

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ  
FAKULTA STAVEBNÍ



---

# BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

---

Návrh zavěšeného mostu přes Labe

Autor: Jan Babica

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Roman Šafář Ph.D.

2017



## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

### I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Babica	Jméno: Jan	Osobní číslo: 395656
Zadávací katedra: betonových a zděných konstrukcí		
Studijní program: Stavební inženýrství		
Studijní obor: Konstrukce a dopravní stavby		

### II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Návrh zavěšeného mostu přes Labe	
Název bakalářské práce anglicky: Design of a cable stayed bridge over Labe river	
Pokyny pro vypracování: Vypracujte technickou zprávu, statický výpočet, výkresovou dokumentaci.	
Seznam doporučené literatury: Šafář, R.: Betonové mosty 2 - přednášky	
Jméno vedoucího bakalářské práce: Ing. Roman Šafář, Ph.D.	
Datum zadání bakalářské práce: 23.2.2017	Termín odevzdání bakalářské práce: 28.5.2017
Údaj uveďte v souladu s	o ak. roku

### III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutně uvést v bakalářské práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.

23.2.2017

Datum převzetí zadání

### **Čestné prohlášení:**

Tímto prohlašuji, že jsem při vypracování této práce postupoval samostatně, bez cizí pomoci s výjimkou poskytnutých konzultací vedoucím této práce.

## **Anotace:**

Bakalářská práce se zabývá návrhem zavěšeného mostu na estakádě přes Labe a k tomu odpovídající výkresové dokumentace. K návrhu konstrukce a jejímu výpočtu a posouzení slouží model vytvořený v programu SCIA Engineer 16.1, jehož výstupy jsou součástí této práce. Konstrukce je tvořena předepnutým dvoutrámem, které podpírají závěsy z předpínací oceli, které jsou kotveny do pylonu.

## **Klíčová slova:**

Zavěšený most, estakáda, trámová konstrukce, mostní závěsy, předpínací výztuž, pylon, SCIA Engineer 16.1

## **Anotation:**

Bachelor's thesis deals with design of the cable-stayed bridge on the estakade over Labe and the corresponding design documentation. To design and calculation this construction serves the model created in SCIA Engineer 16.1, results of the model are part of this thesis. Construction is formed by prestressed double girder, which is supported by cables of prestressing steel, which are anchored to the pylon.

## **Key words:**

Cable-stayed bridge, estakade, girder construction, bridge cables, prestressed reinforcement, pylon, SCIA Engineer

## **Poděkování**

Rád bych poděkoval všem lidem, co mi při studiu a psaní této práce pomáhali a podporovali mě. Hlavně bych rád poděkoval své rodině, svým rodičům Františkovi a Lence Babicovým, mé přítelkyni Milušce Zmundové. Dále mé velké díky patří vedoucímu této práce, Ing. Romanu Šafářovi Ph.D. za rady, vedení, motivaci, optimistický, vstřícný přístup a za pomoc při řešení technickým problémů této práce.

**Děkuji Vám.**

## Obsah

1. Technická zpráva .....	- 6 -
1.1 Úvod .....	- 6 -
1.2. Výpočetní model .....	- 7 -
2. Průřezové charakteristiky .....	- 7 -
3. Materiály .....	- 8 -
3.1. Beton .....	- 8 -
3.2. Předpínací výztuž .....	- 8 -
4. Zatížení .....	- 9 -
4.1. Zatížení stálé .....	- 9 -
4.2. Zatížení proměnné .....	- 11 -
4.2.1. Zatížení dopravou .....	- 11 -
4.2.1. Zatížení teplotou .....	- 11 -
4.3. Rektifikace .....	- 12 -
4.4. Kombinace .....	- 12 -
4.4.1. Kombinace na MSÚ .....	- 12 -
4.4.2 Kombinace na MSP .....	- 13 -
5. Příčinkové čáry .....	- 14 -
5.1. Vnitřní síly .....	- 17 -
6. Výpočet kombinací .....	- 32 -
6. Předpětí .....	- 52 -
6.1. Úvod .....	- 52 -
6.2. Konstrukční zásady .....	- 53 -
6.1.1. Stanovení krycí vrstvy .....	- 53 -
6.3. Vstupní hodnoty pro výpočet .....	- 53 -
7. Posouzení na MSP .....	- 58 -
7.1. Mezní stav omezení napětí .....	- 58 -
7.2. Mezní stav omezení trhlin .....	- 62 -
8. Posouzení konstrukce na MSÚ .....	- 64 -
8.1. Posouzení únosnosti průřezu .....	- 65 -
9. Závěr .....	- 67 -

# 1. Technická zpráva

## 1.1 Úvod

Cílem této práce je navrhnout možnost přemostění, pomocí zavěšené konstrukce, posledních tří polí na estakádě přes Labe. V přílohách lze najít alternativy, které jsem uvažoval pro tuto práci. Jsou tam nastíněny varianty pro komorový průřez i pro možnost řešení pomocí jediného pylonu. Po dohodě s vedoucím této práce panem Ing. Romanem Šafářem Ph.D. jsem se rozhodl pro řešení pomocí dvou pylonů a trémové konstrukce.

Nosnou konstrukci jsem tedy navrhnul, jako zavěšený dvoutrémový, z předem předpjatého monolitického betonu. Jedná se o nosník o třech polích rozpětí 45,0 m, 80,0 m a 45,0 m. Příčný řez, jak již bylo zmíněno, tvoří dvoutrémová konstrukce o celkové výšce 1,75 m a velmi zajímavém příčném rozpětí 29,195 m. Kraje nosníku jsou z každé strany osazeny římsami, vyztuženými ocelí B500B, o délce 2,1m. Ještě jedna římsa je osazena uprostřed příčného řezu, jelikož se jedná o směrově rozdělenou rychlostní komunikaci. Na kraji každé římsy, směrem ke komunikaci se nachází zábradelní svodidlo, na kraji konstrukce jsou římsy osazeny zábradlím. Římsa uprostřed má šířku 2,0 m.

Nosný systém tvoří mostovka, pylony a závěsy. Z hlediska závěsů jsem navrhnul menší množství závěsů v poloharfovém systému. Závěsy jsou vedeny ve dvou rovnoběžných rovinách a na každý pylon tedy připadá 28 závěsů. Každý závěs je kotven do nálitku pod spodními vlákny trému v místě závěsů, až na závěsy kotvené za opěru a za přechodový pilíř, jsou v příčném směru vedeny příčníky. Z důvodu lepšího statického fungování jsem do vzdálenosti 21,4 m od přechodového pilíře a od opěry, umístil rámové stojky, které jsou opět spojeny příčníkem. Závěs v místě rámové stojky je kotven do nálitku, který se nachází za rámovou stojkou.

Pylony jsou s trémovou konstrukcí spojeny pouze skrze závěsy. Trémová konstrukce není v místě pylonu podepřena. Samotný pylon je vysoký 21,0m nad úroveň mostovky. Základy pylonů tvoří dva masivní obdélníkové bloky, které každý nese šestnáct velko-průměrových pilot. Obě části základů jsou spojeny pomocí předpínacích tyčí z důvodu zvýšení tuhosti základové stavby.

Nosná konstrukce je z betonu C35/45 – XF2 +XD1 + XC4, monolitické římsy jsou z betonu C30/37 XF4 + XD3 +XC4.

Skladba vozovky je následující:

- |  |          |        |
|--|----------|--------|
| • Obrusná vrstva – asfaltový koberec mastixový | SMA 11 S | 40 mm  |
| • Ložná vrstva                                 | ACL      | 50 mm  |
| • Ochranná izolace                             | MA 11 IV | 5 mm   |
| • Izolace                                      | NAIP     | 5 mm   |
| • Celková tloušťka vozovky včetně izolace      |          | 135 mm |

V této práci bylo nutné vyřešit napojení již existující konstrukce a této nové konstrukce. Napojení konstrukce je vyřešeno pomocí přechodového pilíře. Stávající i nová

konstrukce je uložena do betonové vaničky, a to z estetických důvodů. Původní konstrukce je o trochu užší, tak aby správně lícovala, bylo potřeba původní konstrukci před místem uložení na betonový pilíř postupně rozšiřovat až do úrovně nové konstrukce.

V tomto výpočtu se nepočítá se stavebním stádiem, pohyblivé zatížení je omezeno pouze na zatížení LM1, zatížení větrem z hlediska malého efektu je taktéž zanedbáno.

Posouzení MSP konstrukce se v této práci zúží pouze na posouzení na mezní stav omezení napětí a mezní stav omezení trhlin.

Z časových důvodů jsou v práci uvedeny výsledky vnitřních sil, kombinací a napětí jako výstup z výpočetního modelu.

Uvažuji pouze provozní stádium a konec životnosti konstrukce, pro posouzení MSP. Z hlediska MSP je posuzováno, mezní stav omezení napětí a mezní stav omezení trhlin.

## 1.2. Výpočetní model

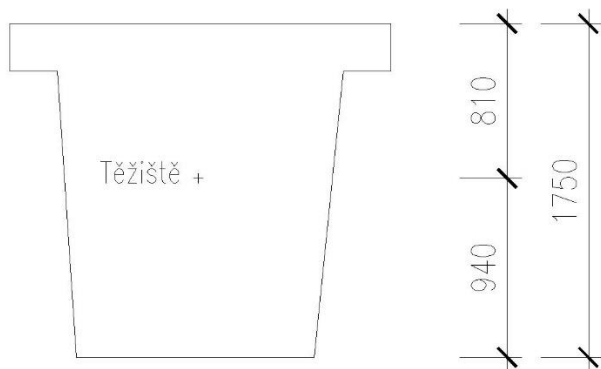
Základem této práce bylo vytvoření fungujícího 3D modelu konstrukce zavěšeného mostu. Výsledky jednotlivých vnitřních sil, kombinací a napětí jsou výstupem z tohoto modelu. Výpočetní model počítá a je nastaven, že nepočítá se spolupůsobením podloží či konstrukcí, která na tento objekt navazuje. Model odpovídá projektové dokumentaci, která se nachází v přílohách této práce.

Závěsy jsou modelovány pomocí ocelových tyčí, které respektují plochu předpínací výztuže a její tuhost. Jsou však modelované jako pruty, a ne jako závěsy (s těmi by program počítal nelineárně).

## 2. Průřezové charakteristiky

Pro zjednodušení výpočtu uvažuji stejný průřez na celé konstrukci. Průřezové charakteristiky jsem zjistil v programu AutoCAD 16 a zapsal je do tabulkového editoru, se kterým jsem v pozdější fázi zjišťoval chování předepnuté konstrukce. Pro přehled zde uvádím výstup z Exelu a průřez, se kterým jsem počítal.





Obr. 1 – průřez trámu

Tab. 1 – průřezové charakteristiky posuzovaných průřezů spočítaných pomocí programu AutoCAD.

A =	2,532	m <sup>2</sup>
I =	0,49447	m <sup>4</sup>
Wh =	3,1259259	
Wd =	2,693617	

### 3. Materiály

#### 3.1. Beton

Nosnou konstrukci jsem navrhl z betonu C35/45 – XF2 + XD1 + XC4. Vlastnosti tohoto betonu jsou následující:

- Charakteristická válcová pevnost v tlaku v čase 28 dní  $f_{ck} = 35,0$  MPa
- Průměrná válcová pevnost betonu v tlaku  $f_{cm} = 43,0$  MPa
- Návrhová pevnost betonu v tlaku  $f_{cd} = \alpha_{cc} * f_{ck} / \gamma_c$ , kde  $\alpha_{cc} = 0,9$ ,  $\gamma_c = 1,5$ ,  $f_{ck} = 35,0$ , po dosazení:  $f_{cd} = 0,9 * 35,0 / 1,5 = 21,0$  MPa
- Průměrná hodnota pevnosti betonu v tahu  $f_{ctm} = 3,2$  MPa

S výše uvedenými a spočítanými materiálovými vlastnostmi betonu jsem počítal v této práci. Kde vnesení předpětí pro zjednodušení výpočtu uvažuji v čase 28 dní stáří betonu. Tyto hodnoty jsou tedy platné v celém následujícím výpočtu.

#### 3.2. Předpínací výztuž

V tomto výpočtu jsou použity lana o průměru 15,7 mm následujících vlastností:

- Plocha jednoho lana  $A_{s,1} = 150 \text{ mm}^2$
- Charakteristická pevnost v tahu  $f_{pk} = 1860,0 \text{ MPa}$
- Návrhová hodnota napětí v předpínací oceli  $f_{pd} = 1423,304 \text{ MPa}$

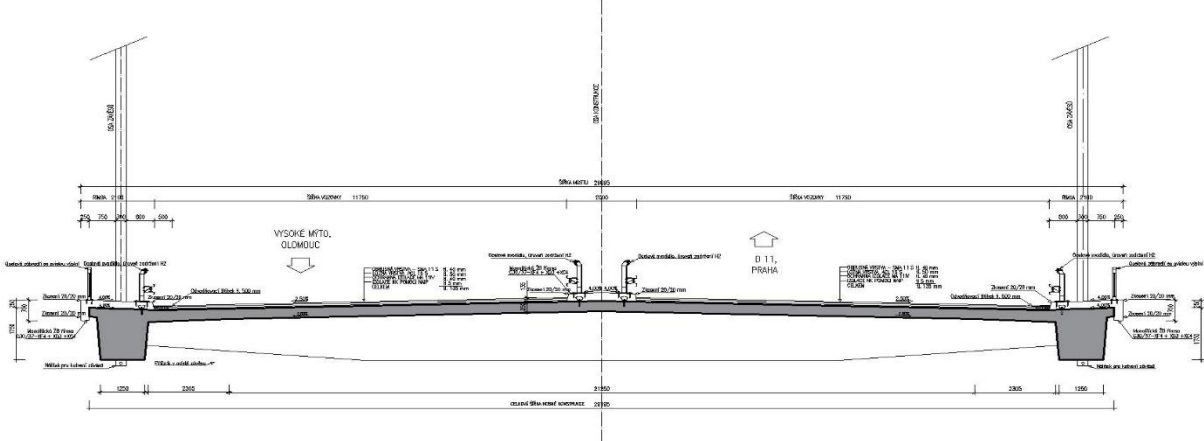
S výše uvedenými materiálovými vlastnostmi jsem počítal v této práci.

## 4. Zatížení

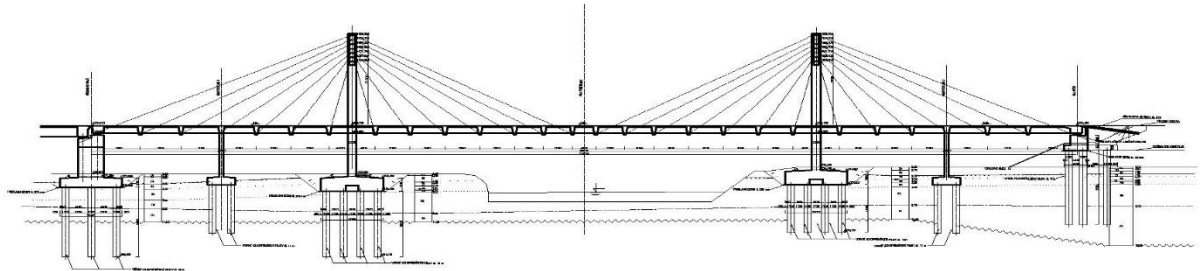
### 4.1. Zatížení stálé

Celý výpočet probíhal v programu SCIA Engineer 16.1. Zadával jsem na konstrukci vlastní tíhu - ZS1, ostatní stálé zatížení (maximální – ZS3, minimální – ZS4 a střední hodnotu – ZS2). Ostatní stálé zatížení tvoří zatížení od říms, které jsou na mostě celkem tři. Dále pak zatížení od vozovky, kde jsem uvažoval tloušťku vozovky 135 mm, tak jak je uvedeno ve výkresové dokumentaci a zatížení od zábradlí a svodidel. Dalším zatížením, které jsem uvažoval jsou poklesy, kde poklesne každá jednotlivá část spodní stavby o 5 mm. Konkrétně jsou to poklesy přechodového pilíře – ZS5, pokles rámové stojky – ZS6, pokles pylonu – ZS7 (zde jsem nejdříve uvažoval poklesy jednotlivých částí pylonů zvlášť, ale zde jsem je spojil do jednoho zatěžovacího stavu), pokles pylonů u opěry – ZS8 (zde platí to samé jako v předchozí poznámce, poklesy jednotlivých částí pylonu jelikož nemají společnou základovou konstrukci, jsem uvažoval jako jednotlivé zatěžovací stavy, ale zde je připojuji jako výsledek jediného zatěžovacího stavu), pokles rámové stojky 2 (u opěry) – ZS9, pokles opěry ZS10. Tímto by měl

být výčet stálého zatížení u konce, i když ještě zbývá rektifikace, tak se jí budu věnovat v samostatném odstavci.



Obr. 2 Příčný řez konstrukce



Obr.3 podélný řez konstrukce

## 4.2. Zatížení proměnné

### 4.2.1. Zatížení dopravou

Co se týče proměnného zatížení, tak jsem pokračoval zatížením LM1 TS – ZS11, LM1 UDL – ZS12 (tyto dvě zatížení byla vynesena na konstrukci podle příčinkové čáry extrémního momentu uprostřed rozpětí, daná příčinková čára, včetně pořadnic, je k práci přiložena jako příloha Příčinková čára – střed rozpětí). Pro zatížení dopravou, jelikož se jedná o pohyblivé zatížení, jsem postupoval tak, že jsem dvounápravu umisťoval mezi závěsy a nad závěsy. Z tohoto jsem vytvořil obálku momentů, ze které je zřejmé, že se nejvíce namáhaný průřez nenachází uprostřed rozpětí. Ale z časových důvodů budu v této práci posuzovat průřez uprostřed rozpětí, průřez u pylonu a průřez nad rámovou stojkou. Obálka od LM1 TS – ZS27, obálka od LM1 – UDL – ZS28.

### 4.2.1. Zatížení teplotou

Dalším proměnným zatížením, které jsem uvažoval na konstrukci je zatížení od změny teploty. Zatížil jsem teplotou jednotlivé prvky konstrukce rovnoměrnou změnou teploty. A vybrané prvky konstrukce nerovnoměrnou změnou teploty. Prvním uvažovaným zatížením teplotou je nerovnoměrné ohřátí mostovky, kde u spodních vláken předpokládám teplotu 0 stupňů Celsia a u horního povrchu 15 stupňů Celsia. To je ZS – 13. Následuje nerovnoměrné ochlazení, kde předpokládám teplotu horního povrchu rovnu 0 stupňům Celsia a dolní povrch ochlazený na mínus 15 stupňů Celsia. To je ZS – 14. Tímto nerovnoměrné změny teploty mostovky končí a následují rovnoměrné změny. Zde uvažuji změnu teploty střednice mostovky a to +/- 15 stupňů Celsia. Rovnoměrné ohřátí mostovky ZS – 15. Rovnoměrné ochlazení ZS – 16. Dalším zatížením od změny teploty je změna teploty závěsů. V tomto případě uvažuji ohřátí i ochlazení o deset stupňů Celsia a nerovnoměrné změny teploty neuvažuji. Ohřátí závěsů ZS – 17. Ochlazení závěsů ZS – 18. A nyní se dostávám k pylonům. Zde jsem zatížil pylony jak rovnoměrnou, tak nerovnoměrnou změnou teploty, a u nerovnoměrné změny teploty jsem uvažoval směr rovnoběžný s trámy konstrukce, tak i změnu teploty probíhající kolmo na trámy nosné konstrukce. Všechna rovnoměrná zatížení teplotou jsou uvažována +/- 5 stupňů Celsia. V případě ohřátí konstrukce uvažuji na jednom povrchu nula stupňů celsia a na druhém pět, respektive mínus pět, v závislosti na tom jednalo-li se o ohřátí či ochlazení. Rovnoměrné ohřátí pylonů ZS – 19. Rovnoměrné ochlazení pylonů ZS – 20. Nerovnoměrné ohřátí pylonů ve směru trámů ZS – 21. Nerovnoměrné ohřátí pylonů kolmé na směr trámů ZS – 22. Nerovnoměrné ochlazení pylonů kolmé na průběh trámů ZS – 23. Nerovnoměrné ochlazení pylonů ve směru trámů ZS – 24. Následuje poslední zatěžovací stav ze zatížení teplotou, a to oteplení a ochlazení příčle. Dalo by se to zahrnout do teplotních změn pylonu, nicméně jsem to od sebe oddělil, abych zjistil, jak a jestli mi teplota na příčli ovlivní samotné chování nosné konstrukce. Změna teploty je +/- 5 stupňů Celsia. Ohřátí příčle ZS – 25. Ochlazení příčle ZS – 26.

### 4.3. Rektifikace

Nyní zpět ke slíbené rektifikaci. Rektifikaci jsem z prvopočátku uvažoval pouze pro stálé zatížení, ale vzhledem k poměrně značnému vlivu proměnného zatížení jsem k rektifikaci počítal i rezervu pro proměnné zatížení. To jsem počítal s vyrovnáním momentů za předpokladu extrémního zatížení. Následně jsem rektifikaci upravil tak, aby mi vyrovnala hlavně charakteristickou kombinaci a kombinaci kvazistálou.

Všechny momenty od jednotlivých zatěžovacích stavů v této práci popsány stylem ZS – číslo zatěžovacího stavu, jak bylo výše uvedeno, a krátký popis, aby bylo naprosto zřejmé od čeho dané momenty vznikly. Pro přehlednost přikládám tabulku, kde jsou momenty od jednotlivých zatěžovacích stavů vypsány.

### 4.4. Kombinace

#### 4.4.1. Kombinace na MSÚ

Každá konstrukce by se v závislosti na své povaze, měla posoudit na mezní stavu únosnosti:

1. EQU: ztráta statické rovnováhy konstrukce nebo její části
2. STR: vnitřní porucha popřípadě nadměrná deformace nebo nosných prvků
3. GEO: porucha nebo nadměrná deformace základové půdy
4. FAT: únavová porucha konstrukce nebo nosných prvků
5. UPL: ztráta rovnováhy konstrukce nebo základové půdy v důsledku vztlaku vody
6. HYD: nadzdvihování dna, vnitřní eroze a sufose v základové půdě způsobená hydraulickými spády

V tomto případě se z časových důvodů budu věnovat pouze případu číslo 2, tedy porušení konstrukce vlivem nadměrných vnitřních sil, nebo nadměrné deformace. Co se týče prvků, tak zcela jistě nestačí posoudit pouze trám jako takový. Bylo by nutné posoudit příčník, napětí na mostovce, popřípadě se zaměřit na únavové detaily a samozřejmě spodní stavbu. Ovšem jak již bylo několikrát uvedeno, já se v této práci budu věnovat pouze posouzení konstrukce na účinky ohybového momentu.

Pro výpočet kombinací využiji kombinace pro trvalé a dočasné návrhové situace, a to konkrétně kombinace: 6.10

6.10a

6.10b

$$6.10: \quad \sum \gamma_{G,j} + G_{k,j} \text{ "+" } \gamma_P * P \text{ "+" } \gamma_{Q,1} * Q_{k,1} \text{ "+" } \sum \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} * Q_{k,i}$$

$$6.10a: \quad \sum \gamma_{G,j} + G_{k,j} \text{ "+" } \gamma_P * P \text{ "+" } \gamma_{Q,1} \psi_{0,1} * Q_{k,1} \text{ "+" } \sum \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} * Q_{k,i}$$

$$6.10b: \quad \sum_j \gamma_{G,j} + G_{k,j} \text{ "+" } \gamma_P * P \text{ "+" } \gamma_{Q,1} * Q_{k,1} \text{ "+" } \sum \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} * Q_{k,i}$$

- Kde:
- $\gamma_{G,j}$  je dílčí součinitel j-tého stálého zatížení
  - $G_{k,j}$  je charakteristická hodnota j-tého stálého zatížení
  - $\gamma_P$  je dílčí součinitel zatížení od předpětí
  - $P$  Je příslušná reprezentativní hodnota zatížení od předpětí
  - $\gamma_{Q,1}$  je dílčí součinitel hlavního proměnného zatížení
  - $Q_{k,1}$  je charakteristická hodnota hlavního proměnného zatížení
  - $\gamma_{Q,i}$  je dílčí součinitel vedlejšího i-tého proměnného zatížení
  - $Q_{k,i}$  je charakteristická hodnota vedlejšího i-tého proměnného zatížení
  - $\psi_0$  je kombinační součinitel pro hodnotu proměnného zatížení
  - $\psi_1$  je kombinační součinitel pro častou hodnotu proměnného zatížení
  - $\psi_2$  je kombinační součinitel pro kvazistálou hodnotu proměnného zatížení
  - $\xi_j$  je redukční součinitel pro nepříznivé stálé zatížení G

Použité součinitele pro výpočet jsou shrnuty v tabulce 2.

