

# ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Katedra betonových a zděných konstrukcí



**Estakáda na obchvatu Plzně**

**Viaduct at bypass of Plzeň**

Bakalářská práce

Studijní program: Stavební inženýrství

Studijní obor: Konstrukce a dopravní stavby

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

**Lucie Navarová**

Praha 2020

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Navarová** Jméno: **Lucie** Osobní číslo: **468586**  
Fakulta/ústav: **Fakulta stavební**  
Zadávající katedra/ústav: **Katedra betonových a zděných konstrukcí**  
Studijní program: **Stavební inženýrství**  
Studijní obor: **Konstrukce a dopravní stavby**

## II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

**Estakáda na obchvatu Plzně**

Název bakalářské práce anglicky:

**Viaduct at bypass of Plzeň**

Pokyny pro vypracování:

Seznam doporučené literatury:

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

**doc. Ing. Roman Šafář, Ph.D., katedra betonových a zděných konstrukcí FSV**

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **06.02.2020**

Termín odevzdání bakalářské práce: **24.05.2020**

Platnost zadání bakalářské práce: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
doc. Ing. Roman Šafář, Ph.D.  
podpis vedoucí(ho) práce

\_\_\_\_\_  
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

\_\_\_\_\_  
prof. Ing. Jiří Máca, CSc.  
podpis děkana(ky)

## III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Studentka bere na vědomí, že je povinna vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

\_\_\_\_\_  
Datum převzetí zadání

\_\_\_\_\_  
Podpis studentky

# ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracovala samostatně, za odborného vedení doc. Ing. Romana Šafáře, Ph.D.

Dále prohlašuji, že veškerá literatura, normy a zdroje ze kterých jsem čerpala jsou řádně uvedeny v seznamu použité literatury.

V Praze, 24.5.2020

Lucie Navarová

# PODĚKOVÁNÍ

Poděkování patří především vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Romanu Šafářovi, Ph.D. za trpělivost, vynaložený čas a odborné rady.

Dále bych chtěla poděkovat rodině a přátelům za podporu.

## **ANOTACE**

Předmětem této bakalářské práce je návrh a posouzení mostní konstrukce na městském okruhu v Plzni. Celková délka mostu je 219,945 m, most je možno rozdělit na část „estakáda“ a na most přes řeku Mži. Bakalářská práce obsahuje varianty řešení mostu přes řeku, výběr výsledné varianty, kterým je oblouková konstrukce o rozpětí 26,750+31,000+96,630+31,000+26,750 m a podrobnější rozpracování této konstrukce. Mostní konstrukce je monolitická železobetonová, mostovka je jednotrámová z dodatečně předpjatého betonu. Pilíře i vzpěry jsou s mostovkou propojeny rámově, pouze na přechodovém pilíři a na koncové opěře je mostovka uložena na hrncových ložiscích.

Obsahem práce je technická zpráva, statický výpočet a přehledné výkresy.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

estakáda, předpjatý beton, silniční most, obloukový most, městský okruh

## **ABSTRACT**

The aim of this bachelor thesis is design of a bridge on the city motorway circuit at Pilsen. The overall length of the bridge is 219,945 m, the whole structure can be divided into a part 'viaduct' and a part of the bridge over Mže river. This bachelor thesis contains variants of the arrangement of the bridge over the river, the choice of the final solution, which is an arch structure of the spans of 26,750+31,000+96,630+31,000+ 26,750 m m and a more detailed elaboration of this structure. The bridge structure is cast-in-situ, the bridge deck is a single-beam structure made of post-tensioned concrete. Piers and struts are connected to the bridge deck by frame corners, except for the transition pier and the end abutment, where the bridge deck is laid on pot bearings.

The content of this work is technical report, structural design and drawings.

## **KEYWORDS**

viaduct, prestressed concrete, road bridge, arch bridge, motorway circuit

## POUŽITÁ LITERATURA

- [1] ŠAFÁŘ, Roman. *Betonové mosty 2: přednášky*. V Praze: České vysoké učení technické, 2014. ISBN 978-80-01-05543-4
- [2] ŠAFÁŘ, Roman. *Betonové mosty 2 - cvičení: návrh předpjatého mostu podle Eurokódů*. 1. vyd. V Praze: České vysoké učení technické, 2015. ISBN 978-80-01-05690-5
- [3] ČSN 73 6200: *Mostní názvosloví*. Úřad pro normalizaci a měření, 1975
- [4] ČSN 73 6201: *Projektování mostních objektů*. ČNI – Český normalizační institut, 2008
- [5] ČSN 73 6214: *Navrhování betonových mostních konstrukcí*. UNMZ – Úřad pro technickou normalizaci, meteorologii a státní zkušebnictví, 2014
- [6] ČSN 73 6222: *Zatížitelnost mostů pozemních komunikací*. Červenec. UNMZ – Úřad pro technickou normalizaci, meteorologii a státní zkušebnictví, 2013
- [7] ČSN EN 1990: *Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí*. ČNI – Český normalizační institut, 2004
- [8] ČSN EN 1991-1-1: *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-1: Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních komunikací*. UNMZ – Úřad pro technickou normalizaci, meteorologii a státní zkušebnictví, 2004
- [9] ČSN EN 1991-1-4: *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-4: Obecná zatížení – Zatížení větrem*. UNMZ – Úřad pro technickou normalizaci, meteorologii a státní zkušebnictví, 2007
- [10] ČSN EN 1991-1-5: *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-5: Obecná zatížení – zatížení teplotou*. Květen. ČNI – Český normalizační institut, 2015
- [11] ČSN EN 1991-2: *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 2: Zatížení mostů dopravou*. Listopad. UNMZ – Úřad pro technickou normalizaci, meteorologii a státní zkušebnictví, 2015
- [12] ČSN EN 1992-1-1: *Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby*. UNMZ – Úřad pro technickou normalizaci, meteorologii a státní zkušebnictví, 2019
- [13] ČSN EN 1992-2: *Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí – Část 2: Betonové mosty – Navrhování a konstrukční zásady*. UNMZ – Úřad pro technickou normalizaci, meteorologii a státní zkušebnictví, 2007

# ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Katedra betonových a zděných konstrukcí



Estakáda na obchvatu Plzně

Viaduct at bypass of Plzeň

## TECHNICKÁ ZPRÁVA

# OBSAH

<b>1. IDENTIFIKAČNÍ ÚDAJE MOSTU .....</b>	<b>9</b>
<b>2. ZÁKLADNÍ ÚDAJE O STAVBĚ .....</b>	<b>9</b>
<b>3. ZDŮVODNĚNÍ A UMÍSTĚNÍ STAVBY .....</b>	<b>10</b>
3.1. ÚČEL STAVBY.....	10
3.2. CHARAKTER PŘEVÁDĚNÉ KOMUNIKACE .....	10
3.3. CHARAKTER PŘEMOSŤOVANÉ PŘEKÁŽKY .....	10
3.4. GEOLOGICKÉ PODMÍNKY .....	10
<b>4. TECHNICKÉ ŘEŠENÍ MOSTU .....</b>	<b>11</b>
4.1. VARIANTY ŘEŠENÍ NOSNÉ KONSTRUKCE .....	11
4.1.1. LETMO BETONOVANÁ KONSTRUKCE .....	11
4.1.2. SPŘAŽENÁ KONSTRUKCE.....	12
4.1.3. JEDNOTRÁM S NÁBĚHY .....	13
4.1.4. OBLOUK S HORNÍ MOSTOVKOU A SE VZPĚRAMI .....	13
4.2. POPIS HLAVNÍ KONSTRUKCE.....	14
4.2.1. SPODNÍ STAVBA .....	14
4.2.2. NOSNÁ KONSTRUKCE .....	14
4.2.3. SVRŠEK A VYBAVENÍ .....	15
<b>5. POSTUP VÝSTAVBY .....</b>	<b>16</b>
<b>6. STATICKÝ VÝPOČET .....</b>	<b>16</b>



# 1. IDENTIFIKAČNÍ ÚDAJE MOSTU

Akce:	Městský okruh v Plzni
Stavební objekt:	Estakáda přes inundační území řeky Mže, dilatační úsek C
Kraj:	Plzeňský kraj
Katastrální území:	Křimice (676195), Radčice u Plzně (737411)
Investor:	Magistrát města Plzně, Odbor investic, Jagellonská 8, 306 32 Plzeň
Převáděná komunikace:	městský okruh
Přemostování překážka:	řeka Mže, sil. III/18050

# 2. ZÁKLADNÍ ÚDAJE O STAVBĚ

Charakteristika mostu dle ČSN 73 6200, článek 15:

Druh převáděné komunikace:	pozemní komunikace
Překračovaná překážka:	přes řeku a pozemní komunikaci
Počet mostních otvorů:	o pěti polích
Počet mostovkových podlaží:	jednopodlažní most
Výšková poloha mostovky:	horní mostovka
Měnitelnost základní polohy:	nepohyblivý
Plánovaná doba trvání:	trvalý
Průběh trasy na mostě:	směrově v oblouku, výškově se vzestupným sklonem
Situační uspořádání:	kolmý
Hmotná podstata:	masivní
Členitost konstrukce:	plnostěnný
Statická funkce konstrukce:	obloukový se vzpěrami
Uspořádání příčného řezu:	otevřeně uspořádaný
Omezená volná výška:	s neomezenou volnou výškou
Délka přemostění:	209,310 m
Délka mostu:	219,945 m
Délka nosné konstrukce:	212,490 m
Rozpětí polí:	26,750+31,000+96,630+31,000+ 26,750 m
Rozpětí polí mostovky nad obloukem:	5x19,320 m
Volná šířka mostu:	7,50 m
Šířka mezi zábradlími:	9,65 m
Šířka nosné konstrukce:	9,30 m
Výška mostu nad terénem:	~14,2 m
Stavební výška:	1,800 m
Plocha mostu:	2019,84 m <sup>2</sup>
Zatížení mostu:	sk. pozemních komunikací 1 dle ČSN EN 1991-2, včetně LM3-1800/200

## **3. ZDŮVODNĚNÍ A UMÍSTĚNÍ STAVBY**

### **3.1. ÚČEL STAVBY**

Navrhovaný úsek je součástí nově budovaného městského okruhu v Plzni. Estakáda přes inundační území řeky Mže se skládá ze tří dilatačních úseků. V rámci této práce je navrhován poslední dilatační celek, který překračuje řeku Mži a sil. III/18050.

### **3.2. CHARAKTER PŘEVÁDĚNÉ KOMUNIKACE**

Převáděnou komunikací je jižní větev městského okruhu v Plzni, příčné uspořádání je navrženo jako polovina MS4d-/19/80, s výhledovým rozšířením komunikace (tj. dobudováním druhé estakády).

### **3.3. CHARAKTER PŘEMOSTOVANÉ PŘEKÁŽKY**

Estakáda je situována v extravilánu a překonává tok řeky Mže. Na pravém břehu navazuje předchozí dilatační úsek, na levém břehu překonává stávající sil. III/18050 spojující Radčice a Plzeň a končí na opěře založené na skalním podloží zhruba 20 m nad údolím řeky Mže.

### **3.4. GEOLOGICKÉ PODMÍNKY**

Pro projekt byl zpracován podrobný geologicko-inženýrský průzkum zájmového území firmou GeoTecGS, a.s. v roce 2011. Vrt J112 se skladbou vrstev podloží je zobrazen v Podélném řezu (Příloha č. 2).

Objekt se nachází v těsné blízkosti řeky Mže, a tak je svrchní vrstva značně rozvolněná. Do hloubky 1,5 m se jedná o hlínu písčitou s navážkou, do hloubky 5,7 m potom štěrk jílovitý, následují vrstvy zvětralého jílovce a prachovce o mocnostech 0,6 m respektive 1,10 m a v hloubkách okolo 13–14 m byl zastížen pískovcový masiv.

Piloty pilířů budou vetknuty do pískovcového masivu, na pravém břehu řeky Mže se pískovcový masiv nachází v relativně malé hloubce a je možné na něm plošně založit opěru a pilíř P37.

Základové bloky jsou umístěny v méně únosných vrstvách v blízkosti řeky Mže a proto musí být provedeno zlepšení zeminy tryskovou injektáží.

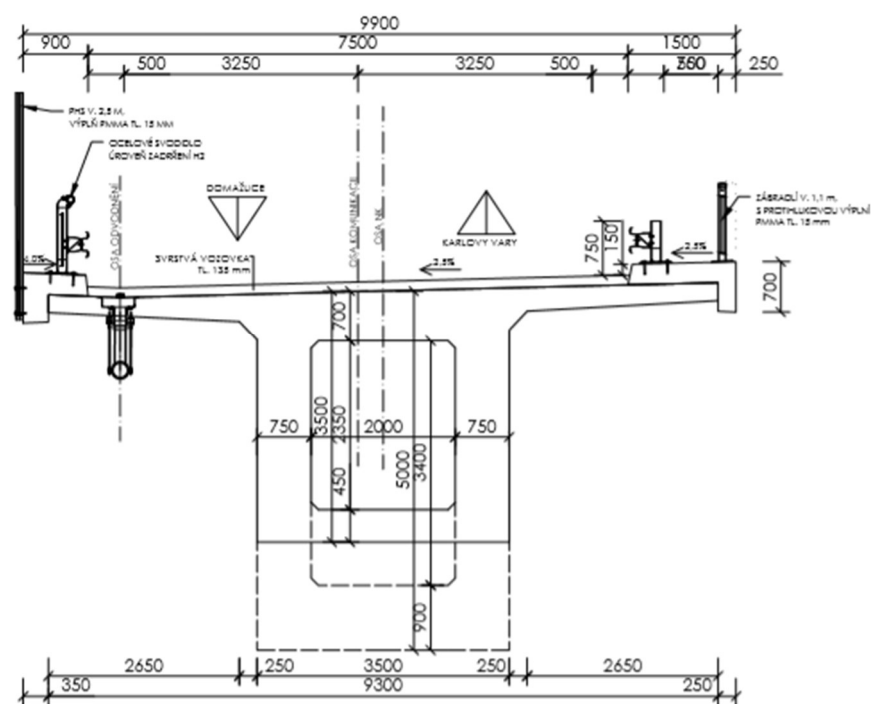
## 4. TECHNICKÉ ŘEŠENÍ MOSTU

### 4.1. VARIANTY ŘEŠENÍ NOSNÉ KONSTRUKCE

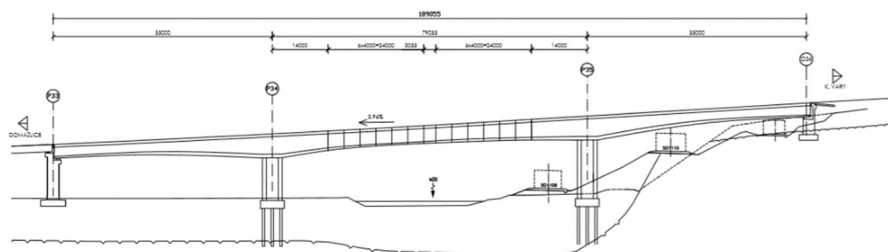
Při návrhu nosné konstrukce byly uvažovány následující varianty:

#### 4.1.1. LETMO BETONOVANÁ KONSTRUKCE

Tato varianta se přímo nabízí s ohledem na rozpětí mostního pole překonávajícího řeku Mži, její nevýhodou je finanční náročnost a nutná změna průřezu oproti předchozím polím.



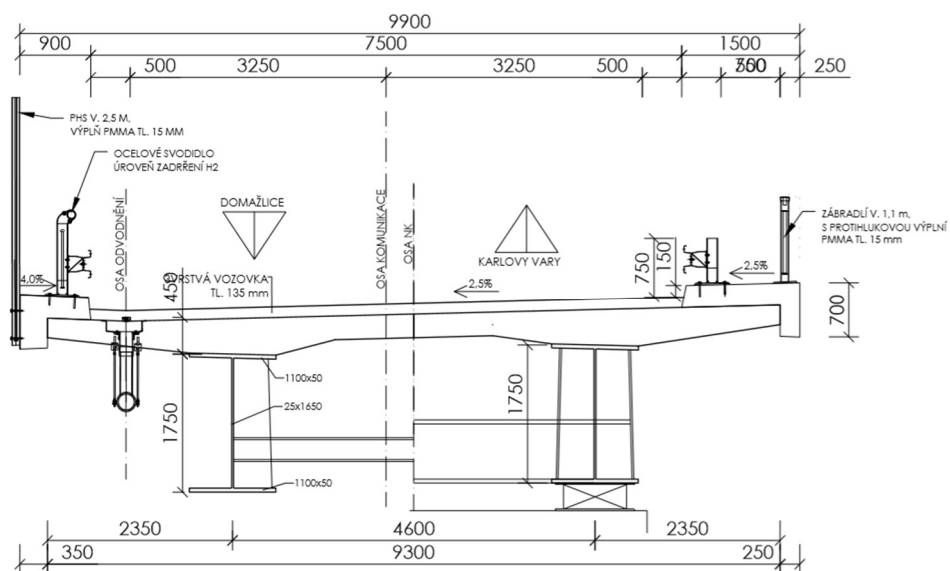
Obrázek 1: Letmo betonovaná konstrukce – příčný řez



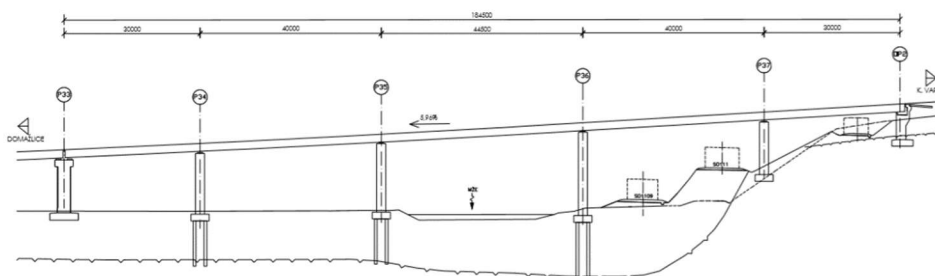
Obrázek 2: Letmo betonovaná konstrukce – podélný řez

## 4.1.2. SPŘAŽENÁ KONSTRUKCE

Návrh spřažené konstrukce je dobrým řešením s ohledem na zvýšení únosnosti nosné konstrukce v dlouhém poli přes řeku Mži, nevýhoda tohoto typu konstrukce je především cena ocelových prvků a změna průřezu oproti ostatním dilatačním celkům.



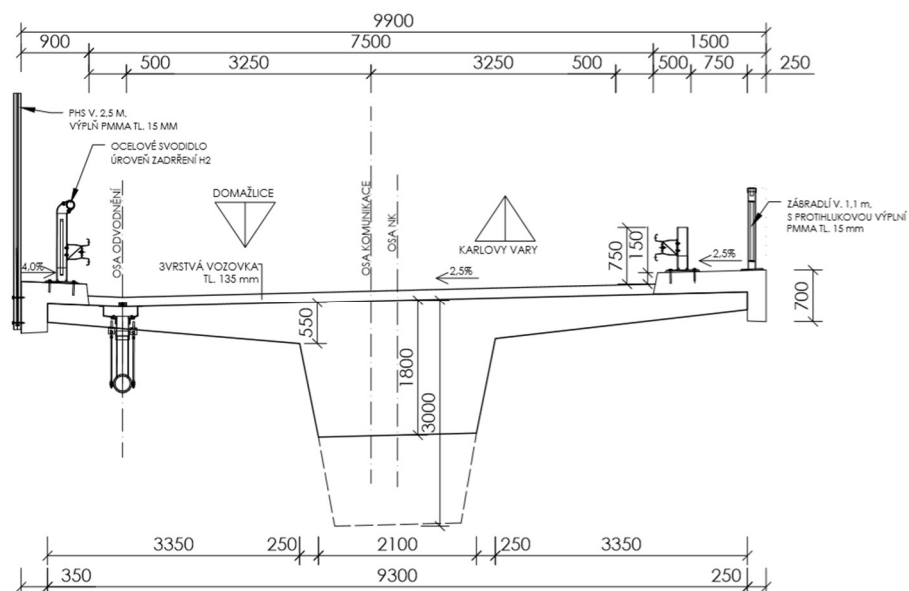
Obrázek 3: Spřažená konstrukce – příčný řez



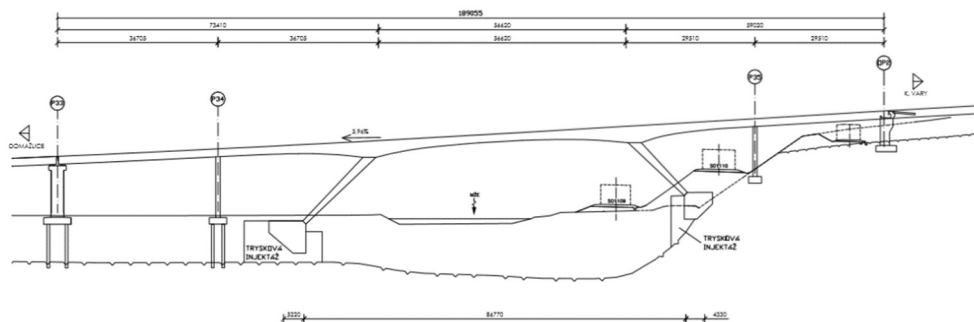
Obrázek 4: Spřažená konstrukce – podélný řez

### 4.1.3. JEDNOTRÁM S NÁBĚHY

Návrh jednotrámové konstrukce s náběhy má výhodu s ohledem na průřez, který je nezměněný oproti ostatním částem konstrukce, zvýšení únosnosti v dlouhém poli přes řeku Mži je dosaženo pomocí náběhů.



Obrázek 5: Jednotrám s náběhy – příčný řez



Obrázek 6: Jednotrám s náběhy – podélný řez

### 4.1.4. OBLOUK S HORNÍ MOSTOVKOU A SE VZPĚRAMI

Další zvažovanou variantou pro řešení navrhovaného úseku estakády byla možnost obloukové nosné konstrukce se vzpěrami, které jsou rámově spojeny s mostovkou. Tato varianta byla nakonec zvolena a dále rozpracována v rámci této bakalářské práce.

## 4.2. POPIS HLAVNÍ KONSTRUKCE

### 4.2.1. SPODNÍ STAVBA

Řešená část estakády začíná na přechodovém pilíři, na němž končí předchozí dilatační úsek. Na přechodovém pilíři je navrhovaný dilatační úsek uložen na dvou hrncových ložiscích – jedno ložisko je podélně posuvné, druhé je všesměrně posuvné. Přechodový pilíř je konstantního průřezu 2,4 x 2,8 m, se základem o rozměrech 5,40 x 6,80 m, založený hlubinně na vrtaných velkopřůměrových pilotách.

