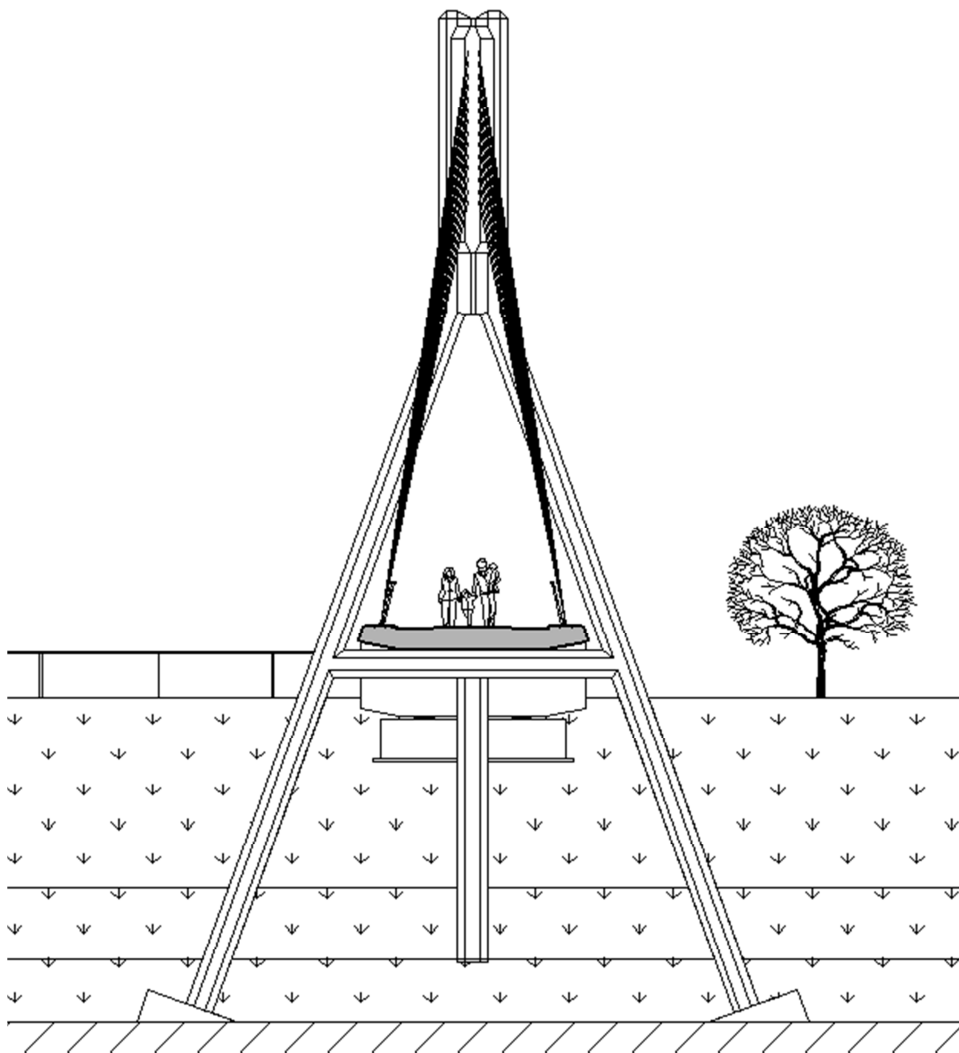
Místo stavby se nachází na území Olomouckého kraje a to mezi městem Lipník nad Bečvou a přílehlou obcí Bohuslávky.

Ze tří zvolených variant řešení konstrukce byla pro posouzení vybrána varianta A, která splňuje podmínky výstavby a zároveň je její tvar a uspořádání jednotlivých prvků vhodný pro danou lokalitu. Návrh byl posouzen podle ČSN-EN-1991-1-2.

1. Studie řešení nosné konstrukce

1.1 Varianta A

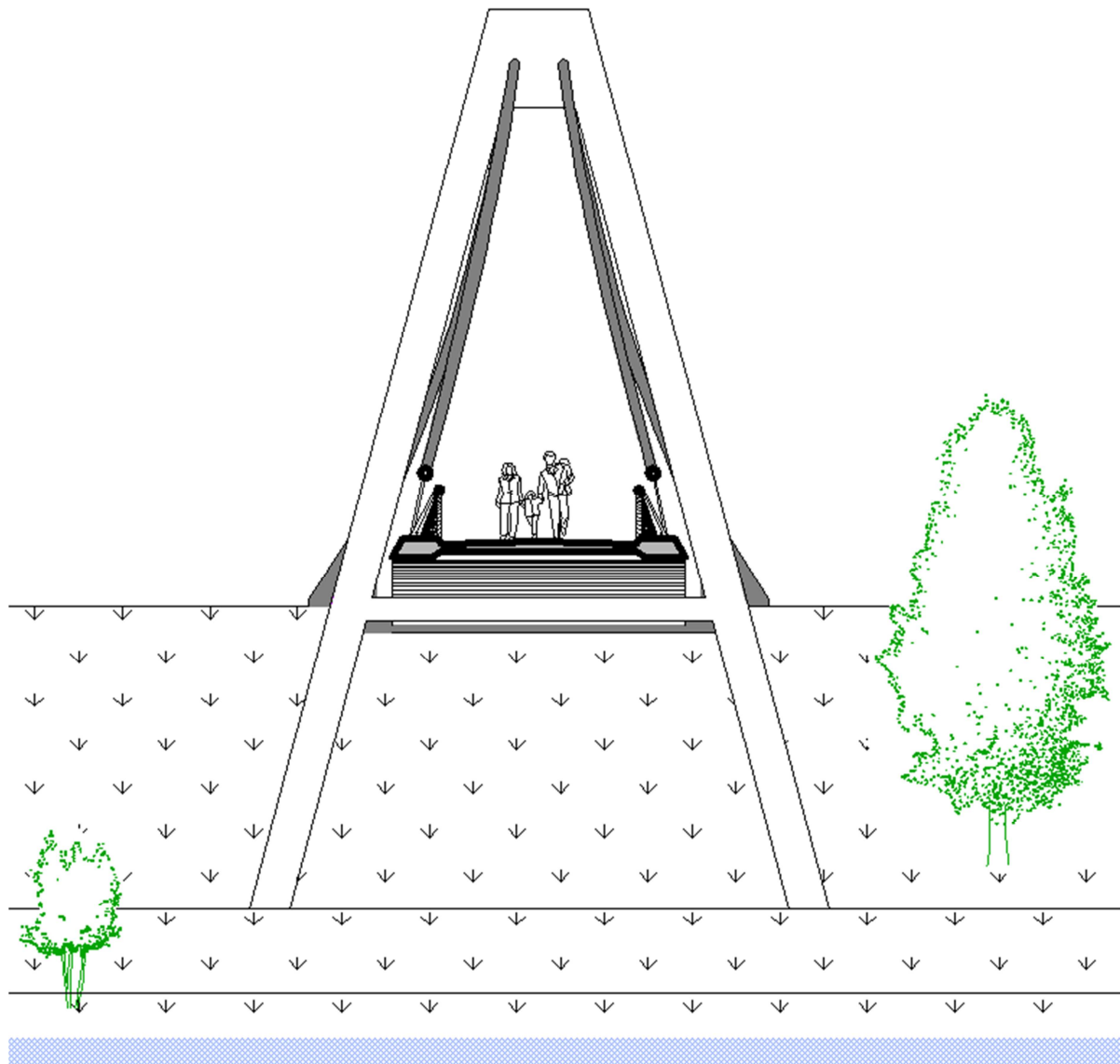
Jedná se o zavěšenou konstrukci lávky o 6-ti polích přičemž část mostovky nad rychlostní komunikací je tvořena prefabrikovanými segmenty v délkách 3 metry, které jsou dále spřaženy s nadbetonovanou deskou. Závěsy vynášející mostovku v 3, 4 a 5 poli jsou k mostovce zakotveny v podélném směru konstrukce po 3 metrech, na pylon jsou ukotveny v poloharfovém uspořádání. Mezi rychlostní komunikací R35 a potokem Trnávka je umístěn železobetonový pylon výšky 25,34m. Dále je lávka uložena na dvou krajních opěrách a čtyřech pilířích, které ji rozdělují na jednotlivá pole o délkách 9, 12, 18, 27, 45 a 12m. Celková délka nosné konstrukce je 123 m. Šířka nosné konstrukce je 5,8m. Viz příloha P.01-01.



Obr. 1 - Příčný řez variantou A

1.2 Varianta B

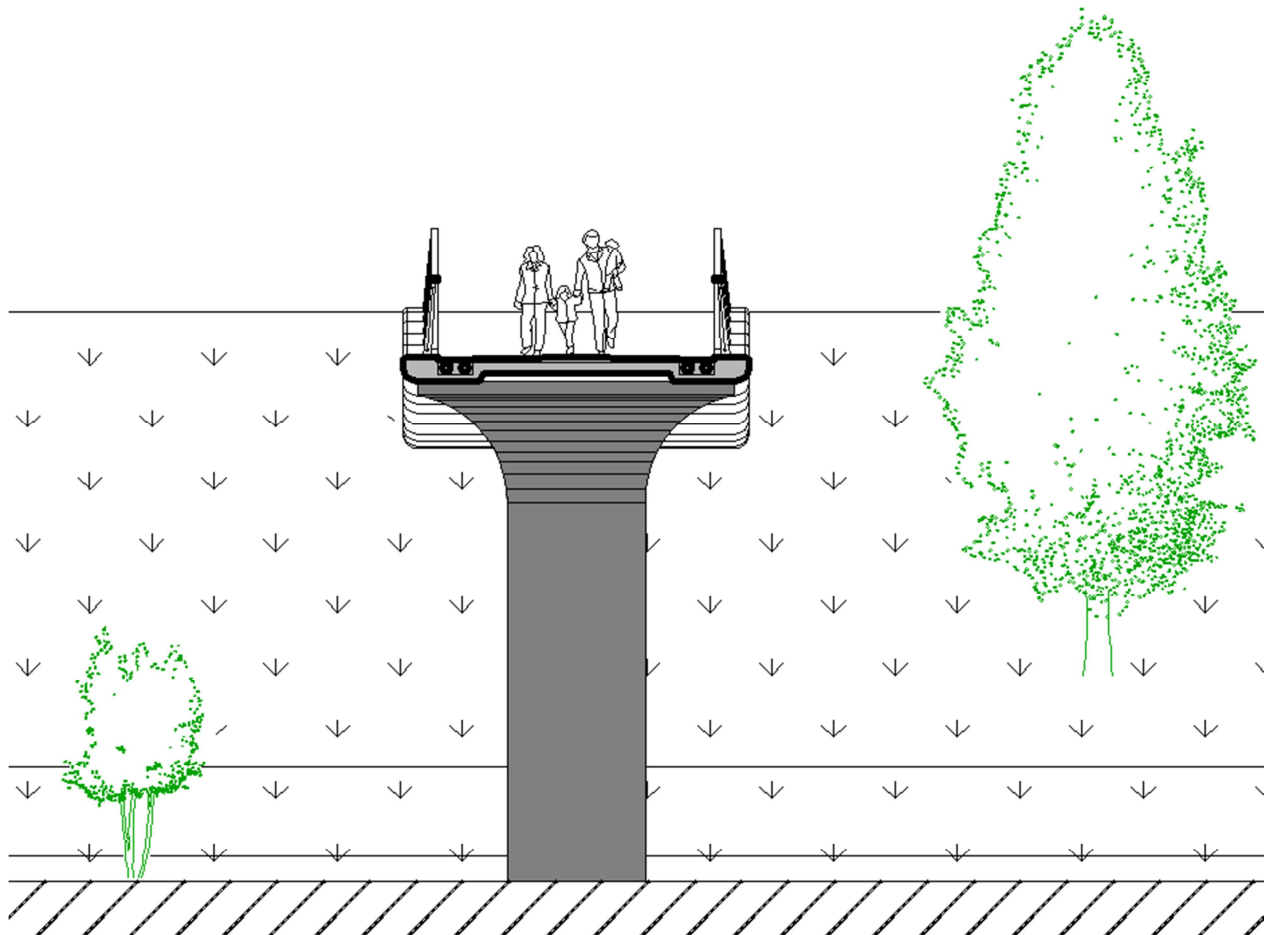
Jedná se o visutou konstrukci lávky z předpjatého betonu. Visutá lana jsou vedena od krajních opěr přes dva železobetonové pylony, kterými je celá konstrukce rozdělena na tři pole s délkami 19, 90 a 16m, do krajních opěr, kde jsou zakotveny. Jednotlivé pylony mají výšku 19 metrů a 20 metrů. Mostovka je tvořena prefabrikovanými železobetonovými segmenty o jednotné délce 3m které jsou v podélném směru konstrukce předepnuty. Celková délka konstrukce je 125m. Šířka nosné konstrukce je 6m. Viz příloha P.01-02.



