

**FAKULTA  
STAVEBNÍ  
ČVUT V PRAZE**

Katedra betonových a zděných konstrukcí

## **BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

### **NÁVRH MOSTU NA SOKP U SUCHDOLA DESIGN OF MOTORWAY BRIDGE AT PRAHA - SUCHDOL**

Studijní program: (B3651) Stavební inženýrství  
Studijní obor: (3647R013) Konstrukce a dopravní stavby  
Vypracoval: Jakub Doležal  
Vedoucí bakalářské práce: Ing. Roman Šafář, Ph.D.

Praha, 2017



## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

### I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Doležal Jméno: Jakub Osobní číslo: 409749

Zadávající katedra: betonových a zděných konstrukcí

Studijní program: Stavební inženýrství

Studijní obor: Konstrukce a dopravní stavby

### II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Návrh mostu na SOKP u Suchdola

Název bakalářské práce anglicky: Design of motorway bridge at Praha - Suchdol

Pokyny pro vypracování:

Vypracujte technickou zprávu, statický výpočet, výkresovou dokumentaci.

Seznam doporučené literatury:

Šafář, R.: Betonové mosty 2 - přednášky

Jméno vedoucího bakalářské práce: Ing. Roman Šafář, Ph.D.

Datum zadání bakalářské práce: 21.2.2017

Termín odevzdání bakalářské práce: 28.5.2017

Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku

Podpis vedoucího práce

Podpis vedoucího katedry

### III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

21.2.2017


Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

## Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o etické přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

Jakub Doležal



.....

V Praze dne 28.5. 2017

## **Anotace**

Tato bakalářská práce se zabývá návrhem mostu na silničním okruhu kolem Prahy, který propojí městské části Suchdol a Čimice přes řeku Vltavu a přilehlé komunikace. Je vypracováno několik různých variant návrhu, z nichž je pro podrobnější rozpracování vybrána zavěšená konstrukce.

## **Klíčová slova**

Silniční most, zavěšený most, předpjatý beton

## **Abstract**

The bachelor thesis deals with a design of motorway bridge at Prague ring road, the bridge connects city districts Suchdol and Čimice over the Vltava river and adjacent roads. Several different design variants were elaborated and finally a cable-stayed bridge was chosen of them for a more detailed solution.

## **Key words**

Motorway bridge, cable-stayed bridge, prestressed concrete

## Poděkování

Mému vedoucímu bakalářské práce Ing. Romanu Šafářovi, Ph.D. děkuji za jeho čas, vyčerpávající konzultace a odborné vedení.

# OBSAH

1.	Úvod	8
2.	Varianty řešení	8
3.	Technická zpráva	10
3.1	Identifikační údaje mostu	11
3.2	Základní údaje o mostě	11
3.3	Zdůvodnění stavby mostu a jeho umístění	11
3.3.1	Údaje o přemostovaných překážkách	11
3.3.2	Údaje o převáděné komunikaci	12
3.4	Technické řešení mostu	12
3.4.1	Všeobecně	12
3.4.2	Nosná konstrukce	12
3.4.3	Spodní stavba a zakládání	13
3.4.4	Závěsy	13
3.4.5	Mostní svršek a vybavení mostu	13
3.4.5.1	Vozovka a izolace	13
3.4.5.2	Okraje mostu a zádržné systémy	13
3.4.5.3	Římsy	14
3.4.5.4	Odvodnění mostu	14
3.5	Výstavba mostu	14
4.	Statický výpočet	15
4.1	Úvod	16
4.1.1	Stručný popis díla	16
4.1.2	Podklady	17
4.1.2.1	Normy	17
4.1.2.2	Literatura	17
4.1.2.3	Použité programy	17
4.2	Údaje pro výpočet	18
4.2.1	Materiály	18
4.2.1.1	Beton	18
4.2.1.2	Betonářská výztuž	19
4.2.1.3	Předpínací výztuž	19
4.2.2	Geometrické údaje a parametry	20
4.2.2.1	Rozpětí	20
4.2.2.2	Příčné řezy	21
4.2.3	Studie konstrukce ve 3D modelu	25
4.2.3.1	Průběhy vnitřní síly $n_x$	27

4.2.3.2	Shrnutí výsledků	42
4.2.3.3	Závěr studie	43
4.2.4	Průřezové charakteristiky	44
4.3	Zatížení	44
4.3.1	Zatížení stálé	44
4.3.2	Zatížení proměnné	45
4.4	Kombinace zatížení	55
4.5	Návrh závěsů	57
4.5.1	Výpočetní model	57
4.5.2	Reakce a návrh závěsů	58
4.6	Prutový model konstrukce	59
4.7	Průběhy vnitřních sil	63
4.7.1	Obálky vnitřních sil od jednotlivých zatížení	64
4.7.2	Obálky vnitřních sil od kombinací pro MSÚ	77
4.7.3	Obálky vnitřních sil od kombinací pro MSP	80
4.7.4	Porovnání vnitřních sil od kombinací	83
4.8	Rektifikace závěsů	89
4.8.1	Kombinace pro rektifikaci	89
4.8.2	Výpis rektifikace	89
4.8.3	Vnitřní síly po rektifikaci	90
4.9	Předpětí	92
4.10	Mezní stav použitelnosti	95
4.10.1	Omezení napětí v betonu	95
4.10.2	Omezení napětí v závěsech	107
4.11	Mezní stav únosnosti	109
4.11.1	Ohyb a normálová síla	109
4.11.2	Normálová síla v závěsech	115
4.11.3	Únava	117
5.	Závěr	119
6.	Seznam příloh	120

# 1. Úvod

Přemostění, kterým se zabývá tato práce, je součástí plánované severní části silničního okruhu kolem Prahy. Jedná se o směrově rozdělenou komunikaci o třech jízdnicích pruzích šířky 3,75 m se zpevněnou krajnicí šířky 2,50 m v levém i pravém jízdnicím pásu. Jde o přemostění údolí Vltavy, které propojí městské části Suchdol a Čimice. Výškový návrh trasy je řešen přechodem celého údolí v úrovni okolo 80 m nad hladinou Vltavy. V oblasti se také nachází chráněné přírodní parky Sedlecké skály a Zámky. Tyto skutečnosti vedou k návrhu mostu s velkým rozpětím.

## 2. Varianty řešení

V příloze č. 1 je zpracováno několik variant přemostění.

### Varianta 1 – obloukový most

Tvar údolí a přítomnost skal vybízí k návrhu obloukové konstrukce s horní mostovkou. Varianta 1a překonává Vltavu dvěma samostatnými mosty – jedním pro každý jízdnicí pás. Je navržen oblouk s rozpětím 245 m a vzepětím 58 m. Vzpěry a pilíře jsou rozmístěny s rozpětím 37 m. Mostovka je tvořena příčně předpjatou betonovou deskou spřaženou s ocelovými nosníky. Varianta 1b má více vzpěr a pilířů s rozpětím cca 28,8 m, což umožňuje řešit mostovku v příčném řezu jako monolitickou deskovou konstrukci. Řešení 1a i 1b ovšem díky umístění pilířů zasahuje do chráněných parků, je tak vypracována ještě varianta 1c, která tyto parky respektuje. Kromě hlavního oblouku přes Vltavu jsou navrženy ještě dva kratší nesymetrické oblouky přes chráněné parky.

### Varianta 2 – trémový most

Most o třech polích s rozpětím 162,5 + 175,0 + 162,5 m, pro jeden jízdnicí pás jeden most. Jedná se o trémovou konstrukci integrovanou. Mostovka je navržena jako jednokomorový uzavřený trém s proměnnou výškou. Pilíře umístěné mezi břehy Vltavy a přilehlé komunikace jsou řešeny v horní polovině jako dva samostatné dřívky vetknuté do nosné konstrukce, v dolní polovině výšky jsou dřívky propojené a vetknuté do společného základu. Krajní opěry mají také dva samostatné dřívky vetknuté do nosné konstrukce a do základu. Tato varianta nezasahuje do přírodních parků na svazích údolí.

### Varianta 3 – extradosed

Tato varianta přemostění se skládá z pěti polí o rozpětí 55,0 + 135,0 + 175,0 + 135,0 + 55,0 m. Mostovka je jeden dvoukomorový nosník pro oba pásy převáděné komunikace. Volné kabely jsou vedeny do nízkých pylonů. Vzhledem k malému rozpětí krajních polí jsou opěry uzpůsobeny kladným reakcím v ložiscích obrácením ložisek a hlubinným založením. Krajní pylon z části zasahuje do přírodního parku Sedlecké skály, jinak se ale tato varianta chráněným územím vyhýbá.



#### Varianta 4 – zavěšený most

Varianta 4a je zavěšená konstrukce o třech polích s optimálním poměrem 130,0 + 290,0 + 130,0 m. Mostovka je desková konstrukce s příčníky v místě kotvení závěsu. Závěsy jsou uspořádány v podélném směru poloharfově. V příčném směru jsou navrženy dvě alternativy závěsů o dvou rovinách – rovnoběžné s pylony ve tvaru H, nebo šikmé s pylony tvaru A. Velké rozpětí vede k velmi vysokým pylonům, je tak navržena ještě varianta 4b s menšími rozpětími a s přístupovými poli na pilířích. Varianta 4c plně respektuje přírodní parky, skládá se ze tří zavěšených polí o rozpětí 3x 180,0 m. Pro tuto variantu je zvolena jedna rovina zdvojených závěsů, kotvených do středu mostovky. Pylony jsou umístěny k břehům Vltavy, a také na kraje mostu za opěry. Stejně rozpětí všech tří polí vede k nutnosti kotvit krajní závěsy mimo mostní konstrukci do kotevní zdi. Mostovka je komorový nosník konstantní výšky s vyloženými konzolami podepřenými vzpěrami.

#### Varianta 5 – visutý most

Konstrukce visutého mostu umožňuje překlenout celé údolí jedním polem dlouhým 500 m. Mostovka je v tomto případě navrhována jako ocelová ortotropní.

Z těchto variant je pravděpodobně nejekonomičtější varianta 2 – trámový most, ovšem s přihlédnutím k důležitosti stavebního díla a k přemostovaným překážkám je pro podrobnější rozpracování vybrána varianta 4c – zavěšený most.

NÁVRH MOSTU NA SOKP U SUCHDOLA  
**3. TECHNICKÁ ZPRÁVA**

### 3.1 Identifikační údaje mostu

Stavba	518 Ruzyně – Suchdol, 519 Suchdol – Březiněves
Katastrální území	Suchdol, Čimice
Obec	Praha
Kraj	Praha
Objednatel stavby	Ředitelství silnic a dálnic ČR
Projektant	Jakub Doležal

### 3.2 Základní údaje o mostě

Charakteristika mostu	Trvalý silniční most zavěšený o třech polích
Délka přemostění	518,80 m
Délka mostu	552,76 m
Délka nosné konstrukce	526,80 m
Šikmost mostu	100 g
Šířka mostu	38,40 m
Volná šířka	2 x 15,50 m
Šířka průchozího prostoru	2 x 0,75 m
Výška mostu nad terénem	cca 80 m
Plocha nosné konstrukce	19913,04 m <sup>2</sup>
Zatížení	PK1

### 3.3 Zdůvodnění stavby mostu a jeho umístění

#### 3.3.1 Údaje o přemostěvaných překážkách

Navrhnuté přemostění je součástí plánované severní části silničního okruhu kolem Prahy v místě křížení s Vltavou v městských částech Suchdol a Čimice. Z důvodu přítomnosti chráněných přírodních parků na obou březích Vltavy je trasa převedena na mostním objektu přes celé údolí ve výšce nad hladinou až 80 m.

### 3.3.2 Údaje o převáděné komunikaci

Most převádí směrově rozdělenou komunikaci o třech jízdních pruzích v každém směru – 3 x 3,75 m se zpevněnou krajnicí šířky 2,5 m. Celková šířka vozovky v jednom směru je 15,5 m. Chodník je navržen na obou stranách jako nouzový, šířky 0,75 m. Šířka středního dělicího pásu je 4,0 m. Komunikace je v místě mostu v přímé a v podélném skonu 1,3 %. Příčný sklon je střechovitý 2,5 %.

## 3.4 Technické řešení mostu

### 3.4.1 Všeobecně

V příloze 1 – varianty přemostění je zpracováno celkem 5 konstrukčních variant. Na základě výškového řešení převáděné komunikace, tvaru údolí a výskytu chráněných přírodních parků Sedlecké skály a Zámky byla zvolena varianta 4c – zavěšená konstrukce, která převádí oba jízdní směry na jedné mostovce. Tato konstrukce umožňuje překročení celého údolí třemi poli bez zásahu do přírodních parků na jeho svazích. Střední pole přes Vltavu je dlouhé 180 m, obě krajní pole mají 171,4 m. Pylony P3 a P4, do nichž je mostovka vetknuta, jsou umístěny mezi břehy Vltavy a přilehlé komunikace – ulice v Zámčích na pravém břehu a silnice II/242 na levém břehu. Vzhledem k přibližně stejné délce všech tří polí, jsou pylony P1 a P6 umístěny i za krajními opěrami O2 a O5, na kterých je mostovka podepřena kloubově s volným posunem v podélném směru. Zhruba stejné rozpětí polí vede k nutnosti kotvit závěsy také mimo konstrukci mostovky. Je proto navržena na obou stranách mostu podzemní kotevní zeď o délce 84,4 m. Konstrukce mostovky se tedy skládá celkem ze tří polí zavěšených do čtyřech pylonů. Z důvodu výšky nad terénem je zvolena jedna rovina zdvojených závěsů, kotvených do středu mostovky. V každém poli je kotveno celkem 16 zdvojených závěsů v podélných vzdálenostech 9,7 m, závěsy ve středu rozpětí jsou od sebe vzdáleny 7,0 m.

### 3.4.2 Nosná konstrukce

Mostovku tvoří jeden komorový nosník o třech polích s rozpětím 171,4 + 180,0 + 171,4 m kolmo uložený kloubově na opěrách O2 a O5 a vetknutý do pylonů P3 a P4. Výška komory je konstantní 4,0 m. Celková šířka mostovky je 37,8 m. Konzoly komory dlouhé 10,7 m jsou podepřeny železobetonovými vzpěrami. Vzpěry jsou také uvnitř komory. Horní deska komory má tloušťku 350 mm s náběhy na 550 mm. Sklon povrchu horní desky je střechovitý 2,5 %, pod římsami na krajích mostovky je protispád 4,0 %. Dolní deska je 350 mm tlustá a má náběhy směrem ke krajům na 500 mm. Závěsy jsou kotveny do nálitků uprostřed horní desky. V místě vetknutí mostovky do pylonů je komora vyplněna příčnickem. V místě uložení na opěry tvoří příčnick celá plocha příčného řezu.

### 3.4.3 Spodní stavba a zakládání

Pylony P3 a P4 jsou s ohledem na umožnění dilatačních posunů a tuhosti proti pootočení zvoleny v podélném tvaru jako Y. Dřík dolní části pylonů je obdélníkový o rozměrech 6,0 x 8,0 m. V místě rozdělení dolní části pylonů je průřez 6,0 x 6,0 m, který se dělí na dva šikmé 3,0 x 6,0 m dříky vetknuté do konstrukce mostovky. Horní část pylonů, plynuje navazuje na spodní část pylonů, má tvar obráceného Y. Šikmé dříky horní části pylonu tvoří čtvercový průřez 3,0 x 3,0 m. Kvůli omezení šířkou středního dělicího pásu 4,0 m vznikl nedostatečný prostor pro umístění ocelového svodidla. V místě pylonů je proto betonové svodidlo vytvarované do boků pylonu, které se plynule napojuje na svodidla ocelová. Toto betonové svodidlo bude dobetonováno až po nanesení izolace desky mostovky. Horní část pylonů v místě kotvení závěsů tvoří spřažené ocelové jádro o vnějších rozměrech 4,0 x 4,5 m.

Pylony P1 a P6 jsou propojeny s koncovými opěrami O2 a O5. Horní část krajních pylonů P1 a P6 je řešena stejně jako u pylonů P3 a P4. Základ mají společný s opěrami O2 a O5. Opěry se skládají ze základu, opěrné zídky a rovnoběžných křídel vetknutých do základu. Na úložném prahu jsou umístěny ložiskové bloky. Úložný práh je vyspádován směrem k závěrné zídce 4,0 %, kde bude vytvořen odvodňovací žlábek vyvedený pomocí čedičových tvarovek za rub opěry. Rub opěry je odvodněn obetonovanou drenážní trubkou vyvedenou na svah náspu do vsakovací jímky. V závěrné zídce budou vytvořeny otvory po podélný svod odvodnění vozovky.

Základové poměry nejsou v této fázi známy, je proto s přihlédnutím k výskytu skal v oblasti mostu zvoleno plošné založení opěr i pylonů.

### 3.4.4 Závěsy

Jsou vybrány závěsy firmy VSL. Závěsy jsou tvořeny paralelními sedmidrátovými lany o průměru 15,7 mm s  $f_{pk} = 1860$  MPa. Lana jsou dle specifikace výrobce potažena HDPE povlakem a injektovaná mazivem s vnější HDPE chráničkou. Použity jsou závěsy s 91, 127 a 139 lany.

### 3.4.5 Mostní svršek a vybavení mostu

#### 3.4.5.1 Vozovka a izolace

Vozovka na mostě je navržena třívrstvá – obrusná vrstva ACO 16 S 40 mm, ložní vrstva ACL 16 S 50 mm, ochranná vrstva izolace MA 11 IV 40 mm, izolace NAIP 5 mm + pečetičí vrstva, celkem 135 mm. Izolační souvrství je navrženo jako celoplošné z natavitelných izolačních pásů (NAIP).

#### 3.4.5.2 Okraje mostu a zádržné systémy

Podél vnějšího a vnitřního okraje vozovky jsou ocelová zábradelní svodidla s úrovní zadržetí H2, v místě pylonů jsou na bocích pylonu betonová svodidla. Na mostě se na krajích říms nachází protihlukové stěny.

### 3.4.5.3 Římsy

Římsy jsou monolitické železobetonové. Sklon říms je 4,0 % směrem k vozovce, výška obrubníku nad vozovku činí 150 mm, sklon obrub je 5:1. Krajiní římsy mají šířku 1,7 m, střední římsa je 4,0 m široká. Římsy jsou kotveny do desky mostovky pomocí motýlkových kotev.

### 3.4.5.4 Odvodnění mostu

Voda je odváděna z vozovky pomocí příčného střešovitého sklonu 2,5 % a podélného sklonu 1,3 % do mostních odvodňovačů v odvodňovacím proužku šířky 500 mm. Odvodňovače jsou na obou stranách napojeny příčnými svody do podélného potrubí DN 400, které je zavěšeno pod konzolou mostovky. Toto potrubí je vyvedeno otvory v závěrné zídce do dálniční kanalizace.

## 3.5 Výstavba mostu

Fáze 1	Úprava terénu, zřízení pažicích a těsnících stěn, výkopy pro základy pylonů a opěr – omezení provozu na přilehlých silnicích
Fáze 2	Betonáž základů a dřiků opěr a pylonů – omezení provozu na přilehlých silnicích
Fáze 3	Dokončení spodní stavby a betonáž zárodků mostovky, betonáž horní části pylonů
Fáze 4	Postupná letmá betonáž lamel mostovky, zavěšování lamel, předpínání
Fáze 5	Dokončení betonáže a předpínání mostovky, betonáž závěrných zídek, přechodových oblastí
Fáze 6	Provedení mostního svršku, vybavení a dokončovací práce

NÁVRH MOSTU NA SOKP U SUCHDOLA  
**4. STATICKÝ VÝPOČET**

## 4.1 ÚVOD

Ve statickém výpočtu je navrhována a posouzena hlavní nosná konstrukce. Analýza a návrh konstrukce se skládá z několika částí:

- stanovení účinků zatížení
- analýza prostorového působení konstrukce na 3D deskostěnovém modelu
- výpočet konstrukce na prutovém modelu s využitím výsledků 3D analýzy
- návrh předpětí
- posouzení konstrukce

### 4.1.1 Stručný popis díla

Navrhovaný most je součástí plánované trasy na severním silničním okruhu Prahy. Jedná se o přemostění Vltavy, které propojuje městské části Suchdol a Čimice. Most převádí směrově rozdělenou komunikaci o volné šířce 2 x 15,5 m na jedné mostovce. Návrh respektuje přítomnost přírodních parků, což vedlo k volbě velkého rozpětí.

Je zvolena zavěšená konstrukce o třech polích s pylony tvaru Y umístěnými mezi břeh Vltavy a souběžné silnice. Mostovka je řešena jako komorový nosník konstantní výšky 4 m s velmi vyloženými konzolami podepřenými vzpěrami. Mostovka je vetknutá do pylonů a na krajích mostů je na ložiscích.



## 4.1.2 Podklady

### 4.1.2.1 Normy

- N1 ČSN EN 1990 Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí
- N2 ČSN EN 1991-1-1 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-1: Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb
- N3 ČSN EN 1991-1-4 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-4: Obecná zatížení –Zatížení větrem
- N4 ČSN EN 1991-1-5 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-5: Obecná zatížení –Zatížení teplotou
- N5 ČSN EN 1991-1-6 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-6: Obecná zatížení –Zatížení během provádění
- N6 ČSN EN 1991-1-7 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-7: Obecná zatížení – Mimořádná zatížení
- N7 ČSN EN 1991-2 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 2: Zatížení mostů dopravou
- N8 ČSN EN 1992-1-1 Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby
- N9 ČSN EN 1992-2 Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí – Část 2: Betonové mosty – Navrhování a konstrukční zásady

### 4.1.2.2 Literatura

- L1 ŠAFÁŘ, Roman. *Betonové mosty 2: přednášky*. V Praze: České vysoké učení technické, 2014. ISBN 9788001055434.

### 4.1.2.3 Použité programy

#### Výpočty

SCIA Engineer 16.1

Microsoft Excel

#### Výkresy a schémata

Bentley Microstation v8i

Autodesk Autocad 2017

#### Textová část

Microsoft Excel

Microsoft Word

## 4.2 Údaje pro výpočet

### 4.2.1 Materiály

Díličí součinitele pro materiály v mezních stavech únosnosti a posouzení na únavu:

Návrhová situace	$\gamma_c$ pro beton	$\gamma_s$ beton. výztuž	$\gamma_s$ předp. výztuž
Trvalá a dočasná	1,50	1,15	1,15
Mimořádná	1,20	1,00	1,00

#### 4.2.1.1 Beton

Předepnutí se předpokládá nejdříve 7 dní po betonáži.

Pevnost betonu v tlaku je stanovena za použití následujících součinitelů:

funkce vývoje pevnosti  $\beta_{cc} = \exp(s(1 - \sqrt{28/t}))$

$$\beta_{cc} = \text{EXP}[0,2 \times (1 - (28 / 7)^{0,5})]$$

$$\beta_{cc} = 0,82$$

souč. druhu cementu  $s = 0,20$

čas  $t = 7,00$

Součinitel zohledňující dlouhodobé účinky na pevnost v tlaku  $\alpha_{cc} = 0,90$

Nosná konstrukce Beton C50/60 XF2 - XD1 - XC4

$t \geq 28$ dní:	Charakteristické hodnoty:	Návrhové hodnoty:
válcová pevnost v tlaku	$f_{ck} = 50,00 \text{ MPa}$	$f_{cd} = 0,9 \times 50 / 1,5 = 30,00 \text{ MPa}$
prům. hodnota pev. v tlaku	$f_{cm} = 58,00 \text{ MPa}$	
dolní hodnota pev. v tahu	$f_{ctk;0,05} = 2,90 \text{ MPa}$	$f_{ctd;0,05} = 1 \times 2,9 / 1,5 = 1,93 \text{ MPa}$
horní hodnota pev. v tahu	$f_{ctk;0,95} = 5,30 \text{ MPa}$	$f_{ctd;0,95} = 1 \times 5,3 / 1,5 = 3,53 \text{ MPa}$
prům. hodnota pev. v tahu	$f_{ctm} = 4,10 \text{ MPa}$	
sečnový modul pružnosti	$E_{cm} = 37,00 \text{ GPa}$	
tečnový modul pružnosti	$E_c = 38,85 \text{ GPa}$	
mezní poměrné stlačení	$\varepsilon_{cu2} = \varepsilon_{cu3} = 0,003500$	
mezní poměrné stlačení na hranici mezi el. a pl.	$\varepsilon_{c2} = 0,002000$ $\varepsilon_{c3} = 0,001750$	
souč. teplotní roztažnosti	$\alpha = 0,000010 \text{ K}^{-1}$	
Poissonův souč.	$\nu = 0,20$	

$t = 7$ dní:	Charakteristické hodnoty:	Návrhové hodnoty:
válcová pevnost v tlaku	$f_{ck}(t) = f_{cm}(t) - 8,0 \text{ MPa}$ $f_{ck}(t) = 47,5 - 8$ $f_{ck}(t) = 39,486 \text{ MPa}$	$f_{cd}(t) = 0,9 \times 39,5 / 1,5 = 23,692 \text{ MPa}$
prům. hodnota pev. v tlaku	$f_{cm}(t) = \beta_{cc}(t) \cdot f_{cm}$ $f_{cm}(t) = 0,819 \times 58$ $f_{cm}(t) = 47,486 \text{ MPa}$	
prům. hodnota pev. v tahu	$f_{ctm}(t) = \beta_{cc}(t)^1 \cdot f_{ctm}$ $f_{ctm}(t) = 0,819 \times 4,1$ $f_{ctm}(t) = 3,357 \text{ MPa}$	

#### 4.2.1.2 Betonářská výztuž

Ocel B500B

mez kluzu	$f_{yk} = 500,00 \text{ MPa}$	$f_{yd} = 500 / 1,15 = 434,78 \text{ MPa}$
pevnost v tahu	$f_t = 550,00 \text{ MPa}$	
modul pružnosti	$E_s = 200,00 \text{ GPa}$	

#### 4.2.1.3 Předpínací výztuž

Ocel Y1860

průměr lana	$\varnothing = 15,70 \text{ mm}$
plocha lana	$A_{p1} = 150,00 \text{ mm}^2$
pevnost v tahu	$f_{pk} = 1\,860,00 \text{ MPa}$
smluvní mez kluzu	$f_{p0,1k} = 0,88 \times 1860$ $f_{p0,1k} = 1\,636,80 \text{ MPa}$
návrhové napětí	$f_{pd} = 1637 / 1,15 = 1423,304 \text{ MPa}$
modul pružnosti	$E_p = 195,00 \text{ GPa}$

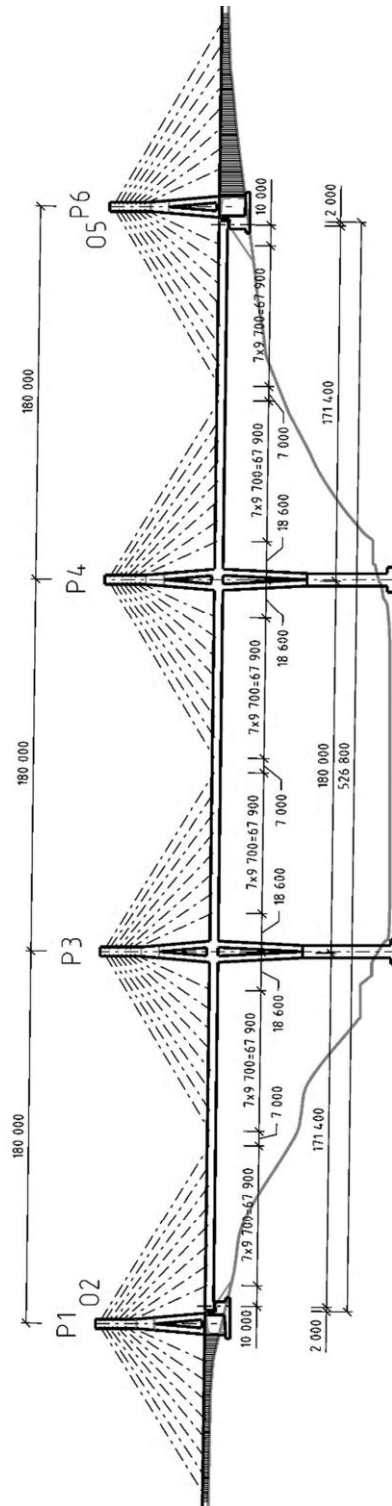
Třída relaxace 2  $\rho_{1000} = 0,025$

## 4.2.2 Geometrické údaje a parametry

### 4.2.2.1 Rozpětí

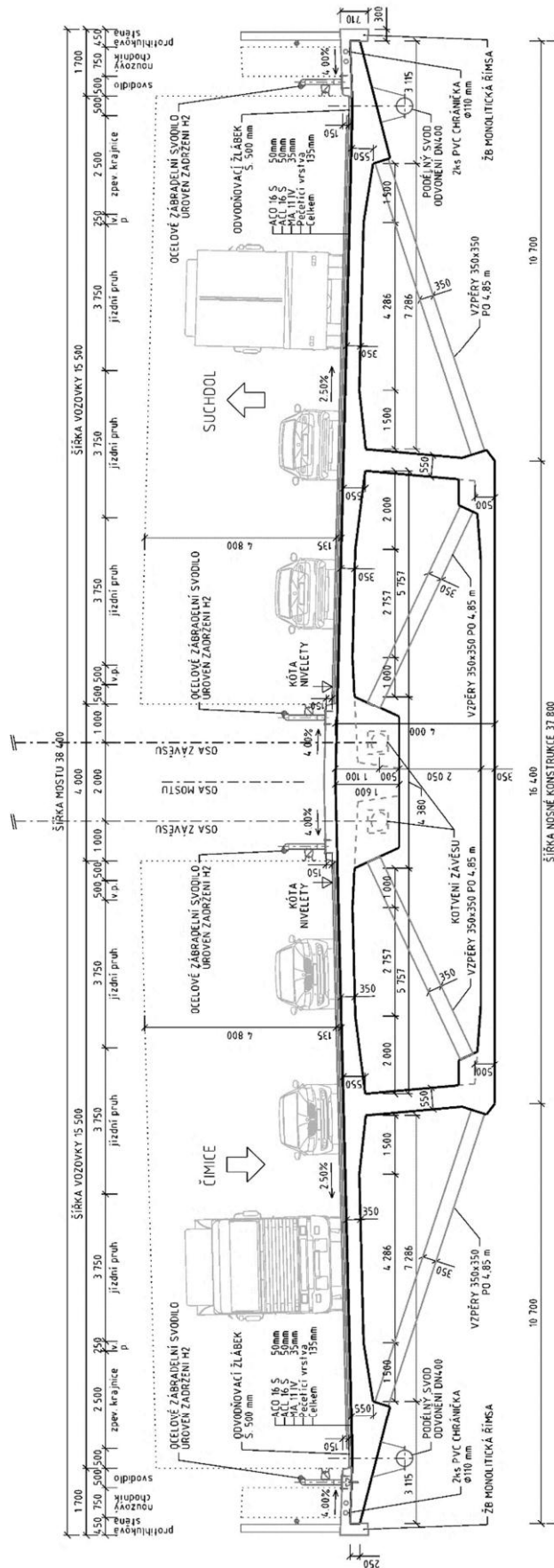
Konstrukce se skládá ze tří polí o teoretickém rozpětí 171,4 + 180,0 + 171,4 m. Pylony jsou od sebe osově vzdáleny 180,0 m. V každém poli je ukotveno 2 x 16 závěsů ve vzdálenosti 9,7 m, závěsy uprostřed polí jsou vzdáleny 7,0 m. Krajní závěsy jsou vzdáleny od osy pylonů 18,5 m, od osy uložení na opěrách je vzdálenost k první řadě závěsů 10,0 m. Závěsy krajních pylonů jsou kotveny do kotevní zdi. Nosná konstrukce mostovky je vetknuta do pylonů P3 a P4, na opěrách O2 a O5 je uložena na ložiscích podélně posuvných. Délka převislých konců je 2,0 m. Celková délka nosné konstrukce je 526,8 m.

Schéma konstrukce:

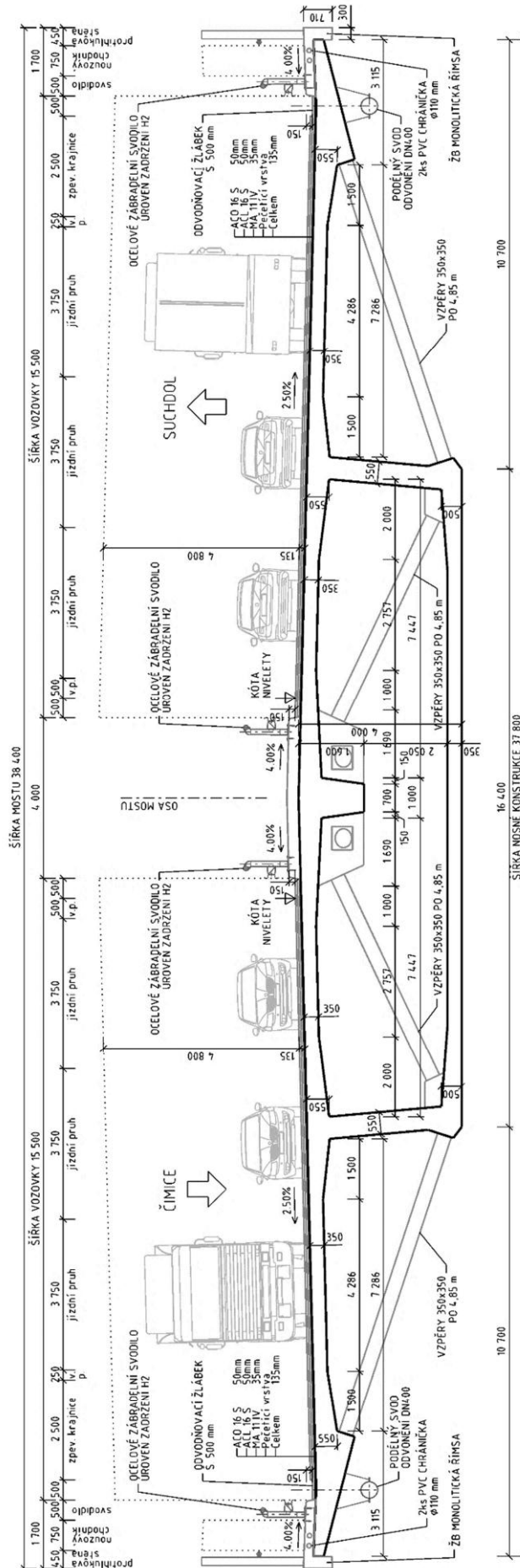


### 4.2.2.2 Příčné řezy

Příčný řez v poli v místě závěsu:

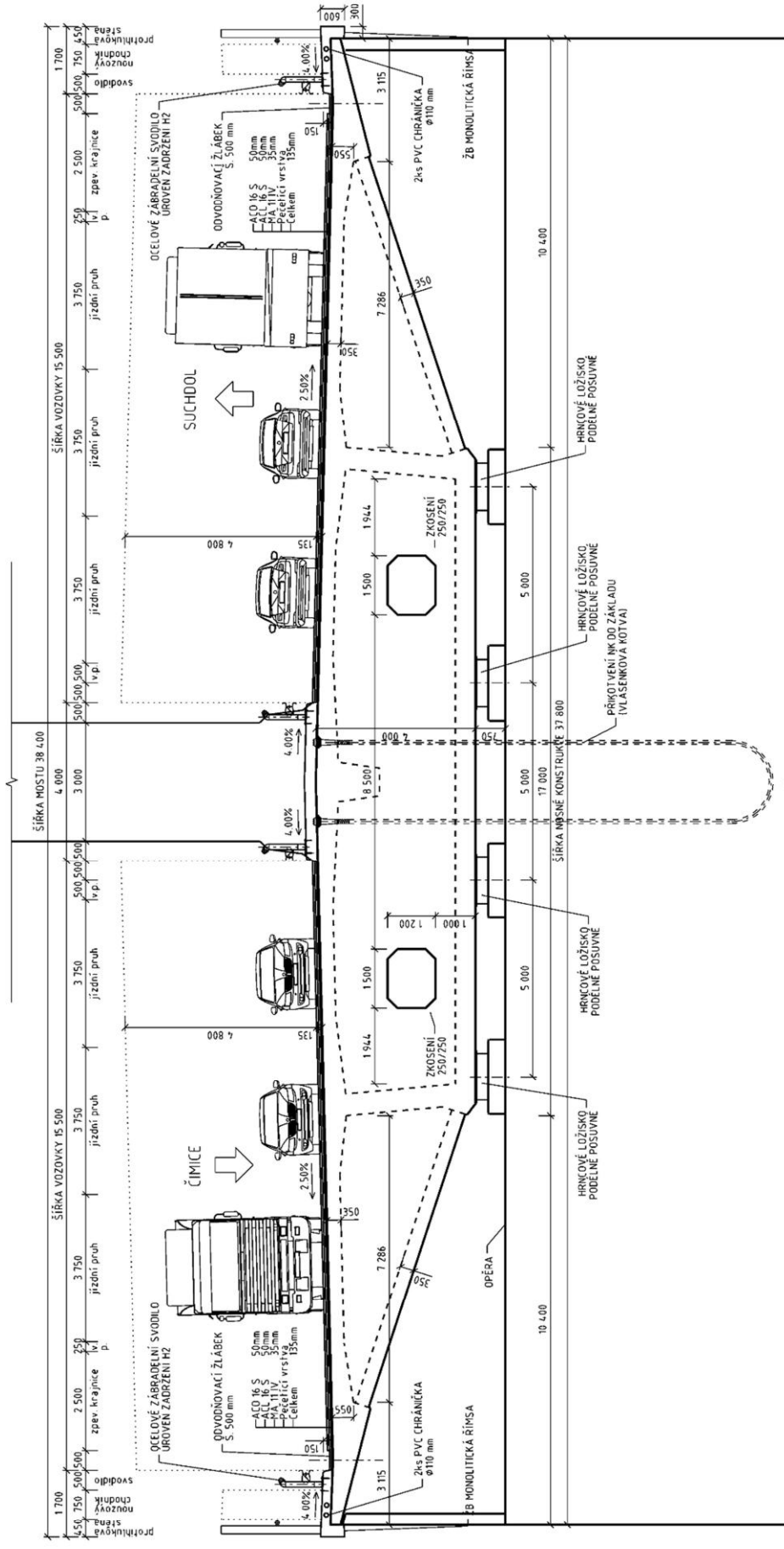


Příčný řez v poli v místě žebra:





Příčný řez u opěry:



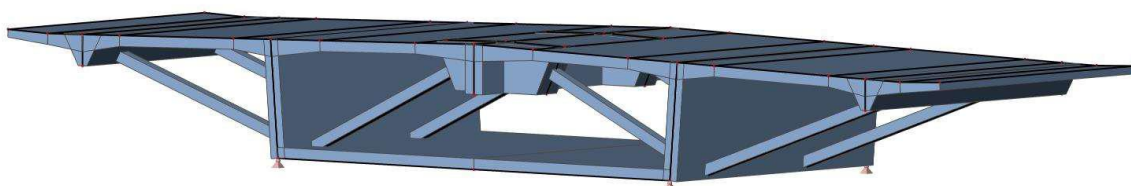


### 4.2.3 Studie konstrukce ve 3D modelu

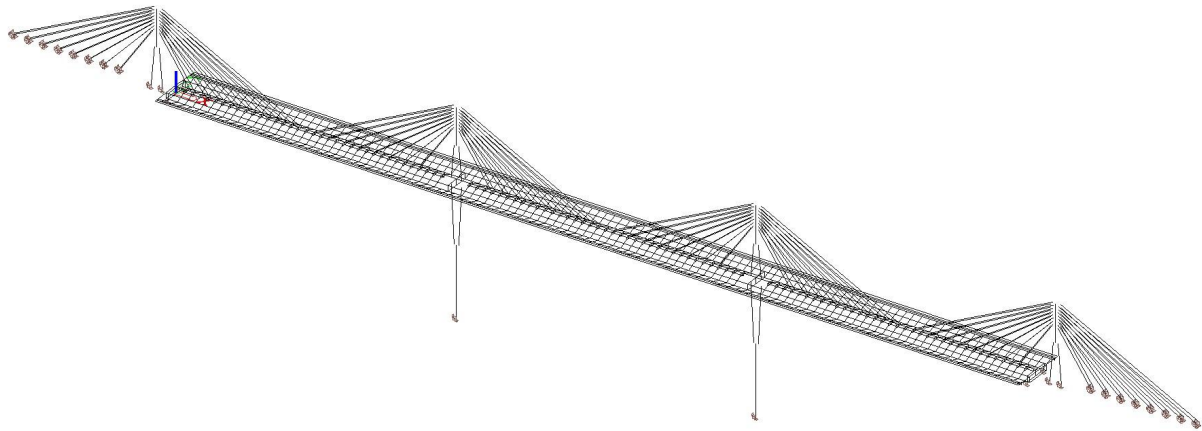
Mostovka je tvořena nosníkem s jednou poměrně širokou komorou s vyloženými konzolami, které jsou podepřeny vnějšími vzpěrami. Vzpěry jsou i uvnitř komory. Protože se jedná o atypickou konstrukci, je pro zjištění vlivu ochabnutí smykem a celkového působení konstrukce přistoupeno k vytvoření 3D skořepinového modelu. Model je složen z plošných prvků (skořepin) tvořící stěny a desky. Krajní žebro konzoly pro vnější vzpěry je vytvořené jedním prvkem s náběhem ve svislém směru, podobně je řešen i nálietek do kterého jsou napojeny vnitřní vzpěry. Tloušťka desek je zprůměrována na jednu hodnotu.

Modely jsou zatíženy vlastní tíhou, ostatním stálým zatížením, rektifikací závěsů (viz kapitola 4.8) a zatížením od dopravy - model LM1, nápravové síly jsou uvažovány v polovině krajního pole a v polovině středního pole, plošné zatížení UDL po celé délce (viz kapitola 4.3). Z těchto zatížení je vytvořena kombinace s charakteristickými hodnotami.

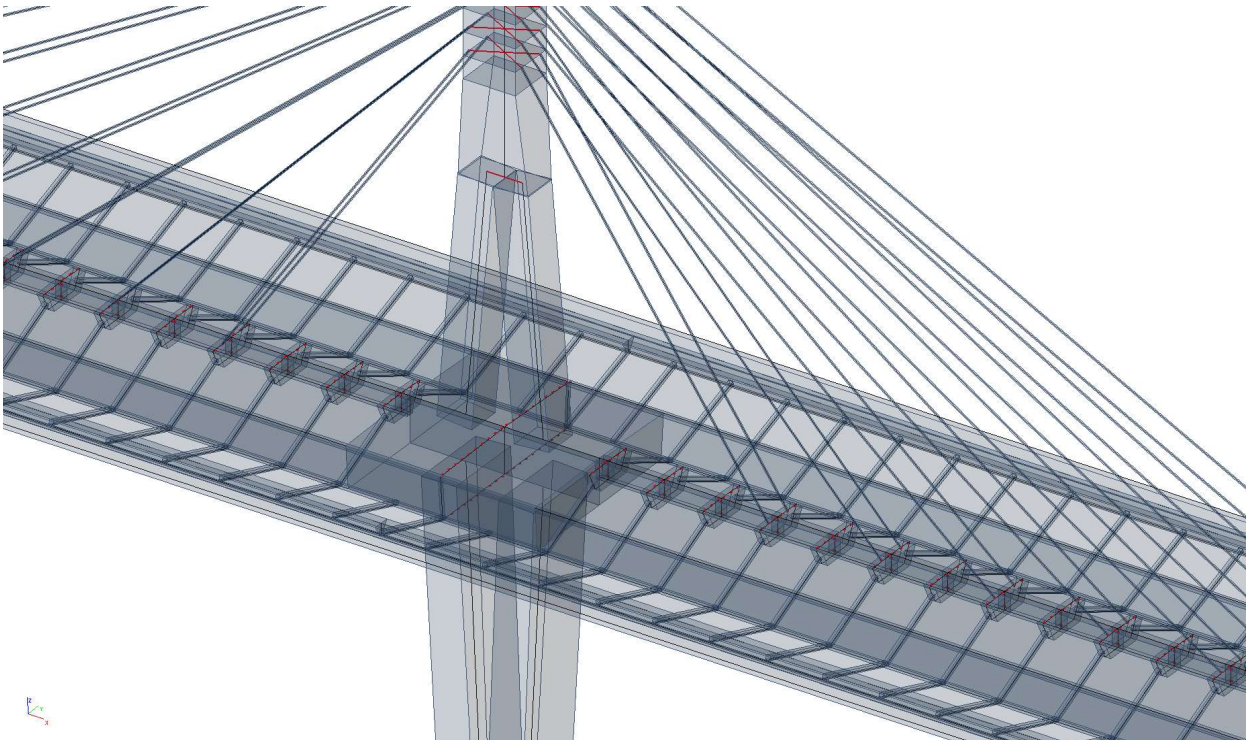
Na modelu je sledován průběh normálové síly v podélném směru na horní a dolní desce. Je vykreslen průběh normálové síly po příčném řezu v polovině rozpětí krajního (řez 1), středního pole (řez 3) a v řezu u pylonu (řez 2). Hodnoty  $n_x$  v horní a dolní desce z těchto řezů jsou následně zprůměrovány a je vyjádřen poměr mezi tímto průměrem a maximální hodnotou normálové síly vyskytující se v horní a dolní desce.