Most je ukončen monolitickou železobetonovou opěrou s rovnoběžnými křídly, na níž je nosná konstrukce rovněž uložena na hrncových ložiscích. Vzhledem k plánovanému rozšíření mostu o další rovnoběžnou nosnou konstrukci pro druhý jízdní pás je opěra řešena tak, aby umožnila snadné odtěžení části násypu a rozšíření spodní stavby.

Dále jsou v rámci spodní stavby navrženy pilíře konstantního průřezu 1,2 x 2,0 m a rozdílných výšek se základy o rozměru 5,0 x 5,0 m. Pilíře jsou založeny hlubinně, návrh založení není předmětem této bakalářské práce.

Oblouková nosná konstrukce je vetknutá do masivních základových bloků. Oba bloky jsou založené plošně v zemině zlepšené tryskovou injektáží z důvodu nízké únosnosti podloží na březích řeky Mže.

### 4.2.2. NOSNÁ KONSTRUKCE

Nosná konstrukce mostu se skládá z oblouku tvaru paraboly 2. stupně, vzpěr a mostovky. Mostovka má tvar jednotrámu (stejný průřez jako na předcházejících dilatačních úsecích estakády) a je realizována z předpjatého betonu. Horní povrch mostovky je v jednostranném sklonu 2,5 %, pod levou římsou je protispád 4,0 % směrem k odvodnění. Stavební výška je konstantní po celé délce mostu, a to 1,935 m.

Oblouk je v podélném směru přímý, zatímco mostovka je vedena směrovým obloukem o poloměru 1000 m. Vzpěry jsou proto navrženy v příčném směru šikmé – krajní jsou nakloněny na vnější stranu směrového oblouku, vnitřní jsou nakloněny ke středu směrového oblouku. Průřez vzpěr je konstantní obdélníkový 1,6 x 0,4 m. Vzpěry jsou s mostovkou spojeny rámově, stejně tak jako všechny pilíře v dilatačním úseku. Na opěře a přechodovém pilíři je mostovka uložena na ložiscích.

Pro optimalizaci střednice oblouku byly vytvořeny tři modely ve výpočetním softwaru SCIA Engineer, a to ve tvaru paraboly 2. stupně a dvě varianty tvaru paraboly 4. stupně. Porovnáním průběhů vnitřních sil od rozhodujících zatěžovacích stavů bylo vyhodnoceno, že neoptimálnější z hlediska namáhání konstrukce bude navrhovat oblouk se střednicí tvaru paraboly 2. stupně.

Průřez oblouku má konstantní šířku 3,5 m a proměnnou výšku – ve vrcholu 1,0 m a v místě uložení 1,75 m.

Nosná konstrukce je z betonu C35/45, betonářská výztuž je z oceli B500B. Pro dodatečné předpětí mostovky jsou použity kabely se soudržností z lan 15,7 mm s  $f_{pk} = 1860$  MPa, třída relaxačního chování 2 (dráty a lana s velmi nízkou relaxací). Vzhledem k rámovému propojení mostovky se vzpěrami a s obloukem jsou použity plastové kanálky jako zvýšená ochrana proti bludným proudům (úroveň ochrany předpínací výztuže PL2).

#### 4.2.3. SVRŠEK A VYBAVENÍ

Na mostě je navržena třívrstvá vozovka s následující skladbou:

obrusná vrstva SMA 11S	tl. 40 mm
ložná vrstva ACL 16S	tl. 50 mm
ochranná vrstva MA 11 IV	tl. 40 mm
izolace NAIP	tl. 5 mm
pečetící vrstva	
celkem	tl. 135 mm

Po obou stranách mostu jsou navrženy železobetonové římsy, levá římsa o šířce 0,90 m a pravá římsa o šířce 1,50 m. Na pravé římse je navržen nouzový chodník o šířce 0,75 m.

Na přechodovém pilíři jsou umístěna dvě hrncová ložiska.

Na opěře i na přechodovém pilíři je navržen mostní závěr s rozsahem dilatačních pohybů 160 mm.

V celé délce dilatačního úseku jsou po obou stranách umístěna svodidla s úrovní zadržení H2, vlevo zábradelní svodidlo výšky 1,10 m, vpravo s klasickou svodnicí výšky 0,75 m.

Na pravé straně mostu je osazeno zábradlí výšky 1,10 m. Na levé straně mostu je navržena protihluková stěna výšky 2,50 m.

Odvodnění mostu je zajištěno jednostranným sklonem 2,5 %, při levé římse budou instalovány mostní odvodňovače v intervalu 25 m, které budou svádět srážkovou vodu pod mostní konstrukci.

## **5. POSTUP VÝSTAVBY**

Oblouk je betonován letmo po polovinách s dočasným vyvěšením. Závěsy pro vyvěšení je nutné kotvit do základového bloku oblouku, případně do podloží pomocí skalních nebo zemních kotev.

## **6. STATICKÝ VÝPOČET**

V rámci statického výpočtu byl proveden návrh a posouzení oblouku v mezních stavech použitelnosti a únosnosti.



**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

Fakulta stavební

Katedra betonových a zděných konstrukcí



Estakáda na obchvatu Plzně

Viaduct at bypass of Plzeň

**STATICKÝ VÝPOČET**

# OBSAH

<b>1. MATERIÁLY</b> .....	<b>22</b>
1.1. BETON .....	22
1.1.1. C30/37 .....	22
1.1.2. C35/45 .....	22
1.1.3. C50/60 .....	22
1.2. PŘEDPÍNACÍ VÝZTUŽ .....	23
1.3. BETONÁŘSKÁ VÝZTUŽ .....	23
<b>2. VÝPOČETNÍ MODEL A ZATÍŽENÍ</b> .....	<b>23</b>
2.1. STÁLÁ ZATÍŽENÍ .....	24
2.1.1. Vlastní tíha .....	24
2.1.2. Ostatní stálé zatížení .....	24
2.1.3. Nerovnoměrné posuny podpor .....	26
2.2. PROMĚNNÁ ZATÍŽENÍ .....	26
2.2.1. Zatížení dopravou .....	26
2.2.2. Zatížení chodníků .....	28
2.2.3. Zatížení teplotou .....	28
2.2.4. Zatížení větrem .....	29
2.2.5. Zatížení odstředivými silami .....	30
2.2.6. Zatížení brzdnými silami .....	30
<b>3. PRŮBĚH VNITŘNÍCH SIL</b> .....	<b>31</b>
3.1. VLASTNÍ TÍHA .....	31
3.2. OSTATNÍ STÁLÉ ZATÍŽENÍ .....	31
3.3. SVISLÉ POSUNY .....	32
3.4. VODOROVNÉ POSUNY .....	32
3.5. LM1 TS .....	33
3.6. LM1 UDL .....	33
3.7. LM3 .....	34
3.8. LM4 .....	34
3.9. CHODNÍK VPRAVO .....	35
3.10. CHODNÍK VLEVO .....	35
3.11. ROVNOMĚRNÁ SLOŽKA TEPLoty .....	36
3.12. ROZDÍLOVÁ SLOŽKA TEPLoty .....	36
3.13. VÍTR .....	37
<b>4. KOMBINACE</b> .....	<b>37</b>
4.1. MSÚ .....	37
4.1.1. Hlavní zatížení LM1 .....	37
4.1.2. Hlavní zatížení LM3 .....	38

4.1.3.	Hlavní zatížení LM4 .....	38
4.1.4.	Hlavní zatížení teplotou .....	38
4.2.	MSP .....	38
4.2.1.	Hlavní zatížení LM1 .....	38
4.2.2.	Hlavní zatížení LM3 .....	39
4.2.3.	Hlavní zatížení LM4 .....	39
4.2.4.	Hlavní zatížení teplotou .....	39
4.3.	VÝSLEDNÉ HODNOTY KOMBINACÍ VNITŘNÍCH SIL .....	39
<b>5.</b>	<b>POSOUZENÍ MSÚ .....</b>	<b>56</b>
5.1.	VÝPOČET PRO $N_{max}$ A ODPOVÍDAJÍCÍ VNITŘNÍ SÍLY .....	56
5.2.	POSOUZENÍ PRO OSTATNÍ KOMBINACE VNITŘNÍCH SIL .....	63
5.2.1.	Normálová síla $N_{max}$ .....	63
5.2.2.	Ohybový moment $M_y$ .....	63
5.2.3.	Ohybový moment $M_z$ .....	64
5.3.	POSOUZENÍ KROUCENÍ .....	64
<b>6.</b>	<b>POSOUZENÍ MSP .....</b>	<b>65</b>
6.1.	OMEZENÍ NAPĚTÍ .....	65
6.2.	OMEZENÍ ŠÍŘKY TRHLIN .....	69
6.3.	OMEZENÍ PRŮHYBU .....	71
<b>7.</b>	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>72</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>73</b>
	<b>SEZNAM TABULEK .....</b>	<b>75</b>

# 1. MATERIÁLY

## 1.1. BETON

### 1.1.1. C30/37

Beton C30/37 bude použit na základy a opěru.

charakteristická pevnost v tlaku ve stáří 28 dní	$f_{ck} = 30,0 \text{ MPa}$
průměrná pevnost v tlaku	$f_{cm} = 38,0 \text{ MPa}$
návrhová pevnost v tlaku $f_{cd} = (\alpha_{cc} \times f_{ck}) / \gamma_c = (0,9 \times 30) / 1,5 = 18,0 \text{ MPa}$	
průměrná pevnost betonu v dostředném tahu	$f_{ctm} = 2,9 \text{ MPa}$
sečnový modul pružnosti	$E_{cm} = 33,0 \text{ GPa}$
tečnový modul pružnosti	$E_c = 1,05 \times E_{cm} = 1,05 \times 33,0 = 34,65 \text{ GPa}$
mezí poměrné stlačení	$\epsilon_{c2} = 3,50 \text{ ‰}$
Poissonův součinitel	$\nu = 0,2$

### 1.1.2. C35/45

Beton C35/45 bude použit na pilíře a mostovku.

charakteristická pevnost v tlaku ve stáří 28 dní	$f_{ck} = 35,0 \text{ MPa}$
průměrná pevnost v tlaku	$f_{cm} = 43,0 \text{ MPa}$
návrhová pevnost v tlaku $f_{cd} = (\alpha_{cc} \times f_{ck}) / \gamma_c = (0,9 \times 35) / 1,5 = 21,0 \text{ MPa}$	
průměrná pevnost betonu v dostředném tahu	$f_{ctm} = 3,2 \text{ MPa}$
sečnový modul pružnosti	$E_{cm} = 34,0 \text{ GPa}$
tečnový modul pružnosti	$E_c = 1,05 \times E_{cm} = 1,05 \times 34,0 = 35,7 \text{ GPa}$
mezí poměrné stlačení	$\epsilon_{c2} = 3,50 \text{ ‰}$
Poissonův součinitel	$\nu = 0,2$

Vlastnosti betonu v čase vnesení předpětí  $t = 7$  dní:

$$\beta_{cc}(7) = \exp[0,2 \times (1 - \sqrt{28/7})] = 0,819$$

$$f_{cm}(7) = \beta_{cc}(7) \times f_{cm} = 0,819 \times 38,0 = 31,122 \text{ MPa}$$

$$f_{ck} = f_{cm}(7) - 8,0 = 31,122 - 8,0 = 23,122 \text{ MPa}$$

$$f_{ctm}(7) = \beta_{cc}(7) \times f_{ctm} = 0,819 \times 3,2 = 2,62 \text{ MPa}$$

### 1.1.3. C50/60

Beton C50/60 bude použit na vzpěry a oblouk.

charakteristická pevnost v tlaku ve stáří 28 dní	$f_{ck} = 50,0 \text{ MPa}$
průměrná pevnost v tlaku	$f_{cm} = 58,0 \text{ MPa}$
návrhová pevnost v tlaku $f_{cd} = (\alpha_{cc} \times f_{ck}) / \gamma_c = (0,9 \times 50) / 1,5 = 30,0 \text{ MPa}$	
průměrná pevnost betonu v dostředném tahu	$f_{ctm} = 4,1 \text{ MPa}$
sečnový modul pružnosti	$E_{cm} = 37,0 \text{ GPa}$

tečnový modul pružnosti	$E_c = 1,05 \times E_{cm} = 1,05 \times 37,0 = 38,85 \text{ GPa}$
mezní poměrné stlačení	$\epsilon_{c2} = 3,50 \text{ ‰}$
Poissonův součinitel	$\nu = 0,2$

## 1.2. PŘEDPÍNACÍ VÝZTUŽ

Bude použita předpínací výztuž z oceli Y1860 S7, lana o průměru 15,7 mm

plocha jednoho lana	$A = 150 \text{ mm}^2$
charakteristická pevnost v tahu	$f_{pk} = 1860 \text{ MPa}$
charakteristická smluvní mez kluzu 0,1%	$f_{p0,1k} = 0,88 \times f_{pk} = 0,88 \times 1860 = 1636,8 \text{ MPa}$
modul pružnosti	$E_p = 195,0 \text{ GPa}$

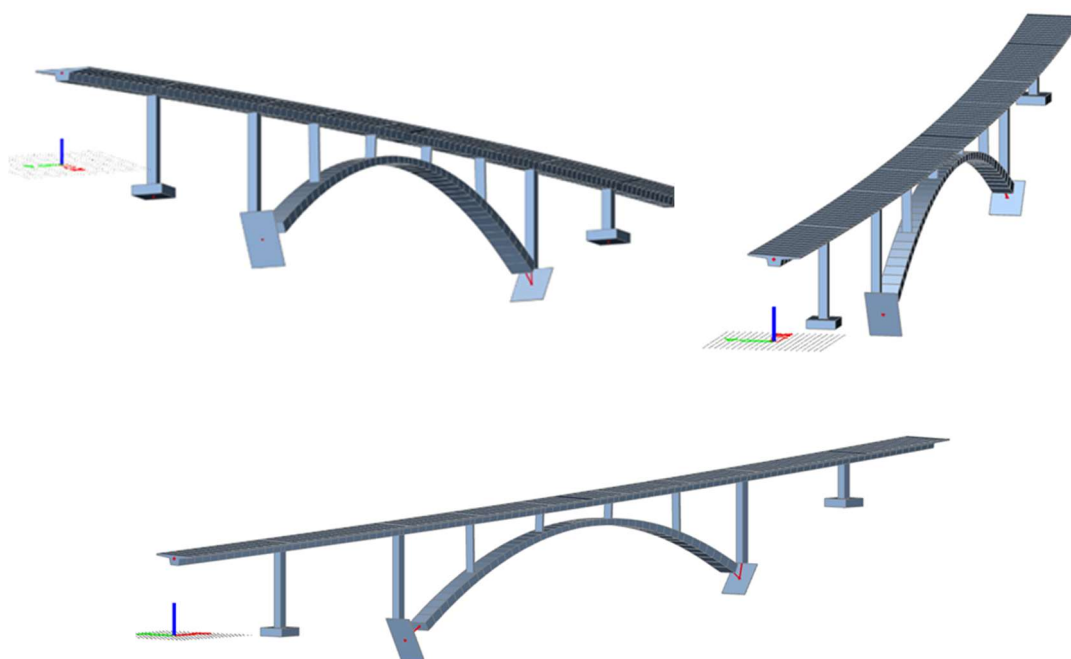
## 1.3. BETONÁŘSKÁ VÝZTUŽ

Bude použita betonářská výztuž B500B.

charakteristická mez kluzu	$f_{yk} = 500 \text{ MPa}$
návrhová mez kluzu	$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s = 500 / 1,15 = 434,78 \text{ MPa}$
návrhová hodnota modulu pružnosti	$E_s = 200,0 \text{ GPa}$

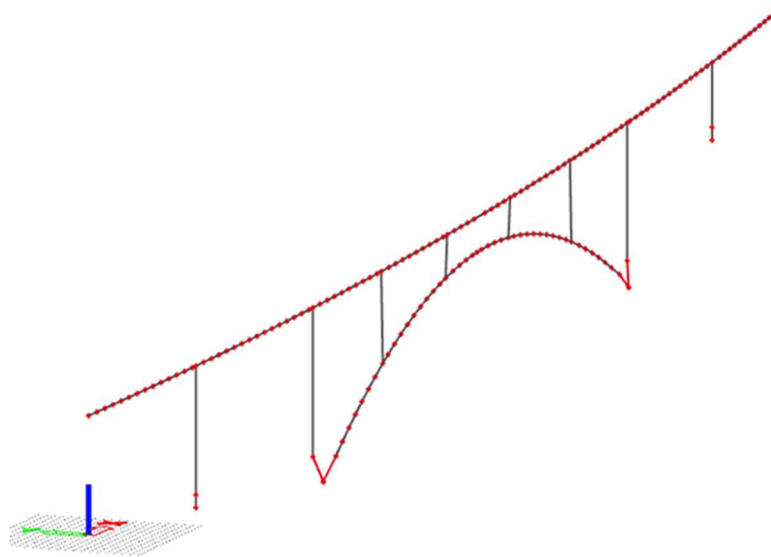
## 2. VÝPOČETNÍ MODEL A ZATÍŽENÍ

Pro výpočet vnitřních sil byl použit 3D prutový model nosné konstrukce mostu vytvořený v programu SCIA Engineer.



Obrázek 7: Hmotný model mostu

Model vystihuje skutečné prostorové uspořádání konstrukce včetně směrového zakřivení mostovky.



Obrázek 8: Prutový model mostu

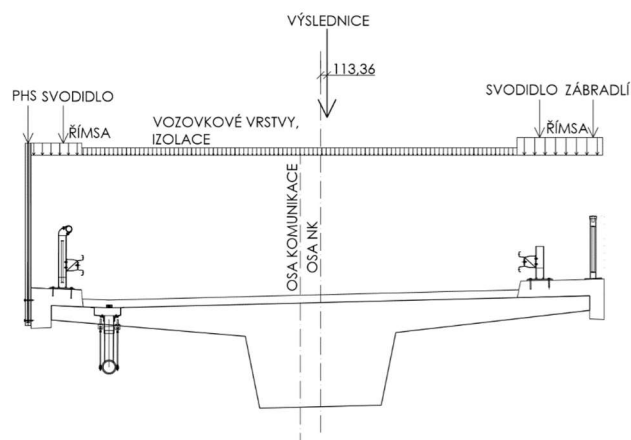
## 2.1. STÁLÁ ZATÍŽENÍ

### 2.1.1. Vlastní tíha

Pro výpočet vlastní tíhy nosné konstrukce je uvažovaná objemová tíha předpjatého betonu  $26 \text{ kN/m}^3$ ,  $24 \text{ kN/m}^3$  odpovídá obyčejnému betonu,  $1 \text{ kN/m}^3$  betonářské výztuži a  $1 \text{ kN/m}^3$  předpínací výztuži. Zatížení vlastní tíhou je generováno automaticky softwarem SCIA Engineer.

### 2.1.2. Ostatní stálé zatížení

Výpočet působíště výslednice ostatního stálého zatížení



Obrázek 9: Ostatní stálé zatížení

$$T = \frac{-4,23 \times 9,92 - 4,65 \times 1,873 - 4,076 \times 1 - 0,686 \times 3,365 \times 3,771 + 4,634 \times 13,025 + 4,625 \times 0,5 + 4,14 \times 1}{9,92 + 1,873 + 1 + 0,686 \times 3,365 + 13,025 + 0,5 + 1} = 0,11336 \text{ m}$$

**a) střední hodnota**

železobetonová římsa vlevo	$1 \times 0,3967 \times 25,0 = 9,92 \text{ kN/m}$
protihluková stěna, v. 2,5 m	$1 \times 1,873 \text{ kN/m}$
svodidlo vlevo	$1 \times 1,0 \text{ kN/m}$
izolace NAIP, tl. 5 mm	$1 \times 0,005 \times 7,5 \times 23 = 0,863 \text{ kN/m}$
ochranná vrstva MA 11 IV, tl. 40 mm	$1 \times 0,04 \times 7,5 \times 25,0 = 7,5 \text{ kN/m}$
ložná vrstva ACL 16S, tl. 50 mm	$1 \times 0,05 \times 7,5 \times 25,0 = 9,375 \text{ kN/m}$
obrusná vrstva SMA 11S, tl. 40 mm	$1 \times 0,04 \times 7,5 \times 25,0 = 7,5 \text{ kN/m}$
železobetonová římsa vpravo	$1 \times 0,521 \times 25,0 = 13,025 \text{ kN/m}$
svodidlo vpravo	$1 \times 1,0 \text{ kN/m}$
zábradlí	$1 \times 0,5 \text{ kN/m}$
celkem	$52,556 \text{ kN/m}$

**b) dolní charakteristická hodnota**

železobetonová římsa vlevo	$1 \times 0,3967 \times 25,0 = 9,92 \text{ kN/m}$
protihluková stěna, v. 2,5 m	$1 \times 1,873 \text{ kN/m}$
svodidlo vlevo	$1 \times 1,0 \text{ kN/m}$
izolace NAIP, tl. 5 mm	$0,8 \times 0,005 \times 7,5 \times 23 = 0,863 \text{ kN/m}$
ochranná vrstva MA 11 IV, tl. 40 mm	$0,8 \times 0,04 \times 7,5 \times 25,0 = 7,5 \text{ kN/m}$
ložná vrstva ACL 16S, tl. 50 mm	$0,8 \times 0,05 \times 7,5 \times 25,0 = 9,375 \text{ kN/m}$
obrusná vrstva SMA 11S, tl. 40 mm	$0,8 \times 0,04 \times 7,5 \times 25,0 = 7,5 \text{ kN/m}$
železobetonová římsa vpravo	$1 \times 0,521 \times 25,0 = 13,025 \text{ kN/m}$
svodidlo vpravo	$1 \times 1,0 \text{ kN/m}$
zábradlí	$1 \times 0,5 \text{ kN/m}$
celkem	$47,508 \text{ kN/m}$

**c) horní charakteristická hodnota**

železobetonová římsa vlevo	$1 \times 0,3967 \times 25,0 = 9,92 \text{ kN/m}$
protihluková stěna, v. 2,5 m	$1 \times 1,873 \text{ kN/m}$
svodidlo vlevo	$1 \times 1,0 \text{ kN/m}$
izolace NAIP, tl. 5 mm	$1,4 \times 0,005 \times 7,5 \times 23 = 0,863 \text{ kN/m}$
ochranná vrstva MA 11 IV, tl. 40 mm	$1,4 \times 0,04 \times 7,5 \times 25,0 = 7,5 \text{ kN/m}$
ložná vrstva ACL 16S, tl. 50 mm	$1,4 \times 0,05 \times 7,5 \times 25,0 = 9,375 \text{ kN/m}$
obrusná vrstva SMA 11S, tl. 40 mm	$1,4 \times 0,04 \times 7,5 \times 25,0 = 7,5 \text{ kN/m}$
železobetonová římsa vpravo	$1 \times 0,521 \times 25,0 = 13,025 \text{ kN/m}$
svodidlo vpravo	$1 \times 1,0 \text{ kN/m}$
zábradlí	$1 \times 0,5 \text{ kN/m}$
celkem	$62,651 \text{ kN/m}$

### 2.1.3. Nerovnoměrné posuny podpor

Pro výpočet jsou uvažovány nerovnoměrné posuny podpor v místech založení oblouku 5 mm ve svislém a vodorovném směru, a to směrem do země ve svislém směru a směrem do stran oblouku ve vodorovném směru.