Tab. 2 – použité součinitele pro výpočet kombinací.

Zatížení	Nepříznivé účinky	Příznivé účinky
Stálá zatížení	$\gamma_{G,sup} = 1,35$	$\gamma_{G,inf} = 1,00$
Nerovnoměrné poklesy	$\gamma_{G,set} = 1,20$	$\gamma_{G,set} = 1,20$
Zatížení dopravou na pozemních komunikacích	$\gamma_Q = 1,35$	$\gamma_Q = 0,0$
Redukční součinitel $\xi$	$\xi = 0,85$	

#### 4.4.2 Kombinace na MSP

Charakteristická kombinace zatížení:

$$\sum G_{k,j} \text{ "+" } P \text{ "+" } Q_{k,1} \text{ "+" } \sum \psi_{1,i} * Q_{k,i}$$

Častá kombinace zatížení:

$$\sum G_{k,j} \text{ "+" } P \text{ "+" } \psi_{1,1} * Q_{k,1} \text{ "+" } \sum \psi_{2,i} * Q_{k,i}$$

Kvazistálá kombinace zatížení:

$$\sum G_{k,j} \text{ "+" } P \text{ "+" } \sum \psi_{2,i} * Q_{k,i}$$

Hodnoty součinitelů použitých pro MSP, shrnuje tabulka 3.

Tab. 3 použité součinitele pro proměnné zatížení.

Zatížení	Značka		$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$	$\psi_{1,infq}$
Zatížení dopravou	gr1a LM1	TS - dvojnáprava	0,75	0,75	0	0,8
		UDL - (rovn. Zatížení)	0,4	0,4	0	0,8
Zatížení teplotou	T <sub>k</sub>		0,6	0,6	0,5	0,8
Zatížení větrem	Vzhledem k minimálním účinkům, zatížení zanedbám					
Zatížení sněhem	Vzhledem k tomu, že se jedná o rychlostní komunikaci, sníh na konstrukci nepředpokládám					

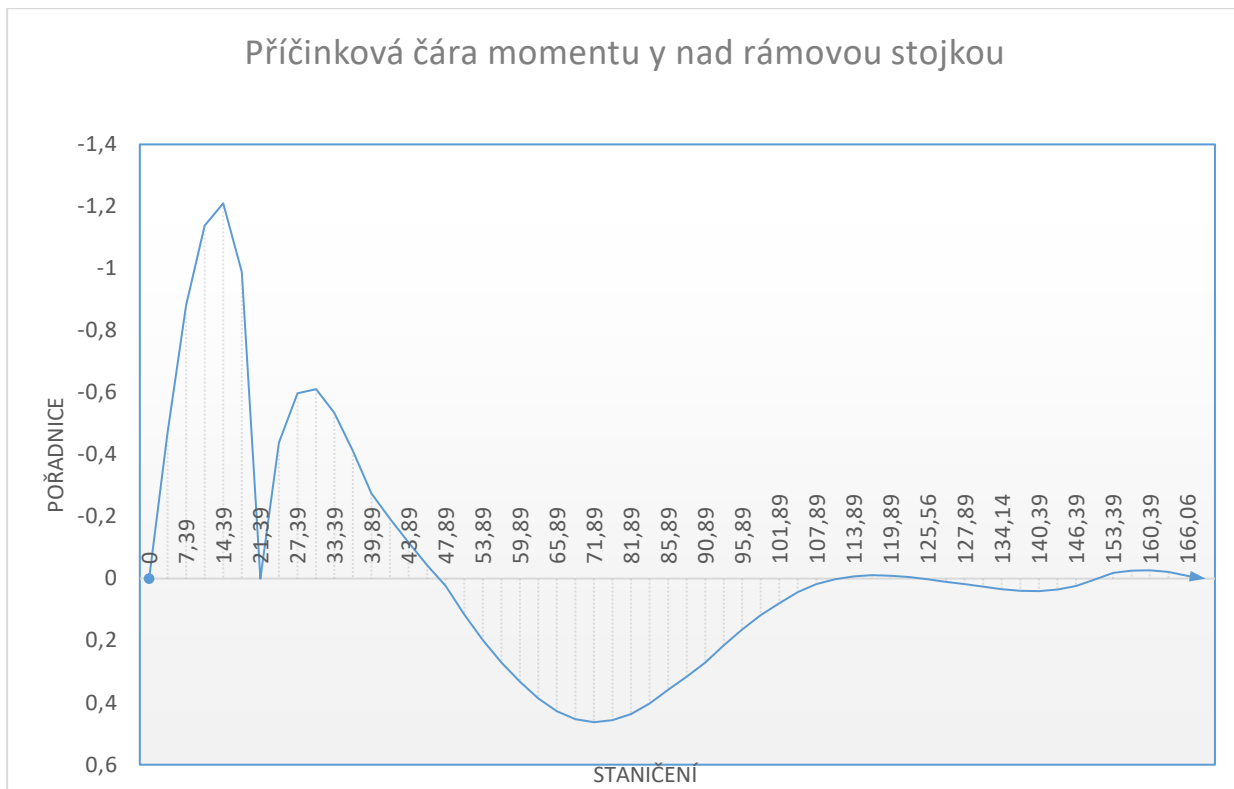
## 5. Příčinkové čáry

Zde nastal první problém, protože z vnitřních sil pohyblivého zatížení vyplývalo, že v oblasti závěsu prokotveného do rámové stojky, se konstrukce chová, jako by tam měla pružnou podporu. Proto jsem vytvořil 2D model, který respektoval tuhost konstrukce a závěsů. Ve 3D modelu jsem po trámu nechal projet pohyblivé zatížení (LM1 – pruh 1), ve 2D modelu jsem nechal po konstrukci projet stejné zatížení, a ukázalo se, že se konstrukce opravdu chová tak, že v oblasti závěsu prokotveného s rámovou stojkou „má“ pružnou podporu. Jen pro úplnost jsem to stejné udělal pro 2D model, kde jsem nechal pouze pevné podpory (přechodový pilíř, rámové stojky a opěru) a odebral závěsy, abych vyloučil, že se konstrukce chová pouze jako spojitý nosník o třech polích. Výstupy z 3D a 2D modelu jsou součástí této práce jako přílohy: *Mini-studie příčinkových čar 2D*; *Mini-studie příčinkových čar 3D*; *mini-studie příčinkovým čar, pouze pevné podpory*. Po ověření, že 3D model konstrukce funguje správně, jsem vynesl příčinkové čáry v jednotlivých zkoumaných průřezech. Příčinkové čáry jsou vyneseny na základě výstupu z programu SCIA Engineer 16.1, z 3D modelu dané konstrukce.

Pohyblivé zatížení, zkoumané v jednotlivých posuzovaných průřezech vychází a je v modelu umístěno tak, aby podle příčinkových čar bylo dosaženo maximálního (v tomto případě) ohybového momentu.

Vyšetřované průřezy jsou v místě 21,39m od začátku konstrukce, to je průřez nad rámovou stojkou. Další vyšetřovaný průřez se nachází v místě 45,0 m od začátku konstrukce, to je průřez pracovně nazvaný „průřez u pylonu“. A posledním vyšetřovaným místem je průřez uprostřed rozpětí ve vzdálenosti 85,0 m od začátku konstrukce. Nutno dodat, že konstrukce není úplně symetrická, nicméně z velikostí ohybových momentů lze předpokládat, že velikosti na druhé straně budou velmi podobné těm, se kterými se počítá v této práci.

Příčinková čára ohybového momentu  $M_y$  pro průřez nad rámovou stojkou:

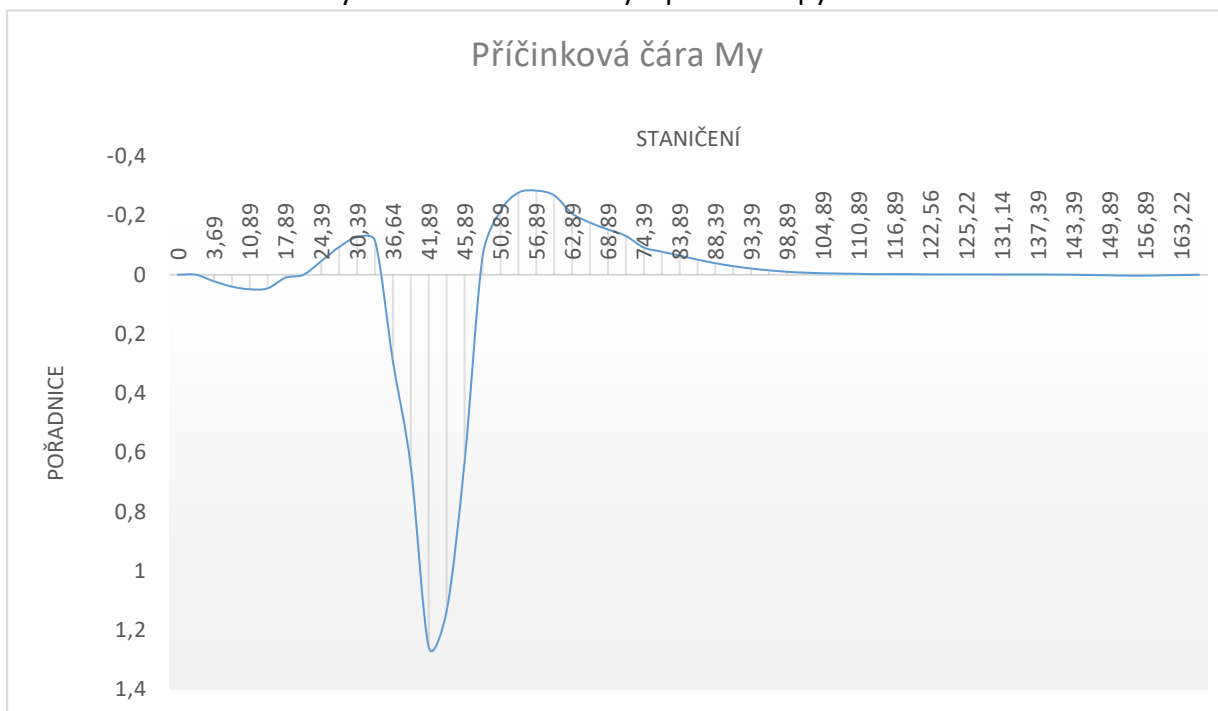


Obr. 4 příčinková čára momentu nad rámovou stojkou

Podrobnější a detailnější příčinková čára, včetně pořadnic je součástí této práce jako příloha: Příčinková čára – nad rámovou stojkou.

Dalším vyšetřovaným průřezem je průřez u pylonu.

Příčinková čára ohybového momentu  $M_y$  v průřezu u pylonu:

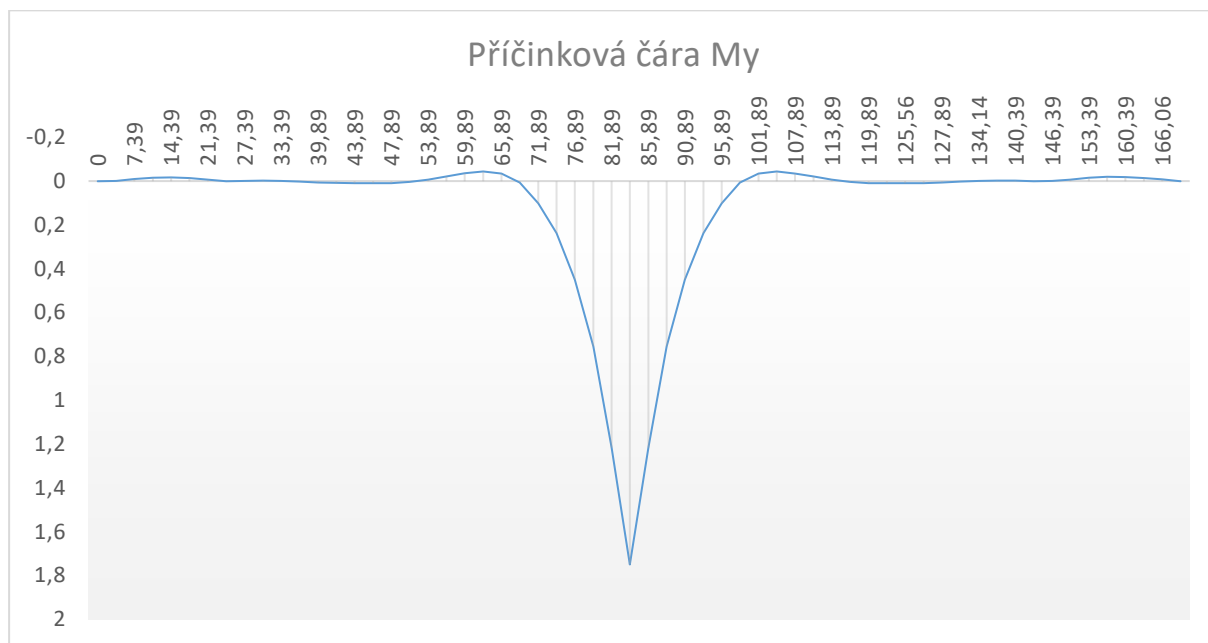


Obr.5 příčinková čára průřezu u pylonu.



Podrobnější a detailnější příčinková čára, včetně pořadnic je součástí této práce jako příloha:  
Příčinková čára – U pylonu.

Příčinková čára ohybového momentu  $M_y$  pro průřez uprostřed rozpětí:



Obr 78. příčinková čára průřezu uprostřed rozpětí.

Podrobnější a detailnější příčinková čára, včetně pořadnic je součástí této práce jako příloha:  
Příčinková čára – Střed rozpětí.

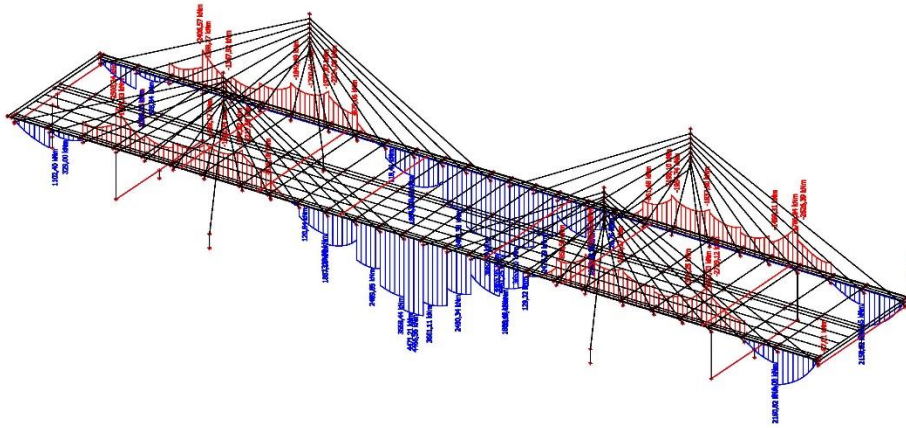
## 5.1. Vnitřní síly

### ZS1 – vlastní tíha

Studentská verze

ZS1 - vlastní tíha

Studentská verze



Studentská verze  
Result: All  
Project: Bakalářská práce

Author: Jan Babica

Studentská verze  
Printed: 22.05.2017 01:47

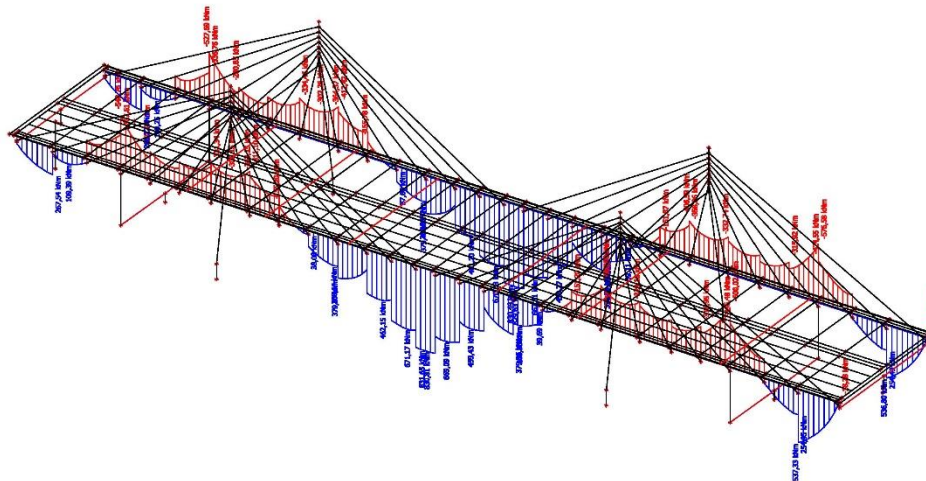
Obr. 6 ZS1 – momenty od zatížení vlastní vahou

### ZS2

Studentská verze

ZS2 - (g-g0)m

Studentská verze



Studentská verze  
Result: All  
Project: Bakalářská práce

Author: Jan Babica

Studentská verze  
Printed: 22.05.2017 01:49

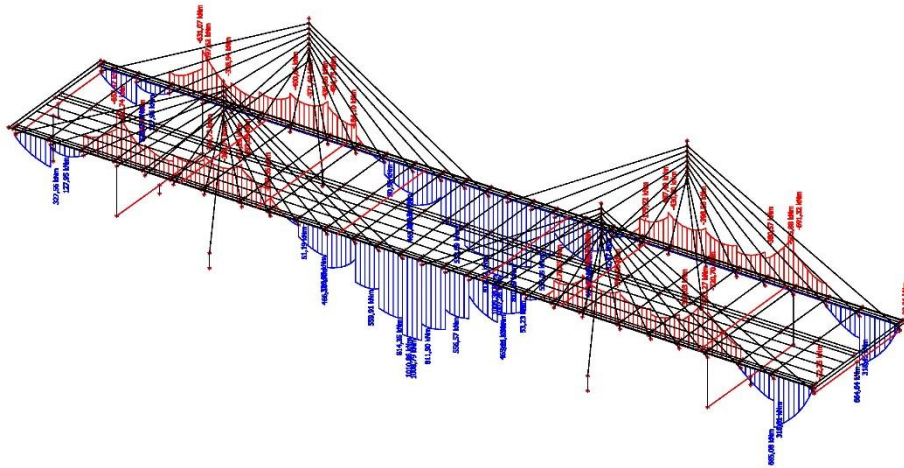
Obr. 7 – ZS2 momenty od průměrného ostatního zatížení

ZS3

ZS3 - (g-g0)k,sup

Studentská verze

Studentská verze



Studentská verze  
Result: All  
Project: Bakalářská práce

Author : Jan Babica

Studentská verze  
Printed : 22.05.2017 02:16

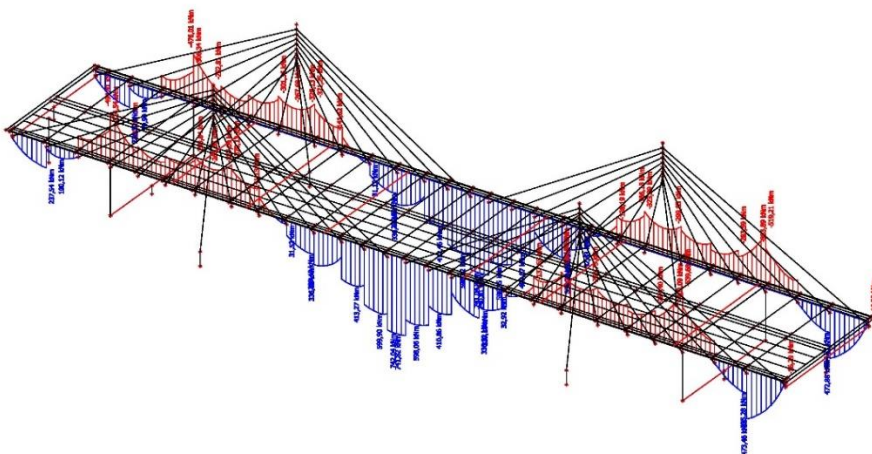
Obr. 8 – ZS3 momenty od sníženého ostatního stálého zatížení

ZS4

ZS4 - (g-g0)k,inf

Studentská verze

Studentská verze



Studentská verze  
Result: All  
Project: Bakalářská práce

Author : Jan Babica

Studentská verze  
Printed : 22.05.2017 02:17

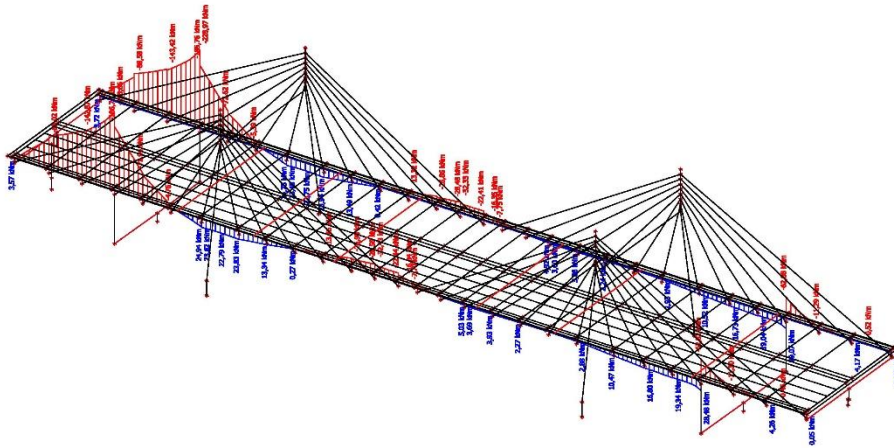
Obr. 9 ZS4 momenty od zvýšeného stálého zatížení

ZS5

ZS5 - pokles přechodového pilíře

Studentská verze

Studentská verze



Result: All  
Project: Bakalářská práce

Author: Jan Babica

Printed: 22.05.2017 02:16

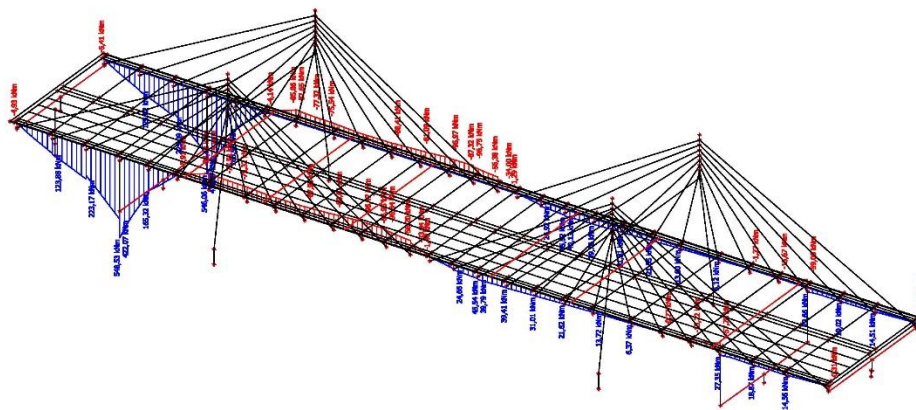
Obr. 10 ZS5 momenty od poklesu přechodového pilíře

ZS6

ZS6 - pokles rámové stojky

Studentská verze

Studentská verze



Result: All  
Project: Bakalářská práce

Author: Jan Babica

Printed: 22.05.2017 02:15

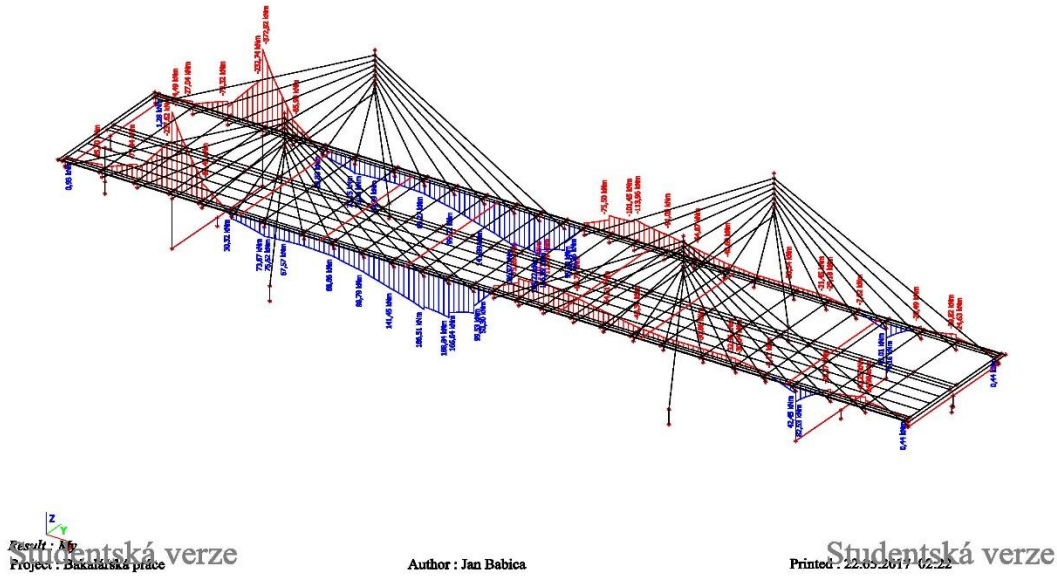
Obr.11 ZS6 – momenty od poklesu rámové stojky.