Obr. 2 - Příčný řez variantou B

1.3 Varianta C

Jedná se o předpjatý betonový pás podporovaný mezi rychlostní komunikací a korytem potoka Trnávka pilířem. Pilíř má výšku 7,5m, horní část je na výšce 1,5m provedena s náběhem pro uložení mostovky. Na okrajích je předpjatý pás kotven do opěr. Délka jednotlivých polí rozdělených v podélném směru pilířem je 66,45m a 55,95m. Mostovka je sestavena z prefabrikátů délky 3 metry. Celková délka konstrukce lávky je 142,4m. Šířka nosné konstrukce je 5m. Viz příloha P.01-03.



Obr. 3 - Příčný řez variantou C

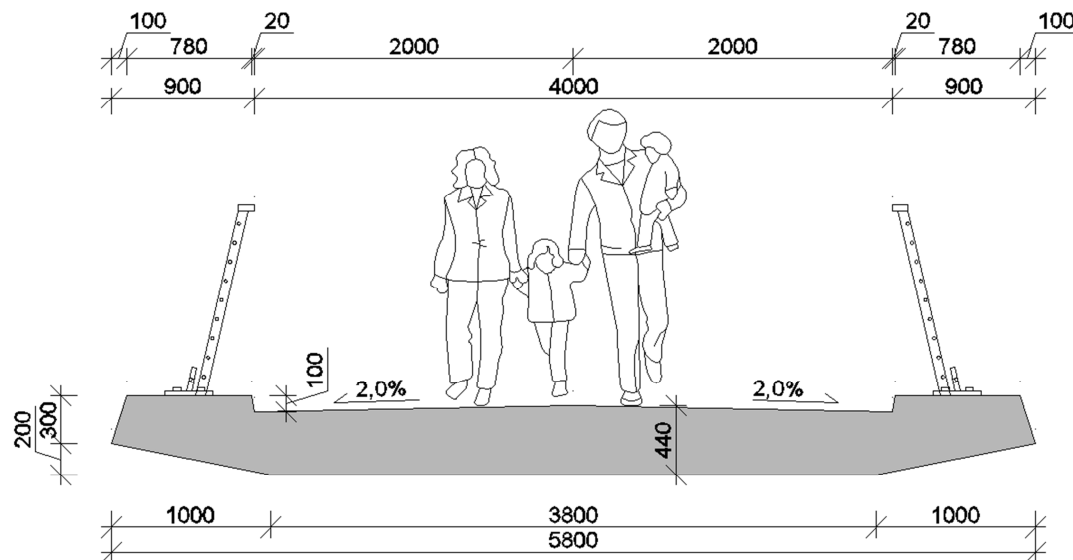
3. Geometrie zvolené varianty

3.1 Příčné uspořádání

Volná šířka je vzhledem k předpokládané intenzitě chodců navržena 4,0m, což odpovídá požadavkům normy pro trvalé lávky, kde je minimální volná šířka lávky omezena hodnotou 2,5m. Horní povrch lávky je proveden v příčném sklonu 2% na obě strany od svislé osy.

3.1.1 Monolitická část mostovky

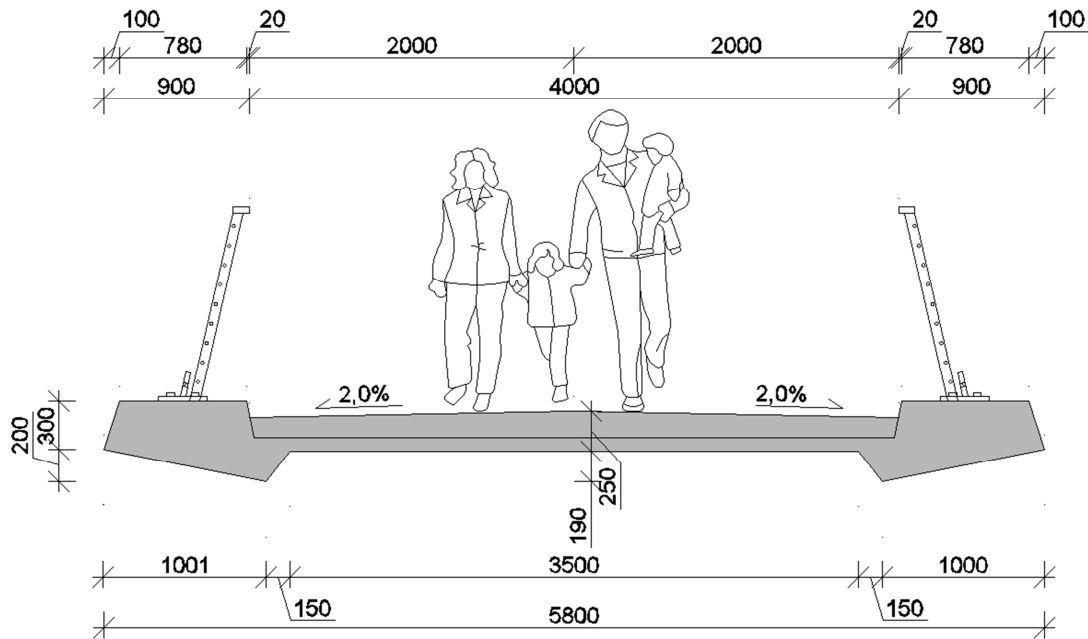
Kromě úseku, kde je mostovka tvořena prefabrikovanými segmenty viz 3.1.2, je navržena jako monolitická. V ose má mostovka tloušťku 440mm. Průřez monolitické části je konstantní, náběhy ani jiné úpravy nejsou v monolitické části uvažovány.



Obr. 4 - Příčný řez monolitickou mostovkou

3.1.2 Prefabrikovaná část mostovky

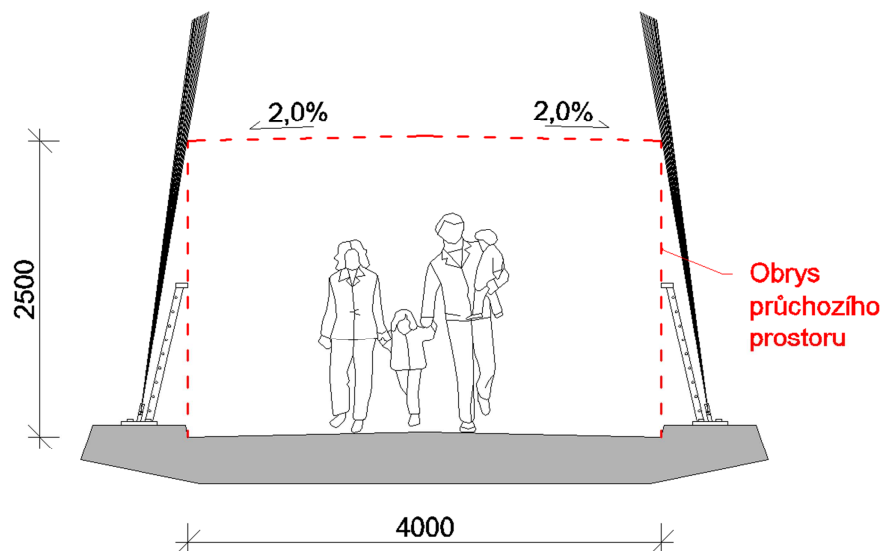
V poli 5 je v délce 39m mostovka tvořena prefabrikovanými segmenty délky 3,0m na které je nadbetonována betonová vrstva, s horním povrchem upraveným do požadovaného 2% sklonu v příčném směru. Prefabrikovaná část je s nadbetonovanou vrstvou spřažena pomocí betonářské výztuže a tím je zajištěno její další spolupůsobení. V dalším textu je tato část mostovky označována pouze jako prefabrikovaná, popřípadě segmentová.



Obr. 5 - Příčný řez prefabrikovanou částí mostovky

3.1.3 Průchozí prostor

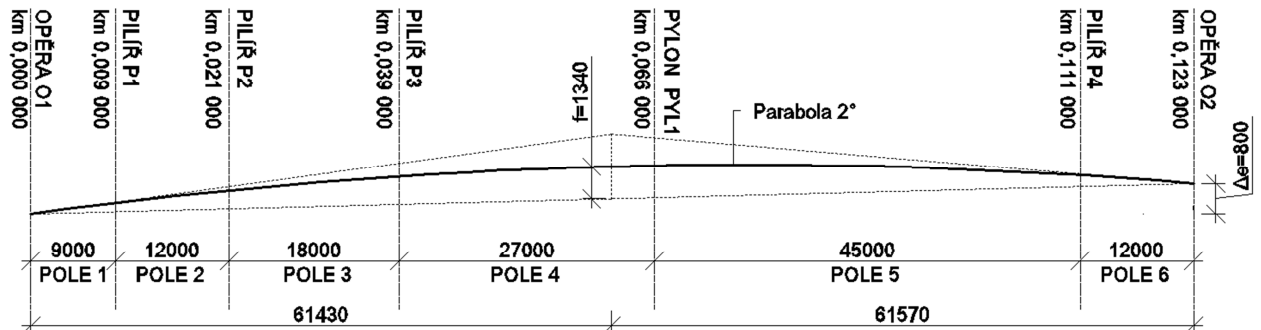
Průchozí prostor je pro lávky vymezen příčným řezem, ve kterém se nesmí po celé délce mostovky vyskytovat žádná překážka omezující pohyb chodců a cyklistů. V příčném směru je ohraničen zábradlím. Minimální výška průchozího prostoru od horního povrchu mostovky je pro chodce a cyklisty uvažována hodnotou 2,50m (Obr. 6).



Obr. 6 - Průchozí prostor

3.2 Podélné uspořádání

V podélném směru je niveleta mostovky navržena jako parabola 2°. Pro vyrovnání výškového rozdílu levého a pravého břehu v místě opěr byla geometrie u opěry O2 upravena o excentricitu 0,8m.



Obr. 7 - Řešení nivelety mostovky v podélném směru

Odvodnění v podélném směru je zajištěno podélným sklonem. Největší podélný sklon paraboly je na koncích. Hodnota podélného sklonu u opěry O1 je 5,01% a u opěry O2 je 3,70%. Obě hodnoty splňují požadavek pro maximální podélný sklon 8,00% umožňující pohyb hendikepovaných osob a osob se sníženou pohyblivostí.

3.3 Půdorysné uspořádání

Trasa lávky je v půdoryse bez směrových oblouků, tedy přímá. Svislé (těžištní) osy pylonu, pilířů a opěr jsou na kolmici s horizontální osou mostovky.

4. Výpočetní model konstrukce

Pro řešení podélného směru byl použit program ANSYS verze 12.1. Příčný směr a montážní stav byl modelován v programu Scia Engineer 14.

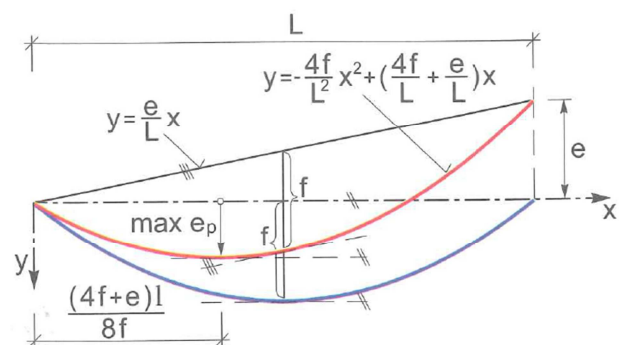
4.1 Model pro řešení podélného směru

Model byl v podélném směru řešen jako prostorová prutová konstrukce. Vzhledem k použitému typu konstrukce, kdy se dá předpokládat její vysoká citlivost na deformace, byla při analýze uvažována geometrická nelinearita modelu.