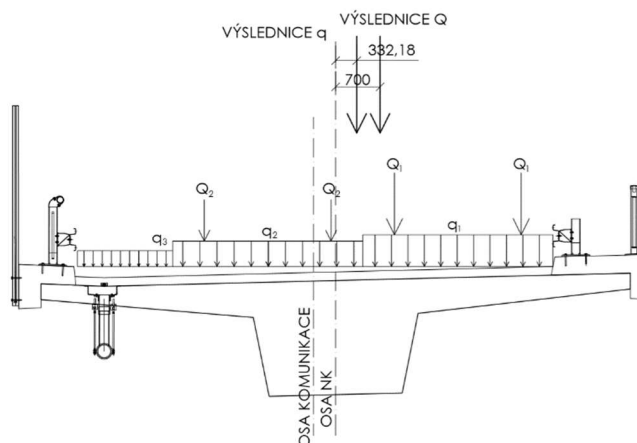
## 2.2. PROMĚNNÁ ZATÍŽENÍ

### 2.2.1. Zatížení dopravou

Vozovka celkové šířky 7,5 m je rozdělena na dva zatěžovací pruhy šířky 3 m a zbývající plochu šířky 1,5 m.

#### 2.2.1.1. Model zatížení 1 – LM1

##### a) LM1P – zatěžovací pruh č. 1 při širší římse (vpravo)



Obrázek 10: Model zatížení LM1P

$$Q_1 = \alpha_{Q1} \times Q_{1k} = 1,0 \times 150 \text{ kN} = 150 \text{ kN}$$

$$Q_2 = \alpha_{Q2} \times Q_{2k} = 1,0 \times 100 \text{ kN} = 100 \text{ kN}$$

$$Q = 2 \times Q_1 + 2 \times Q_2 = 2 \times 150 + 2 \times 100 = 500 \text{ kN}$$

$$T_{TS} = \frac{300 \times 1,9 - 200 \times 1,1}{500} = 0,7 \text{ m}$$

$$q_1 = \alpha_{q1} \times q_{1k} = 1,0 \times 9,0 \text{ kN/m} = 9,0 \text{ kN/m}$$

$$q_2 = \alpha_{q2} \times q_{2k} = 2,4 \times 2,5 \text{ kN/m} = 6,0 \text{ kN/m}$$

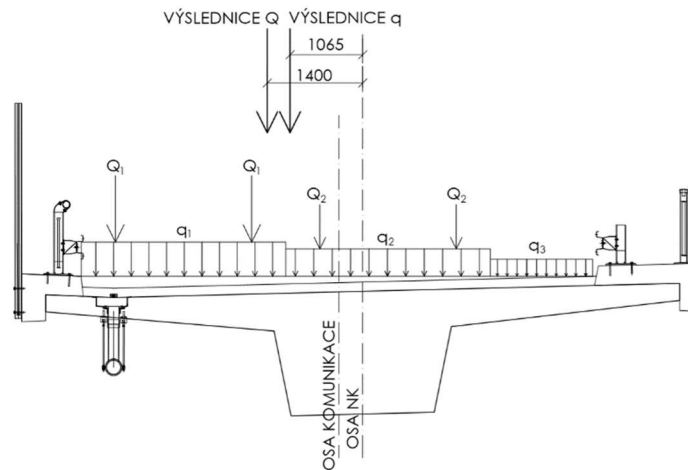
$$q_r = \alpha_{qr} \times q_{rk} = 1,2 \times 2,5 \text{ kN/m} = 3,0 \text{ kN/m}$$

$$q = 3 \times q_1 + 3 \times q_2 + 1,5 \times q_r = 3 \times 9,0 + 3 \times 6,0 + 1,5 \times 3,0 = 49,5 \text{ kN}$$

$$T_{U\bar{D}\bar{L}} = \frac{9 \times 3 \times 1,9 - 2,5 \times 2,4 \times 3 \times 1,1 - 2,5 \times 1,2 \times 1,5 \times 3,35}{49,5} = 0,33182 \text{ m}$$



**b) LM1L – zatěžovací pruh č. 1 při užší římse (vlevo)**



Obrázek 11: Model zatížení LM1L

$$Q_1 = \alpha_{Q1} \times Q_{1k} = 1,0 \times 150 \text{ kN} = 150 \text{ kN}$$

$$Q_2 = \alpha_{Q2} \times Q_{2k} = 1,0 \times 100 \text{ kN} = 100 \text{ kN}$$

$$Q = 2 \times Q_1 + 2 \times Q_2 = 2 \times 150 + 2 \times 100 = 500 \text{ kN}$$

$$T_{TS} = \frac{-300 \times 2,6 + 200 \times 0,4}{500} = -1,4 \text{ m}$$

$$q_1 = \alpha_{q1} \times q_{1k} = 1,0 \times 9,0 \text{ kN/m} = 9,0 \text{ kN/m}$$

$$q_2 = \alpha_{q2} \times q_{2k} = 2,4 \times 2,5 \text{ kN/m} = 6,0 \text{ kN/m}$$

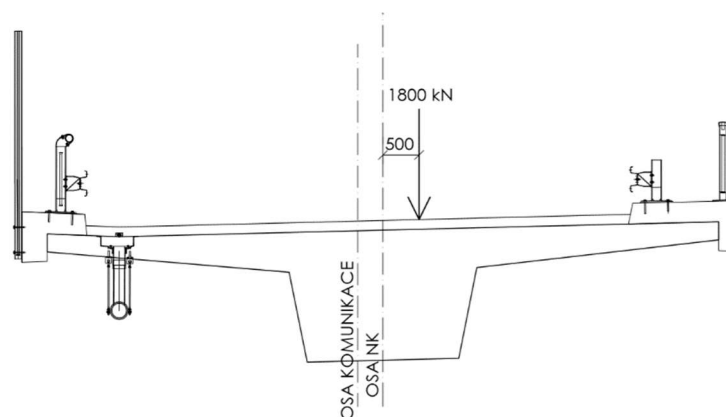
$$q_r = \alpha_{qr} \times q_{rk} = 1,2 \times 2,5 \text{ kN/m} = 3,0 \text{ kN/m}$$

$$q = 3 \times q_1 + 3 \times q_2 + 1,5 \times q_r = 3 \times 9,0 + 3 \times 6,0 + 1,5 \times 3,0 = 49,5 \text{ kN}$$

$$T_{uDL} = \frac{-9 \times 3 \times 2,635 + 2,5 \times 2,4 \times 3 \times 0,37 + 2,5 \times 1,2 \times 1,5 \times 2,62}{49,5} = -1,065 \text{ m}$$

**c) Model zatížení 3 – LM3**

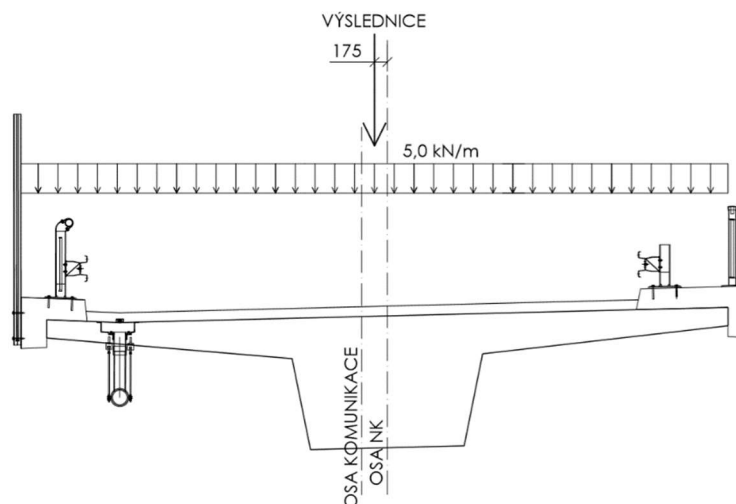
Uvažujeme model zatížení pro silnici I. třídy 1800/200 (jediné vozidlo na mostě). Model uvažuje vozidlo o celkové tíze 1800 kN, které se pohybuje v ideální stopě s odchylkou +/- 0,5 m.



Obrázek 12: Model zatížení LM3

#### d) Model zatížení 4 – LM4

Model zatížení představuje zatížení davem lidí a je uvažováno jako  $5,0 \text{ kN/m}^2$  v celé šířce mezi zábradlím a protihlukovou stěnou, tedy  $9,65 \text{ m}$ . Po přenásobení získáváme zatížení  $48,25 \text{ kN/m}$  s excentricitou  $0,175 \text{ m}$ .



Obrázek 13: Model zatížení LM4

#### e) Model zatížení 3 únava – LM3 FAT

Lze předpokládat, že pro posouzení nebude rozhodovat.

### 2.2.2. Zatížení chodníků

Zatížení chodníků se uvažuje jako spojité zatížení hodnoty  $5,0 \text{ kN/m}^2$  pouze v šířce chodníků. Na model jsou tato zatížení zadána jednotlivě, aby se dala uvažovat v kombinacích samostatně.

### 2.2.3. Zatížení teplotou

#### 2.2.3.1. Rovnoměrná složka teploty

Maximální a minimální teplota vzduchu ve stínu, převzatá z ČSN EN 1991-1-5:

$$T_{\max} = 40,0 \text{ °C}$$

$$T_{\min} = -32,0 \text{ °C}$$

Maximální a minimální teplota konstrukce (3. typ – betonová nosná konstrukce):

$$T_{e,\max} = T_{\max} + 1,5 \text{ °C} = 40,0 + 1,5 = 41,5 \text{ °C}$$

$$T_{e,\min} = T_{\min} + 8,0 \text{ °C} = -32,0 + 8,0 = -24,0 \text{ °C}$$

Základní teplota konstrukce:  $T_0 = 10,0 \text{ °C}$

Maximální rozsah rovnoměrného zatížení teplotou:

$$\Delta T_{N,exp} = T_{e,max} - T_0 = 41,5 - 10,0 = 31,5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_{N,con} = T_0 - T_{e,min} = 10,0 - (-24,0) = 34,0 \text{ } ^\circ\text{C}$$

### 2.2.3.2. Rozdílová složka teploty

Uvažujeme lineární rozdílovou složku teploty, kterou popisuje rozdíl teplot horního a dolního povrchu konstrukce.

Pro mostovku a oblouk:

horní povrch teplejší než dolní:  $\Delta T_{M,heat} = 15,0 \text{ } ^\circ\text{C}$

dolní povrch teplejší než horní:  $\Delta T_{M,cool} = 8,0 \text{ } ^\circ\text{C}$

Pro vzpěry:

levá strana teplejší než pravá:  $\Delta T_{M,heat} = 5,0 \text{ } ^\circ\text{C}$

pravá strana teplejší než levá:  $\Delta T_{M,cool} = 5,0 \text{ } ^\circ\text{C}$

Pro zohlednění faktoru tloušťky vozovky je při tvorbě kombinací do výpočtů zaveden součinitel  $k_{sur}$ :

Tabulka 1: Součinitel  $k_{sur}$

tloušťka svršku [mm]	horní povrch teplejší než dolní	dolní povrch teplejší než horní
bez svršku	0,8	1,1
100	0,7	1,0
150	0,5	1,0

Na mostě je navržena vozovka o tloušťce 135 mm, pro niž byl interpolací určen součinitel  $k_{sur}$  pro horní povrch teplejší než dolní 0,56.

### 2.2.4. Zatížení větrem

Zatížení větrem se počítá podle ČSN EN 1991-1-4. Most se nachází ve větrové oblasti II, kategorie terénu II. Výpočet zatížení větrem kolmým na konstrukci:

Základní rychlost větru:

$$v_{b,0} = 25,0 \text{ m/s}$$

$$C_{dir} = 1,00$$

$$C_{season} = 1,0$$

$$v_b = v_{b,0} \times C_{dir} \times C_{season} = 25,0 \times 1,0 \times 1,0 = 25,0 \text{ m/s}$$

Zjednodušená metoda výpočtu sil od větru:

$$F_{w,y} = 0,5 \times \rho \times v_b^2 \times C_x A_{ref,y}, \text{ kde}$$

$$\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3$$

$$v_b = 25,0 \text{ m/s}$$

C je interpolováno podle tabulky níže

$A_{ref,y}$  je referenční plocha pro zatížení větrem kolmo na rozpětí

Tabulka 2: Hodnoty koeficientu C

$b/d_{tot}$	$z_e \leq 20$ m	$z_e = 50$ m
$\leq 0,50$	6,7	8,3
$\geq 4,00$	3,6	4,5

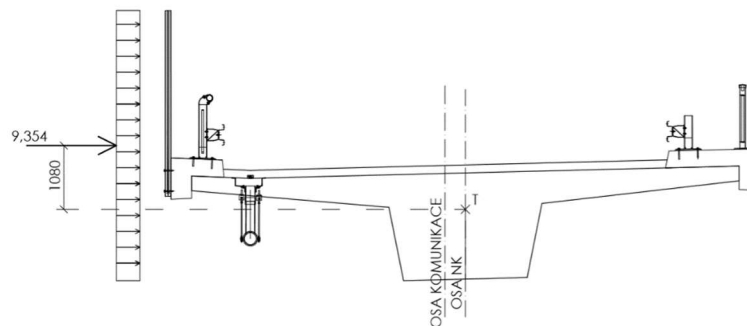
Jelikož je na mostě navržena protihluková stěna o výšce 2,5 m, což odpovídá výšce dopravního proudu, nebude se zatížení větrem zatíženého a nezatíženého mostu lišit, tedy:

$$d_{tot} = 4,580 \text{ m}; b = 9,90 \text{ m}$$

$$C = 5,228$$

$$f_{w,y} = 0,5 \times \rho \times v_b^2 \times C \times A_{ref,y} = 0,5 \times 1,25 \times 252^2 \times 5,228 \times 4,580 = 9,354 \text{ kN/m}$$

Hodnoty zatížení spočítané obecnou metodou jsou nižší a proto nejsou rozhodující.



Obrázek 14: Zatížení větrem

### 2.2.5. Zatížení odstředivými silami

Zatížení odstředivými silami se počítá podle ČSN EN 1991-2, čl. 4.4.2, pro  $1500 \text{ m} > r > 200 \text{ m}$  platí vztah:

$$Q_{tk} = 40 \times Q_v / r = 40 \times 2 \times (200 + 300) / 1000 = 40 \text{ kN}$$

Trasa je vedena směrovým obloukem s poloměrem 1000 m, zatížení odstředivými silami působí v úrovni vozovky.

### 2.2.6. Zatížení brzdnými silami

Zatížení podélnými brzdnými silami se počítá podle vztahu:

$$Q_{ik} = 0,6 \times \alpha_{q1} \times (2 \times Q_{1k}) + 0,1 \times \alpha_{q1} \times w_1 \times L =$$

$$= 0,6 \times 1,0 \times (2 \times 300) + 0,1 \times 1,0 \times 9,0 \times 3 = 362,7 \text{ kN}$$

Zatížení podélnými brzdnými silami není uvažováno, ale slouží k výpočtu příčných brzdných sil podle vztahu:

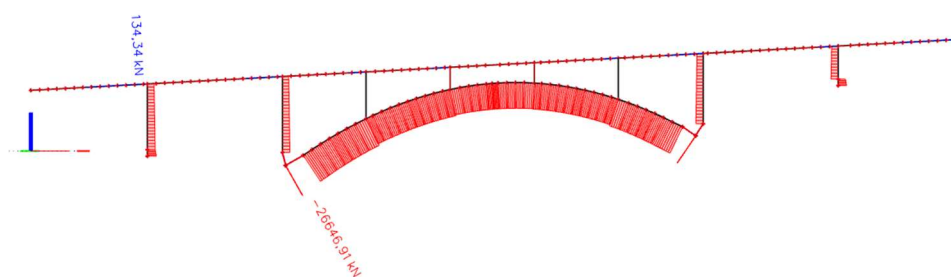
$$Q_{xk} = 0,25 \times Q_{ik} = 0,25 \times 362,4 = 90,675 \text{ kN}$$

Zatížení brzdnými silami působí v úrovni vozovky.

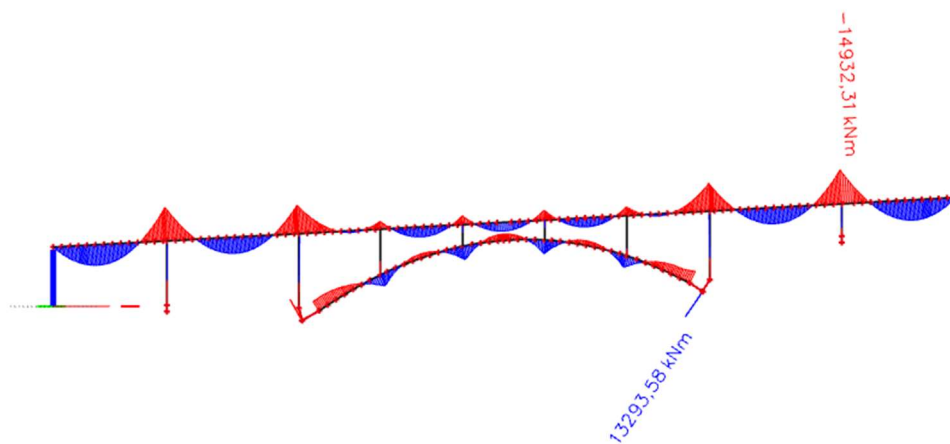
### 3. PRŮBĚH VNITŘNÍCH SIL

V této kapitole jsou zobrazeny obálky průběhů vnitřních sil od skupin zatížení vypočítané v programu SCIA Engineer.

#### 3.1. VLASTNÍ TÍHA

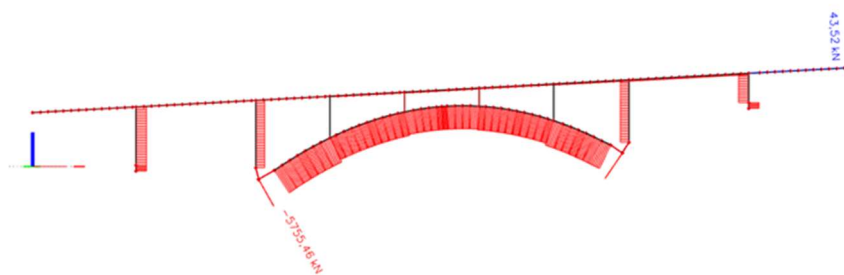


Obrázek 15: N, vlastní tíha

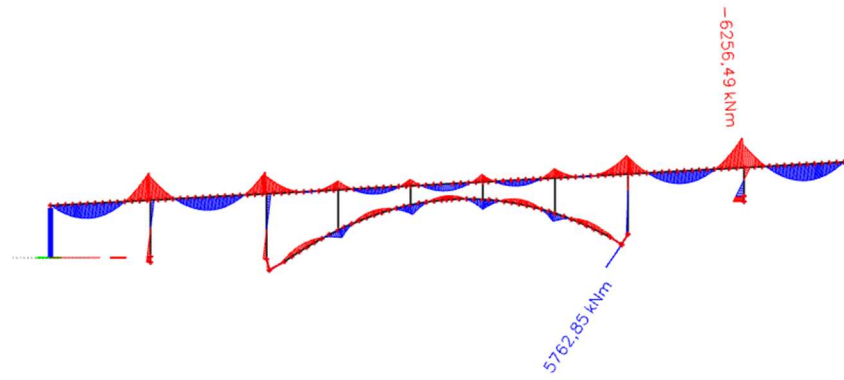


Obrázek 16: My, vlastní tíha

#### 3.2. OSTATNÍ STÁLÉ ZATÍŽENÍ

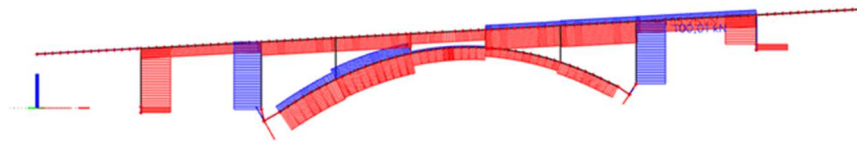


Obrázek 17: N, ostatní stálé zat.

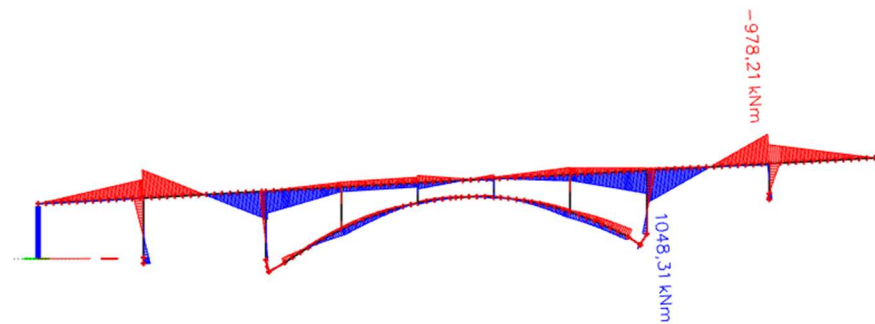


Obrázek 18:  $M_y$ , ostatní stálé zat.