Vizualizace 3D modelu:

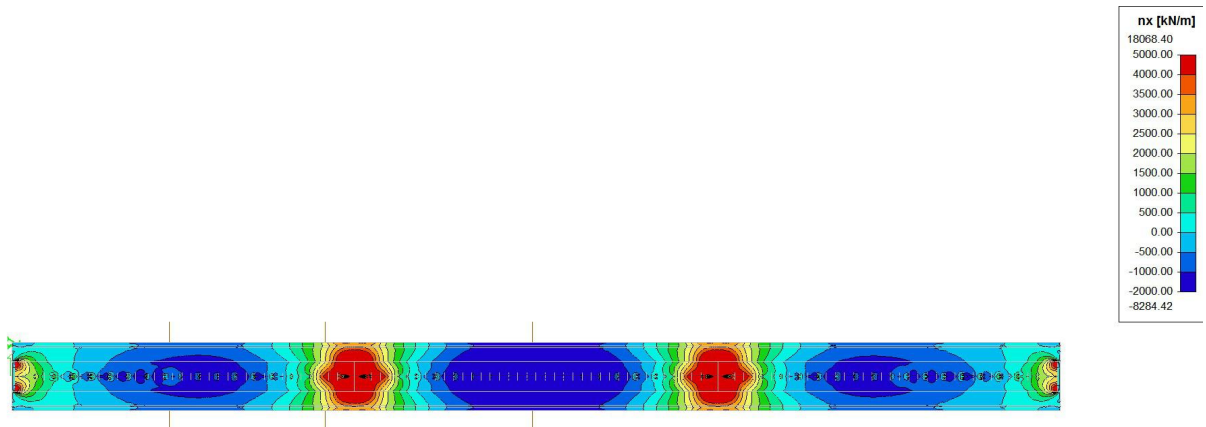


Detail:

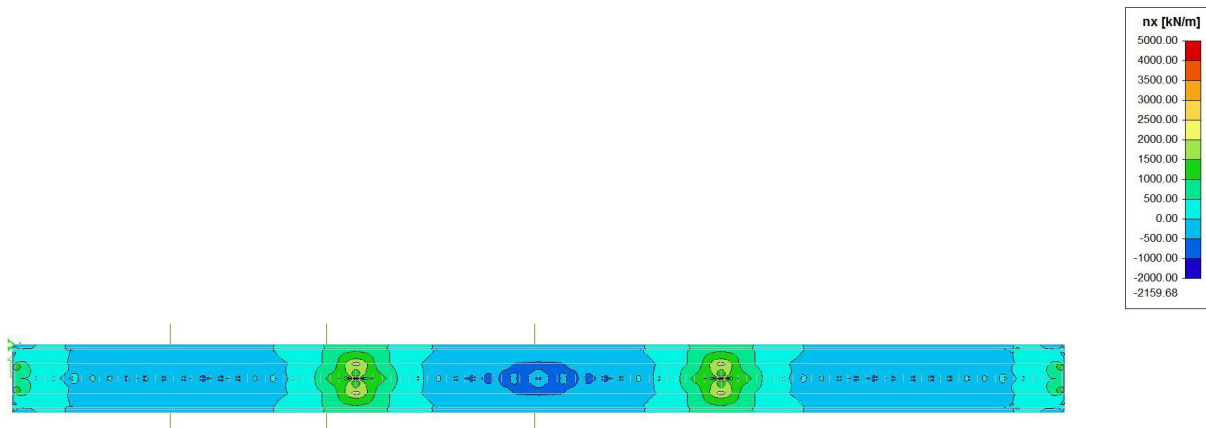


#### 4.2.3.1 Průběhy vnitřní síly $n_x$

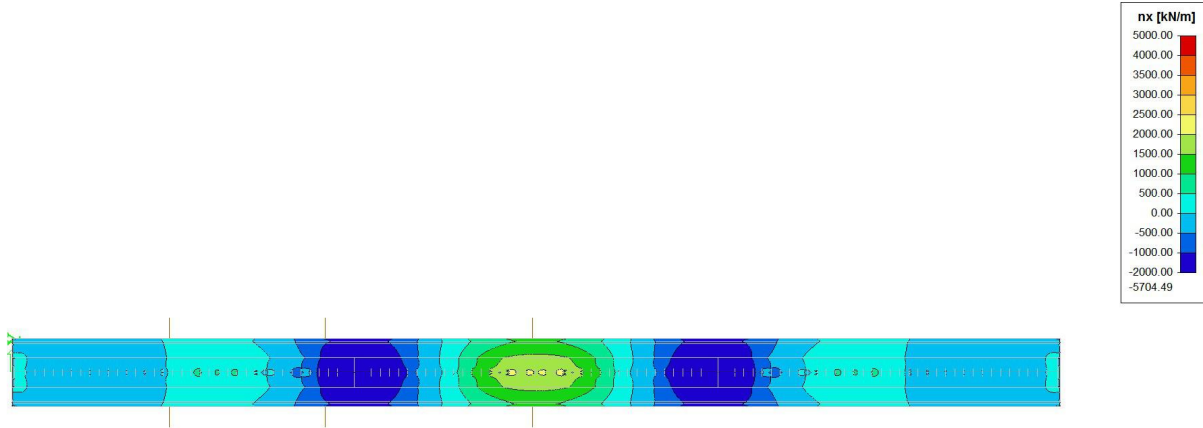
$n_x$  - horní deska - vlastní tíha



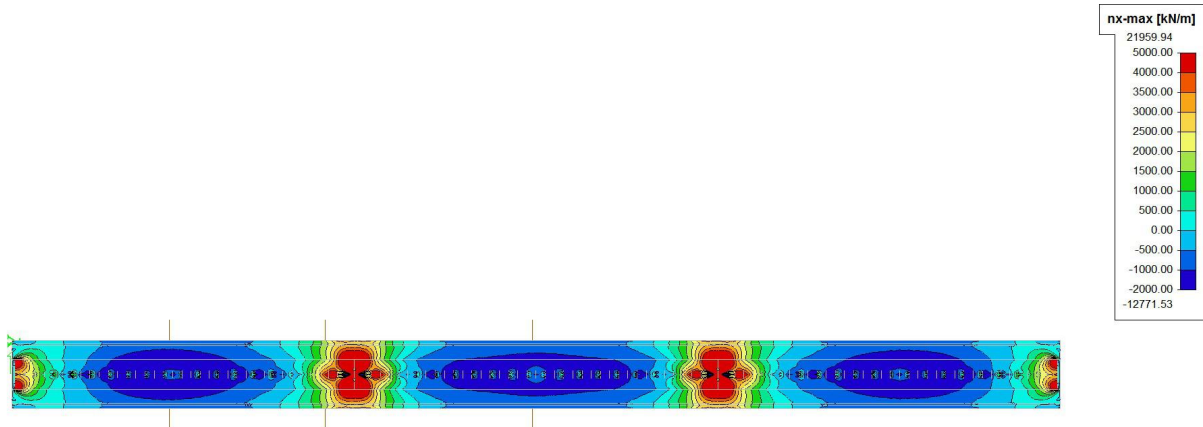
$n_x$  - horní deska - ostatní stálé zatížení



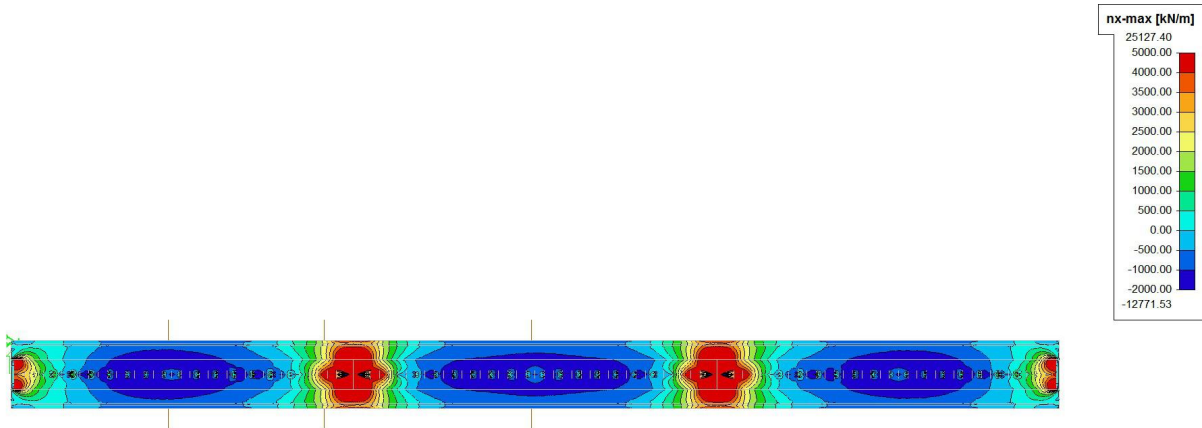
$n_x$  - horní deska - rektifikace



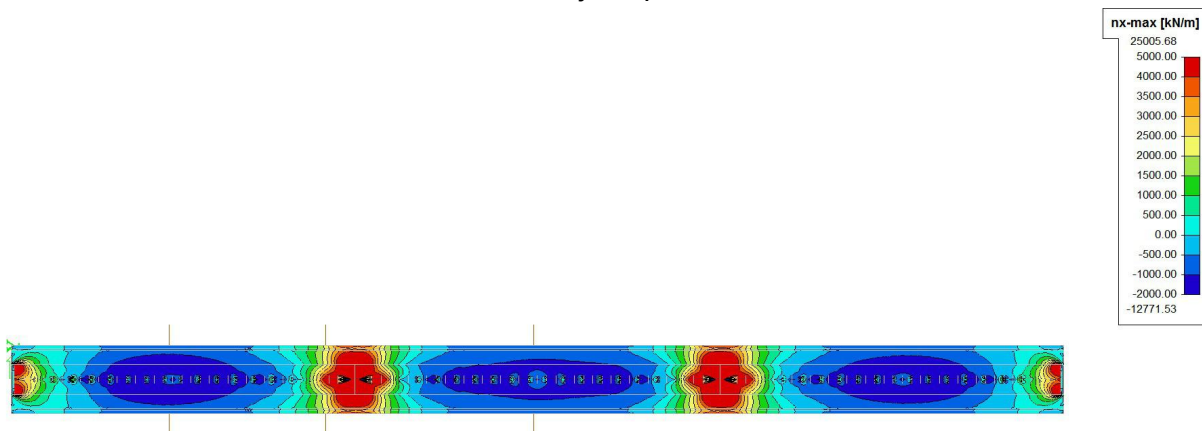
$n_x$  - horní deska - stálé zatížení + rektifikace



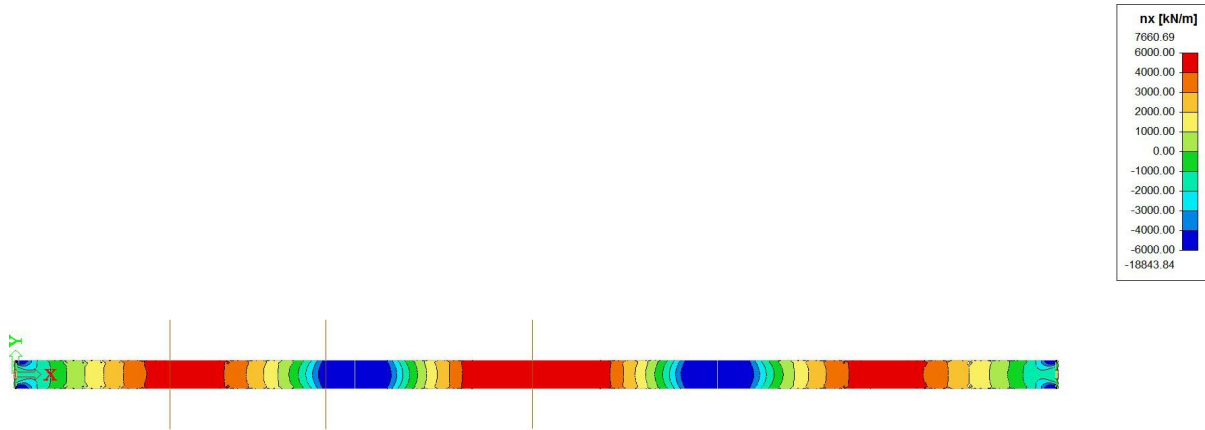
$n_x$  - horní deska - kombinace, TS ve středním poli



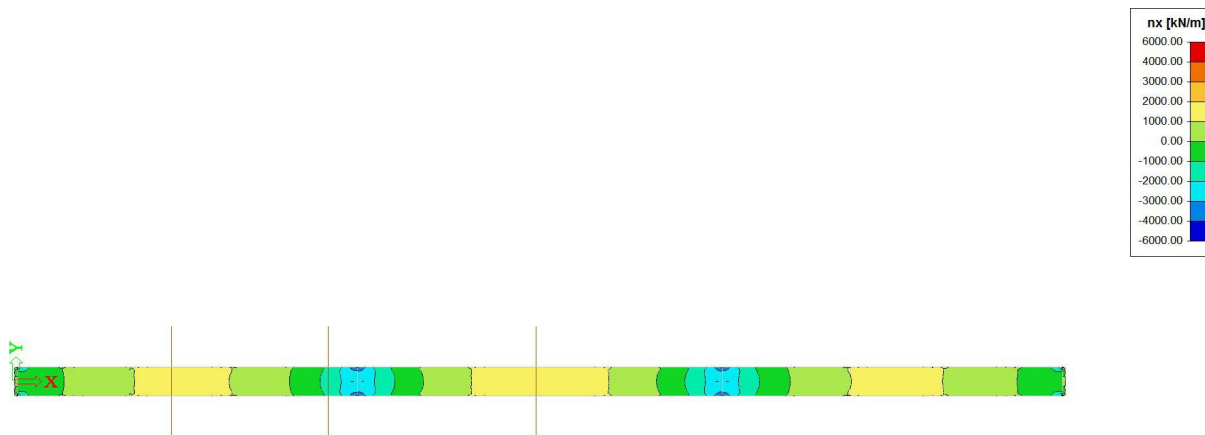
$n_x$  - horní deska - kombinace, TS v krajním poli



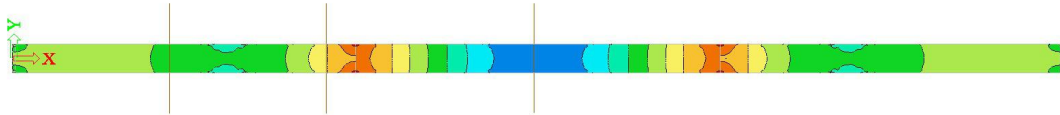
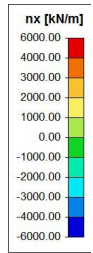
$n_x$  - dolní deska - vlastní tíha



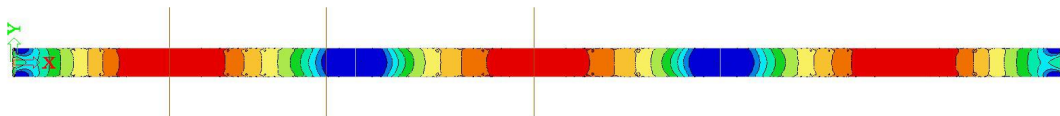
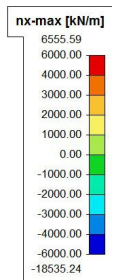
$n_x$  - dolní deska - ostatní stálé zatížení



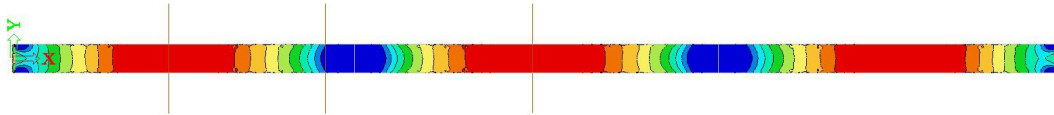
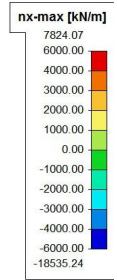
$n_x$  - dolní deska - rektifikace [kN/m]



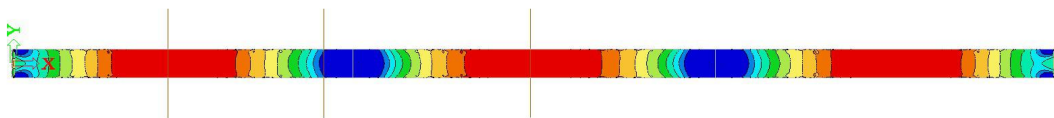
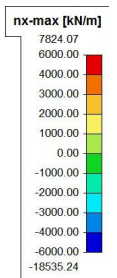
$n_x$  - dolní deska - stálé zatížení + rektifikace [kN/m]



$n_x$  - dolní deska - kombinace, TS ve středním poli [kN/m]

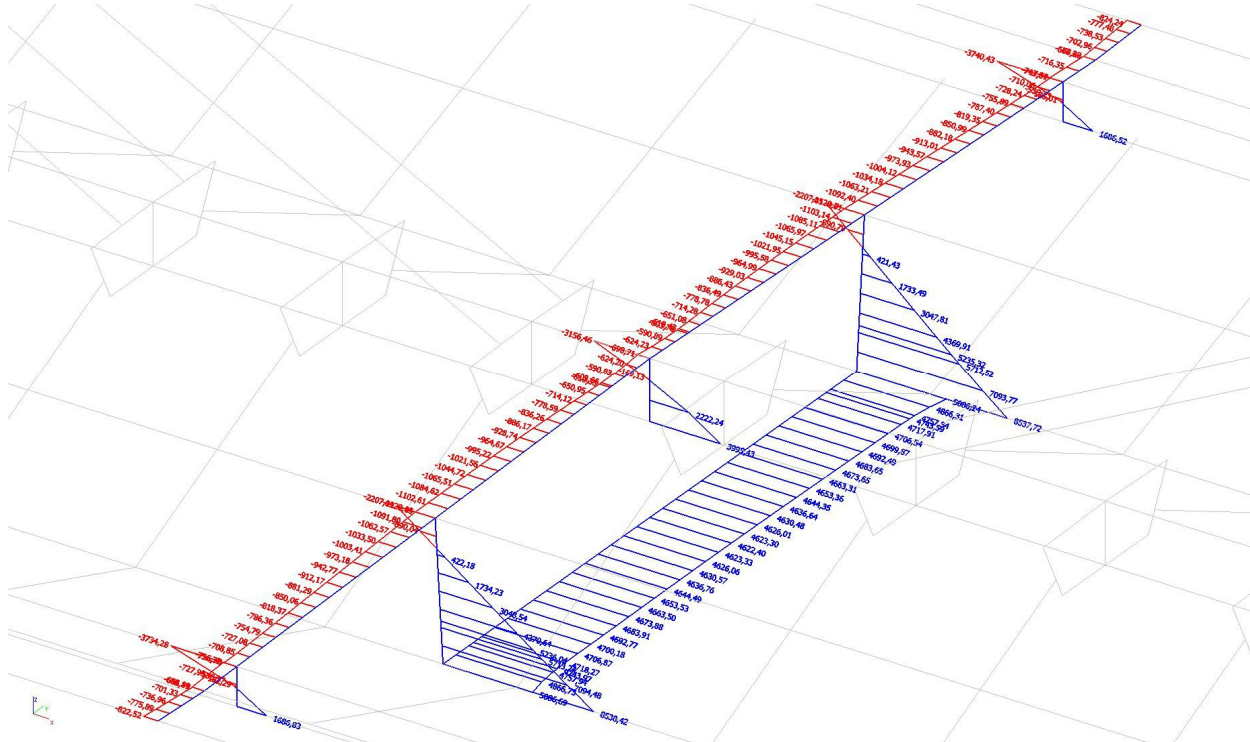


$n_x$  - dolní deska - kombinace, TS v krajním poli [kN/m]

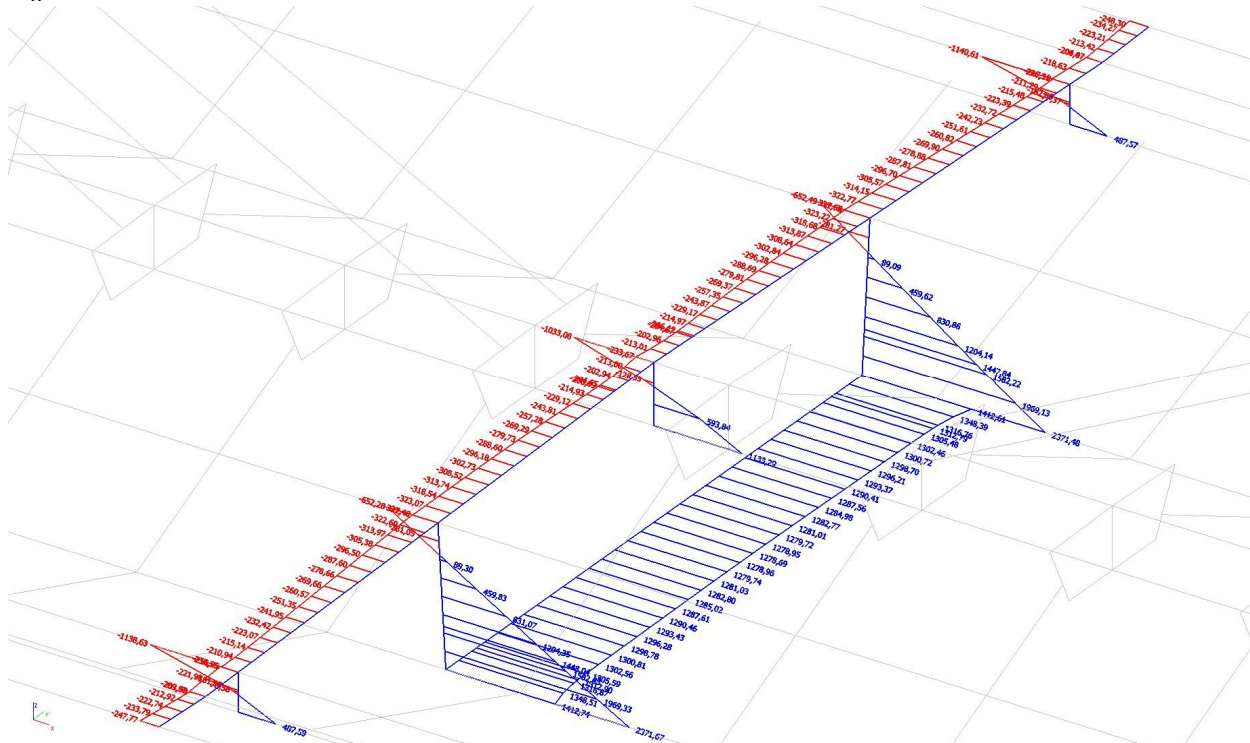




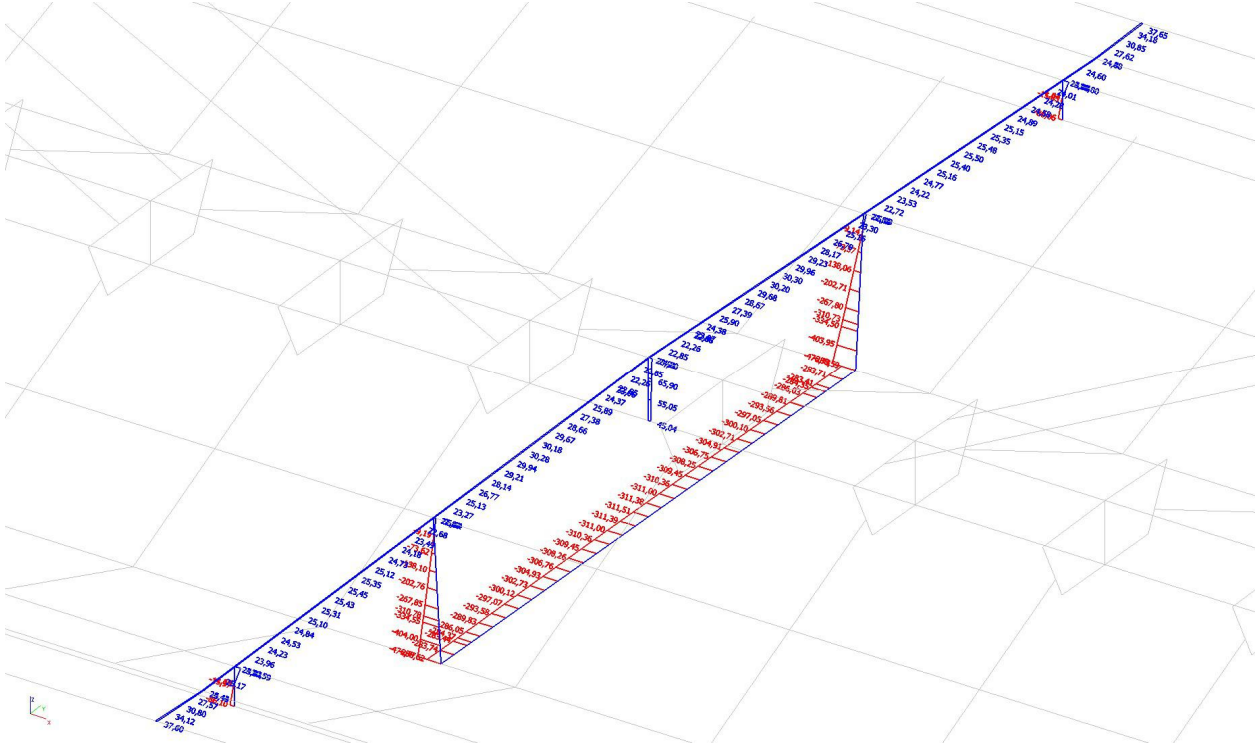
$n_x$  - řez 1 (krajní pole) - vlastní tíha [kN/m]



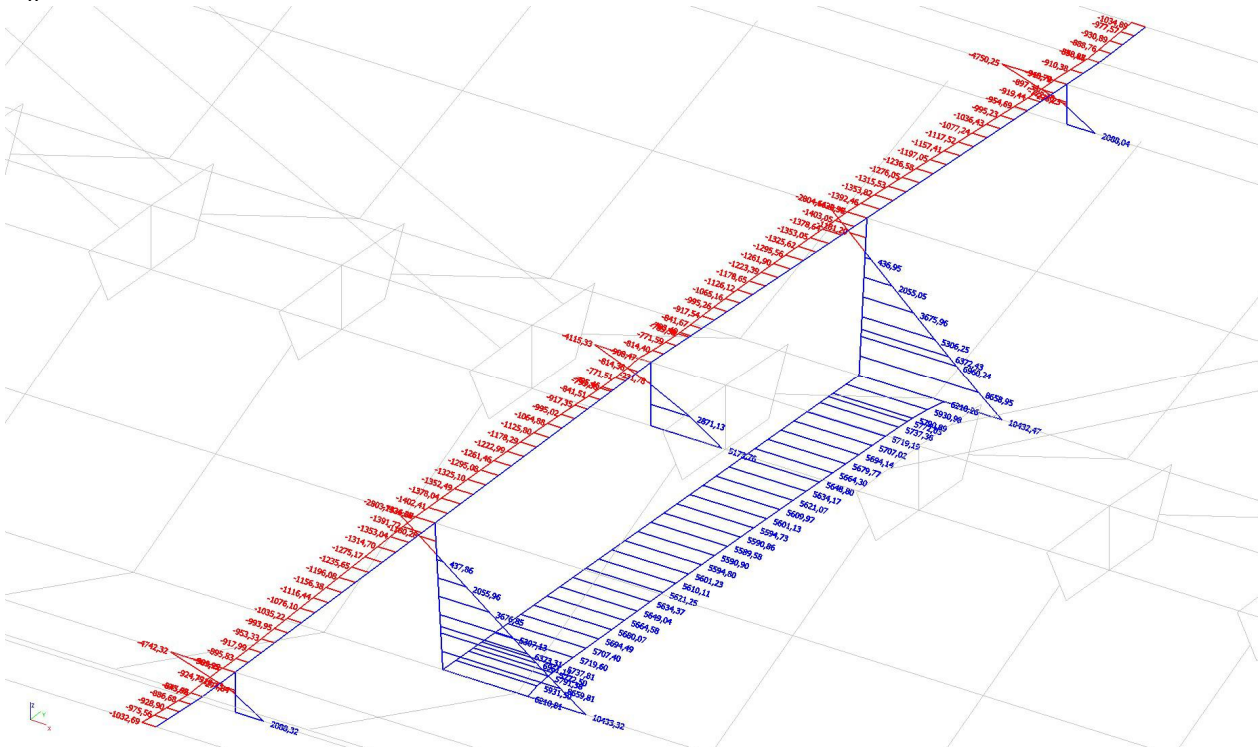
$n_x$  - řez 1 (krajní pole) - ostatní stálé zatížení [kN/m]



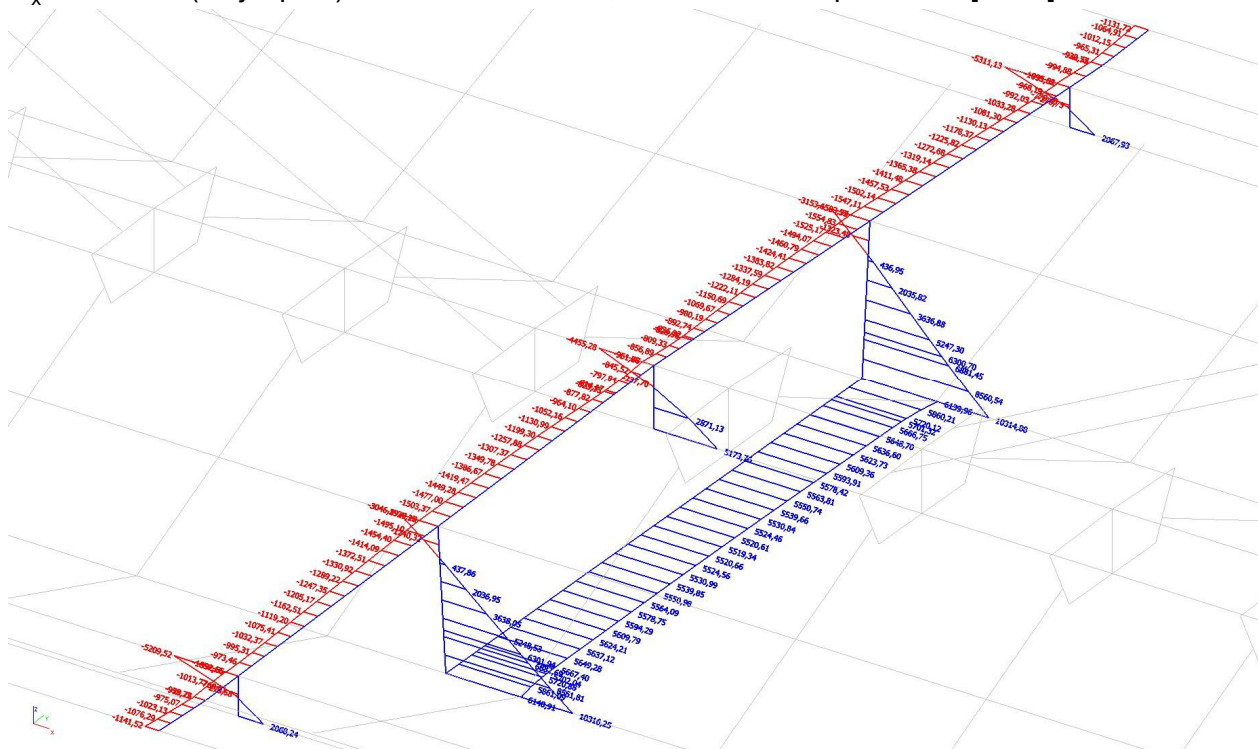
$n_x$  - řez 1 (krajní pole) - rektifikace [kN/m]



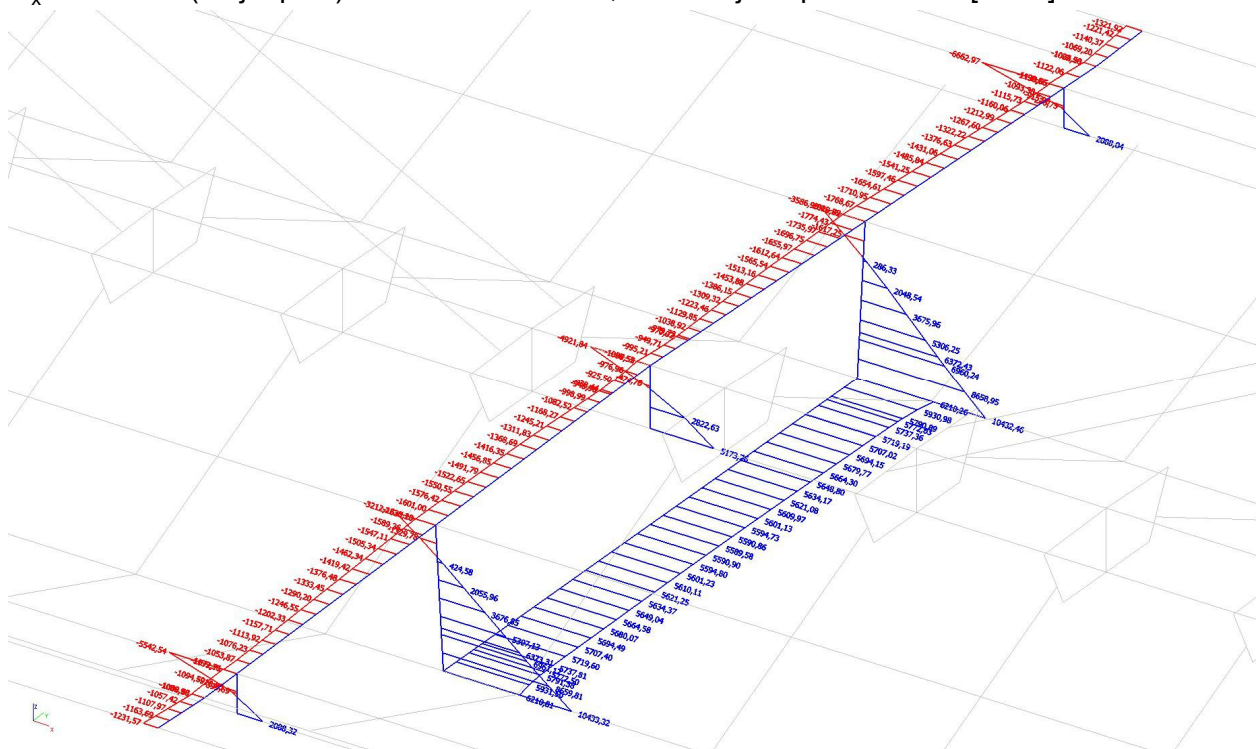
$n_x$  - řez 1 (krajní pole) - stálé zatížení + rektifikace [kN/m]



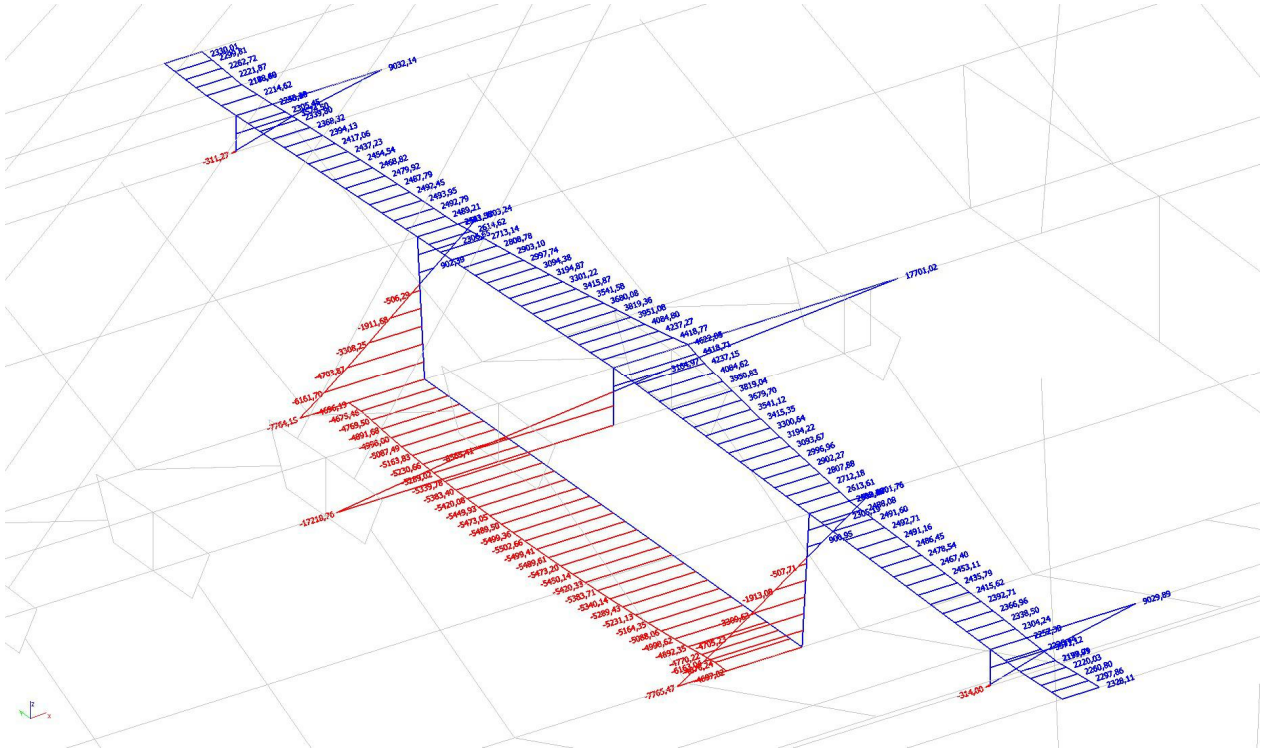
$n_x$  - řez 1 (krajní pole) - kombinace, TS ve středním poli [kN/m]



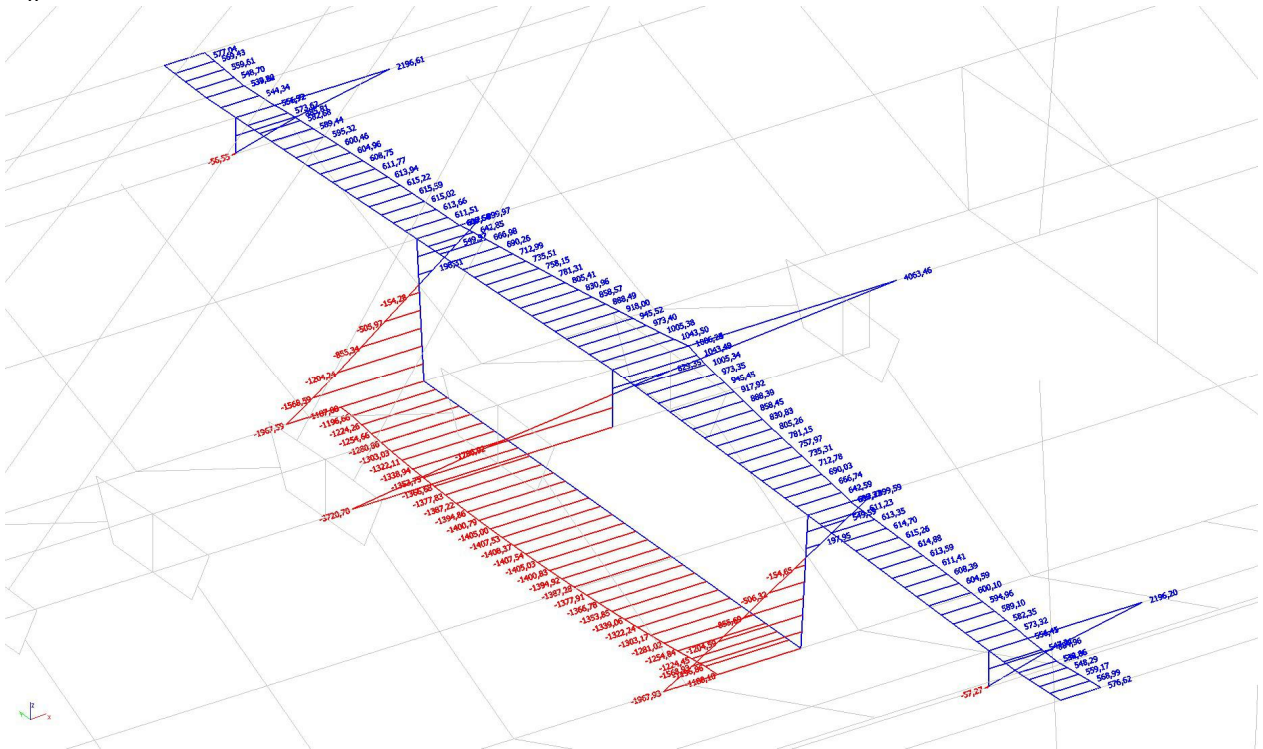
$n_x$  - řez 1 (krajní pole) - kombinace, TS v krajním poli [kN/m]



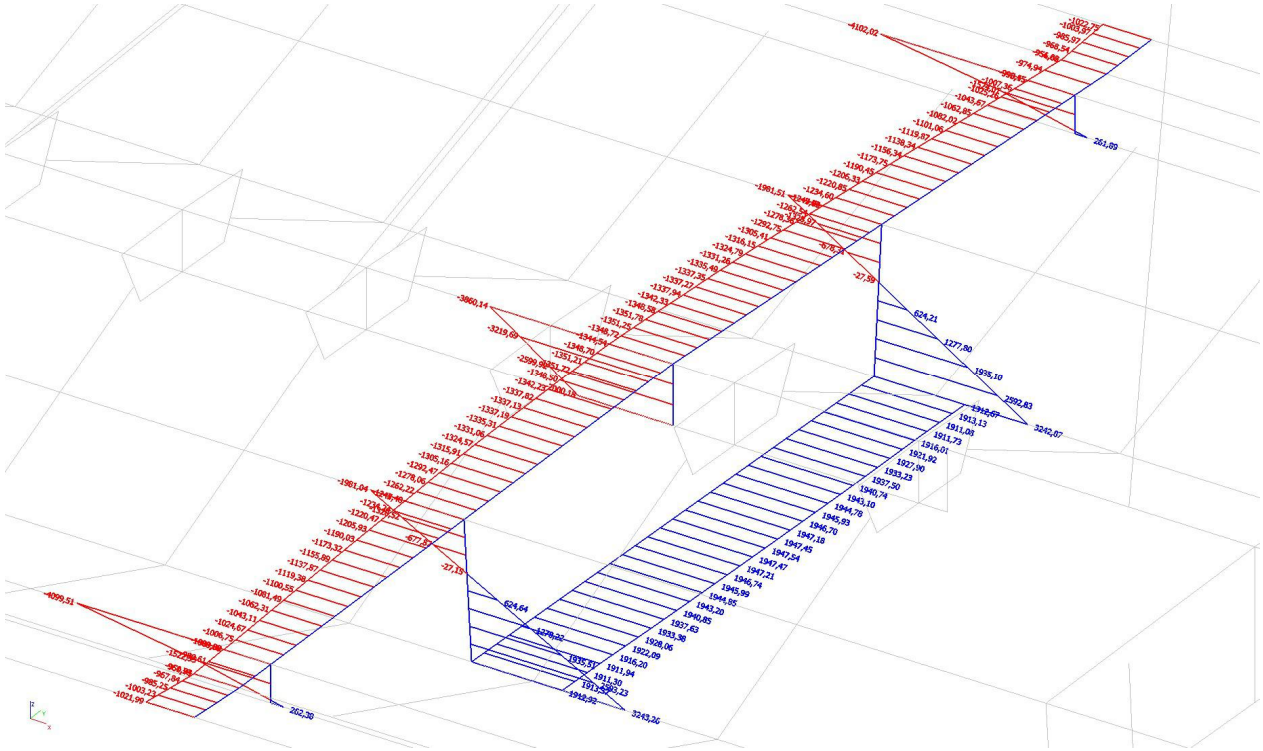
$n_x$  - řez 2 (u pylonu) - vlastní tíha [kN/m]



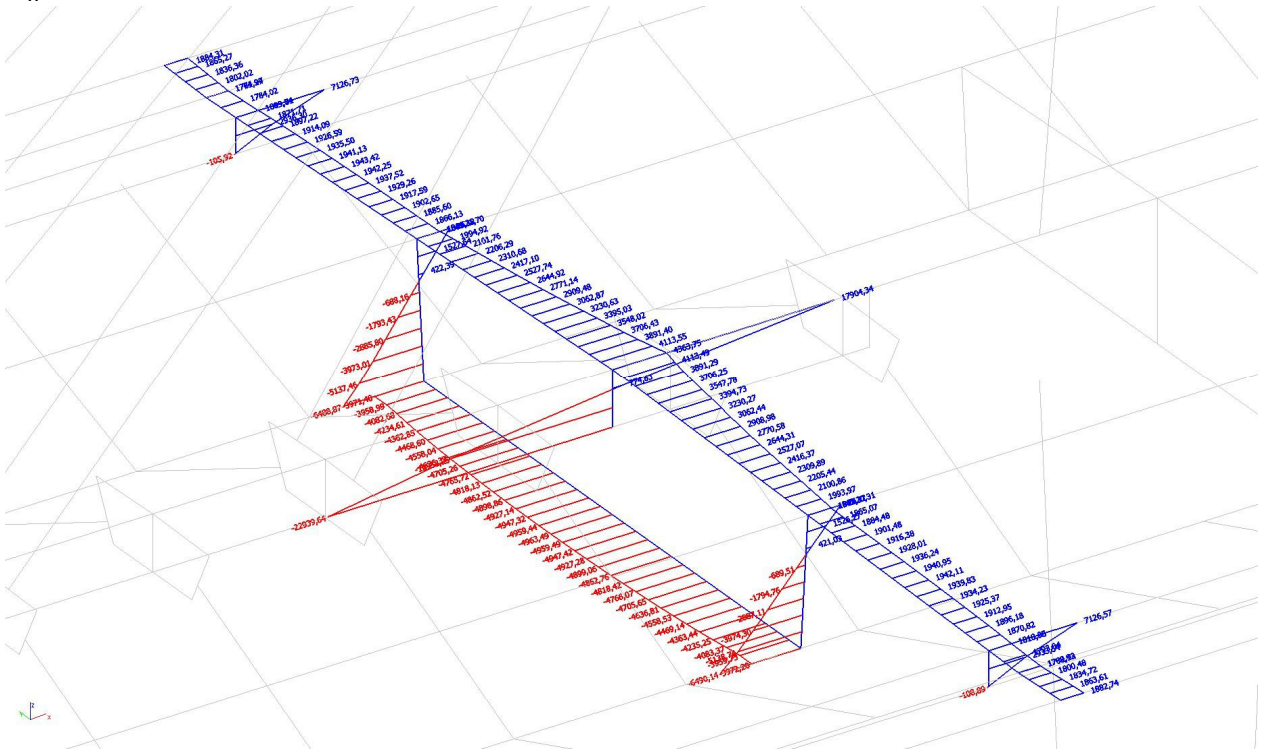
$n_x$  - řez 2 (u pylonu) - ostatní stálé zatížení [kN/m]



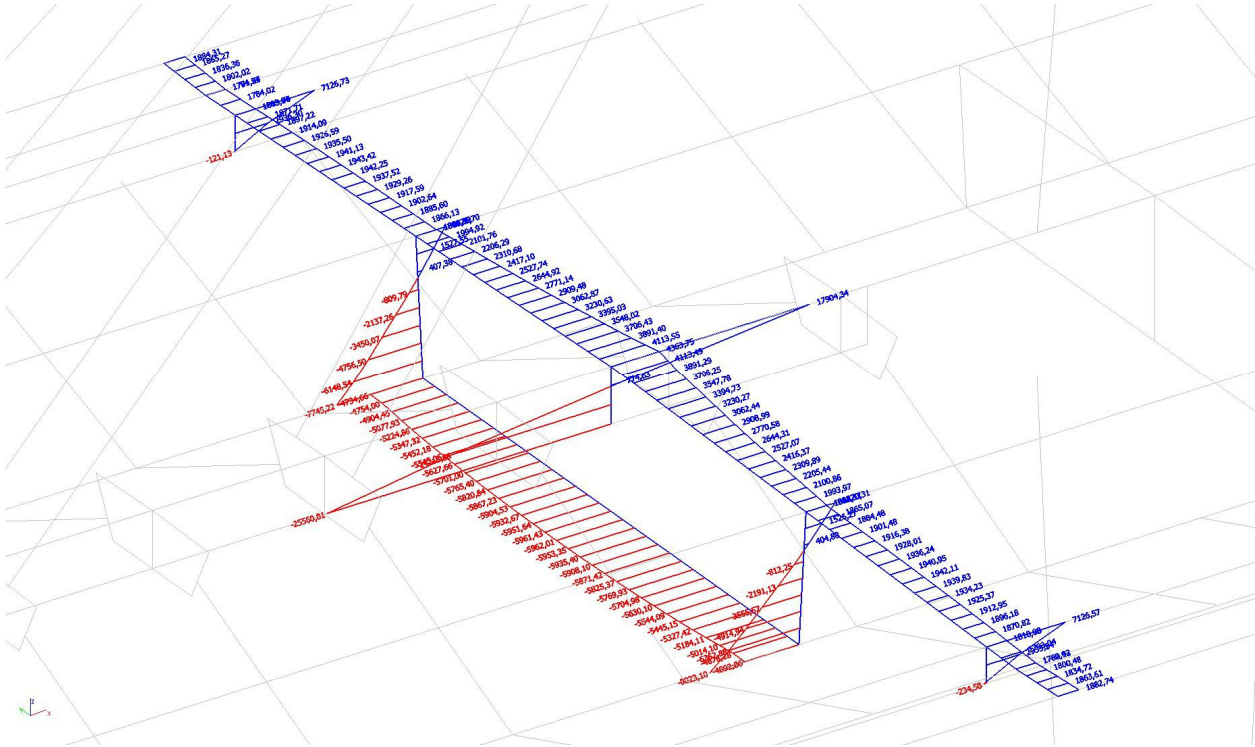
$n_x$  - řez 2 (u pylonu) - rektifikace [kN/m]



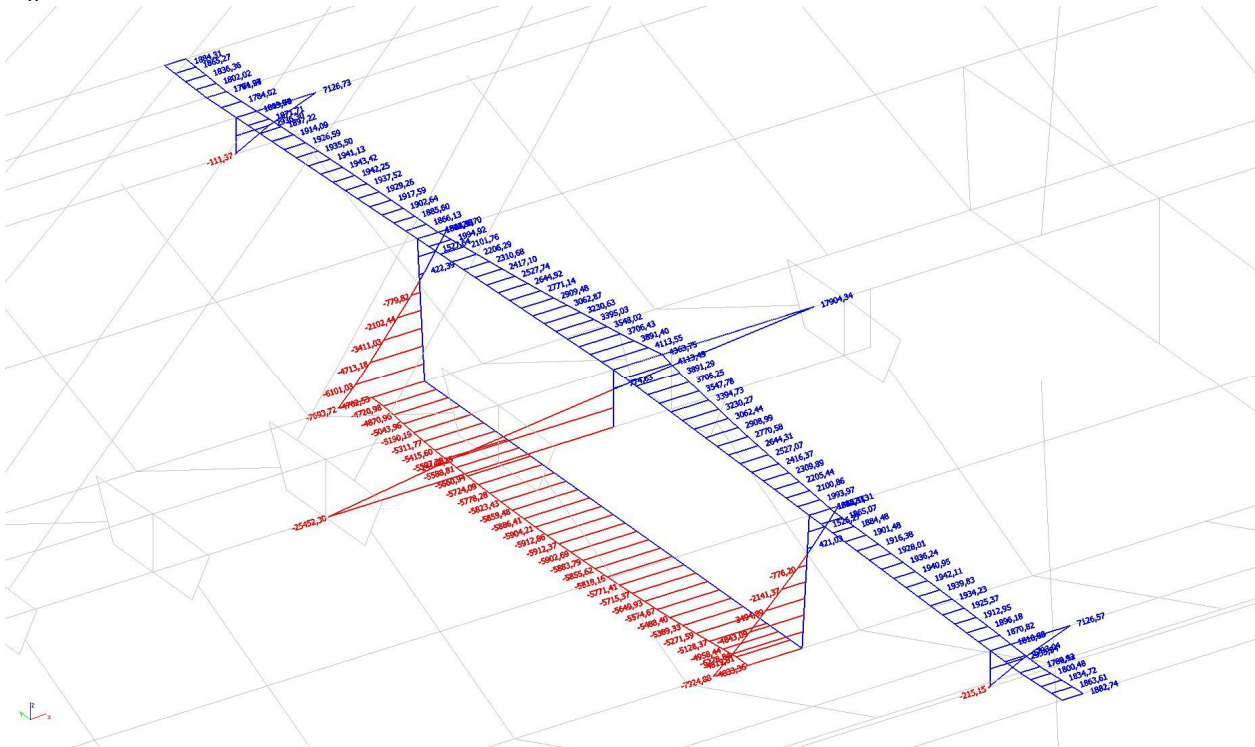
$n_x$  - řez 2 (u pylonu) - stálé zatížení + rektifikace [kN/m]