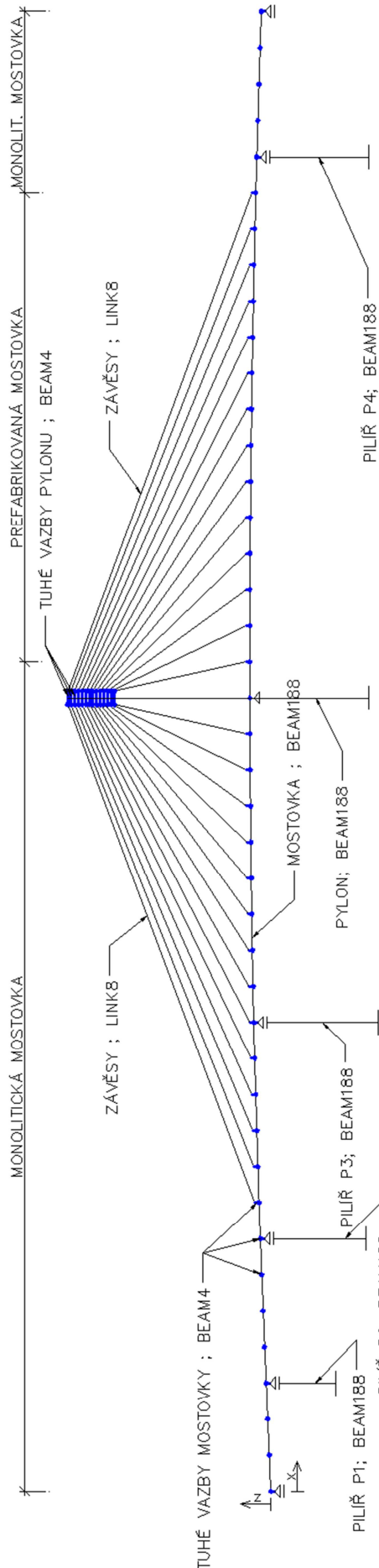
Samotná geometrie byla do programu zadána pomocí prostorových souřadnic jednotlivých uzlů v těžišti mostovky, které byly dále propojeny prvky typu BEAM188.

Prvky typu BEAM 188 byly použity pro přesnější a snadnější získání výstupních hodnot modelu, kdy bylo například možno přímo zobrazit průběh napětí po průřezu.

Souřadnice uzlů byly dopočítány pomocí rovnice paraboly 2° viz Obr. 8.



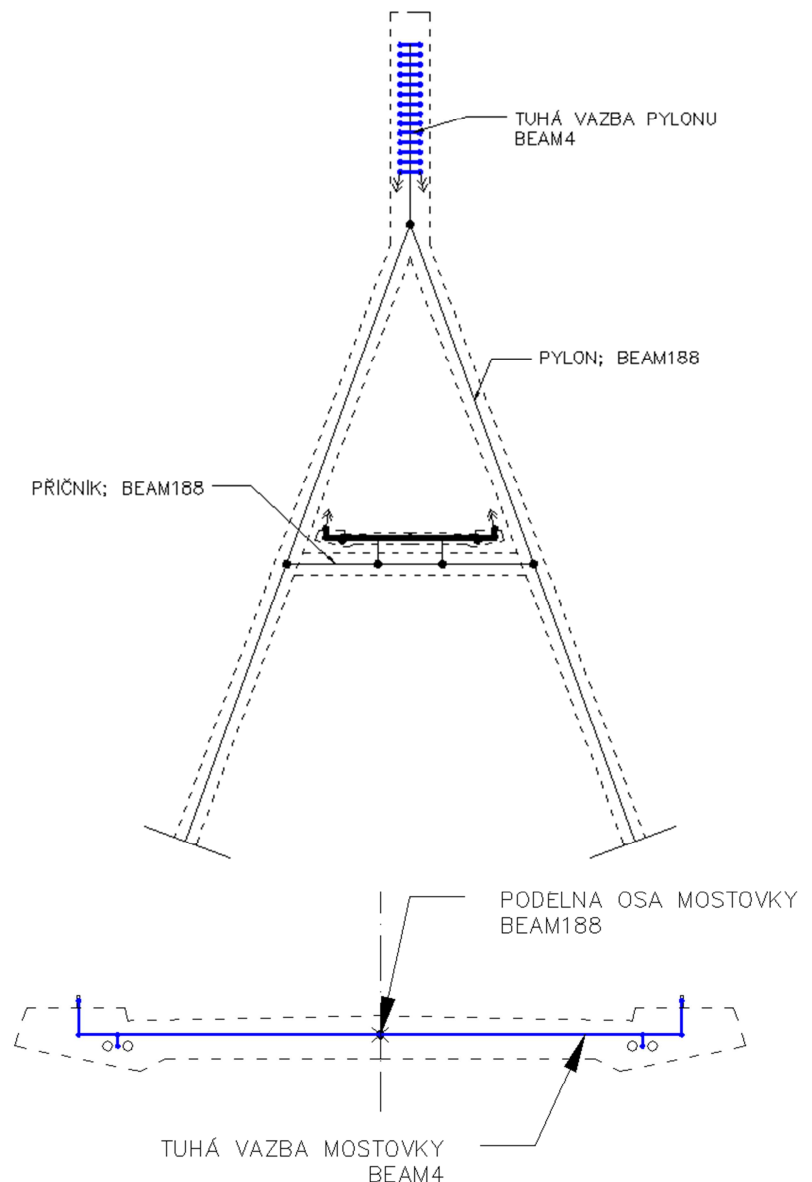
Obr. 8 - Geometrické vlastnosti paraboly



Obr. 9 – Rozdělení typů prvků po délce konstrukce

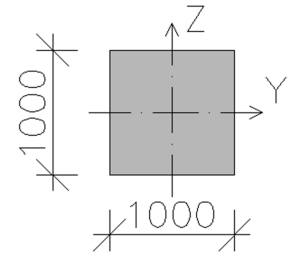
Takto se získala poloha jednotlivých uzlů v těžišti mostovky. Vzdálenost jednotlivých uzlů těžiště byla uvažována hodnotou 0,75m.

Pro vedení předpínacích lan v mostovce byly namodelovány samostatné prvky typu LINK8 u nichž bylo požadované předpětí zadáno pomocí poměrného zkrácení prvku (uzly pro vložení přepětí byly natočeny tak aby se lokální osa x shodovala s průběhem paraboly 2⁹). Stejným způsobem, byly do modelu přidány i jednotlivé závěsy. Správná poloha předpínacích lan, stejně jako uchycení závěsů, je v mostovce zajištěna pomocí tuhých vazeb v mostovce vzdálených 3m od sebe, v pylonu potom podle uchycení na kotevním plechu.



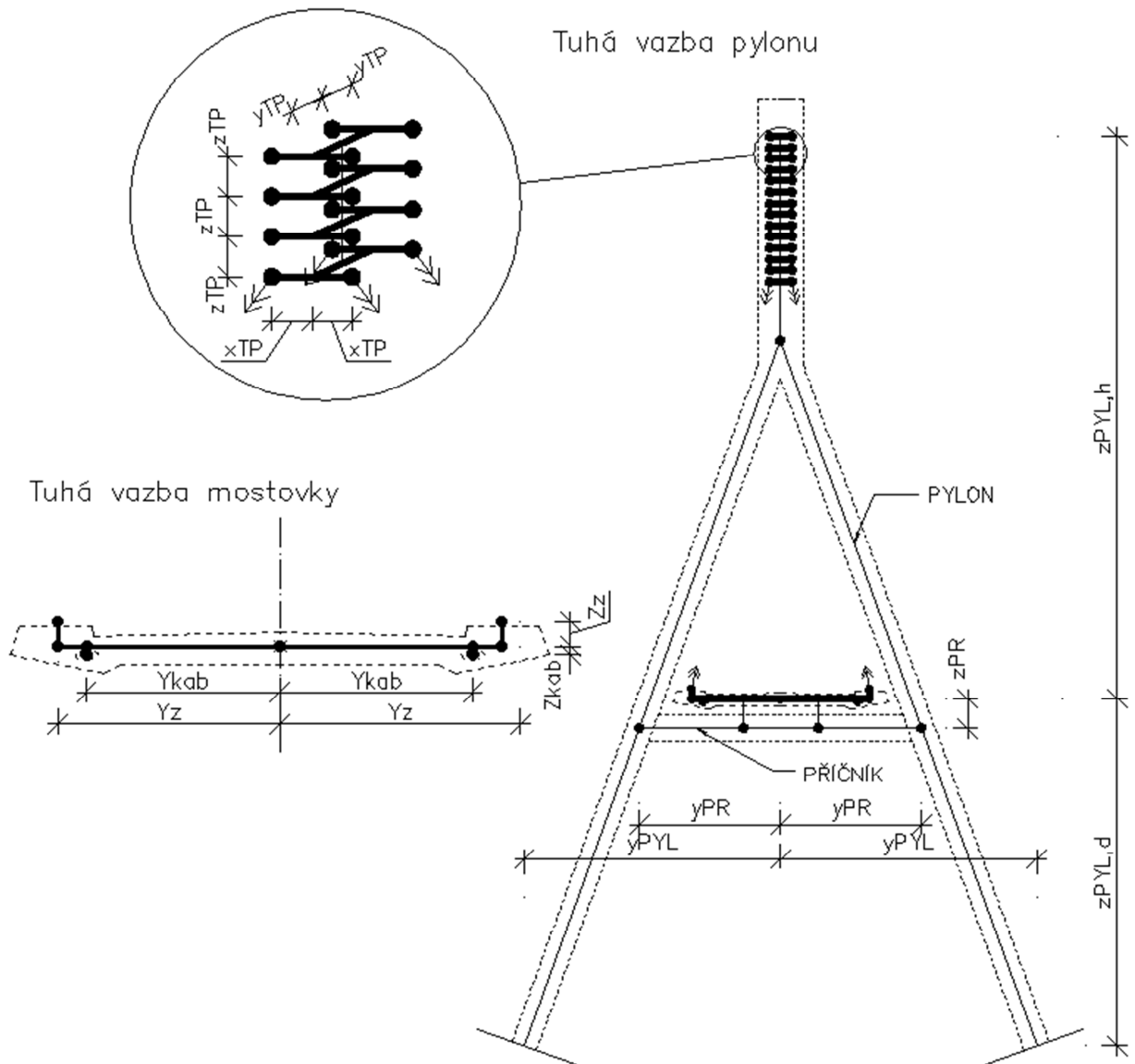
Obr. 10 -Rozdělení typů prvků v pylonu a mostovce

Tuhé vazby jsou modelovány jako prvky typu BEAM 4. Jedná se o čtvercový průřez 1x1m kterému byly přiřazeny materiálové charakteristiky jako u betonářské výztuže viz. Statický výpočet kap. 1.3.4. Jelikož tuhé vazby plní pouze úlohu geometrické korektnosti modelu, to znamená, že zajišťují správnou polohu napojovaných prvků na mostovku a pylon byla jim přiřazena nulová objemová hmotnost, aby nedošlo k ovlivnění vnitřních sil od vlastní tíhy.

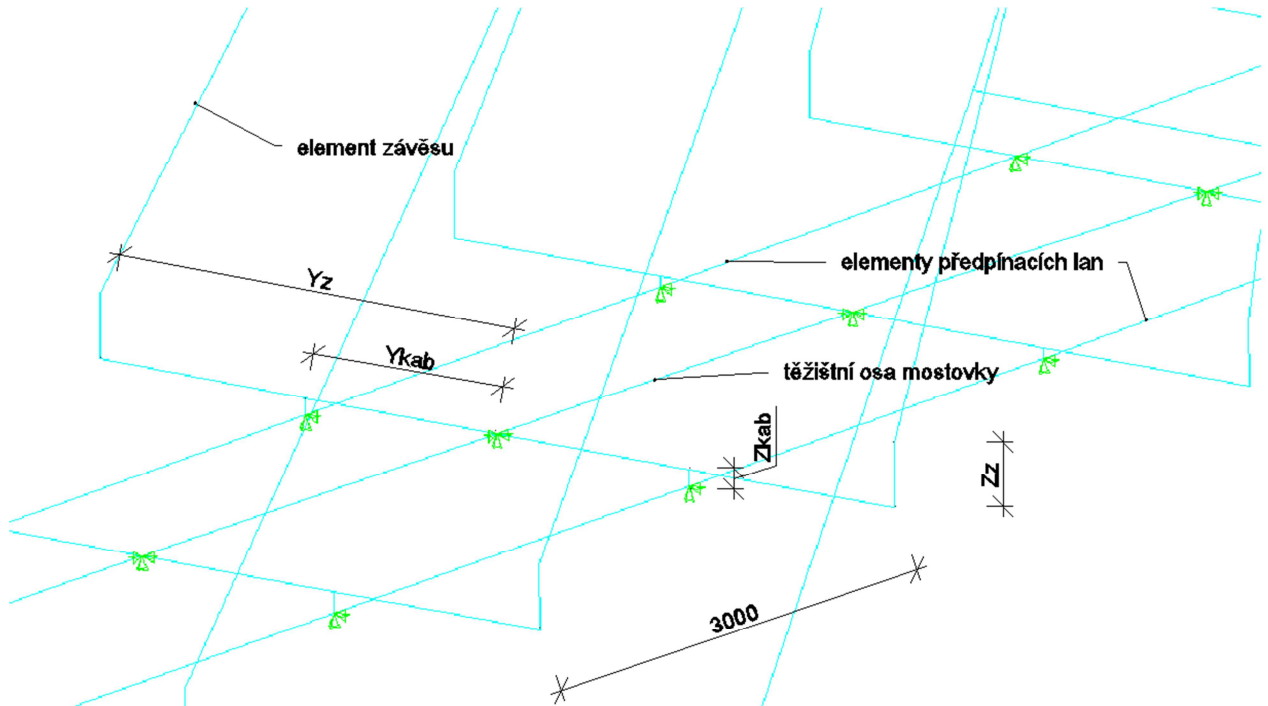


Obr. 11 - Příčný řez tuhé vazby

Schéma s popisy jednotlivých vstupních délek viz. Statický výpočet kap. 1.7.1.