### 3.3. SVISLÉ POSUNY

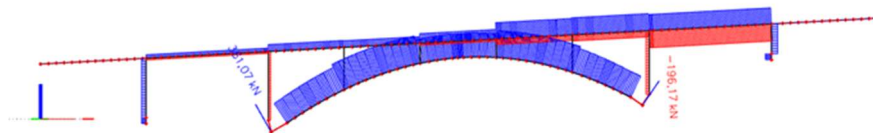


Obrázek 19:  $N$ , svislé posuny

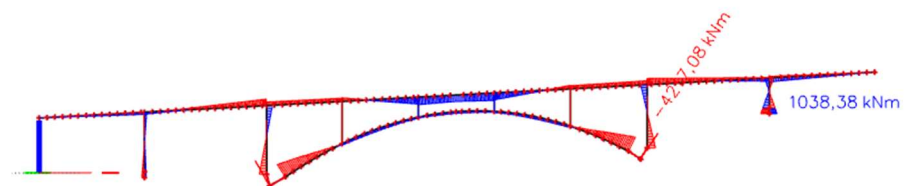


Obrázek 20:  $M_y$ , svislé posuny

### 3.4. VODOROVNÉ POSUNY

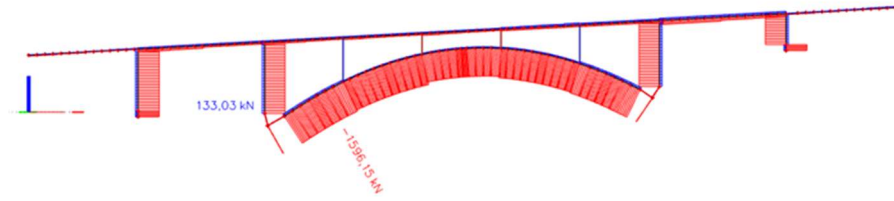


Obrázek 21:  $N$ , vodorovné posuny

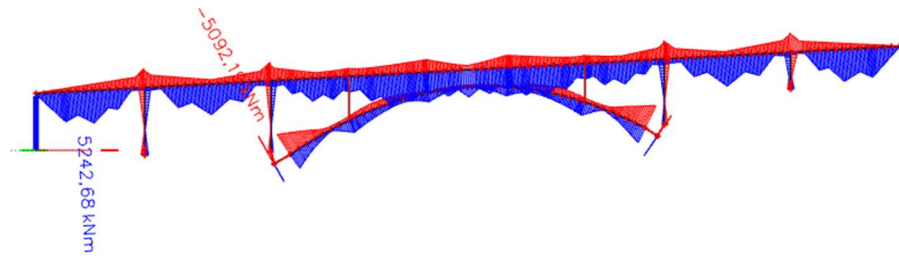


Obrázek 22:  $M_y$ , vodorovné posuny

### 3.5. LM1 TS

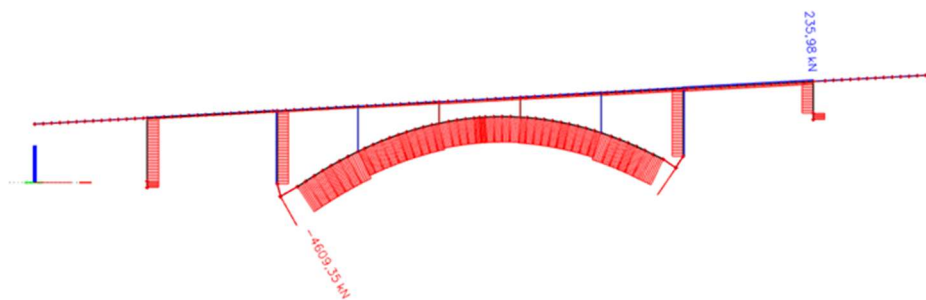


Obrázek 23: N, LM1 TS

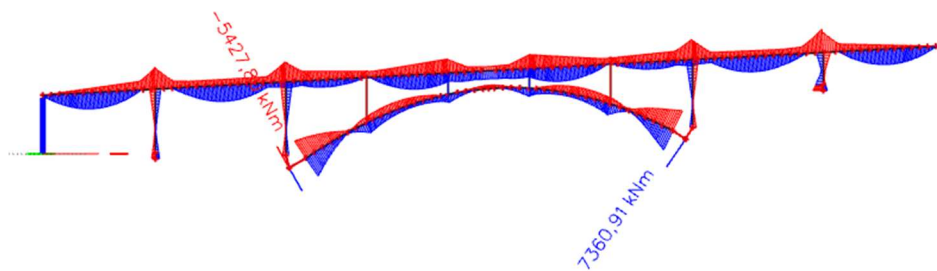


Obrázek 24: My, LM1 TS

### 3.6. LM1 UDL

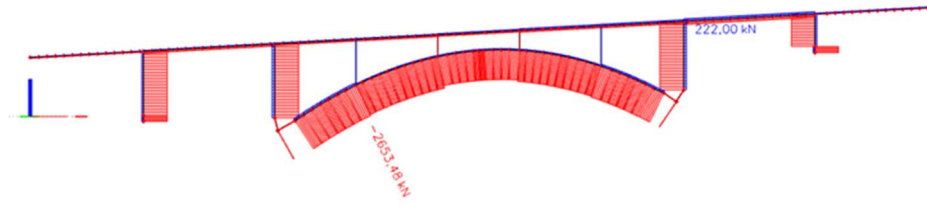


Obrázek 25: N, LM1 UDL

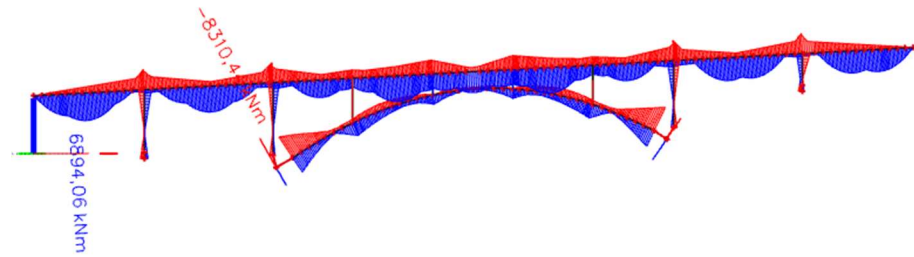


Obrázek 26: My, LM1 UDL

### 3.7. LM3

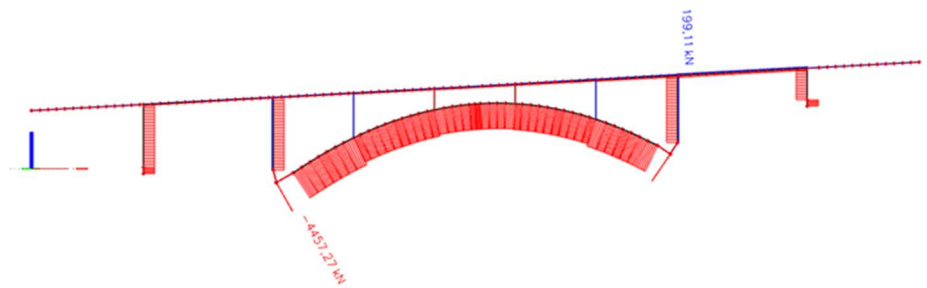


Obrázek 27: N, LM3

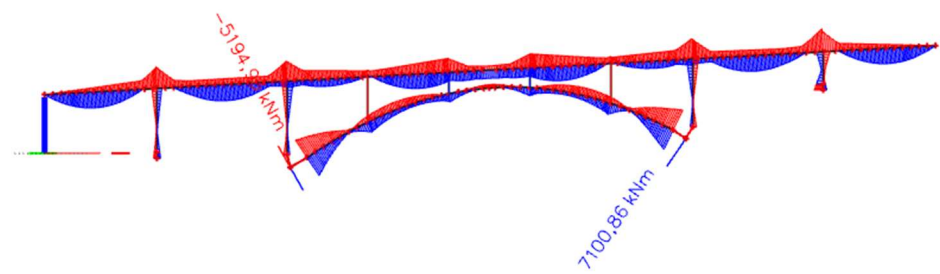


Obrázek 28: My, LM3

### 3.8. LM4



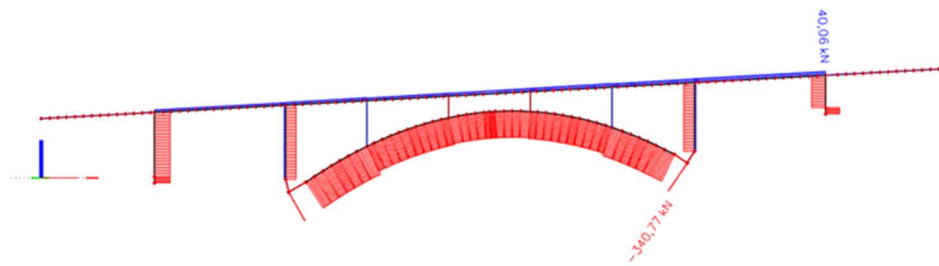
Obrázek 29: N, LM4



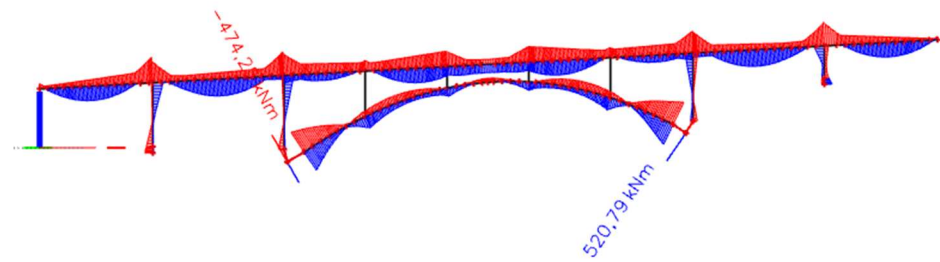
Obrázek 30: My, LM4



### 3.9. CHODNÍK VPRAVO

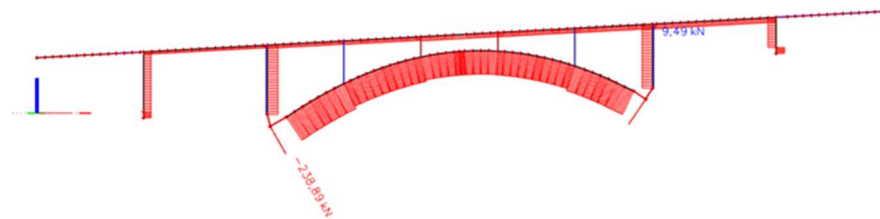


Obrázek 31: N, chodník vpravo

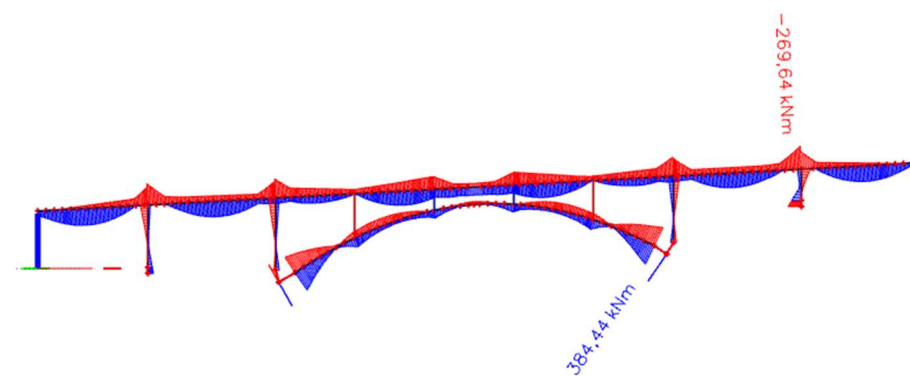


Obrázek 32: My, chodník vpravo

### 3.10. CHODNÍK VLEVO

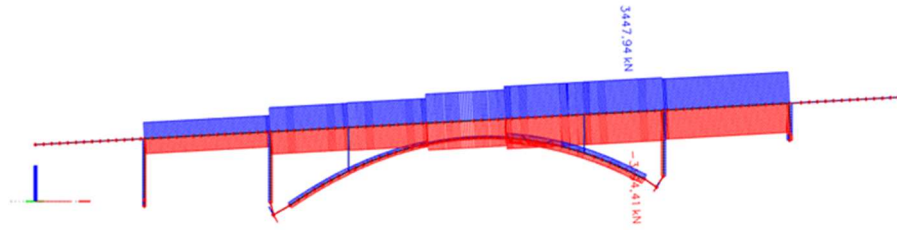


Obrázek 33: N, chodník vlevo

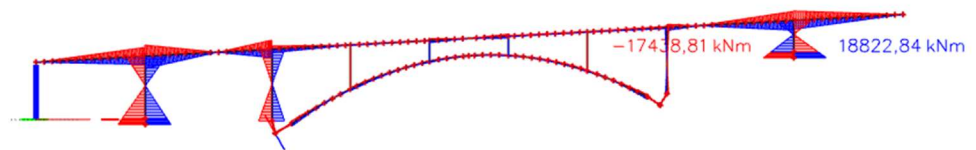


Obrázek 34: My, chodník vlevo

### 3.11. ROVNOMĚRNÁ SLOŽKA TEPLoty

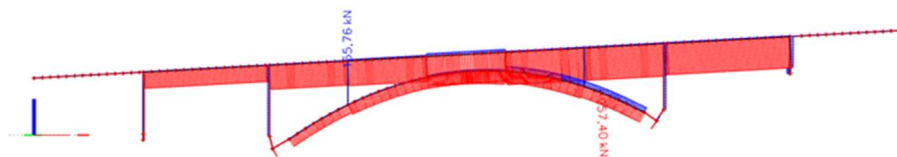


Obrázek 35: N, rovnoměrná složka teploty

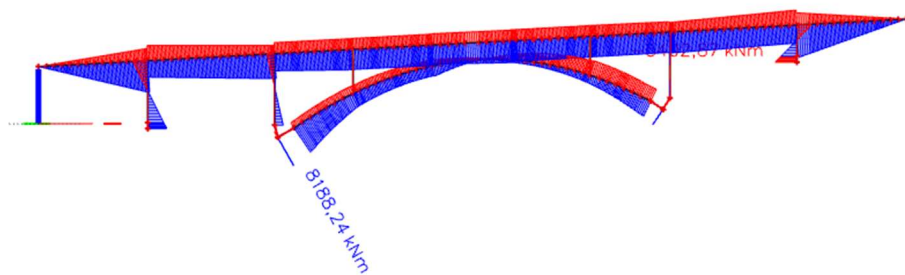


Obrázek 36: My, rovnoměrná složka teploty

### 3.12. ROZDÍLOVÁ SLOŽKA TEPLoty

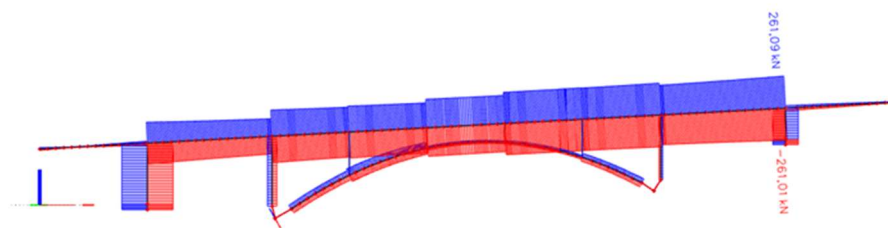


Obrázek 37: N, rozdílová složka teploty

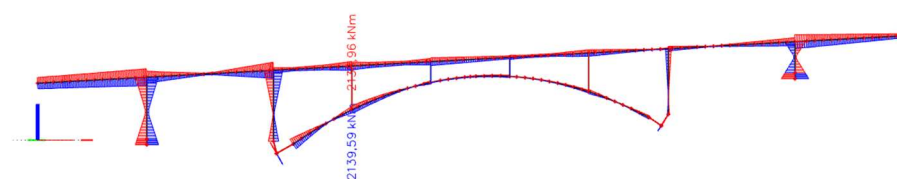


Obrázek 38: My, rozdílová složka teploty

### 3.13. VÍTR



Obrázek 39: N, vítr



Obrázek 40: My, vítr

## 4. KOMBINACE

Pro ověření mezních stavů únosnosti a použitelnosti byly sestaveny kombinace vnitřních sil bez účinků předpětí v souladu s ČSN EN 1990. Byly sestaveny kombinace vnitřních sil, u kterých se předpokládá, že budou pro danou konstrukci rozhodovat.

Do kombinací budou uvažovány následující redukce zatížení od teploty:

$$\Delta T_M + \omega_N \times \Delta T_N;$$

$$\omega_M \times \Delta T_M + \Delta T_N$$

kde  $\omega_M = 0,75$  a  $\omega_N = 0,35$ .

### 4.1. MSÚ

#### 4.1.1. Hlavní zatížení LM1

**6.10**  $1,35 \times g_0 + 1,35 \times (g - g_0) + 1,20 \times \text{poklesy} + 1,35 \times \text{LM1 TS}$   
 $+ 1,35 \times \text{LM1 UDL} + 1,35 \times 0,6 \times \text{chodníky} + 1,5 \times 0,6 \times k_{\text{sur}} \times \text{teplota}$   
 $+ 1,5 \times 0,6 \text{ vítr}$

**6.10a**  $1,35 \times g_0 + 1,35 \times (g - g_0) + 1,20 \times \text{poklesy} + 1,35 \times 0,75 \times \text{LM1 TS}$   
 $+ 1,35 \times 0,4 \times \text{LM1 UDL} + 1,35 \times 0,6 \times 0,4 \times \text{chodníky} + 1,5 \times 0,6 \times k_{\text{sur}} \times \text{teplota}$   
 $+ 1,5 \times 0,6 \text{ vítr}$

**6.10b**  $1,0 \times 0,85 \times g_0 + 1,0 \times 0,85 \times (g - g_0) + 1,0 \times 0,85 \times \text{poklesy}$   
 $+ 1,35 \times \text{LM1 TS} + 1,35 \times \text{LM1 UDL} + 1,35 \times 0,6 \times \text{chodníky}$   
 $+ 1,5 \times 0,6 \times k_{\text{sur}} \times \text{teplota} + 1,5 \times 0,6 \text{ vítr}$

#### 4.1.2. Hlavní zatížení LM3

**6.10**  $1,35xg_0 + 1,35x(g-g_0) + 1,20xpoklesy + 1,35xLM3 + 1,5x0,6xk_{sur}xteplota + 1,5x0,6$  vítr

---

**6.10a**  $1,35xg_0 + 1,35x(g-g_0) + 1,20xpoklesy + 1,35x0xLM3 + 1,5x0,6x k_{sur} xteplota + 1,5x0,6$  vítr

---

**6.10b**  $1,0x0,85xg_0 + 1,0x0,85x(g-g_0) + 1,0x0,85xpoklesy + 1,35xLM3 + 1,5x0,6xk_{sur}xteplota + 1,5x0,6$  vítr

#### 4.1.3. Hlavní zatížení LM4

**6.10**  $1,35xg_0 + 1,35x(g-g_0) + 1,20xpoklesy + 1,35xLM4 + 1,5x0,6x k_{sur} xteplota + 1,5x0,6$  vítr

---

**6.10a**  $1,35xg_0 + 1,35x(g-g_0) + 1,20xpoklesy + 1,35x0xLM4 + 1,5x0,6x k_{sur} xteplota + 1,5x0,6$  vítr

---

**6.10b**  $1,0x0,85xg_0 + 1,0x0,85x(g-g_0) + 1,0x0,85xpoklesy + 1,35xLM4 + 1,5x0,6x k_{sur} xteplota + 1,5x0,6$  vítr

#### 4.1.4. Hlavní zatížení teplotou

**6.10**  $1,35xg_0 + 1,35x(g-g_0) + 1,20xpoklesy + 1,35x0,75xLM1 TS + 1,35x0,4xLM1 UDL + 1,35x0,6x0,4xchodníky + 1,5x1,0xk_{sur}xteplota + 1,5x0,6$  vítr

---

**6.10a**  $1,35xg_0 + 1,35x(g-g_0) + 1,20xpoklesy + 1,35x0,75xLM1 TS + 1,35x0,4xLM1 UDL + 1,35x0,6x0,4xchodníky + 1,5x0,6xk_{sur}xteplota + 1,5x0,6$  vítr

---

**6.10b**  $1,0x0,85xg_0 + 1,0x0,85x(g-g_0) + 1,0x0,85xpoklesy + 1,35x0,75xLM1 TS + 1,35x0,4xLM1 UDL + 1,35x0,6x0,4xchodníky + 1,5x1,0xk_{sur}xteplota + 1,5x0,6$  vítr

### 4.2. MSP

#### 4.2.1. Hlavní zatížení LM1

**charakteristická**  $1,0xg_0 + 1,0x(g-g_0) + 1,0xpoklesy + 1,0xLM1 TS + 1,0xLM1 UDL + 1,0x0,6xchodníky + 0,6xk_{sur}xteplota + 0,6x$  vítr

---

**častá**  $1,0xg_0 + 1,0x(g-g_0) + 1,0xpoklesy + 0,75xLM1 TS + 0,4xLM1 UDL + 0,4x0,6chodníky + 0,5xk_{sur}xteplota + 0,0x$  vítr

---

**kvazistálá**  $1,0xg_0 + 1,0x(g-g_0) + 1,0xpoklesy + 0,0xLM1 TS + 0,0xLM1 UDL + 0,0x0,6chodníky + 0,5xk_{sur}xteplota + 0,0x$  vítr

#### 4.2.2. Hlavní zatížení LM3

**charakteristická**  $1,0xg_0 + 1,0x(g-g_0) + 1,0xpoklesy + 1,0xLM3 + 0,6xk_{sur}xteplota + 0,6xvítr$

**častá**  $1,0xg_0 + 1,0x(g-g_0) + 1,0xpoklesy + 0,0xLM3 + 0,5xk_{sur}xteplota + 0,0xvítr$

**kvazistálá**  $1,0xg_0 + 1,0x(g-g_0) + 1,0xpoklesy + 0,0xLM3 + 0,5xk_{sur}xteplota + 0,0xvítr$

#### 4.2.3. Hlavní zatížení LM4

**charakteristická**  $1,0xg_0 + 1,0x(g-g_0) + 1,0xpoklesy + 1,0xLM4 + 0,6xk_{sur}xteplota + 0,6xvítr$

**častá**  $1,0xg_0 + 1,0x(g-g_0) + 1,0xpoklesy + 0,0xLM4 + 0,5xk_{sur}xteplota + 0,0xvítr$

**kvazistálá**  $1,0xg_0 + 1,0x(g-g_0) + 1,0xpoklesy + 0,0xLM4 + 0,5xk_{sur}xteplota + 0,0xvítr$

#### 4.2.4. Hlavní zatížení teplotou

**charakteristická**  $1,0xg_0 + 1,0x(g-g_0) + 1,0xpoklesy + 0,75xLM1 TS + 0,4xLM1 UDL + 0,4x0,6xchodníky + 1,0xk_{sur}xteplota + 0,6xvítr$

**častá**  $1,0xg_0 + 1,0x(g-g_0) + 1,0xpoklesy + 0,0xLM1 TS + 0,0xLM1 UDL + 0,0x0,6xchodníky + 0,6xk_{sur}xteplota + 0,0xvítr$

**kvazistálá**  $1,0xg_0 + 1,0x(g-g_0) + 1,0xpoklesy + 0,0xLM1 TS + 0,0xLM1 UDL + 0,5xk_{sur}xteplota + 0,0xvítr$

### 4.3. VÝSLEDNÉ HODNOTY KOMBINACÍ VNITŘNÍCH SIL

V programu SCIA Engineer byly vytvořeny kombinace vnitřních sil pro mezní stav únosnosti a mezní stav použitelnosti. Do následujících tabulek byly sepsány maximální a minimální hodnoty normálové síly a momentů  $M_x$ ,  $M_y$  a  $M_z$  a jim odpovídající zbývající vnitřní síly na běžné délce oblouku.