ZS7

ZS7 - pokles pylonu 1

Studentská verze

Studentská verze



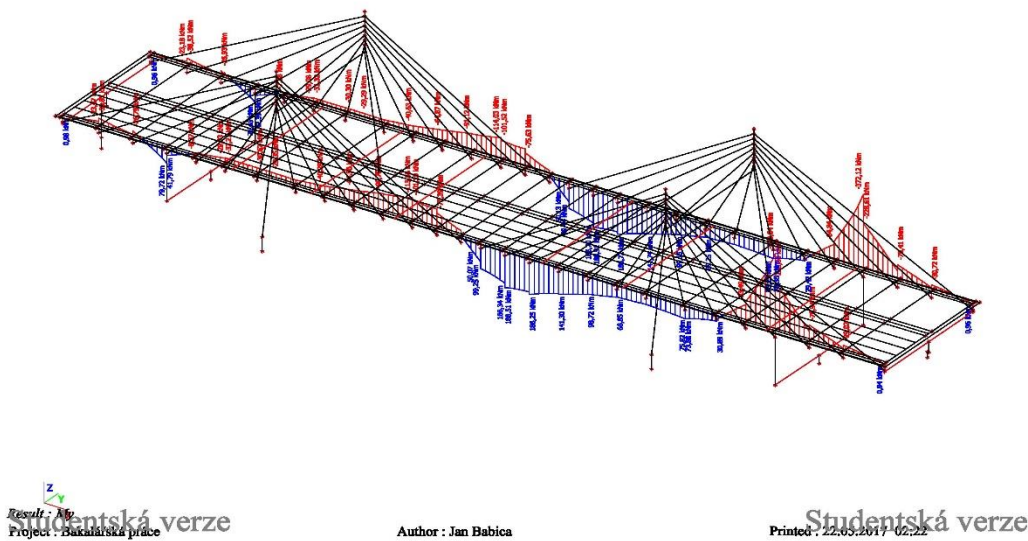
Obr.12 ZS7 – momenty od poklesu pylonu 1.

ZS8

ZS8 - pokles pylonu 2

Studentská verze

Studentská verze



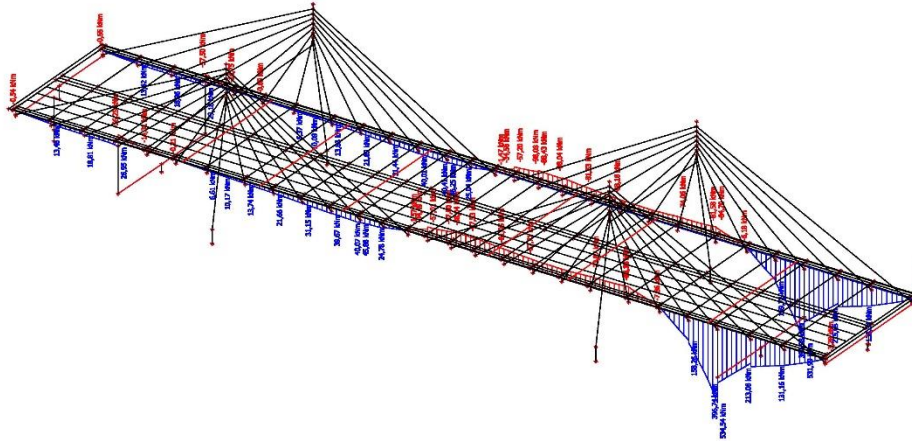
Obr. 13 ZS8 – momenty od poklesu pylonu 2.

ZS9

ZS9 - pokles rámové stojky u opěry

Studentská verze

Studentská verze



Result: M  
Project: Bakalářská práce

Author: Jan Babica

Printed: 22.05.2017 02:24

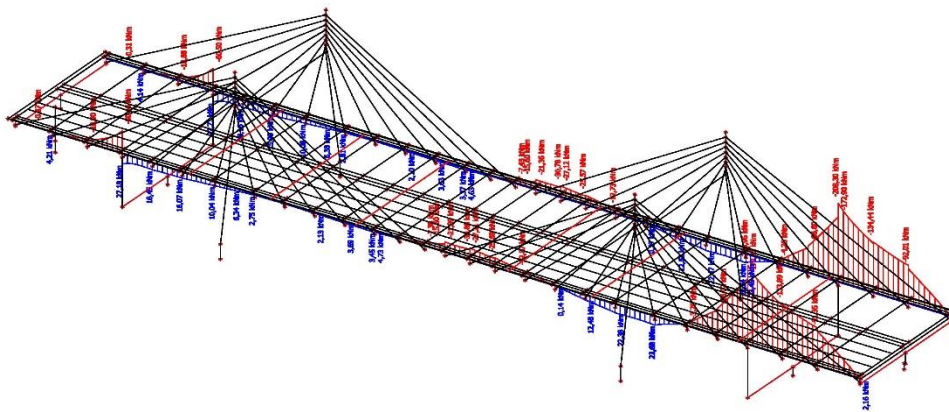
Obr. 14 ZS9 – momenty od poklesu rámové stojky 2.

ZS10

ZS10 - pokles opěry

Studentská verze

Studentská verze



Result: M  
Project: Bakalářská práce

Author: Jan Babica

Printed: 22.05.2017 02:25

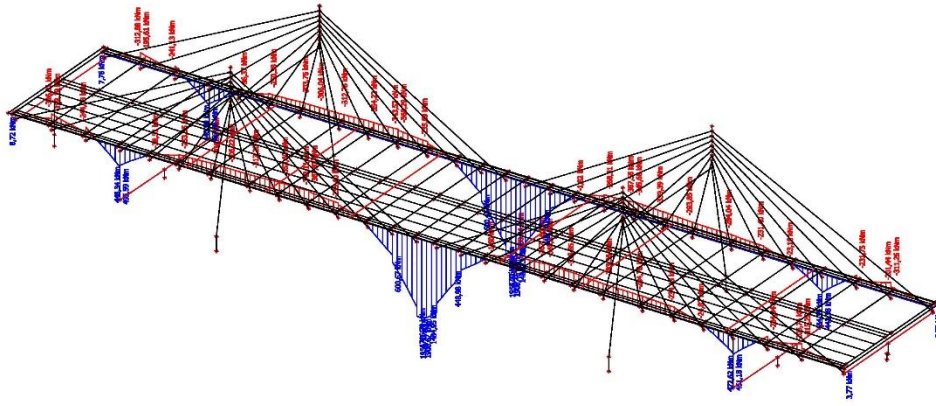
Obr. 15 ZS10 – momenty od poklesu opěry.

ZS11

ZS11 - TS-max, střed rozpětí

Studentská verze

Studentská verze



Result: Mp  
Project: Bakalářská práce  
Studentská verze

Author: Jan Babica

Printed: 22.05.2017 02:26  
Studentská verze

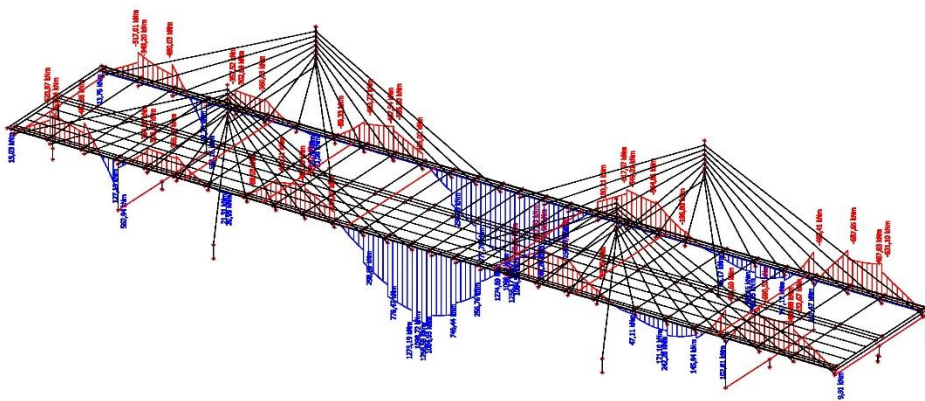
Obr. 16 ZS11 – zatížení od dvounápravy pro maximální ohybový moment uprostřed rozpětí.

ZS12

ZS12 - UDL-max, střed

Studentská verze

Studentská verze



Result: Mp  
Project: Bakalářská práce  
Studentská verze

Author: Jan Babica

Printed: 22.05.2017 02:27  
Studentská verze

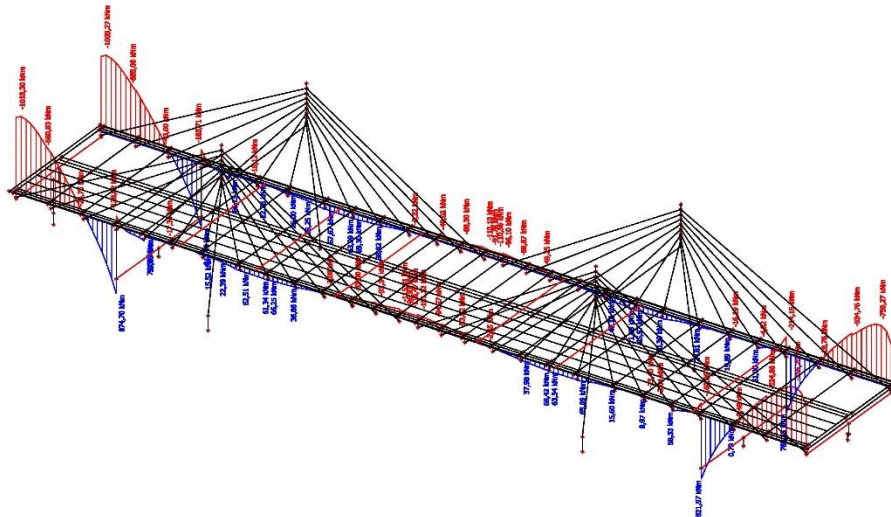
Obr. 17 ZS12 – momenty od spojitěho zatížení LM1, pro maximální moment uprostřed rozpětí.

ZS13

ZS13 - nerovnoměrné ohřátí kce

Studentská verze

Studentská verze



Result: All  
Project: Bakalářská práce

Author: Jan Babica

Printed: 22.05.2017 02:28

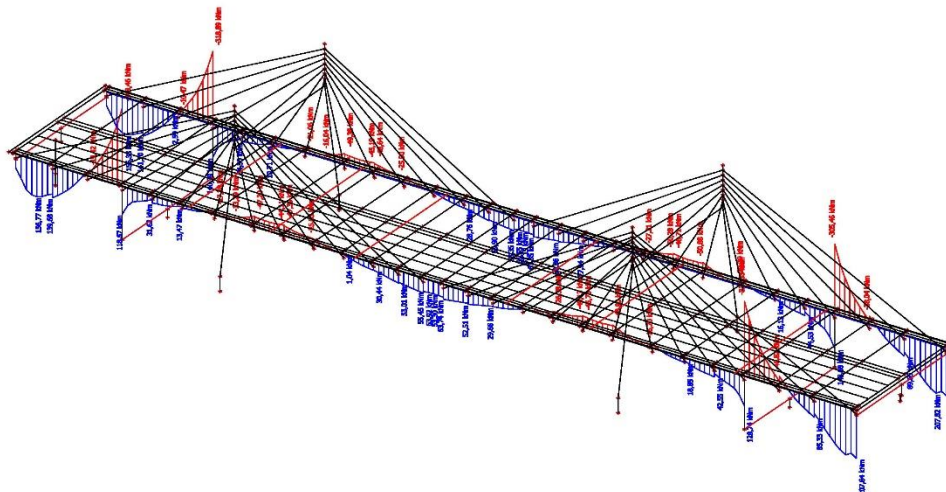
Obr. 18 ZS13momenty od nerovnoměrného ohřátí mostovky +15°C.

ZS14

ZS14 - nerovnoměrné ochlazení

Studentská verze

Studentská verze



Result: All  
Project: Bakalářská práce

Author: Jan Babica

Printed: 22.05.2017 02:29

Obr. 19 ZS14momenty od nerovnoměrného ochlazení -15°C.

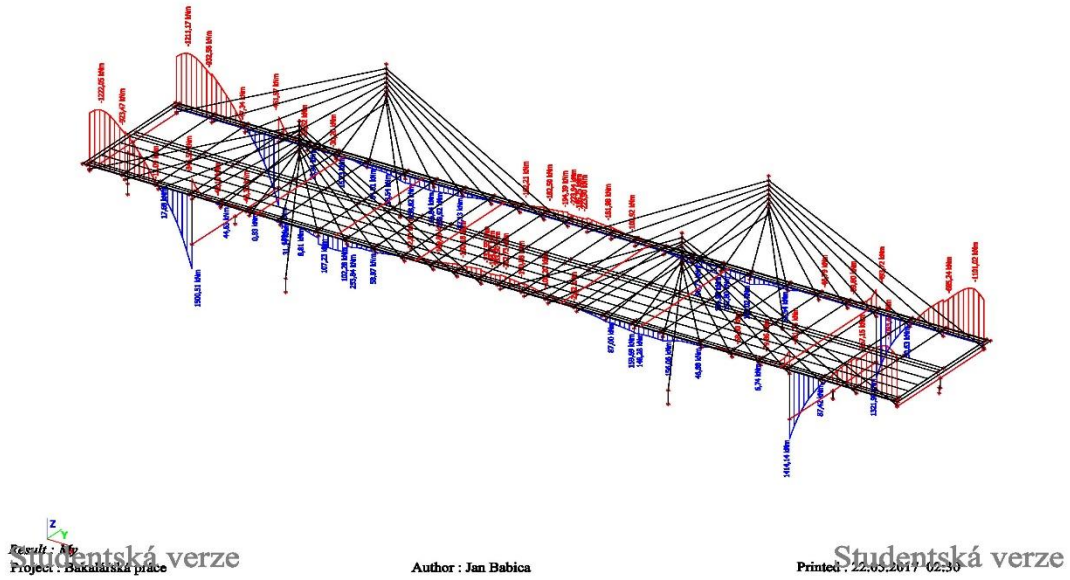


ZS15

ZS15 - rovnoměrné oteplení

Studentská verze

Studentská verze



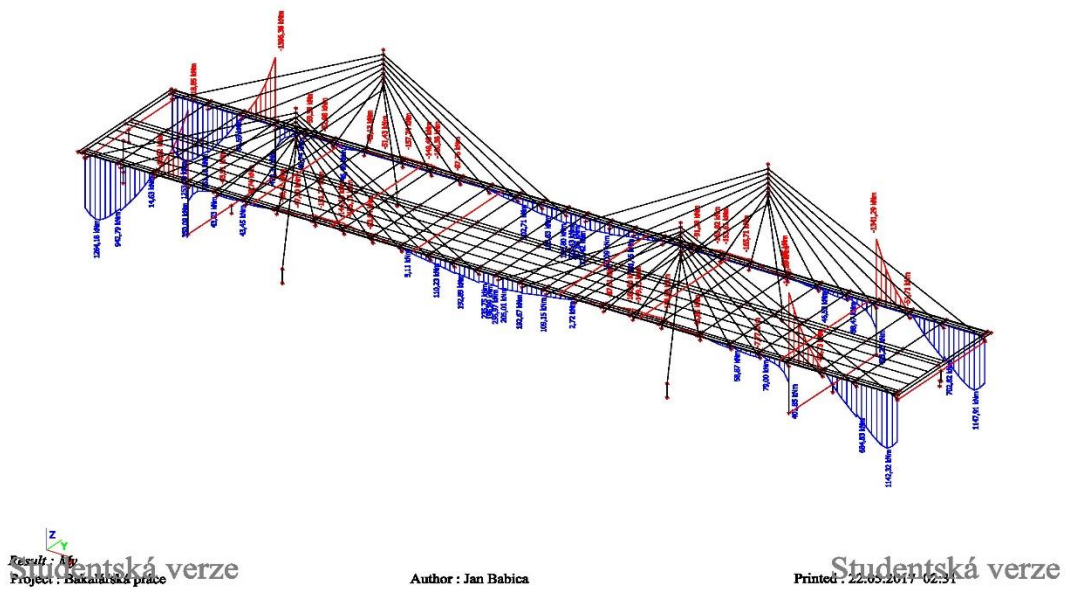
Obr. 20 ZS15 momenty od rovnoměrného ohřátí konstrukce +15°C.

ZS16

ZS16 - rovnoměrné ochlazení

Studentská verze

Studentská verze



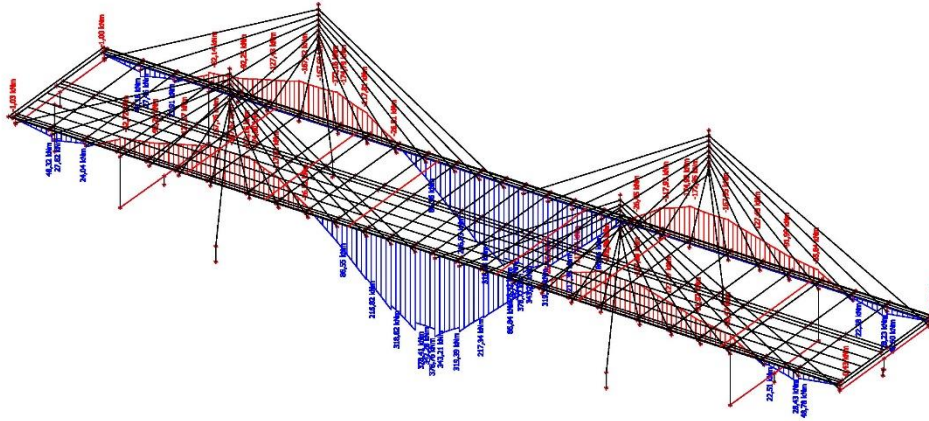
Obr. 21 ZS16 momenty od rovnoměrného ochlazení -15°C.

ZS17

ZS17 - ohřátí závěsů

Studentská verze

Studentská verze



Result: All  
Project: Bakalářská práce

Author: Jan Babica

Printed: 22.05.2017 02:32

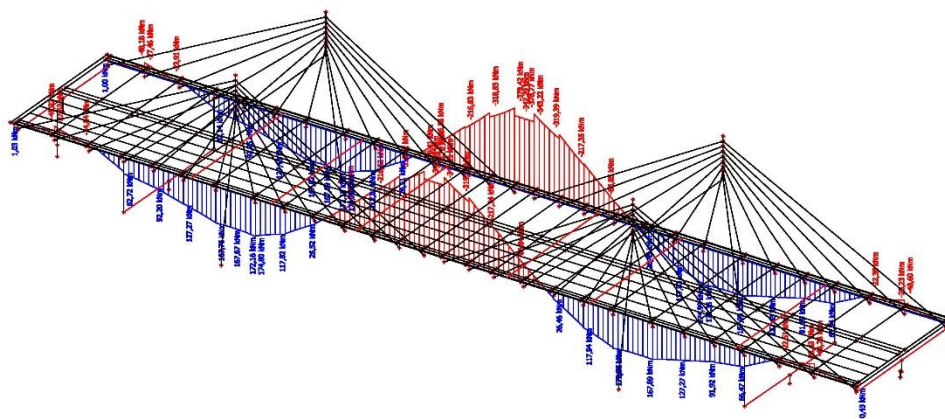
Obr. 22 ZS17 momenty od ohřátí závěsů.

ZS18

ZS18 - Ochlazení závěsů

Studentská verze

Studentská verze



Result: All  
Project: Bakalářská práce

Author: Jan Babica

Printed: 22.05.2017 02:33

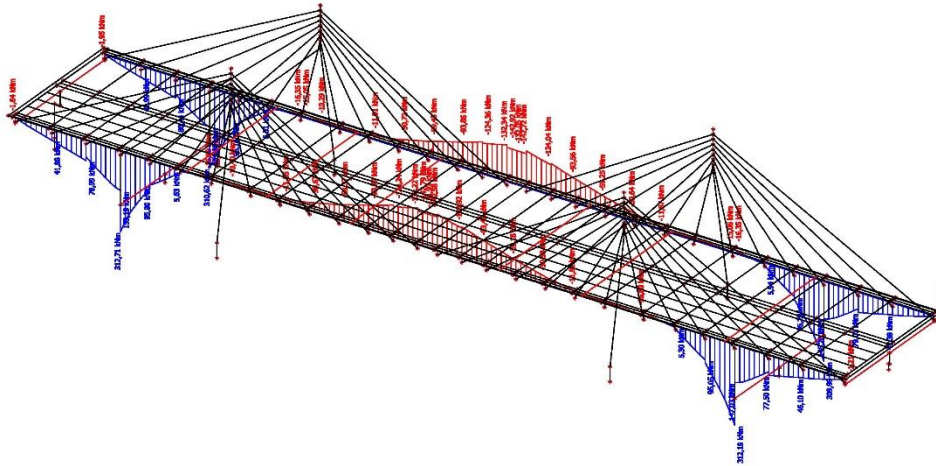
Obr. 23 ZS18 momenty od ochlazení závěsů.

ZS19

ZS19 - ohřátí pylonů

Studentská verze

Studentská verze



Result: All  
Project: Bakalářská práce

Author: Jan Babica

Printed: 22.05.2017 02:34

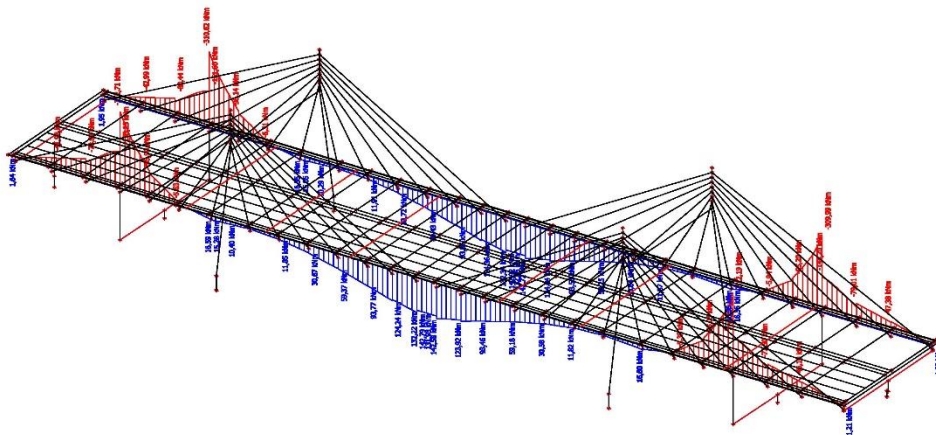
Obr. 24 ZS19 momenty od ohřátí pylonu.