Obr. 12 - Schéma tuhých vazeb pro kotvení závěsů a předpínacích lan v mostovce



Obr. 13 - Výřez části modelu mostovky

Aby model správně simuloval reálnou konstrukci bylo potřeba u některých spojení prvků určit, zda je možný vzájemný posun ve směru osy x, y, z a vzájemná rotace kolem os x, y, z , což bylo provedeno pomocí tzv bodů CP.

Pro správnou simulaci předpínacích lan bez soudržnosti v mostovce bylo mezi tuhou vazbou a prvky předpínacích lan provedeno spojení pomocí bodů CP, díky kterým bylo možno povolit vzájemné posuny v podélném směru. V příčném a podélném směru jsou posuny totožné. Na koncích mostovky bylo pomocí bodů CP zabráněno i podélnému posunu, čímž se zohlednilo zakotvení předpínacích lan.

Elementy závěsů byly s tuhými vazbami spojeny na přímo a to díky tomu že prvky typu LINK8 nepřenášejí ohybový moment. Rozmístění jednotlivých bodů CP viz Obr. 11.

Podepření modelu

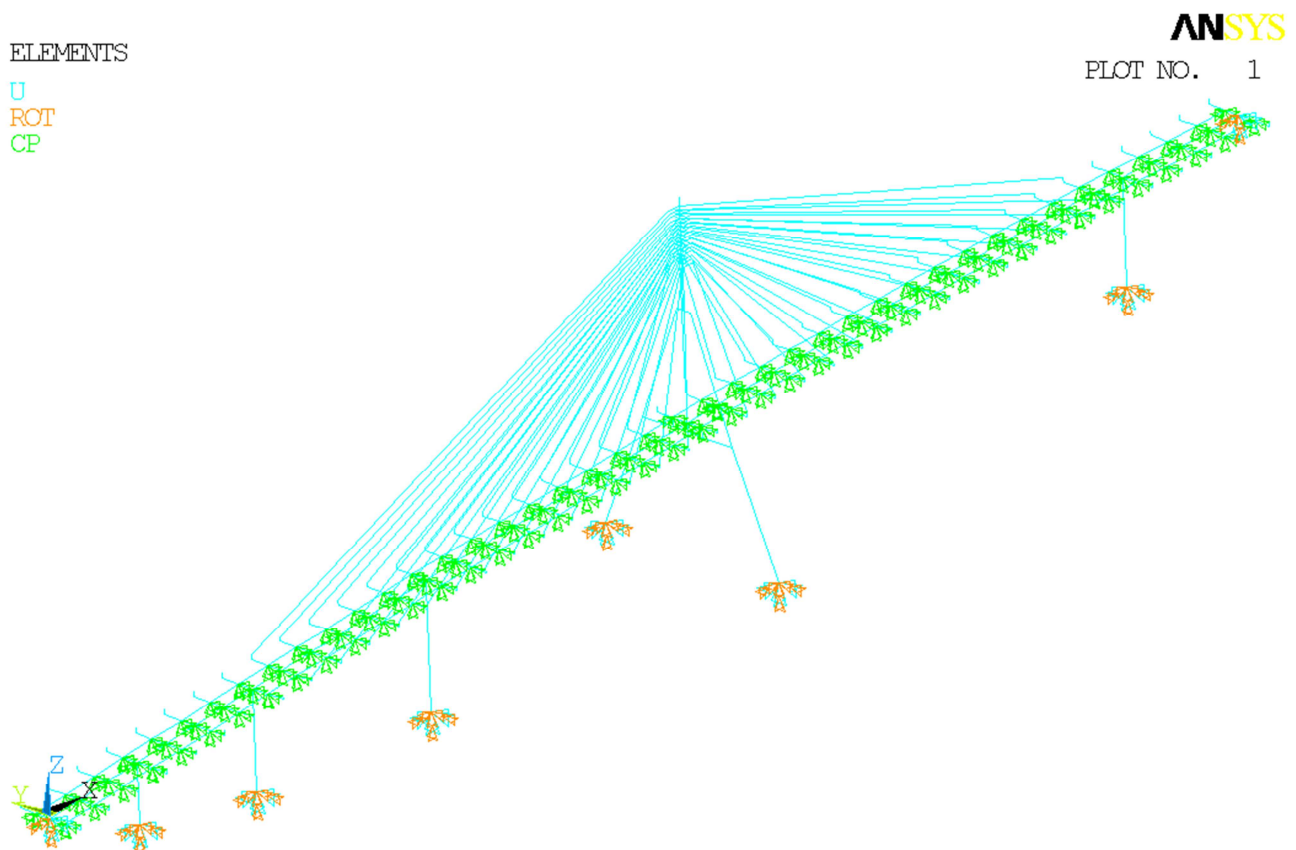
Podepření mostovky je modelováno v místech uložení na ložiska pomocí tuhých vazeb mezi mostovkou a pilíř, respektive příčnickem. Mezi tuhou vazbou příčnicku a mostovkou bylo body CP zabráněno posuvům ve všech směrech, pootočení byly povoleny. Mezi tuhou vazbou pilířů a mostovkou bylo bodům CP zabráněno v posunu ve směru y a z , podélný směr byl uvolněn společně se všemi pootočeními.

Podepření je realizováno v modelu samostatným příkazem a je zadáno u pilířů a pylonu jako vetknutí, je tedy zabráněno posuvům ve všech směrech a pootočením kolem všech os. V místech opěr je zabráněno pouze posunutím v příčném a svislém směru.

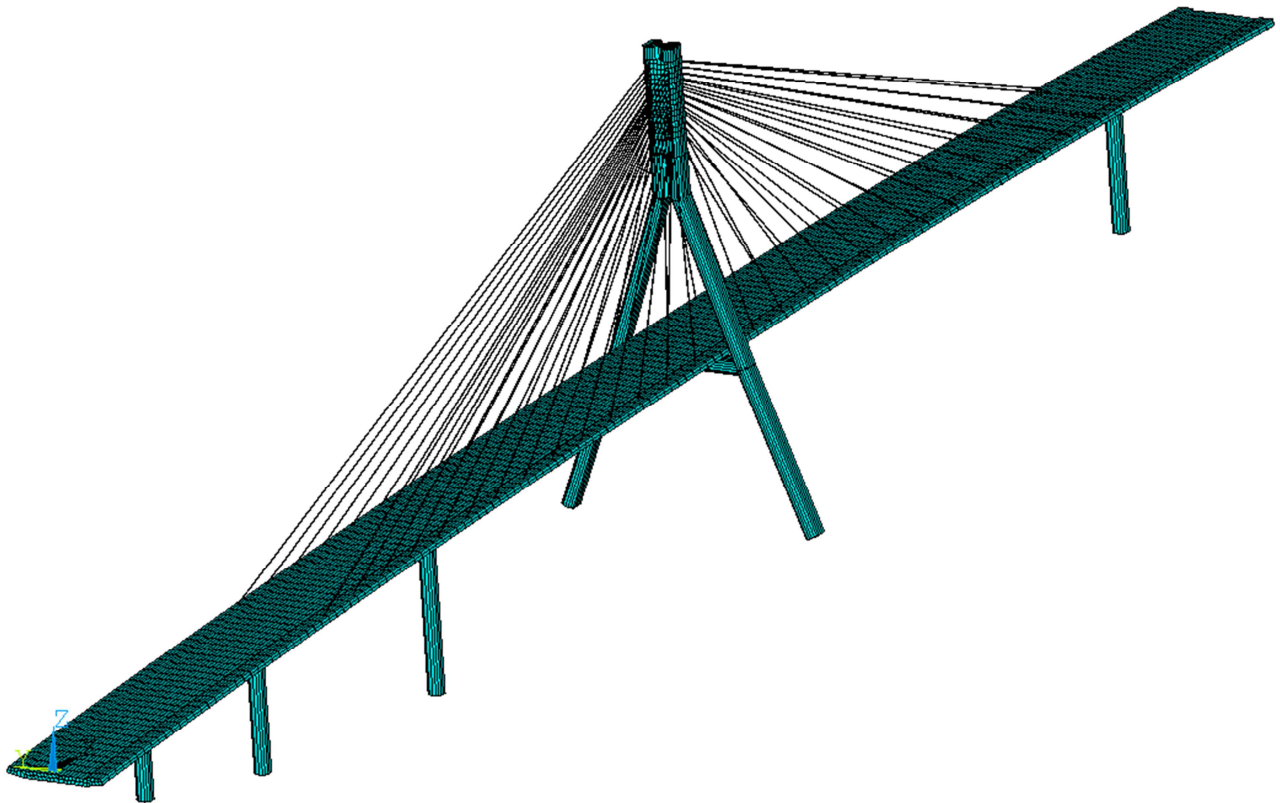
Materiálové charakteristiky modelu

Mostovka	Beton C50/60 Betónářská výztuž B500B
Pylon, pilíře	Beton C35/45 Betónářská výztuž B500B
Závěsy	Konstrukční táhla Macalloy S460
Předpínací výztuž	Y1860 S7-16,0-A

Výpis jednotlivých charakteristik viz Statický výpočet kap. 1.2.



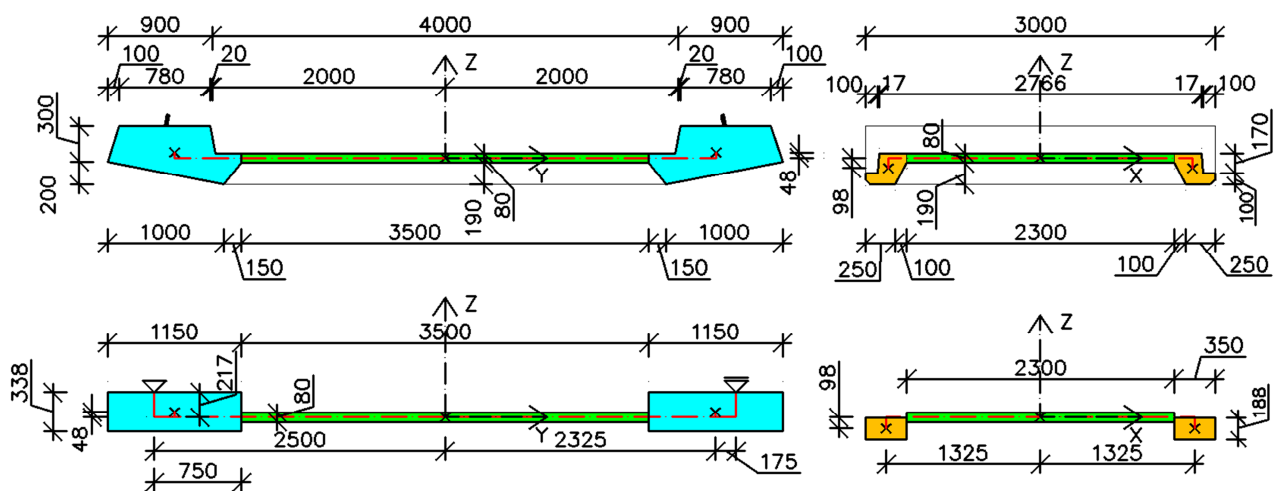
Obr. 14 - Pohled na výpočetní model



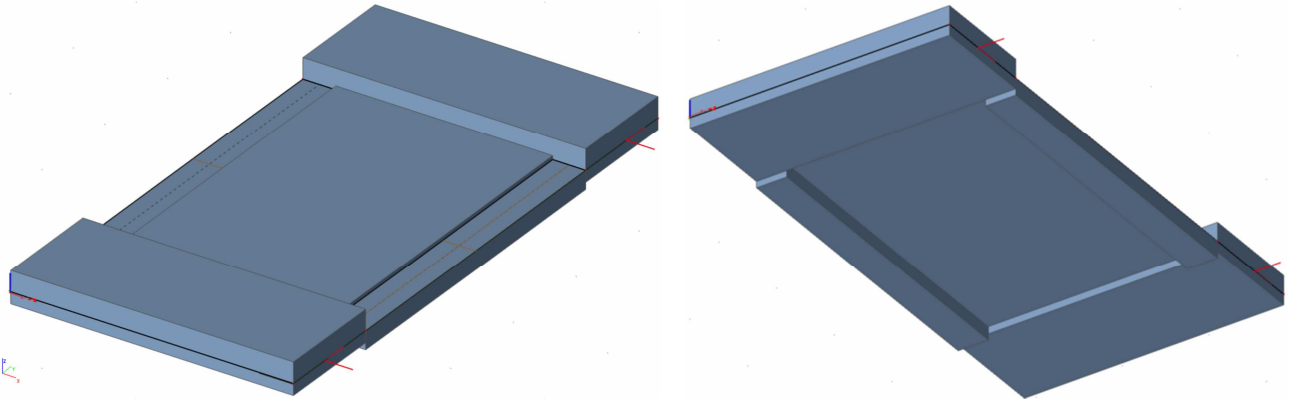
Obr. 15 - Pohled na výpočetní model se zobrazením hmot

4.2 Model pro řešení montážního stavu v příčném směru

Pro řešení montážního stavu byl použit program Scia Engineer 14. Model byl proveden pro prefabrikovaný prvek délky 3,0m který má tloušťku desky 80mm. Segment byl do programu zadán jako obecná konstrukce u které byl skutečný tvar nahrazen skupinou desek s rozdílnými tloušťkami a excentricitami, tak aby odpovídal co nejvěrněji skutečné konstrukci viz Statický výpočet kap. 6.1.