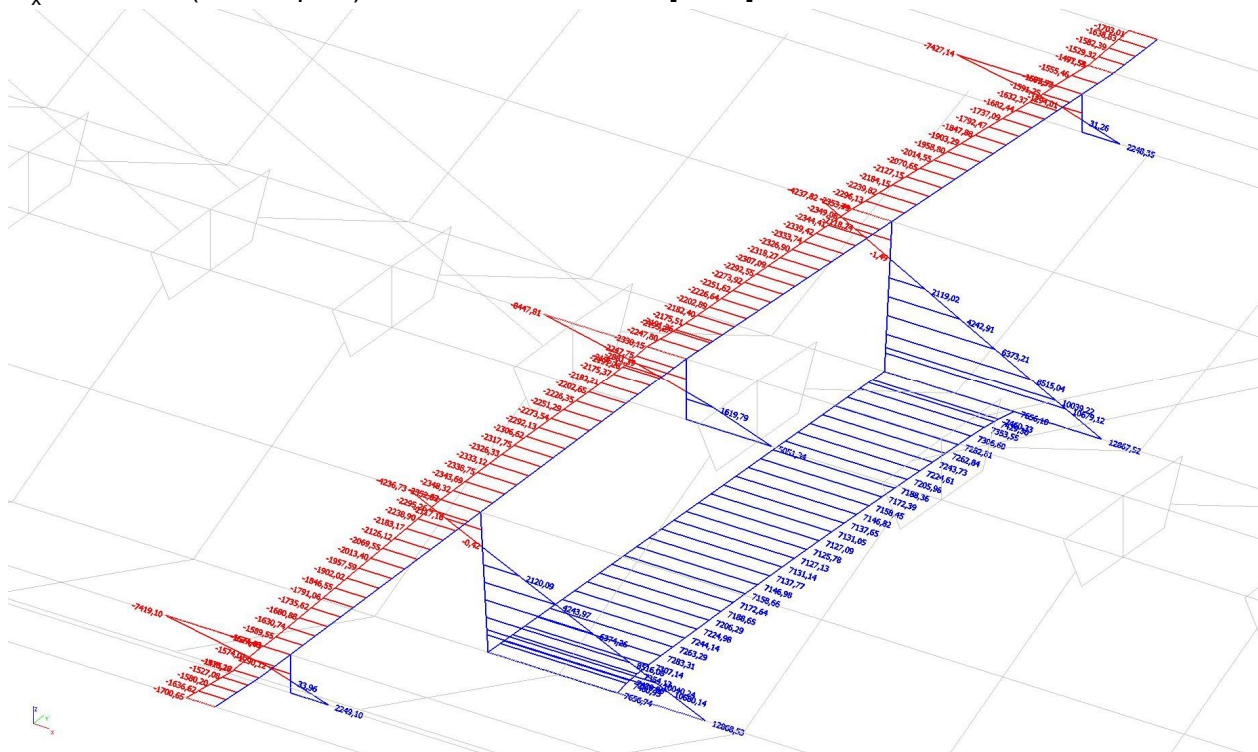
$n_x$  - řez 2 (u pylonu) - kombinace, TS ve středním poli [kN/m]



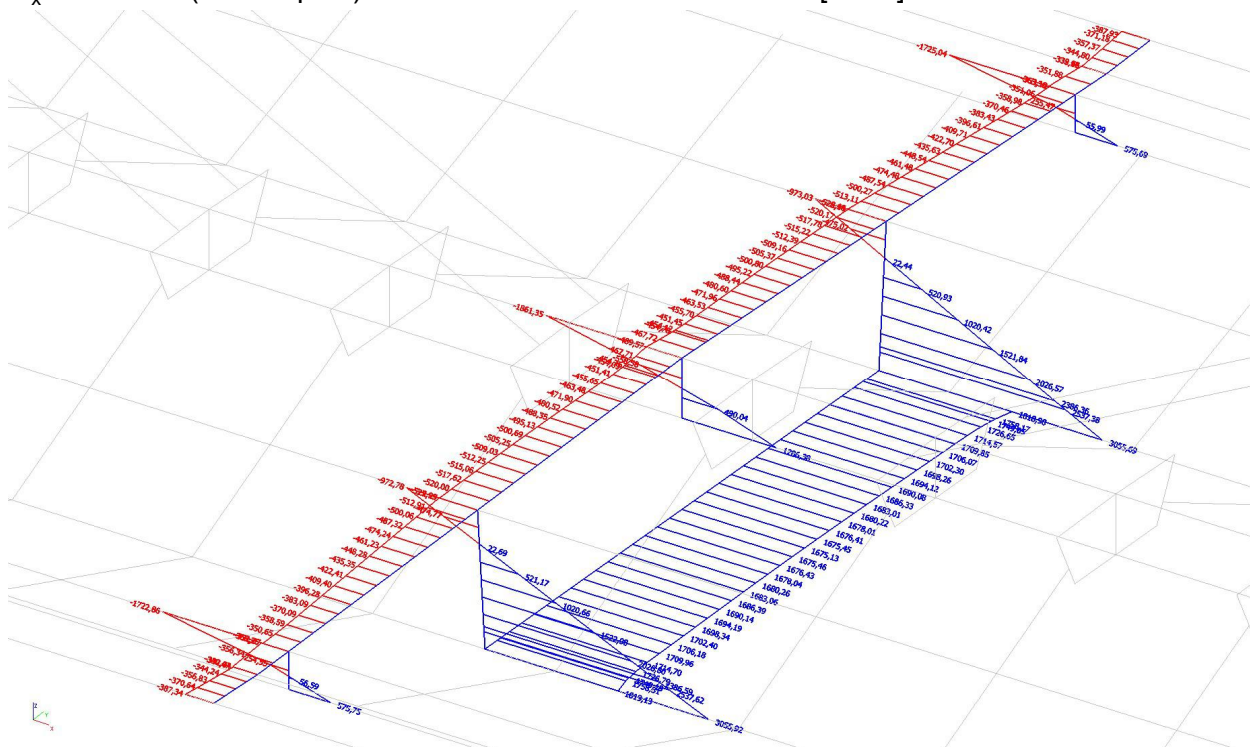
$n_x$  - řez 2 (u pylonu) - kombinace, TS v krajním poli [kN/m]



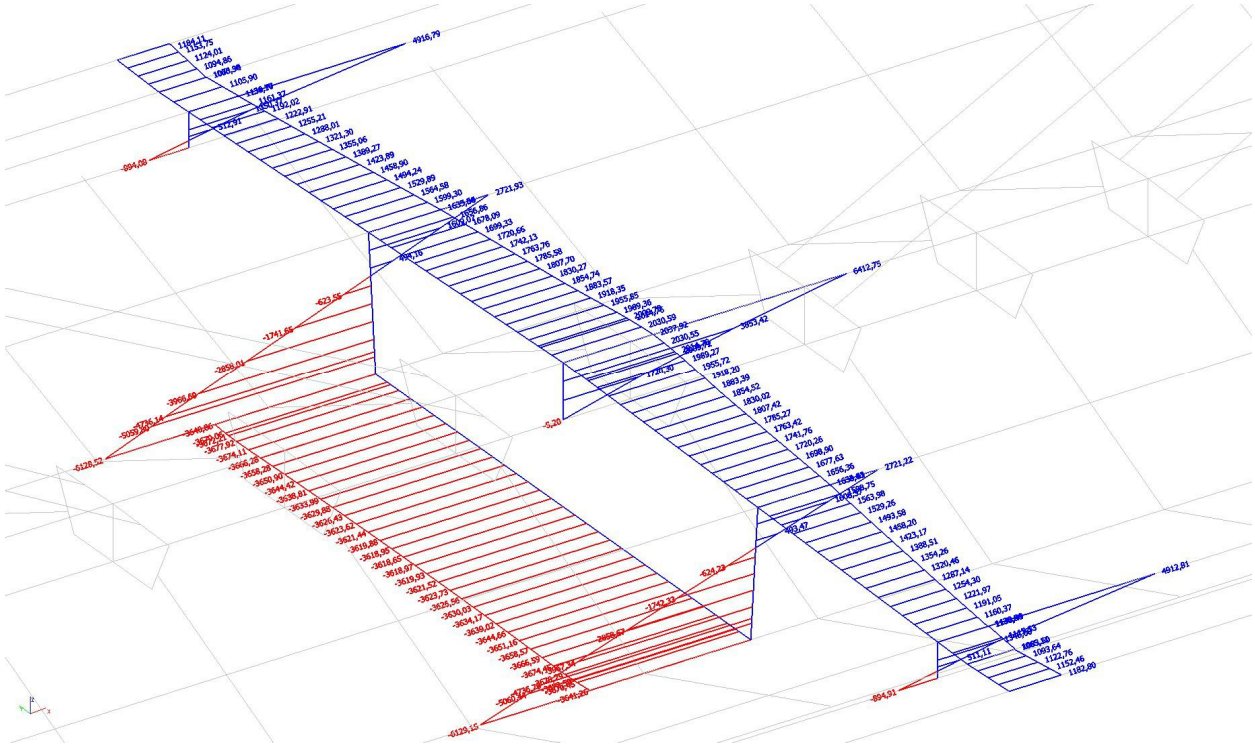
$n_x$  - řez 3 (střední pole) - vlastní tíha [kN/m]



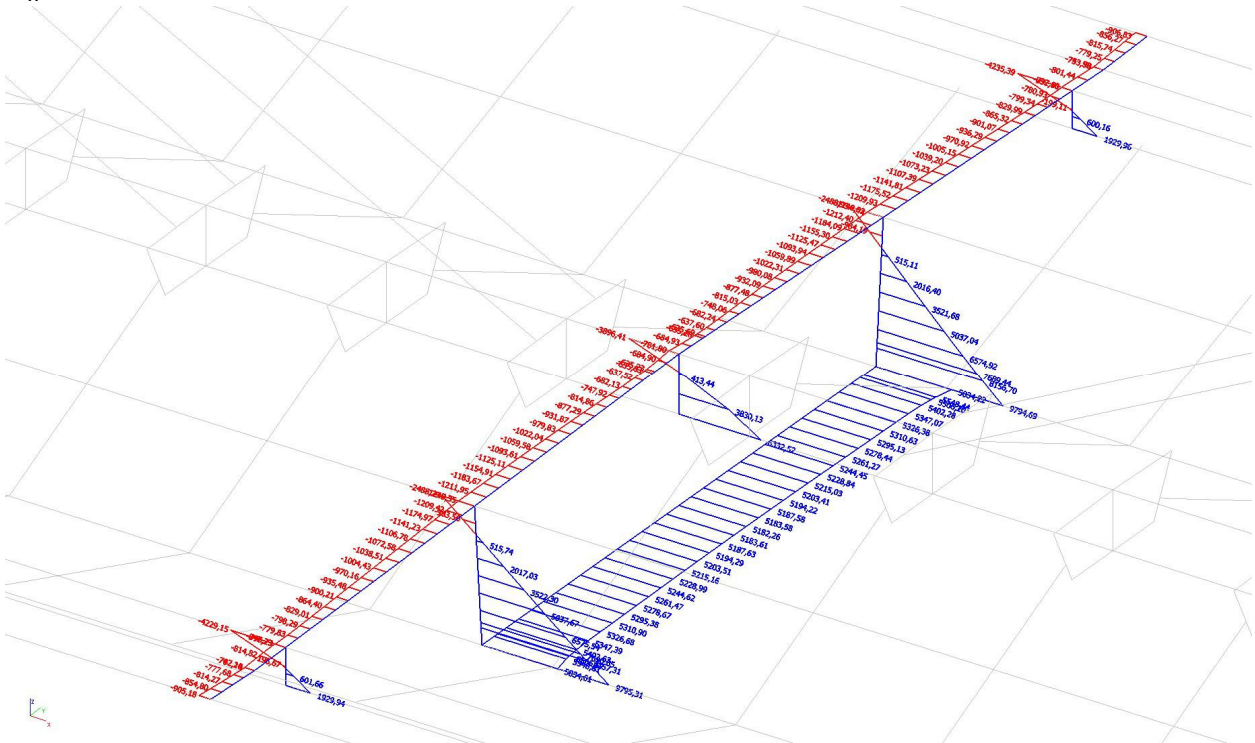
$n_x$  - řez 3 (střední pole) - ostatní stálé zatížení [kN/m]



$n_x$  - řez 3 (střední pole) - rektifikace [kN/m]

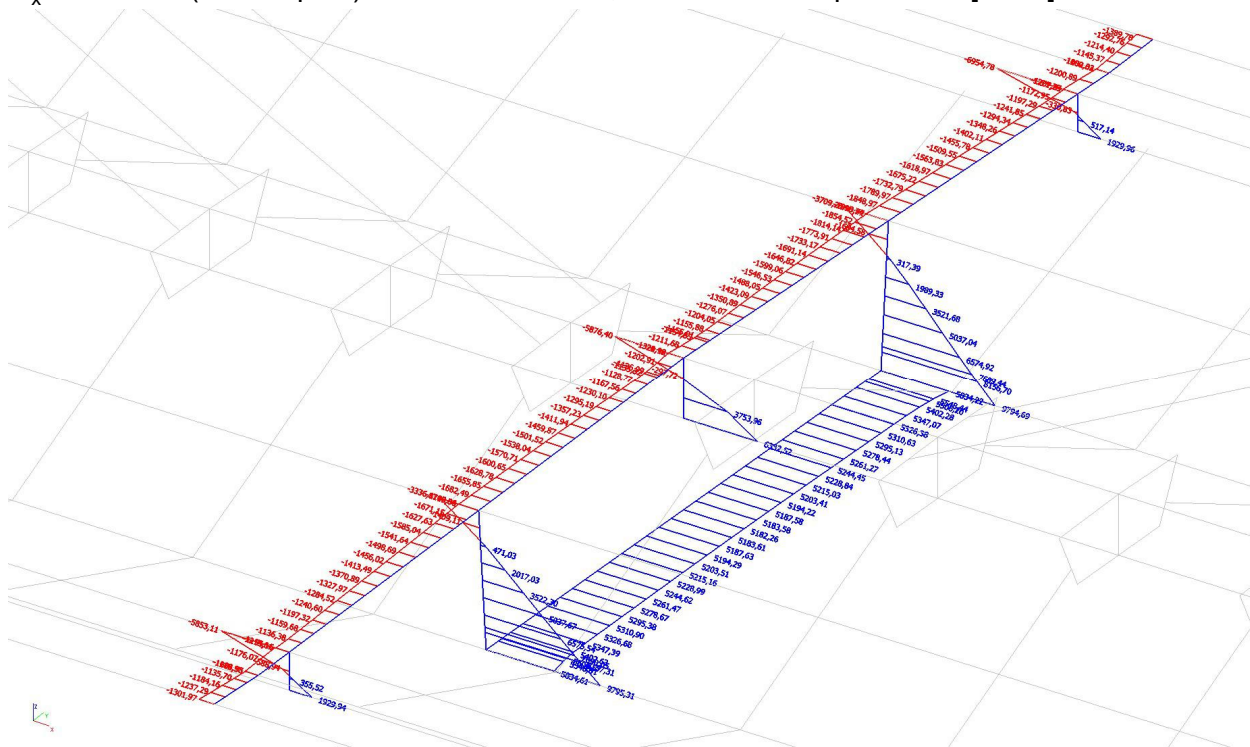


$n_x$  - řez 3 (střední pole) - stálé zatížení + rektifikace [kN/m]

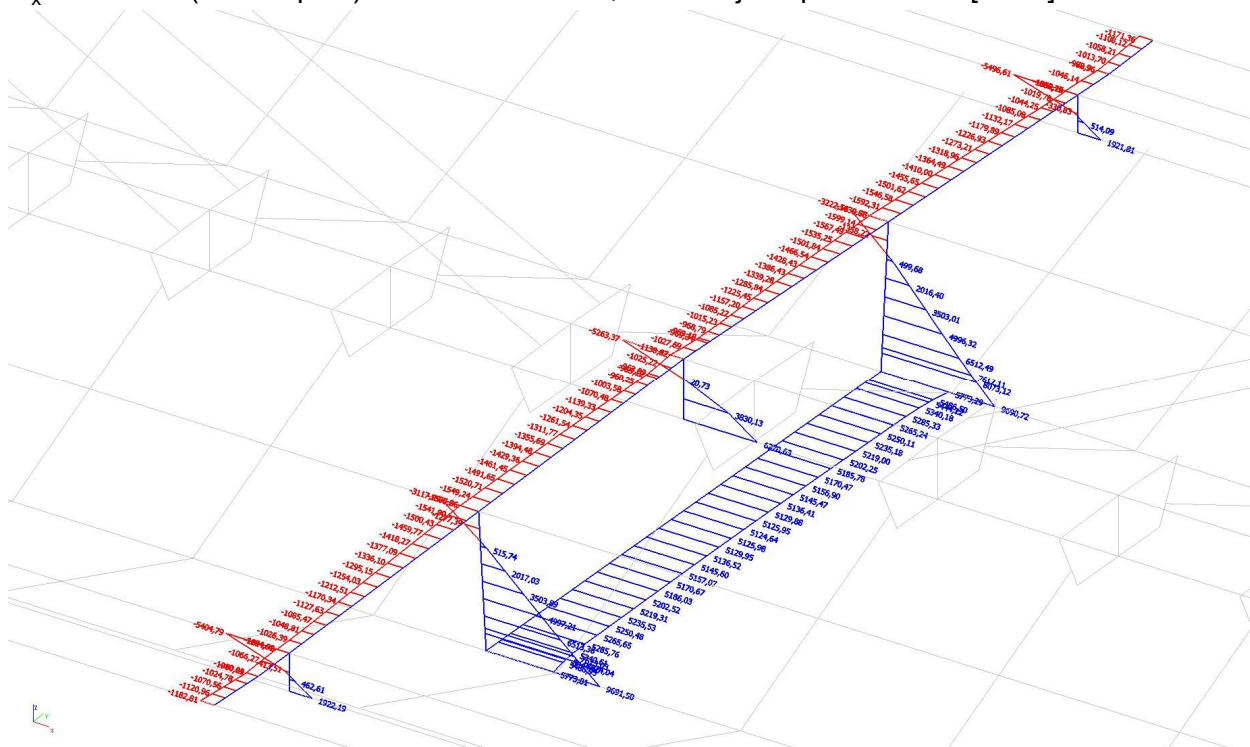




$n_x$  - řez 3 (střední pole) - kombinace, TS ve středním poli [kN/m]



$n_x$  - řez 3 (střední pole) - kombinace, TS v krajním poli [kN/m]



#### 4.2.3.2 Shrnutí výsledků

Níže jsou uvedeny průměry a maxima/minima normálových sil v horní a dolní desce. Z těchto hodnot jsou pak spočteny jejich poměry. Pro jeden průřez je tak vyjádřen jeden koeficient horní a dolní desky.

Řez	ŘEZ 1 - krajní pole									
Deska	horní deska					dolní deska				
Zatížení	vlastní tíha	ostatní stálé	stálé zat. + rektifik.	kombinace (TS ve středním poli)	kombinace (TS v krajním poli)	vlastní tíha	ostatní stálé	stálé zat. + rektifik.	kombinace (TS ve středním poli)	kombinace (TS v krajním poli)
průměr nx [kN/m]	-853,5	-258,3	-1 085,8	-1 120,1	-1 195,4	4 698,5	1 300,4	5 699,9	6 013,1	6 190,8
max/min nx [kN/m]	-1 122,6	-331,6	-1 432,4	-1 593,5	-1 828,8	5 086,7	1 412,7	6 210,8	7 016,3	7 433,3
poměr	0,76	0,78	0,76	0,70	0,65	0,92	0,92	0,92	0,86	0,83
průměr poměrů	<b>0,73</b>					<b>0,89</b>				

Řez	ŘEZ 2 - u pylonu									
Deska	horní deska					dolní deska				
Zatížení	vlastní tíha	ostatní stálé	stálé zat. + rektifikace	kombinace (TS ve středním poli)	kombinace (TS v krajním poli)	vlastní tíha	ostatní stálé	stálé zat. + rektifikace	kombinace (TS ve středním poli)	kombinace (TS v krajním poli)
průměr nx [kN/m]	2 849,9	696,5	2 355,0	2 596,2	2 599,5	-5 204,0	-1 332,1	-4 603,6	-5 076,8	-5 053,5
max/min nx [kN/m]	4 622,1	1 086,3	4 363,8	5 130,4	5 122,4	-5 502,7	-1 408,4	-4 963,5	-5 962,0	-5 912,9
poměr	0,62	0,64	0,54	0,51	0,51	0,95	0,95	0,93	0,85	0,85
průměr poměrů	<b>0,56</b>					<b>0,91</b>				

Řez	ŘEZ 3 - střední pole									
Deska	horní deska					dolní deska				
Zatížení	vlastní tíha	ostatní stálé	stálé zat. + rektifikace	kombinace (TS ve středním poli)	kombinace (TS v krajním poli)	vlastní tíha	ostatní stálé	stálé zat. + rektifikace	kombinace (TS ve středním poli)	kombinace (TS v krajním poli)
průměr nx [kN/m]	-2 035,7	-445,1	-928,8	-1 167,2	-1 063,3	7 248,6	1 704,5	5 308,4	6 051,0	5 870,0
max/min nx [kN/m]	-2 353,7	-526,2	-1 246,0	-1 910,7	-1 639,9	7 656,7	1 819,1	5 834,6	7 564,8	7 130,5
poměr	0,86	0,85	0,75	0,61	0,65	0,95	0,94	0,91	0,80	0,82
průměr poměrů	<b>0,74</b>					<b>0,88</b>				

#### 4.2.3.3 Závěr studie

Z výsledků normálové síly a poměrů jejích hodnot plyne, že se celá plocha průřezu nepodílí na přenosu normálových napětí rovnoměrně. Z toho důvodu je přistoupeno k snížení průřezových modulů při horních a dolních vláknech koeficientem rovným poměru průměrné hodnoty a maximální hodnoty normálové síly v horní a dolní desce.

Hodnoty poměrů jsou pro řez v krajním a ve středním poli přibližně stejné, lze tak říci, že se průřez v krajním a ve středním poli chová stejně. Jsou tedy uvedeny dva koeficienty pro horní a dolní vlákna průřezů v poli a u pylonu. Průřez nacházející se u napojení pylonu do konstrukce mostovky je vyplněn příčnickem s vyloženými konzolami, v tomto místě je redukován průřezový modul pro horní vlákna.

Redukce $W_{el}$		
Průřez v poli	horní vlákna	0,73
	dolní vlákna	0,88
Průřez v poli u pylonu	horní vlákna	0,56
	dolní vlákna	0,91

#### 4.2.4 Průřezové charakteristiky

Řez:	$A_c$	$h$	$z_T$	$I_y$	$W_{el,y,h}$	$W_{el,y,d}$	red. $W_h$	red. $W_d$	$W_{el,y,h,red}$	$W_{el,y,d,red}$
	[m <sup>2</sup> ]	[m]	[m]	[m <sup>4</sup> ]	[m <sup>3</sup> ]	[m <sup>3</sup> ]			[m <sup>3</sup> ]	[m <sup>3</sup> ]
v poli	27,07	4,00	2,53	55,81	37,91	22,08	0,73	0,88	27,71	19,50
v poli u pylonu	27,07	4,00	2,53	55,81	37,97	22,06	0,56	0,91	21,34	19,96
u pylonu	71,49	4,00	2,16	99,27	54,01	45,92	0,84	1,00	45,37	45,92
u opěry	99,25	4,00	2,18	113,89	62,65	52,20	-	-	-	-

$A_c$  ... celková plocha průřezu vypočteno programem Scia Engineer

$h$  ... výška průřezu

$z_T$  ... výška těžiště od dolních vláken

$I_y$  ... moment setrvačnosti kolem osy  $y$

$W_{el,y,h}$  ... pružný modul průřezu k ose  $y$  - horní vlákna

$W_{el,y,d}$  ... pružný modul průřezu k ose  $y$  - dolní vlákna

$W_{el,y,h,red}$  ... redukovaný pružný modul průřezu k ose  $y$  - horní vlákna

$W_{el,y,d,red}$  ... redukovaný pružný modul průřezu k ose  $y$  - dolní vlákna

### 4.3 Zatížení

#### 4.3.1 Zatížení stálé

##### Vlastní tíha konstrukce v poli

Položka:	$A_c$	$\gamma$	$g_{0,1,k}$
	[m <sup>2</sup> ]	[kN/m <sup>3</sup> ]	[kN/m]
PR v poli	27,07	26,00	703,82

##### Vlastní tíha konstrukce u pylonu

Položka:	$A_c$	$\gamma$	$g_{0,2,k}$
	[m <sup>2</sup> ]	[kN/m <sup>3</sup> ]	[kN/m]
PR u pylonu	71,49	26,00	1 858,74

##### Vlastní tíha konstrukce u opěry

Položka:	$A_c$	$\gamma$	$g_{0,3,k}$
	[m <sup>2</sup> ]	[kN/m <sup>3</sup> ]	[kN/m]
PR u opěry	99,25	26,00	2 580,50

### Ostatní stálé zatížení

Položka:	A	$\gamma$	$(g-g_0)_{m,k}$
	[m <sup>2</sup> ]	[kN/m <sup>3</sup> ]	[kN/m]
ŽB římsy	2,15	25,00	53,67
ACO 16 S 50mm	1,50	25,00	37,49
ACL 16 S 50mm	1,55	25,00	38,70
MA 11 IV 35mm	1,08	23,00	24,90
4x zábradelní svodidla	-	-	4,00
2x protihluková zeď	-	-	4,00
<b>Celkem</b>			<b>162,75</b>

Horní char. hodnota  $(g-g_0)_{sup,k} = 53,7 + 1.4 \times (37,5 + 38,7 + 24,9) + 4 + 4 = 203,18 \text{ kN/m}$

Dolní char. hodnota  $(g-g_0)_{inf,k} = 53,7 + 0.8 \times (37,5 + 38,7 + 24,9) + 4 + 4 = 142,54 \text{ kN/m}$

### Nerovnoměrné poklesy podpěr

Ve výpočetním modelu je uvažováno s nerovnoměrnými poklesy jednotlivých podpěr o 10 mm.

## 4.3.2 Zatížení proměnné

### Zatížení dopravou

Vozovka se skládá ze dvou částí oddělených trvalým silničním záchytným systémem na jedné nosné konstrukci, použije se jedno číslování zatěžovacích pruhů pro celou vozovku.

Volná šířka mostu v obou směrech je 15,5 m, šířka vozovky je tedy ve smyslu stanovení počtu zatěžovacích pruhů 31 m.

Šířka vozovky  $w = 31,00 \text{ m}$

Šířka zatěžovacího pruhu  $w_i = 3,00 \text{ m}$

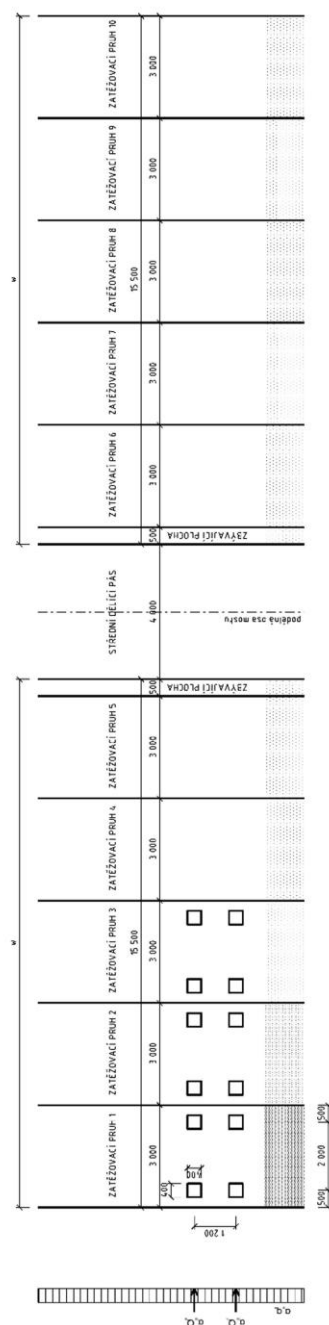
Počet zatěžovacích pruhů  $n_1 = \text{INT}[31 / 3] = 10,00$

Šířka zbývající plochy  $z_p = 31 - 3 \times 10 = 1,00 \text{ m}$

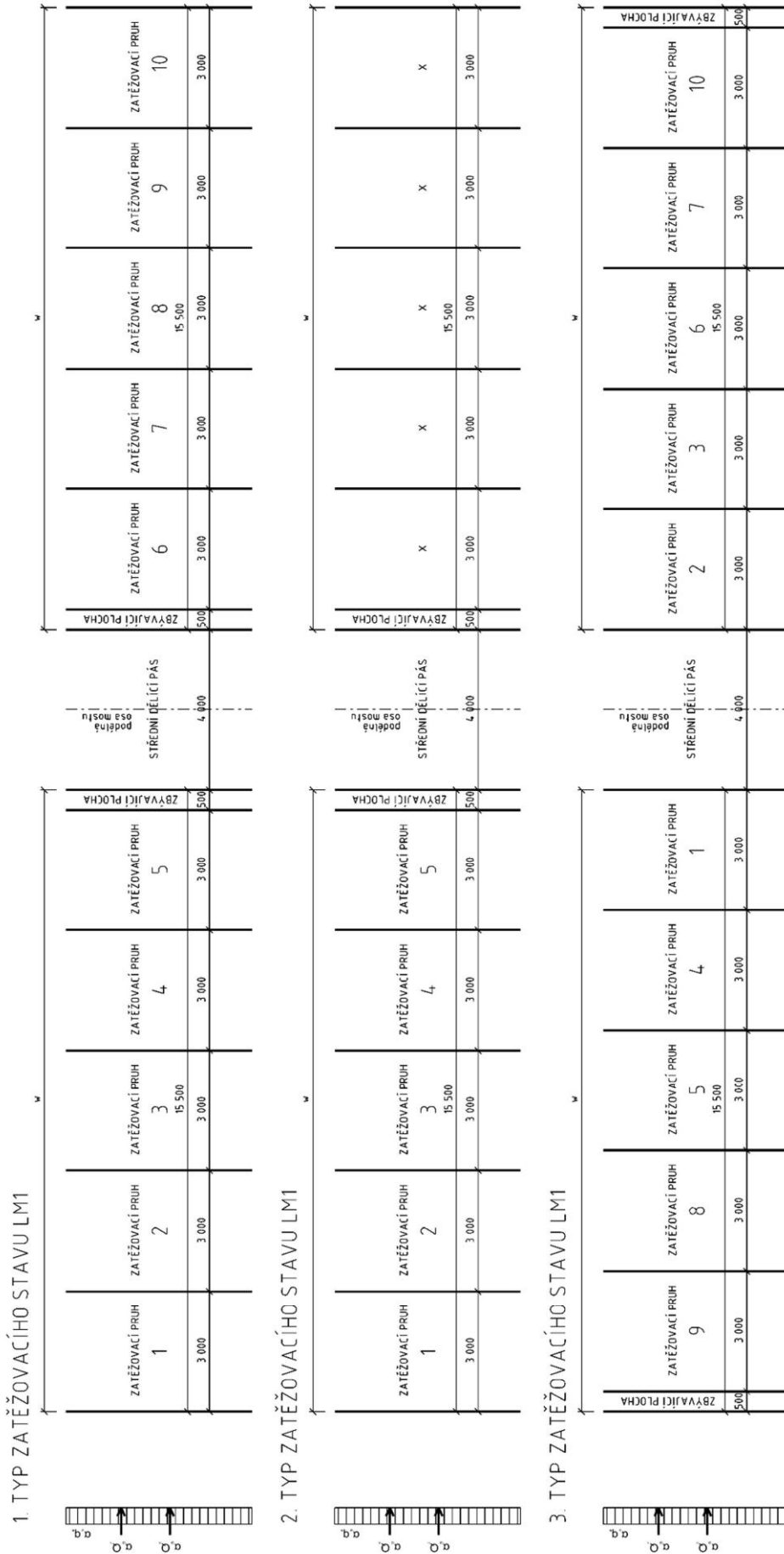
MODEL ZATÍŽENÍ LM1

Umístění	Dvojnáprava TS			Rovnoměrné zat. UDL			zat. na m'	
	$Q_{ik}$	$\alpha_{Qi}$	$\alpha_{Qi} Q_{ik}$	$q_{ik}$	$\alpha_{qi}$	$\alpha_{qi} q_{ik}$	šířka	$\alpha_{qi} q_{ik}'$
	[kN]		[kN]	[kN/m <sup>2</sup> ]		[kN/m <sup>2</sup> ]	[m]	[kN/m']
Pruh č. 1	300,00	1,00	300,00	9,00	1,00	9,00	3,00	27,00
Pruh č. 2	200,00	1,00	200,00	2,50	2,40	6,00	3,00	18,00
Pruh č. 3	100,00	1,00	100,00	2,50	1,20	3,00	3,00	9,00
Ostatní pruhy	0,00	-	-	2,50	1,20	3,00	21,00	63,00
Zbývající plocha	0,00	-	-	2,50	1,20	3,00	1,00	3,00
Celkem			600,00			24,00		120,00

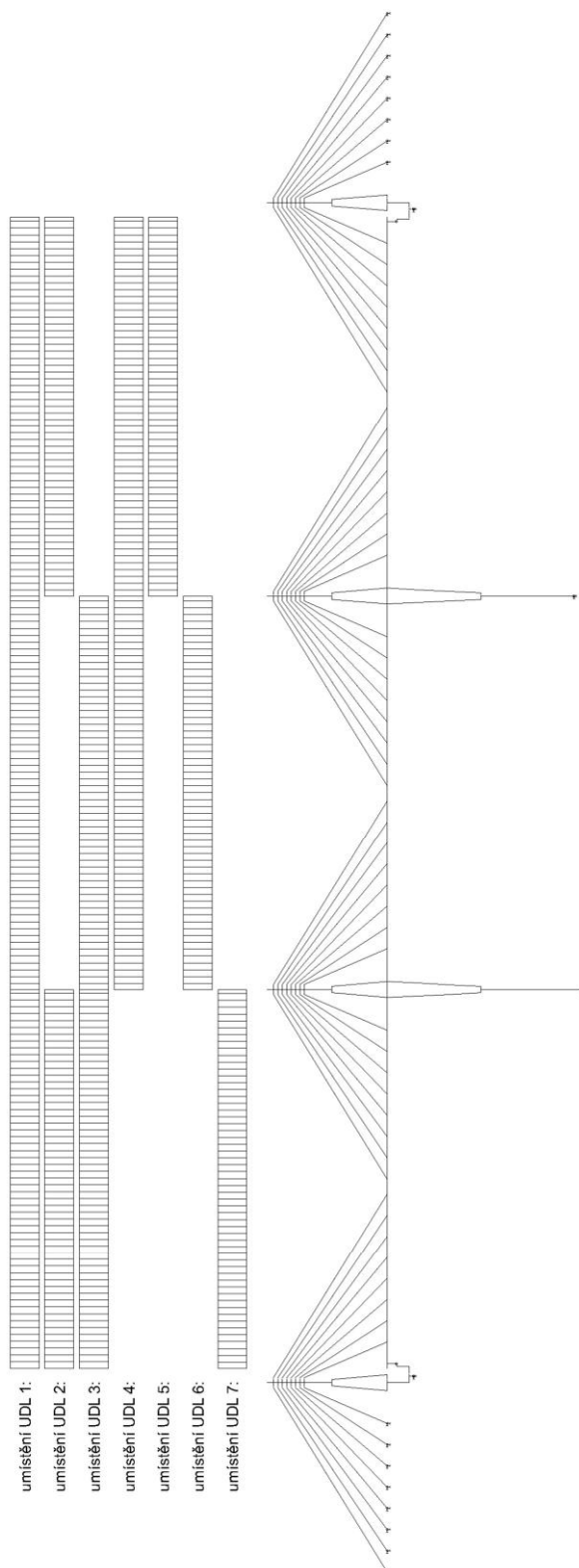
Obecné schéma zatížení LM1 na mostě:



Ve výpočtu jsou uvažována tato rozmístění pruhů v modelu zatížení LM1:



Plošné zatížení UDL je v modelu konstrukce zadáno v programu Scia Engineer v podélném směru jako kombinace výběrových liniových zatížení, rozmístěných dle schématu:



Síly od dvojnáprav jsou zadány v podélném směru jako výslednice sil  $\alpha_{Qi}Q_{ik}$  vždy do místa kotvení závěsu a do poloviny vzdálenosti mezi závěsy, a to v rámci jedné zatěžovací skupiny jako kombinace výběrových zatížení.



## MODEL ZATÍŽENÍ LM3

Zvláštní vozidla pro dálnice, rychlostní silnice:

Vozidlo 1800/200:

Vozovka se definuje bez nouzových pruhů, krajnic a vodících proužků, šířka vozovky je 6 x 3,75r

Šířka vozovky  $w = 22,50$  m

Šířka zatěžovacího pruhu  $w_i = 3,00$  m

Počet zatěžovacích pruhů  $n_1 = 2 \times \text{INT}[22,5 / 2 / 3] = 6,00$  m

Šířka zbývající plochy  $z_p = 22,5 - 3 \times 6 = 4,50$  m

Dynamický součinitel  $\varphi = 1,25$

Umístění	Nápravové síly	Rovnoměrné zat. UDL			hodnoty zat. na m'	
	$Q_{ik}$	$q_{ik}$	$\alpha_{qi}$	$\alpha_{qi} q_{ik}$	šířka	$\alpha_{qi} q_{ik}'$
	[kN]	[kN/m <sup>2</sup> ]		[kN/m <sup>2</sup> ]	[m]	[kN/m']
Pruh č. 1: 1800/200	9 x 200	-	-	-	-	-
Pruh č. 2: LM1	-	2,50	2,40	6,00	3,00	18,00
Pruh č. 3: LM1	-	2,50	1,20	3,00	3,00	9,00
Ostatní pruhy: LM1	-	2,50	1,20	3,00	9,00	27,00
Zbývající plocha: LM	-	2,50	1,20	3,00	4,50	13,50

Vozidlo 3000/240:

Jediné vozidlo na mostě v prostoru všech zatěžovacích pruhů.

Dynamický součinitel  $\varphi = 1,05$

Umístění	Nápravové síly	Rovnoměrné zat. UDL		
	$Q_{ik}$	$q_{ik}$	$\alpha_{qi}$	$\alpha_{qi} q_{ik}$
	[kN]	[kN/m <sup>2</sup> ]		[kN/m <sup>2</sup> ]
w	1 x 120 + 12 x 240	-	-	-
Zbývající plocha	-	-	-	-

Schéma zatížení LM3 na mostě - vozidlo 1800/120:

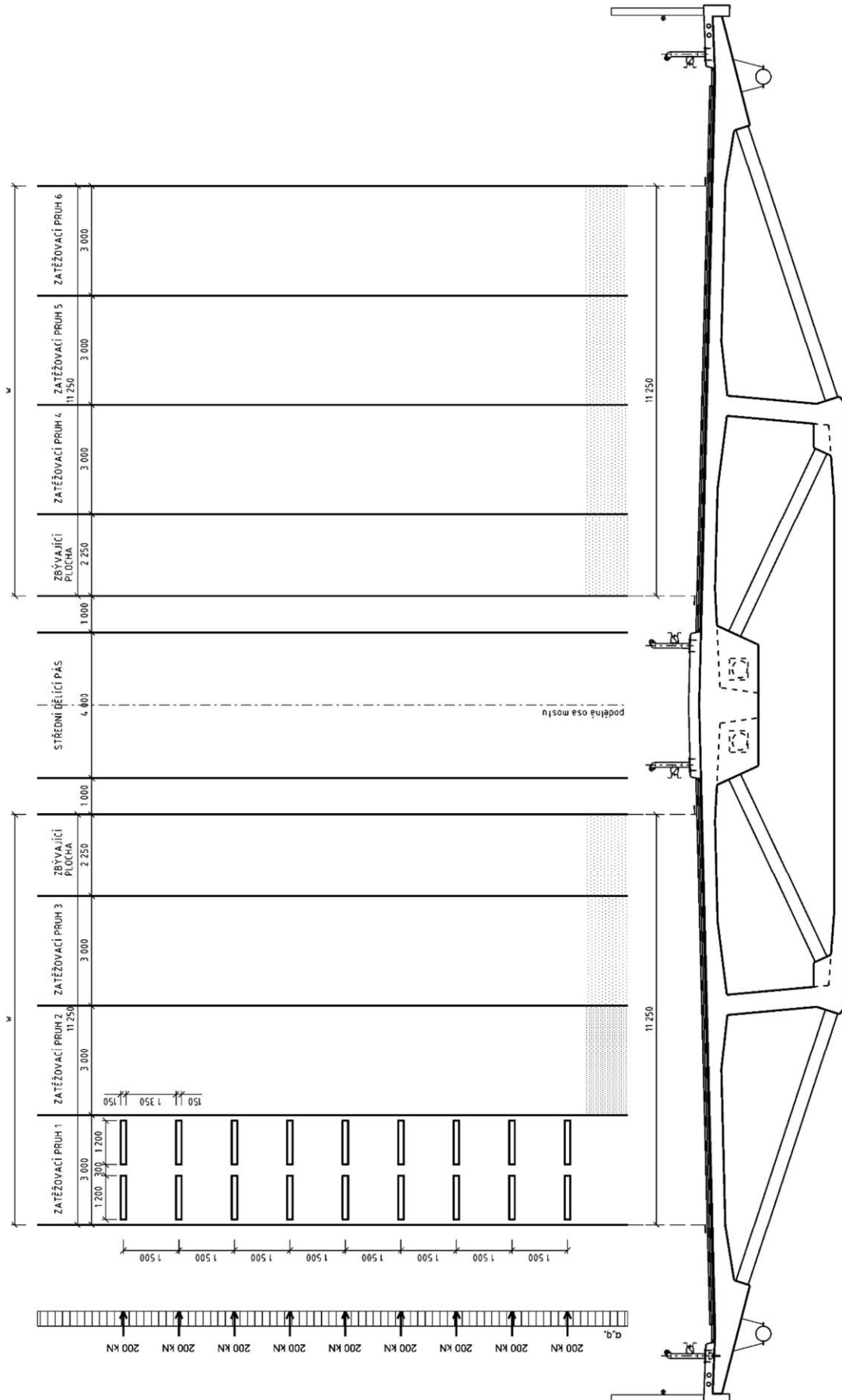
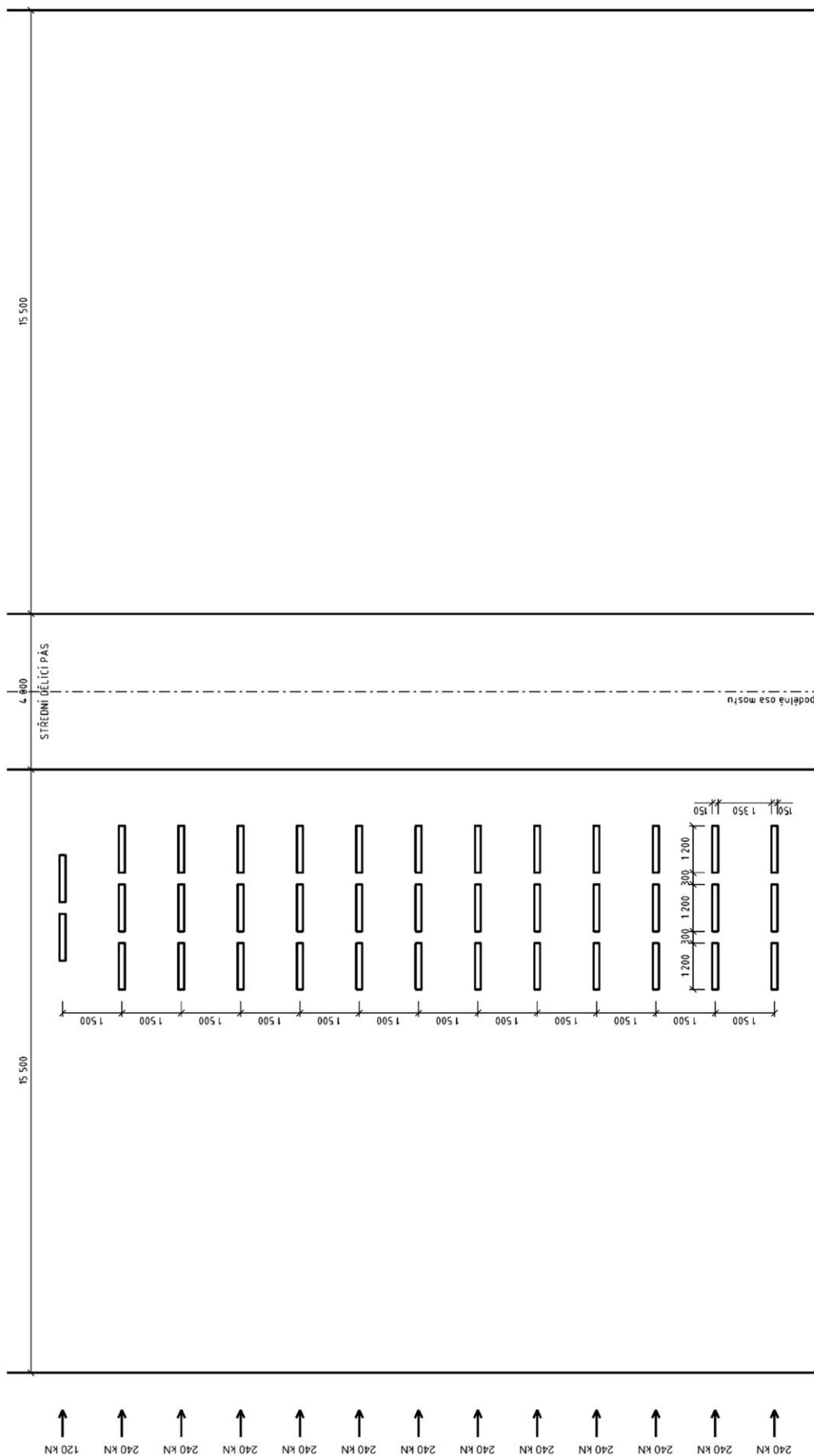


Schéma zatížení LM3 na mostě - vozidlo 3000/240:

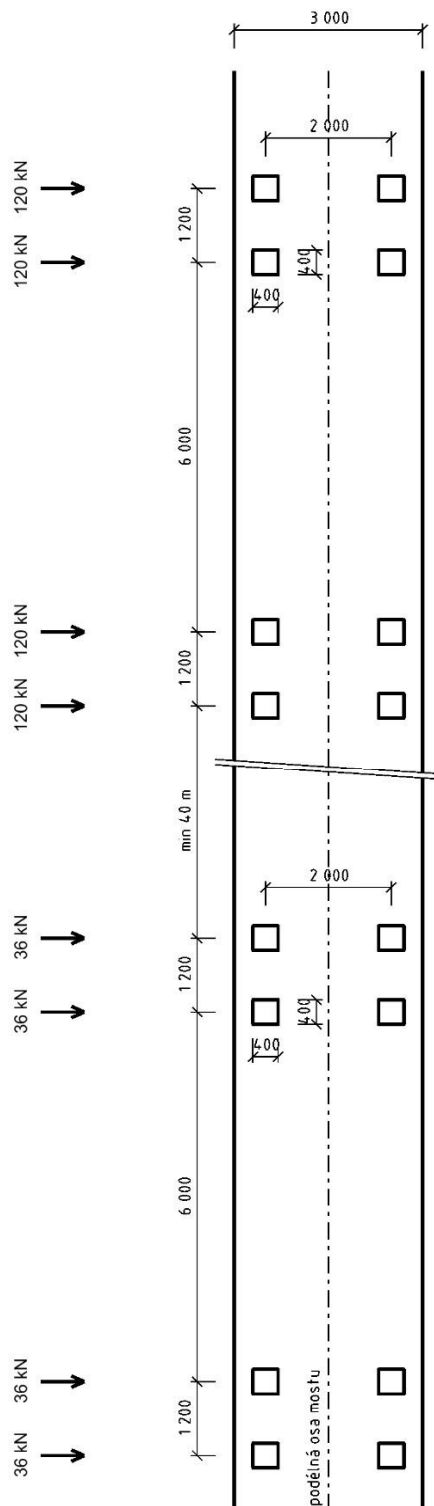


### MODEL ZATÍŽENÍ NA ÚNAVU LM3

Model o čtyřech nápravách, se silou na každou nápravu 120,0 kN. Druhé vozidlo ve stejném zatěžovacím pruhu má stejnou geometrii, ale se silou na nápravu 36,0 kN.

Vzdálenost mezi vozidly je min. 40,0 m. Rozmístění a číslování pruhů bude zvoleno s ohledem na očekávanou dopravu.

Schéma modelu zatížení na únavu LM3 na mostě:



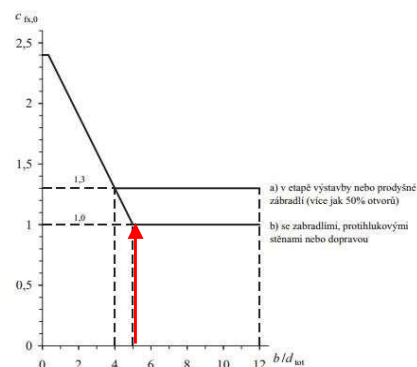
## ZATÍŽENÍ CHODNÍKŮ

Na nouzových chodnících š. 0,75 m je uvažováno rovnoměrné spojitě zatížení  $q_{fk} = 5 \text{ kN/m}^2$ .  
Kombinační hodnota tohoto zatížení je  $3 \text{ kN/m}^2$ .

## ZATÍŽENÍ VĚTREM

Ve výpočtu je uvažováno s příčným větrem, velikost zatížení je stanovena dle eurokódu pomocí součinitele sil  $c_{fx,0}$ .

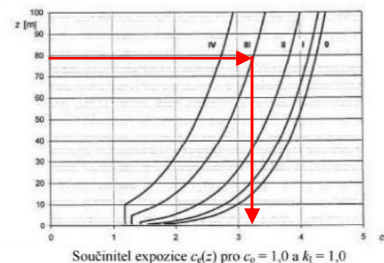
hustota vzduchu	$\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3$
rychlost větru	$v_b = 25,00 \text{ m/s}$ (oblast II)
výška mostu nad terénem	$z = 78,00 \text{ m}$
šířka mostu	$b = 38,40 \text{ m}$
zatěžovací výška	$d_{tot} = 7,00 \text{ m}$
	$b/d_{tot} = 38,4 / 7$
	$b/d_{tot} = 5,49$
součinitel sil	$c_{fx,0} = 1,00$



kategorie terénu III - oblast pravidelně  
pokrytá vegetací, budovami nebo překážkami

součinitel expozice	$c_e = 3,20$
---------------------	--------------

součinitel zatížení větrem	$c = c_e c_{fx,0}$
	$c = 3,2 \times 1$
	$c = 3,20$



liniové zatížení větrem	$f_{w,k} = 0,5 \cdot \rho \cdot v_b^2 \cdot c \cdot d_{tot}$
	$f_{w,k} = 0,5 \times 1,25 \times 25^2 \times 3,2 \times 7 / 1000$
	$f_{w,k} = 8,75 \text{ kN/m}$

Poznámka: Současné působení zatížení větrem a teplotou se neuvažuje. Dá se předpokládat, že zatížení teplotou je nepříznivější, a tak zatížení větrem není do výpočtového modelu zadáno.