ZS20

ZS20 - ochlazení pylonů

Studentská verze

Studentská verze



Result: All  
Project: Bakalářská práce

Author: Jan Babica

Printed: 22.05.2017 02:35

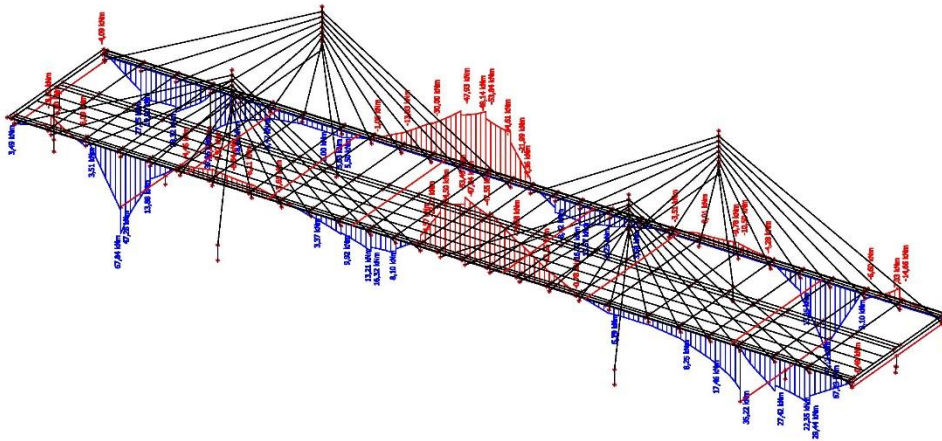
Obr. 25 ZS20 momenty od ochlazení pylonu.

ZS21

ZS21 - nerovnoměrné ohřátí pylonu

Studentská verze

Studentská verze



Result:  $M$   
Project: Bakalářská práce

Author: Jan Babica

Printed: 22.05.2017 02:36

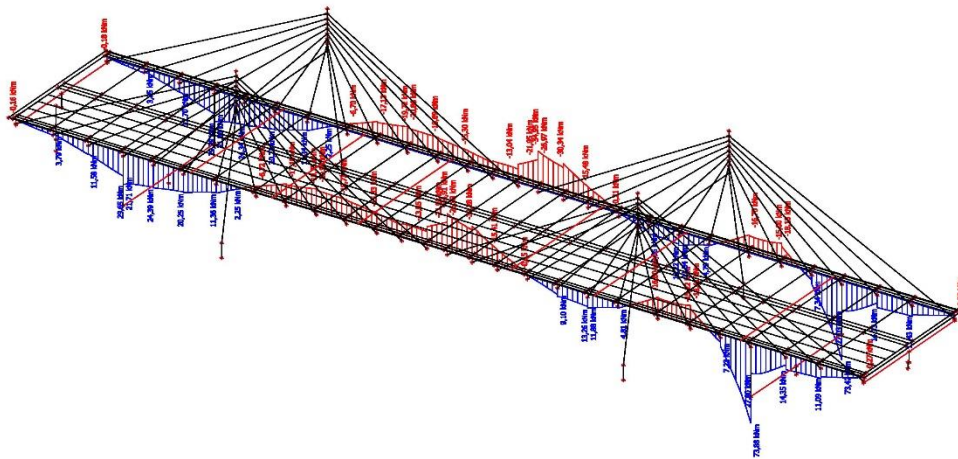
Obr. 26 ZS21 momenty od nerovnoměrného ohřátí pylonu.

ZS22

ZS22 - ohřátí pylonu - kolmé

Studentská verze

Studentská verze



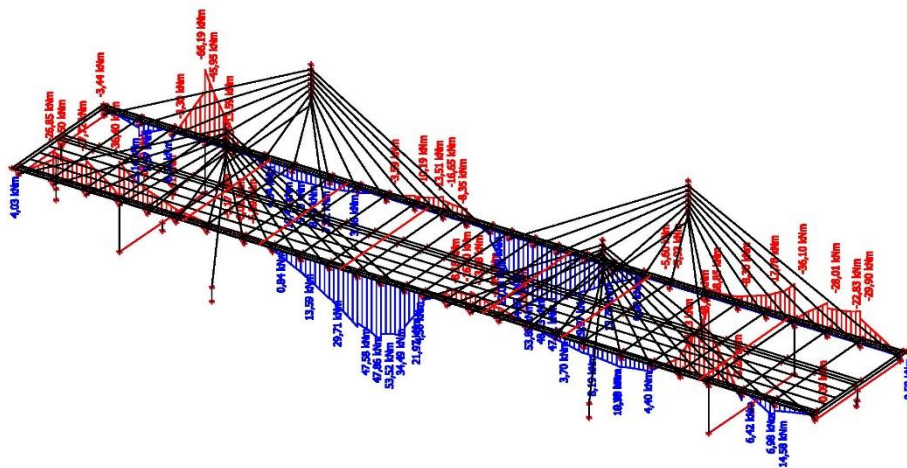
Result:  $M$   
Project: Bakalářská práce

Author: Jan Babica

Printed: 22.05.2017 02:37

Obr. ZS27 momenty od nerovnoměrného ohřátí konstrukce – kolmé.

ZS23 - nerovnoměrné ochlazení pylonů - kolmé  
Studentská verze Studentská verze



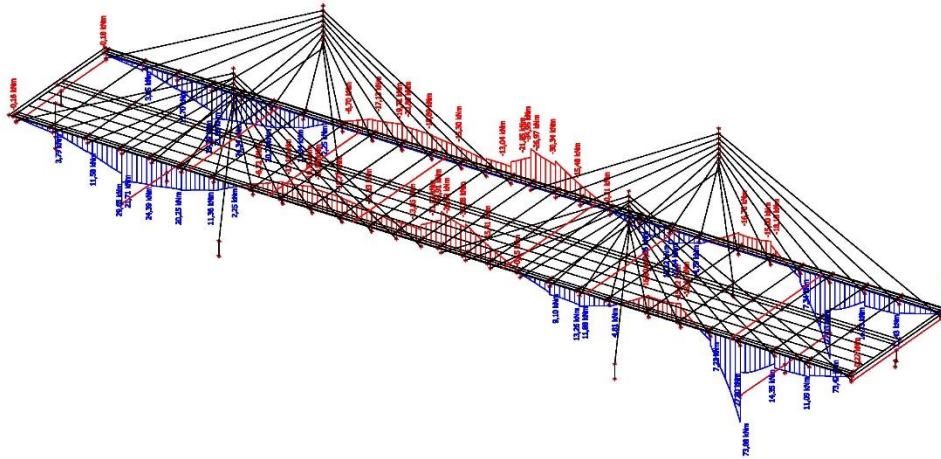
Obr. 28 ZS23 momenty od nerovnoměrného ochlazení konstrukce – kolmé.

ZS24

ZS24 - nerovnoměrné ochlazení pylonu

Studentská verze

Studentská verze



Result: M  
Project: Bakalářská práce

Author: Jan Babica

Printed: 22.05.2017 02:59

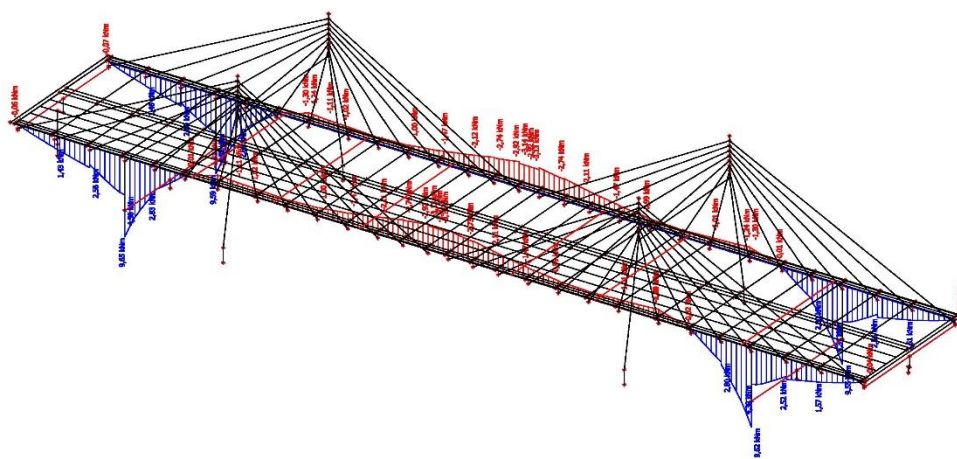
Obr. 29 ZS24 momenty od nerovnoměrného ochlazení pylonu.

ZS25

ZS25 - ohřátí příčle

Studentská verze

Studentská verze



Result: M  
Project: Bakalářská práce

Author: Jan Babica

Printed: 22.05.2017 02:40

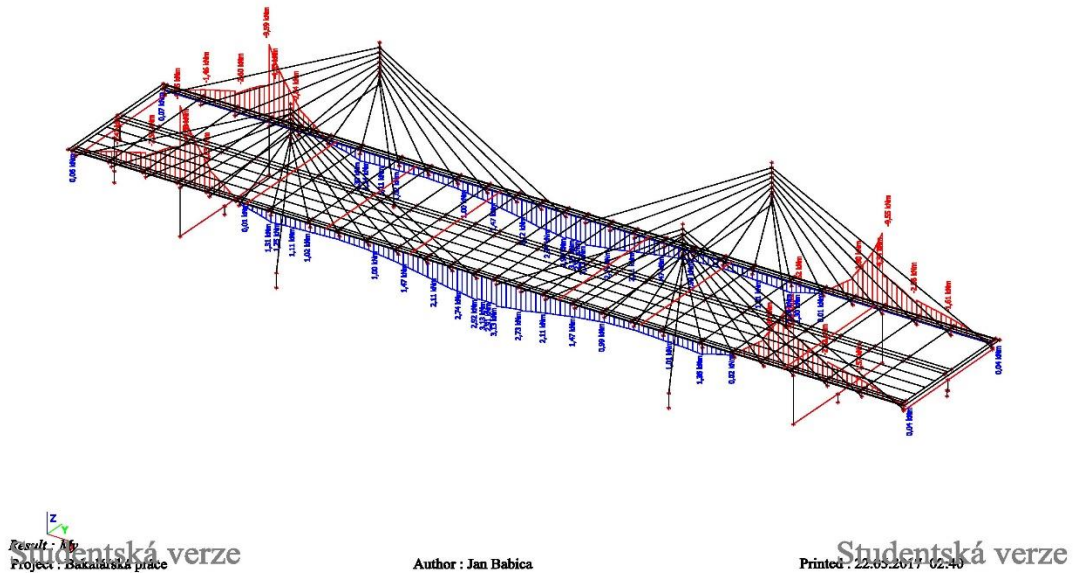
Obr. 30 ZS25 momenty od ohřátí příčle.

ZS26

ZS26 - ochlazení přičle

Studentská verze

Studentská verze



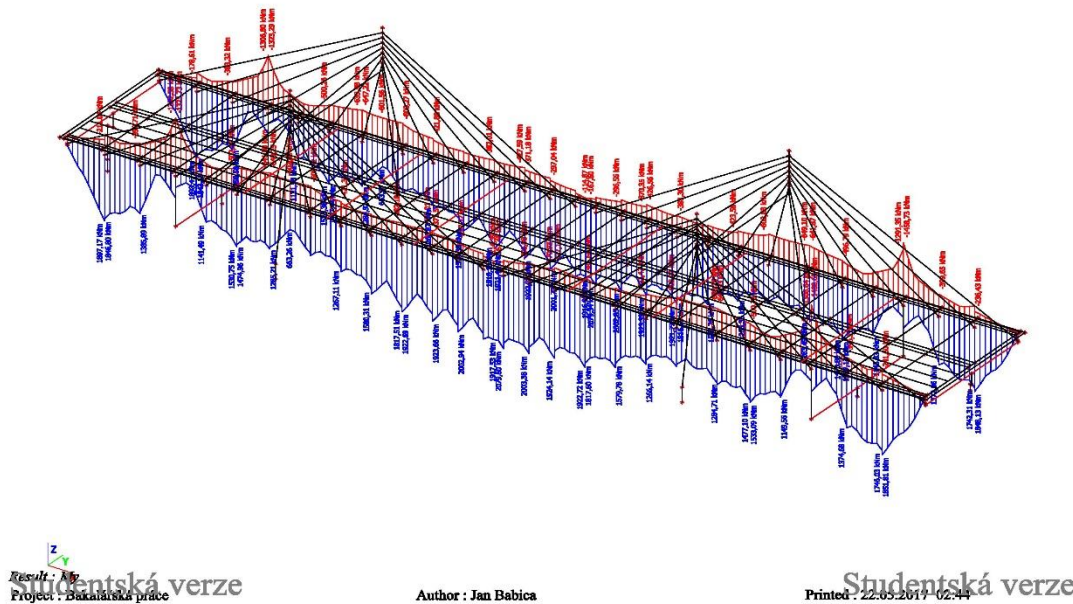
Obr. 31 ZS26 momenty od ochlazení přičle.

ZS27

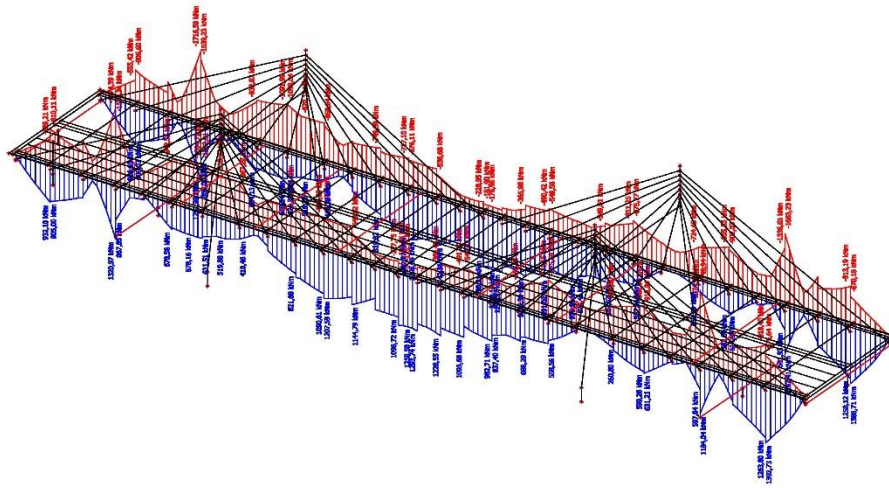
ZS27 - obálka od LM1 - TS

Studentská verze

Studentská verze



Obr. 32 ZS27 v tomto případě se nejedná o jeden zatěžovací stav, ale o sérii zatěžovacích stavů, které měli vytvořit obálku ohybových momentů od dvounápravy.



Result: All  
Project: Bakalářská práce

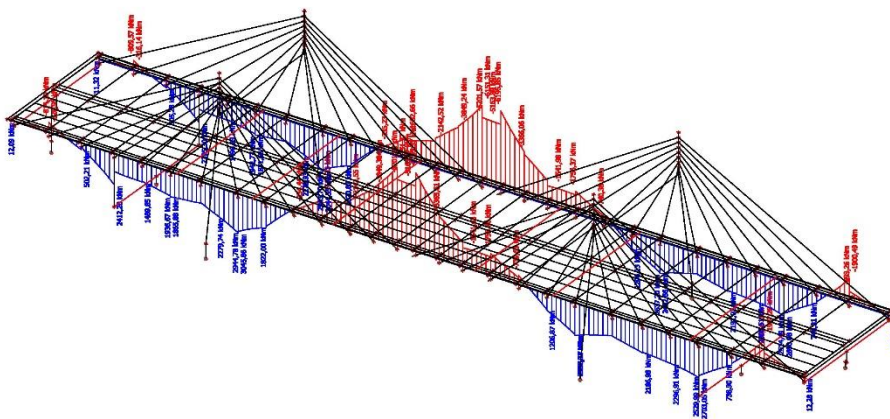
Author: Jan Babica

Printed: 22.05.2017 02:43

Obr. 33 ZS28 obálka od zatížení LM1 UDL.

ZS29 – je kombinací, pouze pro návrh rektifikace (pomocný výpočet pro návrh rektifikace)  
ZS30 - rektifikace

Ohybové momenty - rektifikace



Result: All  
Project: Bakalářská práce

Author: Jan Babica

Printed: 28.05.2017 01:25

Obr. 34 – momenty od rektifikace.



Pro přehlednost uvádím výše spočtené vnitřní síly do tabulky 4:

Tab.4 Spočítané vnitřní síly od výše uvedených zatěžovacích stavů v přehledné tabulce.

VI. Tíha	-2503,24	-1690,24	4471,21
(g-g0)m	548,76	-299,99	830,81
(g-g0)inv	-494,41	-265,85	741,82
(g-g0)sup	-657,47	-368,74	1010,86
<b>POKLESY</b>			
Přechodový pilíř	-230,68	22,79	-16,34
Rámová stojka 1	548,53	-77,52	56,2
Pylon 1	-215,85	63,77	42,92
Pylon 2	57,16	-24,18	-14,78
Rámová stojka 2	-56,25	10,17	16,31
Opěra 2	-60,46	6,34	-15,6
<b>ZATÍŽENÍ DOPRAVOU</b>			
LM1-TS	1332,58	633,25	1956,43
LM1-UDL	1320,97	519,88	1258,58
LM1-TS min	-651,39	-602,68	-114,39
LM1-UDL min	-1774,39	-918,22	-175,74
<b>ZATÍŽENÍ TEPLOU</b>			
Mostoka- rovnoměrné +15	1500	8,81	-51,21
Mostovka - rovnoměrné -15	-1518,85	-47,6	196,89
Mostovka - nerovnoměrné +1	874,7	22,39	-95,93
Mostovka - nerovnoměrné -1	-343,48	-13,29	53,3
Oteplení závěsů +10	-62,72	-167,67	342,28
Ochlazení závěsů -10	68,72	167,67	-342,28
Oteplení příčle +5	9,65	-1,11	-2,91
Ochlazení příčle -5	-9,65	1,11	2,91
Oteplení pylonu +15	312,71	-10,4	-131,93
Ochlazení pylonu -15	-312,71	10,4	131,93
Nerovnoměrné otepl. Pylonu	67,84	-8,64	47,55
Nerovnoměrné ochlazení. Pyl	-36,4	-5,17	21,97
(kolr) Nerovnoměrné otepl. Pylonu	29,3	2,25	-21,93
(kolr) Nerovnoměrné ochlazení. Pyl	29,3	2,25	-21,93
<b>Rektifikace</b>	2412,2	2279,74	-5163,89

## 6. Výpočet kombinací

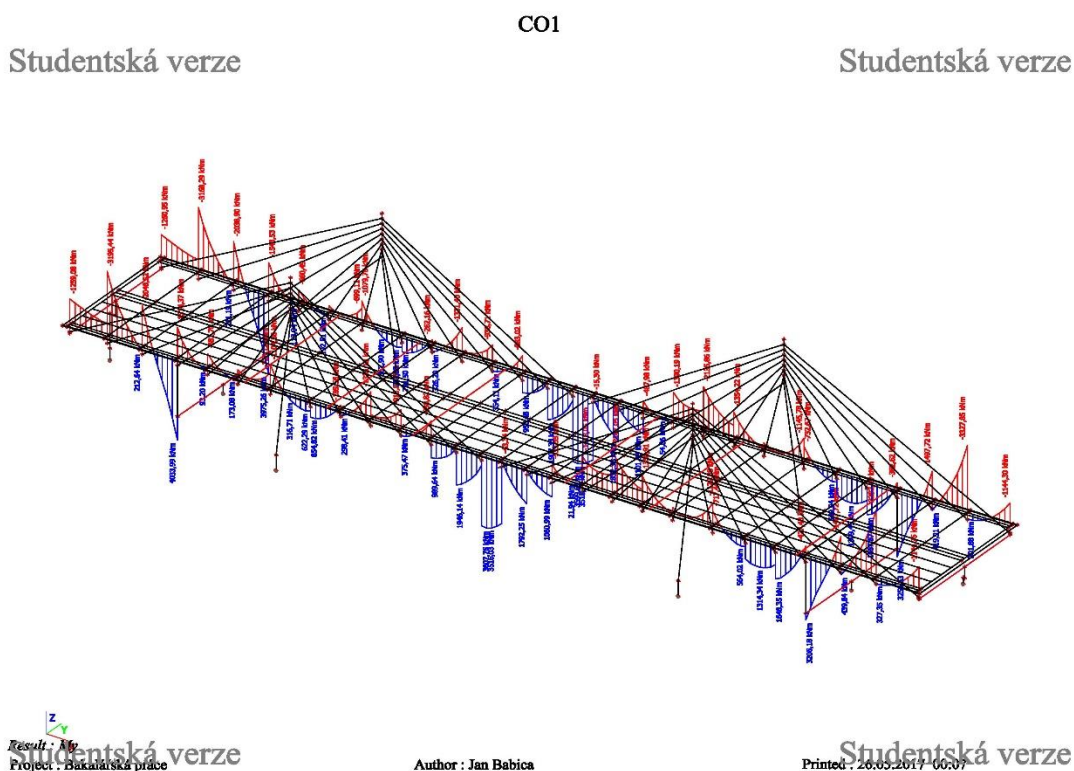
Kombinace jsem vypočítal pomocí programu SCIA Engineer 16.1, a spočítané kombinace jsou součástí této práce. Pro každý z posuzovaných průřezů, jsem spočítal kombinace 6.10, 6.10a a 6.10b a pro každou z nich jsem uvažoval jiné dominantní proměnné

(jednou LM1 a jednou teplotu) zatížení. Každá kombinace obsahuje zatěžovací stavy: vl.tíha, (g-go) – odpovídající požadované kombinaci, a zatížení poklesy, které vyvozují pro požadovaný průřez maximální, popřípadě minimální ohybové momenty. Pohyblivé zatížení LM1 je uvažováno a aplikováno na konstrukci tak, abych vždy dostal požadované extrémní ohybové účinky v požadovaných průřezech. Zatížení teplotou je uvažováno, že buďto se konstrukce ohřeje nebo ochladí. S různými jinými aplikacemi teplotního zatížení zde počítáno není. Vzhledem k velmi vysokému počtu kombinací, v této práci uvedu kombinace, které jsou rozhodující pro návrh předpjetí a pro celkové posouzení konstrukce z hlediska mezního stavu použitelnosti a mezního stavu únosnosti.

Následuje vykreslení jednotlivých rozhodujících kombinací, a to konkrétně vykreslení ohybového momentu  $M_y$ , normálové síly v trámech a normálového napětí v horních a dolních vláknech, kde právě napětí z výpočetního modelu pro mne bylo základním vstupem pro návrh předpjetí, aby bylo dosaženo všech požadavků na konstrukci, jak z hlediska mezního stavu únosnosti, tak i mezního stavu použitelnosti.

Následující obrázky se týkají průřezu uprostřed rozpětí.

CO1 je kombinace MSÚ 6,10b s uvažováním dominantního zatížení, zatížení od dopravy LM1.