Obr. 16 - Převod na zjednodušený deskový model



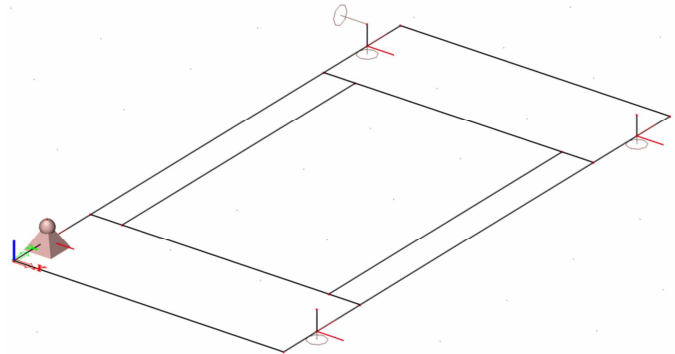
Obr. 17 - Pohled na horní a dolní povrch renderovaného výpočetního modelu

Materiálové charakteristiky

Materiálové charakteristiky jsou shodné s hodnotami z řešení podélného směru pro mostovku.

Podepření modelu

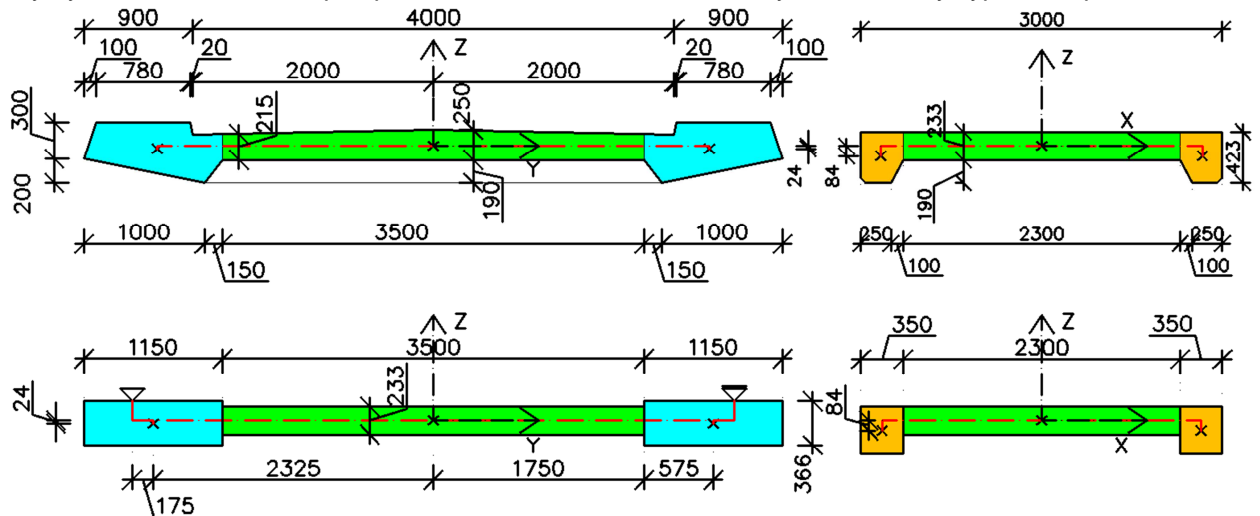
Ukotvení prefabrikovaných segmentů na závěsech bylo nahrazeno bodovým podepřením v místě uvažovaných kotevních prvků závěsů. Tuhost respektive poddajnost závěsů nebyla zohledněna.



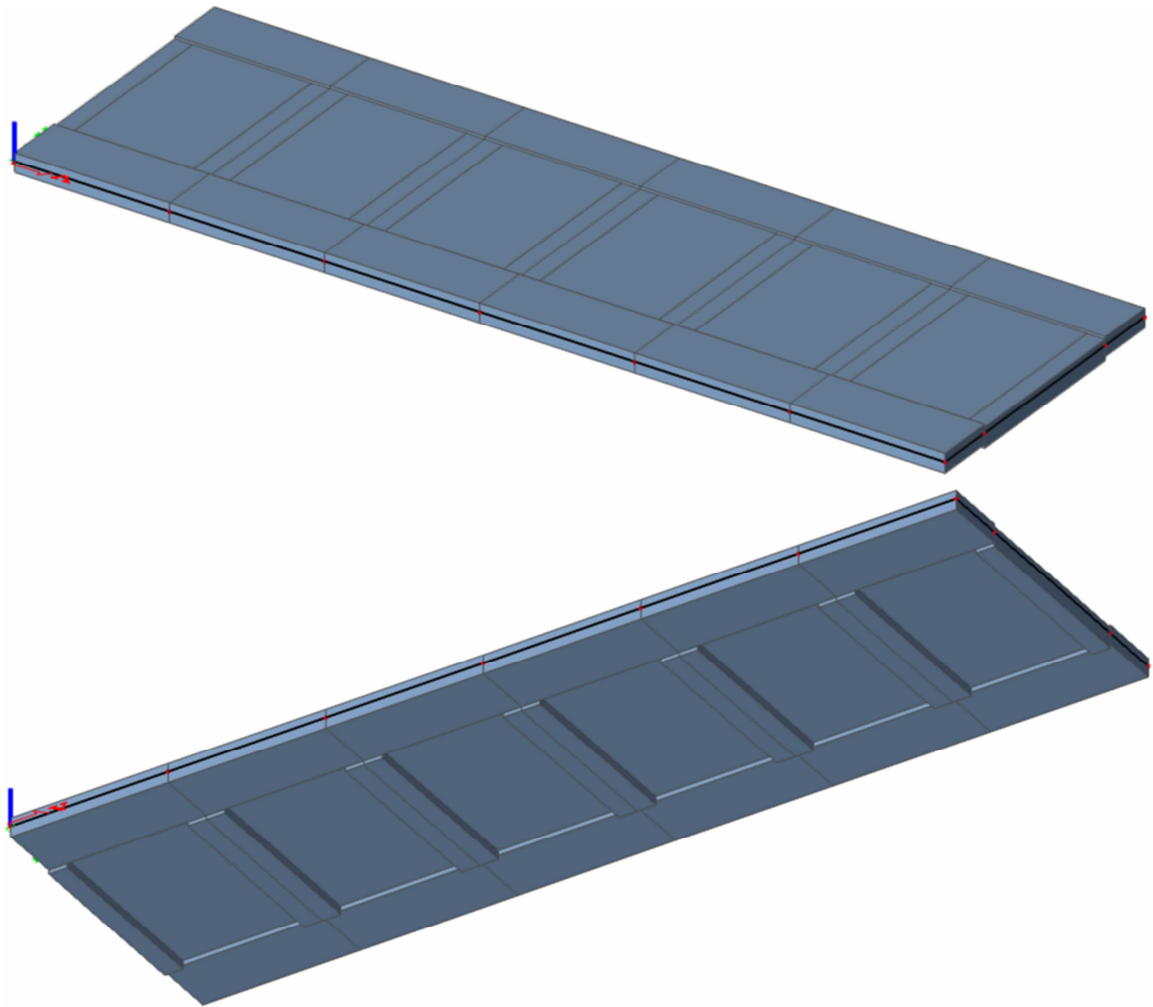
Obr. 18 - Pohled na zadaný model s podporami

4.3 Model pro řešení příčného směru

Model byl opět vytvořen v programu Scia Engineer 14. Jde v podstatě o stejný postup, jako v předchozím případě pouze byl pozměněn průřez a bylo namodelováno několik segmentů za sebou, aby bylo možné zohlednit spolupůsobení v delším úseku mostovky. Viz. Statický výpočet kap. 7.1.



Obr. 19 - Převod na zjednodušený deskový model



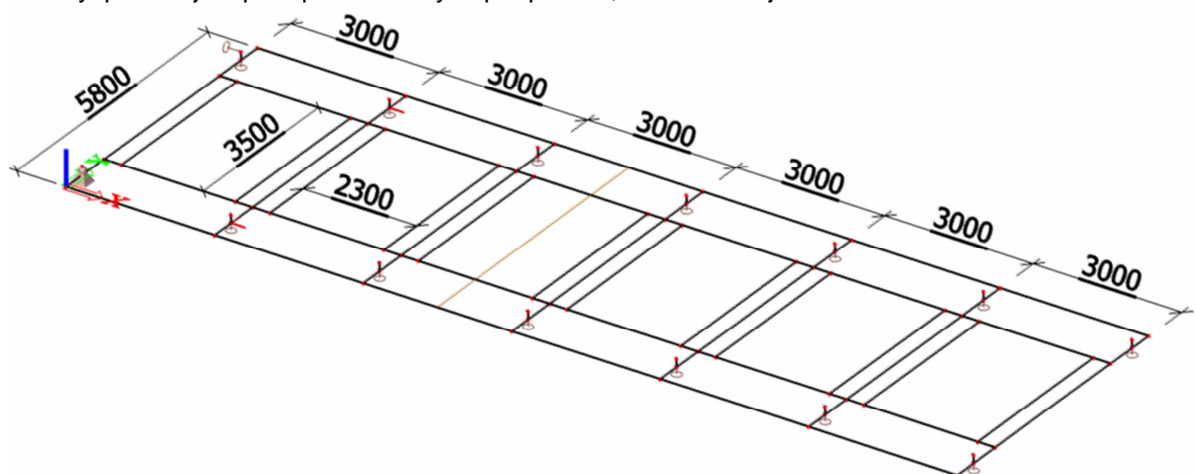
Obr. 20 - Pohled na dolní a horní povrch vyrenderovaného výpočetního modelu

Materiálové charakteristiky

Materiálové charakteristiky jsou shodné s hodnotami z řešení podélného směru pro mostovku.

Podepření modelu

Model byl po okrajích podepřen bodovými podporami, které simulují funkci závěsů.