## STAVENIŠTNÍ ZATÍŽENÍ

$q_{ca,k}$	$= 1,00 \text{ kN/m}^2$
$b_{NK}$	$= 37,80 \text{ m}$
$q'_{ca,k}$	$= 37,80 \text{ kN/m}$

## ZATÍŽENÍ TEPLOTOU

roční maximum ve stínu	$T_{\max}$	=	40,00 °C
roční minimum ve stínu	$T_{\min}$	=	-32,00 °C
maximální složka rovnoměrné teploty	$T_{e,\max}$	=	40 + 1.5
	$T_{e,\max}$	=	41,50 °C
minimální složka rovnoměrné teploty	$T_{e,\min}$	=	(-32) + 8
	$T_{e,\min}$	=	-24,00 °C
základní teplota	$T_0$	=	10,00 °C

Ve výpočtu jsou uvažovány tyto zatížení teplotou:

rovnoměrné oteplení	$\Delta T_{N,\text{exp}}$	=	41,5 - 10
	$\Delta T_{N,\text{exp}}$	=	31,50 °C
rovnoměrné ochlazení	$\Delta T_{N,\text{noc}}$	=	(-24) - 10
	$\Delta T_{N,\text{noc}}$	=	-34,00 °C
nerovnoměrné oteplení mostovky	$\Delta T_{M,\text{heat}}^h$	=	10,00 °C
	$\Delta T_{M,\text{heat}}^h$	=	0,00 °C
nerovnoměrné ochlazení mostovky	$\Delta T_{M,\text{cool}}^h$	=	-5,00 °C
	$\Delta T_{M,\text{cool}}^d$	=	0,00 °C

U pylonů je uvažován rozdíl teplot v příčném, podélném a v osovém směru 5 °C.

Dále je počítáno s rozdílem teplot jednotlivých částí konstrukce vůči zbývajícím částem:

- rozdíl teplot pro pylony 15 °C
- rozdíl teplot pro mostovku 15 °C
- rozdíl teplot pro závěsy (světlá barva) 10 °C

Vliv mostního svršku je zahrnut v kombinacích součinitelem  $k_{\text{sur}}$  pro oteplení mostovky  $k_{\text{sur}} = 0,56$  a pro ochlazení mostovky  $k_{\text{sur}} = 1,0$ . Pro stavební stavy platí pro oteplení mostovky  $k_{\text{sur}} = 1,5$  a pro ochlazení mostovky  $k_{\text{sur}} = 1,1$ .

Jednotlivá zatížení teplotou jsou v kombinacích redukovány součinitelem  $\omega_N = 0,35$  pro rovnoměrné zat. teplotou nebo  $\omega_M = 0,75$  pro nerovnoměrné zat. teplotou.

## 4.4 Kombinace zatížení

Kombinace zatížení jsou sestaveny dle [N1]:

Celkový účinek více zatížení pro mezní stav únosnosti EQU - ztráta statické rovnováhy konstrukce nebo její dílčí části uvažované jako tuhé těleso tam, kde:

- mají význam menší kolísání hodnoty nebo prostorového uspořádání zatížení z jednoho zdroje a
- pevnosti konstrukčních materiálů nebo základové půdy nejsou obvykle rozhodující.

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (6.10)$$

Pro mezní stavy STR (vnitřní porucha nebo nadměrná deformace konstrukce nebo nosných prvků včetně základových patek, pilot, základových stěn, atd., kde rozhoduje pevnost konstrukčních materiálů) a GEO (porucha nebo nadměrná deformace základové půdy, kde pevnosti zeminy nebo skalního podloží jsou pro odolnost významné) méně příznivá kombinace ze vzorců 6.10a a 6.10b.

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} \psi_{0,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (6.10a)$$

$$\sum_{j \geq 1} \xi_j \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (6.10b)$$

Kombinace zatížení pro MSP:

Charakteristická

$$\sum_{j \geq 1} G_{kj} + P_k + Q_{k1} + \sum_{i > 1} \psi_{0i} Q_i$$

Častá kombinace

$$\sum_{j \geq 1} G_{kj} + P_k + \psi_{11} Q_{k1} + \sum_{i > 1} \psi_{2i} Q_{ki}$$

Kvazistálá kombinace

$$\sum_{j \geq 1} G_{kj} + P_k + \sum_{i \geq 1} \psi_{2i} Q_{ki}$$

Dílčí součinitelé:

Dílčí součinitelé		Nepříznivé účinky	Příznivé účinky
Stálá zatížení	$Y_G$	1,35	1,00
Nerovnoměrné poklesy	$Y_{G,set}$	1,20	0,00
Zatížení dopravou	$Y_Q$	1,35	0,00
Ostatní prom. zatížení	$Y_Q$	1,50	0,00
Redukční souč.	$\xi$	0,85	

Hodnoty kombinačních součinitelů jsou uvažovány dle následující tabulky:

Zatížení	Značka	$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$	$\psi_{1,infq}$	
Zatížení dopravou	gr1a (LM1 + zatížení chodci nebo cyklisty) <sup>1)</sup>	TS (dvojnápravy) UDL (rovnom. zatížení) zatížení chodci + zatížení cyklisty <sup>2)</sup>	0,75	0,75	0,0	0,80
	gr1b (jednotlivá náprava)		0,0	0,75	0,0	0,80
	gr2 (vodorovné síly)		0,0	0,0	0,0	1,00
	gr3 (zatížení chodci)		0,0	0,40	0,0	0,80
	gr4 (LM4 – zatížení davem lidí)		0,0	-	0,0	0,80
	gr5 (LM3 – zvláštní vozidla)		0,0	-	0,0	1,00
	Zatížení větrem	$F_{wk}$	- trvalé návrhové situace - provádění	0,60 0,80	0,20 -	0,0 0,0
$F_w^*$			1,00	-	-	1,00
Zatížení teplotou		$T_k$	0,60 <sup>3)</sup>	0,60	0,50	0,80
Zatížení sněhem	$Q_{Sn,k}$ (během provádění)		0,80	-	-	1,00
Staveništní zatížení	$Q_c$		1,00	-	1,00	1,00

<sup>1)</sup> Hodnoty součinitelů  $\psi_0$ ,  $\psi_1$  a  $\psi_2$  pro gr1a a gr1b jsou uvedeny pro zatížení silniční dopravou, která odpovídá regulačním součinitelům  $\alpha_{Qi}$ ,  $\alpha_{qi}$ ,  $\alpha_{qr}$  a  $\beta_Q$  rovným 1.  
<sup>2)</sup> Kombinační hodnota zatížení od chodců a cyklistů je redukovaná hodnota. Součinitele  $\psi_0$  a  $\psi_1$  odpovídají této hodnotě.  
<sup>3)</sup> Doporučenou hodnotu  $\psi_0$  pro zatížení teplotou lze dle EN ve většině případů snížit až na nulu pro mezní stavy únosnosti EQU, STR a GEO.

Pozn.: v programu SCIA jsou dílčí a kombinační souč. již přínásobeny mezi sebou.

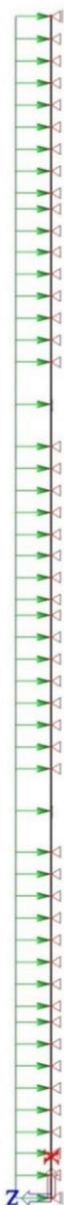


## 4.5 Návrh závěsů

### 4.5.1 Výpočetní model

Pro první odhad plochy závěsů je použit model mostovky jako spojitý nosník, kloubově podepřený v místě závěsů a ložisek, v místě pylonů vetknutý. Zatížení je v této fázi voleno jako dvojnásobek zatížení stálého a ostatního stálého, což zahrnuje vliv rektifikace závěsů i účinky proměnného zatížení. Požadovaná plocha závěsu je stanovena z podmínky omezení napětí na hodnotu  $0,45 f_{pk}$ .

vlastní tíha konstrukce	$g_{0,1,k}$	=	703,82	kN/m
ostatní stálé zat.	$(g-g_0)_{sup,k}$	=	203,18	kN/m
celkem	$\Sigma$	=	907,00	kN/m
celkem 2x	$2x \Sigma$	=	1 814,01	kN/m



#### 4.5.2 Reakce a návrh závěsů

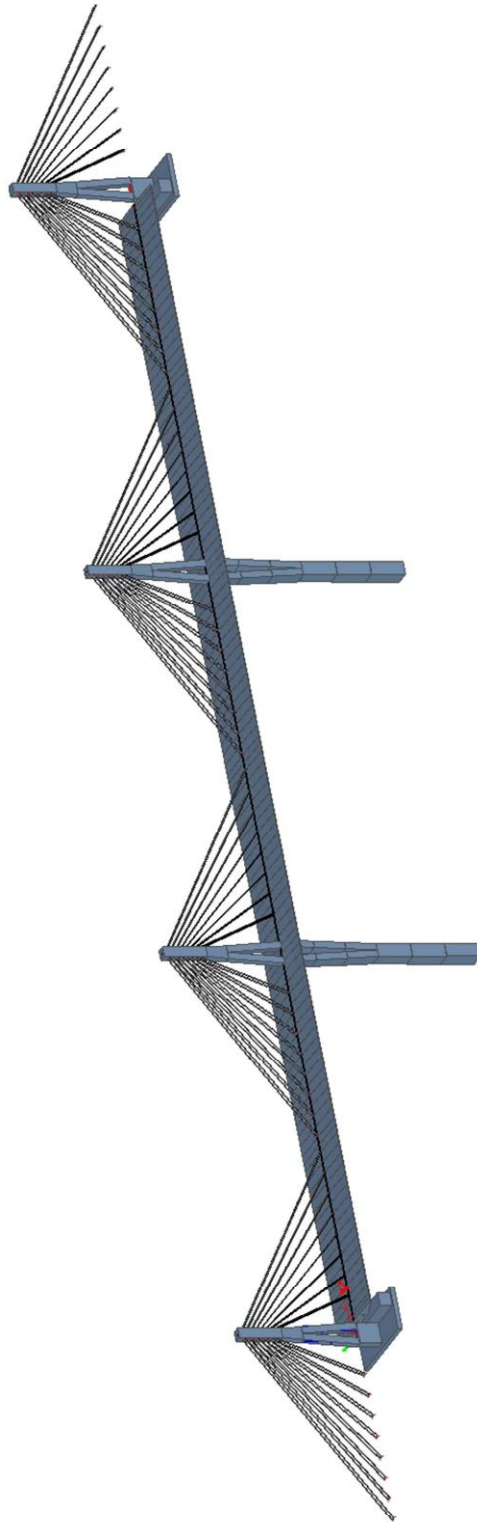
Jsou vybrány závěsy VSL SSI 2000, tvořeny paralelními sedmidrátovými lany o průměru 15,7 mm s  $f_{pk} = 1860$  MPa. Lana jsou dle specifikace výrobce potažena HDPE povlakem a injektované mazivem s vnější HDPE chráničkou.

	x	$R_z$	Sklon	$N_z$	$N_{z,1}$	$A_{p,nut,1}$	Počet lan v jednom závěsu	$A_{p,prov,1}$	Využití závěsu
	[m]	[MN]	[°]	[MN]	[MN]	[mm <sup>2</sup> ]		[mm <sup>2</sup> ]	
		<i>svíslé reakce z (4.5.1)</i>		$= \frac{R_z}{\sin(\text{sklon})}$	$= \frac{N_z}{2}$	$= \frac{N_{z,1}}{0,45 f_{pk}}$			
Z9	10,00	19,21	64,00	21,37	10,69	12 768,22	91	13 650	93,5%
Z10	19,70	17,63	55,00	21,52	10,76	12 858,42	91	13 650	94,2%
Z11	29,40	17,60	48,00	23,68	11,84	14 146,31	127	19 050	74,3%
Z12	39,10	17,60	42,00	26,30	13,15	15 709,09	127	19 050	82,5%
Z13	48,80	17,60	38,00	28,58	14,29	17 074,22	127	19 050	89,6%
Z14	58,50	17,61	35,00	30,71	15,35	18 342,50	127	19 050	96,3%
Z15	68,20	17,83	33,00	32,74	16,37	19 558,61	139	20 850	93,8%
Z16	77,90	14,89	31,00	28,92	14,46	17 274,57	127	19 050	90,7%
Z17	84,90	14,89	31,00	28,92	14,46	17 274,57	127	19 050	90,7%
Z18	94,60	17,83	33,00	32,74	16,37	19 558,60	139	20 850	93,8%
Z19	104,30	17,61	36,00	29,96	14,98	17 899,05	127	19 050	94,0%
Z20	114,00	17,60	39,00	27,96	13,98	16 703,07	127	19 050	87,7%
Z21	123,70	17,59	43,00	25,79	12,89	15 404,94	127	19 050	80,9%
Z22	133,40	17,47	48,00	23,50	11,75	14 041,16	127	19 050	73,7%
Z23	143,10	15,70	56,00	18,93	9,47	11 310,38	91	13 650	82,9%
Z24	152,80	26,57	65,00	29,32	14,66	17 512,93	127	19 050	91,9%
Z25	190,00	26,57	64,00	29,56	14,78	17 659,34	127	19 050	92,7%
Z26	199,70	15,70	55,00	19,16	9,58	11 446,87	91	13 650	83,9%
Z27	209,40	17,47	48,00	23,50	11,75	14 041,16	127	19 050	73,7%
Z28	219,10	17,59	42,00	26,28	13,14	15 701,19	127	19 050	82,4%
Z29	228,80	17,60	38,00	28,58	14,29	17 073,64	127	19 050	89,6%
Z30	238,50	17,61	35,00	30,71	15,35	18 342,46	127	19 050	96,3%
Z31	248,20	17,83	33,00	32,74	16,37	19 558,60	139	20 850	93,8%
Z32	257,90	14,89	31,00	28,92	14,46	17 274,57	127	19 050	90,7%

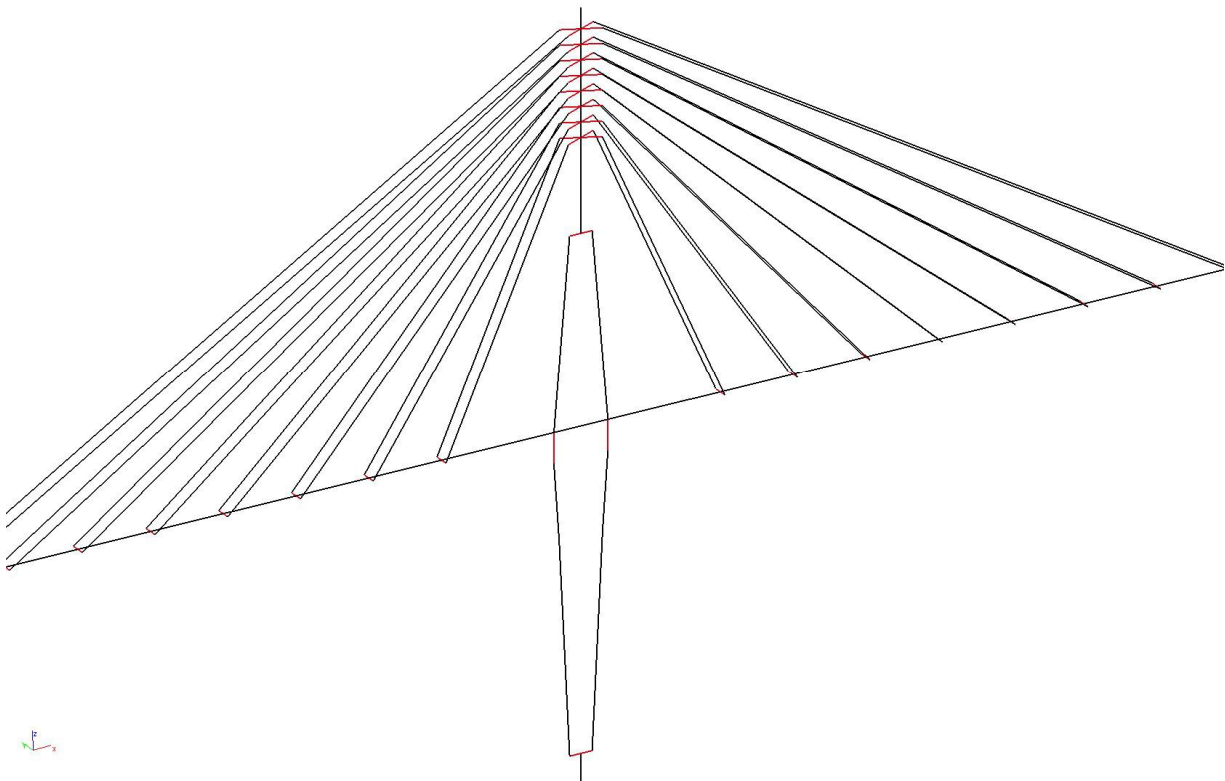
Poznámka: Je zde uvedena polovina závěsů kotvená v konstrukci mostovky, vzhledem k symetrii je druhá polovina závěsů navržena stejně.

## 4.6 Prutový model konstrukce

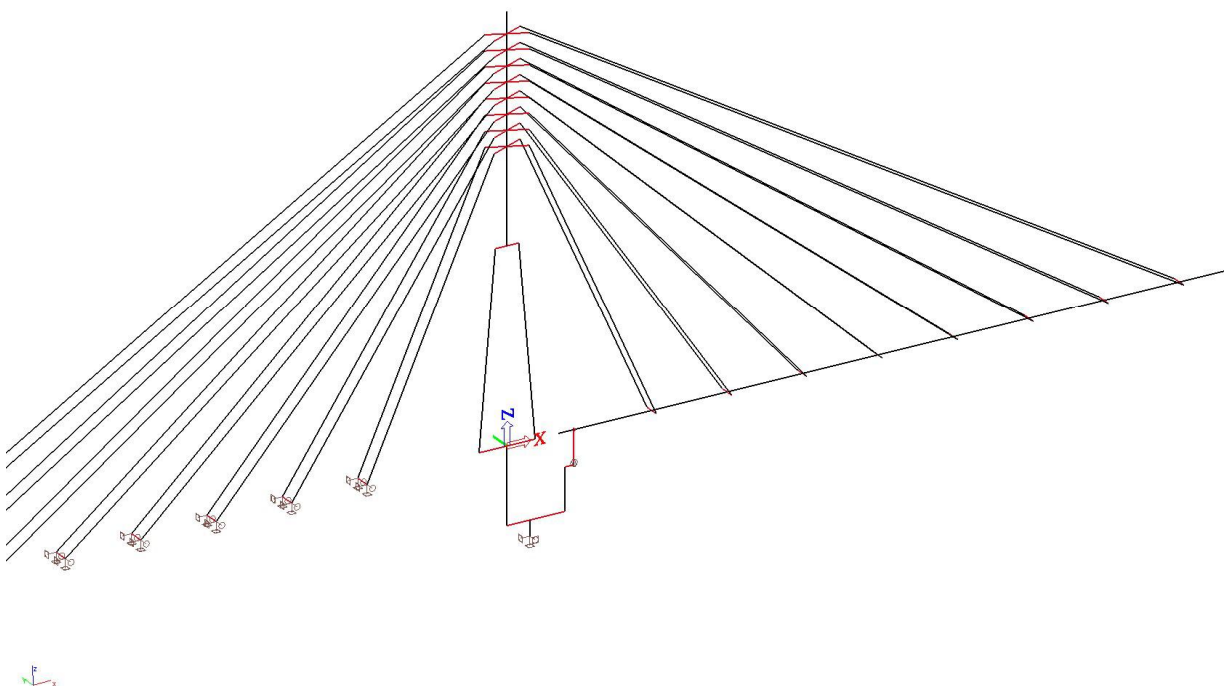
Pro účely analýzy konstrukce v podélném směru je vytvořen prutový model. Mostovka je zadaná jako jeden prut v podélném směru, který je vetknut do svislých prutů tvořící pylony a na koncích je kloubově podepřen.



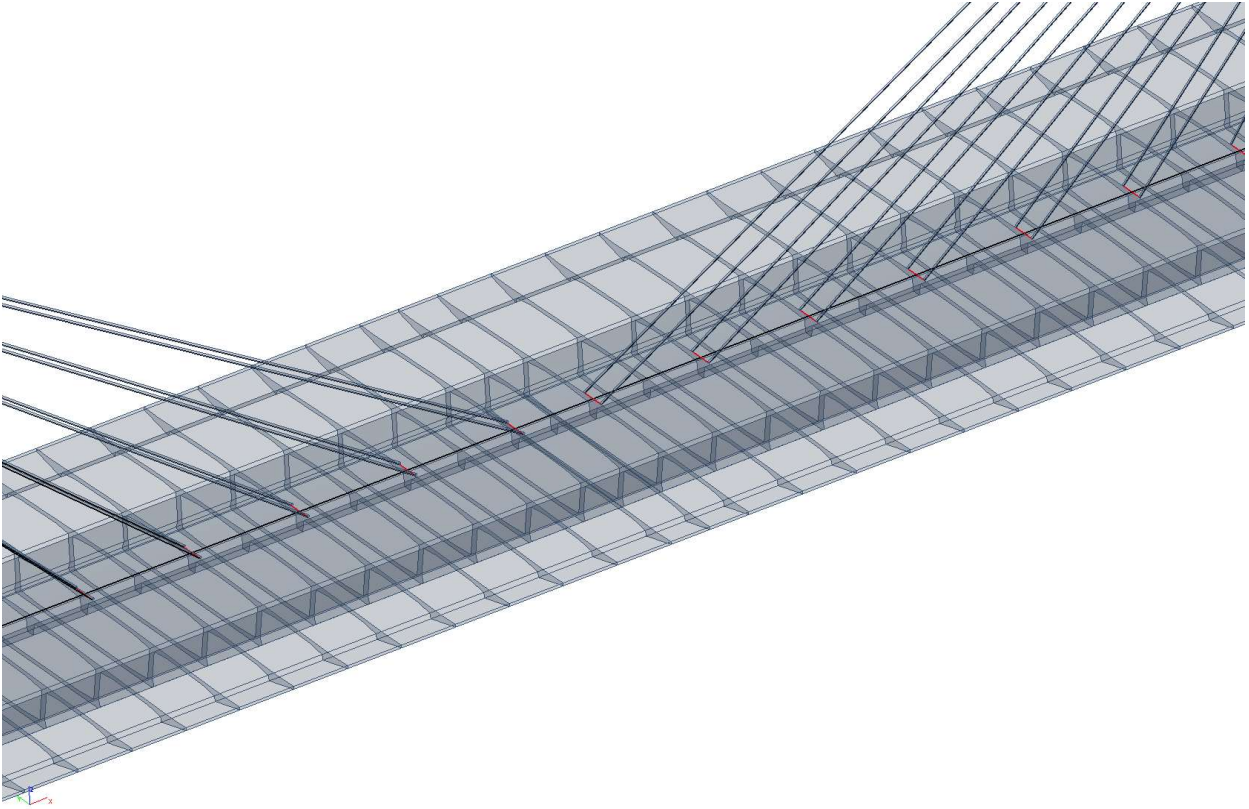
Mostovka je vetknutá do pylonu, závěsy jsou s mostovkou a pylonem propojeny pomocí tuhých ramen. Také šikmé dřívky pylonu jsou propojeny s dřívkem pylonu tuhými rameny. Prut dřívku pylonu je na konci vetknutý.



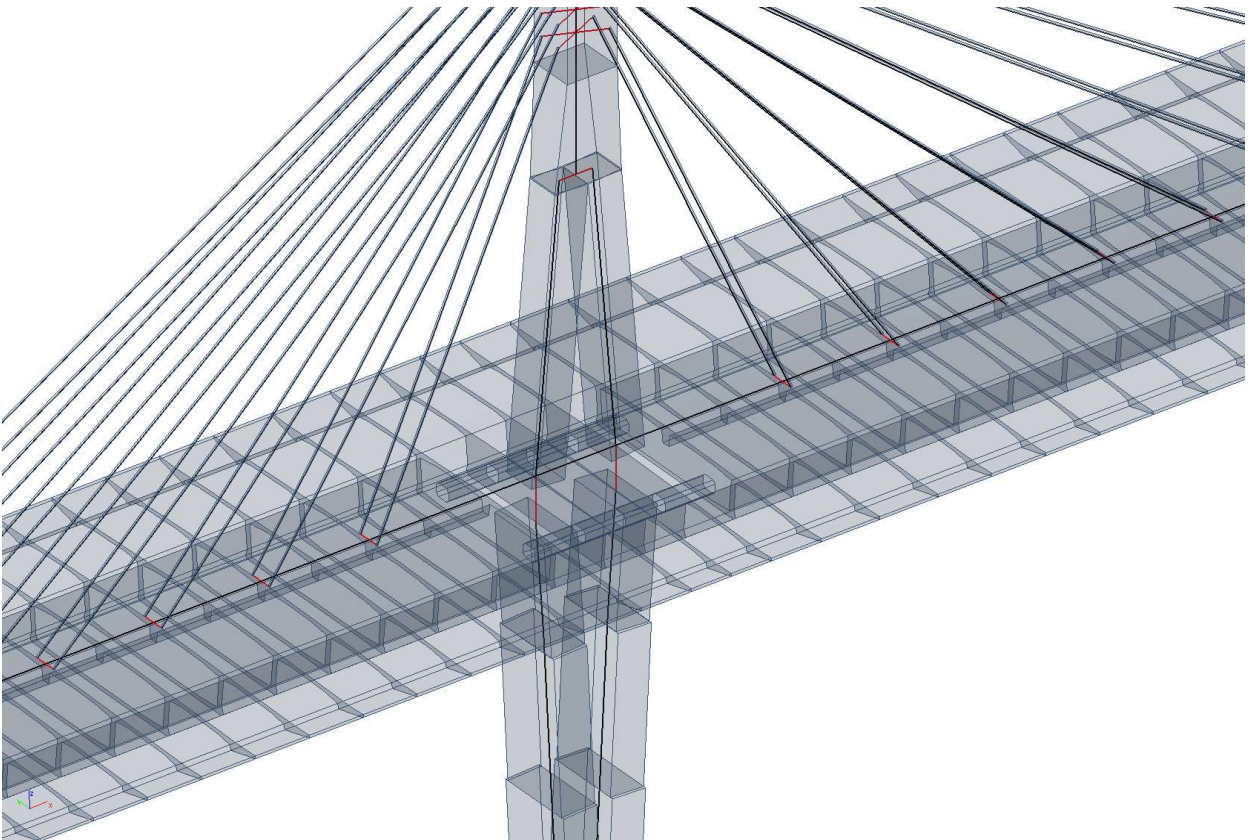
Závěsy kotvené do kotevní zdi mimo most jsou modelovány jako vetknuté s volným pootočením okolo osy y. Mostovka je propojena s opěrou pomocí tuhého ramena navazující na prut s kloubem simulující ložisko. Prut dřívku pylonu a opěry je spojen v jeden základ s vetknutím



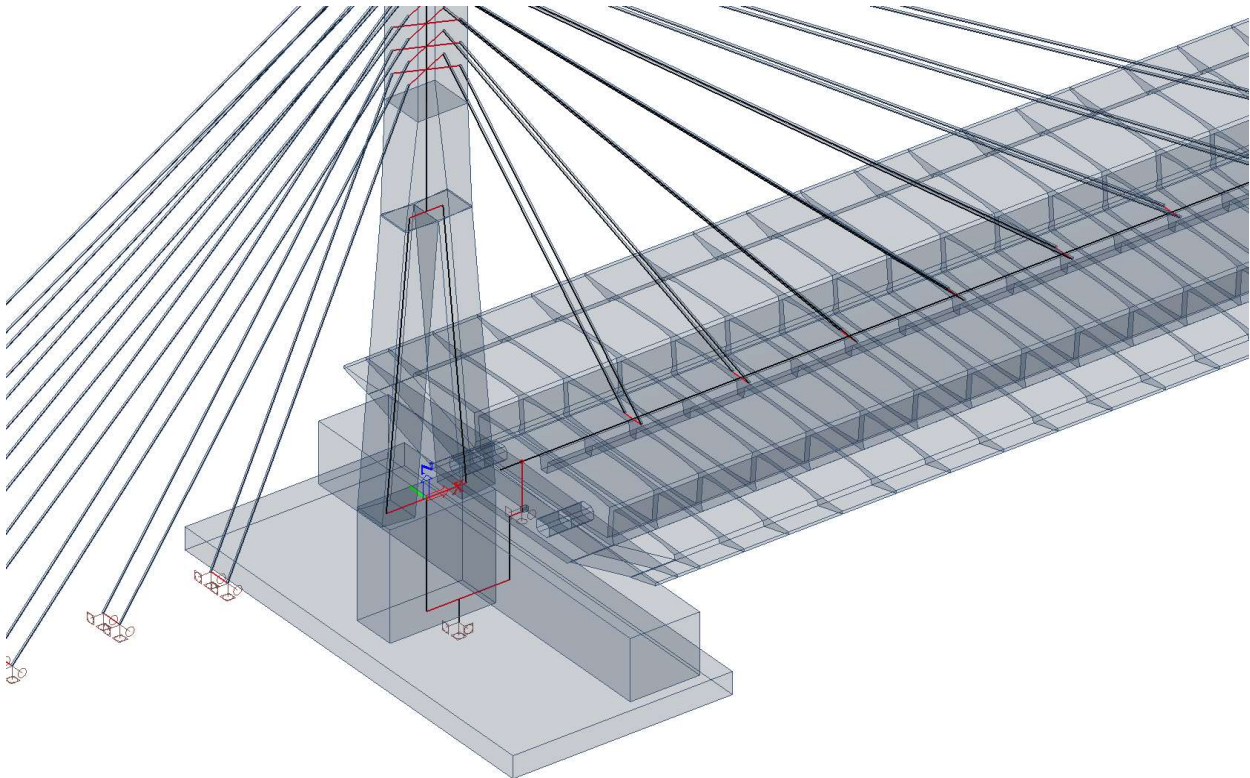
Příčné řezy v poli:



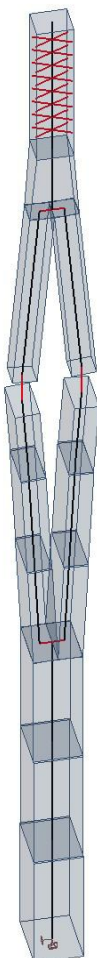
Příčné řezy u pylonu:



Příčné řezy u opěry:



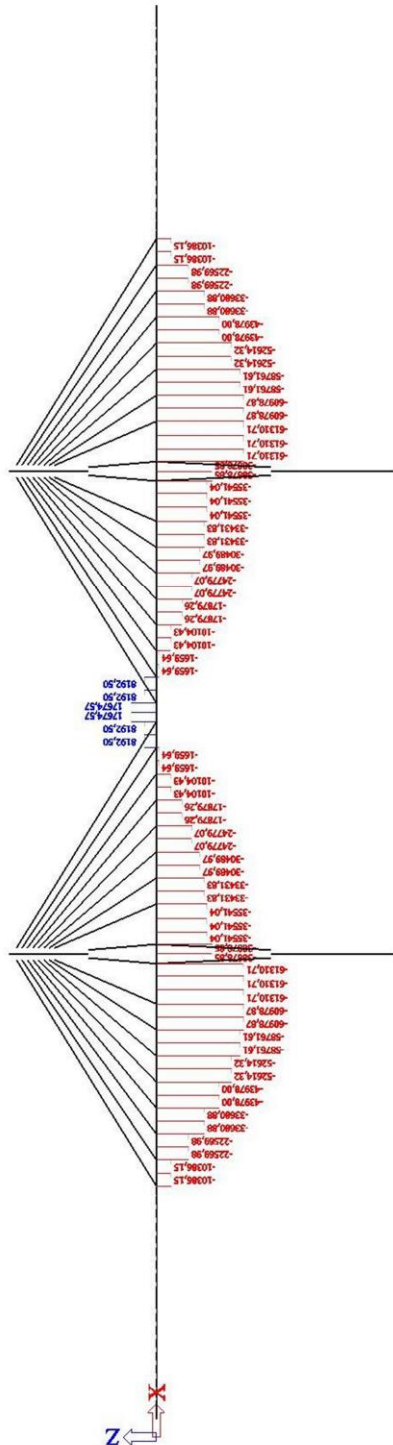
Příčné řezy pylonu:



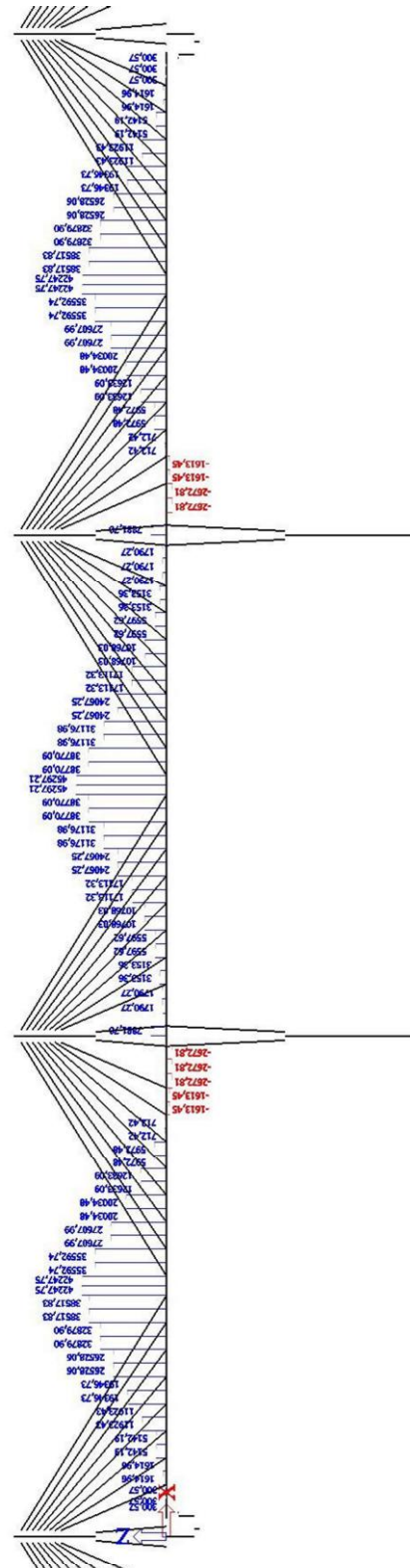
## 4.7 Průběhy vnitřních sil

V této kapitole jsou uvedeny obálky vnitřních sil od jednotlivých zatížení a kombinací. Vzhledem k tomu, že se od typické zavěšené konstrukce očekává nárůst záporné normálové síly směrem k pylonům, je nejprve ověřena správnost modelu. A to vymazáním krajních pylonů z prutového modelu, čímž se vytvoří konstrukce více blízká klasickým zavěšeným mostům. Níže jsou uvedeny průběhy normálové síly od vlastní tíhy na obou modelech - zjednodušeném a použitém. Z výsledků je vidět, že použitý model konstrukce správně vykazuje atypický nárůst kladné normálové síly.

Nx - zkušební model konstrukce [kN]



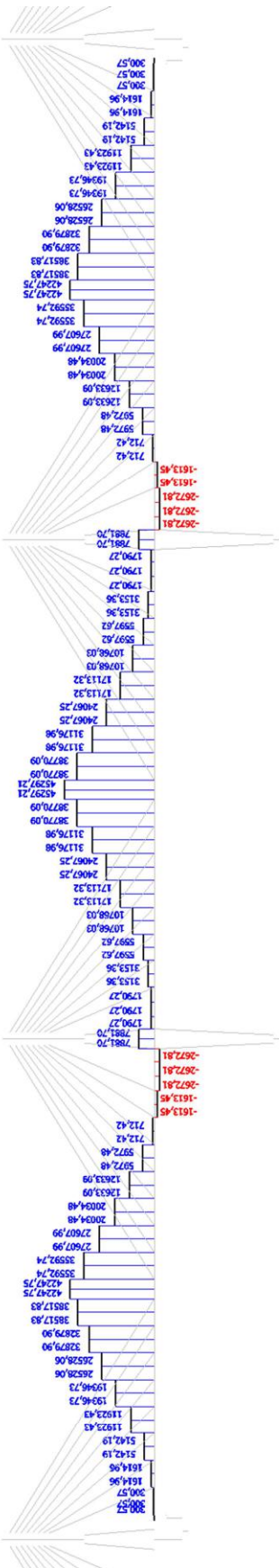
Nx - použitý model konstrukce [kN]



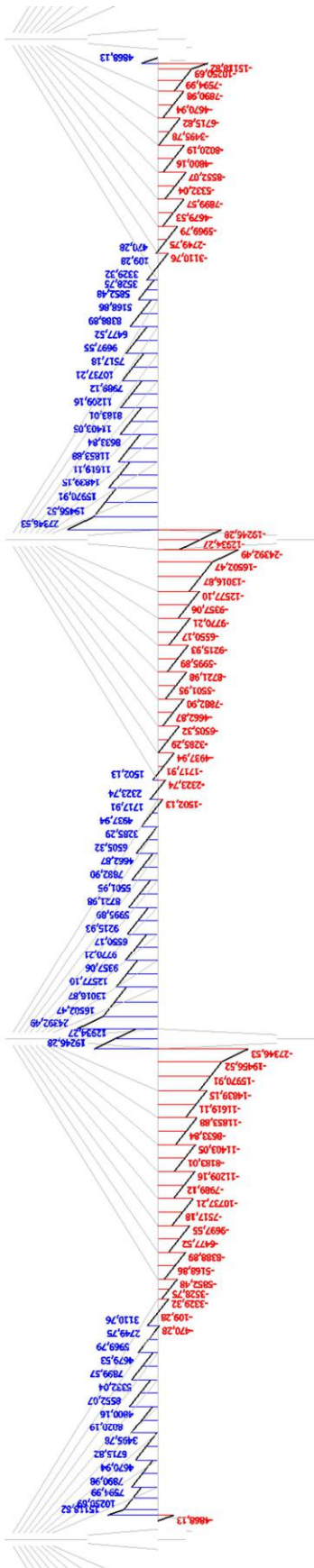
### 4.7.1 Obálky vnitřních sil od jednotlivých zatížení

Vnitřní síly od vlastní tíhy

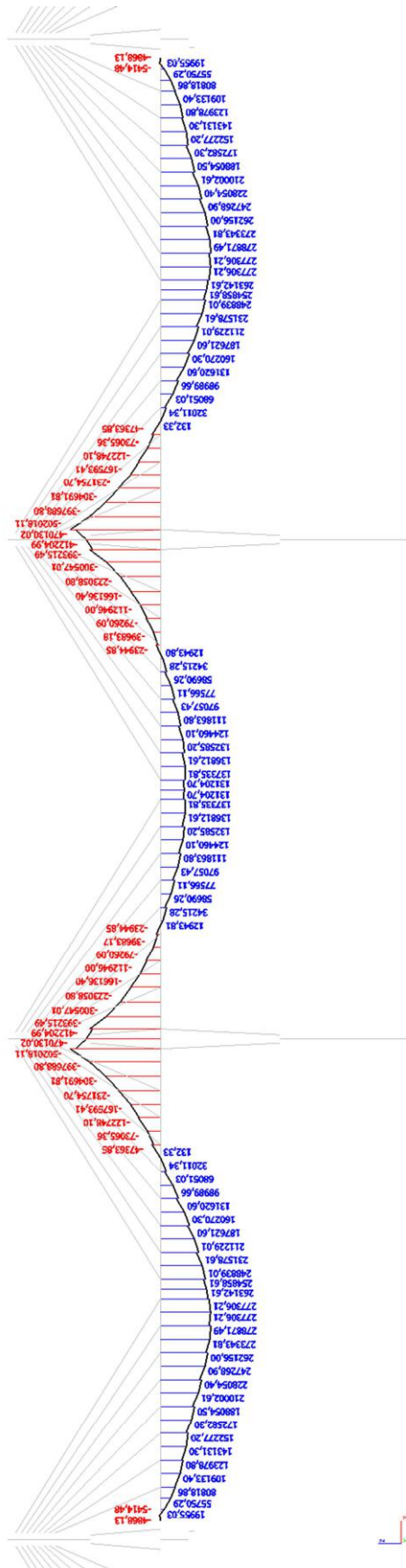
$N_x$  [kN]



$V_z$  [kN]



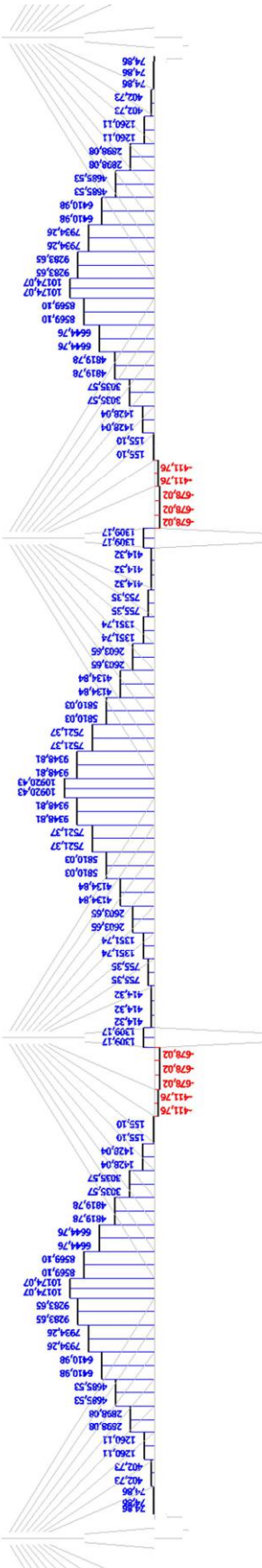
$M_y$  [kNm]



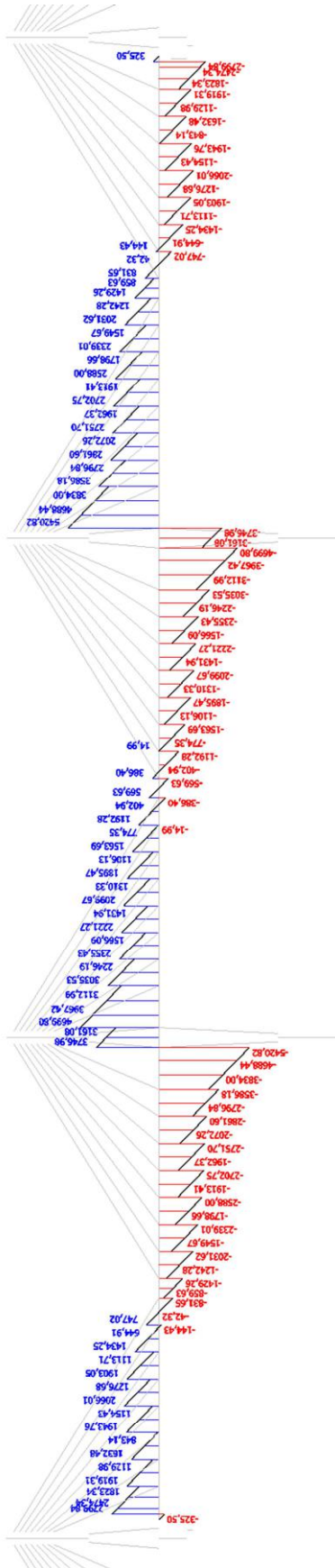


Vnitřní síly od ostatního stálého zatížení ( $g-g_0$ )<sub>m</sub>

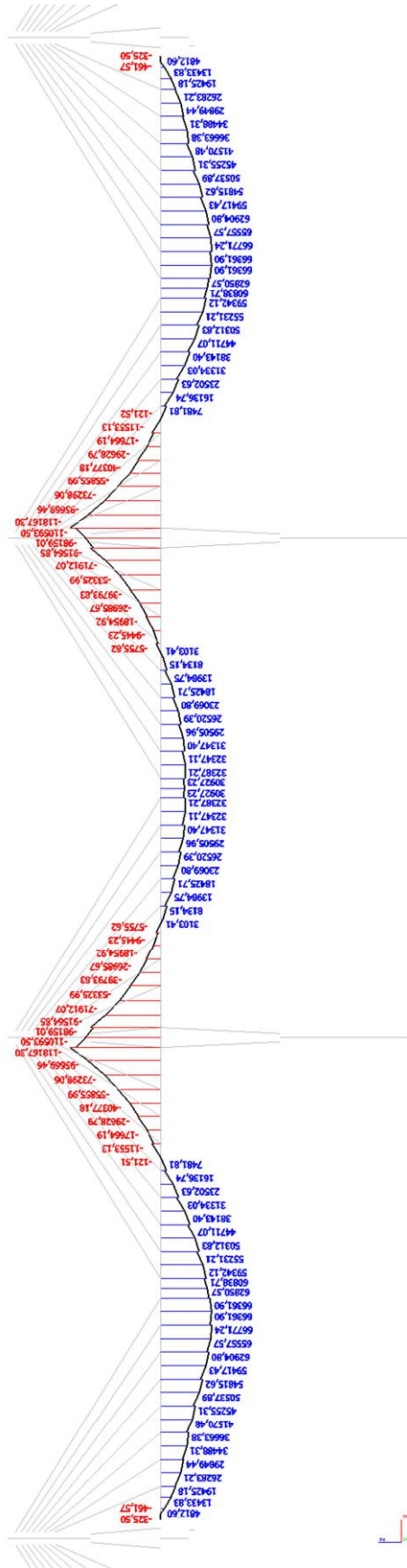
$N_x$  [kN]



$V_z$  [kN]

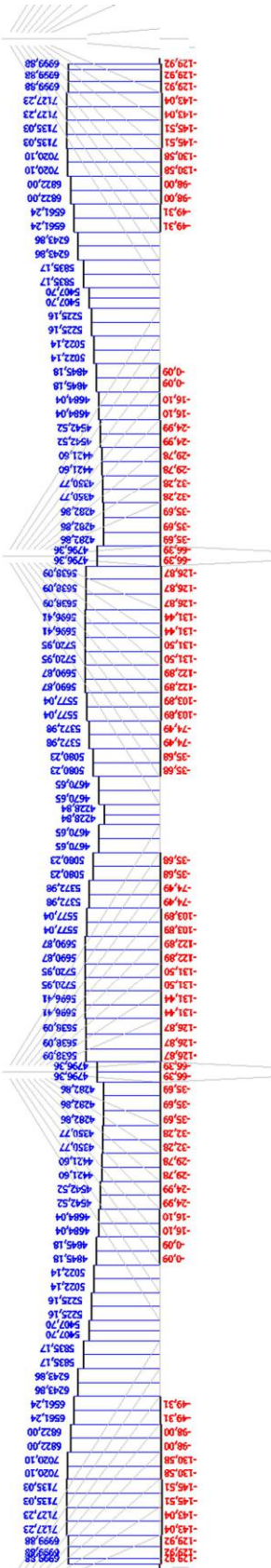


$M_y$  [kNm]

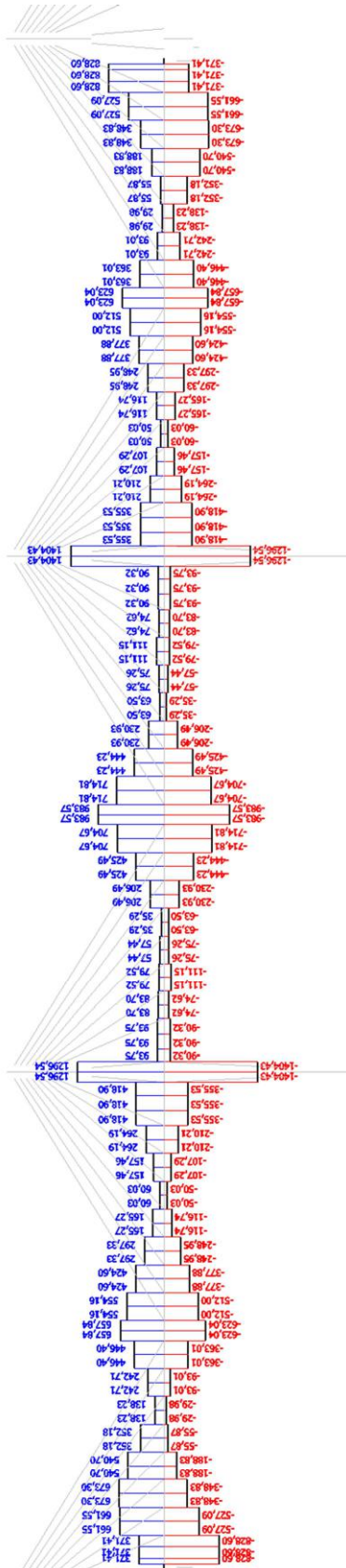


Vnitřní síly od nerovnoměrných poklesů podpor

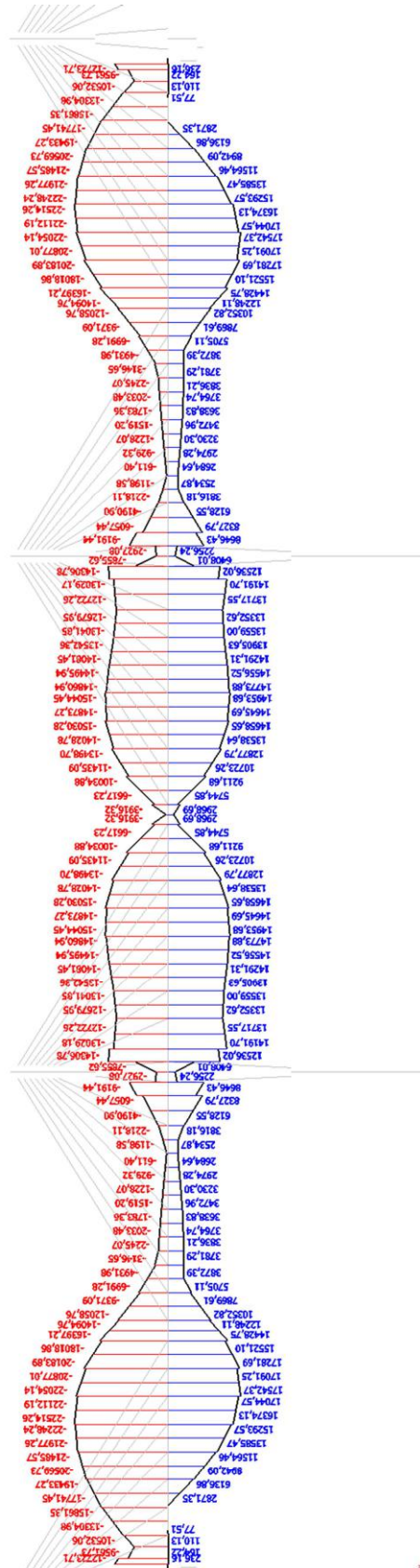
$N_x$  [kN]