Tabulka 3: Kombinace pro MSÚ, rovnice 6.10, maxima

	redukce teploty	hlavní zatížení	vedlejší zatížení	N [MN]	M <sub>x</sub> [MNm]	M <sub>y</sub> [MNm]	M <sub>z</sub> [MNm]
Kombinace 6.10	ω <sub>M</sub> = 0,35	gr1a	teplota, vítr	-25,96582	0,16309	3,16202	1,94223
				-42,06709	<b>5,99370</b>	11,82149	-8,86053
				-41,82433	-5,34571	<b>18,84926</b>	-6,83362
				-35,25501	-4,49534	-1,13521	<b>12,63360</b>
		gr4	teplota, vítr	-25,91318	0,30822	3,15960	1,84751
				-38,17963	<b>4,75281</b>	8,67804	-6,88778
				-39,15951	-4,52194	<b>17,14621</b>	-5,76462
				-28,99994	-2,49462	-1,16033	<b>8,44539</b>
		gr5	teplota, vítr	-26,04080	0,27044	3,15179	1,85470
				-34,75246	<b>4,42701</b>	9,69269	-6,61558
				-40,41413	-4,34807	<b>15,51274</b>	-5,21023
				-34,11693	-2,59608	1,29107	<b>8,78504</b>
		teplota	gr1a, vítr	-25,93516	0,19850	3,25127	2,01435
				-38,25398	<b>5,49534</b>	10,67766	-8,15760
				-39,50589	-4,85609	<b>17,71252</b>	-6,07990
				-31,95799	-3,69387	-1,04131	<b>11,09257</b>
	ω <sub>M</sub> = 0,75	gr1a	teplota, vítr	-25,82417	-0,67684	7,71853	-2,50078
				-41,77037	<b>6,33389</b>	12,02609	-9,36127
				-41,57990	-5,00806	<b>18,49790</b>	-6,20904
				-35,57632	-4,84370	-1,15495	<b>13,51532</b>
		gr4	teplota, vítr	-25,78444	-0,47423	7,77729	-2,26704
				-37,88291	<b>5,09300</b>	8,88263	-7,38851
				-35,82432	-2,04228	<b>16,85226</b>	-4,02694
				-29,32124	-2,84298	-1,18007	<b>9,32710</b>
		gr5	teplota, vítr	-25,91379	-0,54875	7,67401	-2,34432
				-34,45575	<b>4,76720</b>	9,89728	-7,11632
				-37,15856	-1,86256	<b>15,21642</b>	-3,47659
				-34,43823	-2,94444	-1,31082	<b>9,66675</b>
teplota	gr1a, vítr	-25,51046	-0,43636	7,42884	-2,19777		
		-37,75945	<b>6,06232</b>	11,01865	-8,99216		
		-36,14881	-2,04754	<b>17,43859</b>	-3,87170		
		-32,49350	-4,27447	-1,07421	<b>12,56208</b>		

Tabulka 4: Rovnice 6.10a, maximální hodnoty

	redukce teploty	hlavní zatížení	vedlejší zatížení	N [MN]	M <sub>x</sub> [MNm]	M <sub>y</sub> [MNm]	M <sub>z</sub> [MNm]
Kombinace 6.10a	$\omega_N = 0,35$	gr1a	teplota, vítr	-25,98476	0,18992	3,15911	1,92025
				-38,36238	<b>5,27131</b>	10,62374	-7,79960
				-39,43958	-4,96687	<b>16,00669</b>	-6,28163
				-31,84751	-3,47154	-1,04237	<b>10,54859</b>
		gr4	teplota, vítr	-26,04080	0,27044	3,15179	1,85470
				-34,75246	<b>4,42701</b>	9,69269	-6,61558
				-33,86849	-0,15286	<b>13,00300</b>	-3,85011
				-30,78818	2,68245	-3,94380	<b>10,11645</b>
		gr5	teplota, vítr	-26,04080	0,27044	3,15179	1,85470
				-34,75246	<b>4,42701</b>	9,69269	-6,61558
				-33,86849	-0,15286	<b>13,00300</b>	-3,85011
				-30,78818	2,68245	-3,94380	<b>10,11645</b>
		teplota	gr1a, vítr	-25,98476	0,18992	3,15911	1,92025
				-38,36238	<b>5,27131</b>	10,62374	-7,79960
				-39,43958	-4,96687	<b>16,00669</b>	-6,28163
				-31,84751	-3,47154	-1,04237	<b>10,54859</b>
	$\omega_M = 0,75$	gr1a	teplota, vítr	-25,84658	-0,64482	7,70740	-2,46167
				-38,06566	<b>5,61151</b>	10,82834	-8,30033
				-36,23496	-2,21477	<b>15,73409</b>	-4,40376
				-32,16882	-3,81990	-1,06212	<b>11,43030</b>
		gr4	teplota, vítr	-25,91379	-0,54875	7,67401	-2,34432
				-34,45575	<b>4,76720</b>	9,89728	-7,11632
				-33,98076	-0,33900	<b>12,87107</b>	-3,67721
				-29,49914	-2,61558	-3,47736	<b>11,08752</b>
		gr5	teplota, vítr	-25,91379	-0,54875	7,67401	-2,34432
				-34,45575	<b>4,76720</b>	9,89728	-7,11632
				-33,98076	-0,33900	<b>12,87107</b>	-3,67721
				-29,49914	-2,61558	-3,47736	<b>11,08752</b>
teplota		gr1a, vítr	-25,84658	-0,64482	7,70740	-2,46167	
			-38,06566	<b>5,61151</b>	10,82834	-8,30033	
			-36,23496	-2,21477	<b>15,73409</b>	-4,40376	
			-32,16882	-3,81990	-1,06212	<b>11,43030</b>	

Tabulka 5: Rovnice 6.10b, maximální hodnoty

	redukce teploty	hlavní zatížení	vedlejší zatížení	N [MN]	M <sub>x</sub> [MNm]	M <sub>y</sub> [MNm]	M <sub>z</sub> [MNm]
Kombinace 6.10b	$\omega_N = 0,35$	gr1a	teplota, vítr	-16,26388	0,19108	2,03073	2,22077
				-26,61993	<b>5,48083</b>	1,35203	10,42367
				-28,02760	-4,79218	<b>15,31352</b>	-6,31627
				-24,54895	-4,62743	-0,76163	<b>12,65002</b>
		gr4	teplota, vítr	-16,21085	0,33622	2,02901	2,12623
				-25,23225	<b>4,23548</b>	5,18322	-6,33154
				-25,36279	-3,96841	<b>13,61047</b>	-5,24727
				-18,29387	-2,62671	-0,78975	<b>8,46181</b>
		gr5	teplota, vítr	-16,33867	0,29843	2,02085	2,13333
				-21,80508	<b>3,90968</b>	6,19787	-6,05935
				-26,61741	-3,79454	<b>11,97700</b>	-4,69288
				-23,41087	-2,72817	-0,91750	<b>8,80146</b>
		teplota	gr1a, vítr	-16,14543	-0,85800	4,81012	-2,32065
				-25,30660	<b>4,97801</b>	7,18284	-7,60137
				-23,68061	-1,98014	<b>14,23642</b>	-4,35858
				-21,25193	-3,82596	-0,66773	<b>11,10898</b>
	$\omega_M = 0,75$	gr1a	teplota, vítr	-16,00577	-0,82816	4,72310	-2,21001
				-28,88299	<b>5,81656</b>	8,53127	-8,80503
				-25,21438	-2,09126	<b>14,97858</b>	-4,46741
				-24,87025	-4,97580	-0,78138	<b>13,53173</b>
		gr4	teplota, vítr	-15,96604	-0,62555	4,78187	-1,97627
				-24,93553	<b>4,57567</b>	5,38781	-6,83228
				-22,94115	-1,68918	<b>13,38149</b>	-3,61616
				-18,61518	-2,97507	-0,80649	<b>9,34352</b>
		gr5	teplota, vítr	-16,09540	-0,70007	4,67858	-2,05354
				-21,50836	<b>4,24987</b>	6,40246	-6,56008
				-24,27538	-1,50947	<b>11,74565</b>	-3,06581
				-23,73217	-3,07654	-0,93724	<b>9,68317</b>
teplota		gr1a, vítr	-15,69207	-0,58768	4,43342	-1,90700	
			-24,81207	<b>5,54499</b>	7,52383	-8,43592	
			-23,26563	-1,69444	<b>13,96783</b>	-3,46092	
			-21,78744	-4,40656	-0,70063	<b>12,57850</b>	



Tabulka 6: Rovnice 6.10, minimální hodnoty

	redukce teploty	hlavní zatížení	vedlejší zatížení	N [MN]	M <sub>x</sub> [MNm]	M <sub>y</sub> [MNm]	M <sub>z</sub> [MNm]
Kombinace 6.10	ω <sub>N</sub> = 0,35	gr1a	teplota, vítr	-46,36313	1,97610	-3,74290	6,96731
				-45,27345	<b>-6,54063</b>	3,27023	-10,58682
				-38,01525	-1,18806	<b>-9,88652</b>	0,19260
				-42,58262	5,59627	-0,93062	<b>-12,94050</b>
		gr4	teplota, vítr	-41,78984	0,16050	-3,64375	4,07416
				-41,21675	<b>-5,23270</b>	2,06475	-8,45034
				-36,59700	-0,02210	<b>-8,45982</b>	-0,88734
				-37,75107	4,42975	-0,36198	<b>-10,58417</b>
		gr5	teplota, vítr	-43,64101	0,54017	-3,07575	4,56262
				-37,63455	<b>-4,93010</b>	3,00094	-8,24756
				-35,99614	-0,31206	<b>-8,29635</b>	-0,65523
				-35,44297	4,16813	-0,67384	<b>-10,18705</b>
		teplota	gr1a, vítr	-42,46057	1,14939	-4,67636	5,38260
				-41,47902	<b>-5,99781</b>	2,95979	-9,93354
				-36,24524	-0,86180	<b>-9,55037</b>	-0,19456
				-38,80902	5,13496	-0,78720	<b>-12,21765</b>
	ω <sub>M</sub> = 0,75	gr1a	teplota, vítr	-46,48586	1,68483	-3,28515	6,16536
				-45,46296	-6,81091	3,16451	-11,21629
				-38,27278	-1,38882	<b>-9,59231</b>	0,31177
				-42,28707	5,91704	-0,91148	<b>-13,75464</b>
		gr4	teplota, vítr	-41,91256	-0,13076	-3,17961	3,27221
				-41,40625	<b>-5,50298</b>	1,95902	-9,07981
				-36,85453	-0,22286	<b>-8,16561</b>	-0,76817
				-37,45552	4,75053	-0,34284	<b>-11,39830</b>
		gr5	teplota, vítr	-43,76373	0,24891	-2,61161	3,76066
				-37,82406	<b>-5,20038</b>	2,89522	-8,87703
				-36,25367	-0,51282	<b>-8,00214</b>	-0,53607
				-35,14742	4,48890	-0,65470	<b>-11,00118</b>
teplota	gr1a, vítr	-42,66512	0,66394	-3,90280	4,04601		
		-41,79486	<b>-6,44828</b>	2,78359	-10,98266		
		-36,67445	-1,19640	<b>-9,06002</b>	0,00405		
		-38,31644	5,66958	-0,75530	<b>-13,57455</b>		

Tabulka 7: Rovnice 6.10a, minimální hodnoty

	redukce teploty	hlavní zatížení	vedlejší zatížení	N [MN]	M <sub>x</sub> [MNm]	M <sub>y</sub> [MNm]	M <sub>z</sub> [MNm]
Kombinace 6.10a	$\omega_N = 0,35$	gr1a	teplota, vítr	-42,22476	1,25400	-3,47823	5,68076
				-41,41525	-5,78210	3,00102	-9,51149
				-35,96711	-0,79362	<b>-8,17510</b>	-0,23014
				-38,91706	4,92371	-0,78395	<b>-11,70636</b>
		gr4	teplota, vítr	-38,44565	0,36569	-5,79536	5,46231
				-37,63455	<b>-4,93010</b>	3,00094	-8,24756
				-35,46135	-0,83870	<b>-7,27607</b>	6,70861
				-38,11611	-4,49630	-4,11194	<b>-11,97017</b>
		gr5	teplota, vítr	-38,44565	0,36569	-5,79536	5,46231
				-37,63455	<b>-4,93010</b>	3,00094	-8,24756
				-35,46135	-0,83870	<b>-7,27607</b>	6,70861
				-38,11611	-4,49630	-4,11194	<b>-11,97017</b>
		teplota	gr1a, vítr	-42,22476	1,25400	-3,47823	5,68076
				-41,41525	<b>-5,78210</b>	3,00102	-9,51149
				-35,96711	-0,79362	<b>-8,17510</b>	-0,23014
				-38,91706	4,92371	-0,78395	<b>-11,70636</b>
	$\omega_M = 0,75$	gr1a	teplota, vítr	-42,34748	0,96274	-3,01409	4,87881
				-41,60475	<b>-6,05238</b>	2,89530	-10,14096
				-36,22464	-0,99437	<b>-7,88089</b>	-0,11097
				-38,62151	5,24449	-0,76481	<b>-12,52050</b>
		gr4	teplota, vítr	-38,56726	0,09181	-5,20983	4,55033
				-37,82406	<b>-5,20038</b>	2,89522	-8,87703
				-35,10887	-0,50715	<b>-6,72553</b>	5,67298
				-35,33663	4,22036	-3,75724	<b>-12,89061</b>
		gr5	teplota, vítr	-38,56726	0,09181	-5,20983	4,55033
				-37,82406	<b>-5,20038</b>	2,89522	-8,87703
				-35,10887	-0,50715	<b>-6,72553</b>	5,67298
				-35,33663	4,22036	-3,75724	<b>-12,89061</b>
teplota		gr1a, vítr	-42,34748	0,96274	-3,01409	4,87881	
			-41,60475	<b>-6,05238</b>	2,89530	-10,14096	
			-36,22464	-0,99437	<b>-7,88089</b>	-0,11097	
			-38,62151	5,24449	-0,76481	<b>-12,52050</b>	

Tabulka 8: Rovnice 6.10b, minimální hodnoty

	redukce teploty	hlavní zatížení	vedlejší zatížení	N [MN]	M <sub>x</sub> [MNm]	M <sub>y</sub> [MNm]	M <sub>z</sub> [MNm]
Kombinace 6.10b	$\omega_N = 0,35$	gr1a	teplota, vítr	-32,36397	2,51966	-3,34873	7,59634
				-31,36454	<b>-5,98210</b>	2,17695	-10,01493
				-25,78299	-1,60095	<b>-8,43680</b>	1,52646
				-29,40750	5,10003	-0,64855	<b>-12,28832</b>
		gr4	teplota, vítr	-27,79067	0,70406	-3,24319	4,70319
				-27,30783	<b>-4,67417</b>	0,97146	-7,87845
				-24,31652	-0,45420	<b>-6,93036</b>	-0,38913
				-24,57595	3,93351	-0,07991	<b>-9,93199</b>
		gr5	teplota, vítr	-29,64184	1,08374	-2,67518	5,19165
				-23,72564	<b>-4,37157</b>	1,90766	-7,67567
				-23,76238	-0,74813	<b>-6,78803</b>	0,52409
				-22,26786	3,67188	-0,39177	<b>-9,53487</b>
		teplota	gr1a, vítr	-28,46141	1,69295	-4,27580	6,01163
				-27,57010	<b>-5,43928</b>	1,86651	-9,36165
				-24,01269	-1,28524	<b>-8,12736</b>	1,09822
				-25,63390	4,63872	-0,50513	<b>-11,56547</b>
	$\omega_M = 0,75$	gr1a	teplota, vítr	-32,48670	2,22839	-2,88459	6,79438
				-31,55404	<b>-6,25238</b>	2,07123	-10,64439
				-26,04065	-1,79842	<b>-8,14536</b>	1,72823
				-29,11950	5,42080	-0,62940	<b>-13,10246</b>
		gr4	teplota, vítr	-27,91340	0,41280	-2,77905	3,90124
				-27,49734	<b>-4,94445</b>	0,85674	-8,50792
				-24,57405	-0,65496	<b>-6,63615</b>	-0,26996
				-24,28040	4,25428	-0,06077	<b>-10,74612</b>
		gr5	teplota, vítr	-29,76457	0,79247	-2,21105	4,38969
				-23,91514	<b>-4,64185</b>	1,80194	-8,30514
				-24,02003	-0,94560	<b>-6,49659</b>	0,72586
				-21,97231	3,99266	-0,37263	<b>-10,34900</b>
teplota		gr1a, vítr	-28,66595	1,20750	-3,50224	4,67504	
			-27,88595	<b>-5,88975</b>	1,69030	-10,41076	
			-24,44212	-1,61436	<b>-7,64162</b>	1,43450	
			-25,14132	5,17334	-0,47323	<b>-12,92236</b>	

Tabulka 9: Charakteristická kombinace, maximální hodnoty

	redukce teploty	hlavní zatížení	vedlejší zatížení	N [MN]	M <sub>x</sub> [MNm]	M <sub>y</sub> [MNm]	M <sub>z</sub> [MNm]
Charakteristická kombinace	$\omega_N = 0,35$	gr1a	teplota, vítr	-19,20997	0,09463	2,34345	1,24239
				-31,13931	<b>4,21669</b>	8,76128	-6,18198
				-30,97643	-3,74207	<b>13,77818</b>	-4,76377
				-26,08650	-3,12240	-0,88194	<b>8,73962</b>
		gr4	teplota, vítr	-19,17083	0,20214	2,34192	1,17229
				-28,25971	<b>3,29751</b>	6,43279	-4,72068
				-29,00249	-3,13187	<b>12,51667</b>	-3,97191
				-21,45312	-1,64039	-0,90054	<b>5,63725</b>
		gr5	teplota, vítr	-19,26551	0,17415	2,33587	1,17755
				-25,72107	<b>3,05618</b>	7,18439	-4,51905
				29,93184	-3,00307	<b>11,30669</b>	-3,56126
				-25,24348	-1,71554	-0,99739	<b>5,88883</b>
		teplota	gr1a, vítr	-19,19092	0,12023	2,40276	1,28885
				-28,32282	<b>3,83093</b>	7,91000	-5,63477
				-29,25718	-3,38786	<b>12,81062</b>	-4,22079
				-23,63609	-2,51225	-0,81246	<b>7,55781</b>
	$\omega_M = 0,75$	gr1a	teplota, vítr	-19,13316	-0,43173	5,74787	-1,73710
				-30,94150	<b>4,44348</b>	8,89768	-6,51580
				-30,81348	-3,51697	<b>13,54394</b>	-4,34738
				-26,30071	-3,35465	-0,89510	<b>9,32742</b>
		gr4	teplota, vítr	-19,10402	-0,28186	5,79165	-1,56401
				-28,06190	<b>3,52430</b>	6,56919	-5,05450
				-26,54551	-1,44280	<b>12,29672</b>	-2,79407
				-21,66732	-1,87263	-0,91371	<b>6,22504</b>
		gr5	teplota, vítr	-19,19984	-0,33706	5,71514	-1,62125
				-25,52326	<b>3,28297</b>	7,32078	-4,85287
				-27,54205	-0,26876	<b>11,11968</b>	-2,66598
				-25,45768	-1,94779	-1,01055	<b>6,47664</b>
		teplota	gr1a, vítr	-19,18415	0,12633	2,41617	1,34294
				-28,24831	<b>3,83325</b>	7,97873	-5,61462
				-29,09012	-3,29226	<b>11,19286</b>	-4,04142
				-23,72252	-2,52051	-0,82432	<b>7,59434</b>