Obr. 21 - Pohled na zadaný model s podporami

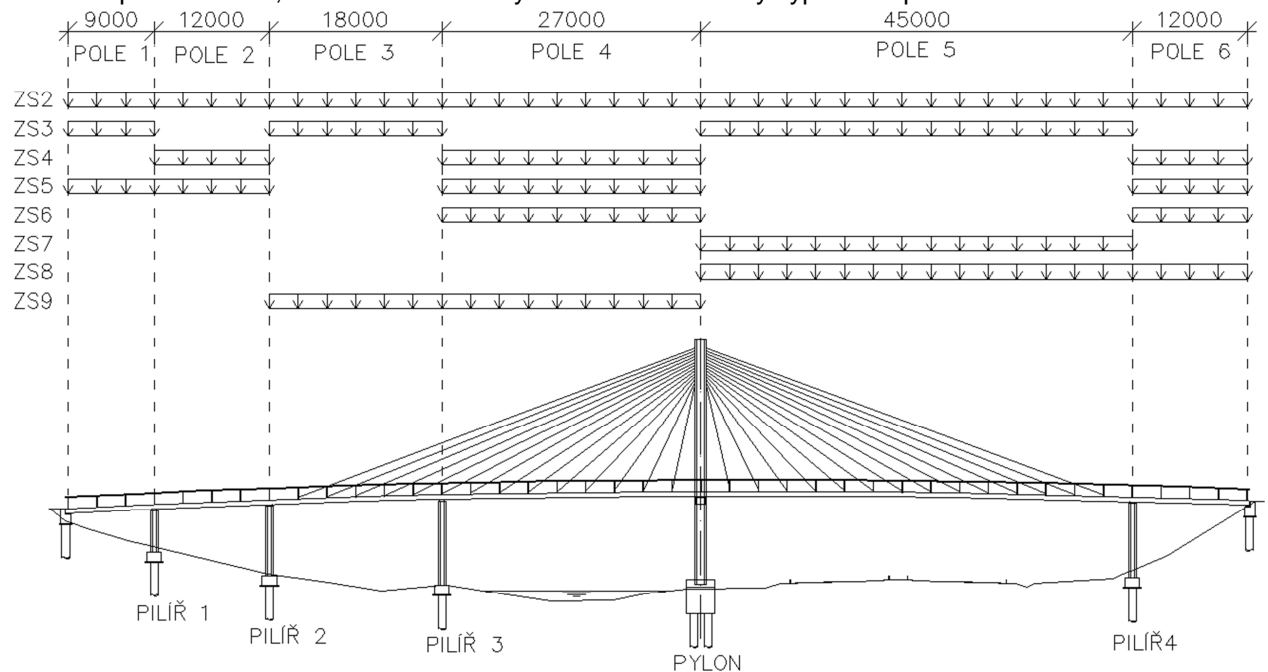
5. Zatížení

5.1 Zatížení stálé

U všech modelů je počítáno samostatně programem podle zadaných průřezů a materiálových charakteristik. Pro všechny modely byla provedena kontrola reakcí od vlastní tíhy, která odpovídala ručně spočítané hmotnosti jednotlivých modelů.

5.2 Zatížení chodci

Bylo vytvořeno 8 zatěžovacích stavů s různým rozmístěním spojitého zatížení od pěší dopravy. Pro jednotlivá zatěžovací schémata byly dopočítány intenzity spojitého zatížení podle délky, na které působí a to v rozpětí hodnot 2,5 ~ 5 kN/m. Intenzity zatížení viz Statický výpočet kap. 2.3.1.



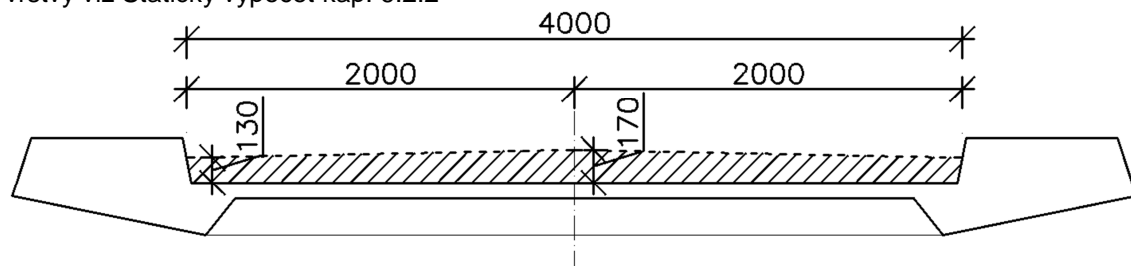
Obr. 22 - Rozmístění zatížení chodci

5.3 Zatížení teplotou

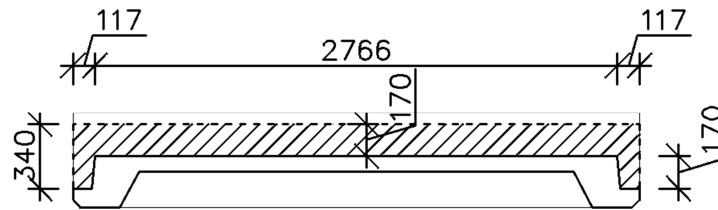
Účinky zatížení od rovnoměrného oteplení nebo ochlazení konstrukce byly zadány ve 2 zatěžovacích stavech. Pro oteplení je uvažována teplota 29,5°C a pro ochlazení -34,0°C. Viz Statický výpočet kap. 2.3.2.

5.4 Zatížení mokrým betonem v montážním stavu konstrukce

Tíha nadbetonované vrstvy byla zadána jako plošné zatížení. Intenzita odpovídá měnící se tloušťce vrstvy viz Statický výpočet kap. 6.2.2



Obr. 23 - Tloušťka nadbetonované vrstvy v příčném směru



Obr. 24 - Tloušťka nadbetonované vrstvy v podélném směru

5.5 Montážní zatížení

Jako montážní zatížení byl uvažován výskyt pracovníků popřípadě jiné další nahodilé zatížení. Jako odpovídající byla zvolena tíha 150kg/m^2 . Viz Statický výpočet kap. 6.2.3.

5.6 Účinky předpětí

Pro zohlednění ztráty předpínací síly v čase vlivem dlouhodobých ztrát jsou její účinky pro posudek na konci životnosti sníženy o 10%.

6. Kombinace zatížení

6.1 Kombinace pro mezní stav použitelnosti

Charakteristická: $\sum G_{k,j} + P_k + Q_{k,1} + \psi_{0,2} Q_{k,2}$

Častá: $\sum G_{k,j} + P_k + \psi_{1,1} Q_{k,1} + \sum \psi_{1,2} Q_{k,2}$

Kvazistálá: $\sum G_{k,j} + P_k + \psi_{2,1} Q_{k,1} + \psi_{2,2} Q_{k,2}$

Přehled kombinací pro mezní stav použitelnosti viz Statický výpočet kap. 3.1

6.2 Kombinace pro mezní stav únosnosti

Pro mezní stav únosnosti byla použita kombinace 6.10 která byla vybrána pro tzv návrh na stranu bezpečnou.

6.10: $\sum \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P_k + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \gamma_{Q,2} \psi_{0,2} Q_{k,2}$

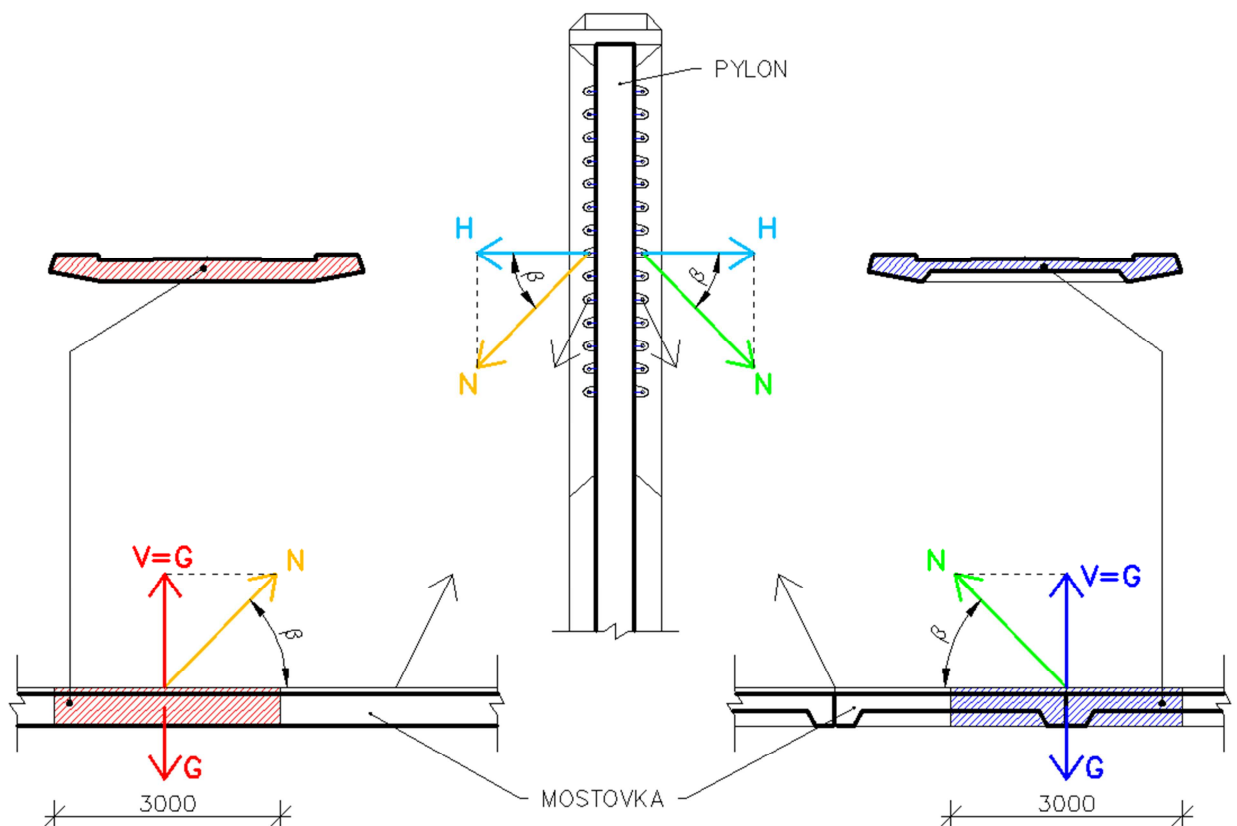
Přehled kombinací pro mezní stav únosnosti viz Statický výpočet kap. 3.2

7. Řešení výchozího stavu konstrukce

Základní předpoklad pro návrh zavěšené konstrukce spočívá ve správném určení síly v jednotlivých závěsech popřípadě v jejich interakci spolu s účinky předpínacích lan v mostovce. Výsledný návrh, který bude déle označován jako "výchozí stav", by měl vyvozovat co nejmenší (nejlépe nulový) ohybový moment v pylonu a zároveň musí respektovat maximální odchylky od projektované nivelety mostovky.

Ohybové namáhání v pylonu je nulové, pokud je součet horizontálních složek předpínacích sil v závěsech roven nule. Vertikální složka předpínacích sil závěsů je navržena tak, aby se rovnala vlastní tíže mostovky připadající pro daný závěs viz Obr. 25.

Pro tuto konstrukci byla určena jako dostatečná přesnost při vyrovnání na výchozího stavu deformace konstrukce $\varepsilon_{lim} = 3,0\text{mm}$. Konstrukce je ve výchozím stavu zatížena pouze vlastní tíhou.

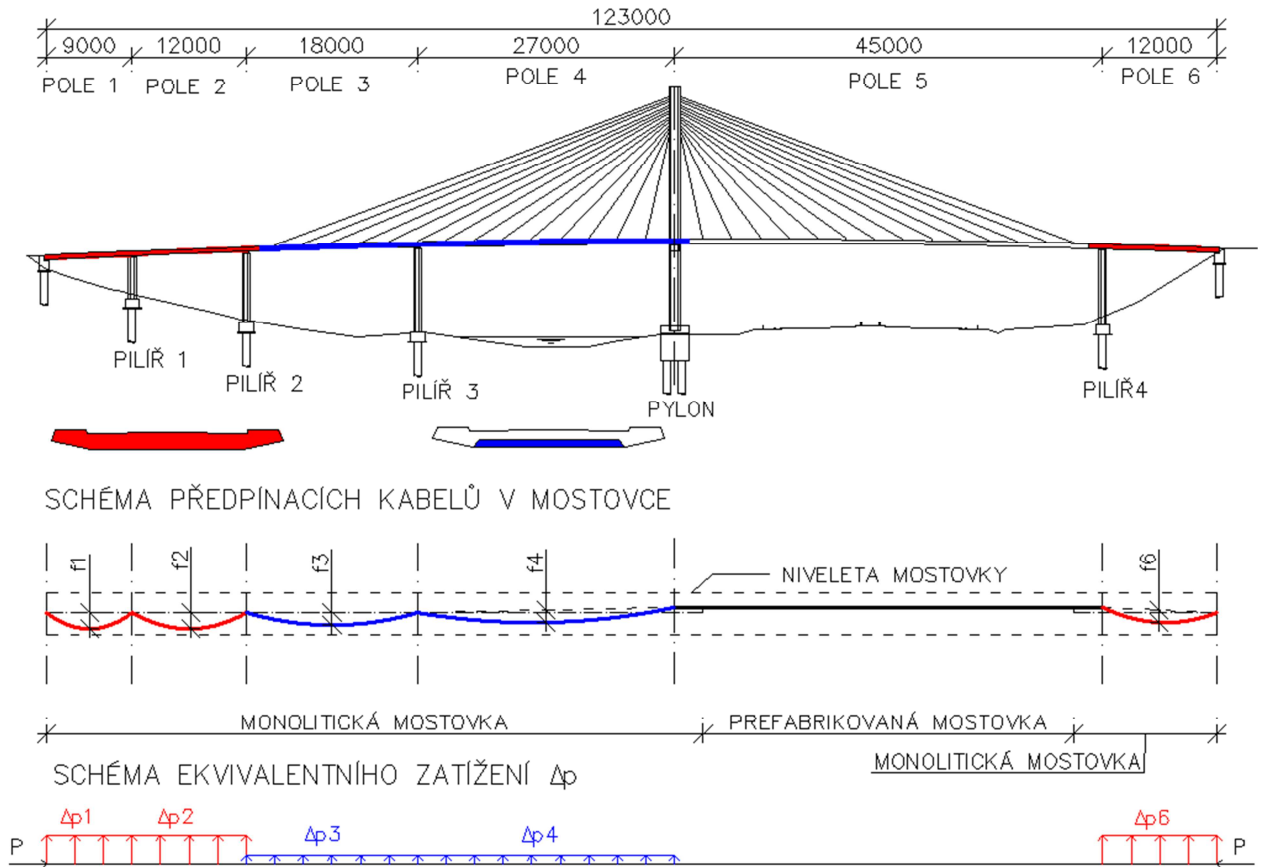


Obr. 25 - Rozklad síly n v podélném směru

$$\Sigma H_{\text{levá strana}} \approx \Sigma H_{\text{pravá strana}}$$

Vzhledem k tomu, že v poli 5 je mostovka sestavena z prefabrikovaných segmentů, jejichž vlastní tíha je menší než u monolitické části, byla v mostovce navržena předpínací lana, která svými radiálními účinky dorovnávají rozdíly hmot (Obr. 26).