$V_z$  [kN]

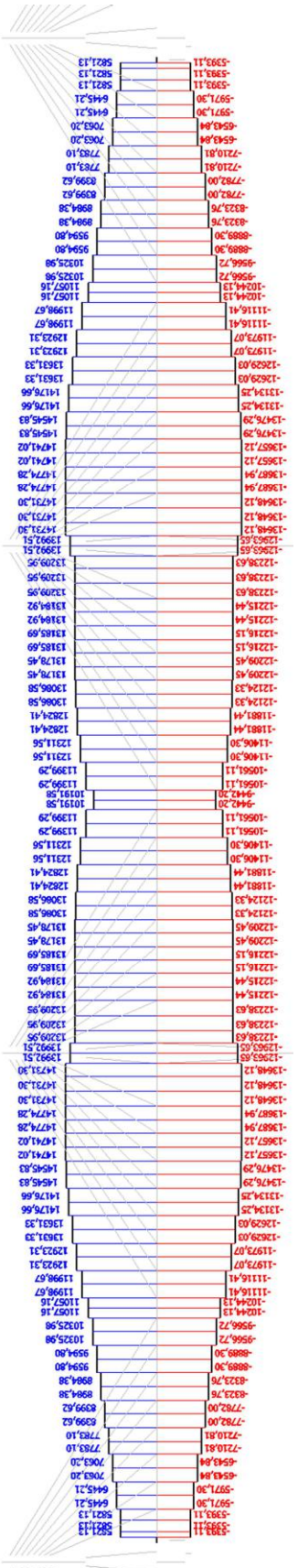


$M_y$  [kNm]

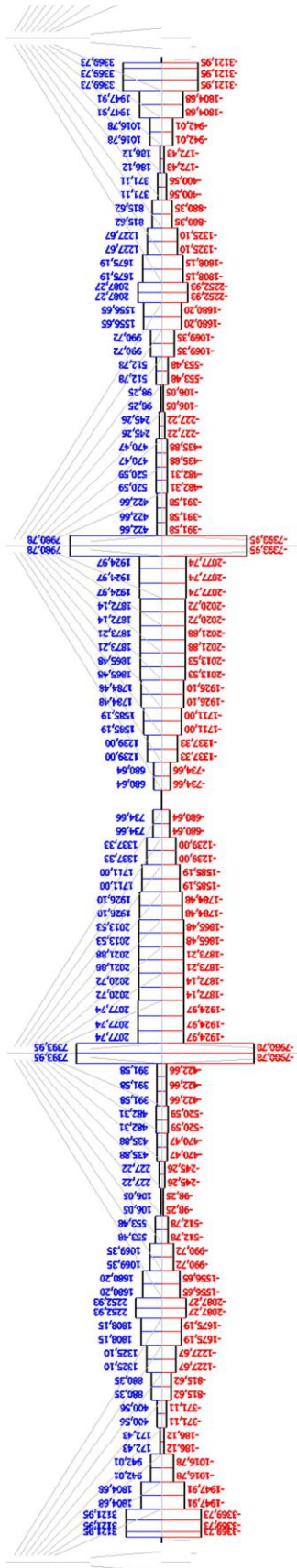


Vnitřní síly od zatížení rovnoměrnou změnou teploty  $\Delta T_{N,exp}$  a  $\Delta T_{N,con}$

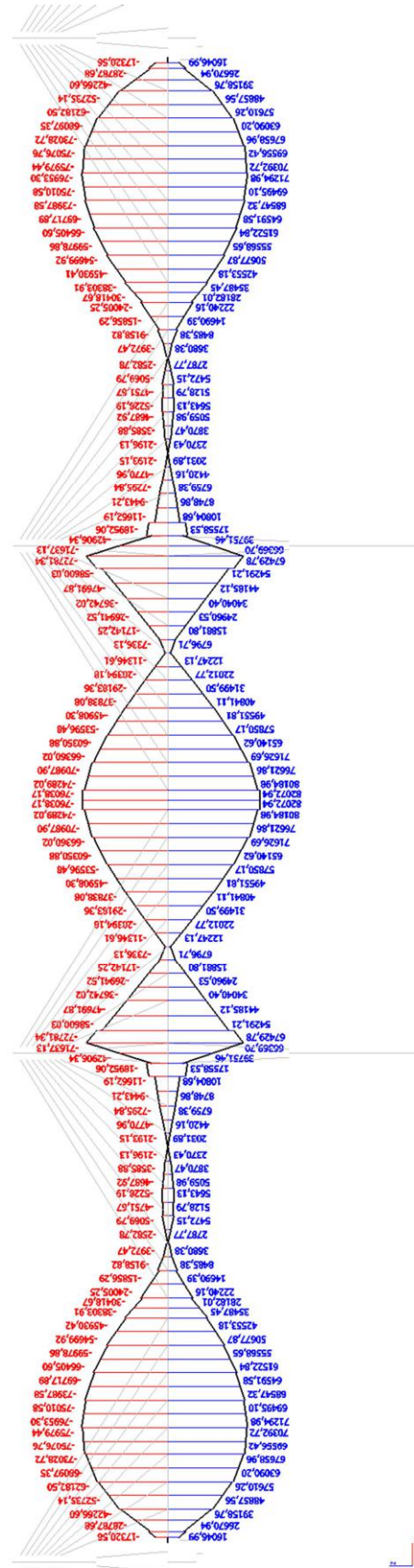
$N_x$  [kN]



$V_z$  [kN]

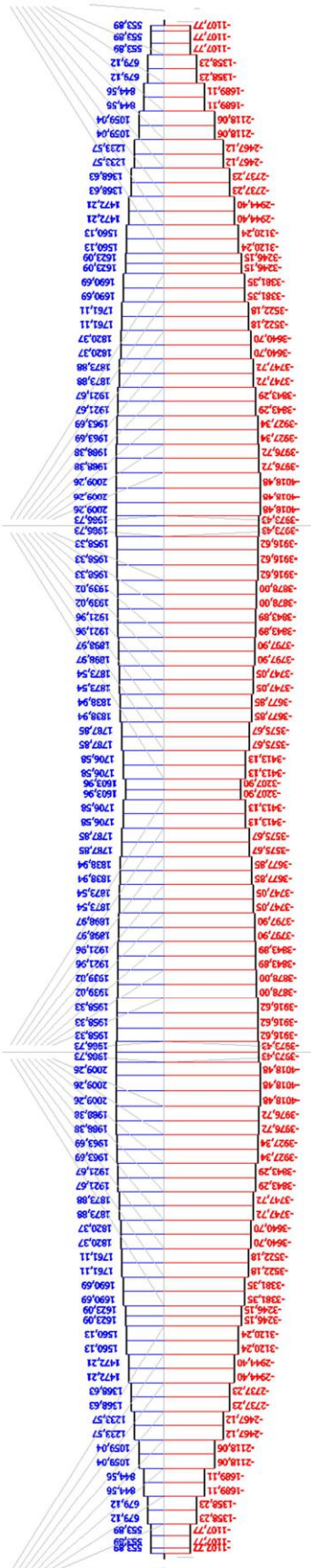


$M_y$  [kNm]

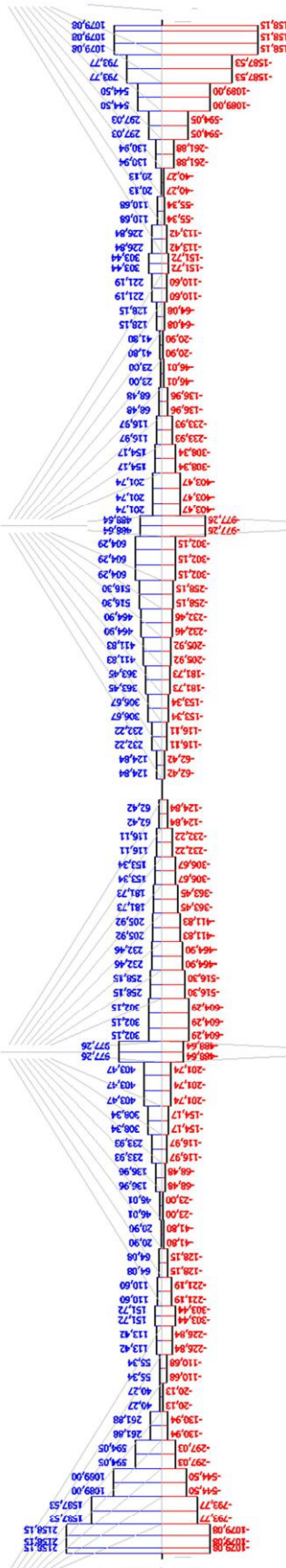


Vnitřní síly od zatížení nerovnoměrnou změnou teploty  $\Delta T_{M,heat}$  a  $\Delta T_{M,cool}$

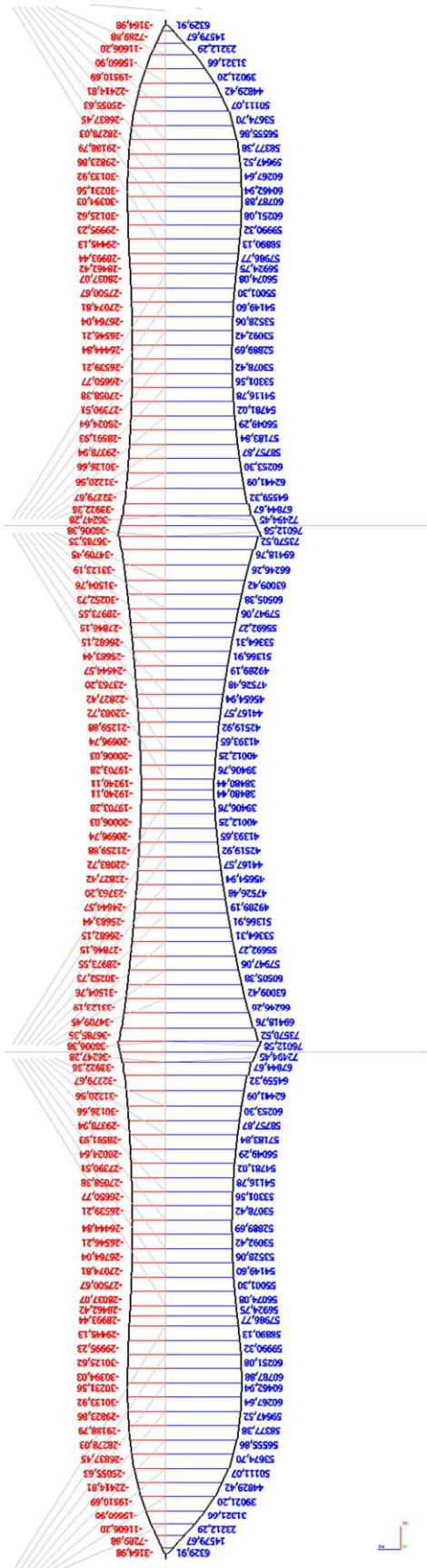
$N_x$  [kN]



$V_z$  [kN]

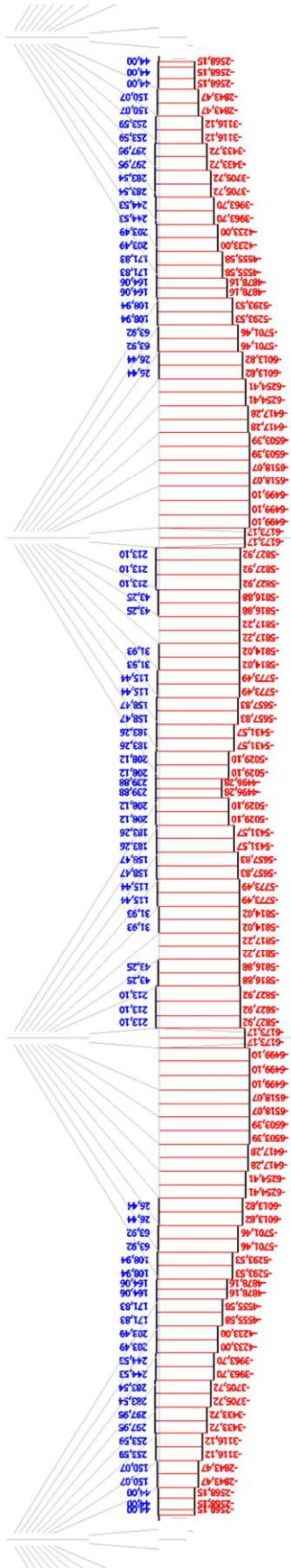


$M_y$  [kNm]

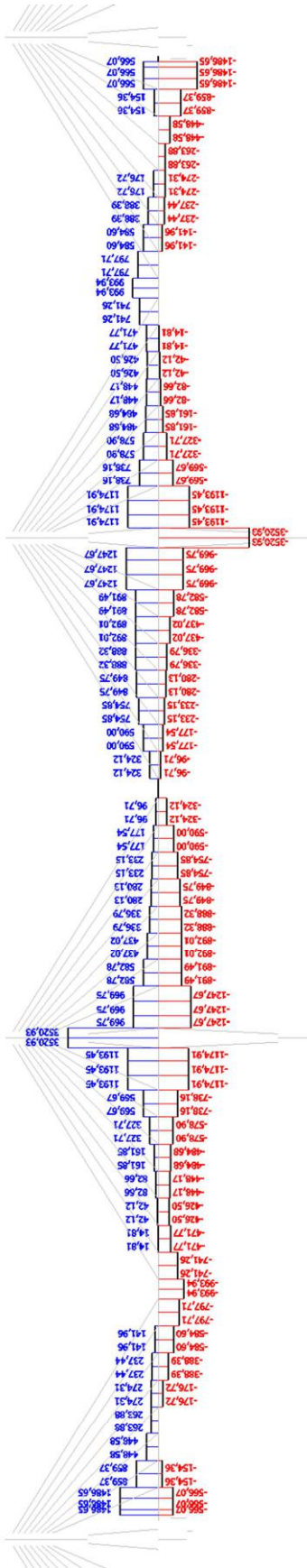


Vnitřní síly od zatížení rozdílem teplot jednotlivých částí konstrukce

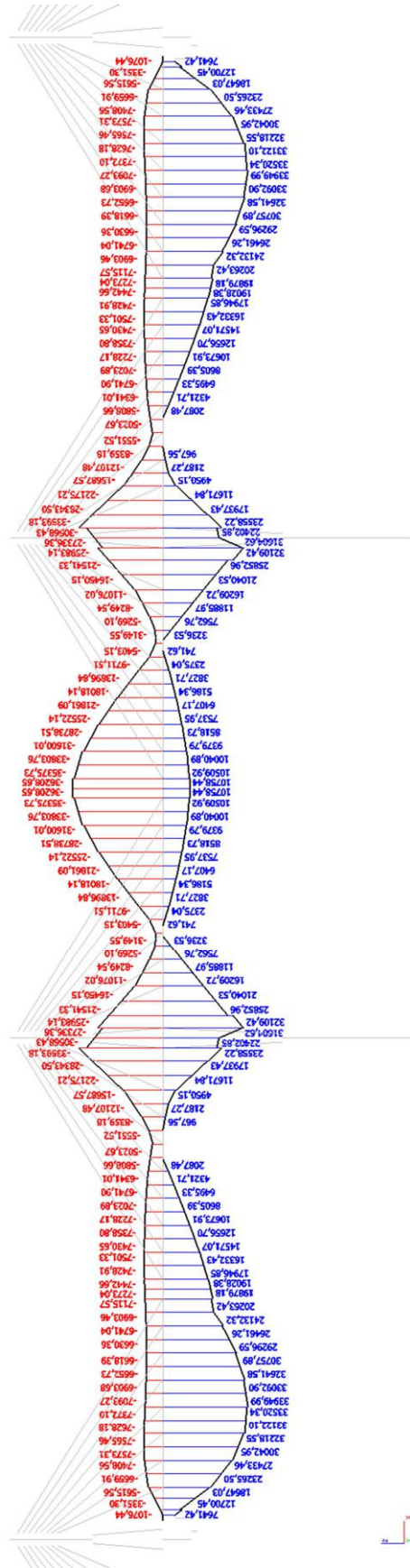
$N_x$  [kN]



$V_z$  [kN]

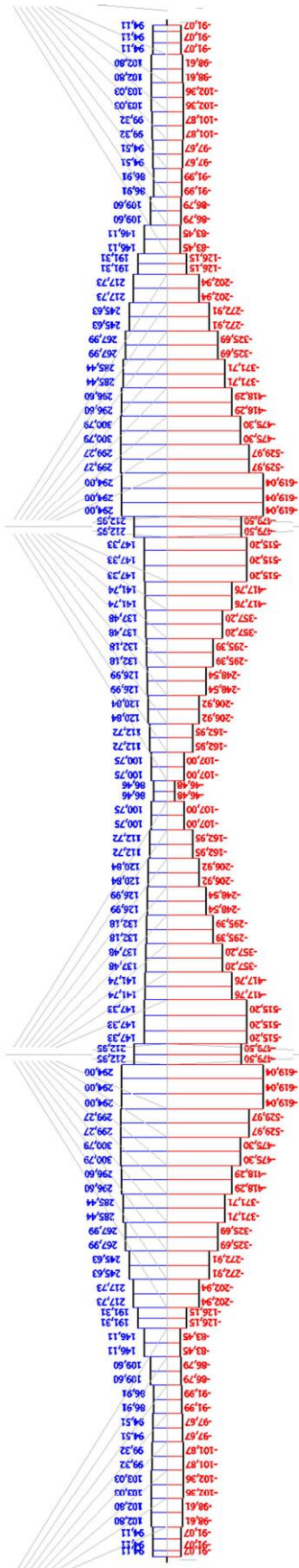


$M_y$  [kNm]

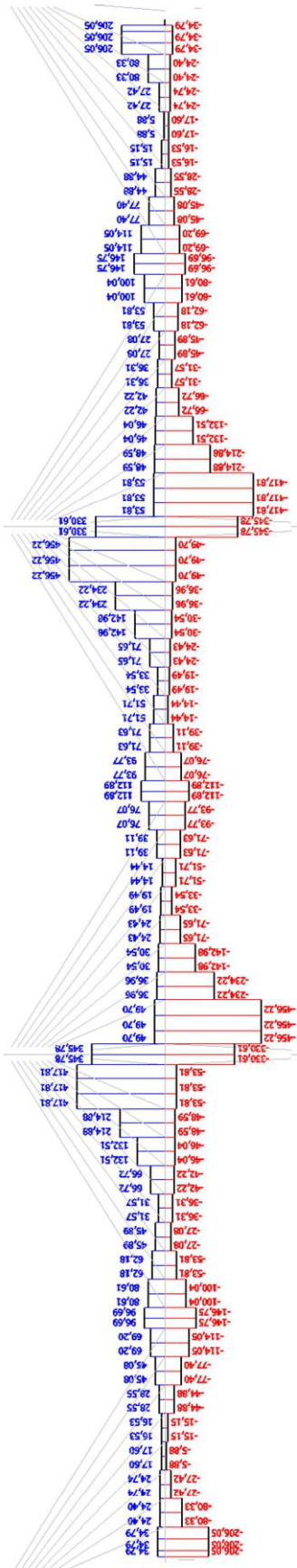


Vnitřní síly od teplotního zatížení pylonů ± 5°C

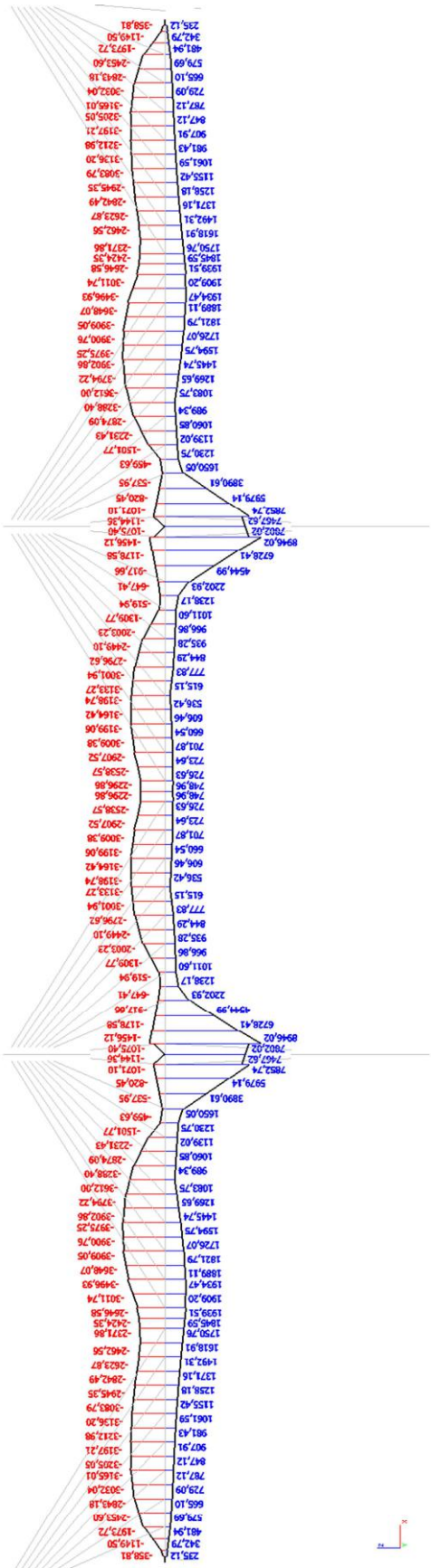
$N_x$  [kN]



$V_z$  [kN]

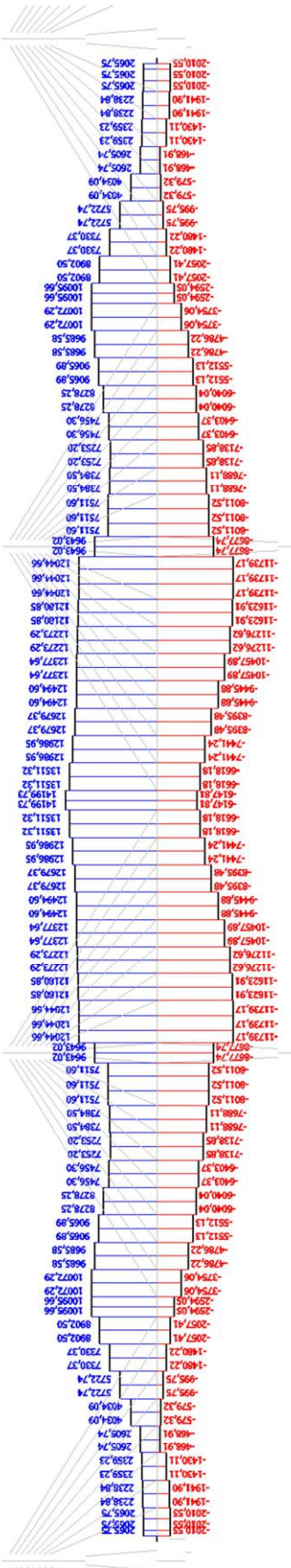


$M_y$  [kNm]

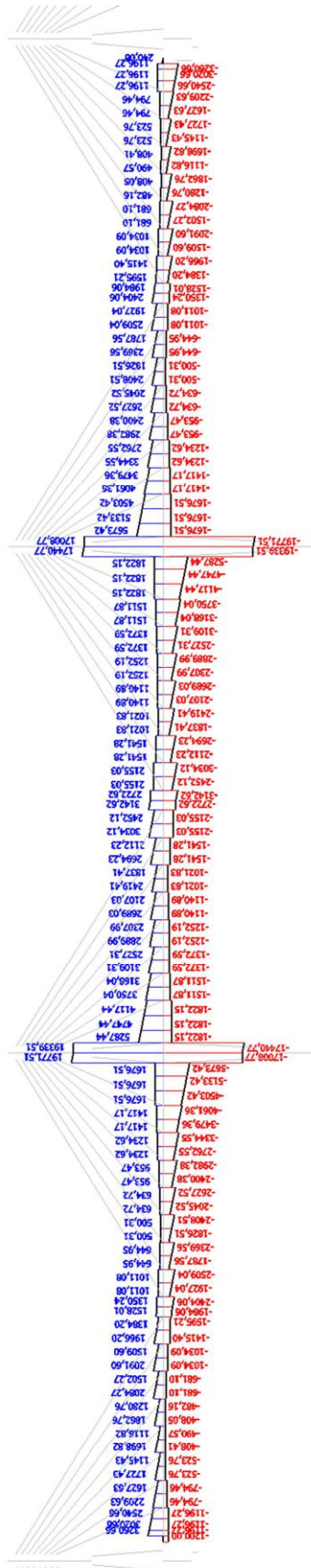


Vnitřní síly od dopravy - model LM1 - 1. typ (viz str. 47)

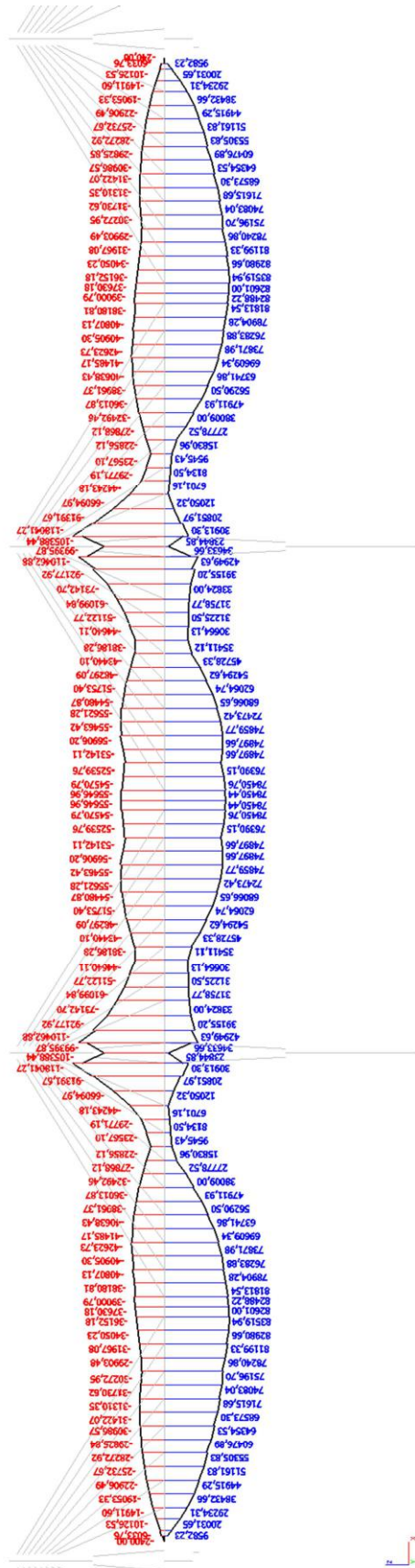
$N_x$  [kN]



$V_z$  [kN]

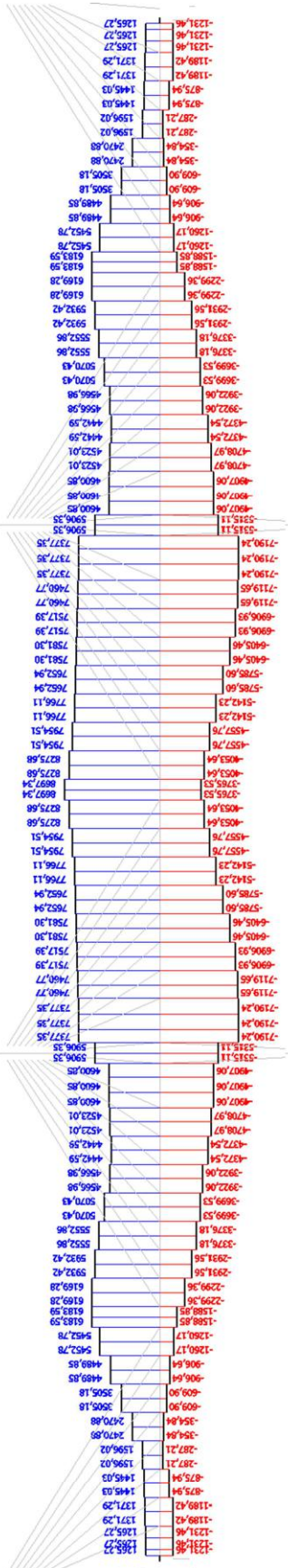


$M_y$  [kNm]

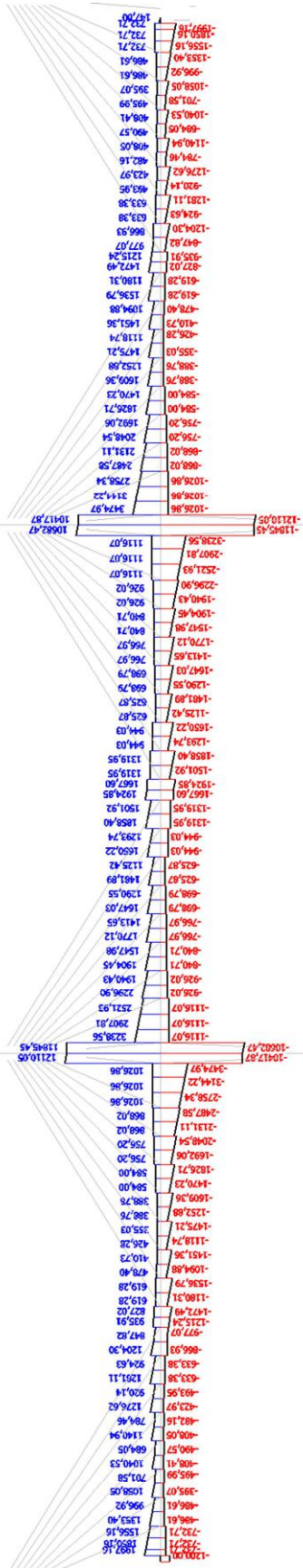


Vnitřní síly od dopravy - model LM1 - 2. typ (viz str. 47)

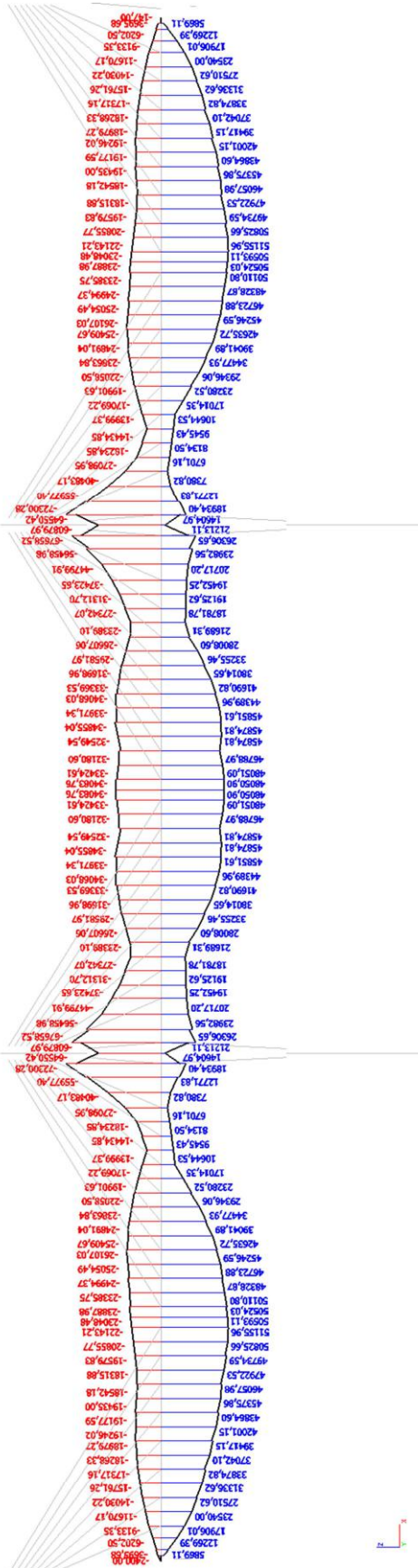
$N_x$  [kN]



$V_z$  [kN]



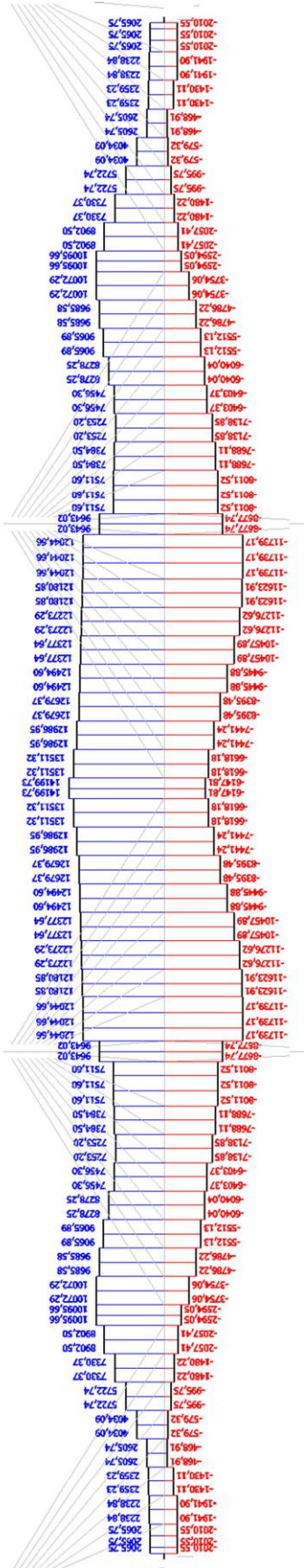
$M_y$  [kNm]



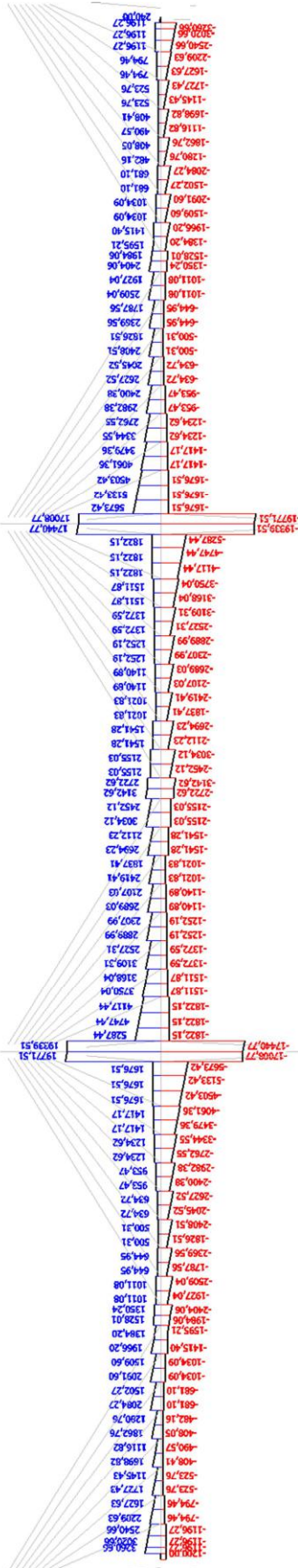


Vnitřní síly od dopravy - model LM1 - 3. typ (viz str. 47)

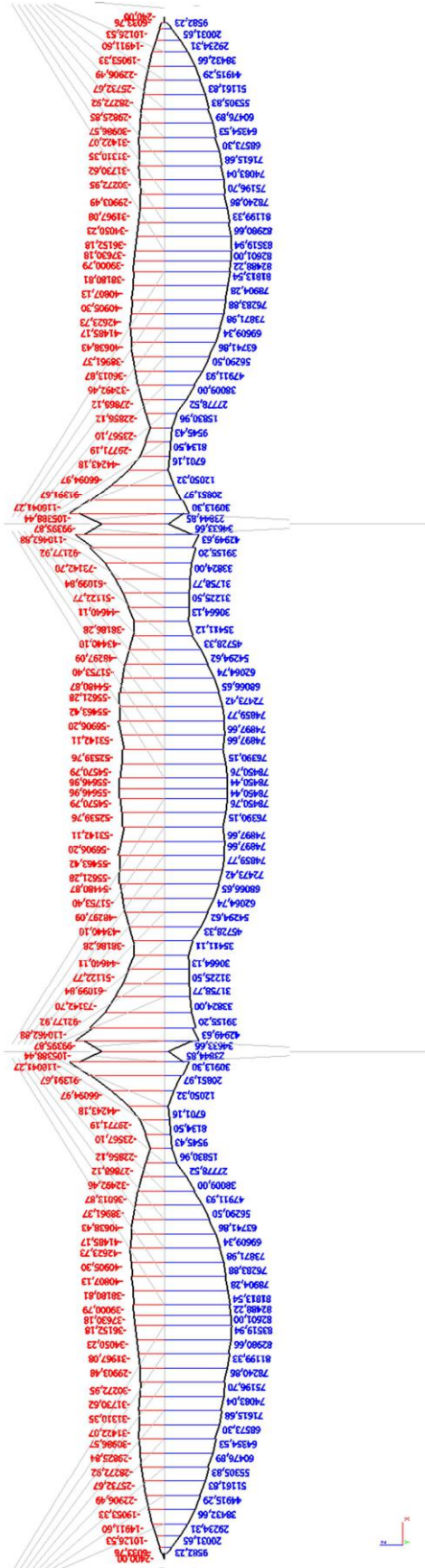
$N_x$  [kN]



$V_z$  [kN]

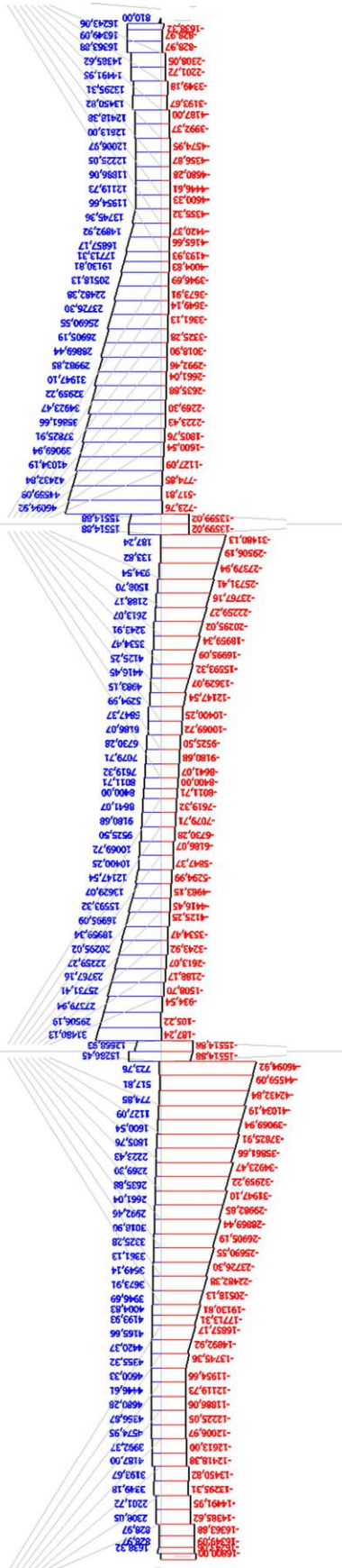


$M_y$  [kNm]

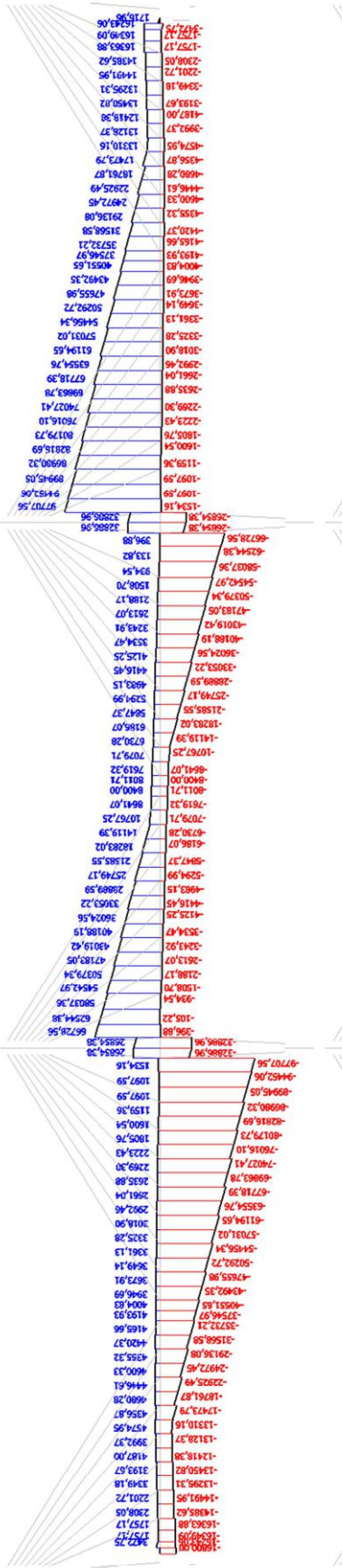


Porovnání kroutících momentů pro modely zatížení LM1 (viz str. 47)

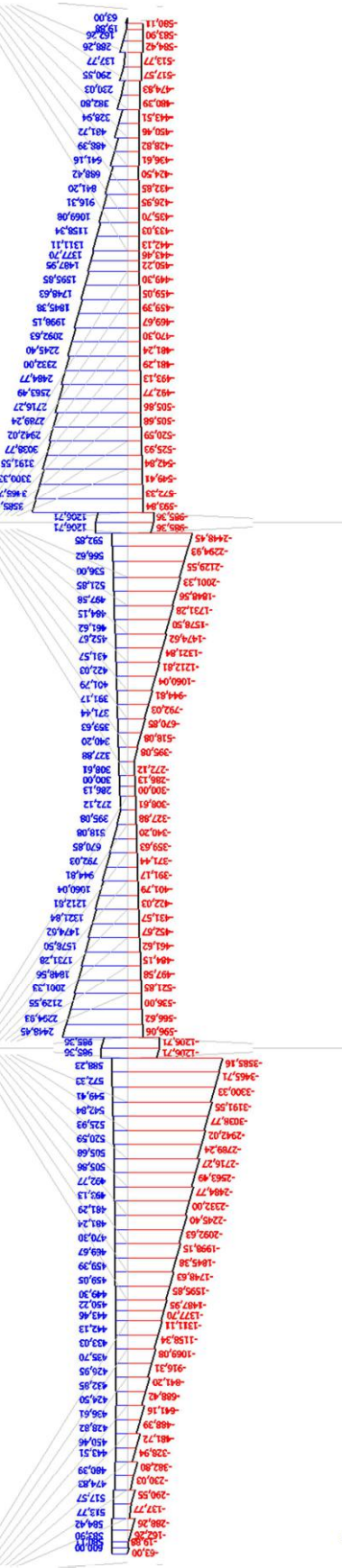
$M_x$  [kNm] - 1. typ



$M_x$  [kNm] - 2. typ

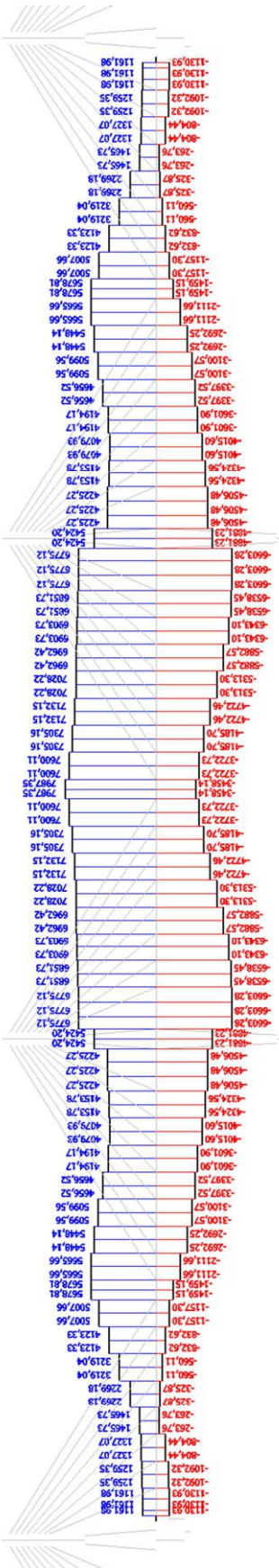


$M_x$  [kNm] - 3. typ

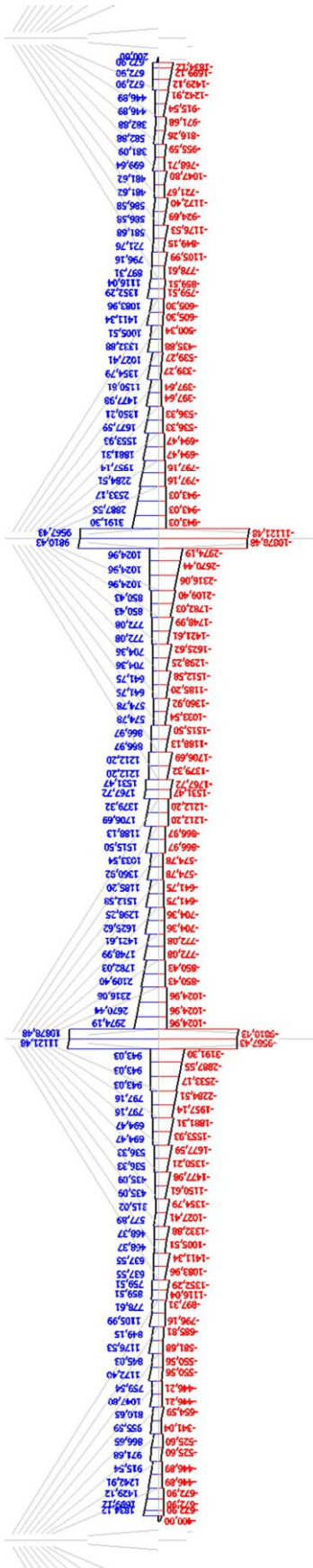


Vnitřní síly od dopravy - model LM3 - vozidlo 1800/200

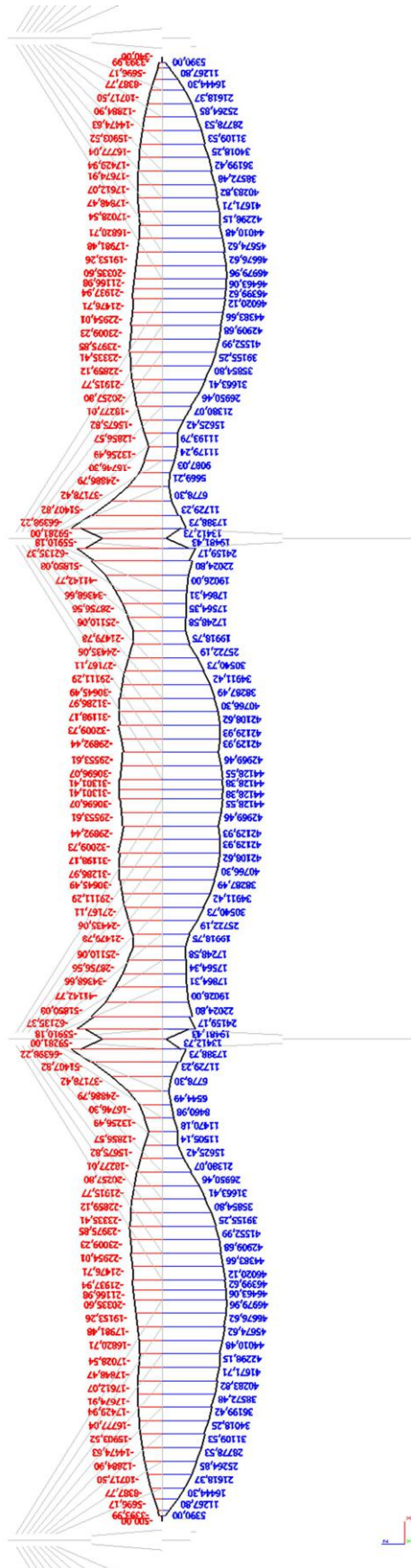
$N_x$  [kN]



$V_z$  [kN]

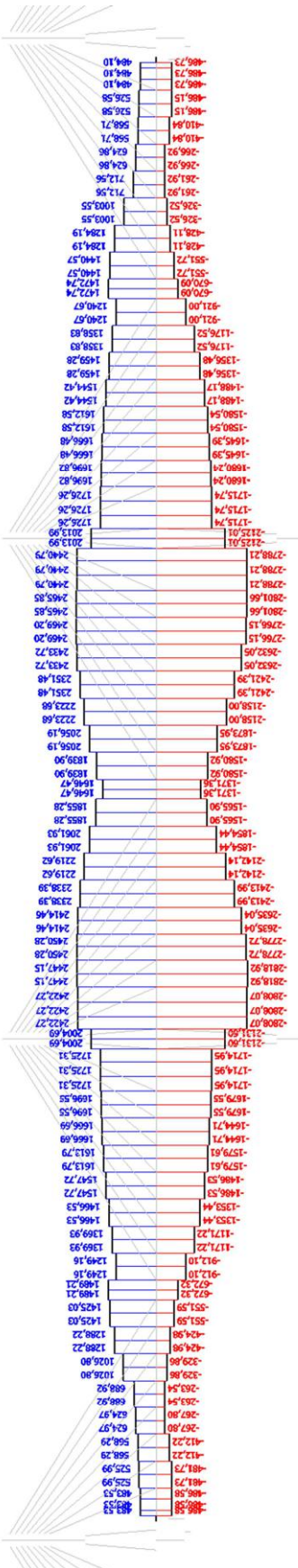


$M_y$  [kNm]