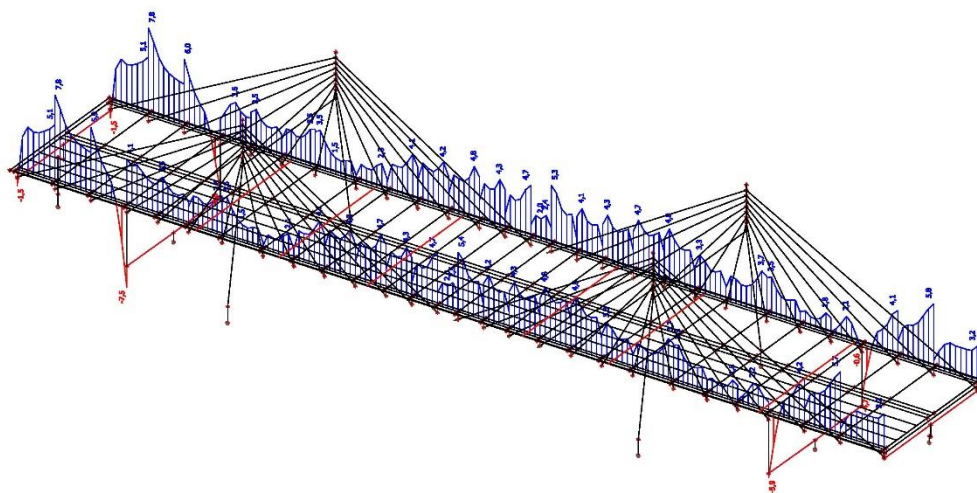


Obr. 35 momenty od kombinace CO1.

CO1 - normálové napětí v horních vláknech

Studentská verze

Studentská verze



Result : Normálové  
Project : Bakalářská práce

Author : Jan Babica

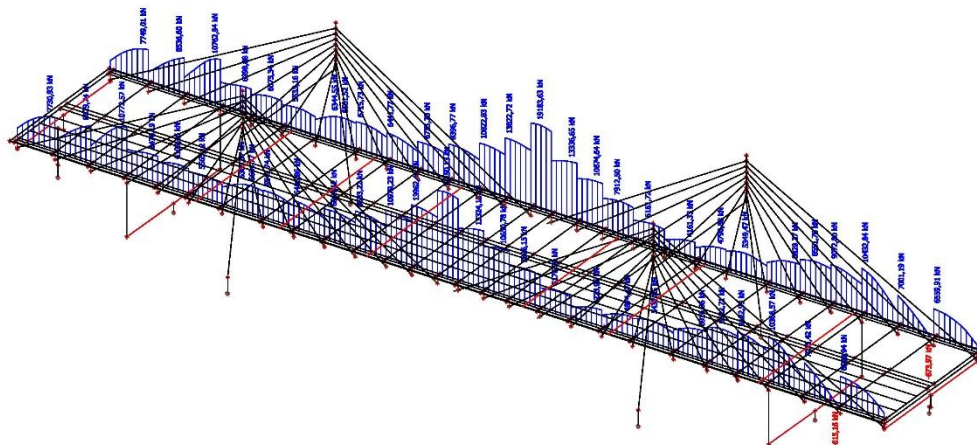
Studentská verze  
Printed : 26.05.2017 00:10

Obr. 36 napětí v horních vláknech pro CO1.

CO1

Studentská verze

Studentská verze



Result : N  
Project : Bakalářská práce

Author : Jan Babica

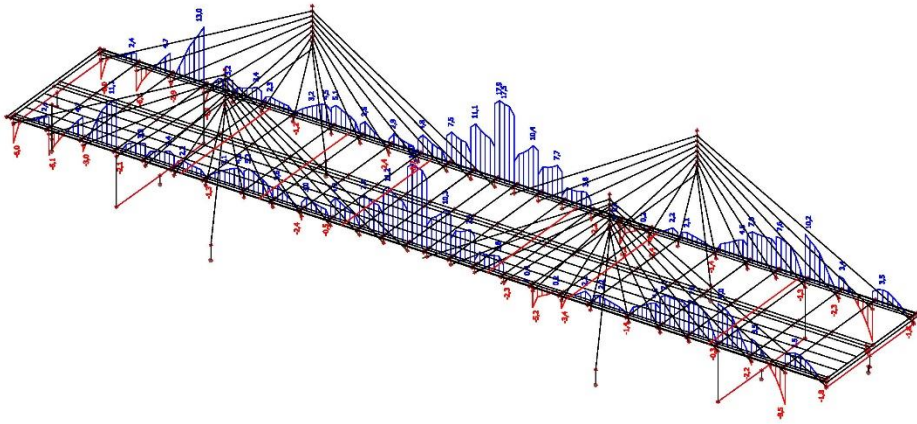
Studentská verze  
Printed : 26.05.2017 00:06

Obr. 37 normálová síla pro kombinaci CO1.

CO1- normálové napětí dolní vlákna

Studentská verze

Studentská verze



Result: Normálové  
Project: Bakalářská práce

Author: Jan Babica

Printed: 26.03.2017 00:10

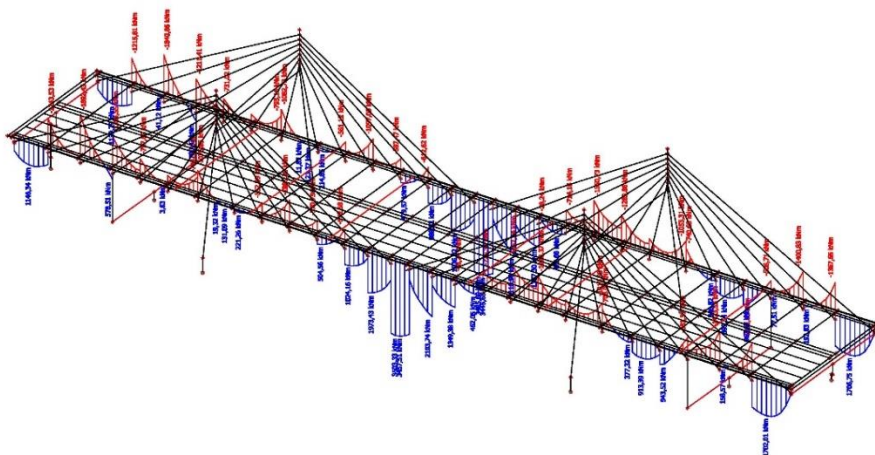
Obr. 38 napětí dolních vláken pro CO1

CO3 – Charakteristická kombinace s dominantním zatížením LM1, aplikovaná tak, aby uprostřed rozpětí vznikly maximální ohybové momenty

CO3 - char. kombinace s dominantním zatížením LM1

Studentská verze

Studentská verze



Result: M  
Project: Bakalářská práce

Author: Jan Babica

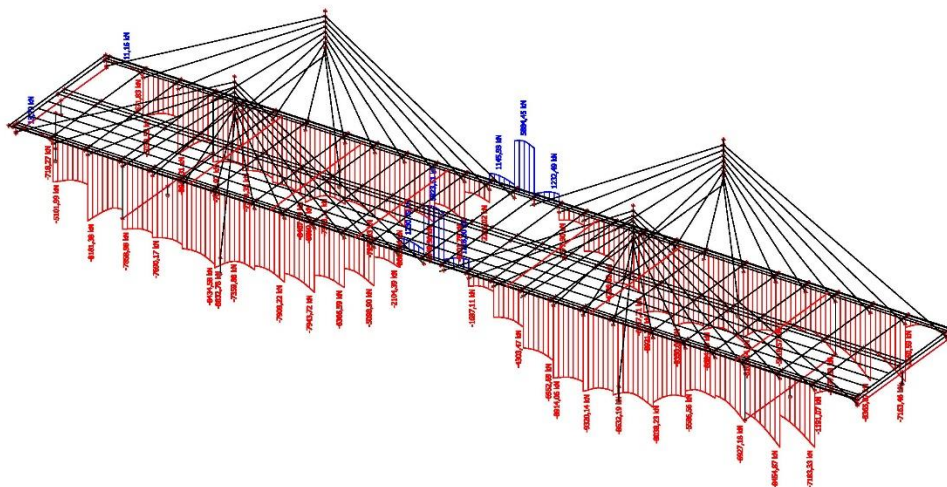
Printed: 26.03.2017 00:14

Obr. 39 momenty od CO3.

CO3- charakteristická kombinace s dominantním zatížením LM1

Studentská verze

Studentská verze



Result:  $N_x$   
Project: Bakalářská práce

Author: Jan Babica

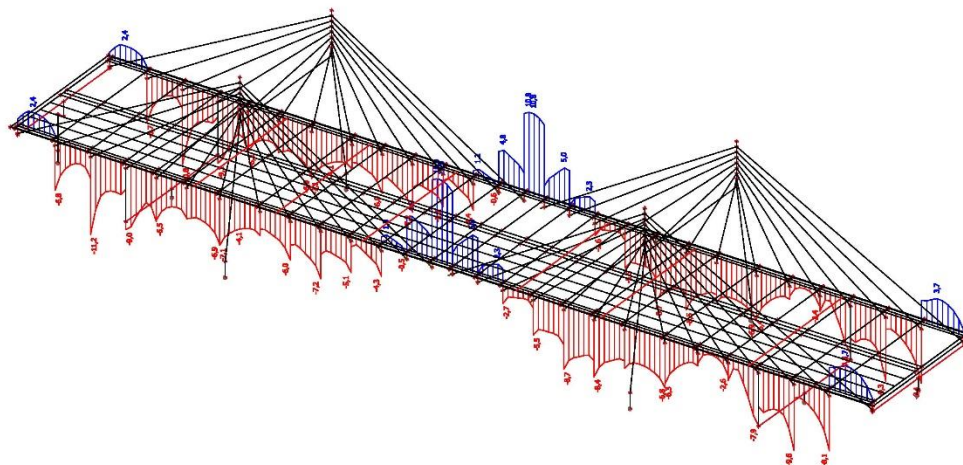
Printed: 26.05.2017 00:15

Obr. 40 Normálové síly pro kombinaci CO3.

CO3 - normálové napětí ve spodních vláknech

Studentská verze

Studentská verze



Result: Normálové  
Project: Bakalářská práce

Author: Jan Babica

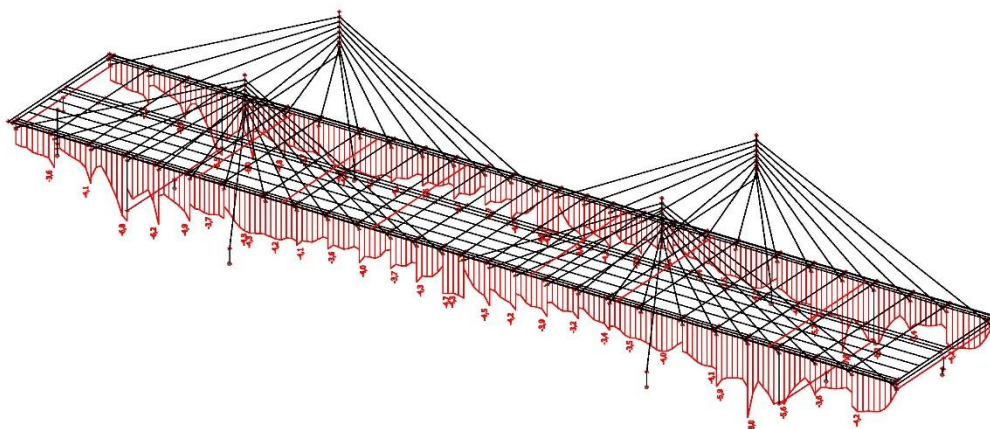
Printed: 26.05.2017 00:17

Obr. 41 napětí ve spodních vláknech pro CO3.

CO3 - normálové napětí v horních vláknech

Studentská verze

Studentská verze



Result: Normálové  
Project: Bakalářská práce

Author: Jan Babica

Printed: 26.05.2017 00:19

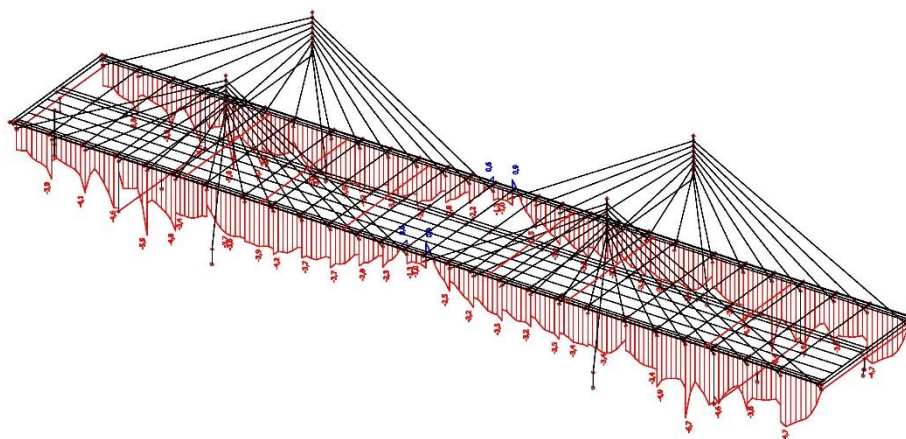
Obr. 42 napětí v horních vláknech pro CO3

CO4 – kvazistálá kombinace zatížení s dominantní složkou proměnného zatížení ve formě LM1, umístěného tak, aby na konstrukci vyvozoval extrémní ohybové momenty.

CO4 - napětí v horních vláknech

Studentská verze

Studentská verze



Result: Normálové  
Project: Bakalářská práce

Author: Jan Babica

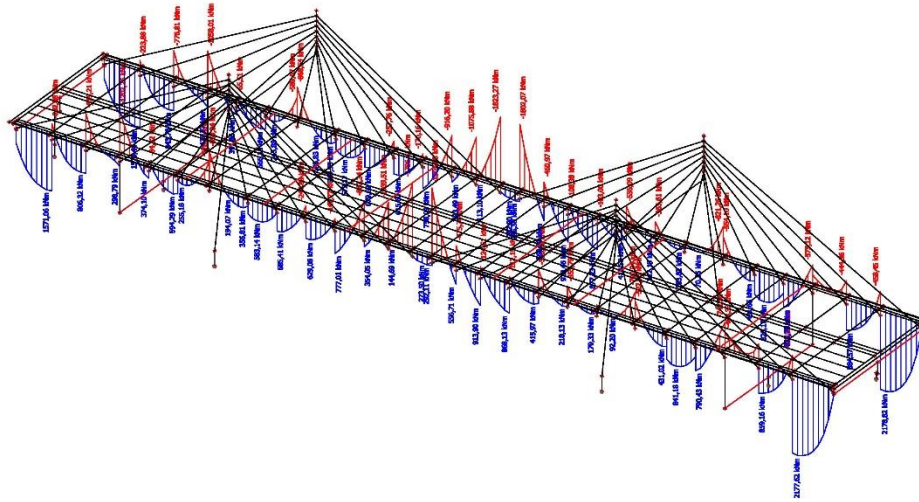
Printed: 26.05.2017 00:29

Obr. 43 napětí v horních vláknech pro CO4.

CO4 -kvazistálá kombinace - ohybový moment

Studentská verze

Studentská verze



Result: OK  
Project: Bakalářská práce

Author: Jan Babica

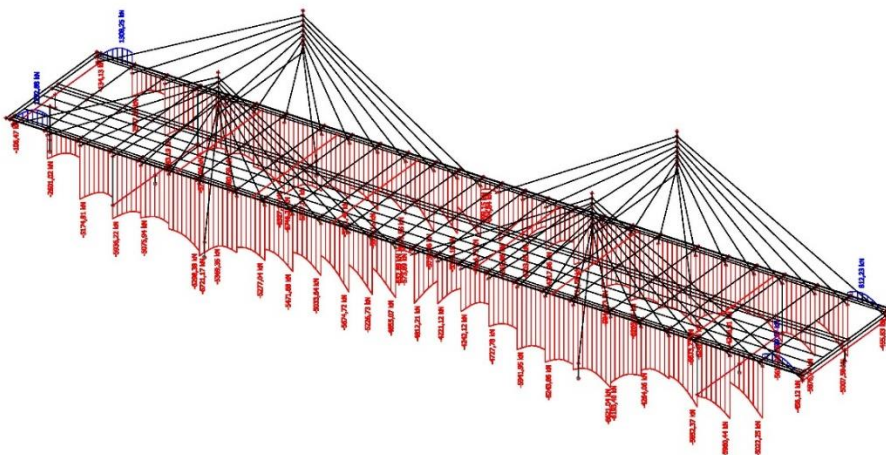
Printed: 26.05.2017 06:21

Obr. 45 momenty od CO4.

CO4 - Normálové síly

Studentská verze

Studentská verze



Result: OK  
Project: Bakalářská práce

Author: Jan Babica

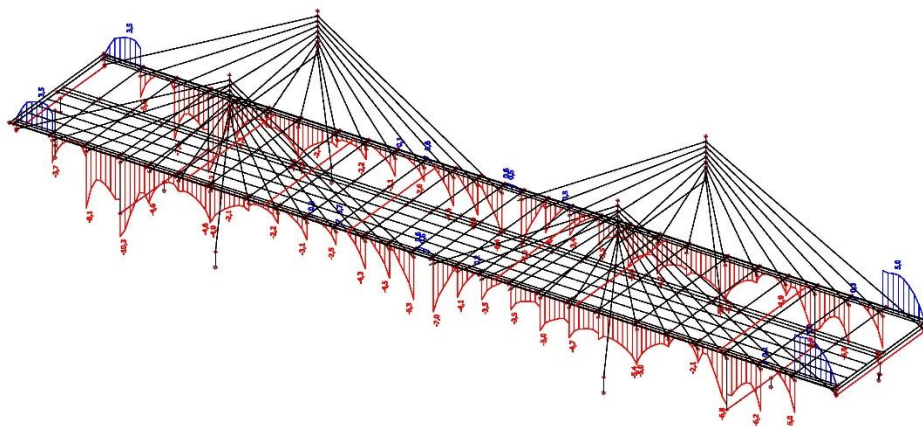
Printed: 26.05.2017 06:22

Obr. 46 normálové síly pro CO4.

CO4 - normálová napětí spodních vláken

Studentská verze

Studentská verze



Result: Normálové  
Project: Bakalářská práce

Author: Jan Babica

Printed: 26.05.2017 00:26

Studentská verze

Obr. 47 napětí ve spodních vláknech od CO4.

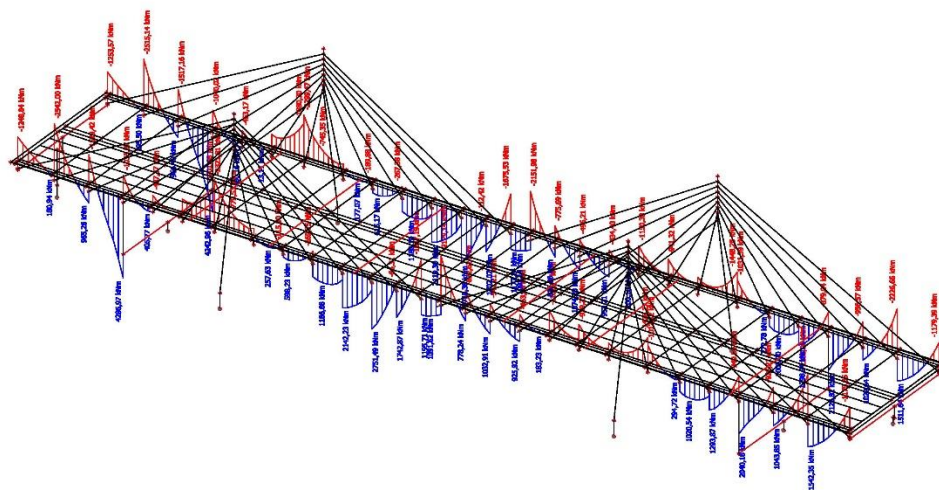
Následující obrázky se budou týkat průřezu nad rámovou stojkou.

CO5 je kombinace MSÚ 6,10a u uvažovaným dominantním zatížením od dopravy LM1.

CO5 - Ohybový moment - Max. pro moment u rámově stojky

Studentská verze

Studentská verze



Result: M  
Project: Bakalářská práce

Author: Jan Babica

Printed: 26.05.2017 00:30

Studentská verze

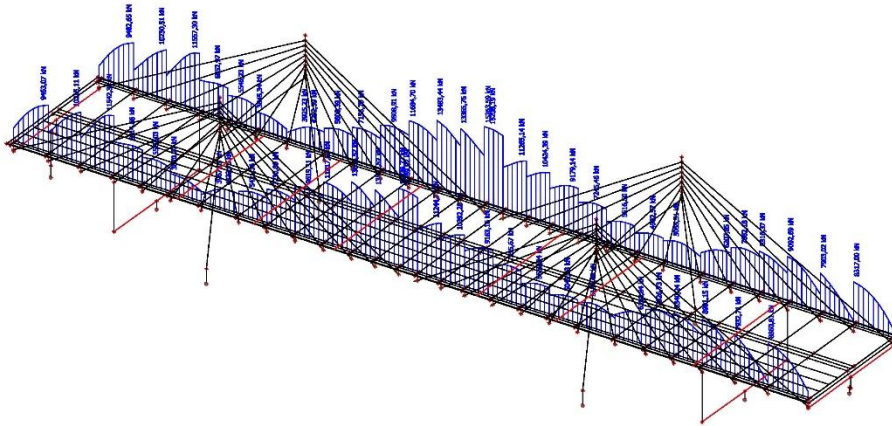
Obr. 48 moment od CO5.



CO5 - normálové síly

Studentská verze

Studentská verze



Result: **Normálové síly**  
Project: **Bakalářská práce**

Author: Jan Babica

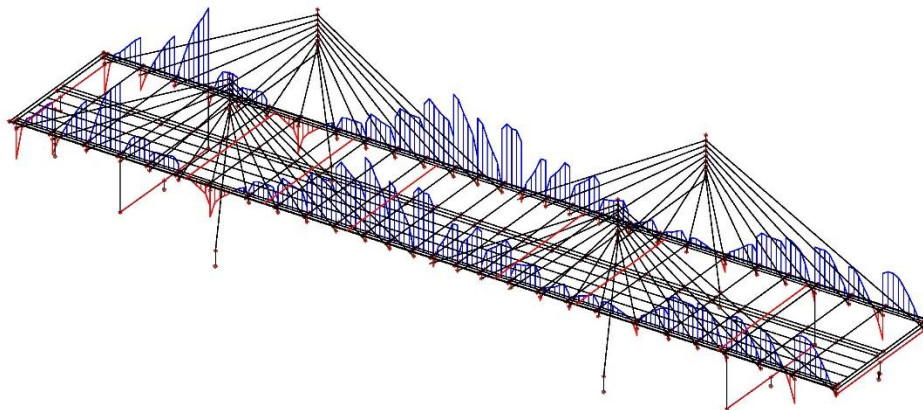
Printed: 26.05.2017 00:31

Obr. 49 normálové síly od CO5.

CO5 - napětí spodních vláken

Studentská verze

Studentská verze



Result: **Normálové síly**  
Project: **Bakalářská práce**

Author: Jan Babica

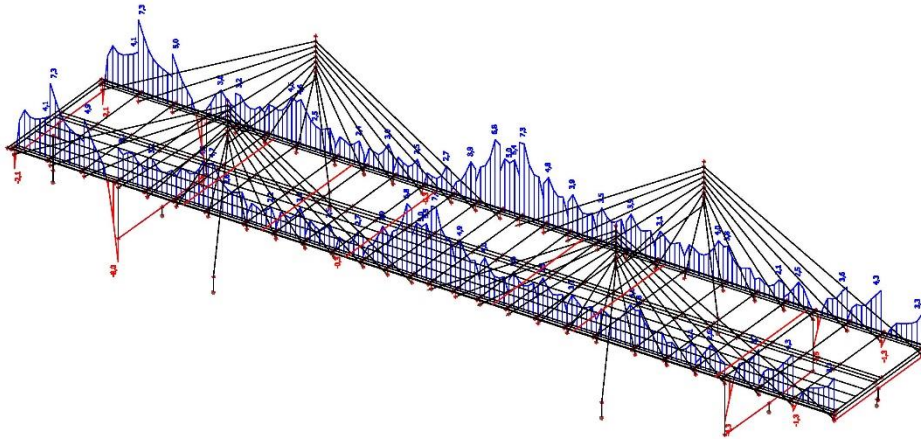
Printed: 26.05.2017 01:32

Obr. 50 napětí ve spodních vláknech pro CO5.