V polích, kde na mostovku nepůsobí závěsy, vynáší radiální síly předpětí vlastní tíhu mostovky.

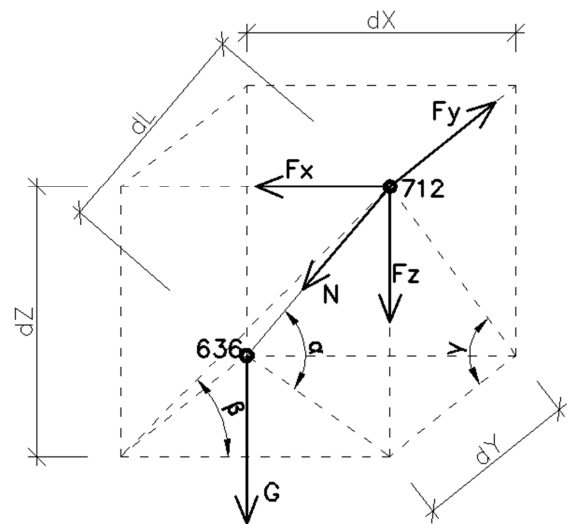


Obr. 26 - Schéma řešení kabelů v mostovce

Jelikož se vertikální rovina vedená kotvením závěsů v pylonu neshoduje s vertikální rovinou vedenou kotvením závěsů v mostovce, je rozklad sil od účinků závěsů převeden z rovinné úlohy na prostorovou. Ze zjištěných souřadnic konců závěsů byly dopočítány jednotlivé úhly (Obr. 27) v odpovídajících rovinách, dále byl proveden rozklad normálové síly a to na síly působící v osách globálního souřadného systému.

$$F_x = \frac{F_z}{\tan \beta} ; F_y = \frac{F_y}{\tan \gamma} ; F_z = G$$

$$N = \frac{G}{\sin \alpha}$$



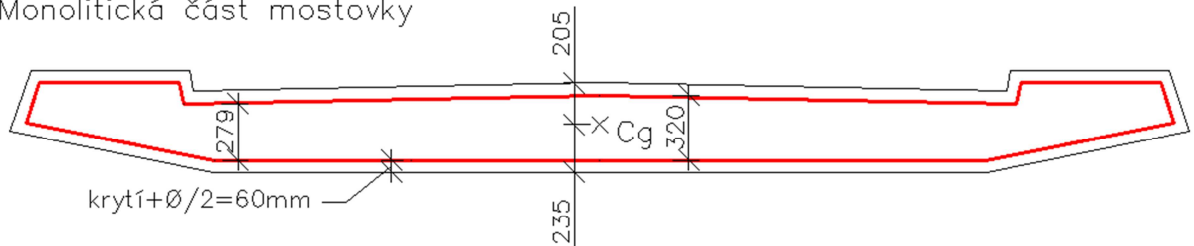
Obr. 27 - Rozklad sil v prostoru

Byl proveden výpočet koncových souřadnic závěsů a rozklad sil od působícího zatížení G. Souřadnice kotvení v mostovce byly určeny podle rovnice paraboly 2^ok odpovídajícímu stanovení viz Statický výpočet kap. 1.7.1.

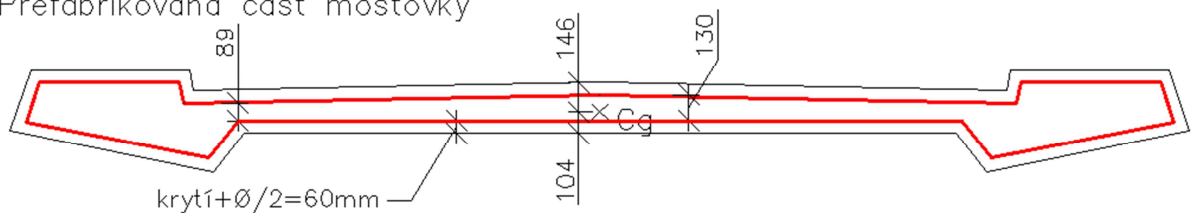
Po zjištění geometrie závěsů byly dopočítány hodnoty sil F_x , F_y , $F_z = G$. Jelikož je prefabrikovaná část mostovky lehčí než monolitická byla podle rozdílů složek F_x (ozn. ΔF_x) z levé a pravé strany pylonu dopočítána potřebná hodnota radiálních účinků předpínacích sil v mostovce ΔF_y a ta byla dále rozdělena jednotlivým polím vynášeným závěsy Δp .

Byl proveden návrh předpínací síly a trasování kabelů v mostovce (Obr. 29), kdy byla snaha využít v co největší míře možnou výšku průřezu (Obr. 28).

Monolitická část mostovky



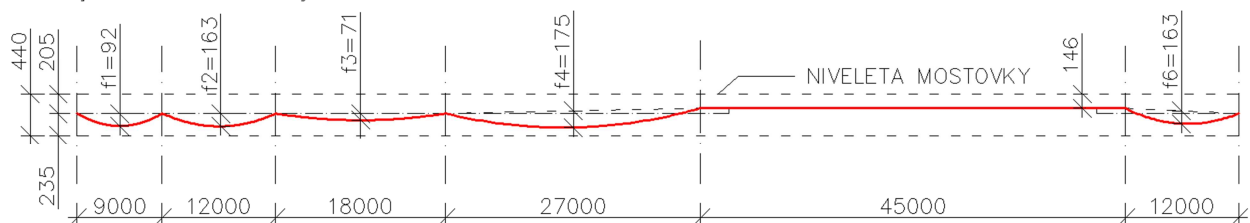
Prefabrikovaná část mostovky



Obr. 28 - Prostor pro vedení předpínacích lan

Navržená předpínací síla $P_{k,0} = 6588 \text{ kN}$

Podélný řez osou mostovky



Obr. 29 - Schéma trasování předpínacích lan pro narovnanou střednici mostovky

Dále byl proveden přepočít normálové síly v závěsech nyní už i se započítaným účinkem nadlehčení radiálními účinky předpětí v mostovce. Jelikož byl výpočet konstrukce prováděn jako nelineární a dosud nebylo připočítáno zkrácení mostovky a pylonu vlivem zatížení a předpětí bylo dále provedeno několik kroků iterace, při kterých se upravovalo zkrácení jednotlivých závěsů tak, aby výsledné deformace nepřekročili limitní hodnotu 3mm.

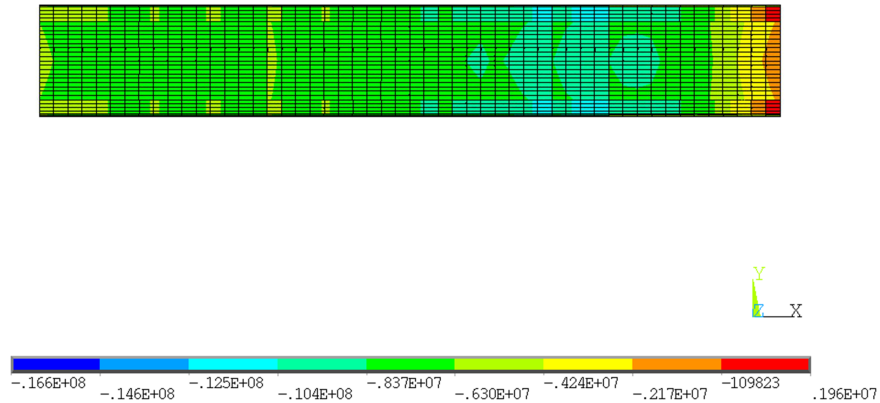
Pro takto vyrovnanou konstrukci byla provedena kontrola minimálního přítlaču pro častou kombinaci mezi prefabrikovanými segmenty s minimální tlakovou hodnotou 0,5MPa (Obr. 29)

NODAL SOLUTION

STEP=2
SUB =1
TIME=2
SX (AVG)
RSYS=0
DMX =.051971
SMN =-.166E+08
SMX =.196E+07

ANSYS

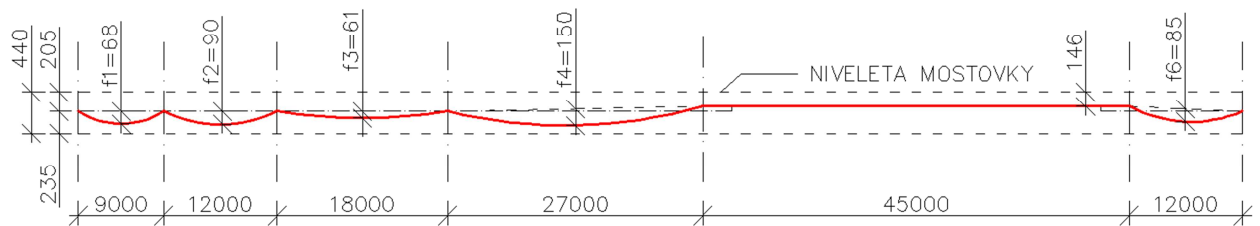
PLOT NO. 1



Obr. 29 - Napětí S_x - horní hrana prefabrikované části mostovky, častá kombinace, čas t .

Vzhledem k tomu, že mezi prefabrikáty vzniká tahové napětí, byla provedena úprava přepínací síly a normálových sil v závěsech. Zároveň byla provedena změna trasování předpínacích lan v mostovce. Opět byl iteračně dohledán výchozí stav konstrukce. Byly vytvořeny 2 varianty řešení (Tab. 1). Varianta A byla navržena tak, aby byl odpovídající minimální přítlak od všech častých kombinací. Varianta B zohledňovala případ kdy je minimální přítlak splněn i pro všechny kombinace charakteristické.