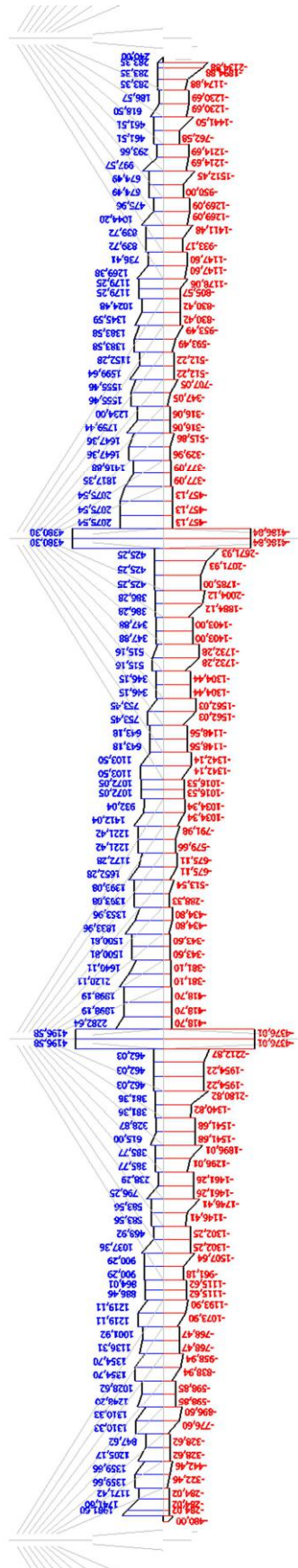


Vnitřní síly od dopravy - model LM3 - vozidlo 3000/240

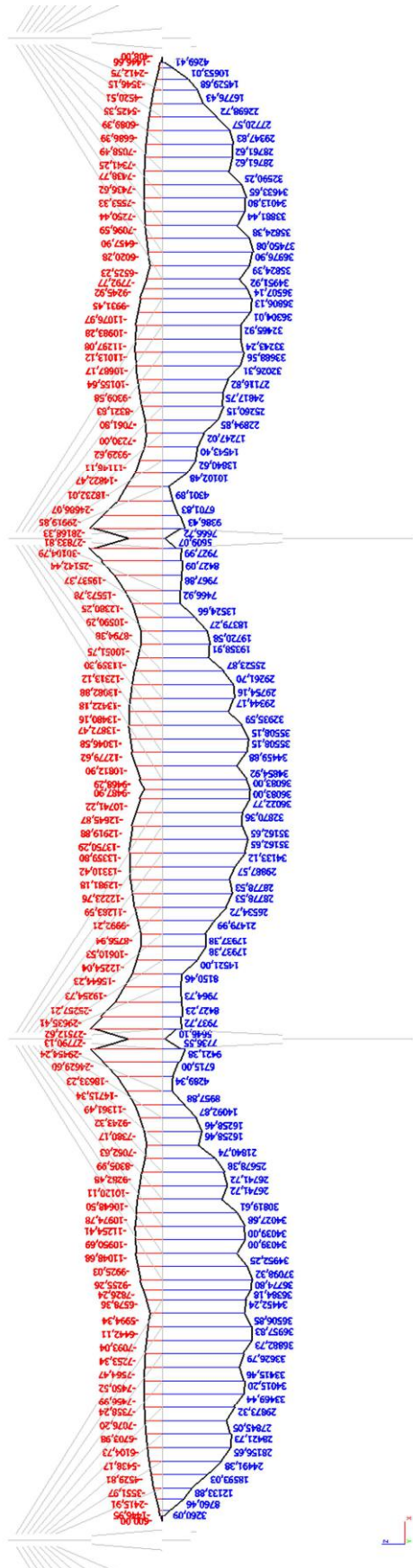
$N_x$  [kN]



$V_z$  [kN]



$M_y$  [kNm]



### 4.7.2 Vnitřní síly od kombinací pro MSÚ

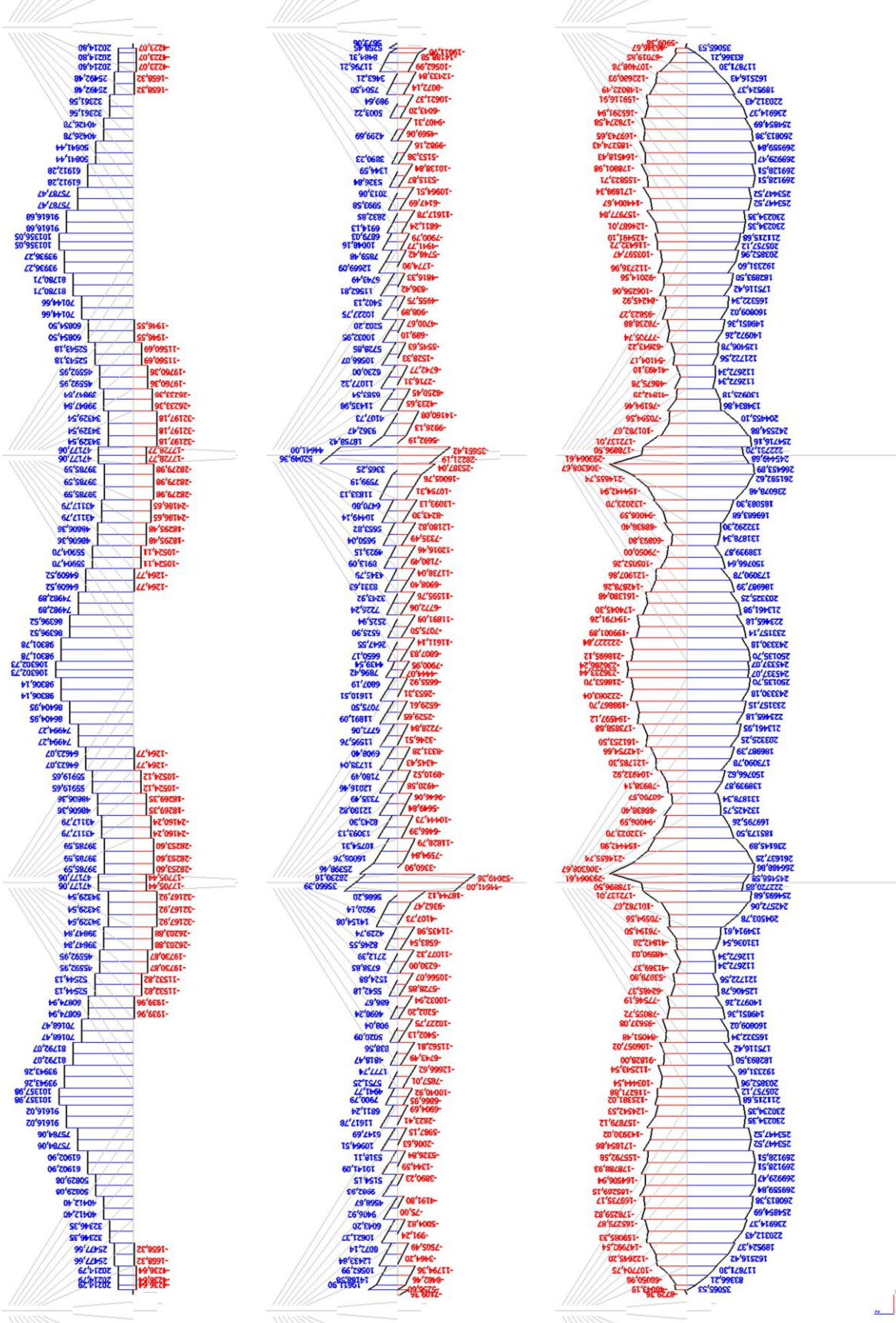
Poznámka: v kombinacích je již zahrnuta rektifikace závěsů (viz kapitola 4.8)

Vnitřní síly - kombinace zatížení dle vzorce 6.10

$N_x$  [kN]

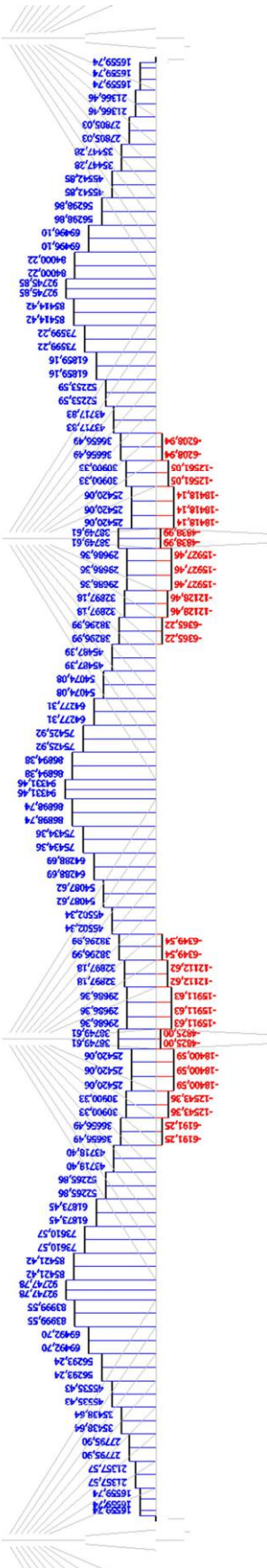
$V_z$  [kN]

$M_y$  [kNm]

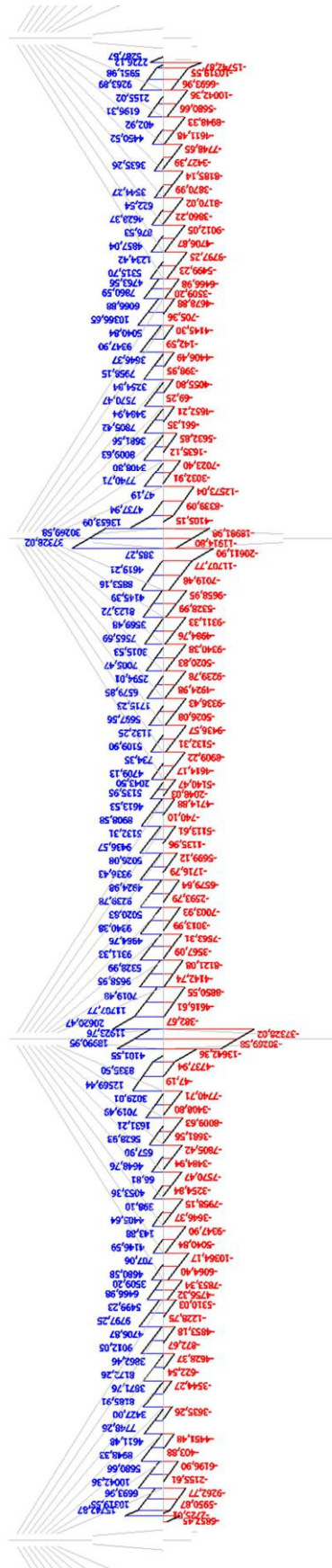


Vnitřní síly - kombinace zatížení dle vzorce 6.10a

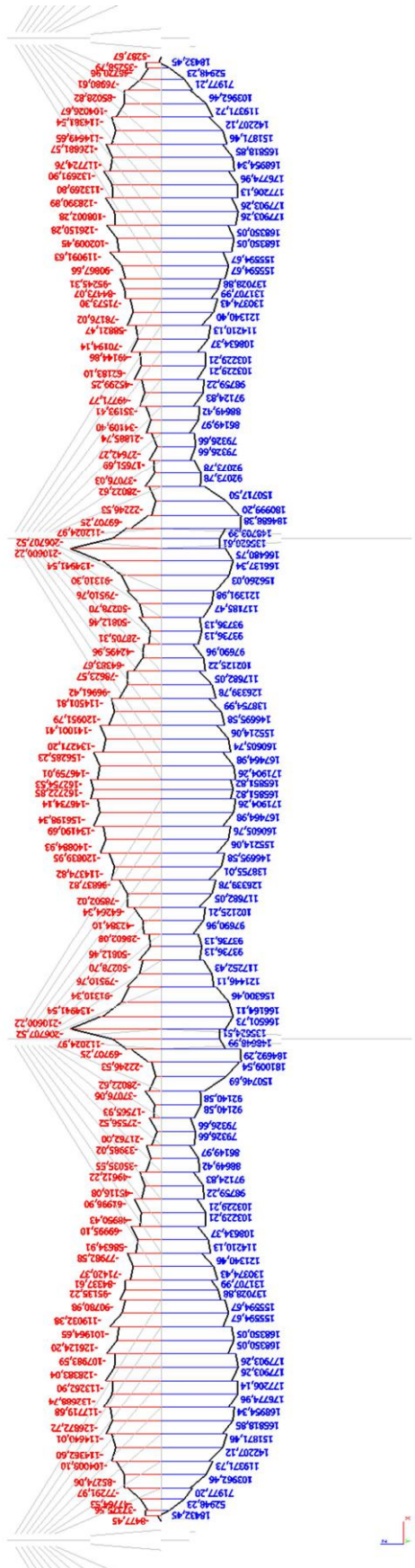
$N_x$  [kN]



$V_z$  [kN]

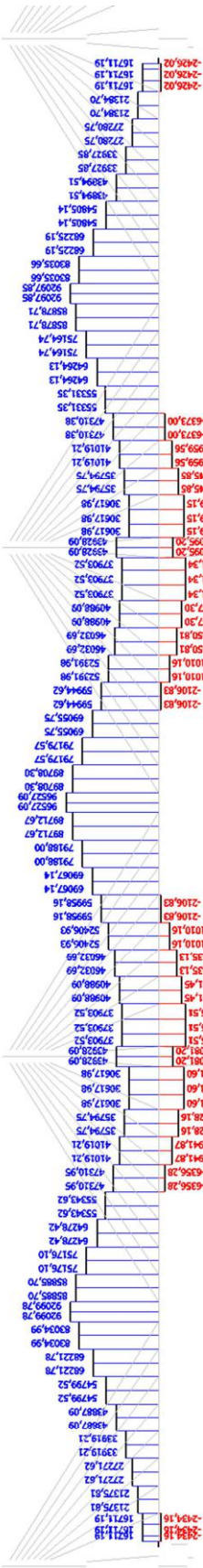


$M_y$  [kNm]

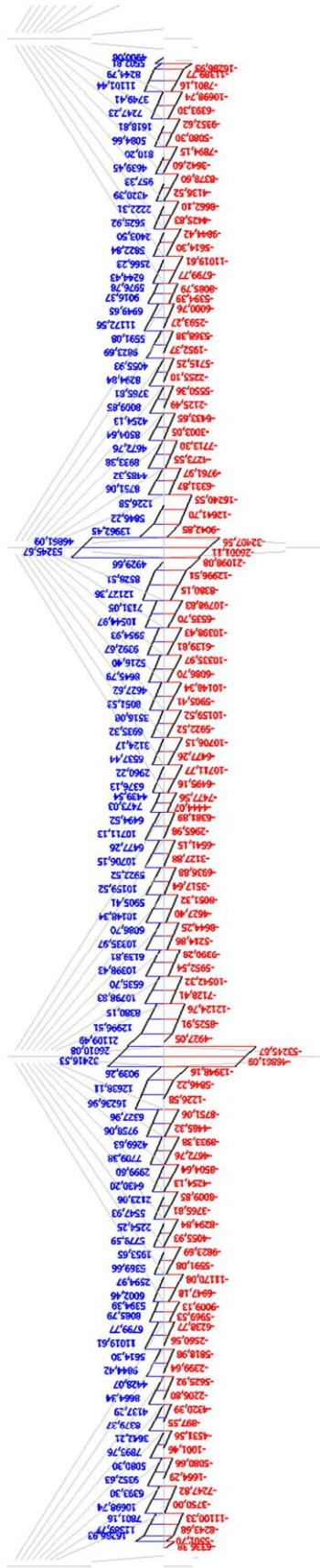


Vnitřní síly - kombinace zatížení dle vzorce 6.10b

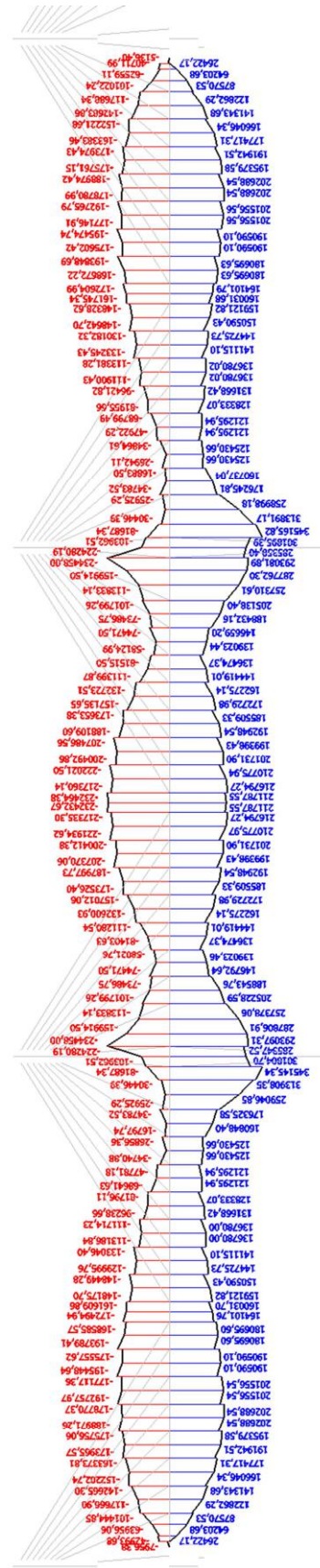
$N_x$  [kN]



$V_z$  [kN]



$M_y$  [kNm]

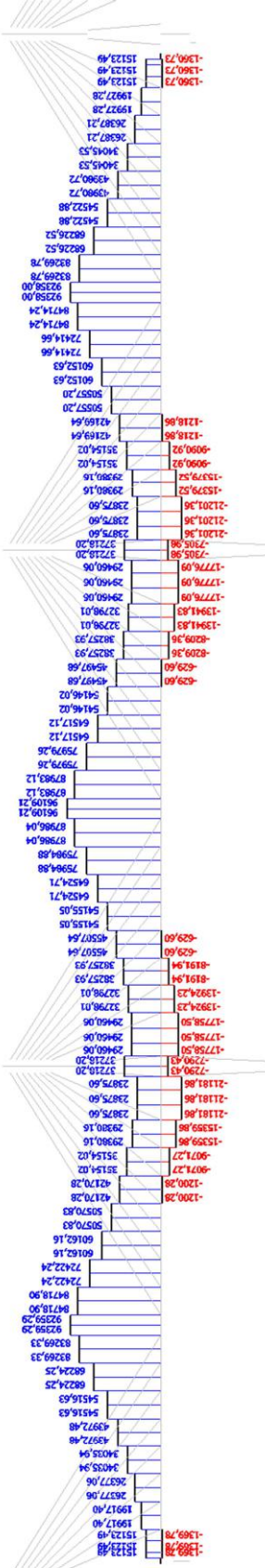


### 4.7.3 Vnitřní síly od kombinací pro MSP

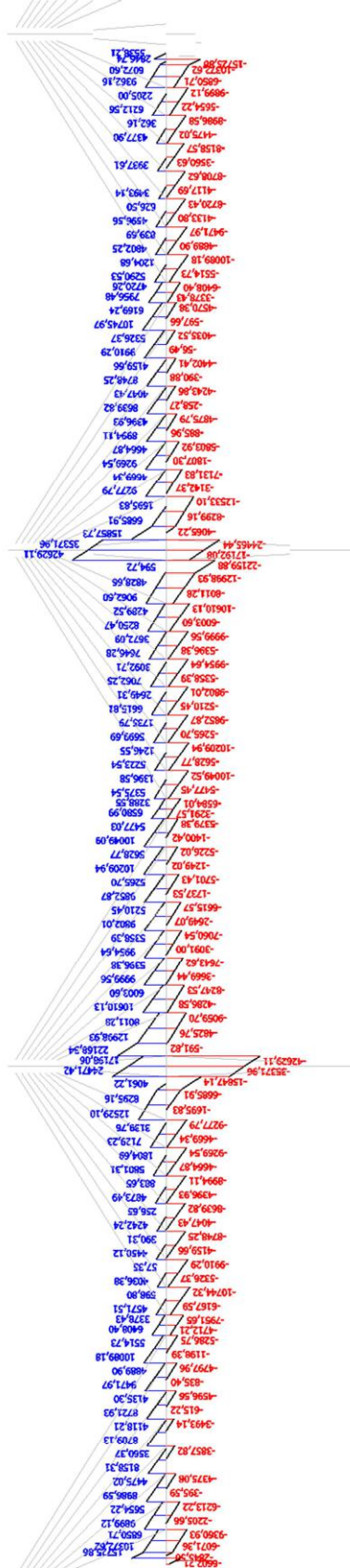
Poznámka: v kombinacích je již zahrnuta rektifikace závěsů (viz kapitola 4.8)

Vnitřní síly - charakteristická kombinace zatížení

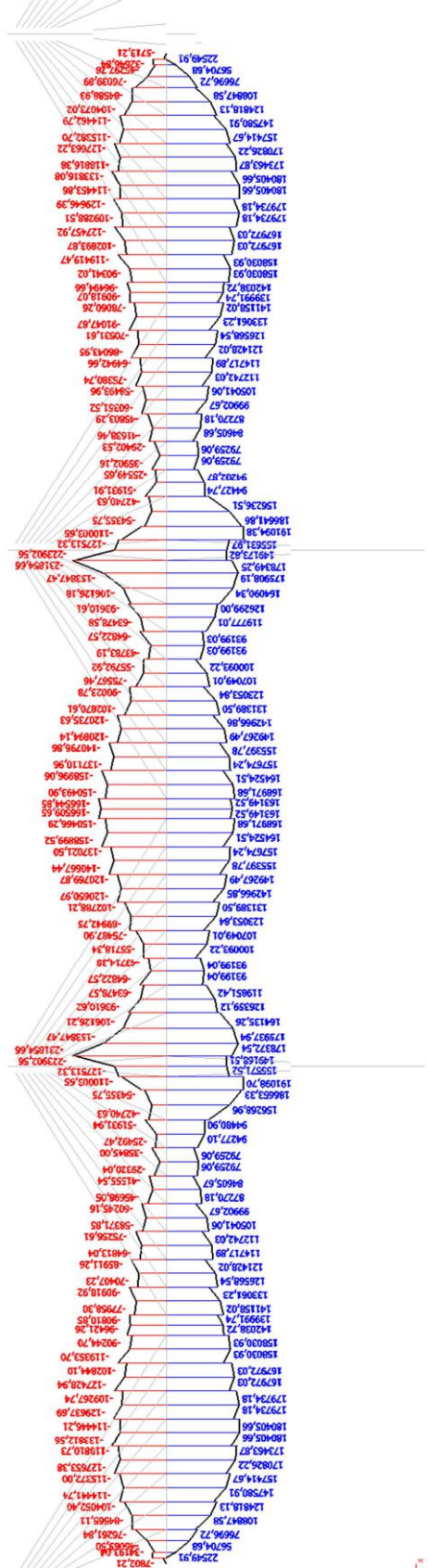
$N_x$  [kN]



$V_z$  [kN]



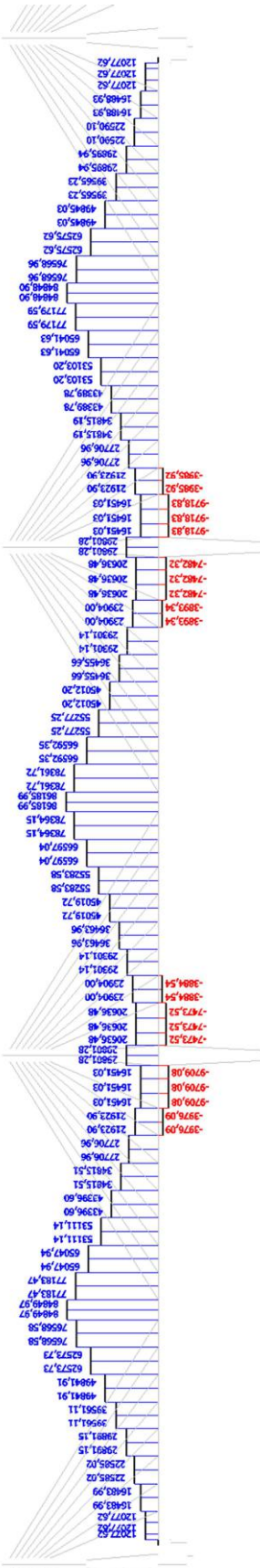
$M_y$  [kNm]



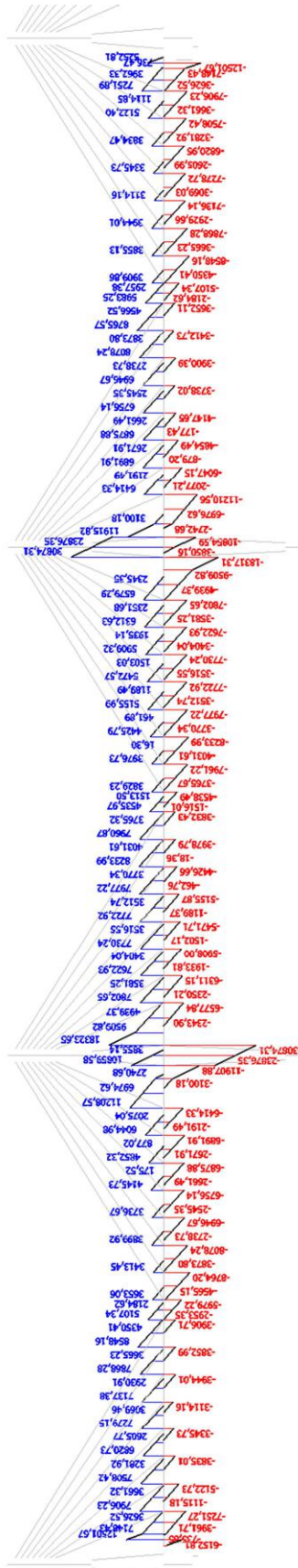


Vnitřní síly - častá kombinace zatížení

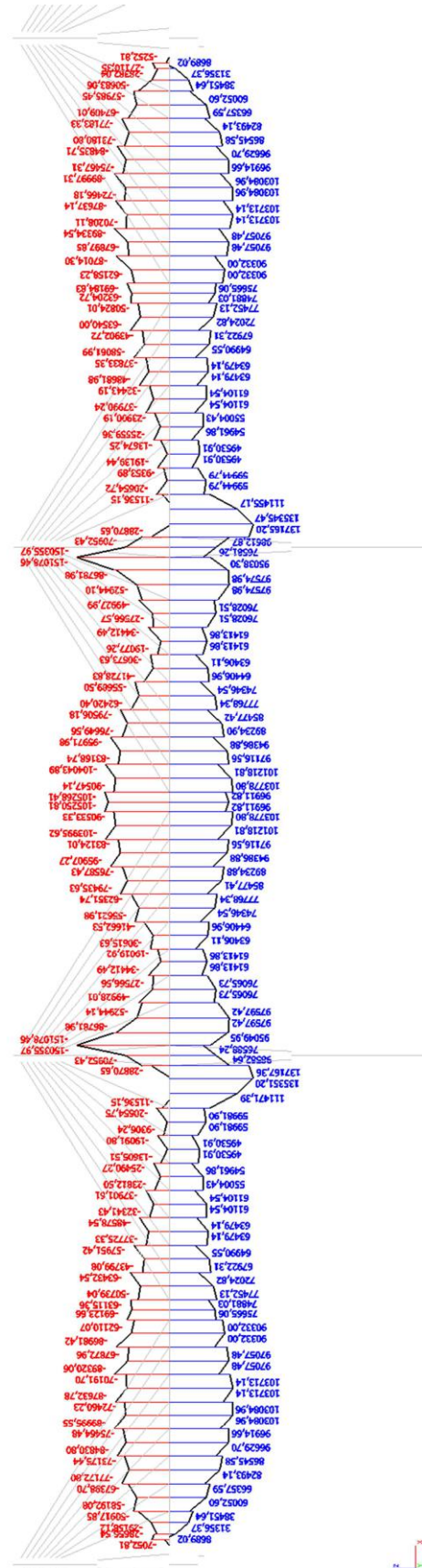
$N_x$  [kN]



$V_z$  [kN]

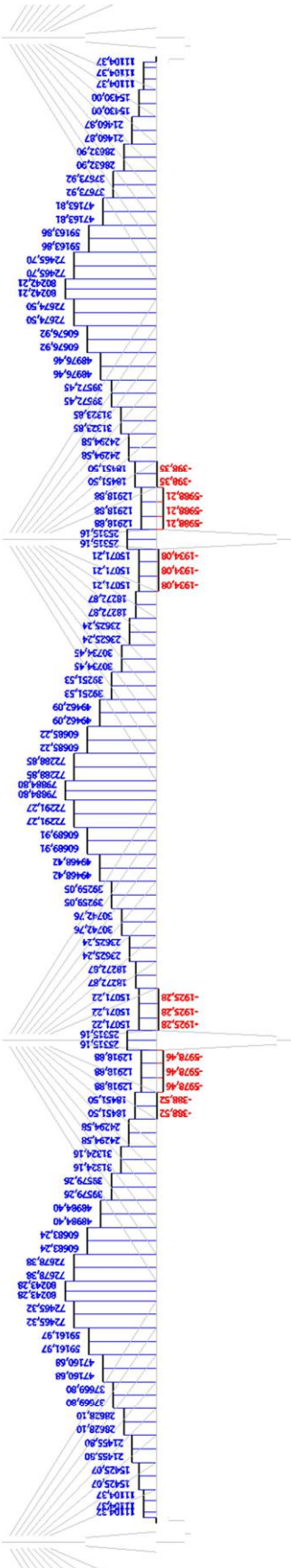


$M_y$  [kNm]

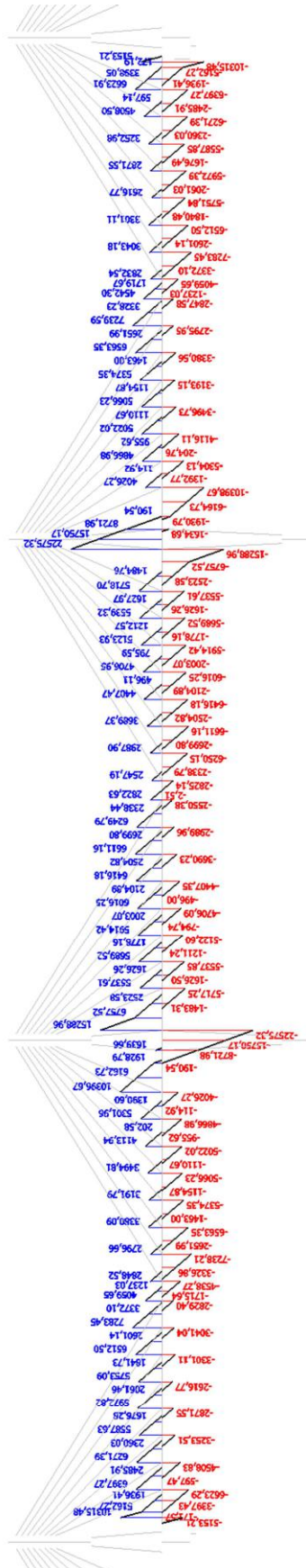


Vnitřní síly - kvazistálá kombinace zatížení

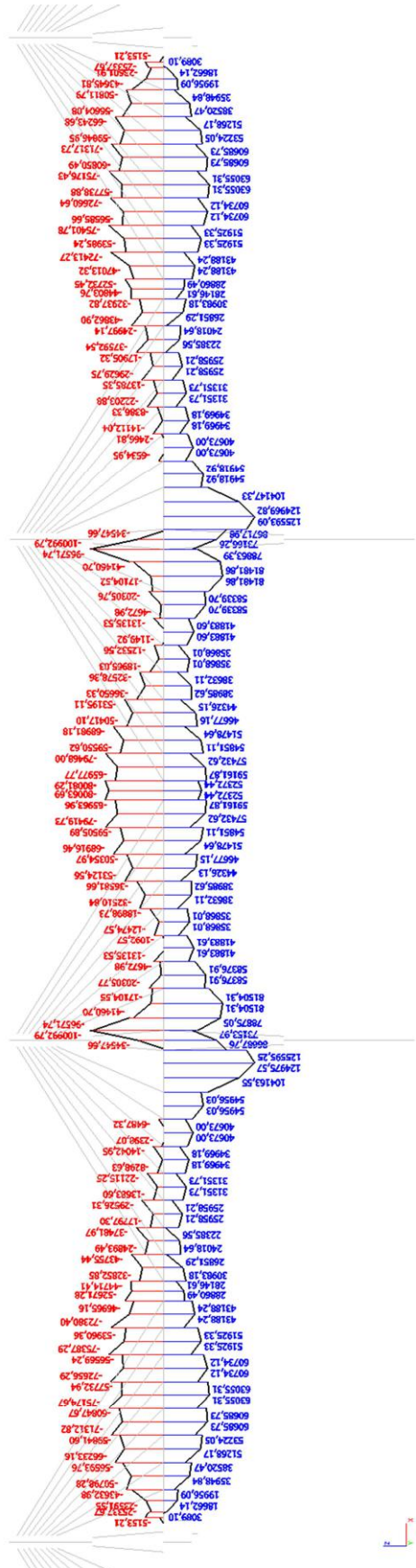
$N_x$  [kN]



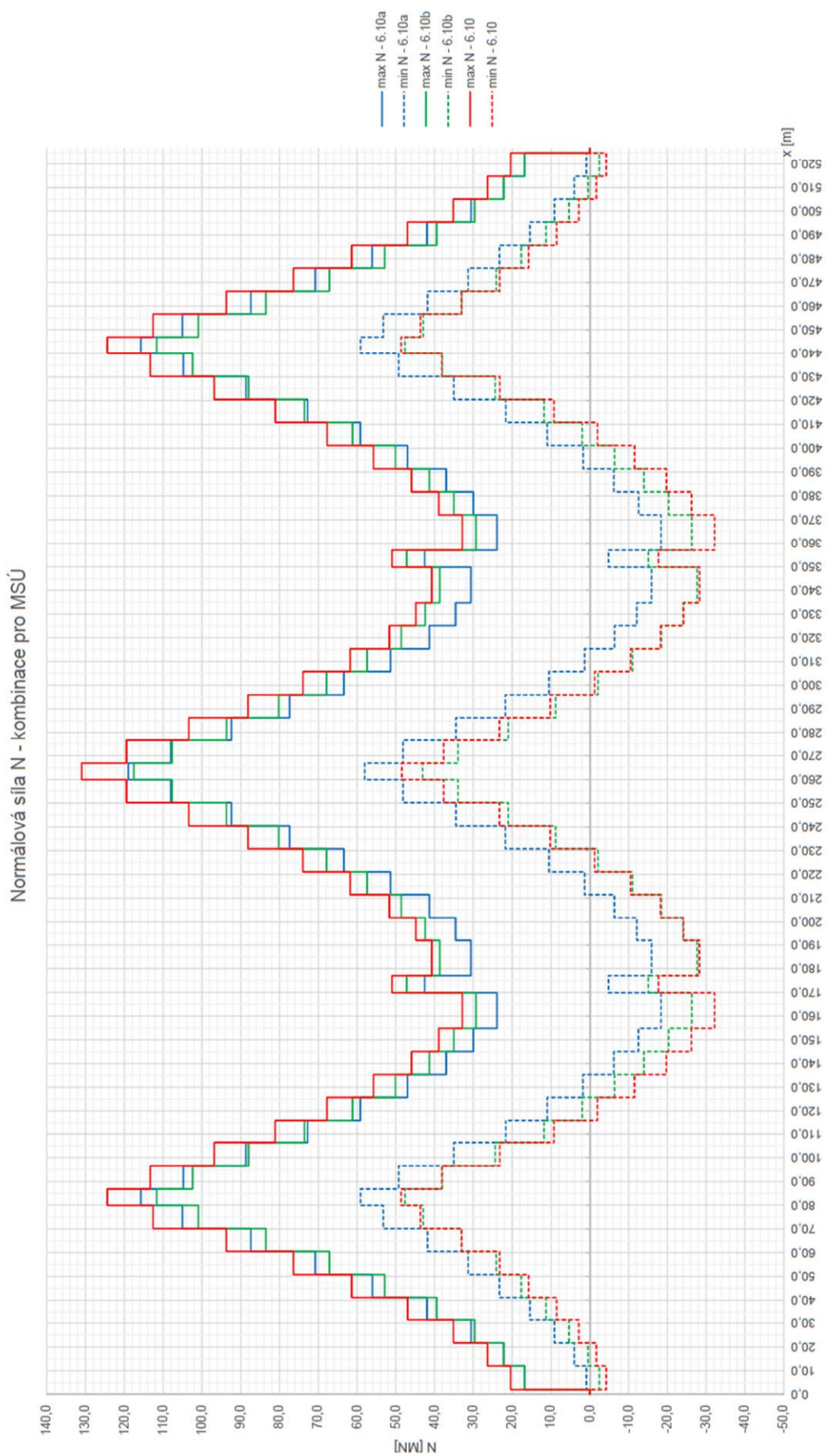
$V_z$  [kN]

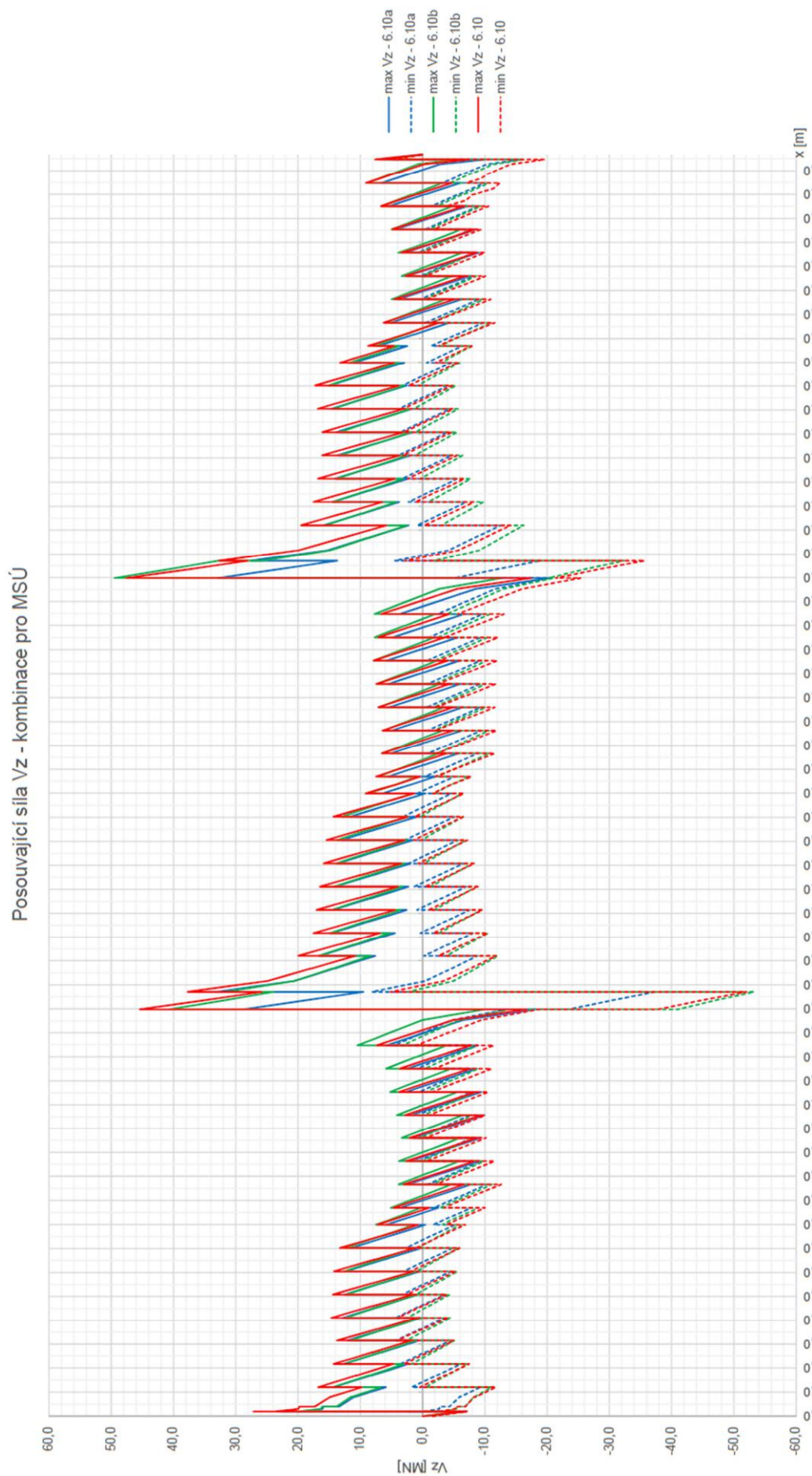


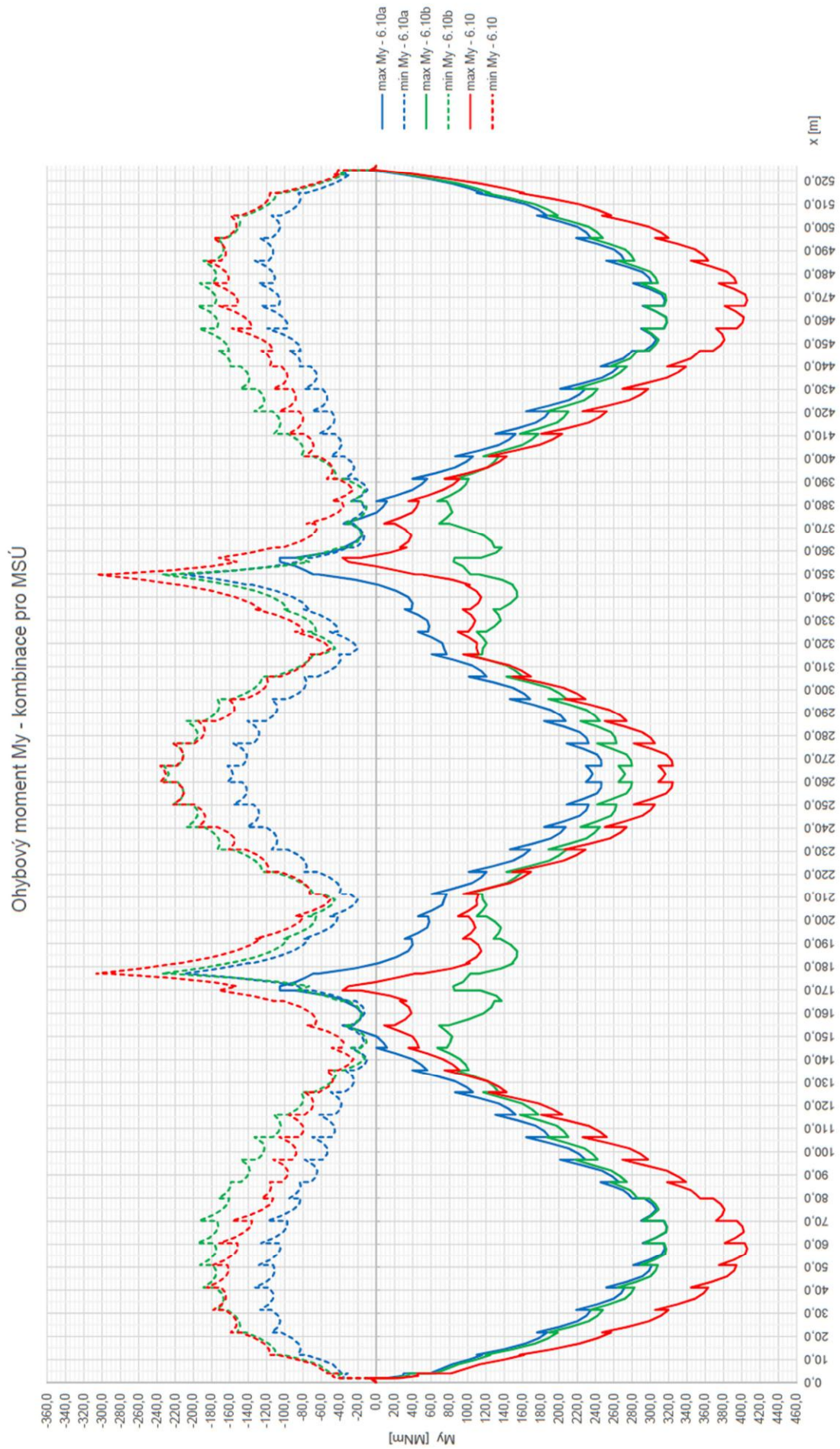
$M_y$  [kNm]

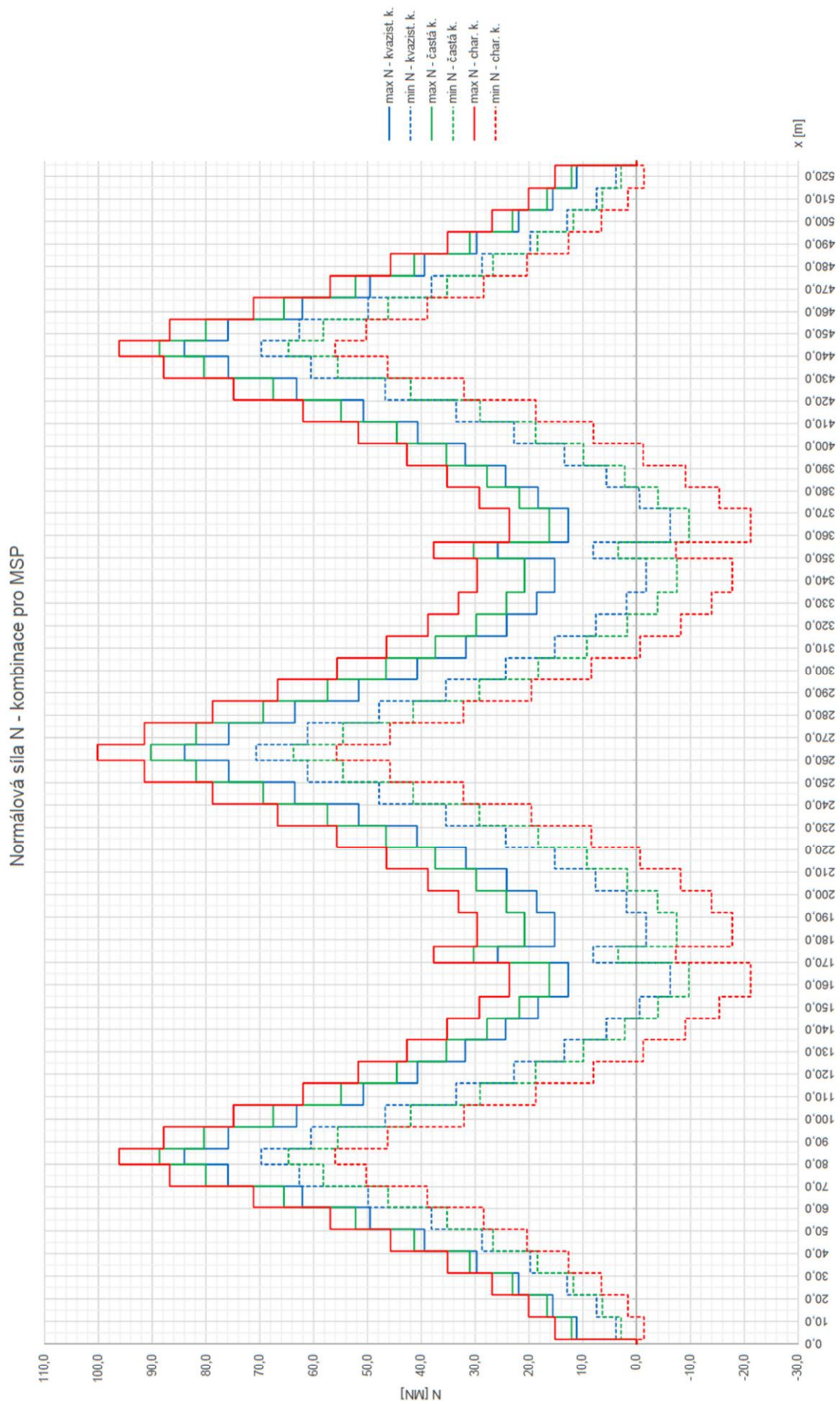


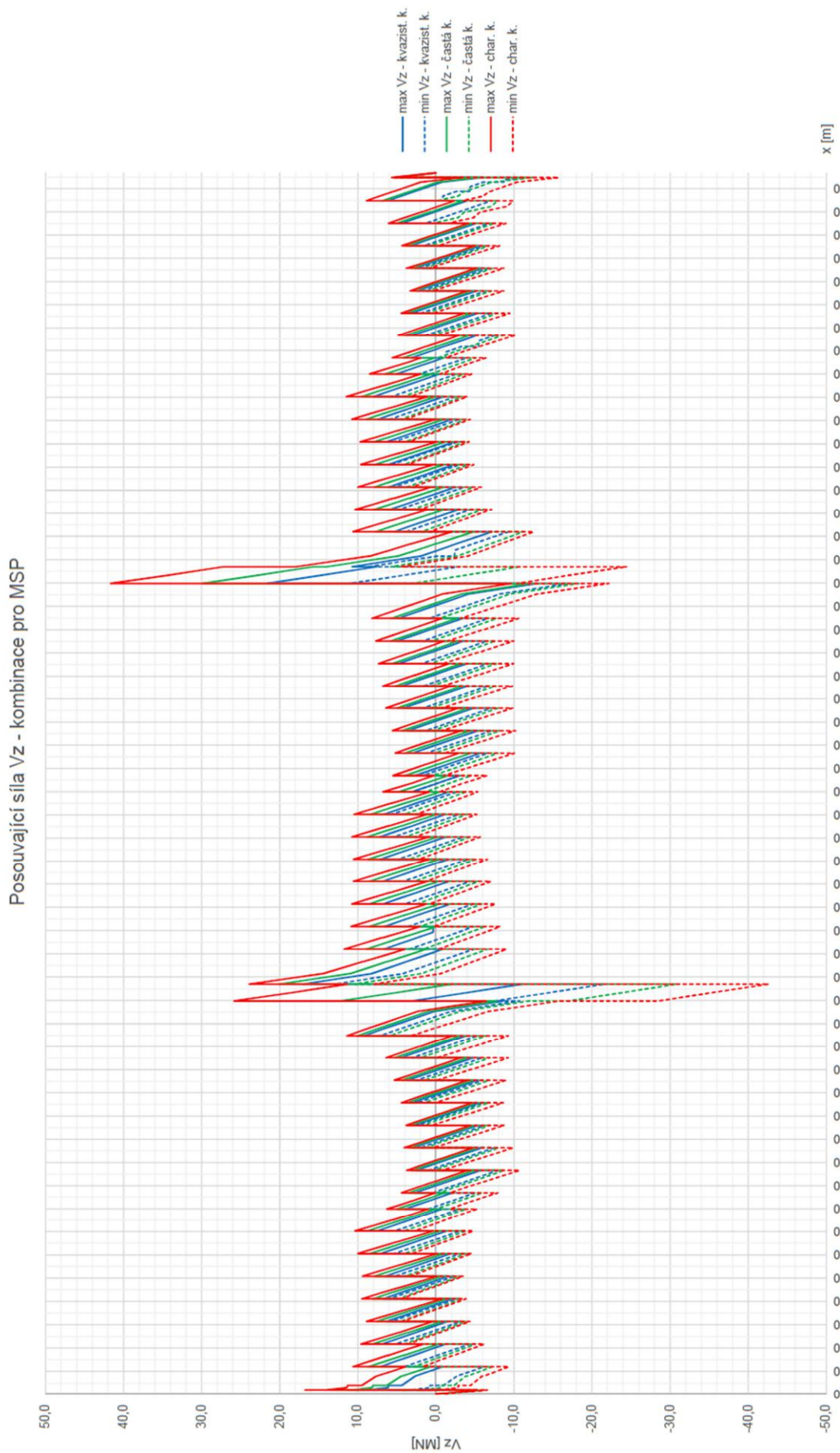
#### 4.7.4 Porovnání vnitřních sil od kombinací



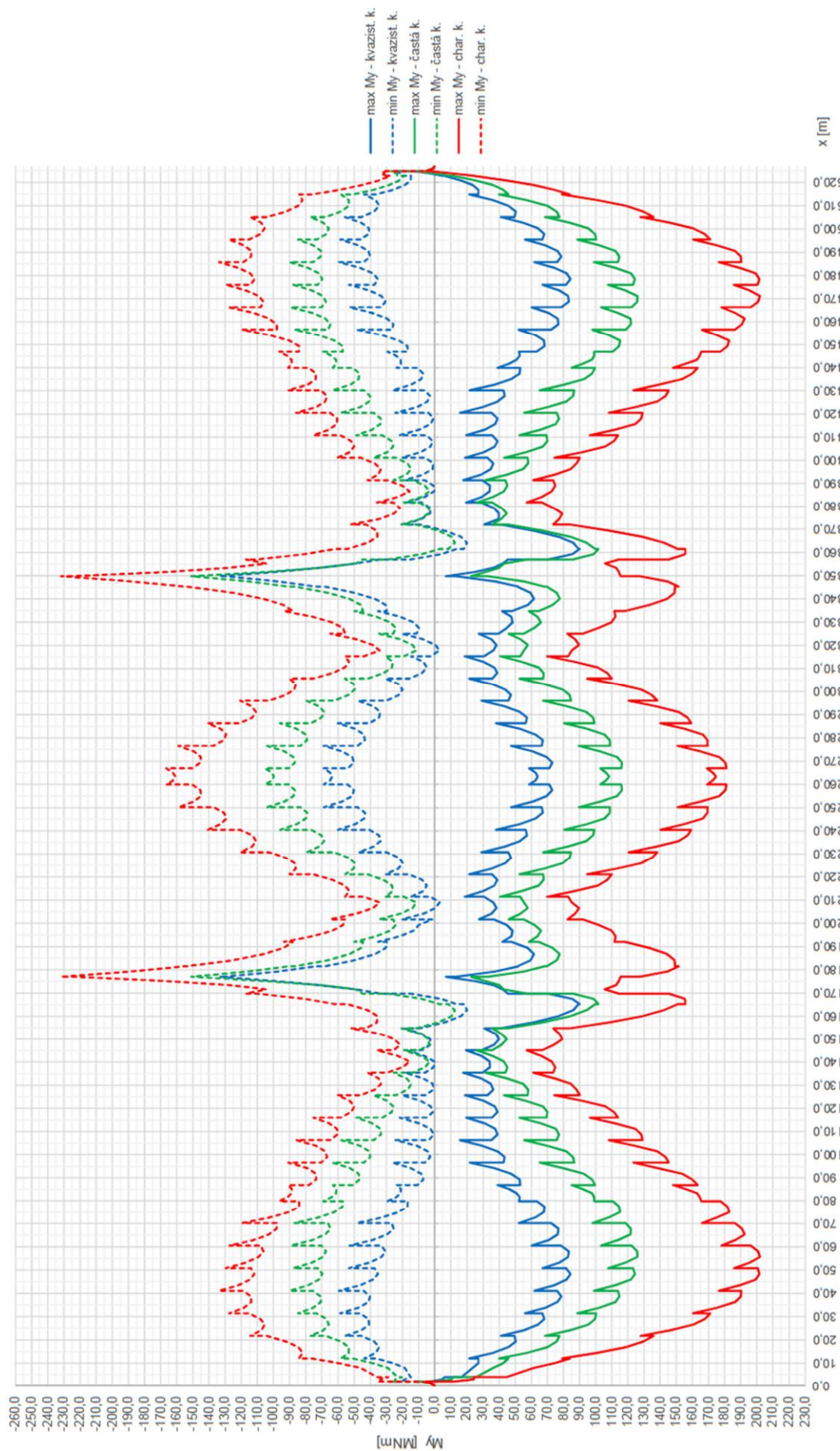








Ohybový moment  $M_y$  - kombinace pro MSP





## 4.8 Rektifikace závěsů

K docílení toho, aby se konstrukce chovala pod stálým zatížením jako spojitý nosník, je navržena rektifikace závěsů. V prutovém modelu je prutům tvořící šikmé závěsy uděleno určité zkrácení, či prodloužení. Rektifikace je provedena s ohledem na průběh ohybového momentu od dopravy, kde je v polích větší kladný ohybový moment.