CO5 - normálové napětí v horních vláknech

Studentská verze

Studentská verze



Result: Normálové  
Project: Bakalářská práce

Author: Jan Babica

Printed: 26.05.2017 00:34

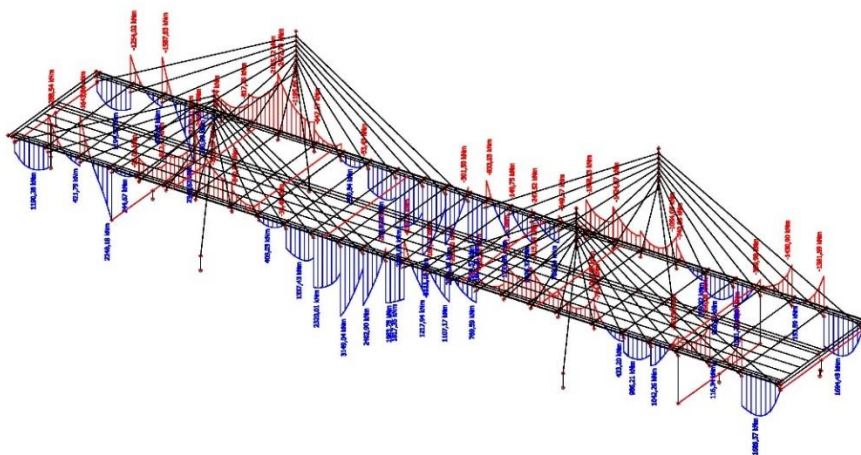
Obr. 51 napětí v horních vláknech pro CO5.

CO7 – charakteristická kombinace, s LM1 jako dominantním zatížením

CO7 - ohybové momenty u rámové spojky

Studentská verze

Studentská verze



Result: M  
Project: Bakalářská práce

Author: Jan Babica

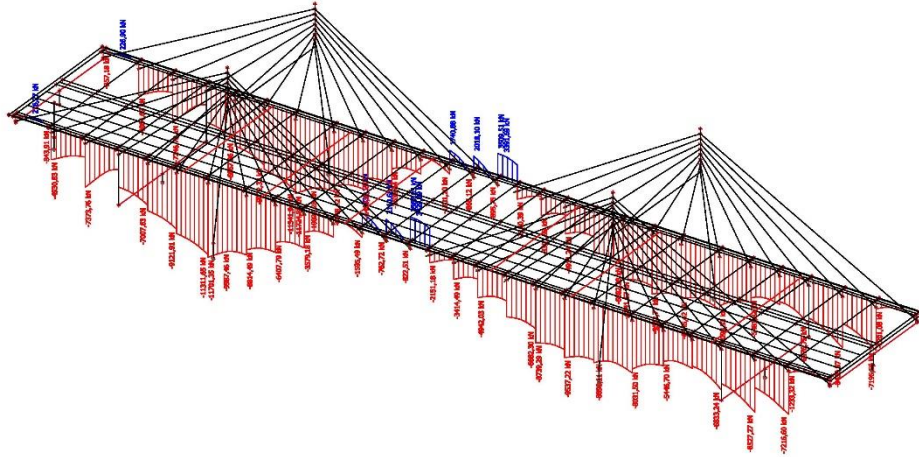
Printed: 26.05.2017 00:35

Obr. 52 momenty od CO7.

CO7 - normálové síly

Studentská verze

Studentská verze



Studentská verze  
Result: N  
Project: Bakalářská práce

Author: Jan Babica

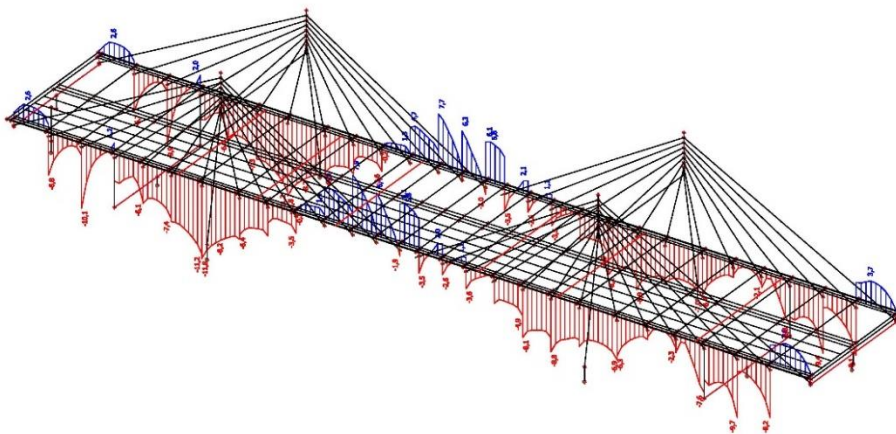
Studentská verze  
Printed: 26.05.2017 06:36

Obr. 53 normálové síly od CO7.

CO7 - normálová napětí ve spodních vláknech

Studentská verze

Studentská verze



Studentská verze  
Result: Normálová  
Project: Bakalářská práce

Author: Jan Babica

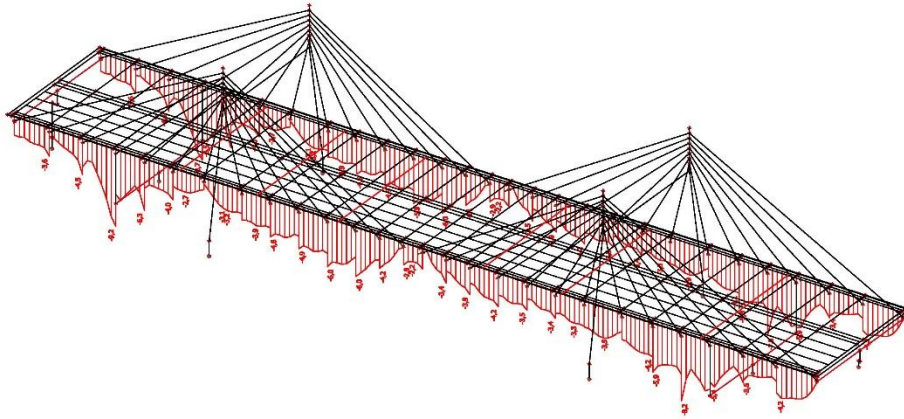
Studentská verze  
Printed: 26.05.2017 06:39

Obr. 54 napětí ve spodních vláknech.

CO7 - normálové napětí v horních vláknech

Studentská verze

Studentská verze



Result: Normálové  
Project: Bakalářská práce

Author: Jan Babica

Printed: 26.05.2017 - 00:37

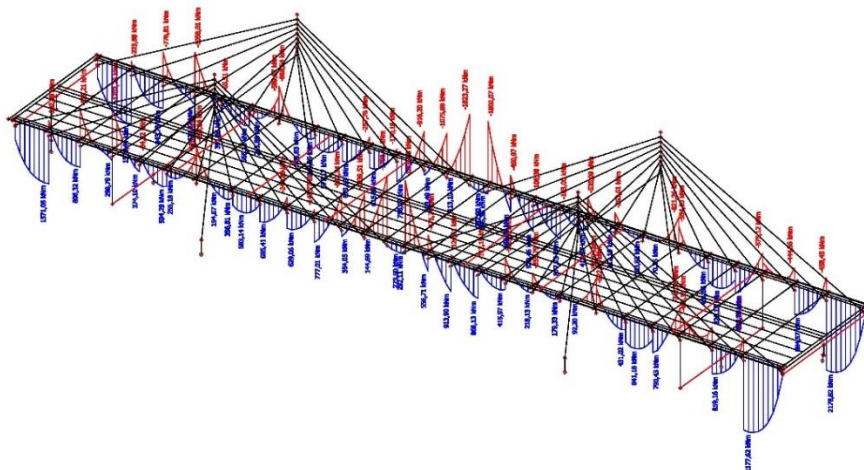
Obr. 55 napětí v horních vláknech pro CO7.

CO8 – kvazistálá kombinace, s LM1 jako dominantním zatížením.

CO8 - ohybové momenty

Studentská verze

Studentská verze



Result: M  
Project: Bakalářská práce

Author: Jan Babica

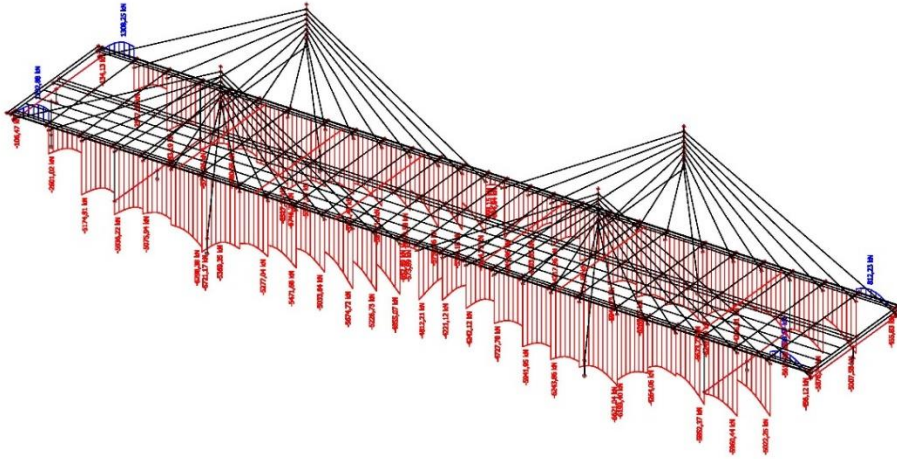
Printed: 26.05.2017 - 00:31

Obr. 56 momenty od CO8.

CO8 - normálové síly

Studentská verze

Studentská verze



Result: N  
Project: Bakalářská práce

Author: Jan Babica

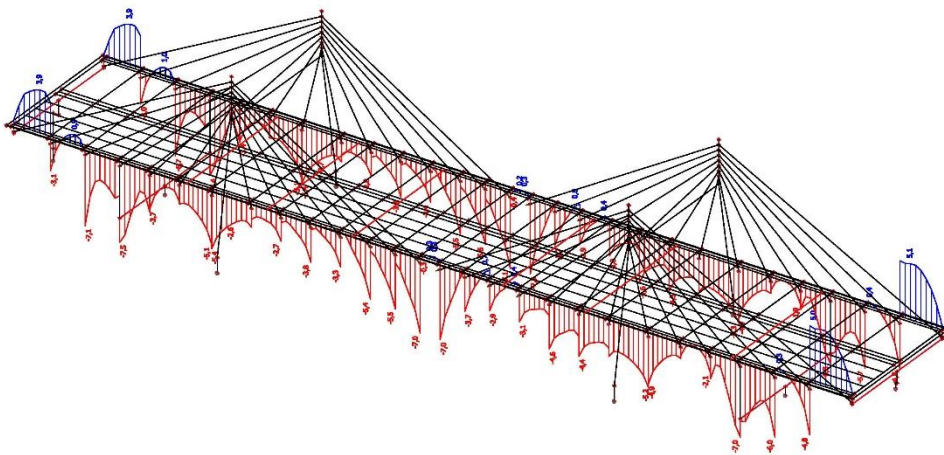
Studentská verze  
Printed: 26.03.2017 00:41

Obr. 57 normálová síla pro CO8.

CO8 - normálové napětí spodních vláken

Studentská verze

Studentská verze



Result: Normálové  
Project: Bakalářská práce

Author: Jan Babica

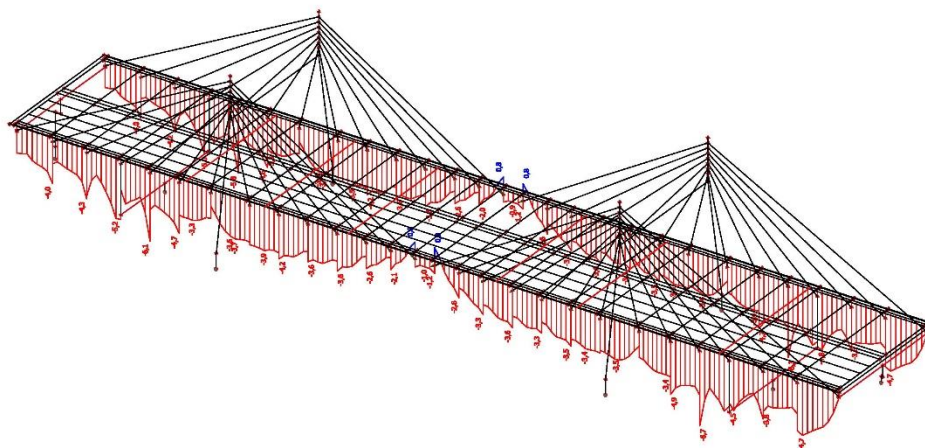
Studentská verze  
Printed: 26.03.2017 00:45

Obr. 58 napětí ve spodních vláknech pro CO8.

CO8 - normálové napětí horních vláken

Studentská verze

Studentská verze



Result: Normálové  
Project: Bakalářská práce

Author: Jan Babica

Printed: 26.05.2017 00:46

Obr. 59 napětí v horních vláknech pro CO8.

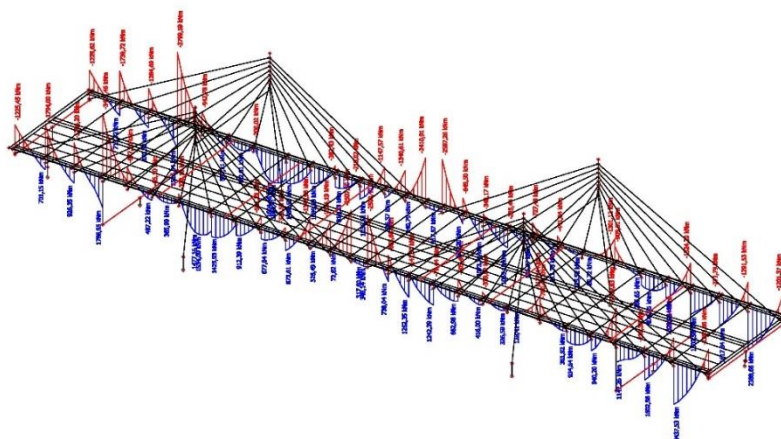
Následující obrázky se týkají průřezu v místě pylonu.

CO9 – kombinace na MSÚ 6,10a, kde LM1 je dominantní zatížení

CO9 - ohybové momenty

Studentská verze

Studentská verze



Result: M  
Project: Bakalářská práce

Author: Jan Babica

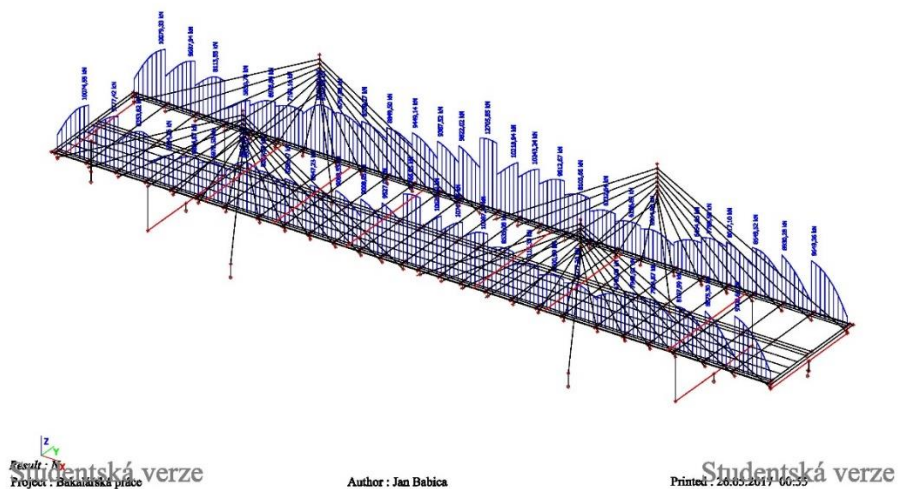
Printed: 26.05.2017 00:54

Obr.60 momenty pro CO9.

Studentská verze

CO9 - normálové síly

Studentská verze

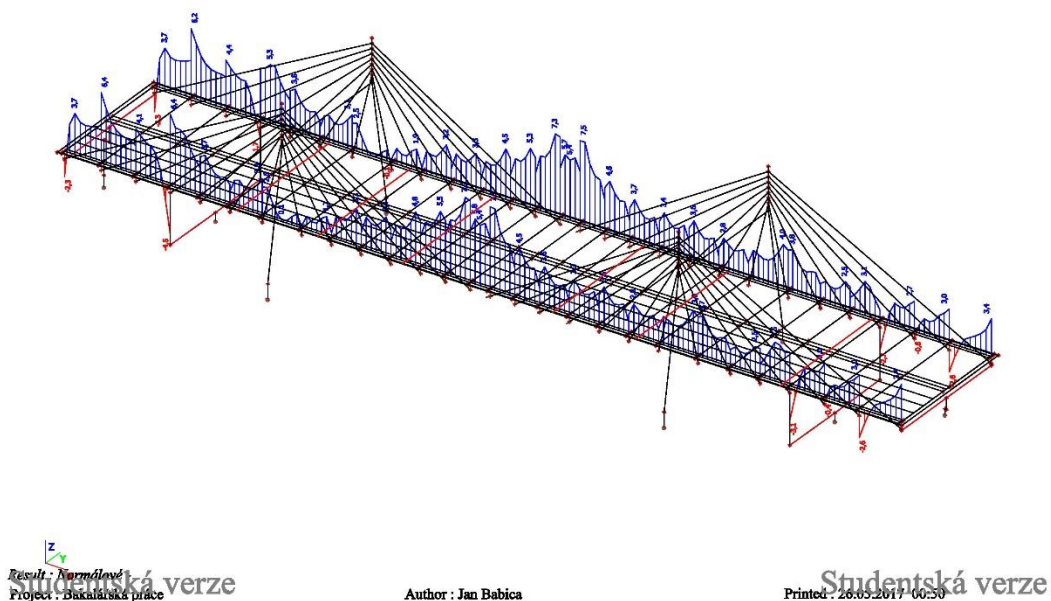


Obr. 61 normálové síly pro CO9.

Studentská verze

CO9 - Normálová napětí horních vláken

Studentská verze

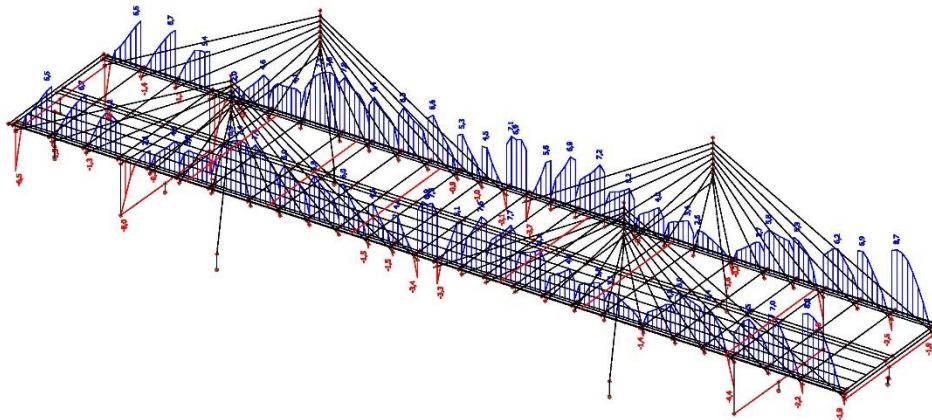


Obr. 62 napětí v horních vláknech pro CO9.

CO9 - normálová napětí spodních vláken

Studentská verze

Studentská verze



Result: Normálové  
Projekt: Bakalářská práce

Author: Jan Babica

Printed: 26.05.2017 00:51

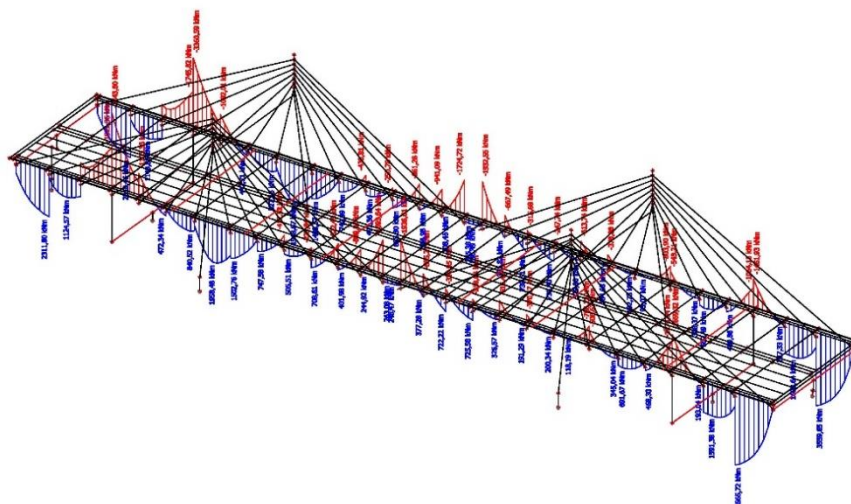
Obr. 63 napětí v dolních vláknech pro CO9.

CO11 – charakteristická kombinace, kdy LM1 je dominantní proměnné zatížení.

CO11 - ohybové momenty

Studentská verze

Studentská verze



Result: M  
Projekt: Bakalářská práce

Author: Jan Babica

Printed: 26.05.2017 00:56

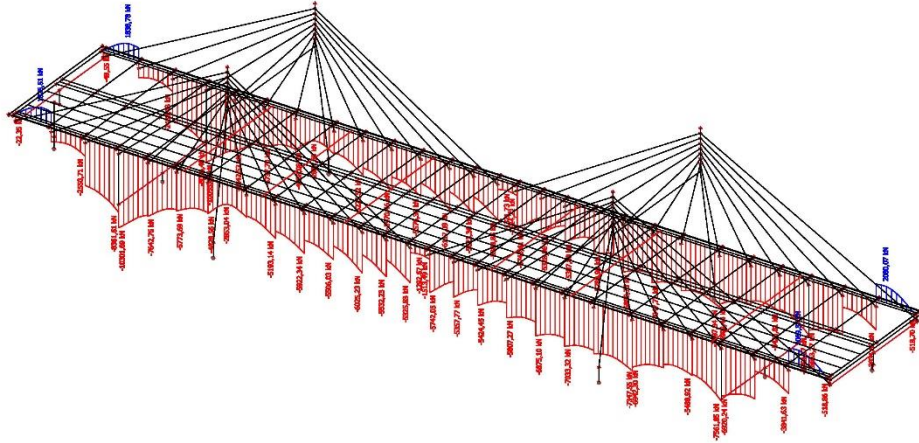
Obr. 64 momenty pro CO11.



CO11 - normálové síly

Studentská verze

Studentská verze



Studentská verze  
Result: N  
Project: Bakalářská práce

Author: Jan Babica

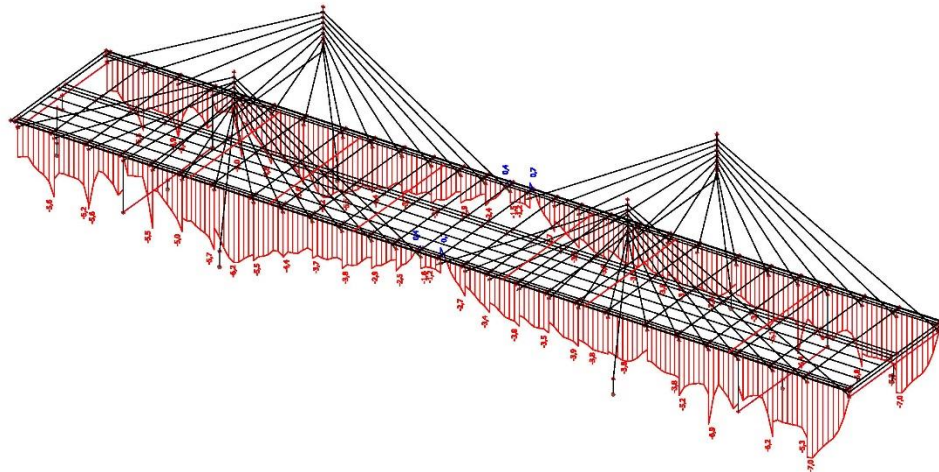
Studentská verze  
Printed: 26.05.2017 00:57

Obr. 65 normálové síly pro CO11.