Podélný řez osou mostovky



Obr. 30 - Schéma opraveného trasování předpínacích lan v mostovce

Varianta	Kombinace	Předpínací síla [kN]	Plocha lan A_p [m ²]	Počet lan
A	Častá	10886,4	0,0084	56
B	Charakteristická	18273,6	0,0141	94

Tab. 1 - Varianty předpínací síly (pro celou mostovku)

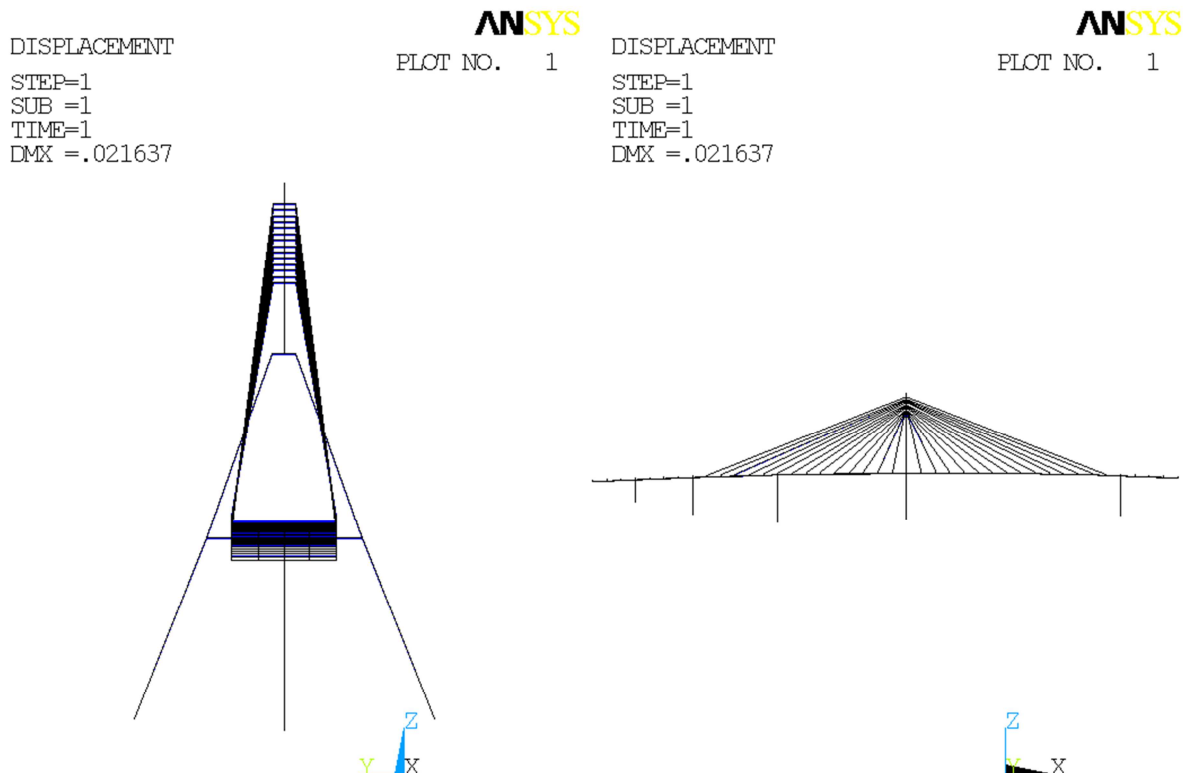
Vzhledem k tomu že tah vzniká i u horních vláken prefabrikátů, bylo po konzultaci s vedoucím diplomové práce rozhodnuto, že veškerý další návrh bude proveden pro variantu předpětí B tedy pro minimální přítlak mezi segmenty pro charakteristickou kombinaci zatížení. Pro tuto variantu, jsou potom poměrná zkrácení vypsány v Tab. 2

Závěs	$\epsilon_{kon} [-]$	Závěs	$\epsilon_{kon} [-]$
Z1	8.6536E-04	Z15	7.2384E-04
Z2	8.3679E-04	Z16	4.1252E-04
Z3	7.9806E-04	Z17	4.9698E-04
Z4	7.5743E-04	Z18	5.5296E-04
Z5	7.0815E-04	Z19	6.5615E-04
Z6	5.7326E-04	Z20	6.9470E-04
Z7	5.3238E-04	Z21	7.1271E-04
Z8	4.9750E-04	Z22	8.0538E-04
Z9	4.4137E-04	Z23	8.5961E-04
Z10	3.7001E-04	Z24	8.9834E-04
Z11	2.4543E-04	Z25	9.3251E-04
Z12	3.6573E-04	Z26	7.8396E-04
Z13	4.0372E-04	Z27	6.1341E-04
Z14	4.5803E-04	Z28	8.4246E-04

Tab. 2 - Výsledné zkrácení závěsů

Výsledné deformace $u_z = 2,91\text{mm}$ splňuje podmínku pro maximální deformaci (3,0mm) výchozího stavu od ideální projektované geometrie nivelety mostovky.

Takto navržené poměrné zkrácení závěsů a předpínací síla v mostovce jsou dále ve výpočtech brány jako Výchozí stav konstrukce.



Obr. 31 Deformovaná konstrukce po 2. vyrovnání - Výchozí stav

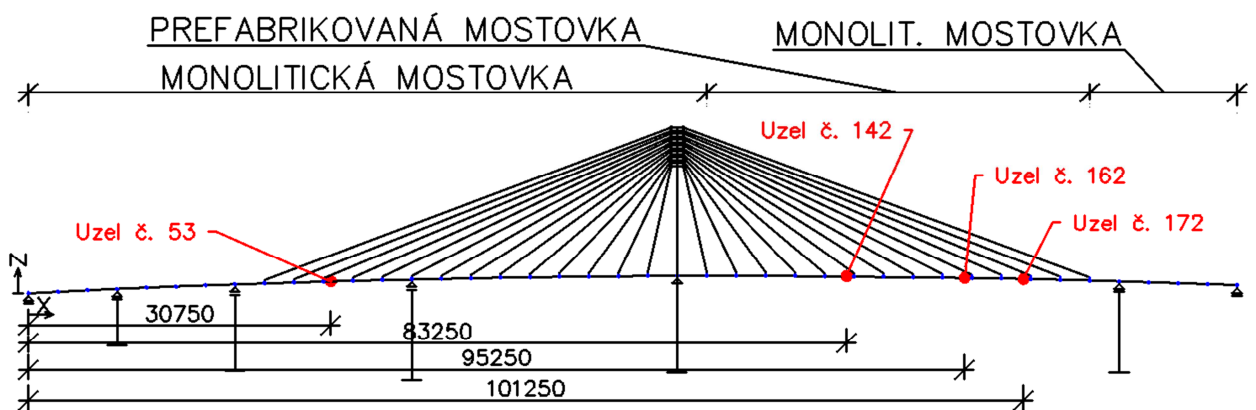
8. Posouzení konstrukce

Konstrukce byla posouzena jak na mezní stavy únosnosti tak použitelnosti viz. statický výpočet. Vzhledem k velké předpínací síle nebylo třeba na většině částí mostovky doplňovat betonářskou výztuž, ta byla navržena pouze konstrukčně.

Podmínky u všech posudků jak pro mezní stav únosnosti tak použitelnosti byly splněny, konstrukci lze tedy ze statického hlediska považovat za únosnou jak v provozním tak v limitním stavu.

Harmonická analýza konstrukce

Pro celý prutový model byla provedena modální analýza konstrukce pro prvních 20 vlastních tvarů a frekvencí a dále odezva na harmonické buzení ve čtyřech vybraných uzlech mostovky s největší amplitudou ve směru globální osy Z. Budící síla měla hodnotu 180 N.



Obr. 32 Rozmístění uzlů pro posudek harmonické odezvy

Posudkem (viz Statický výpočet kap. 9.1) se zjistilo, že konstrukce splňuje podmínku pro maximální zrychlení.

9. Závěr

Úkolem diplomové práce bylo provést návrh a posouzení zvolené varianty lávky pro pěší podporované kabely přes rychlostní komunikaci R35. Byl proveden návrh předpínací síly, trasování kabelů v mostovce a zkrácení závěsů tak, aby byl nalezen tzv. Výchozí stav konstrukce, kdy bude limitní deformace od vlastní tíhy max 3mm. Pro takto navrženou variantu byl proveden posudek únosnosti a použitelnosti. Konstrukce na zadané účinky zatížení vyhověla. Pro zjednodušení byly dlouhodobé a krátkodobé ztráty předpětí odhadnuty. V rámci diplomové práce nebyly provedeny posudky kotevních oblastí, spodní stavby ani průhybů. Vyztužení částí neuvažovaných ve výpočtu bylo provedeno dle konstrukčních zásad. Kotevní plech v pylonu byl posouzen pouze v místě ukotvení závěsů, v posudcích pylonu nebyl jeho vliv započítán.

10. Použitá literatura

- [1] ČSN EN 1991-2. *Zatížení konstrukcí - Část 2: Zatížení mostů dopravou*. Praha : Český normalizační institut, 2005.
- [2] EN 1992-1. *Design of concrete structures*. Brussels: European Committee for Standardization, 2001.
- [3] NAVRÁTIL, Jaroslav. *Předpjaté betonové konstrukce*. Vyd. 2. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2008. 186 s. ISBN 978-80-7204-561-7.
- [4] PANÁČEK, Josef. *Prvky betonových konstrukcí, Dimenzování betonových prvků – část 1*
- [5] NEČAS, Radim. *Příslušenství*. Přednáška [online]. Dostupné z: http://necasradim.cz/BL12/prednasky/TISK_10_Prislusenstvi.pdf
- [6] NEČAS, Radim. *Zatížení mostů dle evropských norem (EN)*. Přednáška [online]. Dostupné z: [http://necasradim.cz/BL12/prednasky/TISK_02_Zatizeni mostu EN.pdf](http://necasradim.cz/BL12/prednasky/TISK_02_Zatizeni_mostu_EN.pdf)
- [7] ČAMBULA, Jaroslav a Vladislav HRDOUŠEK. *Navrhování mostních konstrukcí podle Eurokódů*. 1. vyd. Praha: Informační centrum ČKAIT, 2010, 341 s. ISBN 978-80- 87093-90-0.
- [8] MACALLOY. *Systémy konstrukčních táhel* [patent]. Tension Systems. Dostupné z: www.tension.cz
- [9] FREYSSINET. *Vnitřní předpětí se soudržností* [patent]. Vícelanové jednotky, F13/F15. Dostupné z: www.freyssinet.cz

11. Seznam obrázků

Obr. 1 - Příčný řez variantou A	10
Obr. 2 - Příčný řez variantou B	11
Obr. 3 - Příčný řez variantou C	12
Obr. 4 - Příčný řez monolitickou mostovkou	13
Obr. 5 - Příčný řez prefabrikovanou částí mostovky	14
Obr. 6 - Průchozí prostor	14
Obr. 7 - Řešení nivelety mostovky v podélném směru	15
Obr. 8 - Geometrické vlastnosti paraboly	15
Obr. 9 - Rozdělení typů prvků po délce konstrukce	16
Obr. 10 - Rozdělení typů prvků v pylonu a mostovce	16
Obr. 11 - Příčný řez tuhé vazby	17
Obr. 12 - Schéma tuhých vazeb pro kotvení závěsů a předpínacích lan v mostovce	17
Obr. 13 - Výřez části modelu mostovky	18
Obr. 14 - Pohled na výpočetní model	19
Obr. 15 - Pohled na výpočetní model se zobrazením hmot	20
Obr. 16 - Převod na zjednodušený deskový model	20
Obr. 17 - Pohled na horní a dolní povrch renderovaného výpočetního modelu	21
Obr. 18 - Pohled na zadaný model s podporami	21
Obr. 19 - Převod na zjednodušený deskový model	21
Obr. 20 - Pohled na dolní a horní povrch vyrenderovaného výpočetního modelu	22
Obr. 21 - Pohled na zadaný model s podporami	22
Obr. 22 - Rozmístění zatížení chodci	23
Obr. 23 - Tloušťka nadbetonované vrstvy v příčném směru	23
Obr. 24 - Tloušťka nadbetonované vrstvy v podélném směru	24
Obr. 25 - Rozklad síly n v podélném směru	25
Obr. 26 - Schéma řešení kabelů v mostovce	26
Obr. 27 - Rozklad sil v prostoru	26
Obr. 28 - Prostor pro vedení předpínacích lan	27
Obr. 29 - Napětí S_x - horní hrana prefabrikované části mostovky, častá kombinace, čas t_0	28
Obr. 30 - Schéma opraveného trasování předpínacích lan v mostovce	28
Obr. 31 Deformovaná konstrukce po 2. vyrovnání - Výchozí stav	29
Obr. 32 Rozmístění uzlů pro posudek harmonické odezvy	30

12. Seznam tabulek

Tab. 1 - Varianty předpínací síly (pro celou mostovku)	28
Tab. 2 - Výsledné zkrácení závěsů	29

13. Seznam příloh

P.01 – Podklady

- P.01-01 - Podklady
- P.01-02 – Varianta A
- P.01-03 – Varianta B
- P.01-04 – Varianta C

P.02 – Výkresová dokumentace

- P.02-01 – Situace
- P.02-02 – Podélný řez lávkou
- P.02-03 – Příčné řezy lávkou
- P.02-04 – Výkres tvaru segmentu
- P.02-05 – Výkres výztuže segmentu
- P.02-06 – Schéma výztuže spřažené desky
- P.02-07 – Výkres předpínací výtuže
- P.02-08 – Výkres výztuže pylonu
- P.02-09 – Výkres kotevního plechu

P.03 – Stavební postup a vizualizace

- P.03-01 – Stavební postup
- P.03-02 – Vizualizace