Tabulka 10: Častá kombinace, maximální hodnoty

	redukce teploty	hlavní zatížení	vedlejší zatížení	N [MN]	M <sub>x</sub> [MNm]	M <sub>y</sub> [MNm]	M <sub>z</sub> [MNm]	
Častá kombinace	$\omega_N = 0,35$	gr1a	teplota, vítr	-19,23963	-0,10974	2,36367	-0,43766	
				-28,39372	<b>1,84992</b>	7,77877	-2,28189	
				-29,24844	-1,41563	<b>11,23667</b>	-1,50374	
				-23,56415	-0,65334	-0,77953	<b>2,00208</b>	
		gr4	teplota, vítr	-19,28129	-0,05010	2,35798	-0,48628	
				-25,71971	<b>1,22451</b>	7,08910	-1,40484	
				-24,97273	-0,97317	<b>9,20631</b>	-0,97392	
		gr5	teplota, vítr	-21,45484	0,07031	-0,86690	<b>0,44415</b>	
				-19,28129	-0,05010	2,35798	-0,48628	
				-25,71971	<b>1,22451</b>	7,08910	-1,40484	
		teplota	gr1a, vítr	-24,97273	-0,97317	<b>9,20631</b>	-0,97392	
				-21,45484	0,07031	-0,86690	<b>0,44415</b>	
				-19,27306	-0,04867	2,37328	-0,47062	
		$\omega_M = 0,75$	gr1a	teplota, vítr	-25,70164	<b>1,26184</b>	7,09809	-1,46451
					-25,00876	-0,98584	<b>9,42184</b>	-0,96084
					-21,47325	0,03326	-0,86673	<b>0,53481</b>
	-19,19170				-0,09649	2,45358	-0,30523	
	gr4		teplota, vítr	-28,22888	<b>2,03891</b>	7,89244	-2,56008	
				-29,11265	-1,22805	<b>11,04147</b>	-1,15675	
				-23,88496	-0,78609	-3,35666	<b>2,66072</b>	
				-19,22335	-0,03685	2,44789	-0,35386	
	gr5		teplota, vítr	-25,55485	<b>1,41425</b>	7,20262	-1,68434	
				-25,03510	-1,07658	<b>9,13301</b>	-0,87787	
				-21,76618	-0,10118	-2,66247	<b>1,07078</b>	
				-19,22335	-0,03685	2,44789	-0,35386	
	teplota	gr1a, vítr	-25,55485	<b>1,41425</b>	7,20262	-1,68434		
			-25,03510	-1,07658	<b>9,13301</b>	-0,87787		
			-21,76618	-0,10118	-2,66247	<b>1,07078</b>		
-18,98430			0,64712	5,52614	-0,14211			
teplota	gr1a, vítr	-25,29969	<b>1,78918</b>	7,36136	-2,25955			
		-24,10771	0,19562	<b>10,16009</b>	-1,23103			
		-22,03572	-0,45629	-2,57060	<b>2,16640</b>			

Tabulka 11: Kvazistálá kombinace, maximální hodnoty

	redukce teploty	hlavní zatížení	vedlejší zatížení	N [MN]	M <sub>x</sub> [MNm]	M <sub>y</sub> [MNm]	M <sub>z</sub> [MNm]
Kvazistálá kombinace	$\omega_N = 0,35$	gr1a	teplota, vítr	-19,28129	-0,05010	2,35798	-0,48628
				-25,71971	<b>1,22415</b>	7,08910	-1,40484
				-24,97273	-0,97317	<b>9,20631</b>	-0,97392
				-21,58840	0,08108	-2,71742	<b>0,48996</b>
		gr4	teplota, vítr	-19,22335	-0,03685	2,44789	-0,35386
				-25,55485	<b>1,41425</b>	7,20262	-1,68434
				-25,03510	-1,07658	<b>9,13301</b>	-0,87787
				-21,76618	-0,10118	-2,66247	<b>1,07078</b>
		gr5	teplota, vítr	-19,22335	-0,03685	2,44789	-0,35386
				-25,55485	<b>1,41425</b>	7,20262	-1,68434
				-25,03510	-1,07658	<b>9,13301</b>	-0,87787
				-21,76618	-0,10118	-2,66247	<b>1,07078</b>
		teplota	gr1a, vítr	-19,28129	-0,05010	2,35798	-0,48628
				-25,71971	<b>1,22415</b>	7,08910	-1,40484
				-24,97273	-0,97317	<b>9,20631</b>	-0,97392
				-21,58840	0,08108	-2,71742	<b>0,48996</b>
	$\omega_M = 0,75$	gr1a	teplota, vítr	-19,23335	-0,03685	2,44789	-0,35386
				-25,55487	<b>1,41350</b>	7,20277	-1,68303
				-25,03510	-1,07658	<b>9,13301</b>	-0,87787
				-21,76622	-0,10050	-2,66254	<b>1,06895</b>
		gr4	teplota, vítr	-19,22335	-0,03685	2,44789	-0,35386
				-25,55485	<b>1,41425</b>	7,20262	-1,68434
				-25,03510	-1,07658	<b>9,13301</b>	-0,87787
				-21,76618	-0,10118	-2,66247	<b>1,07078</b>
		gr5	teplota, vítr	-28,46150	-1,29642	-3,68051	-2,16616
				-27,9985	<b>-1,45043</b>	2,07224	-1,85129
				-26,05095	1,25298	<b>-4,66016</b>	-2,28643
				-26,23772	1,29407	-0,75101	<b>-2,42156</b>
teplota		gr1a, vítr	-19,20838	0,50815	5,71184	-0,31804	
			-25,50383	<b>1,48864</b>	7,23448	-1,79834	
			-25,08360	-1,10993	<b>9,33389</b>	-0,84558	
			-21,82012	-0,17166	-2,64415	<b>1,28844</b>	

Tabulka 12: Charakteristická kombinace, minimální hodnoty

	redukce teploty	hlavní zatížení	vedlejší zatížení	N [MN]	M <sub>x</sub> [MNm]	M <sub>y</sub> [MNm]	M <sub>z</sub> [MNm]
Charakteristická kombinace	$\omega_N = 0,35$	gr1a	teplota, vítr	-34,32225	1,32008	-2,64959	4,71722
				-33,53958	<b>-4,59255</b>	2,40957	-7,34755
				-28,13286	-0,77185	<b>-7,17303</b>	0,09686
				-31,55332	3,93597	-0,67449	<b>-8,96321</b>
		gr4	teplota, vítr	-30,93463	-0,02480	-2,57142	2,57415
				-30,53461	<b>-3,62371</b>	1,51662	-5,76498
				-27,08231	0,09183	<b>-6,11621</b>	-0,70309
				-27,97439	3,07188	-0,25328	<b>-7,21778</b>
		gr5	teplota, vítr	-32,30587	0,25643	-2,15067	2,93597
				-27,88114	<b>-3,39956</b>	2,21010	-5,61477
				-26,63723	-0,12296	<b>-5,99512</b>	-0,53116
				-26,26469	2,87808	-0,48428	<b>-6,92362</b>
		teplota	gr1a, vítr	-31,41539	0,71509	-3,24760	3,56492
				-30,72417	<b>-4,17448</b>	2,18267	-6,83238
				-26,80177	-0,52492	<b>-6,82267</b>	-0,19275
				-28,76606	3,57861	-0,56801	<b>-8,38989</b>
	$\omega_M = 0,75$	gr1a	teplota, vítr	-34,40407	1,12590	-2,34017	4,18258
				-33,66592	<b>-4,77273</b>	2,33909	-7,76720
				-28,30455	-0,90569	<b>-6,97689</b>	0,17630
				-31,35628	4,14982	-0,66173	<b>-9,50597</b>
		gr4	teplota, vítr	-31,01515	-0,21898	-2,25288	2,03958
				-30,66095	<b>-3,80390</b>	1,44614	-6,18462
				-27,25399	-0,04201	<b>-5,92007</b>	-0,62365
				-27,77736	3,28573	-0,24052	<b>-7,76054</b>
		gr5	teplota, vítr	-32,38639	0,06226	-1,83214	2,40140
				-28,00747	<b>-3,57975</b>	2,13962	-6,03442
				-26,80891	-0,25680	<b>-5,79898</b>	-0,45172
				-26,06766	3,09193	-0,47152	<b>-7,46637</b>
		teplota	gr1a, vítr	-31,28532	0,64091	-1,99126	3,36852
				-30,77630	<b>-4,14488</b>	2,15829	-6,83038
				-26,71228	-0,57988	<b>-5,51251</b>	-0,15596
				-28,69190	3,58078	-0,55467	<b>-8,41612</b>

Tabulka 13: Častá kombinace, minimální hodnoty

	redukce teploty	hlavní zatížení	vedlejší zatížení	N [MN]	M <sub>x</sub> [MNm]	M <sub>y</sub> [MNm]	M <sub>z</sub> [MNm]
Častá kombinace	$\omega_N = 0,35$	gr1a	teplota, vítr	-31,19354	-0,58742	-2,23017	-0,45880
				-30,69376	<b>-1,93052</b>	2,13106	-2,43639
				-26,57862	0,43669	<b>-5,65405</b>	-0,60347
				-28,83595	1,72841	-0,59913	<b>-2,86004</b>
		gr4	teplota, vítr	-28,21885	-1,17723	-1,82007	-1,51314
				-27,89325	<b>-1,29940</b>	2,13100	-1,50015
				-24,80264	0,80790	<b>-4,21914</b>	-0,96572
				-26,26256	1,16872	-0,51757	<b>-1,73462</b>
		gr5	teplota, vítr	-28,21885	-1,17723	-1,82007	-1,51314
				-27,89325	<b>-1,29940</b>	2,13100	-1,50015
				-24,80264	0,80790	<b>-4,21914</b>	-0,96572
				-26,26256	1,16872	-0,51757	<b>-1,73462</b>
		teplota	gr1a, vítr	-28,25850	-1,19476	-2,01976	-1,56296
				-27,90388	<b>-1,33535</b>	2,12413	-1,57049
				-24,84915	0,79658	<b>-4,44848</b>	-0,95984
				-26,24455	1,20393	-0,51811	<b>-1,81984</b>
	$\omega_M = 0,75$	gr1a	teplota, vítr	-31,43917	-0,72953	-4,26817	-1,07695
				-30,79904	<b>-2,08067</b>	2,07233	-2,78610
				-27,87927	0,75884	<b>-5,82145</b>	-1,19020
				-28,81090	1,82560	-2,72640	<b>-3,65271</b>
		gr4	teplota, vítr	-28,46150	-1,29642	-3,68051	-2,16616
				-27,9985	<b>-1,45043</b>	2,07224	-1,85129
				-26,05095	1,25298	<b>-4,66016</b>	-2,28643
				-26,23772	1,29407	-0,75101	<b>-2,42156</b>
		gr5	teplota, vítr	-28,46150	-1,29642	-3,68051	-2,16616
				-27,9985	<b>-1,45043</b>	2,07224	-1,85129
				-26,05095	1,25298	<b>-4,66016</b>	-2,28643
				-26,23772	1,29407	-0,75101	<b>-2,42156</b>
		teplota	gr1a, vítr	-28,72744	-1,53080	-4,29887	-2,95710
				-28,15695	<b>-1,77947</b>	1,97917	-2,55127
				-25,89451	1,53472	<b>-5,81545</b>	-3,18638
				-25,98447	1,62621	-2,83482	<b>-3,44156</b>



Tabulka 14: Kvazistálá kombinace, minimální hodnoty

	redukce teploty	hlavní zatížení	vedlejší zatížení	N [MN]	M <sub>x</sub> [MNm]	M <sub>y</sub> [MNm]	M <sub>z</sub> [MNm]
Kvazistálá kombinace	$\omega_N = 0,35$	gr1a	teplota, vítr	-28,39459	-1,14427	-4,01027	-1,65955
				-27,89325	<b>-1,29940</b>	2,13100	-1,50015
				-26,24677	1,06879	<b>-4,96602</b>	-1,71108
				-26,40128	1,12624	-2,69968	<b>-1,88506</b>
		gr4	teplota, vítr	-28,46150	-1,29642	-3,68051	-2,16616
				-27,9985	<b>-1,45043</b>	2,07224	-1,85129
				-26,05095	1,25298	<b>-4,66016</b>	-2,28643
				-26,23772	1,29407	-0,75101	<b>-2,42156</b>
		gr5	teplota, vítr	-28,46150	-1,29642	-3,68051	-2,16616
				-27,9985	<b>-1,45043</b>	2,07224	-1,85129
				-26,05095	1,25298	<b>-4,66016</b>	-2,28643
				-26,23772	1,29407	-0,75101	<b>-2,42156</b>
		teplota	gr1a, vítr	-28,39459	-1,14427	-4,01027	-1,65955
				-27,89325	<b>-1,29940</b>	2,13100	-1,50015
				-26,24677	1,06879	<b>-4,96602</b>	-1,71108
				-26,40128	1,12624	-2,69968	<b>-1,88506</b>
	$\omega_M = 0,75$	gr1a	teplota, vítr	-28,46215	-1,29642	-3,68497	-2,16621
				-27,99853	<b>-1,44956</b>	2,07227	-1,84985
				-26,05095	1,25298	<b>-4,66016</b>	-2,28643
				-26,23773	1,29341	-2,75097	<b>-2,41981</b>
		gr4	teplota, vítr	-28,46150	-1,29642	-3,68051	-2,16616
				-27,9985	<b>-1,45043</b>	2,07224	-1,85129
				-26,05095	1,25298	<b>-4,66016</b>	-2,28643
				-26,23772	1,29407	-0,75101	<b>-2,42156</b>
		gr5	teplota, vítr	-28,46150	-1,29642	-3,68051	-2,16616
				-27,9985	<b>-1,45043</b>	2,07224	-1,85129
				-26,05095	1,25298	<b>-4,66016</b>	-2,28643
				-26,23772	1,29407	-0,75101	<b>-2,42156</b>
teplota		gr1a, vítr	-28,51521	-1,34330	-3,80775	-2,32439	
			-28,03021	<b>-1,51554</b>	2,05365	-1,99014	
			-26,01966	1,30933	<b>-4,89122</b>	-2,46642	
			-26,18780	1,35997	-2,76774	<b>-2,62416</b>	

Pro posouzení oblouku byla vyhledána maxima a minima jednotlivých vnitřních sil a jim odpovídající hodnoty zbývajících vnitřních sil.

Pro posouzení není nutné uvažovat rovnici 6.10, ale v tomto případě byla do vyhodnocení vnitřních sil zahrnuta, jelikož již během výpočtu byly zanedbány některé vlivy a jsme tak na straně bezpečné

Tabulka 15: Maximální a minimální vnitřní síly pro MSÚ

$N_{\max} =$	<b>-15,69207</b>	6.10b $\omega_M=0,75$ hlavní teplota	$N_{\min} =$	<b>-46,48586</b>	6.10 $\omega_M=0,75$ hlavní LM1, chodníky
$M_{x,\text{odp}} =$	<b>-0,58768</b>		$M_{x,\text{odp}} =$	<b>1,68483</b>	
$M_{y,\text{odp}} =$	<b>4,43342</b>		$M_{y,\text{odp}} =$	<b>-3,28515</b>	
$M_{z,\text{odp}} =$	<b>-1,90700</b>		$M_{z,\text{odp}} =$	<b>6,16536</b>	
$N_{\text{odp}} =$	<b>-41,77037</b>	6.10 $\omega_M=0,75$ hlavní LM1, chodníky	$N_{\text{odp}} =$	<b>-45,46296</b>	6.10 $\omega_M=0,75$ hlavní LM1, chodníky
$M_{x,\text{max}} =$	<b>6,33389</b>		$M_{x,\text{min}} =$	<b>-6,81091</b>	
$M_{y,\text{odp}} =$	<b>12,02609</b>		$M_{y,\text{odp}} =$	<b>3,16451</b>	
$M_{z,\text{odp}} =$	<b>-9,36127</b>		$M_{z,\text{odp}} =$	<b>-11,21629</b>	
$N_{\text{odp}} =$	<b>-41,82433</b>	6.10 $\omega_N=0,35$ hlavní LM1, chodníky	$N_{\text{odp}} =$	<b>-38,01525</b>	6.10 $\omega_N=0,35$ hlavní LM1, chodníky
$M_{x,\text{odp}} =$	<b>-5,34571</b>		$M_{x,\text{odp}} =$	<b>-1,18806</b>	
$M_{y,\text{max}} =$	<b>18,84926</b>		$M_{y,\text{min}} =$	<b>-9,88652</b>	
$M_{z,\text{odp}} =$	<b>-6,83362</b>		$M_{z,\text{odp}} =$	<b>0,19260</b>	
$N_{\text{odp}} =$	<b>-24,87025</b>	6.10b $\omega_M=0,75$ hlavní LM1, chodníky	$N_{\text{odp}} =$	<b>-42,28707</b>	6.10 $\omega_M=0,75$ hlavní LM1, chodníky
$M_{x,\text{odp}} =$	<b>-4,97580</b>		$M_{x,\text{odp}} =$	<b>5,91704</b>	
$M_{y,\text{odp}} =$	<b>-0,78138</b>		$M_{y,\text{odp}} =$	<b>-0,91148</b>	
$M_{z,\text{max}} =$	<b>13,53173</b>		$M_{z,\text{min}} =$	<b>-13,75464</b>	

Tabulka 16: Maximální a minimální hodnoty MSP – charakteristické kombinace

$N_{\max} =$	<b>-19,12402</b>	$\omega M=0,75$ hlavní teplota
$M_{x,odp} =$	-0,28186	
$M_{y,odp} =$	5,79165	
$M_{z,odp} =$	-1,56401	

$N_{\min} =$	<b>-34,40407</b>	$\omega M=0,75$ hlavní teplota
$M_{x,odp} =$	1,12590	
$M_{y,odp} =$	-2,34017	
$M_{z,odp} =$	4,18258	

$N_{odp} =$	-30,94150	$\omega M=0,75$ hlavní teplota
$M_{x,\max} =$	<b>4,44348</b>	
$M_{y,odp} =$	8,89768	
$M_{z,odp} =$	-6,51580	

$N_{odp} =$	-33,66592	$\omega M=0,75$ hlavní teplota
$M_{x,\min} =$	<b>-4,77273</b>	
$M_{y,odp} =$	2,33909	
$M_{z,odp} =$	-7,76720	

$N_{odp} =$	-30,97643	$\omega M=0,75$ hlavní teplota
$M_{x,odp} =$	-3,74207	
$M_{y,\max} =$	<b>13,77818</b>	
$M_{z,odp} =$	-4,76377	

$N_{odp} =$	-28,13286	$\omega N=0,35$ hlavní teplota
$M_{x,odp} =$	-0,77185	
$M_{y,\min} =$	<b>-7,17303</b>	
$M_{z,odp} =$	0,09686	

$N_{odp} =$	-26,30071	$\omega M=0,75$ hlavní teplota
$M_{x,odp} =$	-3,35465	
$M_{y,odp} =$	-0,89510	
$M_{z,\max} =$	<b>9,32742</b>	

$N_{odp} =$	-31,35628	$\omega M=0,75$ hlavní teplota
$M_{x,odp} =$	4,14982	
$M_{y,odp} =$	-0,66173	
$M_{z,\min} =$	<b>-9,50597</b>	

Tabulka 17: Maximální a minimální hodnoty MSP – častá kombinace

$N_{\max} =$	<b>-19,18430</b>	$\omega M=0,75$ hlavní teplota
$M_{x,odp} =$	0,64712	
$M_{y,odp} =$	5,52614	
$M_{z,odp} =$	-0,14211	

$N_{\min} =$	<b>-31,43917</b>	$\omega M=0,75$ hlavní LM1, chodníky
$M_{x,odp} =$	-0,72953	
$M_{y,odp} =$	-4,26817	
$M_{z,odp} =$	-1,07695	

$N_{odp} =$	-28,22888	$\omega M=0,75$ hlavní LM1, chodníky
$M_{x,\max} =$	<b>2,03891</b>	
$M_{y,odp} =$	7,89244	
$M_{z,odp} =$	-2,56008	

$N_{odp} =$	-30,79904	$\omega M=0,75$ hlavní LM1, chodníky
$M_{x,\min} =$	<b>-2,08067</b>	
$M_{y,odp} =$	2,07233	
$M_{z,odp} =$	-2,78610	

$N_{odp} =$	-29,24844	$\omega N=0,35$ hlavní LM1, chodníky
$M_{x,odp} =$	-1,41563	
$M_{y,\max} =$	<b>11,23667</b>	
$M_{z,odp} =$	-1,50374	

$N_{odp} =$	-27,87927	$\omega M=0,75$ hlavní LM1, chodníky
$M_{x,odp} =$	0,75884	
$M_{y,\min} =$	<b>-5,82145</b>	
$M_{z,odp} =$	-1,19020	

$N_{odp} =$	-23,88496	$\omega M=0,75$ hlavní LM1, chodníky
$M_{x,odp} =$	-0,78609	
$M_{y,odp} =$	-3,35666	
$M_{z,\max} =$	<b>2,66072</b>	

$N_{odp} =$	-28,81090	$\omega M=0,75$ hlavní LM1, chodníky
$M_{x,odp} =$	1,82560	
$M_{y,odp} =$	-2,72640	
$M_{z,\min} =$	<b>-3,65271</b>	

Tabulka 18: Maximální a minimální hodnoty pro MSP – kvazistálé kombinace

$N_{\max} =$	<b>-19,20838</b>	$\omega M=0,75$ hlavní LM3
$M_{x,odp} =$	0,50815	
$M_{y,odp} =$	5,71184	
$M_{z,odp} =$	-0,31804	

$N_{\min} =$	<b>-28,51521</b>	$\omega M=0,75$ hlavní LM1, chodníky
$M_{x,odp} =$	-1,34330	
$M_{y,odp} =$	-3,80775	
$M_{z,odp} =$	-2,32439	

$N_{odp} =$	-25,50383	$\omega M=0,75$ hlavní LM1, chodníky
$M_{x,\max} =$	<b>1,48864</b>	
$M_{y,odp} =$	7,23448	
$M_{z,odp} =$	-1,79834	

$N_{odp} =$	-28,03021	$\omega M=0,75$ hlavní LM1, chodníky
$M_{x,\min} =$	<b>-1,51554</b>	
$M_{y,odp} =$	2,05365	
$M_{z,odp} =$	-1,99014	

$N_{odp} =$	-25,08360	$\omega N=0,35$ hlavní LM1, chodníky
$M_{x,odp} =$	-1,10993	
$M_{y,\max} =$	<b>9,33389</b>	
$M_{z,odp} =$	-0,84558	

$N_{odp} =$	-26,24677	$\omega N=0,35$ hlavní LM1, chodníky
$M_{x,odp} =$	1,06879	
$M_{y,\min} =$	<b>-4,96602</b>	
$M_{z,odp} =$	-1,71108	

$N_{odp} =$	-21,82012	$\omega M=0,75$ hlavní LM1, chodníky
$M_{x,odp} =$	-0,17166	
$M_{y,odp} =$	-2,64415	
$M_{z,\max} =$	<b>1,28844</b>	

$N_{odp} =$	-26,18780	$\omega M=0,75$ hlavní LM1, chodníky
$M_{x,odp} =$	1,35997	
$M_{y,odp} =$	-2,76774	
$M_{z,\min} =$	<b>-2,62416</b>	

## 5. POSOUZENÍ MSÚ

Na MSÚ byly posouzeny průřezy, v nichž vzniká maximální a minimální normálová síla a největší absolutní hodnoty momentů  $M_y$  a  $M_z$ . Ohybový moment druhého řádu byl vypočítán metodami jmenovité tuhosti a jmenovité křivosti a pro výpočet výsledného momentu byl uvažován aritmetický průměr výsledků obou metod. Odpovídající normálová síla působící na posuzovaný průřez byla rozdělena pro směry  $y$  a  $z$  v poměru velikostí momentů v příslušných směrech.