CO11 - normálová napětí v horních vláknech

Studentská verze

Studentská verze

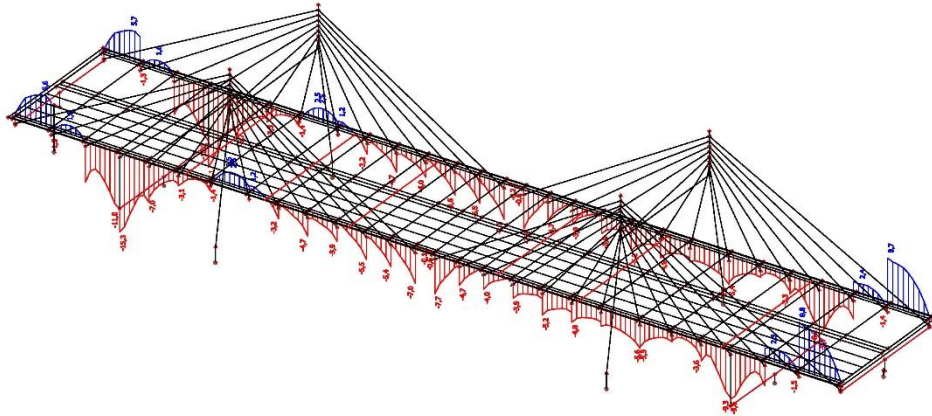


Studentská verze  
Result: Normálové  
Project: Bakalářská práce

Author: Jan Babica

Studentská verze  
Printed: 26.05.2017 01:02

Obr. 66 napětí v horních vláknech pro CO11.



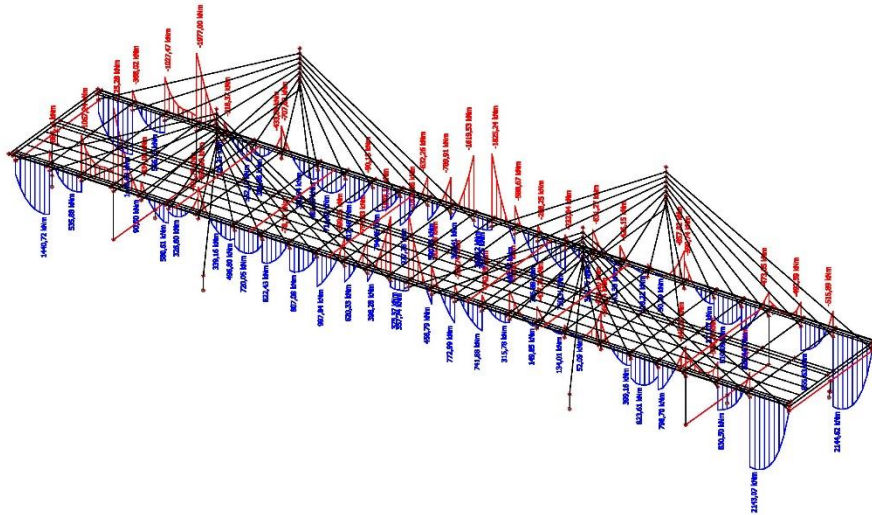
Obr. 67 napětí ve spodních vláknech pro CO11.

CO12 – kvazistálá kombinace, kde LM1 je dominantní proměnné zatížení

CO12 - ohybové momenty

Studentská verze

Studentská verze



Result: 1/6  
Project: Bakalářská práce

Author: Jan Babica

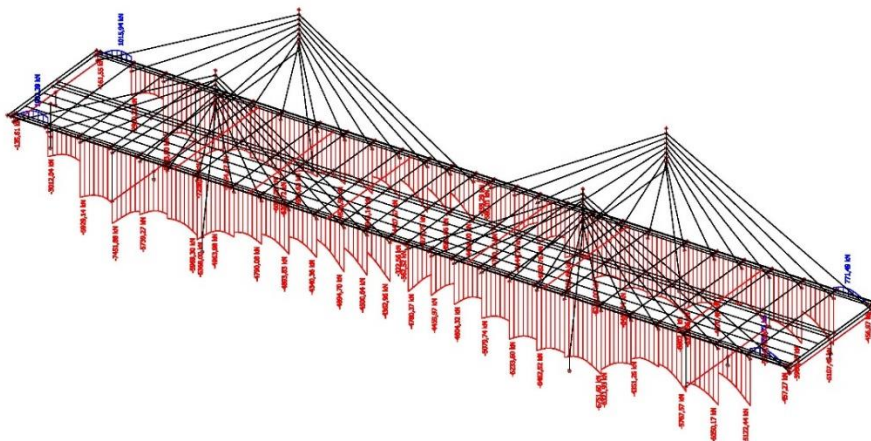
Printed: 26.05.2017 01:07

Obr. 68 momenty pro CO12.

CO12 - normálové síly

Studentská verze

Studentská verze



Result: 1/6  
Project: Bakalářská práce

Author: Jan Babica

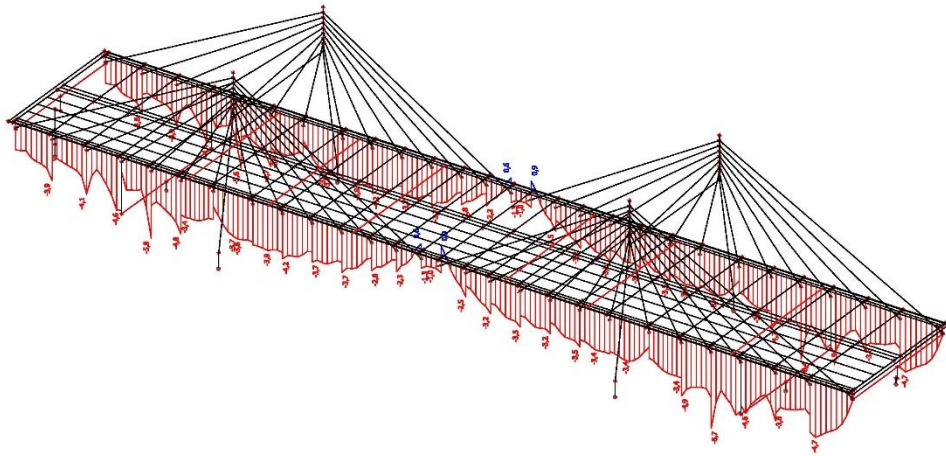
Printed: 26.05.2017 01:08

Obr. 69 normálové síly pro CO12.

CO12 - Normálová napětí v horních vláknech

Studentská verze

Studentská verze



Result: Normálové  
Project: Bakalářská práce

Author: Jan Babica

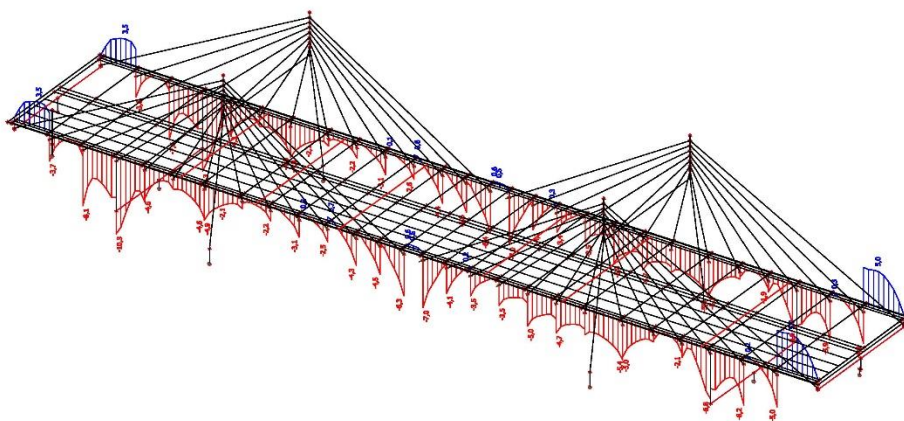
Studentská verze  
Printed: 26.05.2017 01:05

Obr. 70 napětí v horních vláknech pro CO12.

CO12 - napětí ve spodních vláknech

Studentská verze

Studentská verze



Result: Normálové  
Project: Bakalářská práce

Author: Jan Babica

Studentská verze  
Printed: 26.05.2017 14:50

Obr. 70 napětí v dolních vláknech pro CO12.

Celkový počet kombinací je 102, a pro přehlednost uvádím síly a napětí, podle kterých jsem navrhoval předpjetí a příkládám tabulku, kde jsou síly vypsané. Je tam více kombinací než je uvedeno zde, nejsou ale z hlediska návrhu a posouzení předpětí důležité. (Uvedené momenty jsou v kNm, normálové síly kN, a napětí v MPa)

Tab.5 – Výsledky z kombinací pro průřez ve středu rozpětí.

Střed Rozpětí				
Kombinace	Moment My	Normálová síla	Napětí	
			Horní vl.	Dolní vl.
CO1	3607,76	19250	2	17,5
CO2	-332,66	11009,46	6	4,6
CO3	3457,51	5923	-4,3	10,9
CO4	398,28	-322,56	-1	0,6

Tab.6 – Výsledky z kombinací pro průřez u rámové stojky.

U rámové stojky				
Kombinace	Moment My	Normálová síla	Napětí	
			Horní vl.	Dolní vl.
CO5	4286,97	11542,3	-8	8,5
CO6	-3372,54	7105,2	7,2	-7,2
CO7	2248,18	-5739,74	-9,2	1,2
CO8	-1202,26	-5936,22	-2,7	-7,5

Tab.7 – Výsledky z kombinací pro průřezu u pylonu.

U pylonu				
Kombinace	Moment My	Normálová síla	Napětí	
			Horní vl.	Dolní vl.
CO9	1477,16	8819,97	0,1	7,2
CO10	-1850,47	2903,45	3,1	0,9
CO11	1958,48	-2853,04	-6,2	2,6
CO12	339,16	-4963,98	-3,3	-2,3

## 6. Předpětí

### 6.1. Úvod

Návrh předpjetí je v tomto případě poměrně složitý, aby byly dodrženy všechny podmínky z hlediska omezení napětí a trhlin. U předpětí uvažuji pouze staticky určitý moment a normálovou sílu. Dále uvažuji zjednodušený průřez trámové konstrukce. Výpočet již neprováním v programu SCIA, ale je prováděn ručně. Při návrhu předpětí jsem postupovat tak, že jsem hledal optimální poměr normálové síly a excentricity, aby konstrukce vyhověla

na mezní stav omezení napětí a mezní stav omezení trhlin. Pro tento účel jsem vytvořil v tabulkovém editoru soubor, kde jsem upravoval počet drátů (lan) a excentricitu v průřezech uprostřed rozpětí, v místě pylonu a u rámové stojky.

## 6.2. Konstrukční zásady

### 6.1.1. Stanovení krycí vrstvy

$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev}$  , kde:

$c_{nom}$  je nominální krycí vrstva

$c_{min}$  je minimální krycí vrstva výztuže

$\Delta c_{dev}$  doporučená hodnota 10 mm

$c_{min} = \max (c_{min,b}; c_{min,dur}; + \Delta c_{dur,y} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add}; 10 \text{ mm}) = \max (80 , 0 + 0 - 0; 10) = 80 \text{ mm}$

$c_{min,b} = 80 \text{ mm}$

$c_{min,dur} = 0 \text{ mm}$

$\Delta c_{dur,y} = 0 \text{ mm}$

$\Delta c_{dur,st} = 0 \text{ mm}$

$\Delta c_{dur,add} = 0 \text{ mm}$

$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} = 80 + 10 = 90 \text{ mm}$

Krycí vrstva bude v této konstrukci rovna 90 mm.

## 6.3. Vstupní hodnoty pro výpočet

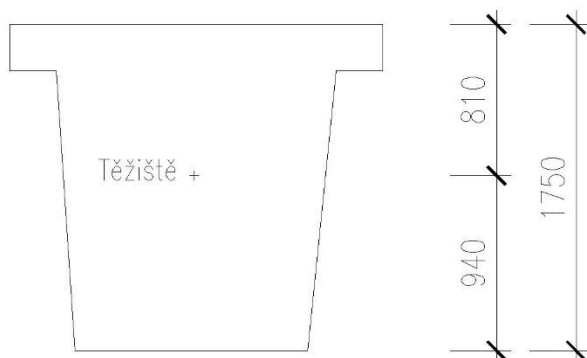
$P_{max} = A_p * \sigma_{p,max}$  kde:

$A_p$  plocha předpínací výztuže,

$\sigma_{p,max}$  maximální napětí v předpínací výztuži,

$\sigma_{p,max} = \min (0,8 * f_{pk}; 0,9 * f_{p0,1k}) = \min (0,8 * 1860,0; 0,9 * 1636,8) = \min (1488,0; 1473,12) = 1473,0 \text{ MPa}$ , dále počítám s hodnotou 1473,0 MPa.

Pro další výpočet, uvažuji zjednodušený tvar trámu.



Obr. 71 Průřez trámu.

Pro následující tabulky platí:

A	plocha průřezu v m <sup>2</sup>
I	moment setrvačnosti průřezu v m <sup>4</sup>
W <sub>h</sub>	statický modul horních vláken v m <sup>3</sup>
W <sub>d</sub>	statický modul dolních vláken v m <sup>3</sup>
Předpětí	maximální napětí v předpínací výztuži
Ztráty předpětí – vyjádřené procenty v %	
A <sub>s,1</sub>	plocha jednoho drátu v m <sup>2</sup>
n	počet drátů -
Horní vlákna	napětí v horních vláknech v MPa
Dolní vlákna	napětí v dolních vláknech pro MPa
Napětí (označeno jako předpětí)	Předpětí * (1 – ztráty) v MPa
A <sub>s</sub>	A <sub>s,1</sub> * n
Normálová síla	A <sub>s</sub> * napětí v MN
Následující excentricity popsané přímo v tabulce	
Výsl. Napětí od N.S	Normálová síla/A v MPa
M <sub>p</sub>	Normálová síla * e v MNm
Výsl. Napětí od M <sub>p</sub>	Normálová síla * e <sub>h/d</sub> / W <sub>h/d</sub> MPa

Tabulky 8-11 ukazují jak se konstrukce chová uprostřed rozpětí:

Tab. 8 Průřezové charakteristiky pro výpočet.

Střed rozpětí

A =	2,532 m <sup>2</sup>
I =	0,49447 m <sup>4</sup>
Wh =	3,125925926 m <sup>3</sup>
Wd =	2,693617021 m <sup>3</sup>
Předpětí =	1473 Mpa
Provozní stádium =	15 % ztráty předpětí
As,1 =	0,00015 m <sup>2</sup>
n =	120 -

Tab. 9 výpočet předpětí část 1.

	Horní vlákna	Dolní vlákna	Předpětí	As	Normárová síla
CO4	-1	0,6	1252,05	0,018	-22,5369
CO3	-4,3	10,9	1252,05	0,018	-22,5369
CO1	2	17,5	1252,05	0,018	-22,5369

Tab. 10 výpočet předpětí část 2.

Excentricita dolní ed,max = 0,85 m	Výsledné napětí - od normálové síly		Moment od předpětí	Výsledné napětí - od momentu od předpětí	
	Horní vlákna	Dolní vlákna		Horní vlákna	Dolní vlákna
0,80	-8,90	-8,90	-18,03	5,77	-6,69
0,80	-8,90	-8,90	-18,03	5,77	-6,69
0,80	-8,90	-8,90	-18,03	5,77	-6,69

Tab. 11 výpočet předpětí část 3.

Výsledné napětí	
Horní vlákna	Dolní vlákna
-3,133	-15,594
-3,133	-15,594
-3,133	-15,594

Výsledné napětí je napětí pouze od předpětí.



Tabulky 12-15 ukazují, jak se konstrukce chová v průřezu u pylonu:

Tab. 12 Průřezové charakteristiky.

A =	2,532	m <sup>2</sup>
I =	0,49447	m <sup>4</sup>
Wh =	3,125925926	
Wd =	2,693617021	
Předpětí =	1473	Mpa
Provozní stádium =	15	% ztráty předpětí
As,1 =	0,00015	m <sup>2</sup>
n =	120	-

Tab. 13 Výpočet předpětí část 1.

	Horní vlákna	Dolní vlákna	Předpětí	As	Normárová síla
CO9	0,1	7,2	1252,05	0,018	-22,5369
CO11	-6,2	2,6	1252,05	0,018	-22,5369
CO12	-3,3	-2,3	1252,05	0,018	-22,5369

Tab. 14 Výpočet předpětí část 2.

Excentricita dolní ed,max = 0,85 m	Výsledné napětí - od normálové síly		Moment od předpětí	Výsledné napětí - od momentu od předpětí	
	Horní vlákna	Dolní vlákna		Horní vlákna	Dolní vlákna
0,4	-8,901	-8,901	-9,015	2,884	-3,347
0,4	-8,901	-8,901	-9,015	2,884	-3,347
0,4	-8,901	-8,901	-9,015	2,884	-3,347

Tab. 15 Výpočet předpětí část 3.

Výsledné napětí	
Horní vlákna	Dolní vlákna
-6,017	-12,248
-6,017	-12,248
-6,017	-12,248

Výsledné napětí pouze od předpětí.

Následující tabulky 16-19 ukazují chování konstrukce v průřezu nad rámovou stojkou:

Tab. 16 průřezové charakteristiky.

RS	
A =	2,532 m <sup>2</sup>
I =	0,49447 m <sup>4</sup>
Wh =	3,125925926
Wd =	2,693617021
Předpětí =	1473 Mpa
Provozní stádium =	15 % ztráty předpětí
As,1 =	0,00015 m <sup>2</sup>
n =	120 -

Tab. 17 výpočet předpětí část 1.

	Horní vlákna	Dolní vlákna	Předpětí	As	Normárová síla
CO5	-8	8,5	1252,05	0,018	-22,5369
CO7	-9,2	1,2	1252,05	0,018	-22,5369
CO8	-2,7	-7,5	1252,05	0,018	-22,5369

Tab. 18 výpočet předpětí část 2.

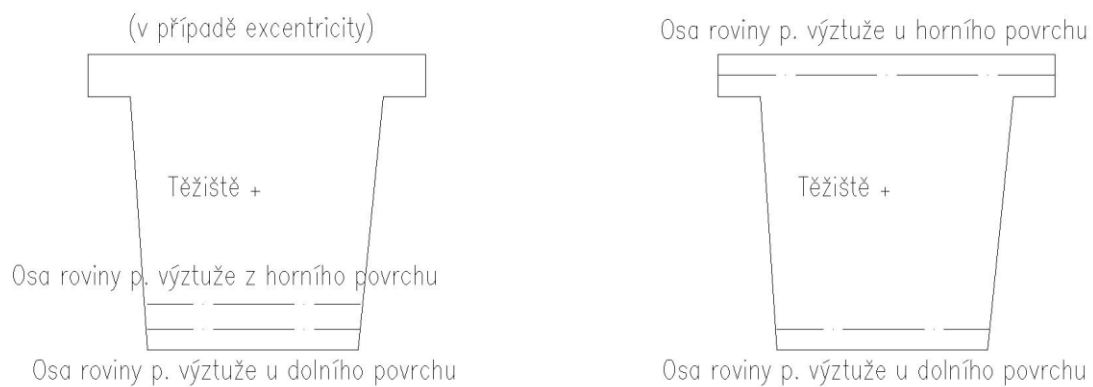
Excentricita horní eh,max = 0,73 m	Výsledné napětí - od normálové síly		Moment od předpětí	Výsledné napětí - od momentu od předpětí	
	Horní vlákna	Dolní vlákna		Horní vlákna	Dolní vlákna
0,1	-8,901	-8,901	-2,254	-0,721	0,837
0,1	-8,901	-8,901	-2,254	-0,721	0,837
0,1	-8,901	-8,901	-2,254	-0,721	0,837

Tab. 19 výpočet předpětí část 3.

Výsledné napětí	
Horní vlákna	Dolní vlákna
-9,622	-8,064
-9,622	-8,064
-9,622	-8,064

Výsledná napětí jsou napětím pouze od předpětí

Takto vypadá návrh předpětí. Povedeme patnáct lan v osmi kabelech. Předpětí povedeme ve dvou rovinách. První, která povede kolem horních vláken, a druhou, která povede kolem dolních vláken. A v případě, že bude potřeba, dosáhnout určité excentricity, postupně přejdou do dvou rovin nad sebe. Viz. Obrázek 72.



*Obr. 72 trám a osy přepínací výztuže.*

## 7. Posouzení na MSP

### 7.1. Mezní stav omezení napětí

Pro charakteristickou kombinaci platí omezení na  $< 21,0$  MPa

Pro kvazistálou kombinaci platí omezení na  $< 15,8$  MPa

Pevnost betonu v tahu:  $f_{ctm} = 3,2$  MPa

Pevnost betonu v tlaku:  $f_{ck} = 35$  MPa

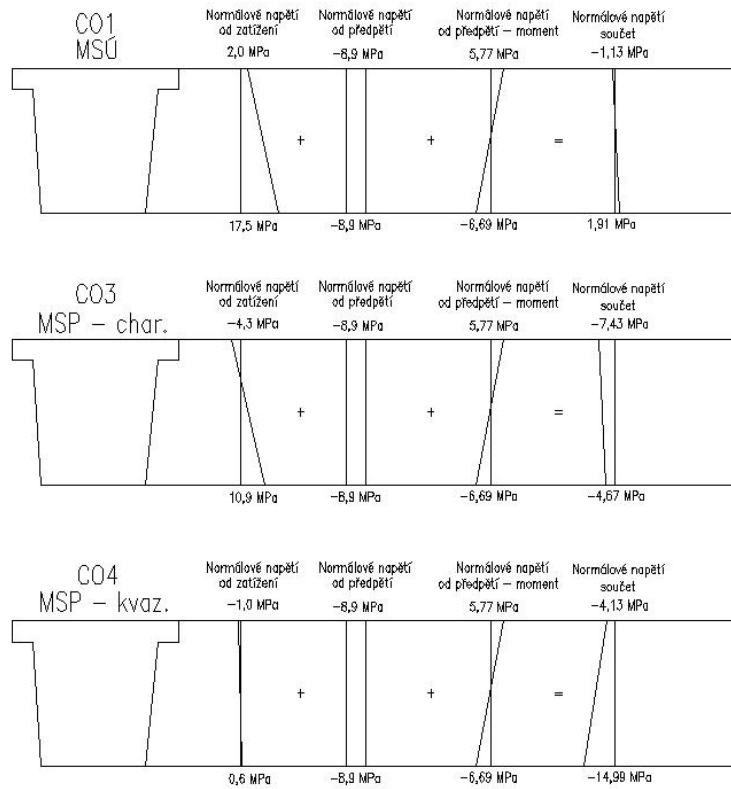
Obě hodnoty jsou napětí v tlaku.

Tabulka s výsledky: Pro provozní stav (Posouzení na MSP se týká pouze kombinací CO3,4,7,8,11,12)

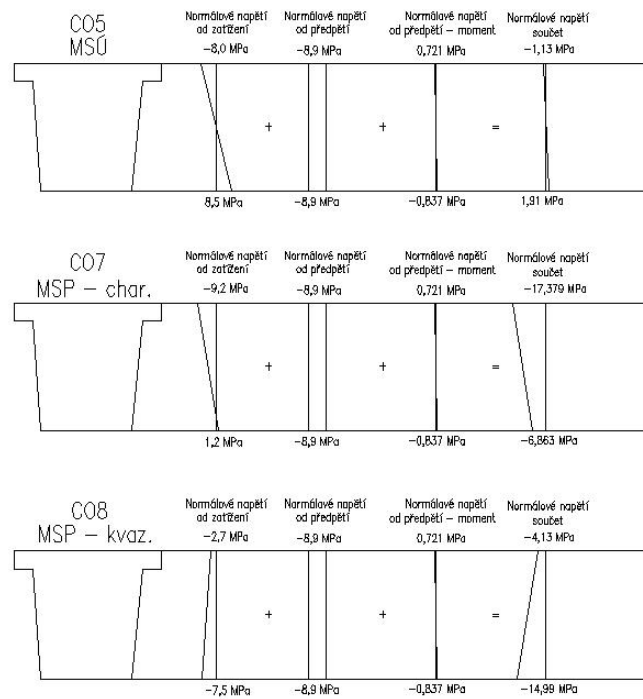
Tab. 20 posouzení průřezů na mezní stav omezení napětí v provozním stádiu.