### 4.8.1 Kombinace pro rektifikaci

Ve výpočtu rektifikace je uvažována vlastní tíha konstrukce a střední hodnota ostatního stálého zatížení v charakteristických hodnotách.

### 4.8.2 Výpis rektifikace

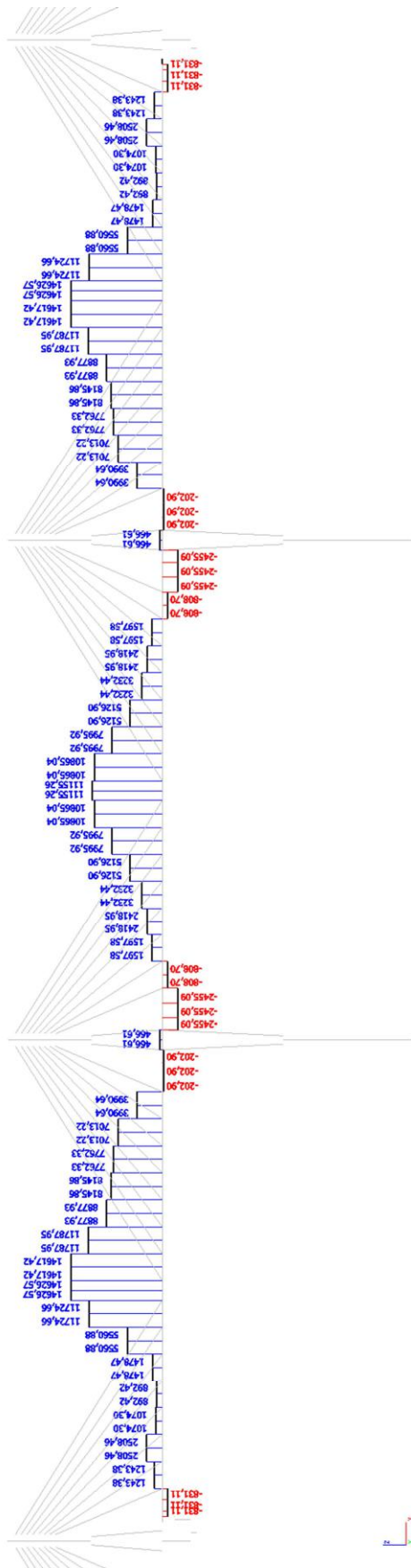
Závěs	Staničení	Počet lan v jednom závěsu	Plocha jednoho závěsu	Délka závěsu	Zkrácení závěsu	
	[m]	[ks]	[mm <sup>2</sup> ]	[m]	[mm]	
Z 9 a,b	10,00	91,00	13 650,00	40,68	-128,14	lopěra O2
Z 10 a,b	19,70	91,00	13 650,00	47,11	-167,23	
Z 11 a,b	29,40	127,00	19 050,00	54,59	-171,95	
Z 12 a,b	39,10	127,00	19 050,00	62,74	-213,31	
Z 13 a,b	48,80	127,00	19 050,00	71,34	-238,98	
Z 14 a,b	58,50	127,00	19 050,00	80,24	-292,87	
Z 15 a,b	68,20	139,00	20 850,00	89,35	-317,19	střed 1. pole
Z 16 a,b	77,90	127,00	19 050,00	98,61	-271,19	
Z 17 a,b	84,90	127,00	19 050,00	98,61	-167,64	
Z 18 a,b	94,60	139,00	20 850,00	89,35	-205,50	
Z 19 a,b	104,30	127,00	19 050,00	80,24	-200,59	
Z 20 a,b	114,00	127,00	19 050,00	71,34	-156,94	
Z 21 a,b	123,70	127,00	19 050,00	62,74	-131,75	
Z 22 a,b	133,40	127,00	19 050,00	54,59	-109,17	
Z 23 a,b	143,10	91,00	13 650,00	47,11	-117,77	pylon P2
Z 24 a,b	152,80	127,00	19 050,00	40,68	-93,56	
Z 25 a,b	190,00	127,00	19 050,00	40,68	-44,75	
Z 26 a,b	199,70	91,00	13 650,00	47,11	-58,89	
Z 27 a,b	209,40	127,00	19 050,00	54,59	-73,69	střed 2. pole
Z 28 a,b	219,10	127,00	19 050,00	62,74	-90,97	
Z 29 a,b	228,80	127,00	19 050,00	71,34	-117,71	
Z 30 a,b	238,50	127,00	19 050,00	80,24	-140,42	
Z 31 a,b	248,20	139,00	20 850,00	89,35	-142,96	
Z 32 a,b	257,90	127,00	19 050,00	98,61	-108,47	

Poznámka: konstrukce je zavěšena symetricky, druhá polovina závěsů je rektifikována stejně.

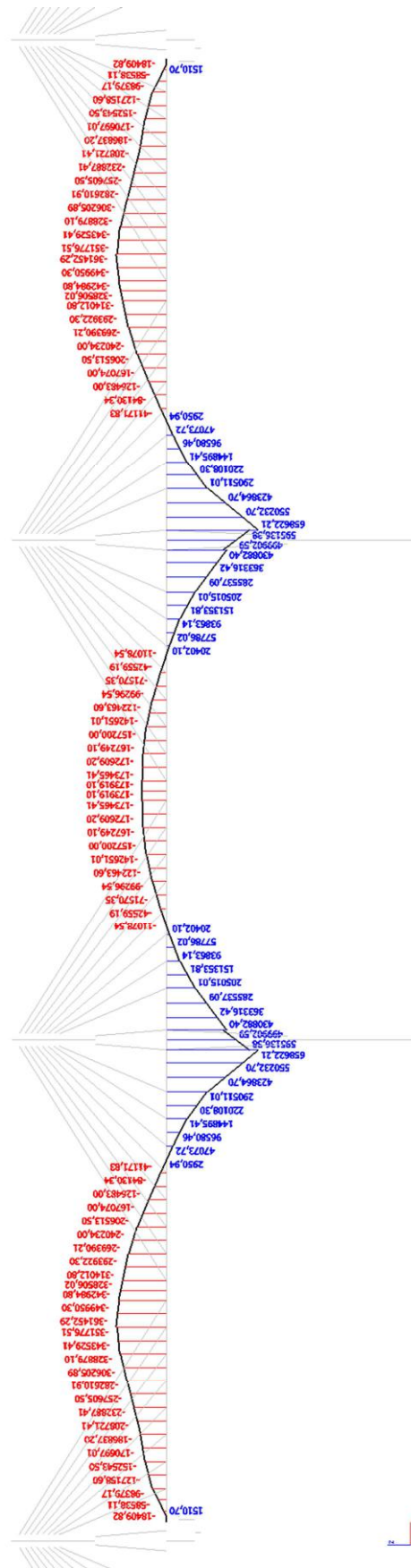
### 4.8.3 Vnitřní síly po rektifikaci

Vnitřní síly od rektifikace:

$N_x$  [kN]



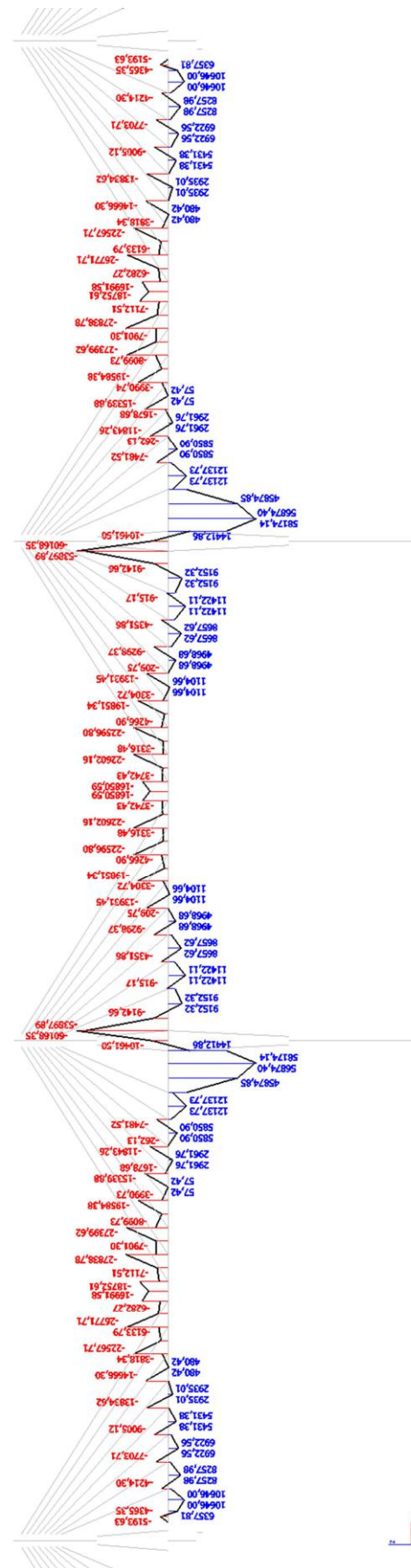
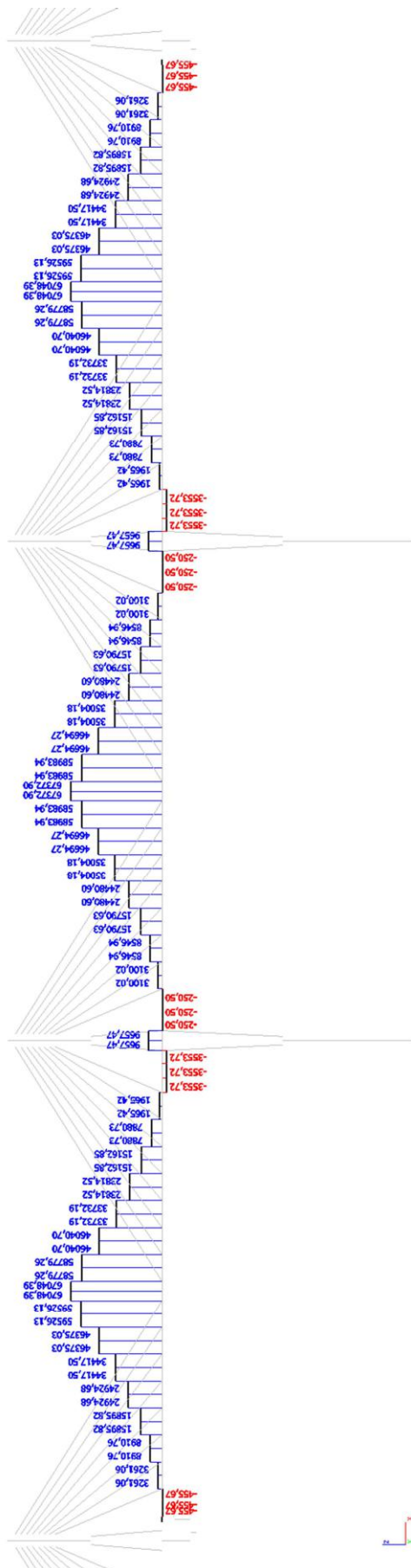
$M_y$  [kNm]



Vnitřní síly od rektifikace, vlastní tíhy a ostatního stálého zat.:

$N_x$  [kN]

$M_y$  [kNm]



## 4.9 Předpětí

Vzhledem k tomu, že konstrukce je namáhána značnými kladnými i zápornými ohybovými momenty, je navrženo centrické předpětí. V horní a dolní desce komory jsou uvažovány lana o průměru 15,7 mm v kabelových kanálcích o průměru 90 mm.

Výpočet vychází z následujících předpokladů:

Maximální napětí v předpínací výztuži:  $\sigma_{p,max} = \min(0,8 f_{pk} ; 0,9 f_{p0,1k})$

$$\sigma_{p,max} = \text{MIN}[0,8 \times 1860, 0,9 \times 1637]$$

$$\sigma_{p,max} = 1\,473,12 \text{ MPa}$$

Uvažované ztráty předpětí: v čase vnesení předpětí                      5,00 %  
 v čase uvedení do provozu                                              15,00 %  
 v čase na konci životnosti 100 let                                      25,00 %

Krytí předpínací výztuže:  $c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev}$   
 beton nosné konstrukce C50/60 - XF2, XD1, XC4  
 návrhová životnost 100 let

zajištěna zvláštní kontrola kvality výroby betonu  
 třída konstrukce S5

$$c_{min} = 80,00 \text{ mm}$$

$$\Delta c_{dev} = 10,00 \text{ mm}$$

$$c_{nom} = 80 + 10$$

$$c_{nom} = 90,00 \text{ mm}$$

Je předpokládáno měření napínací síly a protažení výztuže při realizaci,  
 platí tedy  $P_{k,sup} = P_{k,inf} = P_m$ .

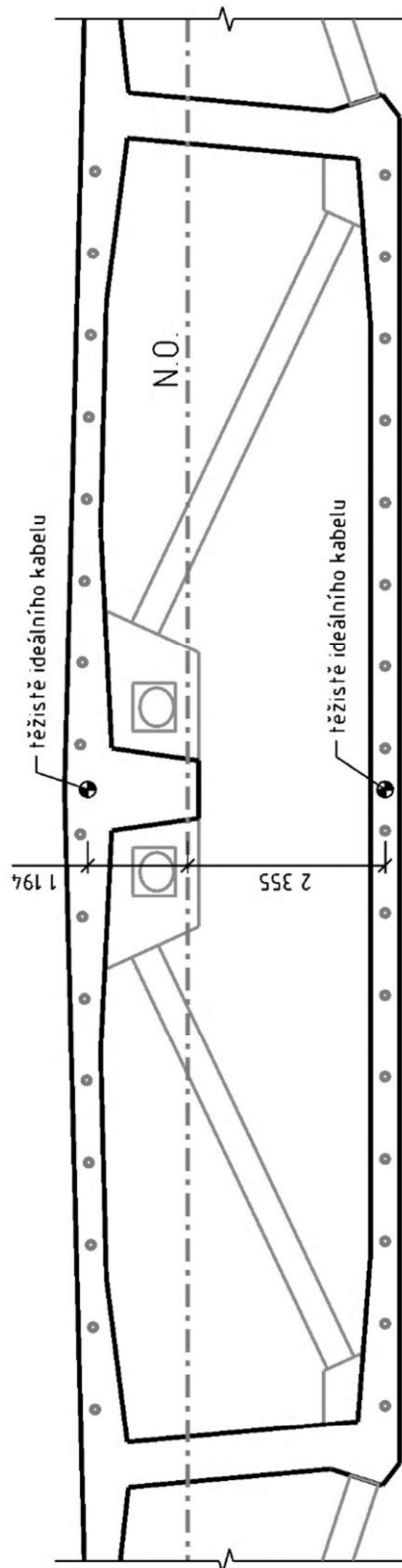
Síla v předpínací výztuži je vypočtena z maximálního napětí a je stanovena ze vzorce:

$$N_p = A_p \cdot \sigma_{p,max}$$

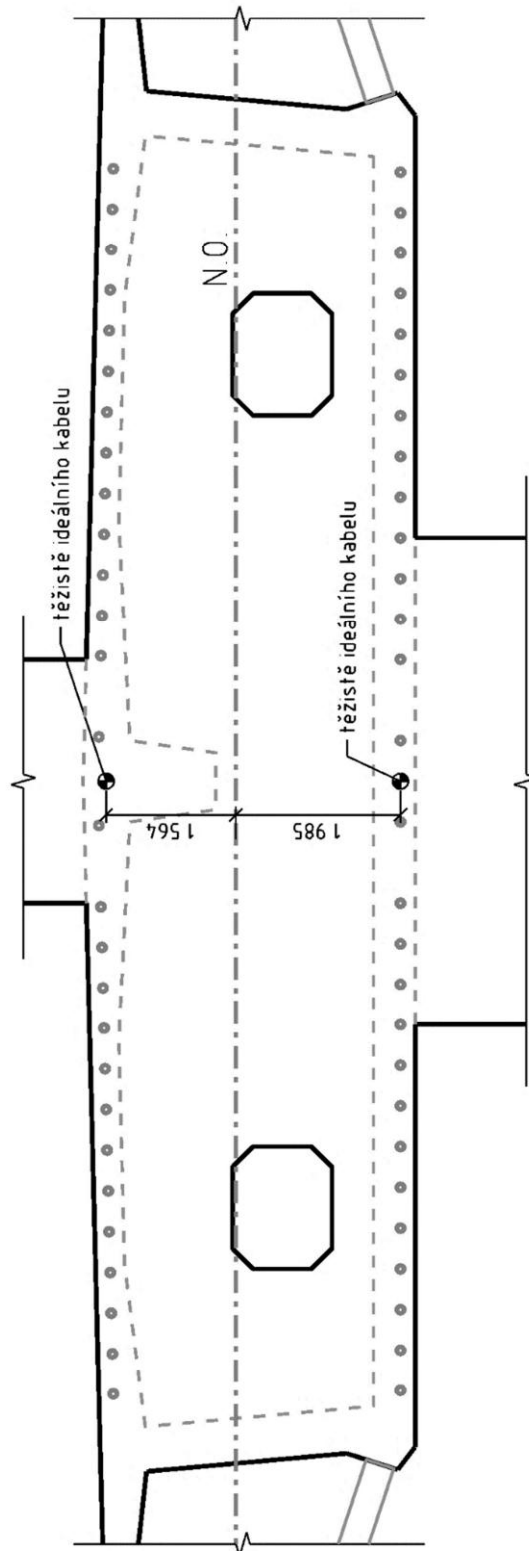
Ohybový moment od předpětí je stanoven jako součin síly v předpínací výztuži a její excentricity vůči neutrální ose průřezu.

V horní desce je v krajních polích navrženo 16 kabelů a ve středním poli 15 kabelů. V dolní desce je v krajních polích navrženo 16 kabelů, v oblastech ve středech krajních polí jsou navrženy tři příložky. Dolní deska středního pole má zvýšený počet kabelů na 20. Schéma a výkaz předpínací výztuže viz příloha č. 2, výkres 2.13.

Uvažované excentricity kabelů v poli:



Uvažované excentricity kabelů u pylonu:



## 4.10 Mezní stav použitelnosti

### 4.10.1 Omezení napětí v betonu

V této kapitole je provedeno posouzení omezení napětí v betonu. Posouzení je provedeno pro stadia konstrukce při předpínání, v uvedení do provozu a na konci životnosti.

Napínání předpínací výztuže se předpokládá v 7 dnech po betonáži, je ověřeno napětí v betonu v tlaku, které nemá překročit hodnotu  $0,6 f_{ck}(t=7d) = 23,69 \text{ MPa}$ , pro  $0,45 f_{ck}(t=7d) = 17,80 \text{ MPa}$  je možno počítat s lineárním dotvarováním, max. tahová napětí jsou omezena hodnotou  $1,0 f_{ctm}(t=7d) = 3,36 \text{ MPa}$ .

V časech uvedení do provozu (před a po vnesení ostatního stálého zat.) a na konci životnosti je ověřeno napětí v betonu v tlaku, které nemá překročit hodnotu  $0,6 f_{ck} = 30,00 \text{ MPa}$  pro charakteristickou kombinaci a při  $0,45 f_{ck} = 22,50 \text{ MPa}$  je možno počítat s lineárním dotvarováním, max. tahová napětí jsou omezena hodnotou  $1,0 f_{ctm} = 4,1 \text{ MPa}$ .

Napětí v betonu jsou spočtena dle vzorců:

napětí v horních vláknech

$$\sigma_{c,h} = \frac{N_E}{A_c} + \frac{M_E}{W_{el,y,h,red}} + \frac{N_{p,h.d.}}{A_c} + \frac{M_{p,h.d.}}{W_{el,y,h,red}} + \frac{N_{p,d.d.}}{A_c} + \frac{M_{p,d.d.}}{W_{el,y,h,red}}$$

napětí v dolních vláknech

$$\sigma_{c,d} = \frac{N_E}{A_c} + \frac{M_E}{W_{el,y,d,red}} + \frac{N_{p,h.d.}}{A_c} + \frac{M_{p,h.d.}}{W_{el,y,d,red}} + \frac{N_{p,d.d.}}{A_c} + \frac{M_{p,d.d.}}{W_{el,y,h,red}}$$

kde:

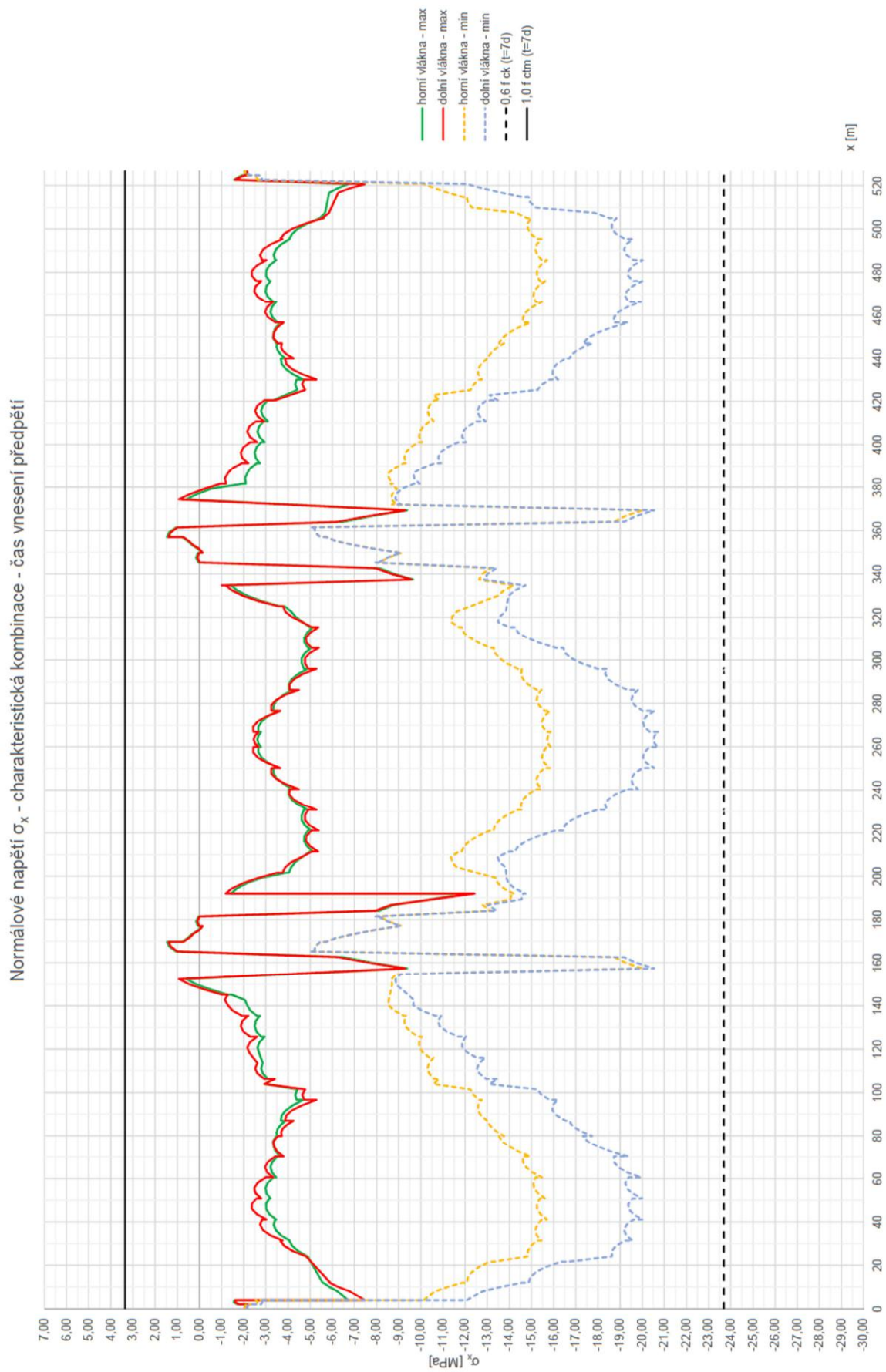
- $N_E$  ... normálová síla od vnějšího zatížení pro příslušný čas a kombinaci zat.
  - $M_E$  ... ohybový moment od vnějšího zatížení pro příslušný čas a kombinaci zat.
  - $A_c$  ... plocha příčného řezu
  - $W_{el,y,h,red}$  ... redukovaný pružný modul průřezu k ose y - horní vlákna
  - $W_{el,y,d,red}$  ... redukovaný pružný modul průřezu k ose y - dolní vlákna
  - $N_p$  ... normálová síla od předpětí pro příslušný čas
  - $M_p$  ... ohybový moment od předpětí pro příslušný čas
- (h.d. = horní deska, d.d. = dolní deska)

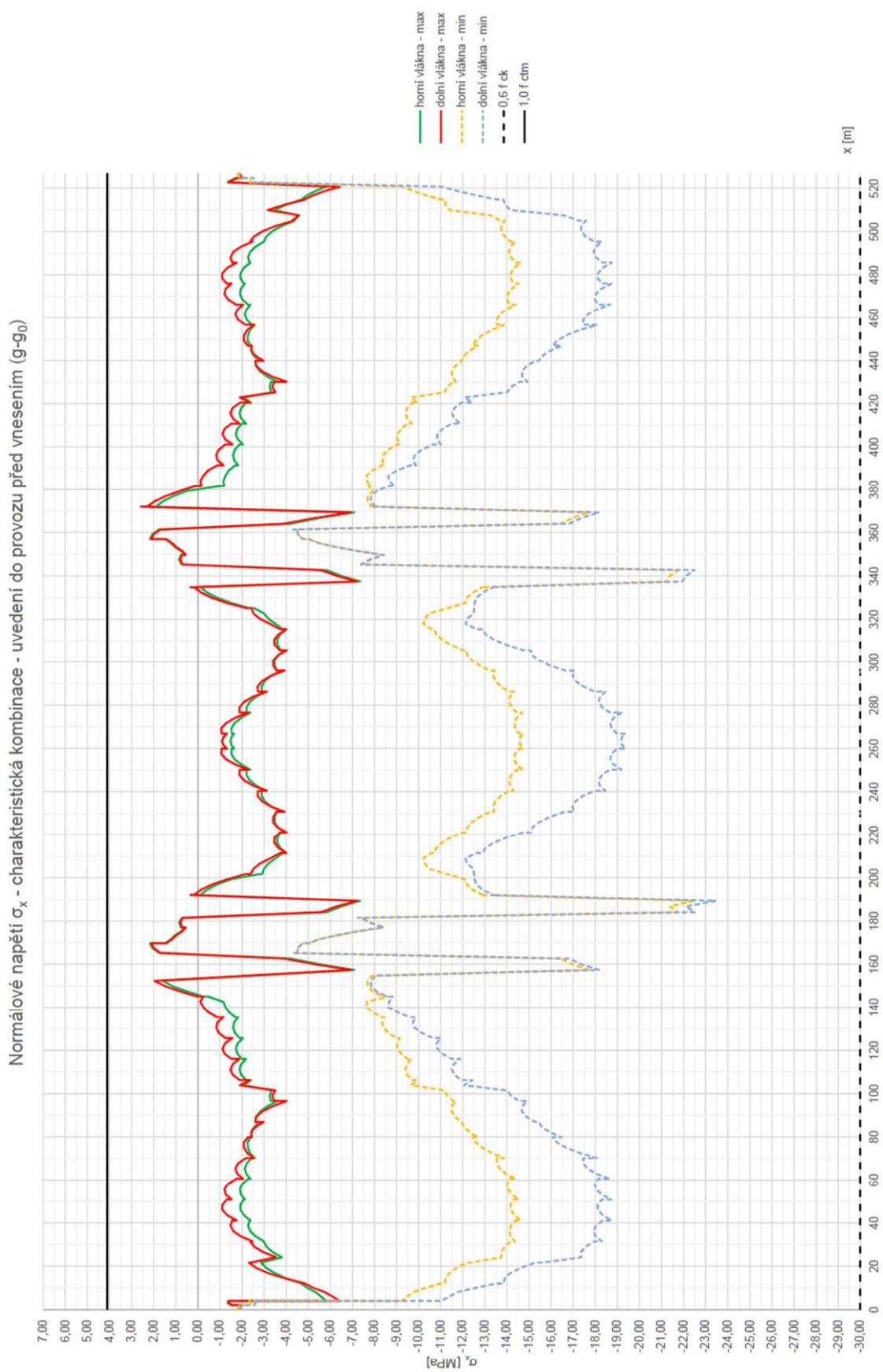
Statically neurčitě účinky předpětí jsou v této fázi zanedbány. Na stranách 97 - 104 jsou znázorněny výsledky v grafech po délce konstrukce. Na stranách 105-106 jsou výsledky jen pro stálé zatížení.

Konstrukce na výše uvedené požadavky vyhověla, s výjimkou zatížení od kvazistálé kombinace v čase vnesení předpětí, kde minimální hodnoty normálového napětí překračují hranici  $0,45 f_{ck}(t=7d)$ , použil by se tedy beton s rychlejším nárůstem pevnosti.