### 5.1. VÝPOČET PRO $N_{\max}$ A ODPOVÍDAJÍCÍ VNITŘNÍ SÍLY

$N =$	15,692	MN (tlak)	
$N_y =$	10,972	MN	Složky normálové síly rozdělené v poměru momentů.
$N_z =$	4,720	MN	
$M_x =$	0,588	MNm	
$M_y =$	4,433	MNm	Pozn. všechny síly se berou v absolutní hodnotě
$M_z =$	1,907	MNm	
$L$	92,418	m ...rozvinutá střednice oblouku	

$$b = 3,500 \text{ m}$$

$$h = 1,173 \text{ m}$$

$$A_c = b \times h = 3,500 \times 1,173 = 4,106 \text{ m}^2$$

$$I_y = (1/12) \times b \times h^3 = (1/12) \times 3,5 \times 1,173^3 = 0,47074 \text{ m}^4$$

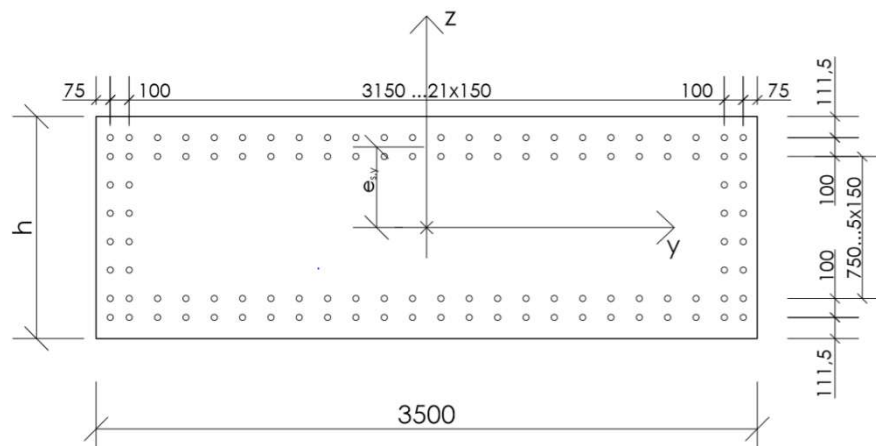
$$I_z = (1/12) \times b^3 \times h = (1/12) \times 1,173^3 \times 3,500 = 4,19103 \text{ m}^4$$

$$i_y = \sqrt{I_y/A} = \sqrt{0,47074 / 4,1055} = 0,339 \text{ m}$$

$$i_z = \sqrt{I_z/A} = \sqrt{4,19103 / 4,1055} = 1,010 \text{ m}$$

$$A_{s,\text{celk}} = n \times \pi \times d^2 / 4 = 112 \times 3,1415 \times 0,032^2 / 4 = 0,090 \text{ m}^2$$

#### VÝPOČET VE SMĚRU Y



Obrázek 41: Schéma vyztužení konstrukce oblouku pro výpočet ve směru  $y$

$$A_{s,y} = n \pi x d^2 / 4 = 96 \times 3,1415 \times 0,032^2 / 4 = 0,077 \text{ m}^2$$

$$e_{s,y} = 0,425 \text{ m}$$

$$I_{s,y} = 2 \times A_{s,y} \times e^2 = 2 \times 0,0772 \times 0,425^2 = 0,028 \text{ m}^4$$

### Vliv počátečních imperfekcí

$$\Delta M_y = a \times N_{Ed} = 0,048 \times 10,972 = 0,527 \text{ MNm}$$

$$a = \theta_i \times L / 2 = 0,001 \times 92,418 \times 0,5 = 0,048 \text{ m}$$

$$\theta_i = \theta_0 \times \alpha_h = 0,005 \times 0,208 = 0,001$$

$$\theta_0 = 1 / 200 = 1 / 200 = 0,005$$

$$\alpha_h = 2 / \sqrt{L} = 2 / \sqrt{92,418} = 0,208$$

$$M_{0Ed,y} = M_y + \Delta M_y = 4,433 + 0,527 = 4,961 \text{ MNm}$$

### Limitní štíhlost

$$\lambda_{lim} = \frac{20 \times A \times B \times C}{\sqrt{n}} = \frac{20 \times 0,7 \times 1,1 \times 0,7}{\sqrt{0,076}} = 39,103$$

$$A = 0,7$$

$$B = 1,1$$

$$C = 0,7$$

konstanty

$$n = \frac{N_{Ed}}{A_c \times f_{cd}} = \frac{10,972}{4,813 \times 30} = 0,076$$

Limitní štíhlost je počítána z průměrného průřezu

Účinky druhého řádu lze zanedbat, pokud  $\lambda < \lambda_{lim}$ .

$$\lambda = L_0 / i_y = 33,270 / 0,339 = 98,254$$

$$L_0 = 0,36 \times L = 0,36 \times 92,418 = 33,270 \text{ m}$$

$$\lambda < \lambda_{lim}$$

$$98,254 < 39,103 \quad \text{Nesplněno.}$$

### **METODA JMENOVITÉ TUHOSTI**

$$EI = K_c \times E_{cd} \times I_c + K_s \times E_s \times I_s = 0,028 \times 30833 \times 0,471 + 1,0 \times 200000 \times 0,028 = 5981,319 \text{ MNm}^2$$

$$E_{cd} = E_{cm} / \gamma_{CE} = 37000 / 1,2 = 30833$$

$$K_c = \frac{k_1 \times k_2}{1 + \varphi_{ef}} = \frac{1,581 \times 0,044}{1 + 1,5} = 0,028$$

$$k_1 = \sqrt{(f_{ck} / 20)} = \sqrt{50 / 20} = 1,581$$

$$k_2 = n \times \lambda / 170 = 0,076 \times 98,254 / 170 = 0,044$$

$$\varphi_{ef} = \varphi(\infty; t_0) \times 0,6 = 1,5$$

$$K_s = 1,0$$

nebo zjednodušeně

$$EI = K_c \times E_{cd} \times I_c + K_s \times E_s \times I_s = 0,171 \times 30833,3 \times 0,471 + 0,0 \times 200000 \times 0,028 = 2488,196 \text{ MNm}^2$$

$$K_c = \frac{0,3}{1 + 0,5 \times \varphi_{ef}} = \frac{0,3}{1 + 0,5 \times 1,5} = 0,171$$

$$K_s = 0$$

pro další výpočet bylo uvažováno  $EI = 2488,196 \text{ MNm}^2$

### **Zvětšovací momentový součinitel**

$$M_{Ed,y} = M_{0Ed,y} \times \left[ 1 + \frac{\beta}{(N_{cr}/N_{Ed}) - 1} \right] = 4,961 \times \left[ 1 + \frac{0,9}{(22,184 / 10,972) - 1} \right] = 9,330 \text{ MNm}$$

$$N_{cr} = \frac{EI \pi^2}{L_0^2} = \frac{2488 \times 3,1415^2}{33,270^2} = 22,184 \text{ MN}$$

$$\beta = 0,9$$

nebo zjednodušeně

$$M_{Ed,y} = M_{0Ed,y} / \left( 1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr}} \right) = 4,961 / \left( 1 - \frac{10,972}{22,184} \right) = 9,816 \text{ MNm}$$

$$M_{Ed,y} = 9,330 \text{ MNm}$$



## **METODA JMENOVITÉ KŘIVOSTI**

$$M_{Ed,y} = M_{0Ed,y} + M_2 = 4,961 + 6,539 = 11,499 \text{ MPa}$$

$$M_2 = N_{Ed} \times e_2 = 10,972 \times 0,596 = 6,539 \text{ MPa}$$

$$e_2 = \frac{(1/r) \times L_0^2}{c} = \frac{0,005 \times 33,270^2}{9} = 0,596 \text{ m}$$

$$(1/r) = K_r \times K_\varphi \times (1/r_0) = 1 \times 1 \times 0,005 = 0,005 \text{ m}^{-1}$$

$$K_r = \frac{n_u - n}{n_u - n_{bal}} = \frac{1,318 - 0,076}{1,318 - 0,4} = 1,353 \leq 1$$

$$n_u = 1 + \omega = 1 + 0,318 = 1,318$$

$$\omega = (A_s \times f_{yd}) / (A_c \times f_{cd}) = \frac{0,090 \times 434,78}{4,106 \times 30} = 0,318$$

$$K_\varphi = 1 + \beta \times \varphi_{ef} = 1 + -0,055 \times 1,5 = 1 \geq 1$$

$$\beta = 0,35 + f_{ck} / 200 - \lambda / 150 = 0,35 + \frac{50}{200} - \frac{98,254}{150} = -0,055$$

$$(1/r_0) = \varepsilon_{yd} / 0,45d = 0,002 / (0,45 \times 0,997) = 0,005 \text{ m}^{-1}$$

$$\varepsilon_{yd} = f_{yd} / E_s = 434,78 / 200 = 0,002$$

$$d = 0,85 \times h = 0,85 \times 1,173 = 0,997 \text{ m}$$

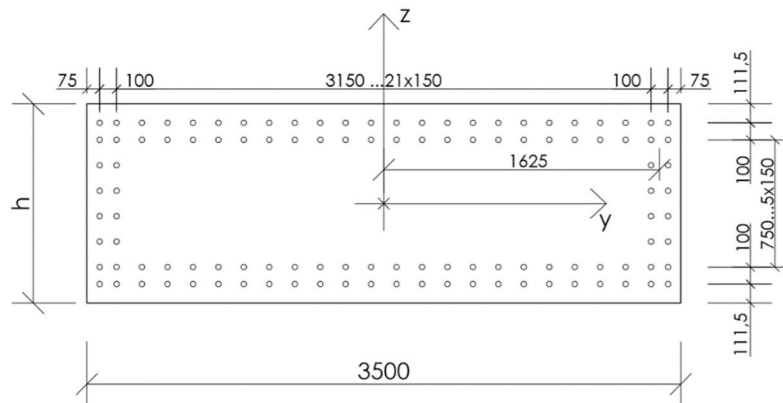
$$n_{bal} = 0,4$$

$$c = 9$$

### **aritmetický průměr výsledků**

$$M_{Ed,y} = \frac{9,330 + 11,499}{2} = 10,415 \text{ MNm}$$

## VÝPOČET VE SMĚRU Z



Obrázek 42: Schéma vyztužení konstrukce oblouku pro výpočet ve směru z

$$A_{s,z} = n \times \pi \times d^2 / 4 = 16 \times 3,1415 \times 0,032^2 / 4 = 0,013 \text{ m}^2$$

$$e_{s,z} = 1,625 \text{ m}$$

$$I_{s,z} = 2 \times A_{s,z} \times e^2 = 2 \times 0,0129 \times 1,625^2 = 0,068 \text{ m}^4$$

### Vliv počátečních imperfekcí

$$\Delta M_z = a \times N_{Ed} = 0,048 \times 4,720 = 0,227 \text{ MNm}$$

$$a = \theta_i \times L / 2 = 0,001 \times 92,418 \times 0,5 = 0,048 \text{ m}$$

$$\theta_i = \theta_0 \times \alpha_h = 0,005 \times 0,208 = 0,001$$

$$\theta_0 = 1 / 200 = 1 / 200 = 0,005$$

$$\alpha_h = 2 / \sqrt{L} = 2 / \sqrt{92,418} = 0,208$$

$$M_{0Ed,z} = M_z + \Delta M_z = 1,907 + 0,227 = 2,134 \text{ MNm}$$

### Limitní štíhlost

$$\lambda_{lim} = \frac{20 \times A \times B \times C}{\sqrt{n}} = \frac{20 \times 0,7 \times 1,1 \times 0,7}{\sqrt{0,033}} = 59,625$$

$$A = 0,7$$

$$B = 1,1 \quad \text{konstanty}$$

$$C = 0,7$$

$$n = \frac{N_{Ed}}{A_c \times f_{cd}} = \frac{4,720}{4,813 \times 30} = 0,033$$

Účinky druhého řádu lze zanedbat, pokud  $\lambda < \lambda_{lim}$ .

$$\lambda = L_0/i_z = 33,270 / 1,01036 = 32,929$$

$$L_0 = 0,36 \times L = 0,36 \times 92,418 = 33,270 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \lambda &< \lambda_{lim} \\ 32,929 &< 59,625 \end{aligned}$$

Splněno, není nutné počítat moment 2. řádu.

### DVOUOSÉ NAMÁHÁNÍ OHYBEM

Pokud  $\frac{\lambda_y}{\lambda_z} \leq 2$  nebo  $\frac{\lambda_z}{\lambda_y} \leq 2$  není nutné dvouosé namáhání ohybem posuzovat.

$$\frac{\lambda_y}{\lambda_z} = \frac{98,254}{32,929} = 2,984 \quad \text{Není rozhodující poměr./Je třeba posoudit.}$$

$$\frac{\lambda_z}{\lambda_y} = \frac{32,929}{98,254} = 0,335 \quad \text{Není rozhodující poměr./Je třeba posoudit.}$$

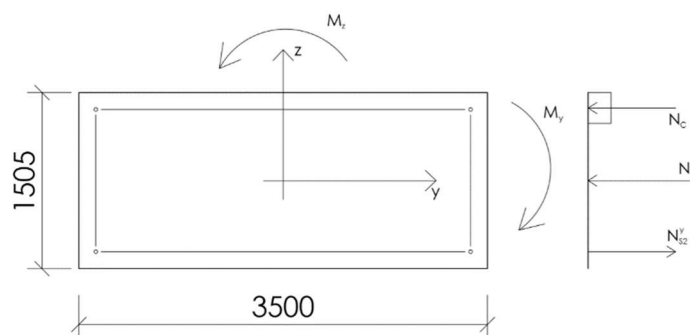
### POSOUZENÍ

$$N_{Rd} = A_c \times f_{cd} + A_s \times f_{yd} = 4,106 \times 30 + 0,090 \times 435 = 162,327 \text{ MN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} = \frac{15,692}{162,327} = 0,10$$

$N_{Ed}/N_{Rd}$	0,1	0,7	1
a	1	1,5	2

$$a = 1,0$$



Obrázek 43: Schéma vnitřních sil pro výpočet MRd ve směru osy y

$$M_{Rd,y} = N_{s1,y}xz/2 + N_cxr = 16,7837 \times \frac{0,85}{2} + 27,756 \times 0,4543 = 19,743 \text{ MN}$$

$$A_{s1,y} = 0,5xA_{s,y} = 0,5 \times 0,077 = 0,039 \text{ m}^2$$

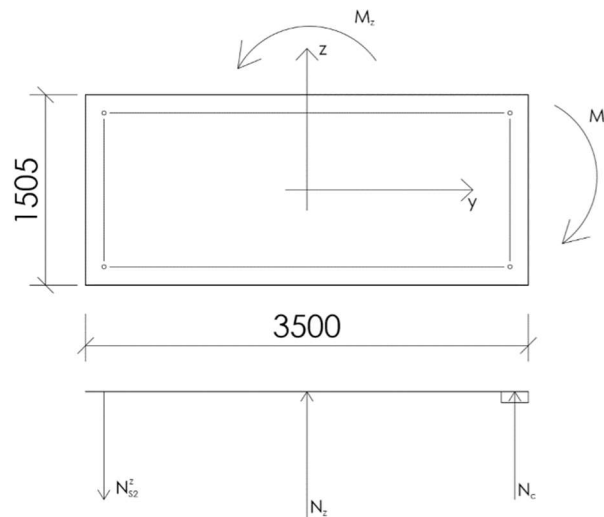
$$N_{s1,y} = A_{s1,y}xf_{yd} = 0,039 \times 434,78 = 16,7837 \text{ MN}$$

$$z = 2xe_{s,y} = 2 \times 0,425 = 0,85$$

$$N_c = N_{s1,y} + N_{Ed} = 16,7837 + 10,972 = 27,756 \text{ MN}$$

$$x = N_c/(f_{cd}xb) = \frac{27,756}{30 \times 3,5} = 0,264 \text{ m}$$

$$r = h/2 - x/2 = \frac{1,173}{2} - \frac{0,26434}{2} = 0,454$$



Obrázek 44: Schéma vnitřních sil pro výpočet MRd ve směru osy z

$$\begin{aligned} M_{Rd,z} &= N_{s1,z}xz/2 + N_{s2,z}xz/2 + N_cxr = \\ &= 2,797 \times \frac{3,25}{2} + 7,517 \times 1,64319 = 16,897 \text{ MN} \end{aligned}$$

$$A_{s1,z} = 0,5xA_{s,z} = 0,5 \times 0,013 = 0,006 \text{ m}^2$$

$$N_{s1,z} = A_{s1,z}xf_{yd} = 0,006 \times 434,78 = 2,797 \text{ MN}$$

$$z = 2xe_{s,z} = 2 \times 1,625 = 3,25$$

$$N_c = N_{s1,y} - N_{Ed} = 2,797 + 4,720 = 7,517 \text{ MN}$$

$$x = N_c/(f_{cd}xh) = \frac{7,517}{30 \times 1,173} = 0,214 \text{ m}$$

$$r = b/2 - x/2 = \frac{3,5}{2} - \frac{0,2136}{2} = 1,643$$

$$\left(\frac{M_{Ed,y}}{M_{Rd,y}}\right)^a + \left(\frac{M_{Ed,z}}{M_{Rd,z}}\right)^a = \frac{10,415}{19,74} + \frac{4,747}{16,897} = 0,808$$

0,808 < 1,00 Vyhovuje.

## 5.2. POSOUZENÍ PRO OSTATNÍ KOMBINACE VNITŘNÍCH SIL

Výpočty pro ostatní průřezy a extrémy vnitřních sil byly provedeny v tabulce MS Excel obdobným postupem, pro přehlednost vkládám pouze vstupní hodnoty a posouzení výsledků.

### 5.2.1. Normálová síla $N_{max}$

N =	46,486	MN (tlak)	
$N_y$ =	16,159	MN	Složky normálové síly rozdělené v poměru momentů.
$N_z$ =	30,327	MN	
$M_x$ =	1,685	MNm	Pozn. všechny síly se berou v absolutní hodnotě
$M_y$ =	3,285	MNm	
$M_z$ =	6,165	MNm	
L =	92,418	m	rozvinutá střednice oblouku
b =	3,500	m	
h =	1,581	m	

$$\left(\frac{M_{Ed,y}}{M_{Rd,y}}\right)^a + \left(\frac{M_{Ed,z}}{M_{Rd,z}}\right)^a = \left(\frac{9,019}{31,430}\right)^{1,2} + \left(\frac{13,837}{50,946}\right)^{1,2} = 0,433$$

0,433 < 1,00 Vyhovuje.

### 5.2.2. Ohybový moment $M_y$

N =	41,824	MN (tlak)	
$N_y$ =	30,695	MN	Složky normálové síly rozdělené v poměru momentů.
$N_z$ =	11,129	MN	
$M_x$ =	5,346	MNm	Pozn. všechny síly se berou v absolutní hodnotě
$M_y$ =	18,849	MNm	
$M_z$ =	6,834	MNm	
L =	92,418	m	rozvinutá střednice oblouku
b =	3,500	m	
h =	1,605	m	

$$\left(\frac{M_{Ed,y}}{M_{Rd,y}}\right)^a + \left(\frac{M_{Ed,z}}{M_{Rd,z}}\right)^a = \left(\frac{27,205}{37,286}\right)^{1,2} + \left(\frac{7,369}{26,769}\right)^{1,2} = 0,898$$

0,898 < 1,00      Vyhovuje.

### 5.2.3. Ohybový moment $M_z$

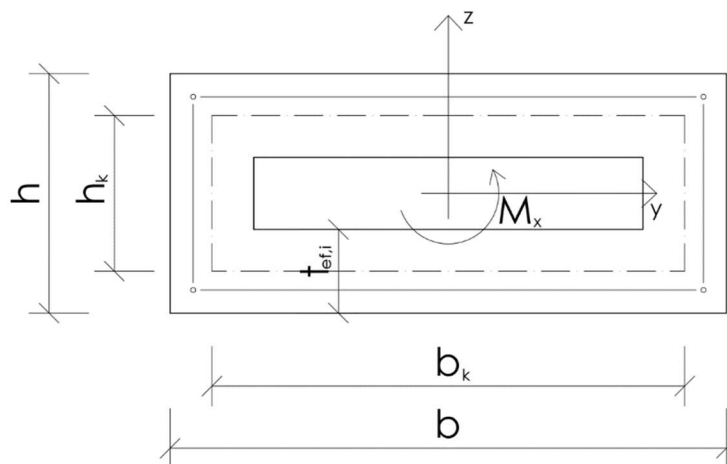
N =	42,287 MN (tlak)	
$N_y =$	2,627 MN	Složky normálové síly rozdělené v poměru momentů.
$N_z =$	39,660 MN	
$M_x =$	5,917 MNm	Pozn. všechny síly se berou v absolutní hodnotě
$M_y =$	0,911 MNm	
$M_z =$	13,755 MNm	
L	92,418 m	rozvinutá střednice oblouku
b =	3,500 m	
h =	1,544 m	

$$\left(\frac{M_{Ed,y}}{M_{Rd,y}}\right)^a + \left(\frac{M_{Ed,z}}{M_{Rd,z}}\right)^a = \left(\frac{1,037}{23,440}\right)^{1,2} + \left(\frac{24,328}{59,388}\right)^{1,2} = 0,366$$

0,366 < 1,00      Vyhovuje.

## 5.3. POSOUZENÍ KROUCENÍ

Průřez s maximální absolutní hodnotou  $M_x$  byl posouzen na kroucení.