Zatížení	Vlákna	střed rozpětí				
		$\sigma_{\text{od vnitřních sil}}$	$\sigma_{\text{od předpětí}}$	$\sigma_{\text{celkem}}$		
CO1	horní	2	-3,13	-1,13		
	dolní	17,5	-15,59	1,91		
CO3	horní	-4,3	-3,13	-7,43	OK	< -21 MPa
	dolní	10,9	-15,59	-4,69	OK	< -21 MPa
CO4	horní	-1	-3,13	-4,13	OK	< -15,8 MPa
	dolní	0,6	-15,59	-14,99	OK	< -15,8 MPa
U rámové stojky						
		$\sigma_{\text{od vnitřních sil}}$	$\sigma_{\text{od předpětí}}$	$\sigma_{\text{celkem}}$		
CO5	horní	-8	-9,62	-17,62		
	dolní	8,5	-8,06	0,44		
CO7	horní	-9,2	-9,62	-18,82	OK	< -21 MPa
	dolní	1,2	-8,06	-6,86	OK	< -21 MPa
CO8	horní	-2,7	-9,62	-12,32	OK	< -15,8 MPa
	dolní	-7,5	-8,06	-15,56	OK	< -15,8 MPa
U pylonu						
		$\sigma_{\text{od vnitřních sil}}$	$\sigma_{\text{od předpětí}}$	$\sigma_{\text{celkem}}$		
CO9	horní	0,1	-6,017	-5,917		
	dolní	7,2	-12,248	-5,048		
CO11	horní	-6,2	-6,017	-12,217	OK	< -21 MPa
	dolní	2,6	-12,248	-9,648	OK	< -21 MPa
CO12	horní	-3,3	-6,017	-9,317	OK	< -15,8 MPa
	dolní	-2,3	-12,248	-14,548	OK	< -15,8 MPa

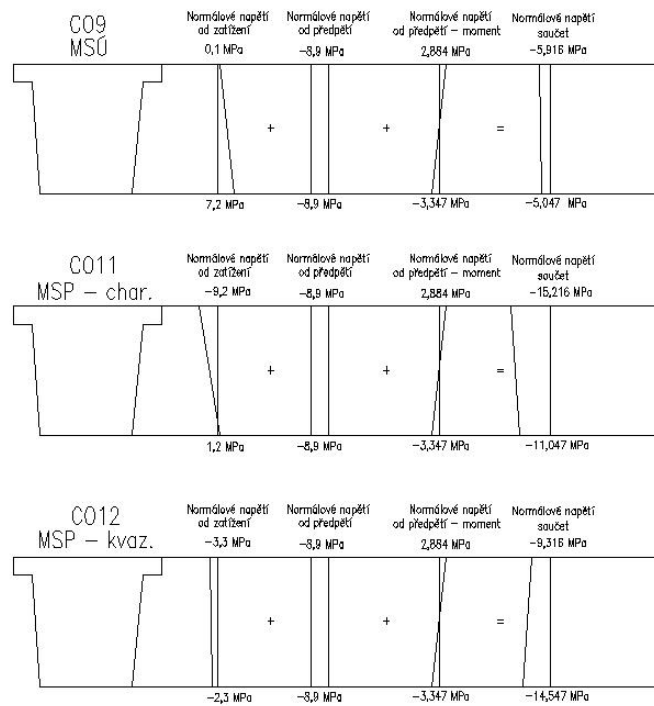
Posuzované průřezy vyhoví z hlediska mezního stavu omezení napětí.



Obr. 73 průběh napětí pro názornost. Od CO1-4.



Obr. 74 průběh napětí pro názornost. Od CO5-8.



Obr. 75. Průběh napětí pro názornost. Od CO9-12.

## 7.2. Mezní stav omezení trhlin

Tab. 21 posouzení na mezní stav omezení trhlin v provozním stádiu.

Zatížení	Vlákna	střed rozpětí				
		$\sigma_{\text{od vnitřních sil}}$	$\sigma_{\text{od předpětí}}$	$\sigma_{\text{celkem}}$		
CO1	horní	2	-3,13	-1,13		
	dolní	17,5	-15,59	1,91		
CO3	horní	-4,3	-3,13	-7,43	OK	<0 MPa
	dolní	10,9	-15,59	-4,69	OK	<0 MPa
CO4	horní	-1	-3,13	-4,13	OK	<0 MPa
	dolní	0,6	-15,59	-14,99	OK	<0 MPa
U rámové stojky						
		$\sigma_{\text{od vnitřních sil}}$	$\sigma_{\text{od předpětí}}$	$\sigma_{\text{celkem}}$		
CO5	horní	-8	-9,62	-17,62		
	dolní	8,5	-8,06	0,44		
CO7	horní	-9,2	-9,62	-18,82	OK	<0 MPa
	dolní	1,2	-8,06	-6,86	OK	<0 MPa
CO8	horní	-2,7	-9,62	-12,32	OK	<0 MPa
	dolní	-7,5	-8,06	-15,56	OK	<0 MPa
U pylonu						
		$\sigma_{\text{od vnitřních sil}}$	$\sigma_{\text{od předpětí}}$	$\sigma_{\text{celkem}}$		
CO9	horní	0,1	-6,017	-5,917		
	dolní	7,2	-12,248	-5,048		
CO11	horní	-6,2	-6,017	-12,217	OK	<0 MPa
	dolní	2,6	-12,248	-9,648	OK	<0 MPa
CO12	horní	-3,3	-6,017	-9,317	OK	<0 MPa
	dolní	-2,3	-12,248	-14,548	OK	<0 MPa

Posuzované průřezy vyhoví na mezní stav omezení trhlin.

Následující tabulka je stejná jako, tabulky , ale jen s tím rozdílem, že nejsou uvažované ztráty předpětí 15%, ale 25%. Z toho vyplývá, že následující tabulky (Tab. 22, 23) se týkají mezního stavu omezení napětí a mezního stavu omezení trhlin na konci životnosti konstrukce.

Tab. 22 posouzení na mezní stav omezení napětí pro konstrukci na konci životnosti.

Zatížení	Vlákna	střed rozpětí				
		$\sigma$ Od vnitřních sil	$\sigma$ Od předpětí	$\sigma$ celkem		
CO1	horní	2	-2,76	-0,76		
	dolní	17,5	-14,37	3,13		
CO3	horní	-4,3	-2,76	-7,06	OK	<21,0 MPa
	dolní	10,9	-14,37	-3,47	OK	<21,0 MPa
CO4	horní	-1	-2,76	-3,76	OK	<15,8 MPa
	dolní	0,6	-14,37	-13,77	OK	<15,8 MPa
U rámové stojky						
		$\sigma$ Od vnitřních sil	$\sigma$ Od předpětí	$\sigma$ celkem		
CO5	horní	-8	-8,49	-16,49		
	dolní	8,5	-7,12	1,38		
CO7	horní	-9,2	-8,49	-17,69	OK	<21,0 MPa
	dolní	1,2	-7,12	-5,92	OK	<21,0 MPa
CO8	horní	-2,7	-8,49	-11,19	OK	<15,8 MPa
	dolní	-7,5	-7,12	-14,62	OK	<15,8 MPa
U pylonu						
		$\sigma$ Od vnitřních sil	$\sigma$ Od předpětí	$\sigma$ celkem		
CO9	horní	0,1	-5,309	-5,209		
	dolní	7,2	-10,807	-3,607		
CO11	horní	-6,2	-5,309	-11,509	OK	<21,0 MPa
	dolní	2,6	-10,807	-8,207	OK	<21,0 MPa
CO12	horní	-3,3	-5,309	-8,609	OK	<15,8 MPa
	dolní	-2,3	-10,807	-13,107	OK	<15,8 MPa

Posuzované průřezy vyhovují z hlediska omezení napětí.

Následující tabulka se týká mezního stavu omezení trhlin:



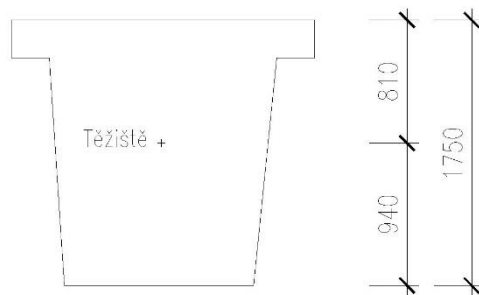
Tab. 23 posouzení na mezní stav omezení trhlin na konci životnosti.

Zatížení	Vlákna	střed rozpětí				
		$\sigma_{\text{Od vnitřních sil}}$	$\sigma_{\text{Od předpětí}}$	$\sigma_{\text{celkem}}$		
CO1	horní	2	-2,76	-0,76		
	dolní	17,5	-14,37	3,13		
CO3	horní	-4,3	-2,76	-7,06	OK	<0 MPa
	dolní	10,9	-14,37	-3,47	OK	<0 MPa
CO4	horní	-1	-2,76	-3,76	OK	<0 MPa
	dolní	0,6	-14,37	-13,77	OK	<0 MPa
U rámové stojky						
		$\sigma_{\text{Od vnitřních sil}}$	$\sigma_{\text{Od předpětí}}$	$\sigma_{\text{celkem}}$		
CO5	horní	-8	-8,49	-16,49		
	dolní	8,5	-7,12	1,38		
CO7	horní	-9,2	-8,49	-17,69	OK	<0 MPa
	dolní	1,2	-7,12	-5,92	OK	<0 MPa
CO8	horní	-2,7	-8,49	-11,19	OK	<0 MPa
	dolní	-7,5	-7,12	-14,62	OK	<0 MPa
U pylonu						
		$\sigma_{\text{Od vnitřních sil}}$	$\sigma_{\text{Od předpětí}}$	$\sigma_{\text{celkem}}$		
CO9	horní	0,1	-5,309	-5,209		
	dolní	7,2	-10,807	-3,607		
CO11	horní	-6,2	-5,309	-11,509	OK	<0 MPa
	dolní	2,6	-10,807	-8,207	OK	<0 MPa
CO12	horní	-3,3	-5,309	-8,609	OK	<0 MPa
	dolní	-2,3	-10,807	-13,107	OK	<0 MPa

Konstrukce v posuzovaných průřezích vyhovuje na posouzení mezního stavu omezení napětí a mezního stavu omezení trhlin.

## 8. Posouzení konstrukce na MSÚ

Posouzení na MSÚ se budu věnovat z časových důvodů pouze nejnepříznivějšímu místu z hlediska normálové síly a ohybového momentu. A to průřezu uprostřed rozpětí, kde posuzovaný průřez vypadá takto:



Obr. 76 průřez trámu

### 8.1. Posouzení únosnosti průřezu

$$f_{cd} = 21,0 \text{ MPa}$$

$$b = 1,8 \text{ m}$$

$$n = 0,8$$

$$x_u = \text{to hledám}$$

Síla v předpínací výztuži – předpoklad plného zplastizování

$$N_{pd} = A_p * f_{pd} \text{ kde,}$$

$$A_p = 0,018 \text{ m}^2$$

$$f_{pd} = 1423,304 \text{ MPa}$$

$$N_{pd} = 0,018 * 1423,304 = 25,619 \text{ MN (vyvozující tlakové napětí)}$$

Vnitřní síly v konstrukci:

$$N = 19,250 \text{ MN}$$

$M_y = 3,607 \text{ MNm}$  – moment, který musí předpínací výztuž přenést

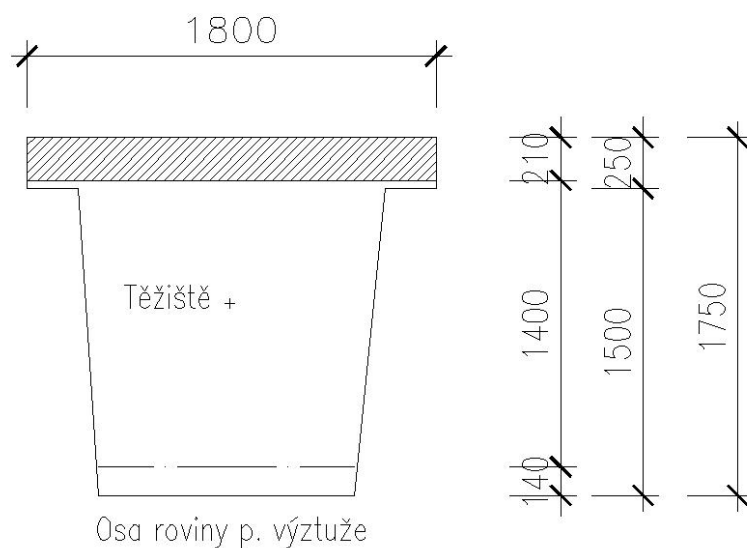
Celková normálová síla v průřezu:

$$N_c = N_{pd} - N = 25,619 - 19,250 = 6,369 \text{ MN (vyvozující tlakové napětí)}$$

V průřezu tedy zbyde síla 6,369 MN.

Výška tlačené oblasti

$$x = N_c / (b * n * f_{cd}) = 6,369 / (1,8 * 0,8 * 21,0) = 0,2107 \text{ m}$$



Obr.77 průřez trámu se znázorněnou tlačnou částí betonu.

Pro kontrolu:

$N_{cd} = x * n * b * f_{cd} = 0,2107 * 0,8 * 1,8 * 21,0 = 6,371 \text{ MN}$  (hodnoty si odpovídají, rozdíl je způsoben zaokrouhlováním)

Rameno vnitřních sil:

$$z = 1,75 - 0,2107/2 - 0,14 = 1,505 \text{ m}$$

výška průřezu – 1,75 m

výška tlačené oblasti - 0,2107 m

vzdálenost ideálního kabelu od spodních vláken – 0,14 m

Moment únosnosti:

$M_{rd} = N_{cd} * z = 6,369 * 1,505 = 9,5583 \text{ MNm} < M_{ed} = 3,607 \text{ MNm}$ , **průřez na ohybovou únosnost vyhovuje**

## 9. Závěr

Cíle, které jsem si na počátku této práce stanovil, návrh, výpočet a výkresová dokumentace zavěšené mostní konstrukce, jsem dle mého soudu dosáhl. Nutno ovšem také dodat, že výpočetní model, který je základem této práce nebyl plně využit.

Navržená konstrukce vyhověla vybraným posouzením na MSP a MSÚ. Bohužel z časových důvodů, jsem nebyl schopen detailně rozebrat tuto konstrukci. Tato práce se jen okrajově dotkla navrhování zavěšené konstrukce. V této práci chybí detailní posouzení dalších průřezů, posouzení příčníků, posouzení spodní stavby, posouzení závěsů, posouzení mostovky a mnoho dalšího. Nicméně jedním z cílů byl návrh a výkresová dokumentace. Kde výkresová dokumentace je hlavní součástí příloh. Návrh a výpočet byl proveden pomocí programu SCIA Engineer 16.1 a tabulkového editoru Microsoft Excel. V programu SCIA se mi povedlo vytvořit fungující 3D model, jehož výstupy byly v této práci použity.

Jsem toho názoru, že při podrobnějším zkoumání fungování konstrukce a doplněním výpočetního modelu o výše zmíněné prvky by mohlo vést k velmi zajímavé práci, která by konstrukci posoudila velmi detailně a komplexně. Doufám, že se k této konstrukci v rámci dalšího rozvíjení ještě vrátím a svou práci na této konstrukci ještě rozšířím.

## Seznam obrázků:

*Obr. 1 – průřez trámu*

*Obr. 2 Příčný řez konstrukce*

*Obr.3 podélný řez konstrukce*

*Obr. 4 příčinková čára momentu nad rámovou stojkou*

*Obr.5 příčinková čára průřezu u pylonu.*

*Obr. 6 ZS1 – momenty od zatížení vlastní vahou*

*Obr. 7 – ZS2 momenty od průměrného ostatního zatížení*

*Obr. 8 – ZS3 momenty od sníženého ostatního stálého zatížení*

*Obr. 9 ZS4 momenty od zvýšeného stálého zatížení*

*Obr. 10 ZS5 momenty od poklesu přechodového pilíře*

*Obr.11 ZS6 – momenty od poklesu rámové stojky.*

*Obr.12 ZS7 – momenty od poklesu pylonu 1.*

*Obr. 13 ZS8 – momenty od poklesu pylonu 2.*

*Obr. 14 ZS9 – momenty od poklesu rámové stojky 2.*

*Obr. 15 ZS10 – momenty od poklesu opěry.*

*Obr. 16 ZS11 – zatížení od dvounápravy pro maximální ohybový moment uprostřed rozpětí.*

*Obr. 17 ZS12 – momenty od spojitého zatížení LM1, pro maximální moment uprostřed rozpětí.*

*Obr. 18 ZS13 momenty od nerovnoměrného ohřátí mostovky +15°C.*

*Obr. 19 ZS14 momenty od nerovnoměrného ochlazení -15°C.*

*Obr. 20 ZS15 momenty od rovnoměrného ohřátí konstrukce +15°C.*

*Obr. 21 ZS16 momenty od rovnoměrného ochlazení -15°C.*

*Obr. 22 ZS17 momenty od ohřátí závěsů.*

*Obr. 23 ZS18 momenty od ochlazení závěsů.*

*Obr. 24 ZS19 momenty od ohřátí pylonu.*

*Obr. 25 ZS20 momenty od ochlazení pylonu.*

*Obr. 26 ZS21 momenty od nerovnoměrného ohřátí pylonu.*

*Obr. ZS27 momenty od nerovnoměrného ohřátí konstrukce – kolmé.*

*Obr. 28 ZS23 momenty od nerovnoměrného ochlazení konstrukce – kolmé.*

*Obr. 29 ZS24 momenty od nerovnoměrného ochlazení pylonu.*

*Obr. 30 ZS25 momenty od ohřátí příčle.*

*Obr. 31 ZS26 momenty od ochlazení příčle.*

*Obr. 32 ZS27 v tomto případě se nejedná o jeden zatěžovací stav, ale o sérii zatěžovacích stavů, které měli vytvořit obálku ohybových momentů od dvounápravy.*

*Obr. 33 ZS28 obálka od zatížení LM1 UDL.*

*Obr. 34 – momenty od rektifikace.*

*Obr. 35 momenty od kombinace CO1.*

*Obr. 36 napětí v horních vláknech pro CO1.*

*Obr. 37 normálová síla pro kombinaci CO1.*

*Obr. 38 napětí dolních vláken pro CO1*

*Obr. 39 momenty od CO3.*

*Obr. 40 Normálové síly pro kombinaci CO3.*

*Obr. 41 napětí ve spodních vláknech pro CO3.*

*Obr. 42 napětí v horních vláknech pro CO3*

*Obr. 43 napětí v horních vláknech pro CO4.*

*Obr. 45 momenty od CO4.*

*Obr. 46 normálové síly pro CO4.*

*Obr. 47 napětí ve spodních vláknech od CO4.*

*Obr. 48 moment od CO5.*

*Obr. 49 normálové síly od CO5.*

*Obr. 50 napětí ve spodních vláknech pro CO5.*

*Obr. 51 napětí v horních vláknech pro CO5.*

*Obr. 52 momenty od CO7.*

*Obr. 53 normálové síly od CO7.*

*Obr. 54 napětí ve spodních vláknech.*

*Obr. 55 napětí v horních vláknech pro CO7.*

*Obr. 56 momenty od CO8.*

*Obr. 57 normálová síla pro CO8.*

*Obr. 58 napětí ve spodních vláknech pro CO8.*

*Obr. 59 napětí v horních vláknech pro CO8.*

*Obr.60 momenty pro CO9.*

*Obr. 61 normálové síly pro CO9.*

*Obr. 62 napětí v horních vláknech pro CO9.*

*Obr. 63 napětí v dolních vláknech pro CO9.*

*Obr. 64 momenty pro CO11.*

*Obr. 65 normálové síly pro CO11.*

*Obr. 66 napětí v horních vláknech pro CO11.*

*Obr. 67 napětí ve spodních vláknech pro CO11.*

*Obr. 68 momenty pro CO12.*

*Obr. 69 normálové síly pro CO12.*

*Obr. 70 napětí v horních vláknech pro CO12.*

*Obr. 70 napětí v dolních vláknech pro CO12.*

*Obr. 71 Průřez trámu.*

*Obr. 72 trám a osy přepínací výztuže.*

*Obr. 73 průběh napětí pro názornost. Od CO1-4.*

*Obr. 74 průběh napětí pro názornost. Od CO5-8.*

*Obr. 75. Průběh napětí pro názornost. Od CO9-12.*

*Obr. 76 průřez trámu*

*Obr.77 průřez trámu se znázorněnou tlačenou částí betonu.*

*Obr 78. příčinková čára průřezu uprostřed rozpětí.*

### **Seznam tabulek:**

*Tab. 1 – průřezové charakteristiky posuzovaných průřezů spočítaných pomocí programu AutoCAD.*

*Tab. 2 – použité součinitele pro výpočet kombinací.*

*Tab. 3 použité součinitele pro proměnné zatížení.*

*Tab.4 Spočítané vnitřní síly od výše uvedených zatěžovacích stavů v přehledné tabulce.*

*Tab.5 – Výsledky z kombinací pro průřez ve středu rozpětí.*

*Tab.6 – Výsledky z kombinací pro průřez u rámové stojky.*

*Tab.7 – Výsledky z kombinací pro průřezu u pylonu.*

*Tab. 8 Průřezové charakteristiky pro výpočet.*

*Tab. 9 výpočet předpětí část 1.*

*Tab. 10 výpočet předpětí část 2.*

*Tab. 11 výpočet předpětí část 3.*

*Tab. 12 Průřezové charakteristiky.*

*Tab. 13 Výpočet předpětí část 1.*

*Tab. 14 Výpočet předpětí část 2.*

*Tab. 15 Výpočet předpětí část 3.*

*Tab. 16 průřezové charakteristiky.*

*Tab. 17 výpočet předpětí část 1.*

*Tab. 18 výpočet předpětí část 2.*

*Tab. 19 výpočet předpětí část 3.*

*Tab. 20 posouzení průřezů na mezní stav omezení napětí v provozním stádiu.*

*Tab. 21 posouzení na mezní stav omezení trhlin v provozním stádiu.*

*Tab. 22 posouzení na mezní stav omezení napětí pro konstrukci na konci životnosti.*

*Tab. 23 posouzení na mezní stav omezení trhlin na konci životnosti.*

### **Přílohy:**

*Příloha 1 – příčný řez konstrukcí*

*Příloha 2 – podélný řez konstrukcí*

*Příloha 3 – podélný řez pylonem*

*Příloha 4 – přechod mezi starou a novou konstrukcí – řez novou konstrukcí*

*Příloha 5 – přechod mezi starou a novou konstrukcí – schéma původní konstrukce*

*Příloha 6 – přechod mezi starou a novou konstrukcí – porovnání*

*Příloha 7 – alternativní příčný řez*

*Příloha 8 -alternativní řez pylonem var. 2*

*Příloha 9 – alternativní řez pylonem var. 3*

*Příloha 10 – alternativní řez pylonem var. 4*

*Příloha 11 – alternativní podélný řez var a*

*Příloha 12 – alternativní podélný řez var. B*

*Příloha 13 – podrobná příčinková čára průřezu nad rámovou stojkou*

*Příloha 14 – podrobná příčinková čára průřezu u pylonu*

*Příloha 15 – podrobná příčinková čára průřezu uprostřed rozpětí*

*Příloha 16 - mini-studie příčinkových čar 2D.*

*Příloha 17 - mini-studie příčinkových čar 3D.*

*Příloha 18 -mini-studie příčinkových čar, pouze pevné podpory*