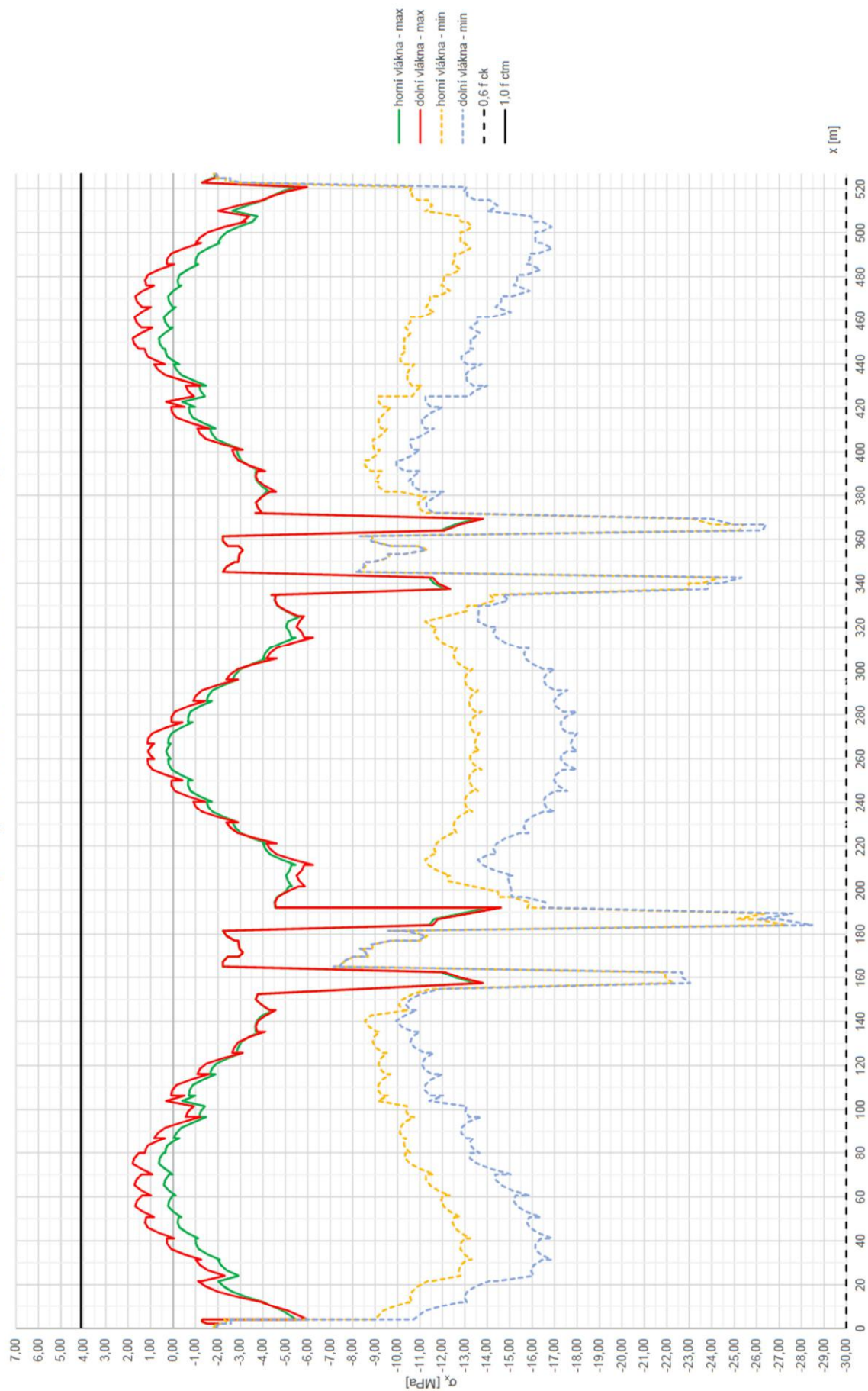




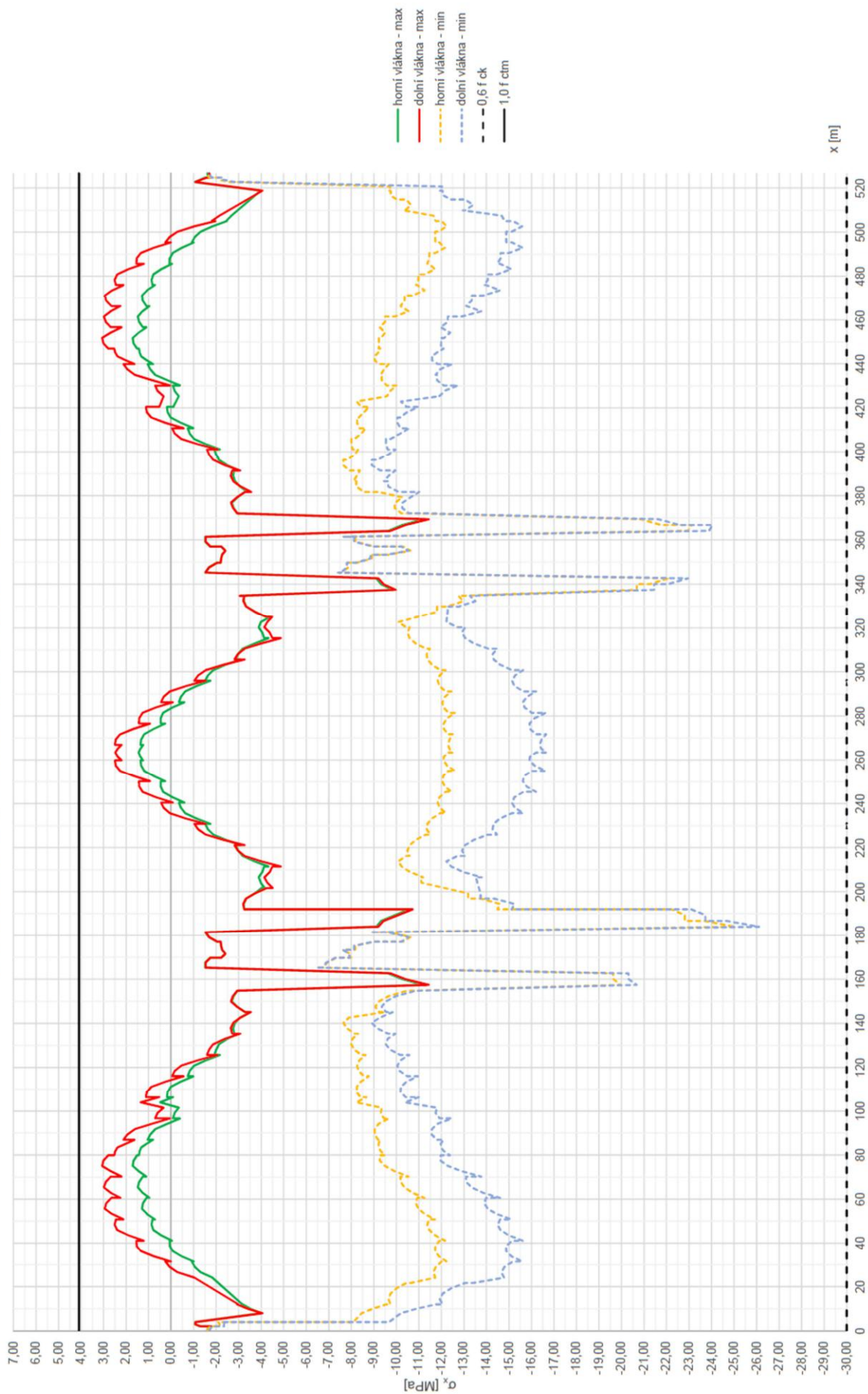


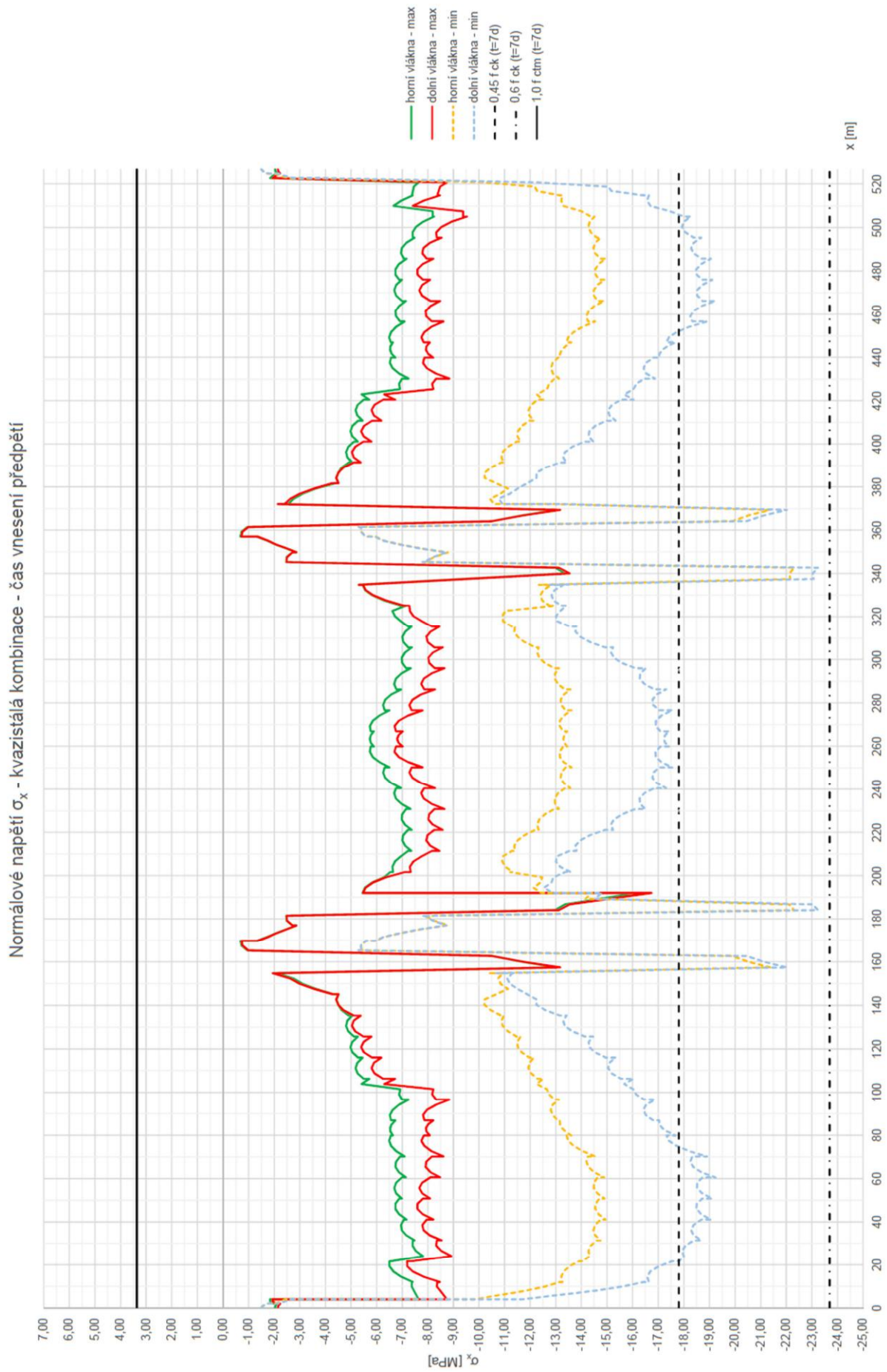


Normálové napětí  $\sigma_x$  - charakteristická kombinace - uvedení do provozu

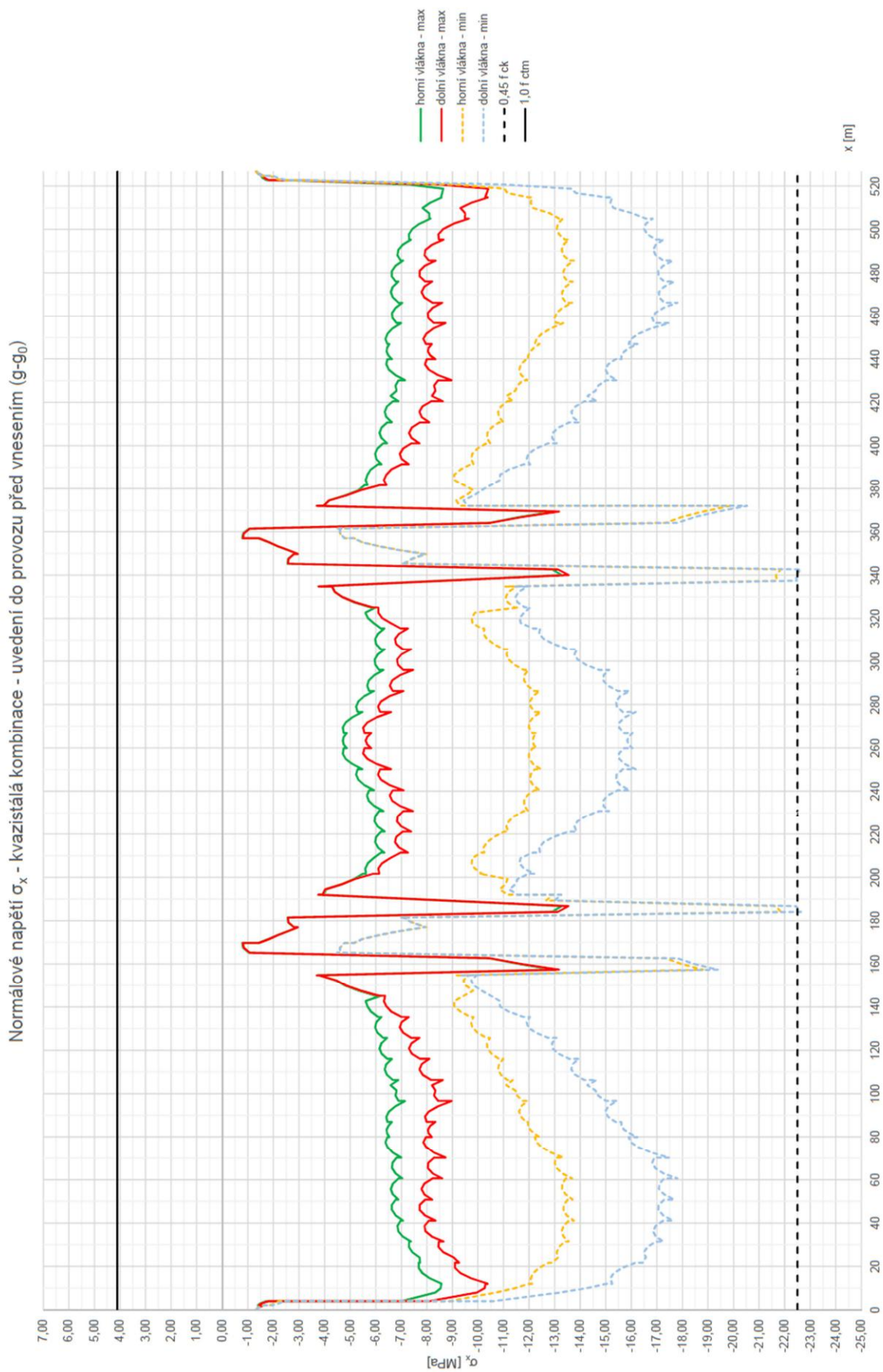


Normálové napětí  $\sigma_x$  - charakteristická kombinace - konec životnosti

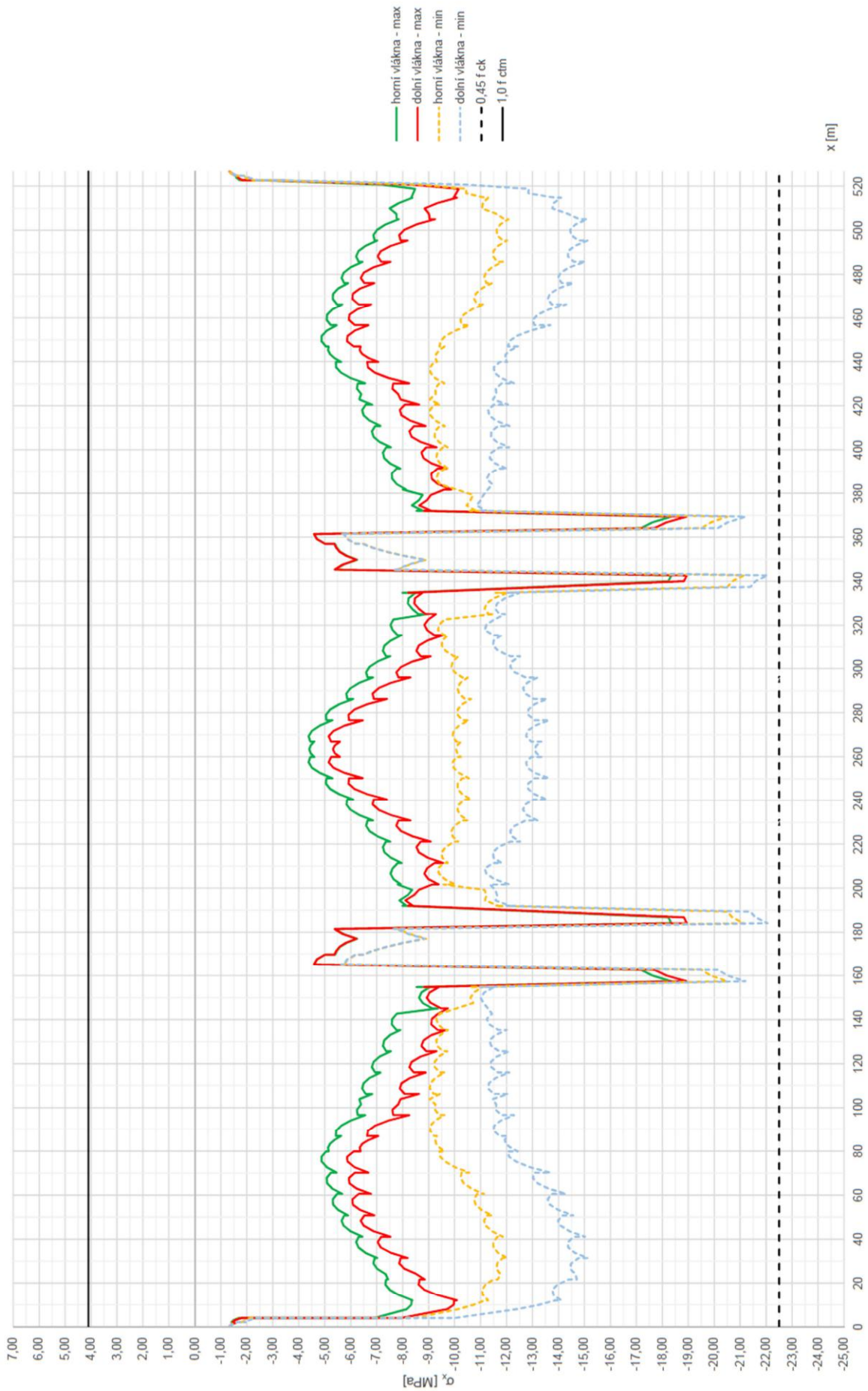




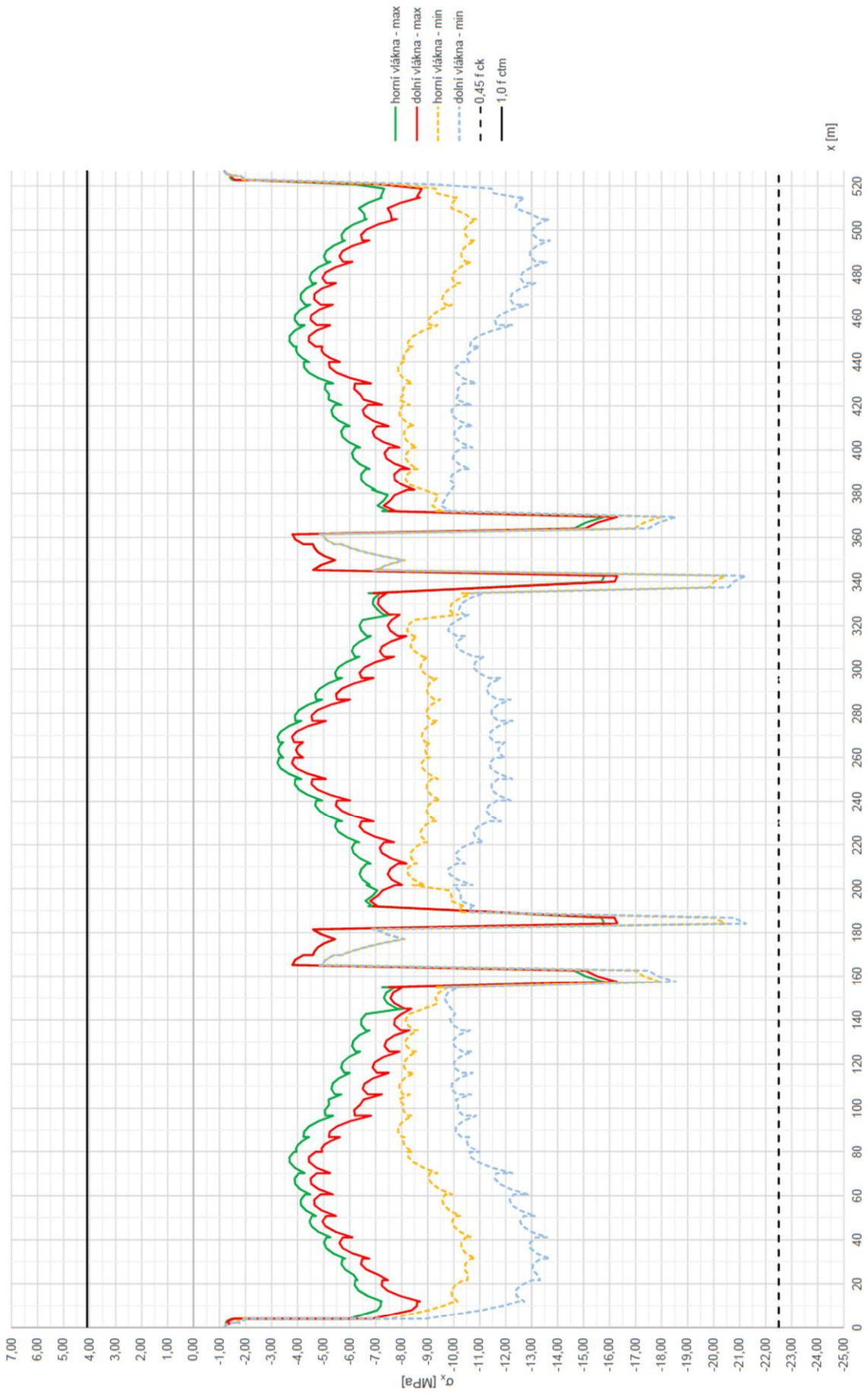
Pozn...: Použije se beton s rychlejším nárůstem pevnosti.



Normálové napětí  $\sigma_x$  - kvazistálá kombinace - uvedení do provozu



Normálové napětí  $\sigma_x$  - kvazistálá kombinace - konec životnosti





### Průběhy normálového napětí pouze od stálých zatížení (vl. tíha, $(g-g_0)_m$ , rektifikace)

Normálové napětí od stálého zatížení - čas vnesení předpětí



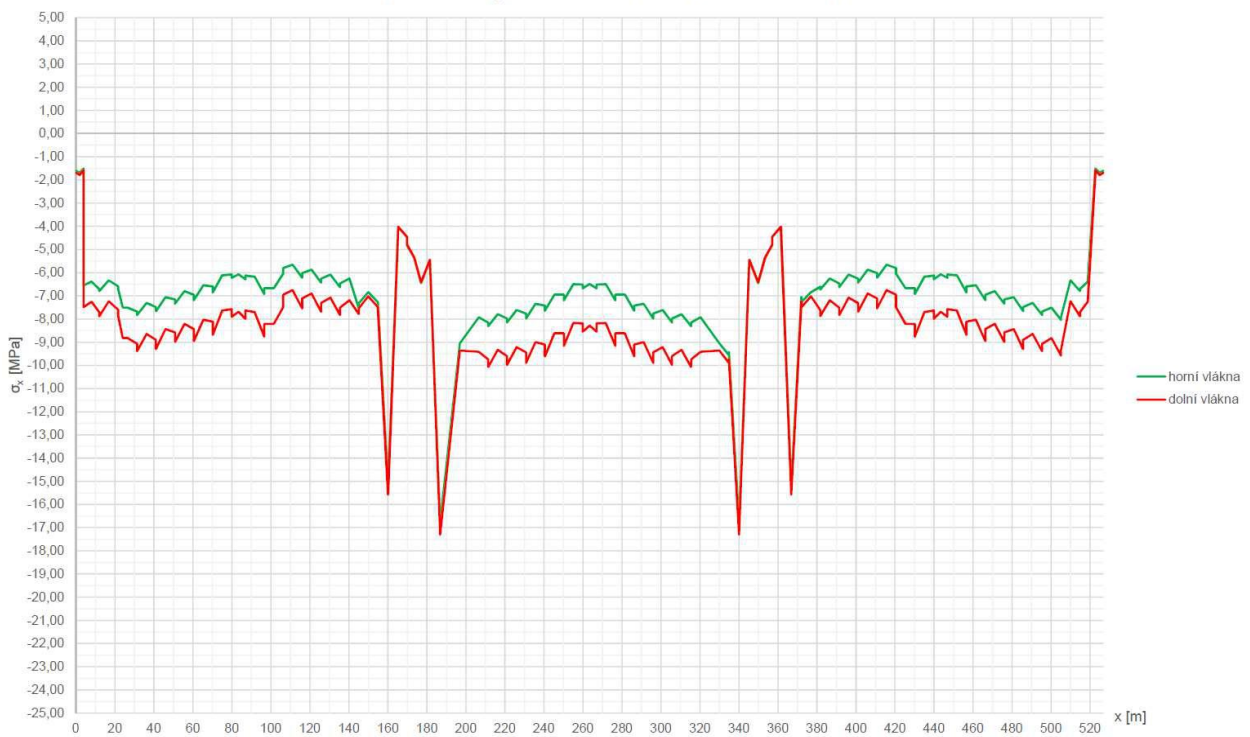
Normálové napětí od stálého zatížení - čas uvedení do provozu před vnesením  $(g-g_0)$



Normálové napětí od stálého zatížení - čas uvedení do provozu



Normálové napětí od stálého zatížení - konec životnosti



#### 4.10.2 Omezení napětí v závěsech

Napětí v závěsech od časté kombinace zatížení je omezeno hodnotou  $0,45 f_{pk} = 837,0$  MPa.

V tabulce uvedené níže je posouzení pro závěsy kotvené v prvním poli a polovině středního pole konstrukce, druhá polovina závěsů je vzhledem k symetrii konstrukce zatížena stejně.

Napětí v závěsu je spočteno dle vzorce:  
 $\sigma_{z\u00e1v\u011bs} = N_{Ek} / A_z$ .

Závěs	ks lan	$A_{lano}$ [mm <sup>2</sup> ]	$A_z$ [mm <sup>2</sup> ]	$N_{Ek}$ [kN]	$\sigma_{z\u00e1v\u011bs}$ [MPa]	Posouzení 0,45 $f_{pk}$ =837 MPa	
Z9	a	91,00	150,00	13 650,00	5 790,13	424,19	✓
Z9	b	91,00	150,00	13 650,00	7 480,96	548,06	✓
Z10	a	91,00	150,00	13 650,00	6 034,30	442,07	✓
Z10	b	91,00	150,00	13 650,00	7 368,30	539,80	✓
Z11	a	127,00	150,00	19 050,00	6 441,53	338,14	✓
Z11	b	127,00	150,00	19 050,00	7 842,06	411,66	✓
Z12	a	127,00	150,00	19 050,00	7 219,02	378,95	✓
Z12	b	127,00	150,00	19 050,00	8 298,04	435,59	✓
Z13	a	127,00	150,00	19 050,00	7 048,25	369,99	✓
Z13	b	127,00	150,00	19 050,00	7 887,69	414,05	✓
Z14	a	127,00	150,00	19 050,00	8 237,55	432,42	✓
Z14	b	127,00	150,00	19 050,00	8 892,39	466,79	✓
Z15	a	139,00	150,00	20 850,00	8 725,83	418,51	✓
Z15	b	139,00	150,00	20 850,00	9 284,41	445,30	✓
Z16	a	127,00	150,00	19 050,00	5 096,33	267,52	✓
Z16	b	127,00	150,00	19 050,00	5 491,12	288,25	✓
Z17	a	127,00	150,00	19 050,00	5 958,53	312,78	✓
Z17	b	127,00	150,00	19 050,00	6 331,13	332,34	✓
Z18	a	139,00	150,00	20 850,00	8 866,23	425,24	✓
Z18	b	139,00	150,00	20 850,00	9 322,03	447,10	✓
Z19	a	127,00	150,00	19 050,00	8 713,42	457,40	✓
Z19	b	127,00	150,00	19 050,00	9 173,22	481,53	✓
Z20	a	127,00	150,00	19 050,00	7 456,50	391,42	✓
Z20	b	127,00	150,00	19 050,00	7 952,97	417,48	✓
Z21	a	127,00	150,00	19 050,00	6 928,36	363,69	✓
Z21	b	127,00	150,00	19 050,00	7 444,75	390,80	✓
Z22	a	127,00	150,00	19 050,00	6 408,05	336,38	✓
Z22	b	127,00	150,00	19 050,00	6 911,30	362,80	✓
Z23	a	91,00	150,00	13 650,00	5 863,11	429,53	✓
Z23	b	91,00	150,00	13 650,00	6 171,50	452,12	✓
Z24	a	127,00	150,00	19 050,00	7 491,16	393,24	✓
Z24	b	127,00	150,00	19 050,00	7 747,29	406,68	✓

Závěs		ks lan	$A_{lano}$ [mm <sup>2</sup> ]	$A_z$ [mm <sup>2</sup> ]	$N_{EK}$ [kN]	$\sigma_{zav\acute{e}s}$ [MPa]	Posouzení $0,45 f_{pk} = 837$ MPa
Z25	a	127,00	150,00	19 050,00	4 750,83	249,39	✓
Z25	b	127,00	150,00	19 050,00	4 947,28	259,70	✓
Z26	a	91,00	150,00	13 650,00	5 383,77	394,42	✓
Z26	b	91,00	150,00	13 650,00	5 618,55	411,62	✓
Z27	a	127,00	150,00	19 050,00	6 254,51	328,32	✓
Z27	b	127,00	150,00	19 050,00	6 626,87	347,87	✓
Z28	a	127,00	150,00	19 050,00	6 827,24	358,39	✓
Z28	b	127,00	150,00	19 050,00	7 193,12	377,59	✓
Z29	a	127,00	150,00	19 050,00	7 754,05	407,04	✓
Z29	b	127,00	150,00	19 050,00	8 085,87	424,46	✓
Z30	a	127,00	150,00	19 050,00	8 308,99	436,17	✓
Z30	b	127,00	150,00	19 050,00	8 593,74	451,11	✓
Z31	a	139,00	150,00	20 850,00	8 690,52	416,81	✓
Z31	b	139,00	150,00	20 850,00	8 946,34	429,08	✓
Z32	a	127,00	150,00	19 050,00	6 253,04	328,24	✓
Z32	b	127,00	150,00	19 050,00	6 436,97	337,90	✓

## 4.11 Mezní stav únosnosti

### 4.11.1 Ohyb a normálová síla

Pro účely posouzení MSÚ je zjednodušen tvar průřezu na obdélníky a sjednocena tloušťka desek. Počítáno je s plnou plochou průřezu, předpokládá se zplastizování materiálu na mezi únosnosti. Staticky neurčitý moment od předpětí není v tomto stádiu uvažován. Výpočet je proveden pro čas na konci životnosti.

#### Posouzení řezu nejvíce namáhaného kladným ohybovým momentem $x = 58$ m

$$M_{Ed} = 317,24 \text{ MNm} \quad (6.10b)$$

#### Zjednodušení tvaru konstrukce:

$$\text{výška kce} = 3,95 \text{ m}$$

$$\text{šířka horní desky} = 37,80 \text{ m}$$

$$\text{tl. horní desky} = 0,41 \text{ m}$$

#### Parametry pro výpočet:

$$f_{cd} = 30,00 \text{ MPa}$$

$$f_{pd} = 1\,423,30 \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = 434,78 \text{ MPa}$$

$$E_{cm} = 37,00 \text{ GPa}$$

$$E_p = 195,00 \text{ GPa}$$

$$A_{p,h.d.} = 52\,800,00 \text{ mm}^2 \quad \text{vzd. od horních vláken} = 0,175 \text{ m}$$

$$A_{p,d.d.} = 62\,700,00 \text{ mm}^2 \quad \text{vzd. od dolních vláken} = 0,175 \text{ m}$$

#### Síla v předpínací výztuži:

$$N_{p,h.d.} = A_{p,h.d.} \cdot \sigma_p(t) = 52800 \times 972,9 / 1000000 \quad (\text{výztuž není zplastizována, viz další strany})$$

$$N_{p,h.d.} = 51,37 \text{ MN}$$

$$N_{p,d.d.} = A_{p,d.d.} \cdot f_{pd} = 62700 \times 1423 / 1000000$$

$$N_{p,d.d.} = 89,24 \text{ MN}$$

#### Celková síla ve výztuži:

$$N_a = 51,4 + 89,2$$

$$N_a = 140,61 \text{ MN}$$

Nutná plocha tlačného betonu:

$$A_{cc,nut} = 141 / 30$$

$$A_{cc,nut} = 4,69 \text{ m}^2$$

Plocha horní desky:

$$A_{h.d.} = 37,8 \times 0,406 = 15,35 \text{ m}^2 \geq 4,69 \text{ m}^2 \dots \text{N.O. v horní desce}$$

Poloha neutrální osy (od horních vláken):

$$\begin{aligned}x &= N_a / (b \cdot 0,8 \cdot \eta \cdot f_{cd}) \\x &= 141 / (37,8 \times 0,8 \times 1 \times 30) \\x &= 0,155 \text{ m} \\x_u = 0,8 x &= 0,124 \text{ m}\end{aligned}$$

Ramena sil ve výztuži:

$$\begin{aligned}z_{p,h.d.} &= 0,175 - 0,124 / 2 \\z_{p,h.d.} &= 0,113 \text{ m} \\z_{Ap,d.d.} &= 3,95 - 0,124 / 2 - 0,175 \\z_{Ap,d.d.} &= 3,713 \text{ m}\end{aligned}$$

Moment únosnosti:

$$\begin{aligned}M_{Rd} &= N_i \cdot z_i \\M_{Rd} &= 51,4 \times 0,113 + 89,2 \times 3,71 \\M_{Rd} &= \mathbf{337,16 \text{ MNm}} \geq M_{Ed} = \mathbf{317,24 \text{ MNm}} \quad \dots \text{řez } x = 58 \text{ m vyhovuje}\end{aligned}$$

**Ověření zplastizování předpínací výztuže:**

Normálová napětí - char. kombinace, konec životnosti:

$$\begin{aligned}\sigma_{c,h} &= 1,26 \text{ MPa} \\ \sigma_{c,d} &= 2,89 \text{ MPa}\end{aligned}$$

Napětí v úrovni výztuže:

$$\begin{aligned}\sigma_{c-p,h.d.} &= 1,33 \text{ MPa} \\ \sigma_{c-p,d.d.} &= 2,82 \text{ MPa}\end{aligned}$$

Předpínací síla ve výztuži:

$$\begin{aligned}P_{h.d.} &= 58,34 \text{ MN} \\ P_{d.d.} &= 72,92 \text{ MN}\end{aligned}$$

Napětí v předpínací výztuži:

$$\begin{aligned}\sigma_{pm,h.d.} &= 1000000 \times 58,3 / 62700 \\ \sigma_{pm,h.d.} &= 930,46 \text{ MPa} \\ \sigma_{pm,d.d.} &= 1000000 \times 72,9 / 52800 \\ \sigma_{pm,d.d.} &= 1\,381,06 \text{ MPa}\end{aligned}$$

Základní poměrné přetvoření předpínací výztuže:

$$\begin{aligned}\epsilon_{c-p,h.d.} &= 1,33 / 37 &= 0,036 \text{ ‰} \\ \epsilon_{pm,h.d.} &= 930 / 195 &= 4,772 \text{ ‰} \\ \epsilon_{p,z,h.d.} &= 4,77 - 0,036 &= 4,736 \text{ ‰} \\ \epsilon_{c-p,d.d.} &= 2,82 / 37 &= 0,076 \text{ ‰} \\ \epsilon_{pm, d.d.} &= 1381 / 195 &= 7,082 \text{ ‰} \\ \epsilon_{p,z,d.d.} &= 7,08 - 0,0762 &= 7,006 \text{ ‰}\end{aligned}$$

Přírůstek poměrného přetvoření na mezi únosnosti:

$$\begin{aligned}\Delta\epsilon_{p,h.d.} &= 2 / 0,155 \times (0,175 - 0,155) \\ \Delta\epsilon_{p,h.d.} &= 0,26 \text{ ‰} \\ \Delta\epsilon_{p,d.d.} &= 2 / 0,155 \times (3,95 - 0,155 - 0,175) \\ \Delta\epsilon_{p,d.d.} &= 46,71 \text{ ‰}\end{aligned}$$

Celkové poměrné přetvoření v předpínací výztuži:

$$\epsilon_{pu} = 1423 / 195 = 7,30 \text{ ‰}$$

$$\begin{aligned}\Sigma\epsilon_{p,h.d.} &= 4,74 + 0,258 = 4,99 \text{ ‰} < 7,30 \text{ ‰} \text{ ...výztuž není zplastizována} \\ \Sigma\epsilon_{p,d.d.} &= 7,01 + 46,7 = 53,72 \text{ ‰} \geq 7,30 \text{ ‰} \text{ ...výztuž je zplastizována}\end{aligned}$$

Výztuž v horní desce není zplastizována, návrhový moment únosnosti je počítán s napětím v horní předpínací výztuži odpovídajícím jejímu přetvoření z prac. diagramu výztuže: 972,9 MPa.

**Posouzení řezu nejvíce namáhaného záporným ohybovým momentem  $x = 263$  m**

$$M_{Ed} = -227,04 \text{ MNm (6.10b)}$$

Zjednodušení tvaru konstrukce:

$$\begin{aligned}\text{výška kce} &= 3,95 \text{ m} \\ \text{šířka dolní desky} &= 16,40 \text{ m} \\ \text{tl. dolní desky} &= 0,40 \text{ m}\end{aligned}$$

Parametry pro výpočet:

$$\begin{aligned}f_{cd} &= 30,00 \text{ MPa} \\ f_{pd} &= 1\,423,30 \text{ MPa} \\ f_{yd} &= 434,78 \text{ MPa} \\ E_{cm} &= 37,00 \text{ GPa} \\ E_p &= 195,00 \text{ GPa} \\ A_{p,h.d.} &= 52\,800,00 \text{ mm}^2 & \text{ vzd. od horních vláken} &= 0,175 \text{ m} \\ A_{p,d.d.} &= 66\,000,00 \text{ mm}^2 & \text{ vzd. od dolních vláken} &= 0,175 \text{ m}\end{aligned}$$

Síla v předpínací výztuži:

$$N_{p,h.d.} = A_{p,h.d.} \cdot f_{pd} = 52800 \times 1423 / 1000000$$

$$N_{p,h.d.} = 75,15 \text{ MN}$$

$$N_{p,d.d.} = A_{p,d.d.} \cdot \sigma_p(t) = 66000 \times 1228.3 / 1000000 \quad (\text{výztuž není zplastizována, viz další strany})$$

$$N_{p,d.d.} = 81,07 \text{ MN}$$

Celková síla ve výztuži:

$$N_a = 75,2 + 81,1$$

$$N_a = 156,22 \text{ MN}$$

Nutná plocha tlačeneho betonu:

$$A_{cc,nut} = 156 / 30$$

$$A_{cc,nut} = 5,21 \text{ m}^2$$

Plocha dolní desky:

$$A_{d.d.} = 16,4 \times 0,4 = 6,56 \text{ m}^2 \geq 5,21 \text{ m}^2 \dots \text{N.O. v dolní desce}$$

Poloha neutrální osy (od dolních vláken):

$$x = N_a / (b \cdot 0,8 \cdot \eta \cdot f_{cd})$$

$$x = 156 / (16,4 \times 0,8 \times 1 \times 30)$$

$$x = 0,397 \text{ m}$$

$$x_u = 0,8 x = 0,318 \text{ m}$$

Ramena sil ve výztuži:

$$Z_{p,h.d.} = 3,95 - 0,175 - 0,318 / 2$$

$$Z_{p,h.d.} = 3,616 \text{ m}$$

$$Z_{p,d.d.} = 0,175 - 0,318 / 2$$

$$Z_{p,d.d.} = 0,016 \text{ m}$$

Moment únosnosti:

$$M_{Rd} = N_i \cdot Z_i$$

$$M_{Rd} = -75,2 \times 3,62 - 81,1 \times 0,0162$$

$$M_{Rd} = -273,08 \text{ MNm} < M_{Ed} = -227,04 \text{ MNm} \dots \text{řez } x = 263 \text{ m vyhovuje}$$



## Ověření zplastizování předpínací výztuže:

### Normálová napětí - char. kombinace, konec životnosti:

$$\sigma_{c,h} = 1,45 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,d} = 2,49 \text{ MPa}$$

### Napětí v úrovni výztuže:

$$\sigma_{c-p,h,d} = 1,50 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c-p,d,d} = 2,44 \text{ MPa}$$

### Předpínací síla ve výztuži:

$$P_{h,d} = 58,34 \text{ MPa}$$

$$P_{d,d} = 72,92 \text{ MPa}$$

### Napětí v předpínací výztuži:

$$\sigma_{pm,h,d} = 1000000 \times 58,3 / 66000$$

$$\sigma_{pm,h,d} = 883,94 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{pm,d,d} = 1000000 \times 72,9 / 52800$$

$$\sigma_{pm,d,d} = 1381,06 \text{ MPa}$$

### Základní poměrné přetvoření předpínací výztuže:

$$\epsilon_{c-p,h,d} = 1,5 / 37 = 0,040 \text{ ‰}$$

$$\epsilon_{pm,h,d} = 884 / 195 = 4,533 \text{ ‰}$$

$$\epsilon_{p,z,h,d} = 4,53 - 0,0404 = 4,493 \text{ ‰}$$

$$\epsilon_{c-p,d,d} = 2,44 / 37 = 0,066 \text{ ‰}$$

$$\epsilon_{pm,d,d} = 1381 / 195 = 7,082 \text{ ‰}$$

$$\epsilon_{p,z,d,d} = 7,08 - 0,0661 = 7,016 \text{ ‰}$$

### Přírůstek poměrného přetvoření na mezi únosnosti:

$$\Delta\epsilon_{p,h,d} = 2 / 0,397 \times (3,95 - 0,318 - 0,175)$$

$$\Delta\epsilon_{p,h,d} = 17,42 \text{ ‰}$$

$$\Delta\epsilon_{p,d,d} = 2 / 0,397 \times (0,175 - 0,318)$$

$$\Delta\epsilon_{p,d,d} = -0,72 \text{ ‰}$$

### Celkové poměrné přetvoření v předpínací výztuži:

$$\epsilon_{pu} = 1423 / 195 = 7,30 \text{ ‰}$$

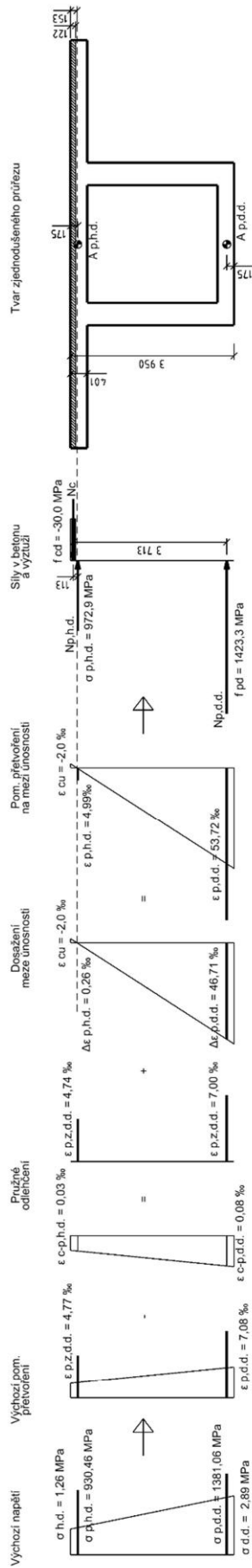
$$\Sigma\epsilon_{p,h,d} = 4,49 + 17,4 = 21,92 \text{ ‰} \geq 7,30 \text{ ‰} \dots \text{výztuž je zplastizována}$$

$$\Sigma\epsilon_{p,d,d} = 7,02 + (-0,718) = 6,30 \text{ ‰} < 7,30 \text{ ‰} \dots \text{výztuž není zplastizována}$$

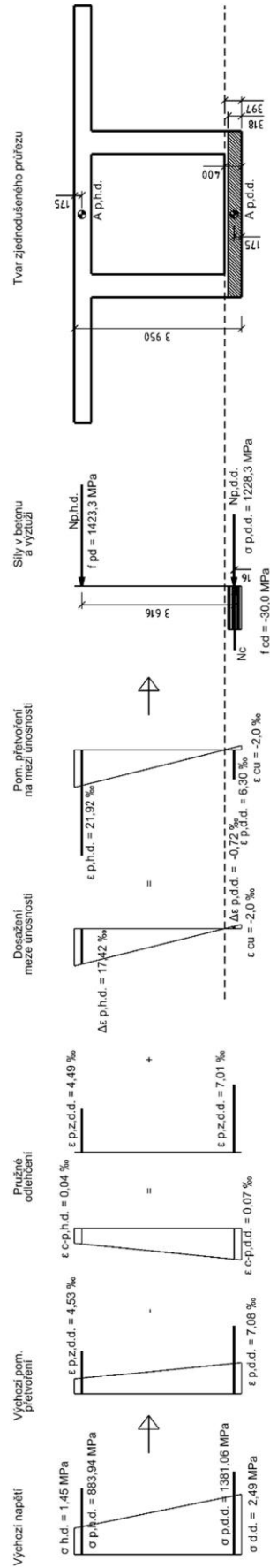
Výztuž v horní desce není zplastizována, návrhový moment únosnosti je počítán s napětím v dolní předpínací výztuži odpovídajícím jejímu přetvoření z prac. diagramu výztuže: 1228,3 MPa.

Poměrná přetvoření a napětí pro posouzení MSÚ:

ŘEZ x = 58 m



ŘEZ x = 263 m



#### 4.11.2 Normálová síla v závěsech

Ověření mezního stavu únosnosti je provedeno pro výsledky normálových sil v závěsech z prutového modelu konstrukce, a to pro méně příznivé zatížení od kombinace 6.10a a 6.10b. Návrhová únosnost závěsu je spočtena ze vzorce (pro  $\gamma_s = 1,35$ ):

$$N_{Rd} = A_z \cdot \frac{f_{pk}}{\gamma_s}$$

Závěs	ks lan	$A_{lano}$ [mm <sup>2</sup> ]	$A_z$ [mm <sup>2</sup> ]	$f_{pk}$	$f_{pd}$	$N_{Rd}$	$N_{Ed}$	jedn. pos.	
		[mm <sup>2</sup> ]	[mm <sup>2</sup> ]	[MPa]	[MPa]	[kN]	[kN]		
Z9	a	91,00	150,00	13 650,00	1 860,00	1 377,78	18 806,67	7 150,90	0,38
Z9	b	91,00	150,00	13 650,00	1 860,00	1 377,78	18 806,67	9 397,45	0,50
Z10	a	91,00	150,00	13 650,00	1 860,00	1 377,78	18 806,67	7 892,33	0,42
Z10	b	91,00	150,00	13 650,00	1 860,00	1 377,78	18 806,67	9 702,12	0,52
Z11	a	127,00	150,00	19 050,00	1 860,00	1 377,78	26 246,67	9 220,82	0,35
Z11	b	127,00	150,00	19 050,00	1 860,00	1 377,78	26 246,67	11 137,84	0,42
Z12	a	127,00	150,00	19 050,00	1 860,00	1 377,78	26 246,67	9 895,83	0,38
Z12	b	127,00	150,00	19 050,00	1 860,00	1 377,78	26 246,67	11 355,90	0,43
Z13	a	127,00	150,00	19 050,00	1 860,00	1 377,78	26 246,67	9 476,46	0,36
Z13	b	127,00	150,00	19 050,00	1 860,00	1 377,78	26 246,67	10 606,03	0,40
Z14	a	127,00	150,00	19 050,00	1 860,00	1 377,78	26 246,67	10 328,92	0,39
Z14	b	127,00	150,00	19 050,00	1 860,00	1 377,78	26 246,67	11 209,93	0,43
Z15	a	139,00	150,00	20 850,00	1 860,00	1 377,78	28 726,67	10 593,08	0,37
Z15	b	139,00	150,00	20 850,00	1 860,00	1 377,78	28 726,67	11 344,02	0,39
Z16	a	127,00	150,00	19 050,00	1 860,00	1 377,78	26 246,67	6 389,06	0,24
Z16	b	127,00	150,00	19 050,00	1 860,00	1 377,78	26 246,67	6 919,07	0,26
Z17	a	127,00	150,00	19 050,00	1 860,00	1 377,78	26 246,67	8 236,66	0,31
Z17	b	127,00	150,00	19 050,00	1 860,00	1 377,78	26 246,67	8 736,11	0,33
Z18	a	139,00	150,00	20 850,00	1 860,00	1 377,78	28 726,67	11 571,19	0,40
Z18	b	139,00	150,00	20 850,00	1 860,00	1 377,78	28 726,67	12 182,48	0,42
Z19	a	127,00	150,00	19 050,00	1 860,00	1 377,78	26 246,67	11 289,65	0,43
Z19	b	127,00	150,00	19 050,00	1 860,00	1 377,78	26 246,67	11 906,21	0,45
Z20	a	127,00	150,00	19 050,00	1 860,00	1 377,78	26 246,67	10 033,42	0,38
Z20	b	127,00	150,00	19 050,00	1 860,00	1 377,78	26 246,67	10 698,46	0,41
Z21	a	127,00	150,00	19 050,00	1 860,00	1 377,78	26 246,67	9 371,45	0,36
Z21	b	127,00	150,00	19 050,00	1 860,00	1 377,78	26 246,67	10 061,51	0,38
Z22	a	127,00	150,00	19 050,00	1 860,00	1 377,78	26 246,67	8 547,94	0,33
Z22	b	127,00	150,00	19 050,00	1 860,00	1 377,78	26 246,67	9 217,07	0,35
Z23	a	91,00	150,00	13 650,00	1 860,00	1 377,78	18 806,67	7 028,87	0,37
Z23	b	91,00	150,00	13 650,00	1 860,00	1 377,78	18 806,67	7 443,00	0,40
Z24	a	127,00	150,00	19 050,00	1 860,00	1 377,78	26 246,67	8 431,93	0,32
Z24	b	127,00	150,00	19 050,00	1 860,00	1 377,78	26 246,67	8 763,82	0,33

Závěs		ks lan	$A_{\text{lano}}$ [mm <sup>2</sup> ]	$A_z$ [mm <sup>2</sup> ]	$f_{pk}$	$f_{pd}$	$N_{Rd}$	$N_{Ed}$	jedn. pos.
			[mm <sup>2</sup> ]	[mm <sup>2</sup> ]	[MPa]	[MPa]	[kN]	[kN]	
Z25	a	127,00	150,00	19 050,00	1 860,00	1 377,78	26 246,67	5 845,97	0,22
Z25	b	127,00	150,00	19 050,00	1 860,00	1 377,78	26 246,67	6 090,88	0,23
Z26	a	91,00	150,00	13 650,00	1 860,00	1 377,78	18 806,67	6 572,35	0,35
Z26	b	91,00	150,00	13 650,00	1 860,00	1 377,78	18 806,67	6 877,67	0,37
Z27	a	127,00	150,00	19 050,00	1 860,00	1 377,78	26 246,67	8 279,53	0,32
Z27	b	127,00	150,00	19 050,00	1 860,00	1 377,78	26 246,67	8 771,19	0,33
Z28	a	127,00	150,00	19 050,00	1 860,00	1 377,78	26 246,67	9 070,09	0,35
Z28	b	127,00	150,00	19 050,00	1 860,00	1 377,78	26 246,67	9 556,31	0,36
Z29	a	127,00	150,00	19 050,00	1 860,00	1 377,78	26 246,67	10 110,29	0,39
Z29	b	127,00	150,00	19 050,00	1 860,00	1 377,78	26 246,67	10 552,48	0,40
Z30	a	127,00	150,00	19 050,00	1 860,00	1 377,78	26 246,67	10 709,67	0,41
Z30	b	127,00	150,00	19 050,00	1 860,00	1 377,78	26 246,67	11 089,42	0,42
Z31	a	139,00	150,00	20 850,00	1 860,00	1 377,78	28 726,67	11 318,19	0,39
Z31	b	139,00	150,00	20 850,00	1 860,00	1 377,78	28 726,67	11 659,07	0,41
Z32	a	127,00	150,00	19 050,00	1 860,00	1 377,78	26 246,67	8 622,19	0,33
Z32	b	127,00	150,00	19 050,00	1 860,00	1 377,78	26 246,67	8 866,63	0,34

### 4.11.3 Únava

V tabulce uvedené níže je spočten rozkmit napětí  $\Delta\sigma$  v závěsech od časté kombinace zatížení. Tento rozkmit je omezen hodnotou  $\Delta\sigma_{lim} = 200$  MPa.

Závěs	ks lan	$A_{lano}$	$A_{zavěs}$	$N_{Ek,max}$	$\sigma_{max}$	$N_{Ek,min}$	$\sigma_{max}$	$\Delta\sigma$	$\Delta\sigma_{lim}$		
		[mm <sup>2</sup> ]	[mm <sup>2</sup> ]	[kN]	[MPa]	[kN]	[MPa]	[MPa]	[MPa]		
Z9	a	91,00	150,00	13 650,00	5,79	424,19	5,73	419,85	4,34	200,00	✓
Z9	b	91,00	150,00	13 650,00	7,48	548,06	7,42	543,72	4,34	200,00	✓
Z10	a	91,00	150,00	13 650,00	6,03	442,07	5,82	426,18	15,89	200,00	✓
Z10	b	91,00	150,00	13 650,00	7,37	539,80	7,15	523,91	15,89	200,00	✓
Z11	a	127,00	150,00	19 050,00	6,44	338,14	6,05	317,41	20,73	200,00	✓
Z11	b	127,00	150,00	19 050,00	7,84	411,66	7,45	390,93	20,73	200,00	✓
Z12	a	127,00	150,00	19 050,00	7,22	378,95	6,81	357,46	21,49	200,00	✓
Z12	b	127,00	150,00	19 050,00	8,30	435,59	7,89	414,10	21,49	200,00	✓
Z13	a	127,00	150,00	19 050,00	7,05	369,99	6,67	350,14	19,84	200,00	✓
Z13	b	127,00	150,00	19 050,00	7,89	414,05	7,51	394,21	19,84	200,00	✓
Z14	a	127,00	150,00	19 050,00	8,24	432,42	7,92	415,62	16,80	200,00	✓
Z14	b	127,00	150,00	19 050,00	8,89	466,79	8,57	449,99	16,80	200,00	✓
Z15	a	139,00	150,00	20 850,00	8,73	418,51	8,45	405,32	13,19	200,00	✓
Z15	b	139,00	150,00	20 850,00	9,28	445,30	9,01	432,11	13,19	200,00	✓
Z16	a	127,00	150,00	19 050,00	5,10	267,52	4,92	258,24	9,29	200,00	✓
Z16	b	127,00	150,00	19 050,00	5,49	288,25	5,31	278,96	9,29	200,00	✓
Z17	a	127,00	150,00	19 050,00	5,96	312,78	5,61	294,41	18,37	200,00	✓
Z17	b	127,00	150,00	19 050,00	6,33	332,34	5,98	313,97	18,37	200,00	✓
Z18	a	139,00	150,00	20 850,00	8,87	425,24	8,44	404,63	20,61	200,00	✓
Z18	b	139,00	150,00	20 850,00	9,32	447,10	8,89	426,49	20,61	200,00	✓
Z19	a	127,00	150,00	19 050,00	8,71	457,40	8,29	435,31	22,08	200,00	✓
Z19	b	127,00	150,00	19 050,00	9,17	481,53	8,75	459,45	22,08	200,00	✓
Z20	a	127,00	150,00	19 050,00	7,46	391,42	7,03	368,85	22,57	200,00	✓
Z20	b	127,00	150,00	19 050,00	7,95	417,48	7,52	394,91	22,57	200,00	✓
Z21	a	127,00	150,00	19 050,00	6,93	363,69	6,51	341,99	21,70	200,00	✓
Z21	b	127,00	150,00	19 050,00	7,44	390,80	7,03	369,10	21,70	200,00	✓
Z22	a	127,00	150,00	19 050,00	6,41	336,38	6,04	317,17	19,21	200,00	✓
Z22	b	127,00	150,00	19 050,00	6,91	362,80	6,55	343,59	19,21	200,00	✓
Z23	a	91,00	150,00	13 650,00	5,86	429,53	5,67	415,10	14,43	200,00	✓
Z23	b	91,00	150,00	13 650,00	6,17	452,12	5,97	437,69	14,43	200,00	✓
Z24	a	127,00	150,00	19 050,00	7,49	393,24	7,36	386,26	6,97	200,00	✓
Z24	b	127,00	150,00	19 050,00	7,75	406,68	7,61	399,71	6,97	200,00	✓

Závěs		ks lan	$A_{\text{lano}}$	$A_{\text{závěs}}$	$N_{\text{Ek,max}}$	$\sigma_{\text{max}}$	$N_{\text{Ek,min}}$	$\sigma_{\text{max}}$	$\Delta\sigma$	$\Delta\sigma_{\text{lim}}$	
			[mm <sup>2</sup> ]	[mm <sup>2</sup> ]	[kN]	[MPa]	[kN]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	
Z25	a	127,00	151,00	19 177,00	4,75	247,74	4,59	239,11	8,62	200,00	✓
Z25	b	127,00	152,00	19 304,00	4,95	256,28	4,78	247,72	8,57	200,00	✓
Z26	a	91,00	153,00	13 923,00	5,38	386,68	5,18	371,69	14,99	200,00	✓
Z26	b	91,00	154,00	14 014,00	5,62	400,92	5,41	386,03	14,89	200,00	✓
Z27	a	127,00	155,00	19 685,00	6,25	317,73	5,89	299,21	18,52	200,00	✓
Z27	b	127,00	156,00	19 812,00	6,63	334,49	6,26	316,09	18,40	200,00	✓
Z28	a	127,00	157,00	19 939,00	6,83	342,41	6,43	322,50	19,90	200,00	✓
Z28	b	127,00	158,00	20 066,00	7,19	358,47	6,80	338,70	19,78	200,00	✓
Z29	a	127,00	159,00	20 193,00	7,75	384,00	7,35	364,01	19,99	200,00	✓
Z29	b	127,00	160,00	20 320,00	8,09	397,93	7,68	378,06	19,87	200,00	✓
Z30	a	127,00	161,00	20 447,00	8,31	406,37	7,91	387,07	19,29	200,00	✓
Z30	b	127,00	162,00	20 574,00	8,59	417,70	8,20	398,53	19,17	200,00	✓
Z31	a	139,00	163,00	22 657,00	8,69	383,57	8,28	365,56	18,01	200,00	✓
Z31	b	139,00	164,00	22 796,00	8,95	392,45	8,54	374,55	17,90	200,00	✓
Z32	a	127,00	165,00	20 955,00	6,25	298,40	5,91	282,05	16,35	200,00	✓
Z32	b	127,00	166,00	21 082,00	6,44	305,33	6,09	289,07	16,26	200,00	✓

## 5. Závěr

Statickým výpočtem se podařilo prokázat chování příčného řezu mostovky ve 3D modelu. Dále byla konstrukce zkoumána v podélném směru v prutovém modelu. Je posouzena nosná konstrukce mostovky na mezní stav omezení napětí v betonu, ve kterém vyhověla. Také v mezním stavu únosnosti průřez namáhaný největším kladným ohybovým momentem a průřez namáhaný záporným ohybovým momentem vyhověl. Posouzení závěsů ukázalo, že mají v únosnosti poměrně velkou rezervu, je tedy možno navrhnout závěsy s méně lany a výpočet opakovat.

## 6. Seznam příloh

### Příloha č. 1 - varianty přemostění

- |       |             |   |                |   |                |
|-------|-------------|---|----------------|---|----------------|
| 1. 1  | Varianta 1a | - | Obloukový most | - | Podélný řez    |
| 1. 2  | Varianta 1a | - | Obloukový most | - | Příčný řez AA' |
| 1. 3  | Varianta 1a | - | Obloukový most | - | Příčný řez BB' |
| 1. 4  | Varianta 1a | - | Obloukový most | - | Příčný řez CC' |
| 1. 5  | Varianta 1b | - | Obloukový most | - | Podélný řez    |
| 1. 6  | Varianta 1b | - | Obloukový most | - | Příčný řez AA' |
| 1. 7  | Varianta 1b | - | Obloukový most | - | Příčný řez BB' |
| 1. 8  | Varianta 1b | - | Obloukový most | - | Příčný řez CC' |
| 1. 9  | Varianta 1c | - | Obloukový most | - | Podélný řez    |
| 1. 10 | Varianta 2  | - | Trámový most   | - | Podélný řez    |
| 1. 11 | Varianta 2  | - | Trámový most   | - | Příčný řez AA' |
| 1. 12 | Varianta 2  | - | Trámový most   | - | Příčný řez BB' |
| 1. 13 | Varianta 3  | - | Extradosed     | - | Podélný řez    |
| 1. 14 | Varianta 3  | - | Extradosed     | - | Příčný řez AA' |
| 1. 15 | Varianta 3  | - | Extradosed     | - | Příčný řez BB' |
| 1. 16 | Varianta 4a | - | Zavěšený most  | - | Podélný řez    |
| 1. 17 | Varianta 4a | - | Zavěšený most  | - | Příčný řez AA' |
| 1. 18 | Varianta 4a | - | Zavěšený most  | - | Příčný řez BB' |
| 1. 19 | Varianta 4b | - | Zavěšený most  | - | Podélný řez    |
| 1. 20 | Varianta 4b | - | Zavěšený most  | - | Příčný řez AA' |
| 1. 21 | Varianta 4b | - | Zavěšený most  | - | Příčný řez BB' |
| 1. 22 | Varianta 4c | - | Zavěšený most  | - | Podélný řez    |
| 1. 23 | Varianta 4c | - | Zavěšený most  | - | Příčný řez AA' |
| 1. 24 | Varianta 4c | - | Zavěšený most  | - | Příčný řez BB' |
| 1. 25 | Varianta 5  | - | Visutý most    | - | Podélný řez    |
| 1. 26 | Varianta 5  | - | Visutý most    | - | Příčný řez AA' |

### Příloha č. 2 - Výkresová dokumentace vybrané varianty

2. 1 Celkový podélný řez
2. 2 Půdorys
2. 3 Příčný řez - v místě závěsu
2. 4 Příčný řez - mimo závěs
2. 5 Příčný řez - v místě pylonu
2. 6 Příčný řez pylonem
2. 7 Příčný řez opěrou
2. 8 Podélný řez středem pole
2. 9 Podélný řez pylonem
2. 10 Podélný řez opěrou
2. 11 Příčný řez kotevní zdí
2. 12 Zákres do fotomapy
2. 13 Výkres předpínací výztuže