Obrázek 45: Náhradní tenkostěnný průřez pro posouzení kroucení

$$\begin{aligned}
 b &= 3,500 \text{ m} \\
 h &= 1,505 \text{ m} \\
 M_x &= 6,811 \text{ MNm} \\
 f_{yd} &= 434,78 \text{ MPa} \\
 f_{cd} &= 30 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$A = b \times h = 3,500 \times 1,505 = 5,268 \text{ m}^2$$

$$u = 2 \times b + 2 \times h = 2 \times 3,500 + 2 \times 1,505 = 10,01 \text{ m}$$

$$t_{ef,i} = A/u = 5,2675 / 10,01 = 0,526 \text{ m}$$

$$\Sigma A_{sl} = \frac{u_k \times M_x}{f_{yd} \times 2 \times A_k} \times \cot \theta = \frac{7,905 \times 6,811}{434,8 \times 2 \times 2,91066} \times 1,75 = 0,037 \text{ m}^2$$

$$b_k = b - t_{ef,i} = 3,500 - 0,526 = 2,974$$

$$h_k = h - t_{ef,i} = 1,505 - 0,526 = 0,979$$

$$A_k = b_k \times h_k = 2,974 \times 0,979 = 2,9107 \text{ m}^2$$

$$u_k = 2 \times b_k + 2 \times h_k = 2 \times 2,974 + 2 \times 0,979 = 7,905 \text{ m}$$

$$\cot \theta \approx 1,75$$

$$\theta = 32,73^\circ$$

$$T_{Rd, \max} = 2 \times v \times \alpha_{cw} \times f_{cd} \times A_k \times t_{ef,i} \times \sin \theta \times \cos \theta =$$

$$2 \times 0,6 \times 1,0 \times 30 \times 2,9107 \times 0,526 \times \sin 32,7^\circ \times \cos 32,7^\circ = 14,957 \text{ MNm}$$

$$\begin{aligned}
 v &= 0,6 \\
 \alpha_{cw} &= 1,0
 \end{aligned}$$

$$\frac{M_x}{T_{Rd, \max}} \leq 1,0$$

$$\frac{6,811}{14,957} \leq 1,0$$

$$0,455 \leq 1,0$$

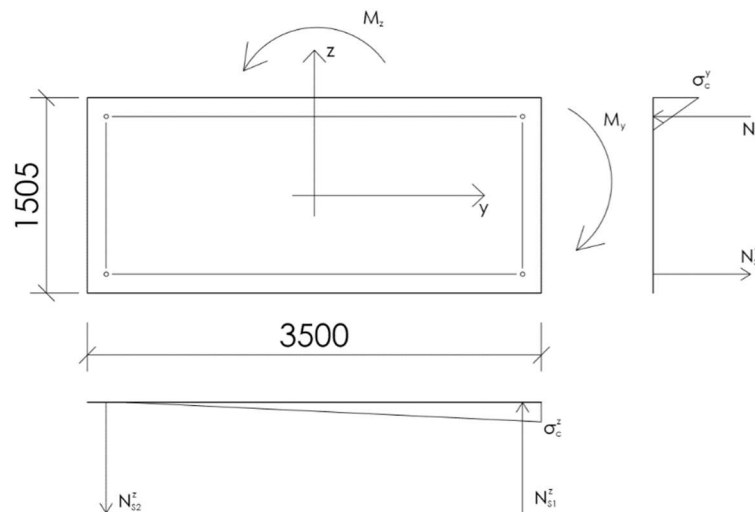
## 6. POSOUZENÍ MSP

### 6.1. OMEZENÍ NAPĚTÍ

Posouzení mezního stavu použitelnosti – omezení napětí bylo provedeno při charakteristické kombinaci pro průřez s maximální absolutní hodnotou ohybového momentu  $M_y$ .

Napětí v betonu a ve výztuži bylo spočítáno pro zatížení v jednotlivých směrech zvlášť a pak byla sečtena tak, aby bylo možné posoudit maximální tlakové napětí v betonu (na obrázku níže vznikající v pravém horním rohu) a maximální tahové napětí ve výztuži (na obrázku níže vznikající v levém dolním rohu).

$$\begin{aligned}
 b &= 3,500 \text{ m} \\
 h &= 1,505 \text{ m} \\
 f_{ck} &= 50 \text{ MPa} \\
 f_{yk} &= 500 \text{ MPa} \\
 A_c = b \times h &= 3,500 \times 1,505 = 5,268 \text{ m}^2 \\
 I_y = 1/12 \times b \times h^3 &= 1/12 \times 3,500 \times 1,505^3 = 0,994 \text{ m}^4 \\
 z_T = h/2 &= 1,505 / 2 = 0,753 \text{ m} \\
 W_y^h = I_y/z_T &= 0,994 / 0,753 = 1,321 \text{ m}^3 \\
 I_z = 1/12 \times b^3 \times h &= 1/12 \times 3,500^3 \times 1,505 = 5,377 \text{ m}^4 \\
 z_T = b/2 &= 3,500 / 2 = 1,750 \text{ m} \\
 W_z^h = I_z/z_T &= 5,377 / 1,750 = 3,073 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$



Obrázek 46: Vnitřní síly pro posouzení napětí

$$\begin{aligned}
 N &= -30,970 \text{ MN} \\
 M_x &= 3,742 \text{ MNm} \\
 M_y &= 13,778 \text{ MNm} \\
 M_z &= 4,764 \text{ MNm} \\
 N_{y,odp} &= -23,013 \text{ MN} \\
 N_{z,odp} &= -7,957 \text{ MN}
 \end{aligned}$$

normálová síla rozpočítaná v poměru momentů



### **POSOUZENÍ NEJVÍCE TLAČENÉHO BODU PRŮŘEZU**

$$\sigma_{yc} = \frac{M_y}{W_y} + \frac{N_{y, odp}}{A_c} = \frac{13,778}{-1,321} + \frac{-23,013}{5,268} = -14,797 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{zc} = \frac{M_z}{W_z} + \frac{N_{z, odp}}{A_c} = \frac{4,764}{-3,073} + \frac{-7,957}{5,268} = -3,061 \text{ MPa}$$

$$\sigma_c = \sigma_y + \sigma_z = -14,8 + -3,061 = -17,858 \text{ MPa}$$

$$\begin{array}{l} |\sigma_c| \leq 0,6 \times f_{ck} \\ 17,858 \leq 0,6 \times 50 \text{ MPa} \\ 17,858 \leq 30 \text{ MPa} \end{array} \quad \text{Vyhovuje.}$$

### **POSOUZENÍ NEJVÍCE TAŽENÉHO BODU PRŮŘEZU**

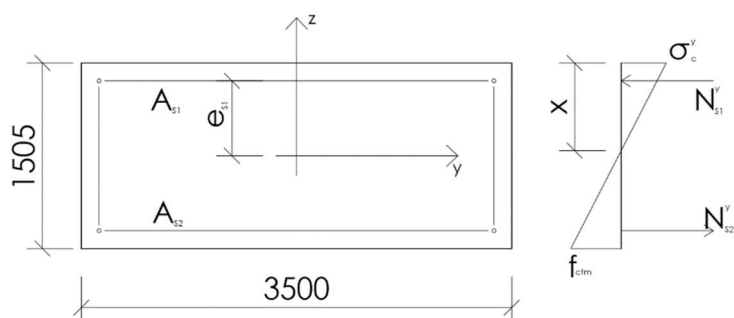
$$\sigma_{yt} = \frac{M_y}{W_y} + \frac{N_{y, odp}}{A_c} = \frac{13,778}{1,321} + \frac{-23,013}{5,268} = 6,059 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{zt} = \frac{M_z}{W_z} + \frac{N_{z, odp}}{A_c} = \frac{4,764}{3,073} + \frac{-7,957}{5,268} = 0,040 \text{ MPa}$$

$$\sigma_t = \sigma_y + \sigma_z = 6,059 + 0,040 = 6,099 \text{ MPa}$$

$$\begin{array}{l} 6,099 > 0 \text{ MPa} \quad \text{Vzniká tah.} \\ 6,099 > f_{ctm} = 4,1 \text{ MPa} \quad \text{Vznikají trhliny.} \end{array}$$

### **POSOUZENÍ TAHOVÉHO NAPĚTÍ V NEJVÍCE TAŽENÉM PRUTU VÝZTUŽE**



Obrázek 47: Schéma vnitřních sil v průřezu pro výpočet tahového napětí v nejvíce taženém prutu výztuže

plocha horní vrstvy výztuže

$$A_{s1} = 48 \times \pi \times d^2 / 4 = 48 \times 3,1415 \times 0,032^2 / 4 = 0,039 \text{ mm}^2$$

síla v horní vrstvě výztuže

$$N_{s1}^y = A_{s1} \times f_{yk} = 0,039 \times 500 = 19,279 \text{ MN}$$

napětí v horních vláknech průřezu

$$\sigma_c^h = \frac{N_{s1}}{A_c} + \frac{N_{s1} \times e_{s1}}{W^h} = \frac{19,279}{5,2675} + \frac{19,279 \times 0,591}{-1,321} = -4,965 \text{ MPa}$$

napětí v dolních vláknech průřezu

$$\sigma_c^d = f_{ctm} = 4,1 \text{ MPa}$$

výška tlačené oblasti

$$x = \frac{f_{ctm} \times h}{f_{ctm} + \sigma_c^h} = \frac{4,1 \times 1,505}{4,1 + 4,965} = 0,681 \text{ m}$$

síla v taženém betonu, kterou přebere tahová výztuž po vzniku první trhliny

$$N_{s2}^y = 0,5 \cdot (h-x) \cdot b \cdot f_{ctm} = 0,5 \times 0,824 \times 3,5 \times 4,1 = 5,915 \text{ MN}$$

tahové napětí ve výztuži

$$\sigma_s = N_s / A_s = 5,9145 / 0,039 = 153,391 \text{ MPa}$$

napětí v betonu v místě dolní vrstvy výztuže

$$\sigma_c^s = \sigma_{zc} \times 0,08 / 3,455 = -3,061 \times 0,08 / 3,455 = -0,071 \text{ MPa}$$

poměrné protažení betonu/výztuže

$$\epsilon_c^s = \epsilon_s = \sigma_c^s / E_{cm} = -0,071 / 37000 = -0,000002$$

tlakové napětí ve výztuži

$$\sigma_{sz} = \epsilon_s \times E_s = -0,000002 \times 200000 = -0,383 \text{ MPa}$$

celkové napětí v nejtaženejším prutu výztuže

$$\sigma_s = \sigma_{sy} + \sigma_{sz} = 153,391 + -0,383 = 153,008 \text{ MPa}$$

$\sigma_s$	<	0,8	x	$f_{yk}$	
153,008	<	0,8	x	500	
153,008	<	400		MPa	Vyhovuje.

tlačená oblast ve směru osy z

$$x_z = b \times \sigma_{zc} / (\sigma_{zt} + \sigma_{zc}) = 3,500 \times 3,061 / (0,040 + 3,061) = 3,455 \text{ m}$$

Ve směru osy z je dolní výztuž tlačená.

## 6.2. OMEZENÍ ŠÍŘKY TRHLIN

Posouzení mezního stavu použitelnosti – omezení šířky trhlin bylo provedeno pro kvazistálou kombinaci. Limitní šířka pro beton stupně vlivu prostředí navrhované konstrukce je 0,2 mm.

### VÝPOČET ŠÍŘKY TRHLIN VE SMĚRU Y

N =	-25,084	MN		
M <sub>x</sub> =	-1,110	MNm		
M <sub>y</sub> =	9,334	MNm	N <sub>y,odp</sub> =	-22,999 MN
M <sub>z</sub> =	-0,846	MNm	N <sub>z,odp</sub> =	-2,085 MN
b =	3,500	m		
h =	1,505	m		

osová vzdálenost mezi pruty	0,100 m
počet prutů v dolní vrstvě	48 ks
průměr jednoho prutu	32 mm
plocha jednoho prutu	803,8 mm <sup>2</sup>
plocha betonářské výztuže celkem	48x803,8 = 38582 mm <sup>2</sup>

stanovení výšky "účinné plochy taženého betonu"

h =	1,505	m
x =	1,157	m
d =	1,394	m

vzdálenost těžiště výztuže nad dolním povrchem průřezu

$$a_s = 0,1615 \quad \text{m}$$

výška účinné plochy

$$h_{c,ef} = 2,5x(h-d) = 2,5 \times (1,505 - 1,394) = 0,278 \quad \text{m}$$

$$h_{c,ef} = (h-x)/3 = (1,505 - 1,157) / 3 = 0,116 \quad \text{m}$$

$$h_{c,ef} = h/2 = 1,505 / 2 = 0,753 \quad \text{m}$$

$$h_{c,ef} = \min [ 0,278 ; 0,116 ; 0,753 ] = 0,116 \quad \text{m}$$

$$A_{c,ef} = 0,116 \times 3,500 = 0,406 \quad \text{m}^2$$

$$A_s = 0,039 \quad \text{mm}^2$$

$$k_t = 0,50$$

$$\rho_{s,ef} = \frac{A_s}{A_{c,ef}} = \frac{0,039}{0,406} = 0,095$$

$$\alpha_e = 15,0$$

$$f_{ct,ef} = f_{ctm} = 4,1 \text{ MPa}$$

$$\sigma_s = 28,317 \text{ MPa}$$

$$E_s = 200000 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} \epsilon_{sm} - \epsilon_{cm} &= [\sigma_s - k_1 \times f_{ctm} \times (1 + \alpha_e \times \rho_{s,ef}) / \rho_{s,ef}] / E_s = \\ &= \frac{28,317 - 0,50 \times \frac{4,100}{0,095} (1 + 15,0 \times 0,095)}{200000,0} \\ &= -0,00012 \end{aligned}$$

$$\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm} = 0,6 \times \frac{\sigma_s}{E_s} = \frac{28,317}{200000} = 0,00014$$

maximální hodnota  $\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm} = 0,00014$

maximální výsledná vzdálenost trhlin

$$k_1 = 0,80$$

$$k_2 = 0,50$$

$$k_3 = 3,40$$

$$k_4 = 0,425$$

$$c = 0,0955 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} s_{t,max} &= k_3 \times c + k_1 \times k_2 \times k_4 \times d / \rho_{s,ef} = \\ &= 3,40 \times 0,0955 + \frac{0,80 \times 0,50 \times 0,425 \times 0,032}{0,095} \\ &= 0,382 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} w &= s_{t,max} \times (\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}) = 0,382 \times 0,00014 = 5E-05 \text{ m} \\ &= 0,0541 \text{ mm} \end{aligned}$$

## **VÝPOČET ŠÍŘKY TRHLIN VE SMĚRU Z**

N =	-25,084	MN			
M <sub>x</sub> =	-1,110	MNm			
M <sub>y</sub> =	9,334	MNm	N <sub>y,odp</sub> =	-22,999	MN
M <sub>z</sub> =	-0,846	MNm	N <sub>z,odp</sub> =	-2,085	MN
b =	3,500	m			
h =	1,505	m			

osová vzdálenost mezi pruty	0,100 m
počet prutů v dolní vrstvě	48 ks
průměr jednoho prutu	32 mm
plocha jednoho prutu	803,8 mm <sup>2</sup>
plocha betonářské výztuže celkem	16 x 803,8 = 12860,8 mm <sup>2</sup>

X<sub>z</sub> = 4,482 m Ve směru z je celý průřez tlačенý a nevznikají trhliny.

$$w = w_y < w_{lim}$$

0,054 mm < 0,2 mm Vyhovuje.

### **6.3. OMEZENÍ PRŮHYBU**

Posouzení mezního stavu použitelnosti – omezení průhybu bylo provedeno podle ČSN 73 6214. Posuzovány byly průhyby od skupin zatížení LM1 TS a LM1 UDL vypočítány programem SCIA Engineer. Pro posouzení byla spočítána častá kombinace jejich hodnot a porovnána s limitní hodnotou pro konstrukce železobetonové – spojitě a rámové konstrukce, která je výše uvedenou normou stanovena jako L/350.

$$L = 92,418 \text{ m}; u_{z,TS} = 5,6 \text{ mm}; u_{z,UDL} = 8,5 \text{ mm}$$

$$\Psi_{1,TS} = 0,75; \Psi_{1,UDL} = 0,40$$

$$u_z = \Psi_{1,TS} \times u_{z,TS} + \Psi_{1,UDL} \times u_{z,UDL} = 0,75 \times (-5,6) + 0,40 \times (-8,5) = 7,6 \text{ mm}$$

$$L/350 = 92,418/350 = 0,264051 \text{ m} = 264,051 \text{ mm}$$

$$u_z < L/350$$

$$7,6 \text{ mm} < 264,051 \text{ mm}$$

## 7. ZÁVĚR

Předmětem této bakalářské práce byl návrh a předběžné posouzení mostní konstrukce.

Již v předchozím semestru byly v rámci projektu K řešeny různé varianty konstrukčního řešení nosné konstrukce. Pro bakalářskou práci byla pro přesnější návrh a posouzení zvolena oblouková konstrukce s mostovkou z předpjatého betonu.

V první fázi výpočtu byla provedena optimalizace střednice oblouku. V programu SCIA Engineer byl vytvořen prutový model, který byl následně zatížen různými zatěžovacími stavy a nakonec byly vytvořeny kombinace zatěžovacích stavů pro posouzení MSP a MSÚ.

V rámci MSP bylo posouzeno omezení napětí, trhlin a průhybu na konstrukci oblouku. Jelikož je konstrukce namáhána nesymetricky, vznikají v oblouku momenty ve všech směrech. Průhyb byl počítán z charakteristických hodnot zatížení LM1. Konstrukce pro všechny podmínky vyhověla.

Posouzení MSÚ bylo provedeno dvěma metodami, a to metodou jmenovité tuhosti a metodou jmenovité křivosti. Jelikož obě metody jsou pouze přibližné, byl pro posouzení uvažován aritmetický průměr hodnot spočítaných těmito metodami. Jelikož je konstrukce namáhána nesymetricky, bylo posouzeno rovněž kroucení. Konstrukce oblouku pro tento předběžný výpočet vyhověla.

Posouzení oblouku provedené v rámci této bakalářské práce je značně zjednodušené, pro realizaci konstrukce by bylo nutné provést podrobnější výpočet.

# SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Letmo betonovaná konstrukce – příčný řez .....	11
Obrázek 2: Letmo betonovaná konstrukce – podélný řez .....	11
Obrázek 3: Spřažená konstrukce – příčný řez .....	12
Obrázek 4: Spřažená konstrukce – podélný řez .....	12
Obrázek 5: Jednotrám s náběhy – příčný řez .....	13
Obrázek 6: Jednotrám s náběhy – podélný řez .....	13
Obrázek 7: Hmotný model mostu .....	23
Obrázek 8: Prutový model mostu .....	24
Obrázek 9: Ostatní stálé zatížení .....	24
Obrázek 10: Model zatížení LM1P .....	26
Obrázek 11: Model zatížení LM1L .....	27
Obrázek 12: Model zatížení LM3 .....	27
Obrázek 13: Model zatížení LM4 .....	28
Obrázek 14: Zatížení větrem .....	30
Obrázek 15: N, vlastní tíha .....	31
Obrázek 16: My, vlastní tíha .....	31
Obrázek 17: N, ostatní stálé zat. ....	31
Obrázek 18: My, ostatní stálé zat. ....	32
Obrázek 19: N, svislé posuny .....	32
Obrázek 20: My, svislé posuny .....	32
Obrázek 21: N, vodorovné posuny .....	32
Obrázek 22: My, vodorovné posuny .....	32
Obrázek 23: N, LM1 TS .....	33
Obrázek 24: My, LM1 TS .....	33
Obrázek 25: N, LM1 UDL .....	33
Obrázek 26: My, LM1 UDL .....	33
Obrázek 27: N, LM3 .....	34
Obrázek 28: My, LM3 .....	34
Obrázek 29: N, LM4 .....	34
Obrázek 30: My, LM4 .....	34
Obrázek 31: N, chodník vpravo .....	35
Obrázek 32: My, chodník vpravo .....	35
Obrázek 33: N, chodník vlevo .....	35
Obrázek 34: My, chodník vlevo .....	35
Obrázek 35: N, rovnoměrná složka teploty .....	36
Obrázek 36: My, rovnoměrná složka teploty .....	36
Obrázek 37: N, rozdílová složka teploty .....	36
Obrázek 38: My, rozdílová složka teploty .....	36
Obrázek 39: N, vítr .....	37
Obrázek 40: My, vítr .....	37
Obrázek 41: Schéma vyztužení konstrukce oblouku pro výpočet ve směru y .....	56
Obrázek 42: Schéma vyztužení konstrukce oblouku pro výpočet ve směru z .....	60
Obrázek 43: Schéma vnitřních sil pro výpočet MRd ve směru osy y .....	61
Obrázek 44: Schéma vnitřních sil pro výpočet MRd ve směru osy z .....	62

Obrázek 45: Náhradní tenkostěnný průřez pro posouzení kroucení .....	64
Obrázek 46: Vnitřní síly pro posouzení napětí .....	66
Obrázek 47: Schéma vnitřních sil v průřezu pro výpočet tahového napětí v nejvíce taženém prutu výztuže.....	67



## SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Součinitel $k_{sur}$ .....	29
Tabulka 2: Hodnoty koeficientu $C$ .....	30
Tabulka 3: Kombinace pro MSÚ, rovnice 6.10, maxima .....	40
Tabulka 4: Rovnice 6.10a, maximální hodnoty .....	41
Tabulka 5: Rovnice 6.10b, maximální hodnoty .....	42
Tabulka 6: Rovnice 6.10, minimální hodnoty .....	43
Tabulka 7: Rovnice 6.10a, minimální hodnoty.....	44
Tabulka 8: Rovnice 6.10b, minimální hodnoty .....	45
Tabulka 9: Charakteristická kombinace, maximální hodnoty .....	46
Tabulka 10: Častá kombinace, maximální hodnoty.....	47
Tabulka 11: Kvazistálá kombinace, maximální hodnoty.....	48
Tabulka 12: Charakteristická kombinace, minimální hodnoty.....	49
Tabulka 13: Častá kombinace, minimální hodnoty.....	50
Tabulka 14: Kvazistálá kombinace, minimální hodnoty.....	51
Tabulka 15: Maximální a minimální vnitřní síly pro MSÚ.....	52
Tabulka 16: Maximální a minimální hodnoty MSP – charakteristické kombinace..	53
Tabulka 17: Maximální a minimální hodnoty MSP – častá kombinace .....	54
Tabulka 18: Maximální a minimální hodnoty pro MSP – kvazistálé kombinace .....	55

# ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Katedra betonových a zděných konstrukcí



Estakáda na obchvatu Plzně

Viaduct at bypass of Plzeň

## VÝKRESY

## SEZNAM VÝKRESŮ

číslo přílohy	obsah	měřítko	formát
1	Půdorys	1:200	6xA4
2	Podélný řez	1:200	12xA4
3	Příčný řez AA' (vyšší vzpěra)	1:50	A2
4	Příčný řez BB' (nižší vzpěra)	1:50	A2
5	Příčný řez CC' (pohled na pilíř P36)	1:50	A2